

Fig. 1. Relation between endurance ratio σ_w/σ_y and yield point σ_y .

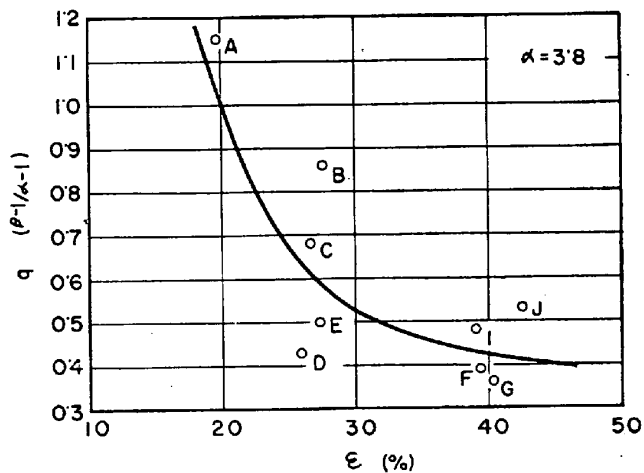


Fig. 2. Relation between notch sensitivity factor q and elongation ϵ at $\alpha=3.8$.

増加とともに q も大きくなるとしているが、本実験では J 材から D 材までは q の変化が少なく C 材から A 材になると q が大きくなっていく傾向がある。また、各鋼種で σ_w' が σ_w'/α なる曲線からはずれるところの α の値は D 材から J 材までは約 2.3 であり、C 材から A 材になると α は 3 から 3.8 へとなり σ_B が増加すると α の大きな値のところへと移っていく傾向がある。結局、 σ_B が 70 kg/mm² くらいまでは疲労における切欠き感受性の変化は少なく、 σ_B が 70 kg/mm² 以上になると切欠き感受性は σ_B の増加とともに敏感になっていく傾向があり、HEMPEL ら⁶⁾ の結果と良く似ている。

Fig. 2 は α が 3.8 のときの q と伸びの関係を示しており、実験点はかなりばらついているが伸びの大きい方が小さいものより q が小さくなる傾向がある。 q と 0°C におけるシャルピー値とはなんらの関連もなかつた。実験点が十分でないため明確ではないが σ_B が 70 kg/mm² 以下で Ni を含有する鋼は q が若干小さくなるようであり、他の結果⁷⁾ と似ている。

B 材は Ni を多量に含有しながら q が大きいのはこの鋼だけ他の鋼と異なつた特殊な組織であり、 σ_B も 80 kg/mm² と高いためと思われる。 α が 5.3 の場合は加工の影響が大きく入つてきており q のばらつきが大きいため

比較は困難であつた。

5. 結 言

引張強さの異なる溶接性高張力鋼について、同一条件のもとで平滑および切欠き回転曲げ疲労試験を行ないつぎのような結論を得た。

1) σ_B が 80 kg/mm² 程度までの Ni を多量に含有しない軟鋼や溶接性高張力鋼の σ_w は σ_B あるいは σ_y の増加とともに増加し、平行部直径が 8 mm のときは σ_w/σ_B は 0.5 であるが σ_w/σ_y は σ_y が増加すると減少する。

2) Ni は σ_w/σ_B あるいは σ_w/σ_y を増加させる。

3) σ_B が 100 kg/mm² 以上になると σ_w/σ_B は減少する。

4) σ_B が 70 kg/mm² 以下では α が大体 2.3 まで $\beta=\alpha$ であるが σ_B が 70 kg/mm² 以上になると σ_B の増加とともに $\beta=\alpha$ の範囲は α の大きな値のほうへ移動する。

5) 疲労における切欠き感受性は σ_B が 70 kg/mm² まではあまり変化がなく、 σ_B が 70 kg/mm² 以上になると σ_B の増加とともに切欠き感受性は敏感になる。

6) Ni は切欠き感受性を若干低下させる傾向がある。

文 献

- 1) H. NEUBER: Kerbspannungslehre, (1936)
- 2) 西岡: 金属材料の強度と破壊, (1964), p. 392
- 3) P. G. FORREST: Fatigue of metals, (1962), p. 58
- 4) C. SCHAUB: Jernkont. Ann., 145 (1961), p. 88
- 5) P. KUHN and H. F. HARDRATH: NACA. Tech. Note, 2805 (1952)
- 6) A. POMP and M. HEMPEL: Arch. Eisenhüttenw., 21 (1950), p. 53
- 7) M. HEMPEL: Arch. Eisenhüttenw., 12 (1939), p. 433

(238) Ni-Cr-Mo 鋼におけるベイナイトの生成挙動におよぼすマルテンサイトの影響

金属材料技術研究所 ○中島 宏 興
 東京大学, 工学部 工博 荒木 透

Effect of Martensite on the Kinetics of Bainite Formation in a Ni-Cr-Mo Steel.

Hirooki NAKAJIMA and Dr. Toru ARAKI.

1. 結 言

ベイナイト域で段階的な焼入を行なつた場合に、第 2 の温度におけるベイナイト変態の kinetics におよぼす第 1 の温度の影響については多くの研究がなされている^{1)~3)}。

さらに、マルテンサイトのベイナイト変態におよぼす影響については、恒温変態において Ms 以下でベイナイト変態が著しく促進されること¹⁾⁴⁾⁵⁾, Ms 以下でマルテンサイトを生成させた後に高温に上げた場合にベイナイ

ト変態の終了が著しく短縮されること⁶⁾が報告されている。

本研究の目的は、ベイナイト変態の kinetic な挙動におよぼすマルテンサイトの影響を系統的に調べ、さらに詳しい情報をうることである。

2. 実験試料および方法

高周波炉で大気溶解した 20 kg の鋼塊を鍛造および圧延によつて 10 mm φ の丸棒にし供試材とした。試料の化学組成を Table 1 に示す。

変態挙動の測定にはおもに熱膨張測定を用いたが、必要な場合には顕微鏡組織観察を行なつた。熱膨張計用試験片の寸法は 2 mm φ × 30 mm l である。オーステナイト化は塩浴中で 850°C に保持した。そして (1) 直接の恒温変態、(2) 一旦低温に保持した後に高温に上げて行なう昇温の恒温変態、の測定を行なつた。(2) にお

Table 1. Chemical composition of sample. (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
0.59	0.29	0.87	0.016	0.008	1.71	0.92	0.47	0.13

Table 2. Holding treatment and transformation product at lower temperatures followed by isothermal transformation at higher temperatures.

Temp. (°C)	Time (sec)	Transformation product and its amount (%)
140	300	martensite 60
190	300	"/ 25
240	300	bainite 0*
240	3500	"/ 15

* Holding for a time less than the incubation period

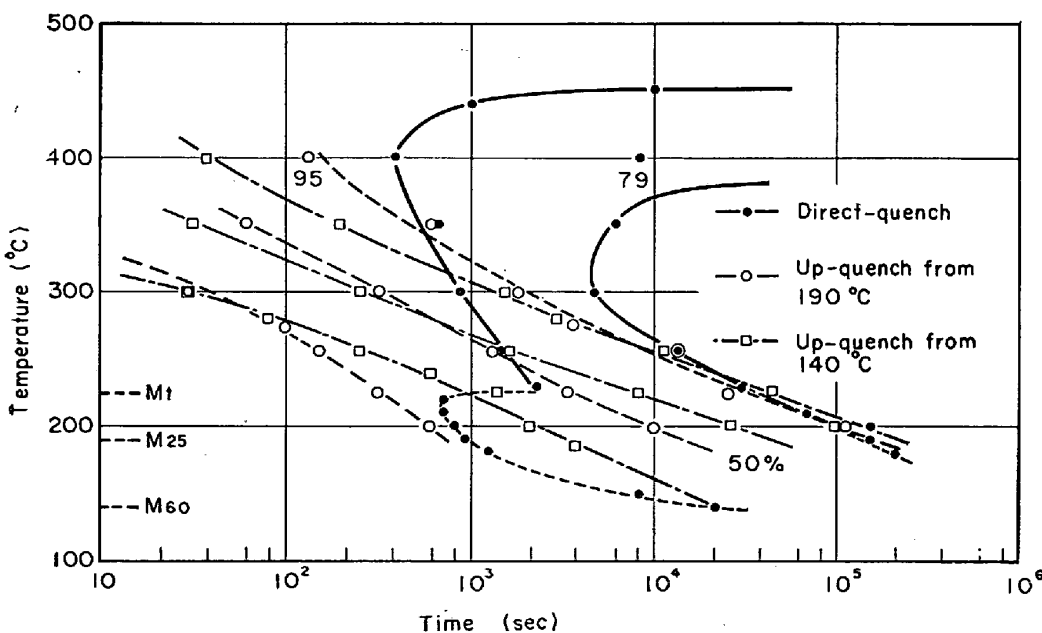


Fig. 1. Isothermal transformation curves obtained by direct-quenching and by up-quenching.

る低温の保持処理およびその際に生成する変態生成物の種類と量を Table 2 に示す。

3. 結 果

3.1 直接の恒温変態

直接の恒温変態におけるベイナイトの変態曲線を Fig. 1 に・印で示す。開始および終了曲線はそれぞれベイナイト生成量の 1% および 99% で表わしてある。

ベイナイト変態の起こる最高温度(Bs)は 460°C である。そして変態温度の低下とともにベイナイト生成量は増加し、380°C 以下ではオーステナイトは完全にベイナイトに分解する(Bf)。マルテンサイトが顕微鏡組織観察において認められる最高温度(仮に Mt とよぶ)は 225°C である。そしてこの温度以下ではベイナイト変態の開始は著しく短時間側に移行する。しかしその終了はほとんど移行せず、Mt 以上の終了曲線のほぼ延長上にある。また、変態温度が低下すると促進効果は次第に消えていく。

3.2 マルテンサイト域における保持処理後の昇温の恒温変態

Ms 以下でマルテンサイトを 25% および 60% 生成させた後に高温に上げた場合のベイナイト変態曲線を Fig. 1 に、それぞれ○印および□印で示す。一般的に、ベイナイト変態はマルテンサイトによつて促進され、しかも変態温度の上昇とともにその効果は増大する。

マルテンサイト量の影響についてみると、変態温度が高い範囲(約 300°C 以上)では、マルテンサイト量の多いほうがベイナイト変態への促進効果が大きい。この結果は、316~482°C でマルテンサイト量の増加とともにベイナイト変態の終了が早くなるという ELMENDORF の報告⁶⁾と一致している。しかし、変態温度が低くなると(約 300°C 以下)、マルテンサイト量の増加はベイナイト変態への促進効果をかえて減少させることを示している。

Bs および Bf 温度はマルテンサイトの存在によつて上昇することを示す結果がえられた。たとえば、25%マルテンサイト試料では 470°C (直接の恒温変態の Bs は 460°C) において 20% のベイナイトが生成した。

3.3 ベイナイト域における保持処理後の昇温の恒温変態

ベイナイト域における低温保持の影響を調べるために、240°C で伏培期間以内の時間および 15% のベイナイトが生成する時間保持した後に昇温の恒温変態を行なつた。前者ではある伏培期間の後にベイナイト変態が開始したが、その伏培期間

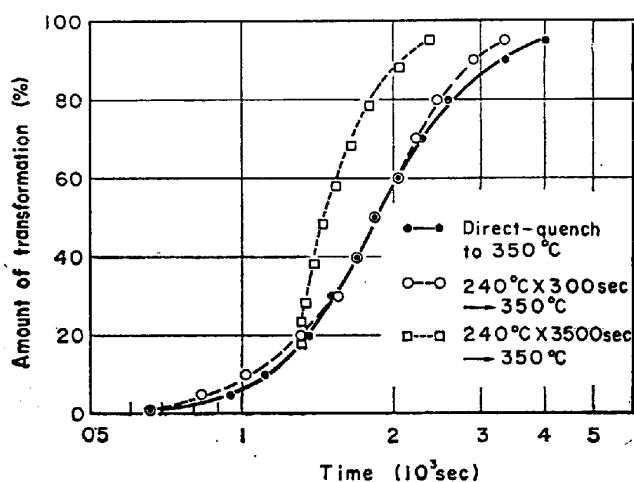


Fig. 2. Effect of holding treatment in bainite range on bainite reaction at higher temperature.



a) 255°C × 300 sec
b) 210°C × 300 sec → 255°C × 600 sec
c) 190°C × 300 sec → 450°C × 40 sec

Photo. 1. Microstructures obtained by direct-quenching and by up-quenching. ×5,000 (4/5)

は直接の恒温変態の場合よりも短かった。後者ではベイナイト変態は継続して進行した。

これらの変態の kinetic な挙動を比較するためには、同一の時間データを採用する必要がある。そこで昇温の恒温変態で昇温した後に変態の開始する点を、直接の恒温変態の反応曲線上の相当する変態量の点と重ねてプロットした。Fig. 2 に 350°C における反応曲線を示す。低温における伏培期間以内の保持は、高温におけるベイナイト変態の経過には影響をおよぼさない。しかし、低温の保持でベイナイトが生成した場合には、高温におけるベイナイト変態は促進される。そしてこの促進は両者の温度差が大きいほど大きかった。また、マルテンサイトの場合と同様に Bs および Bf は上昇した。

3.4 顕微鏡組織観察

マルテンサイトの存在によつて、ベイナイトの生成形態にはいろいろな変化が観察された。Photo. 1(a) は直接の恒温変態において 255°C で生成したベイナイト、(b) は 210°C でマルテンサイトを生成させた後に 255°C で生成したベイナイトを示す。後者のベイナイトは非常に微細であることがわかる。このようなマルテンサイトによるベイナイトの微細化の傾向は、変態温度が低いほど著しい。また、両者のベイナイト生成量が同一になるような変態時間を選んだので、後者ではベイナイト結晶粒の数が多くなることになる。

ベイナイトはマルテンサイトに接して、あるいはそのすぐ近傍において優先的に生成することが観察された。そしてこの傾向は変態温度が高いほど著しい。Photo. 1(c) に 450°C においてマルテンサイトの周囲に優先的に生成したベイナイトを示す。なお、これらの現象は、先行生成物がベイナイトの場合にも同様に観察された。

4. 考 察

ベイナイトの生成機構については多くの提案がなされているが、炭素の再分布によつて生じたオーステナイト中の低炭素領域が、過飽和フェライトとしてマルテンサイト的に変態することによつて生成するという考え⁷⁾は広く受け入れられている。そしてベイナイト/オーステナイト境界から拡散によつて炭素が除去されることによつてベイナイトは成長を続ける。この際、炭化物の析出によつて過飽和フェライトの過飽和度が緩和されれば、ベイナイトの生成はさらに容易になる。

このようなベイナイトの生成機構を考えに入れれば、マルテンサイトによるベイナイト変態促進のおもな原因は、マルテンサイトの生成によつて周囲のオーステナイト中に導入された多数の転位などの格子欠陥がベイナイトの核生成の site を提供することにあると考えられる。すなわち、拡散によつて集った炭素がこれらの転位に固着されることによつて、オーステナイト中に低炭素の部位が生成しベイナイトの核生成を促進すると考えられる。

ベイナイトがマルテンサイトの近傍に優先的に生成すること、マルテンサイトの存在によつて微細で多数のベイナイト結晶粒が生成することなどの顕微鏡組織観察はこの考えを支持しているように思われる。また、オーステナイトの安定化が現われる高温ベイナイト域において、ベイナイト生成量が増加し Bs および Bf が上昇す

ることは、マルテンサイトの生成によつてベイナイトの核生成の site が増加したためと考えられる。

オーステナイトに応力を加えた場合にも、マルテンサイト生成の場合と同様な効果が期待される。実際、BHATTACHARYYA, KEHL⁹⁾ は Ni-Cr-Mo 鋼で応力を加えることによつてベイナイト変態が促進され、しかもその応力がオーステナイトの降伏応力を越えるとその効果は急激に増加することを報告している。また、低温のベイナイトによつて高温のベイナイト変態が促進されるという結果も同様な原因に帰せられるであろう。

比較的低温ではマルテンサイト量の多い方がかえつて促進効果が減少するのは、つぎのように考えられる。生成マルテンサイト量が増加すれば、オーステナイト中に導入される転位密度も増加し、より多くの核生成 site が提供される。しかし、ベイナイトの成長には炭素の拡散のほかに、過飽和フェライトの過飽和度の減少によるオーステナイト中の応力の除去が大きな役割を果たすと考えられるので、マルテンサイト量の増加につれてベイナイトの成長を抑制する力も大きくなる。このようにマルテンサイトの生成によつて、ベイナイト変態を促進する効果と遅滞させる効果とが現われ、マルテンサイト量の増加とともに後者の抑制効果の方が大きくなると考えられる。このような抑制力はマルテンサイトの過飽和度の緩和によつて減少するので、変態温度が低いほど大きい。そこで比較的低温では、マルテンサイト量の多い方がかえつて促進効果が小さくなる。Ms 直下ではベイナイト変態が著しく促進されるけれども、Ms よりかなり低温になつてマルテンサイト量が多くなると促進効果が次第に消えていくという結果もこのためと考えられる。

変態温度が高くなるほどマルテンサイトの過飽和度の低下が進行し、ベイナイト成長の抑制力は減少する。また、転位の易動度が増加すればこの効果はさらに助長されるであろう。このようになれば、より多くのベイナイトの核生成 site を提供する高マルテンサイト量の場合が、変態は早く進行するようになると考えられる。

5. 結 言

Ni-Cr-Mo 鋼におけるベイナイト変態の kinetic な挙動におよぼすマルテンサイトの影響を調べた。

低温保持によつて生成したマルテンサイトは、ベイナイト変態を促進する。そして、比較的変態温度が高い場合にはマルテンサイト量の増加によつて促進効果が増大するが、変態温度が低い場合には促進効果はかえつて減少する。

オーステナイトの安定化の現われる高温のベイナイト域においては、マルテンサイトの存在によつてベイナイト生成量が著しく増加し、Bs および Bf 温度が上昇する。

低温のベイナイトもマルテンサイトと同様な効果を示し、高温のベイナイト変態を促進する。

これらの結果は、マルテンサイトの生成によつて、ベイナイト変態における核生成の促進および成長の抑制力の増加という相反する効果が生じるという考えによつて説明できる。

文 献

1) R. F. HEHEMANN and A. R. TROIANO: Trans.

Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 200 (1954), p. 1272

2) P. T. MOORE: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 177 (1954), p. 305

3) J. S. WHITE and W. S. OWEN: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 197 (1961), p. 241

4) R. T. HOWARD and M. COHEN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 176 (1948), p. 384

5) 中島, 荒木: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 2130

6) H. J. ELMENDORF: Trans. Amer. Soc. Metals, 33 (1944), p. 236

7) T. KO and S. A. COTTRELL: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 172 (1952), p. 307

8) R. I. ENTIN: Decomposition of austenite by diffusional processes, (1962), p. 295

9) S. BHATTACHARYYA and G. L. KEHL: Trans. Amer. Soc. Metals, 47 (1955), p. 351

(251) 高炭素鋼の恒温変態生成物の磁気的性質および電気抵抗について

岩手大学, 工学部

○中 沢 一 雄

Magnetic Properties and Electrical Resistivity of High Carbon Steel Isothermally Transformed.

Kazuo NAKAZAWA.

1. 緒 言

S 曲線で表現されている鋼の恒温変態の経過については、変態温度によりパーライト変態とベーナイト変態に大別されるが、さらに各段階においてもその伏培期および変態速度が異なり変態生成物の諸性質も異なってくる。このことは基本的には炭化物の析出分散状態が異なるためであるが、たんにこれのみによるものでもない。パテンチング処理をしたものが熱圧状態のものにくらべて抗張力が1.3倍ぐらいになるとともに、絞り率が2倍ぐらいになり、延伸性が向上するということは実用的にも利用されているところである。ところでこれらの状態のものを加工変形した場合に、フェライト相中に現われる加工転位のセル構造が顕著な差異を示すという電顕観察の結果とまたその加工集合組織を示す X 線回折線強度にも明らかな差異があるということなどが報告されている。そしてこれらの差異については、フェライト相中のC固容量の違いによるものとされているが、このことはまた一方において、析出炭化物量の変化を伴うことにもなる。組織成分においてこのような変化があるとするれば、それは構造上の重要因子にもなるし、各温度段階の変態生成物について、それらの変化の傾向をなるべく定量的に知る必要がある。またこのことは形態学的な研究とならんで、変態の機構に関しての一知見を得ることにもなる。

当実験は2種類の高炭素鋼を試料とし、各温度において恒温変態を完了させた試片につき、最大帯磁率(χ_{max}),