

第7会場(性質・工具鋼・耐熱鋼)

669.14-156-157; 620.172.224; 548.4
(149) 焼入焼モドシ鋼における引張荷
重下の転位挙動の観察

(鋼材の疲労に関する研究—Ⅲ)

富士製鉄, 広畑製鉄所

工博○中西昭一・武政明雄・土師利昭

Some Microscopic Observations of Dislocations
in Heat-Treated Steels Under Tension.

(A study of fatigue properties in steels—Ⅲ)

Dr. Syōichi NAKANISHI, Akio TAKEMASA
and Toshiaki HAZE.

1. 緒 言

高張力鋼では疲労強度が弱点であると一般に言われている。この鋼材の疲労強度を上昇せしめるためには根本的な疲労機構の解明が必要であると考えられる。そこで筆者等は電子顕微鏡を使つて、転位論的に疲労機構に関する研究に着手した。

先ず単純な荷重を加えた場合と繰返荷重を加えた場合の転位挙動を観察し、繰返荷重による転位挙動の特色を知ることが重要である。すでに筆者等は前報¹⁾²⁾において、焼なました低炭素鋼についての実験結果を報告した。この鋼では母材の転位密度が非常に低く、組織も単純であつた。しかし焼入焼モドシなどの熱処理を行なつた鋼では母材自体の転位密度も高く、組織も複雑なため、前報で得られた結果をそのまま適用して良いかどうかは疑問である。

本報では、焼入焼モドシを行なつた調質型高張力鋼 FTW 60 を使つて、繰返荷重が加わる疲労の場合の基礎として、先ず単純引張荷重を加えた場合の転位挙動の観察を行ない、焼なました低炭素鋼との比較検討および降伏現象について考察を行なつた。なおこの鋼の焼入または焼モドシによる組織変化および転位挙動を少し詳細に調べたので、あわせて報告する。

2. 試料および実験方法

本実験に使用した鋼は調質型高張力鋼 FTW 60 で、実験室において熱処理を行なつて試料とした。試料の化学成分は Table 1 の通りである。

焼入焼モドシによる組織変化および転位挙動の観察用の試料 (A) は、50×50×13 mm の大きさで、900°C 30 min 均熱後水塩水に焼入し、680°C, 660°C, 640°C でそれぞれ 5 min, 30 min, 60 min 焼もどした。荷重を加えた時の転位挙動を観察するための試料 (B) は、200×30×13 mm の大きさで、900°C 30 min 均熱後水焼入し、660°C で 30 min 焼もどした。これらの熱処理はすべて試料個々に熱電対を溶接し、この熱電対の指示温度にしたがつて温度管理を行なつた。

この熱処理で得られた試料 (B) の機械的性質および代表的な荷重-伸び曲線は Fig. 1 の通りである。

試料 (A) は各熱処理条件について光学顕微鏡観察ならびに透過電子顕微鏡観察を行なつた。参考のためピッ

カースカタサの測定も行なつた。試料 (B) は平行部 60×15 mm, 厚サ 4.5 mm の試験片に加工し、種々の荷重を加えた後、平行部について透過電子顕微鏡観察を行なつた。

透過電子顕微鏡試料の作成および観察は前報¹⁾で述べたと同じ方法である。

3. 実験結果および考察

3.1 焼入焼モドシの組織変化および転位挙動

まず光学顕微鏡観察を行なつた。これによると焼入までは、ほとんどがマルテンサイト組織であるが、所々に初析フェライトの大きな結晶粒が存在する。この組織の試料を焼もどすと、焼入時のマルテンサイト針状晶が複雑な形状の棒状の結晶となる。この大きさは高温または長時間になるほど大きく、数は少なくなる。各熱処理条件についてのピッカースカタサは、焼モドシ温度が高く時間が長くなるほど低く測定されている。このカタサ低下の傾向は結晶が粗粒になるほど著しいことになる。

焼入時に観察された初析フェライトは焼モドシ過程での成長はみられない。高温または長時間側で観察される大きな結晶粒内には、焼入時のマルテンサイトの境界ががすかではあるが観察された。また焼もどされたもの

Table 1. Chemical contents of samples (%).

C	Si	Mn	P	S	V	Gr
0.17	0.26	1.15	0.012	0.005	0.08	0.04

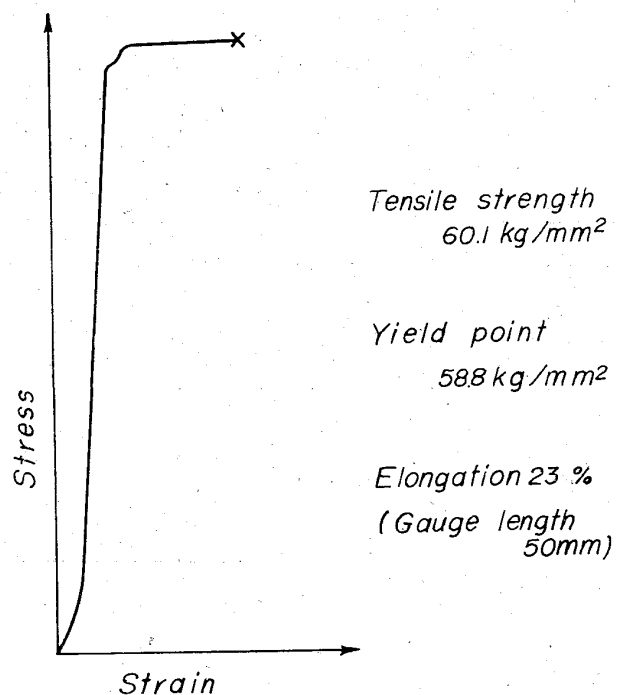
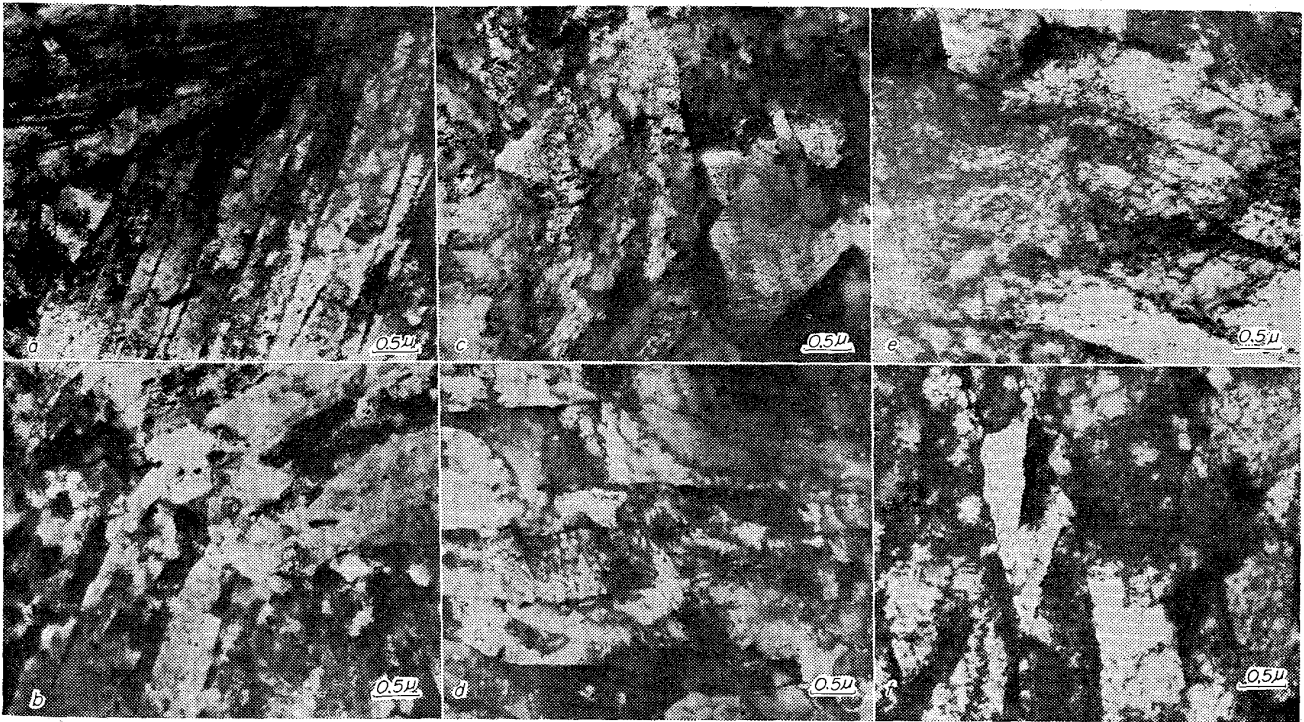


Fig. 1. Mechanical properties and a typical stress-strain curve of the sample (B).



a: quenched at 900°C
 b: quenched at 900°C and tempered at 680°C for 5 min.
 c: deformed in tension (stress 20·1kg/mm²)
 d: deformed in tension (stress 50·2kg/mm²)
 e: deformed in tension (stress 59·3kg/mm², strain 2%)
 f: deformed in tension (stress 59·7kg/mm², strain 13%)

Photo. 1. Electromicrographs of heat treated steels.

で、オーステナイト結晶粒界であつたものらしい線が観察されている。もちろん棒状晶は同じオーステナイト粒内では同じ方向をもっている。

次に透過電子顕微鏡観察を行なった。写真を Photo. 1 の(a)(b)に示す。この試料で発生するマルテンサイト針状晶は大部分 $0.3\mu \sim 1\mu$ 巾で、一般に数 μ 以上の長さを持つて平行に延びた形をしている。しかし一部にはマルテンサイト針状晶が明確に現われない場所もある。針状晶と針状晶の境界は太い線で観察される。高倍率では境界に多くの転位が集まっていることがわかつた。

焼もどすと、Photo. 1 の(b)に示されるように、焼入時のマルテンサイト針状晶の面影を残すが、形状は(a)に示される針状晶とは異なつている。電子線回析によると明らかにフェライトであると断定されるものと、不明確なものがあつた。棒状晶内の転位密度および境界の転位密度は焼入時と比較して減少している。これは焼もどし中に消失したものと考えられる。

棒状晶の境界が一本の明確な線に見える部分がある。これは KELLEY や NUTTING³⁾ の指摘した鉄の炭化物であると考えられる。また他の部分では、焼入時にはマルテンサイトの境界だつた場所に、球状の析出物が観察された。これはおそらく一本の明確な線で観察された析出物が球状化したものであると考えられる。筆者等は電子線回析によつて確認を行なつていないが、エキストラクションレプリカ法により、それと同じような球状の析出物が Fe, Cr, V の炭化物であることを確認している。オーステナイト粒界であつた場所にも多くの球状析出物

が存在する。この析出物は大きいので、電解中にほとんど落ちてしまい、丸い穴だけが残つて観察されるが、上に述べた析出物と同じものであると推定せられる。焼入時のマルテンサイト境界に存在する球状析出物の間は、転位線によつて繋がつている場合が多い。

焼モドシ温度が変つても、ほとんど差は観察されず、焼モドシ時間が長くなれば上述の焼モドシの特徴が一層顕著になるだけである。

カタサ変化を説明するような微視的な特徴は観察されない。おそらくカタサ変化は巨視的な組織変化によるものであると考えられる。

3.2 引張荷重を加えた場合の転位挙動

試料(B)は試料(A)とは焼入条件が少し異なるために初析フェライトの析出が(A)より多いけれど、転位の数とか分布状況は(A)と大差がない。初析フェライト中には転位密度が非常に少ないものも観察された。だから相対的な転位密度を問題にすることは、場所により転位密度が異なるため困難である。棒状晶中の転位も初析フェライト中の転位も単独なループは観察されず、転位は network を組むか tangle しているし、しかも転位はよく屈曲している。

荷重を加えた場合の写真を Photo. 1 の(c)~(f)に示す。降伏点以下の荷重を加えた場合、かなり低い荷重から転位の発生が観察される。これは Photo. 1 の(c)に見られるように、初析フェライト中におのおのが平行な転位ループ群が観察される。このような転位模様は無歪の場合には観察されなかつたし、前報に述べたように

低炭素鋼に引張荷重を与えた場合に観察されている。このような転位密度の少ない初析フェライト中では、前報に述べた低炭素鋼の場合とその挙動はまったく同一視しても良いと考える。棒状晶内では転位の増殖は顕著でないが、境界に片方が密着して、境界線にほぼ直角な方向に並んだ転位線がよく観察される。この転位模様は、棒状晶境界を転位の発生源と考えると、発生した転位が低い荷重では少し移動して、そのまま境界に止められたものと考えられる。また無歪の場合には境界に直角でなかった転位が直角に配列し直したとも考えられる。2個の球状析出物に両端を個定された彎曲する転位ループも観察された。これはF.R.源のような転位の発生源になるだろうと考えられる。荷重が降伏点近くになると、棒状晶内部にもsubboundaryが形成されてくる。

荷重が見かけの降伏点を過ぎると、個々の転位は短くなりcell structureの形成が見られる。この傾向は初析フェライト中の方が著しい。また棒状晶境界に非常に多くの転位がpinningされているのが観察された。転位密度は一般に高くなっている。低炭素鋼の場合は降伏点以前と以後との区別は顕著であつたが、この試料では、特に棒状晶内での元の転位密度が高かつたので、その差は顕著でない。一般に焼入焼モドシ鋼では、降伏現象における降伏点伸びは少ししか現れないが、この降伏現象は初析フェライトによるものであると考えられる。

永久歪の量が多くなるにしたがつて、転位密度の高い部分が多くなり、cell structureのない部分にtangleした転位が存在し、転位群を形成するようになる。しかし極端に転位密度は増加しない。加工硬化は転位密度が高くなることによつて起ると考えれば、この試料では加工硬化が少ないことを示しているFig. 1の荷重-伸び曲線の傾向と一致する。

4. 結 言

以上のことをまとめてみると、焼入時のマルテンサイト針状晶内での転位密度が高く、境界付近に多数の転位がpinningされている。焼もどすと、それらの転位は減少し、networkを組むか、tangleした転位のみが残る。マルテンサイト境界およびオーステナイト粒界に存在する析出物は球状化する。

荷重を加えると、かなり低い荷重より転位は増殖し、荷重が増すにしたがつてその量は多い。見かけの降伏点を過ぎると、転位自体は短くなり、cell structureやtangleした転位群の形成が観察される。この傾向は初析フェライト中では顕著であつた。また棒状晶境界付近に多数の転位がpinningされているのが観察された。焼入焼モドシ鋼中の初析フェライトがこの種の鋼の特性におよぼす影響は著しいと考えられる。初析フェライトの影響はもつと研究する必要があるが、この試料で起つている降伏現象は初析フェライトによるものであると考えられる。

文 献

- 1) 中西, 武政, 土師: 鉄と鋼, 51(1965) 5, p. 940
- 2) 中西, 武政, 土師: 鉄と鋼, 51(1965) 5, p. 942
- 3) KELLY & NUTTING: Proc. Roy. Soc. of London 259 (1960), p. 45

(150) リムド鋼におよぼす合金元素の影響について

日新製鋼, 呉製鉄所

角谷卓爾・丸橋茂昭・森田有彦

Effect of Alloying Elements on the Rimmed Steel.

Takuji KAKUTANI, Shigeaki MARUHASHI and Arihiko MORITA.

1. 緒 言

鋼材の機械的性質・加工性・金属組織におよぼす合金元素の影響については、すでに古くから多くの研究者の報告があり、合金元素が効果を生じる機構についても、最近はかなり深い考察が加えられるようになってきている。

しかしながら従来研究の対象となつた諸性質は、主として鋼の静的な挙動についてのものであり、動的な挙動(たとえば疲労特性)について合金元素の影響を調査した例は少なく、E. EPREMIAN and E. F. NIPPES¹⁾の報告のほか、特にまとまつたものは見あたらない。

そこで今回、リムド鋼に若干の非脱酸性合金元素を少量ずつ単味添加して、リムド鋼の機械的性質・疲労限への影響を調査したので報告する。

2. 実験方法

2.1 試料の調整

リムド鋼に添加すべき合金元素は非脱酸性であるとともに実用的でなければならぬ。そこでTable 1に示す5元素(P, Mo, W, Cu, Nb)を2~3添加水準でリムド軟鋼に添加して供試材とした。

鋼塊(20kg)の溶製は、30kg塩基性高周波炉で極軟鋼片を素材とし、合金鉄として合金元素を添加して行なつたが、鋼塊単重の小さいためか断面性状は実際の正常な大型リムド鋼塊とは異なつた。Table 1の化学成分を有する14本の鋼塊は熱間鍛造によつて、25mmφの丸棒とした後、930°C×1hr→空冷の熱処理を行なつた上で、各試験に供した。

2.2 試験方法

供試材の機械的性質の測定はJIS 4号試験片によつて、引張強サ・降伏点・全伸び・絞りを測定したほか、参考のためJISにしたがつて金属組織の測定を行なつた。疲労特性の調査は4kg-mシエンク型疲労試験機によつて両振り形式で試験を行ない、S-N曲線を作成して疲労限を求めた。

3. 実験結果および検討

3.1 機械的性質

Table 1にみるように機械的性質に影響の大きいC, Mnにかなりのばらつきが認められたので、これを鈴木・木原²⁾の炭炭当量の式を用いて補正し、合金元素の影響が明らかとなるようにした。

たとえば、引張強サについては、

$$C_{eq}(\text{引張強サ}) = C + (1/5)Mn + (1/7)Si + (1/7) \times Cu + (1/20)Ni + (1/9)Cr + (1/2)V$$

を合金元素の含有していないRとKに適用し、合金元素添加量との間に直線関係を仮定した。この直線よりの各鋼種の点のかたよりの大きさは、上式に考慮されてい