



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ

Практикум

**Минск
БНТУ
2024**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ

Практикум

для студентов специальности 6-05-0716-03
«Информационно-измерительные приборы и системы»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области приборостроения*

Минск
БНТУ
2024

УДК 671.1 + 739.2
ББК 37.27
Т38

С о с т а в и т е л и :

В. П. Луговой, К. Г. Щетникович

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра «Технология металлов»

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

(зав. каф., докт. техн. наук, проф. *В. М. Капцевич*);

первый зам. дир. по науке Института порошковой металлургии

им. Академика О. В. Романа, канд. техн. наук, доцент *В. В. Савич*

Т38 **Технология** обработки ювелирных камней: практикум для студентов специальности 6-05-0716-03 «Информационно-измерительные приборы и системы» / сост. : В. П. Луговой, К. Г. Щетникович. – Минск : БНТУ, 2024. – 112 с.
ISBN 978-985-31-0036-5.

Практикум для проведения лабораторных работ предназначен для студентов специальности «Информационно-измерительные приборы и системы» профилизации «Технология и оборудование ювелирного производства».

Описание лабораторных работ, приведенных в практикуме, включает разделы курса по изучению методов обработки камня свободным и связанным абразивом, технологию обработки вставок различной формы.

В каждой работе приводятся теоретические сведения, необходимые для выполнения работ, порядок выполнения работ, содержание отчета и контрольные вопросы.

УДК 671.1 + 739.2
ББК 37.27

ISBN 978-985-31-0036-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1 ШЛИФОВАНИЕ КАМНЯ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ.....	5
Лабораторная работа № 2 ШЛИФОВАНИЕ КАМНЯ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ.....	19
Лабораторная работа № 3 ТЕХНОЛОГИЯ РАСПИЛИВАНИЯ КАМНЯ АЛМАЗНО-ОТРЕЗНЫМИ КРУГАМИ.....	35
Лабораторная работа № 4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛОСКИХ ВСТАВОК КРУГЛОЙ ФОРМЫ	45
Лабораторная работа № 5 ТЕХНОЛОГИЯ ГРАНЕСКРУГЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ШАРИКОВ	51
Лабораторная работа № 6 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАРОВ ИЗ ЦВЕТНОГО КАМНЯ	58
Лабораторная работа № 7 ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ШАРИКОВ ИЗ ЦВЕТНОГО КАМНЯ	64
Лабораторная работа № 8 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ КАБОШОНОВ.....	77
Лабораторная работа № 9 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОВАЛЬНЫХ КАБОШОНОВ	84
Лабораторная работа № 10 ТЕХНОЛОГИЯ ОГРАНКИ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ	91
Лабораторная работа № 11 МЕТОДЫ СВЕРЛЕНИЯ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ.....	98
Лабораторная работа № 12 ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОЗАИКИ ИЗ ПОДЕЛОЧНОГО КАМНЯ.....	108

Общие указания по выполнению лабораторных работ

1. Лабораторные работы выполняются бригадами в составе 2–3 человек. К выполнению очередной лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, изучившие порядок ее проведения, показавшие удовлетворительные знания по этим вопросам при опросе. Студенты отчитываются по работе в конце занятия или в начале следующего.

2. Студент, не отчитавшийся по двум предыдущим работам, к дальнейшей работе в лаборатории не допускается. Пропущенные студентом лабораторные работы, в случае допуска к ним, проводятся в дополнительное время.

3. В отчете каждой лабораторной работы должны содержаться краткое изложение теоретической части; краткое изложение последовательности выполнения работы; табличный материал результатов измерений и их обработка; графическое представление анализируемых величин.

4. Выводы должны содержать констатирующую часть, в которой отражается основная методика и полученные результаты; анализ исследуемых зависимостей с объяснением характера их изменения.

5. По результатам записей, сделанных в лабораторной тетради, оформляется отчет (один на бригаду), согласно требованиям стандартов.

Лабораторная работа № 1

ШЛИФОВАНИЕ КАМНЯ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Цель работы: изучить процесс формообразования микрорельефа плоских поверхностей свободным абразивом и приобрести практические навыки изготовления плоских вставок.

Задачи работы:

1. Изучить способ шлифования свободным абразивом, применяемый инструмент, кинематику относительного движения инструмента по обрабатываемой поверхности.
2. Изучить влияние размера зернистости абразивных материалов на шероховатость поверхности.
3. Изучить влияние твердости материала на производительность и шероховатость поверхности обрабатываемого материала.
4. Ознакомиться с устройством и настройкой шлифовально-полировального станка мод. ЗШП-350М.
5. Разработать технологический процесс обработки плоских вставок из поделочного камня.

Оборудование и принадлежности:

1. Станок шлифовально-полировальный мод. ЗШП-350М.
2. Станок подрезной мод. СКП.
3. Полировальный станок.
4. Круг отрезной алмазный.
5. Притир чугунный.
6. Наклеечные приспособления.
7. Полировальники.
8. Абразивные и полирующие порошки.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Обработка свободным абразивом.

Доводка – это снятие тончайших слоев материала посредством мелкозернистых абразивных порошков в виде суспензий или алмазных паст, нанесенных на поверхность инструмента (притира). В результате выполнения этой операции с поверхности обрабатываемой детали удаляются неровности, оставшиеся от предыдущей обработки, при одновременном достижении низкой шероховатости и очень высокой степени точности плоской или сферической поверхности.

вание заготовки поверхностью инструмента притира. Наличие шарового шарнира позволяет верхнему звену свободно самоустанавливаться по поверхности нижнего звена во время их относительных перемещений и произвольно вращаться со скоростью $w_{вз}$ вокруг оси OY в направлении вращения нижнего звена под действием сил сцепления, возникающих на поверхности притирающихся звеньев. При обработке плоской поверхности ось вращения верхнего звена OY параллельна оси вращения нижнего звена. Соприкосновение рабочей поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки происходит по площадкам конечных размеров.

Абразивные материалы.

Зерна абразивного материала, не связанные между собой в инструменте, называются свободными. Для отделочных методов обработки применяются абразивные материалы естественного или искусственного происхождения.

Естественные абразивные материалы изготавливаются из горных пород и минералов. К ним относятся алмаз, корунд, наждак, гранат, кварц, кремнь, пемза, полево шпат, гематит (крокус), каолин, мел, тальк, венская известь и др.

Алмаз (А) – кристаллическая модификация углерода, самый твердый из всех минералов. Алмазные порошки делятся на две группы: шлифпорошки и микропорошки. Из естественных алмазов выпускаются микропорошки марок АМ и АН с повышенной абразивной способностью. Масса алмаза измеряется в каратах (1 кар = 0,2 г).

Крокус – используется как тонкий полировальный материал при изготовлении полировальных паст для полирования благородных металлов и некоторых органических стекол.

Искусственные абразивные материалы – алмаз синтетический, эльбор (кубический нитрид бора), карбид бора, карбид кремния (черный и зеленый), электрокорунды (белый, нормальный, хромистый, титанистый, циркониевый, монокорунд), керметы, оксид алюминия, а также полировально-доводочные порошки: оксид хрома, оксид железа, огарок колчедана, сапфировая пудра, бутылочное стекло и др.

Алмаз синтетический (АС) почти не отличается от естественного, а по некоторым показателям даже превосходит его. В зависимости от размера зерен, метода их получения и контроля порошки из синтетических алмазов делят на две группы: шлифпорошки и микропорошки.

Шлифпорошки из синтетических алмазов выпускаются пяти марок:

– АСО – зерна с наиболее развитой режущей поверхностью и повышенной хрупкостью, вследствие чего подвергаются микровыкрашиванию и самозатачиванию; рекомендуются для изготовления инструмента на органической связке и для чистовых работ;

– АСР – зерна с меньшей хрупкостью и большей прочностью по сравнению с порошками марки АСО; применяются для изготовления инструментов на керамических, металлических и органических связках;

– АСВ – зерна с меньшей хрупкостью и большей прочностью по сравнению с порошками марок АСО и АСР, имеют более гладкую поверхность и используются для изготовления инструмента на металлических связках, работающего при больших давлениях;

– АСК – зерна с меньшей хрупкостью и большей прочностью по сравнению с порошками марок АСО, АСР, АС, и АСВ, рекомендуются для изготовления инструментов на металлических связках, работающих в особо тяжелых условиях;

– АСС – зерна с наибольшей прочностью по сравнению с порошками всех вышеуказанных марок. Прочность зерен АСС выше прочности естественных алмазов; рекомендуются для резки и обработки корунда, рубина и других сверхтвердых материалов.

Микропорошки из природных алмазов обозначают АМ и АН, а из синтетических алмазов – АСМ и АСН. Микропорошки АМ и АСМ с нормальной абразивной способностью рекомендуются для изготовления инструментов, паст и суспензий, применяемых при обработке твердых сплавов, закаленных сталей и других твердых материалов. Микропорошки АН и АСН с повышенной абразивной способностью рекомендуются для изготовления инструментов, паст и суспензий, применяемых при обработке естественных и синтетических алмазов и других сверхтвердых материалов.

Кубический нитрид бора (КНБ) – абразивный материал, состоящий в основном из кубического нитрида бора или его модификации. Физико-механические свойства близки к свойствам алмаза. По твердости кубический нитрид бора несколько уступает только алмазу. Имеет большую теплостойкость – до 1 426 °С. Обладает высокой химической устойчивостью. Абразивные порошки из кубического нитрида бора имеют две модификации *эльбор* и *кубонит*.

Карбид бора (КБ) – (B_4C) обладает высокой твердостью, уступающей алмазу и нитриду бора, химической стойкостью, износостойкостью и абразивной способностью. Зернистость от 16 до 4 и от Н40 до Н5.

Карбид кремния (карборунд) (nC) получают плавлением в электрических печах при температуре до 2 500 °С из кварцевого песка, нефтяного кокса и пеак. Выпускают два вида кремния: черный (КЧ), зеленый (КЗ). Карбид кремния зеленый обозначают 62С–64С; карбид кремния черный – 55С–54С. Зеленый карбид кремния имеет повышенную хрупкость и большую абразивную способность по сравнению с черным. Применяется для обработки материалов с малым пределом прочности, таких как камень, керамика, стекло.

Электрокорунд (nA) получают в электрических печах из высокоглиноземного сырья кристаллического оксида алюминия Al_2O_3 . Уступает по твердости алмазу, эльбору, карбиду бора и карбиду кремния. Производится несколько разновидностей электрокорунда.

Электрокорунд нормальный с содержанием 92–95 % Al_2O_3 . Марки 13А, 15А, 16А имеют цвет от светлого до темно-коричневого. *Электрокорунд белый* изготавливаются марки 24А, 25А. По сравнению с нормальным электрокорундом белый имеет повышенную микротвердость и хрупкость. *Электрокорунд хромистый* имеет розовую окраску. Имеет более высокую механическую прочность и абразивную способность зерен по сравнению с белым электрокорундом. Выпускают в виде шлифзерна и шлифпорошков марок 34А–32А. *Электрокорунд титанистый* представляет собой соединение оксида алюминия с оксидом титана. Выпускают в виде шлифзерна и шлифпорошков марки 37А. *Электрокорунд циркониевый* изготавливается из электрокорунда белого с добавлением оксида циркония. Отличается высокой прочностью. *Монокорунд* – обладает повышенной режущей способностью, так как имеет изометрическую форму и острые режущие кромки, большую прочность и твердость по сравнению с зернами нормального и белого электрокорунда. Применяют марки 4А, 43А, 44А, 45А для шлифования камня средней твердости. *Сферокорунд* применяется в абразивных инструментах для обработки мягких и вязких материалов.

Оксид алюминия (Al_2O_3 – глинозем) – мелкодисперсный белый абразивный материал твердостью по шкале Мооса – 9. Имеет высокую прочность, повышенную износостойкость. Пасты, изготовленные на основе оксида алюминия, используются для притирки и доводки.

Оксид железа (Fe_2O_3) (*крокус*) – полировальный порошок коричневого цвета применяется для полирования стекол, благородных и цветных металлов.

Оксид хрома (Cr_2O_3) – абразивный материал темно-зеленого или почти черного цвета, применяемый для изготовления полировальных паст.

Твердость абразивных материалов количественно оценивается по десятибалльной шкале Мооса и по микротвердости. По шкале Мооса твердость абразивных материалов располагается в следующей последовательности: алмаз – 10, корунд – 9, топаз – 8, кварц – 7, полевой шпат – 6, апатит – 5, плавиковый шпат – 4, известковый шпат – 3, гипс – 2, тальк – 1. Абразивные материалы с твердостью свыше 7 являются материалами *высокой* твердости, 5–7 – *средней* твердости, менее 5 – *низкой* твердости. Для доводки применяют материалы высокой и средней твердости, а для полирования материалы низкой твердости.

Зернистость абразивов.

Зернистость – условное обозначение шлифующего материала в соответствии с размером абразивных зерен основной фракции. В зависимости от размера зерен (неалмазных) материалы подразделяются на четыре группы (в мкм):

- 1) шлифзерно2 000–160,
- 2) шлифпорошки125–40,
- 3) микропорошки63–14,
- 4) тонкие микрошлифпорошки...10–3.

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 стоны ячейки сита, на которой задерживаются зерна основной фракции (табл. 1.1). Зернистость микрошлифпорошков и тонких микрошлифпорошков обозначают по верхнему пределу размеров основной фракции с добавлением М63. Каждый номер зернистости характеризуется следующими фракциями: предельной, крупной, основной, комплексной и мелкой (первой и второй). Комплексная фракция для шлифзерен и шлифпорошков, в свою очередь, состоит из трех фракций: крупной, основной и смежной; для микропорошков – из двух фракций: основной и смежной. Определяющей характеристикой зернистости является ее основная фракция. Крупность основной фракции в зависимости от номера зернистости представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Распределение абразивных материалов по крупности зерна

Группа материала	Номер зернистости
Шлифзерно	200; 100; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 32; 25; 20; 18
Шлифпорошки	12; 10; 8; 6; 5; 4; 3
Микропорошки	M63; M50; M40; M28; M20; M14
Тонкие микропорошки	M10; M7; M5

Размер зерен в каждой фракции шлифпорошков определяется размерами сторон ячеек в мкм двух контрольных сит. Зерна должны проходить через верхнее сито, а на нижнем – задерживаться.

Порошки природных и синтетических *алмазов* в зависимости от размеров зерен делят на три группы:

- 1) шлифпорошки (3 000–80 мкм),
- 2) микропорошки (80–1 мкм),
- 3) субмикропорошки.. (1–0,1 мкм).

Инструменты для шлифования и полирования – металлические шлифовальники с плоскими, выпуклыми и вогнутыми сферическими рабочими поверхностями. Инструмент для обработки плоских поверхностей называют планшайбами. Шлифовальники изготавливают из чугуна СЧ18 и СЧ28, латуни ЛС63 и ЛС59-1Л и стали с низким содержанием углерода – сталь 10, сталь 20.

Полировальный инструмент имеет также вид планшайб, грибов и чашек. Материалами, образующими рабочую поверхность, служат войлок шерстяной, фетр, сукно шинельное, кожа, техническая ткань, полировочная смола или синтетические вещества, например, полиуретан. Вид материала выбирают в зависимости от обрабатываемого камня, требований к точности и шероховатости полированной поверхности. Наклеивают полирующий материал на поверхность корпуса с помощью смол и специальных клеев. В качестве полирующих абразивов используют суспензии тонкодисперсных порошков оксидов некоторых металлов: диоксид церия, диоксид циркония, оксид хрома, диоксид олова, оксид алюминия, оксид железа и алмазные пасты.

Этапы маршрутной технологии обработки ювелирных камней.

Маршрутная технология обработки ювелирных и художественных изделий из цветного камня состоит из последовательности выполнения следующих этапов:

1. заготовительного;
2. шлифования черногого (формообразования);
3. шлифования чистового;
4. отделочной (финишной) обработки поверхностей.

Заготовительные операции включают в себя отбор сырья по качеству, разметку, разрезку камня на штучные заготовки. Разметка заготовок производится с учетом цвета, рисунка, строения и прочих особых свойств конкретного сырья.

Шлифование выполняют в две стадии – предварительное черновое и чистовое. Черновое шлифование выполняют алмазными кругами зернистостью в интервале 400/315–100/80 или притирами со свободным абразивом в виде суспензии. Чистовое шлифование выполняют кругами на металлической связке М1 100 %-ной концентрации зернистостью 63/50–125/100.

Механизм обработки свободным абразивом.

При шлифовании *свободным абразивом* материал разрушается от воздействия зерен, перекатывающихся в зазоре между поверхностями изделия и инструмента (рис. 1.2).

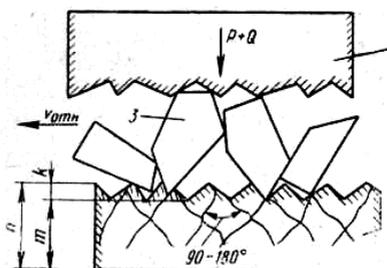


Рис. 1.2. Схема работы единичного абразивного зерна

Зерна перекатываются с большими угловыми скоростями, наносят удар, что приводит к пересечению трещин и отслоению частиц материала от основной массы с образованием шероховатого микрорельефа в виде множества выступов и впадин. Существенную роль при

обработке камней выполняет смазывающе-охлаждающая жидкость (СОЖ), удаляющая продукты разрушения камня из зоны обработки камня, отводящая тепло из зоны резания и снижающая силы резания.

Размер зерна абразивных порошков влияет на качество поверхностного слоя обрабатываемого материала. Выбор зернистости при обработке минералов зависит в основном от их твердости. С увеличением зернистости повышается производительность обработки, однако возрастает шероховатость поверхности. В результате последовательной обработки поверхности микронеровность рельефного слоя срезается, поверхность выравнивается и приобретает матовость, глянец или блеск при шероховатости $Ra = 0,16-0,08$. После шлифования поверхности лучи света, падающие на поверхность, рассеиваются под различными углами, а после полирования отражаются в одинаковом направлении, обеспечивая высокую отражательную способность.

На среднее арифметическое отклонение профиля обработанной поверхности Ra наибольшее влияние оказывает зернистость абразива D , а из режимных параметров – скорость резания V . Зависимость достижимой шероховатости стекла от размера абразива приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Параметры шероховатости поверхностей стекла после шлифования

Шероховатость Ra, мкм	Вид абразивного инструмента и зернистость	Характеристика обработанной поверхности
8–20	Абразивный порошок с номером от 16 до 25	Грубо обработанная
20–10	Абразивный порошок с номером от 10 до 16	Грубо обработанная
10–5	Абразивный порошок с номером от 16 до 25	Поверхность после грубого шлифования
2,5–1,25	Абразивный порошок с номером от M28 до M10	Поверхность после среднего шлифования
1,12–0,63	Абразивный порошок с номером от M14 до M28	Поверхность после среднего шлифования

Шероховатость Ra, мкм	Вид абразивного инструмента и зернистость	Характеристика обработанной поверхности
0,63–0,32	Абразивный порошок с номером от M10 до M14	Поверхность после тонкого шлифования
0,32–0,16	Абразивный порошок с номером от M5 до M7	Поверхность после тонкого шлифования
0,16–0,02	Абразивный порошок с номером от M5 до M3	Поверхность после тонкого шлифования
0,05–0,025	Полировальные порошки на волокнистом, смоляном или металлическом полировальнике	Полированная поверхность с незначительными следами недополировки
0,002–0,001	Полировальные порошки на волокнистом, смоляном или металлическом полировальнике	Полированная поверхность

Финишная обработка поверхностей включает в себя операции доводки и полирования, которые устраняют следы предыдущей обработки.

Доводка поверхности. Операцию доводки выполняют с помощью мелкозернистого абразива, зерна которого свободно распределены в доводочной пасте или суспензии. Инструментом служит притир, на поверхность которого наносится паста или суспензия. Для предварительной доводки применяют микропорошки M28–M14, а для окончательной – M10–M5. Обработку производят пастами от АСМ 40/63 до АСМ 3/2 при частоте вращения инструмента до 800 об/мин, изделия – 30–40 об/мин. Декоративное полирование внутренних поверхностей производят войлочными и фетровыми кругами, диаметр и длина которых определяется размерами детали. Финишную обработку сферических и эллипсоидных выборок производят щетками при доводке, войлочными кругами при полировании.

Полирование является окончательной операцией обработки камер, при которой шероховатость поверхности снижается до минимума. Полирование не исправляет крупные дефекты предшествую-

шей обработки камня. Процесс полирования представляет собой комплекс взаимосвязанных механических (микроабразивных), химических и термических процессов, соотношения между которыми обуславливается видом полирующего инструмента. При полировании камня войлочным, фетровым или матерчатым кругом со свободной полирующей суспензией доминирующая роль принадлежит физико-химическим процессам. При таком характере микрорельефа поверхность камня становится блестящей, приобретая высокую светоотражающую способность. При механизированной финишной обработке применяют войлочные круги и волосяные щетки. Для каждой зернистости пасты должен быть отдельный круг или щетка, которые заранее пропитывают абразивной или алмазной пастой. Для полирования применяют алмазные пасты, пасты ГОИ, суспензии двуокиси церия, окиси хрома. Количество подаваемой пасты или суспензии необходимо уменьшать по мере завершения процесса полирования камня.

Полируемость камня. Существенное влияние на эффективность процесса полирования оказывает способность камня подвергаться полировке. Полируемость оценивается двумя количественными показателями: величиной предельного блеска (отражательной способностью после полировки) и временем, затрачиваемым на полировку камня до предельного блеска. Величина отражательной способности после полировки оценивается по шкале блескометра в % к эталону. По второму показателю, который оценивается в относительных единицах к эталону, камни подразделяются на три группы:

- 1) легкополируемые (относительное время полировки)... 1–2;
- 2) среднеполируемые..... 2–5;
- 3) труднополируемые..... более 5.

Полируемость камня во многом зависит от твердости и плотности камня и твердости абразивного материала. Чем ниже эти показатели, тем хуже их способность подвергаться полированию до блеска.

Шероховатость поверхности после полирования $R_z = 0,04-0,02$.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При изготовлении плоских вставок из куска камня последний вначале распиливается на пластины требуемой толщины с припуском на шлифование плоскостей с учетом текстуры материала. С помощью

трафарета пластину размечают и разрезают на подрезной пиле на заготовки, оставляется припуск на дальнейшую обработку. Распиленные заготовки наклеивают на приспособление – блокируют.

В качестве черновой базы принимают поверхность с меньшими отклонениями от правильной формы, чтобы обеспечить устойчивое положение заготовок на приспособлении. В единичном производстве операцию выполняют способом поверхностного притира при помощи свободного абразива зернистостью №6–№8. После шлифования первой стороны блок разбирают, заготовки промывают и по той же схеме расположения вновь устанавливают на приспособлении. В процессе шлифования второй поверхности контролируют ее параллельность по отношению к обработанной ранее. Затем заготовки отклеивают от приспособления, промывают, протирают и производят контроль ее толщины. Контроль выполняют штангенциркулем.

Следующими операциями являются тонкое шлифование и полирование. Тонкое шлифование выполняют свободным абразивом в два перехода микропорошками зернистостей М20 и М10. После тонкого шлифования первой стороны и промывки блока выполняют ее полирование. После промывки полированную поверхность лакируют для защиты от повреждений при переклеивании и блок разбирают. Для лакирования применяют нитролаки, прочно удерживающиеся на поверхности и легко смываемые после обработки. Затем заготовки повторно блокируют и обрабатывают вторую сторону в той же последовательности. Полированные детали промывают и контролируют размеры и качество поверхности.

Методика выполнения работы

Работу выполнить в следующем порядке.

1. Распиловочная. Распилить камень на пластины толщиной 5–6 мм.
2. Разметка. Выбрать на пластине бездефектные участки и разметить контуры заготовки.
3. Распиловочная. Разрезать пластины на прямоугольные заготовки размером 30×30 мм. Отрезать углы, придав заготовке форму восьмиугольника.
4. Наклеечная. Нагреть пластины и металлический диск, нанести смолу или парафин на поверхность пластин и наклеить их на блокировочный диск.

5. Шлифовальная. Шлифовать предварительно первую сторону пластин на станке ЗШП абразивом зернистостью №6. Промыть заготовки.

6. Разблокирование. Отклеить заготовки от диска, нагрев его на плитке.

7. Наклеечная. Наклеить заготовки на блокировочный диск шлифованной стороной. Измерить толщину пластин микрометром.

8. Шлифование грубое второй стороны. Шлифовать предварительно вторую сторону пластин на станке ЗШП абразивом зернистостью №6.

9. Шлифовальная. Шлифовать на станке мод. ЗШП за два перехода абразивом зернистостью М20 и М10. Измерить толщину пластин микрометром.

10. Блокирование. Промыть заготовки от шлама и просушить. Нагреть пластины на электрической плитке и склеить 3–4 заготовки между собой столбиком с помощью наклеичной смолы или парафина.

11. Шлифовальная. Шлифовать боковые стороны.

12. Разблокирование. Разогреть столбик на плитке и разъединить пластины.

13. Шлифовальная. Шлифовать фаски.

14. Полировальная. Полировать на двухшпиндельном полировальном станке на тканевом инструменте, покрытым полирующим абразивом.

15. Контроль. Окончательный контроль формы, размеров и качества поверхности вставки.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Схема обработки способом свободного поверхностного притира.
3. Технологический процесс изготовления плоских вставок.
4. Построить графики зависимости съема материала от силы прижатия и скорости вращения.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие абразивные материалы применяют для доводки поверхностей камней?

2. Какая размерность принята для абразивных материалов?
3. Поясните механизм формирования шероховатости поверхности камня при доводке.
4. В чем сущность процесса полирования?

Литература

1. Окатов, М. А. Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов и др.; под ред. М. А. Окатова. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.
2. Зубаков, В. Г. Технология оптических деталей; учебник для вузов / В. Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С. К. Штандель; под ред. М. Н. Семибратова. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.
3. Перерозин, М. А. Справочник по алмазной обработке стекла / М. А. Перерозин. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
4. Синкенес Дж. Руководство по обработке драгоценных и полуделочных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.

Лабораторная работа № 2

ШЛИФОВАНИЕ КАМНЯ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Цель работы: изучить процесс формообразования микрорельефа плоских поверхностей алмазным инструментом и приобрести практические навыки изготовления плоских вставок.

Задачи работы:

1. Изучить способ шлифования алмазным инструментом, виды применяемого инструмента.
2. Изучить влияние размера зернистости абразивных материалов на производительность шлифования и шероховатость поверхности.
3. Изучить влияние твердости материала на производительность и шероховатость поверхности обрабатываемого материала.
4. Ознакомиться с устройством станков для шлифования.
5. Разработать технологический процесс обработки плоских вставок из подделочного камня.

Оборудование и принадлежности:

1. Станок шлифовально-полировальный ОС 320 и СД 120.
2. Станок подрезной мод. СКП.
3. Полировальный станок.
4. Круг отрезной алмазный.
5. Шлифовальные алмазные инструменты.
6. Полировальники.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Хрупкие материалы (камни, стекло, керамика, фарфор и пр.) подвергаются механической обработке с помощью абразивных инструментов. Их можно шлифовать алмазным инструментом или водными суспензиями абразива, находящегося в свободном состоянии. Процесс хрупкого разрушения стекла и камня происходит в результате царапающего воздействия закрепленных алмазных зерен. Перед режущей кромкой зерна появляются трещины, направленные в сторону его движения. Происходит выкалывание частиц, отделяемых от основной массы. Вдоль пути, пройденного единственным зерном, остается царапина. Взаимное пересечение большого числа царапин приводит к отделению множества частиц. Образуется шероховатая шлифованная поверхность.

Работа единичного зерна при шлифовании идентична схеме обработки одного зуба инструмента при вихревом нарезании резьбы. Процесс образования царапины зерном абразива состоит из трех стадий (рис. 2.1). На первой стадии формируется уплотненное ядро из тонкодисперсных продуктов разрушения (рис. 2.1, *а*). На второй стадии перед рабочей гранью зерна появляется трещина, направленная в сторону движения (рис. 2.1, *б*).

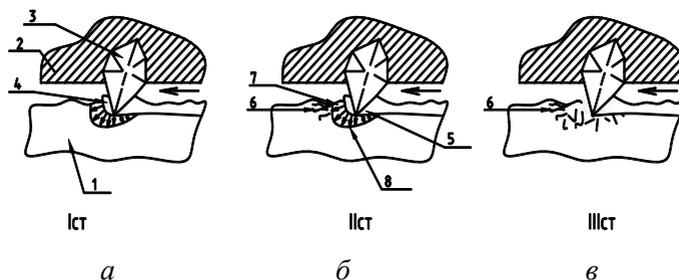


Рис. 2.1. Схема этапов разрушения поверхности камня связанным абразивом
 1 – обрабатываемый камень, 2 – связка инструмента, 3 – зерно, 4 – ядро из тонкодисперсных продуктов разрушения, 5 – продукты разрушения, 6 – трещины, 7 – элемент крупного скола, 8 – объемно-напряженная зона

На третьей стадии происходит отрыв от массива крупного элемента стружки (выкалывание) с одновременным выбросом тонкодисперсных продуктов разрушения (рис. 2.1, *в*). В поверхностном слое образуется нарушенный трещиноватый слой *m* с сеткой трещин, распространяющейся вглубь, происходит смыкание трещин, образованных соседними зернами, с откалыванием от массива общего элемента и образование рельефного слоя. На рабочей поверхности инструмента полезную работу резания выполняет лишь сравнительно небольшой процент зерен от самого числа (до 30 %).

Широкое применение нашли искусственные абразивные материалы, обладающие большей стабильностью физико-механических свойств, чем природные. Среди них синтетический алмаз АС, близкий по физико-механическим свойствам к природному, а по некоторым показателям превосходящий его.

Применяют следующие марки алмазных абразивов:

– АСО – зерна с наиболее развитой режущей поверхностью и повышенной хрупкостью;

– АСР – зерна с меньшей хрупкостью и большей прочностью по сравнению с порошками марки АСО; применяются для изготовления инструментов на керамических, металлических и органических связках;

– АСВ – зерна с меньшей хрупкостью и большей прочностью по сравнению с порошками марок АСО и АСР. Используются для изготовления инструмента на металлических связках, работающего при больших давлениях;

– АСК – зерна с меньшей хрупкостью и большей прочностью по сравнению с порошками марок АСО, АСР и АСВ рекомендуются для изготовления инструментов на металлических связках, работающих в особо тяжелых условиях;

– АСС – зерна с наибольшей прочностью по сравнению с порошками всех вышеуказанных марок. Прочность зерен АСС выше прочности естественных алмазов; рекомендуются для резки и обработки корунда, рубина и других сверхтвердых материалов.

Микропорошки из природных алмазов обозначаются АМ и АН, а из синтетических алмазов – АСМ и АСН. Микропорошки АН и АСН с повышенной абразивной способностью рекомендуются для изготовления инструментов, паст и суспензий, применяемых при обработке естественных и синтетических алмазов и других сверхтвердых материалов.

Зернистость абразивов.

Зернистость алмазных шлифпорошков, преобладающих по массе, определяется по основной фракции и обозначается дробью, числитель которой соответствует ячейке верхнего сита, а знаменатель размеру стороны ячейки нижнего сита, на котором данная фракция задержалась при просеивании (табл. 2.1). Размер абразивных зерен в установленном интервале условно называется размер зерен фракции. Приняты два диапазона зернистости алмазных порошков: широкого и узкого диапазона (табл. 2.1).

Шлифпорошки марок АСР, АСВ и АСК имеют соответственно прочность (в Н) 2,4–6,3; 3,6–12,7 и 5,9–26,5.

Отечественной промышленностью выпускаются порошки из синтетических алмазов марок: АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50 и синтетических поликристаллических алмазов следующих типов: АРВ – «баллас», АРК – «карбонадо», АРС – спеки. Числа в обозначении марки синтетических алмазов характеризуют прочность их зерен. Чем больше число, тем выше прочность.

Таблица 2.1

Зернистость алмазных шлифпорошков различных марок

Зернистость шлифпорошков марки					
А	АСО	АСР	АСВ	АСК	АСС
<i>Широкий диапазон зернистостей</i>					
400/250	–	–	400/250	–	–
250/160	–	250/160	250/160	–	–
160/100	160/100	160/100	160/100	–	–
100/63	100/63	–	–	–	–
<i>Узкий диапазон зернистостей</i>					
630/500	–	–	–	–	630/500
500/400	–	–	–	500/400	500/400
400/315	–	–	400/315	400/315	400/315
315/250	–	–	315/250	315/250	315/250
250/200	–	250/200	250/200	250/200	250/200
200/160	–	200/160	200/160	200/160	200/160
160/125	160/125	160/125	160/125	160/125	160/125
125/100	125/100	125/100	125/100	125/100	125/100
100/80	100/80	100/80	100/80	100/80	–
80/63	80/63	80/63	80/63	–	–
63/50	63/50	63/50	–	–	–
50/40	50/40	–	–	–	–
–	–	–	–	–	100/80
–	–	–	–	80/63	80/63
–	–	–	63/50	63/50	63/50
–	–	50/40	50/40	50/40	50/40

Порошки АС2 имеют повышенную хрупкость и используются главным образом в инструментах на органических связках для доводочной шлифовки и полировки камня. Порошки АС4 меньшей хрупкости применяются для инструментов на керамической и металлической связках, а порошки АС6 – на металлической связке. Шлифпорошки АС15 и АС20 содержат более прочные кристаллы с коэффициентом изометричности 1,5–1,6. Шлифпорошки марок

АС32, АС50, АС65, АС80, АС100 используются в инструментах на металлической связке, которые могут работать в тяжелых условиях на операции отрезки и чернового шлифования камня высокой твердости, а также правке абразивных кругов.

Шлифпорошки марок АС65Т, АС80Т являются модификацией основной марки алмазов, отличающиеся более высокой механической прочностью и термостойкостью. Шлифпорошки из синтетических и поликристаллических алмазов обозначаются буквами АР: АРВ1, АРК4, АРС3, АРС4. Индекс В означает типа баллас, К – типа карбонадо, С – спеки. Цифровой индекс выражает сотую часть среднего арифметического значения показателя прочности в Н.

Поликристаллы – конгломераты из мелких сросшихся между собой алмазов и алмазов неправильной формы, связанные материалом шихты, которая используется при их синтезе (железо, никель, хром).

При доводке и полировании используются алмазные микропорошки и порошки из природных и синтетических алмазов нормальной абразивной способности марок АМ и АСМ; микропорошки из природных и синтетических алмазов АН и АСН повышенной абразивной способности. Размер зерен микропорошков 80–1 мкм. Применяются также субмикропорошки АМ5, АСМ5, АМ1, АСМ1. К буквенному обозначению микропорошков добавляют цифровой индекс, обозначающий долю зерен крупной фракции в %. Размер субмикропорошков 1–0,1 мкм.

Зернистость алмазных микропорошков определяется размерами зерен основной фракции и означает дробью, числитель которой соответствует наибольшему значению зерен основной фракции, а знаменатель – наименьшему.

В таблице 2.2 приведена зависимость шероховатости поверхности от зернистости алмазных порошков при шлифовании стекла.

Применение алмазных микропорошков обеспечивает получение поверхности с шероховатостью $Rz = 0,2-0,02$ мкм. Алмазные порошки поставляются сухими в пластмассовых или стеклянных флаконах, закрываемых крышечкой, массой 2, 5, 10, 20, 50, 100 и через каждые 100 г до 10 000 г.

Алмазные порошки и микропорошки имеют специальное обозначение:

– шлифпорошки из синтетических алмазов АС6 с зернистостью 160/125 ГОСТ 9206-80;

- микропорошок АМ5 40/28 ГОСТ 9206-80;
- субмикропорошок АМ5 0,5/0,1 ГОСТ 9206-80.

Таблица 2.2

Зернистость микропорошков
и шероховатость обрабатываемой поверхности

Зернистость алмазного микропорошка	Шероховатость, мкм	
	Ra, мкм	Rz, мкм
50/40	0,25	1,25
40/28	0,2	1,0
28/20	0,16	0,8
20/14	0,125	0,63
14/10	0,1	0,5
10/7	0,08	0,4
7/5	0,063	0,32
5/3	0,05	0,25
3/2	0,04	0,2
2/1	0,032	0,16
1/0	0,025	0,125

Алмазные пасты изготавливают из природного или синтетического порошка зернистостью от 60/40 до 1/0 марок А2, А3, АМ, АСМ, АС2, АС3, АН, АСН, АМ1, АСМ1, АМ5, АСМ5 и различных добавок: стеарина $C_{17}H_{35}COOH$ (15–30 %), олеиновой кислоты $C_{17}H_{33}COOH$ (30 %), веретенного масла (15–38 %), карбида кремния 63С (38 %), зернистость которого на 2–3 номера ниже зернистости алмаза. Пасты по содержанию алмаза изготавливаются с нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В) массовыми долями алмазов (табл. 2.3).

Рекомендуемая область применения паст определяется ее типом. Например, для обработки драгоценных и поделочных камней применяют тип пасты – К; полупрозрачных материалов – Ц; твердых сплавов, цветных металлов и сплавов – Д; пасты, изготавливаемые водорастворимыми, смываемые водой – В; маслорастворимые, смываемые органическими растворителями (бензин, керосин) – О; универсальные, смываемые водой и органическими растворителями – ВО.

При обработке цветного камня применяют водорастворимые пасты повышенной концентрации.

Таблица 2.3

Зернистость и цвет алмазной пасты

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

По консистенции пасты изготавливают мазеобразными – М и твердыми – Т. Мазеобразные пасты фасуют в тубы, шприцы, пластмассовые банки по 5, 10, 20, 40, 80, 200, 500, 1000 г. Твердые пасты фасуют в пластмассовые или металлические футляры с передвижным дном для подачи пасты.

Условное обозначение пасты из порошка АСМ с зернистостью 20/14 с нормальной массовой долей алмазов (Н), смываемой водой

(В), мазеобразной консистенции (М), типа С записывается следующим образом: паста алмазная АСМ 20/14 НВМС ГОСТ 25593-83.

Связки абразивных инструментов.

Связка должна прочно удерживать абразивные зерна, обладать по отношению к ним и к корпусу хорошей адгезией и быть достаточно термостойкой.

Используют два основных вида связки: металлическую и неметаллическую. Металлическая (М) связка обладает высокой износостойкостью, водостойкостью, температурной и химической стойкостью, плотной структурой, но имеет склонность к засаливанию рабочей поверхности инструмента. Износ алмазных инструментов на металлических связках происходит гораздо меньше. Используется три основных вида металлических связок на основе порошков меди, алюминия, железа, кобальта, олова, никеля, вольфрама:

– на меднооловянной основе типа М2-01 для обработки малоабразивных горных пород средней и низкой прочности;

– на твердосплавной основе повышенной твердости типа М6-02, для обработки прочных, высокоабразивных пород (граниты) и пониженной твердости типа М6-03 для обработки малоабразивных пород повышенной твердости;

– на кобальтовой основе повышенной твердости типа М6-05 для обработки прочных абразивных пород (граниты) и пониженной твердости типа М6-10 для обработки малоабразивных пород средней и низкой прочности (мрамор).

Применяются металлические связки М1, М5, М10, М13, М17, М73 и др.

Неметаллические связки используются в камнеобрабатывающем инструменте, главным образом в сочетании с тонкими абразивными материалами, такими как карбид кремния, электрокорунд, реже – с алмазами. Неметаллические связки подразделяются на *органические* и *неорганические*. Наиболее часто из числа связок органического происхождения используется *бакелитовая* (фенолформальдегидовая, каучуковая, вулканитовая). Для повышения жесткости и устойчивости алмазного инструмента в состав бакелитовой связки вводят наполнители из абразивов и металлических порошков: в состав связки Б1 входит карбид бора (25 %), в Б2 – железный порошок (25 %), Б3 – электрокорунд (22 %), в связку Б4 – карбид кремния зеленый (25 %).

Глифталевая (Гф) связка, полученная при взаимодействии глицирина и фталевого ангидрида, обладает повышенной эластичностью и пониженным налипанием брусков при обработке.

Вулканитовая (В) связка состоит из синтетического каучука, наполнителя и вулканизирующих добавок. Вулканитовые связки марки В1, В2, В3 применяются в алмазных кругах, предназначенных для доводочной шлифовки и полировки. Достоинством является значительная износостойкость и высокая эластичность, обеспечивающая большое количество обрабатываемой поверхности.

Керамическая связка относится к неорганическим связкам и представляет собой спекшуюся смесь, измельченный материал, включающий огнеупорную глину, полевой шпат, тальк, кварц. Применяют в основном марки К1–К10. В качестве абразива с этой связкой используется карбид кремния или электрокорунд. К достоинствам керамической связки относятся значительная износостойкость, температурная и химическая стойкость, водостойкость, большая пористость, теплопроводность. Недостатком является повышенная хрупкость, отчего эти круги не могут применяться в условиях ударной нагрузки.

Твердость связки.

По твердости абразивный инструмент разделяется на 16 групп (табл. 2.4). Буквы обозначают группы твердости, а цифры – твердость инструмента внутри каждой группы; чем больше цифра, тем выше твердость.

Таблица 2.4

Твердость абразивных инструментов

Инструменты по твердости	Обозначение степени твердости	Классификация абразивных инструментов по твердости	Обозначение степени твердости
Весьма мягкий	ВМ1, ВМ2	Твердый	Т1, Т2
Мягкий	М1, М2, М3	Весьма твердый	ВТ
Среднемягкий Средний Среднетвердый	СМ1, СМ2 С1, С2 СТ1, СТ2, СТ3	Чрезвычайно твердый	ЧТ

Структура инструмента.

Содержание абразивных материалов в инструменте определяется его структурой. Структура инструмента характеризуется соотношением объема зерен, абразива и связки. Существует 13 видов структур, обозначаемых номерами от 0 до 12. Структуры подразделяются на три группы: закрытая или плотная, средняя, открытая: № 0–4 – закрытые (плотные), № 5–8 – средние, № 9–12 – открытые, № 13 – чрезвычайно открытые или высокопористые. Чем выше номер структуры, тем больше связки и меньше зерна в единице объема инструмента.

Количество абразивов в связке инструмента влияет на его режущую способность, производительность, износостойкость и качество поверхности.

Содержание алмазного порошка в алмазонасном слое характеризует относительная концентрация. Под концентрацией понимают массовое содержание алмазов в единице объема алмазонасного слоя. За 100 % концентрацию условно принята масса алмаза 4,4 карата в 1 см³ алмазонасного слоя или 0,88 г/см³. При 100 %-ой концентрации, независимо от вида связки, зерна занимают 1/4 объема алмазонасного слоя.

В соответствии с ГОСТ 16181-82 в маркировке кругов относительная концентрация алмазов равная 25 % обозначается цифрой 1, 50 % – 2, 75 % – 3, 100 % – 4.

В отрезных кругах для обработки мягких пород камней концентрация алмаза составляет 25 %, для обработки твердых пород – 50 % и более. Алмазные шлифовальные круги, предназначенные для грубой и средней шлифовки, имеют концентрацию 50 %, для тонкой 50–100 %.

Маршрутная технология обработки ювелирных камней.

Маршрутная технология обработки ювелирных и художественных изделий из цветного камня состоит из последовательности выполнения следующих этапов:

1. заготовительного;
2. шлифования черногого (формообразования);
3. шлифования чистового;
4. отделочной (финишной) обработки поверхностей.

Заготовительные операции включают в себя отбор сырья по качеству, разметку, разрезку камня на штучные заготовки.

Разметка заготовок производится с учетом цвета, рисунка, строения и прочих особых свойств конкретного сырья. Разметка оказывает влияние на конечный результат труда, и потому требует знаний и умения определить в сырье, порой уникальном, будущий образ изделия, хорошо зная свойства цветного камня и экономно его использовать.

Шлифование выполняют в две стадии: предварительное шлифование для формообразования заготовки, а затем тонкое шлифование для достижения требуемых размеров и качества поверхности. Завершается технологический процесс финишными методами обработки для получения блеска на поверхности камня. При этом шероховатость поверхности после обработки снижается по мере уменьшения размера абразивных зерен. Изменение шероховатости поверхности стекла после шлифования алмазными инструментами приведена в таблице 2.5.

Финишная обработка поверхностей включает в себя операции доводки и полирования, которые устраняют следы предыдущей обработки.

Полирование. Поверхность камня под полирование должна иметь низкую шероховатость и однородный рельеф без глубоких рисок. Обработку производят на кругах из войлока, фетра, ткани, кожи или дерева с нанесенной алмазной пастой, полирующими абразивами или мелкодисперсными порошками из оксидов металлов (оксид хрома, церия, циркония, олова, железа).

Таблица 2.5

Параметры шероховатости поверхностей стекла
после шлифования

Шероховатость Ra, мкм	Вид абразивного инструмента и зернистость	Характеристика обработанной поверхности
8–20	Алмазный инструмент от 250/200 до 400/315	Грубо обработанная
20–10	Алмазный инструмент от 160/125 до 200/160	Грубо обработанная
10–5	Алмазный инструмент от 80/63 до 125/100	Поверхность после грубого шлифования, сверления и распиливания

Шероховатость Ra, мкм	Вид абразивного инструмента и зернистость	Характеристика обработанной поверхности
2,5–1,25	Алмазный инструмент от 50/40 до 63/50	Поверхность после среднего шлифования, сверления и центрирования
1,12–0,63	Алмазный инструмент от 40/28 до 50/40	Поверхность после среднего шлифования
0,63–0,32	Алмазный инструмент от 20/24 до 28/20	Поверхность после тонкого шлифования
0,32–0,16	Алмазный инструмент от 14/10 до 10/7	Поверхность после тонкого шлифования
0,16–0,02	Алмазный инструмент от 10/7 до 20/14	Поверхность после тонкого шлифования
0,05–0,025	Алмазный инструмент на органической связке	Полированная поверхность с незначительными следами недополировки
0,002–0,001	Алмазный инструмент на органической связке	Полированная поверхность

Процесс полирования представляет собой комплекс взаимосвязанных механических (микроабразивных), химических и термических процессов, соотношение между которыми обуславливается видом полирующего инструмента. При полировании камня войлочным, фетровым или матерчатым кругом со свободной полирующей суспензией доминирующая роль принадлежит физико-химическим процессам. При таком характере микрорельефа поверхность камня становится блестящей, приобретая высокую светоотражающую способность.

Механические процессы сопровождаются выкалыванием частичек камня и образованием микрорельефа с величиной неровностей 0,01–0,001 мкм. Поверхность камня становится блестящей, приобретая высокую светоотражающую способность.

Химическое воздействие полирующего вещества и связки полировального круга вызывает образование коллоидных пленок слож-

ных химических соединений (например, кремниевые кислоты при обработке пород силикатного состава) толщиной 0,1 мкм.

Термическое воздействие заключается в оплавлении тончайшего поверхностного слоя камня под воздействием выделяющегося при трении о полировальник тепла, содействующего пластическому течению и выглаживанию выступающих микрогребешков.

Режимы полирования. Для достижения требуемых параметров качества поверхностей обработку следует выполнять при рациональных технологических режимах полирования камня (при конвейерных способах обработки):

- 1) окружная скорость полирования.... от 5–12 до 25 м/с,
- 2) скорость рабочей подачи.....0,5–2 м/мин (10–40 мм/с),
- 3) давление прижима инструмента ...0,04–0,2 МПа,
- 4) производительность ($\text{м}^2/\text{ч}$):8–15 – на мраморе, 1,5–6 – на граните.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При изготовлении плоских вставок из куска камня последний вначале распиливается на пластины требуемой толщины с припуском на шлифование плоскостей. На выбор направления распиливания влияет текстура материала. Затем с помощью трафарета с круглыми отверстиями пластину размечают. Если вставки предназначаются для парных ювелирных изделий, например, серьги, то для лучшего воплощения художественного замысла на пластине подбираются участки с одинаковым рисунком. Выбранные на пластине участки должны быть без трещин и включений. Качество пластины нужно проверить с двух сторон. Пластина с нанесенными контурами вставок разрезается на подрезной пиле на заготовки, при этом оставляется припуск 2–3 мм. В дальнейшем сильно выступающие участки заготовки подрезают еще раз.

После распиливания торцевые поверхности имеют неровности и большие отклонения от параллельности, которые значительно уменьшаются на операции грубое шлифование. Для ее выполнения распиленные заготовки наклеивают на приспособление – блокируют. Рациональное использование площади наклеичного приспособления достигается правильным выбором схемы расположения заготовок. Возможны три схемы размещения заготовок в центральной зоне: од-

на, три и четыре заготовки. Выбирается схема, обеспечивающая максимальный коэффициент заполнения, характеризуемый отношением суммарной площади одновременно обрабатываемых заготовок к общей площади блока.

В качестве черновой базы принимают поверхность с меньшими отклонениями от правильной формы, что обеспечивает устойчивое положение заготовок на приспособлении. Наиболее высокой производительности операции грубое шлифование достигают при обработке алмазным инструментом на предварительно настраиваемых станках. В единичном производстве операцию выполняют способом поверхностного притира при помощи свободного абразива зернистостью №6–№8. После шлифования первой стороны блок разбирают, заготовки промывают и по той же схеме расположения вновь устанавливают на приспособлении. В процессе шлифования второй поверхности контролируют ее параллельность по отношению к обработанной ранее. Затем заготовки отклеивают с приспособления, промывают, протирают и производят контроль ее толщины. Контроль выполняют штангенциркулем.

Следующей операцией является сборка блока для выполнения операций тонкого шлифования и полирования. Тонкое шлифование выполняют способом поверхностного притира водными суспензиями микропорошков или алмазным инструментом в виде планшайб. Шлифование свободным абразивом выполняют в два перехода микропорошками зернистостей М20 и М10. После тонкого шлифования первой стороны и промывки блока выполняют ее полирование. После промывки полированную поверхность лакируют для защиты от повреждений при переклеивании и блок разбирают. Для лакирования применяют нитролаки, прочно удерживающиеся на поверхности и легко смываемые после обработки. Затем заготовки повторно блокируют и обрабатывают вторую сторону в той же последовательности. Полированные детали промывают и контролируют размеры и качество поверхности.

Методика выполнения работы

1. Заготовительная. Разрезать камень на пластины толщиной 10–15 мм с припуском 0,7–1,0 мм на обе стороны.
2. Разметка. Разметить контуры заготовки.

3. Отрезная. Разрезать пластины на заготовки на распиловочном станке.

4. Промывка.

5. Блокирование. Нагреть пластины и наклеочное приспособление на электрической плитке. Нанести наклеочную смолу на пластины и равномерно закрепить на торцевой поверхности приспособления.

6. Шлифование грубое первой стороны. Шлифовать предварительно первую сторону пластин на станке ОС 320 абразивом зернистостью 125/100.

7. Разблокирование. Отделить пластины от приспособления, нагрев блок на электрической плитке.

8. Промывка.

9. Блокирование.

10. Шлифование грубое второй стороны. Предварительно шлифуют вторую сторону пластин.

11. Разблокирование.

12. Промывка.

13. Контроль. Измерить толщину пластин штангенциркулем.

14. Блокирование.

15. Шлифование тонкое первой стороны. Шлифовать за два перехода на шлифовальных кругах с зернистостью M28 и M14 на станке ОС 320.

16. Промывка.

17. Полирование первой стороны. Полировать на двухшпиндельном полировальном станке на кожаном или тканевом инструменте, покрытым полирующим абразивом.

18. Промывка.

19. Разблокирование.

20. Блокирование.

21. Шлифование тонкое второй стороны.

22. Промывка.

23. Контроль. Измерить высоту заготовок микрометром.

24. Полирование второй стороны.

25. Промывка.

26. Контроль. Окончательный контроль формы, размера и качества поверхности вставки.

27. Повторить п. 1–26, изменив нагрузку на заготовки.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Схема обработки способом свободного поверхностного притира.
3. Технологический процесс изготовления плоских вставок.
4. Построить график зависимости съема материала от нагрузки.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие алмазные материалы применяют для доводки поверхностей камней?
2. Как влияет вид и размер абразива на производительность обработки?
3. Поясните механизм формирования шероховатости поверхности камня при обработке связанным абразивом.
4. Как влияет изменение нагрузки на заготовку и скорость резания на съем материала?

Литература

1. Окатов, М. А. Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов и др.; под ред. М. А. Окатова. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.
2. Зубаков, В. Г. Технология оптических деталей: учебник для вузов / В. Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С. К. Штандель; под ред. М. Н. Семибратова. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.
3. Перерозин, М. А. Справочник по алмазной обработке стекла / М. А. Перерозин. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
4. Синкенкес Дж. Руководство по обработке драгоценных и полуделочных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.

Лабораторная работа № 3

ТЕХНОЛОГИЯ РАСПИЛИВАНИЯ КАМНЯ АЛМАЗНО-ОТРЕЗНЫМИ КРУГАМИ

Цель работы: изучить технологию, оборудование и инструмент для распиливания камня алмазными отрезными кругами и приобрести практические навыки изготовления заготовок на подрезном станке.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с конструкцией алмазно-отрезных кругов.
2. Изучить схемы резания, используемые в камнерезных станках.
3. Ознакомиться с устройством и принципом действия отрезных станков.
4. Приобрести практические навыки изготовления заготовок.

Оборудование и принадлежности:

1. Станки камнерезные подрезные.
2. Круг алмазный отрезной АОК.
3. Сырье из поделочного камня.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Отрезные круги предназначены для разрезания сырья на заготовки, быстрого удаления излишнего материала, прорезания в изделиях пазов заданного размера и формы. Основу конструкции алмазного отрезного круга составляет тонкий стальной диск с посадочным отверстием в центре. По периметру диска закрепляют алмазосущий слой в виде сплошного полного кольца или нескольких сегментов.

Распиливание является первой операцией при обработке камня, чтобы получить ровный и точный разрез. Алмазно-отрезной круг (рис. 3.1) состоит из корпуса – стального диска из высококачественной закаленной стали с центральным посадочным отверстием, и алмазного слоя, образующего сплошную или прерывистую режущую кромку. Процесс алмазной резки заключается в крупном разрушении обрабатываемого камня кристаллами алмаза, закрепленными в металлической связке инструмента, и удалении измельченных продуктов разрушения из зоны резания. Алмазные зерна в процессе резания изнашиваются, но одновременно происходит изнашивание металлической связки. Новые алмазные зерна, режущие

кромки которых выступают над уровнем связки, постепенно обнажаются и начинают участвовать в процессе резания, поддерживая его на определенном уровне.

Круги отрезные со сплошным алмазосодержащим слоем формы 1A1R изготавливаются диаметром D от 50 до 500 мм с толщиной H от 0,15 до 2,4 мм, зернистостью от 50/40–400/315 (рис. 3.1, а).

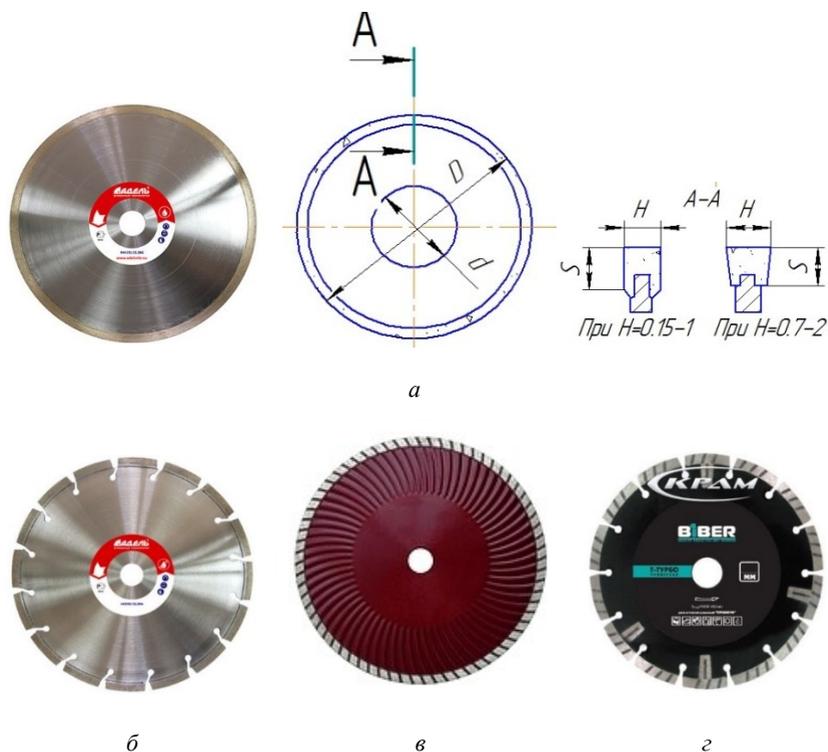


Рис. 3.1. Круги отрезные алмазные

- а – общий вид и схема конструкции со сплошной сегментной режущей кромкой;
- б – схема конструкции и общий вид кругов со сегментной режущей кромкой;
- в – со сплошной с кромкой «Турбо»; з – сегментные с кромкой «Турбо»

Повышенная жесткость рабочего слоя позволяет изготавливать отрезные круги минимальной толщины. Используются природные и синтетические алмазы марок А2, А3, А5 (цифра означает процент изометричных зерен в десятках процентов), АС15, АС20, АС32,

АС50, АС65 (цифра означает прочность зерна в Ньютонах при разрушении между двумя твердосплавными пластинами или из корунда) и металлическая связка. Относительная концентрация алмазов в алмазоносном слое – 25, 50, 75, 100, 125, 150 %. Скорость резания составляет 25–40 м/с. Радиальное и торцевое биение круга зависит от диаметра D , толщины H и зернистости круга и составляет 0,03–0,1 мм и 0,05–0,25 мм соответственно. Применяют металлические связки на основе порошков меди, алюминия, железа, кобальта и гальваническую связку. Алмазоносные слои получают методами порошковой металлургии. Другой способ закрепления алмазных зерен в инструменте – гальванический. Пример условного обозначения алмазного отрезного круга формы 1А1R диаметром $D = 200$ мм, диаметром посадочного отверстия $d = 32$ мм, высотой $H = 1,5$ мм, толщиной алмазного слоя $S = 10$ мм из алмазных порошков марки АС 20 зернистостью 160/125, относительной концентрации алмазов 50 %, на металлической связке М2-01: **2726-0683 АС20 160/125М2-01 ГОСТ 10110-87.**

Круги отрезные сегментные (рис. 3.1, б) изготавливаются диаметром $D=250–2000$ мм с толщиной корпуса $H = 2,5–11,5$ мм. Используют для разрезания каменных глыб, блоков и толстых плит. Сегментные круги обеспечивают лучшие условия охлаждения инструмента и отвода шлама из распила. Круг состоит из корпуса – диска с радиальными пазами, напаянными на него алмазными элементами в виде сегментов. Используется связка металлическая марок М2-01, М6-02, М6-03. Относительная концентрация алмазов сегментных углов 25 % и 50 %. Межсегментные пазы бывают широкими (круги общего назначения) и узкими (круги для работы на хрупких материалах). Алмазоносный слой сегментов изготавливают из алмазных порошков марок АРС3 зернистостью 100/800–500/400; А3, А4, А5 зернистостью 100/800–400/315; АС65, АС80 зернистостью 650/500–250/200.

Круги алмазные отрезные сегментные и с узкими, и с широкими межсегментными пазами позволяют делать более ровный срез по сравнению с сегментными дисками. Конфигурация дисков «Турбо» имеют сплошную рифленую турбо-кромку, которая позволяет делать более плавный и аккуратный шов, чем шов, получаемый сегментным диском. Конфигурация дисков «Турбо» позволяет применять их для сухой резки, а избежать перегрева позволяет воздушное охлаждение за счет волнистого (рифленого) профиля и отверстий в теле диска.

Турбированная форма сегментных отрезных кругов (рис. 3.1, з) также улучшает условие выноса шлама из зоны резания, а интенсивное охлаждение диска значительно увеличивает срок службы сегментов и повышает эффективность использования инструмента при мокрой и сухой резке.

Существуют два вида резки с помощью алмазных дисков – мокрая и сухая. Подача охлаждающей жидкости увеличивает стойкость алмазного инструмента, скорость, производительность, уменьшает количество пыли и шума, предотвращает откалывание алмазных сегментов от диска с прерывистым режущим слоем, позволяет выполнить более глубокий рез.

При резании камня зерна алмаза, несмотря на их очень высокую твердость, изнашиваются. Для поддержания режущей способности инструмента желательно, чтобы связка изнашивалась пропорционально износу алмазных зерен и затупившиеся зерна вовремя выпадали из связки, освобождая место новым алмазам. Состав связки должен соответствовать материалу, который подлежит обработке и условиям резания: слишком твердая связка будет изнашиваться медленнее алмазов и засаливаться; слишком мягкая будет изнашиваться быстрее алмазов, и они будут выпадать из алмазоносного слоя.

Алмазный инструмент на гальванической связке обеспечивает высокую скорость распиливания камня, так как кристаллы алмаза надежно закреплены слоем никеля и выступают над поверхностью связки, но имеют малый ресурс работы инструмента, вследствие небольшой толщины алмазоносного слоя.

Этапы заготовительной операции.

Заготовительная операция распиловки камня включает в себя выбор сырья по качеству, разметку, разрезку блоков на фанеру (пластины) и разрезку пластин на штучные заготовки.

Отбор сырья и разметка камня — операции ответственные, часто определяющие декоративное и художественное достоинство будущего изделия. Чтобы разглядеть цвет и рисунок, камень обычно смачивают водой. Смоченный срез выглядит как полированный. Разметчик должен не только знать камень, но и бережно относиться к сырью, и помнить, что рисунок в камне и его цвет неповторимы и, относясь к нему равнодушно, разрезав камень только с учетом необходимых для будущего изделия размеров, можно испортить художественное произведение.

Разметчик должен знать, как следует резать различные породы камня, чтобы получить максимальный декоративный художественный эффект. Яшма, орлец, агат, обсидиан и многие другие цветные камни требуют индивидуального подхода. Особое внимание следует обратить на разрезание фанеры-пластины на штучные заготовки для ювелирных вставок, так как именно в этих случаях красивый камень часто разрезают на заготовки по шаблону, без учета его декоративных свойств. В результате вставки в запонках, серьгах и других ювелирных изделиях выглядят скучными, неинтересными, не отвечают эстетическим требованиям покупателя. При резке камня на заготовки важно не только учитывать его цвет и рисунок, но и правильно выбирать направление реза с учетом оптических свойств камня. Это требование особенно важно для минералов и горных пород, обладающих такими оптическими свойствами, как иризация, переливчатость, игра цветов и др.

Резка камня. В зависимости от габаритов исходного сырья (глыба, валун, облом, плита, кусок) различают две основные стадии резки – предварительную резку и резку на заготовки. Задачей предварительной резки является получение из больших глыб (валунов) камня кусков, плит меньших размеров, удобных для транспортировки и дальнейшей обработки. Резка плит на заготовки – это изготовление штучных заготовок для конкретных изделий из цветного камня. Этой операции предшествует операция по разметке камня. Для обработки камня используют отрезные круги зернистостью 400/315–125/100 на металлической связке, которая прочно удерживает распределенные в ней зерна алмаза. Концентрация алмазного порошка 50–100 %. Круги отрезные изготавливают с нормальной и повышенной точностью следующих размеров, мм: $D = 50–500$, $d = 12–76$, $H = 0,15–2,4$ и $S = 2,5–5$. Для резки камней больших размеров применяют круги отрезные сегментные (рис. 3.1, б) диаметром 250–2000 мм. При разрезании камня необходимо обеспечить скорость резания порядка 25–40 м/с, поэтому частота вращения шпинделя выбирается в зависимости от диаметра алмазного круга.

Станки для резки камня.

Основные схемы резания на распиловочных станках алмазными отрезными кругами представлены на рисунке 3.2. Применяют схемы резания с тангенциальной и радиальной подачей.

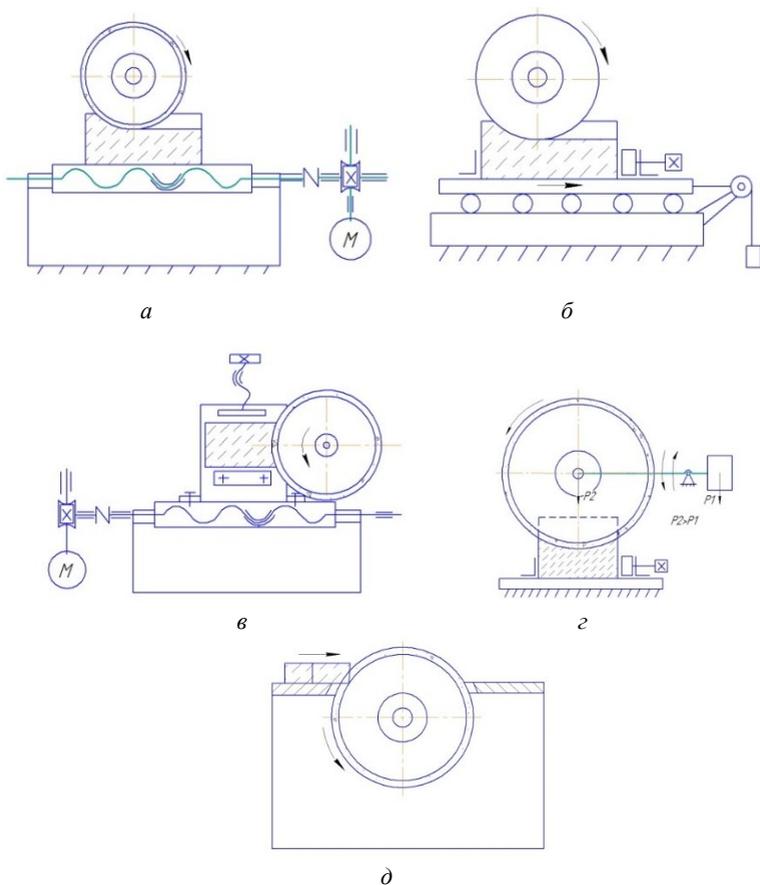


Рис. 3.2 Схемы резания на алмазно-отрезных кругах:
а – с тангенциальной жесткой подачей (маятниковая схема);
б – с тангенциальной гравитационной подачей;
в – с радиальной жесткой подачей;
г – с радиальной гравитационной подачей;
д – с тангенциальной ручной подачей (подрезная пила)

Для резки каменных глыб и толстых плит используется схема резания с тангенциальной подачей, при которой ось вращения круга расположена выше плоскости стола, а стол с закрепленным на нем камнем подается на отрезной круг (рис. 3.2, *а*, *б*). Применяются также станки с тангенциальной подачей отрезного круга относительно не-

подвижного камня. При такой схеме силы резания уменьшаются вследствие меньшей глубины резания. Камни меньших размеров распиливают на станках с радиальной подачей заготовки или инструмента (рис. 3.2, в). При использовании маятниковой схемы (рис. 3.2, з) шпиндель с кругом устанавливают на одном конце рычага, а двигатель привода – на другом. При распиливании небольших кусков сырья и пластин используется схема, в которой шпиндель расположен ниже неподвижного стола. Верхняя часть отрезного круга (рис. 3.2, д) выступает над его рабочей поверхностью. Тангенциальная подача камня на абразивный круг осуществляется вручную.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Распиловка сырья для шаров.

Заготовкой для изготовления шара из камня может служить куб, многогранник либо цилиндр.

Куб образуется распиливанием массива сырья на отрезном станке размером боковой стороны, равной диаметру шара d с учетом припуска на дальнейшую обработку (рис. 3.3, а, б); восьмиугольный многогранник образуется из куба удалением восьми граней (рис. 3.3, в), а цилиндрическая заготовка – высверливанием камня из сырья с диаметром, равным диаметру шара также с учетом припуска (рис. 3.3, з).

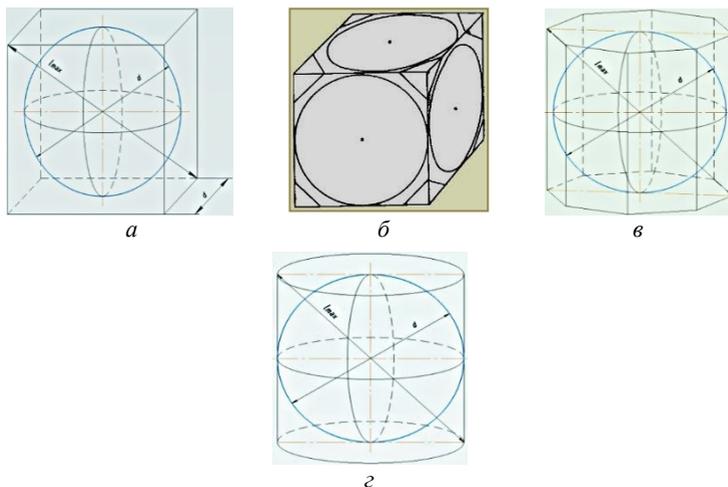


Рис. 3.3. Заготовки шара в виде куба, восьмигранной призмы и цилиндра

Различие в способе получения заготовки оказывает влияние на трудоемкость и производительность работ, потери материала сырья, а, в конечном счете – на себестоимость изготовления. Наиболее рациональный вид заготовки можно вычислить из соотношения объема исходной заготовки к объему шара

1) Заготовка в виде куба (рис. 3.3, б) видоизменяется в многоугольник удалением двенадцати ребер куба. Соотношение объемов куба V_k и шара $V_{ш}$ составляет:

$$\frac{V_k}{V_{ш}} = \frac{d^3}{\frac{\pi d^3}{6}} = \frac{d^3}{0,524d^3} = 1,91.$$

2) Заготовка в виде призмы (рис. 3.3, в) близка по форме к форме цилиндра. Соотношение объемов составляет 1,58.

3) У цилиндрической заготовки (рис. 3.3, г) соотношение объёмов цилиндра $V_{ц}$ и $V_{ш}$ шара составляет

$$\frac{V_{ц}}{V_{ш}} = \frac{\frac{\pi d^3}{4}}{\frac{\pi d^3}{6}} = 1,5, \text{ что указывает}$$

на то, что цилиндрическая форма является самой рациональной из всех трех рассмотренных видов.

Удаление напусков в углах и ребрах куба может быть выполнено на отрезном станке двумя методами. Первый метод заключается в последовательном спиливании восьми углов куба (рис. 3.4, а) установкой куба на нижнюю грань, так, чтобы эта грань составляла с горизонтальной плоскостью угол $35,26^\circ$. После удаления углов куба образуется многогранник с 14-ю гранями (рис. 3.4, б).

Второй метод заключается в спиливании двенадцати ребер куба 2 алмазной пилой 3 на призме 1 специального приспособления (рис 3.5, а).

Зажим заготовки производится прихватом 4. После удаления двенадцати ребер заготовка приобретет 18 граней (рис. 3.5, б). Такой многогранник в наибольшей степени приближен к форме сферы.

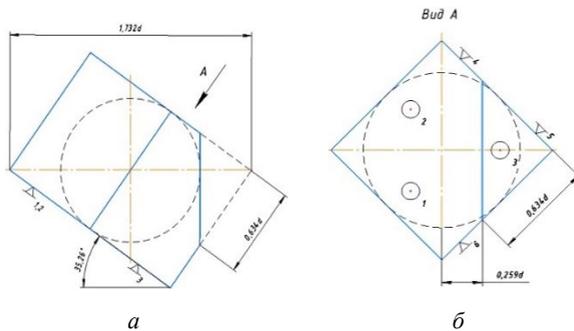


Рис. 3.4. Схема удаления ребер куба

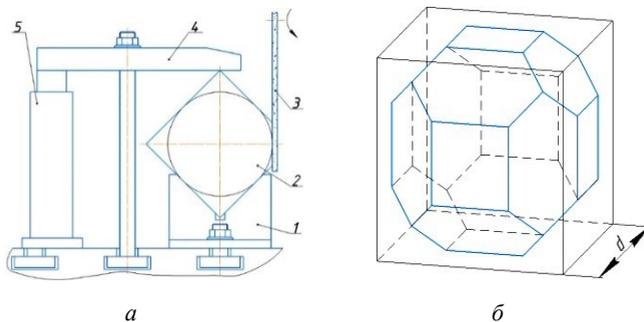


Рис. 3.5. Схема распиливания углов куба (а) и форма заготовки после удаления всех углов (б)

Методика выполнения работы

1. Получить сырье для изготовления заготовок круглой плоской вставки и шара. Взвесить полученное сырье, записав результаты в тетрадь.

2. Отрезать от куска камня боковину, подготавливая установочную технологическую базу для последующей резки.

3. Установить камень на обрабатываемую поверхность и сделать пропил по краю куска камня, подготавливая направляющую технологическую базу.

4. Отрегулировать положение упора на необходимый размер, обеспечивая параллельность боковой поверхности упора торцевой поверхности обрезного диска.

5. Разрезать сырье на пластины, контролируя толщину пластин штангенциркулем.

6. Разрезать пластины на столбики, а затем на заготовки квадратной формы. Для обеспечения перпендикулярности плоскости пропила боковой поверхности столбика предварительно сделать разметку столбика для первого реза.

7. После окончания обработки выключить питание станка, промыть заготовки, протереть насухо оборудование.

8. Измерить предельные размеры заготовок в каждом направлении, и результат занести в таблицу.

9. Взвесить полученные заготовки и рассчитать коэффициент использования материала.

Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.
2. Конструкция АОК.
3. Схема резания на алмазно-отрезном станке.
4. Технологические операции вырезания пластин плоской прямоугольной формы и куба.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды заготовительных операций.
2. Какие виды АОК вы знаете?
3. Поясните схемы резания на алмазно-отрезных станках и назовите их виды.
4. Устройство отрезного станка.
5. Какая последовательность выполнения операций обработки пластин и куба?

Литература

1. Окатов, М. А. Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов и др.; под ред. М. А. Окатова. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.

2. Зубаков, В. Г. Технология оптических деталей: учебник для вузов / В. Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С. К. Штандель; Под ред. М. Н. Семибратова. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.

3. Перерозин, М. А. Справочник по алмазной обработке стекла / М. А. Перерозин. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.

Лабораторная работа № 4

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛОСКИХ ВСТАВОК КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Цель работы: изучить процесс формообразования цилиндрических и плоских поверхностей, ознакомиться с устройством центрировочного станка модели ЦС-50, изучить технологию и приобрести практические навыки изготовления плоских вставок круглой формы.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с процессом шлифования цилиндрических пластин, предварительно склеенных в столбик.
2. Изучение настройки центрировочного станка мод. ЦС-50.
3. Приобрести практические навыки шлифования и полирования плоских и цилиндрических поверхностей изделий из цветного камня.
4. Разработать технологический процесс изготовления плоских вставок круглой формы из поделочного камня.

Оборудование и принадлежности:

1. Станок подрезной мод. СКП.
2. Станок центрировочный мод. ЦС-50.
3. Станок шлифовально-полировальный мод. ЗШП-350М.
4. Станок обдирочный мод. ОС-320.
5. Полировальный станок.
6. Круг отрезной алмазный.
7. Притир чугунный.
8. Круг шлифовальный алмазный форма 1А1.
9. Алмазная чашка.
10. Наклеечное приспособление.
11. Полировальники.
12. Абразивные и полирующие порошки.
13. Клей-расплав.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Изготовление круглых плоских вставок.

При изготовлении плоских вставок из камня последний вначале распиливается на пластины требуемой толщины с припуском на шлифование плоскостей. На выбор направления распиливания влияет текстура материала. Затем с помощью трафарета с круглыми от-

верстиями пластину размечают. Если вставки предназначаются для парных ювелирных изделий, например, серьги, то для лучшего воплощения художественного замысла на пластине подбираются участки с одинаковым рисунком. Выбранные на пластине участки должны быть без трещин и включений. Качество пластины нужно проверить с двух сторон. Пластина с нанесенными контурами вставок разрезается на подрезной пиле на заготовки, при этом оставляется припуск 2–3 мм. В дальнейшем сильно выступающие участки заготовки подрезают еще раз.

После распиливания торцевые поверхности имеют неровности и большие отклонения от параллельности, которые значительно уменьшаются на операции грубое шлифование. Для ее выполнения распиленные заготовки наклеивают на приспособление – блокируют. Рациональное использование площади наклеичного приспособления достигается правильным выбором схемы расположения заготовок. Возможны три схемы размещения заготовок в центральной зоне: одна, три и четыре заготовки. Выбирается схема, обеспечивающая максимальный коэффициент заполнения, характеризуемый отношением суммарной площади одновременно обрабатываемых заготовок к общей площади блока. Для эффективного использования мощности оборудования блок должен иметь максимальный диаметр, допускаемый для обработки на данном станке.

В качестве черновой базы принимают поверхность с меньшими отклонениями от правильной формы, что обеспечивает устойчивое положение заготовок на приспособлении. Наиболее высокой производительности операции грубое шлифование достигают при обработке алмазным инструментом на предварительно настраиваемых станках. В единичном производстве операцию выполняют способом поверхностного притира при помощи свободного абразива зернистостью N6–N8. После шлифования первой стороны блок разбирают, заготовки промывают и по той же схеме расположения вновь устанавливают на приспособлении. В процессе шлифования второй поверхности контролируют ее параллельность по отношению к обработанной ранее. Затем заготовки отклеивают с приспособления, промывают, протирают и производят контроль ее толщины. Контроль выполняют штангенциркулем.

После шлифования параллельных сторон производят склеивание заготовок в столбик. Для этого их нагревают на плите до температу-

ры плавления клея, на соединяемые поверхности наносят термоклей и заготовки пинцетом накладывают одна на другую. Собрав заготовки в столбик, их обрабатывают по диаметру на центрировочном станке. Затем заготовки расклеивают нагреванием на электроплитке и очищают от клея. Для предотвращения скалывания камня на круглую пластинку наносят двустороннюю технологическую фаску, используя алмазную планшайбу или чашку, радиус которой определяется диаметром D пластины: $R = 0,7 D$. Размер фаски должен быть выбран с учетом припуска на последующую обработку.

Следующей операцией является сборка блока для выполнения операций тонкого шлифования и полирования. Тонкое шлифование выполняют способом поверхностного притира водными суспензиями микропорошков или алмазным инструментом в виде планшайб. Шлифование свободным абразивом выполняют в два перехода микропорошками зернистостей M20 и M10. После тонкого шлифования первой стороны и промывки блока выполняют ее полирование. После промывки полированную поверхность лакируют для защиты от повреждений при переклеивании и блок разбирают. Для лакирования применяют нитролаки, прочно удерживающиеся на поверхности и легко смываемые после обработки. Затем заготовки повторно блокируют и обрабатывают вторую сторону в той же последовательности. Полированные детали промывают и контролируют размеры и качество поверхности.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Настройка станка центрировочного модели ЦС-50.

Настройка на обрабатываемый диаметр детали осуществляется изменением взаимного положения каретки и толкателя при вращении маховика, посаженного на подвижное шлицевое соединение толкателя. Цена деления лимба маховика 0,005 мм. При повороте кулачка на один оборот цикл обработки заканчивается, за это время шпиндель изделия совершает немногим более четырех оборотов.

Привод вращения шпинделя инструмента установлен на подвижном суппорте, совершающем осциллирующие движения вдоль оси обрабатываемой детали. Осциллирующее движение сообщается суппорту от кулачка через рычаг.

Станок снабжен устройствами для подачи СОЖ в зону обработки и слива ее в бак-отстойник.

Методика выполнения работы

Последовательность выполнения технологических операций изготовления плоских вставок круглой формы и их краткое содержание приводятся ниже.

1. Заготовительная. Распилить на станке камень на пластины толщиной 7 мм и разрезать пластины на квадратные заготовки размером 30×30 мм, срезать углы до образования восьмиугольника.

2. Промывка.

3. Блокирование. Наклеить пластины на поверхности приспособления.

4. Шлифование предварительное. Шлифовать одну сторону пластин на станке ЗШП абразивом зернистостью №6.

5. Разблокирование. Отделить пластины от приспособления на электрической плите.

6. Шлифование предварительное. Шлифовать вторую сторону пластин на станке ЗШП абразивом зернистостью №6 и разблокировать, отделить пластины от приспособления на электрической плите.

7. Склеивание столбика. Склеить 3 пластины между собой термоклеем, нагрев их на электрической плите, используя пинцет и шпатель. Охладить склеенный столбик.

8. Формообразование. Шлифовать рундист пластин до достижения округлости на центрирующем станке ЦС-50 до необходимого диаметра. Снять столбик со станка.

9. Промывка.

10. Разблокирование. Разогреть столбик на электрической плите, отделить пластинки от столбика и зачистить торцевые поверхности ножом и щеткой.

11. Блокирование. Нагреть пластины, наклеенное приспособление приклеить к рабочей поверхности приспособления с помощью термоклея.

12. Шлифование тонкое первой стороны. Шлифование осуществляется на шлифовально-полировальном станке мод. ЗШП-350М. Обработку осуществляют за два перехода абразивом зернистостью М20 и М10.

13. Промывка.

14. Разблокирование.

15. Контроль. Толщину пластин измеряют штангенциркулем.

16. Фасетирование. По контуру пластины снимают две фаски $1^{+0,3} \times 45^\circ$ на станке мод. СД-120. Инструмент – плоская алмазная планшайба зернистостью 28/20.

17. Полирование первой стороны. Полирование выполняется на двухшпиндельном полировальном станке. Применяется кожаный или тканевый инструмент, покрытый полирующим абразивом.

18. Промывка.

19. Контроль. Измерить высоту заготовок микрометром.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Схема обработки способом свободного поверхностного притира.
3. Операционные эскизы обработки.
4. Маршрут технологического процесса изготовления плоских вставок круглой формы.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Поясните кинематику и особенность установки инструмента на станках для обработки поверхностей свободным притиром.
2. Назовите признаки, по которым определяется способ свободной притирки.
3. Дайте определение термина «штрих верхнего звена».
4. Каким образом изменить длину и положение штриха относительно оси шпинделя?
5. Перечислите рекомендации по настройке станков типа ШП, полученные на основании производственного опыта.
6. Каким образом регулируется давление инструмента на заготовку при обработке на станках типа ШП?
7. Назовите полирующие абразивные материалы.
8. Каким образом осуществляется установка пластин, склеенных в столбик, на станок модели ЦС-50?

Литература

1. Окатов, М. А. Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов и др.; под ред. М. А. Окатова. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.

2. Зубаков, В. Г. Технология оптических деталей: учебник для вузов / В. Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С. К. Штандель; под ред. М. Н. Семибратова. – 2-е изд. М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.
3. Перерозин, М. А. Справочник по алмазной обработке стекла / М. А. Перерозин. М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
4. Синкенес Дж. Руководство по обработке драгоценных и полуделочных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.

Лабораторная работа № 5 ТЕХНОЛОГИЯ ГРАНЕСКРУГЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ШАРИКОВ

Цель работы: изучить технологию и метод формообразования сферической поверхности методом обдирочного шлифования кубиков.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с принципами обдирочного шлифования кубических заготовок для получения сфероидальной формы и приобрести практические навыки работы на станке.

2. Изучить устройство, принцип действия и настройку гранескругляющего станка модели СГС-1.

Оборудование и принадлежности:

1. Станок для обдирочного шлифования шариков модели СГС-1.

2. Абразивный круг из карбида кремния на керамической связке.

3. Сепаратор.

4. Заготовки кубической формы.

5. Штангенциркуль ШЦ-III-160-0,1 ГОСТ 166-80

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Формообразование сферической поверхности шариков из заготовок кубической формы.

Заготовками шариков являются кубики, получаемые распиливанием исходного материала вначале на пластины, потом на столбики (рис. 5.1). Отклонения размеров кубиков не должны превышать 0,2–0,3 мм, так как приводят к разноразмерности шариков в одной и той же партии. Повышены требования и к перпендикулярности сторон кубиков ввиду того, что неперпендикулярность сторон кубика приводит к образованию эллиптической (яйцевидной) формы полуфабрикатов.

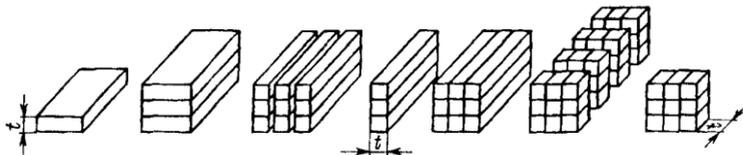


Рис. 5.1. Эскизы распиливания камня прямоугольной формы

Предварительное шлифование шариков или шлифование кубиков до шарообразной формы производят различными способами.

По первому способу шлифование выполняют на обдирочном станке (рис. 5.2), который имеет вертикальный неподвижный барабан 3, дно которого является вращающимся абразивным кругом 1. При вращении шпинделя кубики 2 под действием сил трения о торцевую поверхность круга свободно перекачиваются, сталкиваясь с поверхностью шлифовального круга и между собой.

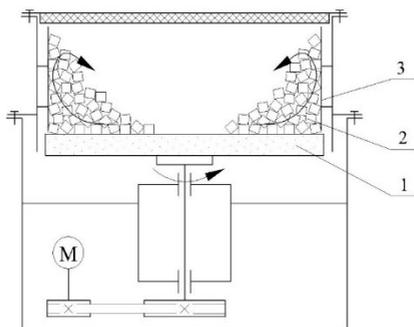


Рис. 5.2. Схема станка для предварительного шлифования шариков из кубиков

Под действием центробежной силы заготовки смещаются в радиальном направлении к стенке барабана, поднимаются вверх и скатываются вниз к центральной части абразивного круга. Непрерывное перемешивание заготовок обеспечивает одинаковое абразивное воздействие на них и получение шариков одного уровня точности. Однако высокая линейная скорость перемещения заготовок в барабане вызывает большие ударные нагрузки на хрупкие заготовки и снижение выхода годных изделий из-за сколов. Уменьшение угловой скорости абразивного круга помимо уменьшения производительности процесса ведет к увеличению отклонений шариков от сферической формы вследствие снижения частоты собственного вращения и более медленного изменения положения мгновенной оси вращения шарика. Оптимальная скорость обработки и объем загружаемой партии подбирается экспериментально. Износ инструмента пропорционален давлению заготовок и скорости их скольжения относительно торцевой поверхности круга. Эти два фактора достигают максимума на

периферии абразивного круга, поэтому изнашивание инструмента происходит крайне неравномерно – износ круга возле стенки барабана в несколько раз выше, чем в его средней части (рис. 5.3).

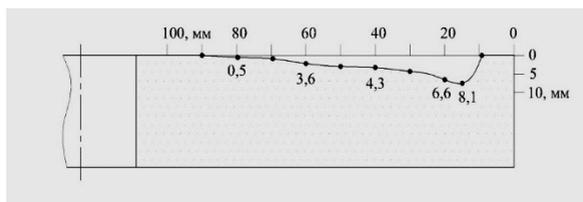


Рис. 5.3. Профиль рабочей поверхности абразивного круга после шлифования шариков в вертикальном барабане

Для повышения износостойкости инструмента устанавливают отражатели 1 (рис. 5.4) в виде отогнутых пластин (одной или двух) на внутренней стенке барабана 2.

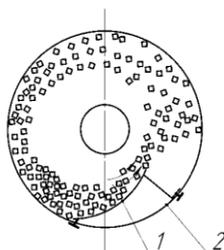


Рис. 5.4. Схема устройства с отражателем

Чаще всего при обдирочном шлифовании шариков из ювелирных камней используют дисковый сепаратор с отверстиями для заготовок (рис. 5.5) на станках модели СГС.

Станок представляет собой сварной корпус 17 (рис. 5.5), на котором крепится шпиндельный узел 01, электродвигатель 13 и панель управления 02 с кнопками включения электродвигателя и электронасоса. Вращение шпинделю передается через клиноременную передачу 15–18 от электродвигателя переменного тока 13. Электродвигатель закреплен на плите 12, которая перемещается в горизонтальном направлении. Сепаратор 7 устанавливают на пальцах 6 кронштейна 5 на расстоянии 1–2 мм над торцевой поверхностью абразивного круга 1.

Крышка 9 с резиновым покрытием предотвращает вылет заготовок из ячеек сепаратора. В станок встроен гидробак с охлаждающей жидкостью. На шпиндель установлен абразивный круг 1, который зафиксирован болтом 10. Сепаратор устанавливается на четырех опорах 5 с вертикальными пальцами 6. Положение опор на стойках 2 фиксируется с помощью болтов 3. К крышке 9 для снижения ударных нагрузок приклеена резиновая прокладка. Открывающаяся верхняя защитная крышка 8, изготовленная из органического стекла, предотвращает разбрызгивание охлаждающей жидкости.

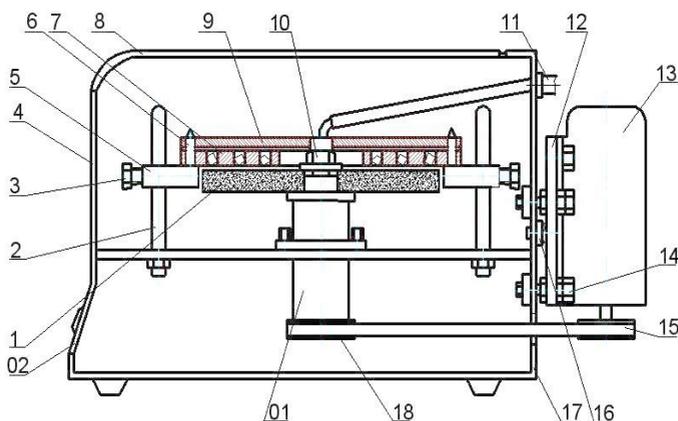


Рис. 5.5 Конструктивная схема станка модели СГС-1

Таблица 5.1.

Техническая характеристика станка СГС

Наименование	Значения
1. Диаметр обрабатываемых шариков, мм	4–20
2. Число одновременно обрабатываемых шариков	100–30
2. Максимальный диаметр шлифовального круга, мм	300
2. Частота вращения абразивного круга, об/мин.	1500
3. Вид охлаждающей жидкости	Вода
4. Электропитание: напряжение, В	380
5. Потребляемая мощность, Вт	375
6. Уровень звука, дБ, не более	70

Изнашивание торцевых поверхностей абразивного круга при этом зависит от расположения отверстий сепаратора относительно оси круга. При шлифовании в отверстиях сепаратора, расположенных по радиусу концентрических окружностей, на шлифовальном круге образуются изношенные участки с радиусным профилем (рис. 5.6, *а*). Более равномерное изнашивание инструмента достигается путем установки сепаратора с эксцентриситетом относительно оси абразивного круга (рис. 5.6, *б*) либо использования сепаратора с расположением осей отверстий по спирали Архимеда.

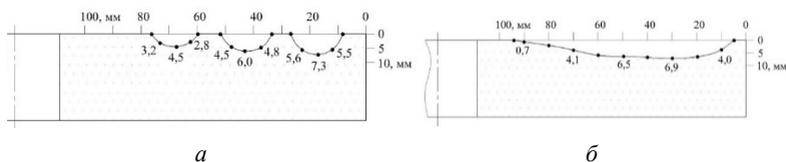


Рис. 5.6. Профили изношенной поверхности абразивного круга в соосном сепараторе (*а*) и в сепараторе со смещенным относительно оси круга положением абразивного круга (*б*)

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Настройка станка модели СГС–1.

1. Установить целостность и исправность станка визуально. Станок должен занимать устойчивое положение на рабочем столе.
2. Проверить надежность закрепления заземляющего провода.
3. Залить гидробак водой на 3/4 объема.
4. Установить сепаратор на пальцы 6 (рис. 5.5). С помощью болтов 3 отрегулировать положение опор 5 таким образом, чтобы сепаратор находился на высоте 1–2 мм от торцевой поверхности круга.
5. Обрабатываемые заготовки разместить в ячейках сепаратора.
6. Накрыть сепаратор крышкой 9.
7. Опустить защитную крышку 8.
8. Включить кнопку «Пуск» включения электронасоса.
9. Включить кнопку «Пуск» включения электродвигателя шпинделя.
10. Отключение станка произвести нажав кнопку «Стоп» выключения электродвигателя.

11. Снять крышку 9 с сепаратора и пинцетом извлечь несколько заготовок для контроля.

Методика выполнения работы

1. Получить заготовки в виде кубиков с припуском 0,5–1,0 мм на сторону.

2. Уложить кубики в отверстия сепаратора.

3. В процессе шлифования периодически (через 5–10 минут) останавливать станок для извлечения из сепаратора пяти заготовок с целью контроля размера и формы. При измерении штангенциркулем фиксировать максимальный и минимальный размер заготовки. Результаты измерений занести в таблицу с отметкой времени обработки. Во время остановки менять расположение заготовок относительно центра абразивного круга для уменьшения неравномерности обработки из-за различия линейной скорости круга.

4. В окончательно обработанной партии у 10-ти шариков измерить диаметры в нескольких сечениях и результаты занести в таблицу с отметкой времени достижения требуемого размера.

5. После окончания работы отключить станок от сети. Протереть влажной ветошью, а затем насухо оборудование и оснастку, поставив в известность преподавателя об окончании работы.

6. На основании результатов измерений построить графики зависимости максимального размера заготовок и непостоянства единичного диаметра шариков от времени обработки.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.

2. Схемы устройств и станков для обдирочного шлифования шариков.

3. Характеристики инструмента, режимы обработки, количество заготовок в партии, выход годного после выполнения операции.

4. Результаты измерений размеров исходных заготовок кубической формы и полученных шариков с указанием времени шлифования, различия длин сторон кубиков и отклонений от сферической формы шариков.

5. График изменения максимального диаметра заготовок в зависимости от времени обработки.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к форме исходных заготовок и механическим характеристикам минерального сырья?
2. Каким образом достигается минимальное различие сторон кубиков в серийном производстве?
3. Поясните механизм формообразования сферической поверхности шарика из заготовок кубической формы, находящихся в незакрепленном состоянии в вертикальном барабане.
4. Назовите достоинства и недостатки метода обдирочного шлифования шариков в вертикальном барабане.
5. Как уменьшить ударные нагрузки на заготовки при обработке?
6. Перечислите причины неравномерного изнашивания инструмента при обдирочном шлифовании шариков.
7. Назовите факторы, вызывающие значительное уменьшение производительности обработки при обдирочном шлифовании заготовок в сепараторе.

Литература

1. Окатов, М. А. Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов и др.; под ред. М. А. Окатова. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с. – С. 436–438.
2. Reich Paul; Waelzlagerkombinat veb. Verfahren und vorrichtung zur herstellung von praezisionskugeln. Germany patent DE2550564. 1976 May 26.
3. Устройство для обработки шариков: пат. ВУ6588 / А. В. Дроздов, К. Г. Щетникович. – Опубл. 30.12.2004.

Лабораторная работа № 6 **ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАРОВ** **ИЗ ЦВЕТНОГО КАМНЯ**

Цель работы: изучить технологию и методы обработки шаров и приобрести практические навыки изготовления шара из поделочного камня.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с методами изготовления заготовок шара из камня.
2. Изучить способы и устройства для формообразования сферической поверхности.
3. Приобрести практические навыки изготовления заготовок, шлифования и полирования шара ручным способом.
4. Разработать технологический процесс изготовления шара, оформить маршрутную карту.

Оборудование и принадлежности:

1. Заготовки из поделочного камня.
2. Станок мод. ОС-320.
3. Круг чашечный конический формы 12А2.
4. Круг алмазный кольцевой формы 2А2.
5. Притиры кольцевой формы.
6. Станок полировальный.
7. Полировальный тканевый.
8. Полирующий абразивный материал.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методы изготовления шара.

Технология изготовления шара ручным способом.

Заготовкой шара может быть многогранник или цилиндр, описанные вокруг сферы. У заготовок некрупных шаров вершины и углы многогранника сошлифовывают на горизонтальном абразивном круге, удерживая шар рукой и постоянно контролируя его форму.

Ручное черновое шлифование шаров. Шарообразную форму заготовке придают сошлифовывая ее вершины и грани. При ручной обработке некрупных шаров, многогранную заготовку предварительно

шлифуют на абразивном круге, удаляя выступающие грани и постоянно контролируя его форму. Заготовки больших шаров размещают на опорной площадке и, удерживая шар двумя руками, сошлифовывают грани и выступающие участки абразивным инструментом (рис. 6.1)



Рис. 6.1. Ручной способ формообразования и полирования шара на станке с вертикальным шпинделем

Шар удерживают двумя руками и прикасаются к абразивному инструменту только выступающими участками. Положение шара периодически меняют, оставляя круглые метки нетронутыми. В результате обдирки получается шарообразное тело без острых вершин и углов. Окончательное формообразование сферической поверхности выполняется на обдирочном или доводочном станке с вертикальным шпинделем кольцевым алмазным инструментом. Внутренний диаметр алмазного кольца должен составлять приблизительно 0,7–0,8 от диаметра шара, а биение рабочей кромки не превышать несколько сотых долей миллиметра. В процессе шлифования необходимо удерживать заготовку в контакте с кольцевым участком инструмента, непрерывно меняя ее положение. Смещение центра шара относительно оси быстро вращающегося инструмента может вызвать выскользывание заготовки из рук. Повышенное биение инструмента повышает вероятность выскользывания заготовки и ее повреждение. Шлифование кольцевым инструментом производят за несколько переходов с постоянным снижением зернистости алмаза. Выбор зернистости алмазного инструмен-

та и абразивного порошка зависит от величины снимаемого припуска, диаметра шара, материала, стадии обработки. Формообразующие операции и обдирочное шлифование выполняют алмазным инструментом зернистостью 315/250–200/160. Грубое шлифование ведут в несколько переходов алмазным инструментом зернистостью 200/160–50/40 или абразивным порошком карбида кремния зеленого зернистостью от N16 до M40 на чугунных или стальных шлифовальниках. Тонкое шлифование выполняют также в несколько переходов алмазным инструментом зернистостью 40/28–10/7 или абразивным порошком от M28 до M7. Возможен также сэндинг на резине, коже или плотной ткани.

При полировании используют алмазные порошки и пасты зернистостью 3/2, 2/1, 1/0 и полировальные порошки оксидов металлов, нанесенные на тканевые, кожаные и синтетические полировальники.

Технология изготовления шара механизированным способом.

Механизированный способ шлифования заключается в формообразовании сферической поверхности заготовки между двумя или тремя кольцевыми алмазными инструментами с пересекающимися осями вращения. При шлифовании между двумя инструментами 1 и 3 (рис. 6.2) верхний инструмент устанавливают с наклоном под углом α с вертикальной осью вращения нижнего инструмента. Оба инструмента вращаются в разные стороны вокруг своих осей. Верхний инструмент соединен с наклонным шпинделем с помощью сферического шарнира, что обеспечивает самоустановку. Применение алмазных инструментов позволяет осуществлять производительную обработку на высоких частотах вращения шпинделей.

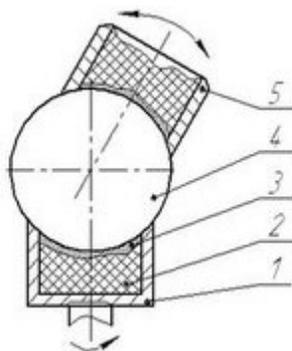


Рис. 6.2. Схема шлифования шара трубчатым инструментом

В процессе обработки верхний инструмент должен совершать качательные движения по поверхности шара и проворачиваться вокруг собственной оси. После шлифования кольцевым инструментом шероховатость поверхности шара уменьшают тонким сэндингом на планшайбе, покрытой тканью, кожей, брезентом, или используют алмазные резиновые диски. После каждой операции или перехода заготовку тщательно промывают. Обработку завершают полированием шара на горизонтальном или вертикальном полировальнике. Возможно полирование шара кольцевым инструментом, обтянутым кожей или толстой тканью.

Крупные шары обрабатывают тремя чашечными шлифовальниками, равномерно расположенными по окружности. Оси вращения шлифовальников могут находиться в горизонтальной плоскости либо для лучшего удержания заготовки шлифовальники наклоняют под небольшим углом к горизонтальной плоскости (рис. 6.3). Шлифовальники 2 и 5 вращаются с одинаковой угловой скоростью навстречу друг другу, а шлифовальник 1 совершает вращательное движение с переменной угловой скоростью, причем направление вращения периодически меняется.

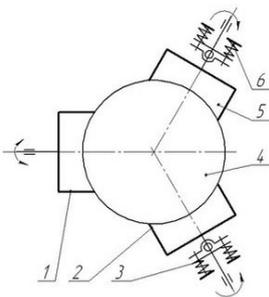


Рис. 6.3. Схема шлифования шара тремя чашечными шлифовальниками

Шлифовальники поджимаются к шару 4 с одинаковой силой. Один из притиров устанавливается жестко на шпинделе, а два других — в плавающем положении с использованием сферических шарниров 3 и 6, что обеспечивает их самоустановку по поверхности шара. Переменная по величине и направлению угловая скорость одного из притиров способствует ускоренной переориентации обрабатываемого шара при шлифовании и повышению точности обработки.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методика выполнения работы

1. Шлифование обдирочное.

Вершины и ребра многогранника шлифуются крупнозернистым плоским алмазным инструментом, не доходя до центра граней заготовки. Удаление материала с наиболее выступающих участков многогранника упрощает выполнение формообразующей операции.

2. Шлифование грубое (формообразование).

Операция выполняется крупнозернистым алмазным кольцевым кругом, установленным на вертикальном шпинделе станка с ручным удержанием заготовки. Заготовку прижимают к вращающемуся инструменту и, непрерывно меняя ее положение, достигают сферической формы.

3. Шлифование получистовое.

Выполняется алмазным кольцевым инструментом, который имеет более низкую зернистость по сравнению с предыдущей операцией. Инструмент также устанавливается вертикально, работа ведется с ручным удержанием заготовки. Движения те же, что и в предыдущем случае.

4. Шлифование тонкое.

Работа ведется мелкозернистым алмазным инструментом или кольцевым притиром с добавлением суспензии микропорошка карбида кремния зеленого или электрокорунда. После этой операции поверхность шара должна быть однородной, без глубоких рисок.

5. Промывка.

6. Полирование.

Шар полируется на хлопчатобумажной ткани с применением алмазных паст до зеркального блеска.

7. Контроль.

Контролируется диаметр, непостоянство единичного диаметра, шероховатость.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.

2. Форма заготовки шара.

3. Схемы шлифования и полирования шара.
4. Маршрутная карта технологического процесса изготовления шара с операционными эскизами.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите возможные формы заготовки шара.
2. Определите наибольший размер заготовки после спиливания у куба двенадцати ребер.
3. Нарисуйте схему базирования куба на отрезном станке при спиливании восьми углов.
4. Каким образом многогранные заготовки шара устанавливаются на токарном станке?
5. Как определяется угол наклона оси вращения алмазного кольцевого круга при обработке сферической поверхности требуемого радиуса?
6. Нарисуйте схемы шлифования шара кольцевым инструментом без закрепления заготовки.
7. Почему при шлифовании и полировании шаров только один из кольцевых инструментов устанавливается жестко на шпинделе?
8. Под влиянием каких факторов меняется в пространстве положение оси вращения шара при шлифовании в незакрепленном состоянии?

Литература

1. Синкенкес Дж. Руководство по обработке драгоценных и полудрагоценных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.
2. Селиванкин С. А. Технология ювелирного производства / С. А. Селиванкин, И. И. Власов, М. К. Никитин. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1978. – 320 с.
3. Хрульков В. А. Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении / Хрульков В. А. – М. : Машиностроение, 1977. – 224 с.
4. Ray Archie C. Sphere making machine. United States patent US3151419. 1964 Oct 06.
5. Способ обработки шара тремя чашечными притирами: патент SU1085776 / А. Р. Бахратов. – Оpubл. 15.04.84.

Лабораторная работа № 7 **ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ШАРИКОВ** **ИЗ ЦВЕТНОГО КАМНЯ**

Цель работы: ознакомиться со способами и устройствами для финишной обработки шариков из камней.

Задачи работы:

1. Изучить технологию шлифования шариков и приобрести практические навыки тонкого шлифования и полирования шариков из ювелирных камней.
2. Ознакомиться со способами и устройствами для тонкого шлифования, доводки и полирования шариков.
3. Разработать технологический процесс изготовления шариков из цветного камня.

Оборудование и принадлежности:

1. Станок двухшпиндельный для шлифования шариков.
2. Станок для планетарного шлифования шариков.
3. Станок для полирования шариков.
4. Чугунный и текстолитовый диски для шлифования, полировальники текстильные, абразивные и полирующие порошки.
5. Заготовки из поделочного камня, полученные после операции предварительного шлифования.
6. Штангенциркуль ШЦ-1.
7. Микрометр МК-25.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Способы и устройства для обработки шариков.

Маршрутная технология изготовления шариков состоит из следующих этапов:

- 1) отбора сырья для обработки,
- 2) распиловки сырья на пластины и кубики,
- 3) шлифования кубиков для придания сферичной формы,
- 4) шлифования предварительного и окончательного,
- 5) полировки,
- 6) сверления отверстий.

Обработка шариков соосным инструментом в кольцевых канавках.

Обработка шариков осуществляется между двумя соосными дисками в кольцевых канавках и используется в подшипниковой промышленности при доводке стальных шариков (рис. 7.3, *а*). Обрабатываемые шарики 2 (рис. 7.3, *б*) размещают в кольцевых канавках 3 радиусного или V-образного профиля, которые нарезают на нижнем приводном диске 1. Верхний диск 4 неподвижен, и к нему прикладывается нагрузка P из расчета необходимого давления на каждый обрабатываемый шарик. При вращении нижнего диска 1 шарики перекатываются по кольцевым канавкам, и съем припуска происходит в результате проскальзывания шариков относительно рабочих поверхностей дисков в присутствии абразивной суспензии. В результате изнашивания инструмента на торцевой поверхности верхнего диска образуются кольцевые дорожки 5 радиусного профиля.

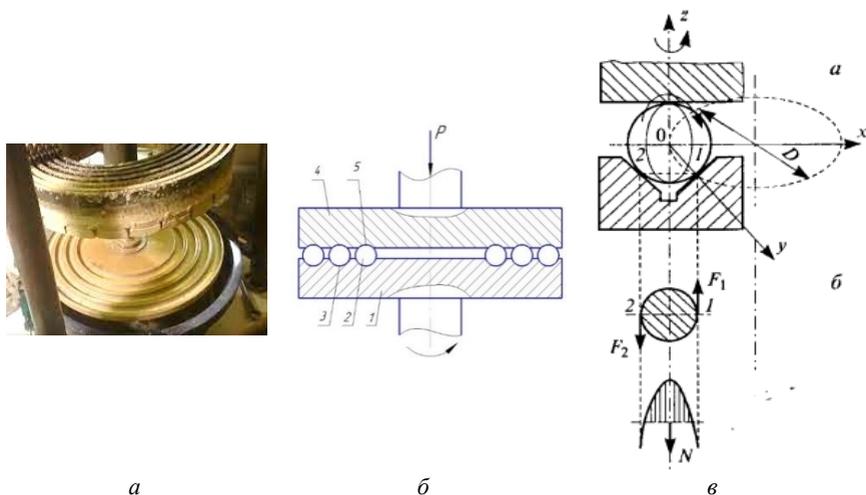


Рис. 7.3. Схема обработки шариков между двумя дисками в кольцевых канавках

В процессе шлифования шарики перекатываются в концентрических V-образных канавках между доводочными дисками, получают

сложное вращение вокруг своих осей (рис. 7.3, в), преимущественно вокруг оси Ox . При этом точки 1 и 2 движущегося шарика проскальзывают в разные стороны. В сечении 1–2 (рис. 7.3, в) возникает пара сил F_1 и F_2 , стремящаяся повернуть шарик относительно оси Oz . Окружная скорость проскальзывания в точке 2 будет больше, чем в точке 1, в результате чего шарик, совершая качение вокруг оси Ox , получает также и верчение вокруг оси Oz . Поворот шарика вокруг оси Oy возникает от действия гироскопического момента, который превышает препятствующий ему момент сил трения. В итоге за один оборот шарика вокруг оси Ox на 360° происходит поворот на 8° относительно оси Oz и на 1° относительно оси Oy . В результате неравномерного вращения шарика вокруг осей сьем припуска с поверхности шарика становится неравномерным, оказывая влияние на геометрическую точность сферической поверхности.

Установка для шлифования шариков изготовлена на базе полировально-доводочного станка модели 2 ШП-200 (рис. 7.4). Привод нижнего шпинделя станка имеет две скорости вращения. На столе станка установлен узел вращения верхнего шпинделя, частота вращения которого плавно регулируется в диапазоне 15–400 об/мин.

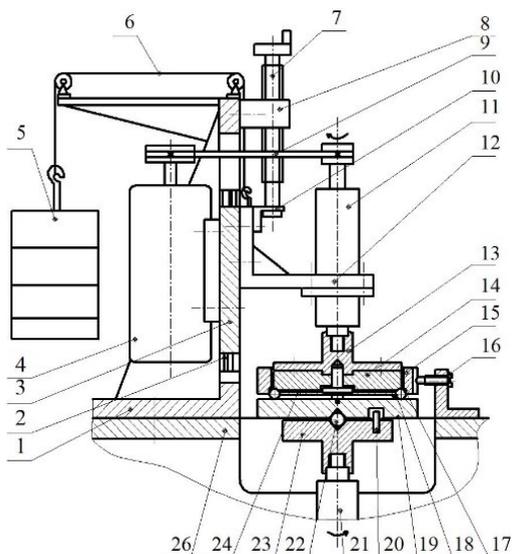


Рис. 7.4. Схема устройства для обработки шариков

Схема станка представлена на рисунке 7.4. Обработка шариков осуществляется между двумя соосными приводными дисками: нижним 19, верхним 14 и неподвижным кольцом 15. На внутренней поверхности неподвижного кольца имеется канавка 17 для размещения обрабатываемых шариков. Разделение шариков между собой осуществляется с помощью свободно вращающегося сепаратора 24. Верхний диск закрепляется на оправке 13, которая устанавливается на верхний шпиндель 11. Шпиндель получает вращение от электродвигателя 4 постоянного тока через клиноременную передачу 9. Электродвигатель установлен на каретке 3.

Каретка перемещается по направляющим 2, установленным на сварном угольнике 1. Сварной угольник закрепляется в требуемом положении на столе 26 станка. Перемещение в вертикальном направлении верхнего шпинделя осуществляется ходовым винтом 7, вращающимся в гайке 8, закрепленной на сварном угольнике. Нижний конец винта с помощью уголка 10 связан с кареткой. Нагрузка в зоне обработки устанавливается с помощью грузов 5, связанных через трособлочную систему 6 с подвижной кареткой.

Таблица 7.1

Технические характеристики станка

Наименование	Значения
Диаметр обрабатываемых шариков, мм	3–20
Количество шариков в партии	120–25
Диаметр дисков, мм	
нижний	250
верхний	200
Диаметр кольца, мм	
наружный	240
внутренний	201
Частота вращения шпинделя, об/мин	
нижний	8, 16, 32, 64
верхний	20–500
Усилие прижима верхнего диска, Н	5–250
Мощность электродвигателя, кВт	
нижнего шпинделя	1,0
верхнего шпинделя	0,37

Нижний диск в процессе обработки шариков самоустанавливается параллельно торцевой поверхности верхнего диска за счет шарового шарнира 22. Вращение нижнему диску от шпинделя 21 станка сообщается через хвостовик 23 и штифт 20. Фиксация кольца от вращения осуществляется с помощью неподвижного пальца 16, входящего в вертикальный паз на боковой стенке кольца. Допускаемое отклонение от соосности верхнего и нижнего шпинделей – не более 0,05 мм. Радиальное биение верхнего диска – не более 0,04 мм.

Установка предназначена для шлифования прецизионных шариков диаметром 3–20 мм из стекла, поделочных камней, керамики и других хрупких материалов. Установка создана на базе полировально-доводочного станка мод. 2ПД-200М. Привод нижнего шпинделя станка, имеющего ступенчатую регулировку частоты вращения в диапазоне 8–64 об/мин, оставлен без изменения. Вращение верхнему шпинделю сообщается от электродвигателя постоянного тока типа ДПМ-2,5-110-Д09, позволяющего плавно регулировать частоту вращения.

При включении привода вращения нижнего диска или верхнего диска обрабатываемые шарики перемещаются по кольцевой проточке неподвижного кольца. Четырехточечный контакт шариков с инструментом способствует высокой скорости проскальзывания в зоне обработки и постоянному изменению положения мгновенной оси вращения шариков. Движущиеся шарики вызывают вращение сепаратора, ось которого вращается в центрирующей отверстии верхнего диска. Осевая нагрузка прикладывается к верхнему диску, который конической поверхностью прижимает шарики к нижнему диску и боковой поверхности кольцевой проточки.

Шлифование шариков на станках с планетарно-вращательным движением инструмента.

Тонкое шлифование обеспечивают станки с поступательным движением нижней планшайбы в конических отверстиях неподвижного верхнего диска 2, при котором контакт шариков друг с другом при обработке исключается (рис. 7.5).

Движение планшайбы 1 передается через червячную передачу от электродвигателя и связанных с центральным зубчатым колесом двух одинаковых шестерен, на торцевой поверхности которых закреплены эксцентрично расположенные пальцы. Верхний диск установлен на каретке 3, которая имеет вертикальное перемещение при повороте

вручную рукоятки 5. Необходимое давление инструмента на шарики создается грузом 4, установленном на оси каретки. Шарик в коническом отверстии неподвижного верхнего диска прижимается к планшайбе с наклеенной листовой резиной. Планшайба совершает поступательное движение по окружности радиусом, равным смещению e пальцев относительно оси шестерен. Коэффициент трения материала шарика о резину больше, чем о материал верхнего диска, поэтому заготовки вращаются в конических отверстиях и в присутствии абразивной суспензии осуществляется съем припуска. Шарик при обработке оказывает равномерное силовое воздействие на коническую поверхность отверстия, обеспечивая его одинаковое изнашивание. Контакт заготовок с инструментом происходит по линии окружности. Недостатком метода является большая разноразмерность шариков в партии, которая вызывает необходимость их сортировки по диаметру. Различие диаметров шариков вызваны разноглубинностью отверстий на верхнем диске, неодинаковостью размеров исходных заготовок, эластичностью покрытия планшайбы и его неравномерным износом, различиями концентрации суспензии на разных участках планшайбы. К параметрам точности исходной заготовки предъявляются повышенные требования, так как при больших отклонениях от сферической формы возможно заклинивание заготовок в конических отверстиях.

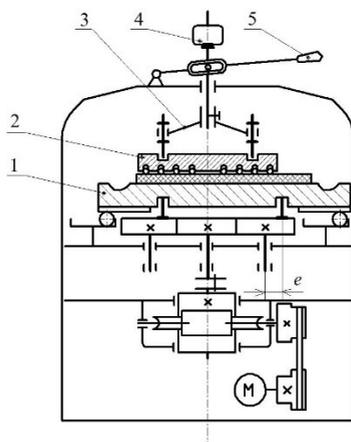
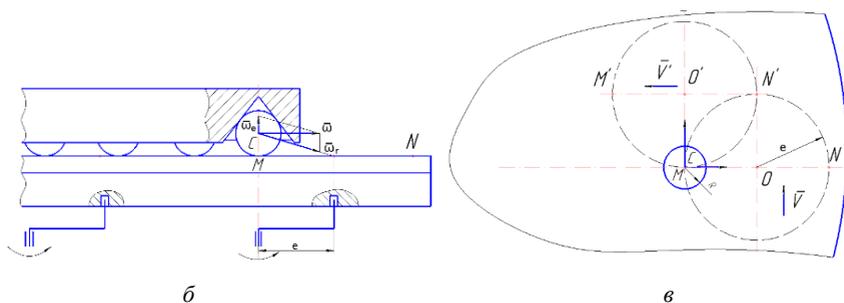


Рис. 7.5. Схема станка для шлифования шариков модели А-1213

Вращение шариков в конических отверстиях верхнего диска происходит под действием сил трения о резиновое покрытие планшайбы, совершающей круговое поступательное движение (рис. 7.6, а, б). Любая точка на планшайбе движется по окружности радиусом, равным смещению e поводков от оси вращения шестерен, на которых они закреплены. На поверхности планшайбы от контакта с шариком (рис. 7.6, в) остается след также в виде окружности радиусом e , положение центра O которой можно найти из следующих рассуждений. В крайне правом положении поводков планшайба контактирует с шариком в точке M . После поворота поводков на 180° с шариком будет находиться в контакте точка N , находящаяся на расстоянии $2e$ от точки M . Следовательно, центр O окружности следа расположен на середине отрезка MN .



а



б

в

Рис. 7.6. Кинематика шарика в коническом отверстии

Вектор линейной скорости \bar{V} планшайбы в крайне правом положении поводков направлен перпендикулярно линии MN , поэтому вектор абсолютной угловой скорости шарика $\bar{\omega}$, проходящий через его центр C , параллелен линии MN . После поворота поводков на 90° линия MN займет положение $M'N'$, и вектор линейной скорости планшайбы направлен параллельно ей. Вектор $\bar{\omega}$ повернется вокруг центра шарика на 90° и займет положение $\bar{\omega}'$. Центр O окружности следа также повернется вокруг вертикали, проходящей через центр шарика, на 90° и переместится в точку O' .

За один оборот поводков вектор абсолютной угловой скорости шарика $\bar{\omega}$ повернется на 360° . Единственная точка в шарике, которая остается неподвижной – это его центр, поэтому шарик, размещенный в коническом отверстии неподвижного верхнего диска, совершает сферическое движение. Модуль вектора $\bar{\omega}$ зависит от линейной скорости V движения планшайбы

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{\omega_p e}{r},$$

где ω_p – угловая скорость поводков; r – радиус шарика.

Угловую скорость абсолютного вращения шарика $\bar{\omega}$ можно разложить на переносную угловую скорость $\bar{\omega}_e$ вокруг вертикальной оси, численно равную ω_p , и относительную скорость $\bar{\omega}_r$. Вектор $\bar{\omega}_r$ найдем из векторного треугольника:

$$\bar{\omega}_r = \bar{\omega} - \bar{\omega}_e.$$

Угол между векторами $\bar{\omega}$ и $\bar{\omega}_r$:

$$\operatorname{tga} = \frac{\omega_e}{\omega} = \frac{\omega_p r}{\omega_p e} = \frac{r}{e}.$$

Таким образом, вектор $\bar{\omega}_r$ пройдет через точку O – центр окружности следа, так как прямая CO наклонена к горизонтали под тем же углом α . Следы на поверхности шарика от контакта с инструментом расположены в плоскости, перпендикулярной вектору отно-

сительной угловой скорости $\bar{\omega}_r$. Две сегментные поверхности шарика, через центры которых проходит вектор $\bar{\omega}_r$, теоретически не будут обрабатываться. Основания этих сегментных поверхностей перпендикулярны вектору $\bar{\omega}_r$ и на рисунке 7.6 они показаны незатрихованными. В реальной технологической системе всегда возникают вибрации инструмента, которые вызывают изменения положения мгновенной оси вращения шарика, поэтому сетка следов от контакта с инструментом через какое-то число циклов движения планшайбы покрывает всю его сферическую поверхность.

Тонкое шлифование и полирование являются завершающими операциями технологического процесса обработки шариков. После выполнения операции тонкого шлифования шарики должны иметь шероховатость поверхности, находящуюся в диапазоне от Ra 0,63 до Ra 0,32. На операции полирования съём припуска незначителен и параметры точности шариков практически не изменяются, но поверхность шариков должна приобрести зеркальный блеск.

Устройство и принцип работы установки для полирования шариков.

Установка изготовлена на базе обдирочного станка мод. ОС-320, предназначенного для предварительной обработки заготовок свободным абразивом. Шпиндель 11 станка (рис. 7.7) получает вращение от двухскоростного электродвигателя 2 через клиноременную передачу 1. Широкий диапазон частот вращения шпинделя позволяет выбрать требуемый режим полирования шариков, изготовленных из различных материалов. На резьбовой конец шпинделя навинчена планшайба 10, имеющая хлопчато-бумажное, фетровое, кожаное или пенополиуретановое покрытие 9. Полируемые шарики размещаются в отверстиях сепаратора 6, изготовленного из текстолита или гетинакса, и сверху прижимаются к покрытию планшайбы кожаной пластинкой 7. Сепаратор закреплен на кронштейне 5, который может поворачиваться вокруг вертикальной стойки 4 и перемещаться вдоль нее. Стойка закреплена на станине 3 станка.

На покрытие планшайбы наносят полирующий абразивный материал – окись церия, полирит, алмазная паста зернистостью М5–М3, и после включения вращения планшайбы сепаратору вручную сообщают качательные движения в пределах границ планшайбы. Положение мгновенной оси вращения шарика при периодических перемещениях сепаратора изменяется, что обеспечивает постепенное

полирование всей сферической поверхности изделий. Качество полирования зависит от правильного выбора материала полировальной пасты и вида абразива. При использовании кожаных полировальных паст определенное значение имеет степень влажности кожи.

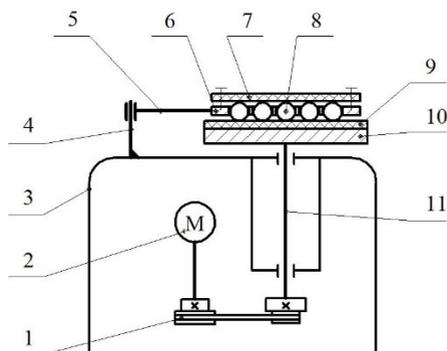


Рис. 7.7. Схема установки для полирования шариков

Заготовки после операции тонкого шлифования должны иметь однородную поверхность, без глубоких рисок и выколов. Для контроля за ходом процесса полирования вращение планшайбы останавливают и пинцетом извлекают несколько шариков из отверстий сепаратора. Качество поверхности оценивают визуально.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методика выполнения работы

1. Получить в лаборатории заготовки шариков, полученных после выполнения операции предварительного шлифования. Произвести штангенциркулем измерение диаметров десяти заготовок. У каждой заготовки определить наибольший D_{\max} и наименьший D_{\min} единичные диаметры. (Единичный диаметр шарика D_s – расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к поверхности шарика). Результаты занести в таблицу. По результатам измерений определить разноразмерность диаметра шарика V_s , как разность между наибольшим и наименьшим единичными диаметрами шариков в партии.

2. Выполнить предварительное шлифование шариков на установке абразивом №6 карбида кремния или электрокорунда белого. Материал инструмента серый чугун. После каждой операции шлифования отвести верхний диск, извлечь пинцетом шарики, промыть и протереть их насухо. Измерить микрометром их диаметр и результаты занести в таблицу с отметкой продолжительности обработки.

3. Выполнить второе шлифование абразивной суспензией с микрораспылением М28. Инструмент и заготовки между переходами тщательно промыть.

4. Тонкое шлифование выполнить абразивом зернистостью М7–М10 между инструментами из текстолита. Заготовки тщательно промыть, измерить размеры.

5. Выполнить полирование шариков в три этапа на станке ОС-320 на тканевом полировальнике, установив заготовки в полировальное приспособление из текстолита, используя алмазную пасту зернистостью 7/5, 5/3 и 2/1 или 1/0.

6. Измерить диаметры обработанных заготовок, определить предельную разноразмерность шариков в партии. При визуальном контроле на поверхности шариков должны отсутствовать крупные царапины, выколы, следы обработки предыдущим абразивом. При наличии дефектов поверхности обработку возобновить, откорректировав режимы шлифования.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Схемы способов и устройств для шлифования шариков.
3. Графики изменения предельной разноразмерности шариков по диаметру и непостоянство диаметра шарика от времени обработки.
4. Технологический процесс изготовления шариков, используя данные лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1. Какой должна быть кинематика шариков в кольцевой канавке при шлифовании между двумя соосными дисками для формования точной сферической поверхности?

2. Почему при обработке шариков между двумя дисками в кольцевых канавках достигается высокая точность изделий, но производительность шлифования низкая?

3. Какие факторы влияют на увеличение скорости проскальзывания шариков в устройствах с приводными кольцами?

4. Поясните кинематику шарика в конической отверстии неподвижного верхнего диска при поступательном движении планшайбы по окружности.

5. Какие преимущества и недостатки метода шлифования шариков в конических отверстиях?

6. Поясните кинематику шариков при шлифовании между соосными дисками и свободным кольцом.

7. Как достигается соосность инструмента и параллельность торцевых поверхностей верхнего диска, свободного кольца, сепаратора и нижнего диска?

8. Как расположены следы от контакта с инструментом на поверхности шарика?

9. Под влиянием каких причин изменяется положение мгновенной оси вращения шарика относительно оси вращения инструмента?

10. Принцип действия установки для полирования шариков на базе станка мод. ОС-320.

11. Какие режимы обработки применяются при тонком шлифовании шариков?

12. Какие предъявляются требования к качеству поверхности шлифованных и полированных шариков?

13. Назовите основные операции технологического процесса обработки шариков из ювелирно-поделочных камней.

Литература

1. Михнев, Р. А. Оборудование оптических цехов: Учеб. для сред. спец. учеб заведений / Р. А. Михнев, С. К. Штандель. – М. : Машиностроение, 1991. – 447 с.

2. Щетникович К. Г. Шлифование стеклянных шариков между двумя соосными кольцами и диском / К. Г. Щетникович, М. Г. Киселев // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – Гомель, 2007. – № 4. – С. 3–10.

Лабораторная работа № 8

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ КАБОШОНОВ

Цель работы: ознакомиться с различными формами огранки ювелирных камней кабошоном, изучить устройство и принцип действия установки для шлифования кабошенов, изучить технологию и получить практические навыки изготовления сферического кабошена.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с видами и формами кабошенов.
2. Изучить последовательность и содержание операций, выполняемых при обработке кабошенов машинно-ручным способом.
3. Ознакомиться с конструктивными схемами станков для обработки кабошенов по копиру.
4. Изучить устройство и принцип работы станка для шлифования сферических кабошенов.
5. Приобрести практические навыки изготовления сферического кабошена.
6. Разработать технологический процесс изготовления сферического кабошена из поделочного камня.

Оборудование и принадлежности:

1. Установка для шлифования овальных кабошенов по копиру.
2. Станок для шлифования сферических кабошенов.
3. Станок доводочный СД-120.
4. Станок камнерезный СКП.
5. Круги алмазные.
6. Алмазные эластичные диски.
7. Полировальник тканевый.
8. Полирующие абразивы.
9. Электрическая плитка.
10. Заготовка кабошена.
11. Оправки.
12. Термоклей.
13. Штангенциркуль ШЦ-I ГОСТ 166-80.
14. Пинцет.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Кабошон – камень, имеющий гладкую выпуклую отполированную верхнюю поверхность и плоскую или криволинейную нижнюю. Кабошоны используются в качестве вставок в кулоны, серьги и перстни. Кабошоны из поделочных камней применяются при изготовлении браслетов, брошей, запонок, а также для отделки сумок и кошельков. При выборе формы кабошона необходимо сочетать ее с возрастом. Юным девушкам подойдут фантазийные формы огранки, например, сердечки. Мужчинам рекомендуются формы, имеющие грани – квадрат, многоугольник и крест.

Выбор сырья для кабошонов.

Для изготовления кабошонов, прежде всего, нужно выбрать качественный материал, что делается путем тщательного осмотра. Он должен быть сплошным, без трещин и пор, твердым и достаточно вязким.

Изготовление кабошонов.

Заготовками кабошонов являются пластины из камня. Обычно толщина пластин составляет 4–7 мм, для крупных кабошонов – 10 мм и более.

При помощи трафарета с различными формами и размерами выбранный контур переводят на пластину. Пластина с нанесенными контурами кабошонов разрезается на подрезной пиле на заготовки, при этом оставляется припуск 2–3 мм. При обработке вручную заготовка обдирается по контуру крупнозернистым шлифовальным кругом. На тыльной стороне кабошона сошлифовывают фаску, касающуюся линии контура. Заготовка может быть получена высверливанием кольцевым сверлом на вертикально-сверлильном станке. Заготовка некруглой формы, полученная распиливанием пластины по контуру на отрезном станке, должна быть предварительно прошлифована по рундисту на круглошлифовальном или кабошонном станке. Заготовку наклеивают на оправку, нагрев на электроплитке. Для этого на соединяемые поверхности наносят клей или смолу, и камень быстро прижимают пинцетом к вертикально установленной оправке, наклеив заготовку на оправку при помощи наклеочной смолы или термокля, оставляя припуск 1,0–1,5 мм для дальнейшей обработки.

Обдирку начинают с боковой поверхности под углом 75–80° к основанию кабошона и верха кабошона, непрерывно вращая кан-

говый зажим с оправкой. Затем вдоль верха кабошона делают фаску под более острым углом.

Обработка верхней части заключается в получении криволинейной поверхности верха на операции грубого шлифования. В ходе обработки симметричность камня проверяют в двух взаимно перпендикулярных поперечных сечениях. На операции тонкого шлифования поверхность камня выравнивается на мелкозернистом круге. Для удаления на поверхности камня следов предыдущей обработки и царапин выполняют сэндинг криволинейной поверхности на эластичной абразивной поверхности. После сэндинга поверхность камня должна быть равномерно матовой. Полирование проводят сначала для фаски, а затем верха кабошона. Если материал кабошона склонен к недополированию, то переходят на кожаный или деревянный полировальник и алмазную пасту.

Завершают обработку кабошона шлифованием низа, для чего камень переклеивают на уже обработанную поверхность. Для исключения повреждения полированной поверхности ее предварительно покрывают лаком. Низ кабошона очищают от остатков клея и прижимают к плоской поверхности крупнозернистого алмазного круга, пока не исчезнут следы отрезного круга. Затем поверхность шлифуют на мелкозернистом алмазном круге. После шлифования низа размер фаски обычно уменьшается и требуется ее шлифование на мелкозернистом круге до ширины 0,5–0,7 мм. Плоская поверхность основания кабошона и достаточный размер фаски обеспечивают надежное закрепление и устойчивое положение камня в оправе.

Готовые камни очищают от остатков клея спиртом или ацетоном и промывают теплой водой с моющим средством.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Станок для обработки сферических кабошонов.

Станок содержит привод вращения инструмента 9, привод вращения заготовки с двигателем 3 и механизмы для поворота и подачи заготовки 8. Шпиндель 5 (рис. 8.1) установлен на верхней поворотной плите 4, которая поворачивается относительно нижней плиты 1 на оси 6 и двух подшипниках качения 2 и 14. Нижняя плита установлена на шариковых направляющих (на схеме не показаны) и может свободно перемещаться в направлении, перпендикулярном

оси вращения алмазного круга 9 под действием пружины 7. Двигатель привода вращения алмазного круга 10 установлен на шариковых направляющих 12 и может совершать возвратно-поступательное движение для равномерного изнашивания круга с амплитудой равной половине ширины шлифовального круга. Возвратно-поступательное движение обеспечивается низкооборотным двигателем 13 и эксцентриковым механизмом 11.

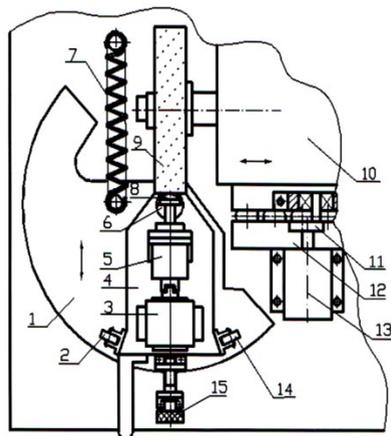


Рис. 8.1. Схема станка для обработки сферических кабошонов

Величина снимаемого слоя камня и окончательный размер кабошона устанавливаются регулировочным винтом 15. Обработка кабошона осуществляется за несколько циклов возвратно-вращательных движений верхней поворотной плиты и перемещения заготовки по направлению к алмазному кругу в конце каждого цикла. Для закрепления заготовки в шпинделе необходимо с помощью регулировочного винта 15 отвести шпиндель от алмазного круга и повернуть верхнюю плиту в крайнее левое положение. Затем вставить оправку с наклеенным кабошоном в цанговый зажим шпинделя и закрепить.

Конструкция шпиндельного узла привода вращения заготовки представлена на рис. 8.2. Шпиндель 5 выполнен полым и установлен в подшипниках качения корпуса 6, и с помощью муфты 2 связан с низкооборотным двигателем 1. В шпиндель вставлена цанга 4, зажимаемая гайкой 3. Шпиндельный узел и двигатель установлены на

верхней плите станка с помощью призм *14* и *11*. Оправку *9* с наклеенным камнем *8* вставляют в цангу и зажимают гайкой *3*.

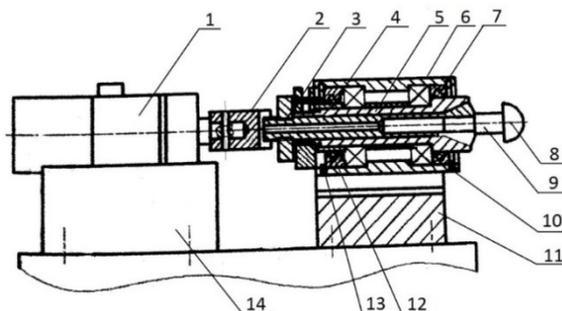


Рис. 8.2. Шпиндель станка для обработки сферических кабошонов

Методика выполнения работы

1. Заготовительная. Камень распиливается на пластины нужной толщины с припуском 0,5–1,0 мм на обе стороны. Распиливание производят с учетом рисунка и оптических свойств цветного камня.

2. Разметка. Выбирают на пластине текстурный участок нужного рисунка и, пользуясь шаблоном или трафаретом, наносят контур кабошона на пластину.

3. Отрезная. Разрезают пластину на заготовки на подрезной пиле (станок мод. СКП). Затем подрезают сильно выступающие участки заготовки, не приближаясь к очерченной линии ближе чем на 1,0–1,5 мм.

4. Наклеивание. Нагревают заготовку и оправку до нужной температуры на электрической плитке. Клеящее вещество наносят на заготовку и оправку. Камень центрируют на оправке, пока смола или термоклей не затвердели.

5. Обдирочная. Произвести настройку установки на обработку кабошонов:

5.1. Отвести шпиндель от шлифовального круга.

5.2. Закрепить в цанге шпинделя оправку с заготовкой.

5.3. Включить приводы вращения алмазного круга, заготовки кабошона и привод возвратно-поступательного движения инструмента. Включить подачу охлаждающей жидкости.

Формообразование осуществляется на станке для шлифования сферических кабошонов (рис. 8.1) за несколько рабочих ходов.

Плавно подвести заготовку к алмазному кругу. Произвести обработку кабошона. Медленно повернуть верхнюю плиту на 90° и затем регулировочным винтом 15 сместить шпиндель 5 с кабошоном по направлению к абразивному кругу. Повторяя повороты и перемещения верхней плиты, получить требуемый размер кабошона. После окончания обработки с помощью винта 15 отвести шпиндель 10 от шлифовального круга и достать из цангового зажима оправку с кабошоном.

6. Контрольная. Контролируется диаметр и высота кабошона.

7. Шлифование. Шлифование выполняют на доводочном станке СД-120 с ручным удержанием оправки с заготовкой. Обработку осуществляют за несколько переходов алмазными, резиновыми дисками зернистостью 80/63 – 28/20.

8. Сэндинг. Сэндинг выполняют на брезенте с подложкой из поролон. При обработке используют алмазную пасту зернистостью 20/14–10/7.

9. Контроль. Контролируется форма, размеры и качество сферической поверхности кабошона.

10. Промывка. Удаляются частицы абразивного порошка.

11. Полирование. Полирование осуществляется на мягком полировальнике с применением полирующего абразива, используется двухшпиндельный полировальный станок.

12. Контроль. Визуально контролируется качество полирования всей сферической поверхности кабошона.

13. Отклеивание. Оправки с камнем устанавливают на электрическую плиту и после нагревания отделяют кабошон.

14. Промывка. С плоской поверхности кабошона удаляют остатки клея.

15. Лакирование. Сферическую поверхность кабошона с помощью кисточки покрывают защитным лаком.

16. Наклеивание. Кабошон наклеивают сферической поверхностью на оправку.

17. Фасетирование. По контуру кабошона снимается фаска $0,5^{+0,3} \times 45^\circ$ на станке мод. СД-120. Инструмент – плоская алмазная планшайба зернистостью 14/10. При необходимости шлифуется плоская поверхность кабошона.

18. Отклеивание. После нагрева на электроплитке камень пинцетом отделяют от оправки.

19. Промывка. С помощью моющего средства удаляют остатки смолы. Очищают готовые кабошоны спиртом или мыльной водой с помощью щетки.

20. Контроль. Окончательно контролируется форма, размеры, качество поверхности кабошона.

Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.
2. Схемы установок для обработки кабошонов.
3. Технологический процесс обработки сферического кабошона.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные операции обработки сферических кабошонов.
2. Назовите перечень станков и инструментов для обработки кабошонов.
3. Каким образом обеспечивается равномерное изнашивание инструмента при шлифовании кабошонов на станке?
4. Как достигается сферичность обработанной заготовки?

Литература

1. Синкенес Дж. Руководство по обработке драгоценных и полудрагоценных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.

Лабораторная работа № 9 **ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ** **ОВАЛЬНЫХ КАБОШОНОВ**

Цель работы: изучить технологию и получить практические навыки изготовления овального кабошона.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с конструкцией станка и инструментов для обработки кабошонов по копиру.
2. Приобрести практические навыки настройки станка для изготовления сферического кабошона.
3. Освоить технологический процесс изготовления овального кабошона из поделочного камня.

Оборудование и принадлежности:

1. Установка для шлифования овальных кабошонов по копиру.
2. Станок доводочный СД-120.
3. Станок камнерезный СКП.
4. Круги алмазные.
5. Алмазные эластичные диски.
6. Полировальник тканевый.
7. Полирующие абразивы.
8. Электрическая плитка.
9. Заготовка кабошона.
10. Оправки.
11. Термоклей.
12. Штангенциркуль ШЦ-I ГОСТ 166-80.
13. Пинцет.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Виды и форма кабошонов.

Кабошон – способ огранки камня и сам камень, имеющий гладкую выпуклую отполированную верхнюю поверхность и плоскую или криволинейную нижнюю. Распространены такие формы кабошона как овальная, квадратная, прямоугольная (рис. 9.1). Кроме этого кабошоны могут иметь форму по контуру в виде треугольника, многоугольника, капли, сердечка, креста.

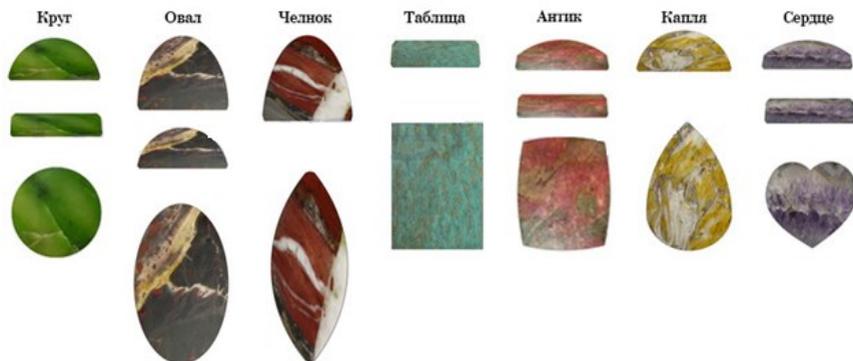


Рис. 9.1. Форма огранки кабошенов

По форме поперечного сечения выделяют четыре вида кабошенов: одинарный, двойной, вогнуто-выпуклый и низко выпуклый (рис. 9.2).

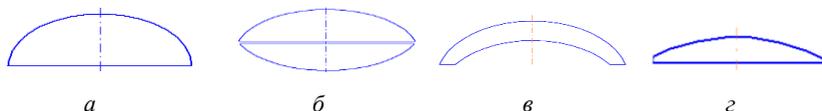


Рис. 9.2. Формы кабошенов

Кабошоны с плоским низом и выпуклым верхом называются одинарным или простым (рис. 9.2, *а*). Кабошоны с выпуклой формой верха и низа камня называются двойным кабошоном (рис. 9.2, *б*). Выпукло-вогнутый или полый кабошон (рис. 9.2, *в*) применяется для темноокрашенных камней с целью их осветления. Низко выпуклый кабошон имеет плоское основание и выпуклую верхнюю поверхность малой кривизны (рис. 9.2, *г*). В зависимости от кривизны верха различают низкие, средние и высокие кабошоны. Основания непрозрачных кабошенов обычно не полируются.

Изготовление кабошенов.

При помощи трафарета с отверстиями различных форм и размеров выбранный контур переводят на пластину. Пластина с нанесенными контурами кабошенов разрезается на подрезной пиле на заго-

товки, при этом оставляется припуск 2–3 мм. Затем шлифуется напуск по контуру крупнозернистым шлифовальным кругом, оставляя припуск 1,0–1,5 мм. На тыльной стороне кабошона шлифуют фаску по контуру с целью предотвращения скалывания камня. Затем наклеивают заготовку на оправку наклеочной смолой или термоклеем, нагрев на электроплитке. На соединяемые поверхности наносят клей или смолу, камень прижимают пинцетом к вертикально установленной оправке и центрируют на оправке.

Перед шлифованием низа камень переклеивают за уже обработанную поверхность. Для исключения повреждения полированной поверхности ее предварительно покрывают лаком. Низ кабошона очищают от остатков клея и прижимают к плоской поверхности крупнозернистого алмазного круга, пока не исчезнут следы отрезного круга. Затем поверхность шлифуют на мелкозернистом алмазном круге. После шлифования низа размер фаски обычно уменьшается, и требуется ее шлифование на мелкозернистом круге до ширины 0,5–0,7 мм. Плоская поверхность основания кабошона и достаточный размер фаски обеспечивают надежное закрепление и устойчивое положение камня в оправе.

При необходимости выполняется доводка плоской поверхности, которая затем полируется на том же полировальнике. Готовые камни очищают от остатков клея спиртом или ацетоном и промывают теплой водой с моющим средством.

Станки для обработки кабошонов по копиру.

Схема шлифования овального кабошона методом копирования представлена на рисунке 9.3, *а*. Эталон (копир) 2, прижатый к упору 1, и заготовка 4, прижатая к шлифовальному кругу 3, получают синхронное вращение в одинаковом направлении. При медленном смещении (подаче) заготовки вправо равномерно удаляется слой припуска со всей ее поверхности. Для шлифования кабошонов некруглой формы используются специальные кабошонные станки. Схема станка для обработки кабошонов, в устройстве которого применяется шарнирный четырехзвенник с параллельными звеньями, представлена на рисунке 9.3, *б*. Станок состоит из двухшпиндельного узла с синхронно вращающимися шпинделями 7 и 5, в которых закреплены соответственно заготовка 12 и копир 3. Шпиндельный узел установлен на вертикальной плите 4, который служит боковым звеном шарнирного параллелограмма, закрепленного на стойке 6. Копир 3

прижат к регулируемому упору 2. В нижнем шпинделе 7 установлена оправка 11 с наклеенной на нее заготовкой 12.

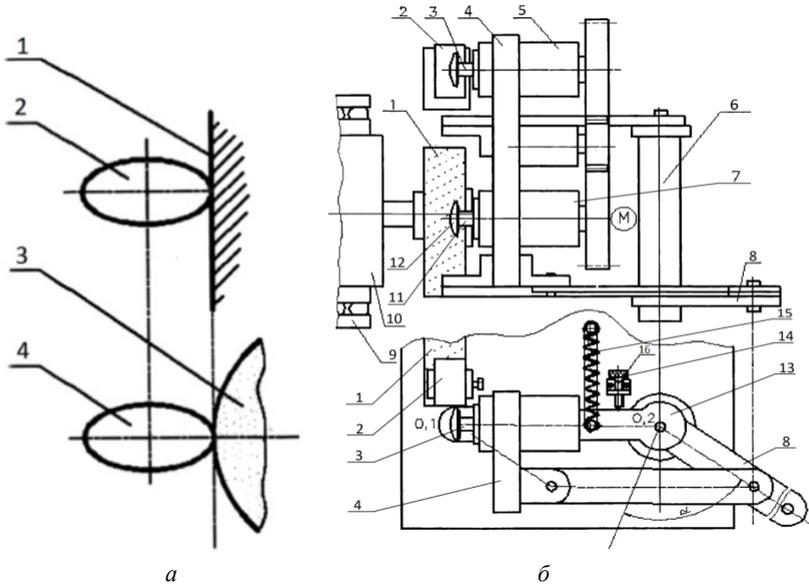


Рис. 9.3. Схема копирующей обработки овального кабошона (а) и станка с механизированной подачей заготовки (б)

Прижатие копира 3 к упору 2 и заготовки 12 к алмазному кругу 1 достигается пружиной 15. Алмазный круг 1 с двигателем 10 получает возвратно-поступательное движение на шариковых направляющих 9, обеспечивая равномерное изнашивание круга по ширине. Угловое положение обрабатываемой заготовки относительно инструмента достигается поворотом рукоятки 8 на угол α вокруг оси O_2 стойки 6. При этом на этот же угол повернется плита 4 со шпинделями 7 и 5 вокруг оси O_1 . Для обработки всей поверхности кабошона необходим поворот на угол в пределах 90° . Величина снимаемого припуска регулируется положением упора 2.

Частота вращения заготовки составляет 100 об/мин. Для формообразования заготовки по контуру необходимо перемещать плиту 4 со шпинделями 7 и 5 в горизонтальном направлении, перпендикулярном линии O_1O_2 .

Станок позволяет также шлифовать сферические кабошоны без копира. К недостаткам данного станка для обработки кабошонов по копиру следует отнести влияние формы упора на точность профиля кабошона, вследствие различия в форме рабочих поверхностей упора *1* и шлифовального круга *3*. Кроме того, изменение взаимного положения упора и шлифовального круга приводит к непропорциональному изменению формы обрабатываемого кабошона.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методика выполнения работы

Технологический процесс изготовления сферического кабошона состоит из следующих операций:

1. Заготовительная. Камень распиливается на пластины нужной толщины с припуском 0,5–1,0 мм на обе стороны. Распиливание производят с учетом рисунка и оптических свойств цветного камня.

2. Разметка. Выбирают на пластине текстурный участок нужного рисунка и, пользуясь шаблоном или трафаретом, наносят контур кабошона на пластину.

3. Отрезная. Разрезают пластину на заготовки на подрезной пиле (станок мод. СКП). Затем подрезают сильно выступающие участки заготовки, не приближаясь к очерченной линии ближе чем на 1,0–1,5 мм.

4. Наклеивание. Нагревают заготовку и оправку до нужной температуры на электрической плитке. Клеящее вещество наносят на заготовку и оправку. Камень центрируют на оправке пока смола или термоклей не затвердели.

5. Обдирочная. Формообразование осуществляется на станке для шлифования кабошонов за несколько рабочих ходов.

6. Настроить установку для шлифования овальных кабошонов, для чего отвести шпиндель *7* от шлифовального круга с помощью рукоятки *8* (рис. 9.3, б), закрепить в цанге шпинделя *7* оправку с заготовкой, а в цанге шпинделя *5* – оправку с копиром, плавно подвести заготовку к шлифовальному кругу, отрегулировать положение упора *2* относительно шлифовального круга, зафиксировать его винтом.

7. Контрольная. Контролируется диаметр и высота кабошона.

8. Шлифование. Шлифование выполняют на доводочном станке СД-120 с ручным удержанием оправки с заготовкой. Обработку

осуществляют за несколько переходов алмазными резиновыми дисками зернистостью 80/63 – 28/20.

9. Сэндинг. Сэндинг выполняют на брезенте с подложкой из поролона. При обработке используют алмазную пасту зернистостью 20/14–10/7. Эластичная абразивная поверхность ликвидирует плоские участки, оставшиеся на криволинейной поверхности кабошона после шлифования на алмазном круге. После сэндинга поверхность камня должна быть равномерно матовой с множеством мелких рисок одинакового размера.

10. Контроль. Контролируется форма, размеры и качество сферической поверхности кабошона.

11. Промывка. Удаляются частицы абразивного порошка.

12. Полирование. Полирование осуществляется на мягком полировальнике с применением полирующего абразива. При полировании используется двухшпиндельный полировальный станок.

13. Контроль. Визуально контролируется качество полирования всей сферической поверхности кабошона.

14. Отклеивание. Оправки с камнем устанавливают на электрическую плиту и после нагревания отделяют кабошон.

15. Промывка. С плоской поверхности кабошона удаляют остатки клея.

16. Лакирование. Сферическую поверхность кабошона с помощью кисточки покрывают защитным лаком.

17. Наклеивание. Кабошон наклеивают сферической поверхностью на оправку.

18. Фасетирование. По контуру кабошона снимается фаска $0,5^{+0,3} \times 45^\circ$ на станке модели СД-120. Инструмент – плоская алмазная планшайба зернистостью 14/10.

19. При необходимости шлифуется плоская поверхность кабошона.

20. Отклеивание. После нагрева на электроплитке камень пинцетом отделяют от оправки.

21. Промывка. С помощью моющего средства удаляют остатки смолы.

22. Контроль. Окончательно контролируется форма, размеры, качество поверхности кабошона.

Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.
2. Схемы установок для обработки кабошонов.
3. Технологический процесс обработки сферического кабошона.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды и формы кабошонов.
2. Поясните последовательность выполнения операций обработки кабошонов машинно-ручным способом.
3. Какие факторы влияют на соотношение размеров копира и обработанного кабошона?
4. Каким образом обеспечивается равномерное изнашивание инструмента при шлифовании кабошонов на станке?
5. Перечислите основные операции обработки сферических кабошонов.

Литература

1. Синкенес Дж. Руководство по обработке драгоценных и поделочных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.

Лабораторная работа № 10

ТЕХНОЛОГИЯ ОГРАНКИ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ

Цель работы: изучить технологический процесс изготовления граненых камней и приобрести практические навыки работы.

Задачи работы:

1. Ознакомится с конструкцией станка и приспособления станков для огранки камней.
2. Освоить последовательность и содержания операций, выполняемых при огранке камней.
3. Произвести огранку материала.
4. Разработать технологический процесс огранки.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Существует две основные разновидности огранки: бриллиантовая и ступенчатая. Для бриллиантовой огранки характерны треугольные или клиновидные грани, тогда как при ступенчатой огранке все грани более или менее прямоугольные и расположены ступенями.

Круглый бриллиант имеет следующие элементы огранки:

- грань – часть плоской поверхности камня, ограниченная замкнутым контуром, состоящим из ребер,
- угол наклона грани – двугранный угол между гранью и плоскостью рундиста,
- ярус граней – совокупность граней равной высоты, расположенных на одном уровне относительно плоскости рундиста,
- ребра – места соединения граней,
- рундист – пояс, ограничивающий бриллиант в самой широкой части,
- верх (корона) – часть бриллианта выше рундиста, 33-грань,
- низ (павильон) – часть бриллианта ниже рундиста, 24-грань,
- площадка – самая большая грань, правильный 8-ми угольник на короне,
- грани звезды (одиночные клинья верха) – треугольные грани вокруг площадки,
- основные грани верха – четырехугольные грани верха,

- клинья верха (парные клинья верха) – треугольные грани на короне, примыкающие к рундисту,
- основные грани низа – четырехугольные грани павильона,
- клинья низа – треугольные грани на павильоне,
- шип – место схождения основных граней павильона в точку,
- калетта – маленькая грань на месте шипа, параллельная площадке,
- найф – часть природной грани кристаллов, примыкающей к поверхности рундиста камня,
- ось камня – воображаемая прямая, проходящая перпендикулярно через центр площадки.

Оборудование и принадлежности

Станок ограночный настольный СУН-3435 для абразивной и алмазной обработки драгоценных и ювелирно-поделочных камней, стекла и других хрупких материалов.

1. Приспособление ограночное цанговое.
2. Приспособление для наклейки камня.
3. Круги шлифовальные алмазные.
4. Круги эластичные полировальные.
5. Оправки для огранки камней.
6. Плитка электрическая.
7. Штангенциркуль.
8. Лупа измерительная.

Станки ограночные для обработки камней являются настольными с регулируемым или нерегулируемым приводом вращения алмазного инструмента, на который устанавливают и закрепляют специальное ограночное приспособление (рис. 10.1).



a



б

Рис. 10.1. Общий вид универсального станка для огранки цветных камней (*a*) и приспособление для огранки (*б*)

Станок состоит из коробчатой станины и привода вращения, который состоит из электродвигателя постоянного тока, ременной передачи и шпинделя.

Приспособление для огранки ювелирных камней состоит из стойки и головки, на которой установлен узел квадранта. Стойка – прочный, жесткий, вертикальный, круглый в сечении стержень. Узел квадранта – опорный кронштейн, на котором размещен узел квадранта с головкой. Квадрант представляет собой пластину из металла в виде четверти круга с нанесенными угловыми градусами от 0 до 90. Приспособление имеет два указателя: один показывает углы подъема, другой – углы поворота.

Для огранки камней используют различные планшайбы со связанным или свободным абразивом.

1. Планшайбы со свободным абразивом используют для огранки в сочетании с кругами из стали, чугуна, свинца, типографского сплава. Это быстрый и экономичный способ огранки. Огромным недостатком свободного абразива является образуемая его частицами грязь. Абразивными материалами служит алмаз (природный и синтетический), электрокорунд – Al_2O_3 , карбид кремния – SiC , карбид бора – B_4C .

2. Планшайбы, шаржированные алмазными порошками, могут быть из чугуна или меди.

3. Планшайбы со связанным алмазным инструментом диаметром 150–200 мм в виде металлических дисков с равномерно распределенными зернами алмаза. Металлические круги с алмазосодержащим покрытием выполнены в виде равномерно распределенных зерен алмаза, зафиксированных с помощью никелевого покрытия. Для работы на универсальных станках часто применяют торцевые круги АПВД ГОСТ 16117-70 со следующими характеристиками: $D = 150$ мм, $H = 16$ мм, $d = 32$ мм, $e = 10$ мм, $s = 3$ мм; связка М1, алмаз марки АСМ зернистостью 60/40, концентрация 50 %. Для нанесения граней на коронке и павильоне камня применяют алмазный круг формы А1ПВ ТУ2-037-94-72: $D = 140$ мм, $H = 16$ мм, $d = 32$ мм, $b = 35$ мм, $S = 1,5$ мм; связка М1, алмазный порошок марки АСМ, зернистостью 60/40, концентрация алмаза 50 %, а для полирования граней, коронки и павильона – алмазные круги формы А1ПВ ТУ2-037-94-72 зернистостью 7/5, концентрацией алмаза 50 %. Наибольшее распространение получили плоские алмазные круги с выточкой формы 6А2 и 1Ф2Т.

4. Полировальные круги из различных металлов и сплавов, пластмассы, дерева, ткани, кожи.

Наклейка и переклейка камней на шпильку производится вручную при помощи шеллачной мастики. Заготовку наклеивают на оправку или киттшток. Для наклеивания заготовки на оправку используется специальное устройство (рис. 10.2), которое состоит из П-образного алюминиевого корпуса 5 с V-образной канавкой для удобства установки цилиндрических оправок 1 и 4. Заготовка 6 приклеивается к оправке 3 шеллачной смолой. Фиксация оправок в устройстве осуществляется винтами 2. При наклейке павильона используется оправка с площадкой, перпендикулярной оси оправки.

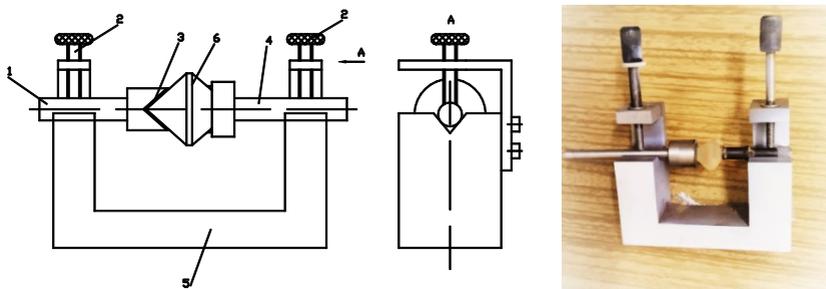


Рис. 10.2. Приспособление для наклейки камня

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методика выполнения работы

Маршрут обработки камня состоит из следующих операций.

1. Разметка сырья.
2. Разрезка камня на заготовки.
3. Наклейка заготовки.
4. Предварительная обработка заготовок.
5. Огранка граней низа.
6. Полировка граней низа.
7. Переклейка.
8. Огранка граней верха.
9. Полировка граней верха.

10. Полировка рундиста.

11. Отклейка и очистка.

12. Контроль качества.

Этапы бриллиантовой огранки камня производят в следующей последовательности (рис. 10.3): низ, верх, а затем рундист.

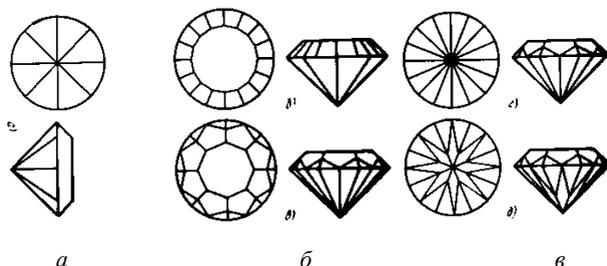


Рис. 10.3. Этапы огранки круглых камней

При обработке прозрачных цветных камней (берилла, изумруда, гиацинта, сапфира, рубина, граната и пр.) используют ступенчатую огранку в форме квадрата, прямоугольника или ромба. При огранке изумрудам придают преимущественно форму «изумруд», но допустимы и другие формы (рис. 10.4). Изумруды массой до 0,1 кар гранятся только квадратной формы (каре).

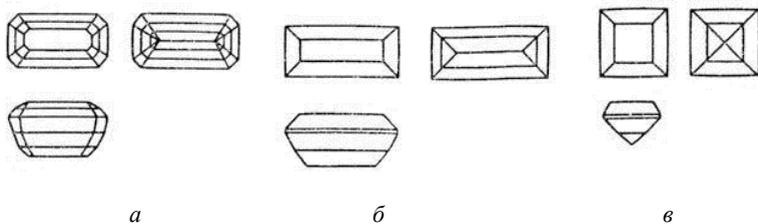


Рис. 10.4. Формы огранки изумруда
а – изумрудная, *б* – прямоугольная, *в* – каре

Огранку камней прямоугольной формы производят в технологической последовательности, представленной на рисунке 10.5. Сначала шлифуют площадку, затем формируют рундист по прямоугольному контуру, после чего гранят facets верх и низа.

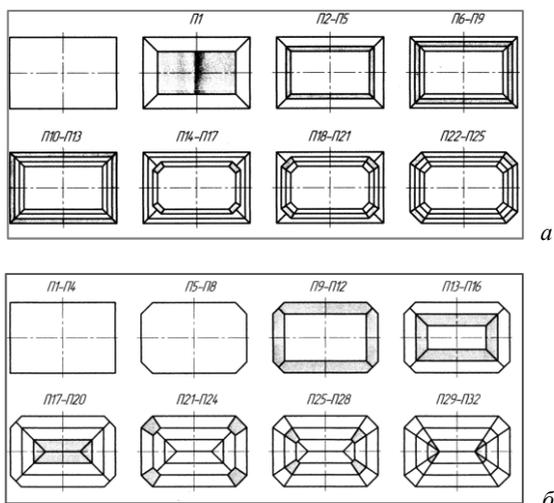


Рис. 10.5. Последовательность обработки граней низа (а) и верха (б)

При огранке верха обработку начинают с первого ряда граней короны, которые примыкают к рундисту под одним углом, а затем – второго ряда граней, наклоненных уже под другим углом. На круге с мелким абразивом огранку повторяют в той же последовательности, исправляя ошибки допущенные на предыдущей операции. Формирование граней сторон выполняют в определенной последовательности. Например, в четырехугольных вставках сначала шлифуют первую грань, а потом – противоположащую, затем боковую и окончательно – противоположную ей грань. Полирование выполняют в обратном порядке: начинают от верхних граней, соприкасающихся с гранью площадки, и заканчивают на гранях, примыкающих к рундисту.

Для огранки низа камень переклеивают на новую оправку, соблюдая центровку и точное сопряжение всех граней верха и низа. Для этого оправку с камнем зажимают в наклеечном приспособлении, нагревают новую оправку, покрытую горячей смолой, прижимают к площадке камня и фиксируют в таком положении винтом до застывания клея. Затем, быстро нагрев пламенем спиртовки старую оправку и размягчив смолу, отделяют ее от камня. Избыток смолы с павильона удаляется лезвием бритвы или ножа.

При огранке низа сначала шлифуют грани первого ряда, прилегающих к рундисту, затем второй и третий ряды, а затем окончательно

шлифуют эти грани на мелкозернистом круге. При полировании сначала полируют грани, прилежащие к вершине павильона, затем грани среднего ряда и после этого грани, прилежащие к рундисту. Обработку камня заканчивают полированием рундиста на круге из дерева тем же полирующим порошком.

К разновидности ступенчатой огранки с одинаковым типом огранки относится огранка *ашер* и *изумрудная*. Высота ярусов уменьшается по направлению от рундиста к каллете – для граней низа, от рундиста к площадке – для граней верха.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Перечень узлов устройства для огранки камней.
3. Характеристики инструмента, режимы обработки.
4. Краткое описание технологии изготовления вставки.
5. Операционные эскизы огранки камня.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды огранки камней.
2. Какие виды оборудования применяют для огранки цветных камней?
3. Из каких частей состоит приспособление для огранки?
4. Какие инструменты применяют для огранки камней?
5. В каком порядке следует гранить камень?
6. Как осуществляется огранка ступенчатых камней?
7. Назовите основные элементы ограненного камня.

Литература

1. Андреев, В. Н. Огранка самоцветов / В. Н. Андреев; под ред. И. И. Шафранского. – М. : Росгизместпром, 1957. – Т. 1. – 159 с.
2. Синкенкес, Дж. Руководство по обработке драгоценных и полуделочных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.
3. Щербань, Л. М. Огранка алмазов в бриллианты / Л. М. Щербань. – Киев : Выща школа, 1988. – 200 с.

Лабораторная работа № 11 МЕТОДЫ СВЕРЛЕНИЯ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ

Цель работы: изучить технологию и оборудование для сверления ювелирных камней.

Задачи работы:

1. Приобрести практические навыки изготовления изделий с использованием операции сверления ювелирных камней.
2. Изучить конструкцию инструментов и оборудования для сверления камней.
3. Ознакомиться с методами наладки оборудования и обработки при сверлении камней.

Оборудование и принадлежности:

1. Станок сверлильный настольный.
2. Сверла алмазные.
3. Станок круглошлифовальный ЦС-50.
4. Станок шлифовальный ШП 3.
5. Станок ультразвуковой.
6. Блок для клейки заготовок.
7. Абразивные порошки зернистостью 12, 8, 6, M28, M20.
8. Полировальные пасты.
9. Заготовки в виде пластин толщиной 3–4 мм из поделочного камня различной твердости.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Сверление цветного камня применяется для получения сквозных или глухих отверстий или углублений в полуфабрикате. Способ и режимы обработки отверстий зависят от диаметра сверла, твердости материала и формы этого отверстия. Сверление отверстий в мягких материалах осуществляется сиральным сверлом (рис. 11.1, *a*), алмазными сверлами диаметрами 0,5–100 мм (рис. 11.1, *б–г*), а высверливание полуфабрикатов из заготовок выполняется кольцевыми сверлами удалением обрабатываемого материала на кольцевом участке. Алмазное сверление выполняют с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Алмазные инструменты отличаются по виду алмазосодержащего слоя и способом его закрепления на корпусе сверла. По конструкции алмазные сверла разделяют на:

- стержневые для сверления отверстий малого диаметра до 3 мм,
- трубчатые со сплошной коронкой для диаметров сверления $D = 3\text{--}10$ мм,
- перфорированные трубчатые сверла с промывочными канавками $D = 12\text{--}20$ мм.

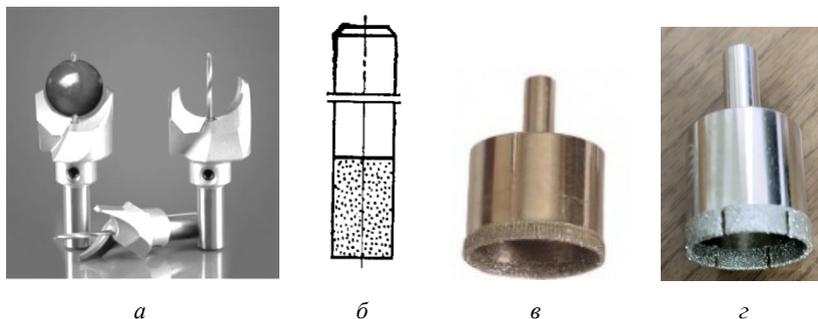


Рис. 11.1. Сверла для обработки камней: *а* – спиральное, *б* – стержневое, *в* – со сплошной коронкой, *г* – с промывочными канавками

Наибольшее распространение в промышленности получили трубчатые алмазные сверла, состоящие из алмазной кольцевой коронки, закрепленной в цилиндрическом корпусе (хвостовик сверла). Промышленность выпускает, как правило, только алмазные коронки. Поэтому посадочные отверстия под алмазные коронки должны соответствовать жестким требованиям: радиальное биение относительно наружной посадочной поверхности хвостовика.

Трубчатые алмазные сверла выпускают диаметром 0,8–450 мм; они могут быть использованы для получения цилиндрических и кольцевых изделий. Толщина алмазосодержащего слоя 10 мм (до диаметра 200 мм) и 5 мм (до диаметра 220 и 440 мм). Ширина алмазосодержащего слоя у большинства сверл от 1,0 до 2,0 мм. У некоторых размеров сверл она достигает 3,0; 5,0 и даже 10,0 мм.

Сверла алмазные кольцевые с державкой формы АСК имеют диаметры от 2,0 до 440 мм. Длина сверла составляет 50 мм (для диаметров от 2 до 12 мм), 160 мм (до диаметра 25 мм), 180 мм (до диаметра 170 мм) и 400 мм (для диаметров от 180 до 440 мм).

Для изготовления кольцевых коронок применяют алмазные порошки марок А2, А3, А5, АС6, АС15, АС32 по ГОСТ 9206-80. Кон-

центрация алмазов при обработке камней средней твердости и стекла – 75 %, для более твердых материалов – 100 %.

Наиболее распространенным способом является сверление камня алмазными стержневыми и трубчатыми сверлами на настольно-сверлильных станках. Спиральные сверла (рис. 11.1, *a*) применяют при сверлении мягких минералов, твердостью до 3 по шкале Мооса и, как правило, органического происхождения: янтаря, кости и пр. Стержневые алмазные сверла (рис. 11.1, *б*) применяют для сверления на глубину до 15 мм. Они состоят из цилиндрического хвостовика диаметром 0,5–3 мм, на который нанесен алмазосный слой зернистостью алмазного порошка 100/80–28/20 марки А2–А5 или АС15–АС32 с концентрацией алмаза 100 %.

Рекомендуемый уровень скоростей резания невысок и находится в пределах 0,5–10 м/с. При сверлении более твердых материалов следует работать на более высоких скоростях. При алмазном сверлении подача инструмента может осуществляться механически, с помощью груза или от усилия рабочего. При сверлении отверстий диаметром до 2 мм предпочтительна ручная подача.

При сверлении алмазными стержневыми сверлами подачу назначают в пределах 2–5 мм/мин. С целью уменьшения сколов подачу инструмента на выходе следует снижать на 60–70 %. После прохода 0,5–1 мм следует отводить сверло от детали для улучшения условий циркуляции СОЖ. Во время сверления инструмент необходимо периодически поднимать.

В качестве СОЖ используется техническая вода, водные растворы эмульсолов, а также водный раствор с добавлением 0,7 % триэтанолamina, 0,9 % нитрита натрия, 0,1 % смачивателя ОП-7 или ОП-10. Для глубокого сверления ($l/d > 50$) целесообразна подача СОЖ под давлением.

Процесс сверления камней отличает повышенная хрупкость материалов, вызывающая сколы на выходе инструмента. Поэтому рекомендуется приклеивать эластичные прокладки, например, из твердой резины или дерева.

Сверление отверстий в заготовках производится тремя исполнительными движениями: вращением инструмента, круговой подачей заготовки и продольной подачей инструмента (или заготовки) на требуемую глубину сверления.

Обработка алмазными сверлами.

Работу выполняют на настольном вертикально-сверлильном станке, закрепив алмазный инструмент в патроне станка, при вращении и подаче сверла на нужную глубину. Скорость вращения и величина вертикальной подачи сверла устанавливается по режимам резания в зависимости от диаметра сверла. На принятые режимы резания вводят коррективы в зависимости от твердости обрабатываемого материала. Сверление алмазными сверлами выполняют с обязательной подачей воды в качестве СОЖ в зону резания (рис. 11.2).

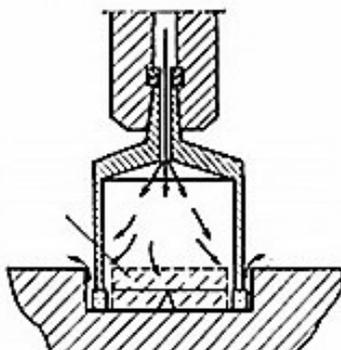


Рис. 11.2. Схема сверления камня кольцевым сверлом с подачей СОЖ

Высверливание заготовок из массива цельного камня выполняется трубчатыми сверлами диаметром до 400 мм погружением заготовки в ванну с водой, с наружным или внутренним подводом воды. Обработка с наружным подводом СОЖ или в ванне с СОЖ допускается при использовании стержневых сверл, а также трубчатых сверл до 20 мм, если глубина сверления не превышает 50 мм. Обработку длинномерных заготовок выполняют на вертикально- или радиально-сверлильных станках с применением специального устройства, с принудительной прокачкой СОЖ в зону сверления через внутреннюю полость инструмента.

При сверлении сквозных отверстий трубчатыми сверлами необходимо предусматривать возможность свободного выхода сверла из камня или класть подкладку из древесной плиты, которая предохраняет от образования сколов на заготовке.

При сверлении глухих отверстий образованный керн скалывают, для чего в образовавшийся кольцевой паз с одной стороны вставляют кусочек резины, которая служит амортизатором, а с противоположной стороны вставляют клин и молотком наносят по нему легкие удары. Керн скалывается почти у самого основания, если в нем нет трещин. Ступенчатые отверстия сверлятся с одной установки, так, чтобы оси их совпадали. При сверлении изделий из цветного камня алмазными кольцевыми сверлами действуют значительно меньшие усилия резания, чем при обработке металлов, поэтому при обработке камня максимальные диаметры сверления могут в 3–4 раза превышать условный диаметр, указанный в обозначении станка.

Ультразвуковая обработка отверстий.

Ультразвуковые методы в ювелирном производстве нашли наибольшее применение при прошивании отверстий в камнях и стекле. Ультразвуковые колебания распространяются в твердых телах в форме продольных, изгибных, крутильных, поперечных волн или их комбинаций. Эти волны характеризуются длиной и амплитудой колебаний. Сверление выполняется на частотах инструмента 18–22 кГц и амплитудах 5–20 мкм. Инструментом служит упругая проволока из стали 65Г или наконечники шприцев медицинских, а также швейные иглы к машинам. В зону УЗ сверления подается абразивная суспензия порошка карбида бора зернистостью №5–8. Производительность сверления 2–5 мм/мин, глубина сверления до 20 мм. Уменьшение, так же как и увеличение, зернистости порошка приводит к снижению производительности обработки.

Сущность ультразвуковых методов обработки заключается в использовании механических колебаний для интенсификации технологических процессов в зоне контакта, кавитационных явлений в жидкости и пр. Механические эффекты основаны на возникновении знакопеременных напряжений в твердом (инструменте, детали) или жидком теле. Обработка свободным абразивом сопровождается высокочастотным ударным воздействием вибрирующего инструмента на заготовку в условиях абразивной среды. Механическое воздействие инструмента приводит к хрупкому выкалыванию обрабатываемого материала и съему припуска. Данный принцип действия используется в ультразвуковых станках для прошивания отверстий, получения рельефных поверхностей гемм на поделочных камнях.

Производительность обработки зависит от твердости обрабатываемого материала, вида и размерности абразивных частиц.

Ультразвуковая абразивная обработка позволяет получать также отверстия некруглой формы, вырезать детали криволинейной формы из пластин, а также получать рельефные изображения на поверхности камня в виде камей и инталий.

Ультразвуковой способ обработки осуществляется при частоте 18–22 кГц с амплитудой колебаний 5–15 мкм. Инструментом для прошивки отверстий служит упругая стальная проволока диаметром, равным диаметру получаемого отверстия. Проволоку (или медицинскую иглу) вводят и припаивают в подготовленное отверстие на рабочем торце ультразвукового станка. В качестве абразива используется карбид кремния или карбид бора зернистостью №5–8. Обработка выполняется либо в ванночке с водой, либо путем подачи кисточкой суспензии, состоящей из СОЖ и абразива. В качестве СОЖ может быть использована вода, маловязкое масло или глицерин. Прижимают заготовку к рабочему концу инструмента с небольшим усилием. В конце хода инструмента рекомендуется либо снизить усилие прижима заготовки к инструменту, либо обрабатывать камень с двух сторон.

Излучатели продольных колебаний представляют резонансную колебательную систему, работающую на одной согласованной частоте. Она состоит из ультразвукового преобразователя и волновода. Ультразвуковые системы состоят из генераторов ультразвуковых колебаний для преобразования тока частотой 50 Гц в электрический сигнал частотой 16 кГц и более и ультразвукового преобразователя (рис. 11.3 *а* и *б*). Станок состоит из столика, закрепленной на нем вертикальной стойки и ультразвуковой головки 1 с рабочим инструментом 2. Для обеспечения вертикальной подачи инструмента при настройке и обработке в верхней части станка предусмотрен реечный механизм подачи 4. Заготовка устанавливается и закрепляется на столике с контейнером 3 для сбора СОЖ.

В ходе обработки материала проволочный инструмент подвергается абразивному износу, что приводит к заострению рабочего конца, укорочению его длины и смещению рабочего торца из зоны пучности ультразвуковых колебаний, а в результате – к снижающейся интенсивности обработки. Для повышения производительности обработки отверстия необходимо периодически удалять заостренный участок кусачками или заменять изношенную проволоку на новую.

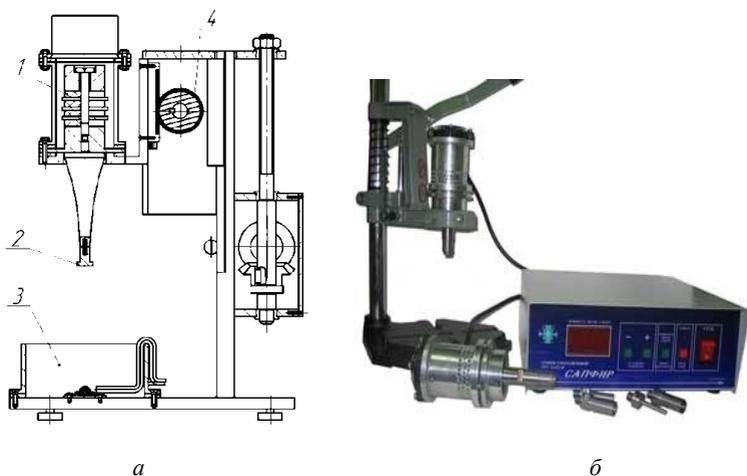


Рис. 11.3. Схема устройства (а) и общий вид (б) ультразвукового станка для прошивания отверстий

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методика выполнения работы

1. Распилить заготовку на плоские пластины толщиной 5–7 мм.
2. Разметить пластину на квадратные формы, а затем придать ей восьмиугольную форму на распиловочном станке.
3. Шлифовать торцевые стороны заготовки на станке ШП-3, наклеив их смолой на блокировочный диск, разогретый на электрической плитке. После грубого и тонкого шлифования одной стороны отклеить заготовки от блока, переклеить на другую сторону и повторить операцию шлифования на второй стороне. Промыть заготовки водой.
4. Открепить заготовки от блока, разогрев на плитке.
5. Склеить заготовки столбиков из 3–4 штук между собой парафином, разогрев их на электрической плитке.
6. Установить и закрепить заготовки в приспособлении между шпинделями круглошлифовального станка ЦС-50.
7. Шлифовать заготовки до достижения округлости формы.
8. Снять заготовки с приспособления и отклеить, разогрев их.

9. Снять фаски с боковых сторон заготовки.

10. Полировать торцевые стороны заготовок на полировальном станке, используя полировальную пасту.

А. При сверлении алмазным сверлом:

1. Установить камень на деревянную подкладку в приспособлении и уложить в ванночку с водой.

2. Установить и закрепить в патроне сверлильного станка алмазное сверло.

3. Включить привод вращения инструмента. Опустить шпиндель станка с инструментом до касания с заготовкой и сверлить сквозное отверстие, регистрируя время, затраченное на сверление. После обработки выключить станок, промыть заготовки, протереть насухо оборудование.

Б. При прошивании отверстия ультразвуковым способом:

1. Отрезать проволоку длиной 30 мм, диаметром 0,8 мм и припаять к ультразвуковому волноводу.

2. Привинтить волновод к концентратору ультразвукового станка. Включить генератор колебаний и проверить наличие колебаний в инструменте. Настроить на резонансный режим работы ультразвуковой системы.

3. Подготовить абразивную суспензию для обработки отверстия.

4. Нанести абразивную суспензию на поверхность заготовки, включить генератор и, прижимая ее к инструменту, осуществить прошивание отверстия. Занести время, затраченное на обработку отверстия в таблицу.

5. Повторить п. 4, заменив абразив на другую зернистость, и зафиксировать время на обработку.

6. Выключить генератор, помыть заготовки и протереть станок.

Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.

2. Маршрутная технология изготовления детали.

3. Эскизы обработки.

4. Графики зависимости производительности обработки от размера зерна и твердости материала заготовки.

5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие инструменты применяют для сверления камней?
2. От чего зависит зернистость алмазных сверл?
3. Какие способы подачи СОЖ применяют при сверлении камня?
4. В каких случаях применяют ультразвуковой способ обработки отверстий?
5. Поясните механизм съема материала при абразивной ультразвуковой обработке отверстий.
6. Что относится к режимам ультразвуковой обработки?

Литература

1. Михнев, Р. А. Оборудование оптических цехов: учеб. для сред. спец. учеб. заведений / Р. А. Михнев, С. К. Штандель. – М. : Машиностроение, 1991. – 447 с.
2. Луговой, В. П. Технология изготовления ювелирных и художественных изделий: учебное пособие / В. П. Луговой. – Ростов н/Д : Феникс, 2018. – 502 с.
3. Перерозин, М.А. Справочник по алмазной обработке стекла / М. А. Перерозин. М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
4. Синкенкес, Дж. Руководство по обработке драгоценных и полудрагоценных камней: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 423 с.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Общие требования.

К выполнению данной работы допускаются студенты, изучившие настоящую инструкцию, знающие устройство и эксплуатацию используемого оборудования, получившие инструктаж у преподавателя.

При любом перерыве в подаче электроэнергии немедленно выключить используемое оборудование.

Работы по ремонту оборудования и приборов, находящихся в лаборатории, выполняются только ее сотрудниками.

Категорически запрещается включение оборудования, работа на котором Вам не поручена.

При любом несчастном случае с Вами или Вашими товарищами немедленно поставьте в известность об этом преподавателя, проводящего занятие, и обратитесь в медпункт.

Требования безопасности, выполняемые перед началом работы.

Станок должен быть заземлен. Проверьте визуально наличие заземляющих устройств.

Перед пуском станка убедитесь, что это никому не угрожает. Включение станка производится только под наблюдением преподавателя или инженера лаборатории.

Требования безопасности, выполняемые во время работы.

Проверить наличие кожуха на шпинделе станка.

При выполнении работы нужно быть внимательным, не отвлекаться на посторонние дела и разговоры и не отвлекать других.

Обрабатываемую заготовку плавно подводить к отрезному кругу, не допуская чрезмерного нажима на рычаг приспособления.

Нельзя направлять рычаг оправки на набегающую сторону круга – камень всегда должен находиться в волочащемся положении (на убегающей стороне)!

Смену рабочего инструмента и закрепление оправки с наклеенной заготовкой проводить только при выключенном двигателе привода шпинделя.

Требования безопасности, выполняемые после окончания работы.

Выключите станок.

Приведите в порядок рабочее место, инструмент, приборы.

Лабораторная работа № 12

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОЗАИКИ ИЗ ПОДЕЛОЧНОГО КАМНЯ

Цель работы: изучить особенности видов мозаики из поделочного камня и получить практические навыки их изготовления.

Задачи работы:

1. Знать разновидности методов изготовления мозаики из камней.
2. Получить навыки резки и укладки камня для мозаики.
3. Освоить технологию изготовления методом прямой мозаики.

Оборудование и инструменты:

1. Распиловочный станок.
2. Алмазно-отрезной диск.
3. Станок ШП-3.
4. Абразивные порошки карбида кремния зернистостью 80, 40, 20 мкм.
5. Полировальный станок.
6. Полировальная паста.
7. Клеящий состав для камня.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Мозаика – техника создания изображений и декорирования какой-либо поверхности прикреплением к общей основе кусочков материалов, различающихся по цвету, фактуре, текстуре. Существует множество видов мозаик, среди которых наиболее известны три вида способа укладки камней: римская, флорентинская и русская (рис. 12.1).

Римская мозаика – техника декорирования мелкими кусочками цветного камня и смальты, отполированных однородных камней, выложенных в виде геометрических орнаментов и узоров.

Флорентийская мозаика – техника исполнения из крупных пластинок разноцветных поделочных камней, вырезанных по контуру рисунка и контрастных по цвету и текстуре. Флорентийская мозаика образуется в единую композицию из тонких пластин различных цветных пород камня. Каменные элементы собираются плотно, чтобы швы и линии стыка не были видны.

Русская мозаика – это техника, в которой тонкие пластинки из цветного поделочного камня подбираются по цвету и рисунку, а затем склеиваются на основу из недорогого прочного камня, в результате чего изделие выглядит так, словно выполнено из монолитного камня.



а



б



в

Рис. 12.1. Мозаики из камня
а – римская, *б* – флорентинская, *в* – русская

Различают два способа набора мозаики, отличающиеся по принципу укладки камней: *прямой и обратный*.

Техника прямого набора основана на укладке фрагментов путем их вдавливания в грунт на постоянную основу лицевой стороной вверх. Прямая укладка отличается простотой в исполнении.

При обратном способе фрагменты укладывают на подготовленный рисунок лицевой стороной вниз. Затем его закрепляют клеевым составом. Для закрепления мозаики используют клей и затирочный раствор для мозаичных швов. Обратная укладка выполняется на основании, в качестве которого можно использовать ДВП (древноволокнистая плита), текстолит, гетинакс толщиной 6–8 мм, камень средних пород и другие материалы.

Другой способ обратной укладки заключается в укладке и наборе фрагментов на пластилиновый слой, нанесенный на подготовленную основу. На нем остроконечной чертилкой наносят контуры рисунка мозаики, который затем делят на участки – элементы. Фрагменты мозаики вдавливаются в пластилин лицевой стороной вниз. После этого основание с мозаикой обкладывают по периметру полосой из

картона высотой больше, чем толщина укладки, чтобы образовать рамку. Подготовив клеевой состав, заливают его равномерным слоем по всей обратной стороне мозаики. После застывания клея картонную рамку удаляют, а основание из ДВП прогревают, чтобы размягчить пластилин. Затем, просовывая остроконечную спицу или шило в образовавшийся зазор между мозаикой и основанием, аккуратно отделяют основание от панно, после чего удаляют остатки пластилина, очищают лицевую сторону мозаики и выравнивают боковые стороны мозаики.

Каменные заготовки можно соединять склеивающими материалами, в том числе клеем на основе эпоксидной смолы.

Поэтапное шлифование произвести на станке ШП-3. Станок полировально-доводочный модели ШП-3 предназначен для шлифования, полирования и доводки поверхностей одиночных заготовок или блоков оптических деталей методом притира с применением свободного абразива.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Порядок выполнения работы

1. Произвести набор и укладку плиток методом прямой укладки:

- выполнить рисунок или макет;
- разбить рисунок или макет на отдельные элементы мозаики;
- подбор цветного камня;
- разметка каменных плиток на заготовки;
- распилить камень на пластины толщиной 2–3 мм;
- резка заготовок;
- формообразование заготовок;
- подгонка и соединение отдельных деталей элемента мозаики.

2. Соединение всех элементов в общую композицию, согласно акварельному рисунку или макету, наклеиванием металлической основы. Нагреть пластины и металлический диск, нанести смолу или парафин на поверхность пластин и наклеить их на блокировочный диск.

3. Шлифовальная. Шлифовать предварительно первую сторону пластин на станке ЗШП абразивом зернистостью №6. Промыть заготовки.

4. Шлифовальная. Шлифовать на станке мод. ЗШП за два перехода абразивом зернистостью М20 и М10. Измерить толщину пластин микрометром.

5. Шлифовальная. Шлифовать фаски.

6. Полировальная. Полировать на двухшпиндельном полировальном станке на тканевом инструменте, покрытым полирующим абразивом.

7. Контроль. Окончательный контроль формы, размеров и качества поверхности вставки.

Содержание отчета

1. Эскиз мозаичного панно.
2. Рисунки фрагментов мозаики.
3. Маршрут технологического процесса изготовления мозаичного изделия.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие методов изготовления мозаик?
2. В чем различие методов укладки фрагментов мозаики при прямой и обратной укладке?

Литература

1. Белицкая, Э. И. Художественная обработка цветного камня / Э. И. Белицкая. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 224 с.
2. Ухин, С. В. Художественная обработка камня / С. В. Ухин. – М. : АСТ, Донецк : Сталкер. – 48 с.
3. Федотов, Г. Я. Камень / Г. Я. Федотов. – М. : ЭКСМО, 2002. – 160 с.
4. Федотов, Г. Я. Когда оживает камень / Г. Я. Федотов. М. : АСТ-ПРЕСС, 1999. – 144 с.

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ СО СТАНКАМИ

1. Привести в порядок спецодежду. Застегнуть обшлага рукавов и все пуговицы на спецодежде.

2. Подготовить инструмент, предусмотренный технологией производства, проверить его исправность. Проверить действие кнопок на включение и выключение, действие всех ручек, рычагов.

3. Получить задание на выполнение работы от руководителя.

4. Вспомогательные операции (уборка, смазка, чистка, смена инструмента и приспособлений, регулировка оградительных, предохранительных и тормозных устройств и тому подобное), а также работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования выполняются при выключенном оборудовании. Чистка станков и удаление из них мелких деталей должны производиться только после полной остановки круга.

5. Ручная установка заготовок и снятие готовых изделий выполняется вне рабочей зоны.

6. Работы по наладке, техническому обслуживанию и ремонту оборудования производят работники, имеющие соответствующую квалификацию, прошедшие в установленном порядке обучение, инструктаж и проверку знаний по вопросам охраны труда.

7. При замеченных неисправностях применяемого инструмента, оборудования или создания аварийной обстановки при выполнении работ рабочий обязан прекратить работы, предупредить об опасности, поставить в известность мастера.

8. По окончании работы отключить станок от электросети.

9. Все рукоятки, кнопки должны быть в положении «выключено», перекрыть вентиль подачи воды.

10. Тщательно убрать станок от мусора и отходов материала, протереть станок и смазать трущиеся его части.

11. В случае даже незначительной травмы сообщить об этом руководителю производства.

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ

Практикум
для студентов специальности 6-05-0716-03
«Информационно-измерительные приборы и системы»

С о с т а в и т е л и :
ЛУГОВОЙ Вячеслав Петрович
ЩЕТНИКОВИЧ Казимир Генрихович

Редактор *К. С. Мельникова*
Компьютерная верстка *А. В. Степанкиной*

Подписано в печать 15.10.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 4,69. Тираж 40. Заказ 138.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.