

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Е. Г. Бобылева

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

РАСЧЕТ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума для обучающихся
по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение,
12.03.02 Оптотехника (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2022

УДК 681.7.02
Б728

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *Д. М. Никулин*
главный оптик – начальник отдела главного Оптика АО «Новосибирский приборостроительный завод» *Н. А. Гурин*

Бобылева, Е. Г.

Б728 Оптические технологии и материалы. Расчет алмазно-абразивного инструмента : практикум / Е. Г. Бобылева. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – 33 с. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-907513-83-9

Практикум подготовлен старшим преподавателем Е. Г. Бобылевой на кафедре фотоники и приборостроения СГУГиТ.

Издание посвящено вопросам проектирования алмазно-абразивного инструмента для грубого и мелкого шлифования заготовок оптических деталей. Содержит теоретические сведения и методику расчета алмазного инструмента.

Практикум по дисциплине «Оптические технологии и материалы» предназначен для обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение и 12.03.02 Оптотехника (уровень бакалавриата), также может быть использован для обучающихся по направлению подготовки 12.04.02 Оптотехника (уровень магистратуры).

Рекомендован к изданию кафедрой фотоники и приборостроения, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 681.7.02

ISBN 978-5-907513-83-9

© СГУГиТ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Общие теоретические сведения	5
Практическая работа № 1. Расчет алмазного кольцевого инструмента для грубого шлифования заготовок	16
Практическая работа № 2. Расчет алмазного инструмента для тонкого шлифования заготовок.....	24
Библиографический список.....	31

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий практикум разработан согласно требованиям федерального государственного образовательного стандарта по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение и 12.03.02 Оптическое (уровень бакалавриата) и рабочей программы дисциплины «Оптические технологии и материалы».

Основной целью данного издания является формирование у обучающихся профессиональных компетенций и развитие способности использования фундаментальных знаний в процессе выполнения практических заданий по оптической технологии.

К задачам практикума относится помощь обучающимся в усвоении и закреплении знаний, полученных в процессе изучения специальных дисциплин, в приобретении навыков работы с нормативными техническими документами, а также в формировании практических навыков расчета параметров алмазно-абразивного инструмента, применяемого на различных стадиях обработки оптических заготовок.

Практикум включает общие теоретические сведения по данной тематике, практические задания, методику расчета и контрольные вопросы для самостоятельной оценки уровня подготовленности.

По итогам выполнения каждой практической работы обучающимся составляется отчет, включающий в себя следующие элементы: название работы; цель работы; задание; исходные данные; расчеты и результаты, полученные в ходе выполнения задания; выбор стандартного инструмента на основе расчетов и выводы по полученному результату, в соответствии с целью работы.

ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Характеристика алмазного инструмента

Алмазно-абразивный инструмент (далее – ААИ) для обработки оптических заготовок представляет собой тело вращения, состоящее из металлического корпуса (основы) и алмазоносного (рабочего) слоя. Металлический корпус изготавливают из стали, алюминиевых сплавов или полимеров. Алмазоносный слой является связующим веществом, которое закрепляет алмазный порошок на режущую кромку или рабочую поверхность металлического корпуса.

Основными параметрами алмазного инструмента, определяющими его эксплуатационные свойства, такие как эффективность работы инструмента, удельный расход алмаза, стоимость обработки, являются:

- форма и основные размеры корпуса;
- размеры алмазного слоя;
- марка алмаза;
- зернистость алмазного порошка;
- концентрация алмазного порошка в связке;
- тип связки.

Форму и размеры корпуса инструмента определяют в зависимости от формы, размера и материала обрабатываемой оптической заготовки, конструкции и мощности применяемого оборудования. Предпочтение отдают инструменту с максимально допустимыми по условию обработки размерами алмазоносного слоя. Это уменьшает затраты на инструмент, так как стоимость его изготовления снижается с повышением количества алмазного порошка в алмазоносном слое.

Марку алмазного порошка выбирают исходя из условий работы инструмента и эффективности обработки. В соответствии с ГОСТ 9206–80 [1] все алмазные порошки подразделяются на следующие группы:

- шлифпорошки – размер зерен от 3 000 до 40 мкм;
- микропорошки – размер зерен от 80 до 1 мкм и мельче;
- субмикропорошки – размер зерен от 1,0 до 0,1 мкм и мельче.

Шлифпорошки, изготавливаемые из природных алмазов, обозначают буквенным индексом А (марки А1, А2, А3, А4), из синтетических алмазов – АС (марки АС6, АС15, АС20), из синтетических поликристаллических алмазов – АР (марки АРВ1, АРК4, АРС3).

В зависимости от типа поликристаллического алмаза в обозначении шлифпорошков из синтетических поликристаллических алмазов добавляют буквенный индекс: В – типа «баллас»; К – типа «карбонадо»; С – типа «спеки».

К буквенному обозначению шлифпорошков добавляют цифровой индекс, который выражает в шлифпорошках:

- из природных алмазов – содержание зерен изометричной формы, выраженное десятками процентов, например, А1 – 10 %, А2 – 20 % и т. д.;

- из синтетических алмазов – среднее арифметическое значение показателей прочности на сжатие всех зернистостей определенной марки, выраженное в ньютонах, например, АС6 имеет прочность на сжатие 6 Н;

- из синтетических поликристаллических алмазов – сотую часть среднего арифметического значения показателей прочности на сжатие всех зернистостей марки, выраженную в ньютонах, например, АРК4 – 0,04 Н [1].

К обозначению марки шлифпорошка, имеющего отличительные свойства, добавляют дополнительный индекс, например, Д – динамически устойчивая, Н – немагнитная, О – овализованная, Т – термостойкая.

Микропорошки и субмикропорошки получают из природных (обозначают АМ) и синтетических (обозначают АСМ) алмазов.

Если микропорошки из природных и синтетических алмазов имеют повышенную абразивную способность, то есть острые режущие кромки и высокую прочность на сжатие, то буквенный индекс М заменяют на индекс Н: АН, АСН.

К буквенному обозначению субмикропорошков добавляют цифровой индекс, обозначающий долю зерен крупной фракции в процентах [1].

Порошки с зернами малой прочности (АСО) эффективны в работе с небольшими нагрузками, например, при мелком шлифовании линз, а порошки с зернами высокой прочности (АСВ, АСК, АСС) позволяют достичь высокую производительность при работе с большими нагрузками, например, при распиливании, грубом шлифовании и сверлении отверстий.

Зернистость алмазного порошка, содержащегося в ААИ, влияет на производительность обработки, чистоту и шероховатость обработанной поверхности, относительный расход инструмента и устанавливается в зависимости от его назначения. При определении зернистости следует руководствоваться тем, что с увеличением размеров зерна повышаются режущие свойства ААИ, т. е. увеличивается производительность, но одновременно возрастает и шероховатость поверхности, и глубина нарушенного слоя, и припуски на обработку.

С другой стороны, с уменьшением размеров зерна возрастает чистота обработки. Поэтому правильный выбор зернистости играет существенную роль в достижении требуемых параметров обрабатываемых поверхностей и эффективности обработки не только на данной, но и на последующих операциях.

На операциях предварительной обработки заготовки имеют наибольшие припуски и, следовательно, требуют удаления значительного слоя материала. Поэтому обработку целесообразно вести ААИ с большим размером зерна, что обеспечит высокую интенсивность съема и производительность.

Операции мелкого шлифования и полирования обеспечивают получение изделий с высокой чистотой обработанных поверхностей и точными формой и размерами, поэтому обработку необходимо проводить ААИ с малыми размерами зерна [2].

Зернистость алмазных шлифпорошков обозначают в виде дроби, в числителе которой указан размер стороны ячейки верхнего сита, в знаменателе – размер стороны ячейки нижнего сита. Пример обозначения – 100/80.

Зернистость алмазных микропорошков и субмикропорошков обозначают в виде дроби, в числителе которой указан наибольший, а в знаменателе – наименьший размер зерна основной фракции, например, 20/10.

Концентрация алмазного порошка в рабочем слое ААИ влияет на его режущую способность, глубину нарушенного слоя, производительность, долговечность и стоимость. Она характеризуется весовым содержанием алмазов в единице объема алмазоносного слоя. За концентрацию 100 % условно принято содержание алмаза в количестве 4,4 карата (1 кар = 0,2 г) в 1 см³ алмазоносного слоя, или 0,88 мг/мм³.

Тогда массу алмазов $m_{\text{алм}}$ (кар) определяют по формуле

$$m_{\text{алм}} = \frac{4,4 \cdot V \cdot K}{100}, \quad (1)$$

где V – объем алмазного слоя, см^3 ;

K – концентрация алмазного порошка.

В зависимости от концентрации алмазного порошка ААИ разделяют на три группы:

- ААИ с низкой концентрацией – от 10 до 50 %;
- ААИ со средней концентрацией – свыше 50 до 100 %;
- ААИ с высокой концентрацией – свыше 100 до 200 %.

Концентрацию алмаза назначают в зависимости от размера рабочей поверхности ААИ, зернистости алмазного порошка, износоустойчивости связки, свойств обрабатываемого материала и требований к производительности и качеству обработки.

С уменьшением контакта инструмента с деталью повышается износ алмазносного слоя. Для его понижения концентрацию повышают. При увеличении контакта инструмента с деталью повышаются температура и усилие шлифования. В этом случае используют низкую концентрацию алмазов.

С повышением зернистости при постоянной концентрации порошка число зерен на единицу площади рабочей поверхности инструмента понижается, производительность процесса уменьшается, а большая нагрузка, приходящаяся на каждое зерно, ускоряет износ алмазного слоя.

С понижением зернистости при постоянной концентрации число одновременно работающих зерен повышается, но пространство, в котором должны находиться продукты износа инструмента и обрабатываемой детали, понижается. Производительность понижается, режим самозатачивания инструмента нарушается. Учитывая это, концентрацию алмазного порошка с повышением зернистости увеличивают, а с понижением – уменьшают (табл. 1).

Для обработки стекла в основном применяют ААИ с низкой (10, 12,5, 25 %) и средней (от 50 до 100 %) концентрацией.

Зернистость и концентрация алмаза в ААИ

Характеристики инструмента	Соотношение величин характеристик				
	от 10/7 до 20/14	от 28/20 до 50/40	от 63/50 до 100/80	от 125/100 до 160/125	свыше 200/160
Зернистость по ГОСТ 9206-80 [1]					
Концентрация К, %	10	20–25	50–75	75–100	100 и более

Тип связки выбирают, учитывая марку порошка, свойства обрабатываемого материала, вид и режим обработки. Связка влияет на производительность процесса обработки, глубину нарушенного слоя, срок службы и стойкость инструмента. Она должна обладать следующими свойствами:

- хорошая адгезия с алмазным зерном;
- самозатачивание инструмента, то есть быстрое срабатывание после раскола или затупления абразивного зерна;
- достаточная теплостойкость;
- хорошая теплопроводность для быстрого отвода тепла из зоны обработки;
- высокие механические свойства для обеспечения жесткости и работоспособности инструмента в целом.

Для обработки оптических материалов в промышленности используются металлические, органические и керамические связки.

Металлические связки, обозначаемые индексом М, обладают наибольшей прочностью и износоустойчивостью. Основными компонентами, входящими в их состав, являются медь, железо, алюминий, а добавками служат олово, свинец, цинк, никель, кремний и др. Применяют для изготовления ААИ, работающего в оптическом заготовительном производстве: разрезка, сверление и др. Наибольшее применение в ААИ нашла связка М2-01 (прежнее обозначение – М1), спеченная с алмазными зёрнами методом горячего прессования и состоящая из 80 % меди и 20 % олова.

Органические связки, обозначаемые индексом В (Б), имеют незначительную твердость, прочность, термостойкость и теплопроводность, но достаточно высокую производительность и скорость обработки. В качестве органических связок используют порошкообразный бакелит, реже синтети-

ческие смолы, лаки, а наполнителем служат карбид бора, криолит, белый электрокорунд, железный порошок или резиновая мука. Используют для изготовления ААИ марки АСО, применяемого при доводочных и чистовых операциях, например, при тонком алмазном шлифовании (далее – ТАШ). В отличие от ААИ с металлической связкой органические мало засаливаются, но расходуют в три раза больше алмазов.

Керамические (неорганические) связки, обозначаемые индексом V (К), устойчивы при высоких температурах и влажности, обладают большой химической стойкостью, но имеют низкий предел прочности при ударах из-за хрупкости. ААИ, изготовленные на керамической связке, имеют наибольшую пористость и поэтому меньше засаливаются. Представляют собой смесь из измельченных сырьевых материалов: огнеупорной глины, полевого шпата, борного стекла, талька, мела и ряда других материалов. Применяют для изготовления ААИ, используемого при шлифовании и резке германия, кремния, ситалла, технического стекла, керамики и других материалов.

ААИ с металлической связкой эксплуатируют только с охлаждением, с органической связкой могут работать как с охлаждением, так и без него, при этом не допускается использование щелочных растворов, а с керамической связкой возможно шлифование с охлаждением.

Изготовление алмазного инструмента

Алмазоносный слой закрепляют на корпусе инструмента или на отдельных элементах – кольцах, сегментах, пластинах – путем порошковой металлургии; электрохимическим осаждением алмазного слоя; прокаткой [3] или плазменным напылением. Рассмотрим некоторые из них.

Основным является метод порошковой металлургии, суть которого заключается в прессовании (брикетировании) порошков связки, смешанных с алмазом, и дальнейшем спекании с корпусом инструмента. Пресс-форму (рис. 1) из жаропрочной стали, состоящую из обоймы 4, стержня-вкладыша 6, устанавливают на поддон 1. В матрице пресс-формы размещают предварительно обезжиренный корпус ААИ (или переходное кольцо) 2, насыпают слой связки 3 толщиной несколько миллиметров. Затем засыпают алмазоносную шихту 5, устанавливают пуансон 7 и формируют брикет 8 при комнатной температуре под давлением $(2-4) \cdot 10^{-2}$ Па. В таком состо-

янии конструкция выдерживается около часа, а потом производится допрессовка. После брикетирования полученное плотное, прочное и износостойкое соединение спекают при температуре ниже температуры плавления компонентов связки, уплотняют под давлением $(0,6-1,5) \cdot 10^{-2}$ Па в нагретом состоянии и медленно охлаждают. Далее инструмент извлекают из пресс-формы и контролируют основные параметры [4].

Порошковой металлургией изготавливают инструмент для распиливания стекла, сверления отверстий, шлифования плоских и сферических поверхностей, круглого шлифования, нанесения пазов и скосов.

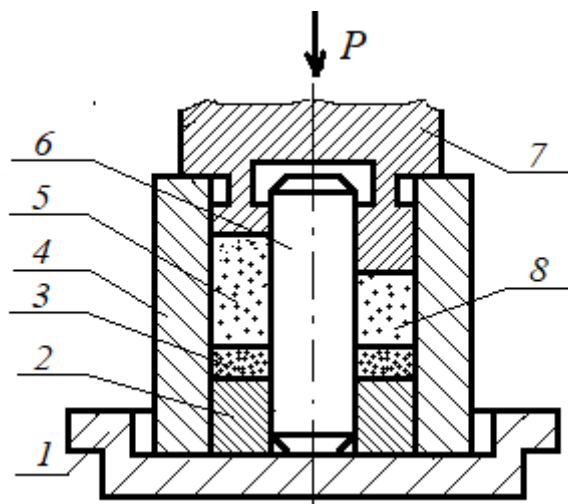


Рис. 1. Изготовление ААИ типа 2А2 прессованием:

1 – поддон; 2 – корпус ААИ; 3 – металлическая связка; 4 – обойма; 5 – алмазонасная шихта; 6 – стержень-вкладыш; 7 – пуансон; 8 – спрессованный алмазонасный брикет

Электрохимическим осаждением изготавливают инструмент, у которого ширина режущей кромки мала по сравнению с остальными размерами. Используют две разновидности этого способа:

- гальваностегия – получение тонкого алмазосодержащего покрытия, прочно соединенного с корпусом во время осаждения;
- гальванопластика – получение алмазосодержащих слоев, отделяемых от катода.

При гальваностегии стальной корпус инструмента 3 (рис. 2), являющийся катодом, помещают в гальваническую ванну с электролитом (рас-

твор сернокислого никеля) и соединяют с источником постоянного тока. Анодом является никелевая связка, содержащая зерна алмазного порошка. В процессе электролиза анионы металла связки перемещаются к катоду, проходят через алмазные зерна 1, осажденные на поверхности корпуса инструмента, и, восстанавливаясь, образуют слой металлической связки 2 [3].

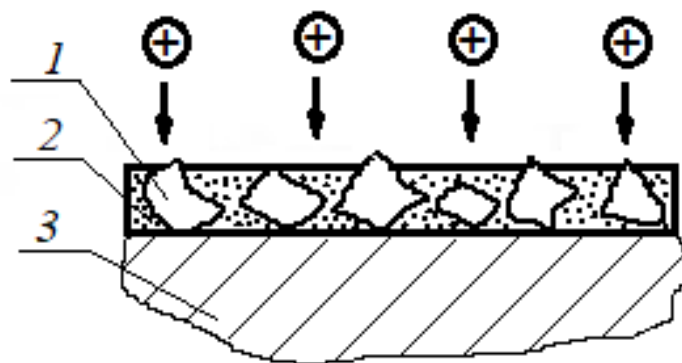


Рис. 2. Процесс наращивания слоя металлической связки:

1 – алмазные зерна; 2 – металлическая связка; 3 – корпус инструмента

При гальванопластике на профилированную матрицу-катод наращивают слой алмазосодержащих осадков, которые образуют алмазосодержащий слой, не сцепляясь с матрицей. Далее этот слой извлекают из матрицы и крепят к корпусу инструмента механическим путем или пайкой.

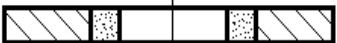
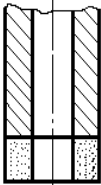
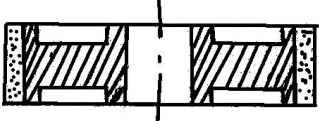
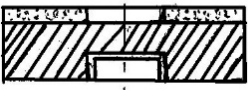
Методы электрохимического осаждения редко применяют в оптическом производстве при изготовлении ААИ. В основном это инструменты малого размера, с небольшой толщиной слоев и высокой концентрацией алмаза, например, алмазные отрезные круги с внутренней режущей кромкой, некоторых типов сверл и инструменты сложной формы.

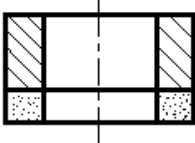
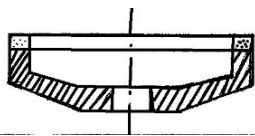
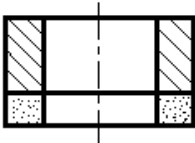
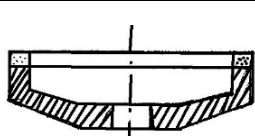
Типы и маркировка алмазных инструментов

Промышленностью выпускается большая номенклатура стандартных ААИ различного назначения, размеров, конфигурации и т. д. (табл. 2). Нестандартные ААИ (сверла специального назначения, фасонные фрезы, притиры и др.) изготавливают на специализированных инструментальных участках, входящих в состав основного оптического производства [5].

Таблица 2

Типы и характеристики ААИ, применяемого при обработке оптических заготовок

Область применения инструмента	Тип (обозначение) алмазного инструмента	Эскиз профиля инструмента	Марка алмаза	Зернистость	Концентрация алмазного порошка, %
Распиливание силикатного и кварцевого стекла, ситаллов, оптической керамики и кристаллов	Круг отрезной типа 1А1R (АОК) ГОСТ 32833–2014 [6]		АСК АСС	от 630/500 до 50/40	25–100
Распиливание полупроводниковых материалов, кварца, сапфира, кремния	Круг отрезной с внутренней режущей кромкой (АКВР) ГОСТ 26004–83 [7]		А АМ АН	от 630/500 до 125/100	50–100
Распиливание крупногабаритных заготовок, отливок из стекла	Круг отрезной сегментный типа 1А1RSS (АОСК) ГОСТ 32833–2014 [6]		АСК АСС	от 500/400 до 250/200	75–100
Сверление отверстий	Сверло кольцевое (тип I) ГОСТ 26339–84 [8]		А АСК АСС	от 400/315 до 80/63	75–100
Круглое шлифование пластин в столбиках, центрирование линз	Круг плоский прямого профиля формы 1А1 (АПП) ГОСТ 16167–90 [9]		АСО АСВ	от 80/63 до 63/50	100–150
Грубое шлифование плоских поверхностей, снятие фасок (в единичном производстве)	Круг плоский с выточкой формы 6А2 (АПВ) ГОСТ 16170–91 [10]		АСВ АСС АСК	от 125/100 до 80/63	50–100

Область применения инструмента	Тип (обозначение) алмазного инструмента	Эскиз профиля инструмента	Марка алмаза	Зернистость	Концентрация алмазного порошка, %
Грубое и среднее шлифование плоских и сферических поверхностей	Круг кольцевой формы 2А2 (АК) ГОСТ 17006–80 [11]		А АСВ АСК АСС	от 100/80 до 63/40	25–100
	Круг чашечный конический формы 12А2 (АЧК) ГОСТ 16172–90 [12]				50–100
Тонкое шлифование сферических поверхностей способом принудительного формообразования	Круг кольцевой формы 2А2 (АК) ГОСТ 17006–80 [11]		АСН	от 28/20 до 14/10	25–50
	Круг чашечный конический формы 12А2 (АЧК) ГОСТ 16172–90 [12]				50–100
Грубое и среднее шлифование, нанесение фасок (фасетирование) на призмы и пластинки	Круг плоский формы 6А2Т (АП) ГОСТ 17007–80 [13]		АСВ АСС АСК	от 125/100 до 80/63	50–100
Обработка пазов, торцов, канавок	Круг плоский прямого профиля трехсторонний формы 14U1 (А2ПП) ГОСТ 16169–81 [14]		АСВ АСС АСК	от 125/100 до 80/63	50–100

На корпус ААИ наносят маркировку, характеризующую основные параметры инструмента. Например, на алмазном шлифовальном круге можно увидеть маркировку, показанную на рис. 3.

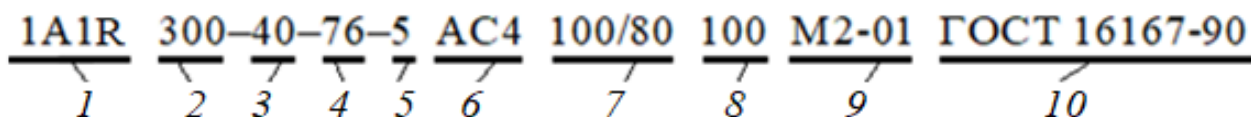


Рис. 3. Пример маркировки алмазного круга:

1 – тип ААИ; 2 – наружный диаметр круга, мм; 3 – высота круга, мм; 4 – диаметр посадочного отверстия, мм; 5 – толщина алмазоносного слоя, мм; 6 – марка алмазного порошка; 7 – зернистость алмазного порошка; 8 – условная концентрация алмазного порошка; 9 – тип связки; 10 – номер стандарта

Практическая работа № 1. РАСЧЕТ АЛМАЗНОГО КОЛЬЦЕВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГРУБОГО ШЛИФОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

Цель работы: получение навыков расчета размеров алмазного кольцевого инструмента для грубого шлифования заготовок оптических деталей и выбор стандартного инструмента.

Задание

1. Для грубого шлифования поверхности заготовки рассчитать основные параметры ААИ и выбрать стандартный алмазный инструмент из ГОСТ [11].
2. Определить режимы обработки и технологическое оборудование для грубого шлифования заготовок.

Исходные данные

1. Чертеж детали линзы (выдается преподавателем).
2. Размеры заготовки (выбираются из практической работы «Определение размеров и массы заготовки линзы» [15]).
3. ГОСТ 17006–80 [11].

Порядок выполнения работы

1. Расчет и выбор характеристик алмазного инструмента

Основными параметрами алмазного инструмента (рис. 4) являются:

- наружный диаметр $D_{\text{и}}$, мм;
- внутренний диаметр $d_{\text{и}}$, мм;
- толщина алмазного кольца $w_{\text{и}}$, мм;
- зернистость, мкм;
- концентрация алмазного порошка K , %.

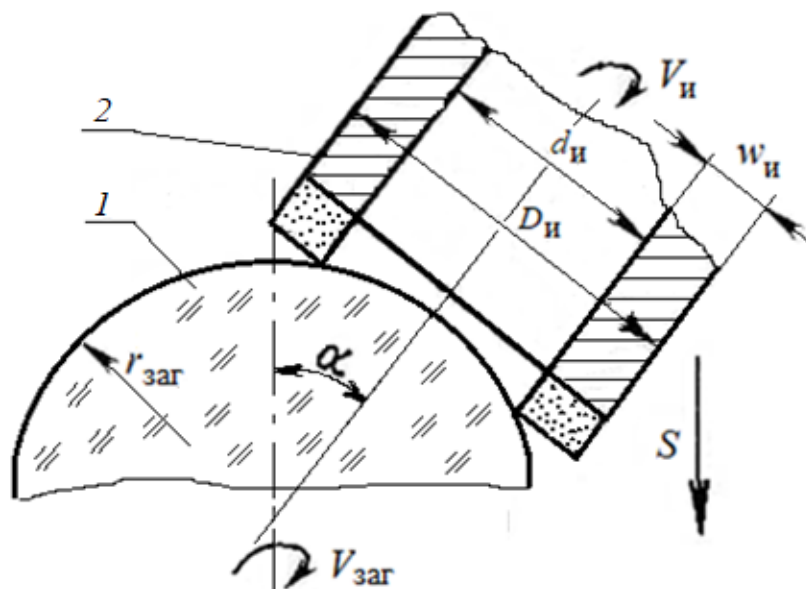


Рис. 4. Схема обработки алмазным кольцевым инструментом:

1 – заготовка линзы (фрагмент); 2 – алмазный кольцевой инструмент

Размеры алмазного кольцевого инструмента зависят от размеров обрабатываемой заготовки. Для определения значений размеров инструмента рассчитывают предварительный угол α_p между осями шпинделей инструмента и заготовки:

$$\alpha_p = \arcsin \frac{0,55 \cdot d_{\text{заг}}}{2 \cdot r_{\text{заг}}}, \quad (2)$$

где $d_{\text{заг}}$ – диаметр заготовки, мм;

$r_{\text{заг}}$ – радиус заготовки, мм.

По полученной величине угла α_p определяют предварительный внутренний диаметр алмазного кольцевого инструмента $d_{\text{иp}}$:

$$d_{\text{иp}} = \frac{0,55 \cdot d_{\text{заг}}}{\cos \alpha_p}. \quad (3)$$

С другой стороны, из рис. 3 следует, что

$$d_{\text{и}} = D_{\text{и}} - 2 \cdot w_{\text{и}}. \quad (4)$$

Поэтому, зная расчетную величину внутреннего диаметра инструмента (3) и условие (4), выбирают по ГОСТ [11] ближайшие в сторону увеличения стандартные параметры $D_{\text{и}}$, $d_{\text{и}}$ и $w_{\text{и}}$.

Далее уточняют значение угла α :

$$\alpha = \arcsin \frac{D_{\text{и}}(d_{\text{и}})}{2 \cdot r_{\text{заг}}}. \quad (5)$$

В формуле (5) необходимо учесть, что при обработке вогнутой поверхности заготовки линзы используется величина наружного диаметра инструмента $D_{\text{и}}$, а при обработке выпуклой и плоской поверхностей – внутреннего $d_{\text{и}}$.

Зернистость алмазного порошка в инструменте выбирают по табл. 3 в зависимости от его наружного диаметра и относительной твердости по сошлифовыванию обрабатываемого материала (табл. 4).

Таблица 3

Взаимосвязь параметров алмазного инструмента

Параметры инструмента	Шероховатость обработанной поверхности, мкм							
	не более $Ra\ 2,5$				не более $Rz\ 20$			
Относительная твердость стекла по сошлифовыванию H_c	0,2–0,5		0,6–0,7		0,8–1,0		1,1–1,3	св. 1,30
Коэффициент работы алмазного зерна в зависимости от относительной твердости стекла K_T	1,50		1,32		1,15		0,92	0,85
Наружный диаметр инструмента $D_{\text{и}}$, мм	до 80	св. 80	до 80	св. 80	до 80	св. 80	до 80	св. 80
Зернистость алмазного порошка, мкм	50/40	63/50		80/63		100/80		125/100
Средний размер алмазного зерна $d_{\text{зер}}$, мм	0,044	0,056		0,071		0,089		0,112
Коэффициент работы алмазного зерна в зависимости от его величины $K_{\text{зер}}$	0,60	0,65		0,69		0,74		0,79
Коэффициент, учитывающий условия разрушения поверхности стекла K_p	138,9					92,9		

Таблица 4

Относительная твердость по сошлифовыванию оптических стекол

Марка стекла	Относительная твердость	Марка стекла	Относительная твердость
ЛК1; ЛК3; ЛК4	0,9	КФ6; КФ8	1,0
ЛК5	1,6	БФ1	1,0
ЛК6	0,7	БФ4	0,8
ЛК7	1,0	БФ6–БФ16	0,5–0,6
ФК1	0,4	БФ18; БФ21; БФ25–Ф27	0,9
ФК13	0,5	БФ19; БФ23; БФ24; БФ28	0,7
ФК14	0,2	ТБФ3	1,3
К1	0,9	ТБФ4	1,7
К2–К20	1,0	ЛФ1; ЛФ10	0,9
БК4; БК8; БК9	0,8	ЛФ5; ЛФ8	0,8
БК6; БК11–БК13	0,9	ЛФ7; ЛФ11	0,7
БК10	0,7	Ф1; Ф9	0,5
ТК1; ТК17; ТК23	0,9	Ф2; Ф4	0,6
ТК2–ТК21	0,7–0,8	Ф6–Ф8; Ф13	0,7
СТК3	0,8	ТФ1–ТФ10	0,5–0,6
СТК7; СТК8	0,5	ТФ11	0,4
СТК9; СТК12	3	ТФ12	0,8
КФ1	0,9	ОФ3	0,8
КФ4; КФ7	0,8	ОФ4	0,4
КФ5	1,2	ОФ5	0,3

Расчетную концентрацию алмаза в инструменте K_p (%) определяют по формуле

$$K_p = 22 + 0,31 \cdot D_{\text{и}}. \quad (6)$$

Полученное значение K_p приводят к ближайшему нормализованному: $K = 25 \%$, $K = 50 \%$, $K = 75 \%$ или $K = 100 \%$ [5].

2. Расчет режимов грубого шлифования заготовок

К основным параметрам, определяющим режим шлифования заготовок на сферошлифовальных станках, относятся:

$V_{\text{и}}$ – скорость резания или окружная скорость рабочей кромки инструмента, м/с, которая зависит от диаметра и частоты вращения инструмента $n_{\text{и}}$, об/мин;

S – продольная подача (скорость врезания кромки инструмента в обрабатываемый материал), м/мин;

$n_{\text{заг}}$ – частота вращения обрабатываемой заготовки, об/мин;

$Q_{\text{ж}}$ – расход смазывающе-охлаждающей жидкости, л/мин.

Скорость резания, при которой обеспечиваются максимальная производительность шлифования и шероховатость поверхности не более $Ra\ 5$, находится в пределах от 15 до 25 м/с.

По заданной скорости резания определяют частоту вращения инструмента:

$$n_{\text{и}} = \frac{100 \cdot 60 \cdot V_{\text{и}}}{\pi \cdot D_{\text{и}}(d_{\text{и}})} = \frac{19\,099 \cdot V_{\text{и}}}{D_{\text{и}}(d_{\text{и}})}. \quad (7)$$

Следует учесть, что при обработке вогнутой поверхности в формуле (7) используется наружный диаметр инструмента $D_{\text{и}}$, а при обработке выпуклой или плоской поверхностей – внутренний $d_{\text{и}}$.

Значение продольной подачи S зависит от размера площади контакта инструмента с заготовкой, зернистости алмазного порошка и относительной твердости обрабатываемого материала и определяется:

$$S = \frac{16,5 \cdot K_{\text{зер}} \cdot K_{\text{т}}}{F_{\text{к}}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{зер}}$ – коэффициент работы алмазного зерна в зависимости от его размера (см. табл. 3);

K_T – коэффициент работы алмазного зерна в зависимости от относительной твердости стекла (см. табл. 3);

F_K – площадь контакта инструмента с заготовкой, мм².

При обработке плоской поверхности площадь контакта вычисляется по формуле

$$F_K = 0,0125 \cdot d_{\text{заг}} \cdot w_{\text{и}}, \quad (9)$$

при обработке сферических поверхностей равна

$$F_K = \frac{0,0125 \cdot d_{\text{заг}} \cdot w_{\text{и}}}{\cos^2 \alpha}. \quad (10)$$

Расчет частоты вращения заготовки $n_{\text{заг}}$ производится из условия получения максимальной производительности процесса шлифования при использовании инструментов с различной зернистостью алмаза:

$$n_{\text{заг}} = \frac{\cos^2 \alpha \cdot K_T \cdot K_{\text{зер}} \cdot K_p}{d_{\text{заг}} \cdot d_{\text{зер}} \cdot w_{\text{и}}}, \quad (11)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий условия разрушения поверхности стекла и вымывания отходов шлифования из зоны резания (см. табл. 3);

$d_{\text{зер}}$ – средний размер алмазного зерна данной фракции (см. табл. 3), мм.

Для шлифования заготовок алмазным кольцевым инструментом используются специальные станки-полуавтоматы и автоматы, основные характеристики которых представлены в табл. 5.

По полученным результатам расчета выбирают модель станка для грубого шлифования заготовок ААИ.

Для обработки второй поверхности линзы применяют тот же инструмент и оборудование, только рассчитывают угол наклона шпинделя инструмента α .

Таблица 5

Характеристики шлифовальных станков

Модель станка	Размеры обрабатываемой заготовки, мм			Максимальный угол поворота головки, °	Частота вращения шпинделя, об/мин		Скорость рабочей подачи S , м/мин
	диаметр $d_{\text{заг}}$	радиус $r_{\text{заг}}$	толщина по оси $t_{\text{заг}}$, не более		инструмента $n_{\text{и}}$	заготовки $n_{\text{заг}}$	
Полуавтомат ПШ–12	4–16	2,5–∞	15	35	6160	308	–
Автомат «Алмаз 15–III»	5–15	25–∞	15	45	36000	650	0,1–10
Автомат АШС–IM	5–70	8–∞	40	30	3660; 5500	100	–
Автомат АШС–10	3–11	2–∞	10	45	от 4000 до 48000	100–1000	–
Автомат АШС–40	15–45	10–25	20	42	9000; 18000; 20000; 40000	100; 500; 750; 780	–
Автомат АША–32	5–30	3–∞	20	–	24000	490	–
Автомат АШС–100	35–100	до 70	55	42	3000; 6000; 9000; 12000 18000	100; 200; 250; 500	–
Автомат «Алмаз 70–III»	14–70	14–∞	20	45	12000	–	0,2–15
Полуавтомат «Мениск–70»	15–90	10–∞	45	45	6000	–	0,1–2,5
Полуавтомат «Алмаз 250–I»	70–250	35–∞	130	45	3000	220	0,1–25
Полуавтомат «Алмаз 500»	250–500	125–∞	250	25	1500	60; 90; 180	0,6–20
Полуавтомат «Алмаз 800»	250–800	–	350	–	750	1,5–15	0,15–1,5

Контрольные вопросы

1. Что такое алмазно-абразивный инструмент?
2. Как маркируется алмазный кольцевой инструмент?
3. Из каких конструктивных элементов состоит алмазный кольцевой инструмент?
4. Каковы основные параметры алмазного кольцевого инструмента?
5. Что такое зернистость алмазного порошка?
6. На что оказывает влияние зернистость алмазного порошка?
7. Какие методы используют при изготовлении ААИ?
8. От чего зависит значение продольной подачи?
9. Какое оборудование применяют для грубого шлифования заготовок?
10. От каких параметров зависит частота вращения заготовки?

Практическая работа № 2.

РАСЧЕТ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ТОНКОГО ШЛИФОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

Цель работы: получение навыков расчета размеров алмазного инструмента для ТАШ оптических деталей и выбор корпуса инструмента по отраслевым стандартам (далее – ОСТ).

Задание

1. Рассчитать основные размеры корпуса инструмента: диаметр, высоту, радиусы кривизны переходных шлифовальников.
2. Определить количество алмазных элементов на инструменте-шлифовальнике.
3. Выбрать стандартный шлифовальник для ТАШ из ОСТ [17 или 18] по результатам расчетов.

Исходные данные

1. Чертеж детали линзы (выдается преподавателем).
2. Размеры алмазных элементов (выдается преподавателем).
3. Размеры блоков (выбираются из практической работы «Аналитический метод расчета сферических блоков» [16]).
4. Справочные материалы и стандартные документы.

Порядок выполнения работы

Для ТАШ применяются сборные инструменты-шлифовальники типа АТб, состоящие из корпуса и закрепленных на нем по закону логарифмической спирали рабочих элементов. Корпус изготавливают в виде планшайб, грибов или чашек, а рабочие элементы – в виде алмазно-абразивных таблеток, брусков или сегментов (рис. 5). При этом учитывают, что при обработке плоских поверхностей больше срабатывается середина, а при обработке сферических поверхностей – края. Поэтому в первом

случае плотнее заполняют центральную зону инструмента, а во втором – крайние зоны.

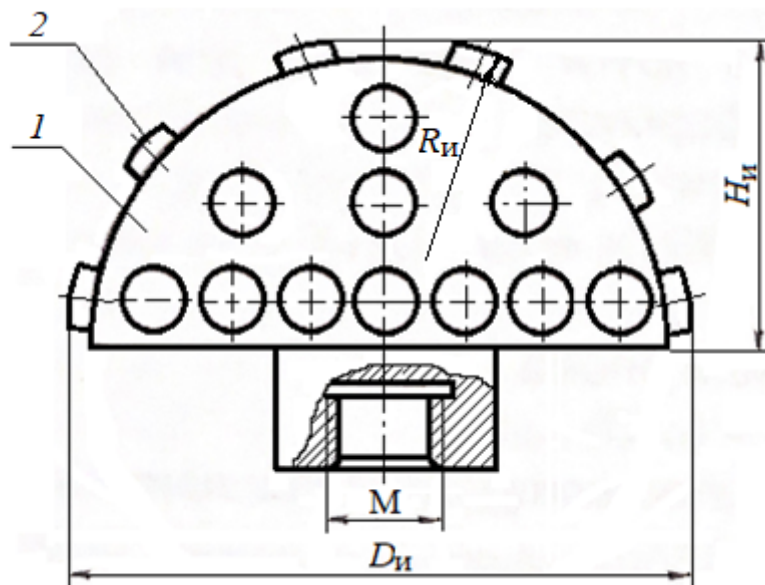


Рис. 5. Алмазно-абразивный инструмент типа АТб:

1 – корпус; 2 – алмазно-абразивные таблетки

Основными параметрами ААИ типа АТб являются:

- диаметр корпуса инструмента D_k , мм;
- радиус кривизны корпуса инструмента R_k , мм;
- высота корпуса инструмента H_k , мм;
- размеры алмазного элемента, мм;
- зернистость, мкм;
- концентрация алмазного порошка K , %;
- количество алмазных элементов $n_{таб}$, закрепляемых на корпусе инструмента.

Диаметр корпуса инструмента определяют в зависимости от формы рабочей поверхности:

- для инструмента-планшайбы или инструмента-чашки:

$$D_k = (1,1 - 1,25) \cdot D_{бл}; \quad (12)$$

– для инструмента-гриба:

$$D_k = (0,8 - 1,0) \cdot D_{\text{бл}}, \quad (13)$$

где $D_{\text{бл}}$ – диаметр наклеечного приспособления (блока), мм.

ТАШ осуществляют в два перехода: на первом переходе используют алмазный порошок зернистостью 28/20, на втором – 14/10. Поэтому радиусы кривизны рабочей поверхности инструментов-шлифовальников R_{i_i} , мм, вычисляют для каждого перехода:

$$R_{i_i} = R \pm M_i, \quad (14)$$

где R – радиус кривизны обрабатываемой поверхности детали линзы, мм;

M_i – глубина разрушенного слоя после i -го перехода, мм (выбирают в зависимости от зернистости алмазного порошка, применяемого на i -м переходе, по табл. 6);

знак «+» – для шлифовальника-чашки;

знак «–» – для шлифовальника-гриба.

При незначительной разности в значениях радиусов кривизны рабочей поверхности переходных шлифовальников корпусы для них изготавливают одинаковых размеров.

Таблица 6

Характеристика зернистости алмазного порошка

Зернистость алмазного порошка	Средний размер алмазного зерна $d_{\text{зер}}$, мм	Глубина разрушенного слоя M , мм
10/7	0,008	0,008
14/10	0,012	0,010
20/14	0,017	0,013
28/20	0,024	0,020
40/28	0,034	0,025
63/50	0,056	0,030

Согласно рис. 6 радиус кривизны корпуса инструмента для i -го перехода $R_{к_i}$ (мм) определяют как

$$R_{к_i} = R_{и_i} \pm H_{таб} \pm t \pm b, \quad (15)$$

где $H_{таб}$ – высота алмазного элемента, мм;

t – толщина слоя клея, мм (принять $t = 0,1–0,2$ мм);

b – толщина слоя алмазного элемента для придания ему сферической формы, мм (принять $d = 0,1–0,2$ мм);

знак «+» – для шлифовальника-чашки;

знак «-» – для шлифовальника-гриба.

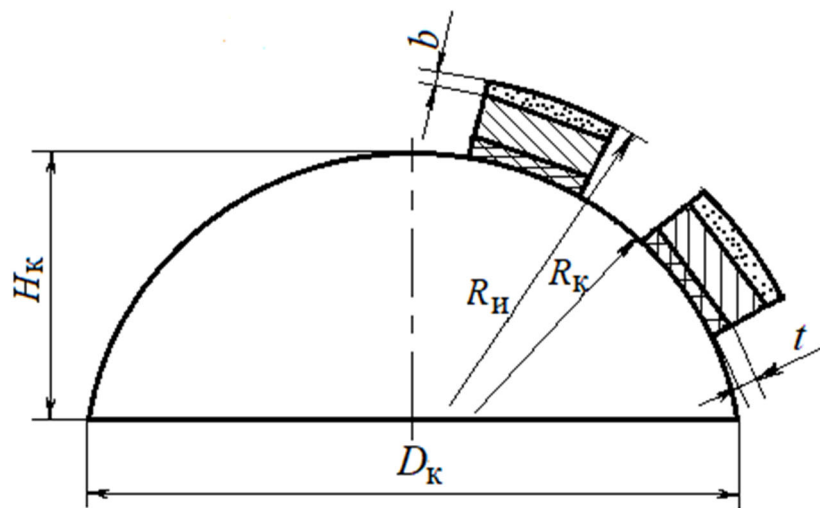


Рис. 6. К расчету радиуса кривизны корпуса инструмента

Высоту корпуса инструмента рассчитывают по формуле

$$H_{к} = \frac{D_{к}^2}{8 \cdot R_{к}}. \quad (16)$$

Остальные размеры корпусов шлифовальников выполняют по ОСТ [17, 18].

Для формирования рабочей поверхности на корпус инструмента приклеивают, припаивают или крепят иными способами алмазные элементы,

например, алмазные цилиндрические таблетки (рис. 7), размеры которых нормализованы (табл. 7).

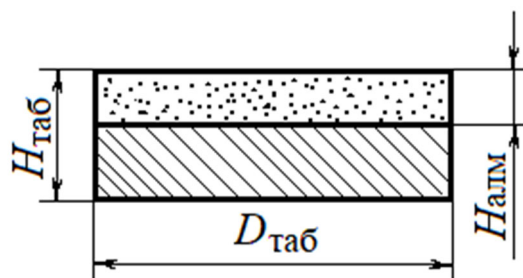


Рис. 7. Алмазная цилиндрическая таблетка

Таблица 7

Размеры алмазных цилиндрических таблеток

Диаметр $D_{\text{таб}}$, мм	Высота $H_{\text{таб}}$, мм	Высота алмазного слоя $H_{\text{алм}}$, мм
5	3	1,5
8	4	2,0
10	6	3,0
15	6	3,0
20	8	4,0

Количество алмазных элементов рассчитывают в зависимости от диаметров корпусов инструмента и алмазных элементов, а также от коэффициента заполнения. Коэффициент заполнения k_z – это отношение суммарной площади всех алмазных элементов к площади рабочей поверхности корпуса инструмента.

Для плоских поверхностей коэффициент заполнения k_z составляет от 0,25 до 0,3. Для сферических поверхностей с относительной кривизной:

- $H / R < 0,5$ коэффициент заполнения составляет $0,35 \leq k_z \leq 0,4$;
- $H / R \geq 0,5$ коэффициент заполнения составляет $0,45 \leq k_z \leq 0,5$.

Относительная кривизна – это отношение высоты сферического сегмента (стрелки прогиба) линзы H к его радиусу кривизны R . Расчет стрелки прогиба линзы выполнялся в практической работе «Определение размеров и массы заготовки линзы» [15].

Для плоского инструмента количество алмазных элементов (таблеток) $n_{\text{таб}}$ (шт.) будет равно

$$n_{\text{таб}} = \frac{S_{\text{к}} \cdot k_3}{S_{\text{таб}}}, \quad (17)$$

а для сферического инструмента –

$$n_{\text{таб}} = \frac{S_{\text{сег}} \cdot k_3}{S_{\text{таб}}}, \quad (18)$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь рабочей поверхности корпуса инструмента, мм²:

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{к}}^2}{4}; \quad (19)$$

$S_{\text{таб}}$ – площадь одной таблетки, мм²:

$$S_{\text{таб}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{таб}}^2}{4}; \quad (20)$$

$S_{\text{сег}}$ – площадь сферического сегмента корпуса инструмента, мм²:

$$S_{\text{сег}} = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{к}} \cdot H_{\text{к}}. \quad (21)$$

Концентрация алмазного порошка зависит от твердости материала: чем ниже твердость, тем меньше концентрация. Для ТАШ применяется концентрация от 10 до 25 %.

Контрольные вопросы

1. Что такое алмазно-абразивный инструмент?
2. Из каких конструктивных элементов состоит алмазный инструмент типа АТб?

3. Какую форму рабочей поверхности могут иметь алмазные инструменты типа АТб?
4. Для чего делают зазоры между алмазными элементами?
5. Каково условие распределения алмазных элементов на корпусе инструмента?
6. Что такое коэффициент заполнения?
7. Каковы основные параметры алмазного инструмента типа АТб?
8. Какие способы применяют для крепления алмазных элементов на корпус инструмента?
9. От каких параметров зависит количество алмазных элементов, закрепляемых на корпусе инструмента?
10. Для ТАШ используется алмазный порошок высокой или низкой концентрации?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 9206–80. Порошки алмазные. Технические условия. – Введ. 1981–01–07. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 54 с.
2. Соснов А. Н., Шлишевский Б. Э., Трифонов Е. Е. Автоматизированная обработка оптических деталей с применением алмазно-абразивной обработки : учеб. пособие. – Новосибирск : НИИГАиК, 1988. – 85 с.
3. Зубаков В. Г., Семибратов М. Н., Штандель С. К. Технология оптических деталей : учеб. – 2-е издание, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 308 с.
4. Ефремов А. А., Сальников Ю. В. Изготовление и контроль оптических деталей : учеб. пособие для средних проф.-техн. училищ. – М. : Высшая школа, 1983. – 255 с.
5. Справочник технолога-оптика : к изучению дисциплины / М. А. Окатов, Э. А. Антонов, А. Байгожин и др. ; под ред. М. А. Окатов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.
6. ГОСТ 32833–2014. Круги алмазные отрезные. Технические условия. – Введ. 2016–01–01. – М. : Стандартиформ, 2016. – 16 с.
7. ГОСТ 26004–83. Круги алмазные отрезные с внутренней режущей кромкой. Технические условия. – Введ. 1984–02–23. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 15 с.
8. ГОСТ 26339–84. Сверла алмазные кольцевые. Технические условия. – Введ. 1986–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 22 с.
9. ГОСТ 16167–90. Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля формы 1А1. Основные размеры. – Введ. 1992–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 11 с.
10. ГОСТ 16170–91. Круги алмазные шлифовальные плоские с выточкой формы 6А2. Размеры. – Введ. 1992–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
11. ГОСТ 17006–80. Круги алмазные кольцевые формы 2а2. Технические условия. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 8 с.

12. ГОСТ 16172–90. Круги алмазные шлифовальные чашечные конические формы 12А2 с углом 45°. Основные размеры. – Введ. 1992–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.
13. ГОСТ 17007–80. Круги алмазные плоские формы 6А2Т и 1А2Т. Технические условия. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 11 с.
14. ГОСТ 16169–81. Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля трехсторонние формы 14U1. Основные размеры. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 4 с.
15. Бобылева Е. Г., Кутенкова Е. Ю. Технология оптических деталей. Расчет заготовок оптических деталей : сб. описаний практ. работ. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 68 с.
16. Бобылева Е. Г., Кутенкова Е. Ю. Технология оптических деталей. Расчет приспособлений : метод. указания. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 48 с.
17. ОСТ 3–3513–85. Грибы. Конструкция и размеры : отраслевой стандарт ; издание официальное ; введен взамен ОСТ3-3513-76 ; дата введения 1986-07-01. – М., 1986. – 30 с.
18. ОСТ 3–3514–85. Чашки. Конструкция и размеры : отраслевой стандарт ; издание официальное ; введен взамен ОСТ3-3514-76 ; дата введения 2005-07-01. – М., 2004. – 29 с.

Учебное издание

Бобылева Елизавета Геннадьевна

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

РАСЧЕТ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *Н. Ю. Леоновой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 06.12.2022. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 1,92. Тираж 75 экз. Заказ 201.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.