

# 構造用合金鋼 (SNCM-439) の焼入性に 及ぼす恒温保持の影響

森山 実\*・小林 義一\*\*・堀内 富雄\*\*\*

## 1. 緒 言

筆者らは、構造用合金鋼の恒温変態曲線が熱処理によって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る恒温変態曲線の変化<sup>(1)</sup>とその詳細な電子顕微鏡組織観察結果<sup>(2)</sup>について報告した。

恒温変態はオースフォームなどの加工熱処理で利用されているが、Hehemann ら<sup>(3)</sup>はオーステナイト化後、上部ベイナイト領域で恒温変態させて一定量のベイナイトを析出させ、その後一端焼入性試験を行った場合、焼入性が増大すると報告している。

今回はオーステナイト化後、恒温変態曲線の入江の温度 (550°C) で恒温保持させてベイナイト析出を伴わない場合、焼入性がどのように変化するかについて、一端焼入性試験により評価したので、その結果を報告する。

## 2. 試料と実験方法

### 2-1 試料

試料は市販されている直径 35mm のニッケル・クロム・モリブデン鋼鋼材 (SNCM-439) を用い、これを旋削にて JIS G 0561 で定める焼入性試験片に加工した。試料の化学分析値は、C : 0.4, 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 850°C で 30 分間窒素ガス雰囲気中で加熱してオーステナイト化した後、ただちに 550°C に保持してある鉛浴に急冷して、100 秒から 20000 秒までの 10 種類の各時間恒温保持した後、一端焼入装置に取り付け、約 5°C の水で 20 分間冷却した。こうして得られた試料をロックウェル硬度計

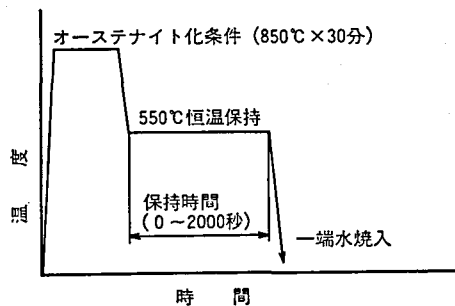


図 1 実験方法

\* 機械工学科 助手

\*\* 機械工学科 教授

\*\*\* 機械工学科 技官

原稿受付 昭和61年9月30日

(Cスケール, 荷重 150kgf) で硬さ測定を行い, 一端焼入硬さ曲線を作成した. また恒温保持時間による組織への影響を検討するために, 硬さ測定を行った位置で試料を長手方向と直角に切断し, 切断面をエメリーペーパーおよびバフ研磨してから5%ピクリン酸アルコール溶液で腐食して光学顕微鏡で組織観察を行った. さらに微細組織の変化を検討するため, 一部の試料について日本電子製 T-200 型走査型電子顕微鏡による組織観察を行った. ここでは光学顕微鏡組織観察で用いた試料を再度バフ研磨後, マルテンサイト組織が主のものは5%硝酸アルコール溶液で腐食し, 炭化物の析出が見られるものについては10%アセチルアセトン・1%テトラメチルアンモニウムクロライド・メチルアルコール混合液を用い, DC0.5Vで3~7分間定電位を保つように常時攪拌しながら電解エッチングを行った. さらにメチルアルコール中で超音波洗浄を行い, 電解エッチングに伴う試料の汚れを十分除去し供試料とした.

### 3. 実験結果および考察

図2はオーステナイト化後, 550°Cで種々の時間恒温保持した後一端焼入性試験を行い, これより得られた焼入硬さ曲線の代表的な5種類についてまとめたものである. オーステナイト化温度から恒温保持することなく直接一端焼入性試験を行った試料(恒温保持時間0秒)は, 焼入端からの距離(以下距離と略す)が1.5mmでの硬さは約 $H_{RC}50$ (90%マルテンサイト硬さ)であり, 距離の増加とともにほぼ直線的に緩やかに低下する. そして距離60.0mmでこの試料の50%マルテンサイト硬さ( $H_{RC}40$ )となり, 距離70.0mmでは約 $H_{RC}38$ となっている. 550°Cで100秒恒温保持した後一端焼入性試験を行った場合, 恒温保持しない試料に比べ焼入性は大幅低下している. しかし恒温保持時間を10000秒とした場合, 距離35.0mmまでの硬さは恒温保持しない場合をやや上回る. 恒温保持時間をさらに増し10000秒とした場合は, 距離1.5mmでの硬さが90%マルテンサイト硬さ( $H_{RC}50$ )となり, この硬さが距離40.0mmまで保たれ恒温保持しない試料と比較して硬さ, 焼入性ともに大分向上する. そしてこの傾向は恒温保持しない試料の50%マルテンサイト硬さ( $H_{RC}40$ )を示す距離60.0mmまでの間継続する. 構造用合金鋼の準安定オーステナイト領域における恒温保持は $M_s$ 点を低下させ, オーステナイトを安定化させる<sup>(4)</sup>が, 恒温保持時間10000秒における焼

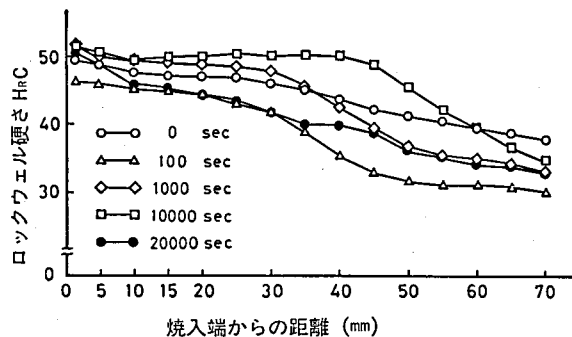


図2 550°Cで100~20000秒恒温保持した場合の一端焼入硬さ曲線の変化

入性の向上はオーステナイトの安定化に基づくものと思われる。恒温保持時間をなお増し20000秒とした場合、距離1.5mmでの硬さは恒温保持しない試料と同程度であるが、距離の増加に伴う硬さの減少傾向はこの場合のほうがやや大である。

写真1はオーステナイト化後、550°Cで0秒および10000秒恒温保持した後一端焼入性試験を行った試験片の種々の距離における光学顕微鏡組織の変化である。恒温保持時間0秒の試料は距離1.5mmではマルテンサイト組織のみとなっているが、距離の増加に比例し粒界に炭化物の析出が観察される。これに対し10000秒恒温保持した場合は、距離40.0mmまでは粒界に恒温保持によるものと思われるわずかなフェライトの析出が見られるものの、地はマルテンサイト組織のみであり、これらは図2の焼入硬さ曲線の傾向と一致する。距離60.0mmでは恒温保持しない場合とほぼ同じ硬さ(約 $H_{RC}40$ )であり、顕微鏡組織もほぼ同様である。距離70.0mmにおいてはさらに炭化物が増し、また図2の焼入硬さ曲線の傾向と一致して10000秒恒温保持した試料のほうが恒温保持しないものより炭化物の析出が多く見られ、このことが低い硬さの原因となっていると思われる。

写真2は写真1のうちの距離1.5mm、40.0mm、および70.0mmの試料の走査型電子顕

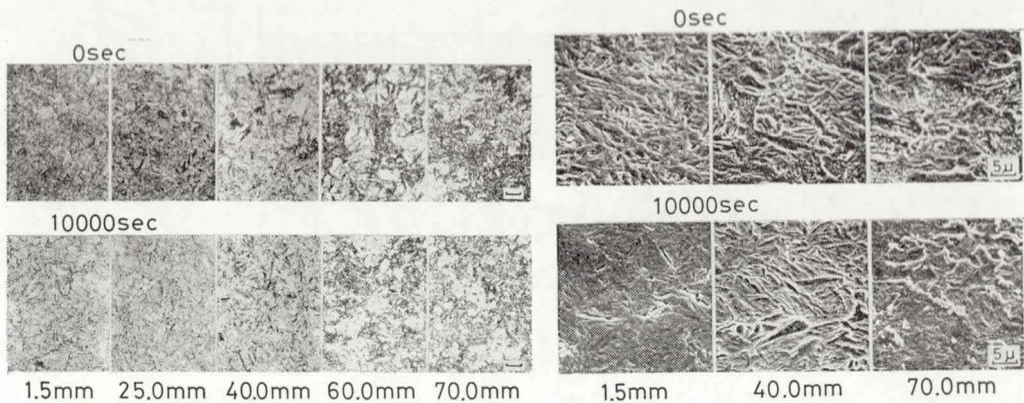


写真1 オーステナイト化後、550°Cで0秒および10000秒恒温保持した場合の焼入端からの距離に伴う光学顕微鏡組織の変化(線の長さ:10μ)

写真2 焼入端からの距離1.5,40.0および70.0mmでの恒温保持時間0秒と10000秒の走査型電子顕微鏡組織の変化

微鏡による微細組織の変化を比較したものである。恒温保持時間が0秒の場合は距離に比例して粒界における粒状の炭化物の析出量が増加している。これに対し10000秒恒温保持した場合は、距離40.0mmまでは粒界にわずかに析出したフェライト(電解エッチングにより溶解された穴)とマルテンサイト組織から成り立っている。また距離70.0mmでは恒温保持しない場合と同様の炭化物の析出が観察されるが、その炭化物の大きさはこの場合のほうが小さい。

写真3はオーステナイト化後、550°Cで0秒から20000秒まで種々の時間恒温保持後一端焼入性試験を行った試験片の距離1.5mmと40.0mmの切断面での光学顕微鏡組織の変化である。距離1.5mmにおける恒温保持時間0秒および100秒の場合はマルテンサイト組織

のみであるが、1000秒以上の恒温保持した場合は、粒界にフェライトの析出が見られ、その量は恒温保持時間に比例して増加している。これに対し距離 40.0mm では、恒温保持時間が0秒から100秒に増加すると炭化物の析出量も増すが、さらに恒温保持時間を長くすると炭化物の析出は減少し、10000秒恒温保持したときはマルテンサイトと粒界にわずかに析出したフェライトのみである。ところが20000秒恒温保持した場合では炭化物の析出が観察される。そしてこれらの傾向は図2に示す焼入硬さ曲線によく一致している。

図3は図2の焼入硬さ曲線における50%マルテンサイト硬さ ( $H_{RC40}$ ) の距離より求めた理想臨界直径である。理想臨界直径は直接水焼入れ(恒温保持時間0秒)した場合と比較し、550°Cでの恒温保持時間が短い場合には一旦低下するが、恒温保持時間が長くなるにつれ回復する傾向となり、10000秒恒温保持した場合にはほぼ同じになる。しかしこれ以上恒温保持すると再び低下する。このように50%マルテンサイト硬さに基づく理想臨界直径は、恒温保持時間0秒と10000秒でほぼ等しくなるが、90%マルテンサイト硬さ ( $H_{RC50}$ ) は10000秒恒温保持した場合のほうが、はるかにすぐれていることが図2から認められる。

Hehemann ら<sup>(8)</sup>によると、構造用合金鋼をオーステナイト化し、これを上部ベイナイト

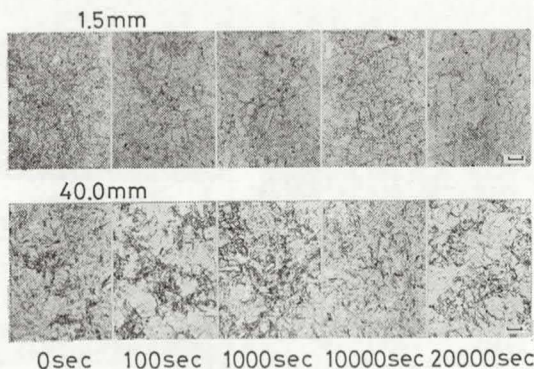


写真3 焼入端からの距離 1.5mm と 40.0mm における550°C 恒温保持時間に伴う光学顕微鏡組織の変化(線の長さ: 10 $\mu$ )

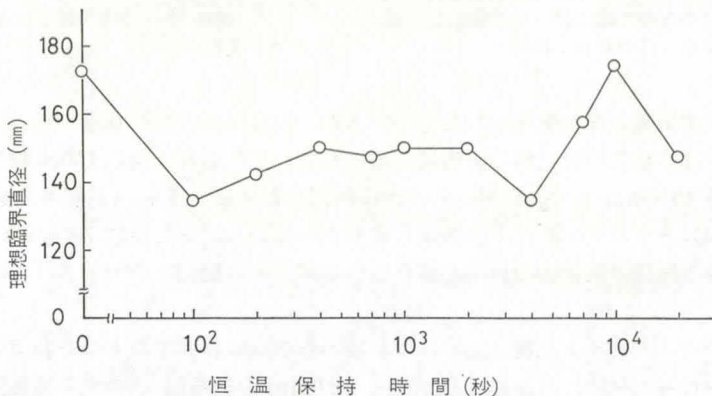


図3 550°C 恒温保持時間に伴う理想臨界直径の変化

領域で恒温保持した後、一端焼入性試験を行った場合は、安定オーステナイト領域から直接これを行った場合と比較して、焼入端の硬さはわずかに低下するが試験片全体にわたって硬さはほぼ一定であり、焼入性がかなり改善される。

これに対し今回の実験ではこれよりも高温の恒温変態曲線の入江の温度 (550°C) で恒温保持した後、一端焼入性試験を行ったものであり、写真 1, 2, 3 に示すように恒温保持に伴うベイナイト組織は観察されず、10000 秒恒温保持した場合に見られる焼入性の向上は、ベイナイト組織の析出を伴わないので、Hehemann らの報告とは別の機構に基づく結果と考えられるが、詳細については今後委ねる。

以上のような準安定オーステナイト領域における恒温保持による焼入性の向上は、これのみでは実際の熱処理において有効な方法とらしくいが、準安定オーステナイト領域では塑性加工により恒温変態が促進し、恒温変態曲線が短時間側へ移行する<sup>(6)</sup>ことを考慮するならば、オースフォームなどの後処理としてこの方法を用いることにより、さらに強靱化がはかれる可能性がある。

#### 4. 総 括

構造用合金鋼 (SNCM-439) を 850°C で 30 分間加熱してオーステナイト化した後、550°C の鉛浴中に種々の時間恒温保持し、一端焼入性試験を行い硬さ測定、光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡組織観察を行った。その結果、

恒温保持しないで直接一端焼入性試験を行った場合に対し、550°C で 10000 秒恒温保持した場合は、50% マルテンサイト硬さによる理想臨界直径はほぼ同じであるものの、焼入端からの距離 40.0mm までが 90% マルテンサイト硬さ (H<sub>R</sub>C50) となり、焼入性が向上することがわかった。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始強力な御指導と御助言をいただきました元長野工業高等専門学校教授片山修一先生に深く感謝申し上げます。また実験に協力していただいた本校卒業生 (15期) 山本浩太郎、木賀敏雄の両君に感謝の意を表します。

#### 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) 森山 実, 小林義一, 片山修一: 長野工業高等専門学校紀要, 第15号 (1984), p. 13.
- (3) R.F. Hehemann and A.R. Troiano: AIME J. of METALS, (1954), p. 1272.
- (4) 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. 29.
- (5) 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.