

УДК 669.715:66.046.5:536.46

Використання технологічних фазових діаграм для оптимізації режимів плавки та розливи вторинних алюмінієвих сплавів

О. А. Щерецький, доктор технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Вводиться поняття технологічної фазової діаграми сплаву. Показано, що розрахунок технологічних діаграм за результатами хімічного та диференціального термічного аналізу дає можливість оцінити вплив домішок на температурні параметри вторинного сплаву та оптимізувати режими його плавки та розливання.

Висока вартість первинних алюмінієвих ливарних сплавів змушує виробників все ширше використовувати вторинну сировину (брухт та відходи) при виробництві виливків. За цієї причини різко виросло використання вторинних алюмінієвих сплавів. Ці сплави, як правило, містять підвищений вміст домішок, таких як залізо, марганець, магній, цинк та інших. Збільшення домішок в ливарних сплавах призводить не тільки до пониження технологічних властивостей (рідиноплинність, тріщиностійкість, механічних характеристики), а також впливає на оптимальні режими плавки та розливання. Широке використання вторинної сировини вимагає від технологів постійного контролю хімічного, а бажано, і фазового складу ливарних сплавів. Якість литва в цьому випадку залежить від правильності та своєчасності прийняття рішень при розрахунках шихтових матеріалів та вибору режимів плавки та розливання металу. В даний час контроль хімічного складу, навіть під час плавки, не має технічних труднощів. Визначення ж фазового складу сплавів – складна та трудомістка робота, яка може бути виконана тільки в спеціалізованих лабораторіях і потребує досить багато часу. З іншого боку, тільки знання фазового складу та впливу на нього легуючих елементів, домішок та температури дозволяє приймати правильні рішення при виборі оптимальних режимів плавки, розливання та термічного оброблення ливарних сплавів. Оцінити вплив фазового складу на технологічні режими можливо аналізуючи діаграми стану відповідних систем. Але виконати такий аналіз для багатокомпонентних систем, якими є ливарні сплави, на основі традиційних експериментально встановлених діаграм стану практично неможливо. Так як добре досліджені тільки двохкомпонентні системи, а для невеликої кількості трьох і більш компонентних систем відомі тільки, як правило, ізотермічні розрізи діаграм стану при кількох температурах. Традиційна форма представлення діаграм стану така, що легко працювати тільки з двохкомпонентними системами. Встановити фазовий склад трьох і більш компонентного сплаву при заданій температурі та концентрації компонентів, користуючись традиційними діаграмами стану, досить важко, а в більшості випадків і неможливо, у зв'язку із відсутністю відповідної діаграми або необхідного ізотермічного розрізу. Для спрощення аналізу багатокомпонентних діаграм стану доцільно ввести поняття **технологічної фазової**

діаграми сплаву, яка показує зміну фазового складу конкретного сплаву від температури.

Технологічну фазову діаграму сплаву можливо побудувати виходячи з традиційної діаграми стану, розрахувавши за правилом відрізків, зміну фазового складу всіх фаз від температури вздовж лінії, яка відповідає хімічному складові даного сплаву. Або встановити експериментально, досліджуючи рівноважну кристалізацію даного сплаву методами паралельного термічного, металографічного та рентгенофазового аналізів. Можливо також розрахувати технологічну діаграму сплаву, використовуючи термодинамічні дані відповідних систем. Необхідні для проведення розрахунку дані можливо запозичити із термодинамічних баз даних, а відсутні розрахувати. Для цього використовують або методи прямого розрахунку, виходячи з властивостей чистих компонентів (метод регулярних розчинів, метод асоційованих розчинів та інші), або комплексні методи, які ґрунтуються на використанні для розрахунку трьох і більш компонентних систем експериментальні термодинамічні дані більш простих систем (метод Тупа, Колера, Боньє). Для проведення таких розрахунків розроблено цілий ряд спеціальних програм «PanDat», «Chem-Sage», «Fact-Sage», «Thermo-Calc», «DICTRA» та інші. За останні десять років намітився значний прогрес в створенні міжнародних спеціалізованих баз термодинамічних даних, так для сплавів на основі алюмінію створені бази: «COST2», «PKP», «BIN», «SSOL», які і були використані в даній роботі.

Використовуючи програмне забезпечення фірми «Thermo-Calc» (Швеція) і базу термодинамічних даних «COST2» [1] розрахуємо технологічну фазову діаграму для сплаву Al – 15 % Si (рис. 1). Аналогічну діаграму можливо побудувати графічним шляхом виходячи з традиційної діаграми стану системи Al – Si наведеної на рис. 2. Для побудови технологічної діаграми на діаграмі стану (рис. 2) будуємо точку C, яка відповідає складу гомогенного розплаву даного сплаву (Al – 15 % Si). При охолодженні розплаву до точки C_1 , що відповідає температурі ліквідус ($T_L = 624 \text{ }^\circ\text{C}$), починає виділятися кремній, тому кількість розплаву зменшується. Із зниженням температури до точки C_2 , яка відповідає евтектичній температурі ($T_e = 577 \text{ }^\circ\text{C}$), кількість розплаву зменшується від 100 до 88 %, а – кремнію відповідно зростає від 0 до 12 %. В будь-якій точці на прямій $C_1 C_2$ можемо розрахувати фазовий склад за допомогою правила важеля [2]. Одержані значення переносимо на технологічну діаграму (рис. 1.) та будуємо криві 1 та 2 від температури ліквідус до евтектичної температури. В точці C_2 температура та склад розплаву відповідають евтектичній точці згідно діаграми стану системи

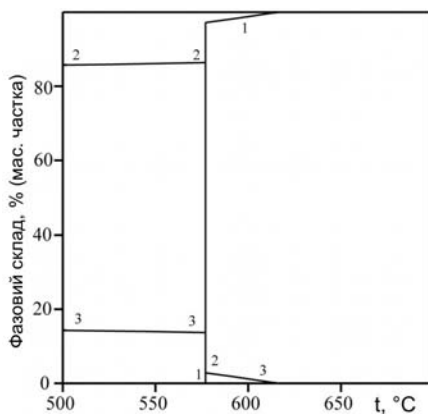


Рис. 1. Технологічна рівноважна фазова діаграма сплаву Al – 15Si. 1 – розплав, 2 – твердий розчин на базі алюмінію, 3 – кремній.

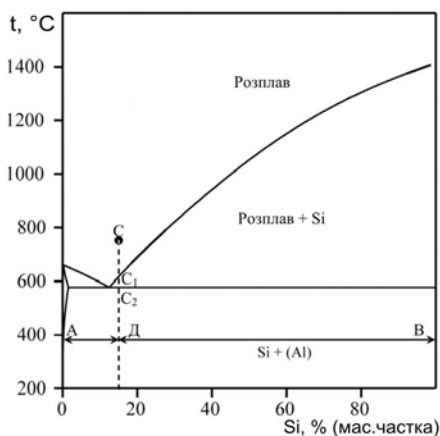


Рис. 2. Діаграма стану системи Al – Si.

Al – Si (рис. 2), тому одночасно починає кристалізуватися кремній та твердий розчин алюмінію. Відповідно на технологічній діаграмі з'являється крива 3, для кристалізації твердого розчину алюмінію.

Основна перевага технологічних діаграм полягає, в тому що вони можуть бути побудовані для будь-якого багатоконпонентного сплаву, при цьому завжди залишаються простими та наочними. Технологічну діаграму можливо розрахувати, знаючи тільки хімічний склад, що дає можливість контролювати фазовий склад сплаву при зміні його хімічного складу.

Для оптимізації режимів плавки та розливання вторинного алюмінієвого сплаву АК7 проводили термодинамічні розрахунки та експериментальні дослідження за

Таблиця 1

Хімічний склад досліджених сплавів (% мас. частка)

Сплав	Si	Mg	Mn	Fe	Cu	Ni	Zn
АК7	7,20	0,20	0,2	0,2	0,3	-	-
АК7в	7,41	0,55	0,6	1,0	1,2	0,3	0,5

Примітка: АК7 – первинний сплав, АК7в – вторинний сплав

допомогою диференціального термічного аналізу на термоаналізаторі ГДТД-24АВ фірми «SETARAM» (Франція). Паралельно досліджували первинний (АК7) та вторинний (АК7в) сплави, їх хімічний склад наведений в табл. 1.

Сплав АК7 є типовим доевтектичним силуміном; його розраховані технологічні фазові діаграми наведено на рис. 3, 4 (рис. 3 – первинний сплав; рис. 4 – вторинний сплав). Згідно з розрахунками в структурі сплаву можуть бути присутні такі фази: твердий розчин алюмінію, кремній, потрійна фаза $AlMnSi$ та фаза Mg_2Si . В структурі вторинного сплаву за рахунок підвищеного вмісту заліза та міді присутні також фази $AlFeSi$ та Al_2Cu . В табл. 2 наведено розраховані та експериментально визначені температурні параметри сплаву, де АК7 – первинний сплав, АК7в – вторинний сплав, T_c – температура солідус, T_l – температура ліквідус, ΔT – температурний інтервал кристалізації.

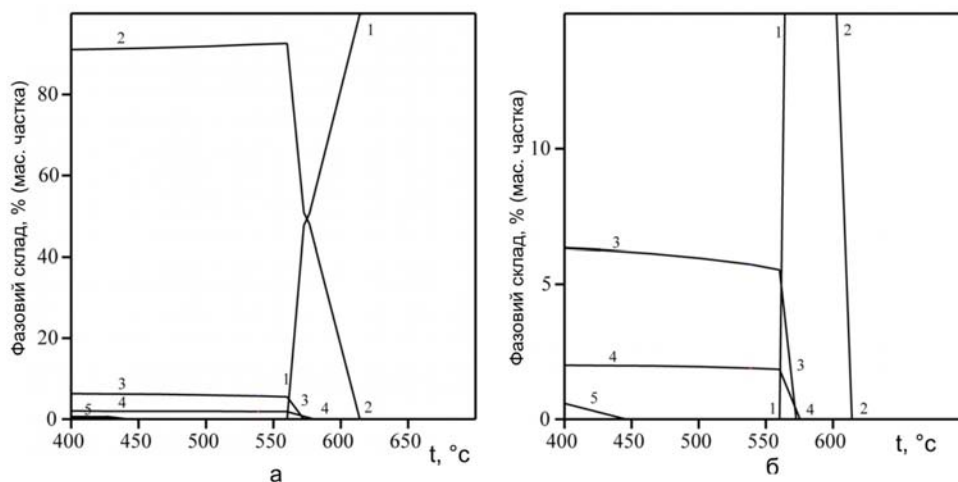


Рис. 3. Технологічна фазова діаграма сплаву АК7. а - загальний вигляд, б - фрагмент діаграми. 1 - розплав, 2 - твердий розчин на базі алюмінію, 3 - кремній, 4 - фаза $AlMnSi$, 5 - фаза Mg_2Si .

Плавлення і кристалізація

Підвищений вміст домішок, характерний для вторинних сплавів, більше понижує температуру солідус на 26 °С, ніж ліквідус – на 6 °С. При цьому інтервал кристалізації різко збільшується на 20 °С за розрахунком та 24 °С згідно експерименту. Температури початку виділення інтерметалідів зростають; характерно, що у випадку вторинних сплавів фази AlMnSi та AlFeSi утворюються вже в розплаві. Температура початку виділення Mg₂Si підвищується (табл. 3).

Таким чином, як показали термодинамічні розрахунки та підтвердив експериментальний ДТА досліджені вторинні алюмінієві сплави мають значно ширший інтервал кристалізації за рахунок значного пониження

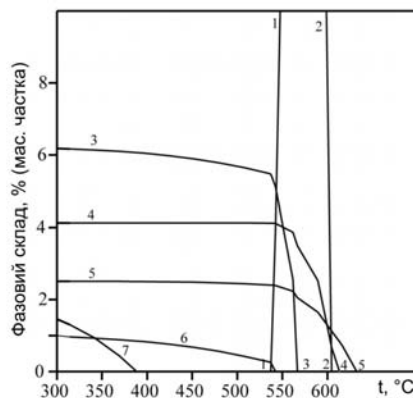


Рис. 4. Технологічна фазова діаграма вторинного сплаву АК7в. 1 – розплав, 2 – твердий розчин на базі алюмінію, 3 – кремній, 4 – фаза AlFeSi, 5 – фаза AlMnSi, 6 – фаза Mg₂Si, 7 – фаза Al₂Cu.

Таблиця 2

Розраховані та експериментальні температурні параметри сплаву АК7

Сплав	T _c , °C		T _л , °C		ΔT, °C	
	розрахунок	експеримент	розрахунок	експеримент	розрахунок	експеримент
АК7	571	575	622	624	51	49
АК7в	532	537	601	605	69	73

Таблиця 3

Розраховані температурні параметри початку виділення фаз для сплаву АК7

Сплав	T _{пв} , °C	T _{пв} , °C	T _{пв} , °C	T _{пв} , °C
	AlMnSi	Mg ₂ Si	AlFeSi	Al ₂ Cu
АК7	577	438	-	-
АК7в	621	535	611	408

Примітка: T_{пв} – температура початку виділення

температури солідус та дещо меншого підвищення температури ліквідус. Температури початку виділення всіх фаз значно підвищуються, а фази AlMnSi та AlFeSi починають виділятися уже в розплаві. Розрахунок технологічних діаграм за результатами хімічного аналізу дає можливість оцінити вплив домішок на температурні параметри вторинного сплаву та оптимізувати режими його плавки та розливання.

Література

1. COST 507 - Definition of Thermochemical and Thermophysical Properties to Provide a Database for the Development of New Light Alloys. // European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, European Commission. – 1998. – V. 1–3.
2. Харьков Е. И., Лысов В. И., Федоров В. Е. Термодинамика металлов. – Киев: Высшая шк., 1982. – 247 с.

Одержано 28.01.09

А. А. Щерецький

Применение технологических фазовых диаграмм для оптимизации режимов плавки и разливки вторичных алюминиевых сплавов

Резюме

Приведены результаты экспериментальных ДТА исследований и выполнены термодинамические расчеты для первичного и вторичного алюминиевого сплава АК7. Вторичный сплав имеет значительно более широкий интервал кристаллизации за счет значительного понижения температуры солидус и незначительного повышения температуры ликвидус. Температуры начала выделения всех фаз значительно повышаются, а фазы AlMnSi и AlFeSi начинают выделяться выше температуры ликвидус первичного сплава. Вводится понятие технологической фазовой диаграммы сплава. Показано, что, расчет технологических диаграмм за результатами химического анализа дает возможность оценить влияние примесей на температурные параметры вторичного сплава и оптимизировать режимы его плавки и разливания.

О. А. Shcheretskiy

Application of the technological phase diagrams for optimization of melting and casting regimes of secondary aluminum alloys

Summary

The DTA tests and thermodynamic calculations for aluminum alloy AK7 are carried out. The secondary alloy has larger crystallization interval due to reducing solidus temperature and some increasing liquidus temperature. Temperatures of beginning phases precipitation increased and phases AlMnSi and AlFeSi start to precipitate only at higher temperature than liquidus temperature of initial alloy. The concert of “technological phase diagram of an alloy” is stated. Possibilities for estimation of impurities influence on the temperature parameters of secondary alloy and optimization of melting and casting regimes are shown.

Шановні колеги!

**Триває передплата на науково-технічний журнал
«Металознавство та обробка металів» на 2009 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Вартість одного номера журналу – 15 грн., передплата на рік – 60 грн. з урахуванням ПДВ.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,
спонсорів і рекламодавців:**

банк УДК в м. Києві, р/р 35226004000379, МФО 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал “МОМ”.

Копію документа передплати та відомості про передплатника
просимо надсилати до редакції,
вказавши номер і дату платіжного документа.