

(575) 粒界炭化物で強化された δ' 相析出強化型Ni基鋳造合金のクリープ寿命

金属材料技術研究所 ○楠 充之, 中沢静夫, 山崎道夫

1. 緒言

粒界炭化物によってNi基鋳造合金のクリープ寿命は大幅に改善されるが, その詳細は不明の点が多い。本報では前報¹⁾の実験結果(①粒界炭化物の面積率が大きい程, また単晶 δ/δ' の面積率が小さい程, 2次クリープ期間は長く, ②3次クリープ期間は粒界のMC炭化物の面積率の対数と直線関係にある), を単純なモデルから導出するとともに, 組織観察からの寿命予測に資することを目的とする。

2. 方法

多量の δ' 相が存在する粒界において, この δ' 相と単晶 δ/δ' 相との界面を結合の弱い(原子間結合密度の低い)部分, また炭化物との界面を結合の強い(結合密度の高い)部分と考える。これらの界面におけるクラックの進展は, クラック先端部における結合原子の離脱過程として捉えることができる。粒界に存在する各種の界面 i における単位原子あたりの結合エネルギーを B_i , 原子の振動数を ν_i , 原子間距離を a_i , 円板状クラックの半径を r とすると, 単位時間 Δt あたりのクラック面積の増分 ΔS_i は,

$$\frac{\Delta S_i}{a_i^2} \approx \nu_i \exp\left(-\frac{B_i - \phi_i(\sigma)}{kT}\right) \cdot 2\pi\left(\frac{r_i}{a_i}\right) \cdot \Delta t, \quad (1)$$

$$\phi_i(\sigma) = \alpha_i V_{ai} \sigma, \quad \sigma = \sigma_a \cdot S_0 (\mu S_0 - \sum \mu_i n_i \pi r_i^2)^{-1} \quad (2)$$

で与えられる。但し, V_{ai} は活性化体積, α_i は係数, σ_a は公称応力, S_0 は初期の断面積, n_i はクラックの数, μ , μ_i は各々粒界全体, 及び領域 i における有効面積率である。

3. 結果

比較的初期に破壊される単晶 δ/δ' と δ' との界面を枝として δ/δ' 界面に破壊が進む期間を t_I , さらに炭化物と δ' との界面に破壊が進展する期間を t_{II} とすると, (1), (2)式から,

$$t_I \approx \frac{A_1'}{\sqrt{\pi} \beta_1'} \int_0^1 \exp\left(-\frac{\beta_1'}{f(x)}\right) dx, \quad f(x) = \frac{\mu}{\mu_1'} - f_e - (1 - f_e - f_{c1} - f_{c2})x^2, \quad (3)$$

$$t_{II} \approx A_{c2} R_{c2} \times_1 \int_{x_1}^{\infty} \frac{1}{x^2} \exp(-x^2) dx, \quad x_1 = \sqrt{\frac{\beta_{c2}}{f_{c2}}}, \quad (4)$$

$$\beta_i = \frac{\alpha_i V_{ai} \sigma_a}{kT \mu_i}, \quad A_i = \frac{1}{a_i \nu_i} \exp\left(\frac{B_i}{kT}\right), \quad (5)$$

が導かれる。添字 δ' , e , c_1 , c_2 は δ/δ' , 単晶 δ/δ' , M_6C , MC 炭化物を示し, f_i は粒界における領域 i の面積率, R_{c2} は炭化物の平均粒径, β_1' は δ/δ' 界面におけるクラック枝の密度である。 $\mu_c/\mu_1' \approx 2$ と仮定し, $a_0 \equiv 1 - f_e + f_{c1} + f_{c2}$, $a_1 \equiv 1 - f_e - f_{c1} - f_{c2}$, とおいて(3), (4)式を単純化すると,

$$t_I \approx \frac{A_1'}{\sqrt{\pi} \beta_1'} \exp\left(-\frac{\beta_1'}{a_0}\right) a_0 \sqrt{\frac{\ln 2}{a_1(a_0 \ln 2 + \beta_1')}} \approx \frac{A_0'}{\sqrt{\pi} \beta_1'} \sqrt{\frac{\ln 2}{\beta_1'}} \exp(-\beta_1') \left\{ \frac{3}{2} + \beta_1' - \left(\frac{1}{2} + \beta_1'\right) f_e + \beta_1' (f_{c1} + f_{c2}) \right\}, \quad (6)$$

$$t_{II} \approx \frac{R_{c2}}{4} A_{c2} (\ln f_{c2} - \ln \beta_{c2}). \quad (0.2 \leq \beta_{c2}/f_{c2} \leq 0.7) \quad (7)$$

t_I , t_{II} を各々2, 3次クリープ期間に相当すると考えると, 前報の実験結果①, ②はよく説明される。

文献

- 1) 楠, 中沢, 山崎, 鉄と鋼 72(13), '86-S 1504.
- 2) 横堀, 材料強度学・オ2版(岩波全書), 1974, p. 247.