

## (討26) 純鉄の塑性に及ぼす中性子照射効果

九大 元力研〇北島一徳, 二神光次, 中崎忍

## 1. 序論

中性子照射による鉄鋼材料が硬化を示し、脆性を増加することはよく知られているがその機構については不明の点が多岐にわたる。すなわちまず照射による生成される格子欠陥の基本的特性とそれらの種々の温度における融合集散の機構、さらにはこれら照射欠陥と転位との相互作用についてはとくに体心立方格子金属における特長な機構が明らかにされねばならない。電子顕微鏡による観察によれば鉄の場合識別し得る程度の格子欠陥集合体が硬化の主要な要素であるとされているが、その本質についてはいまだ明らかにされていない。また鉄の場合とくに微量の格子間原子の役割が重要である。McRivickardらの実験によれば、照射量および炭素量のある臨界値以上において硬化および脆性が急速に増加することが報告されているが、それらの機構についてはいまだ明らかではない。

本研究においてはこれらの問題点に対し、主として高純度鉄単結晶において応力-歪曲線および内部摩擦に及ぼす照射の効果とともに、これらに及ぼす微量の炭素および種々の焼鈍の影響について若干のデータを提供しようとするものである。

## 2. 試料および実験条件

カーボニール鉄を純水素および真空中にて帯溶解精製(計6パス,  $C \sim 1 \text{ ppm}$ )した素材より単結晶を製作し、一部についてはさらに  $880^\circ\text{C}$ , 14日間  $\text{ZrH}_2$  処理により純化 ( $C < 0.1 \text{ ppm}$ ), または  $20 \text{ ppm}$  を炭素させた。照射は京大原子炉 KUR において照射量  $1.8 \times 10^{19}$ ,  $1.3 \times 10^{18} \text{ nvt}$  ( $> 1 \text{ MeV}$ ), 照射温度  $60 \sim 90^\circ\text{C}$ , また  $C \sim 1 \text{ ppm}$  の試料については EURATOM-CEN の BR-2 炉において照射量  $1 \times 10^{19} \text{ nvt}$  ( $> 1 \text{ MeV}$ ) 照射温度  $75 \pm 10^\circ\text{C}$  (鉄鋼照射試験研究の一部) の条件で行なった。試料の寸法は引張試験では  $1 \times 5 \times 50 \text{ mm}$ , 内部摩擦では  $1 \times 5 \times 100 \text{ mm}$  であり、内部摩擦は  $200 \text{ Oe}$  の磁場中で横振動法により計測した。

## 3. 試験結果

引張試験については歪の領域を二つに分け、まず微小歪の領域 ( $< 0.5\%$ ) では常温において前歪 ( $\sim 0.3\%$ ) を加えた後に低温において引張試験を行なった。  $77^\circ\text{K}$  における同一方位の結晶についての試験の例を図1に示す。照射量の増大とともに降伏応力の上昇が認められる。つぎに応力-歪曲線において加工硬化が飽和した状態 ( $0.5 \sim 2\%$ ) における流動応力の温度および歪速度依存性を図2および3に示す。照射による流動応力の増分は温度および歪速度依存性を示している。なお同一方位の結晶については  $C < 0.1$ ,  $\sim 1$ ,  $20 \text{ ppm}$ ,  $1.3 \times 10^{18} \text{ nvt}$  の流動応力を比較すれば、  $77 \sim 295^\circ\text{K}$  の温度範囲で大きな差違は認められない(差は数%程度に止まる)。一般に照射による双晶の発生は抑制され、伸びは小さくなり、脆性への遷移温度は上昇する。

つぎに常温における降伏応力の  $100^\circ\text{C}$  および  $10$  分等時焼鈍による回復については、  $< 0.1$ ,  $\sim 1 \text{ ppm}$  の試料は存在する回復を示すが、  $20 \text{ ppm}$  の試料は約  $300^\circ\text{C}$  の

領域において急速な回復を示す図4。

内部摩擦の計測については照射のまゝの試料については一般に非照射試料との差は少ない。たゞ20ppmの試料については Smoek peak は消失しており、250°C以上の加熱によって再び現われる。しかしながら照射後数%の常温加工を加えた試料では、内部摩擦の振中依存性は同様に加工した非照射試料と比較して著しく小さく、またかなり明瞭なピークを示すことが多い。図5, 6, 7。ピークの性質についてはしかしながら非照射試料をも含めて一般に複雑であるため、こゝでは省略する。つぎに加工後の等時焼鈍による効果については非照射試料と比較して回復はかなり遅れる図8。

#### 4. 考察

i) 体心立方格子金属における転位の性状に関する最近の理論によれば、刃状転位のそれと比較してらせん転位のパイエルス応力はきわめて大きいと述べられているが、この立場よりすれば図1における降伏応力の増大は前項至により導入された可動刃状転位(焼鈍状態では転位は殆ど含まず可動転位は少ない)に対する照射欠陥の障害として、また図2における流動応力の増加はらせん転位に対する障害として説明される。図2, 3によれば流動応力の照射による増分の温度依存性は流動応力自身のそれと比較して小さく、これは至速温度依存性とともな、らせん転位の障害を乗り越える際の活性化エネルギーがらせん転位におけるキック対形成のそれと比較して大きいとして説明することが出来る。内部摩擦における振中依存性の減少についても全様に転位の移動への障害として説明することが出来る。

ii)  $C < 0.1, \sim 1, 20 \text{ ppm}$  の試料において流動応力に差違の認められない事実は、炭素原子が照射欠陥に捕えられているに由来する、転位の移動への障害としての性質にはその影響は少ないことを示している。これは McRichard の臨界値<sup>2)</sup> (0.03mm 程度の多結晶において  $1 \times 10^{18} \text{ nvt}$ , 20ppm 程度を境にして  $120^\circ \text{K}$  付近に降伏応力および脆性の顕著な変化が現われる。) に比較して興味がある。

iii) しかしながら等時焼鈍に際しての常温の降伏応力および内部摩擦の回復については微量の炭素の影響はかなり大きい。まず後者については、照射欠陥に捕えられた炭素原子は焼鈍に際して部分的に分離し、転位を固着することによって内部摩擦を減少させると考えられるが、そのような分離は20ppmの試料では約70°Cにおいて、1ppmの試料では約150°Cにおいて、また<0.1ppmの試料では約250°Cで起っている。図8。空格子点に捕えられた炭素原子の分離は約250°Cで起ると考えられるから、上述の結果は格子欠陥複合体と炭素の結合状態について一つの示唆を与えていると考えられる。つぎに降伏応力の回復については、20ppmの試料では250°Cまでは空格子点-炭素原子の結合によって回復が抑制されており、それを過ぎて空格子点の移動が殆どに存する300°C付近において急速に回復が進むとして解釈することが出来る。

文献 1) J.S. Bryner, Act. Met., 14 ('66) 323, 尖状の量は  $1 \times 10^{19} \text{ nvt}$  は見えず,  $2 \times 10^{20} \text{ nvt}$  で発生。

2) B.L. Eyre, A.F. Bartlett, Phil. Mag., 12 ('65) 261,  $2 \times 10^{20} \text{ nvt}$  に見え量は格子間原子の集合

3) S.B. McRichard, J.G.Y. Chow, Act. Met., 14 ('66) 1195.

体と相定

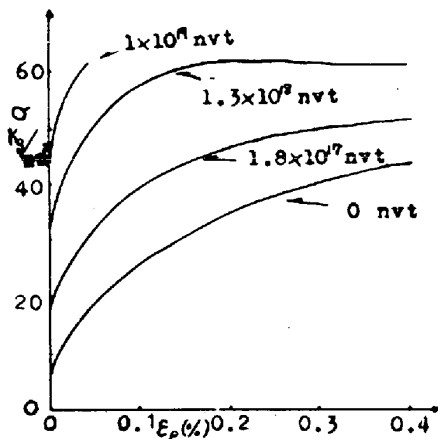


図1. 常温前γ歪を与えた同一方位を持つ単結晶の応力-歪曲線.

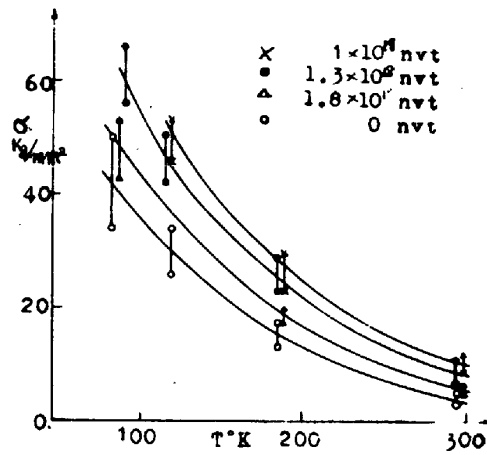


図2. 種々の方位を持つ単結晶における流動応力の照射量および温度依存性.

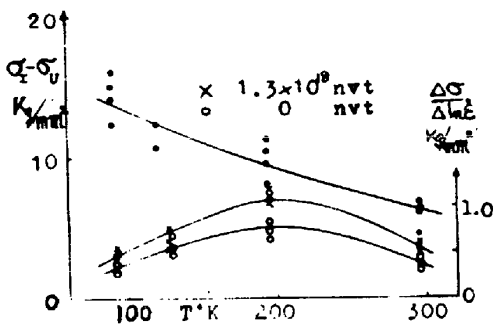


図3. 同一方位を持つ単結晶についての  $1.3 \times 10^{18}$  nvt と非照射における流動応力の差、および歪速度依存性の比較.

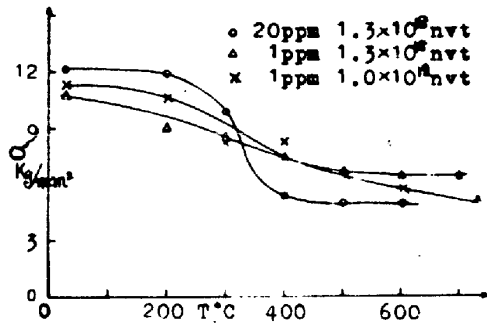


図4. 照射した単結晶についての (30 min/100°C) 等時焼鈍による常温降伏応力の回復.

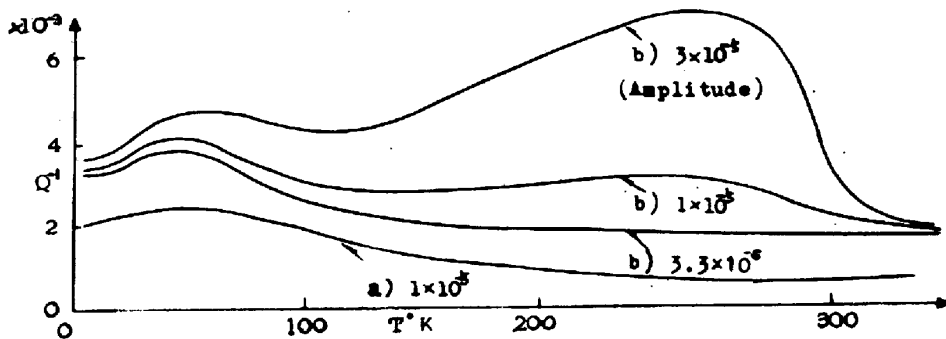


図5. 非照射試料 (C ~ /PPM) における内部摩擦の温度および歪振幅依存性  
a) 焼鈍のまま (歪振幅依存性は小さい) b) 3%加工後

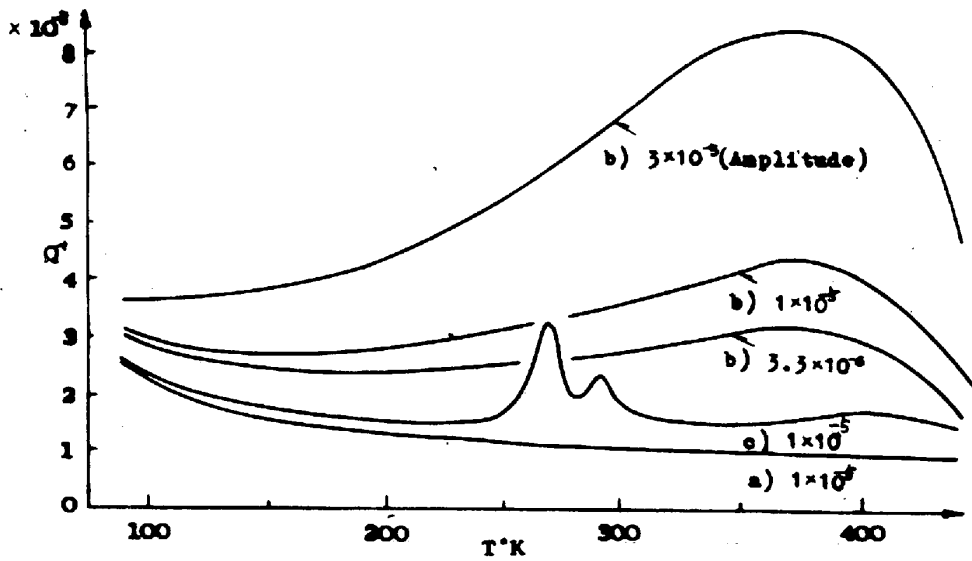


図6. 非照射試料 ( $C < 0.1\%$ ) における内部摩擦。  
 a) 焼鈍のみ, b) 3%加工後, c) 加工後  $300^\circ\text{C}$  30min加熱.

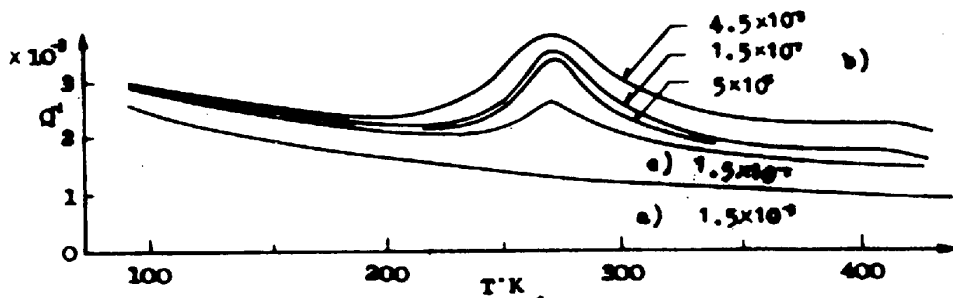


図7.  $1.3 \times 10^{18}$  nvt 照射試料 ( $C \sim 1\text{ppm}$ ) における内部摩擦。  
 a) 焼鈍のみ, b) 照射後4%加工, c) 加工後  $250^\circ\text{C}$  30min加熱.

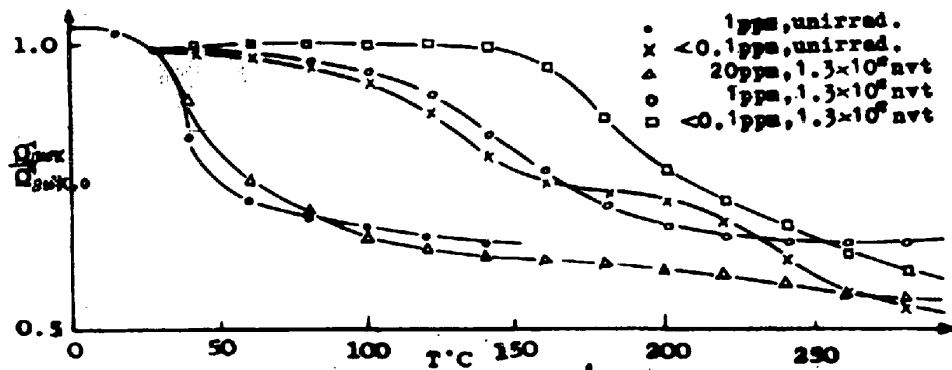


図8. 種々の炭素量を含む照射試料および非照射試料における3%加工後 ( $15\text{min}/20^\circ\text{C}$ ) 等時焼鈍による常温の内部摩擦の回復.