

каменной либо близких по химическому или минералогическому составу, а также по прочностным свойствам.

Полученные данные могут быть использованы для определения технологических параметров изготовления различных деталей и изделий из камня алмазным инструментом с соответствующими характеристиками алмазоносного слоя.

Литература

1. Изделия камнерезные. ТУУ 26.7-23504418-001:2007. – Введ. 01.05.07.
2. ДСТУ БВ.2.7-37-95. Строительные материалы. Плиты и изделия из природного камня. Технические условия. – Введ. 01.01.96.
3. ДСТУ БВ.2.7-16-95. Строительные материалы. Материалы стеновые каменные. Номенклатура показателей качества. – Введ. 01.07.95.
4. Сычев Ю. И., Берлин Ю. Я. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. – К.: Стройиздат, 1985. – 312 с.
5. Добыча и обработка природного камня. Справочник / Под ред. А. Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – 446 с.
6. Сидорко В. И. Научные основы процессов финишной алмазно-абразивной обработки природного и синтетического камня: Дис.... д-ра техн. наук: 05.03.01. — К., 2006. — 396 с.
7. Словарь-справочник по новой керамике / Е. Л. Шведков, И. И. Ковенский, Э. Т. Денисенко, А. В. Зырин – К.: Наук. Думка, 1991. – 280 с.
8. ГОСТ 30629-99. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – Введ. 01.01.01.
9. Пат. 33227 Украина, МПК (2006). В28D 1/00: Способ определения обрабатываемости камня / В. И. Сидорко, В. В. Пегловский, В. Н. Ляхов, Е. М. Поталько. – Заявл. 21.02.08; Опубл. 10.06.08, Бюл. № 11.

Поступила 07.04.09.

УДК 621.923:666.233

В. А. Коновалов, канд. техн. наук, **В. Н. Ткач**, канд. физ.-мат. наук,
В. В. Шатохин

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

РАЗРУШЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ АЛМАЗНОГО ЗЕРНА

It has been found experimentally, that release of diamond grit, which is mechanically fixed in a metal bond, occurs under fatigue damage of loaded pit's sidewall after irreversible interphase plasto-elastic deformation of adjoining area up to 70 μm in depth.

Актуальность

Различие каркаса алмазного и обычного абразивного шлифовального инструмента, зависящее от концентрации зерен в рабочем слое, предопределяет самостоятельную роль связки в процессе резания. Связка обеспечивает оптимальную прочность закрепления алмазных зерен, а также необходимую износостойкость при контактировании с обрабатываемым материалом и шламом в зоне шлифования. Другими словами, связка определяет экономически

выгодное самозатачивание рабочего слоя инструмента, основным элементом которого является замена изношенных зерен новыми.

В этой связи ведущее значение приобретает своевременное удаление изношенных зерен в зависимости от характера разрушения связки. Раскрытие механизма разрушения связки при высокоскоростном циклическом нагружении зерна является актуальной задачей.

Состояние вопроса

Существенная роль связки в обеспечении работоспособности алмазно-абразивного инструмента отмечалась как в начале его широкого использования [1; 2], так и в настоящее время [3; 4]. Была предпринята попытка оценить влияние удерживающей способности и износостойкости связки на работоспособность инструмента на основе модельных экспериментальных исследований [5].

Однако сведений об особенностях процесса самозатачивания и локальном разрушении связки под действием циклической нагрузки в литературе не обнаружено.

Цель настоящей работы – установить механизм разрушения связки в процессе самозатачивания инструмента под действием на зерно сил сопротивления резанию. Для этого был разработан метод определения прочности закрепления алмазного зерна в связке при высокоскоростном циклическом нагружении в совокупности с микрорентгеноспектральным анализом центрального сечения лунки на сканирующем микроскопе Carl Zeiss Ultra 55 [6].

Результаты

Экспериментальные данные по определению прочности закрепления зерен в связке описываются зависимостью количества циклов нагружения от глубины заделки зерна; после аналитической обработки эта зависимость трансформируется в классическую усталостную кривую $\sigma=f(N)$ (рис. 1). При этом точка пересечения наклонной и горизонтальной ветвей кривой приобретает удвоенное критериальное значение. С одной стороны она определяет предел выносливости связки (σ_0), с другой – примерно указывает критическое количество циклов нагружений зерна $N_{кр}$, соответствующее достижению предела выносливости.

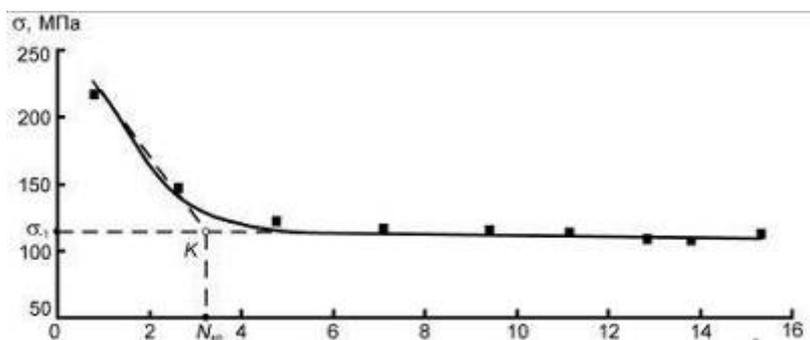


Рис. 1. Зависимость прочности закрепления алмазного зерна от количества циклов нагружения. (связка М6-15 на бронзовой основе, алмазные зерна АС125 500/400, нагрузка - 16 Н)

Естественно предположить, что $N_{кр}$ определяется временем активной работы зерна в процессе самозатачивания, поскольку нахождение частично изношенных зерен на рабочей поверхности (горизонтальный участок усталостной кривой) может привести к затуплению инструмента.

Об этом свидетельствуют приведенные в табл. 1 экспериментальные данные о прочности закрепления алмазов в различных связках при различных нагрузках.

Характерно, что изменение нагрузки в диапазоне 11...24 Н практически не влияет на предел выносливости связки. В то же время точка пересечения участков усталостной кривой с увеличением нагрузки заметно смещается влево.

Таблица 1. Удерживающая способность металлических связей при различных усилиях нагружения

Марка связи	Усилие нагружения, Н					
	12		16		25	
	σ_0 , МПа	$N_{кр} \cdot 10^{-5}$	σ_0 , МПа	$N_{кр} \cdot 10^{-5}$	σ_0 , МПа	$N_{кр} \cdot 10^{-5}$
M2-01	94	3,05	93	2,44	91	2,09
M6-14	99	3,89	99	3,16	96	2,54
M6-15	124	4,26	122	3,84	119	3,19

Приведенные рассуждения свидетельствуют в пользу того, что при самозатачивании инструмента важное значение приобретает процесс локального разрушения связи как источник освобождения рабочей поверхности алмазосносного слоя от изношенных зерен.

Механизм локального разрушения связи исследовали путем анализа сечения лунки от выпавшего зерна, поскольку непосредственно измерить усталостную деформацию связи невозможно. Микрошлифы изготавливали путем последовательного приближения среза к центральному сечению лунки малоскоростными абразивными процессами.

Как свидетельствует сканограмма сечения лунки (рис. 2), в направлении вектора действующей на зерно силы (справа налево) прилегающие к срезу области связи имеют деформированную структуру, отличную от общего фона (зона 1). Глубина деформированной зоны 1 для связи M6-15 - 60-65 мкм. Кроме того, деформированные участки связи возникают в районе скопления пор (зона 2).

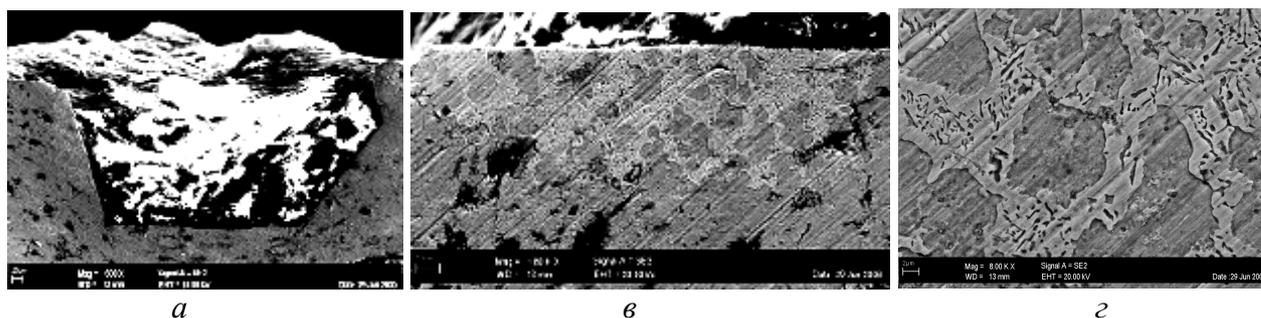


Рис. 2. Сканограмма сечения лунки после удаления зерна: а – общий вид; б – зона 1, $\times 1800$; в – зона 2, $\times 8000$

Реальность деформации подтверждают измерения микротвердости основных структурных составляющих в деформированной зоне 1 и на исходном участке (табл. 2). Результаты анализа показывают, что следствием многоциклового скоростного нагружения алмазного зерна при шлифовании является процесс сжатия зерен мягкой структурной составляющей (светлая фаза) более твердыми зернами темной фазы. Соответствующее перераспределение микротвердости приводит к усталостному повреждению нагружаемой стенки лунки за счет необратимого изменения ее физико-механических свойств под действием переменных напряжений.

Абсолютная ошибка средних значений – не более ± 107 МН/м².

В результате усталостного повреждения зерно освобождается от механического защемления в связке и вследствие этого утрачивает режущую способность.

Однако после усталостного повреждения зерно продолжает находиться в лунке и воспринимать нагрузки со стороны обрабатываемого материала и образующегося в процессе шлифования шлама.

Таблица 2. Микротвердость основных фазовых составляющих связки М6-14 (средняя по 8 измерениям)

Фазовые составляющие	Микротвердость составляющих связки, МН/м ² , в зоне	
	недеформированной зоне	деформированной зоне
Темная фаза Cu - 66, Sn - 34	3120	1620
Светлая фаза Cu - 86, Sn - 13, Fe - 1	1740	2380

Полное усталостное разрушение наступает в результате недостаточной прочности элементов лунки, сопротивляющихся выворачиванию зерна. Это иллюстрирует рис. 3, где показан механически деформированный выпавшим зерном край лунки (крайний правый участок на рис. 2, а). Отчетливо видны скругления, наружные и внутренние трещины. По аналогии с классическими усталостными испытаниями это соответствует завершающей стадии разрушения – “долому”.

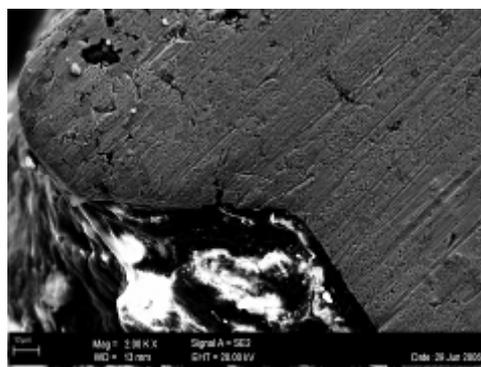


Рис. 3. Участок лунки, подвергшийся механической деформации после удаления зерна

Однако после усталостного повреждения зерно продолжает находиться в лунке и воспринимать нагрузки со стороны обрабатываемого материала и образующегося в процессе шлифования шлама. Полное усталостное разрушение наступает в результате недостаточной прочности элементов лунки, сопротивляющихся выворачиванию зерна. Это иллюстрирует рис. 3, где показан механически деформированный выпавшим зерном край лунки (крайний правый участок на рис. 2, а). Отчетливо видны скругления, наружные и внутренние трещины. По аналогии с классическими усталостными испытаниями это соответствует завершающей стадии разрушения – “долому”.

Вывод

Таким образом, установлен двухстадийный механизм разрушения металлической связки, механически защемляющей алмазное зерно, при высокоскоростном циклическом нагружении:

первая стадия является усталостным повреждением (необратимым изменением физико-механических свойств) микрозоны нагружаемой стенки лунки глубиной 60-65 мкм в результате упруго-пластического деформирования;

вторая стадия – усталостное разрушение кромок лунки по накопленным дефектам (трещины, сдвиги, скругления), сопровождающееся выворачиванием зерна из лунки.

Усталостное повреждение, а затем разрушение связки определяются пределом ее выносливости при механическом закреплении зерна и может соответствовать любому участку горизонтальной ветви усталостной кривой, что приводит к затуплению зерен и потере инст-

рументом режущей способности. Гарантированное самозатачивание может быть обеспечено при разрушении связки перед достижением критического количества нагружений на алмазное зерно.

Литература

1. Семко М. Ф., Грабченко А. И., Узунян М. Д. Влияние связки на работу алмазного круга // *Машиностроитель*. – 1965. – № 5 – С. 45–49.
2. Серебренник Ю. Б., Вайнштейн Б. Н. Теоретико-экспериментальные основы выбора связок брусков для алмазного хонингования // *Алмазно-абразивная обработка*. – Пермь, 1967. – С. 69–77.
3. Федорович В. А. Анализ эффективности использования алмазных зерен при шлифовании сверхтвердых материалов // *Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.* – Харьков: Изд-во НТУ “ХПИ”, 2001. – № 60. – С. 235–243.
4. Гуцаленко Ю. Г. Аналитические посылки и технологические возможности операций устойчивого шлифования алмазными кругами на металлических связках // *Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.* – Харьков: Изд-во НТУ “ХПИ”, 2005. – № 69 – С. 43–55.
5. Коновалов В. А., Александров В. А., Левин М. Д. Влияние прочности алмазоудержания и скорости абразивного износа связки на работоспособность алмазно-абразивного инструмента // *Синтетические алмазы*. – 1975. – Вып. 2. – С. 26–28.
6. Коновалов В. О., Петасюк О. У., Шатохин В. В. Визначення міцності закріплення алмазного зерна у зв'язці при циклічному навантаженні // *Вісн. ЖДТУ / Техн. науки*. – 2006. – №3 (38). – С. 25–30.

Поступила 27.04.09

УДК 621.923:666.233

В. А. Коновалов, канд. техн. наук; **В. В. Шатохин**

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЧНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗЕРЕН В СВЯЗКЕ СО СТОЙКОСТЬЮ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

The influence mechanism of diamond grit's retention strength and bond's wear resistance under action of grinding pulp on a wheel life is suggested. The obtained dependencies allow to predict a functionality of existing bond as well as characteristics of a bond designed to its specific application.

Актуальность

Одним из основных факторов, определяющих работоспособность алмазно-абразивного инструмента, является прочность закрепления алмазных зерен в связке рабочего слоя. Это подтверждается всей практикой применения алмазно-абразивной обработки [1–3]. Однако теоретические и экспериментальные исследования [4–6] касались лишь отдельных аспектов проблемы, не связанных с воздействием на процесс формирования рабочего слоя. Естественно, создание инструмента базировалось на чисто эмпирических методах, что обусловило разработку большого количества однотипных связок. В этой связи раскрытие при-