

## Napężenie uplastyczniające

Zależności do wyznaczania napężenia uplastyczniającego:

### Hodgson-Collinson:

$$\sigma_p = A_1 \varepsilon^n \sinh^{-1}(A_2 Z)^p$$

gdzie:

$$Z = \dot{\varepsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)$$

$$R = 8,3144 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Dla stali C-Mn:

$$\sigma_p = 171 \varepsilon^{0,393} \sinh^{-1}(1,87 \cdot 10^{-13} Z)^{0,086}$$
$$Q = 355 \text{ kJ / mol}$$

Dla stali z mikrodotadkiem Nb:

$$\sigma_p = 156 \varepsilon^{0,138} \sinh^{-1}(2,62 \cdot 10^{-13} Z)^{0,108}$$
$$Q = 306 \text{ kJ / mol}$$

Ponadto energię aktywacji można wyznaczyć ze wzoru:

$$Q = 267 - 2,5 \text{ Mn} + 33,6 \text{ Si} + 35,6 \text{ Mo} + 70,7 \text{ Nb}^{0,56} + 93,7 \text{ Ti}^{0,59} + 31,6 \text{ V}$$

### Johnson – Cook:

$$\sigma = (350 + 475 \varepsilon^{0,36}) (1 + 0,02 \ln \dot{\varepsilon}) \left\{ 1 - \left[ \frac{T - 294}{1811 - 294} \right]^{1,3} \right\}$$

### Zerilli-Armstrong:

$$\sigma_\gamma = 35 + 1356 \varepsilon^{0,5} \times \exp(-0,00245T + 0,00018T \ln \dot{\varepsilon}) + 23 D_\gamma^{-0,5}$$
$$\sigma_\alpha = 1100 \exp(-0,0039T + 0,00028T \ln \dot{\varepsilon}) + 336 \varepsilon^n + 5 d_\alpha^{-0,5}$$

### Shida:

$$\sigma = 9.81\sigma_f f \left[ \frac{\dot{\epsilon}}{6\dot{\epsilon} + 33} \right]^m + (195[Nb] + 70.8)$$

gdzie:  $\sigma_f$ ,  $f$  – funkcje w modelu Shidy,

$D_\gamma$ ,  $d_\alpha$  – średnice ziaren austenitu i ferrytu,

$T$ ,  $\epsilon$ ,  $\dot{\epsilon}$  – temperatura, odkształcenie i prędkość odkształcenia

### Khan-Huang-Liang

(Struktury silnie rozdrobnione)

$$\sigma = \left( a + \frac{k}{\sqrt{d}} \right) \left[ 1 + \frac{B}{a} \left( 1 - \frac{\ln \dot{\epsilon}}{\ln D_0^p} \right)^{n_1} (\epsilon^p)^{n_0} \right] \left( \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}^*} \right)^C \left( \frac{T_m - T}{T_m - T_r} \right)^m$$

$\sigma$  - napężenie;  $\epsilon^p$  – odkształcenie;  $T_m$  – temperatura topnienia, K;  $T$  – temperatura bieżąca, K;  $T_r$  – temperatura odniesienia, K;  $D_0^p = 10^6 s^{-1}$ ;  $\dot{\epsilon}^* = 1s^{-1}$  - prędkość odkształcenia odniesienia;  $\dot{\epsilon}$  - prędkość odkształcenia bieżąca;  $a$ ,  $B$ ,  $n_0$ ,  $n_1$ ,  $C$ ,  $m$  – stałe materiałowe.

Stale materiałowe dla zmodyfikowanego modelu KHL dla nanokrystalicznego żelaza:

|                                  | $a(MPa)$ | $k(MPa/nm^{-0.5})$ | $B/a(B^*)$ | $n_1$  | $n_0$  | $C$    |
|----------------------------------|----------|--------------------|------------|--------|--------|--------|
| $0 \leq d^{-0.5} \leq d^{*-0.5}$ | 301.8    | 2243.7             | 0.6874     | 0.2087 | 0.1691 | 0.0172 |
| $d^{*-0.5} \leq d^{-0.5}$        | -4603    | 46.286             | 0.3140     |        |        |        |

### Misaka:

$$\sigma_{px} = \exp \left( 0.126 - 1.75C + 0.594C^2 + \frac{2851 + 2968C - 1120C^2}{T + 273} \right) \epsilon^{0.21} \dot{\epsilon}^{0.13}$$

Dla stali z mikrodotadkiem Nb:

$$\sigma_{pxNb} = \sigma_{px} (0.768 + 0.51Nb + 0.137Mn + 4.217Ti)$$

### Przykładowe zadanie:

Dla podanego składu chemicznego stali, wyznaczyć napężenie uplastyczniające dla warunków statycznych i dynamicznych według wzorów H-C, J-C, Z-A, Shidy. Sprawdzić czułość tych wzorów w danych warunkach procesu odkształcania. Do wzoru Z-A wielkości ziarna austenitu i ferrytu przyjąć odpowiednio: 25 i 5  $\mu m$ .

Temperatura : 900 i 600 °C

Prędkość odkształcenia: 1 i 100s<sup>-1</sup>