

Д. х. н. А. В. Беляков¹ (✉), С. И. Церман² (✉)¹ ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», Москва, Россия² ГК «Адель», Москва, Россия

УДК 666.3/7:621.9

СТРУКТУРИРОВАНИЕ АЛМАЗОНОСНОГО СЛОЯ В ИНСТРУМЕНТЕ ПУТЕМ АГРЕГАЦИИ РЕЖУЩИХ ЗЕРЕН

Исследованы процессы резания особо твердых материалов (огнеупоров, бетонов, керамики, монокристаллов) и относительно «мягких» огнеупоров и природных камней кругами с двумя типами конструкций алмазonoсного слоя: кластерной (мелкие агрегаты с высокоплотным распределением алмазов) и фрагментарной (крупные агрегаты со значительно менее плотным распределением алмазов). Получено одновременное повышение скорости резания и стойкости по сравнению с показателями при традиционном равномерном распределении алмазов. Кластерная конструкция эффективна для резания особо твердых материалов, а фрагментарная — более мягких.

Ключевые слова: огнеупоры, алмазное резание, структура сегмента, агрегаты из алмазов.

Алмазную обработку изделий из хрупких неметаллических материалов, в частности огнеупоров, применяют, как правило, на конечных операциях технологического процесса, а также при монтаже и демонтаже нагревательного оборудования. Обработка огнеупоров включает такие операции, как резка, сверление, фрезерование, шлифовка; при этом резку применяют чаще других операций. Обычно ее производят на стационарных установках для циркулярной резки при помощи алмазных отрезных кругов, чаще всего — сегментных [1]. При этом режущий слой инструмента представлен его элементами — алмазосодержащими сегментами. Имеющиеся конкретные рекомендации по конструкции режущего слоя (например, [2]) регламентируют качество и размер алмазов, а также состав матрицы сегментов, удерживающей зерна. При этом подразумевают случайное распределение алмазов в связке постоянного состава. В технической литературе [3] и в рекомендациях фирм — производителей алмазного инструмента упоминаются более сложные структуры сегментов: сэндвич-структура с вертикальными слоями, отличающимися различной концентрацией алмазных зерен и, возможно, составом связки; структура с чередующимися вертикальными алмазными и безалмазными слоями; структура с повышенной концентрацией алмазов во фронте сегментов. Эти структуры технологически обеспечиваются по-

слойной засыпкой различной по составу шихты для прессования, что не является затратным. В последнее время большой популярностью пользуются конструкции, характеризующиеся упорядоченной послойной укладкой зерен в сегментах. Структура чрезвычайно эффективна в инструменте, однако этот процесс непроизводителен и дорог в исполнении. О сложно-структурированных сегментах сообщают корейские фирмы EHVA и SHINHAN. Судя по информации из рекламы, созданные ими структуры, названные авторами соответственно ZENESIS и X-Wing, сочетают сложное распределение как алмазов, так и металлических связующих, но технические, а тем более технологические подробности отсутствуют.

Ранее на производственной базе фирмы «Адель» были проведены исследования по разработке структуры сегментов универсального назначения для резки огнеупоров. Основой их конструкции являлось такое концентрирование режущих зерен в агрегатах, которое было несложно технологически обеспечить. Размеры этих агрегатов на порядок и более превосходили размер зерна, причем в «межагрегатном пространстве» в сегментах не содержалось алмазов. Технологически такую структуру реализовать также несложно. Результаты этих работ приведены в статье [4]. Дальнейшие исследования алмазной обработки этим инструментом не только огнеупоров, но и других хрупких материалов (природный камень, бетон, твердые монокристаллы) привели к перспективности изучения двух типов агрегирования зерен.

Цель данной работы — изучение поведения алмазных инструментов с агрегатами различной структуры, отличающимися размером и плотностью расположения в них алмазов, при резании бадделеитокорундовых огнеупоров.



А. В. Беляков

E-mail: av_bel@bk.ru

С. И. Церман

E-mail: cs@adelinfo.ru

В первом типе алмазные агрегаты (названные «кластерами») состояли примерно из 10 отдельных алмазных зерен, расстояние между которыми минимально возможное. Кластеры покрыты относительно тонкой оболочкой твердой износостойкой связки и расположены в мягкой металлической связке аналогично отдельным алмазным зернам. Концентрация кластеров в штуках на кубический сантиметр определяется размером алмазов, их общей концентрацией и средним количеством зерен в кластере. При износе мягкой связки в процессе резания кластеры выступают над ее поверхностью и внедряются в обрабатываемый материал (огнеупор) сразу несколькими зернами (рис. 1).

Во втором типе алмазы собраны в более крупные агрегаты (названные фрагментами), но с гораздо меньшей, чем в кластерах, хотя и относительно высокой, концентрацией.

Твердость и стойкость связки внутри фрагмента выбирали в зависимости от обрабатываемого материала и заданной интенсивности процесса обработки. Фрагменты расположены в мягкой матричной связке. Концентрация алмазов во фрагментах определяется общим содержанием алмазов в сегменте и концентрацией в нем фрагментов. При износе мягкой связки в процессе резания между фрагментами стружкой «вымываются» пазы, облегчающие ее удаление из рабочей зоны. При этом фрагменты играют роль мини-сегментов, что приводит к повышению режущей способности инструмента (рис. 2).

Рассмотрение процесса резания наглядно показывает его зависимость от типа структуры слоя. Поскольку единичным актом в процессе резания является снятие стружки, находящейся между двумя последовательно расположенными зернами, то при одинаковом общем содержании алмазов каждому

из приведенных двух типов формирования слоя соответствует характерная форма стружек. При неупорядоченном, случайном распределении алмазов, когда в первом приближении расстояния между зернами сопоставимы, все стружки имеют близкий размер. При создании в сегменте алмазных фрагментов, внутри которых алмазы сближены, образуются два вида стружек: от «внутрифрагментных» алмазных зерен с небольшими размерами и от самих «фрагментов», более крупных. Смешивание потоков таких стружек приводит к повышению эффективности процесса.

При применении кластеров с высокой концентрацией алмазов микростружки от вплотную расположенных «кластерных» алмазов сразу объединяются в макростружку, выходящую из-под всего кластера. Эта схема напоминает первую, но кластер имеет несколько одновременно режущих зерен, поэтому он менее склонен как к затуплению, так и к износу. Схемы стружкообразования для традиционной (с неупорядоченным расположением алмазов) конструкции и агрегированных конструкций обоих типов на базе материалов [5] показаны на рис. 3.

Разработанные конструкции сегментов были успешно опробованы при резке сегментными отрезными кругами природного камня различной твердости. При этом было установлено, что оба типа структурированных конструкций режущего слоя продемонстрировали как повышенную режущую способность, так и более высокую стойкость по сравнению с традиционной конструкцией алмазоносного слоя [6, 7]. Кроме того, зафиксировано:

1. Для мягких пород (габбро) эффективны традиционная и фрагментная конструкции (последняя показала повышенный ресурс инструмента), кластерные сегменты оказались склонны к затуплению.

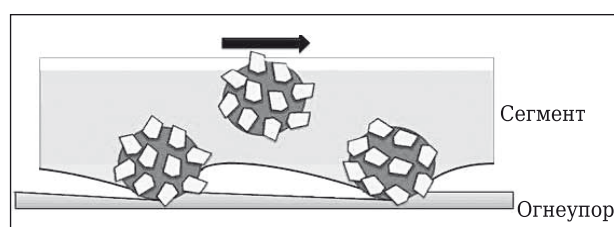


Рис. 1. Принцип работы сегмента с кластерной конструкцией алмазного слоя в алмазном режущем инструменте

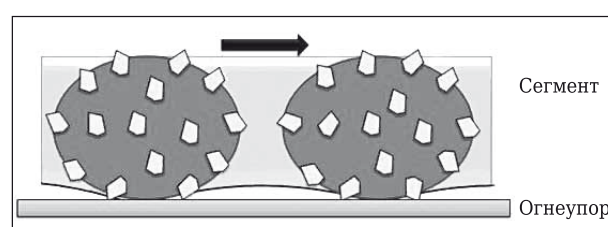


Рис. 2. Принцип работы сегмента с фрагментарной конструкцией алмазного слоя в алмазном режущем инструменте

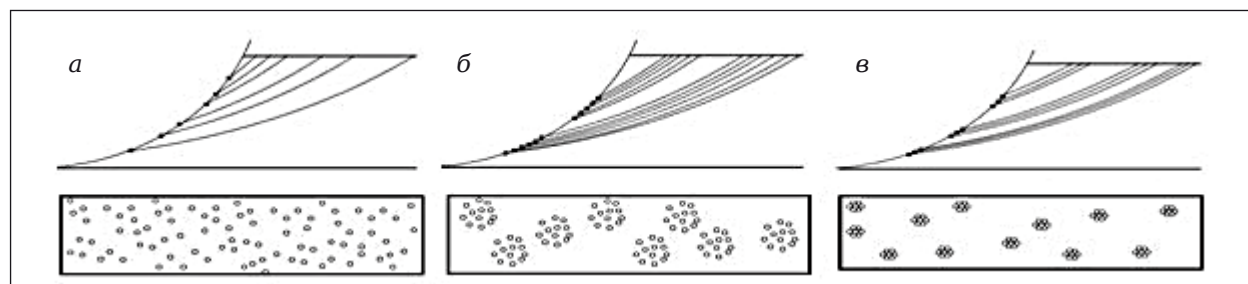


Рис. 3. Схематическое изображение строения и стружкообразования в традиционной конструкции алмазоносного слоя (а), фрагментарной (б) и кластерной конструкции (в) [5]

2. Для пород средней твердости оптимальное сочетание стойкости и режущих свойств показал инструмент с фрагментарным рабочим слоем.

3. Для твердых пород при близких значениях стойкости скорость резания инструмента с кластерными сегментами оказалась выше, чем у кругов с фрагментарными сегментами.

Лабораторные испытания разработанного инструмента проводили на операции резки бруса из твердого бадделеитокорундового огнеупора марки Бк-38. Для испытаний сконструировали и изготовили серию из трех отрезных кругов с сегментами примерно одинакового общего состава: алмазы — АС300, зернистость — 400/315 мкм, общая концентрация — 25. Связка металлическая двойная: твердый компонент на базе Fe-Co-Ni (25 мас. %), мягкий компонент на базе бронзы. Спекание проводили в режиме горячего прессования при 905 °С и давлении 35 МПа. Спеченные сегменты напаивали на корпус по ГОСТ 16115. Условное обозначение инструмента представлено на рис. 4.

Обозначение кругов: М1 — конструкция стандартная (случайное распределение алмазов), М2 — фрагментарная конструкция, М3 — кластерная конструкция.

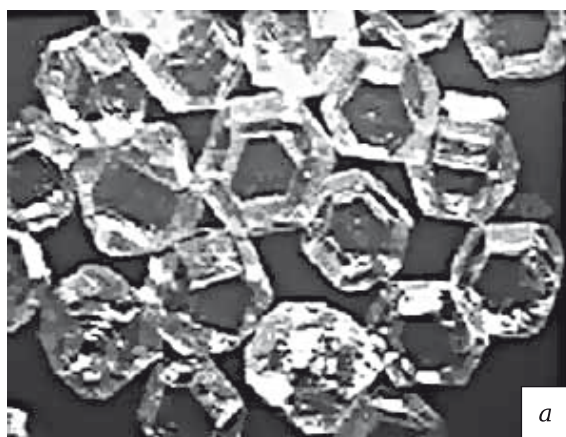


Рис. 4. Алмазное сырье (а) и готовый инструмент 1F1RSS/C2 ($z = 25$) 300×3,2×10×50 (б)

Резку бадделеитокорундового огнеупора проводили при помощи настольной установки. Мощность двигателя 2 кВт. Частота вращения оси 2000 об/мин (37 м/с). Подачу подвижного столика с образцом осуществляли при помощи системы грузов (силовой режим), смазывающе-охлаждающая жидкость (СОЖ) — вода, расход — 3,5 л/мин. При разработке методики исследования использовали данные работы [8]. Исследования состояли из двух частей. В первой части проводили оценку режущих свойств инструмента. Последовательно повышая контактное давление в зоне резания при помощи разновесов на блоке тележки, фиксировали скорость перемещения столика. Результаты представлены на рис. 5. Зависимости скорости резания от нагрузки для всех кругов имеют форму параболы. При этом восходящая ветвь ее связана с возрастанием нагрузки до величины, еще не приводящей к интенсивному износу и разрушению алмазов. Нисходящая ветвь обусловлена превышением критической нагрузки. В области нагрузок, близкой к максимумам на кривых, выбирают оптимальные режимы для эксплуатации инструмента. Как видно из графика, эти области для испытываемых кругов не совпадают.

Во второй части исследования для определенных в первой части значений оптимальной нагрузки на инструмент определяли такое важное свойство, как стойкость. Для этого при установленных в первой части исследований оптимальных значениях задаваемых разновесами силовых нагрузок проводили несколько резов. При помощи штангенциркуля измеряли величины линейного износа сегментов Δh . Площадь реза (напил) определяли пропорционально сечению образца и количеству пропилов. Удельную стойкость инструмента s определяли как расход алмазов в инструменте в каратах (кар) на 1 м² площади реза. Согласно [9] для концентрации алмазов 25:

$$S = 1,1 blz\Delta h/(sn),$$

где S — площадь сечения образца, м²; b — ширина сегмента, см; l — длина сегмента, см; z — количество сегментов в круге; Δh — линейный износ сегментов, см; s — удельный расход алмазного отрезного круга, кар/м²; n — количество пропилов.

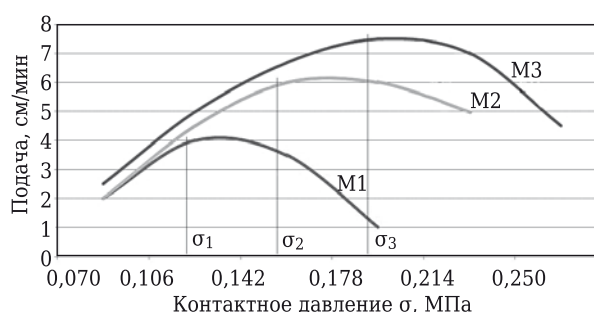


Рис. 5. Результаты исследования режущих свойств отрезных кругов с сегментами различной конструкции

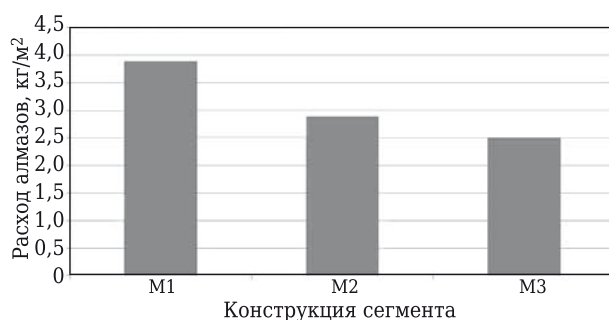


Рис. 6. Стойкость инструмента (расход алмазов) в зависимости от конструкции сегментов

Обычно, чем выше значение удельного расхода алмазов в инструменте, тем ниже его стойкость. По результатам тестирования трех кругов построена диаграмма (рис. 6). Результаты испытаний приведены в таблице.

В результате проведенных исследований выявлено влияние структуры алмазоносного слоя на эксплуатационные свойства инструмента, причем зафиксировано одновременное повышение и скорости резания, и стойкости по сравнению с показателями при традиционном равномерном распределении алмазов (обычно повышение скорости резания приводит к уменьшению стойкости).

Библиографический список

1. **Беляков, А. В.** Процесс резания алмазным инструментом хрупких неорганических неметаллических материалов с позиций синергетики / *А. В. Беляков, С. И. Церман* // Новые огнеупоры. — 2014. — № 3. — С. 106–118.
2. Алмазно-абразивный инструмент. Укрупненные нормы расхода. — М.: ВНИИТЭМР, 1989. — 52 с.
3. **Konstanty, J.** Cobalt as a matrix in diamond impregnating tools for stone sawing applications / *J. Konstanty*. — Krakow: Wydawnictwa AGH, 2002. — 158 p.
4. **Беляков, А. В.** Резание багора сегментным инструментом с кластерным расположением алмазов / *А. В. Беляков, С. И. Церман* // Новые огнеупоры. — 2011. — № 5. — С. 34–37.
5. **Pyun, S. P.** Study for cutting performance in arrayed diamond saw blade / *S. P. Pyun, H. W. Lee, J. H. Park* // 1st International Industrial Diamond Conference, 20–21 October 2005 Barcelona.
6. **Беляков, А. В.** Кластерное расположение алмазов в сегментах для механической обработки природных и искусственных хрупких неметаллических материалов /

Характеристики процесса резания и стойкости отрезных кругов с сегментами различной конструкции

Конструкция сегмента	Диапазон рабочих нагрузок, МПа	Оптимальная рабочая нагрузка, МПа	Стойкость инструмента, кар/м²
M1	0,09–0,14	0,11	3,9
M2	0,12–0,20	0,14	2,9
M3	0,12–0,23	0,18	2,5

Инструмент предложенных типов конструкций опробован на различных материалах: огнеупорах, природном камне, бетоне, монокристаллах, а также при проведении различных операций: резки, сверления и шлифовки.

Исследования показали, что сегменты с кластерной конструкцией алмазоносного слоя наиболее эффективны для резки, фрезерования или сверления особо твердых материалов (огнеупоров, бетонов, керамики, монокристаллов). Применение фрагментарной конструкции предпочтительно для резки и шлифовки менее твердых материалов («мягких» огнеупоров и природного камня).

А. В. Беляков, С. И. Церман // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2011. — Вып. 11. — С. 247–252.

7. **Беляков, А. В.** Структурирование алмазоносного слоя в инструменте для резки природного камня / *А. В. Беляков, С. И. Церман* // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2014. — Вып. 14. — С. 203–208.

8. **Першин, Г. Д.** Исследование силовых режимов распиловки природного камня алмазно-дисковым инструментом / *Г. Д. Першин, В. В. Сердюков, М. Ю. Гуров* // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2001. — Вып. 1. — С. 119–129.

9. ГОСТ 9206–80. Порошки алмазные. Технические условия. — М.: Изд-во стандартов. — 56 с. ■

Получено 12.11.14

© А. В. Беляков, С. И. Церман, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

10-Я ЕВРОПЕЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОМЫШЛЕННЫМ ПЕЧАМ И БОЙЛЕРАМ

10th EUROPEAN CONFERENCE

ON INDUSTRIAL FURNACES & BOILERS

7–10 апреля 2015 г.

г. Вила-Нова-ди-Гая, Португалия

