

ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ КОМПОЗИТОВ С АЛЮМИНИЕВОЙ МАТРИЦЕЙ

А. Кобесов, А. Насырбаев, А.И. Циммерман

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5А14*

Научный руководитель: Д.С. Никитин, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Металломатричные композиты, применяемые в автомобилестроении, авиакосмической и судостроительной промышленности, известны своей высокой прочностью, устойчивостью к износу и хорошей ударной вязкостью [1]. Главная цель разработки композитов – превзойти свойства обычных металлических материалов. Композиты с алюминиевой матрицей (AMCs – aluminum matrix composites) пользуются популярностью ввиду пластичности металлической матрицы (алюминия) и прочности керамических компонентов, в качестве которых могут выступать сверхтвердые соединения (карбиды, бориды и нитриды) [2–5].

Одним из наиболее перспективных подходов при работе с металломатричными композитами является использование нанопорошков в качестве основы для их изготовления [6–8]. Однако внедрение наноразмерных керамических частиц влечет за собой проблемы, такие как неравномерное распределение керамического компонента в матрице, агломерация наночастиц и слабая связь в металлической матрице, что вызывает негативные последствия для конечных композитов [9–10]. В отличие от традиционных металлических материалов, AMCs и их свойства мало изучены. Поэтому исследования, связанные с металломатричными материалами, поиском и совершенствованием методик их изготовления, подбором оптимального состава и измерением их механических характеристик, имеют научную новизну [11].

Настоящая работа направлена на разработку новых композитных материалов с улучшенными механическими свойствами. В качестве металлической матрицы предлагается использовать алюминий. Частицы карбида вольфрама используются как армирующий компонент [12].

Был использован метод искрового плазменного спекания на установке SPS 10-4 (Thermal Technology, США). Особенностью метода является одновременное применение импульсного тока и внешнего давления для уплотнения образцов. Компактирование проводилось при давлении 50 МПа, времени выдержки 10 минут, скорости нагрева 100 °С/мин и естественном охлаждении. Температура спекания составляла 600 °С. Полученные композитные изделия подвергались стандартной металлографической обработке, включая шлифовку и полировку с использованием различных абразивных материалов. Микроструктура и элементный состав анализировались сканирующей электронной микроскопией. Фазовый состав изучался рентгеновской дифракцией. В качестве исходных материалов для спекания использовались нанопорошки в силу уникальности их потенциальных свойств в сравнении с макроразмерными дисперсными продуктами. Массовое содержание карбида вольфрама в исходной смеси составляло 10 %.

В табл. 1 представлены результаты проведенной серии экспериментов по искровому плазменному спеканию. Помимо получения композитного изделия с металлической матрицей (Al+10%WC) необходимо было получить образец из чистого алюминия (Al) для определения влияния армирующей керамической составляющей на свойства и структуру конечного изделия. Итоговые данные по спеканию включают массу полученных изделий (m), их высоту (h), диаметр (d) и плотность (абсолютную ρ и относительную $\rho_{\text{отн}}$). Их полученных данных видно, что композитный материал имеет несколько большую плотность в абсолютных еди-

ницах, однако в относительных единицах меньшую, в сравнении с чисто алюминиевым образцом. Это связано с тем, что в состав композитного изделия входит высокоплотная армирующая составляющая в виде карбида вольфрама.

Таблица 1. Результаты серии экспериментов по искровому плазменному спеканию

	m , г	h , мм	d , мм	ρ , г/см ³	$\rho_{\text{отн.}}$, %
Al	1,204	3,684	12,576	2,63107	97,45
Al+10%WC	1,027	2,930	12,502	2,85531	71,45

На рис. 1 представлены микроснимки исходной композитной порошковой смеси в форме совокупности агломератов, которые включают в себя частицы как алюминия, так и карбида вольфрама, который в силу высокой молекулярной массы выглядит более контрастным на микроснимках. Далее представлены микроснимки чисто алюминиевого образца (рис. 2) и алюмоматричного композита (рис. 3). Очевидны существенные изменения в материале в процессе спекания. В обоих случаях достигается достаточно высокая степень уплотнения изделий при формировании алюминиевых зерен размерами до десятков микрометров. Отличием композитных изделий является присутствие контрастных частиц в границах раздела зерен, которые ассоциируются с карбидом вольфрама. Несмотря на наличие тугоплавких частиц карбида, в композитном образце присутствует малое количество пор и трещин.

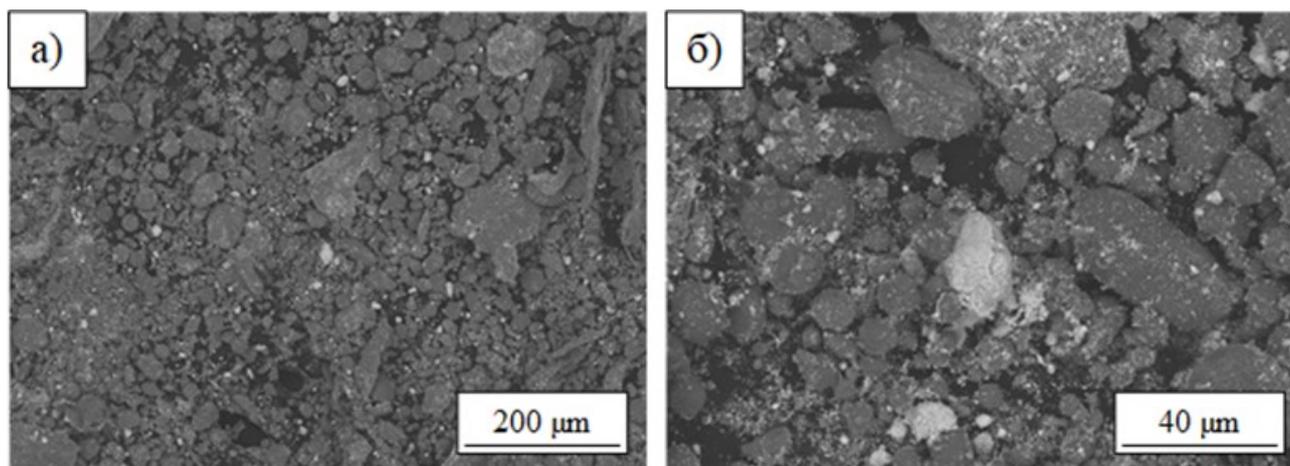


Рис. 1. Микроснимки исходной порошковой смеси

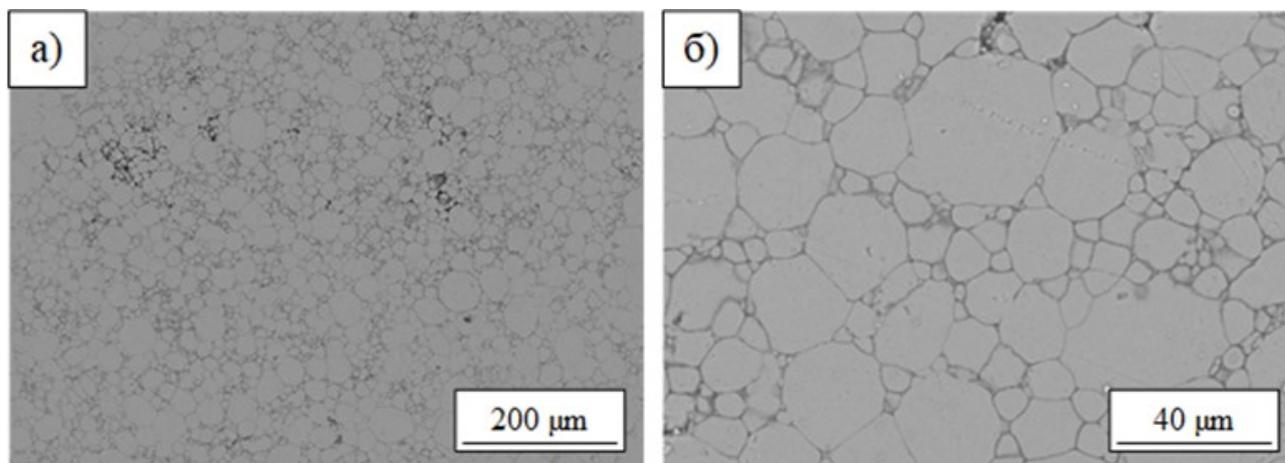


Рис. 2. Микроснимки конечного алюминиевого образца

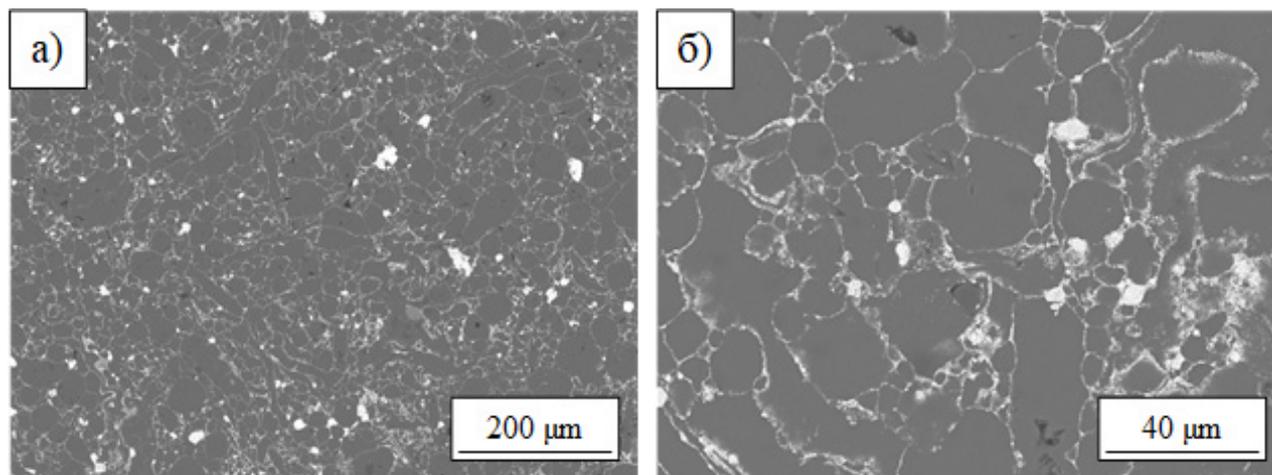


Рис. 3. Микроснимки конечного композитного изделия

Таким образом, в результате серии экспериментальных образцов были получены методом искрового плазменного спекания объемные изделия в виде чисто металлического образца и металломатричного композита с алюминиевой матрицей, армированного частицами сверхтвердого карбида вольфрама. Несмотря на наличие тугоплавких частиц в композитном изделии, оно характеризуется достаточно высокой степенью уплотнения. Полученные композиты могут применяться в качестве конструкционных материалов для автомобильной и аэрокосмической сферы.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» ТПУ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 23-73-01203, <https://rscf.ru/project/23-73-01203/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fabrication of aluminum metal matrix composite through continuous casting route: A review and future directions / D.K. Saini, P.K. Jha // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2023. – V. 96. – P. 138–160.
2. Recent progress in aluminum metal matrix composites: A review on processing, mechanical and wear properties / P. Samal et al. // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2020. – V. 59. – P. 131–152.
3. SiC/graphene reinforced aluminum metal matrix composites prepared by powder metallurgy: A review / K.K. Sathu, N. Mandal, R.R. Sahoo // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2023. – V. 91. – P. 10–43.
4. Structural modelling and mechanical behaviors of graphene/carbon nanotubes reinforced metal matrix composites via atomic-scale simulations: A review / C. Qiu et al. // *Composites Part C: Open Access*. – 2021. – V. 4. – P. 100120.
5. An overview of graphene and its derivatives reinforced metal matrix composites: Preparation, properties and applications / Z. Zhao et al. // *Carbon*. – 2020. – V. 170. – P. 302–326.
6. Advanced Metal Matrix Nanocomposites / M. Malaki et al. // *Metals* – 2019. – V. 9, Page 330. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – 2019. – V. 9, no. 3. – P. 330.
7. Processing and properties of magnesium containing a dense uniform dispersion of nanoparticles / L.Y. Chen et al // *Nature*. – 2015. – V. 528, no. 7583. – P. 539–543.
8. Magnesium-based nanocomposites: Lightweight materials of the future / M. Gupta, W.L.E. Wong // *Materials Characterization*. – 2015. – V. 105. – P. 30–46.
9. Influence of stirring speed and stirring time on distribution of particles in cast metal matrix composite / S.B. Prabu et al. // *Journal of materials processing technology*. – 2006. – V. 171, no. 2. – P. 268–273.
10. Mechanically alloyed nanocomposites / C. Suryanarayana, N. Al-Aqeeli // *Progress in Materials Science*. – 2013. – V. 58, no. 4. – P. 383–502.
11. Study on aluminium metal matrix composites reinforced with SiC and granite powder / L. Bhanuprakash et al. // *Materials Today: Proceedings*. – 2023.
12. Effect of ceramic reinforcements on the mechanical and tribological properties of aluminium metal matrix composites – A review / G. Mathew, V.K.N. Kottur // *Materials Today: Proceedings*. – 2023.