

## (討25) 5%Ni-0.5%Mo鋼の焼もどしマルテンサイトとベイナイトの組織と靱性

川崎製鉄 技術研究所

鎌田晃郎 腰塚典明  
船越督己

### 1. 緒言

前報<sup>1)</sup>において微細なオーステナイトから得た焼もどしマルテンサイトとベイナイトの強度と靱性の関係をしらべた結果を報告した。今回はオーステナイト粒を粗大にした場合を加え、オーステナイト粒度とC含有量がこれらの変態生成物の微視組織に与える影響をしらべた。そして衝撃試験で得られた破面の横断面の観察から破面と組織を対応させ、靱性を左右する微視組織的因子としてフェライト有効結晶粒径と炭化物について検討した。

### 2. 実験方法

試料の成分、熱処理はほとんど前報と同じであって、表1に示すようにC含有量を2水準に変えた5%Ni-0.5%Mo鋼を950°C×15min, 1200°C×15minの2種のオーステナイト化条件から焼入れ焼もどし、あるいは恒温変態により焼もどしマルテンサイトとベイナイトを得、組織観察、硬度測定、衝撃試験に供した。各条件におけるオーステナイト粒径とMs点を表2に示す。

表1 供試鋼の化学成分 (Wt%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al
A	0.14	0.50	0.50	0.003	0.012	4.92	0.47	0.038
B	0.28	0.54	0.54	0.003	0.014	4.85	0.45	0.045

表2  $\gamma$  粒径とMs温度

オーステナイト化 鋼種	950°C		1200°C	
	$\gamma$ 粒径	Ms点	$\gamma$ 粒径	Ms点
A	22 $\mu$	365°C	230 $\mu$	380°C
B	15 $\mu$	285°C	140 $\mu$	330°C

### 3. 焼もどしマルテンサイトとベイナイトの強度と靱性

焼もどしマルテンサイトとベイナイトの強度と靱性に対するオーステナイト粒度とC含有量の影響を図1, 2に示す。焼もどしマルテンサイトの強度は焼もどし温度の上昇とともに低下するがオーステナイト粒度の強度に対する影響はみられず1本の曲線にのる。生成温度に対する強度の変化はベイナイトの方が著しい。

焼もどしマルテンサイトの靱性は焼もどし温度の上昇により向上するが、オーステナイト粒度とC量をかえればそれぞれ別の焼もどし温度-vTrs曲線を示す。図2からオーステナイト粒粗大化による脆化はC量の低い方が著しい。一方ベイナイトにおいては焼もどしマルテンサイトの場合とは反対に生成温度の上昇とともに脆化し、オーステナイト粒度の影響はあまりない。またマルテンサイトとくらべ、ベイナイトではC量増加による脆化が大きいことは中島ら<sup>2)</sup>の結果と一致している。

### 4. 焼もどしマルテンサイトの微視組織

マルテンサイト組織を電子顕微鏡観察するといずれの場合も平行なラスからなるパケット・マルテンサイトである。平行なラスの集団をバンドルと呼べばオーステナイト粒の小さい場合に得られるマルテンサイトのバンドルは大体単一方位のパケットか、二つの方位のラスがたがいに密にまじったパケット(混合方位パケット)でしめられることが多い。オーステナイト粒度が大きくなるとバンドルの巾もパケットの巾も大きくなるが、1つのバンドルが2つ以上のパケットからなることが多い。オーステナイト粒度の大きい場合に平行にならな微細なラスの中で比較的太いラスあるいはブロック状のマルテンサイト晶がしばしば見られる。これらは一般に周囲のラスとは方位が異なる。オーステナイト粒の小さい場合もや、様相を異にするがやはりブロック状マルテンサイト晶が見られる。C量の影響はCが高くなるとパケット巾、バンドル巾が小さくなり、したがって1つのオーステナイト粒内の方位構成は複雑になる。ラス巾の微細な場合は電子回折パターンも複雑でスポットのarcingも大きい。オーステ

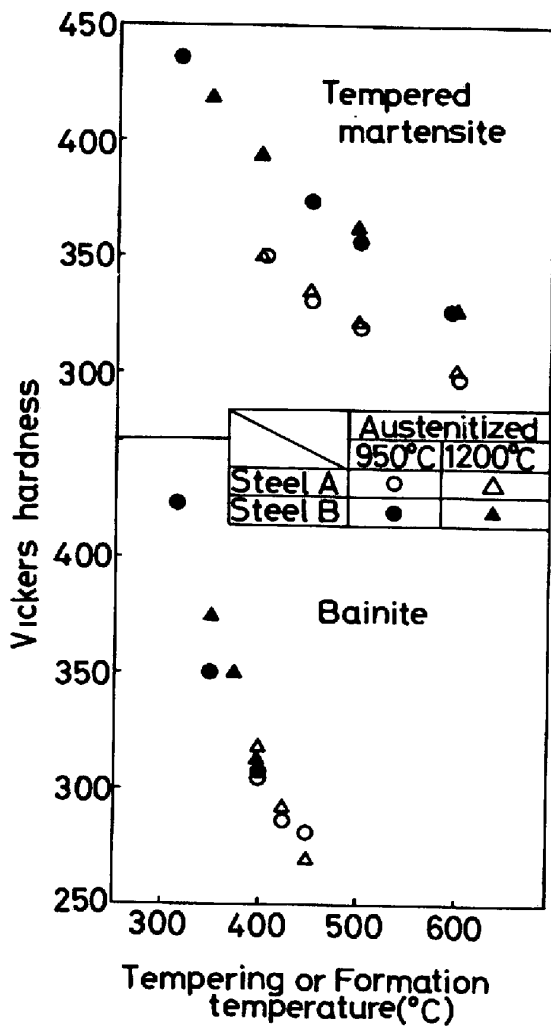


図1 焼もどし温度、生成温度と硬さの関係

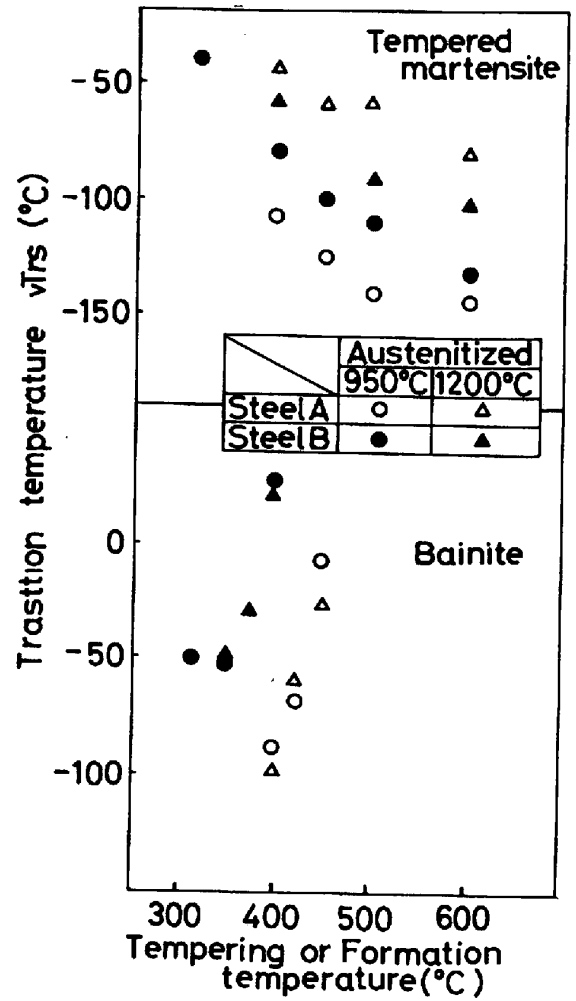


図2 焼もどし温度、生成温度と靱性の関係

ナイト粒が大きくなってラス巾も太くなると回折パターンもシンプルになり arcing も少い。ブロック状マルテンサイトでは arcing のない単一方位のパターンが得られる。

### 5. ベイナイトの微視組織

ベイナイトの微視組織に対するC含有量、オーステナイト粒度の影響はマルテンサイトの場合よりも一層顕著である。オーステナイト粒の小さい場合のベイナイトの成長過程を写真1に示す。0.3% C 鋼の下部ベイナイトはランダムな方向のベイナイト針が各所に核形成してオーステナイト粒を埋めて

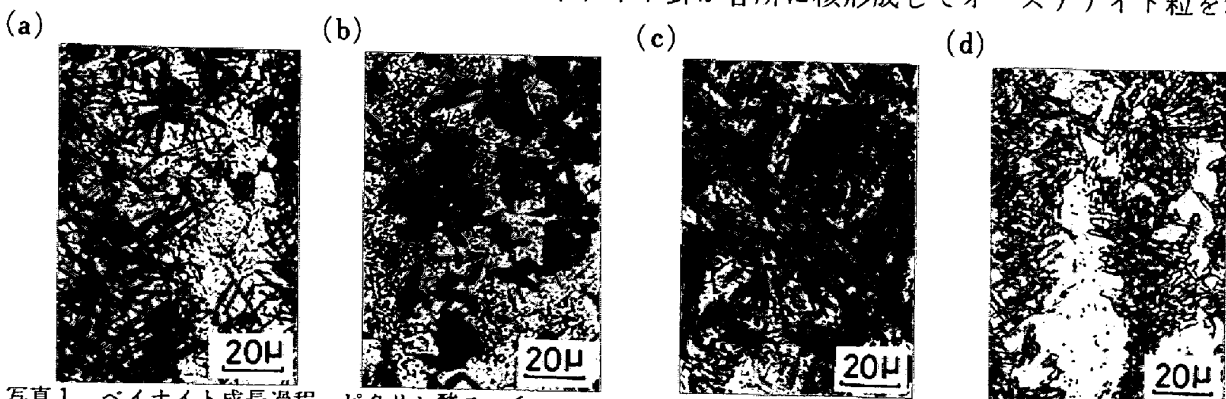


写真1 ベイナイト成長過程 ピクリン酸エッチ

(a) B鋼 315°C (b) B鋼 400°C (c) A鋼 400°C (d) A鋼 450°C 恒温変態

いくが、上部ベイナイトでは塊状のベイナイトが等方的に成長する。これに対して0.15% C鋼では下部および上部ベイナイトの間の相異がこれ程いちじるしくない。下部ベイナイトはベイナイト針がside-by-side に成長するが上部ベイナイトでも同様にside-by-side の成長の形跡が明らかに見られる。

電子回折による方位解析では下部ベイナイトの構成は焼もどしマルテンサイトと同様にバンドルが単一方位パケットか混合方位パケットからなり、これ以外にブロック状ベイナイトが見られる。0.3% C鋼ではバンドルの巾もせまく方位変化も激しいが、0.15% C鋼ではside-by-side の成長に対応してバンドルの巾も広く方位変化も少ない。同じ鋼の上部ベイナイトも太いラスからなる部分が多いが平行なラスは大体同一方位である。0.3% C鋼の上部ベイナイトは塊状でオーステナイト粒に匹敵する大きさである。ベイナイトの電子回折パターンはその生成温度と同じ条件で焼もどしたマルテンサイトのそれに比べてシンプルでarcing も少ない。

オーステナイト粒の大きい場合の下部ベイナイトはラスのバンドルがモザイク状に組合せられて微細な組織を形成している。とくに0.3% C鋼は微細である(写真3)。上部ベイナイトではラスのバンドル

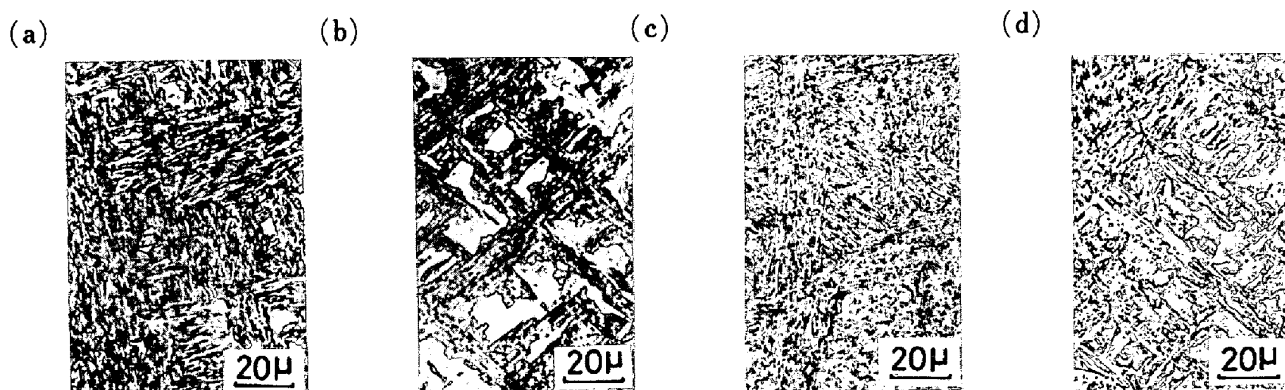


写真2 粗大オーステナイトから得られたベイナイト (a)B鋼 下部ベイナイト (b)B鋼 上部ベイナイト (c)A鋼 下部ベイナイト (d)A鋼 上部ベイナイト (ニイタルエッチ)

が縦横に走りその間にラスのないブロックができる。方位をあたるとラスのバンドルの部分は大体同一の方位であるが、隣接するブロックとは方位が異なる。

ベイナイトの生成温度に対してラス巾を測定すると図3のようになる。下部ベイナイトから上部ベイナイトになるとラス巾は大巾に増加する。下部ベイナイトから上部ベイナイトへ変化する温度は0.3% C鋼ではよく云われているように350°C附近であるが、0.15% C鋼では400°C附近であることが写真1、図3からわかる。また同一鋼種、同一生成条件で比べれば、オーステナイト粒度が大きくなるとマルテンサイトのラス巾は増加するが下部ベイナイトではあまり変化しない。一方ベイナイト中に析出する炭化物は下部ベイナイトから上部ベイナイトへの遷移によりいちじるしく粗大化する。またオーステナイト粒度が大きくなると炭化物は逆に細くなる傾向にある。

6. フラクトグラフィー

このような種々の組織の衝撃試験による脆性破面を走査型電子顕微鏡写真で比較すると破面の大きさは大体組織の大きさに対応する。脆性破面の様相は上部ベイナイトが劈開破壊に近いほかは下部ベイナイトも焼もどしマルテンサイトも擬劈開破壊であるが、オーステナイト粒度が微細な場合はtear の一層多い破面となる。

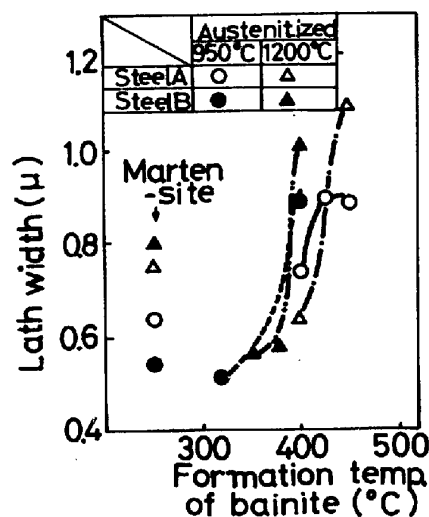


図3 生成温度とラス巾の関係

さらにこれらの破面にNiメッキを施して破面の横断面を作り破面と組織の対応を見ると上部ベイナイトではオーステナイト粒ではなくフェライト粒を単位にファセットができています。これに対して焼もどしマルテンサイトとベイナイトではオーステナイト粒が小さい場合、ファセットの占める面積はかなり少く、ブロック状の部分に優先的に生ずる(写真3 a)。ラスのバンドルのところでは塑性変形をとも

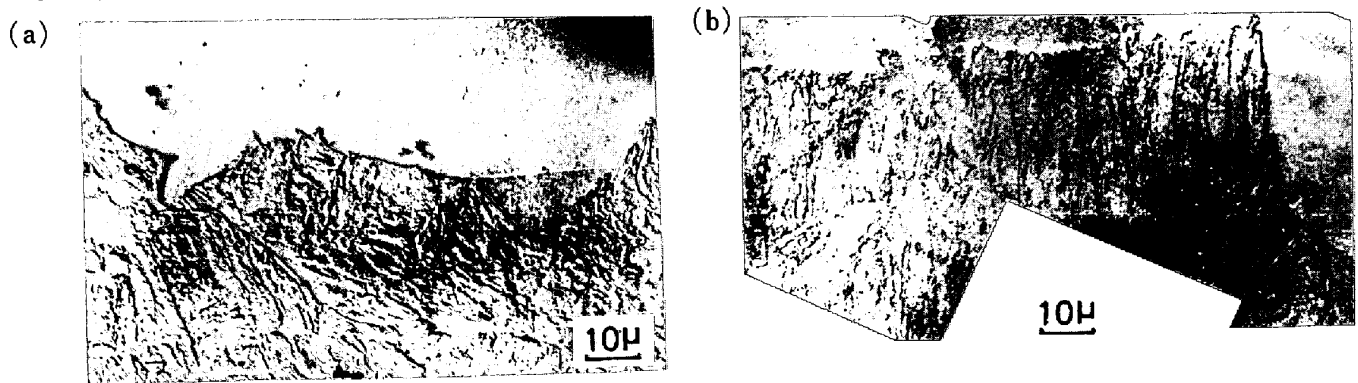


写真3 焼もどしマルテンサイトの破面横断面

(a) オーステナイト粒が微細な場合

(b) オーステナイト粒が粗大な場合

なわずにちぎれてギザギザの破面となるか、または塑性変形により絞れてきれる。オーステナイト粒が大きくなるとラスの部分でもファセットの生ずる割合が多くなる。このような破壊挙動は焼もどしマルテンサイトの中に生ずるファセットが{100}面の劈開による<sup>3)4)</sup>とすればファセットを生じ易いのはブロック状の部分、太いラスの単一方位パケット(粗大オーステナイトから得られる焼もどしマルテンサイト)またはmisorientationの少い単一方位パケット(βベイナイト)の順になると考えられる。このようなことからco-variant packetの大きさを有効結晶粒とする考え<sup>5)</sup>でこれら変態生成物の靱性挙動をある程度説明できる。しかし混合方位のパケットの取扱いなど注意する必要がある。

さて有効結晶粒の考え方からするとマルテンサイトの焼もどしの進行とともに靱性が改善すること、また下部ベイナイトはマルテンサイトと同程度の有効結晶粒をもつと考えられるのに靱性はかならずしも同等でないことなど説明できない。前者は転位密度の減少もあるがcoherentな炭化物が微細に球状化することにより、後者は下部ベイナイト中に析出する炭化物が焼もどしマルテンサイトのそれに比較して棒状でかつ大きいためと考えられる。上部ベイナイトの靱性が大巾に劣化するのも有効結晶粒の増加とともに炭化物の粗大化も大きな原因と考えられる。図2の結果は炭化物の微細なマルテンサイトではC量の増加による脆化はそれほど大きくないが、粗大な片状炭化物を有するベイナイトはC量の増加による脆化がいちじるしいと考えられる。

文献

- 1) 腰塚, 鎌田, 船越: 鉄と鋼, 57 (1971), p. S 7 2 1
- 2) 中島, 荒木, : 鉄と鋼, 58 (1972), p. 1 9 9 3
- 3) 寺崎, 大谷: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 2 0 3
- 4) H. Haga and H. Mimura : Trans. JIM, 13 (1972), p. 1 5 5
- 5) 松田, 井上, 三村, 岡村: 鋼の強靱性, 京都 (1971), p. 4 7 Climax.