

# 構造用合金鋼 (SNCM-8) の Ms 点に 及ぼす加工熱処理の影響\*

小林 義一\*\*・片山 修一\*\*\*

## 1. 緒 言

筆者らは、構造用合金鋼 (SNCM-8) の恒温変態曲線 (S 曲線) が加工熱処理によってどのように変化するかについての研究を行なっており、前報<sup>(1)</sup>において、ニッケル・クロム・モリブデン鋼の S 曲線は加工熱処理によって短時間側に移行し、これは準安定オーステナイト領域での塑性加工によって転位密度が高くなり、かつ転位の周辺に炭化物が析出しやすくなるためであることを報告した。今回は、加工熱処理を効果的に行なう上で、S 曲線のパーライト及びベーナイト変態の変化とともに重要な意味をもつマルテンサイト変態の Ms 点が、加工熱処理によってどのように変化するかについて実験したので、その結果を報告する。

## 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-8) の丸棒を、熱間鍛造で直径約 8mm に加工し、その後 850°C で30分間焼なましをしてから、直径 5mm 長さ 5mm に丸

表1 試料の化学分析値 (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.40	0.26	0.67	0.020	0.021	1.74	0.89	0.17

削りして試料とした。試料の化学分析値を表1に、また試料の透過電子顕微鏡組織を写真1に示す。

写真1によると、試料の組織はパーライトとフェライトからなっており、細長い棒状析出物はセメントイト ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) で、粒状析出物は Cr と Mo の炭化物 ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ ) であると思われる。また同写真左上隅に示した電子回折像から、地の結晶構造は体心立方格子であることがわかる。

### 2-2 実験方法

図1に示すように、試料は850°Cで30分間加熱してオーステナイト化してから、550°Cに

\* 昭和52年12月 日本金属学会北陸信越支部講演会において発表

\*\* 機械工学科 助教授

\*\*\* 機械工学科 教授

原稿受付 昭和53年9月30日

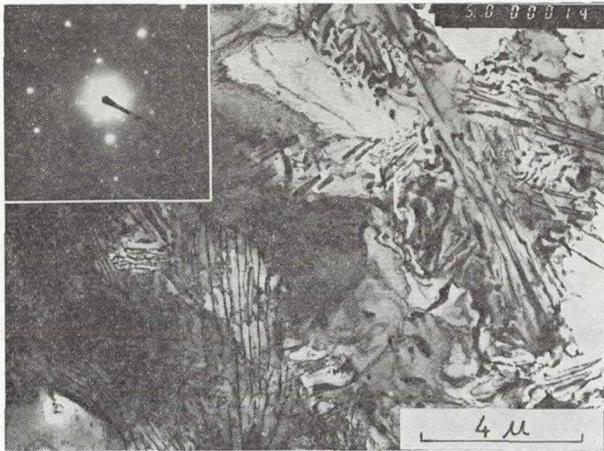


写真1 試料の電子顕微鏡組織

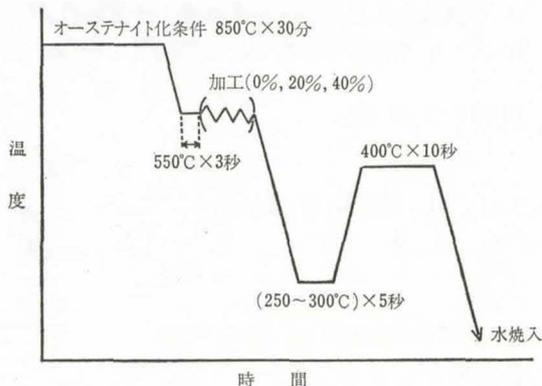


図1 実験方法

保持してあるソルトバスに3秒間入れ、ただちに同温度に加熱してある加工装置で0%、20%及び40%の加工(高さの減少率)を加えてから、250~300°Cの間の5°Cおきに保持してある鉛浴に急冷して5秒間保持した。その後、ただちに400°Cに保持してある別のソルトバスで10秒間焼もどしてのち、2°Cの水に焼入れした。また、比較のために、普通焼入れの場合、すなわち850°Cで30分間加熱後ただちに250~300°Cの間の5°Cおきに保持してある鉛浴に急冷し5秒間保持した後、400°Cに保持してあるソルトバスで10秒間焼もどしてのち、2°Cの水に焼入れした試料も作成した。なお、この実験において、250~300°Cおきに保持してある鉛浴の温度は $M_s$ 点に直接影響を与えるので極めて重要である。そのため、本実験では、検定済の水銀温度計を、鉛浴の試料が入る近くに入れておき、試料を鉛浴に

入れた瞬間に水銀温度計の目盛を読んで、その値を急冷時の温度とした。また、塑性加工の温度としては、筆者らがNi-Cr-Mo鋼(SNCM-8)で求めたS曲線の湾の部分の550°Cを採用し、加工装置の詳細についてはすでに前報<sup>(4)</sup>で報告した。

以上のようにして得られた試料の端面をエメリーペーパー及びバフ仕上げ後、5%ピクリン

表2 ソルトバス及び鉛浴の組成

温度(°C)	溶融点(°C)	組 成 (%)	
550	426	KCl	61.4
		MgCl <sub>2</sub>	38.6
400	221.5	NaNO <sub>2</sub>	44.5
		NaNO <sub>3</sub>	55.5
250~300	183	Pb	38.1
		Sn	61.9

酸アルコール溶液で腐食し、光学顕微鏡組織を調べて $M_s$ 点を決定した。また、一部の試料については、日本電子製100-C型電子顕微鏡を使用し、加速電圧100kvで透過電子顕微鏡組織観察及び電子回折を行なった。このときの薄膜試料の作成は、試料から高速切断機で約0.8mmの板を切り出し、耐水研磨紙でほぼ0.15mmまで薄くしてのち、過塩素酸50ml、酢酸950mlの混合液を

使用し、液温  $13^{\circ}\text{C}$ 、電圧  $60\text{V}$  で電解研磨して作成した。なお、本実験に使用したソルトバス及び鉛浴の組成を表 2 に示す。

### 3. 実験結果

実験によって得られた顕微鏡組織のうち代表的なものを写真 2～写真 5 に示す。写真 2 は  $850^{\circ}\text{C}$  で 30 分間保持してオーステナイト化してのち、 $550^{\circ}\text{C}$  のソルトバスに 3 秒間保持してから、 $M_s$  点近くの各温度に保持してある鉛浴に急冷して 5 秒間保持し、ただちに  $400^{\circ}\text{C}$  に保持してある別のソルトバスで 10 秒間焼もどしをしたのち水焼入れした試料の顕微鏡組織を示す。また、写真 3 はオーステナイト化後、 $550^{\circ}\text{C}$  のソルトバスに 3 秒間保持し、ただちに 20% の加工を加えてのち、 $M_s$  点近くの鉛浴に急冷してから、 $400^{\circ}\text{C}$  に焼もどした試料の顕微鏡組織であり、写真 4 はオーステナイト化後、 $550^{\circ}\text{C}$  で 3 秒間保持し、ただちに 40% の加工を加えてのち、 $M_s$  点近くの鉛浴に急冷してから、 $400^{\circ}\text{C}$  に焼もどした試料の顕微鏡組織である。また、写真 5 は普通焼入れのときの  $M_s$  点を調べるためのもので、オーステナイト化後、途中の温度で保持することもなく、また加工も加えないで、ただちに  $M_s$  点近くの鉛浴に急冷してから、 $400^{\circ}\text{C}$  に焼もどした試料の顕微鏡組織である。これらによると、オーステナイト化後、 $550^{\circ}\text{C}$  で 3 秒間保持して、加工を加えないで急冷した試料の顕微鏡組織 (写真 2) は、 $273^{\circ}\text{C}$  以上の鉛浴に急冷したときは全体がマルテンサイトであるが、 $267^{\circ}\text{C}$  の鉛浴に急冷したときは一部分に焼もどし炭化物が認められる。この炭化物は、急冷によってできたマルテンサイトが焼もどされて、焼もどしトルースタイトに変わったためであり、その本質はごく微粒のセメントイトとフェライトとの混合状態である。そして、これより低い

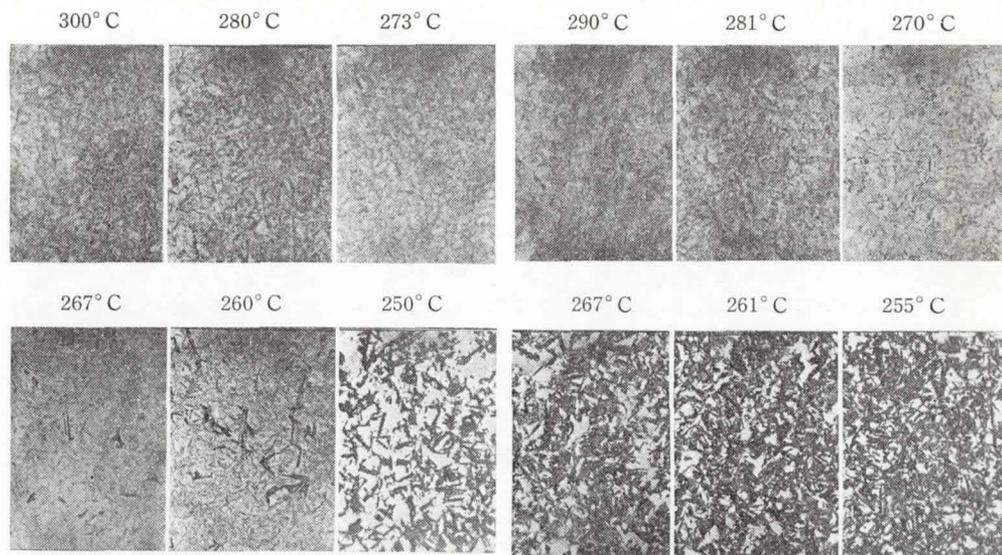


写真 2

$850^{\circ}\text{C} \times 30$  分間保持後、 $550^{\circ}\text{C}$  で 3 秒間保持してのち急冷したときの温度と顕微鏡組織 ( $40 \times 5$ )

写真 3

$850^{\circ}\text{C} \times 30$  分間保持後、 $550^{\circ}\text{C}$  で 3 秒間保持してのち 20% 加工して急冷したときの温度と顕微鏡組織 ( $40 \times 5$ )

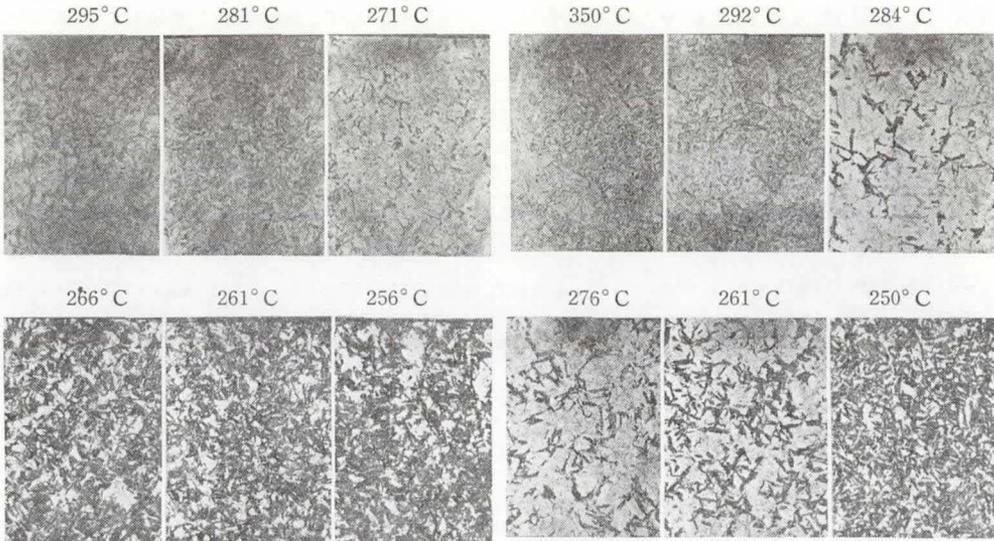


写真4

850°C×30分間保持後、550°Cで3秒間保持してのち40%加工して急冷したときの温度と顕微鏡組織 (40×5)

写真5

850°C×30分間保持後、ただちに急冷したときの温度と顕微鏡組織 (40×5)

温度の鉛浴に急冷したときは焼もどし炭化物が多量に認められ、その量は温度が低いほど多くなっている。以上のことから、この場合の  $M_s$  点は次のようにしてわかる。すなわち、オーステナイト化後273°C以上の鉛浴に急冷したときの組織はオーステナイトであり、これを400°Cに焼もどしても組織に変化は生ぜず、その後の水焼入れによって全体がマルテンサイトになったので、これらの温度は  $M_s$  点以上である。しかし、267°C以下の鉛浴に急冷したときは、その組織がオーステナイトと一部分のマルテンサイトとがらなり、これを400°Cに焼もどすと、オーステナイトの部分は、その後の水焼入れによってマルテンサイトになるが、マルテンサイトの部分からは炭化物を析出して、その結果焼もどしトルスタイトになったので、これらの温度は  $M_s$  点以下である。そこで、この場合の  $M_s$  点は焼もどし炭化物が析出し始めたときの温度ということになり、それは267°Cである。

同じようにして、他の場合の  $M_s$  点を調べてみると、オーステナイト化後、550°Cで3秒間保持してのち20%加工したとき (写真3) は、281°C以上に急冷したときは、400°Cに焼もどし後の水焼入れによって、全体がマルテンサイトになっているが、270°Cに急冷したときは焼もどし炭化物が析出し始め、267°C以下に急冷したときは多量の焼もどし炭化物が認められる。よって、この場合の  $M_s$  点は270°Cである。また、オーステナイト化後、550°Cで3秒間保持してのち40%加工したとき (写真4) は、281°Cに急冷した試料に焼もどし炭化物が認められ、それ以上の温度では炭化物は認められないので、この場合の  $M_s$  点は281°Cである。さらに、オーステナイト化後、550°Cで保持することもなく、また加工も加えることもせずただちに急冷したとき (写真5) は、292°C以上では炭化物は認められず、284°C以下で焼もどし炭化物が認められ、温度が低くなるにつれて炭化物は多くなっている。

よって、この場合の  $M_s$  点は  $284^\circ\text{C}$  と  $292^\circ\text{C}$  の間にあり、焼もどし炭化物が析出し始める温度を外挿によって求めると  $288^\circ\text{C}$  となる。

図2は、以上によって求められた  $M_s$  点が、加工度の大小と中間温度 ( $550^\circ\text{C}$ ) での保持の有無によって、どのように変わるかを示したもので、図中の◎印は普通焼入れの場合の  $M_s$  点である。図2から、オーステナイト化後焼入れするときに、中間温度 ( $550^\circ\text{C}$ ) に一たん保持すると  $M_s$  点は下がり、また、準安定オーステナイト領域で塑性加工を加えると  $M_s$  点は上がり、加工度が大きいほど、 $M_s$  点上がる程度も大きくなるのがわかる。

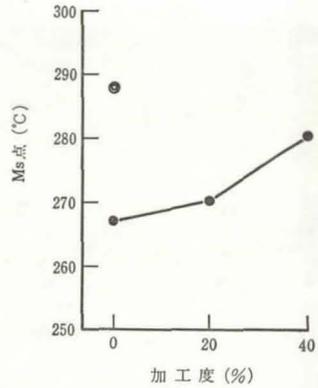


図2  $M_s$  点に及ぼす加工熱処理の影響

#### 4. 考 察

Ni-Cr-Mo 鋼 (SNCM-8) の  $M_s$  点は、準安定オーステナイト領域で塑性加工を加えると上がり、またオーステナイト化後、焼入れする前に準安定オーステナイト領域に一たん保

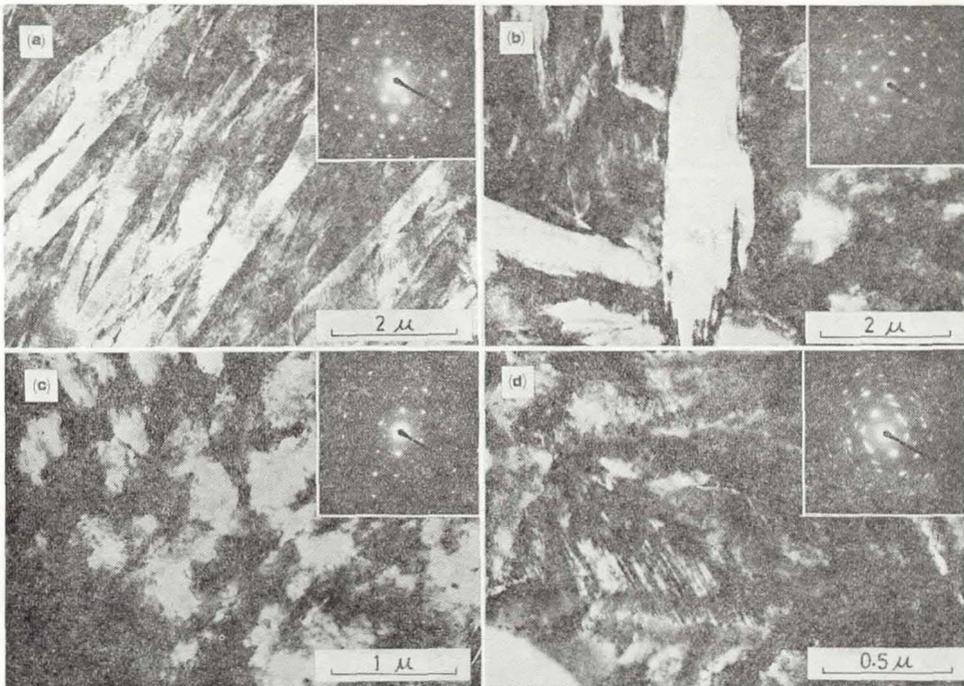


写真6 オーステナイト化後  $290^\circ\text{C}$  の鉛浴に急冷し5秒間保持後、 $400^\circ\text{C}$  で10秒間焼もどした試料の電子顕微鏡組織

- (a) 普通焼入れ
- (b)  $550^\circ\text{C}$  で3秒間保持後  $290^\circ\text{C}$  に急冷
- (c)  $550^\circ\text{C}$  で3秒間保持後20%加工して  $290^\circ\text{C}$  に急冷
- (d)  $550^\circ\text{C}$  で3秒間保持後40%加工して  $290^\circ\text{C}$  に急冷

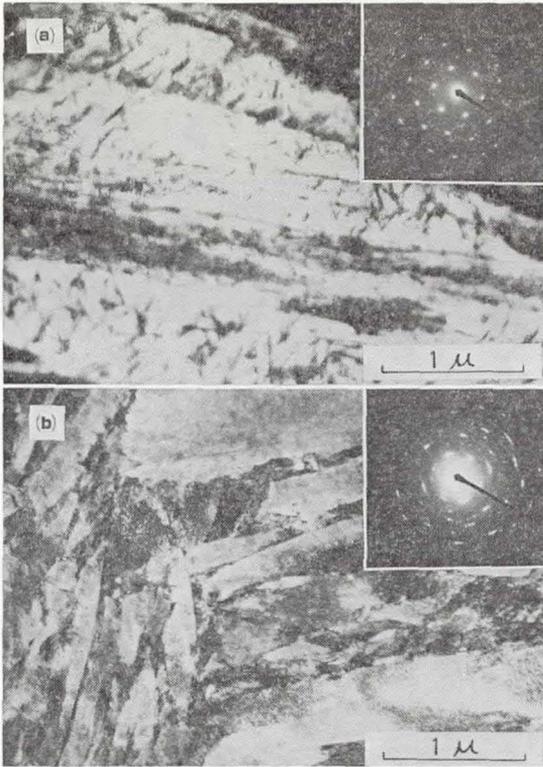


写真7 オーステナイト化後268°Cの鉛浴に急冷し5秒間保持後、400°Cで10秒間焼もどした試料の電子顕微鏡組織

- (a) 普通熱入れ  
(d) 550°Cで3秒間保持後268°Cに急冷

によると、オーステナイト化後、550°Cの中間温度に保持せず、また加工も加えないで急冷したときは、ラス状マルテンサイトが認められるが、オーステナイト化後、550°Cに3秒間保持してのち急冷したときは、写真6(b)の右上部に示す制限視野電子回折像から明らかな残留オーステナイトの存在が認められる。また、準安定オーステナイト領域で塑性加工を加えると、写真6の(c)及び(d)にみられるように、残留オーステナイトは少なくなり、かつ密度の高い転位が多く認められ、加工度が20%のときより40%のときの方が転位密度は高くなっている。そして、電子回折像からも加工の影響がはっきり現われている。これらのことによりオーステナイト化後、準安定オーステナイト領域で塑性加工を加えると  $M_s$  点が上がる理由は、加工によって転位密度が高くなり、かつ転位の周辺に炭素が凝集しやすくなるため、地の炭素濃度が低下して、その結果  $M_s$  点が上がるものと思われる。

一方、田村<sup>(2)</sup>によると、各種合金鋼のマルテンサイト変態は、数%以内の加工では変態が促進するが、それ以上の加工ではかえってオーステナイトが安定し変態がおくれ、 $M_s$  点が下がり、この現象は合金の積層欠陥エネルギーと深い関係があるといわれている。しかし、本実験では、40%までの加工によって  $M_s$  点は明らかに上昇したが、これは、 $M_s$  点に及ぼ

持して、焼入れを中断すると、 $M_s$  点は下がることが本実験の結果から明らかになった。そこで、このようなことが、どのような理由によって生ずるかを確かめるために、各試料の透過電子顕微鏡組織観察と電子回折を行なった。その一例を写真6～写真7に示す。写真6は850°Cで30分間加熱してオーステナイト化後、中間温度(550°C)で各種の処理をしてのち、290°Cの鉛浴に急冷し5秒間保持後、400°Cで10秒間焼もどしてのち、水焼入れした試料の透過電子顕微鏡組織と電子回折像で、(a)は中間温度での保持がなく、また加工も加えない普通焼入れの場合、(b)はオーステナイト化後、550°Cで3秒間保持してのち、加工を加えないで290°Cに急冷した場合、(c)はオーステナイト化後、550°Cで3秒間保持してのち20%の加工を加えてから290°Cに急冷した場合、そして(d)はオーステナイト化後、550°Cで3秒間保持後40%の加工を加えてから290°Cに急冷した場合である。これ

す加工の影響が、合金元素の種類、加工温度、加工速度、加工までの保持時間などによって変化することに原因があると思われるので、詳細は今後の検討にゆだねたい。

写真7は850°Cで30分間加熱してオーステナイト化してから、268°Cの鉛浴に急冷して5秒間保持後、400°Cで10秒間焼もどしてのち水焼入れした試料の透過電子顕微鏡組織で、(a)はオーステナイト化後、中間温度で保持せずにただちに急冷した場合、そして、(b)はオーステナイト後、550°Cで3秒間保持してのち急冷した場合である。これによると、(a)の中間温度に保持しない場合は、多数の焼もどし炭化物が認められるが、(b)の中間温度(550°C)に保持した場合は、マルテンサイト葉と残留オーステナイトのみで、炭化物は認められない。このことから、オーステナイト化後焼入れするまえに、中間温度(550°C)に一たん保持すると、オーステナイトの安定化が起ることがわかる。

荒木ら<sup>(3)</sup>は階段焼入れや中断焼入れによって冷却を中断すると、オーステナイトは安定化し、 $M_s$ 点は下がり、残留オーステナイトは多くなるとのべているが、本実験においても、850°C×30分間のオーステナイト化後、ただちに焼入れしたときの $M_s$ 点が288°Cであるのに対し、オーステナイト化後、550°Cで3秒間保持したときの $M_s$ 点は267°Cとなっており、両者の透過電子顕微鏡組織観察から、中間温度(550°C)に保持することにより、オーステナイトの安定化が起っていることが確認された。

## 5. 結 論

Ni-Cr-Mo 鋼 (SNCM-8) を850°Cで30分間加熱してオーステナイト化後、準安定オーステナイト領域の550°Cで、加工度0%、20%及び40%の塑性加工を加えたときの $M_s$ 点と、550°Cの中間温度での保持の有無による $M_s$ 点の変化を顕微鏡組織観察によって調べたところ、次のことがわかった。

(1) 準安定オーステナイト領域で加工を加えると、マルテンサイト変態が誘発されて、 $M_s$ 点は上がる。この場合、加工度0%のときの $M_s$ 点が267°Cであるのに対し、加工度20%のときは270°C、加工度40%のときは281°Cとなり、加工度が大きくなるにつれて $M_s$ 点も高くなった。これは、加工度が高くなるほど転位密度が高くなり、かつ転位の周辺に炭素が凝集しやすくなるため、地の炭素濃度が低下して、その結果 $M_s$ 点が上がったものと思われる。

(2) オーステナイト化してから、ただちに焼入れしたときの $M_s$ 点が288°Cであるのに対し、オーステナイト化後、準安定オーステナイト領域に一たん保持して、焼入れを中断したときの $M_s$ 点は267°Cとなったが、これは、中間温度に保持することによってオーステナイトの安定化が起ったためであると思われる。

## 参 参 文 献

- (1) 小林義一、片山修一：長野工業高等専門学校紀要，第9号(1978)，p.17.
- (2) 田村今男：日本金属学会会報，第2巻(1963)第8号，p.426.
- (3) 荒木透ほか：鋼の熱処理技術，(1969)，p.59.