

(545) 粒界クリープキャビティの焼結速度の解析

金属材料技術研究所 ○京野純郎 九島秀昭 新谷紀雄
宇宙技術研究所 堀内 良

1. 緒言 長時間クリープ破壊の直接的な原因となる粒界キャビティの焼結処理に関する検討を行っている。これまでに 1.3Mn-0.5Mo-0.5Ni鋼を供試材とし、等温加熱および圧縮応力下での焼結処理を行い、粒界キャビティの焼結量を密度変化により計測した。その結果、粒界キャビティは 600℃以下の等温加熱ではほとんど焼結されないのに対し、圧縮応力下ではより低い温度でも焼結が著しく進むことを明らかにした。本報告では想定される焼結機構に基づいて焼結速度を計算し、実験データと相互比較することにより、支配的に働いている焼結機構を検討する。

2. 焼結速度の計算 (1)粒界拡散支配 単純な等温加熱による粒界キャビティ焼結の律速過程として、粒界拡散が先ず考えられる。このような粒界拡散支配による粒界キャビティの焼結速度は、HullとRimmer¹⁾のキャビティ成長の速度式において応力を 0 とすることにより次式で与えられる。

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\Omega D_{gb} \delta \gamma_s}{r^2 k T \lambda} \quad (1)$$

ここで、 r はキャビティ半径、 t は時間、 Ω は原子体積、 D_{gb} は粒界拡散係数、 δ は粒界厚さ、 γ_s は表面エネルギー、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度、そして λ はキャビティ間隔である。より正確なキャビティ成長速度式を Speight と Beéré²⁾ が導出しているが、この式からは (2) 式が得られる。

$$\frac{dr}{dt} = - \frac{\Omega D_{gb} \delta \gamma_s}{r^3 k T [\ln \lambda / 2r - (1 - 4r^2 / \lambda^2) (3 - 4r^2 / \lambda^2) / 4]} \quad (2)$$

(1) および (2) 式に、各定数および 1.3Mn-0.5Mo-0.5Ni鋼を 550℃、118MPa で破断時間の 6 割に相当する 2×10^6 s 間クリープさせた試料 ($\Delta D/D = 4.5 \times 10^{-4}$) の粒界キャビティに関するデータ等を代入して、焼結速度を計算した。

(2) 拘束拡散支配 粒界からキャビティ表面への原子の移動に伴い、ひずみが生じ、粒界に引張応力が発生する。このひずみの緩和過程がキャビティの焼結速度を律速していることが考えられる。この場合の焼結速度はキャビティの拘束拡散成長モデル³⁾と同様にして、次式で得られる。

$$\frac{dr}{dt} = - \frac{\dot{\epsilon} \lambda^2 d}{16 r^2} \quad (3)$$

ここで $\dot{\epsilon}$ は圧縮クリープひずみ速度、 d は結晶粒径である。

3. 結果 Fig. 1 に、823K の等温加熱による焼結速度の計算値と実測値とを比較して示す。キャビティの焼結量は密度変化により定量的に把握し、焼結の割合で示した。計算では、(1) および (2) 式とも 10^4 s 以下の加熱により、完全に粒界キャビティは消滅するのに対し、実測値はほとんど焼結が生じてないことから、粒界キャビティの焼結が単純な粒界拡散によっては支配されていないことが分る。Fig. 2 に、823K における圧縮ひずみとキャビティの焼結量の割合との関係を計算値と実測値とを比較して示す。圧縮応力が 118MPa 以下の実測値の焼結速度は圧縮ひずみのみに依存している。この領域における密度変化と圧縮ひずみとの関係は、計算値と類似しており、ひずみによる拘束拡散支配により焼結が律速されていると考えられる。なお図中のキャビティ間隔 $\lambda = 3 \times 10^{-6}$ m は粒界キャビティが生成している粒界面全体の、 $\lambda = 1.2 \times 10^{-6}$ m はキャビティが密集している領域内での平均値である。

文献 1) D. Hull and D. E. Rimmer: Phil. Mag., 4 (1959)

P. 673 2) M. V. Speight and W. Beéré: Metal Sci., 9 (1975)

p. 190 3) B. F. Dyson: Can. Metall. Quart., 18 (1979) p. 31

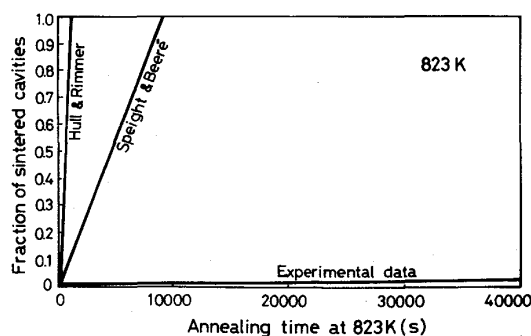


Fig. 1 Comparison of sintering rate of grain boundary cavities by annealing between calculated values and experimental data.

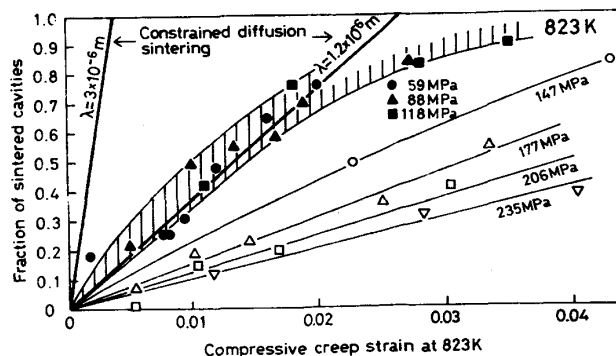


Fig. 2 Relation between sintering of grain boundary cavities and compressive creep strain.