

Пивоваров А.Д.¹, Яблочкова С.С.¹

Научный руководитель – доцент, кандидат технических наук, Петров А.А.¹

¹Университет ИТМО

vvwwwv@bk.ru

Введение

Карбид кремния (SiC) является перспективным материалом для изделий, работающих в экстремальных условиях, однако его высокая твердость и хрупкость затрудняют механическую обработку. Лазерная абляция позволяет бесконтактно удалять материал, а тангенциальная схема облучения обеспечивает самоограничение глубины и высокое качество поверхности. Цель работы – экспериментальное исследование влияния параметров наносекундного лазера на процесс обработки цилиндрических образцов из композитной керамики SiC и численное моделирование возникающих тепловых полей.

Основная часть

Эксперименты проводились на установке с волоконным лазером (длина волны 1064 нм, длительность импульса 4–200 нс, энергия до 1 мДж, частота до 1 МГц, диаметр пятна 50 мкм). Образцы представляли собой многослойные трубки SiC/SiC, предназначенные для оболочек твэлов. Исследовалось влияние коэффициента перекрытия импульсов (0,25–0,9), длительности (50–200 нс) и числа проходов (50–200) на шероховатость и глубину удаления. Оптимальный режим ($L=0,75$, $\tau=200$ нс, $E=1$ мДж) позволил снизить среднюю шероховатость Ra с 20,35 до 0,28 мкм. Зависимость глубины от числа проходов носит затухающий характер, что подтверждает саморегуляцию процесса при тангенциальной схеме. EDX-анализ выявил образование оксидной плёнки SiO₂ вследствие термического разложения SiC.

Для более глубокого понимания тепловых процессов проведено численное моделирование в среде COMSOL Multiphysics. Разработанная модель учитывала реальную геометрию цилиндрического образца, параметры лазерного излучения, движение луча по спирали, экспоненциальное поглощение в материале и наклон падения. Расчёты выполнены с адаптивным шагом сетки (до 6 мкм в приповерхностной области), что позволило получить распределения температуры и интенсивности. Максимальная расчётная температура достигала ~1200 К, что согласуется с началом окисления SiC. Модель подтвердила эффект самоограничения глубины из-за смещения зоны нагрева из фокуса.

Выводы

Сочетание экспериментальных данных и численного моделирования доказало эффективность тангенциальной лазерной обработки для прецизионной размерной обработки и полировки керамики SiC. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации технологических режимов при изготовлении ответственных деталей сложной формы.

Список использованных источников:

1. Румянцев В.И. Разработка технологии изготовления многослойных оболочек твэла на основе композитов SiC/SiC // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы. – 2023. – № 5(121). – С. 112–122.
2. Guo Z., Guo B., Zhang J., Yang W., Wu G., Jia J., Zhu J., Li K., Yao H., Zhao Q. Process optimization of picosecond pulsed laser turning of silicon carbide with cylindrical surface // Chinese Journal of Aeronautics. – 2025.