

準安定オーステナイト領域で中間保持後恒温変態した 構造用合金鋼 (SNCM-439) の電子顕微鏡観察*

森山 実**・小林 義一***・片山 修一****

1. 緒 言

筆者らは、構造用合金鋼の恒温変態曲線 (S 曲線) が熱処理によりどのように変化するかについて一連の研究を行っており、すでに Ni-Cr-Mo 鋼について、オーステナイト化後、準安定オーステナイト領域で等温保持することにより、S 曲線のパーライト、上部ベーナイトおよび下部ベーナイト各領域の恒温変態がどのように変化するかについて報告した⁽¹⁾。今回は、さらに、透過型および走査型電子顕微鏡を用いて組織観察を詳細に行ない、ミクロな見地から考察を加えたので、その報告をする。

2. 試料と実験方法

2-1 試料

市販されている直径 19mm の Ni-Cr-Mo 鋼 (SNCM-439) の丸棒を、熱間鍛造で直径約 8mm に加工し、その後 850°C で 30 分間焼なまししてから直径 5mm 長さ 5mm に丸削りして試料とした。試料の化学分析値は、C 0.40, Si 0.26, Mn 0.67, P 0.020, S 0.021, Ni 1.74, Cr 0.89, Mo 0.17% (重量%) である。

2-2 実験方法

図 1 に示すように、試料を電気炉で 850°C、30 分間加熱してオーステナイト化後、速かに 550°C にあらかじめ調整してある鉛浴に入れて 0~4,000 秒の種々の時間中間保持し、さらに 650°C、450°C および 300°C の各々の温度に調整してある鉛浴に直ちに移動して恒温変態させ、所定時間経過後 2°C の水に焼入れした。中間保持時間としては、0, 40, 100, 400, 1,000 および 4,000 秒の各時間とし、恒温変態時間は 10 秒から 4,000 秒までの対数的にはほぼ等間隔な時間を選定した。

以上の処理を施した試料について光学顕微鏡組織を調べ、各変態温度での析出物の割合を線

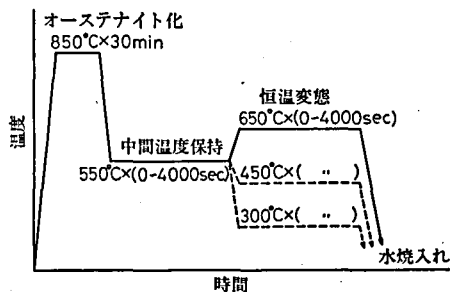


図 1 実験方法

* 昭和58年12月 日本金属学会北陸信越支部学術講演会に発表

** 機械工学助手

*** 機械工学科助教授

**** 機械工学科教授

原稿受付 昭和59年9月27日

分析法によって求め、析出開始時間（1%析出）と終了時間（99%析出）を決定した。さらに微細組織の変化を詳細に調べるため、一部の試料について日本電子製T-200型走査電子顕微鏡および同社製100-C型透過電子顕微鏡による組織観察を行なった。組織観察を行うための電解エッチング条件は、先の報告⁽¹⁾と同じである。

3. 結 果

Ni-Cr-Mo 鋼を850°Cで30分間加熱してオーステナイト化後、直ちに550°Cで0~4,000秒の種々の時間中間保持してから、650°C、450°Cおよび300°Cで恒温変態したときの変態に

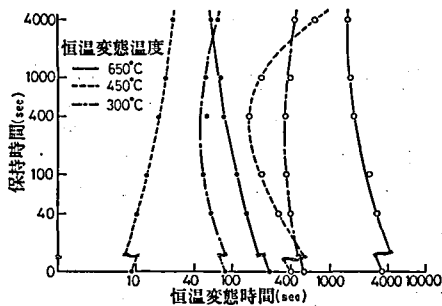


図2 オーステナイト化後550°Cで0~4,000秒の種々の時間保持した後、650°C、450°Cおよび300°Cで恒温変態したときの析出開始点と終了点の変化。

ともなり析出開始点および析出終了点の変化を図2に示す。550°Cで中間保持しない場合の析出開始点および終了点と比較したところ、次の通りであった。

- (1) 650°Cのパーライト変態の場合は、550°Cでの中間保持時間にはほぼ比例して恒温変態が促進し、析出開始点および終了点は、短時間側に移行した。
- (2) 450°Cの上部ペーナイト変態の場合は、析出開始点については、550°Cでの中間保持時間にほぼ比例して長時間側に移行したが、析出終了点については、中間保持時間が短いと短時間側に移行し、中間保持温度に長く保持すると長時間側に移行した。
- (3) 300°Cの下部ペーナイト変態の場合は、550°Cでの中間保持により析出開始点および終了点が短時間側に移行し、中間保持時間が400秒のときももっとも短時間側に移行した。

4. 考 察

4-1 550°C中間保持中の組織

写真1は、オーステナイト化後、直接水焼入れした場合(a)と550°Cで4,000秒中間保持後水焼入れした場合(b)の走査電顕組織を比較したものである。直接水焼入れした場合(a)は、全てマルテンサイト組織であり、枠内拡大写真には大きなマルテンサイト葉が観察される。550°Cで4,000秒中間保持した場合(b)は、結晶粒界がはっきり現れ、粒界に沿って枠内拡大写真に示すような“穴”が多数観察された。この“穴”は、フェライト析出物が電解エッチングのとき剝離してできたものであり、同様のことは、次節のパーライト変態におけるフェライトの析出(写真3参照)においても認められる。ただし、フェライトの総析出量は1%に達していないので、全体から見ればほぼマルテンサイト組織である。

写真2は、オーステナイト化後、直接水焼入れした場合(a)、550°Cで400秒中間保持後水焼入れした場合(b)および550°Cで4,000秒中間保持後水焼入れした場合(c)の透過電顕組織を比較したものである。いずれもマルテンサイト組織であり、中間保持したことによる差異は見当らなかった。550°Cで4,000秒中間保持した場合(c)には、マルテンサイト組織の他、フ

フェライトが析出した組織も観察されたが、いずれの場合も、パーライトあるいは上部ペーナイトに見られる帯状あるいは粒状の炭化物は、全く観察されなかった。従って、中間保持中に析出するものは1%に満たないフェライトのみで、炭化物は析出していないと言える。

4-2 650°Cのパーライト変態組織

写真3は、オーステナイト化後、550°Cで0, 40, 100, 400, 1,000および4,000秒の種々の時間中間保持した後、650°Cで1,000秒恒温変態後水焼入れした場合の走査電顕組織を比較したものである。550°Cで0および40秒中間保持した場合 (a)および(b)は、マルテンサイト (小粒の穴のあいた地の部分) とフェライト (黒く穴のあいた部分で、これは電解エッ

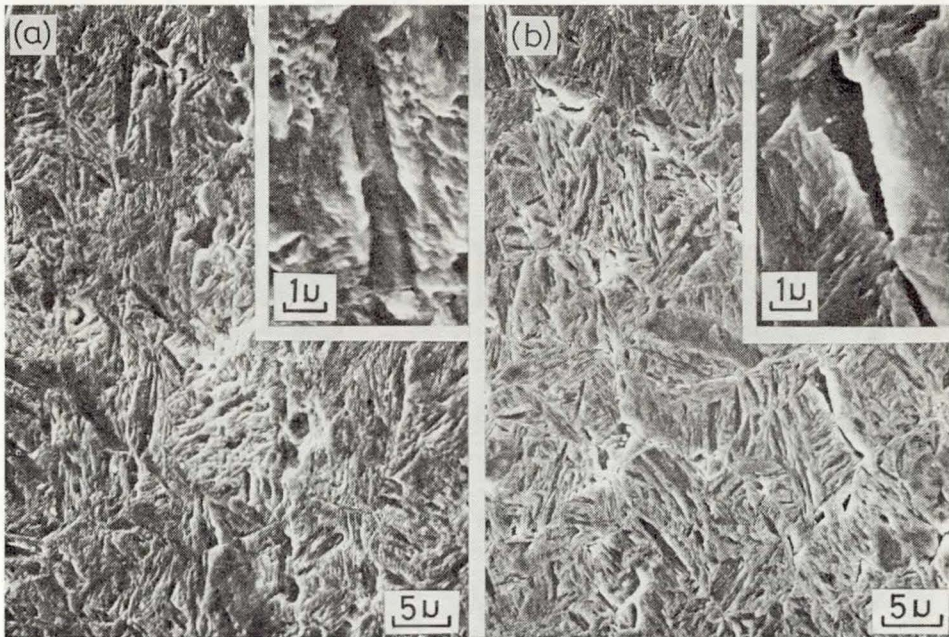


写真1 オーステナイト化後直接水焼入れした組織(a)とオーステナイト化後550°Cで4,000秒中間保持後水焼入れした組織(b)の比較 (走査電顕による)。

チング時、フェライトが優先的にエッチングされたもの)が観察され、100秒以上中間保持した場合 (c)以降は、層状のパーライトが観察された。このことは、図2に示した析出開始点および終了点の変化において認められた傾向と一致し、中間保持時間が長いほどパーライト変態は促進することを示している。

写真4は、オーステナイト化後、直接650°Cで100秒恒温変態後水焼入れした場合(a)、550°Cで400秒中間保持後650°Cで70秒恒温変態した後水焼入れした場合(b)および550°Cで4,000秒中間保持後650°Cで70秒恒温変態した後水焼入れした場合(c)の透過電顕組織を比較したものである。直接650°Cで100秒恒温変態した場合(a)は、純マルテンサイト組織であり、ラス状のマルテンサイト葉が幾つか観察される。550°Cで400秒中間保持後650°Cで70秒恒温変態した場合(b)は、マルテンサイト葉内部に“黒いモヤモヤ”した部分が観察される。こ

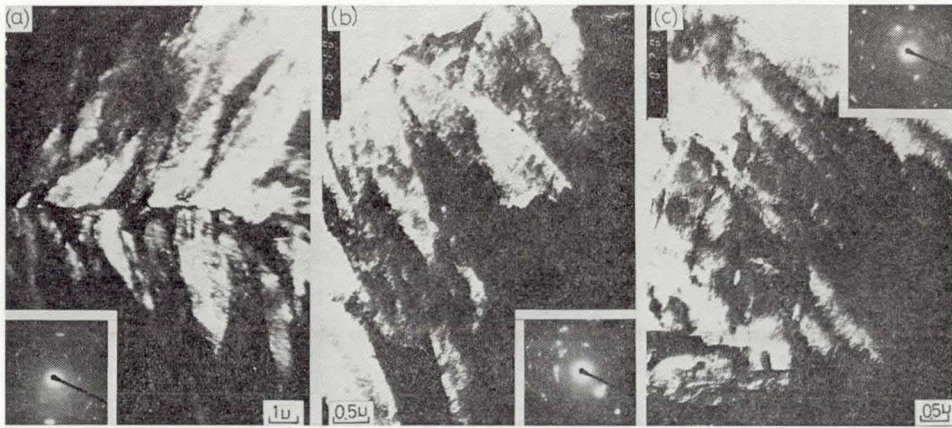


写真2 オーステナイト化後、直接水焼入れした組織(a)、550°Cで400秒中間保持後水焼入れした組織(b)および550°Cで4,000秒中間保持後水焼入れした組織(c)の比較(透過電顕による)。

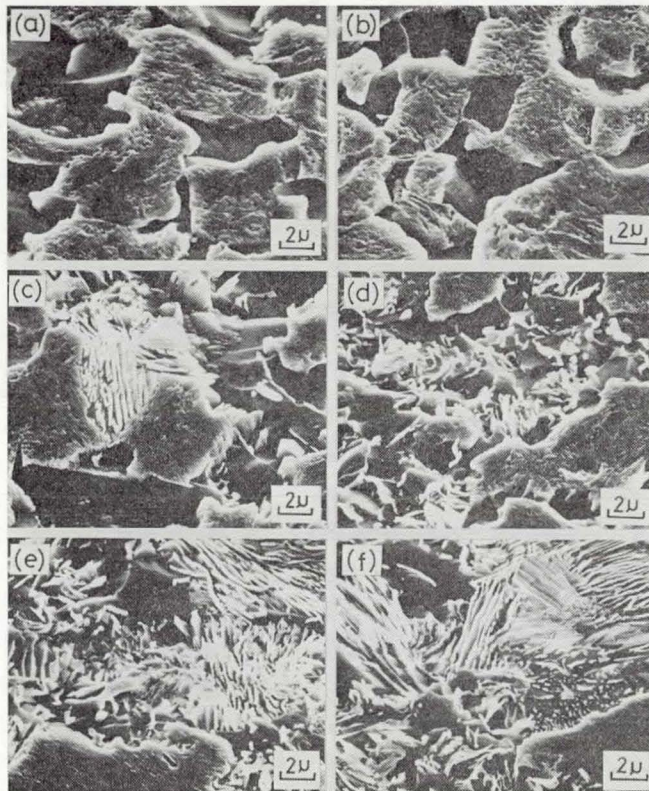


写真3 オーステナイト化後、550°Cで0秒(a)、40秒(b)、100秒(c)、400秒(d)、1,000秒(e)および4,000秒(f)の各時間中間保持した後、650°Cで1,000秒恒温変態後水焼入れした組織の比較(走査電顕による)。

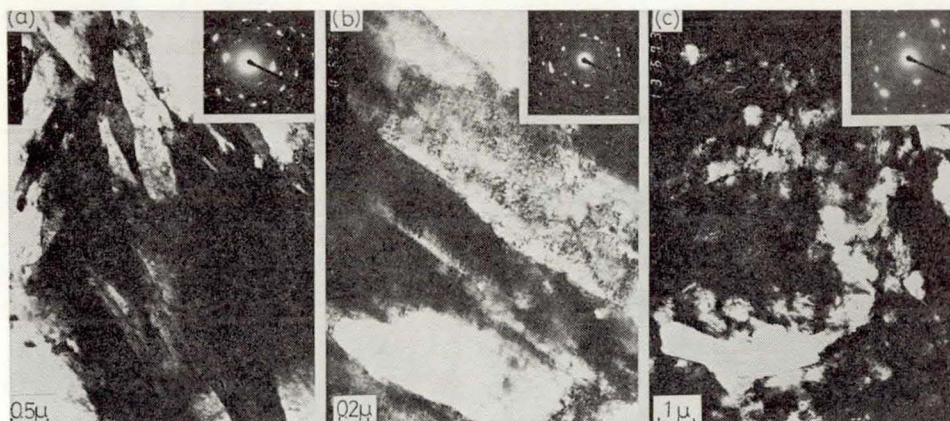


写真4 オーステナイト化後、直接650°Cで100秒恒温変態した後水焼入れした組織(a)、550°Cで400秒中間保持後650°Cで70秒恒温変態した後水焼入れした組織(b)および550°Cで4,000秒中間保持後650°Cで70秒恒温変態した後水焼入れした組織(c)の比較(透過電顕による)。

の“モヤモヤ”は前者の場合よりもかなり発達していると思われ、それだけ恒温変態が進んでいることを示していると考えられる。550°Cで4,000秒中間保持後650°Cで70秒恒温変態した場合(c)には、写真に示すような直径7~8 μ の“球状抜け穴”がところどころ観察された。この“球状抜け穴”は、球状の析出物が電解エッチング時剥離又は優先エッチングされたと考えられるが、この析出物は、形状、寸法等から予想して炭化物と思われる。通常、オーステナイト化後650°Cで70秒恒温変態した場合フェライトは析出することはあっても炭化物は析出することはないので、中間保持したことによる影響か、あるいは、オーステナイト化時の未溶解炭化物がそのまま残り観察されたと考えられるが、4-1節で述べたように中間保持中には炭化物は観察されなかったのであるから、この炭化物は、オーステナイト化時の未溶解炭化物と考えなければならない。この炭化物についての詳細な論議は、4-5節で行なうことにする。

4-3 450°Cの上部ペーナイト変態組織

写真5は、オーステナイト化後、550°Cで0, 40, 100, 400, 1,000および4,000秒の各時間中間保持した後、450°Cで40秒恒温変態後水焼入れした場合の走査電顕組織を比較したものである。どの組織にも、地のマルテンサイトのなかに典型的な上部ペーナイト葉が観察され、ペーナイト葉中には、帯状に連らなつた小さな粒状の炭化物が存在している。ペーナイトの析出量は、中間保持時間が0秒と4,000秒の場合((a)および(f))やや少なく、他の場合はかなり析出しているが、このことは、図2の析出開始点と終了点の変化のところ示した傾向とほぼ一致している。

写真6は、オーステナイト化後、直接450°Cで10秒恒温変態した後水焼入れした場合(a)、550°Cで400秒中間保持後450°Cで10秒恒温変態した後水焼入れした場合(b)および550°Cで4,000秒中間保持後450°Cで10秒恒温変態した後水焼入れした場合(c)の透過電顕組織を比較

したものである。いずれもマルテンサイト組織であり、直接恒温変態した場合(a)と550°Cで4,000秒中間保持後恒温変態した場合(c)にはラスマルテンサイトが観察され、後者の方が微細なマルテンサイト葉である。マルテンサイト葉が微細であることは、焼入れ前のオーステナイト結晶粒が微細であったことを示唆するが、このことについては、4-6-2節で論議する。

4-4 300°Cの下部ペーナイト変態組織

写真7は、オーステナイト化後、550°Cで0, 40, 100, 400, 1,000および4,000秒の各時間中間保持した後、300°Cで100秒恒温変態後水焼入れした場合の走査電顕組織を比較したものである。針状の下部ペーナイト葉が観察され、葉内には小さな粒状の析出物が点在しているが、上部ペーナイトの場合ほど析出物は成長していないことがわかる。析出量は、550°Cで100, 400および1,000秒中間保持した場合(c), (d)および(e)が最も多く、図2に示した傾向と一致している。

写真8は、オーステナイト化後、直接300°Cで40秒恒温変態した後水焼入れした場合(a)、550°Cで400秒中間保持後300°Cで40秒恒温変態した後水焼入れした場合(b)および550°Cで

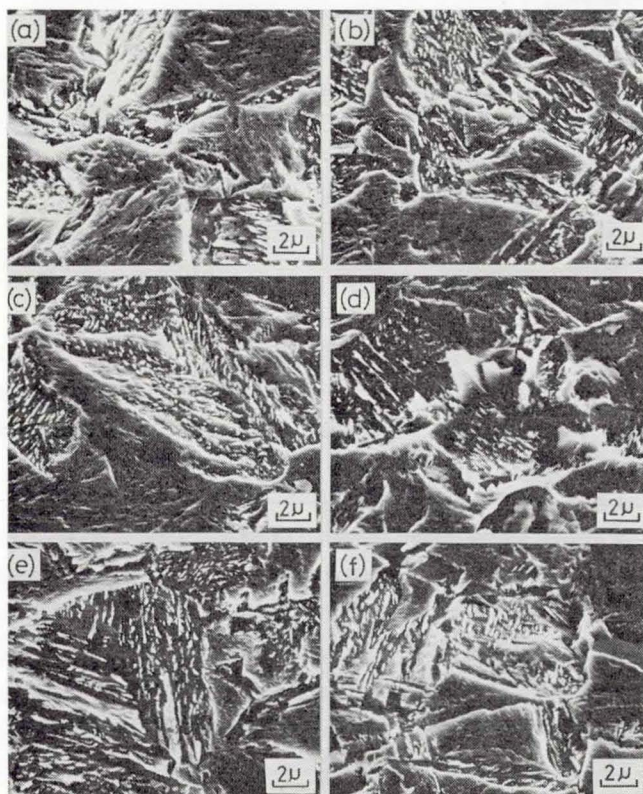


写真5 オーステナイト化後、550°Cで0秒(a)、40秒(b)、100秒(c)、400秒(d)、1,000秒(e)および4,000秒(f)の各時間中間保持した後、450°Cで40秒恒温変態後水焼入れした組織の比較(走査電顕による)。

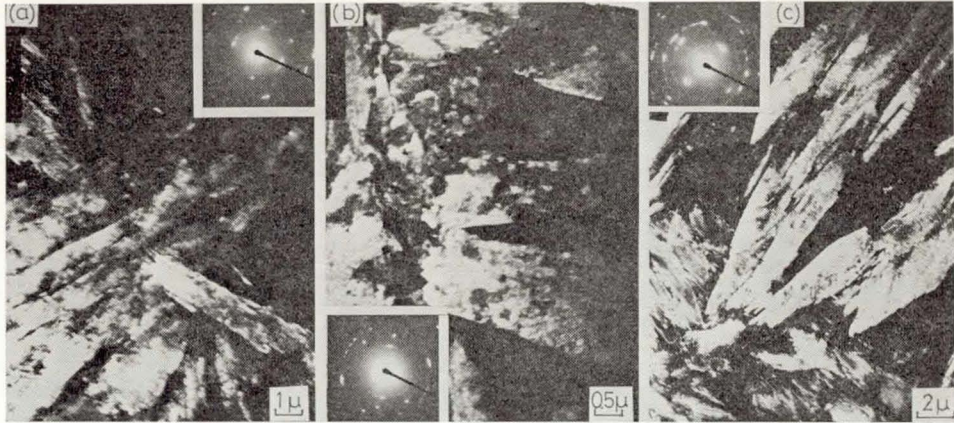


写真6 オーステナイト化後、直接 450°C で 10 秒恒温変態した 後水焼入れした 組織(a)、550°C で 400 秒中間保持後 450°C で 10 秒恒温した 後水焼入れした 組織(b)および 550°C で 4,000 秒中間保持後、450°C で 10 秒恒温変態した 後水焼入れした 組織(c)の比較 (透過電顕による)。

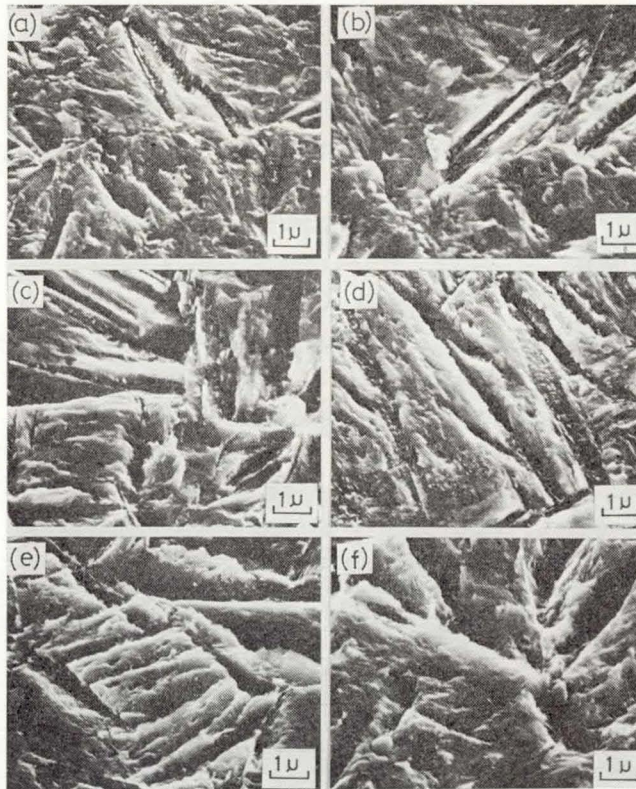


写真7 オーステナイト化後、550°C で 0 秒(a)、40 秒(b)、100 秒(c)、400 秒(d)、1,000 秒(e) および 4,000 秒(f)の各時間中間保持した後、300°C で 100 秒恒温変態後水焼入れした 組織の比較 (走査電顕による)。

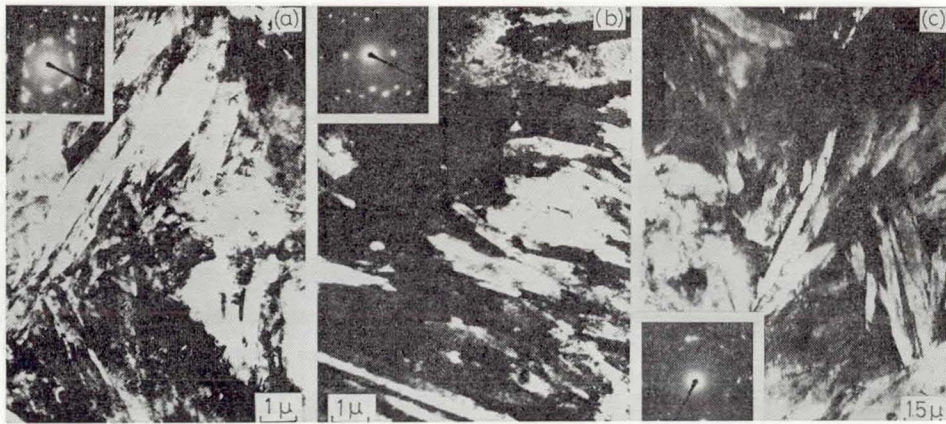


写真8 オーステナイト化後、直接 300°C で40秒恒温変態した 後水焼入れした 組織(a), 550°C で400秒中間保持後 300°C で40秒恒温変態した 後水焼入れした 組織(b)および 550°C で4,000秒中間保持後、300°C で70秒恒温変態した 後水焼入れした組織(c)の 比較(透過電顕による)。

4,000秒中間保持後 300°C で70秒恒温変態した 後水焼入れした 場合(c)の透過電顕組織を比較したものである。いずれの場合も微細なラスマルテンサイトが観察され、中間保持による影響は形態上見当たらないが、電子回折像を比較すると、中間保持時間が長いほど回折斑点の数が減り、かつ弱くなっている。これは、長く中間保持するほど結晶の規則性が崩れ、下部ペーナイトがまさに析出しようとしている状態と考えられるが、300°Cでの恒温変態時間が同じところで比較しているわけではないので、詳細は今後委ねることとする。

4-5 析出物の観察

写真9は、オーステナイト化後、直接650°Cで100秒恒温変態した場合(a)、550°Cで400秒中間保持後450°Cで10秒恒温変態した場合(b)および直接300°Cで40秒恒温変態した場合(c)に観察された析出物を示す。この場合の析出物は、形状・大きさ等から判断して炭化物と思われる。このような析出物(以後炭化物と記す)は、写真9に示した場合の他、550°Cで4,000秒中間保持後650°Cで70秒恒温変態した場合(写真4参照)などほとんどの場合観察され、これらの組織写真から得た炭化物のおよその大きさを表1にまとめて示す。表1によると

表1 観察された炭化物の大きさ

恒温変態	中間保持		
	550°C—0秒	550°C—400秒	550°C—4,000秒
650°C—約70秒	0.2~0.3μ*	0.2~0.3μ	0.5~0.7μ
450°C—10秒	0.1~0.2μ	0.1~0.2μ	0.1~0.2μ
300°C—約40秒	0.1~0.2μ	0.1~0.2μ	0.1~0.2μ**

注 * 正しくは、550°C—0秒、650°C—100秒のときの析出物の大きさである。

** 正しくは、550°C—4,000秒、650°C—70秒のときの析出物の大きさである。

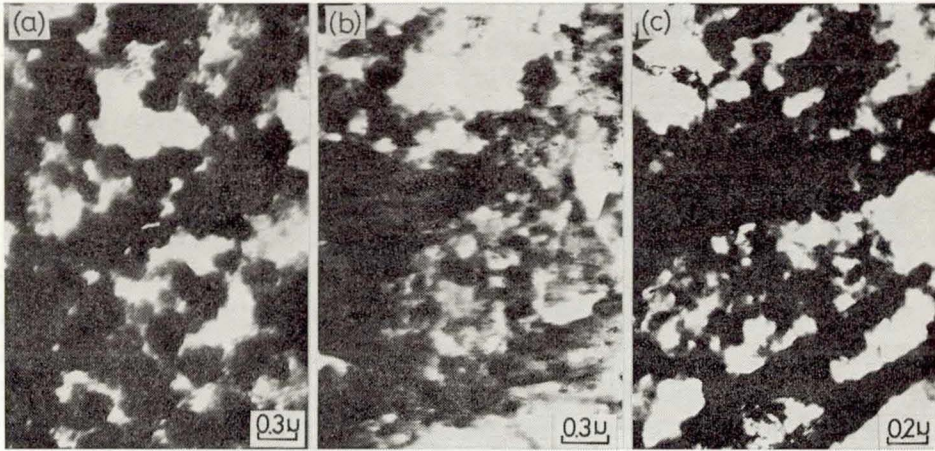


写真9 オーステナイト化後、直接650°Cで100秒恒温変態した場合(a)、550°Cで400秒中間保持後450°Cで10秒恒温変態した場合(b)および直接300°Cで40秒恒温変態した場合(c)に観察された析出物(透過電子顕微鏡による)。

650°Cで恒温変態した場合は、550°Cでの中間保持時間が長いほど炭化物が成長する傾向があるように思われるが、450°Cおよび300°Cで恒温変態した場合は、中間保持時間に関係なくほぼ一定である。ここで重要なことは、このような炭化物がどのような段階——即ち中間保持中、恒温変態中あるいはオーステナイト化時の未溶解炭化物の残留——で生成したものであるかということである。もし中間保持中に生成するならば、4-1節で述べた中間保持中の組織に炭化物が認められるはずであるから、このことは否定される。もし恒温変態中に生成するならば、炭化物は恒温変態中に大きく成長するであろうし、そもそもオーステナイトからフェライト(650°Cで恒温変態する場合)を析出しようとする段階で炭化物が析出するとは考えられない。従って、観察された炭化物は、オーステナイト化時の未溶解炭化物と考えられ、その量も極くわずかと予想される。尚、本実験の場合、恒温変態に及ぼす未溶解炭化物の影響はほとんどないと考えられる。

4-6 恒温変態に及ぼす諸因子

以上、中間保持中の組織、650°C、450°Cおよび300°Cの恒温変態組織さらに炭化物等を観察し、550°Cで中間保持した影響が、その後の恒温変態にどのように現れるかについて調べてきた。550°Cで中間保持すると、析出量が1%には満たないがフェライトが析出していることが確認され、中間保持中のオーステナイトの炭素濃度はその分だけ高くなると予想される。その他、550°Cは、鋼の再結晶温度約450°Cより100°Cも高いため、再結晶による結晶粒の微細化、回復・再結晶による構造欠陥の減少、オーステナイト化温度(850°C)から直接恒温変態した場合と550°Cの中間保持温度から恒温変態した場合の熱的応力の相違(減少)等が考えられ、中間保持中に生じたこれらの因子が、その後の650°C、450°Cおよび300°Cの恒温変態に大きな影響を及ぼすと予想される。

4-6-1 フェライトの析出とオーステナイト中の炭素濃度の上昇

550°Cで中間保持した時、結晶粒界に沿ってフェライトが析出していたが、この析出は、

その後の恒温変態にどのような影響を与えるかについて考察すると、先ず650°Cのパーライト変態の場合は、核の生成とその成長理論⁽²⁾に従って変態が進むことから、中間保持中に析出したフェライト自体が核となり、フェライトの析出が誘発され、ひき続いて生ずるパーライトの析出も促進されると予想される。450および300°Cの恒温変態との場合は、ペーナイトの生成機構に格子変態的要素(4-6-4節参照)が含まれるため、その影響は小さいと予想される。

フェライトが析出すると、オーステナイト中の炭素濃度はその分だけ高まり、この炭素濃度の増加が、その後の恒温変態に影響を及ぼすと考えられる。亜共析鋼の恒温変態は、一般に炭素濃度が増加するとどのように変化するか考察すると、650°Cの変態においては、ある潜伏期を過ぎた後最初フェライトを析出し、地のオーステナイトの炭素濃度が共析点の組成にまで高まると次にパーライトが析出する⁽³⁾のであるから、この原理から推定すると、炭素濃度が高いほど恒温変態は遅れると予想される。一方、450および300°Cの恒温変態は、ペーナイトを析出するため、このような影響は少ないと予想される。表2は、1021、1030および1080鋼(炭素量それぞれ0.20、0.30、0.79%)について、炭素濃度により650、450および300°Cの恒温変態の析出開始点と終了点がどのように変化するか調べたものであるが⁽⁴⁾、本表によっても、炭素濃度が上昇すると、特に650°Cでの恒温変態が遅れることがわかる。

4-6-2 結晶粒の微細化

650°Cのパーライト恒温変態は、フェライトおよびパーライトの核が結晶粒界に沿って発生するため、結晶粒が微細であるほど促進する⁽⁵⁾。450°Cおよび300°Cのペーナイト変態の場合は、格子変態の要素を伴うので、650°Cの場合ほど影響は受けないと思われる。表3は、炭素量がほぼ等しい1019鋼と1021鋼を例として、結晶粒度の差異により、650、450および300°Cの恒温変態がどのように変化するか比較したものである⁽⁴⁾。細粒(粒度8~9)の1021鋼の場合は、粗粒(粒度0~2)の1019鋼の場合と比較して全般的に恒温変態が促進しているが、特に650°Cの場合が著しいことがわかる。写真10は、オーステナイト化後、直接水焼入れした場合(a)と550°Cで4,000秒中間保持後水焼入れした場合(b)の光学顕微鏡組織を比

表2 鋼の恒温変態に及ぼす炭素濃度の影響

名称	650°C変態(秒)		450°C変態(秒)		300°C変態(秒)		組成(%)	粒度	オーステナイト化温度(°C)
	開始点	終了点	開始点	終了点	開始点	終了点			
1021鋼	<0.5	5	<0.5	5	—	40	C0.20, Mn0.81	8~9	927
1030鋼	2	20	0.7	6	—	80	C0.30, Mn0.75	7~8	904
1080鋼	5	40	1.7	30	70	1500	C0.79, Mn0.76	6	900

表3 鋼の恒温変態に及ぼす結晶粒度の影響

名称	650°C変態(秒)		450°C変態(秒)		300°C変態(秒)		組成(%)	粒度	オーステナイト化温度(°C)
	開始点	終了点	開始点	終了点	開始点	終了点			
1019鋼	0.7	20000	0.7	17	5	50	C0.17, Mn0.92	0~2	1315
1021鋼	<0.5	5	<0.5	5	—	40	C0.20, Mn0.81	8~9	927

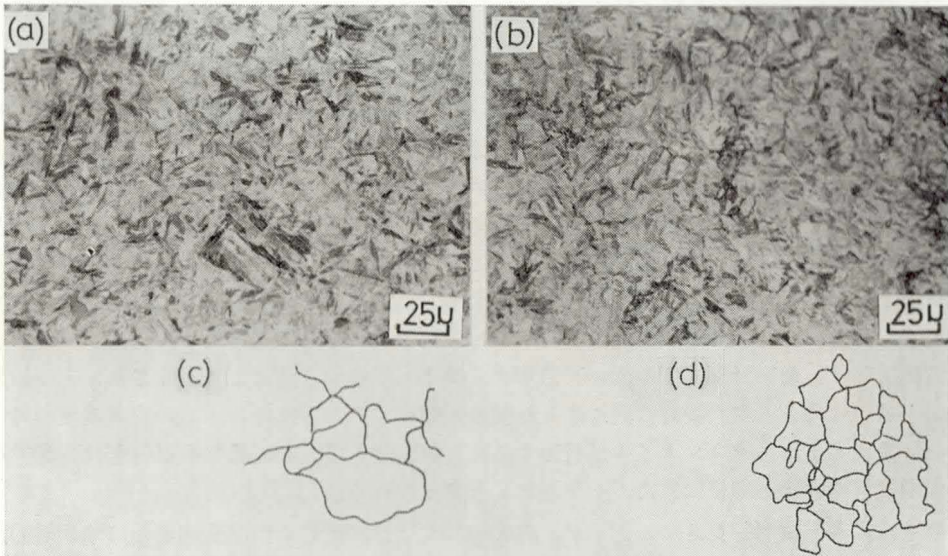


写真10 オーステナイト化後、直接水焼入れした場合(a)と 550°Cで4,000秒中間保持後水焼入れした場合(b)の光学顕微鏡組織による結晶粒度の比較 ((c)及び(d)はそれぞれ(a)及び(b)の粒界を描いた図)。

較したものであるが、後者の場合は前者の場合に比べてマルテンサイト葉が全体的に小さく、粒界も比較的是っきりしている。両者の場合について比較的是っきりしている粒界を描くとそれぞれ(c)および(d)に描いた図のようになり、550°Cで中間保持すると、再結晶により大部分細粒化することがわかる。中間保持時間が長いほど650°Cでの恒温変態が促進するのは、中間保持における結晶粒の微細化とフェライトの析出に主因があると思われる。

4-6-3 構造欠陥の減少

550°Cに中間保持すると、回復・再結晶により構造欠陥が減少すると思われる。この欠陥の減少は、その後の恒温変態にどのような影響を及ぼすか考察すると、先ず、核の生成とその成長理論に従う650°Cのパールライト変態の場合は、構造欠陥が減少するほど核の発生場所が少なくなることから、遅れることが予想される。下部ペーナイトを生成する300°Cの場合は、格子変態の要素が強い下部ペーナイトの生成過程から推定して650°Cの恒温変態の場合ほど影響は受けないと思われるが、450°Cの上部ペーナイトの場合は、拡散による炭化物の

表4 恒温変態に及ぼす諸因子の影響

因子	フェライトの粒界析出	オーステナイト中のC濃度上昇	結晶粒の微細化	構造欠陥の減少	熱応力の減少
650°Cの恒温変態	大きく促進する	遅らせる	大きく促進する	遅らせる	影響小さい
450°Cの恒温変態	影響小さい	やや遅らせる	促進する	遅らせる	やや遅らせる
350°Cの恒温変態	影響小さい	やや遅らせる	やや促進する	影響小さい	遅らせる

生成と成長を伴なうので、ある程度遅れると思われる。

4-6-4 熱応力の減少

オーステナイト化温度の850°Cから直接恒温変態した場合と、オーステナイト化後550°Cに中間保持してから恒温変態した場合とでは、温度差が異なる分だけ発生する熱応力も変わり、特に格子変態的要素を伴なう300°Cの下部ペーナイト、450°Cの上部ペーナイトの変態に影響を及ぼすことが考えられる。下部ペーナイトの変態機構は、オーステナイト中で局部的に何らかの原因で炭素濃度のわずかに低い領域が生じ、その領域のMs点が上昇することによりマルテンサイト変態(格子変態)を起こし、マルテンサイトは焼もどしされて炭化物を析出しながら次々と誘発してゆく⁽⁶⁾と仮定すると、この格子変態時550°Cに中間保持して熱応力が減少すれば、300°Cの恒温変態はその分だけ遅れると考えられる。上部ペーナイトの変態機構は、最初炭素濃度の低い過飽和フェライトが格子変態により形成され、その結果、フェライトの周囲は炭素濃度の高くなった領域が存在することになり、この炭素濃度の高いオーステナイトからセメンタイトが析出する⁽⁶⁾と仮定すると、450°Cの恒温変態は、300°Cの恒温変態のときと同様にして、やや遅れると考えられる。

表4は、今迄検討した5つの因子が、650、450および300°Cの恒温変態に及ぼす相対的影響度をまとめたものである。550°Cの中間保持時間が長いほど650°Cの恒温変態が促進するのは、中間保持中のフェライトの析出と結晶粒の微細化によると考えられる。450°Cの恒温変態で、中間保持時間が長いほど析出開始線が遅れるのは、オーステナイト中の炭素濃度の増加、構造欠陥の減少、熱応力の減少等によるものと思われる。300°Cの恒温変態は、熱応力の減少等の因子から予想して遅れるように思われるが、実際にはやや促進しているので、この場合は、結晶粒の微細化の影響が予想以上に大きいためとも考えられるが、詳細は今後に委ねることとする。

5. 結 論

Ni-Cr-Mo 鋼を850°Cで30分間加熱してオーステナイト化後、直ちに550°Cで0~4,000秒の種々の時間中間保持してから、650°C、450°Cおよび300°Cで恒温変態したときの組織を電子顕微鏡を用いて詳細に調べた。550°Cに中間保持した場合と中間保持しない場合の組織を比較し、さらに中間保持時間を種々変化させた場合の恒温変態にもなう析出開始点と終了点の変化から得られた傾向と組織との関係を検討したところ、次のことがわかった。

- (1) 550°Cで0~4,000秒の種々の時間中間保持した組織は、全てオーステナイト、若しくは、粒界に沿って析出した析出量1%以下のフェライトとオーステナイトであり、炭化物は観察されなかった。550°Cで4,000秒中間保持した場合の結晶粒は、中間保持しない場合の結晶粒と比較して微細化していた。
- (2) 650°Cのパーライト変態の場合は、550°Cでの中間保持時間にほぼ比例して恒温変態が促進したが、これは、中間保持中のフェライトの析出と結晶粒の微細化によるものと思われる。
- (3) 450°Cの上部ペーナイト変態の場合は、析出開始点については、550°Cの中間保持時間にほぼ比例して長時間側に移行したが、これは、中間保持中における準安定オーステナイト中の炭素濃度の増加、構造欠陥の減少および中間保持したことによる熱応力の減少等に

よるものと思われる。

参 考 文 献

- (1) 森山 実・小林義一・片山修一：長野工業高等専門学校紀要，第14号（1983），p.31.
- (2) 荒木 透：鉄鋼材料学，（1970），p.158. 丸善.
- (3) 門間改三：鉄鋼材料学，（1972），p.155. 実教出版.
- (4) ASM：Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams, (1977), p. 8. AMERICAN SOCIETY FOR METALS.
- (5) 日本金属学会：金属便覧（改訂4版），（1982），p.768. 丸善.
- (6) 須藤一ほか：金属組織学，（1972），p.192. 丸善.