

Распределение механических повреждений подповерхностного слоя при шлифовании расплавленного кварца

T. Suratwala, L. Wong, P. Miller, M.D. Feit, J. Menapace,
R. Steele, P. Davis, D. Walmer
Перевод Писарева А.Г.

Аннотация

Распределение и характеристика трещин на поверхности (то есть повреждения подповерхности или ПП), сформированных при стандартных процессах измельчения, были измерены на плавленном кварцевом стекле с использованием технологии шлифовки поверхности конуса. Измеренные глубинные распределения ПП описываются одной экспонентой с последующим далением по глубине. Наблюдаемые поверхностные трещины характеризуются как приповерхностные боковые и более глубокие переломы отступающего типа (т.е. следы вибрации). Длина отступа сильно коррелирует с данным процессом шлифования. Показано, что только небольшая часть абразивных частиц механически загружена и вызывает трещину, и, скорее всего, более крупные частицы в распределении частиц абразивных частиц имеют более высокие нагрузки. Глубина ПП увеличилась с нагрузкой и небольшим количеством крупных частиц. Используя простую модель хрупкого разрушения для измельчения, распределение глубины ПП было связано с распределением длины ПП, чтобы получить представление о «распределении частиц по размерам частиц, участвующих в разрушении». Установлено, что средняя длина трещины и шероховатость поверхности линейно изменяются с максимальной глубиной ПП. Эти отношения могут быть полезными закономерностями для оценки глубины ПП и для идентификации процесса, вызвавшего ПП.

Введение

Поверхностное механическое повреждение (ПП) состоит из поверхностных микротрещин, созданных при шлифовании и/или полировке поверхностей хрупких материалов, таких как стекло. Эти поверхностные трещины, обычно идентифицированные макроскопически как царапины и расколы, часто скрыты ниже поверхностного слоя или закрыты (то есть зачищены); поэтому все они не могут быть обнаружены визуальным контролем или стандартной оптической микроскопией до тех пор, пока не будут подвергнуты химическому травлению [1]. В некоторых случаях удаление или минимизация ПП требуется для улучшения прочности материала (например, для космических аппаратов, барьеров и военных применений) где поверхностные дефекты определяют предельную прочность или уменьшают/устраняют вызванное лазером повреждение (например, лазерные приложения с высокой мощностью [2]). Считается, что для применения в лазерной оптике ПП служит резервуаром для поглощения предшественников, которые нагреваются и взрываются при облучении с помощью лазерного излучения с высокой флюенсом [3]. В результате

изготовление оптики без ПП стало целью для отрасли оптической обработки на протяжении многих лет [4-6].

Создание ПП можно рассматривать как повторное углубление механически нагруженных твердых инденторов, скользящих по поверхности оптики при различных процессах резания, шлифовки и полирования. Известны случаи возникновения и рост трех основных типов трещин (боковых, радиальных, герцахских), возникающих в результате одиночного статического индентора как функции нагрузки, свойств материала индентора и субстрата. [7,8]

Эти отношения послужили основой для оценки удаления материала при шлифовании хрупких материалов [9,7,10]. Другие использовали эти основные взаимосвязи разрушения в сочетании с экспериментальными данными, чтобы связать глубину ПП с основными параметрами обработки, такими как нагрузка, размер абразива и возникающая шероховатость поверхности [11-13]. Престон был одним из первых, кто узнал о присутствии ПП на готовых поверхностях, и что травление подвергает трещины переломам с отступом [14]. С тех пор были исследованы самые разнообразные деструктивные и неразрушающие методы измерения количества и глубины ПП [13,15-19]. Некоторые из более прямых методов измерения ПП включают метод шарового углубления [20], метод полировки конуса [21], а в последнее время метод пятна [22], где готовая поверхность частично удалена для оценки глубины ПП.

В следующем исследовании мы используем метод полировки конуса, где различные поверхности с плавленым кварцем подвергаются последующей обработке методом предварительной отделки (магнитореологическая отделка), которые, как известно, не индуцируют ПП, создают мелкую поверхностную конусность на относительно больших участках для определения статистического распределения ПП [23-25]. Затем мы применяем известные взаимосвязи разрыва и износа [7,8,4], чтобы понять, как происходит разрыв, нагрузка на присутствующую частицу, форму распределений и максимальную глубину ПП. Такой набор данных, объединенный с механическим пониманием разрушения, служит средством для понимания и прогнозирования распределения ПП для данного процесса шлифования или полировки и служит полезным инструментом для выполнения и проектирования процессов оптической обработки.

Результаты

На рис.1 показана выбранная серия изображений микроскопа для каждого образца на разных расстояниях вдоль полученного клина поверхности (то есть глубины ниже первоначальной поверхности) после травления.

Наблюдаемые особенности трещин были видны с помощью оптического микроскопа только после травления. Плотность числа трещин на поверхности была очень высокой, так что отдельные трещины межсегментированы во многих других трещинах. Этот вид, похожий на щебень (не показан на рисунке), позволяет классифицировать тип трещины.

Однако на несколько микрон ниже поверхности (т. е. После полировки через поверхностный слой) теперь можно идентифицировать отдельные трещины всей общей морфологии, которые уменьшают плотность числа с глубиной. По большей части эти трещины имеют символ «отступающего отступа» (обычно упоминаются как следы разломов [1,7] или разрывы палочки).

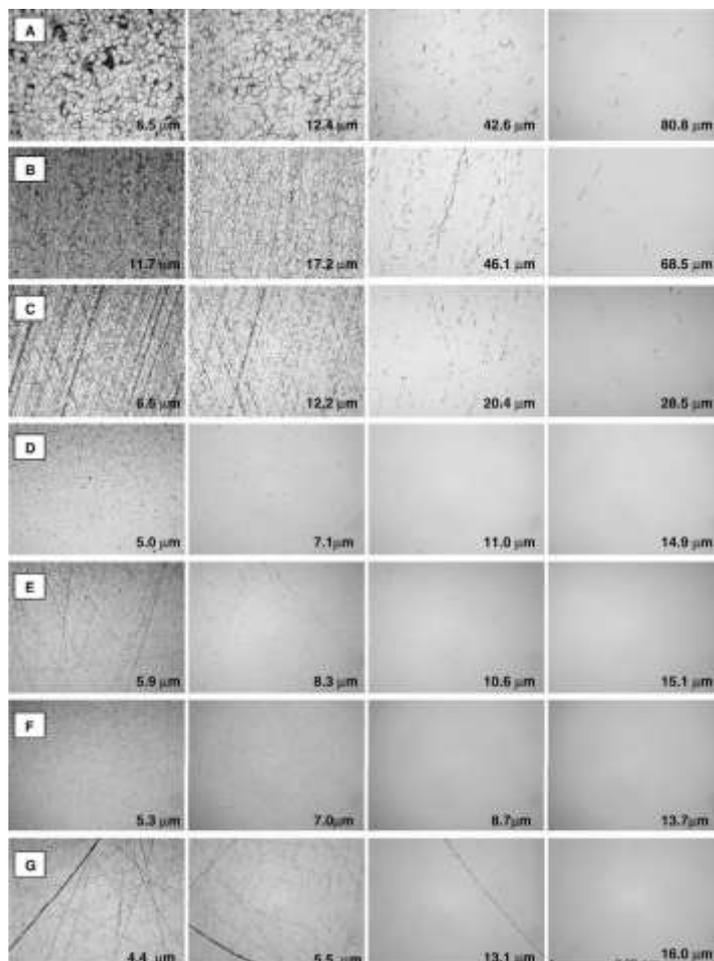


Рисунок 1. Изображения оптической микроскопии для поверхностей плавленого кварца, обработанных с помощью широкого спектра процессов измельчения (образцы А-Г). Изображения для каждого образца находятся на разных глубинах удаления с использованием технологии клина. Значение в правом нижнем углу - это глубина ниже исходной поверхности, на которой было выполнено изображение.

Выводы

Измерения глубины и длины ПП для различных процессов измельчения были непосредственно измерены и статистически оценены. Наблюдаемые поверхностные трещины характеризуются как приповерхностные боковые и глубокие следовые отступы (т. е. трещины). Длина отступа сильно коррелирует с данным процессом. Распределения ПП обычно описываются одним экспоненциальным распределением. Используя взаимосвязи отрыва, показано, что только небольшая доля абразивных частиц загружается и участвует в образовании трещин, и это более крупные

частицы в распределении по размерам абразивных частиц, которые имеют более высокие нагрузки. Было обнаружено, что максимальная глубина ПП коррелирует как с средней длиной трещины, так и с измеренной шероховатостью поверхности. Для шлифовки, выполняемой последовательно, распределение глубины ПП не оказало заметного влияния на твердотельный накопитель, вызванный предыдущей стадией измельчения, при условии, что удаление материала превысило глубину ПП предыдущего шага. Небольшое количество загрязнителей более крупных абразивных частиц может значительно увеличить глубину ПП.

Литература

[1] G. Beilby, *Aggregation and Flow of Solids*, first ed., Macmillan and Co., London, 1921.

[2] E. Moses, J. Campbell, C. Stolz, C. Wuest, *SPIE 5001* (2003) 1.

[3] M. Feit, A. Rubenchik, *SPIE 5273* (2003) 264.

[4] T. Izumitani, *Optical Glass*, American Institute of Physics, New York, 1986.

[5] H. Karow, *Fabrication Methods for Precision Optics*, John Wiley & Sons, 1993.

[6] N. Brown, *Optical Fabrication*, Lawrence Livermore National Laboratory Report, MISC 4476, August 1989.

[7] B. Lawn, *Fracture of Brittle Solids*, second ed., Cambridge Solid State Science Series, 1993. B. Lawn, R. Wilshaw, *J. Mater. Sci.* 18 (1975) 1049

[8] I. Hutchings, *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials* Butterworth/Heinmann, 1992.

[9] B. Bhushan, *Introduction to Tribology*, John Wiley & Sons, 2002.

[10] M. Chaudhri, *J. Mater. Sci.* 15 (1980) 345.

[11] J. Lambropoulos, T. Fang, P. Funkenbusch, S. Jacobs, M. Cumbo, D. Golini, *Appl. Opt.* 35 (22) (1996) 4448.

[12] F. Aleinkov, *Sov. Phys. Tech. Phys.* 27 (1957) 2529.

[13] F. Preston, *Trans. Opt. Soc.* 23 (3) (1922) 141.

[14] E. Brinksmeier, *Precis. Eng.* 11 (1989) 211.

[15] D. Lucca, W. Brinksmeier, G. Goch, *Annu. CIRP* 47 (2) (1998) 669.

- [16] R. Parks, Sub-surface damage in Optically Worked Glasses, Am. Soc. Precis. Eng. (1989)
- [17] T. Magee, C. Leung, Overview of sub-surface damage in Brittle Materials, Am. Soc. Precis. Eng. (1989).
- [18] J. Lambropoulos, Y. Li, P. Funkenbusch, J. Ruckman, SPIE 3782 (1999) 41.
- [19] J. Lambropoulos, Y. Li, P. Funkenbusch, J. Ruckman, SPIE 3782 (1999) 41.
- [20] Y. Zhou, P. Funkenbusch, D. Quesnel, D. Golini, A. Lindquist, J. Am. Ceram. Soc. 77 (1994) 3277.
- [21] P. Hed, D. Edwards, Appl. Opt. 26 (21) (1987) 4677.
- [22] J. Randi, J. Lambropoulos, S. Jacobs, Appl. Opt. 44 (12) (2005) 2241.
- [23] J. Menapace, P. Davis, L. Wong, W. Steele, T. Suratwala, P. Miller, in: SPIE 5991, Boulder Damage Symposium XXXVII, 2005.
- [24] P. Miller, T. Suratwala, L. Wong, M. Feit, J. Menapace, P. Davis, R. Steele, in: SPIE 5991, Boulder Damage Symposium XXXVII, 2005
- [25] J. Menapace, B. Penetrante, D. Golini, A. Slomba, P. Miller, T. Parham, M. Nichols, J. Peterson, in: SPIE 2576, 1995, p. 372.