

В. С. Судацова, П. П. Левченко, К. Ю. Пастушенко, А. С. Козорезов,  
В. Г. Кудін\*

## ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СПЛАВАХ СИСТЕМ La—Sn, La—Ni—Sn

Методом калориметрії і за моделлю ідеальних асоційованих розчинів визначено термодинамічні властивості сплавів систем La—Sn, La—Ni—Sn за 1600—1800 К в інтервалі складів  $0 \leq x_{\text{Sn}} \leq 0,2$  і по трьох променевих перерізах відповідно. Встановлено, що мінімальне значення ентальпії змішування розплавів системи La—Sn складає 50,5 кДж/моль при  $x_{\text{Sn}} = 0,54$ , а активності компонентів виявляють помірні негативні відхилення від ідеальних розчинів. Експериментально визначені і розраховані за моделлю Редліха—Кістера ентальпії змішування розплавів La—Ni—Sn узгоджуються між собою, а мінімум ентальпії змішування припадає на подвійну систему La—Sn.

*Ключові слова:* термодинамічні властивості, La, Ni, Sn, фазові рівноваги.

### Вступ

Лантан є недорогим і досить поширеним рідкісноземельним металом (РЗМ), має високу хімічну активність, тому може знайти застосування у вигляді лігатур, зокрема, з оловом, в металургії, матеріалознавстві і споріднених з ними галузях народного господарства. Для науково-обґрунтованої розробки лігатур олова з лантаном та визначення напрямку перебігу процесів на границі розподілу фаз необхідно знати як термодинамічні властивості всіх фаз, так і діаграму стану системи. Багато станів лантану і церію є дуже тугоплавкими (значно перевищують температури плавлення їх компонентів в чистому вигляді). Це все зумовило труднощі, якими супроводжуються фізико-хімічні дослідження сплавів і інтерметалідів цих систем, тому виконані термодинамічні описи цієї системи [1—4] свідчать про недостатню достовірність фізико-хімічних властивостей і фазових рівноваг в сплавах даної системи.

Сплави подвійних і потрійних систем, що містять La, Ni і Sn, можуть слугувати основою для розробки як легко-, так і тугоплавких матеріалів, а також безсвинцевих припоїв. Для цього необхідно знати діаграми стану та термодинамічні властивості цих сплавів. В зв'язку з цим мета даної роботи — дослідити термодинамічні властивості розплавів систем La—Sn, La—Ni—Sn за 1500—1650 К та розрахувати ці параметри за даними для двокомпонентних обмежувачих систем.

Діаграма стану системи La—Sn була досліджена декількома групами вчених [5—13]. Найбільш повно вивчено фазові рівноваги в сплавах у роботі [13].

---

\* В. С. Судацова — доктор хімічних наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ; П. П. Левченко — головний механік відділу цієї ж установи; К. Ю. Пастушенко — аспірант, молодший науковий співробітник цієї ж установи; А. С. Козорезов — аспірант цієї ж установи; В. Г. Кудін — кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики металів Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Термохімічні властивості розплавів системи La—Sn визначені методом калориметрії Зомером Ф. зі співр. за 1128 і 1238 К і в інтервалі складів  $0 < x_{Sn} < 0,16$  [14], а також Єсіним Ю. О. зі співр. за  $T = 1890$  К в розплавах з  $0 \leq x_{La} \leq 0,35$  [15]. Результати обох досліджень свідчать про великі екзотермічні ентальпії змішування.

В роботах [1, 3] виконано критичний аналіз і оптимізацію термохімічних властивостей розплавів, одержаних Зомером, і інтерметалідів, відомих з літератури, а також діаграми стану системи, вивченої Єременко В. Н. зі співр. [3]. Виявлено, що повної узгодженості між положеннями кривої ліквідуса діаграми стану системи La—Sn, розрахованої і визначеної експериментально, немає (особливо в області сплавів, збагачених оловом). Це зумовлено тим, що в розрахунках, виконаних методом Chalphad, не враховано дані Єсіна Ю. О. зі співр. [15], а взято до розгляду тільки інтегральні ентальпії змішування розплавів La з Sn за 1128 і 1238 К [14]. В зв'язку з цим потрібно розширити термодинамічну інформацію про  $\Delta H$  і  $\Delta \bar{H}_i$  розплавів La з Sn за високих температур в області сплавів на основі лантану.

### Результати та їх обговорення

Одержані нами і відомі з літератури парціальні та інтегральні ентальпії змішування наведено на рис. 1. Видно, що всі термохімічні дані для

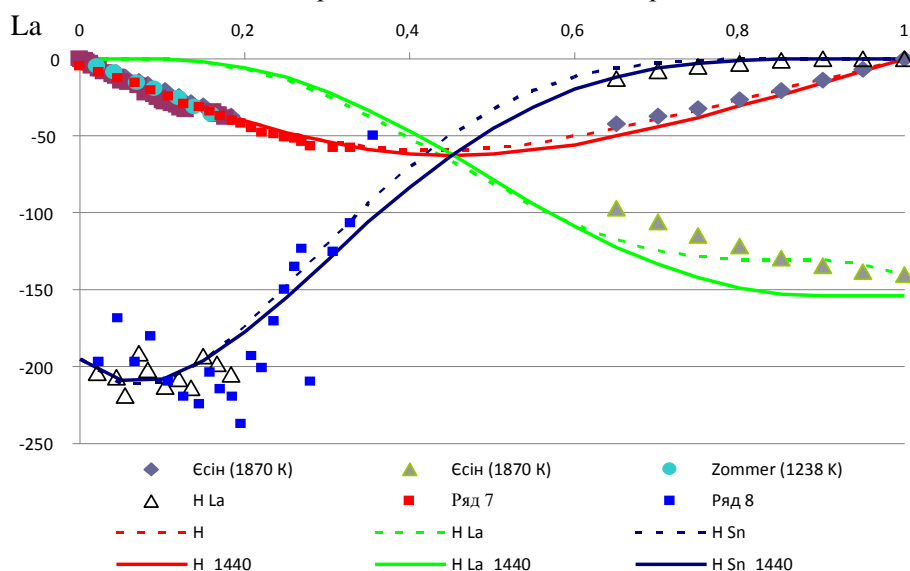


Рис. 1. Парціальні та інтегральні ентальпії змішування розплавів подвійної системи La—Sn (1500 та 1650 К), досліджені нами ( $\blacktriangle$ ,  $\bullet$ ,  $\circ$ ), у роботах [15] за 1890 К ( $\triangle$ ,  $\blacksquare$ ,  $\blacklozenge$ ) та [14] за 1128 і 1238 К ( $\blacksquare$ ), розраховані за моделлю IAP (-)

Fig. 1. The partial and integral enthalpies of mixing the melts of the double La—Sn system (1500 and 1650 K) studied by us ( $\blacktriangle$ ,  $\bullet$ ,  $\circ$ ) are calculated based on the IAR model (-), and [15] at 1890 K ( $\triangle$ ,  $\blacksquare$ ,  $\blacklozenge$ ), [14] at 1128, 1238 K ( $\blacksquare$ )

розплавів системи La—Sn корелюють між собою, незважаючи на велику різницю температур, за якими вони отримані. Це свідчить про відсутність температурних залежностей для всього концентраційного інтервалу. Подібне явище раніше встановлено для розплавів системи Al—La, для якої характерна велика схильність до аморфізації.

З використанням власних і літературних даних про термохімічні властивості розплавів і інтерметалідів системи La—Sn нами розраховано їх термодинамічні властивості за моделлю IAP (рис. 2, 3). Для розрахунків взято 3 асоціати, склади яких наведено на рис. 2. Склад асоціатів вибрано таким чином, щоб вони були близькими до проміжних фаз, які плавляться конгруентно, але містили невелику кількість атомів задля ймовірності їх одночасного зіткнення. Виявилось, що така кількість асоціатів і їх формульний склад добре описують термодинамічні властивості розплавів і інтерметалідів даної системи.

Як і слід очікувати, активності компонентів проявляють великі від'ємні відхилення від ідеальних розчинів. Відносно ентальпії утворення асоціатів і станідів лантану системи La—Sn, розраховані нами і експериментально встановлені корелюють між собою.

На рис. 3, *a* видно, що розраховані за моделлю IAP ентальпії утворення інтерметалідів та асоціатів близькі між собою. Це свідчить про те, що енергії зв'язку між лантаном і оловом в твердому та рідкому станах близькі. На рис. 3, *б* наведено ентропію утворення сполук і асоціатів

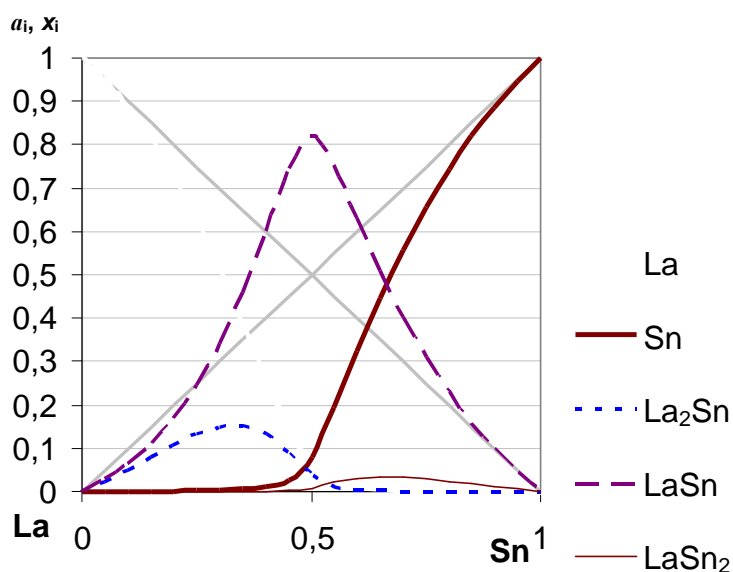


Рис. 2. Активності компонентів  $a_i$  та мольні частки асоціатів  $x_i$  у розплавах системи La—Sn за 1650 K за моделлю IAP

Fig. 2. The activity of the components  $a_i$  and the mole fractions of the associatives  $x_i$  in the La—Sn melt at 1650 K on the IAR model

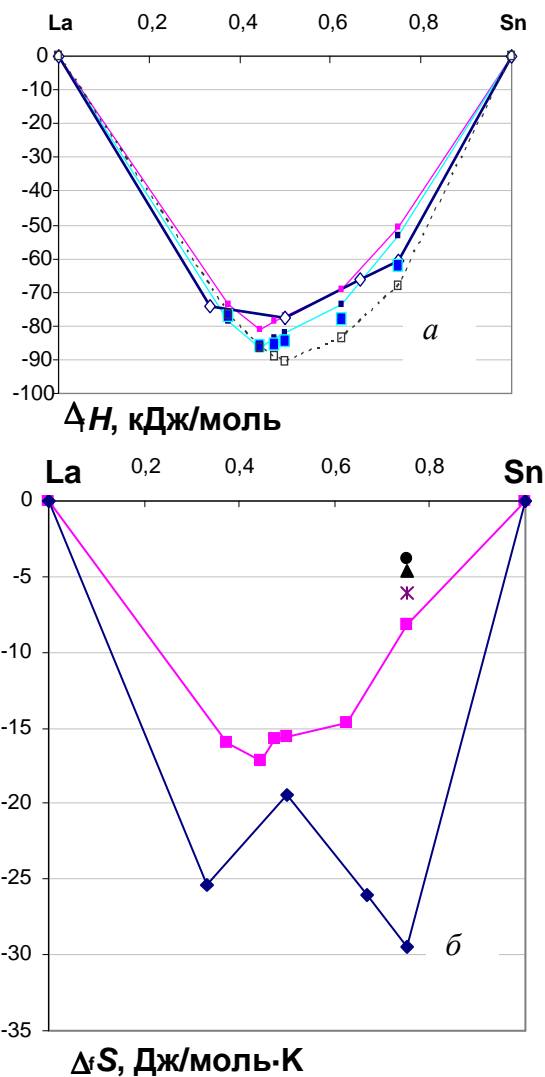


Рис. 3. Ентальпії (а) та ентропії утворення (б) асоціатів ( $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ) і станідів лантану ( $\bullet$ ) системи La—Sn, розраховані за моделлю ІАР:  $\blacktriangle$  —  $\Delta_f G$ ;  $\blacksquare$  —  $\Delta H^{sol}$ ;  $\diamond$  —  $\Delta H^{liq}$ ;  $\blacksquare$  —  $\Delta H$  [10]

Fig. 3. Enthalpy (a) and the entropy of the formation of (b) the association ( $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ) and the lanthanum states ( $\bullet$ ) of the La—Sn system, calculated on the basis of the IAR:  $\blacktriangle$  —  $\Delta_f G$ ; model;  $\blacksquare$  —  $\Delta H^{sol}$ ;  $\diamond$  —  $\Delta H^{liq}$ ;  $\blacksquare$  —  $\Delta H$  [10]

в розплавах системи La—Sn. Встановлено, що  $|\Delta_f S^{ac.}| > |\Delta_f S^{int.}|$ . Оскільки дані про температурні залежності теплоємностей інтерметалідів і розплаву відсутні, наведену нерівність можна пояснити лише якісно, а

саме різницею між неконфігураційними внесками в ентропію утворення станідів лантану і відповідних розплавів. Врахувавши, що сплави La з Sn не проявляють сильних магнітних властивостей, слід розглянути лише зміни в частотах коливання атомів і електронних теплоємностях. Відомо, що асоціати постійно руйнуються і утворюються, тому зміни в частотах коливань атомів можуть бути більшими, ніж у відповідних інтерметалідів. З виникненням асоціатів переходи електронів між компонентами можуть теж бути суттєвими і такими, що впливають на збільшення  $|\Delta_f S^{ac}|$ . Тому процеси упорядкування / розупорядкування в рідких сплавах системи La—Sn можуть обумовлювати наведене співвідношення між  $\Delta_f S$  сполук і асоціатів.

На рис. 4 порівняно граничні парціальні ентальпії змішування лантану в олові (відносно рідкого стандартного стану компонентів) за різних температур [14—17, 21] із розрахованими за моделлю IAP. Видно, що оцінена нами температурна залежність характеризується незначною тенденцією до ідеальності з підвищенням температури та узгоджується з даними роботи [21] за 1178—1870 К.

Щоб підтвердити надійність одержаної термодинамічної інформації для різних сплавів системи La—Sn, нами порівняно її з аналогічними даними для розплавів систем Sn—лантаноїд (Ln). Виявлено, що визначені термохімічні властивості розплавів La—Sn корелюють із такими самими властивостями для інших систем Sn—лантаноїд. Встановлено, що залежності  $\Delta H_{\min}^{\infty} (\overline{\Delta H}_{Ln}^{\infty})$  від порядкового номера лантаноїду змінюються

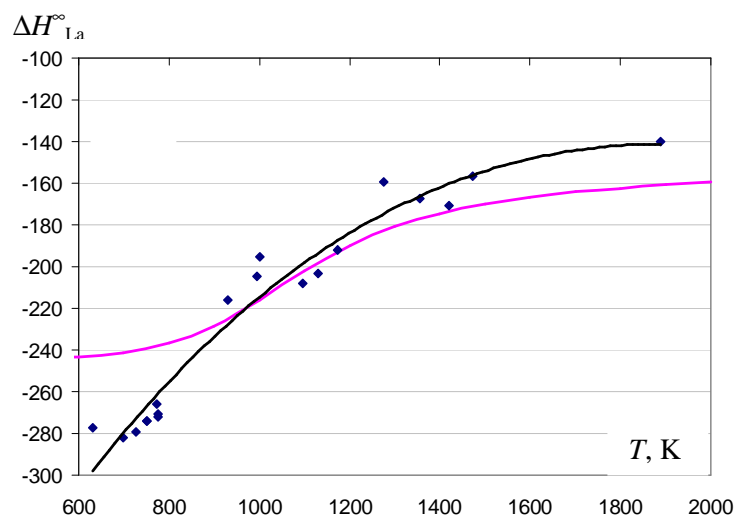


Рис. 4. Температурна залежність граничної парціальної ентальпії змішування рідкого лантану в олові: ♦ — літературні дані [21]; лінії — оцінка за моделлю IAP

Fig. 4. Temperature dependence of the marginal partial enthalpy of mixing liquid lanthanum in tin: ♦ — literature data [21]; lines — estimation by the model of IAP

монотонно, хоча для рідких сплавів Sn з Eu (Yb) є невеликі відхилення від плавного ходу цих функцій. Вважаємо, що це зумовлено розмірним фактором, який є найбільшим для двокомпонентних систем Sn—Eu (Yb). З допомогою одержаної залежності нами також прогнозовано мінімуми  $\Delta H$  і  $\overline{\Delta H}_i^\infty$  ( $i$  — Pr, Er, Tb, Lu) недосліджених до цього часу систем Sn—Ln.

Таким чином, за власними і літературними даними про термохімічні властивості розплавів системи Sn—Ln вдалося суттєво розширити уявлення про природу і енергію взаємодії між ними.

Додавання нікелю та інших перехідних металів до розплавів системи лантан—олово може привести до виникнення нових фізико-хімічних властивостей. Тому доцільно визначити термохімічні характеристики рідких сплавів системи La—Ni—Sn. На даний час розроблено ряд моделей, які дозволяють розрахувати термодинамічні властивості розплавів потрібних систем із аналогічних даних для подвійних обмежувачих підсистем. Відомо, що всі подвійні розплави обмежувачих підсистем утворюються з виділенням теплоти, величина якої зростає в такій послідовності: Ni—Sn  $\rightarrow$  La—Ni  $\rightarrow$  La—Sn.

З використанням  $\Delta H$  цих двокомпонентних розплавів нами оцінено аналогічну характеристику для системи La—Ni—Sn за різними моделями (Боньє—Кабо, Колера, Туца, Колінет, Редліха—Кістера) (рис. 5). Показано, що ентальпії змішування, оцінені за різними моделями, відрізняються, хоча і не дуже сильно.

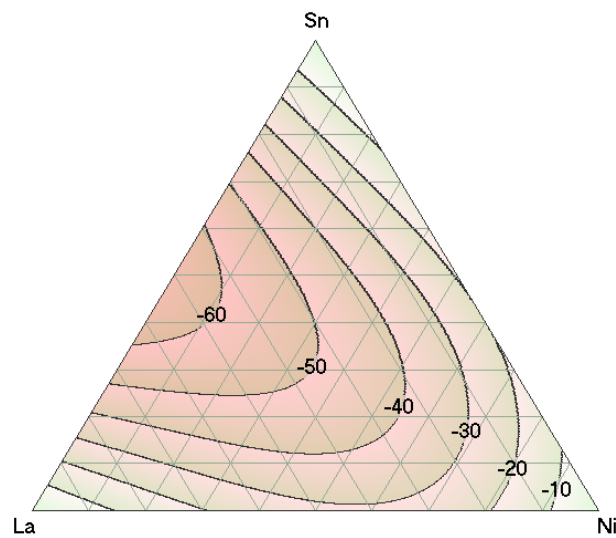


Рис. 5. Ізоентальпії змішування розплавів системи La—Ni—Sn за 1650 К, розраховані за моделлю Редліха—Кістера

Fig. 5. The isotropy of mixing of liquids of the system La—Ni—Sn at 1650 K is calculated on the Redlich—Kister model

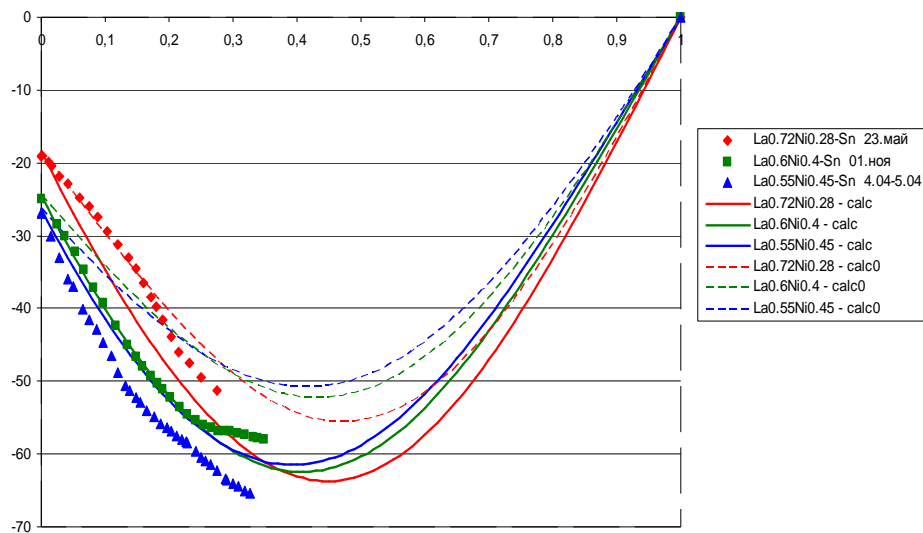


Рис. 6. Ентальпії змішування розплавів системи La—Ni—Sn по таких променевих перерізах:  $x_{La}/x_{Ni} = 0,47/0,53$  (■);  $0,28/0,72$  (■) і  $x_{La}/x_{Sn} = 0,82/0,18$  (◆)

Fig. 6. An enthalpy of mixing the La—Ni—Sn melt with such beam cross sections:  $x_{La}/x_{Ni} = 0,47 / 0,53$  (■);  $0,28 / 0,72$  (■) and  $x_{La} / x_{Sn} = 0,82 / 0,18$  (◆)

Щоб перевірити, яка із застосованих моделей найкраще описує термодинамічні властивості розплавів даної системи, нами досліджено методом калориметрії ентальпії змішування рідких сплавів по таких променевих перерізах:  $x_{La}/x_{Ni} = 0,47/0,53$ ;  $0,28/0,72$  і  $x_{La}/x_{Sn} = 0,82/0,18$ . Одержані парціальні та інтегральні ентальпії змішування наведено на рис. 6. Видно, що введення третього компонента призводить до збільшення екзотермічних ефектів сплавоутворення.

Співставлення експериментально встановлених даних і розрахованих за моделлю Редліха—Кістера показало, що вони добре узгоджуються між собою. Тому за даною моделлю розраховано і інші термодинамічні властивості розплавів системи La—Ni—Sn. Все це суттєво розширило інформацію про природу взаємодії в цих складних в експериментальному відношенні сплавах даної системи. Слід зазначити, що встановлені термодинамічні властивості розплавів системи La—Ni—Sn корелюють із даними по фазових рівновагах. На даний час побудовано ізотермічний переріз системи La—Ni—Sn за 673 і 483 К [26] (рис. 7).

Видно, що встановлені нами термохімічні властивості розплавів системи La—Ni—Sn узгоджуються з поведінкою сплавів в твердому стані. Згідно з ізотермічним перерізом системи La—Ni—Sn, в ній утворюється вісім тернарних фаз. Це свідчить про сильну енергію взаємодії між різноманітними атомами в розплавах системи La—Ni—Sn.

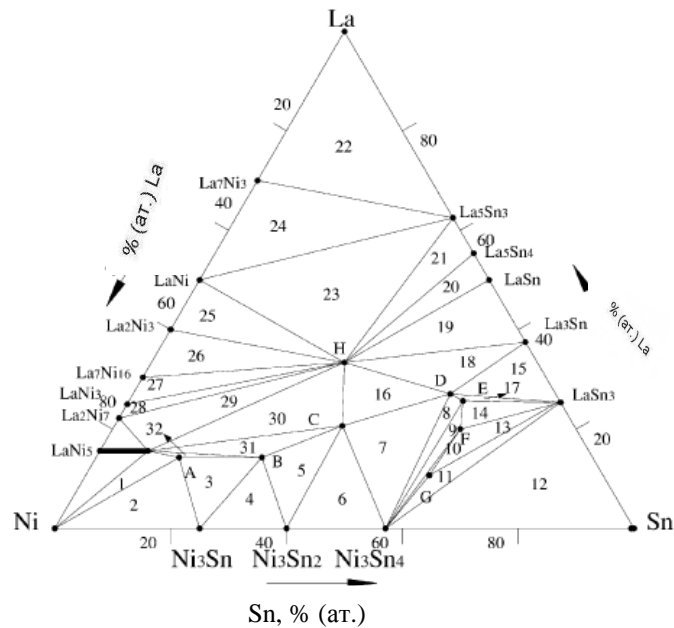


Рис. 7. Ізотермічний переріз потрійної системи La—Ni—Sn за 673 та 483 К (A)  $\text{LaNi}_5\text{Sn}$ ; (B)  $\text{LaNi}_4\text{Sn}_2$ ; (C)  $\text{LaNi}_2\text{Sn}_2$ ; (D)  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{Sn}_6$ ; (E)  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{Sn}_7$ ; (F)  $\text{LaNiSn}_3$ ; (G)  $\text{La}_3\text{Ni}_8\text{Sn}_{16}$ ; (H)  $\text{LaNiSn}$

Fig. 7. Isothermal section of the La—Ni—Sn system of the triple system at 673 and 483 K (A)  $\text{LaNi}_5\text{Sn}$ ; (B)  $\text{LaNi}_4\text{Sn}_2$ ; (C)  $\text{LaNi}_2\text{Sn}_2$ ; (D)  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{Sn}_6$ ; (E)  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{Sn}_7$ ; (F)  $\text{LaNiSn}_3$ ; (G)  $\text{La}_3\text{Ni}_8\text{Sn}_{16}$ ; (H)  $\text{LaNiSn}$

### Висновки

Термохімічні властивості розплавів подвійної систем La—Sn, одержані за 1500—1800 К при  $x_{\text{Sn}} < 0,2$  методом ізопериметричної калориметрії, свідчать про їх екзотермічні ефекти утворення. Мінімум інтегральної ентальпії змішування складає  $-50,5$  кДж/моль.

Ентальпії змішування розплавів потрійної системи La—Ni—Sn досліджено вздовж трьох променевих перерізів. Показано, що для цієї системи додавання третього компонента супроводжується значними екзотермічними ефектами. Мінімум припадає на подвійну граничну систему La—Sn.

За моделлю ІАР розраховано активності компонентів, енергії Гіббса та ентропії змішування розплавів системи La—Sn. Для цього використано дані, отримані нами експериментально та в результаті критичного аналізу літературних даних. Показано узгодження отриманих нами результатів з обмеженою кількістю літературних даних.

Виконано оцінку термодинамічних властивостей розплавів потрійної системи La—Ni—Sn з аналогічних даних для граничних подвійних підсистем. Показано, що результати, одержані за моделлю Редліха—



Кістера—Муджіану з урахуванням потрійного внеску у термодинамічній функції, добре узгоджуються з отриманими нами експериментально.

**РЕЗЮМЕ.** Методом калориметрії і по моделі ідеальних асоційованих розчинів визначені термодинамічні властивості сплавів систем La—Sn, La—Ni—Sn при 1600—1800 К в інтервалі складів  $0 \leq x_{\text{Sn}} \leq 0,2$  і по трьох лучевих сеченнях відповідно. Установлено, що мінімальне значення ентальпії змішування розплавів системи La—Sn становить  $-50,5$  кДж /моль при  $x_{\text{Sn}} = 0,54$ , а активності компонентів проявляють помірні негативні відхилення від ідеальних розчинів. Експериментально визначені і розраховані по моделі Редліха—Кістера ентальпії змішування розплавів La—Ni—Sn збігаються між собою, а мінімум ентальпії змішування припадає на подвійну систему La—Sn.

**Ключевые слова:** термодинамічні властивості, La, Ni, Sn, фазові рівноваги.

1. *Palenzona A.* The La—Sn (Lanthanum-Tin) system / A. Palenzona, S. Cirafici // J. of Phase Equilib. — 1992. — **13**, No. 1. — P. 42—49.
2. *Huang M.* A thermodynamic assessment of the La—Sn system / [M. Huang, X. Su, F. Yin et al.] // J. Alloys and Comp. — 2000. — **309**, No. 1, 2. — P. 147—153.
3. *Idbenali M.* A thermodynamic reassessment of the La—Sn system / [M. Idbenali, C. Servant, N. Selhaoui, L. Bouirdena] // CALPHAD. — 2009. — **33**, is. 2. — P. 398—404.
4. *Kim J.* Critical evaluation and thermodynamic optimization of the Sn—RE systems: Part I. Sn—Re system (Re = La, Ce, Pr, Nd and Sm) / [J. Kim, E. Thibodeau, Kim Tetley-Gerard, In-Ho Jung] // Ibid. — 2016. — **55**, part 2. — P. 113—133.
5. *Canneri G.* The alloys of lanthanum / J. Metall. Ital. — 1931. — **23**. — P. 803—823.
6. *Rossi A.* The crystalline structures of LaSn<sub>3</sub> and LaPb<sub>3</sub> / Atti Accad. Naz. Lincei., Cl. Sci. Fis., Mat. Nat., Rend. — 1933. — **17**. — P. 839—846.
7. *Vogel R.* Metallographische mitteilungen aus dem institut fur physikalische chemie der university gottingen LXXVII. Liber zinnlegierungen // Z. Anorg. Chem. — 1911. — **72**. — P. 319—328.
8. *Gambino R. J.* Superconductivity of lanthanum intermetallic compounds with the Ci<sub>3</sub>Au structure / R. J. Gambino, N. R. Steimple, A. M. Toxen // J. Phys. Chem. Solids. — 1968. — **29**, No. 2. — P. 295—302.
9. *Palenzona A.* Dynamic differential calorimetry of inter-metallic compounds. 1. Heats of formation, heat and entropy of fusion of rare earth-tin compounds / Therraochira. Acta. — 1973. — **5**, No. 4. — P. 473—480.
10. *Ларчев В. И.* Синтез кубической фазы La<sub>3</sub>Sn при высоких давлениях и температурах / В. И. Ларчев, С. В. Попова // Физика твер. тела. — 1977. — **19**, № 5. — С. 1463—1464.

11. *Borzzone G.* A contribution to the study of the alloying behaviour of the rare earths with tin / G. Borzone, A. Borsese, R. Ferro // *Z. Anorg. Allg. Chem.* — 1983. — **501**. — P. 199—208.
12. *Кулагина Н. Г.* Исследование двойных систем Sn—РЗМ (La, Nd, Gd, Er, Lu) / Н. Г. Кулагина, А. П. Баянов, Н. М. Кулагин // *Изв. АН СССР. Металлы.* — 1985. — № 3. — С. 211—216.
13. *Еременко В. Н.* Фазовые равновесия в системе лантан—олово / [В. Н. Еременко, М. В. Буланова, П. С. Марценюк, В. Е. Листовничий] // *Порошковая металлургия.* — 1989. — № 12. — С. 79—90.
14. *Sommer F.* Temperature dependence of partial and integral enthalpies of mixing of liquid rare—earth—Sn alloys / F. Sommer, J. Schott, H.-G. Krull // *J. Less-Comm. Metals.* — 1988. — **144**, No. 1. — P. 53—63.
14. *Есин Ю. О.* Энтальпии образования жидких бинарных сплавов алюминия и олова с лантаном / [Ю. О. Есин, С. П. Колесников, В. М. Баев и др.] // *Журн. физ. химии.* — 1981. — **1**, № 6. — С. 1587—1588.
15. *Guadagno J. R.* Heats of solution and heats of compounds formation in the lanthanum—tin system / [J. R. Guadagno, M. J. Pool, S. S. Shen, P. J. Spencer] // *Trans. Met. Soc. AIME.* — 1968. — **242**, No. 9. — P. 2013—2014.
16. *Матигорова Н. Г.* К термодинамике  $\text{LaSn}_3$  и жидких сплавов на основе олова с лантаном / Н. Г. Матигорова, А. П. Баянов // *Журн. физ. химии.* — 1971. — **45**, № 10. — С. 2440—2442.
17. *Colinet C.* Enthalpies of formation of rare earth and uranium tin compounds / [C. Colinet, A. Bessoud, A. Pasturel, W. Muller] // *J. Less-Comm. Metals.* — 1988. — **143**, No. 1/2. — P. 265—278.
18. *Кобер В. И.* Термодинамические свойства соединений лантана с оловом / [В. И. Кобер, И. Ф. Ничков, С. П. Распопин, П. С. Игнатченко] // *Изв. вузов. Цветная металлургия.* — 1982. — № 3. — С. 107—108.
19. *Лукашенко Г. М.* Термодинамические свойства соединения  $\text{LaSn}_3$  / Г. М. Лукашенко, Р. И. Полоцкая // *Укр. хим. журн.* — 1982. — **48**, № 4. — С. 357—358.
20. *Pratt J. N.* Heats of solution of some rare-earth elements in liquid tin / J. N. Pratt, A. W. H. Morris // *J. Less-Comm. Metals.* — 1966. — **10**, No. 2. — P. 91—97.
21. *Castanet R.* Enthalpie de solution du lanthane et du ceriumdan's l'etaïn // *Acad. Sci.* — 1984. — **298**, sep. II. — P. 5—8.
22. *Кобер В. И.* Термодинамические свойства сплавов лантана с легкоплавкими металлами / [В. И. Кобер, И. Ф. Ничков, С. П. Распопин и др.] // *Сплавы редких металлов с особыми физическими свойствами. Редкоземельные и благородные металлы.* — М. : Наука, 1983. — С. 130—132.
23. *Cirafici S.* High temperature heat capacity of the  $\text{LaSn}_3$  and  $\text{CeSn}_3$  compounds / [S. Cirafici, F. Canepi, G. L. Olsese, G. Costa] // *Solid State Comm.* — 1982. — **44**, No. 11. — P. 1507—1511.

24. *Costa G.* Thermodynamic and magnetic properties of  $\text{LaSn}_3$  / G. Costa, F. Canepa, G. L. Olcese // *Solid State Comm.* — 1981. — **40**, No. 2. — P. 169—172.
25. *Lethuillier P.* Magnetic-suseptibility measurements of a praseodymium Kondo system:  $\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Sn}_3$  / P. Lethuillier, J. Chaussy // *Phys. Rev.* 1976. — B 13. — P. 3132—3134.
26. *Colinet C.* Experimental and calculated enthalpies of formation of rare earth—tin alloys / [C. Colinet, A. Pasturel, A. Percheron-Guegan, J. C. Achard] // *J. Less-Comm. Metals.* — 1984. — **102**, No. 2. — P. 167—177.
27. *Zhuang Y.* The 673 K isothermal section of the La—Ni—Sn ternary system / [Y. Zhuang, H. Deng, J. Liu, Q. Yao] // *J. of Alloys and Comp.* — 2004. — **363**. — P. 223—226.

Надійшла 16.08.17

**Sudadtsova V. S., Levchenko P. P., Pastushenko K. Yu., Kozorezov A. S.,  
Kudin V. G.**

**Thermodynamic properties and phase equilibria in the alloys of the  
La—Sn and La—Ni—Sn systems**

By the method of calorimeter and model of individual adsorption of electricity in the form of thermodynamic power-handling of La—Sn, La—Ni—Sn systems at 1600—1800 K in the storage area  $0 \leq x_{\text{Sn}} \leq 0,2$  i by triem, we will exchange the changes in the order. It is installed, the minimum value of the insulation of the systems of the La—Sn system is 50,5 kJ / mol at  $x_{\text{Sn}} = 0,54$ , and the activity of the component is determined by the negative correlation of the individual values of the individual values. It is experimentally assigned to the model of Redlich—Kistera, which is used to build La—Ni—Sn rods, and to minimize the amount of accumulation on the sub-system of La—Sn.

**Keywords:** *thermodynamic properties, La, Ni, Sn, phase equilibria.*