

УДК: 666.3-13

Влияние соотношения толщины керамического к металлическому слою на механические свойства ламинированных композитов на основе Ta/Ti₃Al(Si)C₂-TiC-Al₂O₃А.А. Ляхова

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Е.Б. Кашкаров
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: aal86@tpu.ru

Effect of the ceramic-to-metal layer thickness ratio on the mechanical properties of laminated composites based on Ta/Ti₃Al(Si)C₂-TiC-Al₂O₃A.A. Lyakhova

Scientific Supervisor: Dr. E.B. Kashkarov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: aal86@tpu.ru

Abstract. Ta/Ti₃Al(Si)C₂-TiC layered composites with different ceramic-to-metal layer thickness ratios were fabricated from stacked preceramic papers filled with MAX-phase powder (Ti₃Al(Si)C₂) and Ta metal foils. The composites were fabricated by spark plasma sintering (SPS) at a temperature of 1150 °C and a pressure of 50 MPa for 5 min. The microstructure and phase composition were analyzed using scanning electron microscopy and X-ray diffraction, respectively. The mechanical properties were studied using bending tests. It was found that composites with architecture 1/1, 1/2, 1/3 have a quasi-ductile fracture pattern.

Key words: tantalum, preceramic paper, MAX phase, spark plasma sintering, mechanical properties.

Введение

В последнее время появляется все больше исследований и разработок в области синтеза и применения МАХ-фаз. Эти материалы обладают слоистой структурой и совмещают в себе характеристики, как керамики, так и металлов. Они отличаются высокой стойкостью к термическому воздействию и коррозии, прочностью, устойчивостью к термическим ударам, а также сравнительно высокой электро- и теплопроводностью. Кроме того, они легко поддаются механической и электроэрозионной обработке [1]. Тем не менее, для повышения механических свойств и снижения хрупкости материалов на основе МАХ-фаз при невысоких температурах: применяются разные подходы, например, образование твердых растворов, армирование керамическими волокнами или металлической фазой, упрочнение частицами вторичных фаз и т. д. В настоящей работе для получения ламинированных композитов был реализован подход, основанный на применении прекерамических бумаг и фольг тугоплавкого металла. Прекерамическая бумага является композиционным материалов и состоит из порошков наполнителя (МАХ-фазы) и органических связующих. Применение прекерамических бумаг позволяет изготавливать изделия путем послойного формирования композита с добавлением на различных уровнях металлической фольги [2]. Композиты могут иметь различную архитектуру, определяемую соотношением толщин индивидуальных слоев, что позволяет целенаправленно изменять их механические свойства. Однако на сегодняшний день отсутствуют исследования влияния архитектуры на физико-механические свойства ламинированных металл-керамических композитов на основе МАХ-фаз и тантала. Таким образом, целью настоящей работы является выявление закономерностей влияния архитектуры на механические свойства металл-керамических ламинированных композитов, полученных методом искрового плазменного спекания прекерамических бумаг с порошковым наполнителем из МАХ-фазы (Ti₃Al(Si)C₂) и металлических фольг тантала.

Экспериментальная часть

Прекерамическая бумага была получена с помощью бумагоделательной машины D7 (Sumet Systems GmbH). Из подготовленной бумаги вырезались диски и, чередуя с фольгами тантала, формировались многослойные заготовки с тремя видами архитектур (1/1, 1/2, 1/3). Консолидация образцов производилась на установке SPS 10-4 (GT Advanced Technologies) методом искрового плазменного спекания в вакууме при температуре 1150 °С, давлении 50 МПа в течении 5 мин. Фазовый состав композитов исследовался на поперечных шлифах образцов методом дифракции рентгеновских лучей на дифрактометре XRD-7000S (Shimadzu) с использованием баз данных ICDD PDF4+ 2021. Микроструктура изучалась методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на установке Vega 3 (Tescan). Прочность на изгиб определяли трехточечным методом на установке А1-7000М (GOTECH, Тайвань). Образцы прямоугольного сечения (18×2×1,8 мм) испытывались при расстоянии между опорами 16 мм и скорости перемещения траверсы 0,1 мм/мин.

Результаты

Исследования фазового состава показали формирование следующих фаз в полученных металл-керамических композитах: $\text{Ti}_3\text{Al}(\text{Si})\text{C}_2$, TiC , Ta и слабых рефлексов фазы Al_2O_3 . Фазы $\text{Ti}_3\text{Al}(\text{Si})\text{C}_2$, TiC и Al_2O_3 соответствуют керамическому слою, в то время как фаза Ta соответствует металлической фольге. Формирование фазы TiC происходит в процессе спекания за счет частичного разложения $\text{Ti}_3\text{Al}(\text{Si})\text{C}_2$, что, в свою очередь, приводит к образованию реакционного слоя на границе раздела между металлом и керамикой. Наблюдается зависимость интенсивностей рефлексов для фаз керамического слоя ($\text{Ti}_3\text{Al}(\text{Si})\text{C}_2$ и TiC) от архитектуры ламинированных композитов. С изменением архитектуры от 1/1 до 1/3 интенсивности этих рефлексов увеличиваются, что связано с увеличением толщины керамических слоев.

На рис. 1 представлена макроструктура спечённых композитов. Толщина керамических слоёв, сформированных из прекерамической бумаги, составила: 118 ± 3 мкм (рис. 1, а), 217 ± 4 мкм (рис. 1, б), 320 ± 5 мкм (рис. 1, в). Толщина металлических слоев, сформированных из фольг тантала, в композитах изменяется слабо и составляет 75 ± 5 мкм для всех архитектур.

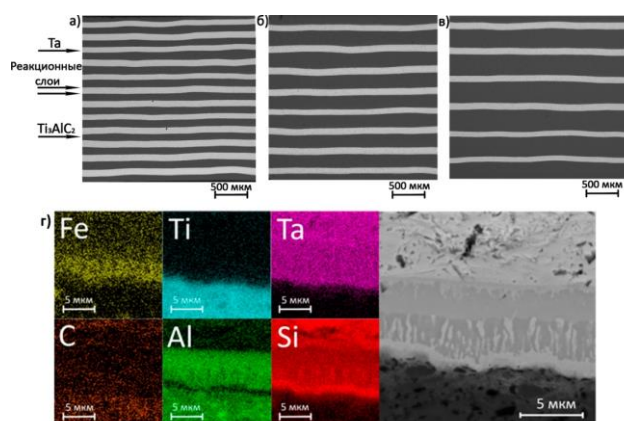


Рис. 1. СЭМ изображения поперечного шлифа ламинированного композита $\text{Ta}/\text{Ti}_3\text{Al}(\text{Si})\text{C}_2\text{-TiC-Al}_2\text{O}_3$ с архитектурой: 1/1 (а), 1/2 (б), 1/3 (в) и реакционного слоя и распределение элементов в реакционном слое ламинированного композита $\text{Ta}/\text{Ti}_3\text{Al}(\text{Si})\text{C}_2\text{-TiC-Al}_2\text{O}_3$, полученное методом ЭДС (г)

На границе раздела металл/керамика были сформированы реакционные слои (рис. 1, г), их толщина составила: 7 ± 2 мкм. Данные слои возникли из-за диффузии Ta и элементов А-слоя МАХ-фазы (Si , Al) на границе раздела металл/керамика. В данных слоях также присутствует небольшое количество примесного железа.

Влияние архитектуры на механические свойства ламинированных композитов изучалось при испытании на трехточечный изгиб. В отличие от хрупкого разрушения монолитной керамики (предел прочности ~ 520 МПа, деформация 0,2 %), ламинированные композиты демонстрируют квазипластичный механизм разрушения (рис. 2). Анализ кривых позволяет заключить, что относительная деформация композитов увеличивается с увеличением относительной доли металлических слоев в композите.

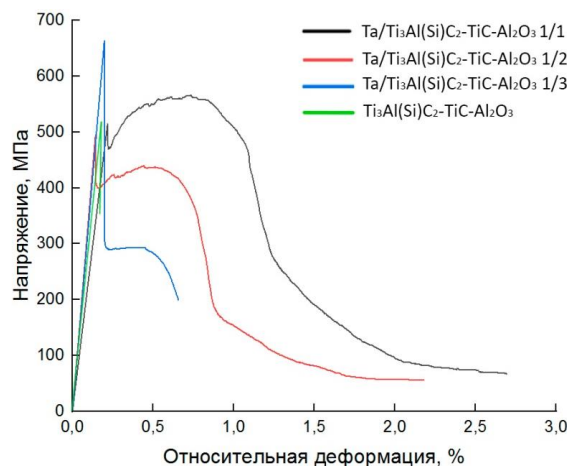


Рис. 2. Характерные кривые напряжение-деформации для ламинированных композитов $Ta/Ti_3Al(Si)C_2-TiC-Al_2O_3$ с архитектурой: 1/1 (а), 1/2 (б), 1/3 (в)

Заключение

В результате проведенного исследования были получены новые ламинированные композиты $Ta/Ti_3Al(Si)C_2-TiC-Al_2O_3$ с различным соотношением толщины керамического к металлическому слою, методом искрового плазменного спекания. Анализ дифрактограмм показал, что в состав композитов входят фазы: $Ti_3Al(Si)C_2$, TiC , Ta и Al_2O_3 . При анализе кривых напряжение-деформация было установлено, что все образцы имеют квазипластичный механизм разрушения. Увеличение относительной доли металлических слоев приводит к повышению относительной деформации композитов.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда, проект №23-19-00109.

Список литературы

1. Сметкин А.А., Майорова Ю.К. Свойства материалов на основе МАХ-фаз (обзор) // Вестник ПНИПУ. – Пермь : ПНИПУ, 2015. – С. 121–125.
2. Krotkevich D.G., Kashkarov E.B., Syrtanov M.S. et al. Preceramic paper-derived $Ti_3Al(Si)C_2$ based composites obtained by spark plasma sintering // Cer. – 2021. – Vol. 47, № 9. – P. 1–3.