

新日本製鐵基礎研究所

○松田昭一 岡村義弘

井上 泰

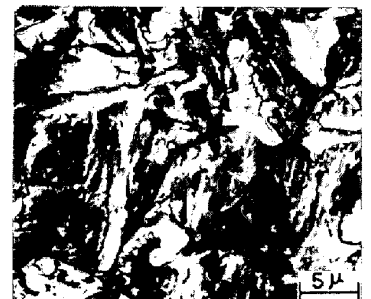
1. 緒言：鋼の靱性を支配するもっとも重要な因子はフェライト粒度である。しかし、調質鋼では組織が複雑なためフェライト粒をうまく定義することができない。当研究室ではすでに典型的な焼もどしマルテンサイトについては、その靱性の評価基準として劈開破面単位で定義した“有効結晶粒”という概念が有効であることを明らかにしている。<sup>1)~3)</sup>本報では、この概念が焼もどしベイナイトの靱性評価に対してもきわめて有効であることを示す。

2. 結果および考察：有効結晶粒の概念について説明する。靱性の判定基準として採用した衝撃破面遷移温度は、粒界または粒内の炭化物から発生したマイクロクラックが生長の過程で一度粒界によって停止され新たにグリッフィスの条件が満たされた時に粒界を突破して最終的な脆性破壊をもたらす温度と解釈するのがもっとも自然である。このように解釈すると、マイクロクラックを停止し得る粒界すなわち最終的な脆性破壊を支配する粒界とは如何なる性質のものであるかが問題になる。ところで、フェライト鋼においては、劈開破面単位の大きさは金属組織学的にはっきりと定義できるフェライト粒径にほぼ一致している。<sup>4)</sup>このことは、脆性破壊に対するもっとも適切な微視組織の単位として大傾角粒界によって囲まれた領域を選ぶのが自然であることを意味している。一方、調質鋼の基本組織である焼もどしマルテンサイト、焼もどしベイナイトにおいては微視組織が非常に複雑でその結晶学的特徴が十分に理解されていないため、フェライト粒を正確に定義することができない。そこで、調質鋼においては劈開破面単位を仮想的にフェライト粒と考え、そえを“有効結晶粒”と定義する。

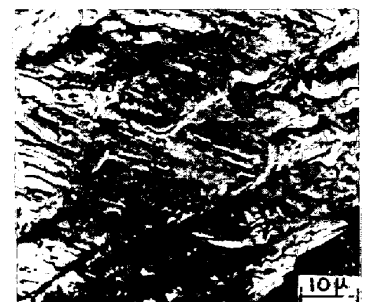
焼もどしベイナイトの靱性の評価基準として有効結晶粒の概念が成り立つかどうかを検討するためには、脆性破壊の様式をはっきりさせることが必要である。写真1 a bはオーステナイト粒径が大きい焼もどし下部ベイナイトの脆性破面である。aは劈開割れでその大きさは同じオーステナイト粒径の焼もどしマルテンサイトに比べて小さいのが特徴である。それに対してbはベイナイトのラス粒界に沿って脆性破壊をした破面である。粒界割れの根拠は、破面の結晶方位が $(100)_\alpha$ ではなく

$(110)_\alpha$ 、 $(111)_\alpha$  またはそれらの中間の方位であること、リバーパターンが観察されないこと、破面の立体観察結果の解析等によって証明される。写真2・3は焼もどし上部ベイナイトの脆性破面と破面の結晶方位をエッチピット法によって調べた結果を示したものである。脆性破面はすべて $(100)_\alpha$  劈開で、劈開破面単位の大きさは同じオーステナイト粒度の焼もどし下部ベイナイトに比べてはるかに大きくむしろ焼もどしマルテンサイトのそれに近い。

焼もどしベイナイトの脆性破壊の様式についての観察結果から明らかなように、下部ベイナイトにはラス粒界に沿った粒界割れが混入している。もし、靱性評価の基準として採用した破面遷移温度に粒界割れが本質的な影響をおよぼすならば、フェライト鋼の破壊との対応という形で議論を展開することはできない。したがって、組織の如何をとわず首尾一貫した概念で脆性破壊をとらえることを求めるならば、劈開破面単位



a 劈開破面



b ベイナイトのラス粒界に沿って割れた破面

写真1 焼もどし下部ベイナイトの脆性破面



写真2 焼もどし上部ベイナイトの脆性破面



写真3 焼もどし上部ベイナイトの脆性破面に現出したエッチピット

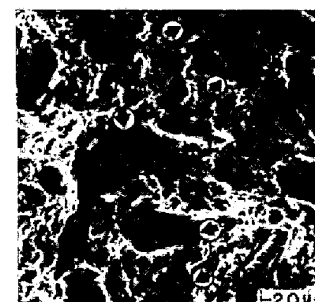


写真4 焼もどし下部ベイナイトの破面に観察される脆性マイクロクラック

表1・供試鋼の化学組成(wt%)

C	Si	Mn	Ni	Mo
0.12	0.2	0.5	3.5	0.4

で定義した有効結晶粒の概念に修正を加える必要があるかもしれない。ところで、最初に述べた破面遷移温度の解釈に基づいて考えると、延性域で観察される脆性マイクロクラックと完全に脆性破壊をした破面との間には因果関係が存在しなければならない。写真4は破面遷移直上の温度で肉眼では100%延性破断したように見える焼もどし下部ベイナイトの破面を走査型電子顕微鏡で観察したものである。大部分の領域は典型的なディンプルパターンを示しているが、ところどころ矢印で示した位置に脆性マイクロクラックが観察される。脆性マイクロクラックをその微視的特徴に注目して観察すると、マイクロクラックはほとんど劈開しており粒界割れはきわめて少ない。また、完全に脆性破壊をした試料について2次クラックを観察すると、その先端付近に点在するマイクロクラックはおおむね劈開している。したがって、これ等のマイクロクラックが最終的な脆性破壊をもたらす芽となると解釈すると、粒界割れは少なくとも破面遷移温度を支配する要因にはなっていないと結論することができ、劈開破面単位で定義した有効結晶粒の概念に修正を加える必要がないことがわかる。

図1は表1に示した化学組成の鋼を使用し、焼もどしマルテンサイトと種々の温度で恒温的に変態させたベイナイトを焼もどした時の靱性を比較したものである。オーステナイト粒径が大きい場合、もっとも均一な下部ベイナイトが得られる350℃までは生成温度が下がるにしたがって靱性は向上し、それ以下の温度では生成温度が下がるにしたがって靱性は低下する。350℃以下では組織的にはマルテンサイトと下部ベイナイトの混合組織である。しかし、オーステナイト粒径が小さくなると組織が靱性におよぼす効果が少なくなる。

図2は焼もどしマルテンサイトおよび焼もどしベイナイトの脆性破面より統計的に有効結晶粒径を求め、その平均の大きさ $\langle d \rangle$ とベイナイトの生成温度との関係を示したものである。図2より明らかなように、オーステナイト粒径が大きい場合には350℃で生成した下部ベイナイトの有効結晶粒径がもっとも小さく、生成温度がそれより高くても低くても有効結晶粒径は大きくなる。それに対してオーステナイト粒径が小さい

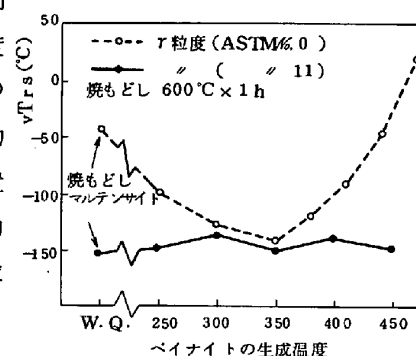


図1 焼もどしベイナイトの  $vTrs$  ベイナイトの生成温度との関係

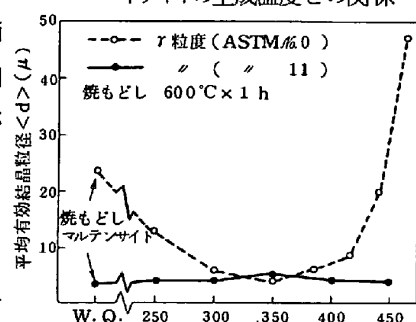


図2 平均有効結晶粒径におよぼすベイナイトの生成温度の影響

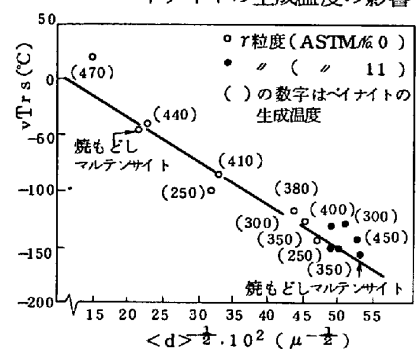


図3 焼もどしベイナイトの  $vTrs$  と  $\langle d \rangle$  との関係

場合には、その大きさは生成温度によってほとんど変化しない。図3は図1・2の関係より各々の組織の $v_{Trs}$ を $\langle d \rangle^{-1}$ に対してプロットしたもので、各々の点は1次関数を表わす1本の直線で表わし得ることがわかる。この関係は、調質鋼の基本組織の1つである焼もどしベイナイトにおいても焼もどしマルテンサイトと同様にその靱性の評価基準として有効結晶粒の概念が有効であること、および有効結晶粒径が同じであれば $v_{Trs}$ は組織に関係なく一義的に定まることを意味している。いかえれば、冶金学的な因子たとえばオーステナイト粒度とが組織の差(マルテンサイトとかベイナイトとかという意味での差)等は有効結晶粒径を変えることによって調質鋼の靱性を支配するといえる。

3. 結 言：調質鋼の基本組織である焼もどしベイナイト、焼もどしマルテンサイトの脆性破壊をフェライト鋼の破壊との対応ということを指導原理として研究を進め、その背景となる有効結晶粒という概念が靱性の評価基準としてきわめて有効であることを明らかにした。また、その概念の有効性を検討する過程で新しい実験事実、たとえば焼もどしマルテンサイト、焼もどし上部ベイナイトの脆性破壊の様式は $\{100\}_\alpha$ 劈開であること、焼もどし下部ベイナイトの脆性破壊の様式には $\{100\}_\alpha$ 劈開以外にベイナイトのラス粒界に沿った粒界割れがあること等を見出した。

#### 参考文献

- 1) S. Matsuda et al : Trans.JIM, 9(1968), 343
- 2) T. Inoue et al : Trans.JIM, 11(1970), 36
- 3) S. Matsuda et al : Trans.JIM, 11(1970), 371
- 4) 寺崎、大谷：鉄と鋼、57(1971), S239