

4. Ершов Э.Д., Лебедеко Ю.П., Чувиллин Е.М. и др. Особенности существования газовых гидратов в криолитозоне // ДАН. – 1991. – Т. 321, № 4. – С. 788–791.

5. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. – М.: ВНИИГАЗ, 2009. – 192 с.

6. Чувиллин Е.М., Перлова Е.В., Якушев В.С. Классификация газового компонента пород криолитозоны // Криосфера Земли. – 2005. – Т. IX, №3. – С. 73–76.

7. Киселев В.В., Шерстов В.А., Захарова А.Ю., Спицын А.В. О необходимости проведения газового контроля шахтной атмосферы при подземной разработке погребенных техногенных россыпей многолет-

ней мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ, 2006, №2. – С. 203–212.

8. Дядькин Ю.Д., Зильберборд А.Ф., Чабан П.Д. Тепловой режим рудных, угольных и россыпных шахт Севера. – М.: Наука, 1968. – 172 с.

9. Шерстов В.А., Скуба В.Н., Лубий К.И., Костромитинов К.Н. Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. – Якутск: Якутское книжное издательство, 1981. – 186 с.

10. Бык С.Ш., Фомина В.И. Газовые гидраты. – М.: ВИНТИ, 1970. – 126 с.

Поступила в редакцию 10.02.2014

УДК 51–7; 549.091.3

Сравнительный анализ оптических свойств бриллиантов

Ю.М. Григорьев, В.И. Сивцев, П.А. Слободчиков, Е.П. Шарин, Б.В. Яковлев

Фундаментальной основой технологий сканирования алмазного сырья, ввода геометрии кристалла в компьютер, создания оптимальных форм бриллианта является метод математического моделирования. Потребительские свойства приборов сканирования во многом определяются используемыми математическими моделями и алгоритмами. Имеющиеся в настоящее время программно-аппаратные комплексы не удовлетворяют полностью запросам, предъявляемым в реальном производственном процессе огранки бриллиантов. Это объясняется, в первую очередь, недостатками математических моделей, несовершенством алгоритмов обработки результатов сканирования трехмерных объектов и др. Предложен вероятностный подход к математическому моделированию оптических свойств бриллианта. Разработан и реализован алгоритм расчета оптических свойств бриллианта с учетом законов геометрической оптики, включая поглощения света алмазом и формулы Френеля. Получены зависимости интенсивности отраженного от бриллианта потока света от угла наклона основной грани короны. Определены угловые распределения интенсивности для бриллиантов Груша, Маркиза и проведены сравнения с распределением бриллианта КР–57. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании фантазийных форм бриллиантов, для более эффективного использования алмазного сырья, а также для корректировки параметров бриллианта посредством анализа физических свойств бриллианта.

Ключевые слова: алмаз, вероятностная модель бриллианта, оптические свойства бриллианта.

The fundamental basis of rough diamonds scanning technologies, the input of crystal geometry into a computer; creation of optimal forms of a diamond is a method of mathematical modelling. Consumer properties of scanning devices are largely determined by employed mathematical models and algorithms. Currently available hardware and software systems do not fully satisfy demands, which are required on the real production process of cutting diamonds. This is explained, in the first place, by shortcomings of mathematical models, imperfection of algorithms of processing of results of scanning of three-dimensional objects, etc. In this paper a probabilistic approach to the mathematical modeling of the optical properties of diamond is proposed. An algorithm of calculation of optical properties of a brilliant taking into account laws of geometrical optics, including light absorption by diamond and the Fresnel formulas is developed and realized. Dependences of intensity of the light flow reflected from a diamond on the slope angle of the main crown facet have been obtained. There have been determined angular distributions of intensity for diamonds: Pear, Marquise and

ГРИГОРЬЕВ Юрий Михайлович – д.ф.-м.н., зав. каф. ФТИ СВФУ, гл. ученый секретарь АН РС(Я), академик АН РС(Я), grigyum@yandex.ru; СИВЦЕВ Василий Иванович – к.ф.-м.н., доцент ФТИ СВФУ, kof_fti@mail.ru.; СЛОБОДЧИКОВ Павел Андреевич – директор ООО «Саха Даймонд Туулс», sakhadiamondtool@mail.ru; ШАРИН Егор Петрович – к.ф.-м.н., доцент ФТИ СВФУ, esharin@yandex.ru.; ЯКОВЛЕВ Борис Васильевич – д.ф.-м.н., проф. ФТИ СВФУ, bvy@mail.ru.

comparisons with the distribution of the diamond Round-57 have been made. The obtained results can be used for the design of fancy forms of diamonds, more efficient use of rough diamonds, as well as for the correction of parameters of a diamond through the analysis of the physical properties of a diamond.

Key words: diamond, probabilistic model of a diamond, diamond optical properties.

В настоящее время в алмазогранильном производстве применяются программно-аппаратные комплексы, автоматизирующие некоторые процессы обработки алмазов. Такие устройства выпускаются ведущими фирмами в этой отрасли, идет непрерывный процесс улучшения их характеристик. На гранильных предприятиях РС(Я) популярны устройства по сканированию алмазного сырья фирм OGI Systems Ltd. и Sarin Technologies Ltd.

Фундаментальной основой таких технологий является метод математического моделирования. Потребительские свойства этих приборов во многом определяются используемыми математическими моделями и алгоритмами. Имеющиеся в настоящее время устройства не удовлетворяют полностью запросам, предъявляемым в реальном производственном процессе огранки бриллиантов. Это объясняется, в первую очередь, недостатками математических моделей, несовершенством алгоритмов обработки результатов сканирования трехмерных объектов и др. Таким образом, развитие методов математического моделирования алмазов и бриллиантов является актуальной задачей, вызываемой потребностями гранильного производства. Разработки с использованием математического моделирования ведутся в МГУ, информация о них выставлена на сайте <http://octonus.gemology.ru>.

В данной работе приводится подход к одному из аспектов проблемы математического моделирования бриллиантов, разрабатываемый авторами в течение ряда лет [1–19]. Его задачей являются компьютерное моделирование алмазного сырья и бриллиантов, расчет оптических свойств бриллиантов, выработка объективного критерия оптимальности параметров бриллиантов. Основные эстетические качества бриллианта, такие как «игра» и «огонь», определяются его оптическими свойствами, которые очень чувствительны к изменению геометрических параметров бриллианта. Экспериментальный поиск оптимальных геометрических параметров бриллиантов, обеспечивающих красивую «игру» и «огонь», требует больших материальных затрат, времени и опытных специалистов. При наличии объективного критерия оптимальности оптических свойств бриллиантов поиск полных наборов геометрических параметров, обеспечивающих хорошие оптические свойства бриллианта, можно осуществлять численно на ЭВМ и реали-

зовать в виде готовых программных продуктов и патентов [20–27].

Математическим аппаратом создания геометрических моделей бриллиантов в виде выпуклых многогранников является аналитическая геометрия [27]. При создании геометрической модели бриллианта удобно иметь нормированные уравнения всех его N граней. Таким образом, каждая грань характеризуется четырьмя параметрами: три компонента внешней нормали и расстояние от начала системы координат до этой грани, а весь бриллиант – $4N$ параметрами. Задание всех $4N$ параметров однозначно определяет геометрическую форму бриллианта. На практике бриллиант изготавливается с некоторыми отклонениями формы от идеальной. Следовательно, геометрическая модель бриллианта должна допускать наличие некоторого числа варьируемых параметров из указанных $4N$, а все остальные должны выражаться через них. При этом при всех допустимых значениях варьируемых параметров многогранник должен иметь форму, близкую к форме идеального бриллианта. В качестве варьируемых параметров удобно брать углы наклонов некоторых граней к плоскости рундиста и некоторые отношения линейных размеров.

Бриллиант в плане имеет круглую форму, рундист – обычно толщину 1–2% от его диаметра (рис.1) [28].

Корона имеет площадку (таблицу), 8 основных граней в форме четырехугольников, 8 клиньев площадки в форме треугольников, 16 парных клиньев треугольных форм. Площадка бриллианта имеет форму восьмиугольника, противоположные стороны которого равны и параллельны друг к другу. Ось симметрии площадки совпадает с осью симметрии бриллианта. Заметим, что данный бриллиант имеет ось симметрии 8-го порядка, т.е. при вращении бриллианта на угол кратный $\pi/4$ он совпадает сам с собой.

После нахождения всех направляющих косинусов и расстояний до начала координат можно написать уравнения всех граней круглого бриллианта в нормальной форме: $\mathbf{n} \cdot \mathbf{r} = \delta$. Далее модель реализована в виде программы для ЭВМ в среде Дельфи с возможностью визуализации на мониторе компьютера. Аналогичным образом разработаны геометрические модели других известных бриллиантов с известными параметрами.

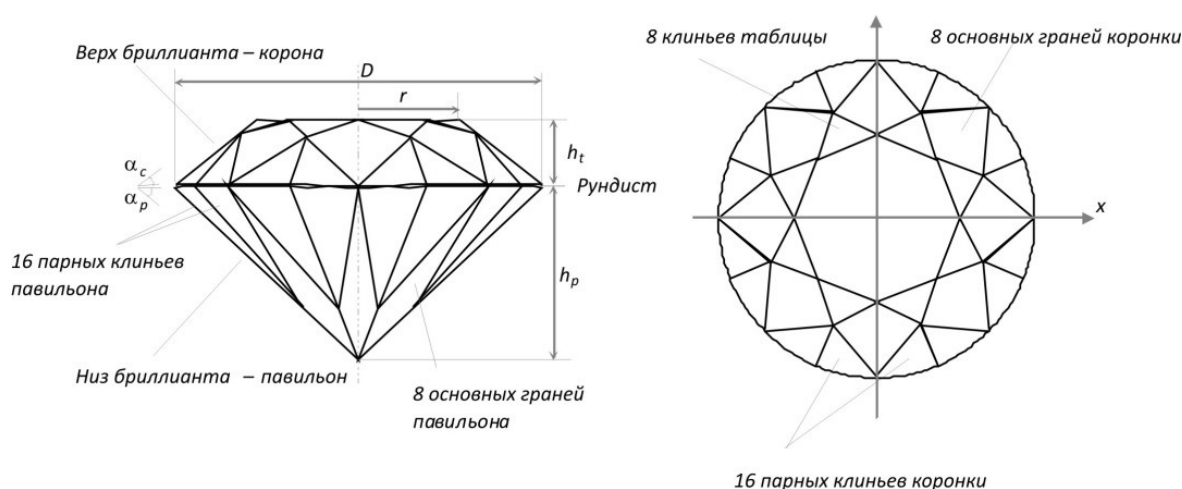


Рис. 1. Пропорции бриллианта КР-57

Рассмотрим теперь вопрос о расчете оптических свойств бриллианта.

Основными эстетическими качествами бриллианта по терминологии ювелиров являются «огонь» и «игра» [29–30]. Они возникают благодаря сложным оптическим явлениям, происходящим в бриллианте. Бриллиант закрепляется в ювелирном изделии чаще всего так, что его верхняя часть доступна освещению и наблюдению, а нижняя часть скрыта в ювелирном изделии. Параллельный пучок света с интенсивностью I от источника, попав в одну из граней короны, образует преломленный пучок лучей с интенсивностью I_d , который, попадая на границу раздела двух граней, расщепляется на два отраженных подпучка и, возможно, на два преломленных подпучка, распространяющихся в разных направлениях. Их интенсивности можно определить по формулам Френеля [31]. При нормальном отражении интенсивности преломленного и отраженного лучей вычисляются по формулам

$$I_r = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 I_0, I_d = (I_0 - I_r).$$

При всех остальных случаях соответствующие величины вычисляются по формулам

$$I_r = \frac{1}{2} \left(\frac{\operatorname{tg}^2(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}^2(\varphi + \psi)} + \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi + \psi)} \right) \cdot I_0,$$

$$I_d = \frac{\cos(\psi)}{\cos(\varphi)} (I_0 - I_r),$$

где φ – угол падения, а ψ – угол преломления.

Судьба отраженных подпучков аналогична судьбе пучка I_d . Таким образом, происходит неограниченная мультипликация первичного пучка I_0 , благодаря которому образуется множество

пучков с разными интенсивностями и с разными направлениями распространения от бриллианта. Последние пучки мы назовем рассеянными пучками. Другие грани бриллианта образуют другие серии рассеянных пучков.

Малейшие изменения ориентации бриллианта относительно источника света приводят к резким изменениям направлений и интенсивности рассеяния. Вся эта совокупность оптических явлений создает «игру» бриллианта. Благодаря сравнительно высокой дисперсии алмаза, монохроматический пучок света от источника создает разные серии рассеянных пучков для различных длин волн. Таким образом, при различных ориентациях бриллианта в глаза наблюдателя попадают пучки различных оттенков цвета. Этим объясняется «огонь» бриллианта.

Ориентация бриллианта относительно источника света в реальных условиях является случайной. Можно считать, что направление освещения является случайной величиной с равномерным распределением плотности вероятности по верхней полусфере. Эстетическое впечатление, производимое бриллиантом, определяется усредненными по направлениям освещения и наблюдения оптическими характеристиками бриллианта. При этом, выбирая разные множества направлений, по которым производится усреднение, можно смоделировать два разных способа наблюдения бриллианта. В первом способе ориентацию бриллианта относительно источника света и глаз подбирают специально и, слегка покачивая, любуются им. Такой способ можно назвать индивидуальным любованием. Он моделируется усреднением по направлениям из узкого конуса. Во втором способе ограничений на ориентацию бриллианта относительно источника света и наблюдателя нет. Такой способ можно

назвать публичным. Он моделируется усреднением по всем направлениям из верхней полусферы с учетом загораживания источника света головой наблюдателя.

Таким образом, модель бриллианта, как оптического устройства, должна быть вероятностной, т.е. объективные оптические характеристики бриллианта должны вычисляться как усредненные в вероятностном смысле величины.

Во втором способе наблюдения величинами, характеризующими оптические свойства бриллианта, являются: J_+ – средняя мощность света, рассеянного бриллиантом через его верх в верхнюю полусферу, при его равномерном освещении источником света единичной интенсивности; J_- – средняя мощность света, рассеянного бриллиантом в нижнюю полусферу в описанных выше условиях. Кроме этих величин необходимо знание угловых распределений мощности, интенсивности рассеянного света и вероятности рассеяния. Эти угловые распределения при заданном J_+ характеризуют телесный угол, благоприятный для наблюдения бриллианта. Чем шире этот телесный угол, тем лучше бриллиант при втором способе наблюдения. Хороший бриллиант в первую очередь должен иметь максимально большой J_+ .

Сравнивая угловые распределения, вычисленные для разных показателей преломления, можно получить информацию о дисперсии. Чем больше разница между ними, тем больше «огонь» бриллианта.

Для выполнения расчетов разработаны и реализованы программы для ЭВМ в среде Дельфи. В расчете J_+ учитывались все законы геометрической оптики, включая формулы Френеля, поглощение света в бриллианте, показатель преломления был принят равным 2,419. Поглощение считалось таким, что в среднем при прохождении света от одной грани бриллианта до другой интенсивность света ослабляется на один процент. Вклад в J_+ от рассеянных лучей, распространяющихся в обратном направлении к источнику освещения в пределах кругового конуса с углом при вершине, равным 5° , отбрасывался, ибо свет от источника света через голову наблюдателя не может попасть в бриллиант. При вычислении не учитывался вклад в J_+ от лучей $I_{d1}, I_{d2}, \dots$, интенсивности которых не превышали заранее заданное число из интервала 0,01–0,1. Источник света считался равномерно распределенным по верхней полусфере, т.е. мы имитировали случайное направление освещения бриллианта.

В построенной выше геометрической модели круглого бриллианта варьируемыми параметрами могут быть все углы $\alpha_c, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_p$. Был про-

веден расчет при варьировании угла α_c основной грани короны от $15,5^\circ$ до $45,5^\circ$. Результаты приведены на рис. 2. Локальные максимумы J_+ соответствуют известным типам огранок. Например, максимум при $41,5^\circ$ соответствует огранке Джонсона-Роша, $34,5^\circ$ – огранке Толковского, 33° – огранке Эпплера, $26,5^\circ$ – огранке Паркера.

Следующий цикл расчетов был проведен для сравнения оптических свойств бриллианта Толковского и фантазийных бриллиантов. Для этого

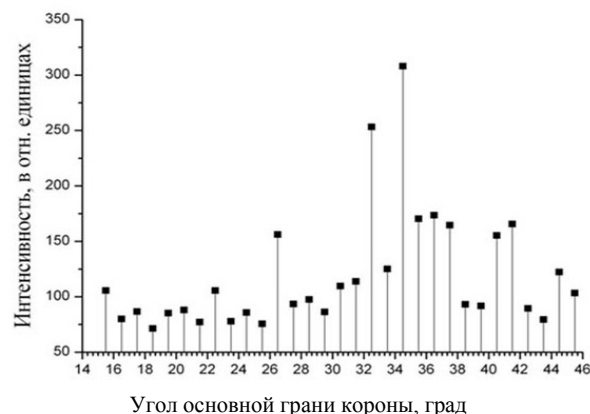


Рис. 2. Зависимость интенсивности отраженного от бриллианта потока света от угла наклона основной грани короны

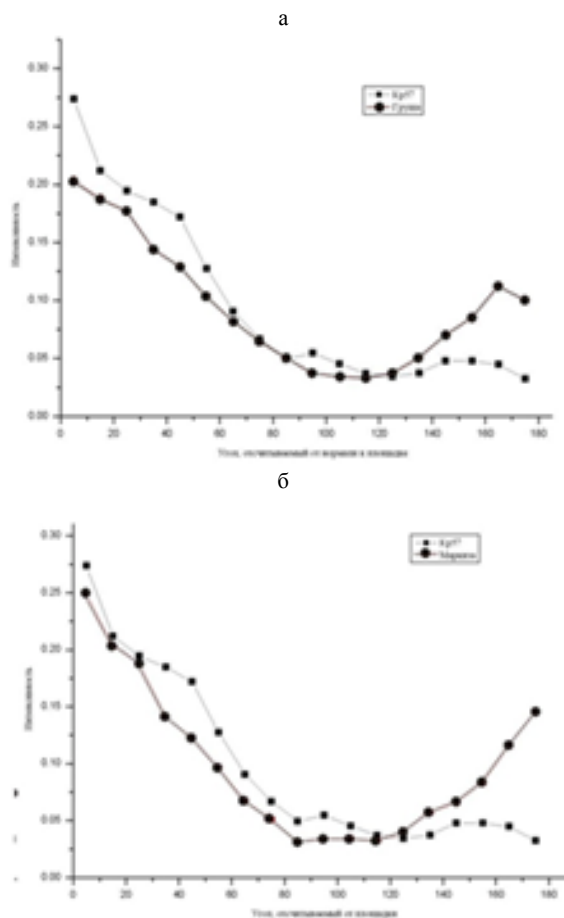


Рис. 3. Угловые распределения интенсивности для бриллиантов: а – КР-57 и Груша; б – КР-57 и Маркиза

разработана методика расчета углового распределения отраженного света. При этом интенсивности лучей, лежащих в пределах угла с раствором в 10^0 , складывались и относились к одному направлению. Некоторые результаты приведены на рис. 3. Как видно из этих графиков, огранка Толковского по оптическим свойствам превосходит фантазийные.

Таким образом, в работе развит метод математического моделирования геометрических и оптических свойств бриллиантов. Разработан алгоритм расчета оптических свойств бриллианта с учетом формул Френеля и поглощения света алмазом. В среде Дельфи написаны и отлажены программы для ЭВМ, реализующие разработанные математические модели и алгоритмы. Проведенные расчеты показывают правдоподобность получаемых результатов и то, что предложенный метод расчета оптических свойств может служить объективным критерием качества бриллианта. Разработанные методы могут быть использованы для поиска оптимальных форм фантазийных бриллиантов.

Литература

1. Наумов В.В., Слободчиков П.А. Математическое моделирование оптических свойств бриллиантов и разработка новых видов огранки // Ученые записки ЯГУ. Серия математика и физика. – Якутск, 1994. – С. 120.
2. Слободчиков П.А. Оптимизирующий функционал бриллианта // Доклад на 6-й науч.-практ. конф. – Смоленск, 1998. – С. 54–58.
3. Григорьев Ю.М., Муксунов И.Х., Наумов В.В., Сивцев В.И. и др. Компьютерная оптимальная разметка алмазного сырья // Сб. трудов II Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Ч. 3. – Якутск, 2004. – С.240–251.
4. Григорьев Ю.М., Сивцев В.И., Яковлев Б.В. и др. Физико-технические проблемы переработки алмазного сырья // Тезисы докладов 5-й Межд. конф. по мат. моделированию, посв. 75-летию ак. В.Н. Монахова. – Якутск, 2007. – С. 113–114.
5. Муксунов И.Х., Наумов В.В., Сивцев В.И., Слободчиков П.А. Круглый бриллиант из полупрозрачного сырья (тезисы) // Тезисы докладов 2-й Межд. конф. по мат. моделированию. – Якутск, 1997. – С. 161–162.
6. Муксунов И.Х., Наумов В.В., Сивцев В.И., Слободчиков П.А. Оптимальные пропорции бриллиантов // Тезисы докладов 2-й Межд. конф. по мат. моделированию. – Якутск, 1997. – С. 162–163.
7. Григорьев Ю.М., Муксунов И.Х., Наумов В.В. и др. Проектирование фантазийных бриллиантов методом математического моделирования // Тезисы докладов 4-й Межд. конф. по мат. моделированию. – Якутск, 2004. – С. 60.
8. Григорьев Ю.М., Муксунов И.Х., Наумов В.В. и др. Компьютерные технологии оптимальной разметки алмазного сырья // Сб. трудов науч.-практ. конф. «Алмазы, золото: подготовка кадров. наука, обработка». – Якутск: ГУ РИМЦ, 2005. – С. 133–139.
9. Григорьев Ю.М., Яковлев Б.В., Шарин Е.П. и др. Математическое моделирование в проблемах переработки алмазного сырья // Материалы 2-й Всероссийской науч. конф. «Информационные технологии в науке, образовании и экономике». Ч. II. – Якутск, 2007. – С.27–28.
10. Григорьев Ю.М., Муксунов И.Х., Наумов В.В., Яковлев Б.В. Моделирование формы кристаллов алмаза // Тезисы докладов 4-й Межд. конф. по мат. моделированию. – Якутск, 2004. – С. 61–62.
11. Григорьев Ю.М., Иннокентьева А.В., Яковлев Б.В. Создание трехмерного графика кристалла по его проекциям // Тезисы докладов Всероссийской науч. конф. «Информационные технологии в науке, образовании и экономике». Ч. I. – Якутск, 2005. – С. 147.
12. Иннокентьева А.В., Яковлев Б.В. Разработка алгоритма расчета объема выпуклых кристаллов // Тезисы докладов науч.-практ. конф. ЯГУ, посвященной Международному году физики. – Якутск, 2005. – С. 23.
13. Иннокентьева А.В., Яковлев Б.В. Ввод геометрии кристалла алмаза по проекциям и определение его объема // Сб. материалов науч.-практ. конф. «Алмазы, золото, самоцветы: подготовка кадров, наука, обработка». – Якутск. – С. 129.
14. Сивцев В.И., Григорьев Ю.М., Шарин Е.П. и др. Разработка новых фантазийных бриллиантов методом математического моделирования // Материалы межвузовской науч.-практ. конф. к 50-летию ЯГУ. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 2006. – С. 234–236.
15. Григорьев Ю.М., Сивцев В.И., Яковлев Б.В. и др. Физико-технические проблемы переработки алмазного сырья // Сб. тезисов межвузовской науч.-практ. конф. «Университет XXI века: достижения, перспективы, стратегия развития». – Якутск: Изд-во ЯГУ, 2006. – С. 90–92.
16. Григорьев Ю.М., Сивцев В.И., Шарин Е.П. и др. Разработка реалистической компьютерной модели бриллианта // Материалы III Всероссийской науч. конф. «Информационные технологии в науке, образовании и экономике». Ч. II. – Якутск, 2008. – С. 27–28.
17. Григорьев Ю.М., Сивцев В.И., Шарин Е.П. и др. Инновационные подходы в огранке якутских алмазов // Труды IV Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. – Якутск: Изд-во СО РАН, 2008. – С. 1–9.
18. Васильев Н.В., Яковлев Б.В. Математическое моделирование фронтального изображения круглого

бриллианта // Тезисы докладов 3-й ВНК ММРСТ РФ. – 2012. – С. 45.

19. Колосова Г.Г., Яковлев Б.В. Алгоритм создания трехмерного численного образа реального кристалла по его изображениям // Тезисы докладов 3-й ВНК ММРСТ РФ. – 2012. – С. 61.

20. Наумов В.В., Сивцев В.И., Слободчиков П.А. и др. Фантазийная огранка бриллиантов «Тойук». Патент РФ 93036445/12(035841), 1995.

21. Наумов В.В., Сивцев В.И., Слободчиков П.А. и др. Фантазийная огранка бриллиантов «Сахакат» Патент РФ 93036438/12(035841), 1995

22. Наумов В.В., Сивцев В.И., Слободчиков П.А. и др. Фантазийная огранка бриллиантов «Мичил» Патент РФ 93036439/12(035841), 1995.

23. Григорьев Ю.М., Наумов В.В., Муксунов И.Х. и др. Фантазийная огранка бриллиантов «Тимур» Патент РФ 2309649, 2007.

24. Наумов В.В., Муксунов И.Х., Григорьев Ю.М. и др. Ввод параметров октаэдрического алмазного сырья (программа для ЭВМ). Отраслевой фонд алгоритмов и программ. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 4016, 18 ноября 2004 г.

25. Григорьев Ю.М., Наумов В.В., Муксунов И.Х. и др. Моделирование внутренних дефектов природного алмаза, ВНТИЦ №50200700677. – М.: ВНТИЦ, 2007. – С. 1. Код программы по ЕСПД 02069070.00114–02, 2007–04–03.

26. Григорьев Ю.М., Сивцев В.И., Шарин Е.П. 3-D бриллиант. Код программы по ЕСПД 0206905.00181–00, 2008–10–10.

27. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Аналитическая геометрия. – М.: Наука, 1998. – 224 с.

28. Епифанов В.И. и др. Технология обработки алмазов в бриллианты. – М.: Высшая школа, 1971. – 260 с.

29. Кнут Б.Дж. Справочник ювелира. Справочник по драгоценным камням, металлам, расчетным формулам и терминологии для ювелиров. – Омск: Дедал-Пресс, 2008. – 142 с.

30. Дронова Н.Д. Что надо знать об успехе на ювелирном рынке. – М.: НЦСО, 2008. – 192 с.

31. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 720 с.

Поступила в редакцию 26.11.2013

УДК 621.95.025.7

Изнашивание рабочей поверхности алмазного сверла с металлокерамической матрицей

П.П. Шарин, М.И. Васильева, Г.Г. Винокуров, М.В. Федоров, В.Е. Гоголев

Проведено исследование поверхности трения алмазного сверла с металлокерамической матрицей в процессе сверления материалов. Изменение рельефа рабочей поверхности сверла изучалось с интервалом 10 с; установлены начало активного обнажения режущих граней алмазных частиц и последующий эффект самозатачивания. Выявлен процесс формирования и изменения «шлейфа» материала матрицы за алмазной частицей при изнашивании поверхности. Алмазные частицы не теряют режущей способности в процессе сверления в результате прочного удержания в твердосплавной матрице с медной пропиткой. Показано, что распределение микротвердости матрицы равномерное, которое указывает на отсутствие площадок скопления меди. Выявлено, что при изнашивании стадия приработки занимает незначительный участок, основной износ инструмента происходит в установившемся режиме; катастрофического износа не наблюдается.

Ключевые слова: алмазное сверло, поверхность трения, самозатачивание, алмазная частица, микротвердость, массовый износ.

In the work the research of a friction surface of a diamond drill with a ceramic-metal matrix in the course of drilling of materials is conducted. The change of a drill working surface relief was studied with an interval of 10 sec.; the beginning of an active exposure of cutting sides of diamond particles and the subsequent effect of self-sharpening are established. Formation and change process of «apron» of a matrix material behind a diamond particle is revealed at surface wear. Diamond particles don't lose cutting ability in the course of drilling as a result of strong keeping in a hard-alloy matrix with copper impregnation. It is shown that distri-

ШАРИН Петр Петрович – к.ф.-м.н., зам. дир. ИФТПС СО РАН, psharin1960@mail.ru; ВАСИЛЬЕВА Мария Ильинична – к.т.н., с.н.с. ИФТПС СО РАН, vasileva_mi@mail.ru; ВИНОКУРОВ Геннадий Георгиевич – к.т.н., в.н.с. ИФТПС СО РАН, g.g.vinokurov@iptpn. usn.ru; ФЕДОРОВ Михаил Владимирович – инженер I категории ИФТПС СО РАН, fedorov.83@mail.ru; ГОГОЛЕВ Василий Егорович – вед. инженер ИФТПС СО РАН, gogholiev.vasilii@mail.ru.