

## ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ПОРИСТОГО КАРКАСА $Ti_3AlC_2$ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ САМОПРОИЗВОЛЬНОЙ ИНФИЛЬТРАЦИЕЙ РАСПЛАВОМ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРМЕТА $Ti_3AlC_2-Al$

Латухин Е. И., Умеров Э. Р., Амосов А. П.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, [evgelat@yandex.ru](mailto:evgelat@yandex.ru)

*Ключевые слова:* горение, синтез,  $Ti_3AlC_2$ , алюминий, самопроизвольная инфильтрация, кермет

Процессы горения все больше используются для синтеза различных материалов, что привело к возникновению новой научно-технической области под названием самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) или синтез горением [1]. Процесс СВС привлекателен энергосбережением (синтез идет без внешнего нагрева за счет собственного внутреннего тепловыделения горения), малой длительностью, простым малогабаритным оборудованием, широкой гаммой синтезируемых тугоплавких керамических соединений (карбидов, нитридов, боридов, оксидов, МАХ-фаз и т. д.) и разнообразных материалов на их основе. На основе применения процесса СВС авторы настоящей работы недавно предложили новый простой способ получения керамико-металлических композиционных материалов (керметов), согласно которому сначала осуществляется СВС пористого керамического каркаса с последующей самопроизвольной инфильтрацией расплавом металла, приготовленным предварительно за счет нагрева от внешнего источника, что позволяет использовать массу расплава, достаточную для полной пропитки керамического каркаса без приложения избыточного давления [2]. Результаты исследования применения нового способа для получения кермета  $TiC-Al$  представлены в публикациях [3, 4]. В настоящей работе этот способ применяется для получения кермета  $Ti_3AlC_2-Al$ , то есть СВС пористого каркаса МАХ-фазы  $Ti_3AlC_2$  с самопроизвольной инфильтрацией расплавом алюминия.

Соединение металла и МАХ-фазы в единый композит, так называемый МАХМЕТ, позволяет совмещать положительные свойства металла и керамики, наноламинатная структура МАХ-фаз делает их исключительно устойчивыми к повреждениям при механических и тепловых ударах. Керметы на основе  $Ti_3AlC_2$  с металлической связкой  $Al$  обладают высокими значениями предела текучести, ударной прочности, диссипации механической энергии [5]. Они рассматриваются для применения в качестве защиты космических аппаратов от высокоскоростных ударов микрометеоритов и орбитального мусора, как намного более эффективные, чем алюминий и другие металлы. МАХМЕТЫ представляют собой также перспективный материал для деталей двигателей летательных аппаратов [6, 7].

При экспериментальном исследовании СВС МАХ-фазы  $Ti_3AlC_2$  осуществлялся из исходных чистых порошковых элементов титана  $Ti$ , алюминия  $Al$  и графита  $C$  в виде сжигания стехиометрической смеси порошков, которая прессовалась в брикеты диаметром 23 мм и высотой 10 мм. Синтез пористого каркаса  $Ti_3AlC_2$  в режиме горения и последующая его заливка расплавом алюминия или его сплавами  $Al-12\%Si$ ,  $Al-32\%Cu$  и  $Al-2\%Mg$  с температурой 700-900 °С проводилась внутри огнеупорного тигля в среде воздуха. Было установлено, что оптимальная пауза между окончанием горения и началом заливки расплавом, обеспечивающая завершение структурообразования МАХ-фазы из исходных элементов в остывающем каркасе и самопроизвольную инфильтрацию расплава в поры каркаса и составляет 7-8 секунд. Однако при этом расплав чистого алюминия (750-900 °С) разрушает  $Ti_3AlC_2$ , которую не удалось обнаружить в полученных образцах кермета. Эвтектические сплавы  $Al-12\%Si$  и  $Al-32\%Cu$  самопроизвольно впитываются при более низкой температуре расплава (700°С) и обеспечивают сохранность  $Ti_3AlC_2$  с частичным разложением до  $TiC$ . Расплав  $Al-2\%Mg$  (750 °С) не пропитывает каркас  $Ti_3AlC_2$ . Также исследованы микроструктура, плотность, прочность на сжатие полученных образцов керметов. Предел текучести для кермета  $Ti_3AlC_2/Al-12\%Si$

превышает аналогичный показатель для сплава Al-12%Si (260 МПа) приблизительно на 58% и составляет 410 МПа.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00435.*

*Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-08-00435.*

### **Список литературы**

1. Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 400 с.
2. Амосов А.П., Латухин Е.И., Умеров Э.Р. Способ получения керамико-металлических композиционных материалов: Пат. 2733524 (РФ). 2020.
3. Latukhin E.I., Umerov E.R., Amosov A.P., Amosov E.A., Novikov V.A. Physical and chemical fundamentals of combustion synthesis of skeleton ceramic metal composites TiC-Al. AIP Conf. Proc. 2020. Vol. 2304. Art. no. 020013.
4. Amosov A., Amosov E., Latukhin E., Kichaev P., Umerov E. Producing TiC-Al cermet by combustion synthesis of TiC porous skeleton with spontaneous infiltration by aluminum melt. 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE 2020) Proceedings. IEEE Xplore: 10 November 2020. P. 1057–1062.
5. Hanaor D.A.H., Hu L., Kan W.H., Proust G., Foley M., Karaman, Radovic M. Compressive performance and crack propagation in Al alloy/Ti<sub>2</sub>AlC composites. Mater. Sci. Eng. A. 2016. No. 672. P. 247–256.
6. WO Patent No 2014/149097 A2. MAXMET composites for turbine engine component tips. Authors: Sh. Amini, C.W. Strock, S.F. Burlatsky, D. Novikov, D.U. Furrer. Sept. 25, 2014.
7. US Patent No 2019/0383164 A1. Turbine engine component with vibration damping. Authors: Sh. Amini, C.W. Strock, S.F. Burlatsky, D. Novikov. Jul. 14, 2020.

### **Сведения об авторах**

Латухин Евгений Иванович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: металлургия, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) композитов.

Умеров Эмиль Ринатович, аспирант. Область научных интересов: СВС с самопроизвольной инфильтрацией расплавом металла для создания керметов.

Амосов Александр Петрович, д.ф.-м.н., профессор. Область научных интересов: горение, СВС, порошковая металлургия, композиционные материалы.

## **COMBUSTION SYNTHESIS OF Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> POROUS SKELETON WITH SUBSEQUENT SPONTANEOUS INFILTRATION BY ALUMINUM MELT FOR Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>-Al CERMET PREPARATION**

Latukhin E.I., Umerov E.R., Amosov A.P.

Samara State Technical University, Samara, Russia, [evgelat@yandex.ru](mailto:evgelat@yandex.ru)

*Keywords: combustion, synthesis, Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, aluminum, spontaneous infiltration, cermet.*

The application of a new simple energy-saving method for manufacturing cermets based on the combustion synthesis of a porous skeleton of the MAX-phase Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> with subsequent spontaneous impregnation with a melt of aluminum alloys is shown.