

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, ВНИИЦ №50200700677. – М.: ВНИИЦ, 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.

tribution of microhardness of a matrix is even which points to absence of platforms of copper bunches. It is revealed that at wear the wear-in stage occupies an insignificant site, the main wear of the tool occurs in the steady mode; catastrophic wear isn't observed.

Key words: diamond drill, friction surface, self-sharpening, diamond particle, microhardness, mass wear.

Введение

Разработки новых составов материала для повышения стойкости алмазных инструментов на металлокерамической матрице продолжают привлекать внимание многих исследователей. Актуальность проблемы повышения работоспособности алмазного инструмента определяется также постоянным увеличением объемов его потребления промышленностью. При обработке материалов алмазосодержащим инструментом основную нагрузку принимает алмазное сырье, как наиболее твердая составляющая. Таким образом, износостойкость инструмента в основном определяется содержанием алмазных частиц на его рабочей поверхности.

Изнашивание алмазного инструмента зависит от многих факторов, в том числе от динамических и статических нагрузок, вида обрабатываемого материала и др. Исследованиями процессов изнашивания алмазных инструментов выявлено, что в алмазных инструментах от 30 до 95% алмазов может выпадать из матрицы вследствие ненадежного закрепления в ней. Поэтому выявление механизма изнашивания поверхности трения позволяет разработать методы усовершенствования материалов алмазного инструмента.

Целью данной работы является анализ поверхности трения алмазного сверла на металлокерамической матрице для определения механизма изнашивания в натуральных условиях эксплуатации инструмента.

Материалы и методика экспериментальных исследований

Объектом исследования в работе является поверхность трения алмазного сверла с матрицей из порошка ВК6 и алмазным порошком А7К10 с медной пропиткой в зависимости от времени работы в натуральных условиях эксплуатации. Алмазное сверло является разработкой Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН [1].

Обоснование для разработки материала, технологические операции получения алмазного сверла с металлокерамической матрицей описаны в работе [2], процесс изготовления алмазного сверла включает:

– подготовку твердосплавной смеси и её пластификацию;

– послыйную засыпку приготовленной смеси и алмазного порошка в металлическую прессформу;

– прессовку алмазосодержащего материала;

– прессовку брикета алмазосодержащего материала в корпус инструмента;

– спекание с пропиткой в вакуумной печи.

При этом на боковой стенке корпуса инструмента на уровне высоты брикета просверливается отверстие; далее корпус инструмента с прессованным в нем брикетом располагается в вакуумной печи вертикально контактной поверхностью брикета на пропитываемую медь так, чтобы пропитка происходила снизу вверх [1,2].

Таким образом, было получено опытное алмазное сверло с металлокерамической матрицей и алмазным порошком А7К10 зернистостью 400/315. Концентрация алмазного сырья составляет 25%, содержание алмазного порошка – 0,42 кар.

Износостойкость алмазного сверла оценивалась натурными испытаниями при сверлении твердых материалов – гранита, карбида кремния и электрокорунда.

В работе использованы методы микро- и макроанализа для изучения поверхности алмазного сверла, проведены металлографические наблюдения за динамикой изменения поверхности трения в зависимости от времени работы.

Металлографические исследования макроструктуры и поверхности трения алмазосодержащих порошковых материалов проводились на микроскопах «Neophot-32», «Stemi 2000-C» и «Axio Observer» при увеличениях от $100\times$ до $1000\times$.

Проведены измерения микротвердости материала на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 2 Н с выдержкой 10 с, обработки экспериментальных данных – в электронных таблицах Excel и программной среде MathCad.

Обсуждение результатов

Как отмечено выше, в алмазосодержащем материале алмазные частицы являются упрочняющей фазой, несущей основную нагрузку. Материал матрицы должен быть достаточно прочным и твердым, чтобы обеспечить сопротивление абразивному износу и удержание алмазного зерна от преждевременного вырыва. С другой стороны, должна обеспечиваться самозатачиваемость.

мость инструмента. Судя по структуре материала [2], алмазные частицы плотно обволакиваются матрицей; медная пропитка не имеет существенных неоднородностей, что указывает на достаточно плотное прессование и равномерное распределение.

На рис. 1 показан начальный процесс изменения поверхности трения инструмента в зависимости от времени сверления электрокорунда. Шаг времени наблюдения составляет 10 с; начальный момент – 10 с, конечный – 350 с.

Как видно из рис. 1, со временем работы меняется рельеф поверхности износа. В начальном состоянии поверхность шероховатая (рис. 1, а, б), далее появляются борозды на поверхности по направлению пути трения (рис. 1, в).

Как видно из рис. 1, г, при 100 с работы происходит активное обнажение режущих граней. Далее наблюдается процесс самозатачивания рабочей поверхности с обновлением слоя алмазных зерен на поверхности трения (рис. 1, д–и).

Расположение алмазных частиц в матрице несет произвольный характер. Поэтому на поверхности инструмента видны алмазные частицы разной высотности, при этом максимальную нагрузку принимают те частицы, которые имеют наибольшую высотность. Металлокерамической матрице присуще наиболее лучшее алмазодержание, что способствует сохранности алмазных частиц на рабочей поверхности [3–5].

При сверлении материалов обычно алмазное сверло имеет одностороннее вращение. Такое вращение алмазного инструмента позволяет использовать режущие свойства алмазных частиц, закрепленных в матрице, только с одной стороны. В работе установлен процесс формирования и изменения «шлейфа» материала матрицы за алмазной частицей при изнашивании поверхности. Как показывают исследования, формирование шлейфа происходит после 40 с (рис. 1, г), далее происходит сужение, после 90 с виден четко очерченный след (рис. 1, в). В дальнейшем

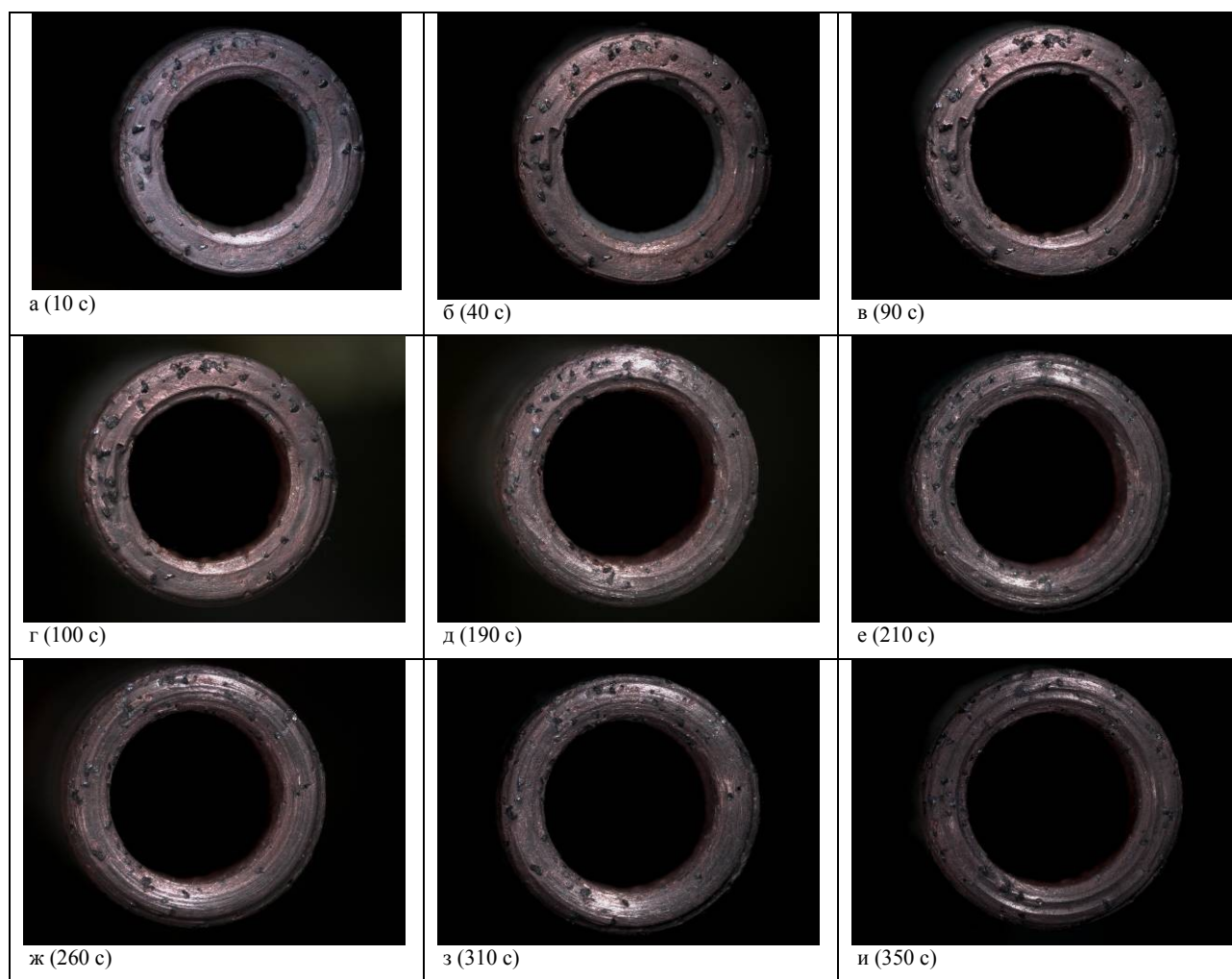


Рис. 1. Структура поверхности трения алмазного сверла с металлокерамической матрицей в зависимости от времени сверления

происходит уменьшение области «шлейфа»; при 140 с «шлейф» достигает наименьшего размера. Разрушение, скол алмазной частицы, видимо, также способствует значительному уменьшению его «шлейфа». Частичное разрушение алмазной частицы наблюдается при 170 с, далее при 190 с происходит полное удаление алмазной частицы (рис. 1, д). Когда изнашивание протекает с разрушением алмазных частиц, происходит непрерывное обновление рабочей поверхности, т.е. самозатачивание. Как известно, свойством самозатачивания обладают мягкие и среднемягкие материалы матрицы, работающие при интенсивном изнашивании инструмента.

Таким образом, выявлено, что в процессе изнашивания состав материала матрицы стирается постепенно, в результате обнажаются новые частицы алмаза (рис. 1). Рабочий элемент сверла имеет режущие грани алмазных частиц, прочно сцементированных в твердосплавной матрице с медной пропиткой, не теряет режущей способности.

На рис. 2 приведен график распределения микротвердости матрицы алмазного сверла; значения микротвердости: минимальное 2807 МПа, максимальное 3810 МПа, среднее 3228 МПа. Из графика видно, что распределение микротвердости практически не имеет больших разбросов между наибольшими и наименьшими значениями.

Минимальное значение микротвердости объясняется тем, что отпечаток, скорее всего, попадает на участок с небольшим содержанием меди. При этом на поверхности визуально неоднородных медных участков не наблюдается, что указывает на более равномерный процесс пропитки.

Как показывает литературный обзор, при изнашивании алмазосодержащего материала выявлены следующие механизмы износа: адгезионный, абразивный диффузионный и их сочетание [6,7]. Каждому виду износа соответствует характерный вид поверхности алмаза: адгезионному – бугристая поверхность; абразивному – риски, параллельные направлению шлифования; диффузионному – гладкая площадка износа; комбинированному – сочетание соответствующих видов [6]. Из указанных механизмов износа предпочтителен абразивный износ, так как в результате ударов в поверхностном слое формируется сеть микротрещин, которая приводит к скалыванию алмазной частицы.

На рис. 3 приведен график массового износа алмазного сверла в зависимости от времени работы. Как видно из графика, до 40 с происходит

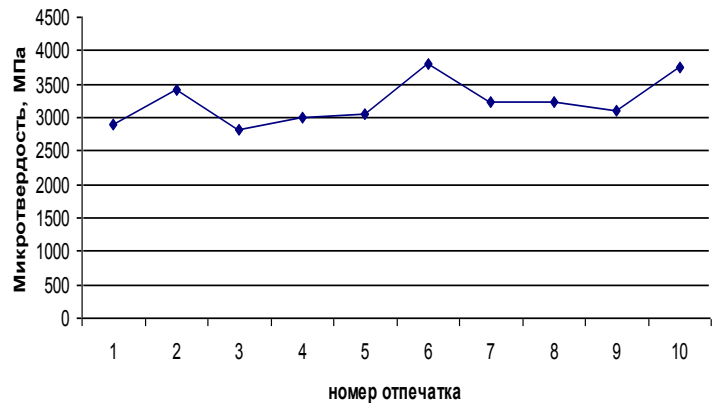


Рис.2. Микротвердость матрицы алмазного сверла с металлокерамической матрицей

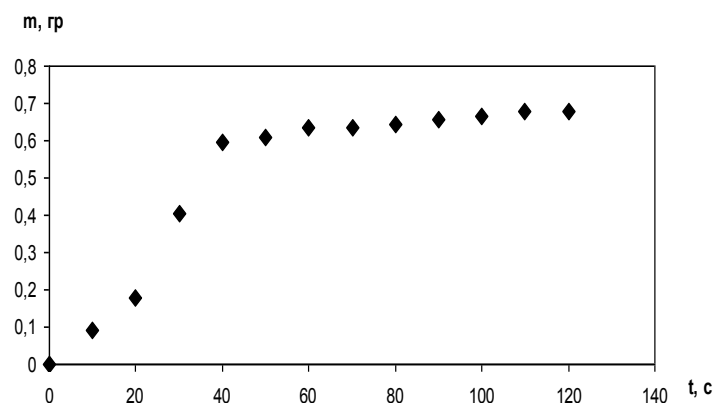


Рис.3. Зависимость массового износа от времени работы алмазного сверла с металлокерамической матрицей

процесс приработки алмазосодержащего материала, далее сразу начинается установившийся износ.

Незначительный участок приработки указывает на качественные эксплуатационные характеристики инструмента. Дело в том, что на стадии установившегося износа алмазный инструмент имеет меньшую интенсивность изнашивания (рис. 3). При этом процесс катастрофического износа инструмента не наблюдается, на рабочей поверхности происходит процесс самозатачивания, т.е. обновление алмазных частиц.

Заключение

1. Исследованы макроструктура и формирование поверхности трения алмазосодержащего материала бытового сверла. В макроструктуре материала матрица плотно удерживает зерно алмаза, повторяя рельеф его поверхности, благодаря равномерному распределению медной фазы вокруг зёрен карбида вольфрама в технологическом процессе изготовления инструмента.

2. Отличительной особенностью приработки поверхности трения является формирование удлиненных областей материала матрицы непосредственно за алмазными зернами. Форма данных образований в виде длинных шлейфов отражает симметрию пути трения, их направление является противоположным направлению вращения алмазного инструмента.

3. Установлено, что в стадии приработки микротвердость матрицы алмазного инструмента практически не изменяется, не происходит разупрочнения матрицы алмазосодержащего материала.

4. Натурными испытаниями на износ выявлен незначительный участок приработки алмазного инструмента, что указывает на его качественные эксплуатационные характеристики.

Литература

1. Лебедев М.П., Шарин П.П., Гоголев В.Е. и др. Способ изготовления алмазного инструмента. Положительное решение о выдаче патента от 15.11.2012 на заявку №2012104802.

2. Шарин П.П., Гоголев В.Е., Атласов В.П. и др. Разработка технологических процессов изготовления

алмазного сверла на металлокерамической матрице // Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD-2013. Т.2. – Якутск: Ахсаан, 2013. – С. 237–241.

3. Физические свойства алмаза: Справочник / Под ред. Н.В. Новикова. – Киев: Наукова думка, 1987. – 188 с.

4. Лисовский А.Ф. Особенности формирования мезоструктуры в WC-Co твердых сплавах // Сверхтвердые материалы. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – Киев. – 2011. – №2. – С. 96–98.

5. Цыпин Н.В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента. – Киев: Наукова думка, 1983. – 192 с.

6. Кузей А.М., Лебедев В.Я., Францкевич А.Я. Влияние микроструктуры на характер износа алмаза в однокристалльном правящем инструменте // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Збірник наукових праць. Вып. 7. – Житомир, 2009. – С. 93–100.

7. Михайлов М.И., Щерба В.Я., Прушак В.Я. Износостойкость ограничных дисков. – Гомель: Инфотрибо, 1996. – 159 с.

Поступила в редакцию 17.01.2014

УДК 621.311.1

Повышение надежности, живучести и эффективности самокомпенсирующейся линии с промежуточным отбором мощности в составе энергообъединения Восточной Сибири, Якутии и Дальнего Востока

А.В. Кобылин, А.М. Хоютанов, П.Ф. Васильев, Г.И. Давыдов, А.С. Нестеров, В.П. Кобылин

Рассматриваются перспективные варианты сверхдальнего транспорта электроэнергии для объединения изолированных районов Республики Саха (Якутия) с последующей связью с ОЭС Сибири, ОЭС Востока и ее интеграции в Единую энергосистему России для широкомасштабного выхода на электроэнергетические рынки Азиатско-Тихоокеанского региона. Приведены методы обеспечения устойчивой работы самокомпенсирующейся линии с промежуточным отбором мощности.

Ключевые слова: полуволновая линия, энергообъединение, промежуточный отбор.

Promising options for long-distance transport of electricity to unite isolated regions of The Republic of Sakha (Yakutia), followed by a link to Siberian, Eastern interconnections and its integration into the Unified Energy System of Russia for large-scale entering the Asia-Pacific electric power markets. The methods to ensure stable operation of the self-compensating line with the intermediate power takeoff are also presented.

Key words: self-compensated line, unified energy system, power take off.

КОБЫЛИН Андрей Витальевич – инженер-электронщик ИФТПС СО РАН, v.p.kobylin@iptpn.ysn.ru; ХОЮТАНОВ Александр Михайлович – вед. инженер ИФТПС СО РАН, shuriklater@mail.ru; ВАСИЛЬЕВ Павел Филиппович – к.т.н., м.н.с. ИФТПС СО РАН, 390-562; ДАВЫДОВ Геннадий Иванович – м.н.с. ИФТПС СО РАН, dav_gen@mail.ru; НЕСТЕРОВ Андрей Сергеевич – вед. инженер ИФТПС СО РАН; КОБЫЛИН Виталий Петрович – д.т.н., зав. отделом ИФТПС СО РАН.