



a) Non-ausformed, showing lath boundary precipitation of  $\text{Mo}_2\text{C}$ .  
b) 32% ausformed, showing sub-boundaries and  $\text{Mo}_2\text{C}$  precipitated on them.

Photo. 4. Structure of specimen tempered 50 hrs at  $600^\circ\text{C}$ .  $\times 90,000$  (3/7)

余白に示されるようなマトリックスと針状晶の結晶配向関係がえられた。ただしこの種の関係については、すでに谷野らによる詳細な報告<sup>9)</sup>がある。しかしここで注目すべき点は、写真中にみられるリング状のパターンである。これは  $\text{Mo}_2\text{C}$  からのものであるが、A 試料のみに見られたこのような現象は、転位線上への炭化物の析出がオースフォームによつて促進されることを示すものである。Photo. 4a, 4b は、それぞれ 50hr 焼もどした N 試料と A 試料の組織である。Photo. 4a には、以前マルテンサイトプレートの境界であつた所に析出した粒状  $\text{Mo}_2\text{C}$  がみられる。一方 Photo. 4b には若干の亜粒界がみられるが、その境界上には同様な粒状  $\text{Mo}_2\text{C}$  が析出している。このような亜粒界が沢山存在することはオースフォーム試料の大きな特長であつて、観察された全試料中のいずれにも存在する。亜粒界上への析出は、マルテンサイトプレート境界上への析出と同様に一種の優先析出であつて、いずれの場合も粒状になる点からみて、その析出機構は同じであると考えられる。その生長速度も、Photo. 1 からみてほぼ同程度と判断され、またマトリックス中における針状晶の生長よりはかなり早い。一方針状晶の生長は、N 試料では 20hr 程度でピークに達するのに対し、A 試料ではおそく、そのピークは 20~50 hr の間にあるものと推定される。これは A 試料の場合、亜粒界への優先析出による Mo や C の濃度低下が、N 試

料にくらべて相対的に大きくなるためと考えられる。

以上の点から考えると、オースフォームされた試料中には沢山の亜粒界が形成され、その粒界には粒状  $\text{Mo}_2\text{C}$  の優先析出が起こるために、抽出レプリカには一見均一にみえる炭化物分布が生じたものと思われる。また Photo. 5 にみられる Moire フリンジからみて、この種の境界はいわゆる twist boundary を形成しているものと考えられる。

いずれにしても、オースフォーム鋼にみられるこのような亜粒界構造と、その粒界上あるいは転位上への炭化物の析出は、オースフォームによる鋼の強化機構と密接な関連をもつものと考えられる。

#### 4. 結 言

Fe-Mo-C 合金の炭化物析出におよぼすオースフォームの影響をしらべ、つぎの結論をえた。

直接焼入れ試料では、マルテンサイトプレート境界に粒状  $\text{Mo}_2\text{C}$  が優先析出するのに対し、オースフォーム試料では組織中に多数の亜粒界が形成され、その粒界上に粒状  $\text{Mo}_2\text{C}$  が優先析出するほか、転位上への析出も促進されるので、炭化物の分布状態は前者より著しく良好である。

#### 文 献

- 1) A. J. McEVILY, JR. et al.: Trans. Amer. Soc. Metals, 56 (1963), p. 753
- 2) G. THOMAS, et al.: High Strength Materials, (1964), John Wiley.
- 3) 渡辺, 荒木, 宮地, 安中: 日本鉄鋼協会第72回大会発表(投稿中)
- 4) V. F. ZACKAY et al.: I.S.I. Spec. rep., 76 (1962), p. 14
- 5) J. C. SHYNE et al.: Trans. Amer. Soc. Metals, 52 (1960), p. 346
- 6) Y. HOSOI et al.: *ibid.*, 53 (1961), p. 591
- 7) 谷野, 西田: 日本金属学会第56回大会発表(投稿予定)
- 8) J. J. IRANI and R. W. K. HONEYCOMBE: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 203 (1965), p. 826
- 9) 谷野, 西田, 青木: 日本金属学会誌, 30(1966), p. 894

### Ni-Cr-Mo 鋼の衝撃性質におよぼすマルテンサイトおよびベイナイト組織の影響\*

金属材料技術研究所 中島 宏 興  
東京大学工学部 工博 荒木 透  
Effect of Martensite and Bainite Structures on Impact Properties in a Ni-Cr-Mo Steel  
Hiro-oki NAKAJIMA and Dr. Toru ARAKI

#### 1. 結 言

$M_s \sim M_f$  の低い鋼では、焼入れで完全なマルテンサイ

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 227 昭和42年5月10日受付

Table 1. Chemical composition of sample (%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
0.59	0.29	0.87	0.016	0.008	1.71	0.92	0.47	0.13

ト組織がえられず、かなりの量の未変態オーステナイトをその後の焼もどしによつてベイナイトに変態させることがある。ところで前報りに報告したように、昇温のベイナイト変態では直接のベイナイト変態に比べて、1) ベイナイト組織が非常に微細化される。2) 変態時間をかなり短縮できる。などのためにこのような処理の積極的な利用が考えられる。本報告では、一旦  $M_s$  以下の温度に焼入れた後に昇温して未変態オーステナイトをベイナイトに変態してえられたマルテンサイト+ベイナイト混合組織の衝撃性質を、マルテンサイトのみおよびベイナイトのみの組織と比較検討した。

2. 試料および実験方法

供試鋼は 60 kg 高周波炉で溶解し、分鑄した 20 kg 鋼塊を 20 mm φ に鍛圧した。その化学組成を Table 1 に示す。オーステナイト化は塩浴中で 850°C × 20 min 保持した。マルテンサイトのみの組織は油焼入れ後液体窒素でのサブゼロによつて、ベイナイトのみの組織は直接恒温変態によつてえた。そしてマルテンサイト+ベイナイト混合組織は、 $M_s$  以下の温度に焼入れていろいろな量のマルテンサイトを生成させた後に昇温して未変態オーステナイトをベイナイトに変態させることによつてえた。

衝撃試験片の寸法は V ノッチシャルピーの JIS 4 号試験片の幅を 3 mm にした。そして衝撃値は吸収エネルギー (kg·m) をそのまま用いた。

3. 結果

3.1 恒温変態したままの組織

いろいろな処理で変態したままの組織および各温度に

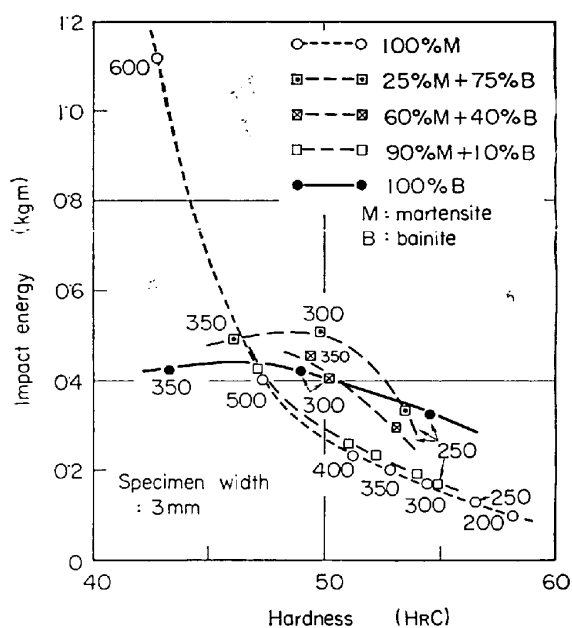


Fig. 1. Influence of microstructures on room temperature impact energy.

焼もどした 100% マルテンサイト組織の硬さに対する常温衝撃値を Fig. 1 に示す。各測定点のそばに付した数字は、恒温変態温度または焼もどし温度を示す。

100% ベイナイト組織では、変態温度の低下とともに硬さは著しく上昇するが衝撃値はあまり低下しない。そして同一硬さの 100% 焼もどしマルテンサイトと比較すると、300°C 以下で生成した下部ベイナイトの衝撃値はかなり高い。昇温焼入れで生成したマルテンサイト+ベイナイト混合組織の靱性は、マルテンサイト量が 60% 程度までは 100% ベイナイトとほぼ同様である。

3.2 焼もどしたときの衝撃性質

各温度に焼もどしたときの常温衝撃値を Fig. 2 に示す。100% ベイナイト組織の衝撃値は、変態温度が 300°C 以上の場合には焼もどしによつて強度が低下してもあまり上昇しないが、250°C の場合には著しく上昇する。Fig. 1 にもみられたように高硬度 (HRC 50 前後およびそれ以上) では、ベイナイトの衝撃値はマルテンサイトよりも高い。しかし HRC 45 以下になると、逆に焼もどしマルテンサイトの方が高くなる。マルテンサイト+ベイナイト混合組織においても、その靱性は一般に変態温度が低いほどすぐれている。そして 100% ベイナイトに比べると靱性はかなり向上しており、とくに変態温度の高い場合にその効果が著しい。そして HRC 40 前後では 100% マルテンサイトとほぼ等しいかまたはややすぐれている。

3.3 衝撃遷移曲線

靱性の評価には常温における衝撃値のみでなく遷移曲線を求めることが望ましい。焼もどし温度を適当に選んで硬さが HRC 43 と一定になるようにしたときの各組織の遷移曲線を Fig. 3 に示す。遷移温度 (平均エネルギー遷移温度) は 100% マルテンサイト組織が最も低く、それに比べて 100% ベイナイトの遷移温度は変態温度 250°C の場合には 15°C、300°C の場合には 65°C だけ上昇している。昇温焼入れで 25% マルテンサイト+75% ベイナイト混合組織にすることによつて、その遷移温度は 100% ベイナイトよりも 300°C 変態の場合に 30°C、250°C 変態の場合に 10°C だけ低下し、後者においては 100% マルテンサイトとほぼ等しくなっている。

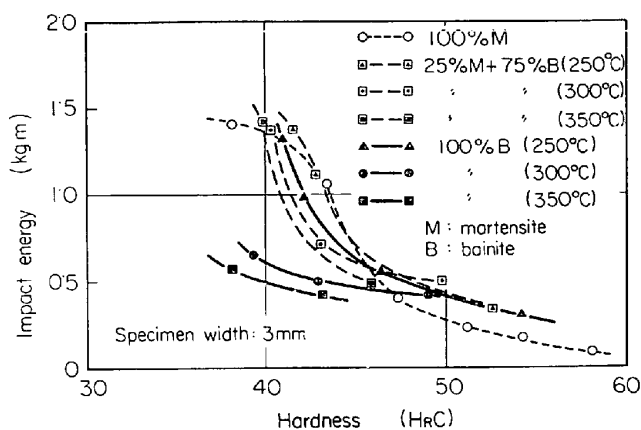


Fig. 2. Influence of microstructures on room temperature impact energy.

## 3.4 衝撃値と破壊様式の関係

Fig. 3 に示すように遷移曲線は組織によつて著しい影響をうけるが、吸収エネルギー値は組織そのものよりもむしろ組織によつてきまる破壊の様式と密接な関係をもっている。

吸収エネルギー値約  $0.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$  以下では、衝撃試験片のマクロ的な破面は試験片の長さ方向に対して垂直な面

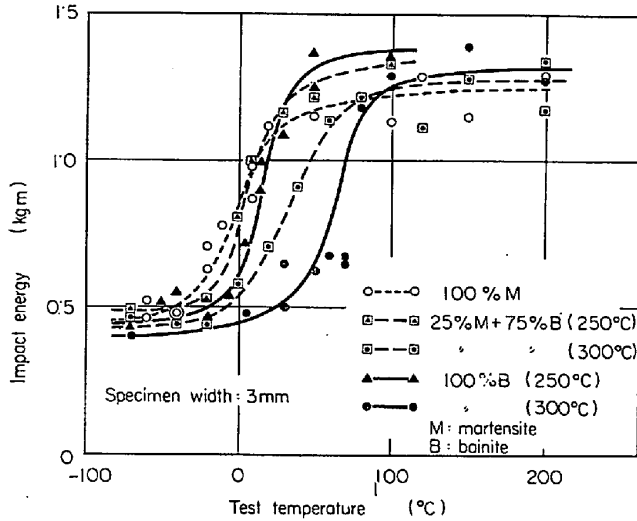


Fig. 3. Transition curves for various microstructures tempered to HRC 43.

のみで、エネルギー値が低いときには比較的平滑でエネルギー値が高くなるにつれて粗くなる。ミクロ的には約  $0.3 \text{ kg}\cdot\text{m}$  以下では元のオーステナイト粒界に沿った粒界破壊が主体であり (Photo. 1 a),  $0.3\sim 0.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$  では擬へき開破壊 (quasi-cleavage fracture)<sup>2)</sup>が主体となる (Photo. 1 b). 約  $0.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$  以上ではマクロ的な破面は試験片の長さ方向に垂直な面のほかに約  $45^\circ$  の角度をなす面が現われる。後者の面の割合は吸収エネルギー値の上昇とともに増加する。ミクロ的には両者の面の破壊様式に著しい相異が認められる。 $45^\circ$  の角度をなす面の破壊は、吸収エネルギー値にあまり影響されずほとんどマイクロボイドの成長による延性的な破壊<sup>3)</sup>である。 (Photo. 1 c). 一方、垂直な面ではエネルギー値の低い場合には擬へき開破壊が主体であるが、エネルギー値の上昇とともにマイクロボイドの成長による破壊の割合が多くなり、約  $0.9 \text{ kg}\cdot\text{m}$  以上ではこの破壊が主体になる (Photo. 1 d).

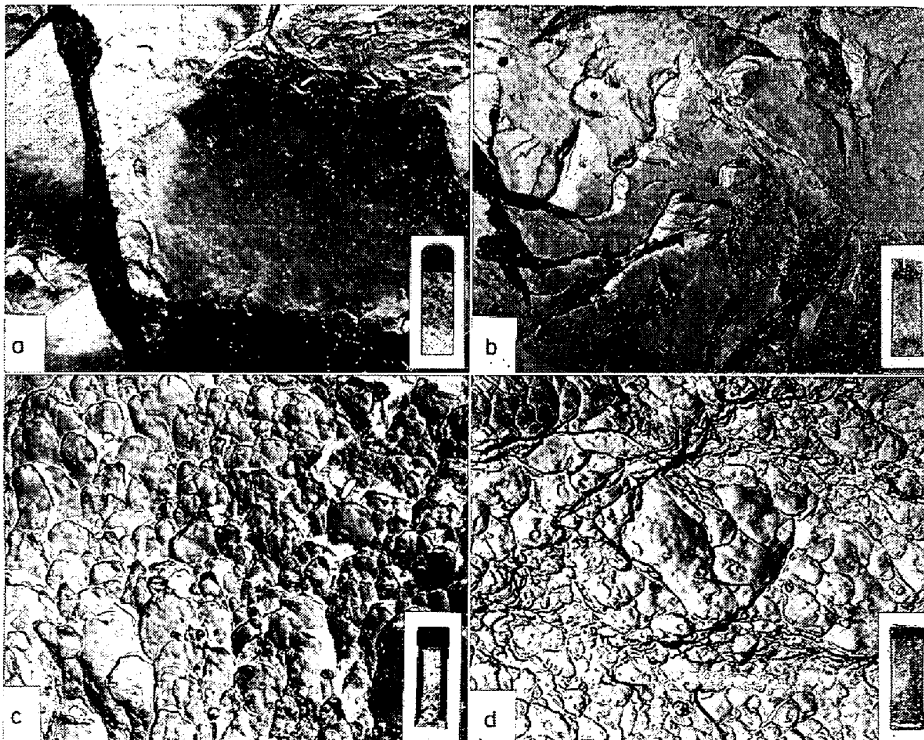
## 4. 考 察

マルテンサイトおよびベイナイトは、焼もどした状態ではフェライト基地中に炭化物が分散した組織である。しかし変態過熱の相異により両者のフェライト基地中における転位の配列状態、炭化物の形状および分布状態には相異があり機械的性質に影響をおよぼしていると考えられる。

非常に高強度の場合 (HRC 50 前後およびそれ以上)、

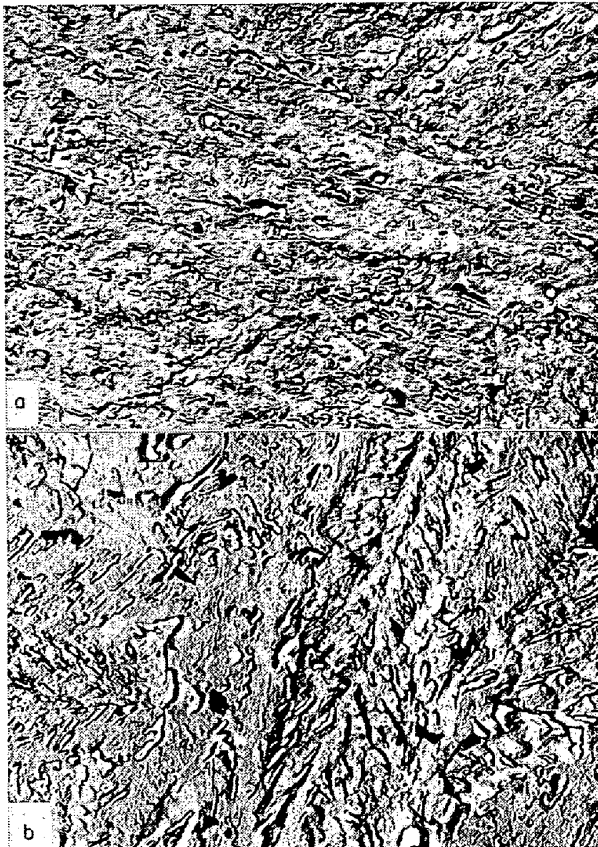
焼もどしマルテンサイトでは元のオーステナイトの粒界に沿った粒界破壊が、そしてベイナイトでは粒内の擬へき開破壊が主体であつた。そしてこのような破壊様式の相異が衝撃値の相異をもたらしたと思われる。高強度のマルテンサイトとベイナイトを同一の硬さにおいて比較した場合、引張強さにはあまり差がないが降伏強さにはかなりの差がある。たとえば  $250^\circ\text{C}$  で生成したベイナイトと  $300^\circ\text{C}$  で焼もどしたマルテンサイトでは、その硬さは  $54.3$  と  $54.4$ 、引張強さは  $208$  と  $215 \text{ kg}/\text{mm}^2$  であるが降伏強さ ( $0.02\%$  耐力) は  $153$  と  $175 \text{ kg}/\text{mm}^2$  である。したがつて同一の硬さであつてもマルテンサイトよりも塑性流動応力の低いベイナイトは延性が大きく擬へき開破壊が多くなり、吸収エネルギー値が大きくなつたと考えられる。

焼もどしによつてある程度強度が低下した場合には、同一硬さのマルテンサイトとベイナイトはほぼ同一の降伏強さおよび引張強さを示す。しかし両者の炭化物の形態にはかなりの差が認められた。Photo. 2 に HRC 43 に焼もどし



a : Intergranular fracture ( $0.16 \text{ kg}\cdot\text{m}$ )  
 b : Quasi-cleavage fracture ( $0.44 \text{ kg}\cdot\text{m}$ )  
 c : Shear-rupture dimples on a fracture surface oriented about  $45^\circ$  from the longitudinal direction of specimen ( $0.72 \text{ kg}\cdot\text{m}$ )  
 d : Equi-axed dimples on a fracture surface oriented vertical to the longitudinal direction of specimen ( $1.35 \text{ kg}\cdot\text{m}$ )

Photo. 1. Fractographs of tempered martensite and tempered lower bainite, broken by impact. Germanium shadowed two-step carbon replica. a $\times 3000$  b $\times 6000$  c, d $\times 10,000(2/3)$



a : Martensite tempered at 600°C  
b : Bainite formed at 300°C and tempered at 550°C

Photo. 2. Microstructures tempered to the same hardness H<sub>R</sub>C 43. ×10,000(2/3)

たときの両者の組織を示す。マルテンサイトの炭化物は非常に微細で球状化しているものが多い (Photo. 2 a)。250°C で生成したベイナイトの炭化物もほぼ同様でかなり球状化しているが、300°C で生成したベイナイトでは、ベイナイト葉内部で一定の角度をなして析出した細長い板状の炭化物が球状化不十分でそのままの形状をなしているものかなり観察される (Photo. 2 b)。このように下部ベイナイトでもその炭化物が球状化せずに板状をなしている場合には、応力集中をうけ脆化を起しやすく<sup>4)</sup>遷移温度を上昇させると考えられる。

フェライト基地中に炭化物が微細に分散した状態では、その機械的性質にはマルテンサイトやベイナイト自身の結晶粒度よりも炭化物粒子の形状や分布状態がより大きな影響をおよぼすと考えられる。昇温焼入れでマルテンサイト+ベイナイト混合組織にすることによってベイナイトのみの組織より靱性が向上したのは、先行のマルテンサイトによるベイナイト結晶粒の微細化そのものよりはそのことによって炭化物の析出が微細になったためと考えられる。ただ、本鋼の本実験における条件ではもともとベイナイトよりも靱性のすぐれたマルテンサイトが 25% 混在しているための効果が重複して現われていると考えられる。

## 5. 結 言

0.6% C-Ni-Cr-Mo 鋼の衝撃性質におよぼすマルテンサイトおよびベイナイト組織の影響を調べつぎの結果をえた。

(1) ベイナイトの靱性は変態温度の低下とともに著しく向上する。

(2) 高強度では (H<sub>R</sub>C 50 前後およびそれ以上)、低温で生成したベイナイトおよび昇温焼入れによるマルテンサイト+ベイナイト混合組織の靱性は焼もどしマルテンサイトよりもすぐれている。

(3) 焼もどしによつて強度が低下した場合には (H<sub>R</sub>C 45 以下)、250°C 以上で生成した焼もどしベイナイトの遷移温度は同一硬さの焼もどしマルテンサイトよりも高い。昇温焼入れでマルテンサイト+ベイナイト混合組織にすることによつてその靱性はベイナイトのみの組織よりもかなり改善され、変態温度が 250°C の場合には焼もどしマルテンサイトとほぼ等しくなる。

## 文 献

- 1) 中島, 荒木: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 1621
- 2) C. D. BEACHEM: Trans. Amer. Soc. Mech. Eng., J. Basic Eng., 87 (1965), p. 299
- 3) C. D. BEACHEM: Trans. Amer. Soc. Metals, 56 (1963), p. 318
- 4) 横堀: 材料強度学, (1955), p. 77 [技報堂]
- 5) T. YOKOBORI: J. Appl. Mech., 24 (1957), p. 77

## 鋼のオーステナイト結晶粒度におよぼす熱処理の効果について\*

神戸製鋼所, 中央研究所

鈴木 章・木下修司・伊藤孝道・上田武司

Effect of Heat Treatments on the Austenitic Grain Size of Steels

Akira SUZUKI, Shushi KINOSHITA  
Takamichi ITO and Takeshi UEDA

## 1. 緒 言

通常、鋼のオーステナイト結晶粒度を調整するために Al の添加が行なわれているが、この Al 添加によるオーステナイト結晶粒度の微細化には AlN の析出粒子が大きな役割を果たしていることが知られている<sup>1)</sup>。そのために鋼の加工、熱処理工程における結晶粒度の変化を AlN の挙動と結びつけて理解しようとする試みがなされている<sup>2)3)</sup>が、その関係はきわめて複雑で十分理解しがたい。

本研究では、とくに前処理とオーステナイト結晶粒の粗大化温度の関係を AlN の析出量、析出状態との関係において明らかにするために、電子顕微鏡による AlN の観察ならびに化学分析による AlN 量の分析を通じて各種の前処理と粗大化温度の関係について考察してみた。

## 2. 供試材および実験方法

供試材は Table 1 に示す Al 量の異なつた 2 種類の Cr-Mo 鋼で、いずれも 100kVA 塩基性高周波炉で溶製後熱間圧延によつて 25 mm φ に仕上げた。なお、両供試材の変態点はいずれも  $A_{c1}=755^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{c3}=845^{\circ}\text{C}$  (3°C/min にて加熱) である。

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 195 昭和42年5月18日受付