



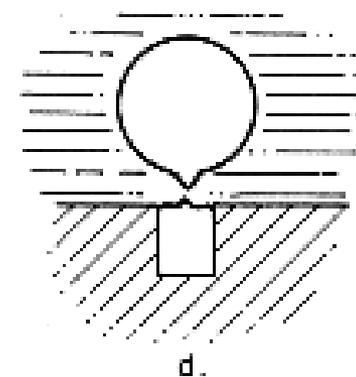
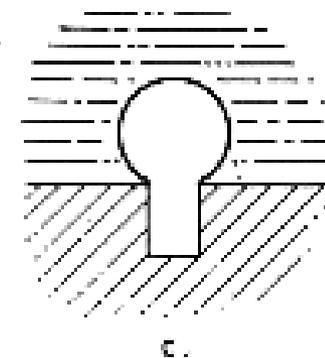
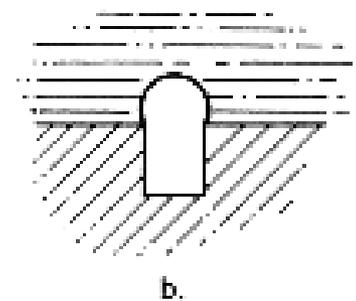
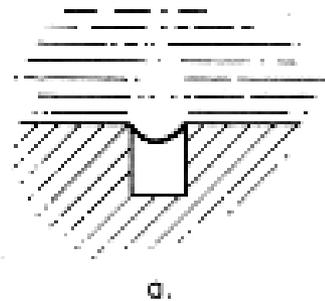
METMAT

CINÉTICA DAS REAÇÕES QUÍMICAS

FORMAÇÃO DE BOLHAS

FORMAÇÃO DE BOLHAS

- Papel muito importante:
 - Solubilidade: conversão do aço, descarburagem em forno elétrico, carbodesoxidação sob vácuo
 - Artificial: borbulhamento de gás inerte
- Processo heterogêneo:
 - necessita de uma interface
 - mais comum: superfície do refratário (porosidades)
 - Pode ser superfície do banho (quiescente)
- Quantidade e morfologia: diferem de refratário para refratário (processo de confecção e desgaste)



FORMAÇÃO DE BOLHAS

Para a bolha subsistir:

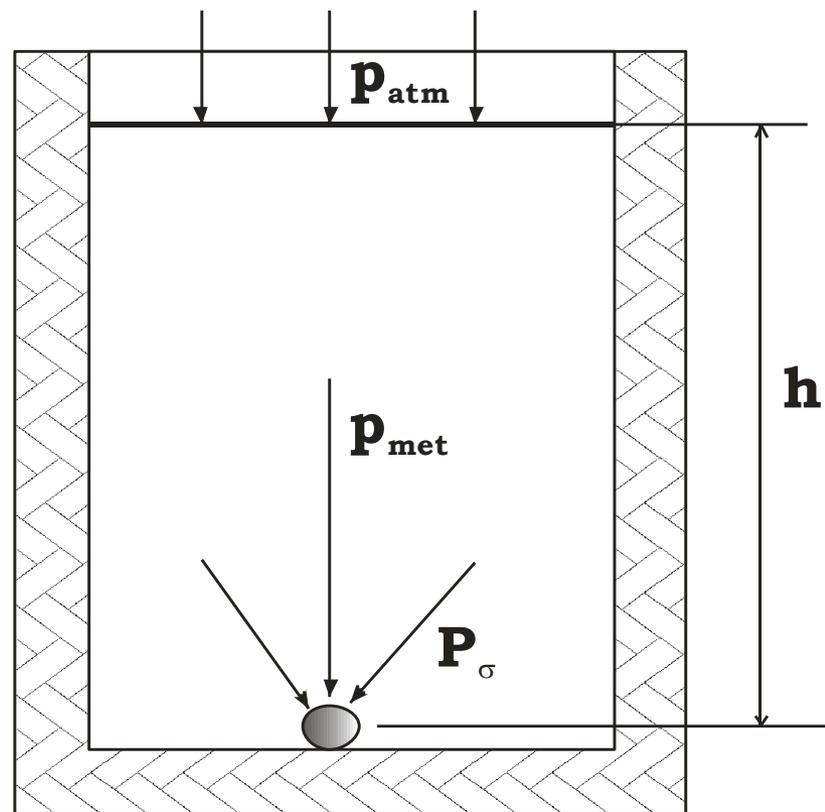
$$p_{\text{bolha}} > p_{\text{atm}} + p_{\text{met}} + p_{\sigma}$$

$$p_{\text{bolha}} = p_{\text{termodinâmica}}$$

$$p_{\text{bolha}} > p_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h + 2\sigma/r$$

• Efeito de:

- Refratários vitrificados: $r \rightarrow 0$
- Vácuo: $p_{\text{atm}} \rightarrow 0$

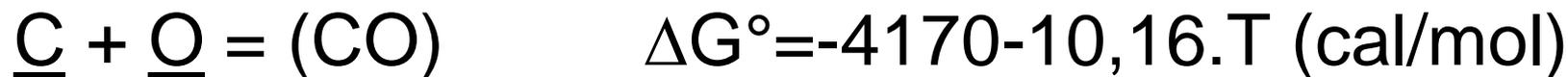


FORMAÇÃO DE BOLHAS

- Um banho de aço é oxidado com FeO observando-se que no início do processo uma fervera intensa que vai diminuindo até praticamente desaparecer. Neste instante o teor de C do banho é de 0,08% e a temperatura de 1580°C. A profundidade média do banho é de 30 cm e a rugosidade do refratário permite que sejam nucleadas bolhas de 0,05 mm de diâmetro. Pede-se:
 - a. a pressão total na soleira;
 - b. o teor de O mínimo do banho.

FORMAÇÃO DE BOLHAS

- Dados:** $g=980 \text{ cm/s}^2$; $\sigma_{\text{FeI}}=1430 \text{ dy/cm}$;
 $1 \text{ dy/cm}^2=9,869 \times 10^{-7} \text{ atm}$; $\rho_{\text{Fe}}=7,2 \text{ g/cm}^3$



$$p_{\text{atm}} = 1 \text{ atm}$$

$$p_{\text{met}} = \rho \cdot g \cdot h = 7,2 \times 980 \times 30 = 0,211 \times 10^6 \text{ dy/cm}^2 = 0,21 \text{ atm}$$

$$p_{\sigma} = \frac{2 \cdot \sigma}{r} = \frac{2 \times 1430}{(0,005/2)} = 1,14 \times 10^6 \text{ dy/cm}^2 = 1,13 \text{ atm}$$

$$\therefore p_{\text{total}} = 1 + 0,21 + 1,13$$

$$\mathbf{p_{\text{total}} = 2,34 \text{ atm}}$$

FORMAÇÃO DE BOLHAS

$$\underline{C} + \underline{O} = (CO)$$

$$K_T = \exp \left[-\frac{(-4170 - 10,16 \cdot T)}{1,987 \times 1853} \right] = 515,84$$

$$K_T = \frac{p_{CO}}{h_C \cdot h_O} = \frac{p_{CO}}{\%C \cdot \%O \cdot f_C \cdot f_O} \Rightarrow$$

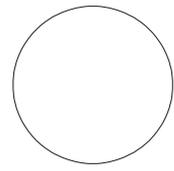
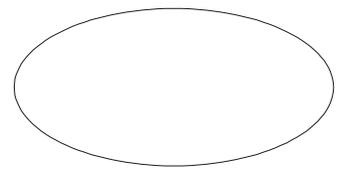
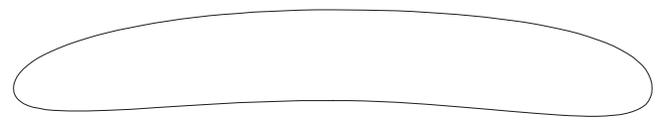
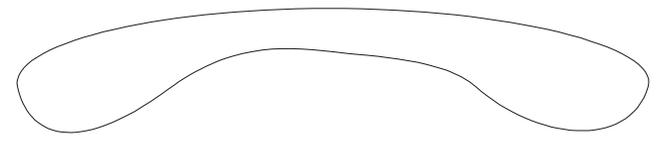
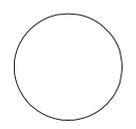
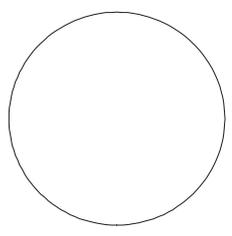
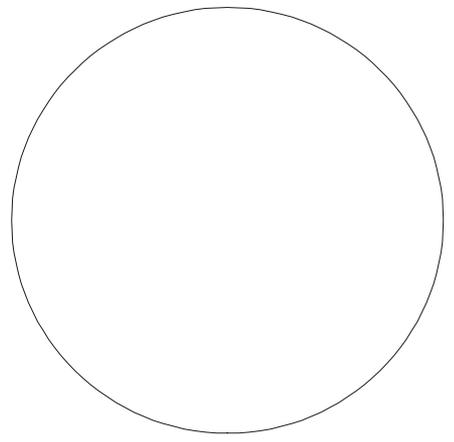
$$\Rightarrow \%O = \frac{p_{CO}}{K_T \cdot \%C} = \frac{2,34}{515,84 \times 0,08}$$

%O = 0,0567%

ou

567ppm

FORMAÇÃO DE BOLHAS



FORMAÇÃO DE BOLHAS

- **Velocidade terminal (v_{∞})**

- é dada pela lei de Stokes

$$v_{\infty} = \frac{2 \cdot g \cdot r_{bolha}^2 \cdot (\rho_{banho} - \rho_{bolha})}{9 \cdot \mu}$$

como $\rho_{bolha} \ll \rho_{banho}$

$$\rho_{banho} - \rho_{bolha} = \rho_{banho}$$

- **Com a distorção da bolha** $v_{\infty} = 0,72 \sqrt{g \cdot d_e}$

Exercício

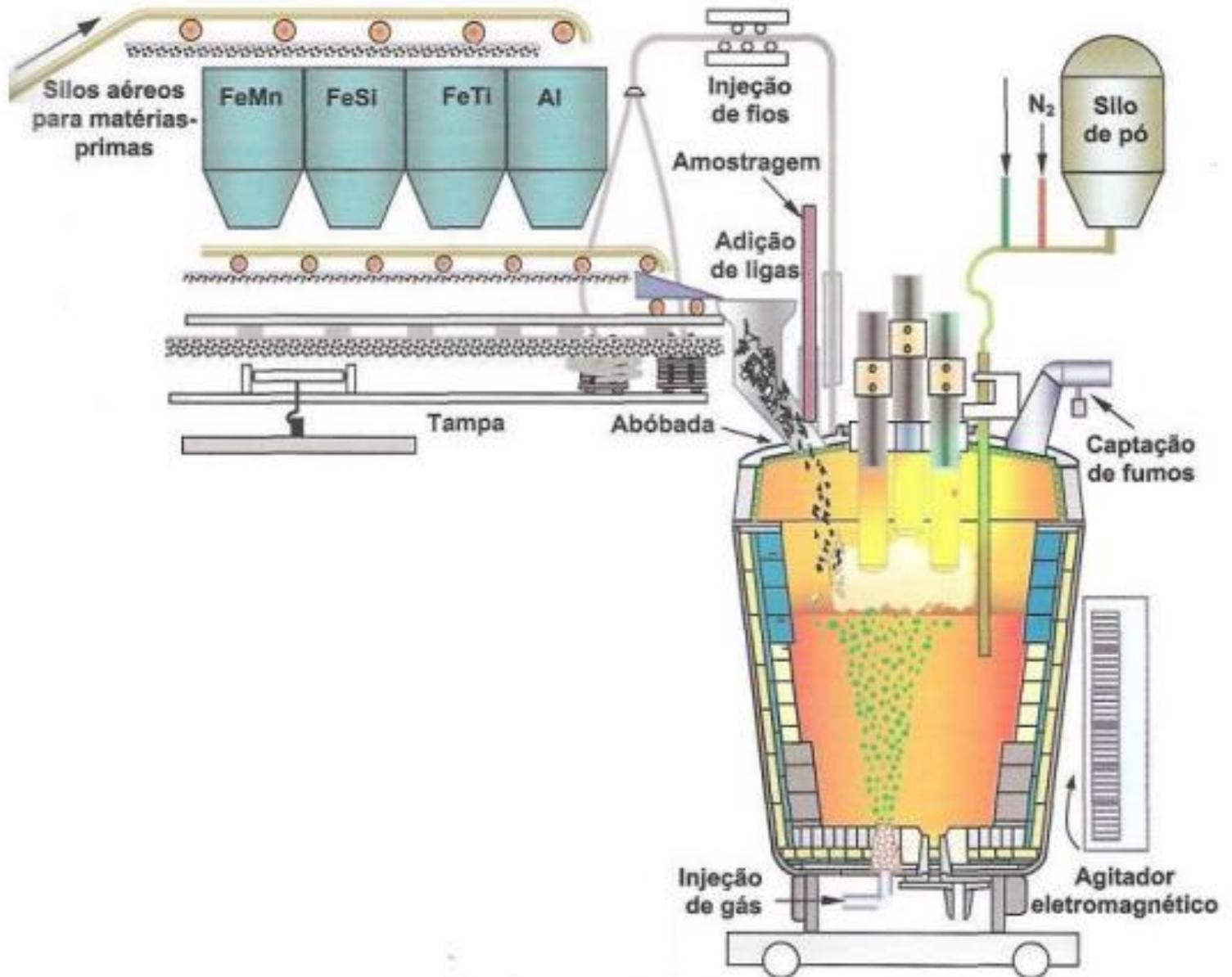
O aço a 1600°C de panela com 3 m de altura de metal líquido, é desoxidado pela injeção de Al em fio. O produto de desoxidação (alumina) tem um diâmetro médio de 2 μ m. Se a reação acontece no fundo da panela, determinar o tempo de flotação das inclusões. Dados: $\rho=3,97\text{g/cm}^3$; $\mu=10^{-2}\text{N.s/m}^2$

$$v_{\infty} = \frac{2 \times 9,8 \times (1 \times 10^{-6})^2 \times (7.200 - 3.970)}{9 \times 10^{-2}} = 7,03 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

$$t = \frac{3}{7,03 \times 10^{-7}} = 4,26 \times 10^6 \text{ s} \equiv 1184,7 \text{ h} \equiv 49,4 \text{ dias!!!}$$



METMAT



FEA

Etapa de Fervura (boiling)

Há uma queda no teor de H do aço

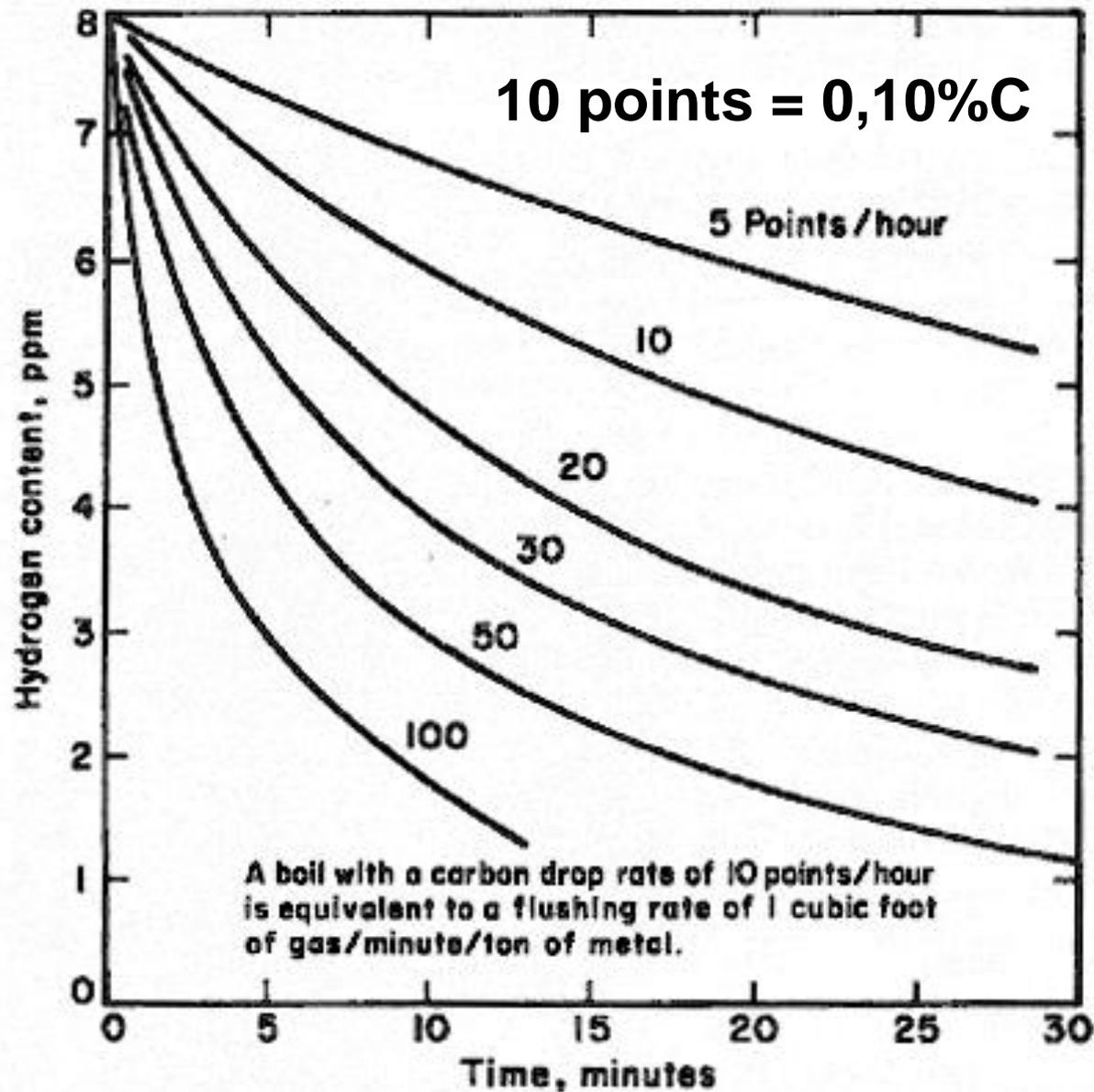


FIG. 23-11. Rate of hydrogen elimination during carbon boil.⁽³⁸⁾

Considerando o equilíbrio entre a bolha de gás e o H do líquido

Remoção de de H durante o boiling de CO como função da taxa de descarburização

$$\frac{1/2 \text{ H}_2}{11,2 \text{ L}} = \frac{\underline{\text{H}}}{1 \text{ g}}$$

$$dV_{\text{H}_2} = (d\% \text{H}/100) * m_{\text{metal}}(\text{g})$$

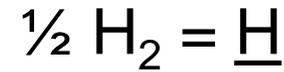
$$\frac{\underline{\text{C}}}{12 \text{ g}} + \frac{1/2 \text{ O}_2}{22,4 \text{ L}} = \frac{\text{CO}}{22,4 \text{ L}}$$

$$(d\% \text{C}/100) * m_{\text{metal}} = dV_{\text{CO}}$$

$$d(\% \text{H}) = (dV_{\text{H}_2} * 100) / (m_{\text{metal}} * 11,2)$$

$$d(\% \text{C}) = (dV_{\text{CO}} * 100 * 12) / (m_{\text{metal}} * 22,4)$$

$$\frac{d(\% \text{H})}{d(\% \text{C})} = \frac{2 \cdot dV_{\text{H}_2}}{12 \cdot dV_{\text{CO}}} = \frac{2 \cdot p_{\text{H}_2}}{12 \cdot p_{\text{CO}}}$$



$$\frac{d(\%H)}{d(\%C)} = \frac{2 \cdot p_{\text{H}_2}}{12 \cdot p_{\text{CO}}} \longleftarrow \begin{aligned} K_{\text{H}} &= (\%H)/(p_{\text{H}_2})^{1/2} \\ K_{\text{H}} &= 2,46 \times 10^{-3} - 1600^\circ\text{C no Fe} \\ p_{\text{H}_2} &= (\%H)^2 / 6,05 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\frac{d(\%H)}{d(\%C)} = \frac{2 \cdot (\%H)^2}{12 \times 6,05 \times 10^{-6} \cdot p_{\text{CO}}} \quad p_{\text{CO}} \sim 1 \text{ atm } (p_{\text{H}_2} \sim 0)$$

$$\frac{d(\%H)}{dt} = 2,75 \times 10^4 \cdot (\%H)^2 \cdot \frac{d(\%C)}{dt}$$

$$\int_{\%H_i}^{\%H_f} \frac{d(\%H)}{(\%H)^2} = 2,75 \times 10^4 \cdot \int \frac{d(\%C)}{dt} \cdot dt$$

$$(1/\%H_f) - (1/\%H_i) = 2,75 \times 10^4 \cdot (\text{taxa de remoção de C}) \cdot \Delta t$$

$$\%H_i = 8 \text{ ppm}$$

$$\%H_f = 2 \text{ ppm}$$

$$(1/2 \times 10^{-4}) - (1/8 \times 10^{-4}) = 2,75 \times 10^4 \cdot 0,25\%C/h \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = 0,454 \text{ h (27,3 min)}$$



18^a AULA