

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ С
НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ВОЛЬФРАМАТА ЦИРКОНИЯ**

Шадрин В.С.^{1,2}, Дедова Е.С.^{2,3}, Гебер Р.⁴

Научный руководитель: Кульков С.Н.^{1,2,3}, профессор, д.ф.-м.н.

¹Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634055

³Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

⁴Университет Мишкольца, Венгрия, г. Мишколец, Egyetem út, 3515

E-mail: vshadrin91@gmail.com

METALMATRIXCOMPOSITESWITHNANOSIZEDZIRCONIUMTUNGSTATEPARTICLES

Shadrin V.S.^{1,2}, Dedova E.S.^{2,3}, Geber R.⁴

Scientific Advisor: Prof., Dr. Kulkov S.N.^{1,2,3}

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii str., 2/4, 634055

³Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

⁴University of Miskolc, Hungary, Miskolc, Egyetem út, 3515

E-mail: vshadrin91@gmail.com

Negative thermal expansion behavior of zirconium tungstate (ZrW_2O_8) allows us to make use of an alternative strengthening mechanism based on thermal expansion mismatch. In the study an effect of ZrW_2O_8 particles on the structure and mechanical properties of aluminum was investigated. Al – ZrW_2O_8 metal matrix composites were produced by cold pressing and sintering the mixtures of commercially pure aluminum and zirconium tungstate. Obtained lattice parameters for aluminum were decreasing with increase of ZrW_2O_8 content, which may be attributed to the presence of internal residual stresses in the material. Uniaxial compressive test and Vickers hardness test showed that the addition of 0.5 wt% of ZrW_2O_8 leads to an about 25% increase in mechanical properties of the composites compared to pure aluminum.

Разработка новых конструкционных материалов, легких с высокими прочностными характеристиками, является одним из основных направлений современного материаловедения. Сплавы на основе алюминия в настоящее время являются одними из наиболее широко используемых конструкционных материалов. Эффективным решением задачи повышения комплекса физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик материала является дисперсное упрочнение. введение частиц, с отрицательным тепловым расширением в металлическую матрицу позволяет усилить дисперсное упрочнения за счет формирования внутренних сжимающих напряжений, вызванных разностью коэффициентов теплового расширения исходных компонентов.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей структуры и фазовых превращений вольфрамата циркония, а также изучение структуры и механических свойств (твердость по Виккерсу, предел прочности на сжатие) металломатричных композитов Al – ZrW_2O_8 .

Наноразмерный монофазный порошок вольфрамата циркония был получен гидротермальным методом [1, 2]. Для создания металломатричных композитов Al – ZrW_2O_8 использовали порошок алюминия (т.ч.) и порошок вольфрамата циркония. Концентрация ZrW_2O_8 в исходной порошковой смеси составляло от 0,1 до 10 мас.%. Для изучения свойств материалов производилось прессование образцов с последующим спеканием при температуре 873 К в течение 1 часа. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализы проводились на рентгеновском дифрактометре с $CuK\alpha$ излучением. Визуально-термический

анализ проводили на высокотемпературном микроскопе Microvis, эксперимент проводился в диапазоне от 300 до 1475 К со скоростью нагрева 20 К в минуту, на воздухе. Механические испытания проводились на микротвердомере ПМТ-3 и испытательной установке Instron 1185.

Согласно данным растровой и просвечивающей электронной микроскопии (РЭМ, ПЭМ), порошок ZrW_2O_8 состоит из вытянутых частиц с собственной блочной структурой, рисунки 1, 2. Средний размер междолинных вытянутых частиц в поперечном направлении составил 200 нм, размер блоков – 50 нм.

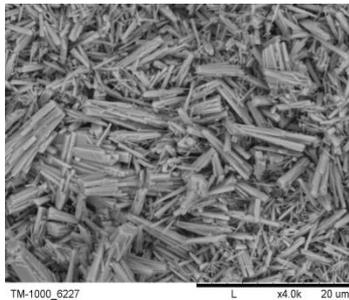


Рис. 1. РЭМ изображение ZrW_2O_8

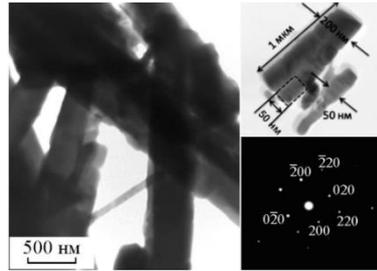


Рис. 2. ПЭМ изображение ZrW_2O_8

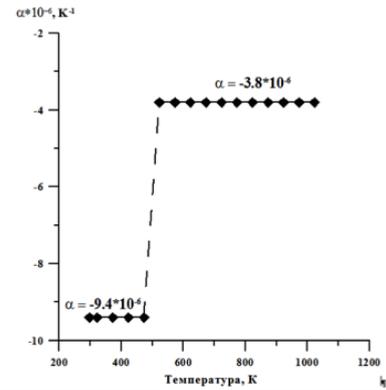


Рис.3. Зависимость КТЛР ZrW_2O_8 от температуры

Расчет параметра кубической решетки ZrW_2O_8 (a) показал уменьшение величины a с повышением температуры от 298 до 1040К, что свидетельствует об отрицательном коэффициенте теплового расширения материала.

Установлено, что значение КТЛР составляет $-9,4 \cdot 10^{-6}$ в интервале от 298 до 470 К, $-3,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ в диапазоне от 470 до 1040 К, рисунок 3. Изменение значения КТЛР при температуре 470 ± 25 К соответствует фазовому переходу из низкотемпературной (α -) в высокотемпературную (β -) модификацию вольфрамата циркония.

Результаты, полученные с высокотемпературного микроскопа, позволили определить температуры спекания, размягчения и плавления вольфрамата циркония. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

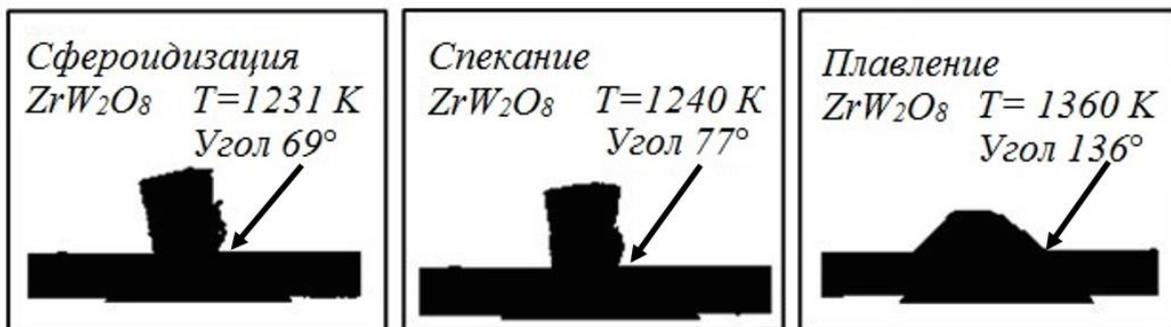


Рис.4. Теневая микроскопия образца вольфрамата циркония при нагреве.

На РЭМ изображениях полированной поверхности $Al - ZrW_2O_8$ с различным содержанием вольфрамата циркония видно, что структура полученного материала неоднородная – с ростом концентрации

вольфрамата циркония на поверхности наблюдались частицы ZrW_2O_8 . Средний размер включений не превышал 1 мкм при максимальной концентрации. Фрагменты рентгенограмм Al – ZrW_2O_8 представлены на рисунке 3. Рентгенофазовый анализ показал присутствие ГЦК алюминия и вольфрамата циркония в кубической сингонии. Параметр решетки алюминия увеличен на 0,2 %, что может быть обусловлено наличием механических напряжений, сформировавшихся вследствие различия КТР компонентов.

Зависимости механических характеристик от содержания добавки представлены на рисунке 6. Максимальные значения микротвердости и предела прочности при сжатии (280 МПа и 170 МПа, соответственно) демонстрировал композит, содержащий 0,5 мас. % ZrW_2O_8 . Дальнейшее увеличение концентрации вольфрамата циркония способствовало резкому уменьшению величины механических характеристик. Вероятно, снижение механических свойств связано с возрастанием пористости материала.

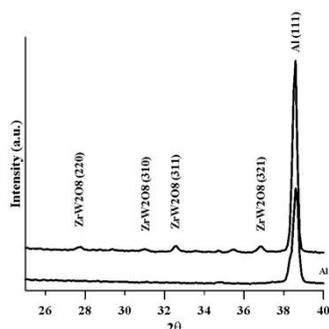


Рис. 5. Рентгенограммы чистого Al и композитов Al – ZrW_2O_8

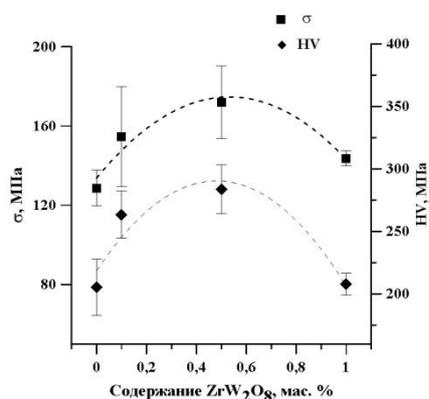


Рис. 6. Зависимость параметра решетки фазы Al от содержания ZrW_2O_8

Таким образом, экспериментально установлено, что введение наноразмерных частиц вольфрамата циркония приводит к повышению механических свойств алюминия, что может быть связано с реализацией механизма упрочнения, основанного на действии внутренних сжимающих напряжений, возникающих в материале вследствие различия коэффициентов теплового расширения алюминия и вольфрамата циркония. Содержание добавки 0,5 мас.% соответствовало максимальным показателям механических характеристик ($HV = 280$ МПа, $\sigma = 170$ МПа). Дальнейшее увеличение концентрации ZrW_2O_8 привело к снижению механических характеристик вследствие возрастания пористости материалов.

Работа выполнена в рамках соглашения с Минобрнауки 14.575.21.0040 (RFMEFI57514X0040).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gubanov A.I. Some peculiarities of zirconium tungstate synthesis by thermal decomposition of hydrothermal precursors / A.I. Gubanov, E.S. Dedova, P. E. Plyusnin // *Thermochimica Acta.* – 2014. – 597. – Pp. 19 –26.
2. Dedova E.S. Properties of formation mechanism of the hydrothermally –synthesized ZrW_2O_8 / E.S. Dedova, S.N. Kulkov, F. Pedrasa // *AIP Conf. Proc.* – 2014. – 1623. – Pp. 99 –102.