

(246) オースフォーム鋼の強化機構とマルテンサイト変態の特異性について

金属材料技術研究所 ○渡辺 敏
 東京大学工学部 工博 荒木 透
 金属材料技術研究所

宮地 博文・安中 嵩

Strengthening Mechanism and an Unique Feature of Martensitic Transformation of Ausformed Steel

Satoshi WATANABE, Dr. Tōru ARAKI
 Hirobumi MIYAJI and Takashi YASUNAKA

1. 緒 言

合金鋼を準安定オーステナイト域で加工後焼入れると、著しく強化されるが、この処理はオースフォームとしてよく知られている。SHYNE¹⁾らは、本法によつて処理された鋼のマルテンサイト葉が微細化することをあげて、強化の理由とした。また KELLY²⁾らは、オースフォームするとマルテンサイト組織中に双晶欠陥が発生し、これが強化の主原因であると主張した。しかし後になつて、双晶欠陥の発生はオースフォームとは関係なく、一般に積層欠陥エネルギーの高い鋼のマルテンサイト中にしばしば観察されることがわかり、この説は否定的となつた。McEVILY³⁾は、オースフォームされた鋼はオーステナイト状態ですでに微細な合金炭化物を析出しているものと予想し、3%Ni-3%Mo-0.2%C 鋼を加工後その温度に保持した場合、5hr 後に Mo₂C が同定されることを示した。しかし加工直後での同定には成功しなかつた。最近 THOMAS⁴⁾はオーステナイト鋼について特殊な暗視野像法により、このような合金炭化物の存在を示した。しかし彼らの方法は像の流れを防ぐために電子銃を傾け、回折ビームを視野の中心にもつてきているのでこの場合明視野像と暗視野像のコントラストは必ずしも対応しない。

一方田村ら⁵⁾によると、オースフォームされた鋼のマルテンサイト組織中における転位密度は、通常処理のものにくらべて著しく増加しており、この事実は、加工を受けたオーステナイト中に発生した転位が、何らかの機構をへてマルテンサイト中に受けつがれることを示唆するものである。VENABLE⁶⁾は、積層欠陥エネルギーの低い鋼がマルテンサイトを生ずる際には六方晶のε相を經由して変態することを示し、茨木ら⁷⁾はこの現象をもとにし、オースフォーム鋼の転移の継承に対して考察を加えた。

本研究では、高温での加工によりオーステナイト中に導入された多数の転位線あるいはその近傍に、特殊炭化物が微細に分散析出し、これが変態応力にもとづく転位の拡張を阻止してマルテンサイト中への継承を可能にすることを示す。

2. 試料および実験方法

普通オースフォームを行なつた鋼は常温まで冷却する途中でマルテンサイトに変態するが、オーステナイト中における変化を直接しらべる目的で、焼入れ状態で完全

Table 1. Chemical compositions of specimen(wt%).

C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S
0.26	17.00	6.90	1.99	0.87	0.49	0.002	0.006

にオーステナイト組織を有する Table 1 のような実験鋼を真空溶解によつて溶製した。

試料は厚さ 15 mm, 幅 20 mm の細長い角棒とし、これをアルゴンとともに石英管中に封入して 1100°C, 1hr の溶体化処理を行なつた。試料を取り出して空冷後、あらかじめ 550°C に予熱された電気炉に挿入し、10 min 保持してから 500 t プレスによつて加工を加えた。ダイスは約 200°C に予熱し、また加工時間は 10 sec 以内であつたので、加工温度はほぼ一定に保たれたと考えられる。加工後試料はすみやかに水冷された。また比較のために直接焼入れた通常試料も同時に作製した。

これらの試料から金属薄膜を作り、透過電子顕微鏡法により内部微細組織を観察した。次に試料をサブゼロしてマルテンサイトに変態させようとしたが、かなり安定で十分な変態を起こすことができなかつたので、冷間圧延によつて変態させ、その挙動を追求した。

3. 結果および考察

焼入れ組織は通常試料もオースフォーム試料もいずれもオーステナイト単相であつたが、微細組織は著しく異

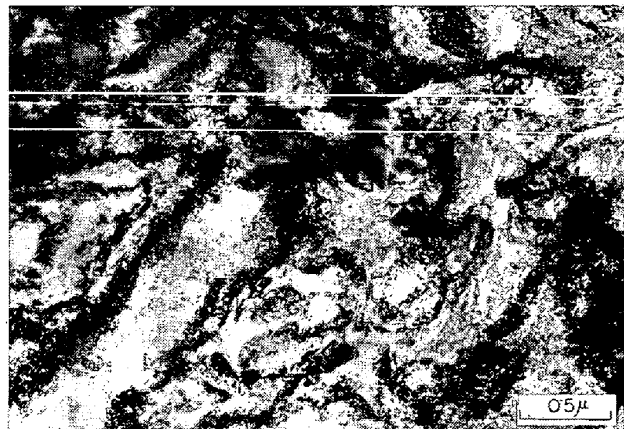


Photo. 1. Structure of 72% deformed austenite at 550°C.

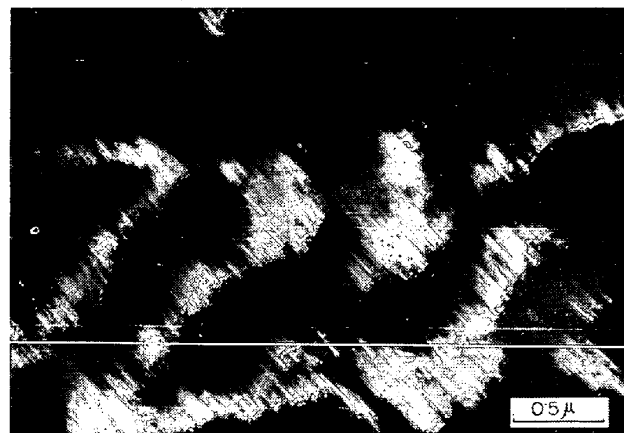


Photo. 2. Dark field image from Photo. 1.

なる。すなわち前者は双晶とわずかの転位を含む典型的なオーステナイト組織であるが、72%オースフォーム鋼では Photo. 1 に示すごとく複雑な形状をもつきわめて高密度の転位が全面にわたって発生している。この部分の電子回折にあらわれるオーステナイト以外のスポットから暗視野像を作ると、Photo. 2 に示すように、転位線上にあるいはその近傍に、直径 50~100Å 程度の非常に微細な析出物が析出していることが分る。これらの析出物は、同定の結果 MoC あるいはそれに類似の遷移炭化物であることが示された。さらにこれらの析出物は、Photo. 2 から明らかなように粒子状を呈し、しかもその回折パターンがリング状になっていることから考えて、その大きさが 50Å 程度の小さな析出物であるにもかかわらず、マトリックスとは不整合な状態にあると考えられる。

なお格子常数の変化を測定し、72%加工の場合オーステナイトの格子常数が 3.60074Å から 3.5979Å に減少することを確かめた。これはオースフォームにより、マトリックス中から析出が起こることを示す実験事実の 1 つである。

次にこれらの焼入れ試料を 0~40%冷間圧延した場合の硬度変化を Fig. 1 に示した。通常試料では約10%までの冷間圧延により次第に硬度が増大する。これは主としてオーステナイトの加工硬化にもとづくものと考えられるが、一方 72% オースフォーム鋼では 5% までは硬度は変化せず、それ以上の圧延率で急激に硬化する。これはマルテンサイトの発生によるものと考えられる。そこで両圧延試料につきマルテンサイトの発生量をしらべた結果、オースフォーム試料中における発生量は通常試料のものにくらべてきわめて大きく、20%圧延の状態では前者が約 72% であるのに対し、後者は 20% 程度にすぎなかった。

Photo. 3 は 10% 圧延した通常処理鋼の組織であつて、多数の積層欠陥フリンジがみられる。このような積層欠陥は 3% の圧延でもすでに発生するが、10%以上では次第に集合して ϵ 相を形成する。したがつてこの場合

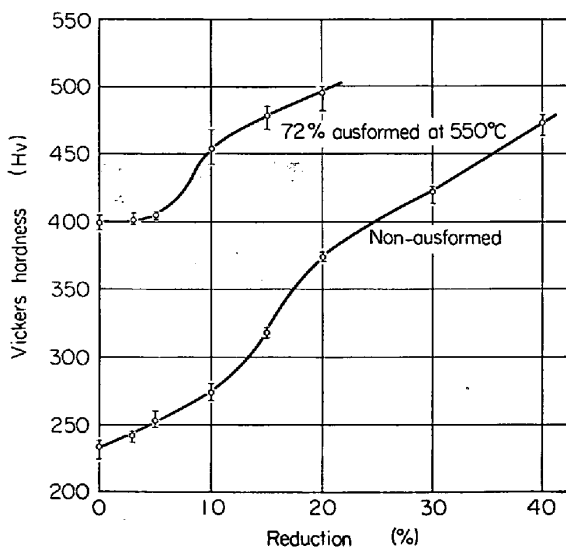


Fig. 1. Hardening characteristics with cold working.



Photo. 3. Stacking faults caused from 10% cold working for non-ausformed specimen.

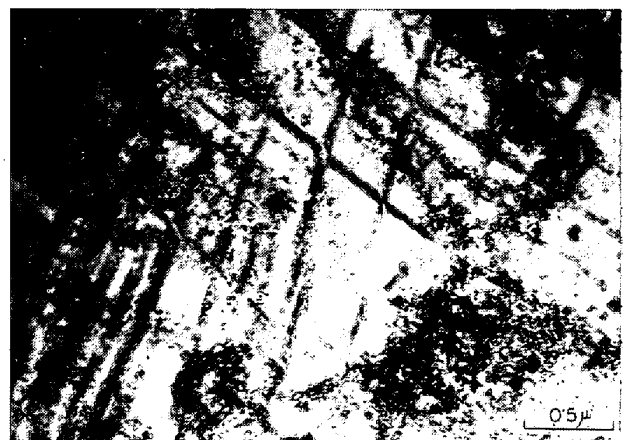


Photo. 4. Martensite bands caused from 5% cold working for ausformed specimen.

のマルテンサイト変態は、前記 VENABLE の提唱した機構によつて生ずるものと考えられるので、あらかじめオーステナイト中に存在するかあるいは変態応力によつて生じた転位は拡張によつて消耗され、マルテンサイト中への継承は行なわれえないものと考えられる。

Photo. 4 は 72% オースフォームした試料を 5% 冷間圧延した場合の組織で、オーステナイトの $\{111\}$ 面にそうとみられる黒い直線状のバンドが生じている。電子回折の結果、この部分は冷間圧延によつて発生したマルテンサイトであることがわかつた。また通常試料にみられるような積層欠陥や ϵ 相は認められなかつた。このことから、オースフォームした試料ではオーステナイトから直接マルテンサイトに変態したものと考えられる。この場合転位は微細な析出炭化物の固着作用により拡張が阻止され、そのままマルテンサイト中に継承されることにより鋼の強化が達成されるものと思われる。

転位の拡張は、その周辺に存在する別の転位からの応力場によつても影響を受けると考えられるが、この場合必ずしも排力だけを受けてその拡張が阻止されるとは限らず、またオースフォームの効果は炭素や炭化物形成元素が存在しなければあらわれにくい点などを考えると、拡張を強力に阻止する因子は、オースフォームの間に形成される微細な合金炭化物であると思われる。

4. 結 言

常温でオーステナイト組織を有する鋼をオースフォームしてその組織を観察し、次にこれを冷間圧延してマルテンサイト変態の挙動を追求することにより次の結果を得た。

(1) オースフォームを行なうとオーステナイト中に多数の転位が導入され、またこれら転位線上あるいはその近傍に微細な合金炭化物が析出してこれを強力に固着せしめる。

(2) 通常処理の鋼は圧延を行なうことにより積層欠陥やε相を生じ、これらを経由してマルテンサイト変態を行なうが、オースフォームした鋼はオーステナイトから直接マルテンサイトに変態した。これは微細な合金炭化物により転位の拡張が抑制されるためであつて、このような機構によりマルテンサイト中への転位の継承が起こることが示された。

文 献

- 1) J. C. SHYNE, V. F. ZACKAY and D. J. SCHMATZ: Trans. Amer. Soc. Metals, 52 (1960), p. 346
- 2) P. M. KELLY and J. NUTTING: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 194 (1961), p. 199
- 3) A. J. McEVILY Jr., R. H. BUSH, F. W. SHALLER and D. J. SCHMATZ: ASM Trans. Quart., 56 (1963), p. 753
- 4) G. THOMAS, et al: High Strength Materials, (1964) John Wiley
- 5) 田村, 吉村, 茨木, 多賀谷: 日本金属学会誌, 27 (1963), p. 206
- 6) J. A. VENABLE: Phil. Mag. 7 (1962), p. 35
- 7) 茨木, 吉村: 日本金属学会誌, 29(1965), p.1171

一 討 論

〔質問〕 八幡技研 吉村博文

1. Moが入っていない時の $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha$ についてどう考えるか。
2. オースフォームしたものについてεは認められなかつたか。

〔回答〕

1. オースフォームによる強化作用は炭化物形成傾向の強い置換型固溶元素の拡散によつて律速され、Moはオースフォームの間におけるオーステナイト中の拡散速度が他の元素にくらべて大きいので、有効な元素とされている。しかし、たとえMoが存在しなくてもCr炭化物の生成によりε相の発生は抑制されると思われるので、やはりオースフォームの効果は出てくるものと考えられる。すでにFe-Ni合金のように強力な炭化物形成元素の存在しない鋼でも、炭素が入つていれば強化作用のあることが知られている。したがつて強化作用に対して本質的に重要な元素は炭素であると思われる。オースフォームによつて発生した多数の転位と炭素の相互作用は高温のために促進され、強力なCottrell atmosphereを形成して転位を固着するが、炭化物形成元素であるMoは、この固着作用を強化するのに役立つものと考えられる。

2. オースフォームした数個の試料についてその透過

電顕像を詳細に観察し、また約10枚の写真を撮影したが、いずれの場合もε相と考えられる組織は見当たらなかつた。通常処理鋼の冷間加工組織には積層欠陥エネルギー(S.F.E.)の低い鋼に特有の転位配列が認められたが、一方高温加工を受けたオースフォーム鋼ではあたかもS.F.E.の高い鋼と同様の挙動を示し、オーステナイト中に多数のセル組織が観察された。これは転位がcross slipしたことを示すもので、高温では転位が拡張しにくいことの間接的証拠と考えられる。S.F.の幅は温度によつて影響されるもので、薄膜中に存在するS.F.の幅が温度の上昇に伴つて減少するという結果が報告³⁾され、またステンレス鋼は常温で加工するより-80°C位の低温の方がS.F.が発達しやすいことはよく知られている。また以上のことから、常温で加工してもオースフォームの効果は生じないと考えられる。

文 献

- 1) G. THOMAS, et al: High Strength Materials, (1964), John Wiley
- 2) 茨木, 吉村: 日本金属学会誌, 29(1965), p.1171
- 3) E. VOTAVA: J. Inst. Metals, 90 (1961), p.129

(247) オーステナイト結晶粒度現出方法に関する考察

神戸製鋼所

阿部 良一・○東 松三郎

Aspects on the Method of Revealing the Austenite Grain Size in Steels

Ryoichi ABE and Matusaburo HIGASHI

1. 緒 言

鋼材のオーステナイト結晶粒度はJISに規定された熱処理粒度試験方法、浸炭粒度試験方法に沿つて測定されているが、熱処理粒度試験方法については徐冷法、2回焼入れ法、焼入れ焼戻法、一端焼入れ法、酸化法の5種類の現出方法があり、その内徐冷法以外は調質を対象とした鋼材の粒度測定に適用され、この場合オーステナイト結晶粒界現出の困難さが多分にあるため種々の方法が取り上げられているものと思われる。そこで熱処理粒度現出方法におけるオーステナイト結晶粒界現出性と結晶粒度測定差について検討し、さらに簡便な現出方法を見いだすべく検討を行なつた。合わせて浸炭粒度におよぼす浸炭後の冷却条件の影響について検討した。

2. 熱処理粒度各現出方法における粒界現出性と現出方法間の結晶粒度測定値差

2.1 供試材と実験方法

Table 1に示す炭素強靱鋼 S45C と低合金強靱鋼 S CM 4 各3溶製材について110φより15mmφに鍛造したものを供試材とし、徐冷法、2回焼入れ法、焼入れ焼戻法、一端焼入れ法、酸化法の5つの現出方法についてオーステナイト化条件を850°C/1hr一定とし、規定の熱処理および腐食を行なつた。なお2回焼入れ法における2回目の一端焼入れ条件は750°C/20minとした。

2.2 実験結果

1) オーステナイト結晶粒界現出性

規定の粒界現出条件下で酸化法の粒界現出性は良好で