

rials. -1998. -**34**, № 5. -P. 496—498.

5. Сыч А.М., Новик Т.В. // Журн. неорган. химии. -1977. -**22**, № 1. -С. 68—74.
6. Milanova M.M., Kakihana M., Arima M. et al. // J. Alloys and Compounds. -1996. -**242**, № 1-2. -P. 6—10.
7. Prasadarao A.V., Selvara J-U., Komarneni S. // J. Materials Res. -1995. -**10**, № 3. -P. 704—707.
8. Prasadarao A.V., Selvara J-U., Komarneni S., Bhalla A.S. // Ibid. -1992. -**7**, № 10. -P. 2859—2863.
9. Prasadarao A.V., Selvara J-U., Komarneni S., Bhalla A.S. // J. Amer. Ceram. Soc. -1992. -**75**, № 10. -P. 2697—2701.

10. Титов Ю.А., Слободяник Н.С. // Теорет. и эксперим. химия. -2003. -**39**, № 6. -С. 357—361.
11. Титов Ю.О., Чумак В.В., Слободяник М.С. // Укр. хім. журн. -2005. -**71**, № 1. -С. 19—23.
12. Nam H.D., Park I.H., Song Y.J., Desu S.B. // Ferroelectrics. -1996. -**186**, № 1-4. -P. 137—140.
13. Пивоварова А.П., Страхов В.И., Салтыкова В.А. // Неорган. материалы. -1999. -**35**, № 8. -С. 953—955.
14. Титов Ю.О., Слободяник М.С., Чумак В.В. // Укр. хім. журн. -2007. -**72**, № 1. -С. 9—14.

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

Надійшла 15.03.2007

УДК 541.122

В.С. Судацова, Н.В. Подопрігора

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗПЛАВІВ ПОДВІЙНИХ СИСТЕМ Ni—IVb-МЕТАЛ

Методом калориметрії в ізоперіболічному режимі визначені інтегральні та парціальні ентальпії змішування розплавів подвійних систем Ni—Zr (Hf) при 1770 ± 5 К. Встановлено, що рідкі Ni—Zr (Hf) сплави утворюються з виділенням великої кількості теплоти. Аналіз власних та літературних даних дозволив встановити температурну залежність ентальпій змішування подвійних розплавів Ni—Zr та Ni—Hf. З використанням Шредера уточнені активності компонентів Ni—Ti (Zr, Hf) розплавів із координат ліній ліквідуса діаграм стану даних систем. Показано, що для розплавів Ni—Zr спостерігається кількісне, а для Ni—Ti (Hf) — якісне узгодження між експериментальними та розрахованими активностями компонентів. Розраховані ΔG та ΔS розплавів систем Ni—IVb-метал.

Нікелевим суперсплавам властива висока корозійна стійкість, жароміцність, жаростійкість, ефект запам'ятовування форми та комплекс інших цінних властивостей [1—4]. Для удосконалення методів отримання та визначення оптимальних умов експлуатації сплавів необхідно знати їх термодинамічні властивості. В зв'язку з цим метою даної роботи було дослідження термодинамічних властивостей розплавів подвійних систем Ni—Zr (Hf) методом ізоперіболічної калориметрії при 1770 ± 5 К, оцінка активностей компонентів та розрахунок ΔG і ΔS розплавів Ni—IVb-метал.

Методика проведення дослідів та обробки результатів описана в роботі [5]. Для проведення дослідів використовували нікель електrolітичний (99.9 %), титан та цирконій йодидні (99.9 %). Нікель знаходився в футерованому Y_2O_3 корундовому тиглі, який ставили в масивний молібденовий блок. Калориметр калібрували на початку дослідів нікелем, а в кінці — вольфрамом марки А-2. Калориметр перед проведенням дослідів прогрівали з постійною відкачкою повітря фор- та дифнасосами до температури 1473 К. Після цього

робочу камеру заповнювали очищеним аргоном. Відносна похибка отриманих парціальних та інтегральних ентальпій змішування розплавів складає ± 10 та ± 2 % відповідно. Відтворюваність даних від досліду до досліду лежить в межах 3 %. У ході експерименту фіксували зміну температури, що відбувається при введенні в рідкий нікель з барабанного дозатора твердих зразків цирконію або гафнію, які знаходились при 298 К. Швидкість нагрівання комірки лімітується відкачуванням повітря за допомогою фор- і дифнасосів. Зміну температури в ході експерименту записували на діаграмній стрічці самописця, а значення теплових ефектів визначали "ваговим" методом.

Отримані парціальні для цирконію (гафнію) та інтегральні ентальпії змішування подвійних систем Ni—Zr (Hf) наведені на рис. 1.

Ентальпії змішування розплавів системи Ni—Ti вивчені в широкому інтервалі температур різними варіантами методу калориметрії [6—12], в тому числі при температурі, близькій до температури наших досліджень. В роботі [13] також визначені ентальпії утворення нікелідів

© В.С. Судацова, Н.В. Подопрігора, 2008

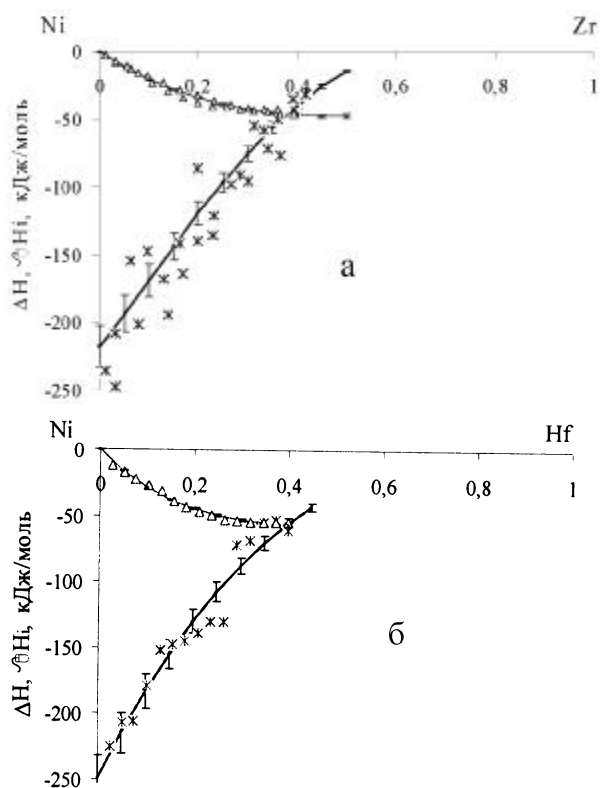


Рис. 1. Інтегральні та парціальні ентальпії змішування розплавів подвійних систем Ni—Zr (а), Ni—Hf (б) при температурі 1770 ± 5 К.

Т а б л и ц я 1

Ентальпії утворення деяких нікелідів [13] при 298 К

Сполука	$-\Delta_f H^0_{298}$, кДж/моль	Сполука	$-\Delta_f H^0_{298}$, кДж/моль
NiTi	33.1 ± 1.1	Ni ₇ Zr ₂	40.6 ± 0.7
Ni ₃ Ti	42.2 ± 1.2	NiHf	48.3 ± 1.0
NiZr	50.5 ± 1.15	Ni ₇ Hf ₂	44.1 ± 1.5
NiZr ₂	31.2 ± 0.9		

IVb-металів (табл. 1).

Ентальпії змішування розплавів Ni—Ti, отримані різними авторами [6—12], та ентальпії утворення нікелідів титану [13] співставлені на рис. 2. Видно, що спостерігається задовільна кореляція між даними [6—13]. Саме тому не було необхідності проводити додаткове дослідження даної системи.

Для системи Ni—Zr досліджені нами ентальпії змішування розплавів порівняні з відомими з літератури [11, 13—19] на рис. 3. Видно, що для розплавів даної системи спостерігається незначна температурна залежність ентальпії змішування, оскільки всі представлені дані в межах експеримен-

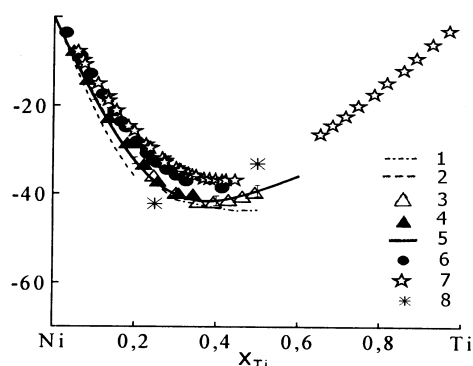


Рис. 2. Ентальпії утворення рідких сплавів системи Ni—Ti та нікелідів титану. $\Delta_m H$: 1 — [7], 2000 К; 2 — [8], 1786—1803 К; 3 — [9], 1741 К; 4 — [9], 1838 К; 5 — [11], 1873 К; 6 — [12], 1800 К; 7 — [12], 1980 К; $\Delta_f H$: 8 — [13].

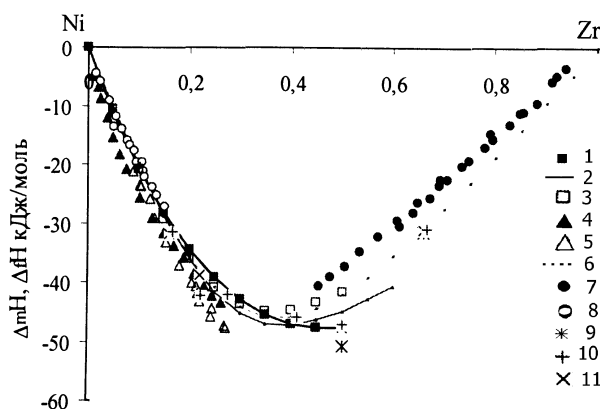


Рис. 3. Ентальпії утворення рідких сплавів та інтерметалідів системи Ni—Zr. $\Delta_m H$: 1 — наші дані, 1770 К; 2 — [11], 1873 К; 3 — [14], 1963 К; 4 — [15], 1838 К; 5 — [15], 1740 К; 6 — [16], 1565 К; 7 — [17], 2270 К; 8 — [17], 1916 К; $\Delta_f H$: 9 — [13], 298 К; 10 — [18], 298 К; 11 — [19], 298 К.

тальних похибок узгоджуються між собою (крім ентальпій змішування, отриманих при 2270 К [17], що є, як і слід було очікувати, менш екзотермічними). В табл. 2 приведені $\Delta_f H$ інтерметалідів системи Ni—Zr. Співставлення ентальпій утворення розплавів та нікелідів цирконію показало, що вони близькі між собою. Це обумовлено тугоплавкістю нікелідів цирконію та їх конгруентним характером плавлення.

Для подвійної системи Ni—Hf відомі ентальпії утворення нікелідів гафнію, визначені різними методами [13, 22, 24, 25] (табл. 3).

Порівняння ентальпій утворення розплавів системи Ni—Hf, відомих з літератури [11, 22, 23] та отриманих нами, і нікелідів гафнію виконано на рис. 4. Як видно з рисунку, ентальпії змішування розплавів Ni—Hf, визначені при 1873—1877 К

Т а б л и ц я 2

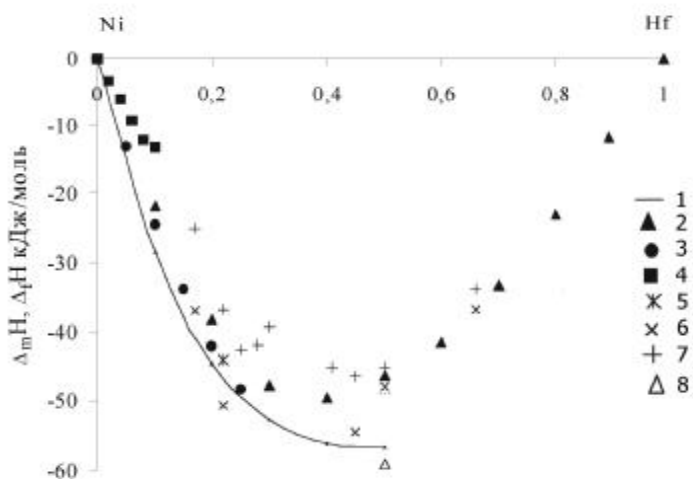
Ентальпії утворення нікелідів цирконію [13, 18—21]

Фаза	x_{Ni}	$-\Delta_f H$, кДж/моль				
		[18]	[13]	[19]	[20]	[21]
1/6Ni ₅ Zr	0.833	31.4 ± 3.0		31.8 ± 3.0	34.98 ± 6.70	
1/9Ni ₇ Zr ₂	0.778	42.1 ± 3.0	40.6	38.6 ± 0.5	45.94 ± 3.48	
1/29Ni ₂₁ Zr ₈	0.724	42.0 ± 2.5				45.0 ± 4.0
1/17Ni ₁₀ Zr ₇	0.588	45.7 ± 2.5			52.17 ± 5.0	48.0 ± 4.0
1/2NiZr	0.5	46.7 ± 2.5	50.5	47.4 ± 2.0	48.53 ± 2.47	
1/3NiZr ₂	0.333	30.7 ± 2.0	31.2	30.8 ± 1.0	37.24 ± 6.11	

Т а б л и ц я 3

Ентальпії утворення нікелідів гафнію за [13, 22, 24, 25] (кДж/моль)

Сполука	[13], метод калориметрії	[22], метод калориметрії	[24], метод Кнудсена	[25], метод калориметрії
NiHf ₂	—	-36.7	-33.8 ± 0.9	—
NiHf	-48.3 ± 1.0	-47.9	-48.3 ± 1.0	-59.0 ± 2.5
Ni ₁₁ Hf ₉	—	-54.5	-46.5 ± 2.7	—
Ni ₁₀ Hf ₇	—	—	-45.2 ± 3.7	—
Ni ₇ Hf ₃	—	—	-39.4 ± 2.9	—
Ni ₂₁ Hf ₈	—	—	-41.8 ± 3.9	—
Ni ₃ Hf	—	—	-42.7 ± 5.3	—
Ni ₇ Hf ₂	-44.1 ± 1.5	-50.7	-36.7 ± 5.2	—
Ni ₅ Hf	—	-37.0	-25.0 ± 6.6	—

Рис. 4. Ентальпії утворення рідких сплавів та інтерметалідів системи Ni—Hf. $\Delta_m H$: 1 – дана робота, 1770 К; 2 – [11], 1873 К; 3 – [22], 1743 К; 4 – [23], 1877 К; $\Delta_f H$: 5 – [15], 298 К; 6 – [23], 298 К; 7 – [24], 298 К; 8 – [25], 298 К.

[11, 23], менш екзотермічні, ніж наші, а дані роботи [22] при 1743 К в межах похибок співпадають з нашими. Це свідчить про температурну залежність ентальпій змішування цих розплавів. Саме така температурна залежність — більш екзотермічні ентальпії змішування при нижчій температурі — характерна для металічних бінарних розплавів з сильною взаємодією між різноіменними атомами. Всі ці дані не дуже добре узгоджуються між собою, з урахуванням того, що вони встановлені як прямими, так і непрямыми методами.

Варто відмітити, що всі вони, в межах експериментальних похибок, корелюють з ентальпіями змішування розплавів подвійної системи Ni—Hf.

Для встановлення закономірностей в ентальпіях змішування розплавів Ni—IVb-метал ми виконали порівняння перших парціальних для тугоплавких металів та мінімумів інтегральних ентальпій змішування досліджених розплавів подвійних систем із розташуванням IVb-металів у Періодичній системі елементів Д.І. Менделєєва (рис. 5, а, б, рис. 6). Видно, що парціальні ентальпії змішування IVb-металів (рис. 5, б, рис. 6) та ΔH розплавів Ni—IVb-метал (рис. 5, а, рис. 6) підпорядковуються такій закономірності — спостерігається збільшення їх екзотермічності при переході від титану до гафнію (значення ентальпій змішування для системи Ni—Ti взято із [10]). На рис. 6 представлені перші парціальні та мінімуми інтегральних ентальпій змішування розплавів вивчених систем (у даній роботі мінімум інтегральної ентальпії змішування сплавів Ni—Hf -56.7 кДж/моль при $x_{Hf} = 0.48$ визначений екстраполяцією). Подібна зміна ентальпій змішування вказує на збільшення взаємодії між різноіменними атомами при переході від нікель-титанових до нікель-гафнієвих сплавів (Ni—Ti → Ni—Zr → Ni—Hf). Видно, що $\Delta_m H_i$ досліджених розплавів суттєво відрізняються лише в області розведених розчинів. Це вказує на їх подібність при взаємодії з нікелем в області концентрованих розчинів.

Для розширення уявлень про природу

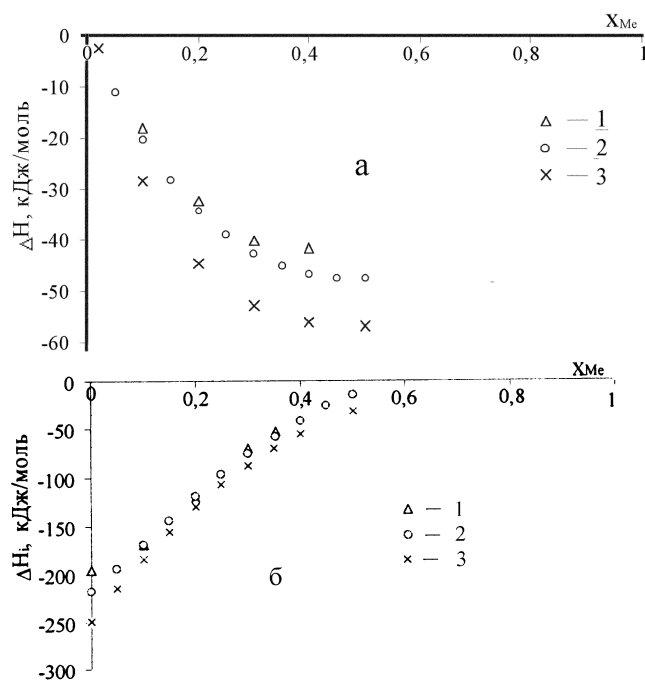


Рис. 5. Концентраційні залежності інтегральних (а) та парціальних (б) ентальпій змішування тугоплавких металів розплавів систем Ni—IVb-метал: 1 – Ni—Ti [9], 1741 К; 2 – Ni—Zr, дана робота, 1770 К; 3 – Ni—Hf, дана робота, 1770 К.

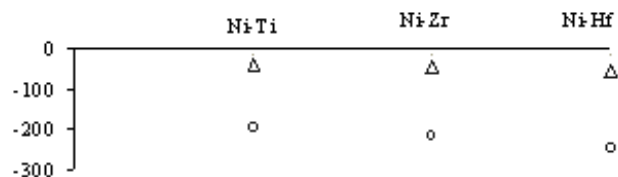


Рис. 6. Залежність перших парціальних ентальпій змішування IVb-металів (о) та мінімальних значень мольних інтегральних ентальпій змішування (Δ) розплавів Ni—IVb-метал.

розплавів подвійних систем ми прогнозували активності компонентів подвійних нікелевих сплавів. Оскільки активності компонентів подвійних розплавів Ni—IVb-метал визначені ефузійним методом по одному разу різними авторами [26, 27, 24], ми розрахували їх із координат ліквідуса діаграм стану розглянутих систем за рівнянням Шредера. Перерахунок одержаних a_i на температуру 1770 К виконано з використанням достовірних парціальних ентальпій змішування нікелю, титану, цирконію та гафнію в подвійних розплавах систем Ni—Ti (Zr, Hf) (рис. 7).

Видно, що вони характеризуються великими від'ємними відхиленнями від закону Рауля, що свідчить про сильну міжчасткову взаємодію. Ясно

також, що тільки для розплавів Ni—Zr розраховані експериментальні активності нікелю і цирконію добре узгоджуються між собою. Вважаємо, що для рідких сплавів системи Ni—Hf перевагу слід надати розрахованим a_{Ni} і a_{Hf} оскільки їх дослідження проведено, в основному, для твердих і твердо-рідких сплавів. Крім того, вони визначені з великими експериментальними похибками (± 7 — 10%) [24]. Так як активності компонентів в розплавах Ni—Ti визначені експериментально в широкому інтервалі концентрацій і температур (рис. 7) і вони непогано корелюють із оціне-

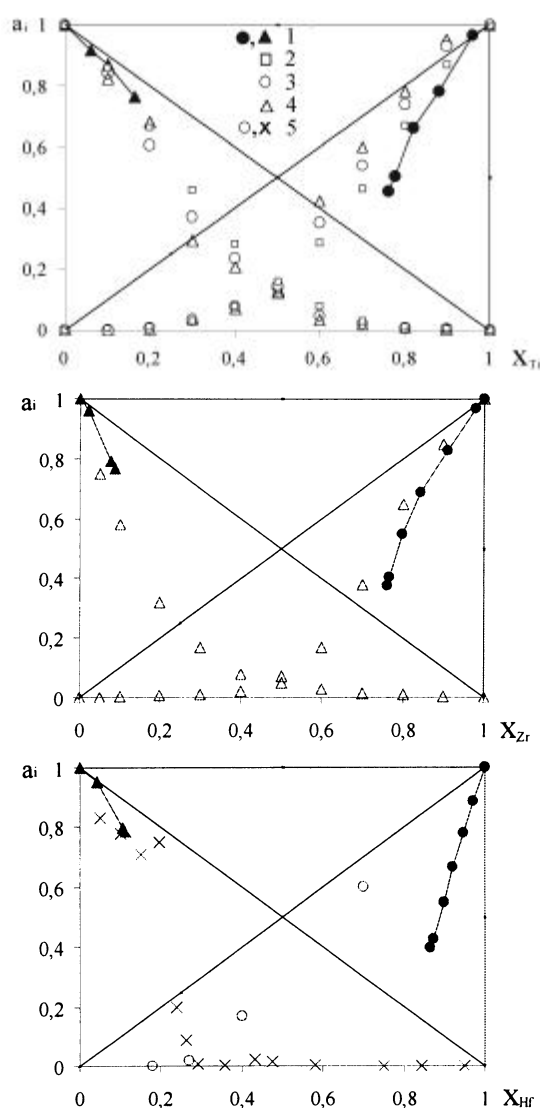


Рис. 7. Активності компонентів у рідких сплавах подвійних систем Ni—IVb-метал, змодельовані із діаграм стану (I) та визначені в роботах [26, 27, 24]. Ni—Ti – дані [26]: 2 – 1773 К, 3 – 1873 К, 4 – 1973 К; Ni—Zr: 4 – [27], 1823 К; Ni—Hf: 5 – [24], 1523 К.

Т а б л и ц я 4

Енергії Гіббса та ентропії змішування розплавів подвійних систем Ni(Al)—IVb-метал (в кДж/моль та Дж/моль·К)

x_{Me}	Ni—Ti		Ni—Zr		Ni—Hf	
	$-\Delta G$	$-\Delta S$	$-\Delta G$	$-\Delta S$	$-\Delta G$	$-\Delta S$
0.1	13.2	2.9	15.8	2.4	23.3	2.9
0.2	22.0	5.9	27.6	4.7	33.3	6.4
0.3	27.2	7.4	38.6	3.6	34.8	10.1
0.4	29.5	6.9	45.3	3.3	36.4	11.1
0.5	30.3	5.1	41.6	2.7	39.3	9.8
0.6	27.8	4.6	36.3	2.3	43.8	8.4
0.7	23.3	2.2	28.5	0.8	38.2	7.3
0.8	17.3	0.7	18.6	0.5	31.4	6.6
0.9	9.5	0.04	10.7	0.4	20.4	3.5

ними нами, то для цих розплавів експериментальні та оцінені з діаграм стану активності нікелю та титану усереднили.

Із достовірних ентальпій змішування та встановлених активностей компонентів розплавів Ni—IVb-метал ми розрахували їх енергії Гіббса та ентропії змішування (табл. 4).

Видно, що ΔS і ΔG розглянутих розплавів, як і слід було сподіватися, є від'ємними. Встановлено, що енергії змішування Гіббса вивчених систем є менш екзотермічними, ніж ентальпії змішування. Цього слід було очікувати, оскільки ентропії змішування сплавів з сильною взаємодією між різномісними атомами є частіше всього від'ємними.

Отже, в ході роботи уточнені ентальпії утворення рідких розчинів подвійних систем Ni—Zr (Hf) при 1770 ± 5 К. Встановлено, що отримані значення корелюють з найбільш достовірними літературними даними. Для розплавів Ni—Zr (Hf) встановлена температурна залежність інтегральних ентальпій змішування — з підвищенням температури ентальпії змішування розплавів цих систем виявляються менш екзотермічними. З'ясовано, що ентальпії утворення розплавів та інтерметалідів подвійних систем Ni—IVb-метал корелюють між собою, так як більшість сполук цих систем є тугоплавкими і такими, що плавляться конгруентно.

Розраховано активності компонентів в рідких сплавах подвійних систем Ni—Ti (Zr, Hf) із координат ліній ліквідуса діаграм стану за рівнянням Шредера. Встановлено, що активності компонентів в цих розплавах характеризуються велики-

ми від'ємними відхиленнями від ідеальних розчинів. Показано, що для розплавів Ni—Zr спостерігається кількісне, а для Ni—Ti (Hf) — якісне узгодження між експериментальними та розрахованими даними.

РЕЗЮМЕ. Методом калориметрії в ізоперіболическом режимі определены интегральные и парциальные энтальпии смешения расплавов двойных систем Ni—Zr (Hf) при 1770 ± 5 К. Установлено, что жидкие сплавы Ni—Zr (Hf) образуются с выделением большого количества теплоты. Анализ собственных и литературных данных позволил установить температурную зависимость энтальпий смешения двойных расплавов Ni—Zr и Ni—Hf. С использованием уравнения Шредера уточнены активности компонентов расплавов Ni—Ti (Zr, Hf) из координат линий ликвидуса диаграм состояния данных систем. Показано, что для расплавов Ni—Zr наблюдается количественное, а для Ni—Ti (Hf) — качественное соответствие между экспериментальными и расчетными активностями компонентов. Рассчитаны ΔG и ΔS расплавов Ni—IVb-металл.

SUMMARY. Integral and partial mixing enthalpies of Ni—Zr (Hf) binary melt systems have been measured by isoperibolic calorimetry at 1770 ± 5 K. Liquid Ni—Zr (Hf) alloys are characterized by exothermic heat effect. By means of analysis of property and literature data the temperature dependence of mixing enthalpies of binary melts Ni—Zr and Ni—Hf were determined. By Shreder equation the activities of components of Ni—Ti (Zr, Hf) melts has been found. It was shown that for Ni—Zr melts quantitative and for Ni—Ti (Hf) — qualitative agreement between experimental and calculated activities are observed. ΔG and ΔS of Ni—IVb melts systems has been calculated.

1. Каблов Е.Н., Светлов И.Л., Петрушин Н.В. // Металловедение. -1997. -№ 4. -С. 32—39.
2. Петрушин Н.В., Светлов И.Л. // Металлы. -2001. -№ 2. -С. 63—73.
3. Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. -М.: Машиностроение, 1988.
4. Dorolia R., Lahrman D.F., Field R.D. // Superalloys / Ed. S. Reichman. -Publ. Met. Soc., 1988.
5. Судацова В.С., Кудин В.Г. // Неорганические материалы. -2001. -37, № 4. -С. 396—398.
6. Дюбанов В.Г., Стомахин А.Я., Филиппов А.Ф. // Изв. вузов. Черная металлургия. -1975. -№ 3. -С. 5—7.
7. Есин Ю.О., Валлишев М.Г., Ермаков А.Ф. и др. // Журн. физ. химии. -1981. -55, № 3. -С. 753, 754.
8. Николаенко И.В., Баталин Г.И., Белобородова Е.А. // Журн. физ. химии. -1987. -61, № 2. -С. 492—494.
9. Luck R., Arpshofen I., Predel B., Smith J.F. // Thermochim. Acta. -1988. -131. -P. 171—181.
10. Турчанин М.А., Белоконенко И.В., Агравал П.Г. // Расплавы. -2001. -№ 3. -С. 53—60.

11. *Агравал П.Г.* Автореф. дис. ... канд. хим. наук. - Киев, 2004.
12. *Thiedermann U., Rosner-Kuhn M., Drewes K. et al.* // J. Non-Crystalline Solids. -1999. -**250-252**. -P. 329—335.
13. *Guo Qiti, Kleppa O.J.* // J. Alloys Comp. -1998. -**269**, № 1-2. -P. 181—186.
14. *Сидоров О.Ю., Есин Ю.О., Гельд П.В.* // Расплавы. -1988. -№ 3. -С. 9—11.
15. *Arpshofen I., Luck R., Predel B., Smith J.F.* // J. Phase Equilibria. -1991. -**12**, № 2. -P. 141—147.
16. *Witusiewicz V.T., Sommer F.* // Metal. Trans. B. -2000. -**31**, № 4. -P. 277—284.
17. *Rosher-Kuhn M., Qin J., Schaefer K. et al.* // Int. J. Thermophysics. -1996. -**17**, № 4. -P. 959—966.
18. *Зайцев А.И., Зайцева Н.Е.* // Журн. неорган. химии. -2003. -**48**, № 2. -С. 313—319.
19. *Gachon J.C., Hertz J.* // CALPHAD. -1983. -**7**, № 1. -P. 1—12.
20. *Henaff M.P., Colinet C., Pasturel A.* // J. Appl. Phys. -1984. -**56**, № 2. -P. 307—310.
21. *Spit F.H.M., Drijver J.W., Radelaar S.* // Scripta Metallurgica. -1980. -**14**, № 10. -P. 1071—1076.
22. *Selhaoui N., Gachon J.-C., Hertz J.* // Metal. Trans. -1992. -**23B**, № 12. -P. 815—819.
23. *Судавацова В.С., Шаркина Н.О.* // Неорган. материалы. -1998. -**34**, № 12. -С. 1459, 1460.
24. *Bencze L., Hilpert K.* // Metall. Trans. -1996. -**27A**. -P. 3576—3589.
25. *Topor L., Kleppa O.J.* // High. Temp. Sci. -1988. -**25**, № 3. -P. 163—174.
26. *German R.M., Pierre G.R.St.* // Metal. Trans. -1972. -**3**, № 11. -P. 2819—2823.
27. *Зайцев А.И., Зайцева Н.Е.* // Журн. физ. химии. -2003. -**77**, № 12. -С. 2126—2139.

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

Надійшла 12.02.2007

УДК 541.183

Т.В. Крупская, В.М. Гунько, В.Н. Барвинченко, В.В. Туров, О.В. Шульга

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРЕМНЕЗЕМА С КЛЕТОЧНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДРОЖЖЕЙ И СОСТОЯНИЕ МЕЖФАЗНОЙ ВОДЫ В ЗОНЕ ИХ КОНТАКТА

Методами ^1H ЯМР спектроскопии, атомной силовой микроскопии, термогравиметрии исследовано взаимодействие поверхности частиц кремнезема с клеточной поверхностью дрожжей. Определено влияние межфазной границы дрожжевые клетки—частицы ВДК на формирование слоев связанной воды в условиях низкой гидратированности системы и установлены соответствующие структурные характеристики на основе уравнения Гиббса–Томсона.

Вопрос о влиянии наночастиц высокодисперсного кремнезема (ВДК) на процессы жизнедеятельности клеточных культур неоднократно обсуждался в литературе [1—6]. Исследования показали, что в широком концентрационном диапазоне ВДК может способствовать увеличению скорости накопления биомассы [5, 6]. В случае взаимодействия ВДК с репродуктивными клетками наблюдается изменение параметров их движения, свидетельствующее об активизации жизненных процессов [4]. Взаимодействие клеток с ВДК (особенно при больших его концентрациях) может приводить к их инактивации. Например, многие наноматериалы, в том числе и ВДК, обладают высокой гемолитической активностью [7]. Ингибирующее действие твердых наночастиц может быть обусловлено необратимой адсорбцией с участием гликокаликса и интегральных белков поверхности клеток [8]. Специфически взаимодействуя с мембранными белко-

выми молекулами, частицы ВДК при определенных условиях могут нарушить систему клеточных рецепторов и целостность мембраны, тем самым изменяя клеточный гомеостаз или полностью инактивируя клетки. Механизм стимулирующего действия наночастиц на клетки может быть весьма сложным и менее понятным. Положительное влияние может обуславливаться несколькими факторами: 1) адсорбция на наночастицах токсинов и метаболитов, ингибирующих жизнедеятельность клеток; 2) увеличение скорости переноса питательных веществ в клетки [1]; 3) увеличение скорости удаления продуктов, выделяющихся из клеток; 4) изменение состояния среды. Все эти факторы в той или иной степени предполагают стимуляцию массопереноса в зоне контакта клетка/частица. Появление вблизи клеточной поверхности большого количества наночастиц может приводить к локальному изменению вязкости среды (например, вследствие адсорбции орга-

© Т.В. Крупская, В.М. Гунько, В.Н. Барвинченко, В.В. Туров, О.В. Шульга, 2008