

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-

роды влияния алмазодержания на стойкость инструмента было и остается актуальной задачей.

Состояние вопроса

Стойкость алмазно-абразивного инструмента напрямую определяется скоростью износа рабочего слоя в процессе шлифования, которая зависит от свойств алмазосодержащего композиционного материала. При этом наблюдается два процесса изнашивания с различной природой:

алмазных зерен в результате высокотемпературного трения в паре с обрабатываемым материалом;
свободных от зерен участков связки под воздействием продуктов шлифования.

Поскольку конкретный процесс обработки определяет первый вид изнашивания (обрабатываемый материал, режимы шлифования, марка и объемное содержание алмазов), процесс экономически выгодного самозатачивания рабочего слоя заключается в обеспечении соответствия износостойкости материала связки и алмазных зерен при разных видах изнашивания. Регулирующим элементом при этом может быть только связка.

Влияние связки на стойкость рабочего слоя инструмента обуславливается как собственной сопротивляемостью абразивному износу продуктами шлифования, так и посредством прочности закрепления алмазных зерен. В частности, такое влияние экспериментально оценено как 2:3 [1]. Это свидетельствует о том, что алмазодержание в значительной степени определяет стойкость инструмента. Однако механизм такого явления не был объяснен. Объяснение стало возможным на основании изучения прочности закрепления алмазного зерна в связке при высокоскоростном циклическом нагружении [7]. В результате исследований установлено усталостное нарушение закрепляющей способности связки, определяемое пределом ее выносливости σ_0 и, что более важно, количеством циклов нагружения $N_{кр}$ до его достижения. При этом четко определены корреляция σ_0 и $N_{кр}$ с показателями пластичности материала связки.

Цель настоящей работы – установить взаимосвязь прочности закрепления алмазных зерен в связке и стойкость рабочего слоя инструмента, работающего в режиме самозатачивания.

Результаты

На основании данных, приведенных в [7], в левой части рис. 1 схематически изображена усталостная кривая, отражающая зависимость прочности закрепления от количества циклов нагружения зерна.

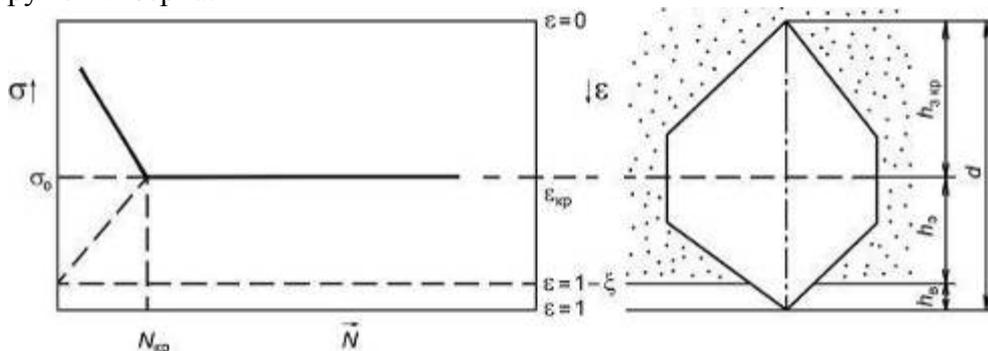


Рис. 1. К анализу стойкости алмазного зерна в процессе самозатачивания инструмента

Точка пересечения наклонной и горизонтальной ветвей кривой определяет предел выносливости связки (σ_0), соответствующий критической глубине заделки зерна $h_{зкр} = \varepsilon d$, а также количество циклов нагружения. В правой части рис. 1 изображена схема износа единичной системы “зерно – связка” при шлифовании в условиях самозатачивания. Сопоставление этих схем показывает, что в реальных условиях зерно может полезно работать с

момента достижения необходимой высоты выступления $h_b = \xi d$ до $h_{з\text{кр}}$. Следовательно, участком эффективной работы зерна является наклонная ветвь усталостной кривой OK , нанесенная пунктиром. Вертикальная проекция этой ветви соответствует эффективному использованию зерна:

$$h_3 = d - h_{з\text{кр}} - h_b . \quad (1)$$

В относительных величинах

$$\eta = 1 - \varepsilon_{\text{кр}} - \xi , \quad (2)$$

где η – коэффициент использования алмаза; ξ – относительное выступание зерна.

Линейная скорость износа зерна равна отношению величины эффективного использования алмаза к периоду его стойкости T_3 :

$$g_l' = \frac{h_3}{T_3} . \quad (3)$$

Поскольку из формулы (2) $h_3 = \eta d$, а

$$T_3 = \frac{\pi D}{g_{\text{ок}}} N_{\text{кр}} , \quad (4)$$

где $\frac{\pi D}{g_{\text{ок}}}$ – время одного оборота инструмента диаметром D , работающего с окружной скоростью $g_{\text{ок}}$; $N_{\text{кр}}$ – количество циклов нагружения зерна до потери режущей способности, имеем

$$g_l' = \frac{\eta}{N_{\text{кр}}} \cdot \frac{d g_{\text{ок}}}{\pi D} . \quad (5)$$

Очевидно, для конкретного процесса шлифования скорость износа зерна определяется отношением $\eta / N_{\text{кр}}$, которое имеет определенное значение в зависимости от марки связки и прикладываемой нагрузки. Величины η и $N_{\text{кр}}$ определяются прочностью закрепления зерна в связке, поэтому целесообразно обозначить указанное отношение коэффициентом удерживающей способности связки

$$K_{\text{yc}} = \frac{\eta}{N_{\text{кр}}} . \quad (6)$$

Следует отметить, что оценка удерживающей способности связок с помощью коэффициента K_{yc} более совершенна по сравнению с пределом выносливости, так как этот коэффициент учитывает временной фактор (по положению точки пересечения участков усталостной кривой на рис. 1). Это видно при сравнении показателей K_{yc} и σ_0 при изменении усилия нагружения (табл. 1). Предел выносливости остается практически неизменным, а K_{yc} пропорционален увеличению нагрузки на зерно. Следовательно, последний показатель полнее определяет скорость износа алмаза по выражению (5).

Таблица 1. Предел выносливости и коэффициент удерживающей способности металлических связок

Марка связки	Усилие нагружения, Н					
	12		16		25	
	σ_0 , МПа	$K_{\text{yc}} \cdot 10^6$	σ_0 , МПа	$K_{\text{yc}} \cdot 10^6$	σ_0 , МПа	$K_{\text{yc}} \cdot 10^6$
M2-01	94	1,02	93	1,81	91	2,49
M6-14	99	1,00	99	1,33	96	2,00
M6-15	124	0,74	122	0,88	119	1,32

В идеальном случае эффективная работа инструмента будет обеспечена при примерном равенстве скоростей износа единичного зерна и рабочего слоя в процессе эксплуатации. Однако в реальных условиях шлифования наблюдаются процессы, повышающие скорость износа: трение затупленных зерен по ювенильной поверхности обрабатываемого материала, абразивное (или гидроабразивное) воздействие продуктов шлифования на связку и др. Поэтому в формулу (5) следует ввести относительную износостойкость материала связки при трении по шламу I и коэффициент A_1 , учитывающий другие побочные процессы в зоне шлифования:

$$g_l^1 = \frac{A_1 \eta}{N_{кр}} \frac{d}{\pi D} g_{ок} \quad (7)$$

В то же время скорость износа рабочего слоя можно рассчитать по основным показателям процесса обработки – производительности Q и стойкости (q – удельный расход алмаза). Их произведение определяет скорость износа слоя по массе алмазов

$$g_{МА} = q Q \quad (8)$$

Эту скорость можно преобразовать в линейную скорость износа слоя:

$$g_l^2 = 4 \cdot 10^2 \frac{A_2 q Q}{K S \gamma_a} \quad (9)$$

где A_2 – коэффициент соответствия; K – относительная концентрация алмазов; S – площадь рабочей поверхности; γ_a – плотность алмаза.

Для того, чтобы выявить влияние удерживающей способности связки на стойкость инструмента, необходимо сравнить расчетную скорость износа рабочего слоя инструмента по формулам (6) и (10) с конкретными данными. (по испытаниям алмазных дисковых сегментных кругов при резании гранита Жежелевского месторождения [4]). Резание производили кругами диаметром 320 мм, оснащенными алмазами АС 50 400/315 относительной концентрации 50% при следующих режимах резания: окружная скорость $g_{ок} = 20$ м/с; продольная подача $S = 1,05 \cdot 10^{-2}$ м/с; глубина резания $t = 3,0 \cdot 10^{-2}$ м, что обеспечило производительность обработки $Q = 1,1 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Результаты испытаний и сравнительные данные о скорости износа рабочего слоя приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний алмазных дисковых сегментных кругов и сравнительные данные по скорости износа

Марка связки	Суммарная площадь резания, м ²	Линейный износ алмазосносного слоя, м·10 ⁴	Удельный расход алмазов, кг/м ³ ·10 ²	Скорость линейного износа, м/с·10 ⁸		
				по данным [4]	Расчетные данные без учета коэффициентов A_1 и A_2 по формуле	
					(6)	(10)
М2-01	1,92	2,75	3,75	4,53	1,31	3,53
М6-14	2,08	1,26	1,50	1,92	0,52	1,41
М6-15	2,10	1.71	2,00	2,58	0,87	1,88

Результаты анализа табличных данных о скорости износа свидетельствует о высокой корреляции экспериментальных и расчетных значений. Коэффициент корреляции составил 0,96 – 0,99. Это позволяет откорректировать формулы (5) и (9) применительно к процессу резания гранита введением коэффициентов $A_1 = 3,27$ и $A_2 = 1,35$ с учетом выражения (6):

$$g_l = g_l^1 = 1,04 \frac{K_{yc}}{I} \frac{d \cdot g_{ок}}{D}; \quad (10)$$

$$g_l = g_l^2 = 5,4 \cdot 10^2 \frac{q Q}{K S \gamma_a}. \quad (11)$$

Из равенства (10) и (11) следует, что стойкость инструмента, выраженная через удельный расход алмазов, пропорциональна отношению K_{yc} / I :

$$q = 2,6 \cdot 10^{-5} \frac{d g_{ок} K S \gamma_a K_{yc}}{Q D I}, \quad (12)$$

что позволяет использовать его в качестве безразмерного эксплуатационного показателя K_3 . Левый сомножитель уравнения для данного процесса обработки постоянен.

Значения коэффициента удерживающей способности, относительной износостойкости, эксплуатационного показателя и удельного расхода алмазов применительно к резанию гранита для металлических связок М2-01, М6-14 и М6-15 приведены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты удерживающей способности, относительной износостойкости, эксплуатационного показателя и удельного расхода алмазов

Марка связки	I	$K_{yc} \cdot 10^6$	$K_3 \cdot 10^6$	$q, \text{ кг/м}^3 \cdot 10^2$
М2-01	1,00	1,81	1,81	3,75
М6-14	1,86	1,33	0,72	1,50
М6-15	0,65	0,88	1,35	2,00

Результаты анализа данных табл. 3 полностью подтверждают справедливость формулы (12). В то же время невозможно математически оценить долю влияния износостойкости и удерживающей способности связки на стойкость инструмента. Сравнительная оценка показывает, что влияние последнего во всяком случае не меньше.

Выводы

На основе сопоставления расчетных скоростей износа алмазного зерна и рабочего слоя с реальной скоростью износа при эксплуатации установлен механизм влияния удерживающей способности и относительной износостойкости металлической связки при истирании продуктами шлифования на стойкость инструмента.

При всех прочих равных параметрах одна из основных единиц стойкости – удельный расход алмазов – пропорциональна отношению коэффициента удерживающей способности к относительной износостойкости связки.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать как эксплуатационные параметры процесса обработки по характеристикам связки, так и показатели алмазоудержания и износостойкости связки в зависимости от необходимых значений производительности и стойкости инструмента.

Литература

1. 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.
2. Кизиков Э. Д., Коновалов В. А. Металлоабразивные композиты // Синтетические сверхтвердые материалы: В 3 т. Т.2. Композиционные инструментальные сверхтвердые материалы. – К.: Наук. думка, 1986. С. 96–108.

3. Zhang Jianzhi. Designing principle for impregnated tools // 4th Zhengzhou International Superhard Materials & Related Products Conference Proceedings. China Machine Press. – 2003. – P. 386–393.
4. Александров В.А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом. – К.: Наук. думка, 1979. –240 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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 4.06.09

УДК 004.942:621.785:621.9.025.7

В. А. Дутка, канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІЩЕННЯ ДЕРЖАВКИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЗЦЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ЗАГАРТУВАННЯ В ПОЛІМЕРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПІСЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО ПАЯННЯ

The numerical results of prognostication of the hardness and thickness of surface layer of the steel (35ХГСА) holder in results of the hardening in water solution of polymer Na–КМС and in machine oil I-20 at 20 °C are presented. It is establish, that in polymer medium the cooling rate of the steel holder to temperature of start of the martensite transformation is in 2–3 times greater than in machine oil. But if cooling duration to temperature of termination of the martensite transformation is smaller than 70 c, than results of the hardening in polymer medium and in machine oil are practically identical. It is shown that one way to influence on results of the hardening may be the choice of the cooling duration in the air after induction heating.

Вступ

Одна з причин широкого використання водних розчинів полімерів як гартовуючих рідин полягає в тому, що, змінюючи їх концентрацію, можна змінювати охолоджувальну властивість загартовувального середовища в широких межах: від наближеної до води до наближеної до мастила [1–3]. Крім того, на відміну від мастил використання полімерних середовищ для загартовування деталей пожежобезпечне. Результати комп'ютерних досліджень загартовування у водному розчині солей і основ, у воді та мастилах сталеві державки (сталь 35ХГСА) твердосплавного різця одразу після індукційного паяння наведені в [4, 5]. Показано, що загартовування у розчині солей і основ та у воді відбувається зі швидкістю охолодження, що набагато більша (майже на порядок), ніж у мастилах. Відповідно в результаті загартовування в перших двох рідинах можна отримати максимальну для сталі 35ХГСА тве-