

(3-38)

ジルコニウムの変形応力の熱および非熱成分

同志社大学 工学部

三浦 精
橋本 克己

〈緒言〉 一般に金属の塑性変形は熱活性化過程を含んでおり、変形応力では熱成分で (effective stress) と非熱成分 τ_i (internal stress) とから成っている。これらの値を求める方法としては種々の方法が報告されている。本研究では商業用純ジルコニウム (99.99136%) に関して実験を行ない、三種類の方法 (Single strain-rate cycling method, Incremental unloading method, Extrapolation method) で σ^* と τ_i の値を求め、それらの値を比較検討した。さらにジルコニウムの変形の律速機構をも調べた。

〈実験方法〉 用いた試片は商業用純ジルコニウム (O: 700 wt.ppm, C: 82 wt.ppm, N: 33 wt.ppm, etc.) で、直径 1 mm, gage length は 30 mm である。実験にはインストロン型試験機を使用し、基準歪速度は $1.11 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ 、歪速度変化の割合は 25 倍, 5 倍, 10 倍を用いた。試験温度範囲は 77°K ~ 573°K である。常温以下では液体窒素で冷却したメチルアルコール, 常温から 373°K まではシリコンオイルバス, 373°K 以上ではソルトバスを温度浴として使用した。

〈結果〉 三種類の方法によって effective stress σ^* と internal stress τ_i は全温度範囲 77°K ~ 573°K にわたって求められた。Fig. 1 は低温, 中温, 高温領域でのそれぞれの代表温度における τ_i の値を歪に対してプロットしたものである。この図より τ_i の値は歪とともに増加している。また σ^* の値は実験より歪に関してほとんど変化がなく、一定値であることがわかっている。すなわち加工硬化は歪の増加に伴う internal stress τ_i の増加によるものである。さらに三種類の方法によって求めた τ_i の値は、高温では比較的よく一致しているが、低温では Extrapolation method によって求めた値だけが、他の二つの方法によって求めた値と少々異なっている。このことは Fig. 2 に一そう顕著に示されている。300°K 付近を境として、その温度以上では三種類の方法によって求めた internal stress τ_i の値は比較的よく一致して

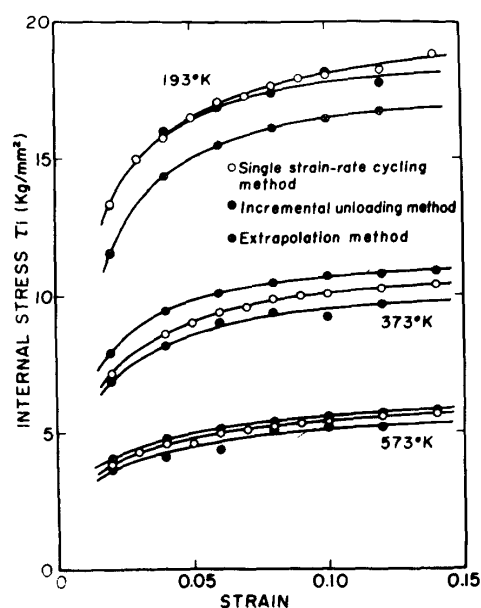


Fig. 1

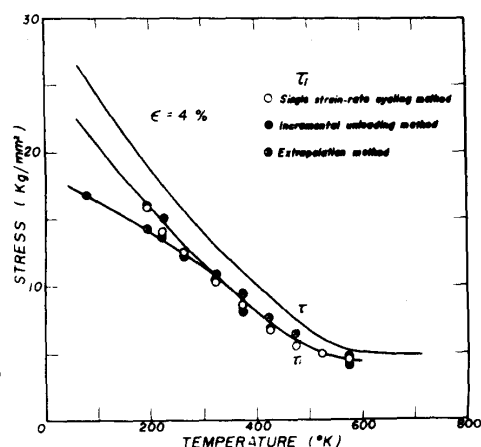


Fig. 2

いるが、それ以下の温度範囲では *Extrapolation method* によって求めた値だけが他の二つの方法によって求めた値にくらべて少々低い値を示している。このような直接的に求めた値の値を、高温で支配している律速機構が低温でも支配している（すなわち全温度範囲にわたって唯一の律速機構が支配している）ものと仮定して athermal な温度領域における変形応力を外そうすることによって間接的に求めた値と比較すると高温領域では一致し、低温領域では不一致が見られるが、このことからジルコニウムの変形の律速機構が単一の機構ではなく高温領域と低温領域とでは機構が異なるということが推察される。

ジルコニウムの変形の律速機構を決定するために必要なパラメータである活性化体積 v^* 、活性化エネルギー H は次のように求めた。Becker の rate equation $\dot{\gamma} = L \exp[-H/kT]$ を変形することによって

$$v^* = kT (\partial \ln \dot{\gamma} / \partial \tau)_T \quad (1)$$

$$H = -kT^2 (\partial \ln \dot{\gamma} / \partial T)_T (\partial \tau / \partial T)_{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

が成立する。

ここで L は頻度係数、 k はボルツマン定数である。

これによって求めた活性化体積、活性化エネルギーは Fig. 3, Fig. 4 である。Fig. 3 より 77°K ~ 573°K の全温度範囲にわたって活性化体積は $17.3b^3 \sim 188b^3$ である。文献 1) による活性化体積のオーダー (Peierls-Nabarro の応力場: $10 \sim 10^2 b^3$, 林転位の交差: $10^2 \sim 10^4 b^3$, ジョグの非保存運動: $10^2 \sim 10^4 b^3$, Cross-slip: $10 \sim 10^2 b^3$, Climb: $1 b^3$) から考えられる機構としては Peierls-Nabarro の応力場に打ち勝つ機構と Cross slip である。しかし Soo と Higgins によって報告された降伏応力と活性化体積の不純物原子濃度依存性²⁾より不純物原子に打ち勝つ機構が考えられる。また不純物原子による Force-Distance curve より求めた活性化エネルギーの値が 0.86 eV でありこの値は Fig. 4 の約 300°K 付近における値に対応している。

(参考文献)

- 1) H. Conrad: J. Metals, July (1964) 582.
- 2) P. Soo and T. Higgins: Acta Met., 16 (1968) 177.

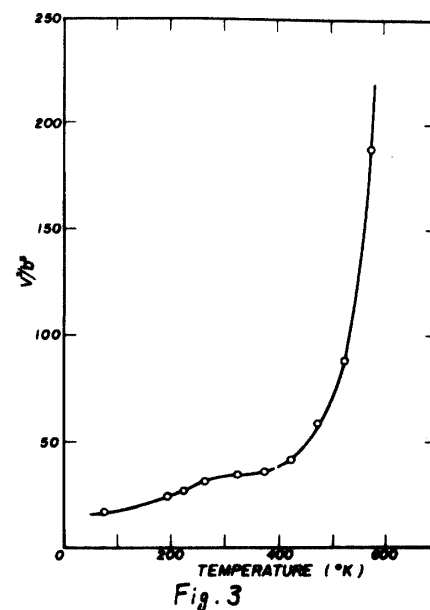


Fig. 3

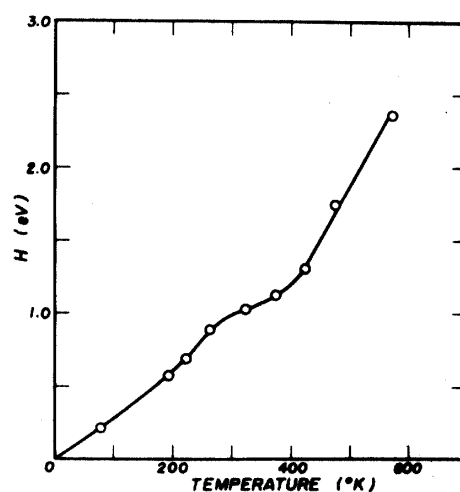


Fig. 4