

УДК 669-1: 621.7-97

Р.В. Лютий, М.І. Прилуцький, О.В. Кривик

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТІВ УСАДКИ СПЛАВІВ У ТВЕРДОМУ СТАНІ

Усадка металів і сплавів – природне фізичне явище, при якому об'єм і лінійні розміри литої заготовки при охолодженні зменшуються.

Процеси усадки прийнято поділяти на три стадії: у рідкому стані, під час кристалізації та у твердому стані. Кожен з етапів характеризується своїми коефіцієнтами усадки.

Вказані явища призводять до появи поширених ливарних дефектів. Під час усадки у рідкому стані та під час кристалізації зменшення об'єму металу зумовлює виникнення усадкових раковин і пористості. Під час лінійної усадки внаслідок охолодження затверділого вилівка можуть відбуватися місцеві деформації (жолоблення) його елементів, поява внутрішніх напружень. Крім цього, коефіцієнт усадки у твердому стані необхідно враховувати під час проектування модельних комплектів.

Коефіцієнти усадки на усіх трьох стадіях експериментально визначено для обмеженого кола ливарних сплавів, які найбільшою мірою застосовуються у промисловості. Поява нових сплавів та литих композиційних матеріалів ставить наукову задачу теоретичного визначення цих фізичних характеристик.

Відомо, що для кожного металу або сплаву коефіцієнт об'ємної усадки дорівнює сумі коефіцієнтів, які відповідають послідовним стадіям охолодження: рідкий стан, кристалізація, твердий стан [1, 2]:

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_{кр} + \varepsilon_T, \quad (1)$$

де ε_p – коефіцієнт об'ємної усадки у рідкому стані;

$\varepsilon_{кр}$ – коефіцієнт об'ємної усадки при кристалізації;

ε_m – коефіцієнт об'ємної усадки у твердому стані.

Визначення указаних характеристик для ливарних сплавів є теоретично можливим, оскільки усі значення коефіцієнтів для окремих компонентів відомі.

Визначення коефіцієнтів усадки сплавів у твердому стані ускладнено тим, що компоненти можуть мати температуру плавлення набагато нижчу за сам сплав: наприклад у мідних сплавах із вмістом олова та свинцю, сталі з алюмінієм тощо. У та-

кому разі відсутня можливість провести розрахунок за зміною питомих об'ємів компонентів в інтервалі від 20 °С до температури плавлення сплаву.

Об'єктом нашого розрахунку вибрано поширений ливарний сплав на основі міді – бронза БрОЗЦ12С5, яка містить близько 3% Sn, 12% Zn, 5% Pb, 80% Cu.

Коефіцієнт усадки у твердому стані розраховуємо за різницею густини сплаву при температурі плавлення (950 °С) і температурі навколишнього середовища (20 °С).

Густина сплаву у твердому стані при температурі плавлення становить $\rho_{СПЛ}^{950} = 8068 \text{ кг/м}^3$. Густина сплаву при температурі 20 °С розраховуємо за питомими об'ємами його компонентів. При температурі 20 °С питомі об'єми компонентів становитимуть (густина міді 8920 кг/м³; густина олова – 7300 кг/м³; густина цинку – 7100 кг/м³; густина свинцю – 11350 кг/м³) [2]:

$$V_{Cu}^{20} = \frac{1}{8920} = 0,000112 \text{ м}^3 / \text{кг}; V_{Sn}^{20} = \frac{1}{7300} = 0,000137 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$V_{Zn}^{20} = \frac{1}{6600} = 0,000141 \text{ м}^3 / \text{кг}; V_{Pb}^{20} = \frac{1}{11350} = 0,000088 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Питомий об'єм сплаву при температурі 20 °С (враховуючи масову частку кожного компонента) [2]:

$$V_{СПЛ}^{20} = \frac{0,000112 \cdot 80 + 0,000137 \cdot 3 + 0,000141 \cdot 12 + 0,000088 \cdot 5}{100} = 0,0001151 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Густина сплаву при температурі 20 °С:

$$\rho_{СПЛ}^{20} = \frac{1}{0,0001151} = 8688 \text{ кг/м}^3.$$

Коефіцієнт об'ємної усадки сплаву у твердому стані:

$$\varepsilon_T = \frac{8688 - 8068}{8688 \cdot (950 - 20)} = 0,000077 \text{ К}^{-1} = 77 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}.$$

Список літератури

1. Богуслаев В.А., Репях С.И., Могилатенко В.Г. и др. Литейные свойства металлов и сплавов для прецизионного литья: Учебник. – Запорожье: Изд-во АО «Мотор Сич», 2016. – 400 с.
2. Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М. Теоретичні основи ливарного виробництва. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2011. – 288 с.