

# ПАРАМЕТРИ КОНТАКТНОГО ПЛАВЛЕННЯ В СИСТЕМІ

## FE-C (ГРАФІТ)

Савуляк В.І., професор, Осадчук А.Ю., ст. викладач,

Архіпова Т.Ф., доцент, ВНТУ, м. Вінниця

Широкі можливості по створенню шаруватих матеріалів типу сталь-чавун надає використання явища контактного плавлення (КП) у системі Fe-C. Модифікація поверхневого шару сталю виро́ба відбувається за рахунок дифузії через рідку фазу під час контактного плавлення між графітом, чи іншим вуглецевим матеріалом зі сталлю. При чому саме КП проходить відповідно стабільній діаграмі Fe-C (графіт), а отриманий модифікований шар, як правило доєвтектичного чавуну, затвердіває по метастабільній діаграмі. В результаті отримаємо на сталевій поверхні шар білого чавуну.

Метою дослідження було з'ясувати параметри контактного плавлення нелегованої сталі з графітом у дифузійному стаціонарному режимі.

Для визначення таких параметрів як залежність зростання рідкої фаз від часу та визначення енергії активації КП була створена математична модель КП для нестационарного дифузійного режиму [1, 2].

Контактне плавлення сталі з графітом можна представити як дифузійний перенос вуглецю з графіту через рідину в аустеніт. Модель побудована для процесу КП сталі з вуглецем (без легуючих елементів). Для цього використовується діаграма стану Fe-C (графіт) [3, 4]. Розчинність заліза в графіті нехтуємо. В роботі використовуємо апроксимовані залежності розчинності від температури для аустенітного й графітного солідусів та ліквідусів [1]. Процеси дифузії описуються законами Фіка.

Після ряду математичних перетворень було визначено, що межі розділу фаз рідини з аустенітом та рідини з графітом переміщуються відповідно залежностям:  $\eta = 2\beta\sqrt{\tau}$  та  $\psi = 2\alpha\sqrt{\tau}$ , де  $\alpha$ ,  $\beta$  - сталі,  $\tau$  - час.

В моделі використовується припущення про незалежність коефіцієнтів дифузії від концентрації. Температурна залежність коефіцієнтів дифузії визначається по напівемпіричній формулі Ареніуса. В результаті модель звелася до системи двох нелінійних інтегральних рівнянь (1, 2):

$$\sqrt{\frac{D}{\pi}} \cdot n^L \cdot \frac{c_3 - c_2}{\Phi\left(\frac{\alpha}{\sqrt{D}}\right) + \Phi\left(\frac{\beta}{\sqrt{D}}\right)} e^{-\frac{\beta^2}{D}} - \sqrt{\frac{D_C}{\pi}} \cdot n^{Fe} \cdot \frac{c_1 - c_0}{1 - \Phi\left(\frac{\beta}{\sqrt{D_C}}\right)} e^{-\frac{\beta^2}{D_C}} = n^{Fe} \beta \cdot (c_2 - c_1), \quad (1)$$

$$\sqrt{\frac{D}{\pi}} \cdot n^L \cdot \frac{c_3 - c_2}{\Phi\left(\frac{\alpha}{\sqrt{D}}\right) + \Phi\left(\frac{\beta}{\sqrt{D}}\right)} \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{D}} = n^C \cdot \alpha \cdot (1 - c_3)$$

де  $c_1$  – концентрація вуглецю в аустеніті на межі поділу з рідиною;

$c_2$  – концентрація вуглецю в рідині на межі розділу з аустенітом;

$c_3$  – концентрація вуглецю в рідині на межі розділу з графітом;

$c_0$  – концентрація вуглецю в сталі;

$n^L$  – кількість атомів в одиниці об'єма розплава;

$n^{Fe}$  – кількість атомів в одиниці об'єма сталі;

$n^C$  – кількість атомів в одиниці об'єма графіта;

$D_c$  - коефіцієнт дифузії вуглецю в аустеніті;

$D$  - коефіцієнт взаємної дифузії в рідині.

$\Phi(z)$  - функція похибок.

Отриману систему було розв'язано відносно коефіцієнтів  $a$  та  $v$  за допомогою математичного пакета Maple 11 для заліза ( $c_0=0$ ).

У зв'язку з тим, що товщина прошарку рідкого сплаву зростає за параболічним законом, а шар рідкого сплаву є новою фазою можна говорити про енергію активації КП.

З метою визначення енергії активації контактного плавлення заліза з вуглецем було проведено апроксимацію залежності суми коефіцієнтів  $(a+v)$  від температури за залежністю, яка відповідає закону Ареніуса, де  $a_0$  - фактор контактного плавлення,  $R$  – універсальна газова стала,  $R$  – універсальна газова стала,  $E$  - енергія активації контактного плавлення.

Були визначені енергія активації контактного плавлення заліза з графітом  $E=140865,8\pm 7575,7$  Дж/г атом, та фактор контактного плавлення  $a_0 = 1387,514\pm 749,881$  см<sup>2</sup>/с.

Таким чином була створена математична модель КП, яка описує залежності пересування фронтів рідкої фази, розподілу вуглецю в сталі в залежності від температури, часу та вмісту вуглецю в сталі. А за результатами, отриманими за допомогою цієї моделі визначені енергія активації та фактор КП заліза з вуглецем.

#### Список літератури

1. Михалевич В.М., Осадчук А.Ю. Визначення параметрів контактного плавлення заліза з графітом у дифузійному нестационарному режимі // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2000, №4 (17), С. 55 – 61
2. Savulyak Valery, Ossadchuk A., Savulyak Viktor Contact melting of unalloyed steel is with graphite in diffusive unstationary mode // Buletinul Institutului Politehnic din Iași. secția știința și ingineria materialelor, Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3-4, Iași: Universitatea Tehnică «Gh.Asachi», 2008 – Ac. 85-91.
3. Жуков А.А. Система Fe-Fe<sub>3</sub>C // Литейное производство, 1997, № 2, С. 38 - 39.
4. Zhukov A.A., Ossadchuk A.Yu. The iron-carbon phase diagram. New data and technologies. In. Heat Treatment and technology of surface coatings. Materials of the MOTO - 7-th International Congress. Moscow. 1990. Vol. 2, p. 157 - 166.