

Д. т. н. **В. В. Кузин** (✉), д. т. н. **С. Н. Григорьев**, к. т. н. **М. Ю. Фёдоров**,
Е. А. Остриков

ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет
«Станкин», Москва, Россия

УДК 621.771:666.3

ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ. Влияние режима обработки

Приведена построенная геометрическая модель полного профиля прорезанной полости в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики. Установлено влияние основных технологических параметров режима импульсной лазерной обработки на геометрические характеристики полостей, прорезанных в керамических образцах.

Ключевые слова: импульсная лазерная обработка, Al_2O_3 -TiC-керамика, морфология, наплыв, грат, трещина.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья является продолжением работы по изучению процесса импульсной лазерной прорезки полостей в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики [1]. Цель настоящего этапа работы — исследование влияния технологических параметров режима импульсной лазерной обработки на геометрические характеристики прорезанных полостей в керамических образцах. Актуальность выявления этих взаимосвязей определяется выводами работ [2–5].

Исследования выполнены в две стадии. На первой стадии построена геометрическая модель полного профиля прорезанной полости в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики на основании ранее сформулированных выводов [1]. В соответствии с этими выводами полости, прорезанные в керамических образцах, состоят из внешней и внутренней областей, размеры которых связаны с параметрами режима импульсного лазерного воздействия. На второй стадии с использованием результатов экспериментальных исследований установлено влияние основных

технологических параметров режима импульсной лазерной обработки на геометрические характеристики полостей, прорезанных в керамических образцах. Режимы проведения этих экспериментов приведены в таблице.

Измерение геометрических характеристик прорезанных полостей проводили в их центральной части на длине 1,5 мм с шагом 0,3 мм. Использовали контурграф-профилограф MarSurf LD120 (усилие трассирования 0,01 Н, скорость 0,2 мм/мин) и сканирующий электронный микроскоп VEGA 3 LMH. Среднее значение геометрических характеристик каждой полости рассчитывали по результатам 36 измерений (6 измерений на каждой стороне полости × 2 стороны на каждом образце × 3 образца-дублера).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Существенное влияние технологических параметров режима импульсной лазерной обработки на форму и размеры полостей, прорезанных

Параметр	Номер эксперимента														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
P, Вт	2,5	5	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
s, мкм	20	20	20	8	20	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20
N, проходы	5	5	5	5	5	5	2	5	8	10	50	100	1	1	1
n	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	100	500	800



В. В. Кузин
E-mail: kyzena@post.ru

в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики, показано рис. 1. Видно, что ширина и глубина полостей изменяются в широком диапазоне, а при прорезке полости с шагом перемещения лазерного луча, превышающим диаметр его пятна на обрабаты-

ваемой поверхности, формируется только совокупность кратеров.

На основе изучения общих закономерностей процесса прорезки полостей в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики [1] построена геометрическая модель полного профиля полости (рис. 2). Эта модель включает внешнюю и внутреннюю области полости, которые разделены условной границей. Форма внешней области полости $fedabcb^1a^1c^1d^1e^1f^1$ определяется следующими геометрическими характеристиками: глубиной внешней области h_1 , высотой валика h_3 , шириной полости l_1 , шириной валика l_2 и шириной наплыва l_3 . Внутренняя область полости bcb^1 характеризуется глубиной канала h_2 . Эти геометрические характеристики полости связаны в систему с использованием исходной поверхности 1, поверхности наплыва 2, поверхности валика 3, дна внешней области полости и дна канала.

С использованием разработанной методики исследований [1] выявлено влияние технологических параметров режима импульсной лазерной обработки на геометрические характеристики полостей в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики. Основные результаты этих исследований показаны на рис. 3. Следует отметить, что на интенсивных режимах увеличивается стохастичность процесса взаимодействия импульсного лазерного излучения с твердой и хрупкой керамикой, в результате чего возрастает разброс измеренных значений геометрических параметров прорезанных полостей.

Установлено, что влияние мощности лазерного импульса на геометрические характеристики полости является однозначным — с увеличением P возрастают h_1 , h_2 , h_3 , l_1 , l_2 и l_3 , однако характер этого влияния для каждой зависимости является разным (см. рис. 3, а). Наибольшее влияние P оказывает на глубину каналов, формирующих внутреннюю область, а наименьшее — на высоту валика. На кривых $P-h_1$ и $P-l_1$ имеются два характерных участка. На первом участке (P увеличивается от 2,5 до 5 Вт) h_1 и l_1 резко возрастают, а на втором участке (P увеличивается от 5 до 15 Вт) h_1 и l_1 плавно возрастают, причем в диапазоне 12–15 Вт практически не изменяются. Например, прирост значений h_1 на первом участке соответствующей кривой, полученных при обработке при $s = 20$ мкм, $n = 1000$ и $N = 5$ проходов, составляет 3,5 раза, а на втором участке 1,3 раза. Одновременно с этим глубина h_2 на

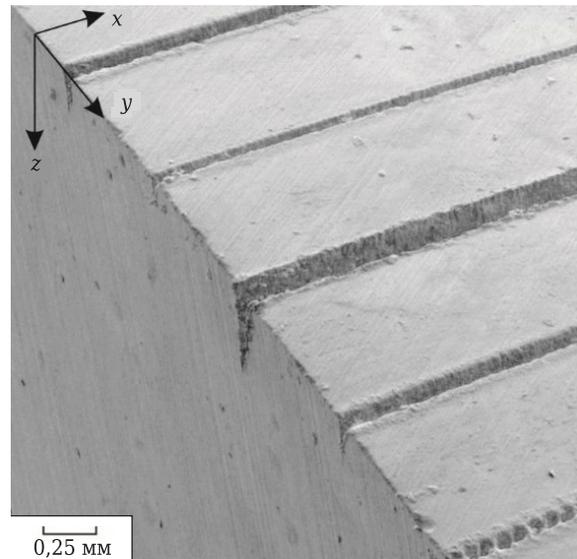


Рис. 1. Общий вид полостей, прорезанных в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики, при разных режимах

первом участке соответствующей кривой увеличивается от 21 до 66 мкм (прирост 3,1 раза) и на втором участке от 66 до 175 мкм (прирост 2,7 раза).

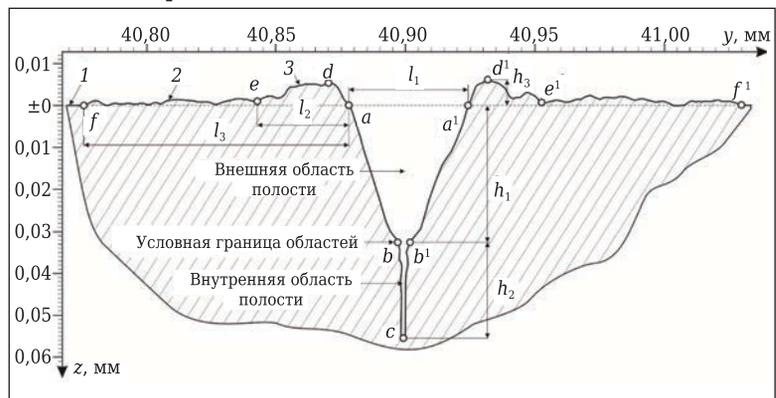


Рис. 2. Геометрическая модель полного профиля прорезанной полости в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики

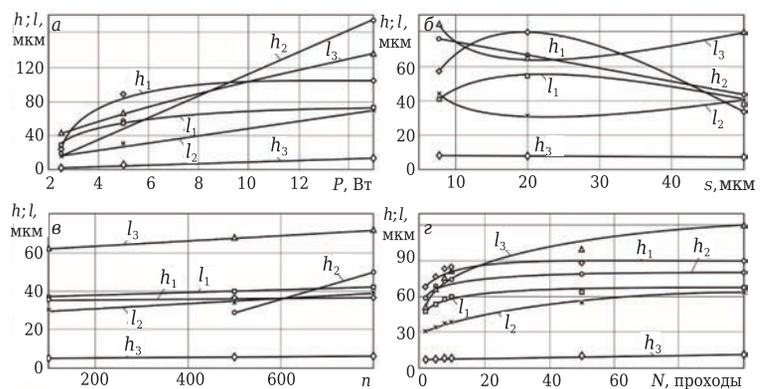


Рис. 3. Влияние основных технологических параметров режима импульсной лазерной обработки на геометрические характеристики полостей, прорезанных в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики

На рис. 3, б показано влияние шага перемещения лазерного луча s ($P = 5$ Вт, $n = 1000$ и $N = 5$ проходов) на размеры профиля полости. Видно, что влияние шага перемещения лазерного луча на геометрические характеристики полости является более сложным по сравнению с его мощностью. С увеличением s в диапазоне 8–20 мкм h_1 возрастает от 58 до 81 мкм и l_1 растет от 41 до 54 мкм. Дальнейшее увеличение s от 20 до 50 мкм приводит к уменьшению h_1 и l_1 . В противоположность этому влиянию h_2 и l_3 первоначально уменьшаются, а затем увеличиваются. Наиболее простое влияние шаг перемещения лазерного луча s оказывает на глубину внутренней полости h_2 и толщину наплыва h_3 . Кривые $s-h_2$ и $s-h_3$ имеют линейный характер и с увеличением s в диапазоне 8–50 мкм h_2 и h_3 уменьшаются на 42 и 10 %.

Влияние числа импульсов в пачке n ($P = 5$ Вт, $s = 20$ мкм и $N = 1$ проход) на геометрические параметры полости показано на рис. 3, в. Установлено, что с увеличением числа импульсов в пачке в диапазоне от 100 до 1000 значения h_1 , h_2 , h_3 , l_1 , l_2 и l_3 линейно возрастают, причем наибольшее влияние n оказывает на изменение h_2 , а наименьшее — на h_3 . С увеличением n от 100 до 1000 значения h_1 , h_3 , l_1 , l_2 и l_3 увеличиваются от 33 до 52, от 4,4 до 5,9, от 34 до 40, от 6 до 9 и от 19 до 27 мкм соответственно. Следует отметить, что при прорезке полостей с числом импульсов в пачке 100 каналы, формирующие внутреннюю область полости, не образуются. Образование этих каналов зафиксировано при обработке на режиме с числом импульсов в пачке 500 и более.

Зависимости, характеризующие влияние количества проходов в цикле N ($P = 5$ Вт, $n = 1000$ имп, $s = 20$ мкм) на размеры профиля полости показаны на рис. 3, г. Установлено, что при изменении N от 2 до 100 проходов размеры профиля полости увеличиваются, причем степень влияния различается. Наибольшее влияние число проходов при лазерной прорезке полостей оказывает на h_2 и l_3 , а наименьшее

— на h_3 . На кривых $N-h_1$, $N-l_1$, $N-h_2$, $N-l_2$ и $N-l_3$, характеризующих размеры полости, имеются два характерных участка. На первом участке (N увеличивается от 2 до 10 проходов) h_1 , l_1 , h_2 , l_2 и l_3 резко возрастают. На этом участке h_1 увеличивается от 68 до 86 (прирост 1,3 раза), h_2 от 59 до 74 (прирост 1,3 раза), h_3 от 6,4 до 8,3 (прирост 1,3 раза), l_1 от 48 до 60 (прирост 1,3 раза), l_2 от 31 до 38 (прирост 1,2 раза) и l_3 от 49 до 83 мкм (прирост 1,7 раза). На втором участке (N от 10 до 100 проходов) h_1 , h_2 , h_3 , l_1 , l_2 увеличиваются в среднем на 10 %, а l_3 — в 1,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований выявлена взаимосвязь технологических параметров режима импульсной лазерной обработки с геометрическими характеристиками полостей, прорезанных в образцах Al_2O_3 -TiC-керамики. Установлено, что интенсификация режима импульсного лазерного воздействия повышает неустойчивость процесса и в большинстве случаев приводит к увеличению размеров профиля полости. Исключением является изменение шага перемещения лазерного луча; увеличение этого технологического параметра в диапазоне от 8 до 50 мкм приводит к уменьшению глубины канала h_2 , а в диапазоне от 20 до 50 мкм зафиксировано уменьшение глубины внешней области h_1 и ширины полости l_1 . Глубина внутренней области прорезанных полостей может превышать глубину их внешней области на наиболее интенсивных режимах обработки. В случае малого числа импульсов в пачке лазерного излучения прорезанная полость характеризуется только внешней областью при отсутствии внутренней области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (задание № 2014/105, проект № 1908).

Библиографический список

1. Кузин, В. В. Физико-технологические аспекты импульсной лазерной прорезки полостей в керамике. Общая характеристика процесса / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, М. Ю. Фёдоров, Е. А. Остриков // Новые огнеупоры. — 2018. — № 3. — С. 64–68.
2. Rihakova, L. Laser micromachining of glass, silicon and ceramics. A review / L. Rihakova, H. Chmelickova // Eur. Int. J. Sci. Technol. — 2015. — Vol. 4, № 7. — P. 41–49.
3. Кузин, В. В. Воздействие импульсного лазерного излучения на поверхность керамики ВОК71 / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, М. Ю. Фёдоров, М. Р. Портной [и др.] // Новые огнеупоры. — 2015. — № 7. — С. 48–52.
- Kuzin, V. V. Effect of pulsed laser radiation on the surface of ceramic VOK71 / V. V. Kuzin, S. N. Grigor'ev,

- M. Yu. Fedorov, M. R. Portnoi [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2015. — Vol. 56, № 4. — P. 390–393.
4. Вакс, Е. Д. Практика прецизионной лазерной обработки / Е. Д. Вакс, М. Н. Миленский, Л. Г. Сапрыкин. — М. : Техносфера, 2013. — 708 с.
5. Chen, X. Improving cutting quality by analysis of microstructure characteristics and solidification behaviour of recast layer formation on laser cut ceramic / X. Chen, L. Ji, Y. Bao, Y. Jiang // J. Eur. Ceram. Soc.— 2012 — Vol. 32, № 10. — P. 2203–2211.

Получено 28.03.18

© В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, М. Ю. Фёдоров, 2018 г.