

УДК 669-154:539.53

## *Вплив параметрів термочасової обробки розплаву на характеристики литої структури*

С. Є. Кондратюк, доктор технічних наук, професор

Ж. В. Пархомчук, кандидат технічних наук

О. М. Стоянова, кандидат фізико-математичних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*На прикладі сплаву АК4 досліджено особливості трансформації литої структури при переплавах шихтового металу з підготовленою дисперсною структурою залежно від температури і тривалості ізотермічної обробки розплаву перед кристалізацією.*

Сучасні дослідження щодо спадкового зв'язку будови рідкого і твердого металу в системі шихта-розплав-виливки відкривають можливості цілеспрямованого керування процесами кристалізації, структуроутворення і формування властивостей литих виробів шляхом зміни температурно-кінетичних параметрів підготовки розплаву у передкристалізаційний період, в тому числі з використанням проявів структурної спадковості [1 – 3].

Відомо, що реальний металевий розплав характеризується структурами ближнього порядку і певною мікронеоднорідністю будови, які закономірно змінюються залежно від перегріву рідкого металу відносно ліквідусу і температури його рівноважності ( $T_p$ ).

Узагальнюючи погляди різних дослідників [4 – 6] можемо вважати, що  $T_p$  – це температура розупорядкування і зменшення розмірів кластерів, досягнення розплавом певної рівноважної мікронеоднорідності і втрати спадкових властивостей шихтового металу.

Нашими дослідженнями показано, що закладені спадкові особливості дисперсно-структурованого швидкісною кристалізацією металу зберігаються навіть при багатократних переплавах за умови не перевищення при цьому температури рівноважності  $T_p$ . Встановлено також, що температура рівноважності мікронеоднорідного розплаву, яка визначає інтервал температур збереження структурної спадковості, не є постійною і залежить від ступеня нерівноважності вихідного шихтового металу [7].

Не зважаючи на деякі успіхи дослідників щодо визначення оптимальних температур перегріву розплавів металів та його тривалості [8, 9], вплив цих параметрів на формування литої структури і властивостей литих виробів вивчений недостатньо і потребує подальших системних досліджень.

## Плавлення і кристалізація

Виходячи з цього, на прикладі сплаву алюмінію АК4 (ГОСТ 4787-97) досліджено вплив температури і тривалості ізотермічної обробки розплаву на структурні характеристики виливків у зв'язку з технологічною передісторією шихтового металу. Для експериментів використовували в якості шихти литу заготовку з дисперсно-структурованою швидкісною кристалізацією структурою (рис. 1) наступного хімічного складу: 2,28 % Cu, 0,18 % Mn, 0,32 % Fe, 0,50 % Si, решта Al. Шихтовий метал з підготовленою дисперсною структурою переплавляли у сталевому тиглі за різних температур перегріву розплаву над ліквідусом ( $T_{\text{л}} = 650^{\circ}\text{C}$ ) – 700, 750 і 800 °C з ізотермічною витримкою при цих температурах протягом 10, 20, 40 і 60 хвилин. Експериментальні виливки діаметром 40 мм і висотою 75 мм кристалізувались у тиглі на повітрі із середньою швидкістю охолодження 40 – 45 °C/хв.



Рис. 1. Вихідна структура швидкоохолодженої при кристалізації ( $V_{\text{ox}} = 250^{\circ}\text{C}$ ) шихтової заготовки сплаву АК4.  $\times 100$ .

Металографічно встановлено, що після переплаву в литій структурі (травник – 1 % HF + 1,5 % HCl + 2,5 % HNO<sub>3</sub> + 95 % H<sub>2</sub>O) спостерігається закономірна зміна розміру зерна (рис. 2) залежно від температурно-часових параметрів обробки розплаву. Так, при підвищенні температури ізотермічної обробки розплаву у вказаному інтервалі температур згідно ГОСТ 21073.1-75 розмір зерна литої структури сплаву збільшується в середньому на 45 % (за мінімальної витримки) і на 25 % (за максимальної витримки). Показано, що збільшення тривалості ізотермічної обробки зумовлює помітне збільшення розміру зерна

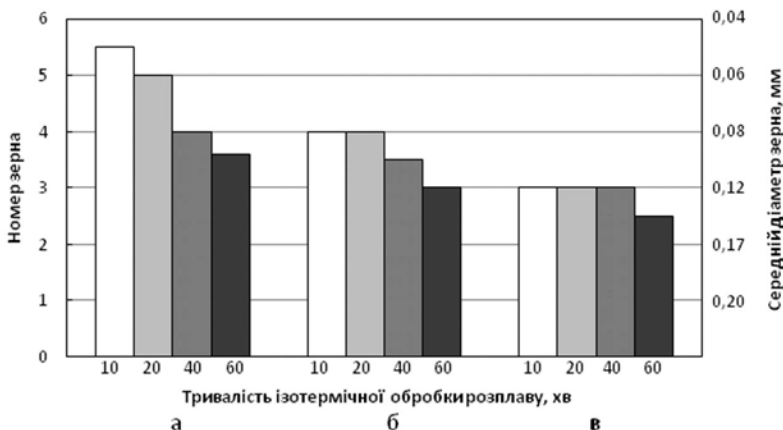


Рис. 2. Залежність номера зерна та середнього діаметру зерна сплаву АК4 від ізотермічної обробки розплаву за температури 700 °C (а), 750 °C (б) та 800 °C (в).

## Плавлення і кристалізація

(на 2 номери) лише за температури обробки 700 °С. Подальше підвищення температури обробки розплаву до 750 °С і 800 °С стає визначальним фактором щодо росту зерна і практично нівелює вплив на цей показник тривалості ізотермічної обробки розплаву за цих температур.

Показовим є також закономірна зміна характеристик дендритної будови сплаву залежно від температури і тривалості ізотермічної обробки розплаву перед кристалізацією.

Визначали лінійний розмір дендритів в мм і дисперсність дендритної структури (ДДС). Остання визначалась як сума кількості осей дендритів і міжосьових ділянок на одиницю довжини (1,0 мм) при мікроскопічному збільшенні  $\times 100$  [10].

Металографічно встановлено, що залежно від температурно-часових параметрів обробки розплаву відбувається закономірна трансформація дендритної структури сплаву (рис. 3). При цьому структура сплаву характеризується мінімальним лінійним розміром дендритів (0,35 мм) при обробці розплаву за температури 700 °С протягом 10 хвилин. Максимальний же розмір дендритів (0,55 мм) досягається при ізотермічній витримці розплаву протягом 60 хвилин за температури 800 °С (таблиця).

Дисперсність дендритної структури і лінійний розмір дендритів сплаву АК4 залежно від температури та тривалості ізотермічної обробки розплаву

Тривалість ізотермічної обробки розплаву, хв	Температура витримки, °С		
	700	750	800
10	<u>36</u> 0,35	<u>36</u> 0,4	<u>35</u> 0,44
20	<u>33</u> 0,44	<u>35</u> 0,45	<u>34</u> 0,48
40	<u>30</u> 0,5	<u>34</u> 0,52	<u>33</u> 0,54
60	<u>28</u> 0,52	<u>33</u> 0,53	<u>33</u> 0,55

Примітка: над рискою – дисперсність дендритної структури, під рискою – лінійний розмір дендритів, мм

Дисперсність дендритної структури сплаву в межах вказаних режимів ізотермічної обробки розплаву помітно знижується від 36 до 28 за мінімальної температури (700 °С) обробки відповідно збільшенню її тривалості від 10 до 60 хвилин. За більш високих температур 750 °С і 800 °С саме вони стають визначальними щодо зміни показника ДДС, а тривалість ізотермічної обробки зумовлює її незначне зниження – в середньому від 35 до 33.

Слід відзначити також деякі зміни хімічної неоднорідності щодо розподілу міді у центральних (осьових) і периферійних (приграничних) ділянках дендритів. Так, незалежно від режиму теплової обробки розплаву вміст міді у центральних ділянках дендритів становить у середньому 0,75 –

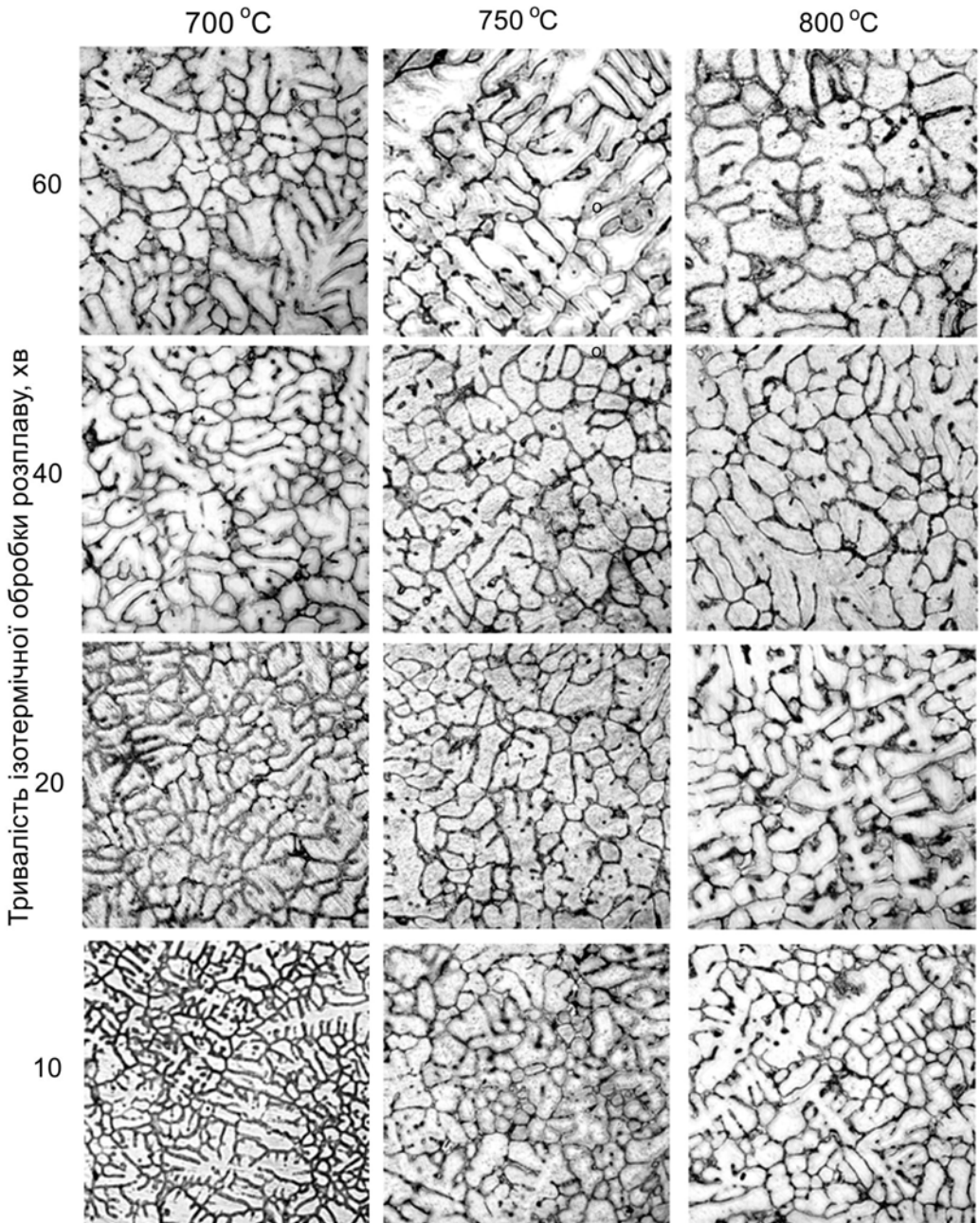


Рис. 3. Трансформація дендритної структури сплаву АК4 залежно від температури та тривалості ізотермічної обробки розплаву.  $\times 100$ .

0,88 %, а у приграничних дещо змінюється від 2,20 % до 1,65 % відповідно збільшенню тривалості ізотермічної обробки розплаву. Залежно від цього мікротвердість сплаву в осях дендритів становить 95 – 15 Н/мм<sup>2</sup>, а у приграничних об'ємах відповідно вмісту міді в них 110 – 150 Н/мм<sup>2</sup>. Різниця вмісту міді в осях і периферійних ділянках дендритів пояснюється різним хімічним складом розплаву, що кристалізується, на початку і в кінці цього процесу.

Виходячи з одержаних результатів можемо вважати, що зміни структурних характеристик досліджуваного сплаву за мінімальної температури ізотермічної обробки розплаву зумовлені збереженням закладених в шихтовому металі спадкових ознак вихідної дисперсно-структурованої швидкісною кристалізацією структури.

Збільшення при цьому тривалості ізотермічного нагріву сприяє зниженню мікрохімічної неоднорідності розплаву, зумовлює більш інтенсивний ріст дендритів і зменшення площі міждендритних ділянок.

Підвищення ж температури обробки розплаву до 750 °С і 800 °С (вище  $T_p$ ) не тільки послаблює закладені в шихті металогенетичні особливості швидкоохолодженого при кристалізації сплаву, але й суттєво підвищує його хімічну і структурну однорідність в рідкому стані перед кристалізацією. За таких умов вплив тривалості ізотермічної обробки розплаву стає не суттєвим і структурний стан литого металу визначається температурно-часовими умовами кристалізації.

Таким чином встановлено, що перегрів рідкого металу вище умовної температури рівноважності мікронеоднорідного розплаву ( $T_p$ ) зумовлює поступову втрату спадкових ознак структури шихтового металу, підвищення мікрохімічної однорідності розплаву і формування при наступній кристалізації більш грубої литої структури. В разі ізотермічної обробки розплаву нижче умовної температури рівноважності зберігаються прояви закладеної в шихті структурної спадковості навіть за значної тривалості теплової обробки рідкого металу. Встановлені закономірності трансформації литої структури можуть бути використані для керування структурою литих виробів.

## Література

1. Гаврилин И.В. Общие принципы строения жидких и твердых материалов, плавление и кристаллизация // *Металлургия машиностроения*. – 2002. – № 4 (7). – С. 10 – 16.
2. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах. – М.: *Машиностроение*. – 2005. – 510 с.
3. Кондратюк С.Є. Структуроутворення, спадковість і властивості литої сталі. – Київ: *Наук. думка*, 2010. – 176 с.
4. Сон Л. Д., Попель П. С., Сидоров В. Е. Структура жидких металлов и возможности ее регулирования для повышения качества отливок // *Литейщик России*. – 2002. – № 2. – С. 14 – 16.
5. Баум Б. А. Жидкая сталь. – М.: *Металлургия*. – 1991. – 158 с.
6. Скребцов А. М. Жидкие металлы, их свойства и строение. – Мариуполь: *ПГТУ*, 2010. – 252 с.
7. Кондратюк С.Є., Стоянова О.М., Щерецький О.А., Пляхтур О.О. Структуроутворення і температура переходу розплаву в рівноважний стан при переплавах сталі Р6М5Л // *МОМ*. – № 2. – 2012. – С. 3 – 10.
8. Масленкова Е.А., Кобылкин А.Н. Влияние температуры нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения расплава на кристаллизацию сплава ХН62БМКТЮ // *Структура, механические и физические свойства металлических материалов*. – М.: *ВЗМИ*. – 1987. – С.93 – 99.

9. Скребцов А.М., Иванов Г.А., Кузьмин Ю.Д., Качиков А.С. Влияние температуры и времени выдержки расплава при ней на качество затвердевший отливки // Вісник приазовського державного технічного університету. – 2011. – С. 140 – 144.
10. Бялик О.М., Кондратюк С.Є., Кіндрачук М.В., Черненко В.С. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія. Київ: . – 2006. – 328 с.

### References

1. Gavrilin I.V., *Metallurgija mashinostroenija*, 2002, No 4 (7), pp. 10 – 16.
2. Nikitin V.I., Nikitin K.V. *Nasledstvennost v lityh splavah* (Heredity in cast alloys), M.: Mashinostroenie, 2005, 510 p.
3. Kondratjuk S.E. *Strukturoutvorenija, spadkovist i vlastivosti litoї stali* (Formation of structure, heredity and properties of cast steel), Kiiv: Nauk. dumka, 2010, 176 p.
4. Son L.D., Popel P.S., Sidorov V.E. *Litejshhik Rossii*, 2002, No 2, pp. 14 – 16.
5. Baum B.A. *Zhidkaja stal* (Liquid steel), M.: Metallurgija, 1991, 158 p.
6. Skrebcev A.M. *Zhidkie metally, ih svojstva i stroenie* (Liquid metals, their properties and structure), Mariupol: PGTU, 2010, 252 p.
7. Kondratjuk S.E., Stojanova O.M., Shhereckij O.A., Pljahtur O.O. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv*, 2012, No 2, pp. 3 – 10.
8. Maslenkova E.A., Kobylkin A.N., *Struktura, mehanicheskie i fizicheskij svojstva metallicheskih materialov*. – M.: VZMI, 1987, pp. 93 – 99.
9. Skrebcev A.M., Ivanov G.A., Kuzmin Ju.D., Kachikov A.S., *Visnik priazov'skogo derzhavnogo tehničnogo universitetu*, 2011, pp. 140 – 144.
10. Bjalik O.M., Kondratjuk S.E., Kindrachuk M.V., Chernenko V.S. *Strukturnij analiz metaliv. Metalografija. Fraktografija* (Structural analysis of metals. Metallography. Fraktografija), Kiiv, 2006, 328 p.

Одержано 05.04.17

**С. Е. Кондратюк, Ж. В. Пархомчук, Е. Н. Стоянова**  
**Влияние параметров термочасовой обработки расплава на**  
**характеристики литой структуры**

**Резюме**

На примере сплава АК4 исследованы особенности трансформации литой структуры при переплавах шихтового металла с подготовленной дисперсной структурой в зависимости от температуры и продолжительности изотермической обработки расплава перед кристаллизацией.

**S. Ye. Kondratyuk, Z. V. Parkhomchuk, E. N. Stoianova**

**Influence of the parameters of the thermo-hour melt processing on**  
**the characteristics of the cast structure**

**Summary**

By the example of alloy AK4 the features of the transformation of the cast structure during remelting of the charge metal with the prepared disperse structure are investigated depending on the temperature and duration of the isothermal treatment of the melt before crystallization.