

УДК 541.135.3.:546.77

А.І. ГАБ⁽¹⁾, доцент, кандидат хімічних наукД.Б. ШАХНІН⁽²⁾, науковий співробітник, кандидат хімічних наукВ.В. МАЛИШЕВ^(1,2), директор інституту, доктор технічних наукВ.Г. ВЕРБИЦЬКИЙ⁽³⁾, завідувач кафедри програмного забезпечення, доктор технічних наукЙ.К. ОГІНСЬКИЙ⁽³⁾, завідувач кафедри металургійного обладнання, доктор технічних наукЗ. УСТУНДАГ⁽⁴⁾, доцент, кандидат хімічних наук

БУДОВА ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОДВІЙНИХ КАРБІДІВ ВОЛЬФРАМУ ТА МОЛІБДЕНУ

⁽¹⁾ Університет «Україна», м. Київ⁽²⁾ Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАНУ, м. Київ⁽³⁾ Запорізька державна інженерна академія⁽⁴⁾ Університет «Думлупінар», м. Кютахья, Туреччина

Розглянуто діаграми стану систем «вольфрам - молібден - карбон», «вольфрам - молібден - ферум - карбон», «вольфрам - молібден - кобальт - карбон» та «вольфрам - молібден - нікель - карбон».

Ключові слова: діаграма стану, вольфрам, молібден, карбон, кобальт, нікель.

Вступ. Карбіди вольфраму та молібдену, що одержано в кінці XIX століття, до теперішнього часу залишаються головними компонентами металокерамічних твердих сплавів, які широко використовують як у металообробці, так і інших галузях промисловості. Ретроспективний аналіз досліджень діаграм стану *W-C* і *Mo-C* показав, що розроблені сучасні способи одержання та дослідження карбідів вольфраму та молібдену дозволили одержати нові дані й уточнити існуючі. У пошуках високотемпературних матеріалів найбільш доцільно вивчати складні системи перехідних металів з неметалами, оскільки сплави таких систем мають жароміцні, жаростійкі, зносостійкі та інші цінні властивості.

Одним з найважливіших завдань під час виробництва твердих сплавів є створення безвольфрамових твердих сплавів або пошук рівноцінних замінників, які спроможні зберігати високі фізико-механічні та експлуатаційні властивості. Одним з таких замінників може бути молібден, який має здатність утворювати хімічні сполуки, аналогічні сполукам вольфраму. Найбільш широко молібден і вольфрам застосовують у вигляді карбідів молібдену та вольфраму під час виробництва ріжучих і зносостійких матеріалів, що застосовують у металообробці, нафтовій, газовій та гірничодобувній промисловості, будівельній індустрії, електроніці й електротехніці, а також військово-промислового комплексу [1,2].

Розмір зерна вихідного матеріалу (один з найпоширеніших матеріалів – карбід вольфраму) та процентний вміст сполучного металу (*Co*, *Fe*, *Ni*) мають визначальний вплив на фізичні

властивості сплаву – твердість, міцність і зносостійкість. Додавання ультрадисперсних порошків до сполучного матеріалу покращує властивості стандартних твердих сплавів за рахунок змінювання їх структурних параметрів. Включення тугоплавких і твердих ультрадисперсних частинок у прошарках сполучного матеріалу дозволяють підвищити стійкість до зношування за підвищеної температури, під час високошвидкісного різання, та, окрім того, є бар'єрами на шляху поширення мікротріщин. За рахунок наявності в структурі твердого сплаву ультрадисперсних порошків знижується адгезійний знос і підвищується стійкість інструменту в 1,3...1,8 разів у порівнянні з традиційними твердими сплавами. З іншого боку, спікання твердих сплавів з нанопорошків із сполучним металом дозволить одержати нові наноструктурні тверді сплави, які, окрім різкого підвищення твердості та зносостійкості (більше ніж у два рази), повинні мати на 30...50 % вищі показники міцності, що дозволить поширити області їх застосування. Особливо високі показники мають вироби, що виготовлено з нанорозмірних, ультрадисперсних і субмікронних порошків, розмір зерен яких становить від 50 до 850 нм [3].

Серед способів синтезу порошків карбідів, здатних вирішити задачу одержання нанорозмірних частинок, вельми перспективним є високотемпературний електрохімічний синтез (ВЕС). В основі ВЕС подвійного карбіду молібдену та вольфраму лежить багатоелектронні електрохімічні процеси спільного виділення молібдену, вольфраму і вуглецю на катоді та їх подальша взаємодія на атомарному рівні з утворенням нанорозмірних порошків подвійного карбіду молібдену і вольфраму. Такий метод виключає необ-

хідність у проміжних стадіях підготовки вихідного матеріалу і цим значно скорочує технологічну схему виробництва, а також не потребує складного обладнання та є екологічно безпечним [4,5].

Постановка завдання. Метою роботи була систематизація даних щодо діаграм стану систем «вольфрам - молібден - карбон», «вольфрам - молібден - ферум - карбон», «вольфрам - молібден - кобальт - карбон», а також «вольфрам - молібден - нікель - карбон».

Результати та їх обговорення. 1. Діаграма стану системи «вольфрам - молібден - карбон»

Відповідно до літературних даних, у подвійних системах $Mo-C$ і $W-C$ [6-8] існують монокарбіди $\alpha-MeC_{1-x}$ з кубічною структурою типу $NaCl$ і напівкарбіди MeC з гексагональною структурою типу $NiAs$, яка під час охолодження сплавів переходить в упорядковану ромбічну модифікацію типу $\zeta-Fe_2N$. Окрім згаданих сполук, у системі «молібден - карбон» утворюється монокарбід $\eta-MeC_{1-x}$, а в системі «вольфрам - карбон - карбід» карбіди WC , які мають гексагональні структури власного типу. Сполуки $\alpha-WC_{1-x}$, $\alpha-MoC_{1-x}$, $\eta-MoC_{1-x}$ і WC зазнають евтектоїдного розпаду за температури 2803, 2233, 1928 і 1523 К відповідно. У системі «молібден - вольфрам» встановлено необмежену розчинність компонентів.

Фазові рівноваги у системі $Mo-W-C$ вивчали у роботах [9-11]. На основі рентгенівського аналізу сплавів у цій роботі побудовано схематичний ізотермічний переріз діаграми стану за температури 1983 К. Підтверджена можливість утворення подвійних карбідів вольфраму та молібдену.

Систему детально досліджено за температури 2473 і 2273 К методами рентгенівського та мікροструктурного аналізів із застосуванням вимірювання мікротвердості та побудовано відповідні ізотермічні перерізи в області до 50,0 ат. % C [12]. При цьому встановлено існування обмежених твердих розчинів на основі карбідів $\alpha-MoC_{1-x}$, $\eta-MoC_{1-x}$, WC і безперервного ряду твердих розчинів між Mo_2C та W_2C . За зазначених температур, а також за температури 1773 К спостерігали гексагональну форму карбіду $(Mo,W)_2C$: якщо швидкість охолодження під час загартування не перевищувала 293...303 К/с, у сплавах з'являлась ромбічна модифікація. Упорядковані ромбічні модифікації W_2C і Mo_2C утворюють безперервний ряд твердих розчинів (БРТР), причому температура реакції порядок - безлад змінюється безперервно від 1703 К (Mo_2C) до 2373 К (W_2C).

Вивчення розчинності вуглецю у молібден-вольфрамовому твердому розчині показало, що область гомогенності трійного твердого розчину (Mo,W,C) за температури 2273 К плавно звужується від сторони $Mo-C$ (0,6 ат. % C) до сторони $W-C$ (0,2...0,1 ат. % C). За температури 1273 К границя на молібденовому кінці лежить у межах 0,10...0,05 ат. % C , а на вольфрамовому кінці знаходиться за межами чуттєвості хімічного аналізу на вуглець [13].

Автори [11] досліджували фазову рівновагу в системі «молібден - вольфрам - карбон» за температури 1273 К. За результатами рентгенівського та мікροструктурного аналізів зразків, які були загартовані, побудовано ізотермічний переріз діаграми стану систем «молібден - вольфрам - карбон» за температури 1273 К в області до 50,0 ат. % C (рис. 1).

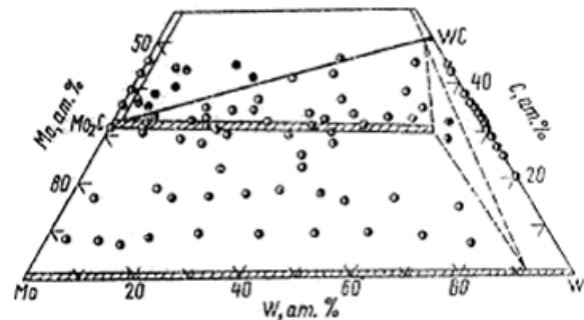


Рисунок 1 – Ізотермічний переріз системи $Mo-W-C$ за температури 1273 К

За даної температури карбіди $\alpha-MoC_{1-x}$ і $\eta-MoC_{1-x}$ не існують і вільний карбон знаходиться в рівновазі з твердим розчином на основі WC і твердим розчином $(Mo,W)_2C$, який містить до 3,0 ат. % W . Область гомогенності $(Mo,W)_2C$ щодо карбону є шириною менше ніж 2,0 ат. %, а нижня – вище ніж 31,0 ат. % C . Її верхня межа проходить нижче ніж 33,0 ат. % C . На рентгенограмах усіх сплавів після відпалу за температури 1273 К протягом 400 год. спостерігали розширення деяких ліній, що свідчить про упорядкування атомів карбону та зниження симетрії структур $(Mo,W)_2C$ від гексагональної до ромбічної. За тривалості відпалу до 1500 год., окрім утворення ромбічної модифікації, можна було спостерігати евтектоїдний розпад частини БРТР $(Mo,W)_2C$ зі сторони багатой за вольфрамом (до 10,0 ат. % Mo), на тверді розчини $(Mo,W)C$ і $(Mo,W)_2C$. В роботі [13] повний розпад W_2C на WC і W було досягнуто протягом 1500 год. відпалу за температури 1273 К. Мабуть, швидкість евтектоїдного розпаду W_2C та $(Mo,W)_2C$ залежить від умов одержання та термічної обробки сплавів.

Автори роботи [9] одержували сплави системи «вольфрам - молібден - карбон» шляхом розплавлення реліту та лігатури. Лігатуру готували шляхом плавлення аналогічно до приготування сплавів. Досліджували методами високо-температурного ДТА, мікроскопічного та рентгенівського (на порошках в *SiKa*-випромінюванні) аналізів і шляхом вимірювання твердості та мікротвердості.

2. *Діаграма стану системи «вольфрам - молібден - ферум - карбон»*

Діаграму стану системи «вольфрам - моліб-

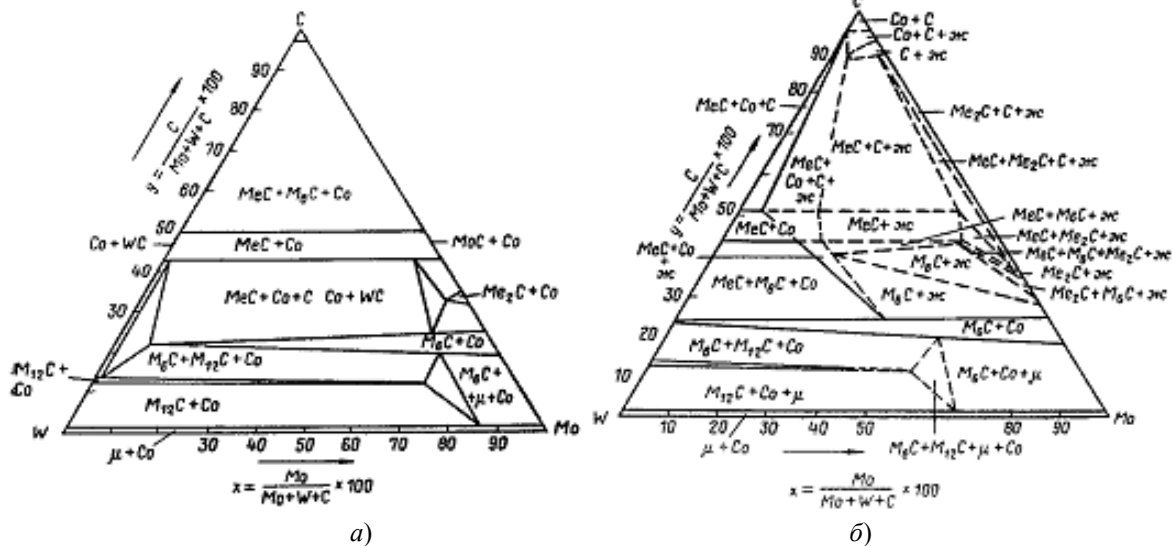


Рисунок 2 – Переріз ізотермічного тетраедра системи «карбон - кобальт - молібден - вольфрам» за постійним вмістом 60,0 ат. % *Co*, а) $T = 1373$ К; б) $T = 1548$ К

1 - межа між фазовими областями $\gamma/\gamma + M_6C$;
 2 - межа між фазовими областями $\gamma/\gamma + \xi$;
 3 - межа між фазовими областями $\gamma/\gamma + MC$;
 4 - межа між фазовими областями $\gamma/\gamma + M_2C$
 (літературні експериментальні дані), при цьому γ є твердим розчином на основі $\gamma-Fe$.

Пунктирна лінія на рис. 2,а є метастабільним продовженням між фазовими областями $\gamma/\gamma + M_6C$, а на рис. 2,б – метастабільним продовженням меж між фазовими областями $\gamma/\gamma + \xi$ і $\gamma/\gamma + MC$. На рис. 2 (в-д) подано розраховані перерізи ізотермічного тетраедра системи *C-Fe-Mo-W* (до 100 % *W* і 100 % *Mo*) за температури 1273 К і $a_c = 0,138$; 0,56 і 0,937 відповідно: 1 - 4 – те ж саме, що і на рис. 2,а і 2.б. В табл. 1 узагальнено відомості про чотирифазні рівноваги у системі *C-Fe-Mo-W* за температури 1273 К.

3. *Діаграма стану системи «вольфрам - молібден - кобальт - карбон»*

Діаграма стану системи «вольфрам - молібден - кобальт - карбон» вивчена у роботах [15,16]. Дослідження виконували методами ДТА, мікроскопічного, рентгенівського та мік-

ден - ферум - карбон» автори роботи [14] розраховували з використанням моделі декількох підґраток і літературних експериментальних даних з фазових рівноваг у системі *C-Fe-Mo-W*. Параметри моделей різних фаз оптимізували на ЕОМ за допомогою програми оптимізації, яку розроблено Jansson. На рис. 2 подано розраховані перерізи ізотермічного тетраедра системи *C-Fe-Mo-W* (до 5,0 % *W* і 5,0 % *Mo*) за температури 1273 К та активності карбону відносно графіту a_c , яка становить 0,56 і 0,937 (концентрація карбону відповідно 1,01 і 1,44 %):

рентгеноспектрального аналізу. Вміст карбону в сплавах визначали хімічним шляхом. ДТА здійснювали в атмосфері аргону за допомогою *Pt/Pt-Rh*-термоелектричного термометра, який проградуєвано за точками плавлення золота, міді та нікелю. ДТА піддавали сплави, що випалено за температури 1373 К протягом 170...300 год. Загальна кількість вивчених сплавів ~ 50.

На рис. 3,а подано переріз ізотермічного тетраедра системи «карбон - кобальт - молібден - вольфрам» за постійним вмістом 60,0 ат. % *Co* за температури 1373 К, де μ -фаза – $Co_7(Mo,W)_6$, $M_{12}C-Co_6(Mo,W)_6C$ і $M_6C-Co_3(Mo,W)_3C$, а на рис. 3,б – аналогічний переріз за температури 1548 К. Карбіди *MoC* і *WC* створюють безперервні ряди твердих розчинів. У системі «карбон - кобальт - молібден - вольфрам» є можливими такі нонваріантні метастабільні евтектичні рівноваги, які спостерігають за температури від 1548 до 1373 К: рід $\Leftrightarrow Co + MC + M_2C + C$ і рід $\Leftrightarrow Co + MC + M_2C + M_6C$, де *Co* – твердий розчин на основі кобальту.

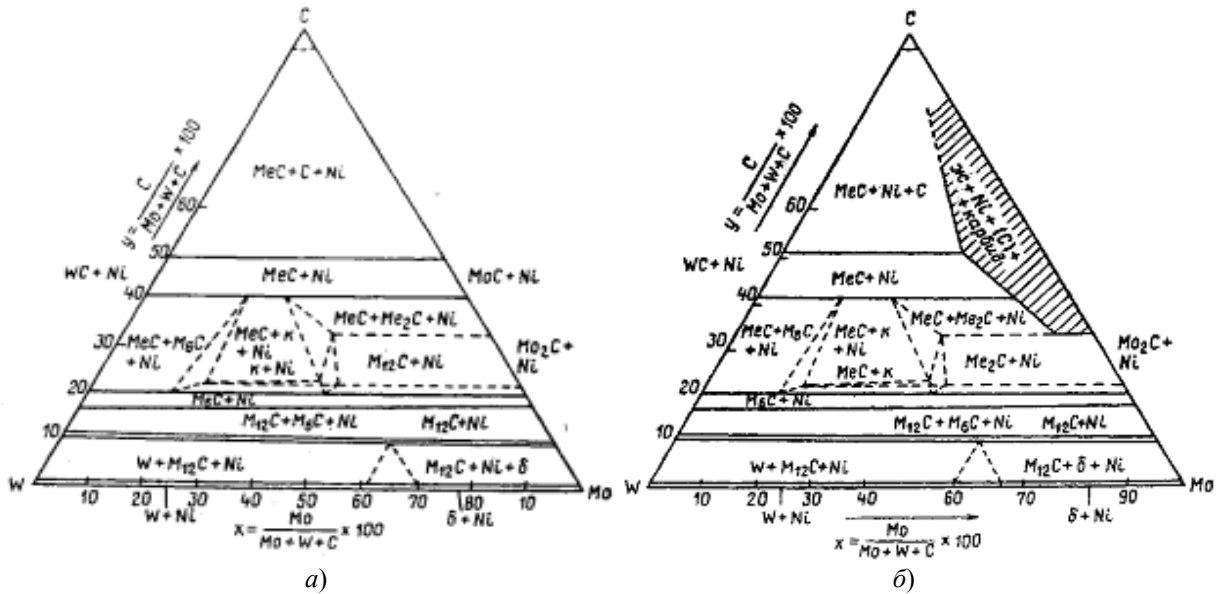


Рисунок 3 – Переріз ізотермічного тетраедра системи карбон-молібден-нікель-вольфрам за постійним вмістом 60,0 ат. % Ni: а) $T = 1373$ К, б) $T = 1548$ К

Таблиця 1 - Відомості про чотирифазні рівноваги в системі C-Fe-Mo-W за 1273 К

Рівновага	Фаза	Концентрація компонентів у фазі, %		
		C	Mo	W
Графіт $\Leftrightarrow \gamma + Fe_3C + MC$	γ	1,53	0,44	0,72
	Fe_3C	6,58	1,35	1,63
	MC	6,69	9,91	83,40
Графіт $\Leftrightarrow Fe_3C + \xi + MC$	Fe_3C	6,51	5,20	0,65
	ξ	5,43	3,46	6,37
	MC	8,64	44,56	46,80
Графіт $\Leftrightarrow \xi + M_2C + MC$	ξ	5,49	39,16	2,18
	M_2C	6,23	82,39	1,91
	MC	9,81	65,53	24,65
$Fe_3C + MC \Leftrightarrow \gamma + \xi$	Fe_3C	6,51	5,12	0,74
	MC	8,47	41,65	49,88
	γ	1,53	1,75	0,34
	ξ	5,40	33,89	7,24
$\xi + M_2C + MC \Leftrightarrow M_6C$	ξ	5,39	37,07	5,67
	M_2C	6,06	80,08	5,65
	MC	8,72	45,99	45,29
	M_6C	2,48	48,83	11,33
$\xi + MC \Leftrightarrow \gamma + M_6C$	ξ	5,36	35,81	6,96
	MC	8,47	41,55	49,98
	γ	1,13	2,32	0,46
	M_6C	2,45	46,84	13,60
$\xi \Leftrightarrow \gamma + M_6C + M_2C$	ξ	5,47	39,80	2,24
	γ	1,10	2,55	0,15
	M_6C	2,57	53,93	4,58
	M_2C	6,18	83,07	2,13
$M_6C + M_2C + MC \Leftrightarrow \alpha$	M_6C	1,65	12,44	67,67
	M_2C	3,51	15,17	81,26
	MC	6,35	3,93	89,72
	α	0,000032	4,91	95,02
$\alpha + \text{ФЛ} + M_6C \Leftrightarrow \mu$	α	0,0045	4,15	5,34
	ФЛ	-	15,91	40,78
	M_6C	1,98	25,78	46,14
	μ	-	17,93	45,93

Примітка: α – твердий розчин з ОЦК-граткою; ФЛ – фаза Лавеса; μ – фаза $Fe_7(W, Mo)_6$

4. Діаграма стану системи вольфрам - молибден - нікель - карбон

В роботах [15,16] ДТА піддавали сплави, які було випалено за температури 1373 К протягом 70...300 год. Загальна кількість вивчених сплавів ~ 50. На рис. 4,а подаено переріз ізотермічного тетраедра системи «карбон - молибден - нікель - вольфрам за постійним вмістом 60,0 ат. % Ni за температури 1373 К, де фаза M_6C – карбід $Ni_2(Mo,W)_4C$, а на рис. 4,б – аналогічний переріз за температури 1548 К. Карбіди MoC і WC утворюють між собою безперервні ряди твердих розчинів. У системі «карбон - молибден - нікель -

вольфрам» можливе існування нонваріантної метастабільної евтектичної рівноваги рід $\Leftrightarrow (Ni) + M_2C + C + MC$, де Ni – твердий розчин на основі нікелю.

Висновки.

1. Узагальнено літературні дані щодо будови та фізико-хімічних властивостей подвійних карбідів вольфраму та молибдену.

2. Підтверджено доцільність використання складних систем перехідних металів з неметалами в якості жароміцних і жаростійких матеріалів.

Бібліографічний список

1. **Курська, Т. М.** Матеріалознавство та технологія матеріалів [Текст] / Т. М. Курська, Г. О. Чорнобай, С. Б. Єрьоменко. – Харків : УЦЗУ, 2008. – 136 с.
2. **Гарнець, В. М.** Матеріалознавство [Текст] / В. М. Гарнець. – Київ : Кондор, 2009. – 351 с.
3. **Хільчевський, В. В.** Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів [Текст] / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко. – Київ : Техніка, 2010. – 465 с.
4. **Малишев, В. В.** Високотемпературна електрохімія та електроосадження металів IV-VIA груп та їх сполук в іонних розплавах [Текст] / В. В. Малишев. – Київ : Університет «Україна», 2004. – 323 с.
5. **Malyshev, V. V.** Chapter 3. Tungsten Carbide: High Temperature Electrochemical Synthesis from Ionic Melts, Technologies of Obtaining and Regeneration [Text] / V. V. Malyshev, I. A. Novoselova, A. I. Gab etc. // *Advances in Chemistry Research*. – 2016. – Vol. 33. – Pp. 71-123.
6. **Kurlov, A. S.** Tungsten and Molybdenum Carbides and W(Mo)-C Diagram [Text] / A. S. Kurlov, A. I. Gusev // *Inorganic Materials*. – 2006. – Vol. 42. – P. 121-127.
7. **Лякишев, Н. П.** Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст] / Н. П. Лякишев. – Справочник в трех томах. – М. : Машиностроение, 1996. – 992 с. – ISBN 5-217-02688-X.
8. **Science of Hard Materials** / Ed. : R. Viswanadham. – Springer, US, 2012. – 1012 p.
9. **Еременко, В. Н.** Структура и некоторые свойства сплавов системы Mo-W-C по разрезу $MoC_{0.65}-WC_{0.62}$. [Текст] / В. Н. Еременко, Т. Я. Великанова, С. В. Слепцов и др. // *Диаграмма состояния в материаловедении*. – Киев : Наукова думка, 1984. – С. 37-50.
10. **Gustafson, P.** A thermodynamic evolution of the C-Mo-W system [Text] / P. Gustafson // *Z. Metallk.* – 1988. – Vol. 79. – Pp. 397-402.
11. **Горшкова, Л. В.** Система молибден-вольфрам-углерод [Текст] / Л. В. Горшкова, В. С. Телегус, Ф. И. Шамрай, Ю. Б. Кузьма // *Порошковая металлургия*. – 1973. – № 3. – С. 74-76.
12. **Горшкова, Л. В.** Высокотемпературные фазовые равновесия в системе молибден - вольфрам - углерод [Текст] / Л. В. Горшкова, В. С. Телегус // *Диаграмма состояния металлических систем*. – М. : Наука, 1971. – С. 106-109.
13. **Горшкова, Л. В.** Сплавы вольфрама, молибдена и ниобия с бором и углеродом [Текст] / Л. В. Горшкова, Ф. И. Шамрай, В. И. Харитонов. – М. : Наука, 1974. – 118 с.
14. **Gustafson, P.** A thermodynamic evaluation of the C-Fe-Mo-W system [Text] / P. Gustafson // *Z. Metallk.* – 1988. – Vol. 79. – Pp. 421-425.
15. **Schubert, W. D.** Phasengleichgewichte in den Systemen Co-Mo-W-C und Ni-Mo-W-C [Text] / W. D. Schubert, P. Ettmayer, B. Lux etc. // *High Temperatures - High Pressures*. – 1982. – Vol. 14. – P. 87-100.
16. **Агеев, О. А.** Фазы внедрения в технологии полупроводниковых приборов и СБИС [Текст] / О. А. Агеев, А. Е. Беляев, Н. С. Болтовец и др. – Харьков : НТК Институт монокристаллов, 2008. – 392 с.

ГАБ АНГЕЛИНА ИВАНОВНА, кандидат химических наук, доцент кафедры современной инженерии и нанотехнологий инженерно-технологического института, университет «Украина» (Киев, Украина). E-mail: lina_gab@ukr.net

ШАХНИН ДМИТРИЙ БОРИСОВИЧ, кандидат химических наук, научный сотрудник отдела физической химии ионных гидроксидов, Институт общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАНУ (Киев, Украина). E-mail: shakhnin@ukr.net

МАЛИШЕВ ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ, доктор технических наук, директор инженерно-технологического института, университет «Украина» (Киев, Украина). E-mail: victor_malyshev@mail.ru

ВЕРБИЦЬКИЙ ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ, доктор технических наук, зав. кафедры програм-

много обеспечения автоматизированных систем, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: oxidan@ukr-net

ОГИНСКИЙ ИОСИФ КУЗЬМИЧ, доктор технических наук, зав. кафедры металлургического оборудования, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: zgia_mo@mail.ua

УСТУНДАГ ЗАФЕР, кандидат химических наук, доцент кафедры химии факультета искусства и науки, университет «Думлупинар» (Кутахья, Турция). E-mail: zustundag@gmail.com

СТРОЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВОЙНЫХ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА

Рассмотрены диаграммы состояния систем «вольфрам – молибден – углерод», «вольфрам – молибден – железо – углерод», «вольфрам – молибден – кобальт – углерод» и «вольфрам – молибден – никель – углерод».

Ключевые слова: диаграмма состояния, вольфрам, молибден, углерод, кобальт, никель

GAB ANGELINA, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Department of Modern Engineering and Nanotechnologies of Engineering-Technological Institute, University «Ukraine» (Kiev, Ukraine). E-mail: lina_gab@ukr.net

ШАХНИН ДИМИТРИЙ, Candidate of Chemical Sciences, Scientist of Department of Physical Chemistry of Ion Liquids, V.I. Vernadskiy Institute of General and Inorganic Chemistry NASU (Kiev Ukraine). E-mail: shakhnin@ukr.net

MALYSHEV VIKTOR, Doctor of Technical Sciences, Director of Engineering-Technological Institute, University «Ukraine» (Kiev, Ukraine). E-mail: victor_malyshev@mail.ru

VERBITSKIY VLADIMIR, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Software for Automated System, Zaporizhska State engineering academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: oxidan@ukr.net

OGINSKIY JOSEPH, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Metallurgical equipment, Zaporizhska State engineering academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: zgia_mo@mail.ua

UCTUNDAG ZAFER, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Associate Professor of Chemistry Faculty of Art and Science, University «Dumlupinar» (Kutahya, Turkey). E-mail: zustundag@gmail.com

STRUCTURE AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES FOR DOUBLE CARBIDES OF TUNGSTEN AND MOLYBDENUM

Diagrams of the «tungsten - molybdenum – carbon», «tungsten - molybdenum - ferrum – carbon», «tungsten - molybdenum - cobalt – carbon», and «tungsten - molybdenum - nickel – carbon» systems were discussed.

Keywords: constitution diagram, tungsten, molybdenum, carbon, cobalt, nickel

Стаття надійшла до редакції 27.02.2017 р.
Рецензент, проф. О.П. Крупа

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>