

УДК 621.922

Л.Танович, проф., д.т.н.

П.Боянич, проф., д.т.н.

М.Попович, к.н.

Г.Младенович, ассист.

Машиностроительный факультет Белград, Сербия

СПЕЦИФИКА МИКРОРЕЗАНИЯ ГРАНИТА

В данной работе указаны результаты исследования, проводящегося на Машиностроительном факультете в г. Белграде в области микрорезания хрупких материалов. Проанализировано взаимодействие алмазного зерна и обрабатываемого гранита. Экспериментально установлено изменение нормальной составляющей силы резания в функции скорости резания и глубины проникновения при микрорезании двух сортов гранитов Сербии. На основании следов на граните и возникших трещин установлена критическая глубина проникновения зерна, при которой возникает хрупкое разрушение. Указанные исследования должны помочь оптимизации процесса шлифования и полировки, являющихся доминирующими технологиями окончательной обработки гранита.

Введение. Многие технологические операции включают две или больше взаимосвязанных контактных поверхностей. При этом может возникать целый ряд механизмов повреждения, в том числе изнашивание. Это явления вызывают неизмеряемую потерю. В совершенно другом контексте, шлифование и резка представляют фундаментальные процессы обработки декоративного камня и разных видов горных пород. Долгий период времени механика этих процессов была важным предметом исследований.

Свойства структур горных пород зависят от условий возникновения и они определены текстурой и структуральными характеристиками. Структура определяется степенью кристаллизации и размером зерна, а также видом и взаимоотношением составных компонентов горных пород. Горные породы отличаются друг от друга размером зерна: крупнозернистые (размер зерна больше 5 мм), среднезернистые (зерно 1–5 мм) и мелкозернистые (зерно 0,5–1 мм). Текстура, совокупность характеристик определяют местонахождение и распределение составных частей горной породы одних в отношении с другими в занимающем им пространстве.

У гранитов есть большая механическую прочность, низкий степень пористости и хорошая стойкость к изнашиванию.

Специфичность технологии окончательной обработки требует хорошего знания всех свойств гранита, начиная со структурно-текстурных (континуум, гомогенность, изотропность), физическо-механических (удельный вес, пористость, влажность, водопроницаемость, твердость, прочность, абразивность) до минерологическо-петрографических (размер зерна, вид и содержание цветных ингредиентов и пр.).

Механизм формирования стружки. Многие ученые из области формирования модели деформаций и разрушения отождествляли работу алмазного зерна в шлифовальном круге с вдавливанием алмазного индентора при измерении твердости. Когда речь идет о проведенных исследованиях в хрупких материалах, они идут в двух направлениях, а именно: по способу действия силы при вдавливании (статическое и динамическое) и по форме индентора.

Lawn и Wilshaw [1], считают, что разрушение структуры хрупких материалов при действии индентора большего размера радиуса заглабления возникает последствием наличия трещин непосредственно за контактной зоной. Увеличением нормальной нагрузки на данные трещины развиваются в так называемые герцовские трещины вида конуса.

Anton и Subhash [2], в отличии от традиционного статического вдавливания, не отражающееся на последствия скорости деформаций, считают, что реальное динамическое вдавливание дает лучшее представление о влиянии скорости деформаций на механизм снятия материала во время происхождения динамического процесса.

Lawn и Swain [3], выполняли вдавливание посредством острого индентора (конус и пирамида) и при этом установили, что растет диагональ трещин, таким образом, что ее распространенность достигает поверхность и получает форму радиальной трещины.

Conway и Kirchner [4] проводили анализ механики инициирования и распространенности трещин при движении острого индентора. Решение механики разрушения по образовавшимся отдельным возникшим трещинам использовано для предвидения глубины расположения существующих недостатков.

Вторая группа исследователей, хотя в меньшем объеме, выполняла процесс разрушения выделенным алмазным зерном на различных хрупких материалах.

Mishnaevsky [5], выполнял реальный процесс разрушения хрупких материалов и наблюдал различные физические механизмы, участвующие в разрушении материалов (выкрошивание, дробление, вырывание). Он считает, что не возникают конические трещины Герца,

ни кольцеобразные трещины, а наоборот возникают отдельные трещины в направлении вектора силы резания.

Chiaia [6], дает систематический анализ существующих подходов проблемам, связанным с процессом резания хрупких и квази-хрупких материалов. Показано, что различные механизмы интеракции под инструментами в процессе проникновения в основном можно подвести к пластическим деформациям и хрупкому разрушению.

Третья группа исследователей проводила анализ возникновения и развития трещин в хрупких материалах.

Labuz и др. [7] проводили анализ возникновения трещин в граните и пришли к выводу, что около трещины возникает большое количество микротрещин и что эта область подразумевает зону процесса разрушения и вместе с фракцией длины определяет эффективную длину трещины.

Germanovich и др. [8] исследовали разрушение хрупких материалов при одноосевом сжатии, которое отражается через расщепление или сдвиг, как последствие множества существующих трещин.

Abe и др. [9] исследовали возникновение и рост трещин в граните и его влияние на зону разрушения.

Четвертая группа исследователей выполняла реальные процессы резания и шлифования хрупких материалов и при этом они проводили анализ механизма возникновения трещин и хрупкое разрушение стружки. Они измеряли силу, мощность резания и изнашивание инструментов при обработки керамики и гранита в получения рекомендаций эффективной абразивной обработки [10–13].

Схема микрорезания. Режущая способность выделенного алмазного зерна в процессе его действия на обрабатываемый материал-гранит прежде всего определяется с помощью его физико-механических свойств и геометрических параметров, условий и прочностью со связкой (его крепление в связке), а также кинематических и термодинамических условиях, в которых происходит работа зерна. Характеристики прочности зерна, противопоставление действию сил и температурным действиям обуславливают значительные различия в режущих характеристиках инструментов. Форма алмазных зерен влияет на основных показателей режущих характеристик шлифовального круга, в том числе, на: стойкость, производительность, силу резания, температуру шлифования, состояние поверхностного слоя и т. п.

В отличии от инструментов с геометрически определенными режущими поверхностями (режущими кромками), геометрия и форма

алмазних зерен – сложна и в определенном смысле не определена. Для анализа работы таким зернам экспериментально определяются размеры, форма и геометрия в целях замены в окончательном расчете таких неопределенных зерен зернами эквивалентной формы.

Процесс микрорезания был выполнен следующим способом:

Алмазное зерно конической формы, угла 120° сверху поставлено, круто прикреплено, на алюминиевый диск диаметром 150 мм, сбалансированный потом статически и динамически. На рабочем стенде машины НМС 500 установлен динамометр, на нем зажимной прибор и в нем образцы их гранита. Зажимной прибор обеспечивает поворот образца под наклон (1:200), посредством аксиального смещения платформы с динамометром скоростью V_w выполнялось микрорезание с изменяемой глубиной резания (рис. 1). Наклон 1:200 обеспечивает осуществление изменяемой глубины проникновения зерна до 0,28 мм.

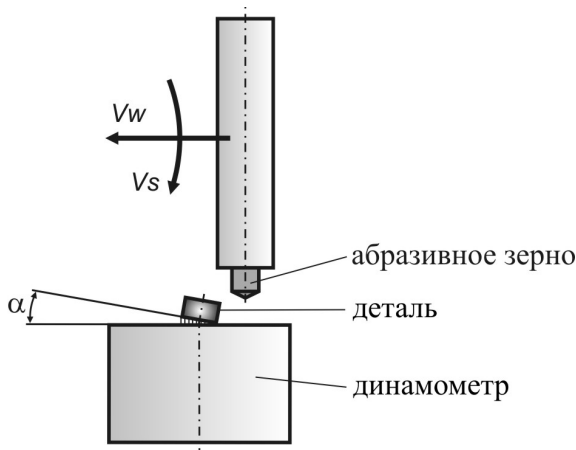


Рис. 1. Схема микрорезания: вращательное движение алмазного зерна (V_s) и аксиальное движение (V_w)

Экспериментальные результаты. Процесс микрорезания был выполнен с двумя видами гранита “Йосаница“ (GJ) – мелкозернистой структуры и “Буковик“ (GB), среднезернистой структуры, физико-механические свойства которых были испытаны и показаны в таблице 1.

Фізико-механічні властивості граніта

С в о й с т в а	Гранит	
	“Йосаница“ (GJ)	“Буковик“ (GB)
Удельный вес, КН/ м ³	29,70±0,3	25,6±0,1
Микротвердость, НК75/НК25	3,1	2,6
Прочность на сжатие, МПа	185±20	102±8
Прочность на растяжение, МПа	16,6±1	15,0±2
Кохезия, МПа	31,8	22,0
Коэффициент абразивности, %	21,5–23,0	23,5–24,5

Значения указанных свойств определены в виде средних значений большего количества измерений в зависимости от петрографической природы гранита. На основании измерений замечено, что у GB есть более однообразная и твердость меньше чем у GJ.

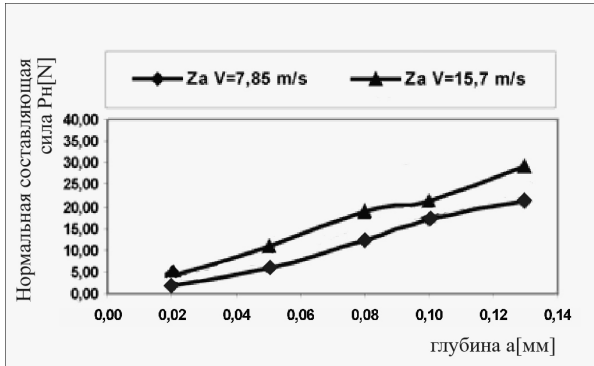
При проведении экспериментов было использовано следующее измерительное оборудование: двухкомпонентный динамометр Kistler 5007, „аквизиционная карточка“ + 10V 105 kHz, компьютер, микроскоп Leitz wetzlar с видеокамерой Sony, показано на рисунке 2.



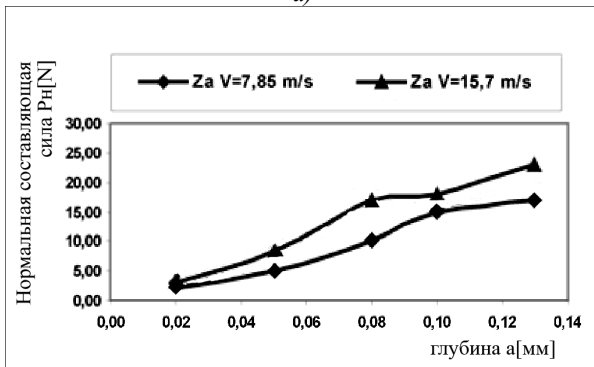
Рис. 2. Установка для измерения сил микрорезания

На рисунке 3 показаны диаграммы изменения нормальной составляющей силы резания в функции глубины проникновения зерна при скоростях $V_s = 7,85-15,7$ м/с. Показанные результаты представляют среднее значение 40 измерений с отклонением $\pm 10\%$ у GJ и $\pm 5\%$ у GB. На основании полученных зависимостей можем сделать вывод, что с увеличением скорости проникновения зерна растёт сопротивление резания у обоих видов гранита, с тем, что он более увеличенный при обработке гранита GJ, в отношении на GB, являющиеся последствием более выраженной твердости и прочности [14].

Нелинейность изменения R_n является последствием неоднородности (негармоничности) гранита. Также увеличением глубины проникновения зерна увеличивается сила резания, с замечанием, что на местах, где существует падение, это является последствием мягкой фазы в граните.



a)



б)

Рис. 3. Измерение составляющей силы резания в функции глубины проникновения зерна при микрорезке гранита: GJ (а); GB (б) [14]

Анализом следов микрорезания вышеуказанных гранитов возможно описать механизм формирования стружки.

- а) При меньших глубинах проникновения алмазного зерна перед зерном в зоне ядра разрушения возникает пластическая деформация, с возникновением проникновенных и боковых трещин;
- б) С увеличением глубины резания указанные трещины увеличиваются таким образом, что боковые трещины достигают поверхность обрабатываемой части и получают форму радиальных трещин. В определенном моменте происходит их взаимосвязь и возникает выкрошивание, дробление и вываливание зерен гранита, вызывая

неравномерное выкрошивание вдоль канала, сформированного из алмазного зерна;

- с) под обработанной поверхностью остаются трещины, возникшие не только в процессе создания гранита, а в течении процесса обработки и таким способом могут значительно повлиять на прочность этой части. Это нам указывает, что необходимо стремиться к тому, чтобы трещины, возникшие в процессе обработки были минимальными, поэтому тогда и отваливание блоков обрабатываемого материала будет меньше объема, то есть соответствующей характеристики качества обрабатываемой поверхности ниже;
- д) при микрорезании гранита ясно замечаются два места, которые можно разграничить глубиной проникновения зерна (критическая глубина проникновения), а которых разделяет место пластической деформации, сопровождающей возникновением трещин от места наличия отделения блоков обрабатываемого материала. Критическая глубина проникновения может быть одним из критериев оптимизации процесса шлифования.

Механизм обработки гранита отличается хрупким разрушением и пластической деформацией. Хрупкое разрушение указывает на два механизма создания трещин: глубоких, влияющих на уменьшение прочности и боковые / радиальные, участвующие в формировании стружки.

У гранита GB есть твердость меньше чем у гранита GJ и при микрорезании, при одинаковых глубинах проникновения радиальные трещины меньше выражены у гранита GB. Анализом следов на граните замечается более выраженное выкрошивание у гранита GB, являющегося последствием более крупной структуры и большего вырывания зерна.

Измерением установлена критическая глубина проникновения зерна у гранита GJ, составляющая 0,020 мм ($V_s = 7,85$ м/с), что она уменьшается на 0,015 мм с увеличением скорости на 15,7 м/с. При одинаковых условиях проникновения и выполнения процесса у гранита GB предельная глубина проникновения – чуть больше и она составляет с 0,022 мм ($V_s = 7,85$ м/с) до 0,018 мм ($V_s = 15,7$ м/с).

Вывод. Проведенные исследования обеспечили установление критической глубины проникновения зерна, а тем самым и обработки гранита и изменения нормальной компоненты сопротивления резания в функции скорости и глубины проникновения зерна.

Под обрабатываемой поверхностью остаются трещины, возникшие не только в процессе создания гранита, а и в течении процесса обработки, так, что могут значительно повлиять на прочность этой части. Это нам указывает, что необходимо стремиться к тому, чтобы трещины, возникшие в процессе обработки были минимальных размеров, потому что тогда отделение блоков обрабатываемого материала будет меньшего объема, то есть соответствующие характеристики качества обработанной поверхности ниже.

Сравнивая следы микрорезания на граните GJ и GB замечено, что мелкозернистые варианты структур гранита более подходят к обработке, потому что возникновение выкрошивания и вырывания зерна меньше выражена в отношении на крупнозернистые структуры.

Критическая глубина проникновения зерна больше у GB чем у гранита GJ, что объясняется более выраженным присутствием мягкой фазы и меньше выраженной твердостью.

Сравнением сил при микрорезании, можно сделать вывод, что при одинаковых глубинах и скоростях резания сила резания до 40 % больше у GJ чем у GB, что объясняется больше выраженной твердостью.

В экспериментах использованы алмазные зерна одинаковой формы и размеров, отдельно для каждого гранита и на них не замечено выраженное изнашивание.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Lawn, B.R., Wilshaw, R., 1975, Indentation Fracture: principles and Applications, J. Mat. Sci, 10: 1049–1081.
2. Anton, R.J., Subhash, G., 2000, Dynamic Vickers Indentation of Brittle Materials, Wear, 239/1: 27–35.
3. Lawn, B.R., Swain, M.V., 1975, Microfracture beneath point indentations in brittle solids, J. Mat. Sci, 10: 113–122.
4. J.C. Conway, J.C., Kirchner, H.P., 1980, The mechanics of crack initiation and propagation beneath a moving sharp indenter. J. Mat. Sci. 15: 2879–2883.
5. Mishnaevsky, L.L., 1994, Investigation of the cutting of brittle materials. Int. J. Mach. Tools Manuf., 34: 499–505.
6. Chiaia, B., Fracture Mechanisms Induced in a Brittle Material by a Hard Cutting Indenter, International Journal of Solids and Structures, 38/44–45: 7747–7768.

7. Labuz, J.F., Shah, S.P., Dowding, C.H., 1987, The Fracture Process Zone in Granite: Evidence and Effect, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 24/4: 235–246.
8. Germanovich, L.N., Salganik, R.S., Dyskin, A.V., Lee, K.K., 1994, Mechanisms of Brittle Fracture of Rock with Pre-existing Cracks in Compression, *Journal Pure and Applied Geophysics*, 143; 117–149.
9. Abe, H., Saka, M., Ohba, S., 1992, Does the Process Zone Control Crack Growth?, *Applied Mechanics Reviews*, 45/8: 367–376.
10. Xu, X., Li, Y., Malkin, S., 2001, Forces and Energy in Circular Sawing and Grinding of Granite, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 123/1: 13–22.
11. Xie, J., Tamaki, J., 2007, Parameterization of Micro-Hardness Distribution in Granite Related to Abrasive Machining Performance, *Journal of Materials Processing Technology*, 186/1–3: 253–258.
12. Li, Y., Huang, H., Shen, J.Y., Hu, X.P., Gao, Y.S., 2002, Cost – Effective Machining of Granite by Reducing Tribological Interaction, *Journal of Materials Processing Technology*, 129/1–3: 389–394.
13. Huang, H., Li, Y., Shen, J.Y., Zhu, H.M., Xu, X.P., 2002, Micro-Structure Detection of a Glossy Granite Surface Machined by the Grinding Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 129/1–3: 403–407.
14. Tanovic, Lj., Bojanic P., Puzovic, R., Milutinovic, M., 2011, Experimental Investigation of Micro-cutting Mechanisms in Granite Grinding, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, ASME Transactions, 133/2.

ТАНОВИЧ Любодрог – профессор, доктор технических наук,
Машиностроительный факультет Белград, Сербия.

Научные интересы:

– технология машиностроения.

БОЯНИЧ Павао – профессор, доктор технических наук,
Машиностроительный факультет Белград, Сербия.

Научные интересы:

– технология микрорезания.

ПОПОВИЧ Михаил – кандидат наук, Машиностроительный факультет Белград, Сербия.

Научные интересы:

– микрорезание хрупких материалов.

МЛАДЕНОВИЧ Горан – ассистент, Машиностроительный факультет Белград, Сербия.

Научные интересы:

– технологическая обработка гранита.

Подано 16.06.2011