

討18 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靱性について

川崎製鉄 技術研究所 腰塚典明 鎌田晃郎
船越哲己

1. 緒言

オーステナイト状態からの変態生成物の強度と靱性については多くの実験結果があり、とくにマルテンサイトとベイナイトが注目されている。¹⁾ 一般に焼もどしマルテンサイトの靱性はベイナイトのそれより優れていると言われてきたが、²⁾ 最近、特定条件下で生成されるベイナイトは焼もどしマルテンサイトより優れた靱性を有することが報告され、^{3),4)} まだ明確な結論は得られていない。

本報では、2種のC含有量(0.14, 0.28%)の5%Ni - 0.5%Mo鋼を用いて、オーステナイト化条件を一定とし、種々の温度の恒温処理で得られたベイナイトと、恒温処理に等しい焼もどしを施したマルテンサイトの強度と靱性を比較し、その関係に及ぼす要因を検討した。

2. 試料および実験方法

表1に示す2種の成分の50kg高周波炉溶製鋼塊を15mm厚の鋼板に鍛造し、 $12^{\circ} \times 55^{\circ} \text{mm}$ (鋼種A)、 $10^{\circ} \times 55^{\circ} \text{mm}$ (鋼種B)に切削加工し試験片とした。

表1 化学成分 (wt%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al
A	0.14	0.24	0.50	0.003	0.012	4.92	0.01	0.47	0.038
B	0.28	0.28	0.54	0.003	0.014	4.85	0.03	0.45	0.045

まず、TTT図を作製した。鋼種AのMs点は 365°C 、Bは 285°C であった。オーステナイト化条件は、Ar雰囲気中で $950^{\circ}\text{C} \times 15\text{min}$ とした。焼入れ焼もどしはオーステナイト化温度から氷水中に焼入れ、Subzero処理後、 $315^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ の種々の温度でソルトバス中で焼もどしを行ない(焼もどし後水冷)、強度のことなる焼もどしマルテンサイトを得た。一方、恒温処理は、オーステナイト化温度から $400 \sim 450^{\circ}\text{C}$ (鋼種A)、 $315^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ (鋼種B)の間の各種の温度に保持したソルトバス中で恒温変態を完了させたのち、水冷した。

熱処理後、7mm角(鋼種A)、10mm角(鋼種B)の2mmVノッチシャルピー試験片に加工し、衝撃値および破面率を求めた。一方の破面は走査型電子顕微鏡により観察し、他方はNiメッキを施し、切断面を研磨腐蝕して光学顕微鏡、電子顕微鏡Vプリカにより観察した。さらに同一処理の試験片について、硬度測定および透過電子顕微鏡観察を行なった。

3. 実験結果および考察

シャルピー衝撃試験の破面遷移温度(vT_{rs})と硬度の関係を図1に示す。焼もどしマルテンサイトでは焼もどし温度が高くなるにつれて、硬度は低下し、 vT_{rs} は低温側に移行する。一方、ベイナイトでは生成温度の上昇とともに、硬度は低下するが、 vT_{rs} は高温側に移行する。この傾向はC含有量が異なっても同様である。しかし、 vT_{rs} の値はC含有量により相違し、とくにベイナイトにおいて著しく、たとえば、 $H_v = 340$ と比較すると、鋼種Aは、 $vT_{rs} = -110^{\circ}\text{C}$ 、鋼種Bは、 $vT_{rs} = 30^{\circ}\text{C}$ である。一方、焼もどしマルテンサイトでは、 $H_v = 360$ と比較すると、鋼種Aは $vT_{rs} = -110^{\circ}\text{C}$ 、鋼種Bは $vT_{rs} = -120^{\circ}\text{C}$ と著しい差がない。また、Ms点近くで生成されるベイナイトは同一硬度の焼もどしマルテンサイトより靱性が優れていることがここでも確認された。^{3),4)} このようにオーステナイト化条件が一定の場合、変態様式の違ひにより、処理温度と vT_{rs} の関係はまったく逆になり、またC含有量の影響も変態様式により著しい差がある。この差を微視的組織と関係づけた

め電子顕微鏡観察を行な、た。本実験では、オーステナイト粒径はC量によらず、10~11μと一定であるため、焼もどしマルテンサイトでは、 Δa セル幅は変化してない。焼もどし温度の上昇とともに、炭化物は低温では大きなWidmanstätten状であるが(写真1a)、高温では細かく分散する(写真1b)。この炭化物の変化と転位密度の減少が、強度の低下とともに伴う靱性の改善に役立つ因子と考えらる。

一方、ベイナイトでは生成温度の上昇とともに、 Δa セル幅の増加、転位密度の減少、片状炭化物の粗大化がおこり、 Δa セル境界に析出するフィルム状の炭化物が増加する。(写真2a、2b) ベイナイトの炭化物の大きさは同一温度で焼もどしたマルテンサイトのそれにくらべ、はるかに大きい。そして、C含有量の多い鋼種Bの炭化物は鋼種Aのそれにくらべ大きく、かつ量も多い。この相違は鋼1のC含有量による vT_{rs} の大きな変化に対応している。焼もどしマルテンサイトではC含有量の増加により炭化物の量は変化しても、その形状、大きさはあまり変わらず、 vT_{rs} の変化も少ない。したがって、片状およびフィルム状に析出するベイナイトの炭化物は靱性の劣化に及ぼす効果はきわめて大きいことが言える。Ms点近くで生成されたベイナイトの靱性が、対応する焼もどしマルテンサイトのそれより優れていることは、後者の炭化物がWidmanstätten状であり、前者のそれはかなり小さく塊状であるためと考えらる。(写真1a、2a)

破面の走査型電子顕微鏡観察

の結果、本実験では、焼もどしマルテンサイトもベイナイトも試験温度の低下とともに、破面は $dimple$ から $quasi-cleavage$ に遷移する。この遷移は急激ではなく、遷移領域の高温側では小さい $dimple$ (写真3a)が浅く大きくなり(写真3b)、平滑な破面が増えて(写真3c)、最

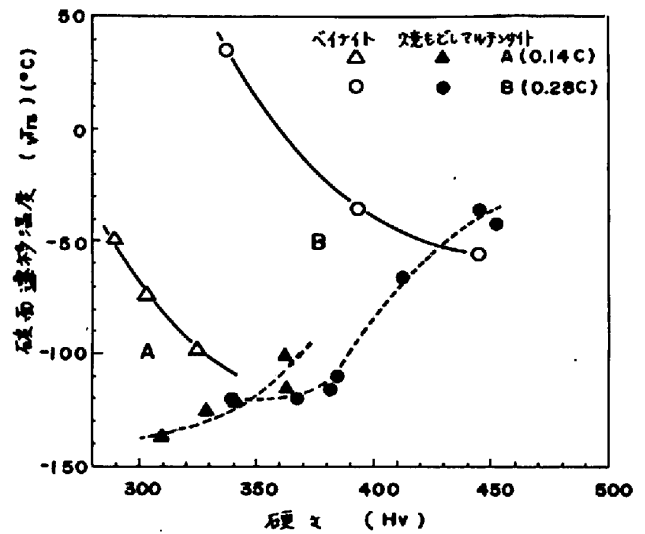


図1 シャルピー衝撃試験の破面遷移温度と硬さの関係



a) 315°C 焼もどし

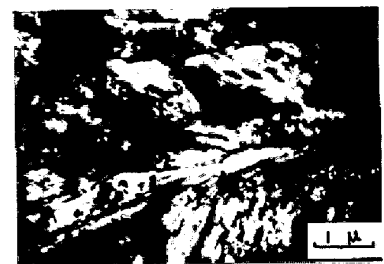


b) 450°C 焼もどし

写真1 焼もどしマルテンサイトの電子顕微鏡組織(鋼種B)



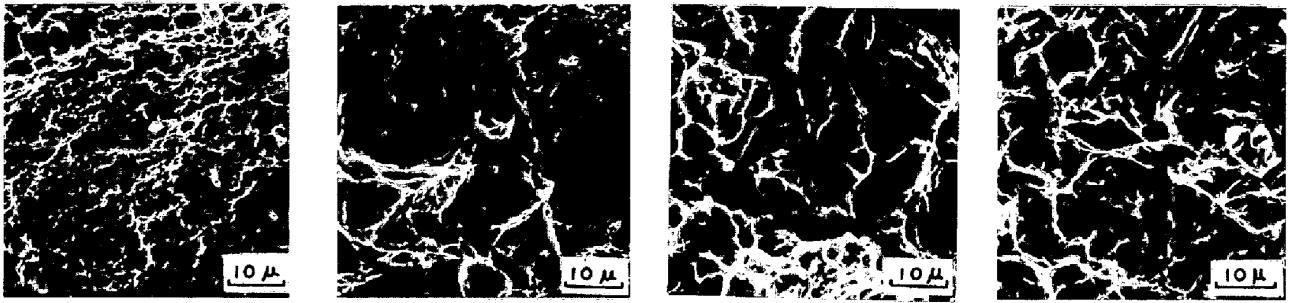
a) 生成温度 315°C



b) 生成温度 400°C

写真2 ベイナイトの電子顕微鏡組織(鋼種B)

最終的に、いわゆる quasi-cleavage (写真3d) と呼ばれる脆性破面になる。



a) 試験温度 0°C b) 試験温度 -25°C c) 試験温度 -50°C d) 試験温度 -146°C
写真3 破面の走査型電子顕微鏡写真 (鋼種 B 350°C ベイナイト)

破面の断面の電子顕微鏡レアリカ観察の結果も、dimple がだんだん浅く大きくなり、100%に近い破面率でも完全な cleavage ではなく、facet の両端でかなりの塑性変形を生じ、tear ridge を形成し (写真4)、quasi-cleavage になることが確認された。焼もどしマルテンサイトでは、-146°C でも、いわゆる脆性破面の中に微視的にみれば、かなりの塑性変形がみられるが、vTrs の高いベイナイトでは脆性破面中の塑性変形は比較的少なく、facet も若干大きい。しかし、焼もどしマルテンサイトとベイナイトの破面の様相に根本的な相違を見出すことはできなかった。このように塑性変形の起る場所およびその量が徐々に減少してくるため、吸収エネルギーが低下すると考えられる。塑性変形の尺度として、光学顕微鏡 (×100) により測定される大きな ridge の数を破面のプロフィールから測定し、吸収エネルギーに対しプロットすると図2になる。両者の関係には、変態様式、恒温変態温度および焼もどし温度が変化しても相違が認められない。

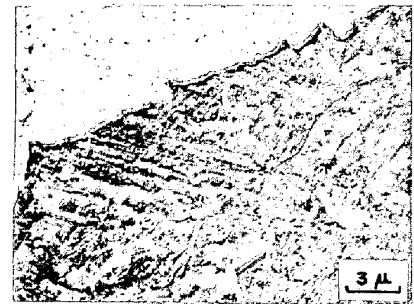


写真4 破面の横断面 (鋼種 B 350°C ベイナイト、-146°C 試験)

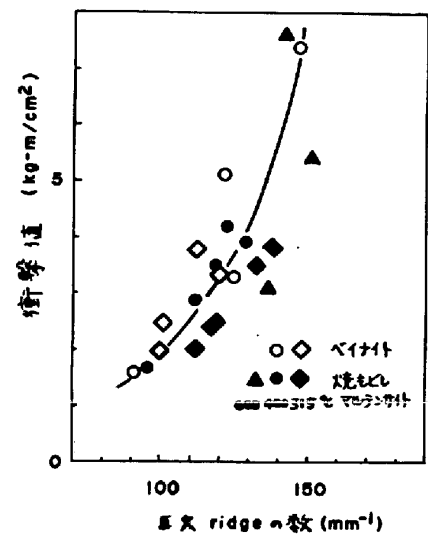


図2 衝撃値と巨大 ridge の数の関係 (鋼種 B)

4. 結論

1) 焼もどしマルテンサイトの遷移温度は硬さの低下とともに低下するが、ベイナイトのそれは逆に上昇する。C含有量の増加による靱性の劣化は、焼もどしマルテンサイトでは少ないが、ベイナイトでは顕著である。

2) 電子顕微鏡観察の結果、このような靱性の挙動は主として炭化物の分布の変化により説明できる。とくに、ベイナイトの片状炭化物や lath 境界に析出したフィルム状炭化物の影響が大きい。

3) 焼もどしマルテンサイトとベイナイトの破面には根本的な相違を見出すことはできなかった。変態様式によらず、

'71-S724

遷移領域では、試験温度の低下とともに小さな dimple がしだいに浅く大きくなり、平滑な破面が増し最終的に quasi-cleavage 破面になる。

4) 光学顕微鏡により測定した破面プロファイルの ridge の数と吸収エネルギーの間には、正の相関があり、変態条件がかわってもこの関係には大きな相違は認められなかった。

参考文献

- 1) 例えば、松田：鉄と鋼，56（'70），p5303.
- 2) 例えば、中島、荒木：鉄と鋼，54（'68），p5522
- 3) 中島、荒木：鉄と鋼，57（'71），p5110.
- 4) 大森，大石，邦武：鉄と鋼，57（'71）p5107.