

## ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОР С ТРЕЩИНАМИ

**В. Э. ЗАВИСТОВСКИЙ, А. С. ВАБИЩЕВИЧ**  
*Полоцкий государственный университет, Беларусь*

*При определенных условиях трещины в металле способны залечиваться (уменьшать свой объем), что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик материала. Рассматривается возможный результат залечивания трещин в рамках модели структурно-диффузионного механизма. При диффузии по границам зерен энергия активации диффузии хрома меньше, чем по вакансиям; скорость залечивания трещин главным образом определяется значением и изменением энергии активации диффузии атомов Cr. Увеличению скорости залечивания трещин способствует увеличение температуры отжига.*

Дефекты в твердых телах, в частности в металлах, могут быть различного типа и происхождения. Дефектная структура твердых тел формируется уже на этапе получения самого материала. В процессе изготовления из него изделий и при эксплуатации готовых изделий она может существенно трансформироваться. При этом может изменяться количество самих дефектов и происходить их переформирование с образованием новых типов нарушений.

В материаловедении металлов состояние поверхности и зарождение трещин во многом определяет сопротивление материалов деформации и разрушению. При определенных условиях трещины в металле способны залечиваться (уменьшать свой объем), что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик материала.

Трещины являются стоками для точечных дефектов и микропор в твердом теле. Процесс залечивания (разрастания) связан с потоком микропор (вакансий) от трещины (к трещине). Известно, что концентрация вакансий у поверхности малых трещин (пор) выше, чем у больших, и следовательно, появляется поток вакансий от малых трещин к большим. Происходит залечивание малых трещин. Поток микропор на поверхность единицы длины трещины  $f$  рассчитывается по формуле [1,2]:

$$f = \frac{\gamma n_1}{R} \sqrt{\frac{D}{n_2}} \frac{K_1(z)}{K_0(z)}, \quad (1)$$

где  $\gamma = \frac{2\alpha\Omega}{kT}$ ;  $z = R\sqrt{\frac{n_2}{D}}$ ;  $R$  – радиус трещины;  $D$  – эффективный коэффициент диффузии для дефектов данного типа;  $n_1, n_2$  – константы;  $\alpha$  – удельная поверхностная энергия;  $\Omega$  – характерный объем одной микропоры (дефекта);  $T$  – абсолютная температура;  $K_i(z)$  – цилиндрические функции Макдональда  $i$ -го порядка.

Учтем, что температурная зависимость коэффициента диффузии дефектов может быть описана известным соотношением:

$$D = D_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}, \quad (2)$$

где  $E_a$  – энергия активации диффузии дефекта,  $D_0$  – постоянная величина,  $k$  – постоянная Больцмана. Таким образом, поток микропор оказывается сложной функцией многих параметров: температуры, коэффициента диффузии, поверхностной энергии, радиуса трещины.

Рассмотрим диффузию микропор в объеме, прилегающем к открытой трещине цилиндрической формы. Тогда изменение объема трещины  $\Delta V$  длиной  $h$  за время  $t$  определим по формуле:

$$\Delta V = 2\pi R h f t \Omega. \quad (3)$$

При оценке процесса залечивания трещины необходимо определить относительное изменение объема трещины (относительную скорость залечивания трещины):  $\varepsilon = \Delta V/V$ .

На рисунке 1 представлены зависимости относительного изменения объема трещины от температуры для различных значений энергии активации диффузии микропор. Известно [3], что в металлах энергия активации для вакансий лежит в интервале 0,9-2,0 эВ.

Как видно из рисунка 1 изменение энергии активации пор в небольшом интервале 1–1,25 эВ существенным образом влияет на параметр залечивания. Кроме этого, скорость процесса залечивания зависит от температуры. С ростом температуры резко возрастает отличие в скорости залечивания в исследуемом интервале энергий.

Предполагается, что поток примесных атомов в процессе залечивания должен быть на порядок меньше вакансионного механизма, поскольку энергия миграции для примесей  $E_a$  лежит в широких пределах от 1 до 5 эВ.

Таким образом, основное влияние пор на залечивание трещин связано с низким значением энергии активации диффузии пор.

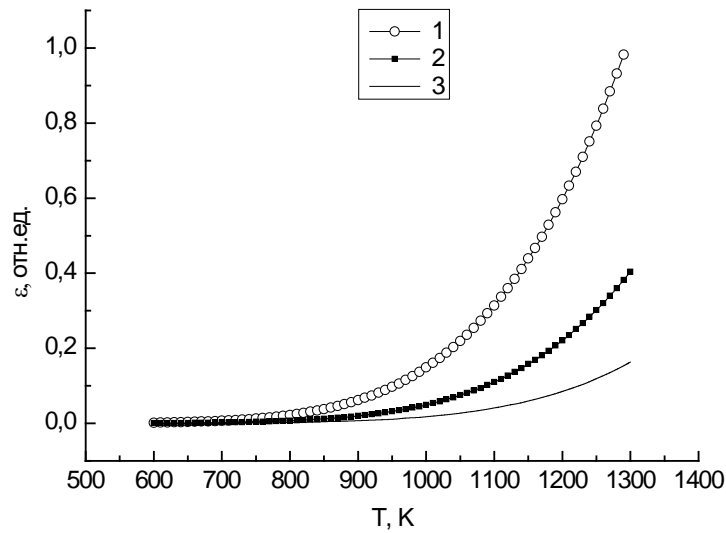


Рис. 1. Зависимость относительного изменения объема трещины от температуры при различных энергиях активации пор, эВ: 1 – 1; 2 – 1,13; 3 – 1,25 ( $D_0 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $t = 20 \text{ ч}$ )

Рассмотрим диффузию атомов Cr в объеме, прилегающем к открытой цилиндрической трещине. Изменение объема трещины  $\Delta V$  длиной  $h$  за время  $t$  определим по формуле:  $\Delta V = 2\pi R h f t \Omega$ . При оценке процесса залечивания трещины определим относительное изменение объема трещины (относительную скорость залечивания трещины):  $\varepsilon = \Delta V/V$ .

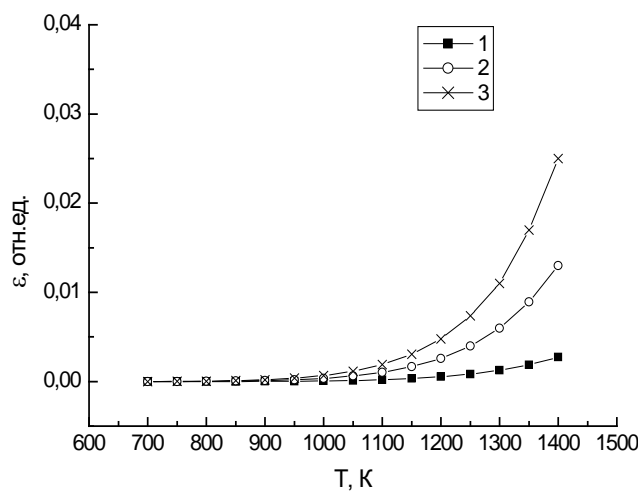


Рис. 2. Зависимость относительного изменения объема трещины от температуры отжига при различных энергиях активации диффузии хрома, эВ: 1 – 2,4; 2 – 2,2; 3 – 2,0.  $D_0 = 0,85 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ . Время отжига  $t = 20 \text{ ч}$

На рисунке 2 представлены результаты моделирования зависимости относительного изменения объема трещины при диффузии атомов хрома. Для хрома в  $\alpha$ -Fe энергия активации лежит в пределах от 2,17 до 2,4 эВ, а частотный фактор от 0,89 до 0,78 см<sup>2</sup>/с. При переходе от диффузии по вакансиям (кривая 1) к диффузии по границам зерен металла (кривые 2, 3), где структура, как правило, чрезвычайно сильно искажена, процесс диффузии значительно ускоряется. Это связано с тем фактом, что при диффузии по границам зерен энергия активации диффузии хрома меньше, чем по вакансиям. Результаты расчета говорят о том, что скорость залечивания трещин главным образом определяется значением и изменением энергии активации диффузии атомов Cr. Увеличению скорости залечивания трещин способствует увеличение температуры отжига.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Завистовский, В.Э. Механика разрушения и прочность материалов с покрытиями / В.Э.Завистовский. – Новополоцк : Полоцк. гос. ун-т. – 1999. – 144 с.
2. Zavistovskiy, V. On interaction between cracks and particles in coated materials / V. Zavistovskiy, E. Bogdanova, S. Zavistovskiy // Fracture mechanics and physics of construction materials and structures : materials of II international symposium, 7-10 November 1996, Lviv-Dubliany. – P. 45–48.
3. Фистуль, В.И. Физика и химия твердого тела / В.И. Фистуль. – М. : Металлургия. – 1995. – 486 с.