

(討13) 高張力鋼の韌性におよぼす組織とその他の要因について

大阪大学工学部

菊田 米 男
○ 荒 木 孝 雄

1. 緒 言

構造用高張力鋼の多くは焼入れ焼戻し処理により微細な組織を得て、高張力化を計かり、強靱な鋼ではあるが、使用面において、例えば溶接により、溶接不良部では溶接入熱量の増加にともなう、切欠靱性の低下が生じ、脆性破壊の危険性を有し、溶接施工上、難溶不溶質に對する配慮を伴う場合がある。この場合、溶接不良部に近接した部分では最高加熱温度が高く、鋼材の部材直下となり、その組織は溶接熱サイクルの冷却過程における800℃から500℃までの温度範囲の冷却時間に支配されるが、オーステナイトは粗大化し、フェライトはウイドマンステッテン組織を呈する場合、あるいはマルテンサイトとベイナイトとの混合組織を呈する場合もある。したがって、冷却時間に依存する組織形態が靱性に靱性と関連を有するものと考えられる。本稿はかかる意味で80kg/mm²級高張力鋼の恒温変態および連続冷却変態処理により得られた各種変態組織の衝撃性値を調べる、靱性におよぼす組織とそれにおよぼすオーステナイト粒度、フェライトの厚さおよびセメンタイト等の要因について検討を行った。

2. 靱性におよぼすオーステナイト粒度の影響

一般にはオーステナイト粒度を微細化することにより靱性が向上することはいく知られている。本実験においても同様の傾向が得られ、例えばオーステナイト粒度が100μ および350μの場合を図1に示したが、オーステナイト粒度が100μの方が350μの場合に比して靱性は良好である。しかし、遷移温度はいずれのオーステナイト粒度の場合もAc₃変態点から500℃までの冷却時間が30sec以上にて上昇し、冷却時間が違ってくるほど遷移温度は同一とすることが認められた。このように、靱性を支配する要因の一つとして、冷却時間が早い場合にはオーステナイト粒度依存性が挙げられるが、比較的ゆっくりとした冷却時間の場合、その依存性は認めがたい。したがって靱性に対して冷却時間に依存する複雑な組織的要因を考慮すべきと考えられる。

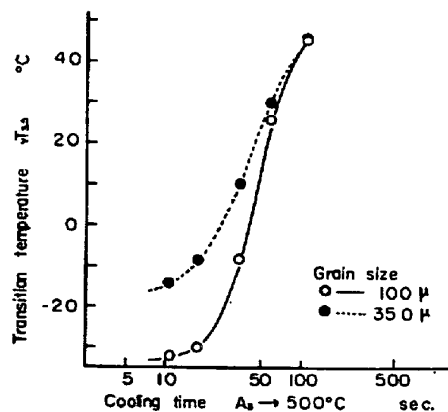


図1. 遷移温度におよぼすオーステナイト粒度と冷却時間の影響

3. 恒温変態組織と靱性

試片の作製は高周波誘導加熱にて1350℃まで加熱し、その温度で保持することなく、直ちに所定の恒温変態温度まで急冷を行ない、その後磁化重畳中にて所定の時間恒温保持を行った後、水焼入れを行った。恒温保持温度は550℃、500℃、450℃、400℃および350℃とし、保持時間は550℃より400℃の各々については20min、350℃の場合のみ10minとした。これらの熱処理にて得られた試験片のオーステナイト粒度は約300~350μであった。なお恒温変態処理を行うまでのAc₃変態点より500℃までの冷却時間は30sec.

70sec. および130sec.とし、所定の恒温変態温度に到達した後、直ちに恒温変態処理を行った。

得られた組織は、Ac₃変態点より500℃までの冷却時間30secの場合

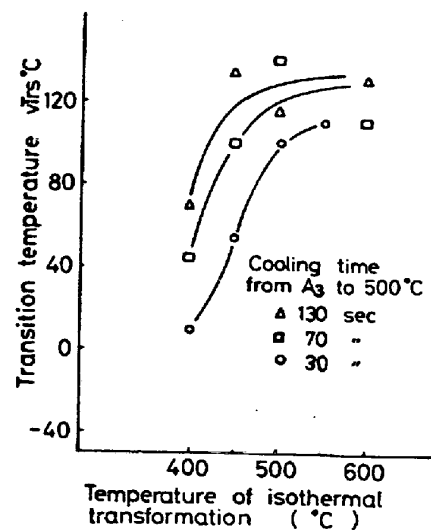
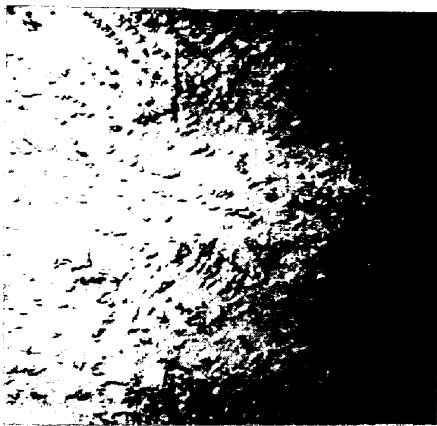
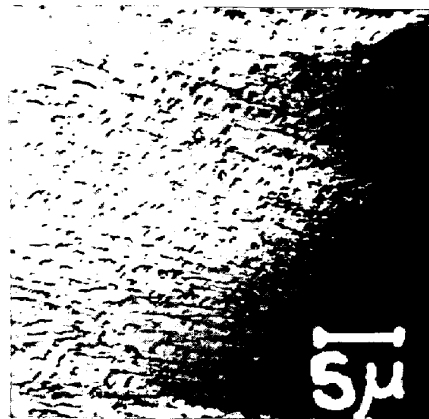


図2. 破面遷移温度におよぼす恒温変態温度と冷却時間の影響



A. (恒温変態温度400°C)



B. (恒温変態温度350°C)

写真1 恒温変態組織 (X3000 :レプリカ)

合について記す。

恒温変態温度550°Cにて変態せしめた組織は変態未完了で炭化物析出を伴わないフェライトが生成し、未変態オーステナイトは水焼入れによりマルテンサイトに変態しているのが認められた。500°Cにて恒温変態した組織は炭化物析出を伴わないフェライトがほとんどであった。450°Cにて恒温変態せしめ

た組織は、550°C~500°Cにて変態を付した場合は異なり、フェライト粒界に層状セメンタイトの析出が観察された。400°Cにて恒温変態を付した場合は450°Cにての場合と同様、上部ベイナイトであったが、それに比べてセメンタイトがやや細かいようであった。さらに350°Cにて恒温変態を行った場合は組織は前者より、より細かいセメンタイトの析出を伴ったベイナイトであった。写真1はセメンタイトの析出を示したもので、ラス境界間隔は恒温変態温度が低いほど狭く、微細なセメンタイトの析出を伴っていた。

Ac₃変態より500°Cまでの冷却時間が70secおよび130secの場合のそれぞれ恒温変態により得た組織は冷却時間30secの場合と同様の形態であったが、わずかながらそれに比べて、フェライト・ラス間にセメンタイトを析出する温度が低くなり、フェライト・ラスが大きくなるようであった。

図2は恒温変態温度と破面遷移温度との関係を示した。恒温変態処理温度が高くなるほど、また冷却時間が長いほど遷移温度は上位にシフトする傾向が認められた。500°C以上で恒温変態を行った試片では破面遷移温度が高い、これはベイニテック・フェライトおよび未変態オーステナイトから生じた高炭素マルテンサイト組織のためと考えられる。また下部ベイナイト組織については他に比べて韌性は高かった。

ここで、一般にフェライト鋼の韌性はフェライト粒径が支配的要素であって、それにより決定されるが、ベイナイト組織においては上部ベイナイトではフェライト・ラス界面にセメンタイトの析出を伴い、下部ベイナイトではラスの内層にも析出する¹⁾。ここで、フェライト・ラスの厚さまたはフェライト・ラスが明確でない組織についてはセメンタイト間の平均間隔をもって韌性を評価した。

図3は測定したフェライト・ラスの平均厚さまたはセメンタイト間の平均間隔と破面遷移温度との関係を示した。(なお、後述の単位破面と破面遷移温度との関係も併記した。)図に示すごとくフェライト・ラスの厚さ(またはセメンタイト間の平均間隔)と破面遷移温度との関係は直線的な関係が認められた。なお、セメンタイトの析出を伴わないベイニテック・フェライトはこの直線の左上部に位置し、わずかに高いVTrs値であり、フェライト・ラスの太くなったときにマトリックス自体、韌性の低いものと考えられる。

図3より、フェライト・ラスの厚さは韌性におよぼす要因の一つであり、ラスの厚さが小なるほど良好な韌性を示し、または、セメンタイトの析出、分布についても韌性におよぼす要因とも考えられる。

次に衝撃試験における破断面をCr shadowingの2段階レプリカ法を用い、破断面の中央部よりレプリカを採取し、電子顕微鏡により観察を行った。その結果、破面観察と組織との関係はベイニテック・フェイ

トの組織では非常に大きな flat facet でかつ平滑である。上野ベイナイト組織ではベイニテツフ・フェライトの組織における破面に比して、flat facet は小さく付るが、明瞭なリバーパターンが観察された。さらに恒温変態温度が低くなるに従って、微小亀裂が単位破面内で同時に成長し、両端に湾曲した引裂線が認められ、延性的もしくは脆へず開型の破面を示す傾向が認められた。

そこで一般にフェライト鋼の場合、破面における heavy tear line は脆性亀裂がフェライト粒界で止まるか、そこで割れ方向が変えるかすることにより形成され、フェライト粒界に形成される。したがって、本質的に割れの伝播に対する抵抗として働いている heavy tear line を有効結晶粒径とするときフェライト粒径が有効結晶粒径に相当するものと考えられる。²⁾

図3は破面観察から平均の heavy tear line の間隔を測定し、破面遷移温度との関係を探った。これらの関係は図に示すごとく、直線関係を有することが認められた。heavy tear line については典型的なリバーパターンを示す破面では個々の flat facet の境界で tear line が形成される場合が多く、ほぼ heavy tear line 間隔が単位破面と考えられる。寺崎³⁾はこの領域の大きさを unit crack path として測定し、靱性との関連を詳細に報告している。また下野ベイナイトのように脆へず開破面を示す場合では heavy tear line に囲まれる領域が単位破面を示すものと考えられる。

以上の結果から図3において、単位破面はフェライト・ラスの厚さ（またはセメントイト間の平均間隔）より2〜3倍程度大きいことおよび恒温変態によって得られたベイナイト組織の靱性はフェライト・ラスの厚さまたはセメントイト間の平均間隔に依存し、これらの大きさが小なるほど良好である。

4. 連続冷却変態組織と靱性

図4は最高加熱温度1350℃よりAc₃変態点まで急冷後、Ac₃変態点より500℃までの冷却時間を30sec、70secおよび130secとし、連続冷却過程中所定の温度にて水冷処理を行った場合、得られた組織の破面遷移温度を示す。Ac₃変態点より500℃までの冷却時間が30sec 時の場合、焼入れ温度の低下とともに破面遷移温度も低くなる傾向であった。しかし冷却時間が70sec および130sec 時の場合には30sec の場合と異なり、水冷入れ温度が450℃〜500℃の間で破面遷移温度が高い。これは前述の恒温変態組織における結果、図2の場合と同程度の破面遷移温度であり、ベイニテツフ・フェライトの性質を示すものと考えられる。一方、同じ冷却時間において、水冷入れ温度が400℃および600℃では低い破面遷移温度であった。600℃の場合、C.C.T図から知られるごとく、その温度では変態が殆どおらず、組織はママルテンサイトであり、良好な靱性を示したものと考えられる。400℃の場合にはベイニテツフ・フェライトからセメントイトの析出に伴いマトリックスの靱性が向上したものと考えられる。

図5は前述の恒温変態組織の場合と同様、連続冷却変態組織の靱性について、フェライト・ラスの厚さ、破面観察結果からの heavy tear line の平均間隔（単位破面）および破面遷移温度との関係を整理して示したものである。（恒温変態組織の結果をも併記して示した。） 連続冷却処理

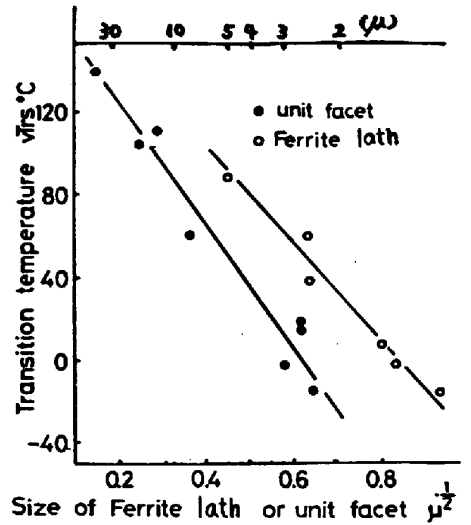


図3 恒温変態組織における破面遷移温度とフェイトラスの厚さと単位破面との関係

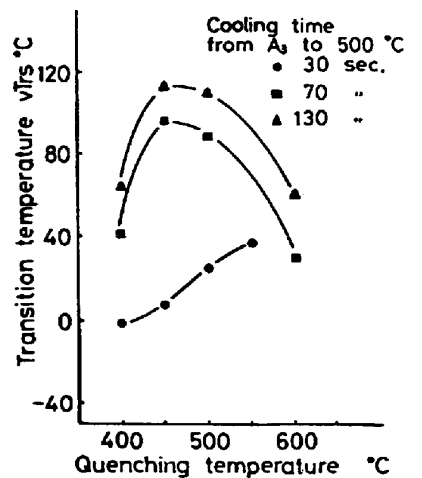
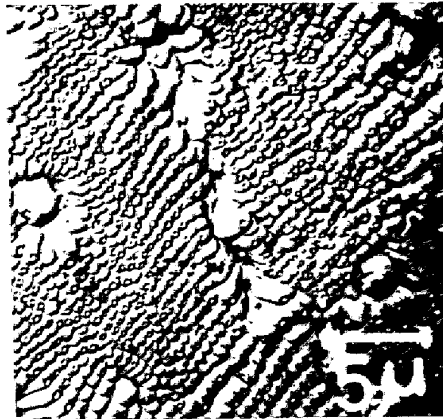
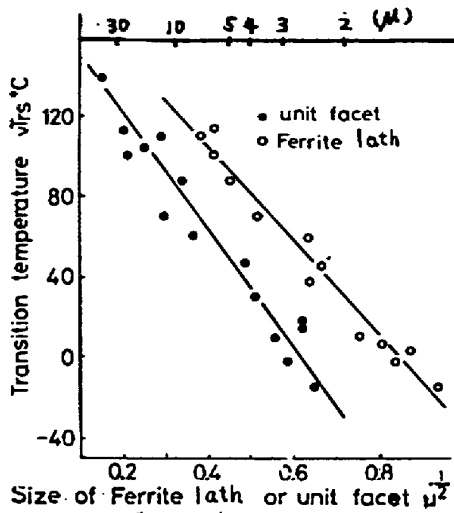


図4 連続冷却変態過程の破面遷移温度における水冷入れ温度と冷却時間の影響



A: 冷却時間 30sec
写真2 破面写真 (レプリカ)



B: 冷却時間 130sec

図5 恒温変態組織および連続冷却変態組織における破面遷移温度におよぼすフェライトの厚さと単位破面との関係

により得られた組織についてもフェライト・ラスの厚さおよび単位破面が大なるほど破面遷移温度は高くなり、それゆきの関係は直線的であった。またいずれの処理にかかわらず同一の直線関係にある

り、それぞれの処理によって得られた組織の靱性はフェイト・ラスの厚さによって決定されるものとして差支のないものと考えられる。

5. 靱性におよぼすセメンタイトの影響

本実験において、各組織の靱性におよぼす要因としてフェイト・ラスの厚さまたゆかれが不明瞭な場合セメンタイト間の平均間隔に着目して、それらについて整理を行ったが、K.J.Irvine等⁴⁾は上部ベイナイトと下部ベイナイトの靱性の差はセメンタイトの配列の差によるものとして報告している。本実験においてセメンタイト間の平均間隔の差によって靱性の差が生じたものとして解釈される。写真2-Aは連続冷却変態、冷却時間30secにおいて、遷移領域で観察された破面である。小さな一つのdimpleの底に炭化物と見られるこぶを残しており、微細なセメンタイト、二つがdimpleの起点となることにより副次先端における靱性変化量を増加させ、吸収エネルギーを増加させるものと考えられる。写真2-Bは冷却時間130secの場合に観察された破面でフェイト・ラス-セメンタイト界面が割れたと見られる。滑らかな破面の破面と比べている。これは下層にセメンタイトが配列の伝達に抵抗を示しているものと思われる。したがって炭化物の形状、分布が靱性に影響をおよぼし、炭化物がすべり帯の障害物となる場合、すべり帯の幅より十分大きい場合にへき開破損となり靱性は低下するものと考えられる。また写真3はE.P.M.A.の二次電子像と炭素の特性X線像を同一破面内の位置にて観察し、対比して示した。破面における炭素分布を調べるため、リバーバーソンの収束光に炭化物が認められた。したがって炭化物は亀裂伝播において、応力集中体ののごとく作用とし、少々の伝達量で亀裂発生と可能にするものと考えられる。



A: E.P.M.A. 二次電子像



B. 炭素特性X線像
写真3 破面における炭素分布

[参考文献]

1) 野武, 寺崎, 大森, 大谷, 鍛冶, 1971(57) N011, 303
2) 寺崎, 大森, 鍛冶, 1971(57) 5239
3) 寺崎, 大森, 鍛冶, 1972(58) 1067~1075
4) K.J. Irvine, F.B. Pickering; "J.I.S.I., 1963 (20) 518"