

DIFUSÃO, NUCLEACÃO, SOLIDIFICAÇÃO

1. Considere a cementação a 927 °C da superfície de uma roda dentada de um aço 1022 (0.22% C).

Dado: $D(\text{C no Fe-}\gamma, 927 \text{ }^\circ\text{C}) = 1.28 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$.

- a) Se o teor superficial for 1%, calcule a composição do aço a 1.2 mm abaixo da superfície após 3 h de tratamento.
- b) Pretende-se que a 0.90 mm da superfície se tenha uma concentração de 0.55% C. Calcule o tempo necessário para que se atinja esse valor, sabendo que a concentração superficial é mantida a 1.2 % C.

2. Aplique a 1ª lei de Fick $J = - D \frac{dC}{dx}$ ao processo de cementação de um aço, com o objectivo de estimar, num caso concreto, a massa de carbono, m_C , em grama, que se difunde para o interior de uma peça de aço numa hora, por cm^2 de área exterior exposta ao gás carburizante. Considere que à superfície do material a concentração (massa de carbono por unidade de volume) é 94.3 kg/m^3 e que a uma distância à superfície de 0.1 mm a concentração diminui para 78.6 kg/m^3 . Assumindo como 1ª aproximação que o perfil de concentração junto à superfície é linear (por forma a poder estimar o valor do gradiente) e sabendo que o coeficiente de difusão é $D = 1.9 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, calcule m_C .

3. O coeficiente de difusão dos átomos de níquel no ferro- γ (CFC) é $9.06 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$ a 1200 °C. Calcule a energia de activação para a difusão do Ni no Fe- γ , em J/mol.

Dados: $D_0 = 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

4. O coeficiente de difusão dos átomos de ferro no ferro- α (CCC), *i.e.*, de auto-difusão, é $4.2 \times 10^{-23} \text{ m}^2/\text{s}$ a 400 °C e $5.6 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ a 800 °C. Calcule a energia de activação, em J/mol.

5. Considere a cementação da superfície de uma roda dentada de um aço 1022 (0.22% C).

a) Calcule o coeficiente de difusão do C no Fe a 900 °C e a 1200 °C.

b) Se o teor superficial em C for 1.22%, calcule o tempo necessário para se obter o valor 0.72% C para a composição do aço a 1.0 mm abaixo da superfície, no caso em que a cementação é realizada a 900 °C. E se a temperatura de cementação for 1200 °C? Admita que é válida a seguinte solução da

2ª lei de Fick: $\frac{C_s - C(z,t)}{C_s - C_o} = \text{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{Dt}}\right)$. (Note que $\text{erf}(x) \approx x$ quando $x < 0.75$). Dados: $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$;

$D_0(\text{C no Fe-}\gamma) = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; energia de activação para a difusão: $Q = 142 \text{ kJ/mol}$.

DIFUSÃO, NUCLEAÇÃO, SOLIDIFICAÇÃO

6. O cloreto de metileno é um composto químico que se pode encontrar em vários diluentes. No entanto, é um agente que causa irritação cutânea, logo ao manusear diluentes com essa substância torna-se necessário usar luvas protectoras. Se se usarem luvas de borracha butílica de 0.04 cm de espessura, determine, com base nos seguintes dados:

Concentrações superficiais de cloreto de metileno na luva: 0.44 g/cm³ e 0.02 g/cm³.

$D = 1.10 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ (coeficiente de difusão do cloreto de metileno na borracha butílica).

- a) O fluxo de cloreto de metileno que atravessa cada luva através do processo de difusão; admita que o perfil de concentração na luva é linear;
- b) O tempo máximo de utilização de cada luva, admitindo que o máximo admissível de cloreto de metileno que pode passar para a pele do utilizador é 3 mg por cm².

7. Considere a difusão de Azoto (N) em Ferro puro durante um tratamento de nitruração em fase gasosa, realizado à temperatura de 700 °C.

$D_0 = 3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ $Q = 76150 \text{ J/mol}$ $R = 8,314 \text{ J/(mol.K)}$

a) Se, durante o tratamento, a concentração de N à superfície da peça for mantida a 0,11% (em peso), calcule a concentração de N à distância de 1 mm abaixo da superfície, após 10 h de tratamento.

b) Se o tratamento fosse efectuado à temperatura de 850 °C, qual o tempo necessário para obter uma camada nitrurada com as mesmas características (ie, observando-se o mesmo valor da concentração à mesma espessura de 1 mm)?

8. Considere a ocorrência de nucleação homogénea na solidificação do ferro puro.

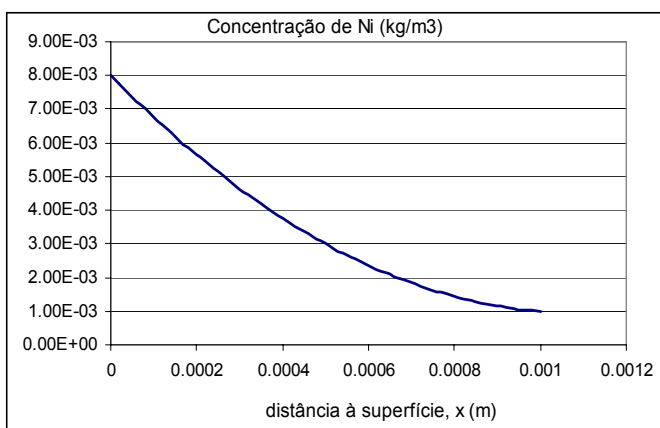
- a) Calcule o tamanho (raio) crítico de um núcleo.
- b) Calcule o número de átomos num núcleo com o tamanho crítico.

Dados: $T_f = 1538 \text{ °C}$; $\Delta T = 295 \text{ °C}$; $M = 55.85 \text{ g/mol}$ $\rho = 7.86 \text{ g/cm}^3$
 calor de solidificação = -2098 J/cm^3 ; energia de superfície: $2.04 \times 10^{-5} \text{ J/cm}^2$.

9. O coeficiente de difusão dos átomos de níquel no ferro- γ (CFC) é $9.06 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$ a 1200 °C.

a) Calcule a energia de activação para a difusão do Ni no Fe- γ , em J/mol.

Dados: $D_0 = 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.



b) Suponha que o perfil de concentração (kg/m³) de Ni junto da superfície dum peça de ferro é dado de forma aproximada pela equação:

$C(x) = 0.008 - 13x + 6000x^2$, em que

x (m) é a distância à superfície.

Aplique a 1ª lei de Fick

$J = -D \frac{dC}{dx}$ para calcular o fluxo de

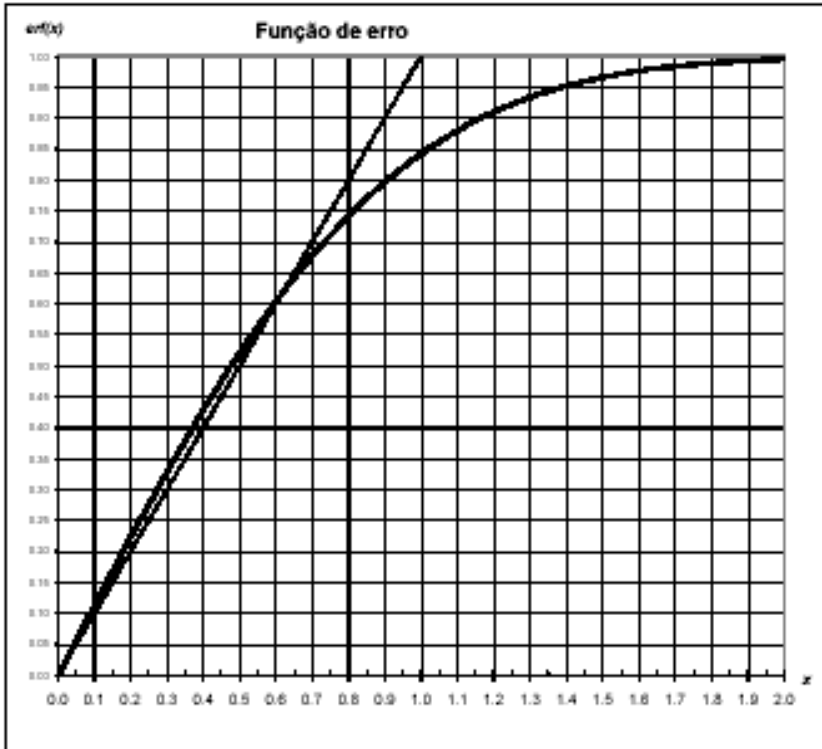
átomos de Ni que atravessa a superfície do material ($x = 0$ m), à temperatura de

- i) 1200 °C; ii) 1000 °C.

DIFUSÃO, NUCLEAÇÃO, SOLIDIFICAÇÃO

10. Considere a cementação da superfície de uma roda dentada de um aço 1022 (0.22% C).

a) Calcule o coeficiente de difusão do C no Fe a 1000 °C. Dados: $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; $D_0(\text{C no Fe-}\gamma) = 2.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; energia de activação para a difusão = $1.42 \times 10^5 \text{ J/mol}$.



b) Se o teor superficial em C for 1.22% C, e admitindo que é válida a seguinte solução da 2ª lei de Fick:

$$\frac{C_s - C(z, t)}{C_s - C_o} = \text{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

calcule no caso em que a cementação é realizada a 1000°C:

i) o tempo necessário para se obter o valor 0.32% C para a composição do aço a 1.0 mm abaixo da superfície;

ii) A profundidade a que se encontra a composição eutectóide, $C(z, t = 20\text{h}) = 0.76\% \text{C}$, ao fim de 20h de tratamento.