

討 21 α -Fe 中転位と溶質原子との相互作用に関する内部摩擦

東大工学部 井 形 直 弘

§1. 序 一般に金属結晶中の転位の直接観察は可能であるが、転位線の近傍で溶質原子乃至は点欠陥がどのように分布しているかということについては決め手がない状態である。この問題について原子論的に追及してゆく方法としては、転位にもとづく内部摩擦を用いることが最も有効な手段の一つとして考えられる。すなわち転位の振動特性から転位の近傍の溶質原子の分布をしらべてゆくこととするわけで、直接観察してゆくことに比べれば、はるかに間接的であるが、現在のところよりよい方法はないと考えられる。従来しばしば应力歪図における臨界剪断应力(あるいは降伏应力)と転位-溶質原子相互作用と直接結びつけて論じられる場合もあったが、これらは微少変形かはいまってから後の問題であり、それを論ずるには複雑すぎると考えられる。

§2 内部摩擦の現象及び解析

2.1. 振巾依存内部摩擦 転位と溶質原子との相互作用をしらべるためには内部摩擦の振巾依存性あるいは離脱应力をしらべるのがよい。Hasiguti, Igata and Ueki⁽¹⁾(1964)は横振動法により100 Oeの磁場の下で0.004% Cを含む純鉄単結晶の分解離脱应力を測定し、 $\sim 1.5 \times 10^{-2}$ Kg/mm²の应力レベルで転位のヒステリシス挙動がはじまることを示した。更にHasiguti, Igata and Nakanishi⁽²⁾(1968)は同ような純鉄単結晶の振巾依存内部摩擦を89~295°Kの間で測定し離脱应力が $2 \sim 6 \times 10^{-2}$ Kg/mm²であることを見出した。更にGuberman and Beshers⁽³⁾(1968)は77°K~300°Kの間で内部摩擦及び弾性降下(modulus defect)を帯溶融純鉄につき125 Oeの磁場の下で測定し300°Kでは 5×10^{-6} , 77°Kでは 1.5×10^{-5} の振動を与えることにより弾性降下を生ずること、またどのような変化の後では 10^{-7} の歪振巾においても影響があらわれることより、 300 g/mm^2 (77°K)あるいは 100 g/mm^2 (300°K)以下の应力で転位がヒステリシスの的に動きはじめ、自由になった転位は 2 g/mm^2 程度でも動き得ることを示している。これらの結果は臨界剪断应力あるいは降伏应力よりかなり低い应力からヒステリシスの的に動き得る転位が存在することを示している。このことは α -Fe中の格子間固溶原子と転位との相互作用が従来考えられてきた値よりは小さいのではないかと考えられる根拠となる。

次に振巾依存内部摩擦については転位線に沿う溶質原子の不連続固着の場合のヒステリシスの解析がGranato-Lücke⁽⁴⁾(1956), Teutonico-Granato-Lücke⁽⁵⁾(1964)によってなされているが、その帰結として振巾依存内部摩擦を ΔH , 歪振巾を ϵ_0 とした場合次の関係が成立しなければならない。

$$\Delta H = \frac{C_1}{\epsilon_0} \exp - \frac{C_2}{\epsilon_0} \quad \text{あるいは} \quad \ln \Delta H \epsilon_0 \propto \frac{1}{\epsilon_0} \quad (1)$$

Robinson and Rawlings⁽⁶⁾(1957)は2.83%までのSiを含むFe-Siと0.28%までのOを含むFe-Oにつき20°c~310°cの間で $\ln \Delta H \epsilon_0$ と $\frac{1}{\epsilon_0}$ の直線関係が成立することより上記のモデルが成立するとして転位の固着点間の平均長さ L_c の温度依存性から転位と溶質原子の結合エネルギーをしらべてありSiでは0.004 eV, Oでは0.006 eVという値を得ている。(この場合外部磁場による磁的內部摩擦の抑制が問題であると考えられる。) またConte, Dreyfus and Well⁽⁷⁾(1962)は純鉄 whisker(転位を含む)に振り振動法で(外部磁場100 Oe)振巾依存性を測定し $\ln \Delta H \epsilon_0$ と $\frac{1}{\epsilon_0}$ の直線関係が成立することを見とめ、 C_1 及び C_2 の値から転位と溶質原子との結合エネルギー $\sim 0.3 \text{ eV}$ $L_c \sim 0.1 \mu$ 転位線の1辺の長さに相当する不動点間の転位長 $L_v \sim 1 \mu$ と云う値と推定している。Hasiguti, Igata and Nakanishi⁽²⁾(1968)は純鉄

単結晶で G-L 関係 (1) 式) が成立するが 2 つの折れ曲った直線関係となることを見出した。また離脱應力の解析⁽⁴⁾と組合わせて連立方程式をつくりそれから L_d は溶質原子のくいちがい係数 G' を求め $L_d = 1.53 \sim 0.35 \times 10^{-5} \text{ cm}$, $e' = 0.16 \sim 0.07$ という値を得た。これより得られる転位溶質原子の結合エネルギーは $0.27 \sim 0.13 \text{ eV}$ である。

以上の他にこのような解析は行なっていないが Fast and Verrijp (1961)⁽⁸⁾ は高純度鉄に 1.1×10^3 の表面最大歪を与えた後、1 cps で 200 Oe の磁場の下で $17^\circ \text{C} \sim -150^\circ \text{C}$ で振巾依存内部摩擦を測定し歪みに依存して変化しているという結果を得ている。更に Swartz (1962)⁽⁹⁾ は Snoek ピーク 0.5×10^{-4} 以下の高純度鉄に 82°K で 5.5 % の歪を与え 85°K で振巾依存内部摩擦を測定し、これにハルス燈をましと与え C の jump 数を制御しながらその振巾依存内部摩擦への影響をしらべている。

2.2. 振巾に依存しない内部摩擦 内部摩擦の有利な点として溶質原子と Snoek ピークで追跡出来るということと転位の関連した緩和ピークがあればその解析を通じて知見が得られるということである。Thomas and Leak (1955)⁽¹⁰⁾ は燈をましされた鉄と加工を与えた鉄の夫々について N の溶解曲線と急冷後 Snoek ピークの測定によって求め、自由な N と転位 D との反応エネルギー V を次式から推定している。

$$K = \frac{[N][D]}{[ND]} \quad V = -R \frac{d(\ln K)}{d(1/T)} \quad (2)$$

これより得られた値は 0.8 eV であった。その後 Petarra and Beshers (1967)⁽¹¹⁾ は Snoek ピーク及び加工ピーク (Köster ピーク) を用いて転位と溶質原子との結合エネルギーを推定している。すなわち正常格子中の格子内溶質原子を n_i の site の数と N_i , 転位線にのって分布している溶質原子を n_d の site の数と N_d とすると次の関係が得られる。

$$\frac{n_d}{N_d - n_d} = \frac{n_i}{N_i - n_i} \exp - \frac{\Delta G}{kT} \quad (3)$$

ここで Snoek ピークの高さを P_{SN} 加工ピークの高さを P_{CW} とすると $n_i = C_1 P_{SN}$ また $P_{SN} = C_2^{-1} P_{CW}$ より従って $n_d = C_1 C_2 P_{CW}$ となる。急冷後加工を与えた状態で $523^\circ \text{K} \sim 823^\circ \text{K}$ の時効を与えその場合の (3) 式の計算から $\Delta G = -0.466 - 2.58 \times 10^{-4} T (\text{eV})$ という値を得ている。以上の他に転位と溶質原子との相互作用にもとづくピーク⁽¹²⁾⁽¹³⁾ 加工ピークを通じた検討⁽¹⁴⁾ なども問題をなげかけている。

以上の他更に広い立場から実験及び理論の検討を行ないたい。

- (1) R. R. Hasiguti, N. Igata and M. Ueki: Acta Met., 12 (1964) 947
- (2) R. R. Hasiguti, N. Igata and T. Nakanishi: Proc. of Symp. on the Interactions between Dislocations and Point Defects (1968) in press talked by N. Igata in J. I. S. I. (1966)
- (3) H. D. Guberman and D. N. Beshers: Acta Met., 16 (1968) 167
- (4) A. Granato and K. Lücke: J. Appl. Phys., 27 (1956) 583, 789
- (5) L. J. Teutonico, A. U. Granato and K. Lücke: J. Appl. Phys., 35 (1964) 220
- (6) P. M. Robinson and R. Rawlings: Phil. Mag., 4 (1959) 938
- (7) R. Conte, B. Dreyfus et L. Weil: Acta Met., 10 (1962) 1125
- (8) J. D. Fast and M. B. Verrijp: Phil. Res. Rept. 16 (1961) 51
- (9) J. C. Swartz: Acta Met., 10 (1962) 406
- (10) W. R. Thomas and G. M. Leak: Proc. Phys. Soc. Lond. B68 (1955) 1001
- (11) D. P. Petarra and D. N. Beshers: Acta Met., 15 (1967) 791
- (12) D. P. Petarra and D. N. Beshers: J. Appl. Phys. 34 (1963) 2739
- (13) B. N. Agarwala and D. N. Beshers: J. Appl. Phys. in press (1968)
- (14) H. Ino and T. Sugeno: Acta Met., 15 (1967) 1197