

УДК 544:(344.3+015.35):546:(664'711'26):548.734

## ФАЗОВІ РІВНОВАГИ У СИСТЕМІ Dy–Mn–C ПРИ 600 °C

**В. Левицький, В. Бабіжецький, Б. Котур**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: v.levyckyuy@gmail.com*

Методами рентгенофазового, рентгеноструктурного аналізів та енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії вивчено фазові рівноваги у системі Dy–Mn–C при 600 °C у повному концентраційному інтервалі. Підтверджено існування чотирьох тернарних ( $Dy_2Mn_{2-x}C_5$ ,  $Dy_{11}Mn_{12}C_{18}$ ,  $Dy_{12}Mn_5C_{15}$ ,  $Dy_2Mn_{17}C_{3-x}$ ) і дванадцяти бінарних ( $Mn_{23}C_6$ ,  $Mn_5C_2$ ,  $Mn_7C_3$ ,  $Dy_2C$ ,  $Dy_4C_5$ ,  $Dy_3C_4$ ,  $Dy_2C_3$ ,  $\alpha$ - $DyC_2$ ,  $DyMn_{12}$ ,  $Dy_6Mn_{23}$ ,  $DyMn_2$ ,  $DyMn_{2-x}$ ) сполук. За цих умов склад сполуки  $Dy_2Mn_{17}C_{3-x}$  (СТ  $Tb_2Mn_{17}C_{3-x}$ , ПГ  $P6_3/mmc$ ;  $a = 8,7181(8)$ ,  $c = 8,5380(9)$  Å) перебуває при  $x \sim 0,5$ ,  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$  (СТ  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$ , ПГ  $I4/mmm$ ;  $a = 3,5910(5) - 3,6421(2)$ ,  $c = 15,752(3) - 15,7713(9)$  Å) – в межах  $0 \leq x \leq 0,6(1)$ .

*Ключові слова:* потрійна система, фазові рівноваги, карбіди рідкісноземельних та перехідних металів, кристалічна структура.

Вивчення фазових рівноваг системи Dy–Mn–C є частиною нашого систематичного дослідження взаємодії компонентів у потрійних системах з участю рідкісноземельних металів (РЗМ), перехідних 3d-металів та карбону. У зв'язку з особливостями синтезу (манган – легкий метал, за температури плавлення (1244 °C) тиск пари  $p = 120$  Па,  $t_{кип.} = 2119$  °C [1]) у літературі [2–6] йшлося про дослідження окремих сплавів систем РЗМ–Mn–C з метою синтезу ізоструктурних тернарних сполук, виявлених у споріднених системах. Унаслідок досліджень синтезовано чимало тернарних сполук та одержано їхні якісні монокристали з використанням літєвого флюсу (див. табл. 1). Фазові рівноваги вивчено для двох споріднених систем при 600 °C: Ce–Mn–C [7] та Gd–Mn–C [8]. У праці [6] йдеться про синтез, кристалічну структуру та фізичні властивості сполуки  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$  при її граничному складі за мінімального вмісту мангану ( $Dy_2Mn_{1,4}C_5$ ) і передбачено, що кристалографічні позиції атомів мангану в структурі сполуки можуть бути заповнені повністю. Тому мета нашого дослідження – вивчити фазові рівноваги системи Dy–Mn–C у повному концентраційному інтервалі при 600 °C та визначити області гомогенності окремих тернарних фаз за цих умов.

Синтезовано 45 зразків, придатних для фазового аналізу, з них 12 подвійних та 33 потрійні. Зразки готували сплавленням спресованих у таблетки вихідних компонентів ( $\geq 99,9$  мас. %): порошок мангану і графіту та стружки диспрозію в електродуговій печі в атмосфері аргону, попередньо очищеного розплавленим губчастим титаном як гетером. Особливістю такого методу синтезу манганвмісних зразків було те, що манган наважували з певним надлишком, щоб компенсувати втрати елемента, зумовлені його випаровуванням під час плавлення. Втім, потрібний надлишок вмісту мангану визначали експериментально з розрахунку різниці

теоретично необхідної і практично отриманої маси сплаву. У кінцевому підсумку одержували сплави з відносною похибкою в масі, що не перевищувала 5 %. Для гомогенізації сплавів їх відпалювали у вакуумованих кварцових ампулах за температури 600 °С тривалістю 720 год з подальшим гартуванням ампул зі зразками у холодній воді. У зв'язку з підвищеною хімічною активністю зразків на повітрі (гідролізом) їх зберігали у закритих пробірках під шаром вазелінової олії, або у вакуумованих скляних ампулах.

Таблиця 1

Літературні відомості про тернарні сполуки системи Dy–Mn–C

Сполука	Метод синтезу	Уточнений склад	Літ.
Dy <sub>2</sub> Mn <sub>17</sub> C <sub>3-x</sub>	Електродугове сплавляння спресованих у таблетки порошоків вихідних компонентів; ізотермічне відпалювання сплавів при 900, 800, 700 та 400 °С	Не уточнювали	[2]
Dy <sub>11-x</sub> Mn <sub>12+x</sub> C <sub>18</sub>	Електродугове сплавляння спресованих у таблетки порошоків вихідних компонентів; ізотермічне відпалювання сплавів при 900 °С; вирощування монокристалів під літєвим флюсом (800 °С)	Dy <sub>10,14</sub> Mn <sub>12,86</sub> C <sub>18</sub>	[3]
Dy <sub>12</sub> Mn <sub>5</sub> C <sub>15</sub>	Електродугове сплавляння спресованих в таблетки порошоків вихідних компонентів; ізотермічне відпалювання сплавів при 900 °С; вирощування монокристалів під літєвим флюсом (850 °С)	Dy <sub>12</sub> Mn <sub>5</sub> C <sub>15</sub>	[4]
Dy <sub>2</sub> Mn <sub>2</sub> C <sub>5</sub> Dy <sub>2</sub> MnC <sub>4</sub>	Електродугове сплавляння вихідних компонентів; ізотермічне відпалювання сплавів при 900 °С	Не уточнювали	[5]
Dy <sub>2</sub> Mn <sub>2-x</sub> C <sub>5</sub>	Електродугове сплавляння спресованих в таблетки порошоків вихідних компонентів; ізотермічне відпалювання сплавів при 800 °С	Dy <sub>2</sub> Mn <sub>1,4</sub> C <sub>5</sub>	[6]

Рентгенофазовий аналіз (РФА) сплавів проводили за масивами дифракційних даних, одержаних за допомогою порошоків дифрактометрів ДРОН–2,0 М (FeK $\alpha$ -випромінювання) та STOE STADI P (CuK $\alpha$ <sub>1</sub>-випромінювання). Для уточнення кристалічної структури сполук використовували метод порошку (пакет програм WinCSD [9]). Як додатковий метод для визначення граничного вмісту елементів-металів у зразках, використовували енергодисперсійну рентгенівську спектроскопію (ЕДРС).

За результатами рентгенофазового аналізу зразків побудовано ізотермічний переріз діаграми стану системи Dy–Mn–C при 600 °С, зображений на рис. 1. Попередні результати дослідження подані у тезах [10]. Визначена за допомогою ЕДРС розчинність третього компонента у бінарних сполуках систем Dy–C та Mn–C не перевищує 1 ат. %. Сполуки системи Dy–Mn також не розчиняють >1 ат. % Карбону, оскільки, як відомо, розчинність третього компонента у бінарній сполуці при утворенні розчинів включення (утворення розчинів заміщення є мало ймовірним, з огляду на електронну будову атомів компонентів) зазвичай супроводжується збільшенням параметрів елементарної комірки кристалічної структури у потрійній системі, порівняно як для чистої сполуки, чого не простежувалося у наших зразках. У табл. 2 наведено уточнені та літературні відомості про параметри елементарних комірок сполук досліджуваної трикомпонентної системи.

Сьогодні діаграму стану двокомпонентної системи Dy–C не побудовано. Порівняно з недавніми дослідженнями спорідненої системи Dy–Co–C при 800 °C [11] у відпалених при 600 °C зразках системи Dy–C не знайдено сполук  $Dy_4C_7$  та  $DyC_{1-x}$  ( $Dy_3C$ ), що може свідчити про те, що вони мають обмежений температурний інтервал існування та стійкі за вищих температур. Фазові рівноваги у системі Mn–C при 600 °C узгоджуються з відомою діаграмою стану цієї системи [12] і детальніше описані у праці [8]. Відома також діаграма стану системи Dy–Mn [12]. Проте результати нашого дослідження частково не узгоджуються з даними [12], зокрема щодо концентраційного поліморфізму сполуки  $DyMn_2$ , про що ми повідомляли раніше: кубічна фаза Лавеса (структурний тип  $MgCu_2$ ) має склад  $DyMn_2$ , гексагональна (структурний тип  $MgZn_2$ ) має склад  $DyMn_{2-x}$ , де  $x = 0,07$  [13].

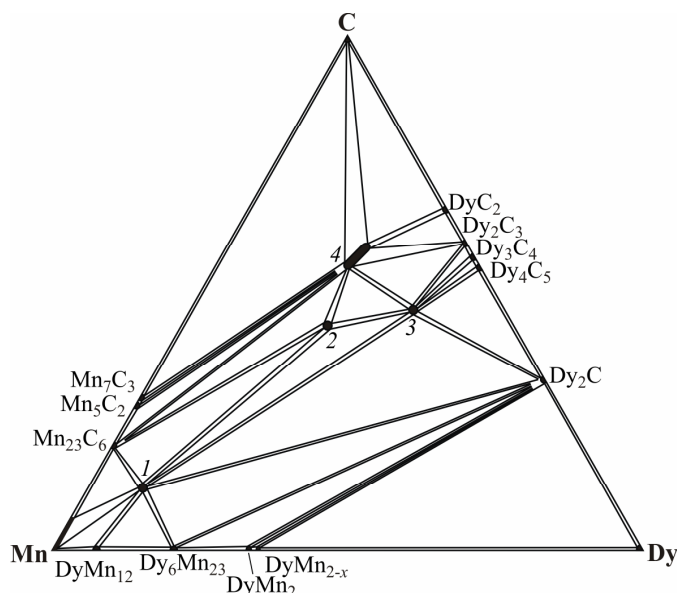


Рис. 1. Фазові рівноваги в системі Dy–Mn–C при 600 °C. Тернарні сполуки:  
1 –  $Dy_2Mn_{17}C_{3-x}$ ; 2 –  $Dy_{11-x}Mn_{12+x}C_{18}$ ; 3 –  $Dy_{12}Mn_5C_{15}$ ; 4 –  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$

Таблиця 2

Кристалграфічні параметри сполук, виявлених у системі Dy–Mn–C при 600 °C

Сполука	Структурний тип	Символ Пірсона	Просторова група	Параметри комірки, Å		V, Å <sup>3</sup>	Літ.
				a	c		
$Dy_2Mn_{17}C_{3-x}$	$Tb_2Mn_{17}C_{3-x}$	<i>hP44</i>	<i>P6<sub>3</sub>/mmc</i>	8,715	8,515	560,0	[2]
				8,7181(8)	8,5380(9)	562,0(2)	*
$Dy_{11-x}Mn_{12+x}C_{18}$	$Th_{11}Ru_{12}C_{18}$	<i>cI82</i>	<i>I4<math>\bar{3}m</math></i>	12,519	–	1962,1	[3]
$Dy_{12}Mn_5C_{15}$	$La_{12}Re_5C_{15}$	<i>hP32</i>	<i>P6<math>\bar{2}m</math></i>	10,468	5,038	478,1	[4]
$Dy_2Mn_{2-x}C_5$	$Dy_2Mn_{2-x}C_5$	<i>tI18</i>	<i>I4/mmm</i>	3,5910(5) – 3,6421(2)	15,752(3) – 15,7713(9)	203,1(1) – 209,20(2)	*, [6]

\* Наші дані.

Тернарну сполуку  $Du_2Mn_5C_4$  при  $600\text{ }^\circ\text{C}$  не виявлено. Підтверджено кристалічні структури двох інших тернарних фаз  $Du_{11-x}Mn_{12+x}C_{18}$  та  $Du_{12}Mn_5C_{15}$  (див. табл. 1). Уточнені параметри їхніх елементарних комірок добре узгоджуються з літературними відомостями, наведеними в табл. 2. Для сполуки  $Du_2Mn_{17}C_{3-x}$  були відомі лише параметри елементарної комірки і зазначено структурний тип  $Tb_2Mn_{17}C_{3-x}$  [2]. Ми провели уточнення її кристалічної структури методом порошку зі зразка складу  $Du_{10}Mn_{77}C_{13}$ , дифрактограму якого наведено на рис. 2. За вихідну модель взято структуру сполуки  $Tb_2Mn_{17}C_{3-x}$  [2]. Деталі уточнення наведено в табл. 3. Підтверджено належність кристалічної структури сполуки  $Du_2Mn_{17}C_{3-x}$  до структурного типу  $Tb_2Mn_{17}C_{3-x}$ , уточнені координати атомів подано в табл. 4. Заповнення позиції  $6h$  атомами карбону використаним методом уточнити не вдалося, тому, урахувавши вміст домішкової фази  $Du_{12}Mn_5C_{15}$  у зразку, можна вважати, що сполука  $Du_2Mn_{17}C_{3-x}$  має наближено стехіометричний склад  $Du_2Mn_{17}C_{2,5}$ . Область гомогенності сполуки лежить у вузькому концентраційному інтервалі, про що свідчить незмінність параметрів елементарної комірки цієї фази в різних дотичних до неї дво- та трифазових полях.

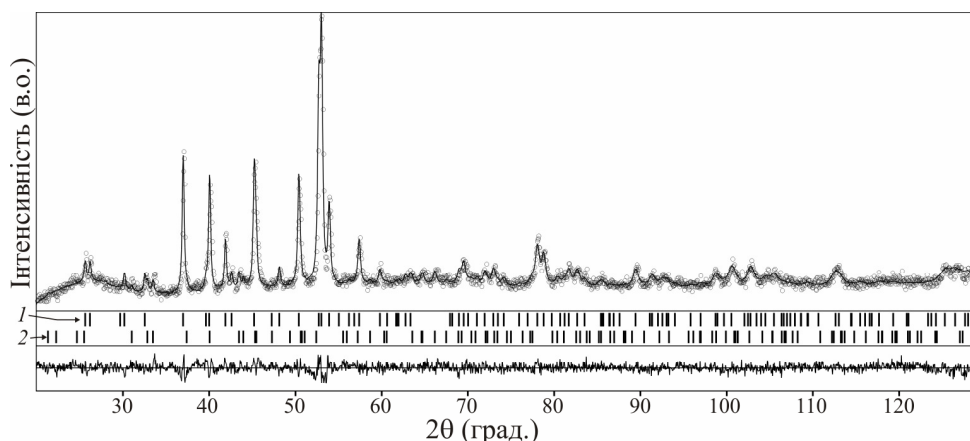


Рис. 2. Експериментальна (кружечки), теоретична (суцільна лінія) та різниця (внизу) дифрактограми зразка складу  $Du_{10}Mn_{77}C_{13}$ . Уточнені положення піків (вертикальні лінії): 1 –  $Du_2Mn_{17}C_{3-x}$ ; 2 –  $Du_{12}Mn_5C_{15}$

Таблиця 3

Деталі уточнення дифрактограми зразка складу  $Du_{10}Mn_{77}C_{13}$ 

Формула	$Du_2Mn_{17}C_{3-x}$	$Du_{12}Mn_5C_{15}$
Вміст фази у зразку (за дифрактограмою), мас. %	90,2(5)	9,8(5)
Уточнювані параметри: усього; вільні	52; 7	65; 1
Фактори розбіжності, %: $R_{b(l)}$	3,8	8,7
$R_p$ ; $R_{pw}$ ; $R_{exp}$		2,4; 3,4; 2,1
Дифрактометр		ДРОН-2,0 М
Випромінювання і довжина хвилі, Å		FeK $\alpha$ , 1,93736
$2\theta_{max}$ ; $\sin\theta/\lambda_{max}$		130,0; 0,467
Швидкість сканування $2\theta$ (град./с) та крок (град.)		0,167; 0,050

Таблиця 4

Координати та ізотропні температурні параметри зміщення атомів у структурі сполуки  $Dy_2Mn_{17}C_{3-x}$

Атом	ПСТ	x	y	z	$B_{зар}, \text{Å}^2$
Dy1	2b	0	0	1/4	0,60(8)
Dy2	2d	1/3	2/3	3/4	
Mn1	6g	1/2	0	0	
Mn2	12k	0,1709(8)	0,8291(8)	0,9717(9)	
Mn3	12j	0,322(2)	-0,056(2)	1/4	1,0*
Mn4	4f	1/3	2/3	0,109(2)	
C	6h	0,832(5)	0,168(5)	1/4	

Примітки. ПСТ – правильна система точок; \* – параметр не уточнювали, заповнення позиції карбону ~0,833.

Для уточнення меж області гомогенності  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$  використано метод ЕДРС. Методом порошку підтверджено фазовий склад і визначено параметри елементарної комірки  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$  за граничного вмісту мангану ( $0 \leq x \leq 0,6(1)$ ). На рис. 3 наведено мікроструктури зразків складу  $Dy_{20}Mn_{30}C_{50}$  (а) та  $Dy_{28}Mn_{12}C_{60}$  (б), на яких зазначено відповідні фазові області. З мікроструктур бачимо, що поверхні зерен активних на повітрі фаз  $DyC_2$  та  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$  за невеликий проміжок часу перебування в неінертній атмосфері частково прогідролізували, внаслідок чого фазові поля мають не зовсім однорідний вигляд у зв'язку з нерівностями поверхні. Проте дані ЕДРС засвідчують постійний вміст визначуваних елементів у межах цих фаз. Результати фазового аналізу наведено у табл. 5. Підтверджено закономірність, що елементарна комірка  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$  при  $x = 0,6(1)$  характеризується меншими параметрами, ніж при  $x = 0$  (див. табл. 2).

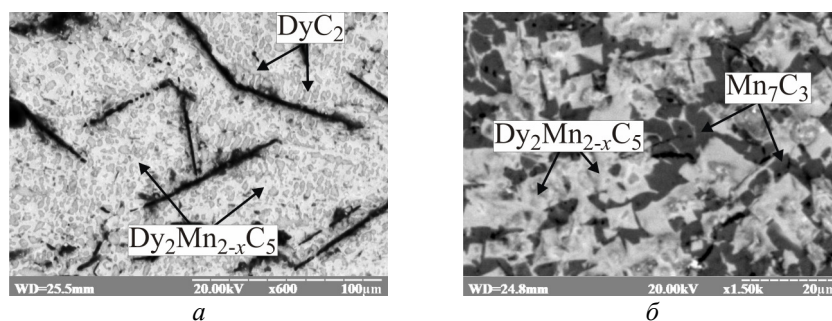


Рис. 3. Фотографія мікрошліфів зразків складу  $Dy_{20}Mn_{30}C_{50}$  (а) та  $Dy_{28}Mn_{12}C_{60}$  (б). Чорні лінії – мікротріщини на поверхні, заповнені вазеліновою олією

Таблиця 5  
Результати ЕДРС та РФА зразків складу  $Dy_{20}Mn_{30}C_{50}$  та  $Dy_{28}Mn_{12}C_{60}$ 

Склад зразка	Вміст Dy та Mn за ЕДРС (в перерахунку на $\Sigma(Dy, Mn) = 100\%$ )*		Формула сполуки за РФА
	Dy	Mn	
$Dy_{20}Mn_{30}C_{50}$	99,5	0,5	$DyC_2$
	57,1	42,9	$Dy_2Mn_{2-x}C_5, x = 0,6$ [6]
$Dy_{28}Mn_{12}C_{60}$	0,3	99,7	$Mn_7C_3$
	49,5	50,5	$Dy_2Mn_{2-x}C_5, x = 0$

\* Середнє значення з п'яти вимірювань, точність ЕДРС аналізу  $\pm 1$  ат. %.

Порівнюючи досліджений ізотермічний переріз діаграми стану системи Dy–Mn–C при 600 °С з вивченими раніше ізотермічними перерізами споріднених систем Ce–Mn–C та Gd–Mn–C за подібних умов [7, 8], варто зазначити таке. Закономірною особливістю систем є те, що найбільшу кількість тернарних сполук (4) виявлено у системі Dy–Mn–C, в якій утворюється більша кількість бінарних сполук (12). Спільною ознакою для усіх трьох систем є розподіл тернарних фаз у концентраційному інтервалі до 40 ат. % РЗМ. Це спрощує пошук нових сполук у споріднених ще невивчених системах R–Mn–C і дає можливість цілеспрямовано, швидше і економніше вести їхнє дослідження.

Автори висловлюють щире подяку магістру А. Магуню за допомогу у виготовленні зразків та інженеру Р. Серкізу (НТНЦ низькотемпературних досліджень ЛНУ ім. І. Франка) за проведення ЕДРС аналізу.

1. Дриц М. Е. (Ред.). Свойства элементов. Справочник. М.: Металлургия, 1985.
2. Block G., Jeitschko W.  $Tb_2Mn_{17}C_{3-x}$  with filled  $Th_2Ni_{17}$ -type structure and some structural and magnetic properties of related compounds // J. Solid State Chem. 1987. Vol. 70. P. 271–280.
3. Kahnert G. E., Jeitschko W.  $Dy_{10.14}Mn_{12.86}C_{18}$ ,  $Yb_{10.09}Mn_{12.91}C_{18}$  and other rare earth manganese carbides with structure derived from that of  $\alpha$ -Mn // J. Alloys Compd. 1993. Vol. 196. P. 199–205.
4. Böcker U. A., Jeitschko W., Block G. Preparation and crystal structure of the ternary carbides  $Ln_{12}Mn_5C_{15}$  with  $Ln = Y, Pr, Nd, Sm, Gd-Tm, Lu$  // J. Alloys Compd. 1996. Vol. 236. P. 58–62.
5. Pohlkamp M., Böcker U. A., Kahnert G. E., Jeitschko W. Seltenerdmetall-Mangan-Carbide mit  $U_2Cr_2C_5$  und  $Er_2FeC_4$ -Struktur // Z. Kristallogr. Kristallgeom. Kristallphys. Kristallchem. 1998. Bd. Supp15. S. 51.
6. Levytskyy V., Babizhetskyy V., Magun A. et al. A new ternary carbide  $Dy_2Mn_{2-x}C_5$  ( $x = 0.6$ ): Preparation, crystal structure and physical properties // J. Phys. Chem. Solids. 2015. Vol. 79. P. 72–77.
7. Hembara M., Levytskyy V., Babizhetskyy V., Kotur B. The Ce–Mn–C system at 600°C: phase equilibria and crystal structures of compounds // Proc. First international workshop “Actual problems of fundamental science”. Lutsk, Ukraine, 2015. P. 217–219.

8. *Левицький В., Магунь А., Бабіжецький В. та ін.* Фазові рівноваги системи Gd–Mn–C при 600 °C // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Хім. 2015. Вип. 56. Ч. 1. С. 18–24.
9. *Akselrud L., Grin Y.* WinCSD: software package for crystallographic calculations (Version 4) // J. Appl. Crystallogr. 2014. Vol. 47. P. 803–805.
10. *Левицький В. О., Магунь А. Я., Бабіжецький В. С., Котур Б. Я.* Системи R–Mn–C (R = Gd, Tb, Dy) при 600 °C: фазові рівноваги та кристалічні структури сполук // Зб. тез доп. XIX Укр. конф. з неорг. хімії за участю закорд. учених. Одеса, 2014. С. 219.
11. *Левицький В., Костецька А., Бабіжецький В. та ін.* Система Dy–Co–C при 800 °C // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Хім. 2013. Вип. 54. Ч. 1. С. 19–27.
12. *Massalski T. B. (Ed.)* Binary alloy phase diagrams. Second edition plus updates (CD version 1.0) // ASM International, 1990.
13. *Левицький В., Магунь А., Бабіжецький В., Котур Б.* Синтез нової бінарної сполуки DyMn<sub>2-x</sub> (x = 0,07) та дослідження її кристалічної структури // Зб. наук. праць XV наук. конф. “Львівські хімічні читання – 2015”. Львів, 2015. С. 226.

## PHASE EQUILIBRIA IN THE Dy–Mn–C SYSTEM AT 600 °C

V. Levytskyy, V. Babizhetskyy, B. Kotur

*Ivan Franko National University of Lviv,  
Kyryla & Mefodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine  
e-mail: v.levycky@gmail.com*

The isothermal section at 600 °C of the Dy–Mn–C phase diagram has been investigated by means of powder X-ray phase and structural analyses, and energy-dispersive X-ray spectroscopy. 45 samples have been prepared by arc melting of cold-pressed pellets of powders of the initial components, following by prolonged thermal annealing (720 h) of the alloys in evacuated quartz glass ampoules. Manganese excess was needed to avoid stoichiometry deviation from ideal composition of alloys due to its evaporation under electric arc. Prepared samples were protected from ambient humidity in enclosed plastic vials under vaseline oil or in evacuated glass ampoules.

Twelve binary compounds Mn<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, Mn<sub>5</sub>C<sub>2</sub>, Mn<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Dy<sub>2</sub>C, Dy<sub>4</sub>C<sub>5</sub>, Dy<sub>3</sub>C<sub>4</sub>, Dy<sub>2</sub>C<sub>3</sub>, α-DyC<sub>2</sub>, DyMn<sub>12</sub>, Dy<sub>6</sub>Mn<sub>23</sub>, DyMn<sub>2</sub>, and DyMn<sub>2-x</sub> have been found to exist at 600 °C. Reported earlier carbides Dy<sub>4</sub>C<sub>7</sub> and DyC<sub>1-x</sub> (Dy<sub>3</sub>C) possibly are stable at higher temperatures. All binaries do not dissolve more than 1 at. % of the third component. Four ternary compounds Dy<sub>2</sub>Mn<sub>17</sub>C<sub>3-x</sub>, Dy<sub>11-x</sub>Mn<sub>12+x</sub>C<sub>18</sub>, Dy<sub>12</sub>Mn<sub>5</sub>C<sub>15</sub> and Dy<sub>2</sub>Mn<sub>2-x</sub>C<sub>5</sub> were detected in the annealed alloys. Dy<sub>2</sub>Mn<sub>4</sub>, synthesized earlier at higher temperatures, was not observed to exist at 600 °C. The compounds Dy<sub>11-x</sub>Mn<sub>12+x</sub>C<sub>18</sub> and Dy<sub>12</sub>Mn<sub>5</sub>C<sub>15</sub> and their crystal structures have been confirmed. The crystal structure of Dy<sub>2</sub>Mn<sub>17</sub>C<sub>3-x</sub> was refined for the first time. It adopts Tb<sub>2</sub>Mn<sub>17</sub>C<sub>3-x</sub> structure type, space group *P6<sub>3</sub>/mmc*, unit cell parameters *a* = 8.7181(8), *c* = 8.5380(9) Å, and *x* is close to 0.5 as evaluated from the sample composition. Another ternary compound has broader homogeneity range, defined from the powder X-ray diffraction and energy dispersive spectroscopy data: Dy<sub>2</sub>Mn<sub>2-x</sub>C<sub>5</sub>, own structure type, space group *I4/mmm*, *a* = 3.5910(5) – 3.6421(2), *c* = 15.752(3) – 15.7713(9) Å, 0 ≤ *x* ≤ 0.6(1).

The system Dy–Mn–C at 600 °C has the highest number of ternary compounds (4) among the studied as yet related ternary systems  $R$ –Mn–C ( $R$  = rare earth). A common peculiarity of these systems is the formation of ternary phases in the range up to 40 at. %  $R$ . This feature can be used for investigation of not yet studied related ternary systems and synthesis of new ternary carbides.

*Key words:* ternary system, phase equilibria, rare earth and transition metal carbides, crystal structure.

Стаття надійшла до редколегії 31.10.2016

Прийнята до друку 04.01.2017