

(討23)

固溶炭素と転位の相互作用について

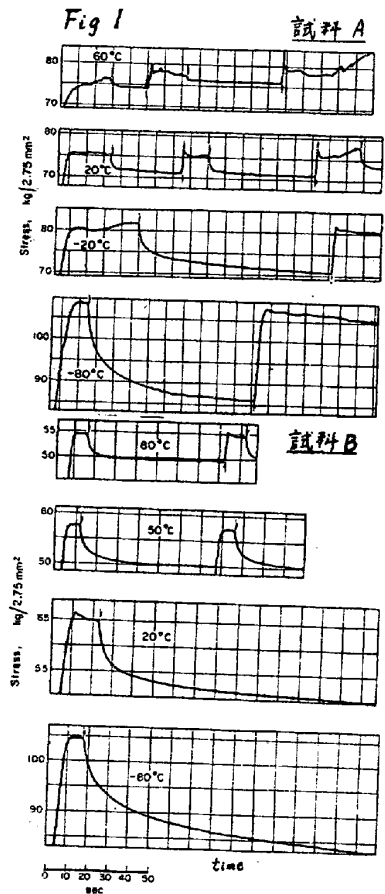
八幡製鉄 東京研究所

青木 宏一 三村 宏

序：固溶炭素と転位の相互作用は最初 Cottrell により転位の固着理論として扱われた。その後 Schoeck⁽¹⁾ は Snoek 効果により転位に摩擦力が働くことも示した。最近鉄の変形機構に関連して変形応力の歪速度及温度依存性が調べられるが固溶炭素が存在すると常温附近で Snoek 効果のため種々の異常性が見られ⁽²⁾、説明が与えられているが充分とはいえない。我々は固溶炭素量の異なる試料について応力緩和、及び変形応力の歪速度依存性の実験を行った。その結果は Snoek 効果と考慮したモデルにより良く説明できることが判った。

実験結果：用いた試料は電解鉄を真空溶解したものでその組成は $C=0.016(\%)$ 、 $N=0.0004$ 、 $Si=0.032$ 、 $Mn \leq 0.01$ 、 $P=0.004$ 、 $S=0.004$ である。

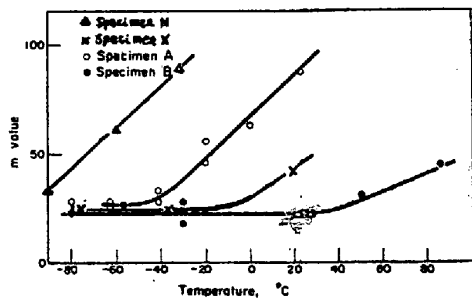
応力緩和⁽³⁾：試料寸法は $0.2 \times 12.5 \times 90$ mm で冷延後 $750^\circ\text{C} \times 2$ hrs 焼鈍し、A 試料はその温度から水冷、B 試料は 12 hrs かけて室温迄炉冷した。粒径は両試料共 $0.02 \mu\text{m}$ であった。固溶炭素量は内部摩擦測定結果で試料 A で 155 p.p.m. 、B は 0.5 p.p.m. 以下である。両試料共 Lüder's 帯が現れる。Lüder's 伸の途中で引張速度を零にして応力緩和させた結果を第 1 図に示す。 -80°C では応力緩和の指標は両試料とも殆んど差はない。しかし -20°C 以上では A 試料では応力緩和量の著しい減少、応力緩和後再引張時に降伏点落下の出現が見られる⁽⁴⁾。応力と引張停止からの時間を両対数にプロットすると A 試料では 60°C 以下、B 試料では -20°C 以下で、ほぼ直線が得られる。応力緩和量の目安としてこの直線の勾配の逆数 m をとり温度に対してプロットしたのが第 2 図である。尚図中に 400°C から水冷した試料 X と、素材を脱炭後窒化し 200 p.p.m. の固溶窒素を含む試料 N に就ての結果も併示した。又降伏点落下量を試験機停止時間内の炭素原子飛躍数 J の函数としてプロットすると略 $J=1$ 以上の所で降伏点落下が現れることが判る。これはまさしく Snoek 効果の特徴として期待される所である。すなわち応力緩和後転位は Snoek 効果により減速され、実効的に運動転位の数が減り従って応力緩和量も減少する。この効果は固溶炭素量の多いほど大である。又窒素の場合は拡散係数が大きい為、より低温迄その効果が及んでいることが第 2 図からうかがわれる。再引張の際に見られる降伏点落下は Snoek 雰囲気からの転位の脱出にともなう急激な運動転位の増加



の結果である。

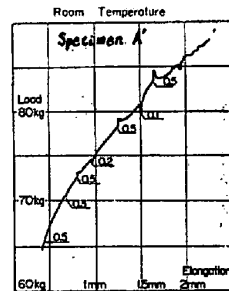
変形応力の歪速度依存性⁽¹³⁾、試料は冷延再結晶後10%引張り780°C×2hrs焼鈍し水冷(A)又は炉冷(B)した。粒径約1mmでLüder's帯は出ない。B'試料は通常の歪速度変化の実験でみられるごとく、与えられた歪および歪速度に対応して変形応力が定まり変形応力は歪速度とともに一杯に増加する。A'試料では-72°CではB'材と同様な挙動を示すが常温

Fig 2



では全くその挙動は異なる。今0.5mm/minの引張速度(歪速度 $1.67 \times 10^{-4}/\text{sec}$)での変形応力を規準とし、この速度から他の速度に変えた際の応力変化を観察した。引張速度を10mm/min以下の速度に切換えると新しい速度が規準速度より大きい、小さいかに従って一時的に応力の上昇又は下降が見られるが其の後徐々に0.5mm/minの応力水準に復帰する。即ち定常状態では変形応力が歪速度によらなくなる。Fig 3

引張速度を20mm/min以上に上げた時は応力の一時的な上昇ののち0.5mm/minの応力水準より高い応力が変形する。引張速度を0.1mm/min以下にすると応力の一時的な低下の後0.5mm/minの応力水準より高い変形応力を示す。その際荷重-伸曲線は細かな鋸歯状を呈する。

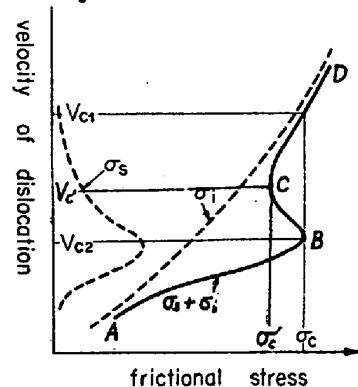


図中の矢印は試験機のクロスヘッドと示された数字(mm/min)の速度に切換えたときを示す。試料径 $0.9 \times 9 \text{ mm}$ 。

0°Cで試験した結果は常温での結果と略同様であるが各現象に対応する歪速度はより低い歪速度側に移る。ほぼ比較のため湿水素焼鈍によって固溶炭素量を0.5ppm以下に下げた試料とB'材を比較した所同一の歪速度変化に対応する変形応力変化は殆んど同じであった。

考察：転位に依らく摩擦力は通常転位速度と共に単調に増加する結晶固有の摩擦力 σ_c ⁽¹⁴⁾及び、現在の場合、固溶炭素によるSnoek効果に基づく項 σ_s が考えられる。転位の運動エネルギーの吸収機構が独立であると考へれば一応この二つの項は加算的であると見てよからう。第4回は模式的にこれを示した図である。定常状態では転位の状態はこの曲線の上の某点で示されるがBCでは不安定状態であつて転位はCDとABの枝のみが存在する。簡単のため可動転位の数 n を一定とする。今歪速度が $n b v_1 \sim n b v_2$ の間にある時を考へてみよう。但し b は転位のバ-ガスベクトルである。転位の増殖がDCの枝で可能か不可能かによつて考へは二つに分れる。若し前者ならば $\dot{\epsilon}_c = n b v_c$ 以下の歪速度で変形応力は一定となる筈である⁽¹⁵⁾。何故ならば $\dot{\epsilon}_c$ 以下の歪速度の変化に対し

Fig 4



ではDCの枝の転位の数を適当に調節することによつて塑性変形の順応ができるからである。しかし歪速度を下げた時に見られた過渡的な応力低下の説明が稍困難である。若し後者ならば $\dot{\epsilon}_c = n b v_c$ 以下の歪速度で変形応力は一定になる筈である。何故ならばDCの枝の転位は絶えず死滅してゆくので与えられた歪速度を満足するためにはABの枝から転位を供給しなくてはならない。これに要する応力が σ_c である

。過渡的な応力低下も次の様に説明できる。歪速度が下げられた時応力が同じで且つ可動転位の数が同じであれば塑性変形が与えられた歪速度を上まわり応力緩和を生ずる。 DC の枝で転位が増殖できない(もしくは増殖率が死滅率を下まわる)理由として交叉じりや転位源の活動に余計の応力 σ_e を要しこのため転位は一時減速されて AB の枝に落ち込むことが考えられる。従って σ_e が $\sigma_c - \sigma'_c$ より小さい時は変形応力が歪速度によらずくなるのは DC の枝で増殖できない場合即ち応力が $\sigma_c + \sigma_e$ の時をとるべきであろう。いづれにせよ本4国で与えたモデルによつて定性的にはA材の観察結果を良く説明できる。

つぎにスネーク効果による摩擦力の特徴を挙げておこう。A材とB材の変形応力の差を比較すると低温程その差が小さい。これは本4国で低温程 σ_c が大きく且つ V_{c2} が低くなるので通常の引張速度ではその影響は減少する。若し固溶炭素による摩擦力が転位の運動に対する障害のポテンシャルによるものを主とするならばこの傾向は逆になる筈である⁽¹¹⁾。又スネーク効果による摩擦力は歪速度の大きい所では効かない⁽¹²⁾。本5国はその一例で -30°C 歪4%の変形応力の歪速度依存性を、A材及び適当な温度から水冷して固溶C量40 p.p.m.にした試料Yについて示したものである。

最後に、極く低い歪速度で見られた変形応力の増加はこのモデルの範囲内では説明できない。Sleeswyk⁽¹³⁾は実験的に変形の局所化を確かめている。ミクロには本4国の AB の枝の転位が多くなると更に CD の枝の転位の運動の抵抗力が大きくなるという協同現象の起こることが起きている⁽¹⁴⁾とも推定できる⁽¹⁵⁾。

謝辞：本研究に当つて御指導頂いた当研究所水島所長池上次長及び御協力頂いた当研究室の方々に厚くお礼申し上げます。

文献

(1) G. Schoeck and A. Seeger : Acta. Met. 7 (1959) 949. J.D. Eshelby : Phil. Mag. 5 (1961) 753.
 (2) T. Sugai et al : Acta. Met. 11 (1965) 1074
 (3) H. Yada et al : J. Phys. Soc. Japan. 20 (1965) 2314
 (4) H. Mimura et al : J. Phys. Soc. Japan. 21 (1966) 194
 (5) G.T. Hahn et al : Acta. Met. 10 747 (1962)
 (6) A.W. Sleeswyk : Acta. Met. 3 (1960) 130
 (7) R.J. Arsenault : Phil. Mag. 12 (1966) 31
 (8) F. Felberbauer et al : Trans. Met. Soc. A.I.M.E. 220 (1964) 1596
 (9) 同様の結果は Wilson 等によつて得られた。D.V. Wilson : Acta. Met. 7 (1959) 628
 (10) J.J. Gilman and W.G. Johnston : Solid State Physics 12 (1962) 147
 (11) 同様の効果は Lüders 帯の変形応力についても期待される。H. Mimura, et al : J. Phys. Soc. Japan. 21 (1966) 1012.
 (12) 1992年、鈴木春次：鉄と鋼 第50年(1964)第14号 2353. E見上。

