

нок з оксиду  $Fe_2O_3$  в більш тугоплавкий оксид  $Fe_3O_4$  (температура плавлення і дисоціації оксиду  $Fe_3O_4$  дорівнює  $1594\text{ }^\circ\text{C}$ ) та форму наночастинок з ділянками негативної кривизни поверхні, можна рахувати, що модифікування дендритної структури сталі відбувається, в основному, внаслідок їх дії як центрів кристалізації.

**Афтанділянц Є. Г.**  
**(НУБіП, м. Київ)**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЛИВАРНОЇ УСАДКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ**

**E-mail:** [aftyev@yahoo.com](mailto:aftyev@yahoo.com)

Якість виливків визначається не тільки фізико-механічними, а й ливарними властивостями, високий рівень яких може бути досягнутий тільки в разі забезпечення послідовного ефективного позитивного впливу хімічних елементів і технологічних параметрів на процес формування структури виливків при їх кристалізації.

Вивченню зазначеної проблеми присвячено безліч робіт. Однак до цього часу не розроблені методи ефективною оптимізації процесу ливарної усадки сталей.

Враховуючи, що ливарна усадка сталей є однією з основних характеристик, які визначають якість виливків, дослідження проводили з вивчення закономірності ливарної усадки в сталевих виливках.

Закономірності розвитку ливарної усадки досліджували на сталях, що містять від 0,06 до 0,35% масової частки вуглецю; 0,03-2,69% кремнію; 0,1-2,54% марганцю; 0,1-3,06% хрому; 0,012-0,030% азоту; 0,001-0,028% кисню; 0,015-0,037% сірки; 0,004-0,025% фосфору, до 0,26% ванадію. Параметри вільної ливарної усадки конструкційних сталей, після заливання від  $1550\text{ }^\circ\text{C}$ , визначали шляхом реєстрації одностороннього лінійного переміщення вилівка довжиною 250 мм, діаметром 20 мм.

Аналіз результатів експериментів показав, що вплив легувальних еле-

ментів на процес ливарної усадки стали пов'язано, в основному, зі зміною ними прихованої теплоти кристалізації ( $q_{кр}$ ), величини перегріву над температурою ліквідусу ( $\Delta t_{л}$ ) і дисперсності дендритної структури ( $l_{ст}$ ,  $l_{д}$ ).

Встановлено, що кількісна закономірність впливу вихідних факторів на температуру початку ливарної усадки ( $t_{нлу}$ , °C) має такий вигляд:

$$t_{нлу} = 892 - 9,53 \cdot \lambda_s + 1,135 \cdot q_{кр} + 77,34 \cdot l_{ст} + 8,691 \cdot \Delta t_{л} + 490,5 \cdot l_{ст} \cdot l_{д} - 81,75 \cdot l_{ст}^2 - 782,6 \cdot l_{д}^2 - 0,02483 \cdot \Delta t_{л} \cdot q_{кр}, \quad (1)$$

$$R = 0,954; \delta = 0,43\%; F_p = 16,4 > F_T^{0,01} = 4,3.$$

Величина максимального передусадкового розширення ( $\varepsilon_{прр}$ , %) визначається наступною залежністю:

$$\varepsilon_{прр} = 2,2 - 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{кр} + 1,85 \cdot \Delta_2 - 0,924 \cdot l_{д} - 2,09 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta t_{л} + 0,155 \cdot l_{ст} \cdot l_{д} - 5,32 \cdot 10^{-2} \cdot l_{ст}^2 + 2,67 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta t_{л} \cdot q_{кр}, \quad (2)$$

$$R = 0,914; \delta = 9,6\%; F_p = 10,2 > F_T^{0,01} = 4,28.$$

Температура початку ливарної усадки після передусадкового розширення ( $t_{ну}$ ) з імовірністю 99% і похибкою 0,15% пов'язана з температурою початку ливарної усадки ( $t_{нлу}$ ) і величиною максимального передусадкового розширення ( $\varepsilon_{прр}$ ) наступною формулою:

$$t_{ну} = 29,9 + t_{нлу} \cdot (0,978 - 0,068 \cdot \varepsilon_{прр}), \quad (3)$$

$$R = 0,993; \delta = 0,15\%; F_p = 676 > F_T^{0,01} = 5,93.$$

Кількісна закономірність коефіцієнту ливарної усадки має такий вигляд:

$$K_{лу} = (12 + 45 \cdot Si + 78,25 \cdot Si \cdot Mn - 46,84 \cdot Si \cdot Cr - 595,5 \cdot C \cdot Si \cdot Mn - 104,6 \cdot Si \cdot Mn \cdot Cr + 748,5 \cdot C \cdot Si \cdot Mn \cdot Cr) \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

$$R = 0,894; \delta = 6,4\%; F_p = 9,96 > F_T^{0,01} = 4,32.$$

Закономірності зміни повної ливарної вільної усадки досліджених сталей з імовірністю 95% описується наступною формулою:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{лит}} = & 6,63 - 14,69 \cdot C - 14,69 \cdot C - 0,323 \cdot Si + 0,377 \cdot Cr + 19,2 \cdot V - 226,2 \cdot N - \\ & - 17,87 \cdot \varepsilon_{\text{нрр}} + 37,5 \cdot K_{\text{лу}} \cdot t_{\text{ну}} + 1226 \cdot \varepsilon_{\text{нрр}} \cdot K_{\text{лу}} \cdot t_{\text{ну}}, \quad (5) \\ R = & 0,828; \delta = 7,4\%; F_p = 3,53 > F_T^{0,05} = 2,77. \end{aligned}$$

Аналіз впливу легувальних елементів на зміну ливарної усадки сталі 20ХГСЛ показує, що з ростом вмісту в сталі марганцю і хрому ливарна усадка збільшується, а в разі вуглецю, кремнію, азоту та спільного легування азотом і ванадієм – зменшується. За питомою ефективністю впливу елементи можна розташувати в наступній послідовності: Cr, V, Si, Mn, C, V+N, N.

**Афтанділянц Є. Г.**  
**(НУБіП, м. Київ)**

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ПРАКТИКИ ПО ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВУ**

**E-mail: aftyev@yahoo.com**

У зв'язку з переходом на дистанційне навчання на кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства (ТКМіМ) факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України дистанційну навчальну практику організували таким чином.

На сайті кафедри ТКМіМ в розділі навчальної роботи була створена папка «Практика», що містить графік практик і папки «Навчальна практика» та «Виробнича практика» (рис. 1).

У папці «Навчальна практика» (<https://nubip.edu.ua/node/77793>) розташовані «Наскрізна програма практичної підготовки студентів», журнал з завданням по навчальній практиці (частина 1 і 2) та навчально-методичне забезпечення з навчальної практики за напрямом «Технологічний процес виготовлення ливарних форм і виливків» і іншими напрямами.