Количественная оценка содержания алмазных частиц на рабочей поверхности алмазного сверла

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

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Россия
e-mail: vasileva_mi@mail.ru*

Аннотация. Проведена количественная оценка выступающих активных алмазных частиц на рабочей поверхности опытного алмазного сверла с металлокерамической матрицей при его эксплуатации. Предварительно проведен литературный обзор по методам определения количества абразивных зерен на рабочей поверхности инструмента. Отмечены основные достоинства и недостатки используемых методик определения режущих граней в процессе эксплуатации инструмента. Образование микронеровностей происходит в результате фрикционного взаимодействия контактных поверхностей абразивного инструмента и обрабатываемого материала. При обработке происходит процесс массового микрорезания отдельными зернами, что в совокупности определяет производительность инструмента в целом. Таким образом, одним из факторов повышения эффективности алмазосодержащего инструмента является состояние его рабочей поверхности. Также направления совершенствования алмазного инструмента связаны с улучшением его составляющих и функциональных элементов: алмазных зерен, связки, строения рабочего слоя. Также проведена количественная оценка активных алмазных зерен на рабочей поверхности инструмента на основе металлографического анализа поверхности трения. Предложенный в работе метод определения количества режущих алмазных зерен на рабочей поверхности опытного алмазного сверла позволяет оценить и прогнозировать служебные свойства рабочей поверхности при эксплуатации инструмента в натурных условиях.

Ключевые слова: алмазное сверло, металлокерамическая матрица, алмазное зерно, самозатачивание, рельеф поверхности.

Quantitative Assessment of Diamond Particles on Working Surface of a Diamond Drill

M.I. Vasilyeva, P.P. Sharin, G.G. Vinokurov, M.V. Fedorov

*Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia
e-mail: vasileva_mi@mail.ru*

Abstract. In this work a quantitative assessment of protruding active diamond particles on the working surface of an experimental diamond drill with a metal-ceramic matrix during its operation was done. Previously a literature review on the methods of determining of the amount of abrasive grains on the working surface of a tool was performed. The main advantages and disadvantages of the methods for determining the cutting edges during a tool operation are discussed. The formation of microroughness occurs as a result of frictional interaction of contact surfaces of abrasive tool and material being processed. During processing, a mass micro-cutting with individual grains occurs, which together determines the productivity of a tool as a whole. Thus, one of the factors increasing the efficiency of a diamond tools is its surface condition. Other factors are connected with the improvement of its components and functional elements: diamond grains, lig-

ВАСИЛЬЕВА Мария Ильинична – к.т.н., с.н.с.; ШАРИН Петр Петрович – к.ф.-м.н., зам. директора; ВИНОКУРОВ Геннадий Георгиевич – к.т.н., в.н.с.; ФЕДОРОВ Михаил Владимирович – инженер I категории.

aments, working layer structure. In this work, quantitative assessment of active diamond grains on the working surface of a tool was realized on the basis of metallographic analysis of the friction surface. The proposed method for determining the amount of cutting diamond grains on the working surface of the experimental diamond drill make it possible to evaluate and predict service properties of a working surface of a tool when operating in full-scale conditions.

Key words: diamond drill, metal-ceramic matrix, diamond grain, self-sharpening, surface relief.

Введение

Как показывает практика, рельеф рабочей поверхности абразивных инструментов существенно влияет на эффективность процесса обработки [1–10]. При этом рельеф рабочей поверхности целесообразно рассматривать в перпендикулярных сечениях, ориентированных относительно линейной скорости (поперечный и продольный профили). Одна из основных характеристик, обеспечивающих эффективность алмазных инструментов – их высокая режущая способность. При этом основным параметром, характеризующим рельеф и определяющим уровень режущей способности абразивного инструмента, является высота выступания абразивных зерен над уровнем связки. Поэтому режущую способность можно повысить управлением рельефом рабочей поверхности инструмента путем наилучшего расположения алмазных зерен в связывающем материале (матрице). Это также создает предпосылки для работы алмазного абразивного инструмента в режиме самозатачивания. Рабочая поверхность алмазного инструмента как объект формообразования (и одновременно формообразующий) описывается тремя типами характеристик:

- геометрическими (поперечный и продольный профили рельефа по уровню наиболее выступающих зерен или связки);
- совокупностью поверхностных параметров, определяющих степень развитости режущего рельефа;
- группой параметров, определяющих признак технологической наследственности конкретного метода (структурные изменения связки круга, субмикрорельеф).

Однако, как показывает обзор литературы, универсального и надежного метода определения формирования рабочей поверхности не существует. Отсутствие общего научно обоснованного подхода приводит к многочисленным частным задачам по видам и типам алмазного инструмента [1–10].

Например, при шлифовании алмазным инструментом основной проблемой металловедения является повышение надежности и долговечности деталей машин и механизмов. Ее решение заключается в улучшении качества деталей за счет изучения микрорельефа их рабочих поверхностей. Формирование шлифованной по-

верхности служит результатом взаимодействия режущих элементов алмазного инструмента с обрабатываемым материалом, поэтому характер геометрии рабочей поверхности шлифовального круга также оказывает определяющее влияние на показатели качества обработанной поверхности. Основными параметрами, которыми характеризуют геометрию режущей поверхности, являются количество алмазных зерен на единице площади поверхности инструмента, закон распределения вершин зерен по высоте и радиус округления вершин зерен. В результате обработки шлифовальным инструментом на зернах образуются плоские вершины, которые приводят к ухудшению режущей способности и увеличению силы трения между обрабатываемой поверхностью и зерном.

Сверление материалов алмазным инструментом – сложный многофакторный процесс, зависящий от физико-механических, химических, теплофизических свойств каждого составляющего алмазосодержащего композита и обрабатываемого материала. При этом формирование рельефа рабочей поверхности алмазного сверла является результатом взаимодействия режущих элементов выступающих граней алмазных частиц с обрабатываемым материалом. Поэтому для повышения эффективности эксплуатационных характеристик алмазного сверла актуально исследование процессов изнашивания его рабочей поверхности с оценкой количества выступающих алмазных зерен.

Цель работы – обзор работ по оценке активных абразивных зерен алмазного инструмента и установление количества алмазных частиц на рабочей поверхности алмазного сверла с металлокерамической матрицей системы WC-Co-Cu в натуральных условиях эксплуатации инструмента.

Материалы и методика исследований

Объектом исследования являются выступающие алмазные частицы на рабочей поверхности опытного алмазного сверла с металлокерамической матрицей (порошок матрицы ВК6 и алмазный порошок марки А7К10 зернистостью 400/315 весом 0,42 карата) в зависимости от времени работы при эксплуатации инструмента в натуральных условиях. Обоснование для разработки материала, технологические операции получения опытного алмазного сверла описаны

Рис. 1. Опытное алмазное сверло разработки ИФТПС СО РАН: а – общий вид, б – рабочая поверхность

в работе [11]. Процесс изготовления алмазного сверла включает: подготовку твердосплавной смеси и её пластификацию; послойную засыпку приготовленной смеси и алмазного порошка в металлическую пресс-форму; 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 (рис. 1), 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 [11].

В работе исследованы алмазные частицы на рабочей поверхности алмазного сверла с 25% концентрацией алмазного сырья ($\approx 6\%$ по объему материала) и зернистостью 400/315. На рис.1 показаны общий вид алмазного сверла и его рабочая поверхность; отчетливо видны расположения алмазных частиц, выступающих из связующего материала.

Металлографические исследования структуры поверхности трения алмазосодержащего по-

рошкового материала проводились на микроскопах «Neophot-32», «Stemi 2000-C» и «Axio Observer».

Оценка алмазных частиц на рабочей поверхности алмазного сверла

В данной работе использован метод подсчета активных алмазных частиц на рабочей поверхности алмазного сверла с помощью стереофотографирования. Потенциально активные зерна, находящиеся под связкой, в данном методе не учитываются. Для подсчета алмазных частиц на поверхности трения использовался метод оцифровки планиметрических изображений рабочей поверхности сверла переводом в бинарный матричный формат с помощью программы MathCad (рис. 2). Это позволяет точно определить размеры, формы и общее содержание алмазных частиц на рабочей поверхности алмазного сверла. Как установлено металлографическими исследованиями, количество активных алмазных зерен меняется в зависимости от времени сверления (рис. 3).

Для расчета числа алмазных зерен, находящихся на рабочем слое поверхности, примем его глубину, равную половине среднего

Рис. 2. Металлографическое изображение поверхности алмазного сверла: а – исходное, б – бинарное матричное (повернуто против часовой стрелки)

Рис. 3. Количество алмазных зерен на поверхности трения алмазного сверла: а – исходное состояние, б – после 50 с работы

диаметра алмазного зерна $h = d_{\text{ср}}/2$. Выбор такой глубины обусловлен тем, что алмазные зерна, погруженные в связку на глубину меньше половины их диаметра, можно не учитывать, так как они из-за слабого сцепления со связкой не смогут участвовать в процессе сверления.

В работе активные алмазные зерна подсчитаны с использованием цифровых изображений рабочей поверхности сверла (рис. 2).

На рис. 4 показано изменение количества активных алмазных зерен на рабочей поверхности опытного алмазного сверла в зависимости от времени сверления. Количество выступающих алмазных частиц в исходном состоянии является меньшим, с началом работы сверла начинается процесс обнажения режущих граней алмазных частиц из связки. При этом регулярное увеличение и уменьшение количества алмазных частиц указывают на процесс самозатачивания, который обеспечивает работоспособность алмазных инструментов при эксплуатации. Это и является основным преимуществом от других видов обрабатывающих инструментов.

В работе исследовано содержание алмазного сырья на рабочей поверхности алмазного сверла в процессе эксплуатации в натурных условиях. Для этого сначала планиметрическим методом с помощью программы MathCad определены содержания алмазов в матричных цифровых изображениях (рис. 2). При этом матричные изображения представляют собой квадраты со сторонами, равными внешнему диаметру алмазного

сверла (рис. 1, б). Тогда содержание алмазного сырья на рабочей поверхности алмазного сверла выражается следующей формулой:

$$k = \frac{4p}{\pi(1 - \frac{r^2}{R^2})},$$

где p – содержание алмазов в цифровом матричном изображении; r , R – внутренний и внешний радиусы алмазного сверла.

На рис. 5 приведено изменение содержания алмазного сырья на рабочей поверхности опытного алмазного сверла в зависимости от времени сверления. Как показывает сравнение рис. 4 и 5, графики количества активных алмазных зерен и содержания алмазного сырья на поверхности являются качественно схожими. Наблюдается снижение уровня содержания алмазного сырья на рабочей поверхности от объемного содержания, которое составляет $\approx 6\%$. Это объясняется высокими пластичными свойствами матрицы системы WC-Co-Cu; в технологии получения пропитанная медь прочно обволакивает алмазные частицы [11].

Содержание алмазов в поверхностном слое определяет число режущих зерен на единице рабочей поверхности алмазных инструментов, объем промежутков и размеры мостиков связки между зернами, поэтому изменение содержания ведет к изменению условий работы. При подборе концентрации также следует учитывать производительность и экономичность технологии изготовления алмазного инструмента.

Рис. 4. Количество алмазных частиц на поверхности алмазного сверла в зависимости от времени сверления

Рис. 5. Содержание алмазного сырья на поверхности алмазного сверла в зависимости от времени сверления

Заключение

1. Проведены обзор и анализ методов определения количества абразивных зерен на рабочей поверхности алмазного инструмента. По различным литературным данным количество активных алмазных зерен на 1 мм² поверхности инструментального материала изменяется от 0,420 до 14,0. Однако выявлено, что оценки количества абразивных зерен проводятся в труднораспознаваемых условиях вида и работы инструментов. Каждая методика работает для определенного класса инструмента с заданными дисперсностью алмазного сырья, составом и свойствами материала связки, режимами обработки и др.

2. Установлено содержание алмазных частиц на рабочей поверхности алмазного сверла с металлокерамической матрицей системы WC-Co-Cu в натуральных условиях эксплуатации инструмента. Для подсчета алмазных частиц предложено использовать метод планиметрирования в MathCad металлографических изображений рабочей поверхности сверла.

3. Зависимости от времени количества активных алмазных зерен и содержания алмазного сырья на рабочей поверхности сверла являются качественно схожими. Наблюдается снижение уровня содержания алмазного сырья на рабочей поверхности от объемного содержания, которое составляет $\approx 6\%$. Это объясняется высокими пластичными свойствами матрицы системы WC-Co-Cu, когда пропитанная медь прочно обволакивает алмазные частицы.

Литература

1. Волчкова Е.А., Осипов А.П., Федотов В.В. Определение количества режуще-деформирующих зерен в объеме поверхностного слоя абразивного инструмента // Сучасні технології в машинобудуванні: фізика та механіка процесів обробки матеріалів. Вип. 8. 2013. С. 9–29.
2. Сильвестров В.Д. Безалмазная правка шлифовальных кругов. М.: Оборонгиз, 1955. 128 с.

3. Редько С.Г., Королев А.В. Расположение абразивных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга // Станки и инструмент. 1970. № 5. С. 40–41.

4. Гусев В.В., Рожков Д.Б. Определение параметров рабочей поверхности алмазного круга при профилографировании // Современные металлообрабатывающие системы машиностроения: Материалы 2-й Всеукраинской студенческой конференции. Донецк, 2–5 апреля 2001 г. Донецк: ДонГТУ, 2001. С. 31–34.

5. Nakayama Karuo. Taper print method for the measurement of grinding wheel surface // Bull. Jap. Soc. Prices. Eng. 1973. 7, №2. С. 59–60.

6. Байкалов А.К., Сукенник И.Л. Алмазный правящий инструмент на гальванической связке. Киев: Наукова думка, 1976. 202 с.

7. Редько С.Г. Количество абразивных зерен шлифовального круга, участвующих в резании // Станки и инструменты. 1960. № 12. С. 10–12.

8. Носенко В.А., Федотов Е.В., Даниленко М.В. Математическое моделирование износа зерен скалыванием с использованием марковских случайных процессов // Вестник ЮУрГУ. Серия Машиностроение. 2015. Т. 15, № 2. С. 20–31.

9. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: Учебное пособие. Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. 364 с.

10. Богачев Ю.Ю., Бабенко М.Г. Исследование стойкости рабочей поверхности шлифовального круга и правящего алмазного инструмента // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2015. Т. 17, № 2. С. 21–29.

11. Шарин П.П., Гоголев В.Е., Атласов В.П., Федоров М.В., Прядезников Б.Ю., Шапошников Г.И., Винокуров Г.Г. Разработка технологических процессов изготовления алмазного сверла на металлокерамической матрице // Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Т. 2. Якутск, 24–29 июня 2013 г. Якутск: Ахсаан, 2013. С. 237–241.

Поступила в редакцию 07.02.2017