

протиріччя з існуючими уявленнями про вплив розміру зерен, на механічні характеристики, у тому числі і твердість, матеріалів. На нашу думку це протиріччя може бути зумовлено тим, що досліджувані сплави складаються двох фаз з різною твердістю.

Таким чином, змінюючи умови отримання сплавів можна регулювати їх структуру і властивості і, як наслідок, експлуатаційні властивості. Тому у подальшому доцільно проведення досліджень по вивченню таких властивостей.

Література:

1. Баглюк Г.А. Новые композиционные дисперсно-упрочненные материалы на основе алюминия [Текст] / Г.А. Баглюк, Ю.А. Шишкина // Технологические системы. – 2011. – № 4 (57). – С. 36-43.

2. Yang Xue. Fabrication, microstructure and mechanical properties of Al-Fe intermetallic particle reinforced Al-based composites / Yang Xue, Rujuan Shen, Song Ni // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – №618. – P. 537–544.

3. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем : в 3 т. Т. 1. / Н. П. Лякишев. – М. : Машиностроение, 1996. – 992 с.

8. Krasnowski M. Nanocrystalline Al-Fe intermetallics – light weight alloys with high hardness / M. Krasnowski, T. Kulik // Intermetallics. – 2010. – № 18. – P. 47–50.

**Степанчук А.Н., Ведель Д.В., Деркач М.П.**

*(КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев)*

## **ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПЛАВЛЕНОГО КАРБИДА ЦИРКОНИЯ В ОБЛАСТИ ГОМОГЕННОСТИ**

E-mail: [astepanchuk@iff.kpi.ua](mailto:astepanchuk@iff.kpi.ua)

В настоящей работе исследовались условия получения и свойства плавленного карбида циркония, который представляет интерес с точки зрения применения его для создания высокотемпературной керамики [1]. Кроме того, карбид циркония представляет интерес с точки зрения изготовления из него конструкционных материалов ядерных реакторов вследствие его малого сечения поглощения нейтронов [2]. В последнем случае очень важное значение приобретает наличие пористости в изделиях, которая может быть накопителем изотопов газов – продуктов деления ядерного топлива, обладающих большим сечением поглощения нейтронов. В целом это может быть причиной отравления активной зоны ядерных реакторов и, как следствие, снижение их мощности. С этой точки зрения значительный интерес представляют плавные тугоплавкие соединения, в том числе карбид циркония, которые, как показано в работах [3], имеют стопроцентную плотность и практически не содержат примесей.

Исходя из анализа данных о поведении карбидов при температурах превышающих температуру их плавления плавный карбид циркония с различным содержанием углерода в области его гомогенности получали плавкой расходуемых электродов изготовленных из порошка исходного карбида в дуговой печи под давлением защитного газа (аргона) [3].

Кроме давления газа при плавке на степень разложения и последующего испарения газообразных продуктов разложения значительное влияние оказывает плотность тока дуги от которой зависит температура плазмы.

Исследованные условия получения плавного циркония в области его гомогенности показало, что с уменьшением содержания углерода в исходных карбидных фазах оптимальная плотность тока, необходимая для их плавления, должна уменьшаться. Для карбида циркония была установлена аналитическая зависимость плотности тока от состава карбидной фазы, которая имеет вид:

$$I_{ZrC_x} = 80K(1,1 - X),$$

где  $X - C/Me$ ;

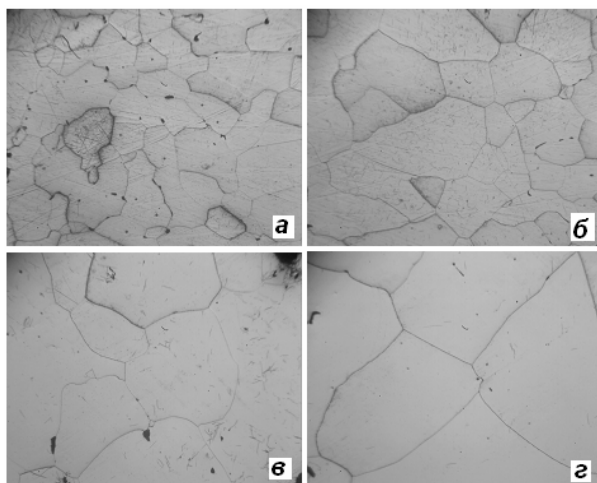
$K$  – масштабный коэффициент, который при диаметре электрода 20 мм равняется единице и с увеличением диаметра увеличивается.

В связи с изложенным получение карбидных фаз циркония в области их гомогенности проводили при давлении газа и плотностях тока дуги указанных в табл. 1.

Таблица 1 – Условия получения и состав плавяных карбидов циркония в области

Исходной состав карбидной фазы, %			Плотность тока дуги, А/см <sup>2</sup>	Давление газа в рабочей камере печи, МПа	Состав плавяных карбидных фаз, %		
Zr	C <sub>общ.</sub>	C <sub>своб.</sub>			Zr	C <sub>общ.</sub>	C <sub>своб.</sub>
88,5	11,4	0,05	180	6,0...7,0	88,8	11,30	0,2
88,7	11,1	–	170	5,6...6,8	89,6	10,4	0,6
89,6	10,4	0,2	150	6,0...7,2	90,2	9,9	–
91,5	8,43	–	150	6,0...7,2	91,4	8,5	0,17
91,4	8,3	–	140	5,5...6,5	91,2	8,9	–
92,8	7,1	–	180	6,0...7,0	92,4	7,5	0,12

Исследовалась микроструктура и некоторые механические свойства. Результаты представлены на рис. 1, 2.



а –  $ZrC_{0,96}$ ; б –  $ZrC_{0,83}$ ; в –  $ZrC_{0,73}$ ; г –  $ZrC_{0,61}$

Рис. 1. Микроструктура плавяных карбидных фаз циркония в области гомогенности (x360)

Исследование микроструктуры показало, что образцы практически однофазны и не содержит пор и примесей. Следует отметить, что карбид циркония разного состава имеет различный размер зерен, который увеличивается с уменьшением содержания в нем углерода в пределах области гомогенности (рис. 1).

В работе на плавяных образцах определялись упругие свойства – модули Юнга, сдвига и всестороннего сжатия, а также коэффициент Пуассона. Указанные характеристики рассчитывались с использованием результатов измерения плотности и скорости распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн [4, 5]. При этом использовались соотношения:

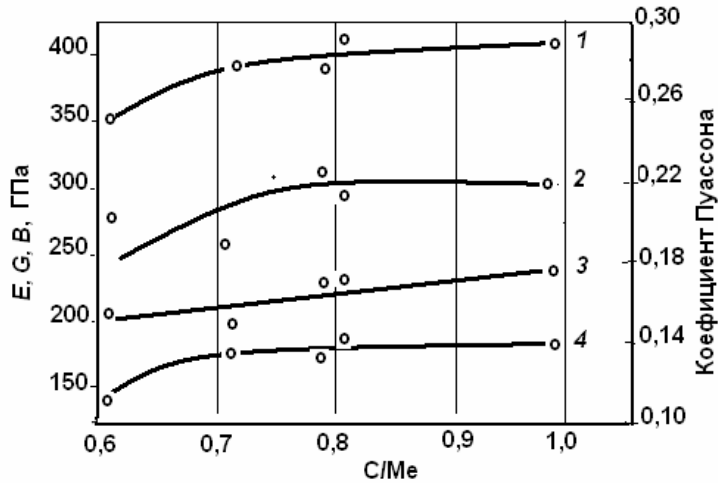
$$G = \rho V_{\text{тос}}^2, \quad E = AG,$$

$$\text{где } A = \frac{(3a^2 - 4)}{(a^2 - 1)} \quad \text{и} \quad a = \frac{V_{\text{лср}}}{V_{\text{тос}}}$$

$$B = \frac{AG}{3(3 - A)}, \quad \eta = \frac{E}{2G - 1} = \frac{(a^2 - 2)}{2(a^2 - 1)}$$

где  $G$  – модуль сдвига, Па;

$\rho$  – плотність образця композита,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $V_{lcp}$  и  $V_{toc}$  средние значения продольной и поперечной скоростей ультразвуковых колебаний, м/с;  
 $E$  – модуль упругости;  
 $B$  – модуль всестороннего сжатия, Па;  
 $\eta$  – коэффициент Пуассона.



1 – модуль упругости,  $E$ ; 2 – коефіцієнт Пуассона,  $\eta$ ; 3 – модуль всестороннего сжатия,  $B$ ; 4 – модуль сдвига,  $G$

Рис. 2. Упругие характеристики плавляемых карбидных фаз циркония в области его гомогенности.

Зависимость рассчитанных характеристик карбидных фаз циркония в зависимости от содержания в них углерода представлена на рис. 2.

Анализируя полученные результаты, можно сказать следующее, что в области гомогенности идет увеличение всех упругих характеристик, что в свою очередь, вызывает увеличение механических характеристик материала.

Литература:

1. Lanin A. Thermal Stress Resistance of Materials / A. Lanin, I. Fedik. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – 248 с.
2. Бела Т.С. Радиационный захват нейтронов: Справочник /Т.С. Бела, А.В. Игнатюк, А. Б. Пашенко, В. И. Пляскин . – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 248 с.
3. Степанчук А. Н. Прочностные и абразивные свойства плавляемых тугоплавких соединений и инструментальных материалов на их основе /А.Н. Степанчук // Современные спеченные и твердые сплавы. Сб.трудов – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – С. 269 – 280
4. Bochko A.V. Elastic Constants and Elasticite Moduli of Cubic and Wurtzitic Boron Nitride / A.V. Bochko, O.I. Zaporozhets // Powder Metallurgy and Metal Ceramics.–1996.– N7–8. – P. 417 – 423.
5. Zaporozhets O.I. A technology for non-destructive testing of metalworks / O.I. Zaporozhets, A.V. Lichko, V.V. et al. // Met. Phys. Adv. Tech. – 1999. – 17. – P. 961 – 971.

**Тесля С.Ю., Степанчук А.М., Білик І.І.**

**(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)**

## **ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТІВ САМОФЛЮСІВНИЙ СПЛАВ – КАРБІДИ ПЕРЕХІДНИХ МЕТАЛІВ**

E-mail: [astepanchuk@iff.kpi.ua](mailto:astepanchuk@iff.kpi.ua)

Актуальною задачею сучасної науки і техніки є розробка матеріалів для захисту елементів обладнання, яке працює в умовах інтенсивного абразивного зношування. У цьому відношенні перспективним є створення на робочих поверхнях композиційних покриттів, структурною особливістю яких є наявність в пластичній матриці рівномірно розподілені включення твердої фази. Як тверду фаз можна використовувати гранули з твердих тугоплавких сполук (ТТС), перш за все карбідів та боридів перехідних металів. Як