

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*

金属材料技術研究所 渡辺 敏
 東京大学工学部 工博 荒木 透
 東京都工業奨励館 藤木 栄

Effect of Ausforming on the Carbide Precipitation of Fe-Mo-C Alloy

Satoshi WATANABE, Dr. Toru ARAKI
 and Sakae FUJIKI

1. 緒言

炭素および炭化物形成元素を含む鋼をオースフォームすると、一般に著しい強度の上昇を示す。一方炭素を含まない鋼ではオースフォームの効果は顕著でなく、またこの場合ほかの合金元素の含有量にもあまり依存しない。このような事実は、オースフォームによる強化機構が炭化物の形成と密接に関連していることを示すものである。McEVILYら¹⁾および THOMASら²⁾は、加工オーステナイト中から直接微細な合金炭化物が析出することを示唆し、これらの炭化物が強化の主原因であると考えた。

すでに筆者らは常温でオーステナイト組織を有する Fe-Cr-Ni-Mo-C 合金をオースフォームしてその微細組織をしらべ、転位線上に析出した MoC と考えられる微細な炭化物を確認³⁾した。

一方オースフォーム鋼の焼もどし過程については、硬さ⁴⁾あるいは引張強さに関する研究⁵⁾⁶⁾があるが、焼もどしにともなう炭化物の析出挙動については、まだ不明の点が多いように思われる。

本研究は、Fe-Mo-C 合金についてオースフォームした場合の炭化物の析出挙動をしらべたものである。Mo 合金の直接焼入れ焼もどしにおける析出過程についてはすでに谷野ら⁷⁾、HONEYCOMBEら⁸⁾、そのほか多くの人々による研究が報告されているが、オースフォームの影響については明らかでないので、析出挙動におけるその差異をしらべることにより、本処理による鋼の強化機構に対して新しい見解をえようと試みたものである。

2. 試料および実験方法

試料は電解鉄、金属モリブデン、フェロカーボンを原料とし、真空溶解によつて溶製した。インゴットは重量 7.5 kg で、これを 1050°C に 1 hr 保持して鍛造後、厚さ 10 mm、幅 25 mm のピレットに圧延した。オースフォーム用の素材として上記ピレットを 5×20×150 mm に加工し、これを石英管中にアルゴンガスとともに封入して、1100°C、1 hr のオーステナイト化処理を行なつた。ついで管を割つて素材をとり出し、大気中で急冷後あらかじめ 550°C に予熱した炉中に 3 min 保持してから、プレス加工によつて平均 32% の圧下をあたえた。だちに水中に焼入れた。また比較のために、直接焼入れの試料も作製した。

Table 1 に試料の化学成分を示す。

これらの試料を 600°C で種々の時間焼もどし、その間における変化を、硬さ測定、抽出レプリカ、ならびに薄膜透過観察などによつてしらべた。

Table 1. Composition of sample (wt%).

C	Mo	Mn	P	S	ΣN
0.29	4.95	N. D.	0.001	0.008	0.0018

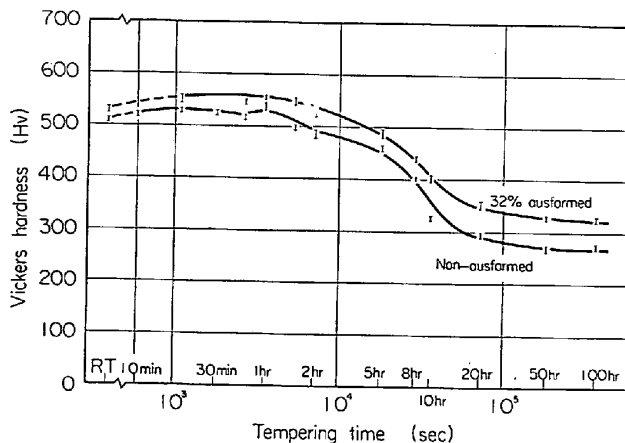


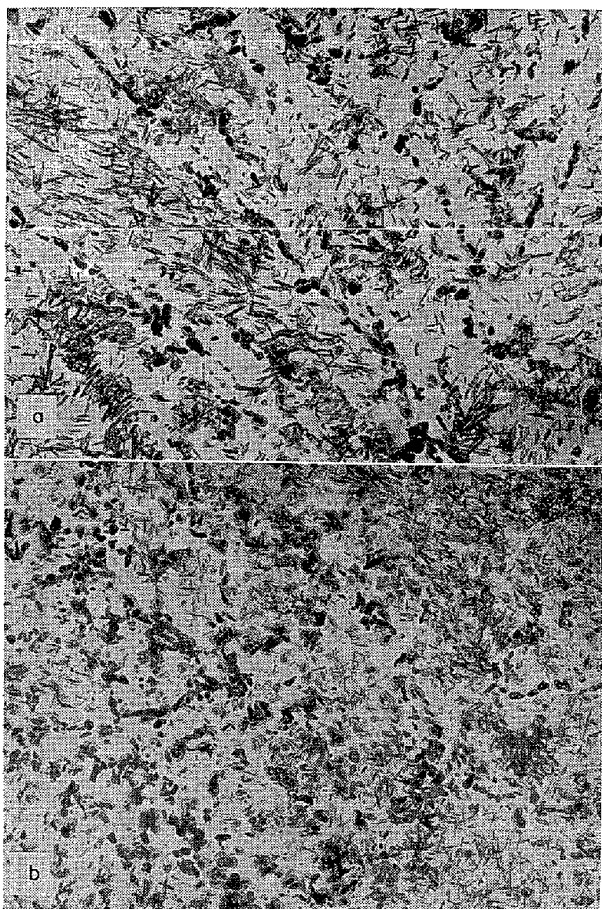
Fig. 1. Isothermal tempering-hardness curves for Fe-Mo-C alloy at 600°C.

3. 結果および考察

Fig. 1 は 600°C で 100hr まで焼もどした場合の、直接焼入れならびにオースフォーム試料の硬さの変化を示したものである。両者の硬度差は Hv 20 程度で当初予想していたほどではなかつたが、長時間焼もどし後においてもオースフォームの効果はなお顕著であり、硬度差もむしろ増大する傾向を示す。

つぎに上記硬さ曲線を考慮しながら焼もどしの各段階で抽出レプリカを作製し、電子顕微鏡でこれを観察した。30 min の焼もどし後、直接焼入れした試料（以下 N 試料と略記）には析出物と考えられる雲状微粒子が全面にわたつて抽出され、それに対応する電子回折像にも少なくとも 3 コのリングが認められた。しかしこのリングから析出物を同定することはできなかつた。一方 32% オースフォームした試料（以下 A 試料と略記）では、上記雲状析出物のほかにはつきり区別できる小さな粒状析出物が比較的均一な分布をなして存在し、その回折像には前記リングのほか Mo₂C のリングが一部認められた。N 試料で Mo₂C の回折リングが認められるのは 1.5~2hr 後であるが、これに対応してレプリカには A 試料で認められたのと同様な粒子が、マルテンサイトプレート境界にそつて析出しはじめているのがみられた。一方 A 試料では、析出粒子は均一分布ないしはある種のブロック状境界にそつていように見える。5hr の焼もどし後には両試料とも初めてマトリックス中に微細な Mo₂C の針状晶を認めうようになるが、その寸法は A 試料の方が小さい。8hr 後には両試料とも粒状ならびに針状晶の析出が進行するが、N 試料ではこの段階で前述の雲状析出物に対応する回折リングが完全に消失して Mo₂C のリングのみになるのに対し、A 試料ではまだかすかに残存する。Photo. 1 に 20hr 焼もどしの場合の両試料の抽出レプリカを示す。N 試料ではマルテンサイトプレートの境界にそつて析出した粒状析出物の配列がなお明瞭にみとめられ、マトリックス中には生長した Mo₂C の針状晶が

* 第73回講演大会にて発表 講演番号 229 昭和42年5月10日受付



a) Non-ausformed, b) 32% ausformed

Photo. 1. Carbon extraction replicas for specimen tempered at 600°C for 20 hrs.

×30,000 (1/2)

みられる。これにくらべて、A試料では粒状析出物は外見上均一な分布をなしているが、詳細にみるとブロック状の境界にそつて析出していることがわかる。また針状晶の分布も均一で、その寸法もまだかなり小さい。50hr後にはN試料では針状晶の密度がやや減少し始め、寸法も小さくなるのに対し、A試料では生長が進み、また針状晶の方向がブロックごとにやや異なつてゐるのが観察された。100hr後には、両試料とも針状晶が凝集粗大化する傾向を示す。

レプリカ中に観察された粒状析出物を同定するため、N試料についてのみ電解残渣のX線回折を行なつた。その結果、粒状析出物もまた針状晶と同様Mo₂Cであることが確かめられた。ただし残渣中には常にM₆Cが共存しているが、これは焼入れ試料にも存在しており、したがつて未溶解炭化物であると思われる。

なお焼もどしにともなう格子常数の変化を測定したが、A試料はN試料にくらべてa軸が焼もどしの全域にわたつて0.002Å程度小さいほかは、大体同様な変化を示した。すなわち、両試料とも5hrまでの間に格子常数は急激に低下するが、8~10hrの所でやや膨張に転じふたたび減少してから以後あまり変化しなくなる。

つぎに電子顕微鏡による薄膜の透過観察を行なつた。N試料では抽出レプリカに対応してマルテンサイトの境界に粒状Mo₂Cが認められるほか、焼もどしが5hr以上

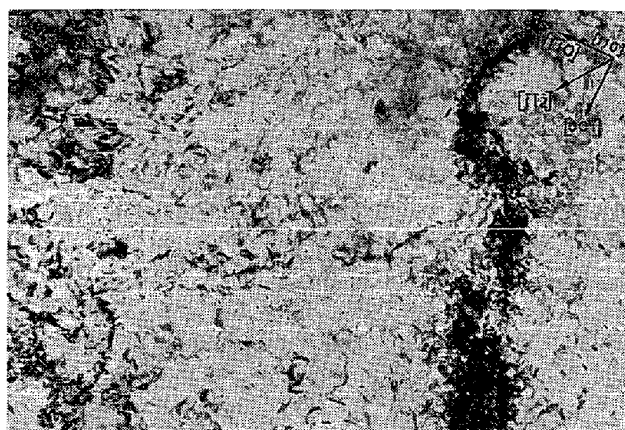
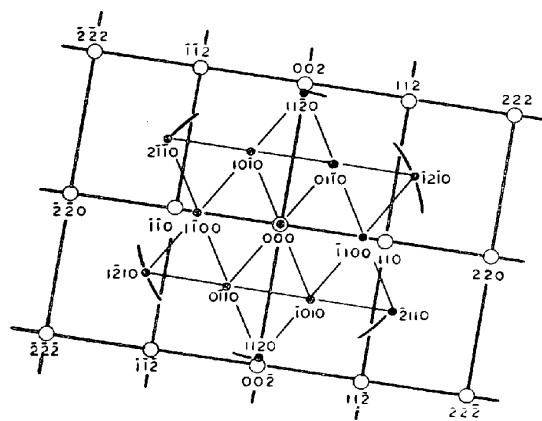
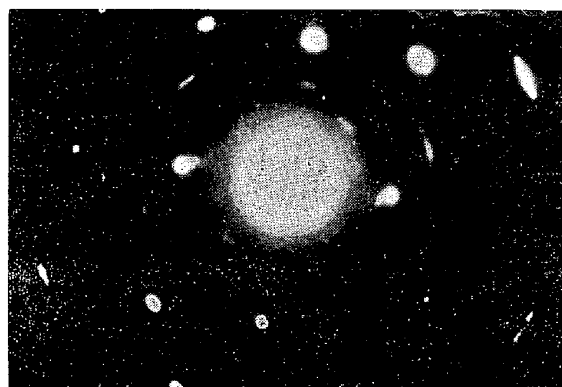


Photo. 2. Structure of ausformed specimen tempered 8 hrs at 600°C showing precipitation of Mo₂C at dislocations.

×90,000 (3/7)

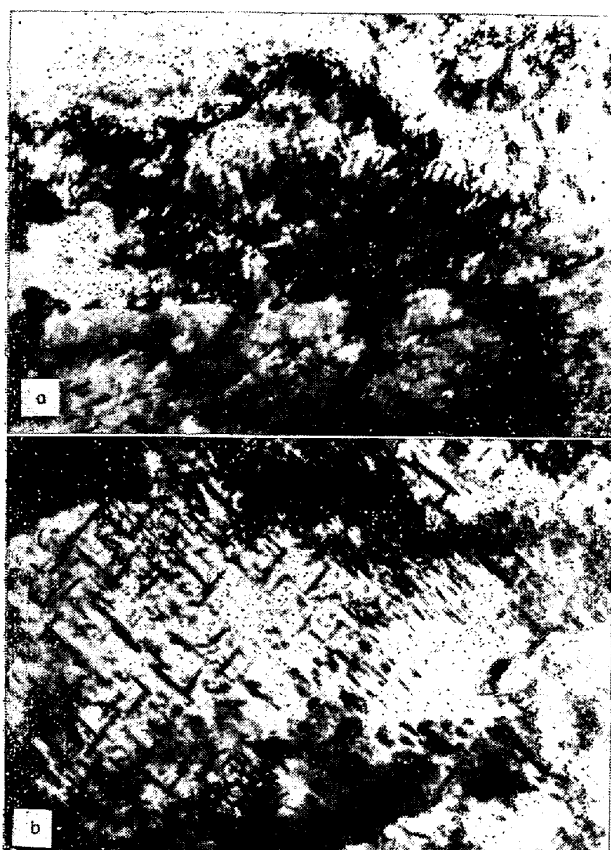


$$(0001)_{\text{Mo}_2\text{C}} \parallel (110)_{\alpha}$$

$$[11\bar{2}0]_{\text{Mo}_2\text{C}} \parallel [001]_{\alpha}$$

Photo. 3. Diffraction pattern from the structure in Photo. 2 showing some arcing due to Mo₂C at dislocations.

の場合には、マトリックス中における針状Mo₂Cが明瞭に観察された。Photo. 2は600°Cで8hr焼もどしたA試料の組織の1例を示す。試料面は(110)で、この場合針状晶の析出は明瞭でないが、転位線にそう多くの析出物が認められる。Photo. 3はその回折写真で、これから



a) Non-ausformed, showing lath boundary precipitation of Mo_2C .
b) 32% ausformed, showing sub-boundaries and Mo_2C precipitated on them.

Photo. 4. Structure of specimen tempered 50 hrs at 600°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⁹⁾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 Mo_2C からのものであるが、A 試料のみにもみ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 Mo_2C 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 Mo_2C 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 Mo_2C 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 Mo_2C 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 Mo_2C 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