

Степанчук А.М., Деркач М.О., Ведель Д.В.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КАРБІДІВ ЦИРКОНІЮ ТА
НІОБІЮ У СКЛАДІ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЯДЕРНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ**

E-mail: astepanchuk@iff.kpi.ua)

Як показано в роботах [1, 2], в яких була поставлена проблема підбору матеріалів для роботи в складі конструкційних матеріалів ядерних реакторів, які працюють в умовах радіаційного опромінювання, показано, що такі матеріали повинні відповідати певним спеціальним вимогам. До них, перш за все, відносяться мінімальне нейтронне поглинання, високі температура плавлення та стійкість проти термічного удару, стабільність властивостей під впливом радіації. Одним із основних показників є «Макроскопічний переріз поглинання».

Цим вимогам багато у чому відповідають тверді тугоплавкі сполуки (ТТС) перехідних металів [3, 4]. Вони мають високі твердість, температуру плавлення, досить високі теплопровідність та електропровідність. Якщо розглядати їх щодо величини поперечного перетину нейтронного поглинання, то найбільш перспективними серед них є карбіди цирконію та ніобію (табл. 1). Окрім цього ці карбіди мають широкі області гомогенності у межах яких змінюються їх всі властивості. Останнє дає можливість регулювати властивості матеріалів за їх участю залежно від потреб.

Виходячи з викладеного, актуальним становиться вивчення властивостей цих карбідів. Аналіз літературних даних показує, що цьому питанню було приділено багато уваги.

Таблиця 1. Площа поперечного перерізу нейтронного поглинання матеріалів [2]

Матеріал		ZrB ₂	HfB ₂	ZrC	HfC	NbC	WC	TiC	UC
Макроскопічний переріз	Захват, Σ_a	49,3	54,3	0,0072	4,08	0,052	1,85	0,303	0,216
	Поглинання, Σ_s	0,52	0,537	0,307	0,51	0,44	0,32	0,502	0,65

Отримані результати найбільш повно узагальнені в роботі [3]. З них видно, що дані різних авторів у багатьох випадках значно відрізняються. Останнє може бути зумовлене тим, що для вимірювання цих властивостей використовувались зразки виготовлені за різними технологіями та різних умов. Як правило, такі зразки вміщували домішки кисню, азоту, вільного вуглецю та інших, вплив яких на кінцеві властивості ТТС не враховувався або враховувався не завжди коректно. У цьому відношенні для вимірювання властивостей матеріалів найбільш доцільно використовувати монокристалні зразки. У першому наближенні до таких зразків можуть бути використані зразки плавлених ТТС. Як показано в роботах [5, 6], якщо застосовувати оптимальні умови їх отримання,

вини мають практично стовідсоткову щільність і не вміщують домішок. У цьому відношенні найбільш оптимальним методом отримання плавлених ТТС є плавлення виготовлених з вихідних порошків витратних електродів з наступним їх плавленням в низькотемпературній плазмі за допомогою витратних електродів згідно методик викладених в роботах [5], [6].

Дані про електрофізичні властивості деяких плавлених ТТС наведені в роботі [7]. Дані ж про механічні властивості плавлених ТТС в літературі практично відсутні. Тому в роботі передбачалось вивчення механічних властивостей плавлених карбідних фаз цирконію та ніобію з метою отримання фундаментальних даних необхідних для конструювання матеріалів за їх участю з наперед заданими властивостями для роботи у пристроях ядерної енергетики.

В роботі зразки плавлених карбідів для вимірювання властивостей отримували за методиками, наведеними в роботах [5], [6].

Проведені металографічні, рентгенофазові та рентгеноструктурні дослідження, дослідження хімічного складу показали, що зразки однофазні, мають практично стовідсоткову щільність і не вміщують домішок кисню та азоту.

Проведено вивчення мікротвердості ($HV_{0,2}$) та тріщиностійкості (K_{Ic}), на мікротвердомірі ПМТ-3 згідно стандартних методик. Результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Характеристики карбідних фаз карбідів цирконію та ніобію

Фаза	ZrC _{1,0}	ZrC _{0,96}	ZrC _{0,83}	ZrC _{0,73}	ZrC _{0,61}
Мікротвердість, ГПа	28,30	27,20	26,40	24,50	18,20
Тріщиностійкість, МПа·м ^{1/2}	2,35	3,32	3,43	3,61	4,27
Фаза	NbC _{1,0}	NbC _{0,90}	NbC _{0,83}	NbC _{0,80}	NbC _{0,76}
Мікротвердість, ГПа	22,83	23,28	23,75	22,17	21,03
Тріщиностійкість, МПа·м ^{1/2}	2,67	2,64	2,63	3,19	3,24

В роботі вперше проводилось вивчення механічних властивостей (модуль Юнга (E), модуль зсуву (G), модуль всебічного стиску (B), коефіцієнт Пуассона (η)) на плавлених зразках карбідних фаз цирконію. Визначення властивостей проводили згідно методик, викладених в роботах [8], [9] ультразвуковим методом. Отримані результати наведені в табл. 3.

Вивчені мікротвердість, тріщиностійкість та механічні властивості карбідних фаз карбідів. Встановлено, що вони залежать від вмісту вуглецю в них. Отримані результати пояснені з точки зору електронної будови речовин. Вони узгоджуються з сучасними уявленнями про природу властивостей карбідів з точки зору конфігураційної моделі будови речовин. Вперше виміряні властивості на плавлених зразках мають більш високі значення у порівнянні із значеннями властивостей, виміряних на зразках, отриманих методами порошкової металургії. Останнє зумовлено стовідсотковою щільністю зразків, відсутністю домішок в них та більш високою удосконаленістю ґратки.

Таблиця 3. Усереднені значення механічних характеристики карбідних фаз цирконію

Карбідна фаза	Модуль Юнга Е, ГПа	Модуль зсуву G, ГПа	Модуль всебічного стиску В, ГПа	Коефіцієнт Пуассона η
ZrC _{0,61}	339,28	139,35	195,26	0,212
ZrC _{0,73}	391,78	167,51	197,80	0,184
ZrC _{0,83}	385,49	159,06	208,71	0,214
ZrC _{0,96}	407,31	170,82	216,14	0,186
ZrC _{1,0}	400,15	165,77	224,24	0,207

Література:

1. Lanin A. Thermal Stress Resistance of Materials / A. Lanin, I. Fedik // Springer Berlin Heidelberg. – 2008. – p. 248.
2. Бела Т.С. Радиационный захват нейтронов: Справочник / Т.С. Бела, А.В. Игнатюк, А.Б. Пащенко, В.И. Пляскин // М.: Энергоатомиздат, 1995. – 248 с.
3. Самсонов Г.В. Физическое материаловедение карбидов / Г.В. Самсонов, Г.Ш. Упадхья, В.С. Нешпор. – К.: Наукова думка, 1974. – 455 с.
4. Степанчук А.М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук: Підручник / А.М. Степанчук. – К.: Видавництво “Політехніка”. – 2006. – 353 с.
5. Степанчук А.Н. Технология получения отливок из карбидов титана, циркония и ниобия / А.Н. Степанчук, В.Я. Шлюко, И.П. Криворучко // Журнал “Технология и организация производства”. – 1971. – №4. – С. 93 – 95
6. Степанчук А.Н. Получение плавленных карбидов титана, циркония и ниобия в области их гомогенности / А.Н. Степанчук, А.С. Пригуляк, В.Я. Шлюко // Вестник КПИ. Серия “Машиностроение”. – К.: Вища школа. – 1975. – С. 153 – 156.
7. Степанчук А.М. Електрофізичні властивості плавлених карбідів TiC, ZrC, NbC в області їх гомогенності / А.М. Степанчук, Л.О. Бірюкович // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2015. – №1. – С. 66 – 73.
8. Андриевский Р.А. Прочность тугоплавких соединений / Р.А. Андриевский, Г.А. Рымашевский, А.Г. Ланин. – М.: Металлургия, 1974. – 232 с.
9. Bochko A.V. Elastic Constants and Elasticity Moduli of Cubic and Wurtzitic Boron Nitride / A.V. Bochko, O.I Zaporozhets // Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 1996. – №7–8. – P. 417 – 423.