

С.В. Чорнобук, М.І. Чередник, В.А. Макара

Вплив домішки оксиду ітрію на структуру та властивості металевого гафнію

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна, 03022 м. Київ,
Проспект академіка Глушкова, 2, E-mail: decanat_phys@univ.kiev.ua*

Досліджено вплив домішки оксиду ітрію вмістом від 0 до 0,4 мас.% на структуру та мікротвердість металевого гафнію. Показано, що розмір зерна зменшується, а мікротвердість гафнію монотонно зростає зі збільшенням вмісту домішки, а при збільшенні вмісту Y_2O_3 більше 0,3 мас.% відбувається розтріскування матеріалу.

Ключові слова: оксид ітрію, гафній, мікротвердість, оптична мікроскопія.

Стаття поступила до редакції; прийнята до друку 15.03.2016.

Вступ

Металевий гафній набирає все більшу популярність для використання його в якості конструкційного матеріалу ПЕЛів як поглинач теплових нейтронів. Це стало можливим завдяки гарній здатності всіх ізотопів гафнію поглинати теплові нейтрони у процесі довгострокового опромінення [1, 2] (рис. 1 [3]). Дана властивість матеріалу суттєво збільшує строк використання гафнієвих поглиначів – до 30 років, у порівнянні з 7 роками поглиначів з V_4C , які на сьогоднішній день є найбільш популярними.

Гафній також має гарні механічні характеристики. Під дією нейтронного опромінення його границі текучості та міцності збільшуються. В роботі [4] показано, що деформований прокаткою на 30% гафній при подальшому відпалі при 850 °С зміцнюється, а його пластичність зростає. Також мала місце зміна мікротвердості зразків – від 3,5 ГПа до 2,4 ГПа при відпалі при температурі 750 °С, та суттєво знижується після відпалу при температурах вище 520 °С. Порівняння зміни мікротвердості йодидного гафнію та ГФЕ-1 показало, що ГФЕ-1 зміцнюється краще.

Звертаючи увагу на те, що гафній пропонується використовувати в ПЕЛах у вигляді прутків, Афанас'єв зі співавторами дослідили властивості таких прутків [5], було показано, що мікротвердість на перерізі змінювалась від 1,87 ГПа всередині до 2,15 ГПа на краю прутка. Такий характер зміни був пов'язаний зі збільшенням вмісту кисню від 0,04 % в

середині до 0,08 % на периферії прутка. Границя міцності збільшувалась від 6,1 ГПа до 7,5 ГПа при збільшенні ступені деформації від 30 до 86 %. Пластичність при цьому знижувалась до 5 %. Після відпалу границя міцності знизилася до 5,5 ГПа, а пластичність збільшилася до 23 %. У роботі [6] автори показали, що монотонна зміна характеристик міцності при різних температурах відпалу призводить до немонотонної зміни пластичності, що може бути пов'язано зі зміною механізмів контролюючих пластичну деформацію. Ці ж автори у статті [7] показали, що при відпалі гафнію при температурі 800 – 1000 °С його міцність знижується на 30%, а пластичність збільшується до 17 %.

Як можна бачити, у всіх статтях описується основна проблема гафнію – після відпалу його пластичність зростає. А використання у якості конструкційного матеріалу ПЕЛу потребує роботи при високій температурі. Тому на сьогоднішній день, перед вченими стоїть актуальна задача зміцнення гафнію.

У представленій роботі проведено дослідження зміни структури та фізико-механічних властивостей металевого гафнію під впливом різного відсотку домішки оксиду ітрію, який вже показав себе як гарна ДЗО домішка для конструкційних сталей.

I. Матеріали та методика дослідження

Для виготовлення експериментальних зразків

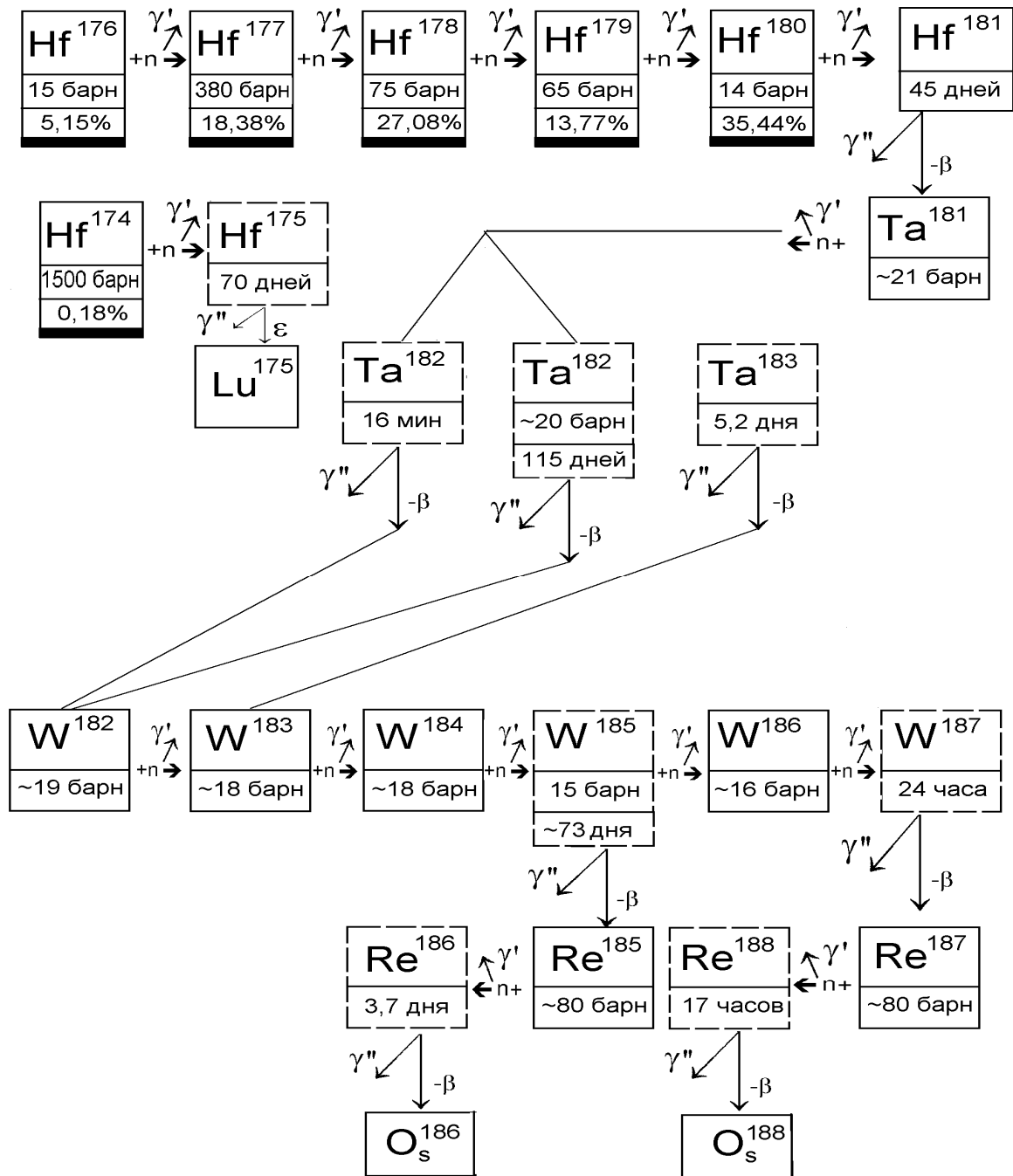


Fig. 1. Isotopic conversion hafnium as an absorber.

використовувалась гафнієва стружка та нанодисперсний порошок оксиду ітрію (середній розмір зерна 40 – 50 нм).

Зразки виготовлялися методом плавлення неплавким електродом (електрод виготовлений з вольфраму). Електрод та зразки розташовані в камері, заповненій захисним газом (аргоном). Таким чином, зона плавлення є захищеною від контакту з киснем.

Стружку гафнію змішували в необхідних пропорціях з порошком оксиду ітрію. Змішування проводилось в шаровому млині протягом 1 год. Потім отриману суміш компактували при кімнатній температурі 100 МПа. Отримані зразки мали форму

циліндрів діаметром 20 мм висотою 10 мм. Отримані заготовки поміщали в дугову піч і піддавали переплавці в середовищі аргону. Струм дуги коливався в межах 700 - 900 А.

Мікротвердість структур визначалася за методом Хрущова-Берковича на приладі ПМТ-3 при навантаженні 2Н.

Оптична мікроскопія проводилася на мікроскопі AxioObserverA1m на травлених шліфах. У якості травника використовували суміш гліцерину, азотної та плавикової кислот у співвідношенні 1:1:1 [8].

II. Експериментальні результати та їх обговорення

Для досліджень було виготовлено партію зразків з вмістом оксиду ітрію від 0 до 0,4 ваг. % (табл. 1).

На рис. 2 представлені знімки оптичної мікроскопії травлених шліфів поверхні зразків. Було встановлено, що мікроструктура досліджуваних матеріалів суттєво залежить від вмісту оксиду ітрію в них. Так, спостерігається незначне зменшення середнього розміру зерен гафнію зі збільшенням кількості оксиду ітрію в зразках (рис. 2, 3). Це може бути пов'язано з тим, що оксидні домішки виступають центрами кристалізації сплаву. Збільшення кількості таких центрів веде до обмеження росту зерен гафнію.

При цьому більш яскравіше виражений процес

Table 1

Composition of the blend for Hf - Y₂O₃ samples

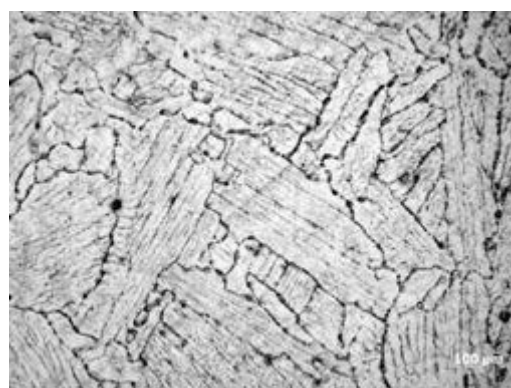
№ зразка	Склад шихти, % ваг.	
	Hf	Y ₂ O ₃
0	100	0
1	99,98	0,02
2	99,95	0,05
3	99,9	0,1
4	99,8	0,2
5	99,7	0,3
6	99,6	0,4

диспергування мозаїчної структури зерен. Внаслідок подрібнення утворюються кристаліти розмірами 10 – 20 мкм (рис. 2, 4).

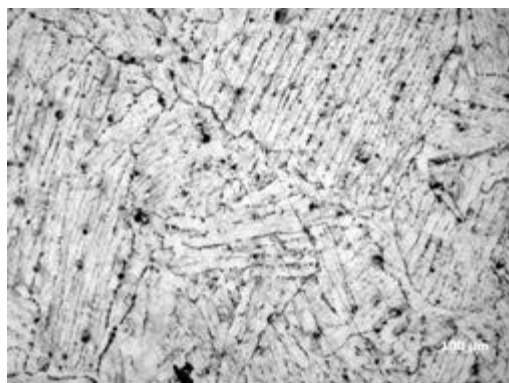
Цікавим є те, що при вмісті оксиду ітрію вище



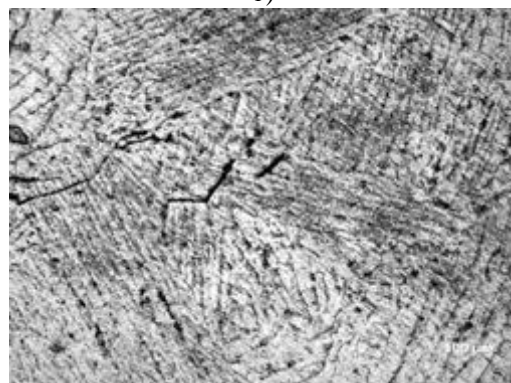
а)



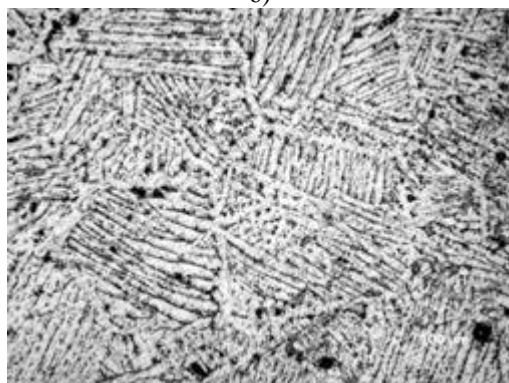
г)



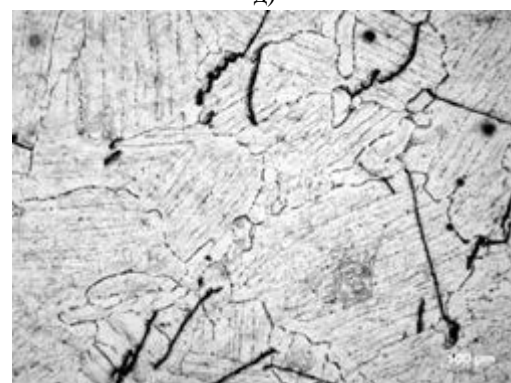
б)



д)



в)



е)

Fig. 2. Microstructure of Hf-Y₂O₃ alloys depending on the content of yttrium oxide (× 100): a - Hf; b - 0.05 weights. % Y₂O₃, c - 0.1 wt. % Y₂O₃, d - 0.2 wt. % Y₂O₃, e - 0.3 wt. % Y₂O₃, f - 0.4 wt. % Y₂O₃.

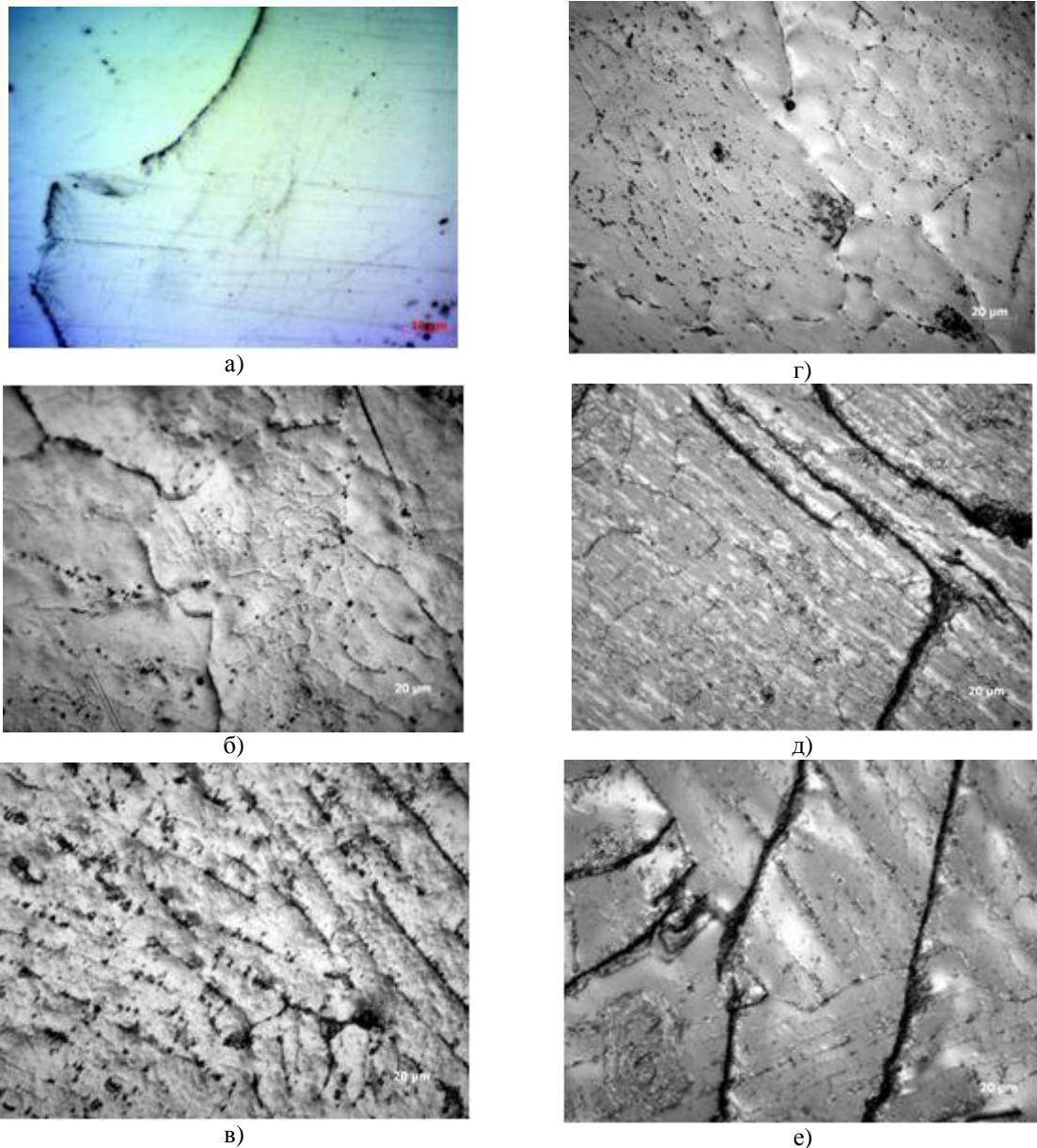


Fig. 3. The microstructure of Hf-Y₂O₃ alloys depending on the content of yttrium oxide ($\times 500$):
 a - Hf; b - 0.05 wt. % Y₂O₃, c - 0.1 wt. % Y₂O₃, d - 0.2 wt. % Y₂O₃, e - 0.3 wt. % Y₂O₃, f - 0.4 wt. % Y₂O₃.

0,3 ваг. % спостерігається утворення мікротріщин (рис. 2, е), е); рис 3, е, е).

Дослідження механічних властивостей показало, що мікротвердість отриманих сплавів монотонно зростає зі збільшенням вмісту оксиду ітрію в них (рис. 4). Таку поведінку мікротвердості можна пояснити тим, що атоми Y₂O₃ занурюються в ґратку гафнію, спотворюючи її, що в свою чергу призводить до виникнення внутрішніх мікронапружень. Цим можна пояснити утворення мікротріщин у зразках НУ5 і НУ6 (рис. 3). Мікророзтріскування відбувається в процесі охолодження зразків. Цікавим є факт, що при вмісті оксиду ітрію вище 3,5 ваг. % відбувається спонтанне руйнування зразка при охолодженні. Ймовірно це пов'язано зі значним зростанням рівня внутрішніх мікронапружень.

Також внутрішні напруження, як відомо, гальмують ковзання дислокацій, ускладнюють пластичну деформацію металу, тобто підвищують

його міцність. Зміцнююча дія розчинених атомів проявляється ще й у тому, що вони накопичуються в розтягнутій області ґратки під дислокацією і, взаємодіючи з нею, роблять її малорухомою. Для руху дислокації необхідний відрив її від домішкової хмари, що потребує додаткових зусиль і призводить до підвищення міцності.

Крім того, збільшення кількості оксиду ітрію призводить до подрібнення зерен матеріалу і диспергуванню блоків мозаїки, що призводить до реалізації розмірного ефекту зміцнення.

Висновки

1. Встановлено, що збільшення вмісту оксиду ітрію у матеріалі призводить до зменшення середнього розміру зерна, яке пов'язано з тим, що частинки оксиду ітрію виступають центрами

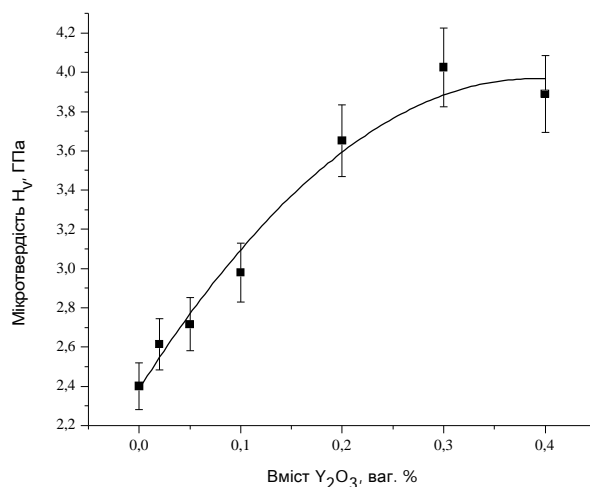


Fig. 4. Change of microhardness of the hafnium depending on the content of yttrium oxide.

кристалізації сплаву. При цьому також відбувається процес диспергування мозаїчної структури зерен з утворенням кристалітів 10 - 20 мкм.

2. Встановлено, що мікротвердість отриманих сплавів монотонно зростає при збільшенні в них вмісту оксиду ітрію, що пов'язано зі зменшенням розмірів зерен та твердорозчинним механізмом зміцнення.

3. Показано, що при вмісті оксиду ітрію вище 0,3 ваг. % відбувається процес спонтанного мікророзтріскування матеріалу, який може бути

пов'язаний зі наявністю внутрішніх мікронапружень за рахунок розпаду перенасиченого твердого розчину Hf(Y₂O₃) і виділення оксиду ітрію в окрему фазу на границях зерен металу.

Чередник М.І. – аспірант;

Чорнобук С.В. - кандидат фізико-математичних наук, асистент кафедри

Макара В.А. - доктор фізико-математичних наук, професор.

- [1] V.S. Krasnoruckij, N.N. Belash, A.M. Abdullaev, A.I. Zhukov, I.A. Petel'guzov, N.A. Mihajlov, E.A. Slabospickaja, VANT 2, 88 (2007).
- [2] V.D. Risovanyj, A.A. Vasil'ev, B.A. Shiljaev, R.V. Azhazha, K.V. Kovtun, VANT 2 (84), 118 (2013).
- [3] V.E. Vjej, Proizvodstvo regulirujushhij sterzhnej dlja jadernyh reaktorov (Atomizdat, Moskva, 1965).
- [4] M.P. Starolat, A.A. Vasil'ev, S.P. Stecenko, R.V. Azhazha, K.V. Kovtun, Visnik Harkivs'kogo universitetu, 899, 83 (2010).
- [5] A.A. Afanas'ev, K.V. Kovtun, P.N. V'jugov, I.M. Nekljudov, A.P. Muhachev, VANT 2, 19 (1999).
- [6] V.S. Okovit, L.A. Chirkina, Ja.D. Starodubov, V.I. Sokolenko, V.V. Kalinovskij, K.V. Kovtun, R.V. Azhazha, VANT 6, 34 (2004).
- [7] R.V. Azhazha, M.P. Starolat, A.A. Vasil'ev, S.P. Stecenko, V.V. Maljovannyj, S.V. Hovrich, V.V. Makarenko, S.P. Lysenko, K.V. Kovtun, VANT, 1, 27 (2008).
- [8] K.F. Karlysheva, I.A. Sheka, Himija Gafnija (Naukova dumka, Kiev, 1973).

S.V. Chornobuk, M.I. Cherednik, V.A. Makara

Effect of Yttrium Oxide Impurities on the Structure and Properties of Metallic Hafnium

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, 03022 m. Kyiv, Academician Glushkov, 2,
E-mail: decanat_phys@univ.kiev.ua

The influence of yttrium oxide impurity content of 0 to 0.4 wt.% on the structure and microhardness metal hafnium investigated. It is shown that grain size decreases and the Microhardness of hafnium increases monotonically with increasing content of impurities, while increasing Y₂O₃ content more than 0.3 wt.% is cracking material.

Keywords: yttrium oxide, hafnium, microhardness, optical microscopy.