

Н. В. ПЕРЦОВ, Ф. Б. ДАНИЛОВА, И. Г. БАБАТ,
ЛЕ ВАН ЗИЕН, Ю. В. ГОРЮНОВ, Е. Д. ЩУКИН

ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ АКТИВНЫХ СРЕД НА ШЛИФОВАНИЕ И ЦАРАПАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

(Представлено академиком С. Т. Кишкиным 27 VII 1974)

Облегчение разрушения твердых тел под действием адсорбционно-активных сред может быть широко использовано для интенсификации механической обработки различных материалов. Этому способствуют специфические черты адсорбционного понижения прочности: возможность его проявления на твердых телах любой природы и структуры, высокая эффективность и физико-химическая обратимость действия, усиление влияния активных сред при возрастании исходной прочности материалов, высокая скорость действия и т. д. ⁽¹⁾. Для успешного применения адсорбционно-активных веществ необходимо соблюдение ряда условий: выбор наиболее эффективно действующих расплавов и растворов, обеспечение смачивания и своевременного поступления активного вещества в зону разрушения, достаточно высокий уровень приложенных механических напряжений.

Проведенные нами исследования показали, что наиболее просто и вместе с тем достаточно эффективно эти условия можно реализовать при шлифовании твердых тел. Разработанная нами конструкция шлифовальной установки позволила исследовать влияние разнообразных жидких активных сред на шлифование алмазными кругами некоторых материалов, обладающих высокой твердостью — карбида вольфрама, твердого сплава Т15К6, окиси алюминия А995 и других. В процессе шлифования — на воздухе или при погружении в избранную среду — измеряли интенсивность обработки (количество сошлифованного материала за единицу времени) и силу трения между инструментом и образцом. После испытания определяли износ круга (расход алмаза) и дисперсность сошлифованного материала (удельная поверхность по БЭТ).

В качестве шлифовального инструмента применяли специально изготовленные алмазные круги с органической (бакелитовой) связкой для испытаний при комнатной температуре и керамические — для испытаний при повышенных температурах. Установка представляет собой переделанный сверлильный станок. Алмазный круг закрепляется на место патрона. Образцы устанавливали в специальной ванне, которая заполнялась исследуемой жидкостью. Специально откалиброванная пружина удерживала ванну от вращения, и по отклонению можно было судить о возникающих усилиях.

Результаты исследований показали, что материалы с преимущественно металлическим типом связей (металлы, карбиды тугоплавких металлов и сплавы на их основе) наиболее эффективно обрабатываются в среде жидких металлов; для материалов с преимущественно ионным строением активными средами являются вода и водные растворы электролитов (табл. 1). Полученные данные паходятся в соответствии с представлениями П. А. Ребиндера и проведенными нами ранее исследованиями ⁽²⁾, согласно которым наибольших эффектов понижения прочности следует ожидать при контакте твердого тела с жидкостью, близкой по молекулярной природе. Вместе с тем подобные исследования позволяют количественно (путем измерения работы диспергирования) характеризовать эффективность влияния жидких сред на разрушение разнообразных материалов, в сопоставимых условиях.

Таблица 1

Скорость шлифования Q , расходимая мощность W , удельная поверхность продуктов шлифования S и работа диспергирования A для различных материалов в жидких активных средах

Обрабатываемый материал	Среда	P	Q , мг/сек	W , вт	S , м ² /г	$A \cdot 10^{-2}$, эрг/см ²
Твердый сплав Т15К6	Воздух	55,6	6,0	41,4	10	7,0
	Вода	76,5	8,9	53,2	10	6,0
	Галлий	55,6	10,0	35,5	14	2,5
	Галлий	76,5	14,9	47,4	14	2,3
	Металлич. расплав	То же	31,8	35,5	20	0,55
Карбид воль- фрама	Воздух	32,0	2,5	23,6	8	12
	»	55,6	4,7	41,4	8	11
	Вода	32,0	3,3	22,5	8	8,5
	»	55,6	7,7	37,7	8	6,1
	Галлий	32,0	9,5	20,0	12	1,8
	»	76,5	15,8	47,4	12	2,5
Керамика 22ХС	Вода	49	7,6	133,0	8	23
	ZnCl ₂ в H ₂ O, моль/л					
	0,0027	То же	3,4	55,5	9	19
	0,027	» »	5,9	66,5	9	13
	0,27	» »	7,3	100,0	20	6,9
	0,69	» »	6,9	66,5	21	4,6
	1,37	» »	10,4	89,0	22	3,9
	2,74	» »	17,5	89,0	22	2,2

Примечание. P — давление прижима круга к образцам в г/мм².

Характерной чертой процесса поверхностного разрушения при шлифовании твердых тел является высокая скорость, достигающая например, в наших опытах до 10 м/сек. Тем не менее действие сред сохраняет высокую эффективность. Это, вероятно, связано с быстрым пропитыванием расплава по дефектам разрушаемого твердого тела и с малой глубиной разрушения (размер отщепляемых частиц составляет менее 0,1 мм), с высокой локальной температурой и зоне шлифования, а также с непрерывным вскрытием ювенильной поверхности, свободной от загрязнений, прежде всего от окисных пленок. Благодаря этому поверхность обрабатываемого материала оказывается идеально смоченной расплавом. Так, например, было обнаружено хорошее смачивание карбида вольфрама и твердого сплава Т15К6 на его основе легкоплавкими металлами.

В табл. 1 приводятся измеренные в эксперименте скорость шлифования, удельная поверхность продуктов шлифования, а также расходимая мощность, вычисленная как произведение линейной скорости вращения круга и тангенциального усилия, измеряемого в эксперименте, и работе диспергирования твердого сплава, карбида вольфрама, керамики. Из таблицы видно, что жидкие среды могут более чем на порядок уменьшать удельную работу диспергирования.

При шлифовании алюмооксидной керамики вода всегда облегчает этот процесс: в большинстве случаев процесс вообще нельзя вести без воды (из-за разрушения круга). Вместе с тем добавки некоторых растворимых в воде солей могут заметно повышать эффективность шлифования. Такое влияние электролитов является строго специфичным: например, хлористый цинк при достаточно высоких концентрациях вызывает заметный рост интенсивности шлифования, тогда как карбонат натрия влияет мало (при очень малых концентрациях несколько ухудшает действие воды). Как правило, растворы электролитов при малых концентрациях, а некоторые и при больших (хлорное железо, нитрат калия, хлористый кадмий и т. д.) снижают скорость шлифования (рис. 1). Это может быть связано

либо с влиянием электролитов на механические свойства самого алмаза, либо с большим «засаливанием» круга, либо с расклинивающим действием двойных электрических слоев.

Активные среды вызывают также увеличение ширины царапины алмазным индентором.

Сопоставление способности сред вызывать облегчение обработки керамики с энергией их химического взаимодействия (теплотой реакции) показало, что в исследованных случаях такое облегчение разрушения имеет место, когда происходит химическая реакция с небольшим тепловыделением (изменение свободной энергии в результате реакции отрицательно и невелико). Напротив, среда не вызывает понижения прочности, если отсутствует сколько-нибудь ярко выраженное химическое взаимодействие (табл. 2).

Именно, следует положить, что понижение прочности твердого тела в результате химического взаимодействия с окружающей средой может иметь место, когда тепловой эффект реакции или, в более общей формулировке, изменение свободной энергии по величине приближается к поверхностной энергии твердого тела, обеспечивая тем самым наиболее полную компенсацию облигающихся на новой поверхности связей аналогично адсорбционному обратному понижению прочности в присутствии близких по молекулярной природе жидких сред.

Для твердых тел, поверхностная энергия которых составляет 1000–1500 эрг/см², или в сопоставимых величинах 10–20 ккал на 1 моль (¹), облегчение разрушения и соответственно обработки следует ожидать в присутствии сред, дающих при взаимодействии с твердым телом эффект примерно в этих пределах. При слабом взаимодействии понижения проч-

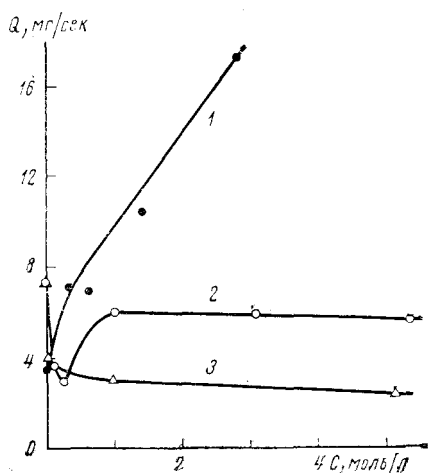


Рис. 4. Зависимость средней скорости Q съема керамики 22ХС от концентрации водных растворов: 1 — хлористого цинка, 2 — соды, 3 — хлорного железа. Нагрузка 49 г/мм²

Таблица 2

Материал	Жидкая среда	Теплота реакции, ккал/моль	Энергия на 1 связь, ккал	Влияние на механическое разрушение
Ni	Спиртовый р-р J ₂	-20	-10	+
	FeCl ₃	-45	-22	—
Cu	Cu(NH ₃) ₄ ²⁺	-5	-5	+
	Р-р NH ₃	—	—	—
Zn	Pb(CH ₃ COO) ₂	-30	-15	+
	CH ₃ COOH	-40	-20	—
	HNO ₃	-35	-35	—
Si	KOH	-60	-15	+
SiO ₂	H ₂ O	-5	—	+
	NaOH	-10	-5	+
Al ₂ O ₃	H ₂ O	-10	—	+
	ZnCl ₂	-10	—	+
	FeCl ₃	-30	—	—
	KNO ₃	+30	—	—
	CdCl ₂	+15	—	—

Примечания. 1) Под Cu подразумевается латунь и упрочненные медные сплавы. 2) Теплота смачивания для SiO₂ в H₂O составляет 800 эрг/см². 3) В графе «Влияние на механическое разрушение» знак «плюс» означает «облегчение разрушения», знак «минус» — «не влияет на разрушение».

ности не наблюдается; рассматриваемые явления не наблюдаются обычно и в случаях протекания значительно более интенсивных химических реакций.

Такой подход позволяет выделить те группы реакций, среди которых следует ожидать значительных эффектов облегчения разрушения: сюда должны относиться, в частности, хемосорбционные процессы, реакции

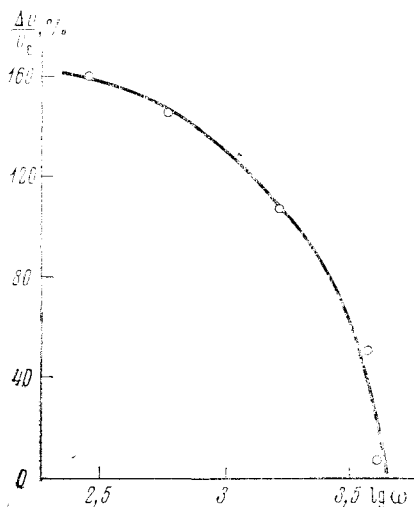


Рис. 2. Зависимость относительного изменения $\Delta v/v$ скорости сверления никеля в спиртовом растворе йода ($C=1$ моль/л) от скорости вращения ω сверла. Вертикальная нагрузка на сверло $P=15$ кг

Наряду с термодинамическим определяющую роль может играть кинетический фактор: при большой энергии взаимодействия твердого тела с химически активной частицей затрудняется ее миграция по поверхности и прекращается своевременный доступ в зону предразрушения.

Если принять за максимальную скорость двумерного направленного движения величину $v=b/\tau$, где b — параметр решетки, а τ — частота перескоков на свободное место впереди фронта поверхностной пленки, то

$$v=b/(\tau_0 e^{U/RT}).$$

Скорость разрушения в опытах по сверлению, в которых еще сохранялось действие активной среды, составляла около 10 см/сек. Принимая $b=3 \cdot 10^{-8}$ см и $\tau_0=10^{-12}$ сек., получим для энергии активации поверхностной миграции, которая еще позволяет частицам проникать в зону предразрушения, величину около 4–5 ккал/моль.

На рис. 2 приведена зависимость относительного изменения скорости сверления в спиртовом растворе йода от скорости вращения сверла. Уменьшение действия среды связано, как мы полагаем, с ограниченной скоростью распространения активных частиц.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
23 IV 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Лихтман, Е. Д. Шукин, П. А. Ребиндер, Физико-химическая механика металлов, Изд. АН СССР, 1962; Н. В. Перцов, Е. Д. Шукин, Физика и химия обработки материалов; т. 2. 60 (1970).
- ² П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман, Л. А. Кочанова, ДАН, т. 111, 1287 (1956); Е. Д. Шукин, Н. В. Перцов, Тезисы докл. 5-й Всесоюзной конф. по проблемам прочности и пластичности металлов и сплавов, Петрозаводск, 1967.
- ³ Е. Д. Шукин, В. С. Ющенко, Физ.-хим. мех. матер., т. 2, 133 (1966); Н. В. Перцов, П. А. Ребиндер, ДАН, т. 123, 1038 (1958).
- ⁴ J. W. Taylor, Metallurgia, v. 50, 161 (1954).
- ⁵ А. Вестгуд, Сб. Чувствительность механических свойств к действию среды, Изд. «Мир», 1969, стр. 27.
- ⁶ Х. Никольс, У. Ростокер, Там же, стр. 234.