

Photo. 5. Electronmicrograph of a low carbon mild steel which was deformed in tension (stress; 21.25 kg/mm^2 , strain; 1.51%).

まちまちであるが、転位のからみ合いの度合や network の形成は荷重が増すにつれて多くなる傾向にある。

Photo. 1 に示されたような交叉する転位が帯状に分布する転位の配列は、かなり荷重の低い場合から観察されるが、その間隔は荷重が増すにつれて広がるようである。降伏点に近くなると転位がからみ合つて subboundary を形成し出す部分が観察される。

巨視的な降伏を起した後の写真の 1 例は Photo. 5 である。これは荷重が 21.25 kg/mm^2 、伸びが 1.15% の場合であつて、Photo. 1~4 に示したものと異なり、転位線の長さが短く、しかもからみ合つて、Subboundary を形成している。また低倍率でみると、ある方向に Subgrain は伸びたような形をしている。さらに変形を増すと配列の形態は変わらないが転位密度が増加する。

4. 結 言

以上各写真より次のことが認められた。

- 1 降伏点以下でも荷重が増加するにしたがつて転位密度を増す。
- 2 交叉する転位の帯がかなり低い荷重でも観察される。その間隔は荷重が増すにつれて広がる。
- 3 network の形成および転位のからみ合いは荷重の増加につれて多くなる。
- 4 降伏以後は小さな転位のからみ合いが subboundary を形成する。

などである。

文 献

- 1) H. G. F. WILSDORF: Amer. Soc. Test. Mat. Special Publication, (1958), 243, p. 43
- 2) 辛島, 及川: 日本金属学会誌, 28(1964) p. 426
- 3) P. R. SWANN, J. Nutting: J. Inst. Metals, 50 (1961~62), p. 133
- 4) Y. TANEDA, T. YAMASHITA: J. of Electron microscopy, 10 (1961) 3, p. 186
- 5) W. Bollmann: Phys. Rev., 103(1956), p. 1588

(141) 低炭素鋼における繰返し応力下の転位挙動に関する電子顕微鏡観察 (鋼材の疲労に関する研究—Ⅱ)

富士製鉄, 広畑製鉄所研究所

工博 ○中西 昭一・武政 明雄

土師 利昭

Some Electronmicroscopic Observations of Dislocations in Low Carbon Mild Steels under Tensile Repeated Stress.

(A study of fatigue properties in steels—Ⅱ)

Dr. Syōichi NAKANISHI, Akio TAKEMASA

and Toshiaki HAZE.

1. 緒 言

現在市販されている高張力鋼は低温における特性に多くの研究が行なわれているが、引張強さおよび降伏点が高くなっている割に疲労強度は上昇していない。そのために橋などの繰返し荷重のかかる構造物には、その長所を生かしきれない現状である。現在市販の高張力鋼は合金元素を含み、その上大部分は焼入焼戻しの熱処理によつて製造されている。筆者らは高張力鋼の疲労挙動の研究の手始めに合金元素を含まず、熱処理を施していない低炭素鋼板について透過電子顕微鏡を使用して転位の挙動を観察した。

M. A. VILKOV²⁾ は表面レプリカ法を使つて鉄の初期亀裂 (initial crack) 発生を段階的に観察している。J. C. GROSSKREUTY³⁾ らはプラスチックの板の上に 0.005 in の Al を張付け、繰返し曲荷重を与えて透過電子顕微鏡観察を行なつている。この方法は電子顕微鏡試料を作成する上で非常に良い方法と考えられ、著者らはこれと類似した実験方法を採用した。

疲労強度を解明する上で重要なことは、静荷重で破断する応力より低い応力で疲労破断し、また繰返し荷重が材質をどのように変えて破断にいたるかを調べることである。それにはまず静荷重の場合と比較して、その相違点を見出すことが第一歩である。著者らは第 1 報で静的引張荷重を与えた場合の透過電子顕微鏡観察について述べたが、本報告では比較もあわせて報告する。

2. 試料および実験方法

2.1 試 料

冷間圧延を施した 0.32 mm 厚さの低炭素鋼板で第 1 報に使用した材料と同一なものである。この板を 750°C 2 hr の直空焼なましを行なつた。化学成分および機械的性質は第 1 報 Table 1 に示す通りである。

2.2 繰返し荷重の附与

本実験に使用した試験機は東京衡機製造所製の 10 t 共振型万能疲労試験機である。この試験機の最小目盛荷重は 100 kg であるため、 0.32 mm 厚さの板をそのまま試験片として使用すれば、希望する荷重を与えることは不可能である。そこで次のような方法を採用した。Fig. 1 に示す通り中心に 5.5 mm の補助板を用い、その両側に 0.32 mm 厚さの板を接着剤ではりつけて試験を行なつた。補助板の引張強さおよび降伏点は 0.32 mm 厚さの薄板より高く、かつ実験荷重が降伏点以下になる

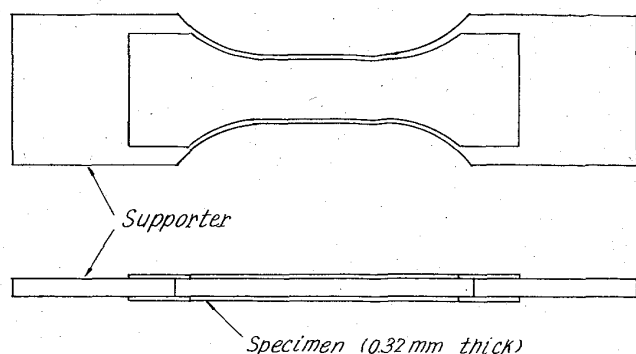


Fig. 1. Shape of specimens on tensile cyclic loading.

ように鋼板を使用した。また接着の強度は薄板が破断する応力まで十分耐えるものである。この試験片全体に加わる荷重は試験機の目盛から読みとれるので、次の方法で計算した。

0.32mm 厚さの薄板と補助板との伸びは一定とする。補助板および 0.32mm 厚さの薄板の断面積を、各々 $A \text{ mm}^2$ および $B \text{ mm}^2$ 、応力を各々 $\sigma_A \text{ kg/mm}^2$ および $\sigma_B \text{ kg/mm}^2$ 、弾性率を $E_A \text{ kg/mm}^2$ および $E_B \text{ kg/mm}^2$ とし、試験機の読み取り荷重を $L \text{ kg}$ とすると

$$L = \sigma_A \cdot A + 2\sigma_B \cdot B \quad \sigma_A / E_A = \sigma_B / E_B$$

の2式が成立する。 E_A および E_B は内部摩擦測定により求め、 E_A は 20900 kg/mm^2 、 E_B は 20500 kg/mm^2 であった。

2.3 透過電子顕微鏡観察

繰返し荷重を考えた試験片から第1報で述べたのと同じ方法で試料を採取し化学研磨した。腐蝕時間は約 150 秒で 100μ 程度の厚さになった。表面は光沢を持った清浄な面であった。その後 Bollmann⁴⁾ の尖端陰極電解法によって電解研磨を行なった。

使用した電子顕微鏡は日本電子製 JEM-6A 型で加速電圧 100kV で観察した。

3. 実験結果および考察

引張静荷重を加えた場合の透過電子顕微鏡観察の結果写真に現れた転位の形態を分類すると

- 1) 直線もしくは少し彎曲する単独な転位ループ
- 2) 転位が増殖して平行に並び、全体が帯状に分布する転位群
- 3) ある一定の角度で交叉し帯状に分布する転位
- 4) 折れ曲つて連なっている転位
- 5) 六角形の network を作っているもの
- 6) 不規則に密にからみ合っている転位
- 7) subboundary を形成している転位

等に分けることができる。繰返し引張荷重を加えた場合もこれと同様な形態の転位が分布する。繰返し引張荷重を加えた場合の透過電子顕微鏡写真の1例は Photo. 1 ~ 4 に示した通りである。

Photo. 1 は応力が $5 \cdot 14 \text{ kg/mm}^2$ 、繰返し回数 10^5 回の場合である。矢印 A は結晶粒界を、矢印 B は小傾角粒界を示す。一つの source から増殖したと思われる転位が両粒界を漸近線とした双曲線状に分布しているのが認められる。この分布の形態は引張静荷重の場合には観察されなかつたが、繰返し荷重の場合には他に 2 箇所程度観

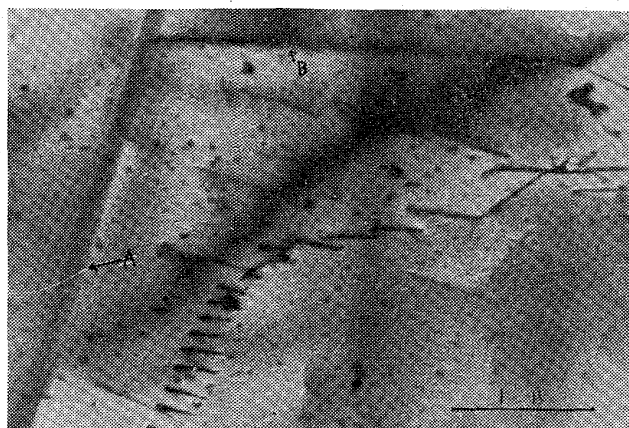


Photo. 1. Electronmicrograph of a low carbon mild steel after 10^5 cycles at $0 \sim 5 \cdot 14 \text{ kg/mm}^2$.

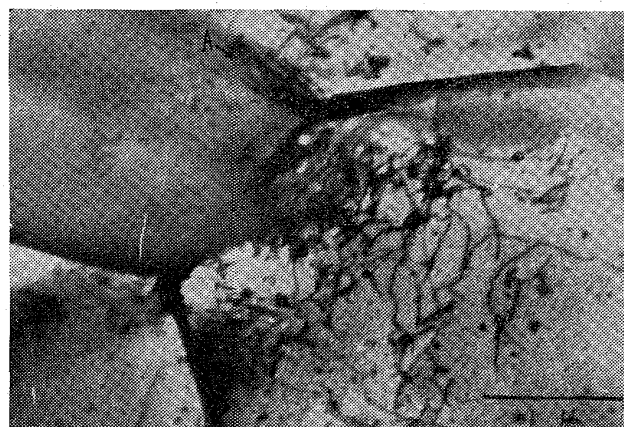


Photo. 2. Electronmicrograph of a low carbon mild steel after 2×10^6 cycles at $0 \sim 5 \cdot 14 \text{ kg/mm}^2$.

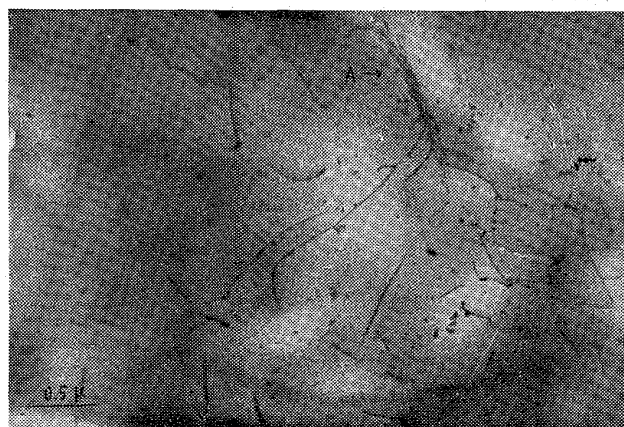


Photo. 3. Electronmicrograph of a low carbon mild steel after 10^5 cycles at $0 \sim 7 \cdot 71 \text{ kg/mm}^2$.

察されている。これは繰返し荷重の一つの特徴ではないかと思われる。写真中他の部分は少々単独な転位ループが観察されるが、からみあいはない。

Photo. 2 は応力が $5 \cdot 14 \text{ kg/mm}^2$ 、繰返し回数 2×10^6 回の場合である。粒界附近に転位が非常にからみ合つて、矢印 A によつて示される転位群により粒界が曲げ

669.1524'26-194-157.96:620.172.22A
:620.186.8

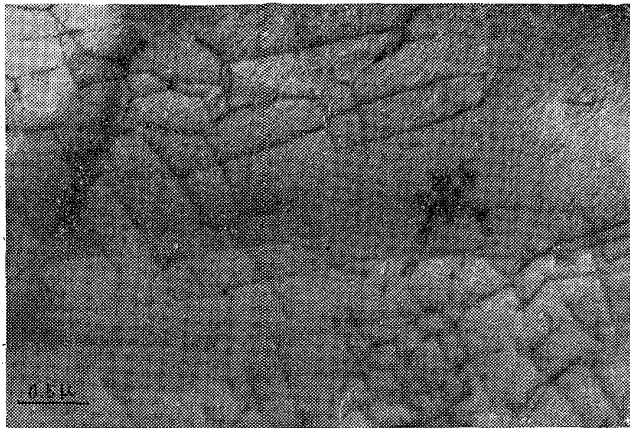


Photo. 4. Electronmicrograph of a low carbon mild steel after 5×10^5 cycles at $0 \sim 7.71 \text{ kg/mm}^2$.

られている。この折れ曲りは2次元的なものでなく、3次元的なものである。

Photo. 3は応力が 7.71 kg/mm^2 、繰返し回数が 10^5 回の場合である。写真全体に彎曲した転位や折れ曲がつた転位が観察される。矢印Aに示されるように転位が一個所にかたまっている。繰返し荷重を加えた場合には形は異なるが一個所に集まった転位が観察される。

Photo. 4は応力が 7.71 kg/mm^2 、繰返し回数が 5×10^5 回の場合の写真である。六角形の network を形成している部分と、交叉する転位群とが全体的に分布している。繰返し荷重を加えた場合、このような形で分布するのが一番多いようである。

以上特徴を有する写真をあげたが、他の写真も合せて検討してみると、転位密度は繰返し回数が増すにつれてわずかに増加する傾向がある。前に示した写真でもわかるように転位が全体的に分布するのではなく部分的に存在するので、転位密度を数量的に取扱うのは非常に困難である。静的引張荷重を与えた場合と異なる点は、単独な転位ループは少なく、ほとんどが network を組むか非常にからみ合うかしている。単独な転位ループは繰返し荷重を受けている間に排除されてしまい、network を組むか、その他なんらかの方法で固定化された転位が残っている。もう一つの特徴は1個所に線状に転位が集積されていることである。network を組んでいても、ある個所で一直線状により集った転位も認められた。繰返し回数が増せば全体的にわずかに転位密度は増すが分布する形態にはあまり差異は認められない。もつと応力の大きい場合の実験を行なつて応力による影響、および高い応力での繰返しの影響については次回に発表したい。

4. 結 言

以上各写真より次のことが認められた。

1. 転位の分布する形態は静的引張荷重を与えた場合と大差はない。
2. 繰返し回数が増すにしたがつて、わずかに転位密度は増大する傾向にある。分布の形態には差が認められなかつた。
3. 単独な転位ループは少なく、network を組むか、他になんらかの形で pinning されている。

4. ある特定個所で直線状で転位が集積される。などである。

文 献

- 1) 中西, 武政, 土師; 40 年度鉄鋼協会春期講演大会予稿
- 2) M. A. VILKOV; Proc. ASTM, 60 (1960), p. 540
- 3) J. C. GROSSKREUTZ; Acta. Met., 11 (1963), p. 717
- 4) W. BOLLMANN; Phys. Rev., 103 (1956), p. 1588

(142) 焼戻脆性鋼の低温における引張諸性質におよぼす結晶粒度ならびに変形速度の影響

(高速衝撃引張試験機による鉄鋼材料の引張特性の測定—Ⅸ)

東京工業大学

工博 作井 誠太・工博 ○中村 正久
松田 明教

Effects of Grain Size and Deformation Rate on the Tensile Properties of a Temper-Embrittled Steel at Low Temperatures.

(Measurements of tensile properties of steels with a high speed impact tension testing machine—Ⅸ)

Seita SAKUI, Tadahisa NAKAMURA and Akinori MATSUDA.

1. 結 言

前報において、焼戻脆性を有する鋼の低温引張試験を行なうと、脆化試料は靱性試料に較らべ引張強さは小であるが、降伏比は高くかつ降伏点が鋭く、それらは変形速度が増加すれば顕著となること、および静的試験においては、cup-and-cone 破断、Star 破断、たて割れ破断などを経て脆性破断にいたるいろいろの破断様相を呈するが、衝撃試験においては cup-and-cone 破断と脆性破断だけしか現われないことなどを報告した。

このような焼戻脆性鋼の引張諸性質の変化は、一般的にソルバイト鋼の特長と考えられるので、今回は同様の諸性質が結晶粒度によつていかに変化するかについて調べた結果について報告する。

2. 実験方法

試料は市販 SNC 2 鋼で、 $0.35\%C$ 、 $0.30\%Si$ 、 $0.53\%Mn$ 、 $2.63\%Ni$ 、 $0.80\%Cr$ の分析値のものを用いた。試料の焼入温度は $900^\circ C$ 一定とし、最高加熱温度を 900° ないし $1300^\circ C$ に変えて、結晶粒度の異なる焼入試料を得た。焼入試料は $650^\circ C$ に 2 hr 焼戻しし、半数は水冷して靱性試料とし、残りの半数は $40^\circ C/hr$ の冷却速度で常温まで徐冷し脆化試料とした。このような熱処理によつて結晶粒度のみが、平均結晶粒直径として、