

УДК 669.293.5.293.784

РОЛЬ ТРИВАЛИХ НАВАНТАЖЕНЬ У ФОРМУВАННІ СТРУКТУРИ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАНАДІЮ І СПЛАВУ СИСТЕМИ ВАНАДІЙ–ЦИРКОНІЙ–ВУГЛЕЦЬ

В. В. Широков, О. В. Широков

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, м. Львів, 79020, Україна

Наведено результати комплексних високотемпературних випроб ванадію технічної чистоти і сплавів на його основі. Встановлено, що йому притаманна висока стабільність фізико-механічних властивостей і структури після експозицій у безоливному вакуумі при 1073К протягом 1000 год і напругах статичного навантаження до 0,75 від межі тривалої міцності на відповідній базі.

Ключові слова: ванадій, висока температура, міцність, напруження, постійна ґратки.

Постановка проблеми. За своїми функціональними та фізико-механічними властивостями ванадієві сплави потенційно переважають більшість можливих конструкційних матеріалів для першої стінки та твелів ядерних і термоядерних реакторів нового покоління різноманітного призначення. Крім того, він набагато легший, ніж більшість тугоплавких металів, тому застосовується в аерокосмічній промисловості, виробках подвійного призначення, де дуже важлива висока питома міцність [1–5]. Проте за температур вищих 1000–1200 К у зв'язку з інтенсифікацією дифузійних процесів та можливим розміщенням використання ванадію і сплавів на його основі дискусійне. Особливо гостро постає проблема прогнозування зміни їх властивостей у процесі тривалої експлуатації. Водночас питання забезпечення стабільності фізико-механічних властивостей конструкційних матеріалів та оцінки залишкового ресурсу експлуатації відповідних виробів на сьогодні не розв'язані. Як правило, метою досліджень у цій галузі є встановлення критичних умов їх навантаження, за яких властивості різко погіршуються, вивчення супровідних процесів, отримання нових даних для завершення побудови елементів всебічно обґрунтованої теорії деформації і руйнування металу. У простих випадках давно відомі деякі залежності деформування матеріалів від рівня руйнуючих напруг [6]. Але взаємозв'язок між рівнями діючих напружень і поведінкою металу в процесі деформації стає більш багатограним особливо за ускладнених умов експлуатації — у випадку сумісного впливу попередньої деформації і температури, робочого середовища, а також інших видів взаємодії. Крім того, тривала експлуатація призводить до деградації службових властивостей більшості конструкційних матеріалів. Важливими чинниками, що її прискорюють, є температура, рівень навантаженості, час, протягом якого вони діють, структурна нестабільність.

Для широкої номенклатури сплавів на основі ванадію як базовий вважається сплав системи V–Zr–C із співвідношенням кількості цирконію до вуглецю близьким до 1, чим забезпечується виділення у матриці в основному карбідів ZrC і меншою мірою V₂C. За оптимальної морфології і об'ємного вмісту карбідів міцність ванадію зростає [4, 5]. Однак сьогодні не існує адекватних методів прогнозування впливу згаданих чинників на стабільність фізико-механічних властивостей металевих матеріалів, особливо гетерогенних та складнолегованих сплавів, до яких належать сплави системи V–Zr–C, що ускладнює їх застосування в якості конструкційних.

Мета статті — вивчити вплив напруг розтягу та їх тривалості за підвищених (1073 К) температур на фізико-механічні властивості ванадію та сплаву системи ванадій-цирконій-вуглець для оцінки їхньої стабільності.

Методика досліджень. Об'єкти дослідження — ванадій технічної чистоти і сплав V-2,6Zr-0,37мас. %C в якому забезпечувалось атомне співвідношення Zr/C=1,68/1,57=1,07 з утворенням дисперсних виділень вторинних фаз.

Застосовано метод [6, 7] прикладання попереднього (неруйнівного) навантаження σ_n , який дозволяє виявити закономірності та взаємозв'язок процесів деформування, зміни фізико-хімічних властивостей і структурних перетворень, аналіз яких дозволяє прогнозувати граничний стан матеріалу перед руйнуванням. Використовувалися маломірні зразки [7], виготовлені вирубкою з листового матеріалу товщиною 1 мм і загальною довжиною 40 мм та наступним доведенням до заданої форми шліфуванням. Правомірність використання зразків таких розмірів у випадку ресурсних випробувань було обґрунтовано в працях [6, 7], а щодо ванадію, сплавів на його основі та інших металів високотемпературного призначення підтверджено в [1, 4, 6, 8].

Оскільки специфіка досліджень фізико-механічних властивостей деформованих металів повинна забезпечувати ідентичність умов, доцільним було застосування багатопозиційних установок, розроблених і описаних авторами [6], в яких одночасно під статичним навантаженням перебували 60 взірців.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для мінімізації можливого впливу складових залишкової атмосфери ресурсні випробування проводились у безоливному вакуумі $\sim 10^{-4}$ Па. Опісля вивчалися структурні зміни металографічним (МІМ-9) та рентгеноструктурним аналізами (ДРОН-3), фізичні (мікротвердість, мікротермоелектрорушійну силу (ТЕРС-вольфрамова голка, 373 К) та механічні властивості шляхом розтягу із швидкістю деформування $5 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ в середовищі спектрально чистого аргону. Рентгеноструктурні дослідження постійної ґратки проводили за методом Дебая–Шеррера–Хелла на рентгенівському апараті УРС-55 із застосуванням трубки БСВ-2 з хромовим анодом (режим U=40 kV, I=12 mA). Експонування зразків у вигляді стовпчиків діаметром 0,5 мм проводили в камері РКУ. Крім того, після витримок контролювали вміст кисню і водню в металі методом вакуум-плавлення в установці С143М1. Також широко застосовувався аналізатор Bruker AXS Microanalysis GmbH, Germany.

На основі аналізу результатів випробувань на тривалу міцність при 1073 К у вакуумі $1,03 \cdot 10^{-4}$ Па (рис. 1) встановлено, що відповідні криві для нелегованого ванадію

і для сплаву на його основі в системі напівлогарифмічних координат « $\lg t - \sigma$ » протягом ≥ 1000 год мають характер, близький до лінійного. Це дозволило методом екстраполяції встановити значення попередніх навантажень на взірці для створення заданого рівня напруг, які відповідають конкретним коефіцієнтам k_n попереднього навантаження з кроком, який враховує нелінійний характер їх впливу на властивості металу. Зокрема, рівень напруг попереднього навантаження складав $\sigma_n = k_n \cdot \sigma_{mm}^*$, де σ_{mm}^* — критичний рівень руйнуючих напружень (співпадає з границею тривалої міцності (σ_{mm})), а k_n перебуває в межах $0 \leq k_n \leq 1$ (табл. 1).

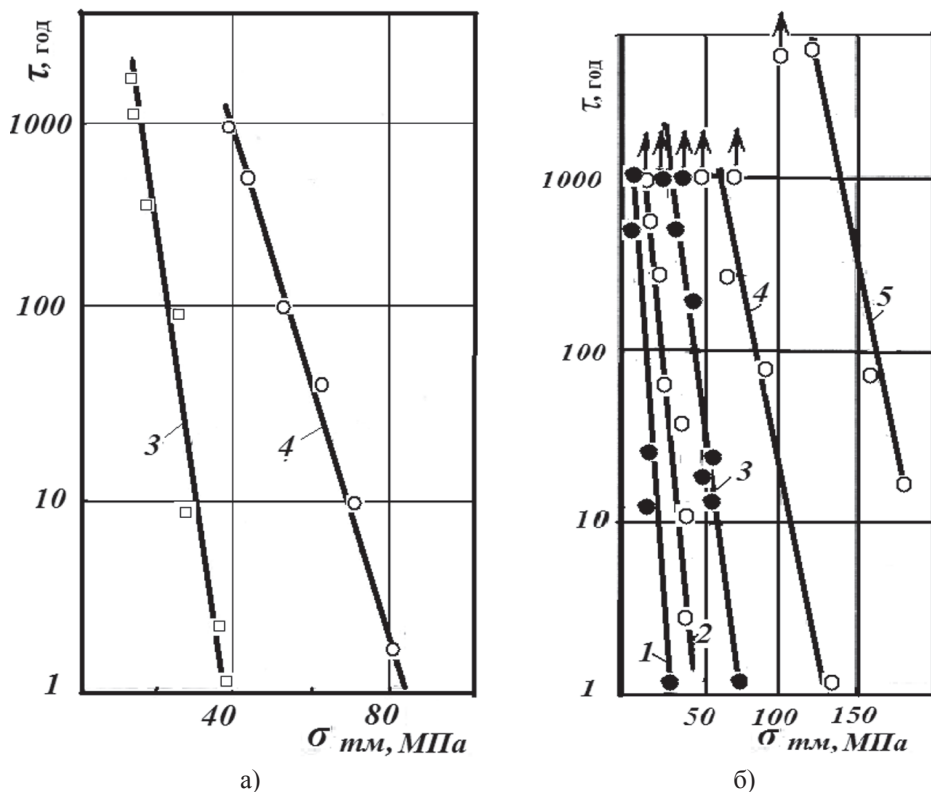


Рис. 1. Тривала міцність ванадію (а) і сплаву системи V-Zr-C (б) у вакуумі за температур: 1 — 1373, 2 — 1273, 3 — 1173, 4 — 1073, 5 — 973 К.

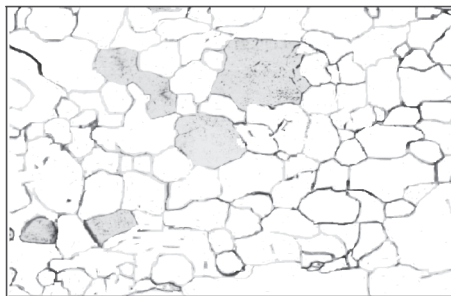
Металографічний аналіз внутрішніх шарів (рис. 2) взірців нелегованого ванадію свідчить, що в процесі витримок, порівняно із металом у вихідному стані (після відпалу), з часом зменшується, кількість текстурованих зерен. Тобто рівноважність зеренної структури зростає. За великих збільшень по тілу зерен фіксується незначна кількість дрібнодисперсних виділення вторинних фаз, очевидно оксидів і карбідів ванадію [1]. Кількісних і морфологічних кореляцій для виділень з тривалістю чи рівнем попередніх напружень не встановлено, що узгоджується з даними [1, 9]. У випадку сплаву домінують порівняно крупні виділення, які ідентифікуються як карбід цирконію [1].

Таблиця 1

Вплив попередніх витримок при 1073К у вакуумі на механічні властивості ($\sigma_g, \sigma_T, \text{МПа}$) нелегованого ванадію

Час експозиції, год	Міцнісні характеристики; коеф. поперед. навантаж.	${}_n\sigma, \text{МПа}$					
		0	10	20	30	40	50
100	$\sigma_g/\sigma_T, \text{МПа}$	297/-	323/-	302/-	-/-	285/-	270/-
	k_n	0	0,182	0,364	-/-	0,727	0,909
500	$\sigma_g/\sigma_T, \text{МПа}$	352/305	316/302	340/301	-/-	315/303	-/-
	k_n	0	0,222	0,444	-/-	0,889	-/-
1000	$\sigma_g/\sigma_T, \text{МПа}$	363/350	374/345	370/325	340/334	-/-	-/-
	k_n	0	0,250	0,500	0,750	-/-	-/-

За нормальних умов (293 К, 105 кПа) після вакуумного відпалу при 1273 К протягом 1 год. $\sigma_g=350 \text{ МПа}$, $\sigma_T=250 \text{ МПа}$.



а)



б)

Рис. 2. Структура ванадію технічної чистоти (VnM2) (а) та сплаву ВЦУ (б). Експозиція без навантаження при 1073 К протягом 100 год (x450)

Згідно з результатами механічних випроб (табл. 1), після витримок під навантаженням відношення σ_g/σ_T падає з 1,4 до 1,02. Із збільшенням напруг попереднього навантаження до ${}_n\sigma=30 \text{ МПа}$, незалежно від часу експозиції, границя міцності ванадію практично не змінюється, а границя плинності дещо перевищує таку порівняно із вихідним станом. При ${}_n\sigma > 30 \text{ МПа}$ ($k_n \approx 0,5$) для σ_g і σ_T спостерігається тенденція до незначного зниження (рис. 2). Числові значення потрапляють у вузьку полосу від 0 до 5 МПа, яка близька до розкиду погрішностей для такого виду випробувань.

У випадку сплаву (табл. 2), після витримок відношення σ_g/σ_T падає з 1,2...1,1 до 1.04. Із збільшенням попереднього навантаження до ${}_n\sigma=60 \text{ МПа}$ з часом міцнісні характеристики сплаву зростають (рис. 3) і досягають максимальних значень після старіння протягом 1000 год.

**Вплив попередніх витримок при 1073К у вакуумі
на механічні властивості (σ_e , σ_T , МПа) сплаву**

Час експозиції, год	Міцнісні характеристики; коеф. поперед. навант.	$n\sigma$, МПа				
		0	10	20	40	60
100	σ_e/σ_T , МПа	400/340	400/325	395/330	390/324	385/320
	k_n	0	0,125	0,250	0,500	0,75
500	σ_e/σ_T , МПа	418/340	425/360	420/380	410/340	405/330
	k_n	0	0,143	0,286	0,571	0,857
1000	σ_e/σ_T , МПа	470/427	455/-	455/440	455/400	440/420
	k_n	0	0,167	0,333	0,667	1

За нормальних умов після вакуумного відпалу при 1273 К протягом 1 год. $\sigma_e=376$ МПа, $\sigma_T=270$ МПа.

Отримані результати (рис. 3, 4) свідчать про високу стабільність механічних властивостей ванадію і сплаву на його основі. Але цього не достатньо, щоб вважати, що термічно активовані процеси при цій температурі гальмуються і їх шкідливий вплив (наприклад: розміщення, окрихчення) неможливий. Необхідне застосування додаткових методів досліджень, зокрема фізичних.

Нелегований ванадій ВнМ2 характеризується ОЦК ґраткою з постійною 0,30323 нм. У процесі ресурсних випроб встановлено: практично лінійне збільшення постійної ґратки зразків з часом та рівнем навантажень (рис. 5), порівняно з ґраткою зразків-свідків (перебували в ідентичних температурно-часових умовах, що і решта, але не навантажені) свідчать, що в матриці можливе протікання процесів впорядкування домішок втілення, натікання із залишкової, атмосфери зокрема вуглецю та кисню [8, 9], їх зв'язування у сполуки V_2C та VO , розпаду аналогічних домішкових сполук.

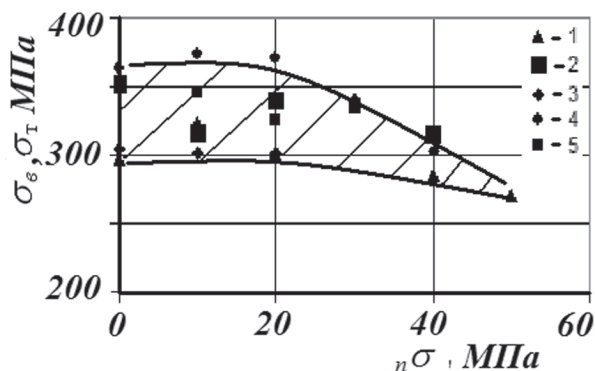


Рис. 3. Вплив попередніх витримок під напруженням ($n\sigma$) у вакуумі на механічні властивості ванадію: 1 — σ_e , 100 год; 2 — σ_e , 500 год; 3 — σ_T , 500 год; 4 — σ_e , 1000 год; 5 — σ_T , 1000 год

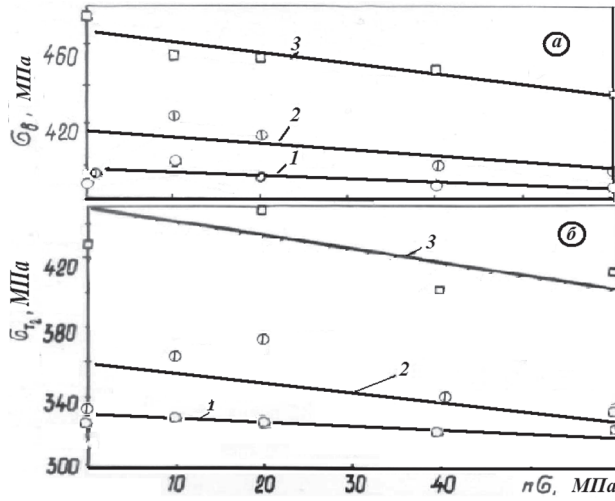


Рис. 4. Вплив попередніх витримок під напруженням (σ_0) у вакуумі на механічні властивості ВЦУ: межу міцності (а) і нижню межу плинності (б) після витримок 1 – 100 ; 2 – 500 ; 3 – 1000 год

Сплаву ВЦУ характеризується ОЦК ґраткою з постійною 0,30310 нм дещо меншою, ніж у нелегованого ванадію технічної чистоти ($a=0,30323$ нм). Насамперед це пов'язано із меншим вмістом азоту у ванадії та зв'язуванням вуглецю в карбід цирконію в сплаві. В процесі ресурсних випроб встановлено неоднозначну залежність постійної ґратки зразків з часом та рівнем навантажень (рис. 6). Порівняння з ґраткою зразків-свідків (перебували в ідентичних температурно-часових умовах, що й решта, але не навантажені) свідчить, що в матриці можливе протікання процесів впорядкування домішок втілення, натікання із залишкової атмосфери зокрема вуглецю та кисню [8, 9], їх зв'язування у сполуки V_2C та VO та впорядкуванню інших дисперсних складових сплав, зокрема карбїду ZrC . Значення постійної для карбїду від часу старіння мають складну залежність з максимумом в області 500 год (рис. 6, крива 2).

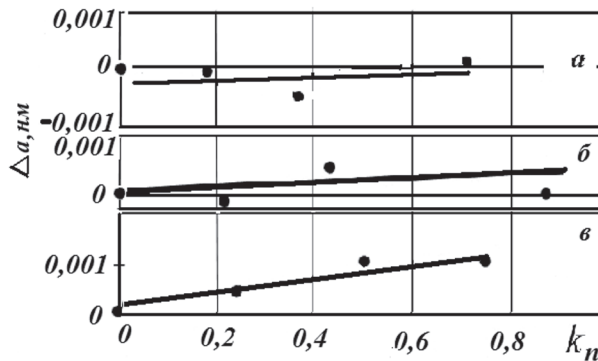


Рис. 5. Вплив ресурсних випроб при 1073 К на зміни постійної ґратки ванадію: а — 100 год, б — 500 год, в — 1000 год

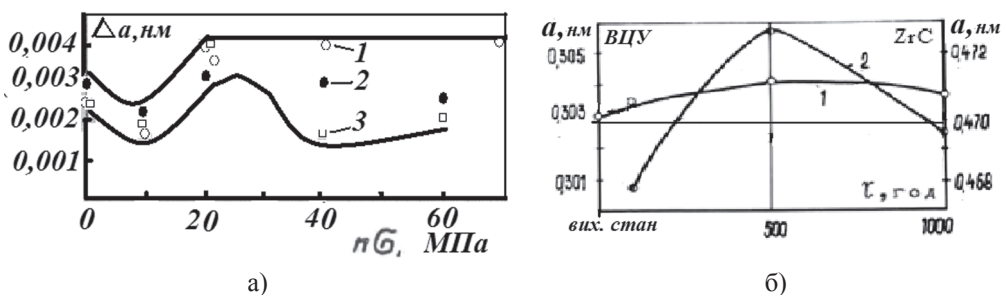


Рис. 6. Вплив навантажень при 1073 К на зміни постійної ґратки сплаву ВЦУ протягом (а): 1 — 100 год, 2 — 500 год, 3 — 1000 год та часу випроб (б) на постійну ґратку матриці (1) і карбиду цирконію (2) без навантажень

Додатково оцінити процеси, що протікають у металі, можна за допомогою вивчення змін його термоелектричних властивостей.

Як правило, термоелектричні явища в металах і сплавах складні, але чутливі до змін їх хімічного складу та дефектності [11]. В них можливе виникнення ТЕРС, зумовленої контактною різницею потенціалів та залежної від теплових коливань ґратки і дифузії електронів.

На рис. 7 наведено криві залежностей ТЕРС від умов ресурсних випроб. Хід кривих ТЕРС свідчить, що лише після 500-годинної експозиції настає стабілізація термоелектричних властивостей ванадію (рис. 7а). Його флуктуації незалежно від рівня прикладених навантажень протягом 500 і 1000 годин незначні (рис. 7б). Але протягом перших 100 годин стабілізація характерна лише для матеріалу, що був під максимальним навантаженням.

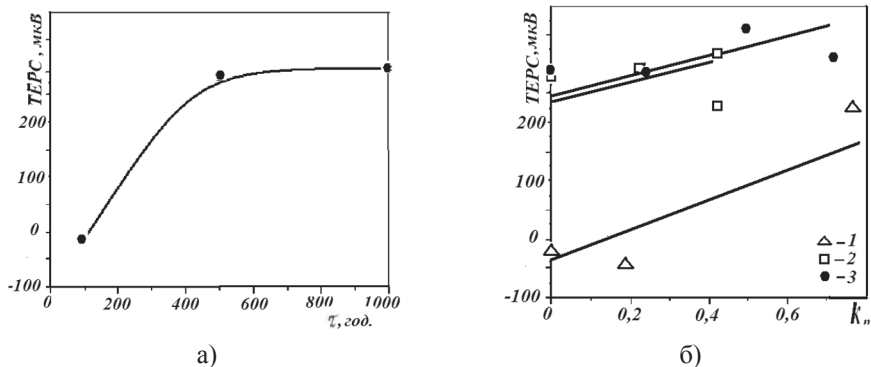


Рис. 7. Вплив тривалості (а) ресурсних випроб при $T=1073 \text{ К}$ ($\sigma_n=0$) та рівня попередніх навантажень (б) на ТЕРС ванадію: 1 — 100 год; 2 — 500 год; 3 — 1000 год

На рис. 8 наведено криву залежності ТЕРС від часу ресурсних випроб сплаву. Хід кривої ТЕРС свідчить, що із збільшенням тривалості термоедс суттєво знижується (рис. 8)

Таким чином встановлено, що в процесі ресурсних випроб нелегованому ванадію у вакуумі при 1073 К притаманна висока стабільність механічних власти-

ностей. Цей висновок підтверджується незначними змінами σ_s , σ_T для контрольних взірців після експозицій. Проте відхилення (рис. 5) постійної ґратки з часом експозиції та рівнем k_n свідчать про накопичення в ній дефектів. Ріст параметра ґратки можливий у зв'язку з розчинення в твердому розчині на основі ванадію домішок втілення, передусім кисню, джерелом яких служить високотемпературне середовище. Згідно з [10], їх розчинення в ґратці ванадію до 1 ат % призводить до її збільшення на 0,00038...0,00041 нм. Отже, здатність до поглинання кисню за високих температур зберігається навіть в наших умовах — умовах «безоливного» високого вакууму.

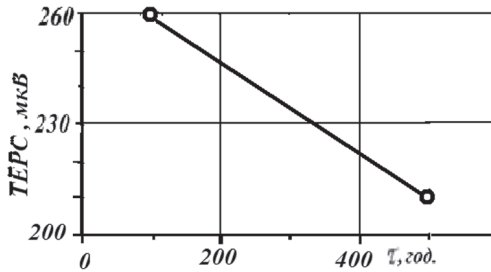


Рис. 8. Вплив тривалості старіння при 1073 К на ТЕРС сплаву ВЦУ

Протягом ресурсних випроб сплаву ВЦУ системи V-Zr-C у вакуумі при 1073 К притаманна висока стабільність механічних властивостей. Цей висновок підтверджується незначними змінами σ_s , σ_T для контрольних взірців після експозицій. Проте відхилення (рис. 6) постійної ґратки з часом експозиції та рівнем k_n свідчать накопичення в ній дефектів. Зокрема ріст параметра ґратки можливий у зв'язку з розчиненням в твердому розчині на основі ванадію домішок втілення насамперед кисню, джерелом яких слугує високотемпературне середовище. Згідно з [10], їх розчинення в ґратці ванадію може призводити до її зростання на 0,00038...0,00041 нм на 1 % за лінійним законом. Отже, здатність до поглинання кисню за високих температур зберігається навіть в наших умовах — умовах «безоливного» високого вакууму. Порівняно з нелегованим ванадієм за решти ідентичних умов випробувань сплав поглинає більшу кількість кисню (табл. 3). Крім того, на постійну ґратки може впливати і вуглець, який вивільнюється або зв'язується в процесі формування карбиду цирконію змінної стехіометрії.

Таблиця 3

Вплив витримок у вакуумі при 1073К на вміст елементів втілення

Досліджувані матеріали	Стан	Вміст легуючих елементів та домішок втілення, % мас					
		V	Zr	C	O	N	H
1	2	3	4	5	6	7	8
ВнМ-2	Після відпалу	решта	-	0,050	0,050	0,040	0,001
	100год.		-	0,050	0,010	0,040	0,001
	500		-	0,050	0,017	0,040	0,001
	1000		-	0,050	0,016	0,040	0,001

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
ВЦУ	Після відпалу	решта	3,0	0,370	0,010	0,008	0,001
	100		3,0	0,370	0,030	0,008	0,001
	500		3,0	0,370	0,018	0,008	0,001
	1000		3,0	0,370	0,020	0,008	0,001

Згідно з сучасними класичною електронною та зонною теоріями Мотта–Джонса, електропровідності термоелектричні властивості надзвичайно чутливі до структурних і найменших змін в електронному енергетичному спектрі металів, а наявність структурних неоднорідностей, як-от: дефекти кристалічної решітки, домішки, залишкові напруження, пластична деформація і їх вплив проявляється в ході кривих відповідних залежностей (рис. 7, 8). ТЕРС із часом та рівнем попередніх навантажень зростає. Її відносні зміни на багато більші, ніж інших характеристик. Стабілізація відбувається лише після 500 годинної експозиції.

Висновки. На основі аналізу експериментальних результатів встановлено, що в безолівному вакуумі тривале навантаження до 1000 год та його рівень при 1073 К не суттєво впливають на міцнісні механічні властивості ванадію технічної чистоти.

У процесі витримок можливе поглинання металом домішок втілення з залишкової атмосфери, що супроводжується зростанням постійної ґратки та ТЕРС. Їх значення збільшуються з часом та рівнем навантажень. Максимальну чутливість до стану металу виявляють при застосуванні термоелектричного методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shyrovkov V. V., Vasylyv Ch. B., Shyrovkov O. V. Ways of improving the high-temperature work service of vanadium and some alloys used in reactors. *Journal of Nuclear Materials*. 2009. 394. Pp. 114–122.
2. Михайлов В. М., Евтихин В. А., Люблинский И. Е. и др. Литий в термоядерной и космической энергетике XXI века. Москва: Энергоиздат, 1999. 528 с.
3. Грязнов Г. Н., Евтихин В. А., Завяльский Л. П. и др. Материаловедение жидкометаллических систем термоядерных реакторов. Москва: Энергоиздат, 1989. 220 с.
4. Широков В. В. Шляхи підвищення жароміцності і корозійної тривкості ванадію та деяких сплавів реакторного призначення. *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. 1999. № 3. С. 91–104.
5. Концепция использования и защиты конструкционных и функциональных материалов для ядерных и энергетических установок. Дурягина З. А. и др. *Металлознание та обробка металів МиТОМ*. 2001. № 3. С. 77–84.
6. Прочность деформируемых металлов. Под ред. Г. Г. Максимовича. Киев: Наук. думка, 1976. 270 с.
7. Максимович Г. Г. Микромеханические исследования свойств металлов и сплавов. Киев: Наук. думка, 1974. 241 с.
8. Shyrovkov V. V., Tsvikilevitch O. S., Ch. B. Vasylyv. Stability of strengthened niobium alloys in long-term high-temperature loading conditions. *Z. Metallkunde*, 93 (2002). №11. Pp. 1123–1131.

9. Широков В. В., Широков О. В. Вплив ресурсних випроб на структуру та фізико-механічні властивості ванадію (Мат. XVIII Відкрита н.-т. конф. молодих наук. і спец. Фіз.-мех. ін-туту ім. Г. В. Карпенка НАН України «КМН-2003», 8–10 жовтня 2003 р.). Львів, 2003. С. 81–85.
10. Фромм Е., Гебхардт Е. Газы и углерод в металлах: пер. с нем. Москва: «Металлургия», 1980. 712 с.
11. Лухвич А. А. Влияние дефектов на электрические свойства металлов. Минск: Наука и техника, 1976. 69 с.
12. Неразрушающий контроль пластической деформации методом измерения дифференциальной термоЭДС. Солдатов А. А. и др. Дефектоскопия. 2012. № 3. С. 49–51.

REFERENCES

1. Shyrokov, V. V., Vasyliv, Ch. B., & Shyrokov, O. V. (2009). Ways of improving the high-temperature work service of vanadium and some alloys used in reactors: *Journal of Nuclear Materials*, 394, 114–122 (in English).
2. Mikhailov, V. M., Evtikhin, V. A., & Liublinskii, I. E. i dr. (1999). *Litii v termoiadernoi i kosmicheskoi energetike XXI veka*. Moskva: Energoizdat (in Russian).
3. Griaznov, G. N., Evtikhin, V. A., & Zavialskii, L. P. i dr. (1989). *Materialovedenie zhidkometallicheskih sistem termoiadernykh reaktorov*. Moskva: Energoizdat (in Russian).
4. Shyrokov, V. V. (1999). Shliakhy pidvyshchennia zharomitsnosti i korozii noi tryvkosti vanadiiu ta deiakykh splaviv reaktornoho pryznachennia: *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 3, 91–104 (in Ukrainian).
5. Duriagina, Z. A. i dr. (2001). Kontseptciia ispolzovaniia i zashchity konstrukcionnykh i funktsionalnykh materialov dlia iadernykh i energeticheskikh ustanovok: *Metaloznavstvo ta obrobrobka metaliv MyTOM*, 3, 77–84 Рус + укр. (in Ukrainian).
6. Pod red. Maksimovicha, G. G. (1976). *Prochnost deformiruemykh metallov*. Kiev: Nauk. Dumka (in Russian).
7. Maksimovich, G. G. (1974). *Mikromekhanicheskie issledovaniia svoistv metallov i splavov*. Kiev: Nauk. Dumka (in Russian).
8. Shyrokov, V. V., Tsvikilevitch, O. S., & Vasyliv, Ch. B. (2002). Stability of strengthened niobium alloys in long-term high-temperature loading conditions: *Z. Metallkunde*, 11, 1123–1131 (in English).
9. Shyrokov, V. V., & Shyrokov, O. V. (2003). Vplyv resursnykh vyprob na strukturu ta fizyko-mekhanichni vlastyivosti vanadiiu (Mat. XVIII Vidkryta n.-t. konf. molodykh nauk. i spets. Fiz.-mekh. in-tutu im. H. V. Karpenka NAN Ukrainy «KMN-2003», 8–10 zhovtnia 2003 r.). Lviv (in Ukrainian).
10. Fromm, E., & Gebkhardt, E. (1980). *Газы и углерод в металлах: пер. с нем*. Moskva: «Metallurgiiia» (in Russian).
11. Lukhovich, A. A. (1976). *Vliianie defektov na elektricheskie svoistva metallov*. Minsk: Nauka i tekhnika (in Russian).
12. Soldatov, A. A. i dr. (2012). Nera zrushaiushchii kontrol plasticheskoi deformatcii metodom izmereniia differentsialnoi termoEDS: *Defektoskopiia*, 3, 49–51 (in Russian).

**THE ROLE OF THREE DIMENSIONS IN THE FORMATION
OF STRUCTURE AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES
OF VANADIUM AND ALLOY OF THE SYSTEM
OF VANADIUM–ZIRCONIUM–CARBON**

V. V. Shyrovkov, O. V. Shyrovkov

Ukrainian Academy of Printing
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
vvshyrovkov@gmail.com

The results of complex high-temperature tests of vanadium (technical cleanliness) and alloys based on it have been presented. High stability of physic-mechanical properties and structures after the expositions in vacuum at 1073 K during 1000 h at the pressure up to 0,75 from border of long-term durability have been established.

Keywords: *vanadium, high temperature, strength, tension, constant of lattice.*

Стаття надійшла до редакції 06.09.2017.

Received 06.09.2017.