

論 文

UDC 669.14.018.292 : 669.112.227.3 : 620.186.4 : 539.211

高炭素鋼の各種変態組織と脆性破面*

大谷 泰夫**・寺崎 富久長***

Study of Brittle Fracture Surface in Relation to Microstructure of High Carbon Steel

Hiroo OHTANI and Fukunaga TERASAKI

Synopsis:

The brittle fracture surfaces of the isothermally transformed high carbon steel (0.7% C) were investigated. The various microstructures which were lamellar pearlite, degenerate pearlite, upper bainite, lower bainite, and martensite were obtained based on the TTT diagram.

The brittle fracture surfaces were prepared by Charpy impact test at -196°C . The direct correspondences between the brittle fracture surfaces and the microstructures were carried out in scanning electron microscope.

The mode of quasi-cleavage surfaces was closely related to the decomposition of austenite to ferrite. The crystallographic orientation of the cleavage plane was determined as $\{100\}$ by means of facet pit technique and goniomicroscope. The fracture facets of pearlite, degenerate pearlite, upper bainite and lower bainite corresponded to the domains in which the crystallographic orientation difference in respect to the cleavage surface $\{100\}$ were small.

Such the domains on the other hand, were not seen in the case of martensite. It seemed that the martensite plates itself formed the fracture facet. From this point of view, there was a great difference in fractographic appearance between high carbon martensite and low carbon lath martensite. It is probably due to the difference of the crystallographic behaviors in transformation.

(Received July 9, 1971)

1. 結 言

鉄鋼の低温脆性破面と組織観察を基にして、低温靱性に関する知見を得ようとする試みは、数多くなされてきたが、破面と組織を直接対応させて論議された報告はほとんどない。したがって、破面の形態を組織から説明する場合、考察に頼らざるを得ない面が残されていた。

筆者らは、このようなあいまいさを少しでも減らそうとする目的で組織と破面の直接対応を試みてきた。前報^{1,2)}では低炭素鋼の各種変態組織についての調査結果を報告し、調質鋼など複雑な組織の場合にも擬劈開破壊の生ずる面は $\{100\}$ 面であり、したがって組織と密接に関係することを示した。たとえば、マルテンサイト組織の場合にはマルテンサイトは、ある領域では、ほとんど結晶方位が揃った形で存在し、したがっての領域がフェライト粒と似た挙動を示すことなどを報告した。

このように鋼の靱性は変態組織と直接結びつくことが明らかになってきたので、0.7% C 鋼について各種変態

組織と破面の関連を調査した。すなわち、0.7% C 鋼では上部および下部ベイナイト領域が明白に存在すること、共析鋼に近い成分であるのでパーライト組織が主になること、さらにマルテンサイト組織の場合、低炭素鋼と変態挙動が異なることなどが前報の低炭素鋼の場合と異なるので、この点について組織と破面の関連を調査する必要がある。この意味から等温変態によつて得られる各種の組織について調査を行ない、これに基づいて破面との対応について調査を行なった結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 供試鋼

供試鋼は、機械構造用鋼 S 70 C を、熱間圧延により 7 mm に圧延して用いた。化学成分を Table 1 に示す。

* 昭和45年10月本会講演大会にて発表

昭和46年7月9日受付

** 住友金属工業(株)中央技術研究所

*** 住友金属工業(株)中央技術研究所 理博

Table 1. 供試鋼の化学成分

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Sol. Al
0.69	0.28	0.67	0.019	0.012	0.04	0.04	0.03	<0.01	0.008

2.2 TTT 曲線の作成

実験装置は、高周波加熱式変態測定装置 Formastor (試料形状：30φ×10 mm，一端に 2φ×2 mm の熱電対挿入孔を有する) を用いた。1200°C×5 min オーステナイト化後、各温度に急冷し、膨張量を測定した。膨張開始の時間の測定と膨張量が一定になるまで保持した後、He ガスによる焼入れを行ない、マルテンサイトが生成されなくなる時間を測定し、TTT 曲線を作成した。

2.3 熱処理

7 mm t に熱間圧延した鋼板から 5 mm t × 10 w × 55 l の素材を切削し、以下の熱処理を行なった。電気炉を用いてアルゴン雰囲気中で、1200°C×5 min オーステナイト後、600°C，450°C，380°C，280°C の Pb 浴、ウッド合金浴に焼入れを行ない、等温保持によりパーライト (+フェライト)，擬似パーライト (+上部ベイナイト)，上部ベイナイト，下部ベイナイトの各種変態組織を作成した。

マルテンサイトは水焼入れによった。

2.4 組織観察

2.3 の熱処理材は、光学顕微鏡および薄膜による電顕

直接観察を行なった。薄膜試料では、回折パターン解析により、フェライトとセメンタイトの方位関係も調べた。

2.5 破面の観察

熱処理材はグラインダーによりノッチをつけ、-196°C でシャルピー衝撃試験を行ない脆性破面を作成した。

破面はニッケルメッキを施した後、断面方向を研磨した。この研磨面はナイトル腐食により組織を現出させたり、またファセットピットを現出させて観察に供した*。

* ファセットピット液は次のとおりである。

- ① 2cc HCl-15cc H₂O₂-200cc H₂O
- ② 2cc HCl-40cc FeCl₃·6H₂O-200cc H₂O
- ③ 100cc CH₃COOH-100cc C₂H₅OH

ニッケルメッキを剝離した後、走査電顕により破面と断面方向を互いに対応づけながら観察したり。

一部の試料については、破面と断面の交わる角でのレプリカを作成し、高倍率で詳細に観察した。破面の単位については、ファセットピットの方位を傾角顕微鏡により測定し、破面の方位を決定したり。

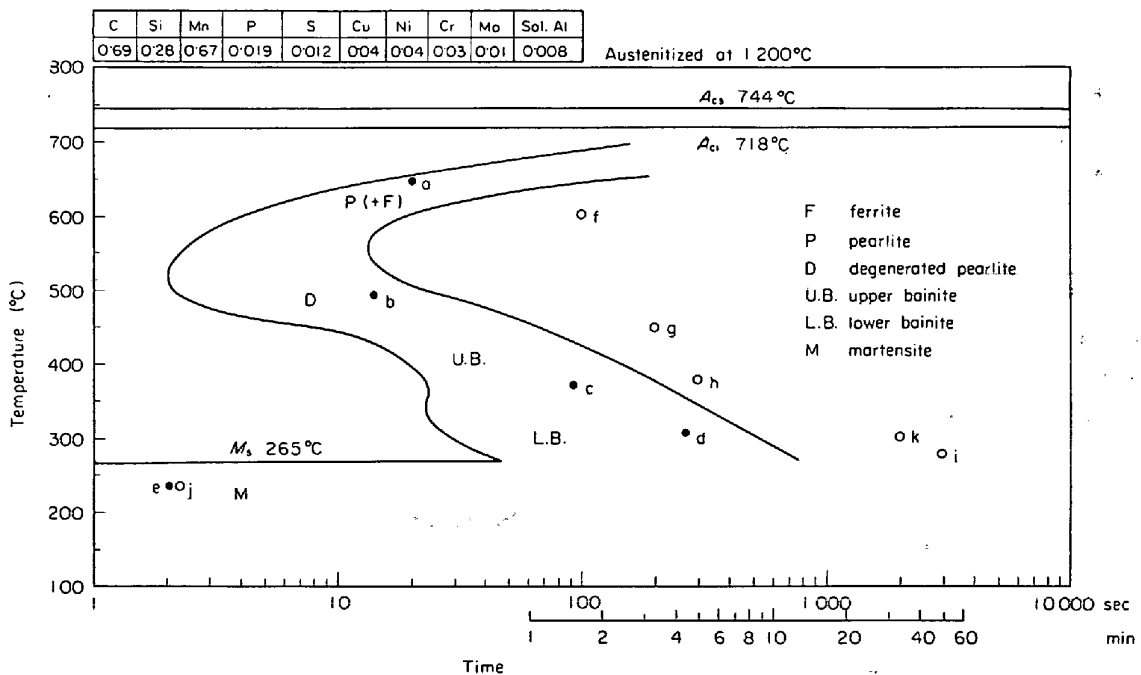


Fig. 1. TTT Diagram for 0.69% C steel.

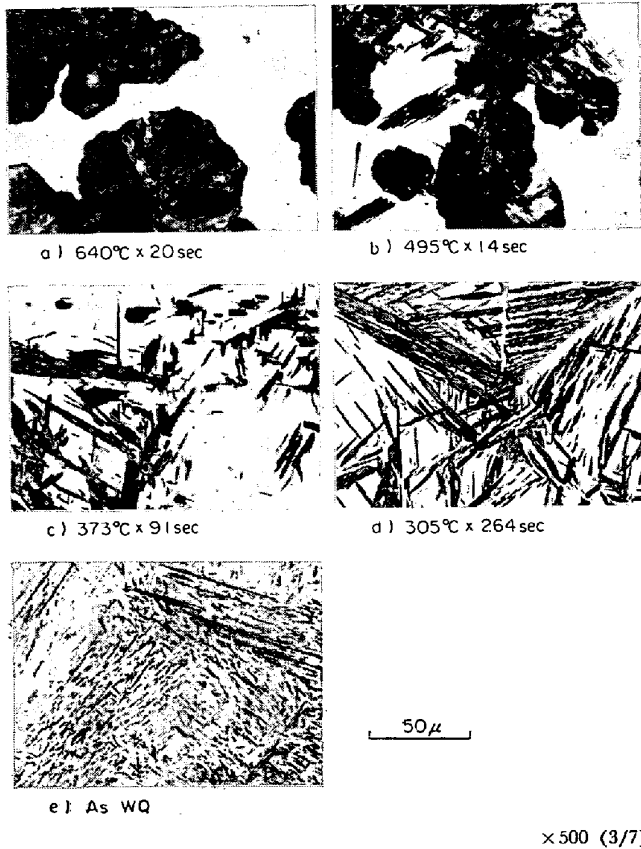


Photo. 1. Optical microstructures arrested during isothermal transformation.

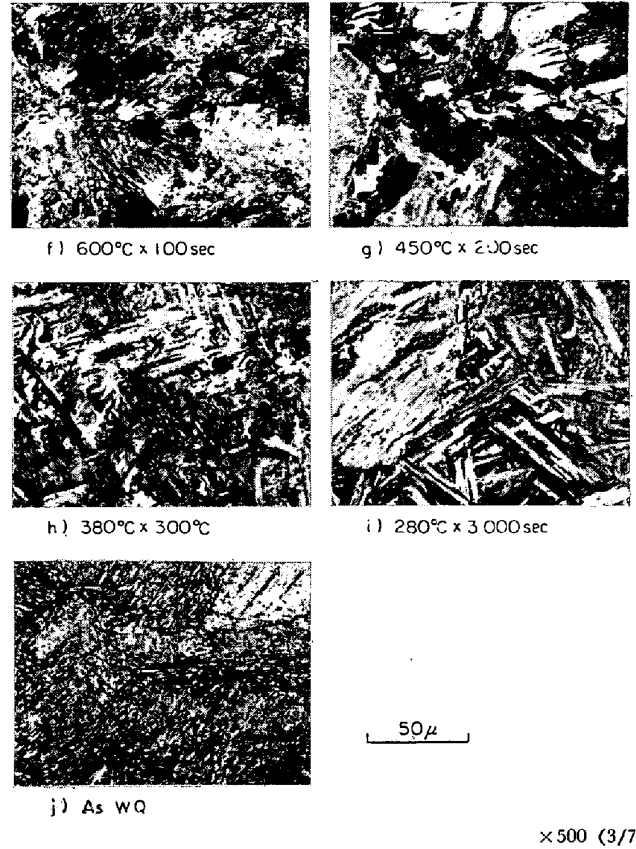


Photo. 2. Optical microstructures of specimens used for Charpy impact test.

3. 実験結果

3.1 TTT 曲線

Fig. 1 に TTT 曲線を示す。図中●印で示した変態組織を Photo. 1 に示す。600°C 以上では層状パーライトが形成される。約 450°C までは擬似パーライトと上部ベイナイトの混合組織である。450~350°C までは上部ベイナイトが形成される。350°C 以下では下部ベイナイトが形成される。 M_s 点は 260°C である。

3.2 組織観察

Photo. 2 に熱処理材の光学顕微鏡組織を示す。これらは Fig. 1 の○印で示されるごとく、各温度で変態を終了している。Photo. 3~Photo. 6 はパーライト、上部ベイナイト、下部ベイナイトの電顕写真（明視野、暗視野、回折像、回折像の解析）を示す。いずれもセメンタイトは視野内では方位が揃っていることを示している。フェ

ライトとセメンタイトの関係は、BAGARYATSKII⁹⁾ の関係に近い。大森の詳細な研究によれば⁴⁾⁵⁾⁶⁾、フェライトとセメンタイトの関係は BAGARYATSKII の関係のほかに PITSCHEV⁷⁾ の関係や ISAICHEV⁸⁾ の関係があることを示しているが、いずれもよく似た方位関係であり、本実験では区別しえなかつた。上部ベイナイトはラス状であり、その晶癖が $\{110\}_\alpha \langle 111 \rangle_\alpha (\{111\}_\gamma)$ であるのに対して、下部ベイナイトは板状であり、その晶癖も異なる⁹⁾。

Photo. 7 はマルテンサイトの電顕写真を示す。高炭素マルテンサイトは板状であり、板状マルテンサイトは、その晶癖は化学成分により異なっているが $\{225\}_\gamma$ ⁹⁾、 $\{259\}_\gamma$ ¹⁰⁾、 $\{449\}_\gamma$ ¹¹⁾ などあり、低炭素ラスマルテンサイトの晶癖 $\{110\}_\alpha \langle 111 \rangle_\alpha (\{111\}_\gamma)$ とは異なり、方位の揃った領域はほとんど存在しない。したがって、これらの組織の相異により、破壊の様相が異なることが推定される。



Bright field image

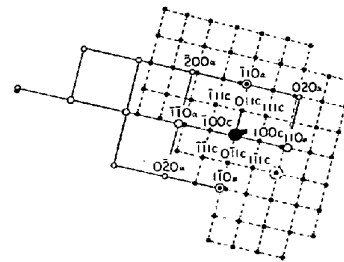
0.5 μ



Dark field image



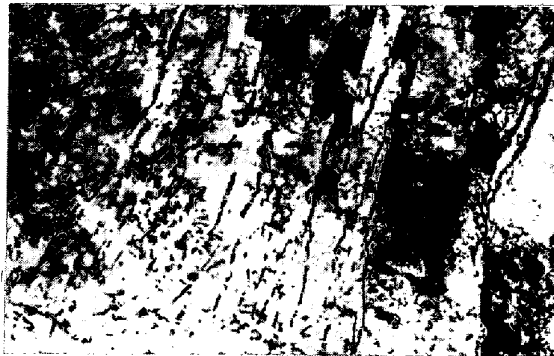
Diffraction pattern



$(100)_c // (110)_a$
 $(010)_c // (\bar{1}11)_a$
 $(001)_c // (\bar{1}12)_a$

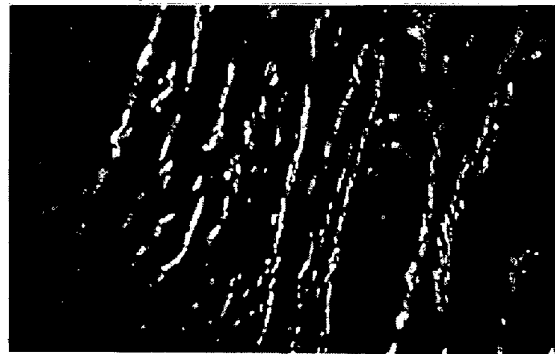
Schematic representation of diffraction pattern

Photo. 3. Electron micrographs of pearlite (1 200°C × 5 min → 600°C × 100 sec).



Bright field image

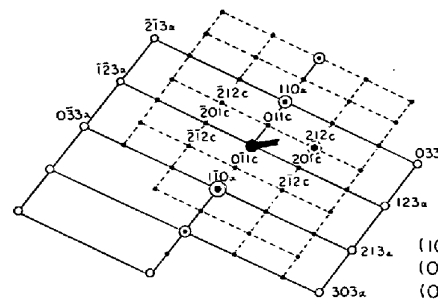
0.5 μ



Dark field image



Diffraction pattern



$(100)_c // (110)_a$
 $(010)_c // (\bar{1}11)_a$
 $(001)_c // (\bar{1}12)_a$

Schematic representation of diffraction pattern

Photo. 4. Electron micrographs of degenerate pearlite (1 200°C × 5 min → 450°C × 200 sec).

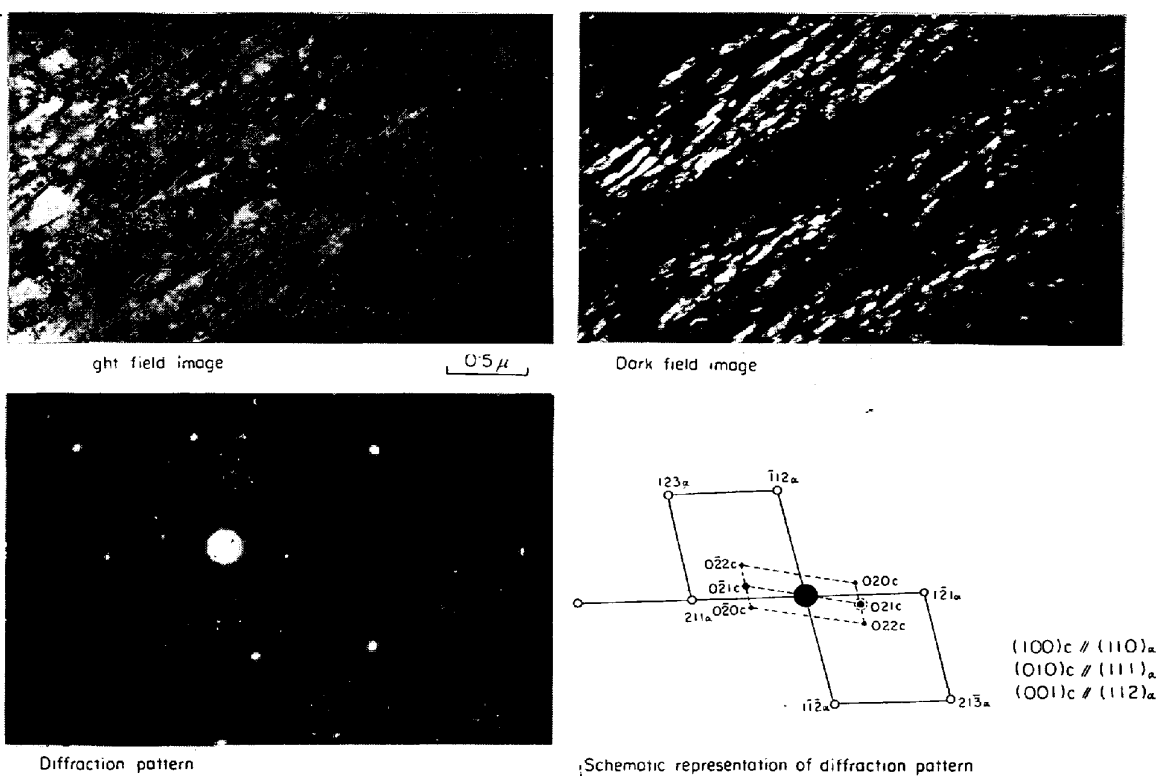


Photo. 5. Electron micrographs of upper bainite (1 200°C × 5 min → 380°C × 300 sec).

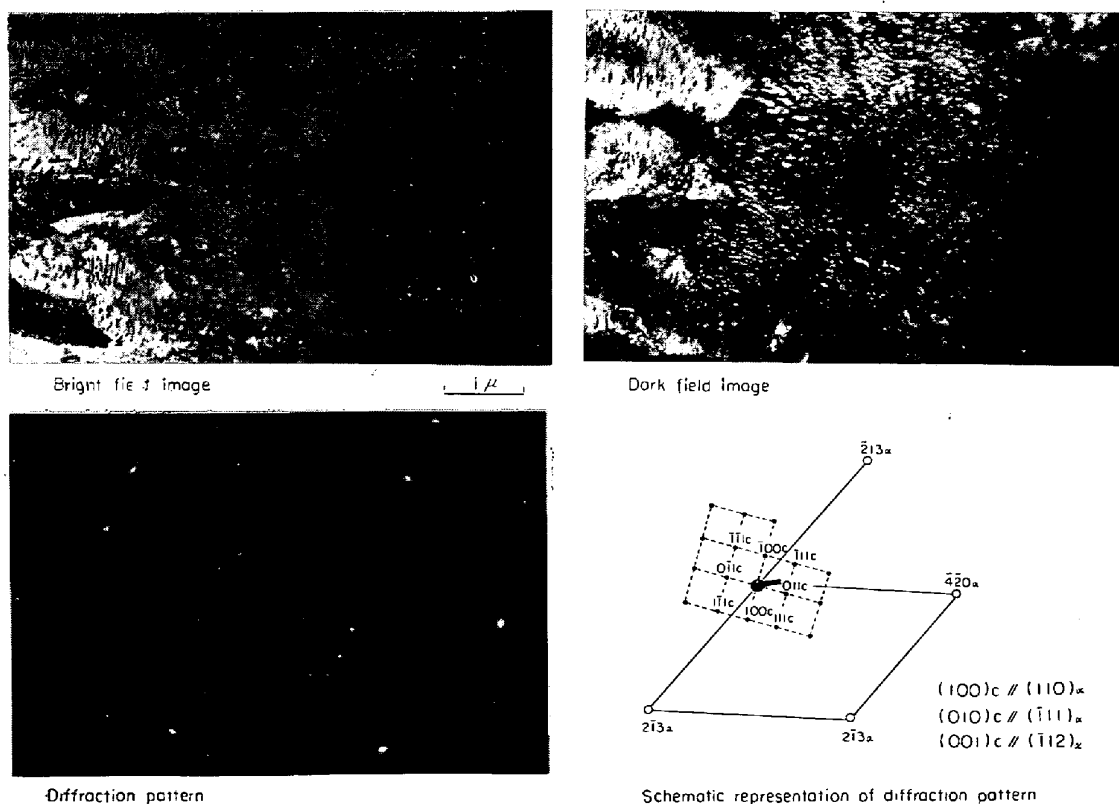
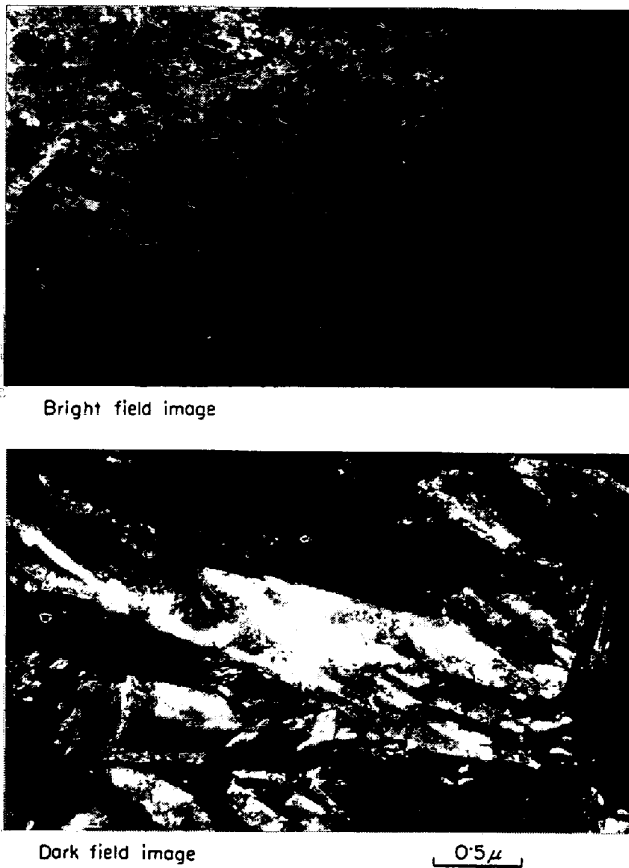


Photo. 6. Electron micrographs of lower bainite (1 200°C × 5 min → 280°C × 2 000 sec).

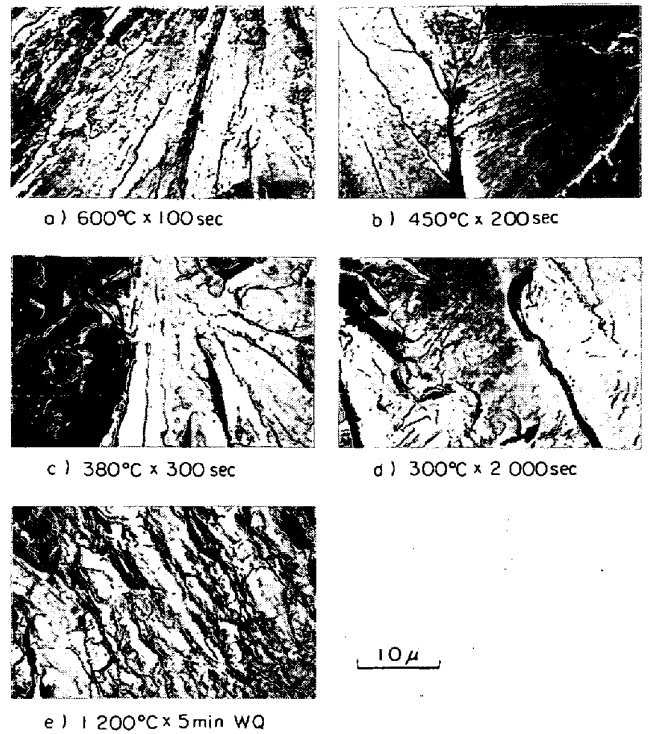


Bright field image

Dark field image

0.5 μ

Photo. 7. Electron micrographs of martensite (1 200°C x 5 min WQ). ×40000(1/2)



a) 600°C x 100 sec

b) 450°C x 200 sec

c) 380°C x 300 sec

d) 300°C x 2 000 sec

e) 1 200°C x 5 min WQ

10 μ

Photo. 8. Two-stage replica image of brille fracture surface. ×2000(3/7)

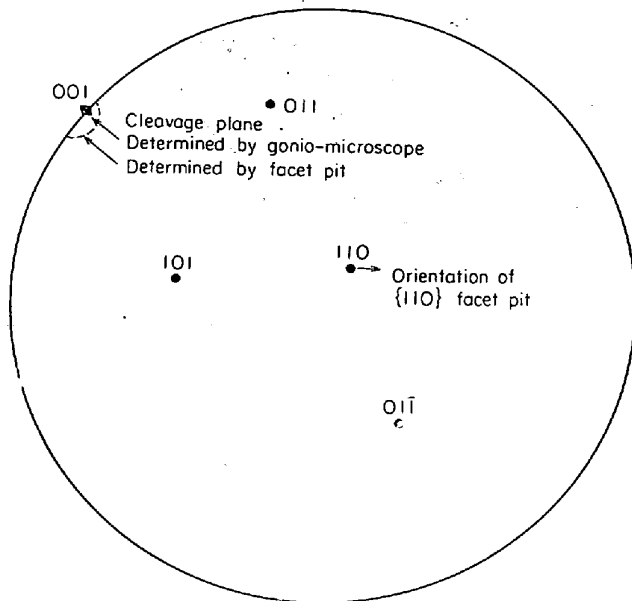


Fig. 2. Crystallographic orientation of cleavage plane determined by gonio-microscope in comparison with that determined by facet pit.

3.3 レプリカによる破面観察

Photo. 8 は、各種組織の脆性破面のレプリカ観察である。1 200°C、WQ 材を除いていずれも、フェライト鋼にみられるごとく、リバーパターン状のものが観察され、擬劈開破面についても前報¹⁾²⁾ とほぼ同様な挙動をするものと推定される。より詳細にみた場合にはこのリバーパターンは、フェライト粒の場合と若干異なり規則的な折れ曲がりが見られ、これはセメントタイトなどの影響と考えられるが、これについては、別途検討の要がある。

マルテンサイト組織の場合には、このような明確なリバーパターンもみられず破面単位も明確ではない。

3.4 パーライト組織と破面

Photo. 9 は、パーライト組織と破面との結晶方位の直接対応写真である。上段は破面 F、下段は破面にほぼ垂直方向にとつた断面 M、であり、中段はそのほぼ中間の角度で破面と組織の両者の対応関係 FM、を示している*。（* 以下、破面と組織の対応写真では、F、M、FM で表示する。）高炭素鋼の場合には、ファセットピット腐食条件と組織腐食条件が必ずしも一致せず組織は不明りようであるが、ピットの破面はかなり平坦であり、この大きさではフェライト組織は同一の結晶方位にあるこ

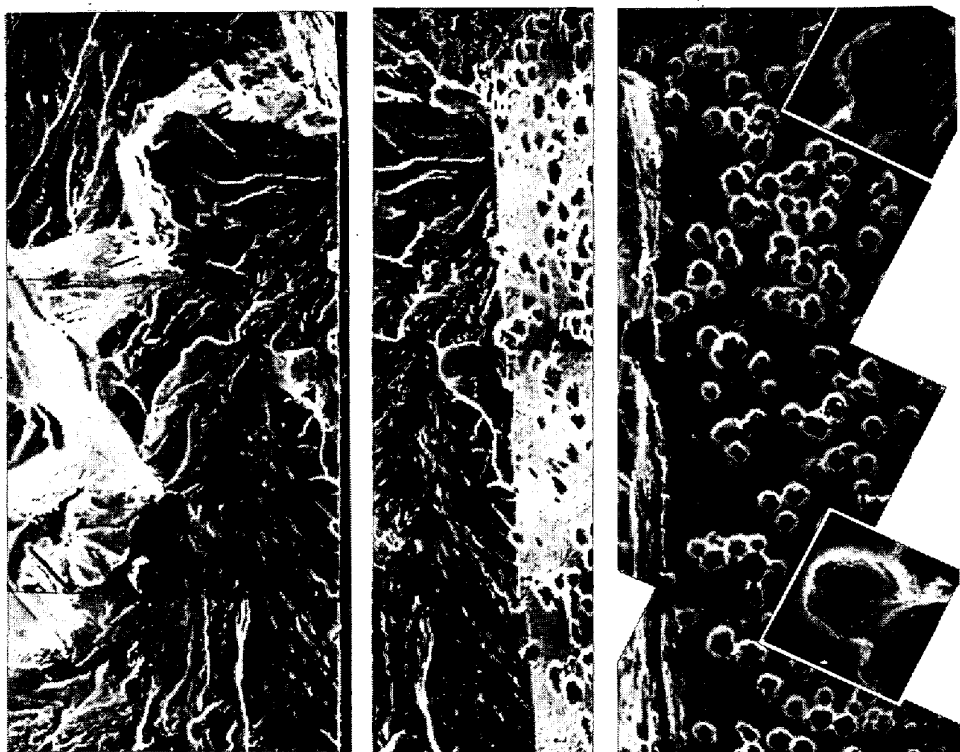


Photo. 9. Fracture surface and crystallographic orientation in pearlite ($600^{\circ}\text{C} \times 100 \text{ sec}$).

F: Observation from the direction normal to the fracture surface.
 M: Observation from the direction normal to the microstructure which is approximately orthogonal to F.
 FM: Observation from the direction 45° to both F and M.

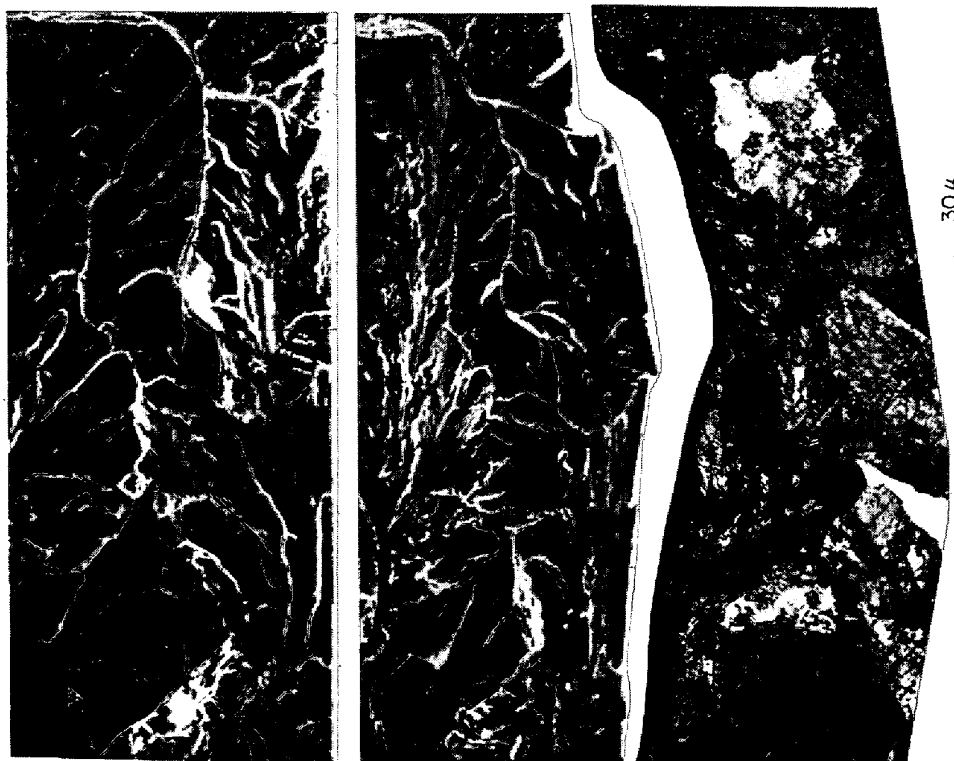


Photo. 10. Direct correspondence between fracture and microstructure in pearlite ($600^{\circ}\text{C} \times 100 \text{ sec}$).

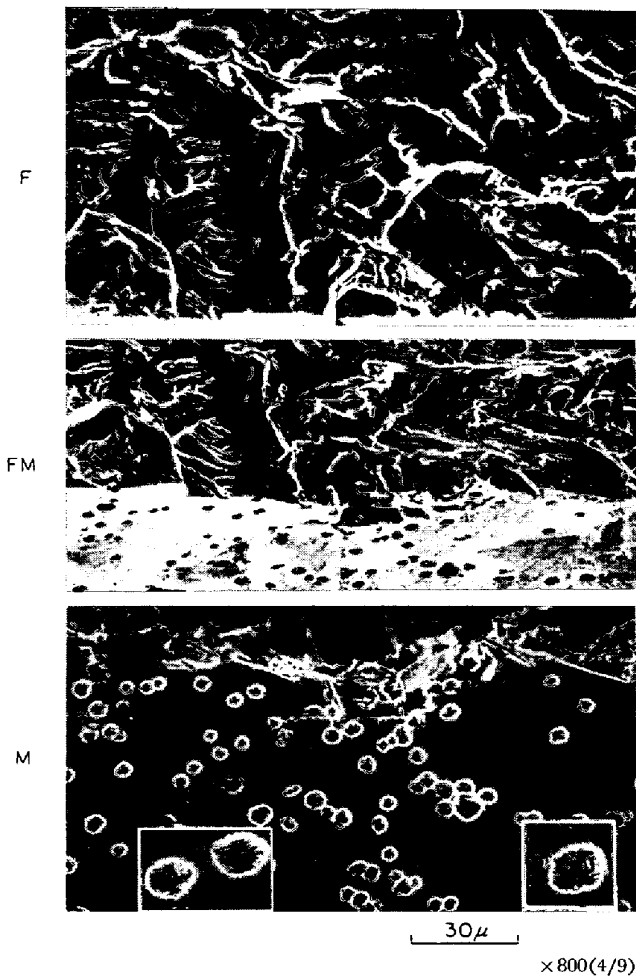


Photo. 11. Fracture surface and crystallographic orientation in degenerated pearlite (450°C × 200 sec).
×800(4/9)

とを示している。このファセットピットから傾角顕微鏡を用いて結晶方位を測定し、破面の結晶方位を求めるとすべて {100} 面から成っていることが明らかとなった。

Photo. 10 は、破面と光学顕微鏡組織の対応を示したものであり、破面単位の最も小さい単位はパーライトコロニーの大きさに対応している。他方、破面の方からは二つ以上のコロニーにわたって一つの破面単位と考えられる場所もあり、これは二つのコロニーの結晶方位が、後にその一例を示すごとく、傾角顕微鏡によるファセットピットからの方位測定によつてほぼ同じ {100} 面をもつことに対応している。

3.5 擬似パーライト組織と破面

Photo. 11 は、擬似パーライト組織の破面と結晶方位関係を示したものである。破面構成単位が若干細くなっているほかは、パーライトの場合と大差はなく、破面は {100} 面で構成されている。Photo. 12 は、組織との対応を示しているがパーライトと同様コロニーが最小単

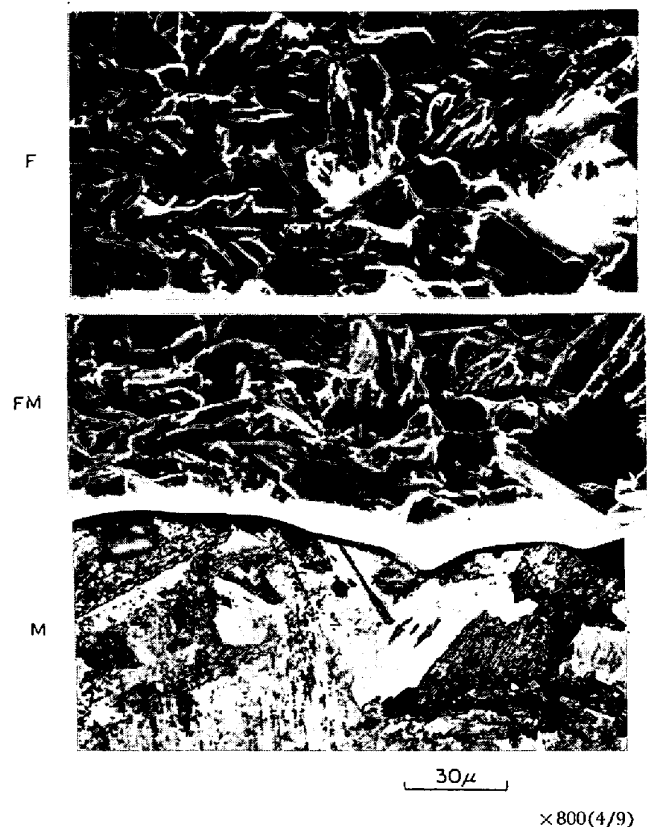


Photo. 12 Direct correspondence between fracture surface and microstructure in degenerated pearlite (450°C × 200 sec).
×800(4/9)

位と考えられる。

3.6 上部ベイナイトの組織と破面

Photo. 13 は上部ベイナイトの場合の破面と結晶方位との関係を示している。破面の構成単位は非常に細くなっているが、ピット面は平坦であり、微細組織は同一方位をなして集まっていることを示している。このピットから破面構成面の結晶方位の測定例を Fig. 2 に示す。Fig. 2 より明らかなごとく、平坦な破面構成小面は {100} 面より成っていることがわかる。

Photo. 14 は、組織との対応関係を示している。上部ベイナイトの場合は、ベイナイトはラス状に生成し、ほぼ同一方位に揃ったラスは束をなし、小さな領域を形成している。光学顕微鏡組織観察からは、やや不明りような感があるが、ピット観察などを勘案すれば、このラスグループが破面単位に対応しているものと考えられる。

3.7 下部ベイナイトの組織と破面

Photo. 15 は、下部ベイナイトの場合であり、上部ベイナイトとの差異は破面がいわゆる羽毛状をなしており、細長く分割されている。これらの領域ではピット観

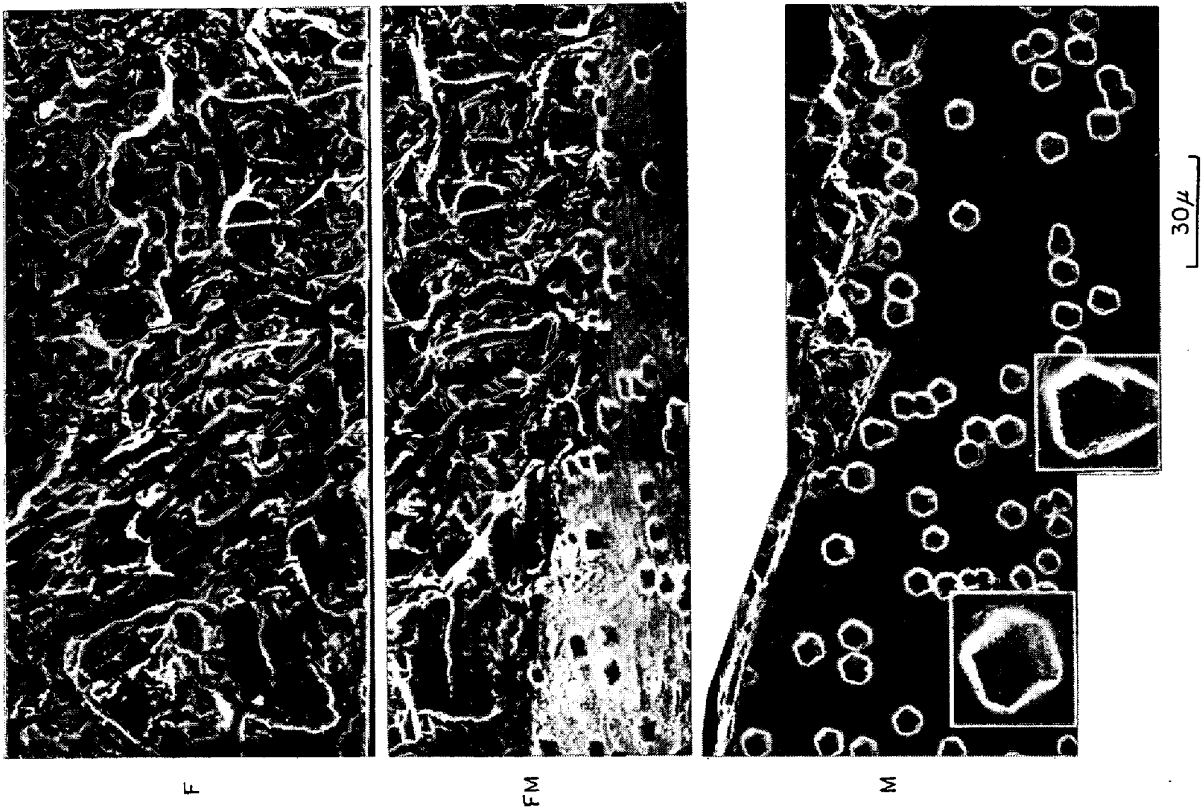


Photo. 13. Fracture surface and crystallographic orientation in upper bainite ($380^{\circ}\text{C} \times 300 \text{ sec}$).

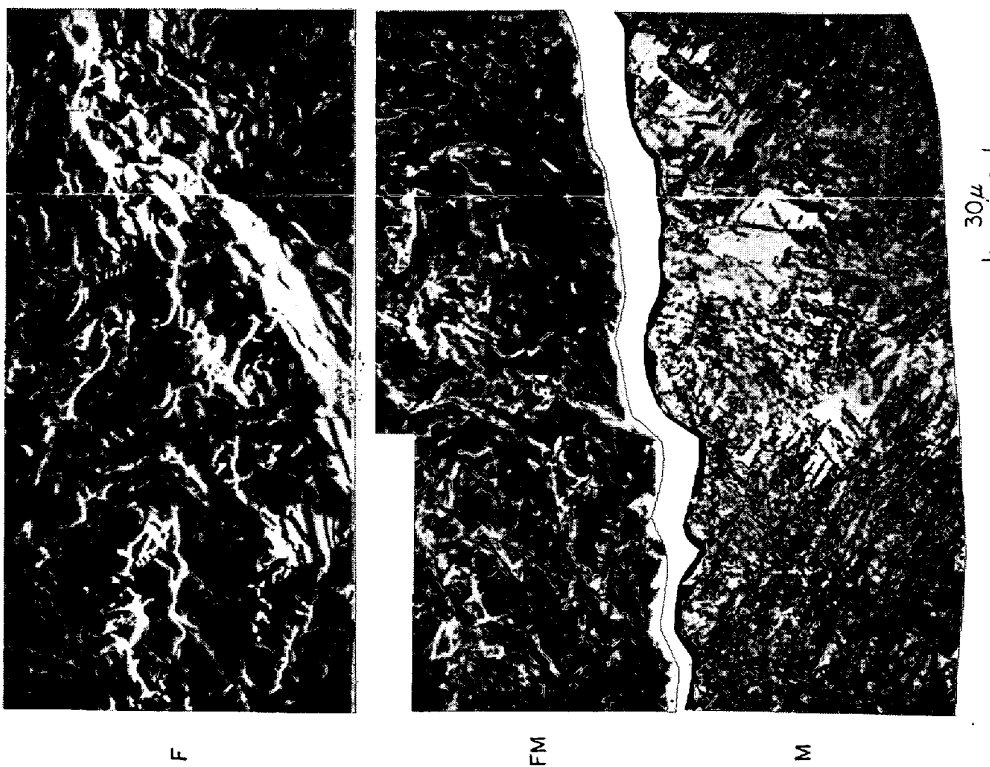


Photo. 14. Direct correspondence between fracture surface and microstructure in upper bainite ($380^{\circ}\text{C} \times 33 \text{ sec}$).

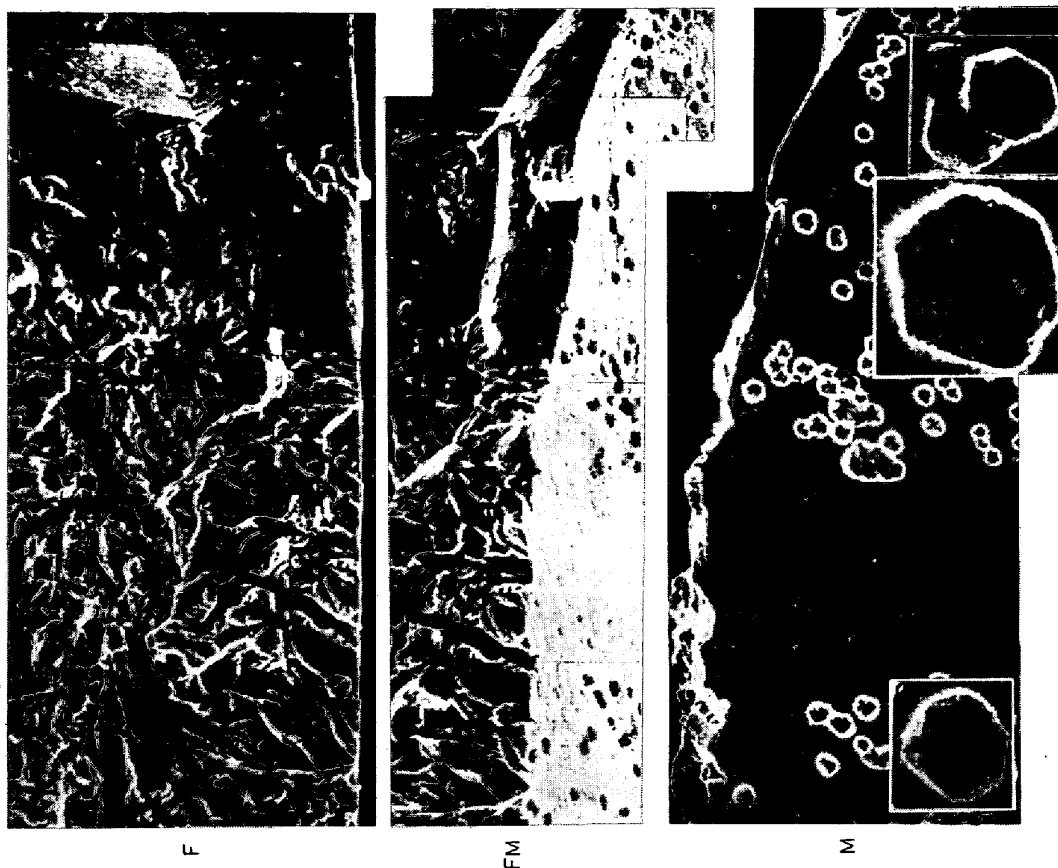


Photo. 15. Fracture surface and crystallographic orientation in lower bainite (280°C × 200 sec).
×800(1/2)

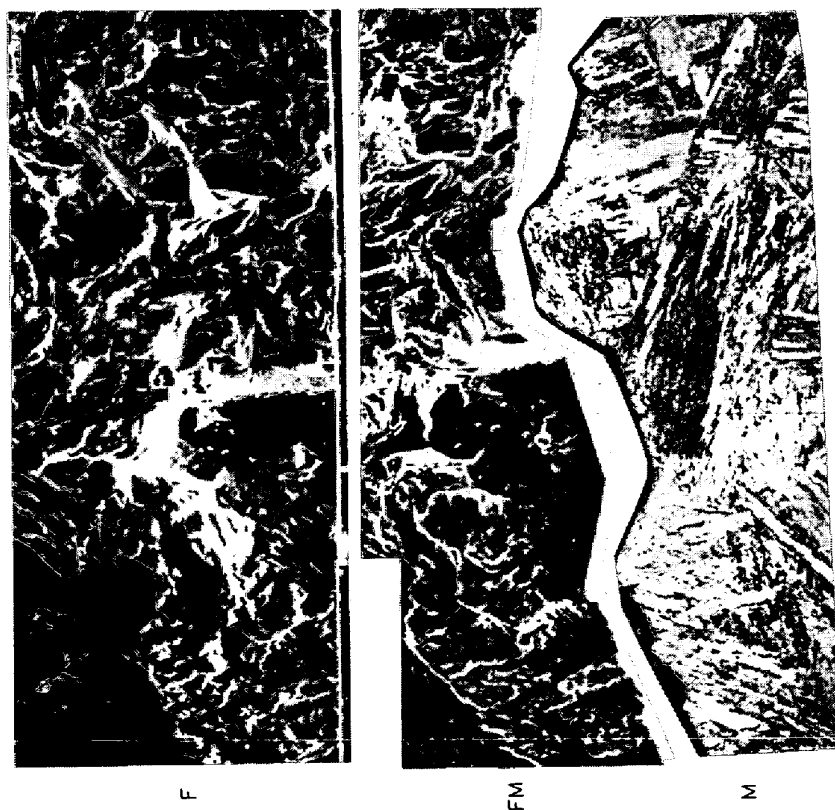


Photo. 16. Direct correspondence between fracture surface and microstructure in lower bainite (300°C × 2 000 sec).
×800(1/2)

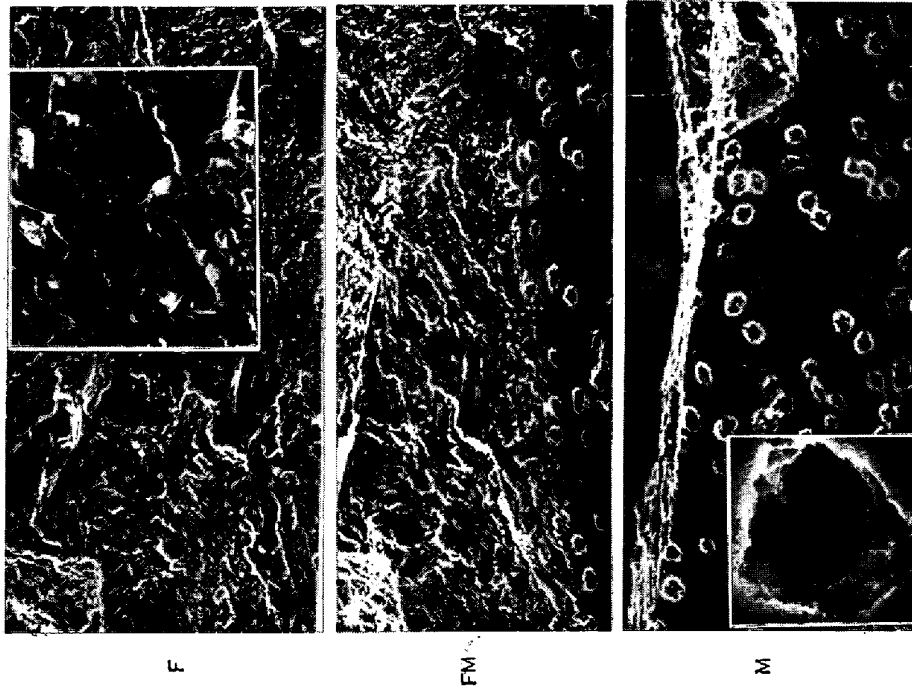


Photo. 17. Fracture surface and crystallographic orientation in martensite (as WQ).



Photo. 18. Direct correspondence between fracture surface and microstructure in martensite (as WQ).

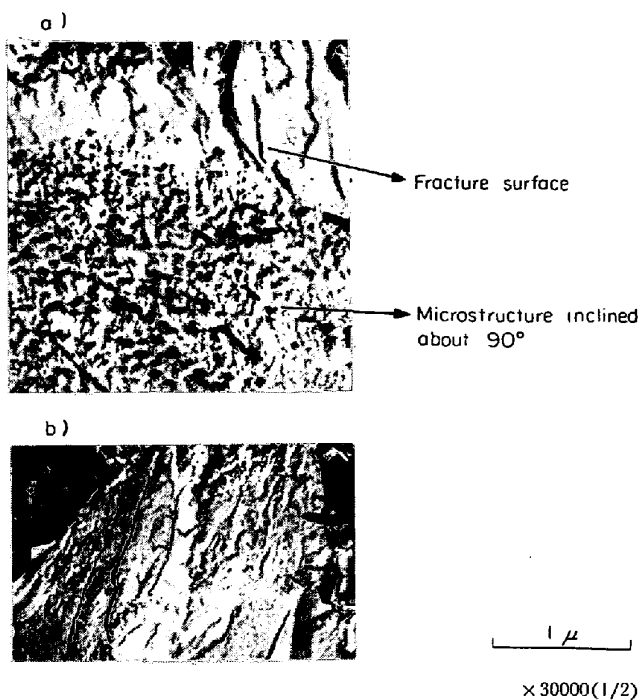


Photo. 19. Replica image of fracture surface and microstructure in martensite.

察にみられるごとく、ほぼ同じ結晶方位にあり、Photo. 16 にみられる板状組織に対応している。下部ベイナイトの場合にはベイナイト葉は板状をなし、これらは単体もしくは積層状をなして結晶を板状に分割している。破面の結晶方位はこのような板状分割領域の {100} 面に相当し、3.4~3.7 節を通じていえることは、破面単位として、ほぼ同一な結晶方位にある微細組織の領域の大きさといえる。この領域内では破面は観察範囲では、すべて {100} 面である。

なお、Photo. 15, 16 にみられる平坦な部分は粒界破壊部であり、もとのオーステナイト粒界に沿って破壊が生じている。

3.8 マルテンサイト組織と破面

マルテンサイト組織の破面と断面のピットを Photo. 17 に示す。Photo. 17 に示した写真では一様に微細模様が観察され、破面単位の定義としている劈開面が存在しないように見える。比較的平坦な部分の破面をさらに 10 倍した拡大写真が示されているが、凹凸のある破面をなしており、マルテンサイト葉の 1 枚 1 枚が単位をなしているようである。ピットの形状について、さらに 10 倍拡大した写真にみられるごとく、凹凸のある凹みをなしており、この大きさでは特定の面の腐食が行なわれない。すなわちピットの大きさの単位では特定の結晶面が定義できず、マルテンサイトラスは揃っていないことを示している。

Photo. 18 は、組織と破面との対応を示したものであるが、光学顕微鏡の程度では明確な結論がでない。なお Photo. 18 に示したときオーステナイト粒界での破断の生じている領域は低温変態組織になるほど多く、またオーステナイト粒界破面にみられる微細模様もマルテンサイトの場合、ほとんどみられず滑らかになつている。

Photo. 19 (a) は、電子顕微鏡透過レプリカ観察によって、破面と組織との関係を求めようと試みた例であつて、上方に破面、下方に組織を同一視野内で観察したものである。拡大された破面の構成単位は 1μ 以下と非常に細かく、この範囲では平坦になつており、ほぼマルテンサイト葉に対応しているようである。一つの破面単位内での劈開を示すリバーパターンは、それほど明確ではないが、Photo. 19 (b) に示すごとく、破面中には、やや大きい劈開領域も存在し、これらの中では、比較的ベイナイトなどの劈開面に近い模様をしている。これらの中では、マルテンサイトラスは同一方位に並んでいるものと推定されるが、このような場所は量的にきわめてわずかである。

3.9 粒界破壊

変態生成温度が低くなればなるほど、オーステナイト粒界で破壊する割合が増加する。またこのような面積的な変化のほか粒界破面上にみられる微細模様も、低温ほど少なく、マルテンサイト変態の場合には完全に近い滑らかさをもっている。このような事実から粒界破壊は、必ずしも焼入時に生成したものと限らず大部分は、 -196°C における衝撃破壊中に生成したものと推定される。このことを確かめるため、 600°C 、 300°C 、常温の各温度でマルテンサイト組織の場合についてシャルピー衝撃試験を行なつたが、その結果の一例を Photo. 20 に示す。Photo. 20 から試験温度が高くなるほど、粒界破面部が減少し、また粒界の平滑度が失われていくことを示している。したがって、粒界破壊の大部分はシャルピー衝撃破断時に生じたものと考えられる。

4. 検 討

従来、高炭素鋼 ($\text{C} > 0.4\%$) の組織と脆性破面との関連については多くの報告があるが、断片的な調査が多く、比較的系統的な調査は TURKALO¹²⁾ が行なつているのみである。

彼によれば、パーライト組織の場合には破面単位の大きさは、パーライトコロニーからもとのオーステナイト粒までの間にまたがっていることを断面観察から報告している。本実験結果によれば、2つ以上のパーライトコロニーにわたる場合は、それぞれのコロニーの破面の結

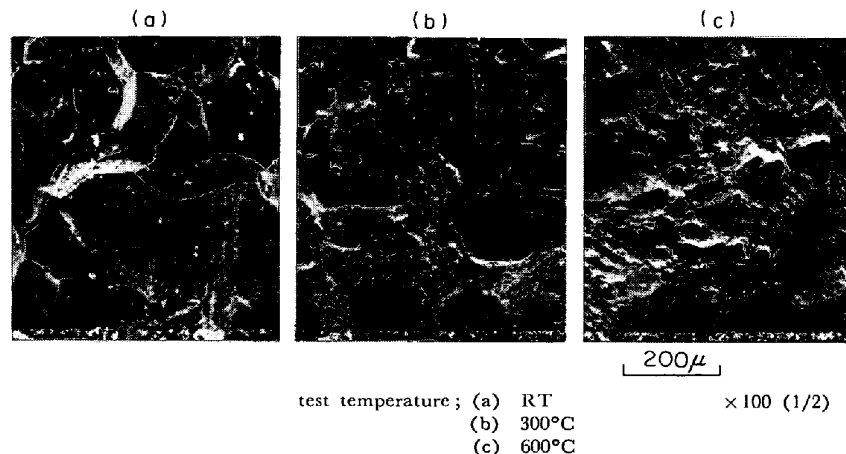


Photo. 20. Fractographs of intercrystalline fracture in martensite with Charpy impact test temperature.

晶方位である $\{100\}$ 面が、わずかの角度差しかもたない場合であることがわかった。これは前報りのフェライト粒、マルテンサイト組織の場合とまったく同様であり、パーライト・コロニーがフェライト粒に相当することを示している。

TURKALOによれば、上部ベイナイトについては、パーライトと同じ位大きい破面単位もあり、しばしばオーステナイト粒を横切る場合もあることを報告しているが、本実験結果では、ベイナイト組織と直接結びついた形で破面構成が成立しており、断面観察からのみでは必ずしも正確な結論を得ることはできないものと考えられる。下部ベイナイトやマルテンサイトの場合には微細組織を構成している needle の形に支配されている点は本実験結果も同様である。結晶粒界破壊については、オーステナイト粒界ベイナイトコロニー境界などで生ずることが得られているが¹²⁾オーステナイト粒界の方がより重要と考えられ、本実験の場合、すべてオーステナイト粒界である。

このような破面と断面との別々の観察では明確な結論には至らないので、本実験のごとく直接対応が必要であり、このような方法で行なわれた実験は従来のデータにはみあたらない。

複雑な組織の場合には、劈開破壊の定義である「特定の低指数結晶面での破壊」に相当した結晶面を定義することが困難であり、従来、“quasi-cleavage” (擬劈開) と呼ばれていた。しかしながら本実験の結果では、微細な lath や needle は結晶方位からみて独立に存在するのではなく、ほぼ同一の結晶方位に揃った領域からなっており、これらの領域内では同一の結晶方位とみなせば、フェライト結晶粒とまったく同様に $\{100\}$ 面を破面として破壊が生じていることを示している。

このような観点から結晶粒度と靱性は必ずしも 1 : 1 の対応になく、たとえばパーライトの場合にみられるごとく、2つ以上のコロニーにわたって破面単位が構成されている場合もあり、結晶方位的に勝手な向きに並んだコロニーによつて構成されている方が、より微細な破面が得られるものと推定される。

マルテンサイトの場合には、破面単位は非常に細かく、これは低炭素鋼マルテンサイトと著しく異なる点である。この点については、低炭素の場合には変態時の晶癖面が $\{111\}_r // \{110\}_\alpha$ となり、対称性がよいのに反して、高炭素鋼の場合には $\{225\}_r$ でありフェライトとして $\{112\}_\alpha \sim \{113\}_\alpha$ の中間辺にくるので、より多数の晶癖面が存在することが考えられる。すなわち、個々のラスのとり得る結晶学的な自由度が大きいため、結晶方位が揃った領域を形成し難い点が考えられる。しかしながら、下部ベイナイトにおいては晶癖面は、 $\{496\}_r$ に近く⁹⁾、マルテンサイトと同様に対称性が低いのでこの理由のみでは説明できない。マルテンサイトの場合には、これらのほかに tetragonality の存在による対称性の減少などが考えられ、後者の方がより大きく影響しているものと思われる。いずれにしても本実験では、破面単位が変態時の結晶学的分割に直接対応することを見出したもので、この意味から変態挙動と鋼の靱性との関連を調査する一方法になるものと考えられる。

実際上の鋼の靱性を論じる場合には破面単位のみならず、強度レベルが問題になる。さらに、焼入時の微細割れの問題や、粒界脆化などがあつて総合的に判断する必要があり問題はそれほど単純ではないが、少なくともフェライト結晶粒やオーステナイト結晶粒のみで靱性の評価をするよりは、破面単位の方がより直接的である¹²⁾。

たとえば、同じオーステナイト結晶粒で遷移温度を整

理した場合にベイナイト組織とマルテンサイト組織では、オーステナイト粒度依存性がまったく異なることなど¹³⁾統一的な解釈を困難にしている例は多い。

最後に、破面の詳細について触れれば、本実験のごとく、セメンタイトを多量に含んでいる場合には、破面のリバーパターンはフェライトのそれに類似しているとはいえ、Photo. 8 のパーライト組織にみられるごとく、かなり鋭く折れ曲つている傾向がみられる。また Photo. 9 ~ 12 の走査型電顕写真でも、前報のフェライト粒¹⁾の場合に比して、リバー・パターンは、より多く複雑である。この事実はセメンタイトの破面が常にフェライト部の劈開破面と一致しないところからくるものと考えられる。事実、フェライト部とセメンタイトとの方位関係は Photo. 3 ~ Photo. 6 に示すごとく、Bagaryatskii の関係、すなわち $(100)_c // (110)_\alpha$, $(010)_c // (\bar{1}11)_\alpha$, $(001)_c // (\bar{1}12)_\alpha$ の関係を満たしている。このことからフェライト部の劈開破面 $\{100\}_\alpha$ の三方向にそれぞれ完全に平行なセメンタイトの定まつた結晶面はないことがわかる。したがって、セメンタイトの破面が特定の結晶面で生ずるとすれば、セメンタイトとフェライト粒の境界で破面の方向が変わることになる。これらの詳細な破面の差異についての問題は今後譲り、本報では、より大まかな議論にとどめる。

5. 結 言

高炭素鋼の低温脆性破面と組織の関係を調べるため、0.7% C 鋼を用いて等温変態組織について調査し、衝撃破面との対応を調べた。等温変態組織については、層状パーライト、擬似パーライト、上部ベイナイト、下部ベイナイト、マルテンサイトのそれぞれについて、フェライトの分割、炭化物の形態について調査した。

擬劈開破面は、組織と直接対応させて走査型電顕により観察した。劈開破面の結晶方位は、傾角顕微鏡を用いてファセットピットの結晶方位を測定することにより求めた。その結果、マルテンサイトを除き、変態時に生成される微細なフェライト下部組織は、ある領域内でほとんど同じ結晶方位に揃っており、この領域内の $\{100\}$ 面で破壊が生じている。

このような結果は、前報¹⁾に報告した破面単位概念が高炭素鋼の場合にも成り立つことを示している。変態組織について要約すれば以下のとおりである。

(1) パーライト組織については、最小破面単位はパーライト・コロニーであり、コロニーの内部ではセメンタイトおよびフェライトは、同じ結晶方位関係を有している。しかしフェライト粒の場合と比較す

れば、リバーパターンが複雑であり、これはフェライトの劈開面 $\{100\}$ がセメンタイトの特定面と完全に一致しないためと思われる。近接パーライトコロニーの破面の結晶方位 $\{100\}$ が近い場合には、破面単位は二つ以上にまたがる。

- (2) 上部ベイナイトは微細なラス状のフェライトからなるが、これが集まつて角筒もしくは円筒状にグループを形成し、このグループ内ではラスの結晶方位は、ほぼ同じである。破面単位は、このグループを単位としており塊状である。
- (3) 下部ベイナイトは、微細な板状フェライトが集まり板状のグループを形成している。破面は細長く、破面単位はこの板状集合体からなっている。
- (4) マルテンサイトは、低炭素の場合と異なり劈開面の特徴を示さず、ラス一つ一つが破面単位に対応するようである。これは、ラスが揃った集合を形成しないため、低炭素鋼に比して変態形態 (tetragonality, 晶癖面など) の差異によるものと考えられる。
- (5) 0.7% C 鋼の場合、低温変態組織ではオーステナイト結晶粒界での破壊が優先的に生じている。

おわりに、本研究の発表を許可された、中央技術研究所所長住友元夫博士、ならびに、本実験を通じて有益なご助言をいただいた、中央技術研究所主任研究員、邦武立郎博士、研究員大森靖也博士に深甚なる感謝の意を表する。

文 献

- 1) 寺崎, 大谷; 鉄と鋼, 58 (1972) 2, p. 293
- 2) 邦武, 寺崎, 大谷; 鉄と鋼, 58 (1972) 3, p. 434
- 3) A. BAGARYATSKII; Dokl. Akad. Nauk SSSR, 73 (1950), p. 1161
- 4) Y. OHMORI and R. W. K. HONEYCOMBE; Proc. Int. Conf. Sci. Tech. Iron and Steel, Tokyo (1960)
- 5) Y. OHMORI; Trans ISIJ, 11 (1971), p. 95
- 6) 大森; 鉄と鋼, 57 (1971) 9 掲載予定
- 7) W. PITTSCH; Arch. Eisenhüttenw., 34 (1963), p. 641
- 8) I. V. ISAICHEV; Zhur. Tekhn. Fiziki, 17 (1947), p. 835
- 9) A. M. GRENINGER AND A. R. TORIANO; Trans. AIME, 140 (1940), p. 307
- 10) R. F. MEHL and D. M. Van WINKLE; Rev. Mét., 50 (1953), p. 465
- 11) C. M. WAYMAN, J. E. HANAFEE and T. A. READ; Acta. Met., 9 (1961) p. 391
- 12) A. M. TURKALO; Trans. AIME, 218 (1960), p. 24
- 13) 中島, 荒木; 鉄と鋼, 50 (1970), 4, S 157