

Получение изделий сложной геометрической формы методом искрового плазменного спекания



П. Ю. Перетягин,
младший
научный сотрудник
p.peretyagin@stankin.ru



Е. В. Кузнецова,
младший
научный сотрудник
evkuznetsova11@gmail.com



Торресильяс Рамон Сан Милан,
кандидат наук в области материаловедения,
и машиностроения, кандидат наук в области
физики, профессор, начальник лаборатории
rtorre@rtorre.com

Лаборатория искрового плазменного спекания (ЛИПС), ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

В статье описан процесс и доказана возможность принципиального получения композиционного керамического наноструктурированного материала комплексной формы в виде режущей пластины квадратного сечения методом искрового плазменного спекания. Приведены значения плотности, механических свойств, износостойкости, представлена микроструктура полученного материала. Проведено сравнение значений основных характеристик материала комплексной формы и материала, полученного с использованием традиционной оснастки цилиндрического поперечного сечения.

Ключевые слова: искровое плазменное спекания, комплексная форма, режущие пластины, керамические композиты, $Al_2O_3-SiC_w$.

Изделия из передовых нанокompозитных керамических материалов, полученных при помощи методов искрового плазменного спекания (ИПС) находят свое применение в машиностроении, авиакосмической отрасли, биомедицине и прочих областях [1-5]. Одним из таких изделий машиностроительного применения являются сменные многогранные режущие пластины (СМРП) из режущей керамики. В настоящее время данные изделия на рынке получают все большее рас-

пространение, так как имеют высокие механические свойства (рис. 1) и значительную стойкость при обработке высокотвердых материалов, таких как закаленные стали, жаропрочные сплавы и высоколегированные чугуны.

Исследования показывают значительное увеличение времени стойкости и снижение вероятности возникновения катастрофических неконтролируемых разрушений (сколов и трещин на режущих кромках РП) у нанокompозитных керамических режущих пластин полученных при помощи метода ИПС по сравнению с контрольными, полученными при помощи традиционных методов. Данный результат объясняется тем, что зерна спеченного методом ИПС материала имеют меньший размер и равномерно распределены по всему объему консолидированного материала.

Однако некоторые из наиболее перспективных передовых нанокompозитов, синтезированных в последнее время при помощи технологии ИПС [6], не получили широкого распространения и до сих пор не доступны на рынке в виду наличия двух основных фундаментальных научных проблем, препятствующих внедрению в промышленность изделий из материалов, полученных при помощи технологии искрового плазменного спекания:

- 1) наличие высоких градиентов температур в спекаемом образце материала, приводящих к анизотропии

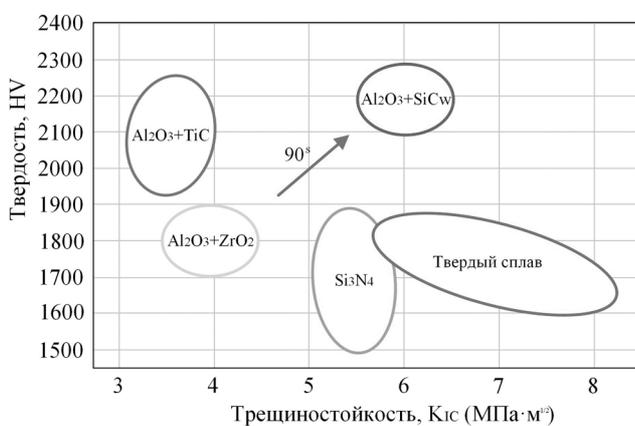


Рис. 1. Пример инструментальных материалов и их свойств, полученных при помощи традиционных методов спекания

физико-механических свойств (особенно при спекании образцов больших размеров);

- значительная трудоемкость последующей обработки полученных образцов наноструктурированного керамического материала, обладающих высокими механическими свойствами.

В связи с высокими значениями твердости и трещиностойкости, данные композиты обрабатывают при помощи методов электроэрозионной обработки (в случае электропроводных материалов) или дорогостоящей алмазной резки (в случае неэлектропроводных материалов) и последующим их алмазным шлифованием. При этом данные процессы традиционно трудоемки, а в процессе резки велика возможность возникновения сколов и микротрещин, происходит изменение поверхностного слоя материала изделия, в значительной степени снижающая надежность функциональных изделий.

Обе проблемы взаимосвязаны и их решение возможно только благодаря совместному рациональному использованию новых разработанных технологий гибридного искрового плазменного спекания (ГИПС) и получения при помощи данных технологий образцов изделий с комплексной геометрической формой, требующих минимальной дополнительной механической обработки путем проектирования и оптимизации геометрических параметров новой технологической оснастки процесса ИПС (графитовой матрицы, пуансонов и пр.).

Настоящая работа направлена на решение поставленных проблем и получение изделия комплексной геометрической формы в виде сменной многогранной нанокompозитной керамической режущей пластины, исследование ее микроструктуры, твердости и трещиностойкости, в том числе с целью определения наличия анизотропии механических свойств по всему объему образца.

Материалы и модели

В качестве материала для проведения исследований выбран керамический нанокompозит $Al_2O_3-SiC_w$. Благодаря высоким значениям механических свойств, таких как твердость (HV) и трещиностойкость (KIC) (рис. 1), данная керамика отлично зарекомендовала себя в качестве инструмента для обработки широко востребованных на рынке жаропрочных сплавов на основе никеля, которые используются в таких важных областях как энергетике, обороной промышленности, машина - и авиационии. Волокна карбида кремния, эффективно повышают за счет «внешнего упрочнения» трещиностойкость данного материала, что выгодно выделяет его среди других используемых сегодня инструментальных материалов, значения K_{IC} которых находится практически на одной прямой (рис. 1). Получение композита $Al_2O_3-SiC_w$ с помощью технологии искрового плазменного спекания позволяет добиться значений твердости до 24 ГПа и значений трещиностойкости до 9 МПа $m^{1/2}$ [7]. Исходный порошковый керамический материал с учетом получаемых высоких значений механических характеристик имеет сравнительно малую себестоимость. Однако, несмотря

на перечисленные плюсы, данная керамика тяжело поддается обработке, не проводит электричество, что исключает возможность придания формы методами электрической эрозии и делает производство изделий из нее трудоемким и денежно затратным процессом.

Первичный керамический материал для спекания представлял смесь из нанопорошков матрицы оксида алюминия ($\alpha-Al_2O_3$) производства Taimei (Япония) со средним размером частиц 150 нм, и 17% об.% волокон карбида кремния (SiC_w) производства Advanced Composite Materials (США), имеющих средний диаметр 500 нм и соотношением сторон 1:10. Композиции порошков были получены путем коллоидного смешивания наночастиц в среде алкоголятов, аттриционного измельчения и просушивания на распылительной сушилке В-290 (ВУСНІ, Швейцария). На рис. 2 представлена микроструктура порошковой смеси $Al_2O_3-SiC_w$ после просушивания на распылительной сушилке и последующего просеивания через сито с размерами ячеек менее чем 63 мкм.

Для получения изделия комплексной формы в виде режущей пластины квадратного сечения, требующей минимальной дополнительной механической обработки необходима специальная технологическая оснастка – пуансоны и пресс-форма заданной конфигурации и размеров. В связи с этим командой исследователей предварительно была разработана конструкция графитовой пресс-формы и проведено компьютерное моделирование процесса гибридного искрового плазменного спекания.

В среде численного моделирования COMSOL Multiphysics были созданы модели процесса консолидации порошков в графитовых пресс-формах в готовые керамические образцы в виде прямоугольной призмы с радиусами скругления при вершинах. Основные требования к пуансонам и пресс-формам для спекания образцов комплексной формы – равномерное распределение температуры спекания при непосредственном

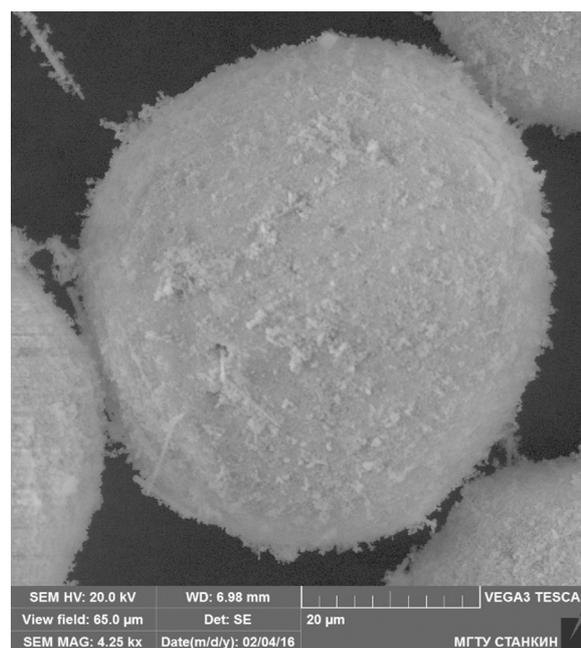
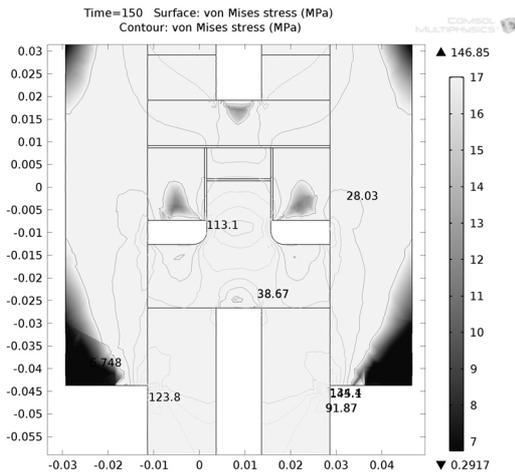
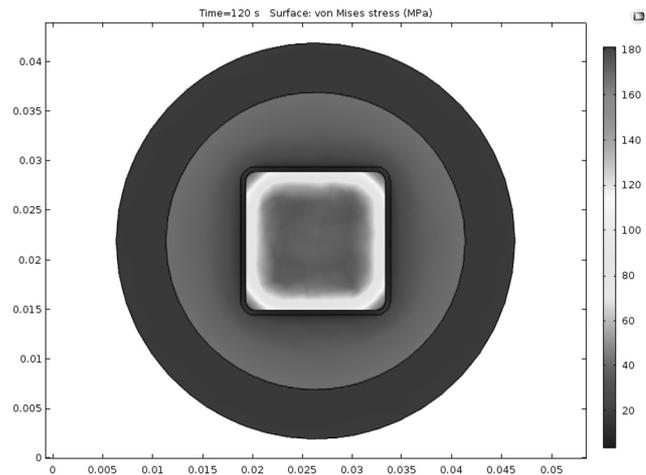


Рис. 2. Гранулы порошка $Al_2O_3-SiC_w$, после обработке на распылительной сушилке и просеивания



а



б

Рис. 3. Моделирование распределения напряжений при спекании материала комплексной формы методом ИПС: а — вертикальный разрез; б — горизонтальный разрез

формировании образца из прессованной порошковой смеси; и соответствие по прочности материала пресс-формы возникающим в процессе спекания нагрузкам, так как известно, что при попытках получения образцов комплексной формы [8-11] методами ИПС или гибридного ИПС в спеченных образцах наблюдалось наличие анизотропии механических свойств и микроструктуры (размеров зерна спекаемого материала), что связывают с наличием градиентов температур при спекании. При протекании реального процесса искрового плазменного спекания основными входными параметрами, влияющими на конечный результат являются максимальная температура, скорость нагрева, время выдержки и прикладываемое давление. Для численного моделирования процесса спекания методом ИПС входными данными являлись: начальная температура образца, оснастки и камеры; сила постоянного тока нагрева; электрическое напряжение нагрева; приложенное давление; время приложения силы тока, напряжения и давления [12].

На рис. 3 изображены численные модели распределения напряжений при спекании материала комплекс-

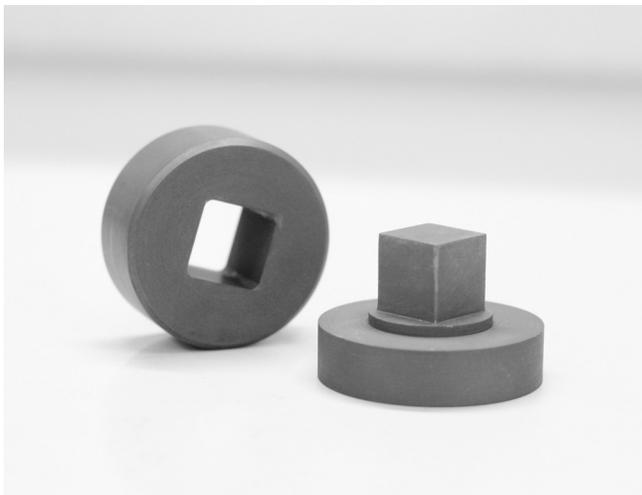
ной формы из порошковой керамики $Al_2O_3-SiC_w$. Все необходимые для моделирования свойства материалов были взяты из стандартов и литературных источников [1, 3, 7, 9, 12].

В результате моделирования были определены оптимальные размеры всех составляющих графитовой пресс-формы, подобраны оптимальные нагрузки, при которых не происходит разрушение и деформации графитовой пресс-формы и порошкового компакта.

Для получения материала в форме режущей пластины квадратного сечения по результатам моделирования была изготовлена оригинальная графитовая пресс-форма рис. 4.

Полученные на этапе моделирования результаты позволили приступить к следующему шагу исследований непосредственно консолидации керамики методом искрового плазменного спекания.

Для сокращения градиента температур в спекаемом образце использовалась технология гибридного искрового плазменного спекания. Сущность данной технологии заключается в одновременном традиционном ИПС Джоулевым нагреве (пропускании импульсов тока



а



б

Рис. 4. Графитовая пресс-форма: а) матрица с пунсоном квадратного сечения; б) пресс-форма в собранном виде

Режимы спекания керамического материала $Al_2O_3-SiC_w$

Промежуточное давление (МПа)	Конечное давление (МПа)	Максимальная температура (°C)	Скорость нагрева (°C/мин)	Время выдержки (мин)
16 (600-1600°C)	40 (1600-1780°C)	1780	100	5

через порошок и оснастку) и дополнительном боковом индуктивном нагреве. При этом температура процесса контролируется при помощи двух бесконтактных пирометров (боковым и верхним). Боковой пирометр бесконтактно измеряет температуру на боковой поверхности пресс-формы, верхний через центральное отверстие в пуансоне в центре спекаемого образца. Баланс мощности двух гибридных нагревов выравнивается системой управления установкой в целях выравнивания двух измеряемых в процессе спекания температур. Спекание порошковой смеси проводилось на установке гибридного искрового плазменного спекания модели KCE H-HP D 25-SD производства FCT (Германия) (рис. 6). Данная установка предназначена для изготовления специальных металлических и керамических материалов, композитов, твердых сплавов, а также функционально-градиентных материалов и, особенно, так называемых «наноматериалов» с максимальной температурой нагрева до 2400°C.

Оптимальные температурные режимы спекания $Al_2O_3-SiC_w$ материала определены в предыдущих работах авторов [13] (табл. 1).

В результате спекания по заданным режимам (табл. 1) керамической смеси $Al_2O_3-SiC_w$, запрессованной в графитовой пресс-форме квадратного сечения был получен образец материала в форме пластины размерами 14,7×14,7 мм и толщиной 5 мм.

Для сравнения свойств полученного керамического композита квадратной формы был изготовлен образец в форме диска диаметром 20 мм и толщиной

6 мм с использованием традиционной оснастки круглого сечения. При его изготовлении использовался такое же оборудование и одинаковые технологические режимы спекания (рис. 5).

Методы проведения исследований

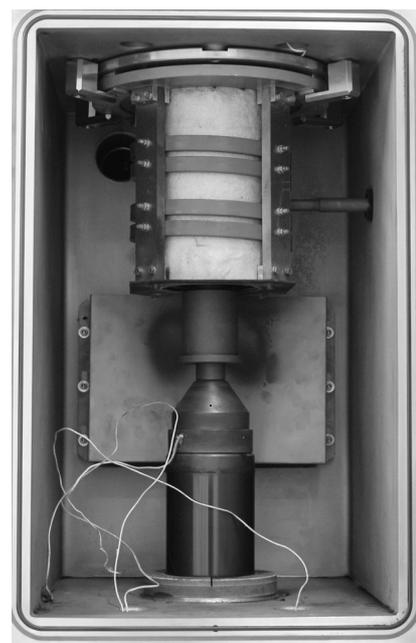
При исследовании свойств полученных инструментальных материалов особое внимание обращалось на полученную микроструктуру (размер и распределение зерен) и значения таких свойств как твердость, трещиностойкость, плотность. Проведены стойкостные испытания полученной режущей пластины, результаты сравнивались с пластиной, изготовленной из аналогичного материала, спеченного в традиционной цилиндрической пресс-форме.

Для исследований значений твердости были выбраны методы микроиндентирования по Викерсу (Hv) с приложением силы 10 Н в течение 10 с. Для измерения твердости использовался универсальный микротвердомер Qness Q10 M (Австрия). Перед проведением измерений образцы спеченного материала были отшлифованы и отполированы до зеркального блеска на установке для пробоподготовки Struers (с шероховатостью Ra до 0,1). На рис. 6 показаны образец материала в форме режущей пластины и образец материала в форме диска.

Значение коэффициента трещиностойкости K_{IC} определялось по отпечаткам оставленным после идентификации, путем измерения геометрии полученных



а



б

Рис. 5. Установка по гибриднему искровому плазменному спеканию KCE H-HP D 25-SD производства FCT (Германия): а — внешний вид; б — рабочая камера

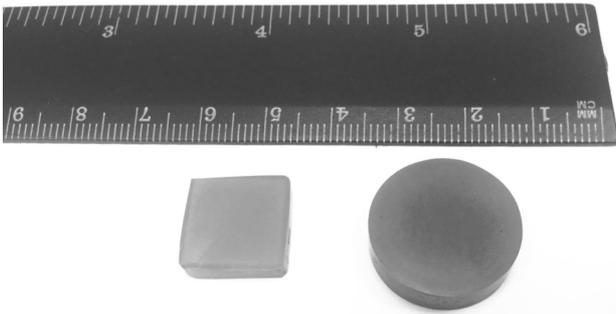


Рис. 6. Образцы спеченного материала $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}_w$ после операций шлифования и полирования

трещин при вдавлении индентора. При определении трещиностойкости к индентору была приложена сила 10 Н, а выдержка составляла 10 с. Значение K_{IC} рассчитывают согласно следующей формуле:

$$K_{IC} = 0,0752 P/C^{3/2},$$

где P – приложенное усилие, Н; C – размер трещины, которая вырастает от вершины отпечатка, мм [7, 9, 13].

Плотность спеченных образцов измерялась методом гидростатического взвешивания в дистиллированной воде при помощи аналитических весов GR-300 фирмы A&D (Япония) с точностью измерения до 0,0001 грамм. Метод определения пористости и истинной плотности спеченных керамических материалов регламентирован международным стандартом ИСО 3369.

Значения истинной плотности подготовленной порошковой композиции были определены путем проведения серии измерений на гелиевом пикнометре AccuPyc 1340 фирмы Micromeritics (США).

Исследование микроструктуры проводилось методом сканирующей электронной микроскопии на оборудовании MIRA 3 (TESCAN, Чешская Республика). Используемые микроскопы имеют высокое разрешение и позволяют исследовать материалы в области нанодиапазона их наноструктуры.

Результаты исследований и их обсуждения

Плотность спеченных керамических образцов составила $3,83 \pm 0,1$ г/см³ что составляет 99,2% от теоретической плотности $\rho_{\text{теор}} = 3,86$ г/см³ композита $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-17 об\% SiC}_w$. Полученные значения говорят о сохранении высокой плотности материала при использовании пресс-форм квадратного сечения. При этом пористость спеченных керамических образцов в обоих случаях составила не более 0,15 %.

Твердость и трещиностойкость спеченных нанокompозитов измерялась в трех различных участках поперечного сечения спеченного образца, от периферии к центру, с целью определения наличия анизотропии механических свойств, вызванных наличием возможных градиентов температуры при ИПС спекании (табл. 2).

Среднее значение твердости образца в форме диска составляет 2127 HV, в форме режущей пластины 2209 HV, что соответствует значениям твердости режущих пластин из исследуемого материала, находящихся в продаже у лидирующих мировых производителей инструмента. Как видно из табл. 2 значение твердости изменяется незначительно, что указывает на незначительное расхождение свойств по всему объему материала и говорит о равномерном распределении тепла по образцу во время спекания.

Результат измерения трещиностойкости для образца в форме диска составил 7,82 МПа·м^{1/2}. Среднее значение трещиностойкости для материала комплексной геометрической формы составило 7,74 МПа·м^{1/2}. Данный показатель у обоих образцов превышает значения трещиностойкости у материалов, полученных традиционными методами спекания (рис. 1).

Анализ изломов образцов спеченных керамических материалов показывает равномерное распределение волокон карбида кремния по всему объему композита, как в образце в форме диска (рис. 7, а), так и в образце в форме режущей пластины (рис. 7, б). Сравнение микроструктуры показала значительный сохранение высокой плотности материала при использовании пресс-форм квадратного сечения.

Зерна имеют различные размеры, но в структуре отсутствуют аномально крупные. Таким образом при помощи подбора оптимальных технологических параметров процесса гибридного искрового плазменного спекания удалось получить однородную микроструктуру спеченного образца керамического нанокompозитного материала комплексной формы.

Результаты определения режущих свойств полученных керамических сменных многогранных режущих пластин в лабораторных условиях приведены в табл. 3.

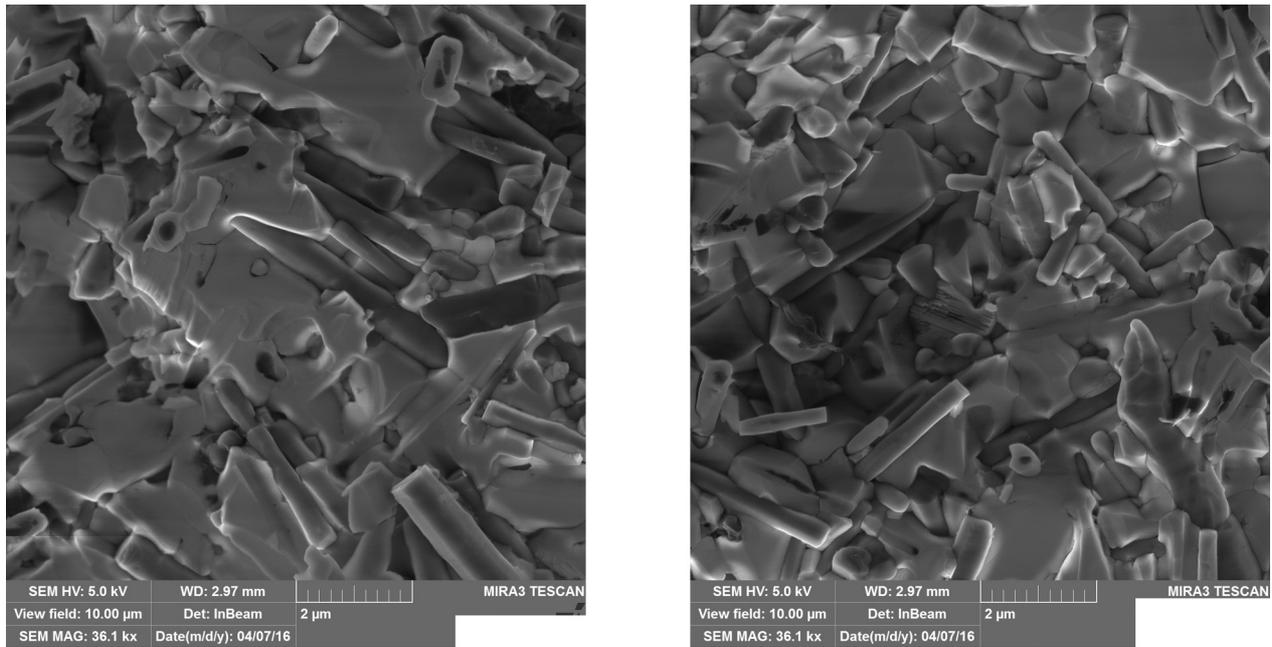
При испытаниях на резание в качестве критерия был выбран износ по задней поверхности. При этом величину износа по задней поверхности, равную 0,5 мм, считали критерием затупления [14-18]. Испытания проводили в производственных условиях на токарно-винторезном станке модели 16K20 нормальной точности путем продольного точения прутков из жаропрочного сплава.

Испытания на износостойкость проводились по жаропрочному сплаву ХН35ВТЮ по ГОСТ 5632-72. С использованием следующего режима резания:

Таблица 2

Результаты измерения твердости и трещиностойкости спеченных образцов

Номер измерения	Твердость материала в форме диска, HV	Твердость материала в форме пластины, HV	Трещиностойкость материала в форме диска, МПа·м ^{1/2}	Трещиностойкость материала в форме пластины, МПа·м ^{1/2}
1	2104	2190	7,80	7,72
2	2165	2240	7,84	7,77
3	2112	2198	7,83	7,73



а

б

Рис. 7. Микрография поверхности излома образцов: а – в форме диска; б – в форме режущей пластины

$V_{рез} = 200$ м/мин; подача $S = 0,05$ мм/об; глубина резания $t = 0,25$ мм. В качестве контрольного материала выбран аналогичный материал, спеченный искровым плазменным спеканием в традиционной, цилиндрической, графитовой пресс-форме. Испытания показали, что режущие свойства ($K_{ст}$) у полученного изделия не ниже, чем у контрольного материала. Аналогичные режущие свойства у полученного и контрольного материалов связаны со схожими механическими свойствами и размером зерна.

Производственные испытания опытных режущих пластин, полученных по разработанной технологии получения режущих пластин сложной геометрической формы, показали, что их стойкость (период времени по достижению заданного износа) составляет $\tau_{ст} = 2,8$ мин. При контрольных испытаниях режущих пластин, изготовленных при помощи метода искрового плазменного спекания в стандартной технологической оснастке цилиндрической формы стойкость составила $\tau_{ст} = 3$ мин. Из этих данных видно, что по значению стойкости полученный в ходе проведения экспериментальных работ инструмент схож по стойкости со стандартным.

Следует отметить, что сохранение режущих свойств достигнуто при предварительном выборе оптимальных геометрических параметров графитовой оснастки ИПС установки, что, в свою очередь обеспе-

чило равномерность градиентов температуры по всему объему спекаемого образца, что является следствием равномерности механических свойств по всему объему спеченного керамического нанокompозита.

Однако при этом неоднородность режущих свойств у полученного керамического инструмента выше, чем у изготовленного при помощи стандартной цилиндрической технологической оснастки. Повышение однородности режущих свойств полученного методом ИПС инструмента сложной геометрической формы, должно быть предметом дальнейших исследований.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований механических свойств и микроструктуры образца наноструктурированного керамического материала Al_2O_3-17 об% SiC_w комплексной формы показали сохранение изотропии свойств по всем направлениям. Важно отметить, что образец керамики, полученный в пресс форме квадратного сечения не имеет большого различия в значениях твердости, трещиностойкости и стойкости при точении по сравнению с образцом, спеченным в стандартной пресс-форме круглого сечения.

Показано, что использование ГИПС позволило получить высокоплотную (99,2% от теоретической

Таблица 3

Режущие свойства полученных керамических режущих инструментов

Материал режущей пластины	Технология получения	$\tau_{ст}$, мин	h , мм	$K_{ст}$
$Al_2O_3-SiC_w$	Искровое плазменное спекание, пресс-форма сложной формы	2,8	0,51	0,9
$Al_2O_3-SiC_w$	Искровое плазменное спекание, пресс-форма цилиндрической формы	3	0,48	1,0

плотности) керамику сложной формы с однородной мелкозернистой структурой и повышенными механическими свойствами.

Обобщая результаты можно сделать вывод об успешности использования пресс-форм квадратного сечения для получения керамического нанокompозита с высокими механическими свойствами. Измеренные значения твердости составили 2209 HV, а трещиностойкости (K_{IC}) 7,82 МПа·м^{1/2}.

В дальнейшем исследовательская работа будет направлена на продолжение оптимизации геометрии матрицы пресс-формы с целью минимизировать градиенты температур в спекаемом образце и повышение однородности режущих свойств полученного методом ИПС инструмента сложной геометрической формы.

* * *

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00875 мол а. Договор № 26 16-38-00875\16 от 12 февраля 2016 г.

Список использованных источников

1. Rathel, J. M., Hermann, and W. Beckert, Temperature distribution for electrically conductive and non-conductive materials during Field Assisted Sintering (FAST). Journal of the European Ceramic Society, 2009. 29(8): p. 1419-1425.
2. Э. Алварез, К. Гутьеррес, Р. Торресильяс, С. Н. Григорьев, П. Ю. Перетягин, М. А. Волосова, А. А. Окунькова/ Свойства нанокompозитных материалов на основе оксидной керамики, полученных искро-плазменным методом. Перспективные материалы 2014 No 4, стр. 43-50.
3. Rodriguez-Suarez, T., Bartolomé, J. F., Smirnov, A., Lopez-Esteban, S., Diaz, L. A., Torrecillas, R., Moya, J. S. Electroconductive Alumina-TiC-Ni nanocomposites obtained by Spark Plasma Sintering. (2011) Ceramics International, 37 (5), pp. 1631-1636.
4. Маслов А. Р. Современные марки твердых сплавов для резания труднообрабатываемых материалов. Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 4 (31). С. 27-30.
5. Григорьев С. Н., Кутин А. А., Долгов В. А. Принципы построения цифровых производств в машиностроении. Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 4 (31). С. 10-15.
6. Salvatore, G., S. Yoshio, and M. Giovanni, Electric current activated/assisted sintering (ECAS): a review of patents 1906-2008. Science and Technology of Advanced Materials, 2009. 10 (5): p. 053001.
7. C. F. Gutierrez-Gonzalez, S. Agouram, R. Torrecillas, J. S. Moya, S. Lopez-Esteban. Ceramic/metal nanocomposites by lyophilization: Spark plasma sintering and hardness. Ceramics international, 2014, 40 (3), p 4135-4140.
8. J. Hennicke, H. U. Kessel Field Assisted Sintering Technology (FAST) for the consolidation of innovative materials, cfi/Ber.DKG 81 [11] (2004) E14-E16.
9. PhD. Thesis, Tailored Net-Shape Powder Composites by Spark Plasma Sintering, U. of California, San Diego, 2012. – p. 231.
10. PhD. Thesis, Numerical Modelling of Pulsed Electric Current Sintering Process, U. Aalto, Espoo, 2014. – p. 95.
11. Th. Voisin et. al. An Innovative Way to Produce gamma-TiAl Blades: Spark Plasma Sintering, Advanced Engineering Materials, 2015, doi: 10.1002/adem.201500019.
12. Yushin; Smirnov, A V; Peretyagin, PY; Torrecillas, R. Cutting tools: finite element modeling of spark plasma sintering to improve their quality. Mechanics & Industry, 2015, 16(7), 713.
13. Gutierrez-Gonzalez, C. F.; Suarez, M.; Pozhidaev, S.; Rivera, S; Peretyagin, P; Solis, W; Diaz, LA; Fernandez, A; Torrecillas, R Effect of TiC addition on the mechanical behaviour of Al₂O₃-SiC whiskers composites obtained by SPS. Journal of the European Ceramic Society, 2016. 36 (8): p.2149-2152.
14. Волосова М. А., Гурин В. Д., Селезнев А. Е. Моделирование силовых параметров при торцевом фрезеровании закаленной стали инструментом с керамической режущей частью. Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 4 (35). С. 30-35.
15. Гречишников В. А., Исаев А. В., Романов В. Б. Метод формирования профиля образующей исходной инструментальной поверхности сборных фасонных фрез с режущими пластинами, расположенными вдоль винтовой линии. Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 1 (32). С. 8-12.
16. Портной М. Р., Кузин В. В. Исследование неоднородности напряжений в структурных элементах керамики системы TiC-MgO-Al₂O₃ под действием симметричного теплового потока при глухой заделке сферического зерна. Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 4 (35). С. 78-82.
17. Козочкин М. П. Многопараметрическая диагностика технологических систем для обработки материалов резанием. Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 1 (28). С. 13-19.
18. Гречишников В. А., Тарасов А. В., Живодров О. Г., Аксютин П. А., Романов В. Б. Принципы построения комплекса автоматизированного проектирования режущих инструментов на примере создания системы проектной разработки инструментов осевой группы. Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 4 (31). С. 31-35.
19. Григорьев С. Н., Козочкин М. П., Сабилов Ф. С., Синопальников В. А. Техническая диагностика станочного оборудования автоматизированного производства//Контроль. Диагностика. 2011. № 8. С. 48-54.
20. Grigoriev S. N., Fominski V. Y., Romanov R. I., Gnedovets A. G. Experimental and numerical study of the chemical composition of wsex thin films obtained by pulsed laser deposition in vacuum and in a buffer gas atmosphere//Applied Surface Science. 2012. T. 258. № 18. С. 7000-7007.
21. Fominski V. Yu., Grigoriev S. N., Celis J. P., Romanov R. I., Oshurko V. B. Structure and mechanical properties of w-se-c/diamond-like carbon and w-se/diamond-like carbon bi-layer coatings prepared by pulsed laser deposition//Thin Solid Films. 2012. T. 520. № 21. С. 6476-6483.

Near-net complex shapes ceramic samples by spark plasma sintering

P. Y. Peretyagin, Junior researcher of Laboratory of Electric Currents and Sintering Technologies (LECAST), MSTU «STANKIN».

E. V. Kuznetsova, Junior researcher of Laboratory of Electric Currents and Sintering Technologies (LECAST), MSTU «STANKIN».

Ramón Torrecillas San Millán, Ph.D.in Materials Science and Engineering, Ph.D.in Physics Professor, Head of laboratory of Electric Currents and Sintering Technologies (LECAST), MSTU «STANKIN».

This article describes the process and demonstrated the possibility of obtaining a complex shaped nanostructured composite in the form of the cutting tool by spark plasma sintering. Shows the values of density, mechanical properties, wear resistance, present the microstructure of the complex-shaped material. Compare the values of the main characteristics of the complex-shaped material and material produced using the traditional tooling.

Keywords: spark-plasma sintering, complex shape, cutting tools, ceramic composite, Al₂O₃-SiC_w.