

УДК 620.198.539.43.621

С.В. РибаківНаціональний університет “Львівська політехніка”,
кафедра зварювального виробництва
діагностики і відновлення металоконструкцій**ВИБІР СПОСОБУ І РЕЖИМІВ НАНЕСЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ
ПОКРИТЬ НА НІОБІЄВІ СПЛАВИ**

© Рибаків С.В., 2003

Розглянуті деякі способи нанесення дифузійних жаростійких покриттів на ніобієві сплави з рідкіснометалевих розчинів. Показано, що найбільш доцільно використання термоступінчастого режиму отримання дифузійних покриттів з використанням сполук дифузантив, які дисоціюють при низьких температурах.

Some methods of diffusion hard-resistance coating to columbium alloys from liquid metal solutions has been investigated. It has been shown that stepped temperature conditions are more useful in order junction with low-temperature diffusants for high quality coatings.

Існує ряд способів отримання захисних дифузійних покриттів з рідкіснометалевих транспортних середовищ. З метою поліпшення технологічності (зниження температури і тривалості дифузійного насичення, економії дорожочінних і рідкісних металів, розширення кола отриманих покриттів, можливості створення багатошарових покриттів з одної рідкіснометалевої ванни, запобігання змін фізико-механічних властивостей метала – основи та короблення деталей під час нанесення покриттів) розроблений спосіб, в якому використовують дифузанти не в чистому вигляді, як в інших способах, а хімічні сполуки елементів, що наносяться*. При термічній дисоціації сполук, температура якої залежить від обраного типу сполук, в транспортний розплав виділяється елемент, що наноситься в атомарному вигляді. Це дає змогу знизити температуру процесу і уникнути витрат часу, необхідних звичайно для розчинення чистого елемента в розплаві. Крім того, у пересиченому транспортному розплаві дифузійна металізація відбувається дещо швидше. За рахунок того, що в розплав вводиться не чистий дифузанти, а рівна за масою кількість його сполуки, за рахунок повного використання отриманого зі сполуки елемента (чистий метал не завжди повністю розчиняється в розплаві і використовується для отримання покриття), з'являється можливість економії дорожочінних і рідкісних металів.

Використання сполук різних елементів з різною температурою термічної дисоціації дозволяє отримати послідовно два і більше шарів покриття за рахунок застосування ступінчастого температурного режиму. При температурі, на 20–30 градусів вище температури дисоціації першої сполуки, відбувається насичення зразка першим елементом. Після досягнення необхідної товщини дифузійного шару температуру підвищують на 20–30 градусів вище початку розкладання сполуки другого дифузанта. Відбувається нанесення другого шару покриття. Кількість сполук елементів, що наносяться, залежить від потрібної кількості шарів. Різниця в температурах дисоціації повинна бути не менша 50 градусів. Вибираючи відповідні сполуки, можна отримати багатошарове покриття з заданим чергуванням шарів з одної ванни транспортного розплаву.

* Рыбаков С. В., Шатинский В. Ф., Гойхман М. С. А.с. 740862 (СССР). Способ Химико-термической обработки металлов и сплавов. – Оубл. в Б.И., 1980. – № 22.

Коло транспортних розплавів обмежується умовою дуже малого розчинення у них матеріалу зразка. Тому не завжди можна підібрати розплав, у якому не розчинявся би матеріал виробу, а дифузанти мав би розчинність, достатню для інтенсивного масопереносу. У випадку використання запропонованого методу елемент, що наноситься, практично миттєво при термічній дисоціації сполуки потрапляє в розплав в атомарному вигляді і бере участь в під час масопереносу. Оскільки використання сполук, які дисоціюють при низьких температурах, дозволяє знизити температуру і довготривалість процесу дифузійної металізації, зменшується небезпека короблення деталей. Вибравши необхідну температуру можна запобігти небажаним змінам фізико-механічних характеристик матеріалу основи (структурні зміни, погіршення механічних і корозійних характеристик тощо). За рахунок зниження дифузійної рухомості атомів дифузанта в металі виробу при понижених температурах виключається значне зниження його концентрації в покритті (розсмоктування покриття).

Для оцінки якості і захисних властивостей отриманих покриттів зразки досліджувалися методами металографії, вимірювали мікротвердість і мікротермо-ЕРС, проводили рентгеноструктурний і мікрорентгеноспектральний аналізи. Крім того, зразки з покриттями витримували при температурах 1323–1373 К у вакуумі 1,3 Па і 5 мПа упродовж 100 годин. Після цього визначали їх міцнісні характеристики в нормальних умовах і порівнювали з характеристиками зразків без покриттів і з покриттями, але які не зазнавали дії високотемпературного газового середовища. За ступенем зміни міцнісних характеристик і маси зразків можна судити про захисні властивості отриманих покриттів. Для визначення можливості короткочасної експлуатації ніобієвих сплавів з отриманими покриттями на повітрі при високих температурах частину зразків витримували при температурі 1173 К на повітрі. За зміною маси зразків, а також маси відшарованої окислини судили про жаростійкість того чи іншого покриття.

Така методика визначення якості і захисних властивостей отриманих покриттів дозволяє оперативно оцінювати їх переваги і недоліки, підбирати оптимальні режими насичення тим чи іншим металом (дифузантом).

За діаграмами стану сплаву металів, які входять у склад основи і покриття, можна оцінити склад фаз, що утворюються, залежно від умов дифузійного насичення. Проте склад покриття не завжди можна точно прогнозувати внаслідок того, що є тільки подвійні чи потрійні діаграми стану, в той час як у склад покриття і насичуваного сплаву може входити і більша кількість компонентів. Крім того, треба мати на увазі, що для отримання дифузійних покриттів на основі твердих розчинів розмір атому дифузанта не повинен перевищувати розмір атому металу основи більше ніж на 16%. Тому розробка складу покриття і вибір режиму дифузійного насичення потребують великого об'єму експериментальних досліджень з індивідуальним підходом до вивчення конкретної системи середовище – дифузанти – матриця.

Захист ніобієвих сплавів від окислення може бути забезпечений дифузійними покриттями у випадку, коли: покриття в результаті взаємодії з киснем утворює щільну і міцну окисну плівку, яка перешкоджає подальшій дифузії кисню і окисленню матриці; елементи чи елементи, що наносяться, утворюють з матеріалом основи з'єднання, чи тверді розчини, які мають малу хімічну спорідненість з киснем і одночасно є протидифузійним бар'єром для кисню; елементи, що наносяться, в результаті взаємодії між собою і з компонентами основного металу утворюють жаростійкі з'єднання. При цьому захисні шари не повинні мати різкої межі розділу з основним матеріалом, а також значної відмінності в коефіцієнтах термічного розширення перехідного шару, основного матеріалу і покриття. Крім того, склад покриття повинен залишатися достатньо стабільним під час експлуатації, тобто не повинно відбуватися випаровування або дифузії компонентів покриття в матрицю.

Для створення жаростійких покриттів вибрали такі дифузанти: Al, Si, Zr, Hf, Ti, Ta, Y, Dy – як метали, що утворюють при контакті з киснем міцну окисну плівку; В, Ве, Si, Al, Cr – як елементи, які утворюють з ніобієм жаростійкі інтерметалічні з'єднання; Pd, Pt, Ni, Re – як метали, що утворюють з ніобієм інтерметалічні з'єднання і мають низьку хімічну спорідненість до кисню. Крім того, деякі елементи (Mo, Si, Al, Ni, Cr, Y) утворюють між собою з'єднання з підвищеною жаростійкістю. Як транспортне середовище при нанесенні покриттів використовували розплави Na, Li, Pb та їх суміші.

Усі вибрані дифузанти наносили при температурі 1273 К з витримкою 25 годин, оскільки в таких умовах забезпечуються достатньо високі розчинності у транспортному розплаві і швидкості дифузії елементів, що наносяться. Наведені металофізичні дослідження показали, що такий ізотермічний режим не дозволяє отримати покриття достатньої товщини з високою концентрацією нанесеного елемента на поверхні дифузійного шару внаслідок значно більших швидкостей дифузії елемента, що наноситься, в матрицю, порівняно з доставкою дифузанта в атомарному стані з розплаву до поверхні деталі. З метою усунення вказаних недоліків, крім ізотермічних (1, 2), використовували режими термоциклювання (3) і термоступенчасті (4, 5) (табл. 1).

Таблиця 1

Режими нанесення покриттів

Номер режиму	Витримка	
	температура, К	час, год
1	1273	25
2	1673	5
3	1273	8
4	1123	15
	923	17
	823	9
5	1273	5
	1123	24
	923	17
	823	9

Примітка. При режимі 6 використовуються дисоціюючі з'єднання дифузанта.

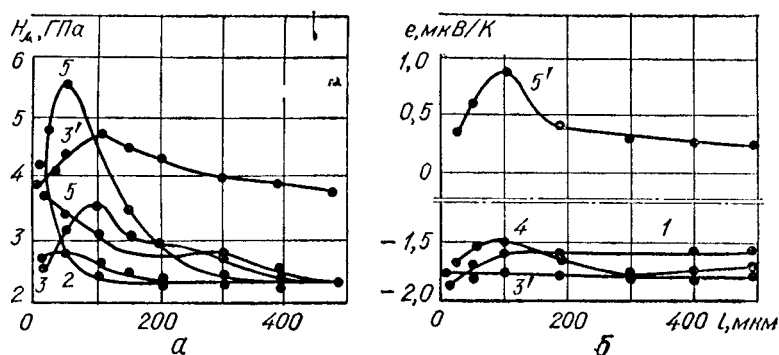


Рис. 1. Мікротвердість (а) і мікротермо-ЕРС (б) сплаву 5ВМЦ після нанесення паладію з розплаву літію по режимах 1-5 (криві 1-5), режиму 5 на карбідний підшар (крива 5') та після витримки в технічному аргоні при 1173 К упродовж 190 г (крива 3')

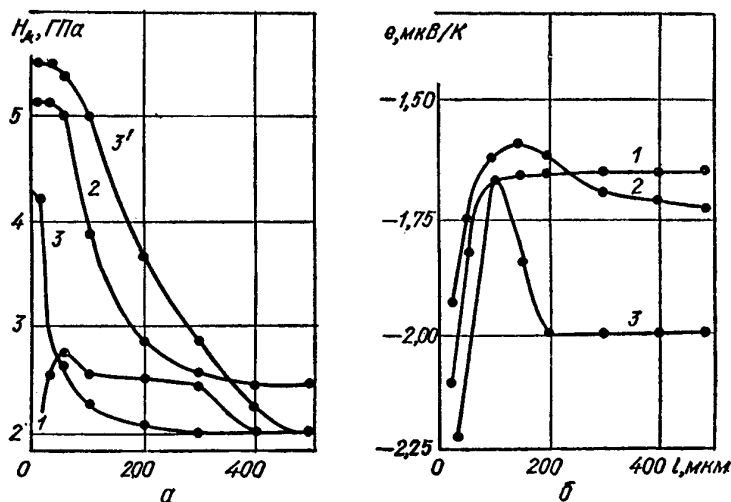


Рис. 2. Мікротвердість (а) і мікротермо-ЕРС (б) сплаву 5ВМЦ після нанесення ренію з розплаву літію по режимах 1, 4, 5 (криві 1, 2, 3), режиму 5 на карбідний підшар (крива 3')

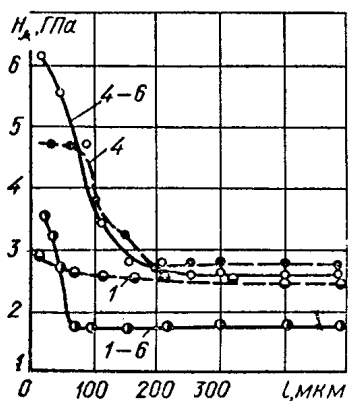


Рис. 3. Мікротвердість сплаву 5ВМЦ після насичення різними способами ренієм.
Цифри – номери режимів

Таблиця 2

Характеристики жароміцності і жаростійкості сплаву 5ВТЦ у вакуумі з покриттями і без них

Покриття	Вихідні		P=5,2 мПа			P=1,3 Па		
	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	ΔM , кг/м ²	σ_B , МПа	δ , %	ΔM , кг/м ²
Без покриття	564	35,0	545	29,2	1,70	572	26,1	23,37
Re	662	7,4	758	11,4	1,24	707	7,8	5,42
	310	2,9	-	-	-	650	17,0	18,89
Re-Pd	717	10,1	718	11,0	0,62	734	12,0	7,12
	664	6,8	-	-	-	719	10,6	8,20
Pd	651	12,4	-	-	-	696	8,0	6,35
Zr	601	31,7	523	34,0	0,15	535	32,3	6,04
Zr-Pd	699	26,9	571	26,2	0,12	568	26,8	11,61

Примітка. Покриття отримані із розплаву літію по режиму 5 (див. табл. 1). Випробовування після 50 г витримки при температурі 1323 К.

Вимірювання мікротвердості та мікротермо-ЕРС показали, що глибина дифузійного насичення і кількість інтерметалідної фази максимальні при нанесенні покриття по ступінчастому режиму 5. Прикладом може бути нанесення по різних температурних режимах паладію (рис. 1) і ренію (рис. 2). Крім того, у всіх випадках при отриманні покриття з використанням нового способу (режим 6) при інших рівних умовах вдається підвищити вміст цього елемента в покритті. Наприклад, при отриманні ренієвого покриття використання як дифузанта замість чистого ренію солі K_2ReCl_6 дає змогу підвищити концентрацію ренію в покритті. При цьому утворюється додаткова кількість інтерметалідної фази, що збільшує мікротвердість дифузійної зони (рис. 3) і межу міцності зразків (табл. 2).

Використання високотемпературного режиму 2 також дозволяє отримати задовільне за якістю покриття. Однак використання високих температур від'ємно відбивається на технологічності процесу. Використання термоступінчастого режиму 5 дає можливість зменшити термічні напруження як в самому покритті, так і на межі покриття – матриця. Цей методичний прийом створює більш сприятливі умови і для формування перехідної зони при покращанні загальної технологічності процесу. Тому надалі найкращі характеристики жаростійкості і жароміцності отримані на зразках, які піддавалися дифузійному насиченню по термоступінчастому режиму 5. З випробуваних транспортних розплавів найкращі результати отримані при насиченні в розплаві літію.

УДК 517.9+534.111

Б.І. Сокіл, А.М. Сліпчук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної механіки

НЕЛІНІЙНІ ПОПЕРЕЧНІ КОЛИВАННЯ ПРУЖНОГО РУХОМОГО КАНАТУ І МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

© Сокіл Б.І., Сліпчук А.М., 2003

У межах уточненої моделі розглядаються поперечні коливання одновимірних пружних систем (канату, струни, линви), які рухаються уздовж своєї недеформованої осі з постійною швидкістю. Отримано диференціальне рівняння, яке описує динамічні процеси у зазначених одновимірних системах; запропоновано методику його дослідження. Вона дає отримати залежності для визначення впливу фізико-механічних і кінематичних характеристик системи на амплітуду і частоту її коливань.

In borders of the specified model the cross fluctuations of one-measurable elastic systems (rope, string, tow) are considered(examined) which move along the not deformed axis with constant speed. The differential equation is received which is described dynamic processes in specified one-measurable by(with) system; is offered, for certain(determined) of the assumptions, technique of his(its) research, which permits to receive dependences, which define(determine) influence physico-mathematical and kinematic of the characteristics of system on its(her) amplitude and frequency of fluctuations.

Динамічні процеси, що відбуваються в одновимірних лінійно пружних системах з незмінними геометричними і фізико-механічними характеристиками вивчені у достатньою