

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СВЕРХТВЕРДЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Алисин В.В.¹, Зоря В.И.²

¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,*

²*ООО НПЦ Грань, г.Москва*

Ключевые слова: кристаллы, технология механической обработки, трение, износ.

Аннотация. В статье проводится анализ параметров, характеризующих процесс абразивной обработки сверхтвердых кристаллических материалов. Установлены условия перехода от пластического отеснения к хрупкому разрушению в зависимости от размера зерна абразива. Выявлена зависимость характеристик обрабатываемости от твердости материала.

TECHNOLOGICAL PREPARATION OF SUPERHARD CRYSTALLINE MATERIALS FOR TRIBOLOGICAL TESTS

Alisin V.V.¹, Zorya V.I.²

¹*Institute of mechanical engineering n.a. A.A. Blagonravov,
Russian Academy of Sciences,*

²*LLC SPC Gran, Moscow*

Keywords: crystals, technology of mechanical processing, friction, wear.

Abstract. In the article the analysis of the parameters characterizing the process of abrasive machining of ultra-hard crystalline materials. The conditions of transition from plastic displacement to brittle fracture depending on the grain size of the abrasive are established. The dependence of machinability characteristics on the hardness of the material is revealed.

Анализ современных методов механической обработки сверхтвердых химически инертных кристаллических материалов [1-3] выявил определенные особенности процесса изготовления образцов для испытаний на трение и износ. Установлено, что при обработке сверхтвердых материалов на операциях резки, шлифования и полирования используют алмазный абразив, причем повреждения поверхности от применения свободного абразива меньше, чем от применения связанного.

Показатели процесса абразивной обработки как основного метода обработки материалов на основе диоксида циркония подчиняются общим закономерностям с керамическими материалами на основе Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 с некоторыми особенностями, связанными с фазовыми переходами в ZrO_2 . Как и при абразивной обработке других твердых и хрупких материалов происходит пластическая деформация, хрупкое разрушение или химико-механические повреждения поверхности. Характер образуемой поверхности зависит от твердости притира и зернистости абразива. Пластическая деформация заметна в случае абразивных зерен малого размера (0.25...1.0 мкм), зерна размером более 1 мкм вызывают хрупкое разрушение. Условие указанного перехода определяется выражением:

$$r_c = A [F/(1 - v^2)]^2 [1/H^3],$$

где r_c – критический радиус абразивного зерна, A – константа, F – нормальное усилие на зерно, v – коэффициент Пуассона, H – твердость обрабатываемого материала.

Обобщенным показателем, характеризующим способность материала подвергаться обработке тем или иным методом, является обрабатываемость.

К настоящему времени имеется большое количество параметров, по которым оценивается обрабатываемость. К таким параметрам относится максимальная скорость резания при заданной стойкости или износе инструмента, производительность обработки, твердость материала, отношение поверхностной энергии к твердости и другие. Однако наиболее широко принятым показателем для характеристики обрабатываемости является твердость материала. В этом случае, как показывают эксперименты, выполняется выражение:

$$V = k/(H_\mu)^n,$$

где параметром V может быть скорость съема, шероховатость поверхности, глубина нарушенного слоя; H_μ – микротвердость материала; k и n – коэффициенты, определяемые экспериментально и зависящие от условий обработки и измерения твердости.

Перспективность использования твердости в качестве критерия обрабатываемости кристаллов вытекает также из возможности оценки анизотропии обрабатываемости (зависимость показателей обработки от направления), так как в приведенном выше выражении может быть использована склерометрическая твердость, определяемая при царапании поверхности. С другой стороны метод склерометрической микротвердости является модельным процессом взаимодействия обрабатываемого материала и абразива и широко используется для выявления физических особенностей и получения определенных рекомендаций по осуществлению операций обработки.

Рассматривая микротвердость как характеристику степени обрабатываемости материала, следует отметить, что она определяет также свойства пластичности материала:

$$H_\mu = \beta\tau,$$

где β – коэффициент, τ – предел текучести.

Тем не менее, многие процессы абразивной обработки осуществляются за счет трещинообразования, и при этом трещиностойкость материала играет доминирующую роль. Мерой трещиностойкости является критический коэффициент интенсивности напряжений K_{1C} , величина которого пропорциональна критическому напряжению σ_c , при котором происходит разрушение образца с трещиной длиной C :

$$K_{1C} = \sigma_c(\pi C)^{1/2}.$$

В отличие от σ_c , критический коэффициент интенсивности напряжений не зависит от размера трещины и является константой материала. В общем случае с учетом возможности протекания в процессе абразивной обработки микроразрушения и пластической деформации обобщенный параметр обрабатываемости V будет зависеть от микротвердости и трещиностойкости кристаллического материала:

$$V = H_{\mu}[\xi/(\xi+\lambda)]n K_{1C}[\lambda/(\xi+\lambda)],$$

где ξ и λ – весовые коэффициенты вклада пластической деформации и разрушения при обработке.

Эксперименты с различными кристаллическими материалами показали, что при обработке их в одинаковых условиях для скорости съема и глубины нарушенного слоя выполняется условие:

$$K' = A(H_{\mu}K_{1C})^{-0.3},$$

где K' – производительность или глубина нарушенного слоя; A – постоянная, зависящая от условий обработки. Для оценки обрабатываемости материала на основе диоксида циркония удобно использовать относительную величину в сравнении с другими материалами:

$$K_{отн.} = (H_{\mu 1}K_{1C1} / H_{\mu 2}K_{1C2})^{0.3}.$$

В таблице 1 представлены для сравнения данные по обрабатываемости материала на основе диоксида циркония, алмаза, сапфира и кремния.

Табл. 1. Характеристики механических свойств кристаллов

Материал	H_{μ} , ГПа	K_{1C} , МПа*м ^{1/2}	$K_{отн.}$	$I/p*10^8$
ZrO ₂	12.5	9.24	1.00	0,38
Алмаз Ш	75.0	6.00	1.50	-
Al ₂ O ₃	22.0	3.20	0.86	0,64
Si	11.3	1.25	0.53	1,20
Здесь: I/p – коэффициент износа, (МПа) ⁻¹				

Из этих данных следует, что материал на основе диоксида циркония относится к трудно обрабатываемым материалам наряду с известными алмазом и сапфиром. Он поддается обработке хуже, чем сапфир, почти в два раза труднее, чем кремний, и уступает алмазу в 1.5 раза

Список литературы

1. Хандельсман Ю.М. Камневые опоры. – М.: Машиностроение, 1973. – 152с.
2. Гаврилов В.А., Пиковец А.В. Тенденции и перспективы развития оборудования для выращивания лейкосапфира // Тезисы докладов I международного практического семинара «Оборудование и технологии роста кристаллов – 2009». – Брянск, 2009. – С. 4.
3. Naga S.M. et al. Effect of the preparation route on the mechanical properties of Yttria–Ceria doped Tetragonal Zirconia / Alumina composites // Ceramics International. 2013. 39(2). P. 1835-1840. DOI:10.1016/j.ceramint.2012.08.031

Сведения об авторах:

Алисин Валерий Васильевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник, ИМАШ РАН, г.Москва;

Зоря Владимир Иванович – главный технолог, ООО НПЦ Грань, г.Москва.