

(討15) 純鉄および鉄合金の内部摩擦と磁性

大阪大学産業科学研究所 ○杉本孝一・炭木正雄

鉄鋼の内部摩擦の原因には塑性的なもののほかに強磁性と関係するものがある。たとえば 90° -磁区壁の非可逆移動にもとづく振中依存内部摩擦 (magneto-mechanical hysteresis loss, 以下 Q_m^{-1} と略記する) がその好例である。ここではおもに軟質磁性材料の Q_m^{-1} についての研究結果を報告し、内部摩擦が磁性と塑性との間の橋渡し役を演じうるものであることを述べる。

実験結果 A. 内部摩擦の磁場依存性

既報の装置¹⁾により約 800 c/s の横振動を用いて内部摩擦の磁場依存性を 600 Oe までにわたって測定した。最大歪振中は $10^{-8} \sim 10^{-5}$ の範囲で種々に変え、測定温度は $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ であった。供試材料の詳細は Table I に記したとおりで、おのおの強圧延状態と焼鈍状態につき測定を行なった。純鉄だけは微量の炭素または窒素の影響を調らべる目的で湿水素処理したもの、および単結晶の一例についても測定した。

測定結果の一例として Fe-2%Si 合金の場合を Fig. 1 に示す。図では焼鈍材における 100 Oe 以下の低磁場での Q_m^{-1} が顕著である。圧延材ではこれに反して Q_m^{-1} がほとんど観察されない。一方 600 Oe 付近の高磁場においては焼鈍・圧延両試料の内部摩擦にほとんど差異がなく、飽和磁場のもとで一定値を取る傾向が認められる。その他の試料の場合も傾向的には Fig. 1 とまったく同じであった²⁾。別に行なった磁化測定の結果を考え合わせると、内部摩擦の磁場依存性についてつぎの結論をえた。

- i) 磁壁の非可逆移動による磁化遅延が進行する磁場範囲では Q_m^{-1} が観察される。その大きさは試料が含む格子欠陥の程度に非常に敏感で、完全焼鈍状態において最大となる。
- ii) 飽和磁場近傍ではこれとは別の強磁性内部摩擦 Q_s^{-1} が存在する。その大きさは振中なごびに格子欠陥には無関係で、試料の飽和磁化強さ I_s の自乗に比例する³⁾。

B. 消磁状態での内部摩擦の振中依存性

消磁した試料に何ら外部磁場をかけずに内部摩擦の振中依存性を測定すると、Fig. 2 で代表されるように3つの Stage が存在する。各 Stage は上述の magneto-mechanical hysteresis の考えでうまく説明できる。すなわち Stage I は振中が充分小さいために 90° -磁区壁の非可逆移動が起こらぬ領域であり、振中がある臨界値 ϵ_0 を超えてはじめて非可逆移動が惹起されるものと思われる。磁壁の非可逆移動が起こる領域 Stage II では

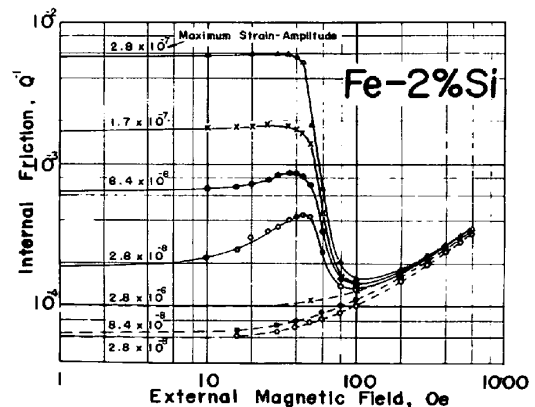


Fig. 1 内部摩擦の磁場依存性測定例。実線は焼鈍材、破線は圧延材の結果を示す。

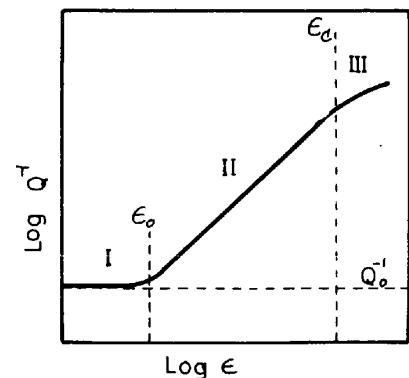


Fig. 2 消磁状態での内部摩擦の振中依存性にみられる3つの stage (定性的)。

図のように直線関係が認められ、

$$Q_m^{-1} = C (\epsilon - \epsilon_0) \dots \dots \dots (1)$$

なる式に従って内部摩擦は歪振中 $(\epsilon - \epsilon_0)$ に正比例する。こゝに C は比例定数であり、後述するように磁気レイリー定数 ν に關係して格子欠陥の存在によりきわめて敏感に変化する性質を有する。

すなわちこゝでは magneto-mechanical hysteresis loop の面積が応力 σ の三乗に比例して増大するのに対して、振動エネルギーは σ の二乗に比例するから、結局内部摩擦は σ （したがって歪振中 ϵ ）に比例するわけである⁴⁾。

歪振がさらに増大して magneto-mechanical coercive force ϵ_c の程度に達すると、loop の面積はもはや σ^3 に比例せず一定値に近づく傾向を持つだらう。このようになる(1)式の比例関係はもはや保たれず、その結果 stage III の飽和傾向が現われるものと思われる。 ϵ_0 は磁壁の非可逆移動の開始に必要な応力の尺度となり、また ϵ_c は磁気機械的抗磁力の尺度となりうるもので、レイリー定数 ν をよえる比例定数 C とともに興味あるものである。

考察

Kornetzkii の計算⁵⁾によれば Stage II における Q_m^{-1} は次式で与えられる。こゝで ν は磁気レイリー定数と呼ばれるもので磁気ヒステレシスループの面積に關係する定数である。また λ_m は多結晶の平均飽和磁歪、 E は弾性定数、 I_s は飽和磁化を表わす。

$$Q_m^{-1} = 3.0 \times 10^{15} \cdot \frac{\nu |\lambda_m|^3 E^2}{\pi I_s^3} \cdot \epsilon \dots \dots \dots (2)$$

(2)式で $|\lambda_m|^3 E^2 / I_s^3 = K$ を物質定数と考え、(1)式の比例定数を $C = 9.55 \times 10^{14} \nu K$ と書き表わして、実験した C の値と既知の値 K とから ν を算出することができる。この計算に用いた諸数値と計算結果を Table I にまとめて示す。 K を物質定数と考えてしまえば格子欠陥の影響はすべて ν のみで表現することができ便利である。このようにして試料の種類や処理方法が違ふときの内部摩擦の違いをうまく説明できるわけである。

Table I によれば K の値は試料によってかなり広範囲に変化している。その変化の要因が主として磁歪 λ_m の絶対値の相異であることが Fig. 3 からわかる。一方 ν の値は同じ試料でも処理方法によつて2桁ないし3桁も異なる結果がえられ、異種試料間の比較が困難であつた。そこでつぎのような便法を用いて比較を容易にした。すなわち各試料の ν と ϵ_0 との間には反比例の關係があることが判明したので、この關係を利用して $\epsilon_0 = 10^{-7}$ (完全焼鈍状態) および $\epsilon_0 = 10^{-5}$ (強圧延状態) に対する各試料の ν 値を求めたわけである。このようにして求めた ν 値と各試料の磁歪 λ_m の絶対値に対して図示すると Fig. 4 の結果がえられた。同図は ν 値が $|\lambda_m|$ に大きく依存する反面、焼鈍と圧延の二つの処理状態では2桁にわたる変化をすることを示している。このように ν 値が処理方法に大きく依存する理由を明らかにするためには、まず ν 値の物理的意味が解明されねば

ならない。けれども現段階ではその意味が明確ではないので深い議論はできないが、定性的にはつぎのように考えることができよう。すなわち加工により導入された転位の応力場が磁壁移動の障害となって ν 値が低下するものと思われる。

Table I 供試材料と結果の一覧

試料	処理	C	$\lambda_m \times 10^6$	I_s	$E \times 10^{-4}$	k	ν	ϵ_0
Fe	圧延	5	3	1714	2.12	2.4×10^{-18}	2.2×10^3	1.3×10^{-5}
	950°焼鈍	133					5.8×10^4	6.0×10^{-7}
	脱炭	500					2.2×10^5	5.0×10^{-7}
Fe 単結晶 (100)(011)	as cut	1200	-12		2.16	1.6×10^{-15}	7.8×10^2	1.4×10^{-7}
	600°焼鈍	2000					1.3×10^3	1.0×10^{-7}
Fe-2Si	圧延	5	2	1655	2.39	1.0×10^{-18}	5.2×10^3	1.0×10^{-5}
	800°焼鈍	2040					2.1×10^6	5.3×10^{-8}
Fe-45Ni	圧延	19	27	1270	1.55	2.3×10^{-14}	8.6×10^{-1}	5.5×10^{-6}
	600°焼鈍	50					2.3×10^0	8.0×10^{-7}
	900°焼鈍	328					1.5×10^1	4.0×10^{-7}
Fe-78Ni	圧延	4	3	860	1.97	1.7×10^{-17}	2.5×10^2	1.5×10^{-5}
	600°焼鈍	2					1.3×10^2	1.5×10^{-5}
	900°焼鈍	948					6.0×10^4	3.0×10^{-7}
Ni	圧延	17	-33	484	2.16	1.5×10^{-13}	1.2×10^{-1}	9.0×10^{-6}
	900°焼鈍	19600					1.4×10^2	7.5×10^{-8}

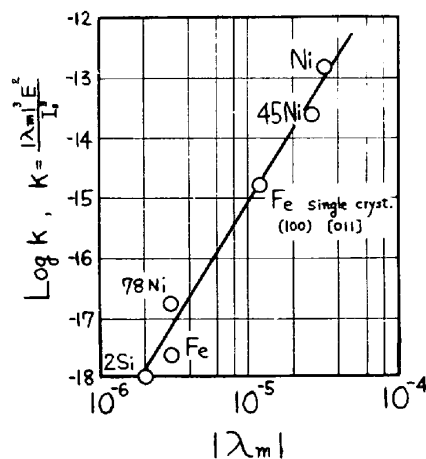


Fig. 3 物性定数 k と $|\lambda_m|$ との関係

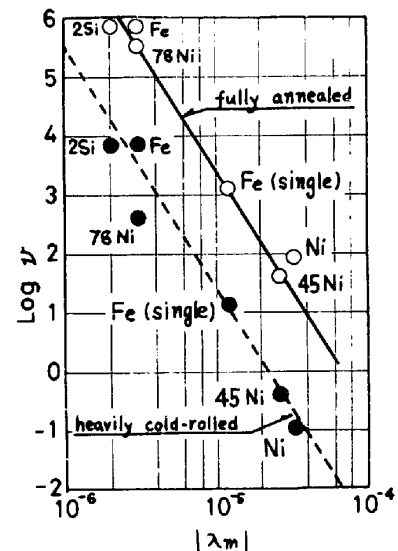


Fig. 4 レイリー定数 ν と $|\lambda_m|$ との関係

参考文献

- 1) 杉本孝一・茨木正雄：日本金属学会誌 31 (1967) 67
- 2) 杉本孝一・茨木正雄：日本金属学会第61回札幌大会講演予稿(昭和42年10月) p. 202
- 3) 杉本孝一：第14回応用物理学部連合講演会(昭和42年4月) 予稿集 2. p. 201
- 4) たとえば E. Kneller：Ferromagnetismus, Springer-Verlag, Berlin (1962) p. 722
- 5) M. Kornetzki：Z. Phys. 121 (1943) 560