

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ SiC, ТЕКСТУРИРОВАННОЙ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

М.А. Плюснина, К.Н. Гулькин, Г.Е. Котельников, А.В. Дорожкин

Томский политехнический университет,
ИЯТШ, гр. ОБМЗ1

Научный руководитель: Е. Г. Орлова, к.ф.-м.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

В настоящее время известных экспериментальных и теоретических исследований недостаточно для разработки положений и прогностических аппаратов для контроля и управления свойствами смачиваемости поверхностей SiC. Известно, что от смачиваемости зависят такие функциональные свойства как самоочистление, стойкость к обледенению, запотеванию, коррозии, биообрастанию, абразивному и кавитационному износу, защита от бактерий. В связи с этим, особо актуальными являются исследования, направленные на разработку методов изменения свойств смачивания поверхностей керамики. Известны исследования по снижению интенсивности износа контактирующих деталей, изготовленных из керамики, путем текстурирования их поверхностей лазерным излучением [1].

Цель работы заключается в разработке способов изменения свойств смачиваемости карбидокремниевой керамики.

В качестве материала использовалась субмикронная керамика, изготовленная методом искрового плазменного спекания (в диапазоне температур от 1600 до 1800 °С) с использованием в качестве исходного материала ультрадисперсного продукта с высокой степенью чистоты (содержание SiC до 98 %), полученного методом прямого плазмодинамического синтеза в гиперскоростной струе кремний-углеродной электроразрядной плазмы. Изменение свойств смачиваемости исследовано после обработки приповерхностного слоя керамики «абразивным материалом», «абразивным материалом + наносекундным лазерным излучением». Свойства смачиваемости изготовленных поверхностей определены с использованием оборудования оптического теневого метода. По полученным теневым изображениям методами LB-ADSA [2] и «тангенциальным 1» [3] определены статические контактные углы (θ). Погрешность определения θ не превышала 5.0 % для $\theta \leq 15^\circ$, 1.0 % для $\theta \geq 57^\circ$. Для углов от 15° до 57° погрешность находилась в диапазоне от 1 до 5 %. Изменение элементного состава после модификации поверхностей керамики оценено по результатам анализа, проведенного методом энергодисперсионной спектроскопии (EDS).

На рис. 1 приведены фотоизображения микротекстуры поверхностей субмикронной керамики, обработанных «абразивным материалом» (образцы № 1–3 рис. 1, а–в), «абразивным материалом + лазерным излучением» (образцы № 4–6 рис. 1, г–е)

Установлено, что при абразивной обработке происходит хрупкое разрушение материала, формируются локальные углубления неправильной геометрической формы преимущественно по прекурсам аморфного углерода (усл. обозначение 1–3 на рис. 1, а–в), размер этих локальных областей аморфного углерода зависит от температуры спекания. После лазерного текстурирования образовалась разноуровневая (микро- и нано-размерная) текстура (рис. 1, г–е).

На рис. 2 приведены результаты, полученные при исследовании элементного состава керамических образцов. Из рис. 2 видно, что основными элементами, входящими в состав образцов, являются Si и C. По результатам анализа элементного состава поверхностей, обработанных абразивным материалом (№ 1–3 рис. 2) установлено, что с ростом температуры спекания от 1600 до 1800 °С незначительно уменьшается доля углерода (с 34,5 до 32,2 %) и растет доля кислорода (с 2,9 до 3,9 %) в составе керамики.

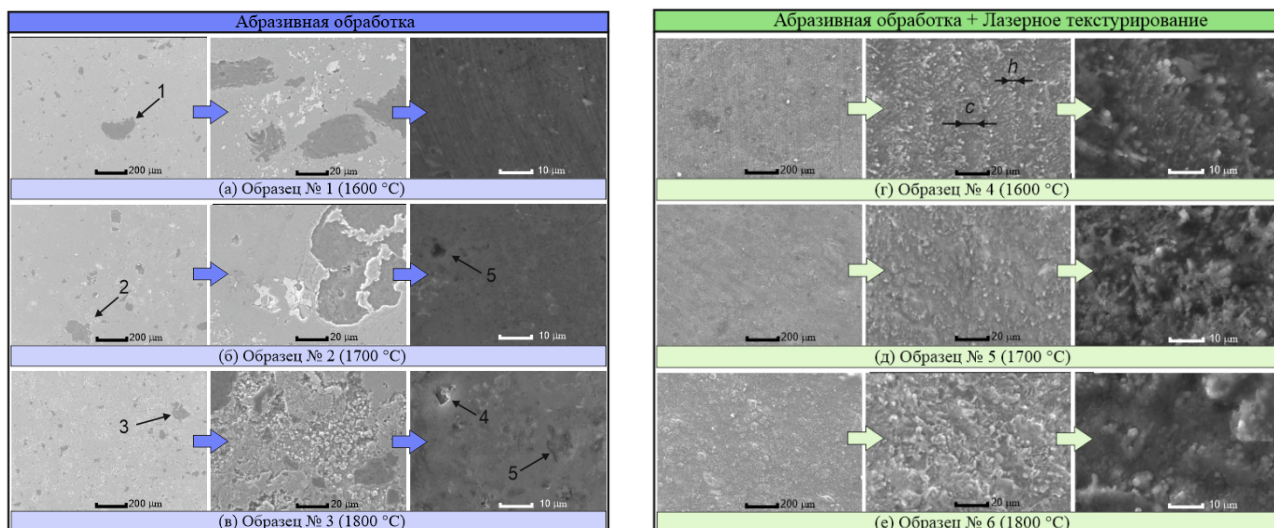
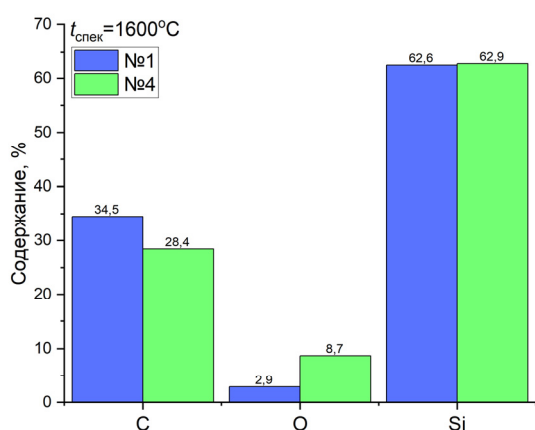
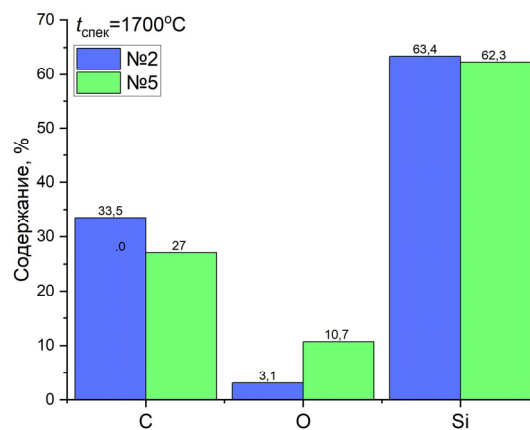


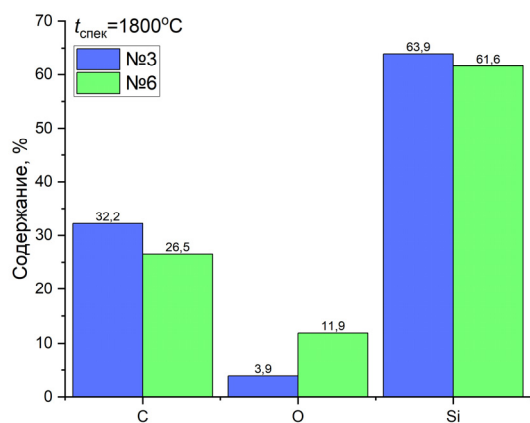
Рис. 1. СЭМ-изображения поверхностей керамики, обработанных:
«абразивным материалом» (а–в); «абразивным материалом + лазерным излучением» (г–е);
Увеличение изображений слева направо: $\times 100$, $\times 1000$, $\times 5000$.
Условные обозначения: 1–3 – локальные области аморфного углерода;
4 – участок возвышенности; 5 – участок углубления. Ширина канавок: $c = 10$ мкм.
Ширина кромки между канавками: $h = 6$ мкм



а



б



в

Рис. 2. Анализ приповерхностного слоя керамики.
Температура спекания керамики:
(а) 1600 °С; (б) 1700 °С; (в) 1800 °С.
Цветом обозначена комбинация методов
обработки поверхности:
синий – «абразивным материалом» (№ 1–3);
зеленый – «абразивным материалом +
лазерное излучение» (№ 4–6)

Лазерное текстурирование поверхностей приводит к окислению, что подтверждается увеличением кислорода в элементном составе (№ 4–6, рис. 2). Внедрение атомов кислорода в приповерхностный слой SiC объясняют удерживающим эффектом оборванных связей. При воздействии лазерным излучением на поверхность SiC исходная кристаллическая структура материала разрушается, в материале появляются дефекты, и некоторая часть кристаллического SiC переходит в аморфное состояние. Разорванные связи аморфного SiC захватывают фотоионизированные атомы кислорода из окружающего воздуха. Таким образом формируется оксид кремния (SiO₂). Лазерная обработка поверхностей керамики приводит к уменьшению доли углерода (4–6, рис. 2).

На рис. 3 приведены значения контактных углов, измеренных при помещении капли воды на поверхности SiC. По результатам анализа статических контактных углов (рис. 3, а) установлено, что поверхности SiC, обработанные абразивным материалом, характеризуются гидрофильными свойствами. Увеличение температуры спекания с 1600 до 1800 °С привело к улучшению свойств смачивания (рис. 3, а). Необходимо отметить, что величина гистерезиса контактного угла больше на поверхностях, изготовленных при более высоких температурах. Последнее связано с тем, что эти поверхности после абразивной обработки, характеризуются большей шероховатостью, с ростом которой гистерезис контактного угла увеличивается. Увеличение шероховатости гидрофильных поверхностей приводит к улучшению свойств смачиваемости. Поэтому образцы, изготовленные при более высокой температуре спекания, после абразивной обработки, характеризуются лучшими свойствами смачиваемости.

Лазерная обработка поверхностей SiC улучшает свойства смачиваемости по сравнению с поверхностями, обработанными абразивным материалом (рис. 3, а), контактный угол снижается на 45–60°. Последнее объясняется тем, что доля кислорода в элементном составе приповерхностного слоя SiC (рис. 2) увеличилась с 3–4 % (на абразивно обработанных поверхностях) до 9–12 % (после лазерного текстурирования) и образовалась разноуровневая (микро- и нано-размерная) текстура. Разноуровневая текстура (рис. 1, з–е) способствует улучшению свойств смачиваемости за счет наличия нано-элементов и микроканалов, по которым жидкость растекается за счет капиллярных сил.

Изучено «влияние температуры спекания в диапазоне от 1600 до 1800 °С на свойства смачиваемости субмикронной керамики. Определено изменение свойств смачивания керамики SiC после комбинации методов обработки поверхности «абразивным материалом», «абразивным материалом + наносекундным лазерным излучением».

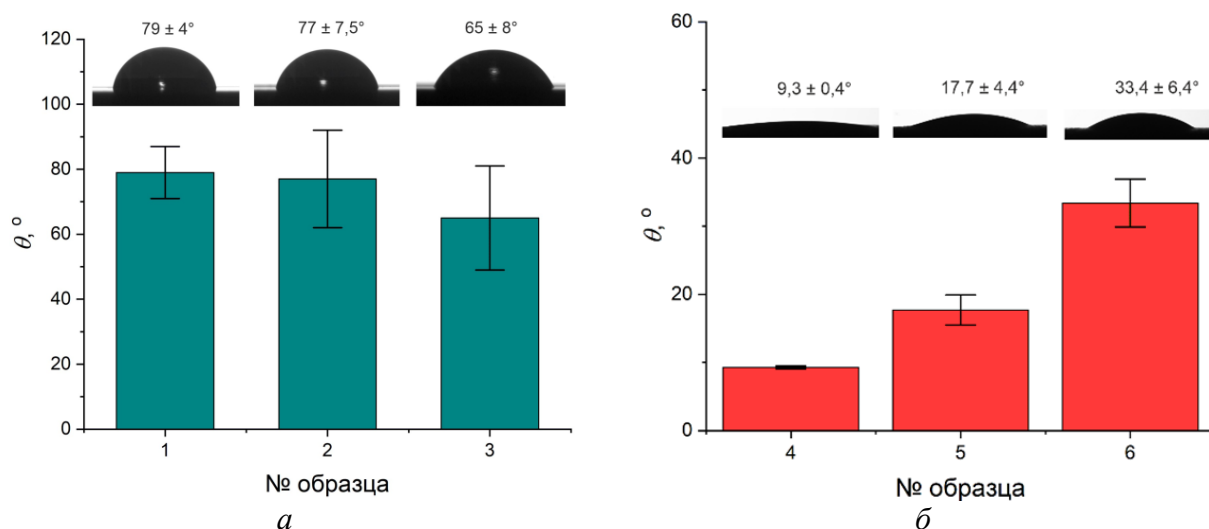


Рис. 3. Значения контактных углов на поверхностях SiC после обработки: а) «абразивным материалом»; б) «абразивным материалом + лазерным излучением». Доверительным интервалом показана величина гистерезиса контактного угла

Установлено, что в условиях изготовления керамики SiC методом искрового плазменного спекания увеличение температуры спекания с 1600 до 1800 °С позволяет получить более стойкую керамику к хрупкому разрушению в результате абразивного износа, увеличить долю кислорода и уменьшить долю углерода в элементном составе приповерхностного слоя. Показано, что модификация поверхности SiC лазерной обработкой позволяет уменьшить шероховатость и создать однородную разноуровневую текстуру без локальных областей аморфного углерода, улучшить свойства смачиваемости, уменьшить гистерезис контактного угла.

Использование комбинации методов обработки поверхности «абразивным материалом», «абразивным материалом + наносекундным лазерным излучением» позволяет изменить свойства смачивания субмикронной керамики SiC в широких диапазонах изменения контактных углов от 9° (гидрофильные свойства) до 135° (гидрофобные свойства). Последнее позволяет значительно расширить область применения керамики SiC, где необходимо контролировать и управлять свойствами смачивания, например, в системах охлаждения на базе капельного орошения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 21-73-10245 (<https://rscf.ru/project/21-73-10245/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Microstructuring the surface of silicon carbide ceramic by laser action for reducing friction losses in rolling bearings / S.P. Murzin, V.B. Balyakin // Optics and Laser Technology. – 2017. – P. 96-98.
2. Recent progress in Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA) / M. Hoorfar, W. Neumann // Advances in Colloid and Interface Science. – 2006. – P. 25–49.
3. A high-accuracy polynomial fitting approach to determine contact angles / A. Bateni, S.S. Susnar, A. Amirfazli, A.W. Neumann // Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp 219. – 2003. – P. 215–231.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

К.А. Карташова, Д.С. Романов, Г.С. Няшина

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. 5БМ33*

Научный руководитель: К.Ю. Вершинина, к.ф.-м.н., доцент ИШФВП ТПУ

Добыча сырой нефти и ее дальнейшая переработка в нефтепродукты сопровождается образованием и накоплением нефтешламов, представляющих собой смеси сырой нефти легких и тяжелых фракций, механических примесей (чаще всего в виде глины, песка, минеральных частиц, щелочноземельных металлов) и воды. Средняя скорость формирования нефтешламов в мире составляет не менее одного миллиарда тонн в год и продолжает расти [1]. Высокие концентрации углеводородов и тяжелых металлов в нефтешламах вызывают загрязнение почвы и подземных вод, а также загрязнение воздуха летучими нефтяными углеводородами [2]. На сегодняшний день существует несколько методов переработки нефтешламов, основными из которых являются термохимическими, в частности, пиролиз, сжигание и газификация.

Цель настоящей работы – экспериментальное определение характеристик зажигания и горения композиционных топлив на основе нефтешлама и различных добавок.