

九大 応用力学研究所 ○北島一徳 =神光次

1. はじめに

鉄鋼の塑性や破壊の機構を理解する上に転位の特性は基本的な重要性を保持しているが、近年B.C.C.金属における転位がF.C.C.金属のそれと異なる性質を持つことが主として理論的立場より明らかになつてある。<sup>(1)(2)</sup> すなわちB.C.C.格子における主として原子配列の特性に起因して、ラモン転位のパイエルス応力は刃状転位のそれと比較してかなり大なることが指摘された。またこの考えに基づいて流動応力や加工組織の転位配列について合理的な説明が与えられてある。ここでは純鉄の降伏および内部摩擦につき二三の実験を行ない、これらについて従来不分明に残されている問題点に対し上述の立場より多少の考察を加えてみたい。

2. 試料および実験方法

まずカーボニール鉄粉を棒状に焼結させ純水素中に23~10回真空中に2/回帯溶解パスさせた純鉄を用いて移動炉再結晶法により単結晶を作製し、これを湿水素中に約50時間脱炭処理、また一部についてはさらに880°C 14日間ZrH<sub>2</sub>処理を行なった。前者については残留炭素量は約1ppmと推定される。

つぎに引張試験については、1×5×50mmの単結晶をまず常温で少量の引張歪を与えた後77°Kおよび4.2°Kにおいて引張試験を行なった。4.2°Kでの歪の検出には差動変圧器を、また77°Kでは抵抗線歪ゲージを使用した。つぎに試料の厚さの影響を見る目的で0.25×5×40mmの単結晶についても同様の試験を行ない、これには極薄歪ゲージ(Budd社製)を使用した。

つぎに内部摩擦については1×5×160, 90, 40mmの試料を用いて約2000eの一樣な磁場中で横振動法により測定を行なった。液体He温度での測定には試料保持台を縦に保持し、マホービンの外にソレノイドコイルを置いた。

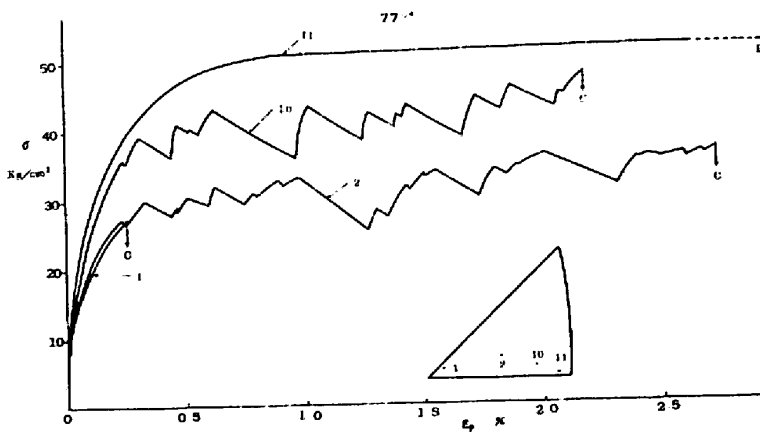


Fig.1 Tensile characteristics of single crystals pre-strained by 0.1% at room temperature and tested at 77°K.  $\epsilon_p$ ; Plastic Strain.

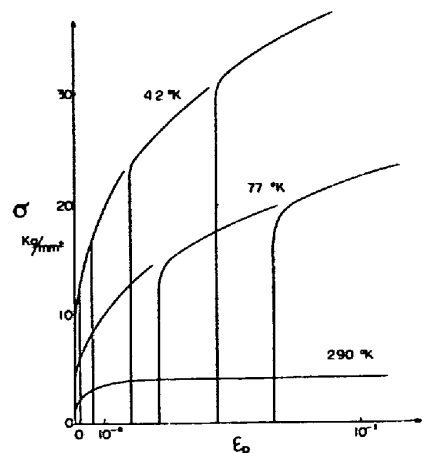


Fig.2 Temperature dependence of work-hardening curves of pre-strained single crystals which have same orientation.

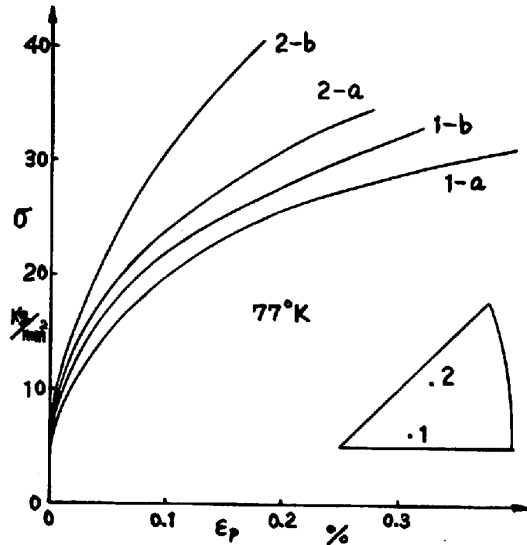


Fig.3 Comparisons of work-hardening curves of pre-strained single crystals which have different thickness, a; 1mm, b; 0.25mm.

3. 試験結果

応力-歪曲線 常温において0.1%の引張歪を与えた種々の方位を持つ単結晶の77°Kにおける応力-歪曲線を図1に示す。降伏応力は低く、急速な加工硬化を示した後、一定の流動応力の領域に続いている。つぎに図2に微小歪領域における温度依存性を示す、4.2°Kにおいても降伏応力は10 kg/mm<sup>2</sup>を超えず、また除荷再荷重曲線のループの中は温度の低下と共に小さくなること(3)(4)が解る。つぎに同一方位の単結晶につき試料の厚さを1mmより0.25mmに変化した場合の結果を図3に示す。厚士の減少とともに

硬化の割合が増大していることが注目される。

内部摩擦 B.C.C.金属の加工による内部摩擦についてはNb, Ta, Mo, Wについてもかなり調べられている(7)が、一般に微量の格子間不純物元素の影響が大きく、またピークの出方が複雑であるため、それらの解釈については現在なお充分ではない。鉄の場合にはさらに磁束的の原因による内転えの寄与が大であるため問題がさらに複雑である。またとくに低温での実験は少ない。

図4に焼鈍状態および200°Kで1.5%の引張歪を与えた場合(12)の内部摩擦の温度および歪振中依存性の代表例を示す。まず焼鈍状態については、一般に磁場の影響はきわめて小さいが低温では少なく、飽和磁場のもとでは内部摩擦は小さく、その振中依存性も少ない。歪量が約10<sup>-4</sup>に達して急速に増大を示す。これに比較して加工試料では飽和磁場のもとでも振中依存性は大きく、また低温でも明らかな内部摩擦の増大が認められ(6)種々のピークの存在が明瞭になる。これはBrunerの結果に比較して対照的である。

つぎにピークの形状については、結晶方位により差異はあるが、粗大結晶(粒径2~3cm)をも含めて本質的な差は認められず、また加工温度についても、200°Kと295°Kにとくに差異は認められなかった。図4に示すように低温側と高温側にゆるやかな二つのピークが認められる例が最も多く、場合によっては図7および8に示すような明瞭なピークがいくつか現われる例もあった。後者のピーク温度については9cmの試料につき、240°K付近のものが最も多く、200°K, 260°K, 280°K付近に現われる例もあった。鋭いピークの現われる条件は明らかではないが、常温で適当な時間放置後に始めて現われる例もあった。

一般にピークの高さは時間と共に減衰する。常温および100°C保持による時間的な減衰の様相を図5 a, b に示す。なお一度減衰したピーク(ゆるやかな)も0.2%程度の微量の変形により、ほぼもとの高さまで再現される。しかし鋭いピークは再現しなかった。つぎに高温側のゆるやかなピークについてピークシフトを求めた一例

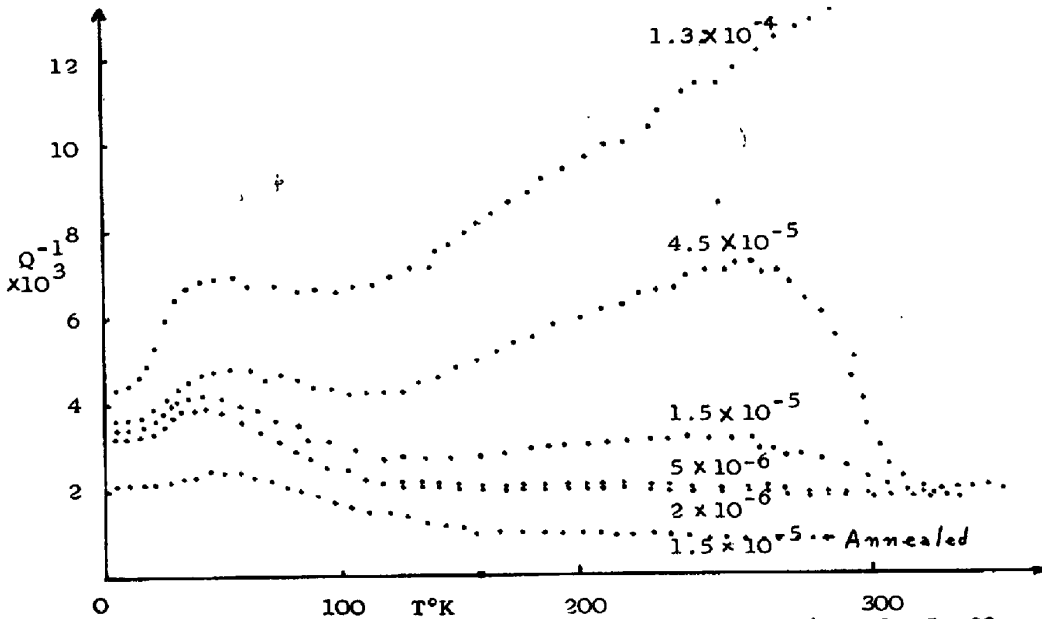


Fig.4 An example of broad peaks in pure iron. Specimen;  $1 \times 5 \times 90$ mm coarse grained (2cm) crystal strained by 1.5% at 200°K. Measurements were made in Magnetic field of  $\sim 2000$ ga. by lateral vibration method.  $f = 742$ c/s.

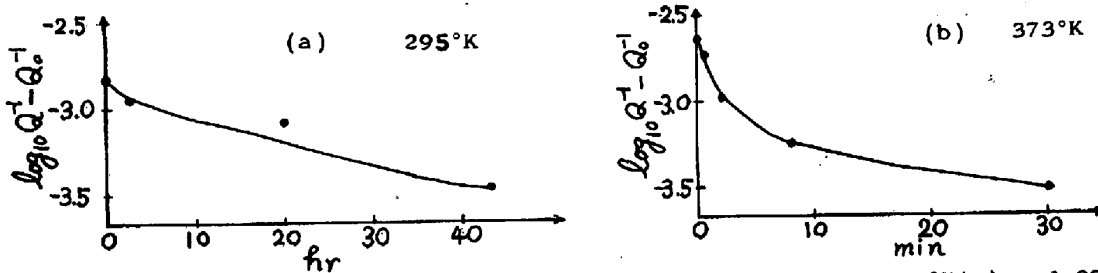


Fig.5a,b Annihilation of peak ( $\sim 260^\circ\text{K}$ ) by annealing at 295°K(a) and 373°K(b). Same specimen as Fig.4.

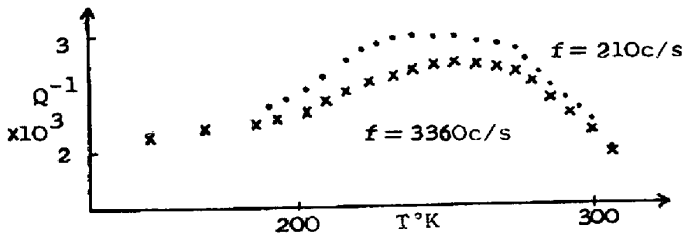


Fig.5 An example of peak shift on broad peak, coarse grain.

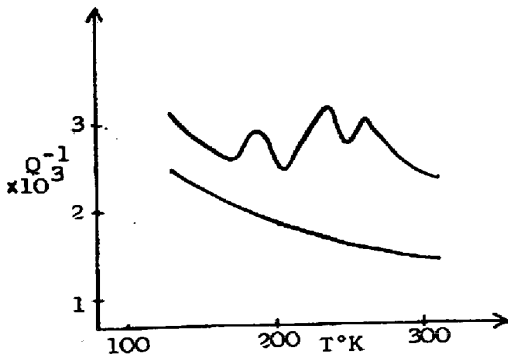


Fig.7 An example of sharp peak, single crystal.

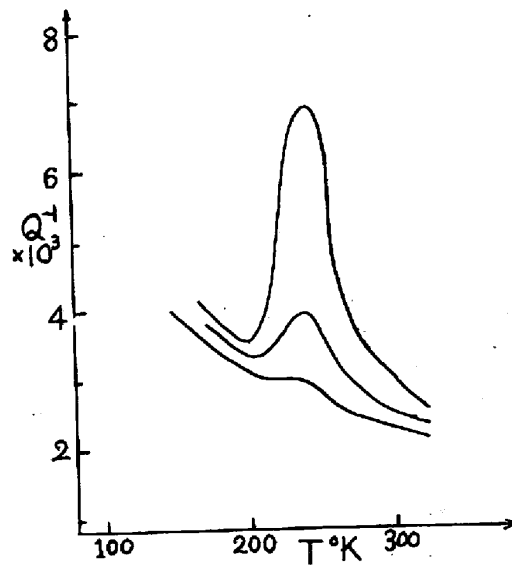


Fig.8 An example of sharp peak, single crystal.

を圖6に示す。ゆるやかであるため、シフトの量は判別し難い。

#### 4. 考察

**応力-歪特性** Stein<sup>(5)</sup>の実験によれば格子間不純物の量が転位を固着するには必要量よりかなり低いにもかかわらず、純鉄の降伏応力は77°Kでもかなり高く、流動応力と大きな差はない。これは我々の結果でも同様であった。一方前述の降伏応力および内部摩擦の測定よりは、転位が実際に動き得る応力はより低いものと推定される。この間の矛盾は前述の理論すなわち、B.C.C.金属においては、ラセン転位のパイエルス応力は刃状転位のそれに比較してきわめて大きいとする立場より合理的に説明し得る。すなわち、焼鈍状態では、転位は出来ただけエネルギーの小さい網目構造をとろうとするため、転位は一般に多くつよぎを含み同一すべり面に存在する刃状転位の成分は少ないと推定される。従って降伏応力はむしろ流動応力とともにラセン転位の移動に対応しているものと考えられる。これはまた内部摩擦について歪依存性の少ない事実に対応している。

これに比較して前々歪を与えた場合には同一すべり面上の刃状転位は増加し、低い降伏応力を示す図2。またその際刃状転位のみでは多重形成を行ない得ないが、低温側ではすべり得る転位は消耗されて急速な硬化を示す図2。また刃状転位のすべり距離に比較して試料の厚さが薄い場合には、転位一本当りのすべり距離は短かくより急速な硬化を示す図3。

**内部摩擦** 加工により導入された転位による内部摩擦については、我々の振動数の範囲では、刃状転位およびラセン転位における単一キックの移動およびキック対形成に起因するピークの存在が考えられる。またその他にも変形により発生した種々の点欠陥と転位との相互作用も問題になる<sup>(6)</sup>。我々の実験について言えば、それがどれに対応しているかを決定するためにはなお資料不足である。たゞ前述の理論的立場より推定すれば、低温側のピークが刃状転位の移動に、また高温側のピークがラセン転位の移動に対応しているとする推定は可能であり、現在この点を検討中である。なおこれらのピークについてはNb等について知られているいくつかのピーク<sup>(7)</sup>に対応させることも出来よう。またNb等についても同様に、高温側のゆるやかなピークが種々のピークの複合によるものとする考え<sup>(7)</sup>は前述の実験よりみても自然であり、これらについては転位同志の相互作用および上述点欠陥と転位の相互作用をも含めて、種々の活性化エネルギーを持つピークの存在が考えられる。

#### 文献

- (1) T. E. Mitchell, P. B. Hirsch, Phil. Mag. 8 ('63) 1895.
- (2) 鈴木香次, 物理学会講演予稿 昭41年3月.
- (3) 北島一徳, 九大応力研究所報 No. 15 ('60), Proc. 1st Intern. Congr. Fracture ('66).
- (4) N. Brown, R. A. Ekvall, Act. Met. 10 ('62) 1101.
- (5) D. F. Stein, Low, Seybolt, Act. Met. 11 ('63) 1253.
- (6) 奥田重雄, 物理学会講演予稿 昭41年10月.
- (7) R. H. Chambers, Physical Acoustics Vol. III A ('66) 123.
- (8) 橋口, 鴨下, 井形, 金属物理 2巻4号 ('56) 163.