



## 電気オーブントースタを用いた金属の焼戻し実験

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2012-11-07 キーワード: 作成者: 三谷, 将之, 對馬, 洋二, 長澤, 徹, 相馬, 詢 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.32150/00003750">https://doi.org/10.32150/00003750</a>

## 電気オーブントースタを用いた金属の焼戻し実験

三 谷 將 之 ・ 對 馬 洋 二\*  
長 澤 徹\*\* ・ 相 馬 詢\*\*\*

北海道教育大学札幌分校機械工学研究室

\*札幌市立元町中学校技術科

\*\*北海道教育大学釧路分校機械工学研究室

\*\*\*北海道大学工学部機械材料科学研究室

## The Experiments of Steel Tempering by an Electric Oven Toaster

Masayuki MITANI, Youji TUSHIMA\*  
Tohru NAGASAWA\*\* and Makoto SOHMA\*\*\*

Laboratory of Mechanical Engineering, Sapporo College,  
Hokkaido University of Education, Sapporo 002

\*The Course of Industrial Arts, Sapporo Motomachi  
Junior High School, Sapporo 065

\*\*Laboratory of Mechanical Engineering, Kushiro College,  
Hokkaido University of Education, Kushiro 085

\*\*\*Laboratory of Engineering Machinery Materials, Faculty of Engineering,  
Hokkaido University, Sapporo 060

### Abstract

We have previously proposed a heat treatment apparatus using a cartridge type gas torch and obtained good results for the steel quenching, but not for the steel tempering.

Here we have measured the temperature distribution in an electric oven toaster and performed experiments with low temperature tempering, and we propose to use an electric oven toaster for low temperature tempering.

We have compared results of low temperature tempering in an oven with low and high temperature tempering in a small electric furnace.

The main results are as follows:

- (1) From the results of Shore hardness and torsion tests, we consider the hardness and torsional strength of S35C and S45C steel by low temperature tempering are superior to those by high temperature tempering.
- (2) The results of low temperature tempering by an electric oven toaster are almost equal to those by a small electric furnace.
- (3) Measurements of the temperature distribution in the electric oven toaster allowed the determination of the optimum heating position.
- (4) By controlling both heating time and input voltage, the temperature in an electric oven toaster can be predicted and low temperature tempering also becomes easy.

## 1. 緒言

中学校技術「金属加工II」の領域では、金属の熱処理として、焼入れ焼戻しを取り扱われており、実際には高温焼戻しと低温焼戻しがあるが、教科書<sup>1),2)</sup>には低温焼戻しのみが取り上げられている。中学校の授業では、金属を加工した後、これらの熱処理を行うことはほとんどなく、それでも一部の学校では焼入れを行っているが、焼戻しまで行っている学校は無に等しい。

これまで筆者ら<sup>3),4),5),6)</sup>は中学校でも容易に使用できるガストーチランプを用いた熱処理装置について提案し、この装置での実験結果を報告してきた。その結果、この装置は焼入れには非常に有効であったが教科書で扱われている低温焼戻しにはバルブ開度の調整が困難であることなどが分り、中学校で使用するのは無理であるという結論に達した。そこでこれに代る低温焼戻し装置が必要となってきた。

本報告は、低温焼戻し装置として電気オーブントースタを提案し、このオーブントースタでの鋼の焼戻しについて報告するものである。さらに小型電気炉を用いた低温焼戻しならびに JIS にもとづく高温焼戻しと比較検討するものである。

## 2. 試験片

### 2.1 試験片

実験に使用した材料は、機械構造用炭素鋼 S35C と S45C である。S35C 材は外径 13 mm、長さ 5.5 m の黒皮つきの丸棒鋼材であり、S45C 材は対辺距離 10 mm、長さ 5.5 m の六角鋼材である。ここで、S35C については、筆者ら<sup>7)</sup>により、比較的加工し易く、熱処理効果が大きく、中学校で使用するのに適していると提案した材質のものであり、一方 S45C については、ハンマやドライバのキット

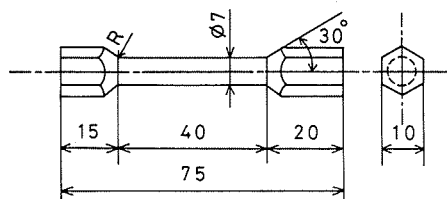


図1 試験片

などで中学校で良く使用されている材質のものである。

### 2.2 試験片の形状

試験片は、図1に示すように、両端を六角断面、中央を円形断面に加工した。この形状は、振り試験を行うことを考慮して決定した。

振り試験は JIS に規定されておらず、試験片の形状についての資料がないため、振り部を円形断面にし、一端を万力、他端をトルクレンチで固定できるように六角断面とした。六角断面から円形断面にかけては、30°の角度を有する勾配とし、円形断面に近いところは、応力が集中しないようになめらかな曲線になるように加工した。また振り部の円形断面の長さ  $l$  および直径  $d$  については、横弾性係数  $G$ 、振りモーメント  $T$ 、捩れ角  $\theta^*$  としたとき、 $G=32 Tl/\pi\theta^*d^4$  の関係式で算出した。硬鋼について、 $G=8200 \text{ kg/mm}^2$ 、トルクレンチの許容範囲から  $T=1.0 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ 、 $\theta^*=\pi/20 \text{ rad}$  としたとき、 $l/d^4=1.26 \times 10^{-2}$  が求められ、 $\theta^*$  と  $T$  が比較的明解に表わされる  $l$  と  $d$  を決定するために、予備実験を行い、 $l=40 \text{ mm}$ 、 $d=7 \text{ mm}$  に決定した。

加工には、材質の内部組織が熱で変質しないように、潤滑油を多目に使用しながら、弓ノコで切り出し、その後、両端面を旋盤で削り、丸棒の S45C は、形削り盤で六角断面にし、両材料の中央を旋盤で規定の直径に削って仕上げた。

## 3. 実験装置と実験方法

### 3.1 オーブントースタ内の温度測定

オーブントースタ内の温度測定には、K 熱電温度計を使用した。熱電対は図2に示すように下から入れることにしたが、下ふたがないと温度低下が予想されるため、下ふたを自作し、図3に示すように直径 6 mm の穴を10ヵ所開けた。温度はこの穴に熱電対を差し込み、差し変えながら測定した。オーブントースタ内の測定温度の位置を決めるため、図4に示すように、加熱物をのせる網(以後加熱網と呼ぶ)の正面手前(扉のある側)から奥に向かっての距離を  $Y \text{ mm}$ 、加熱網の手前(扉のある側)から向かってヒータに平行な距離を中心から  $X \text{ mm}$  とした。熱電対は、先端部分で感知

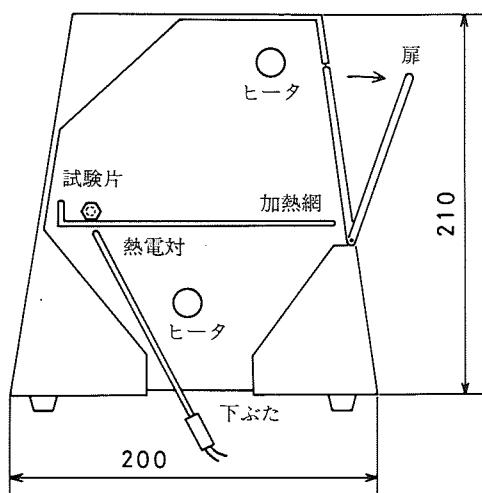


図2 電気オーブントースタの断面図

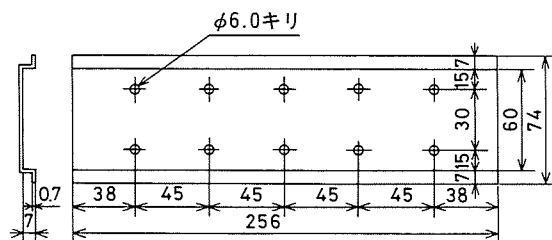


図3 下ふた

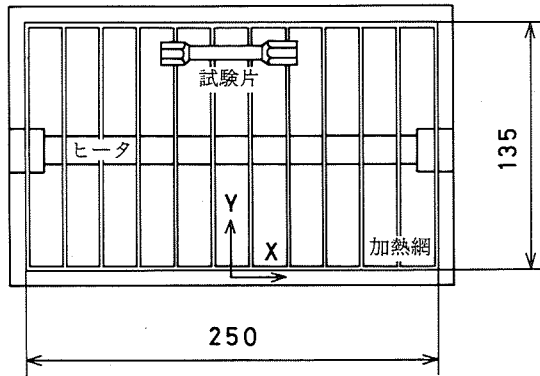


図4 加熱網と X, Y 座標

するので、先端を移動させて各位置の温度を測定することとした。

### 3.2 焼入れ焼戻し試験

図5には試験片を加熱する装置の概要を示した。試験片の加熱にあたっては、小型電気炉（島津製作所、型式 100-4 100 VMax 32A）：1 を用いた。小型電気炉の入力は、電圧を調節するために、単巻変圧器（Matsunaga Mfg Co., Ltd Type SD-1520 Max. 20A）：2 を使用し、電流計（松下電工 BD1523 Max. 30A）：3 により電流を測定した。これにより、発熱量を可変できるようにし、温度を比較的容易に設定できるようにした。入力回路には、安全性を配慮し、安全ヒューズ：4 を組み入れた。一方、オーブントースタ（タニタ製作所 Mofel T-650 100V-620W）：1 も、小型電気炉の入力回路と同様な配線を行い、温度を一定に保つために電圧を変化できるようにした。

加熱した試験片は、水で冷却を行った。容器は縦 290 mm、横 600 mm、高さ 200 mm の大きさと厚さ 3.5 mm の鋼板を用いた水槽：5 とし、底から 150 mm まで水を入れた。水の温度は、S35C が  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ 、S45C が  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  に設定し、棒状水銀温度計で測定した。

炉内の温度測定のための熱電対は K 熱電温度計（千野製作所）：6 を使用し、温度指示計（350型千野製作所）：7 の値を読み取った。測定の際、零点の補正には、水冷式基準点補償器（612-IP 型千野製作所）：8 を用いた。

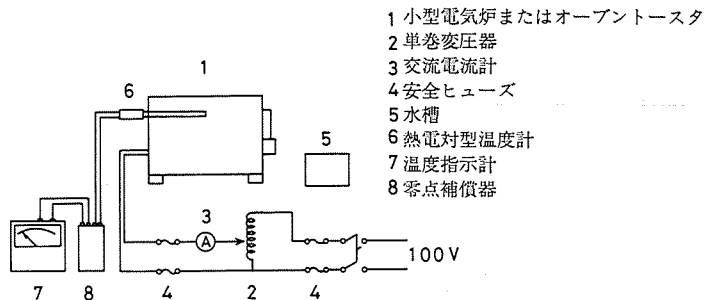


図5 熱処理実験装置の概略図

焼入れとしては、試験片を前述の実験装置により、加熱・冷却した。加熱温度は JIS で、S35C が 840～890°C、S45C が 820～870°C に指定されているので、それぞれ 860、840°C とした。試験片は、設定温度にした小型電気炉の中で15分間加熱保持し、その後水槽に入れ冷却した。この際、試験片は冷却での水鳴りが停止した瞬間に水から引き上げた。

高温焼戻しには、焼入れと同様の実験装置により、試験片の加熱・冷却を行った。設定温度は、JIS で 550～650°C に指定されているので、ここでは 600°C とした。試験片は設定温度にした小型電気炉の中で15分間加熱、その後、水槽に入れて冷却し、水鳴りが停止した瞬間に水から引き上げた。

低温焼戻しには、小型電気炉とオーブントースタでの二通りを行い、オーブントースタでも低温焼戻しの効果が十分に得られるかを検討することにした。ここで実験装置は、前述したものを使用した。設定温度は、JIS による規定はないが、一般的に炭素鋼では、100～200°C に加熱するのが通例となっており、ここでは 200°C に設定した。試験片は、設定温度にした小型電気炉の中で15分間加熱保持し、その後、水槽に入れて冷却した。一方、オーブントースタも同様の方法、すなわち、200°C の設定温度にして15分間加熱保持し、水槽で冷却を行った。

### 3.3 材料試験

#### 3.3.1 ショア硬さ試験

素材、焼入れのみ、高温焼戻しおよび低温焼戻しの鋼の硬さの変化を調べるためにショア硬さ試験を行った。試験面はそれぞれの試験片の六角部の平面を利用し、紙ヤスリの120、240および360番で研磨した。

測定は、ショア式 D 型硬度試験機(S. No140H-D 型前川試験機製作所)を用い、1面に対し5回、2面で10回行った。その10回を測定値とし、平均値  $\bar{x}$  と標本標準偏差  $\sigma_{n-1}$  によりばらつきを算出した。以下に、測定値  $x$ 、回数を  $N$  としたときの  $\bar{x}$  と  $\sigma_{n-1}$  の式を示す。

$$\bar{x} = \Sigma x / N, \quad \sigma_{n-1} = [\{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / N\} / (N - 1)]^{1/2}$$

#### 3.3.2 振り試験

図6に振り試験の概略図を示す。振り試験は、JIS では規定されていないが、振れ角に対する振りモーメントを測定することとし、次のような試験を行った。試験片の一端を万力に固定し、自作したアクリル製の指針を試験片の上部の六角部に取り付けた。ここで指針の先端から試験片の中心までの距離  $A$  は、241 mm である。目盛り板に 1 mm 方眼紙を貼り付け、指針の下に位置するように固定し、プレート型トルクレンチを試験片の上端に組みつけた。次にトルクレンチを回転させ、0.5 kg・m ごとの角度を 9.0 kg・m まで測定した。角度  $\theta$  は、基線から先端までの距離  $a$  を測定し、次式  $\theta = \sin^{-1}(a/A)$  を用いて算定した。ここで得たデータを基に、振りモーメントと角度の関係、そして横弾性係数  $G$  を、 $G = 32Tl / \pi \theta^* d^4$  の式により算出した。ここで、 $\theta^*$  はラジアン (rad) である。なお、焼入れ時に焼割れを生じた試験片は、振り試験から除いた。

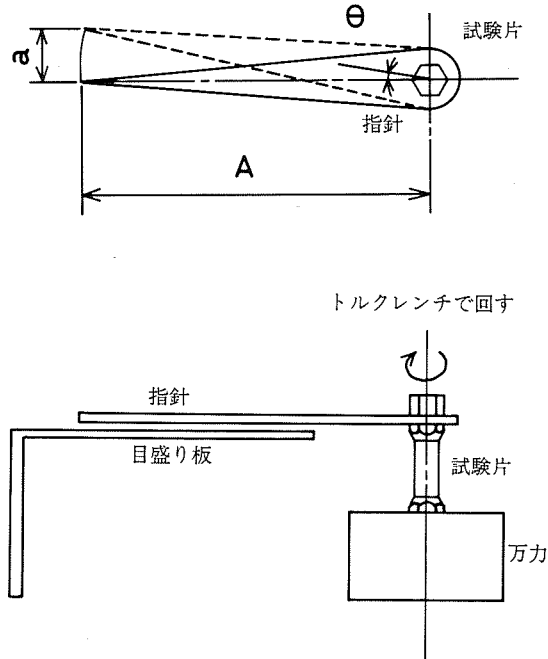


図6 振り試験の概略図

#### 4. 実験結果とその考察

##### 4.1 オープントースタ内の温度

図7(a), (b)には、入力を67V-4Aに設定し、30分以上経過したときの温度分布を示す。(a)のように、Y=60~90 mmはヒータの上部に位置し、200~230°Cと温度にばらつきがある。加熱網の手前側のY=0~50 mmは、200°Cから180°Cになだらかに温度が下降している。手前にはふたがあり、熱が逃げ易いためと考えられる。奥のY=100 mm以降は3~4°Cのばらつきはあるが、200°C付近で温度が安定している。(b)に示すX方向では、両端はやや温度が低いが、ほぼ一定している。従って、試験片は加熱網の奥側に置いて加熱するのが良いと考えられる。

図8は、加熱網の中央の奥に熱電対を固定し、オープントースタの温度上昇の状態を測定したものである。入力電圧は、40 Vから100 Vの間隔に設定し、スイッチ投下直後からの温度上昇を測定した。70 V以上では、10分後に温度上昇が緩やかになり、約15分後には一定となった。電圧が低くなるに従って温度の一定になる時間が少し遅くなっていく。また、入力電圧が80 V以上であれば、小型電気炉に比べ温度上昇が速いことが分る。

入力電圧を固定し、温度が一定になったときの温度と電圧との関係を調べたのが図9である。低温焼戻しに必要な温度は、100°Cから200°Cなので、40 Vから70 Vに設定すれば、焼戻しができることが分る。

図10は、200°Cに設定してあるオープントースタに試験片を1個置いたときの温度変化を測定した

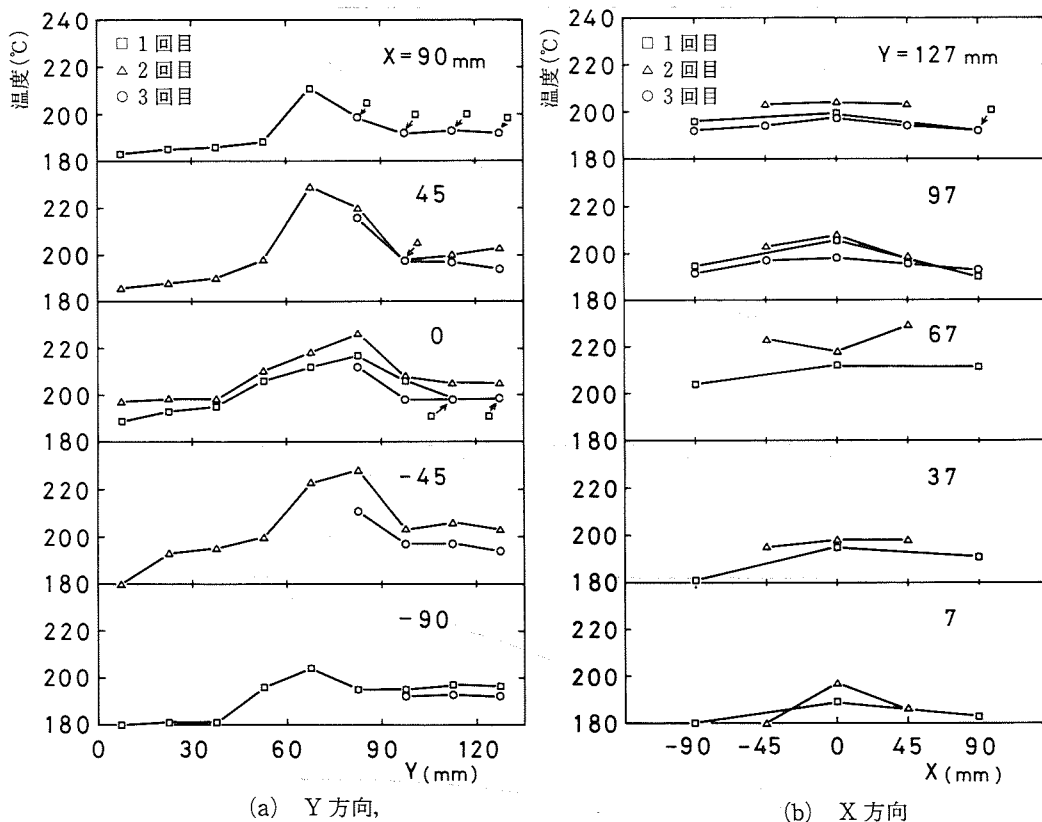


図7 電気オーブントースタ内の温度分布

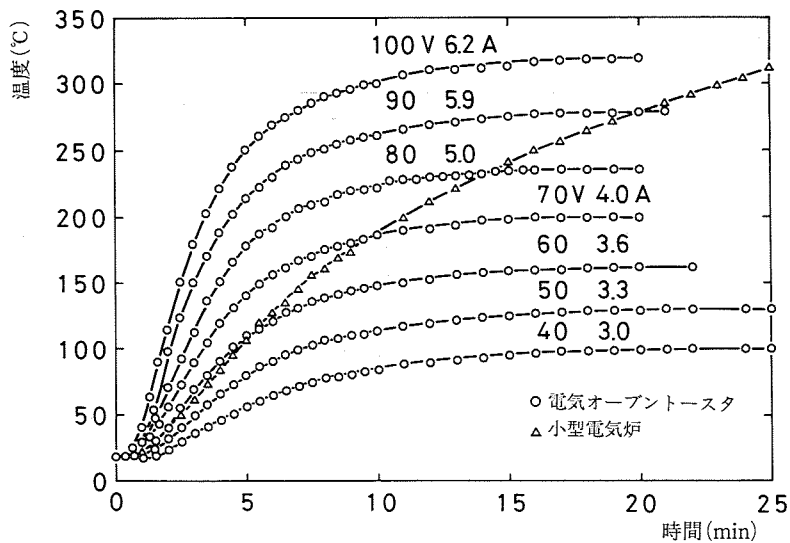


図8 電気オーブントースタと小型電気炉の温度上昇

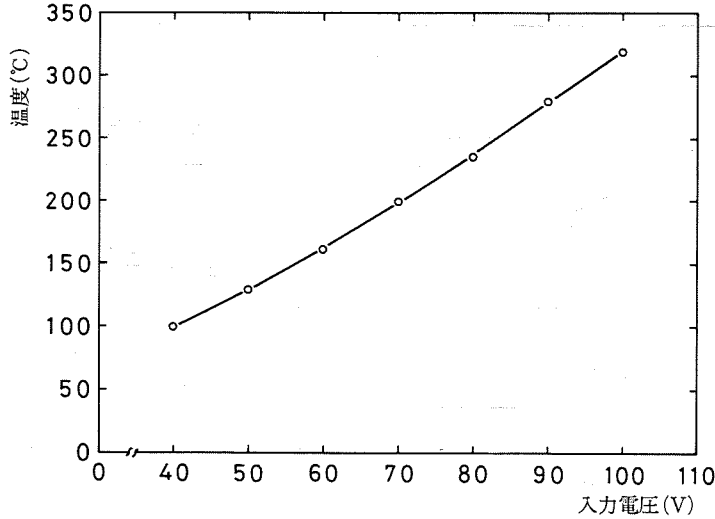


図9 入力電圧に対する電気オープンオースタ内における定常状態の温度

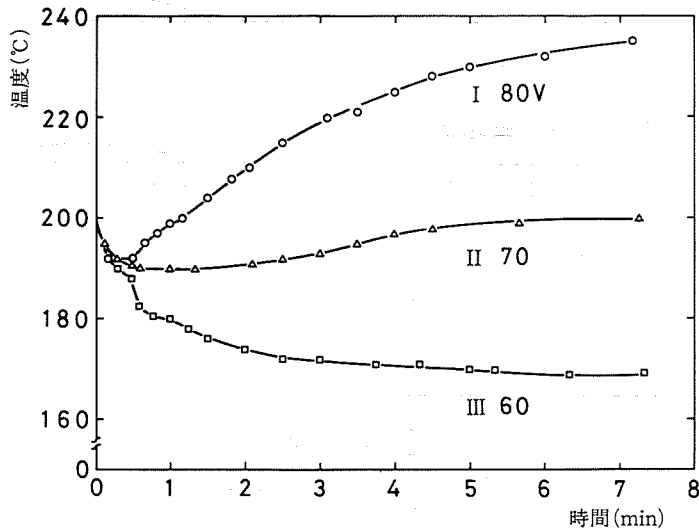


図10 電気オープンオースタ内に試験片設置後の温度変化

ものである。熱電対の先端は、図2のように試験片の真下、2~3mmのところを位置するようにした。200°Cを保持するのに70V必要であったが、試験片を置くとIIのように200°Cに戻るのに7分以上必要であることが分る。そこで、Iのように、試験片を置くと同時に80Vに設定すると1分10秒後に200°Cとなった。このままでは、温度が上昇し続けるので、200°Cになった時点で70Vにすれば短い時間で設定温度にセットできると考えられる。IIIは試験片を置いた時に60Vに設定した場合を示しており、時間とともに温度が下がることが分る。すなわち、この入力電圧設定は本実験の場合有効ではないことが分る。

#### 4.2 焼入れ焼戻しによる硬さの変化

図11は、横軸に各試験片、縦軸にショア硬さを示したものである。図中○印はS35C、-○-印はS45C

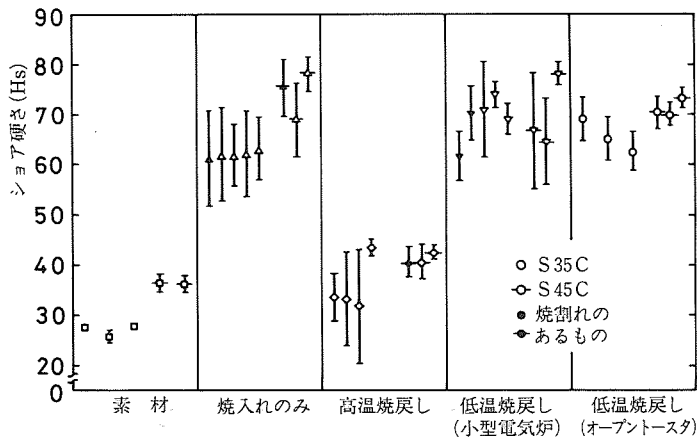


図11 試験片とショア硬さ

をそれぞれ表わし、縦方向の幅がばらつきを示している。

S35Cについてみると、素材では、ショア硬さが25~28 Hsであったが、焼入れをすると、61~63 Hsと硬くなる。しかし、ばらつきは素材の0.5~1.2 Hsに比べ、6.3~9.4 Hsと大きくなっている。高温焼戻しをすると、試験片の多くは、その硬度が31~33 Hsと焼入れのみの場合より大幅に落ちている。ばらつきは、4.8~11.4 Hsと焼入れと大差なく大きい。小型電気炉による低温焼戻しでは、68~74 Hsと試験片の多くが焼入れのみの場合より硬くなっている。ばらつきは、2.4~5.4 Hsとやや小さくなる。オーブントースタによる低温焼戻しでも、62~69 Hsと焼入れのみの場合より硬くなり、ばらつきも、3.9~4.4 Hsと焼入れのみよりは小さい。

一方、S45Cについてみると、素材では、ショア硬さが36~37 Hsであったが、焼入れをすると、69~79 Hsと硬くなっている。ばらつきは、3.5~7.6 HsとS35Cより幾分少なめの値である。高温焼戻しをすると、40~43 Hsと焼入れのみより大幅に硬度が落ちている。ばらつきは1.1~3.6 Hsと小さい。小型電気炉による低温焼戻しでは、64~78 Hsと硬度が幾分落ちているものもある。ばらつきは、8.6~11.8 Hsあるものもあり、焼入れのみの場合より大きくなっている。オーブントースタによる低温焼戻しでも、硬度が70~74 Hsと少し落ちているが、ばらつきは1.7~3.4 Hsと小さくなっている。

S35CとS45Cのいずれについても、小型電気炉とオーブントースタによる低温焼戻しを比較した場合、焼入れの状態による差が幾分生じているにしても、オーブントースタで安定した焼戻しができていることが分る。

#### 4.3 焼入れ焼戻しによる振りモーメントの変化

図12(a), (b), 図13(a), (b)および図14は振り試験の結果を示したものである。図12(a)と図13(a)は、S35C, S45Cのそれぞれについて、振れ角に対する振りモーメントの関係を示したものであり、図12(b)と図13(b)は、それぞれ原点付近を拡大して示したものである。図14は、図12と図13で直線部分と考えられる振りモーメントの3.0 kg·m (S35C素材は2.0 kg·m)までの傾きを回帰分析によって算出し、それにより横弾性係数を算出し、これを縦軸にシェア硬さを横軸にとり、グラフ表示したものである。ここで傾きは、次式によった。

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{N(\sum T_i \theta_i) - (\sum T_i)(\sum \theta_i)}{N\sum \theta_i^2 - (\sum \theta_i)^2}$$

$T_i$ : 各点における振りモーメント,  $\theta_i$ : 各点における振れ角,  $N$ : 点の数

S35C についてみると, 素材では図12(a), (b)からも分かるように, 2.0~2.5 kg・m の間で弾性領域から塑性領域に変わっていて, 振りモーメントは低い, 振れ角は最も大きい, 振れ角が 365~390° で破断した. ここでは破断点を×印で示した. 焼入れをすると, 振りモーメントが 4.0~5.0 kg・m と上昇するが, 振れ角は極端に小さくなる. 焼入れのみでは非常にもろくなることが分かる. 高温焼戻しでは, 45~60° で破断しており, 素材に比べると振れ角は低い, 焼入れのみに比べると振れ角が大きくなっている. 弾性限界での振りモーメントは, 4.0~4.5 kg・m の間であり, 素材に比べると

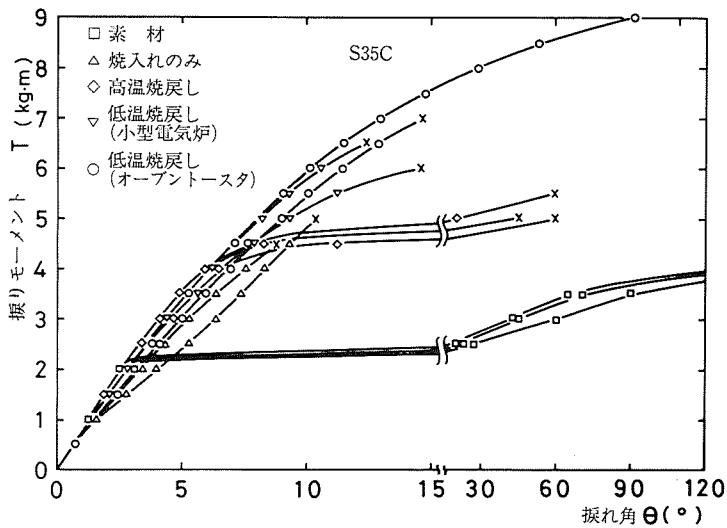


図12(a) 振れ角と振りモーメント

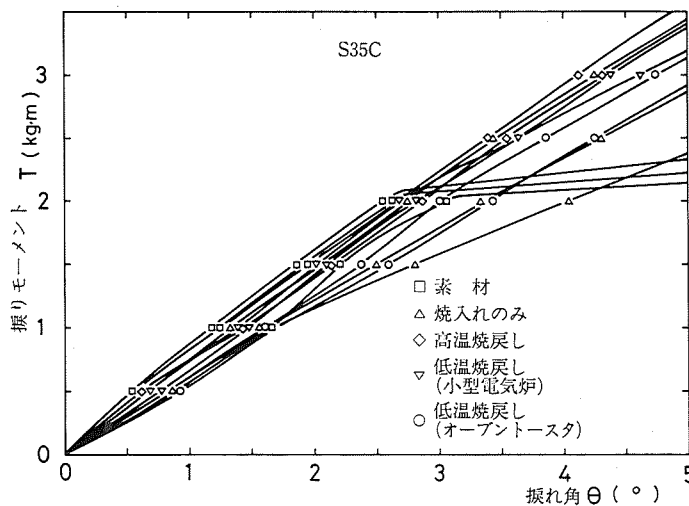


図12(b) 當れ角と振りモーメント部分詳細

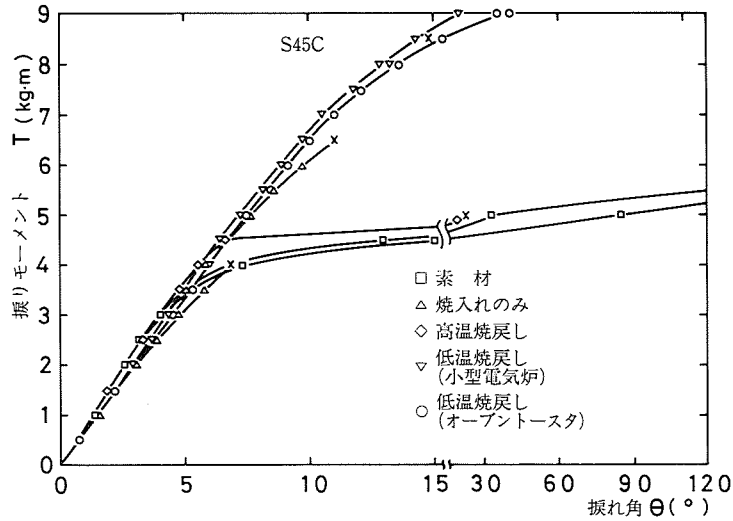


図13(a) 捩れ角と捩りモーメント

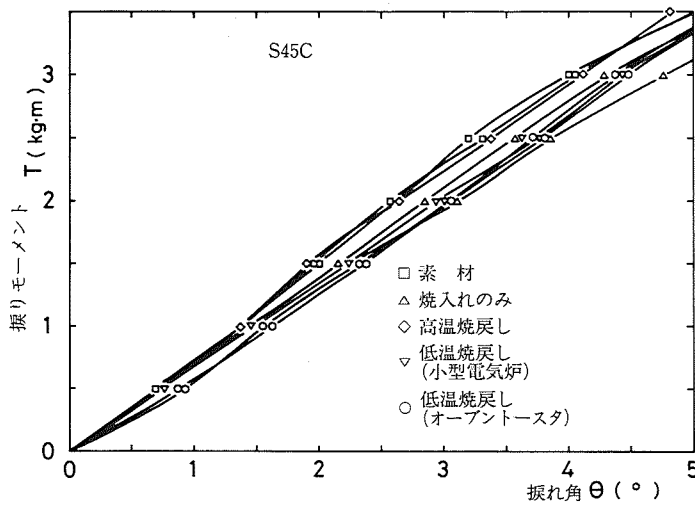


図13(b) 捩れ角と捩りモーメント部分詳細

高い。小型電気炉による低温焼戻しでは、捩りモーメントが6.0 kg·m以上と高くなっている。オーブントースタによる低温焼戻しでも、捩りモーメントが7.0 kg·m以上と明らかに低温焼戻しの効果が表われていて、捩りモーメント、捩れ角の両方の面で、焼入れのみの場合よりも優れていると判断できる。

一方 S45C についてみると、図13(a), (b)で示すように、素材の弾性限界での捩りモーメントは、3.5~4.0 kg·m と S35C に比べ高くなっている。破断は、捩れ角が 250~260° のときにおきている。焼入れをすると、捩りモーメントは 4.0~6.5 kg·m となるが S35C と同様、捩れ角が小さくなっている。高温焼戻しでは、弾性限界での捩りモーメントが 4.5 kg·m で、焼入れのみよりも低下し、素材の曲線に近ずいており強さにはあまり効果がないものと考えられる。低温焼戻しでは、捩りモーメントが、8.5 kg·m 以上と、焼入れのみより高くなりかなりの効果が表われている。小型電気炉によ

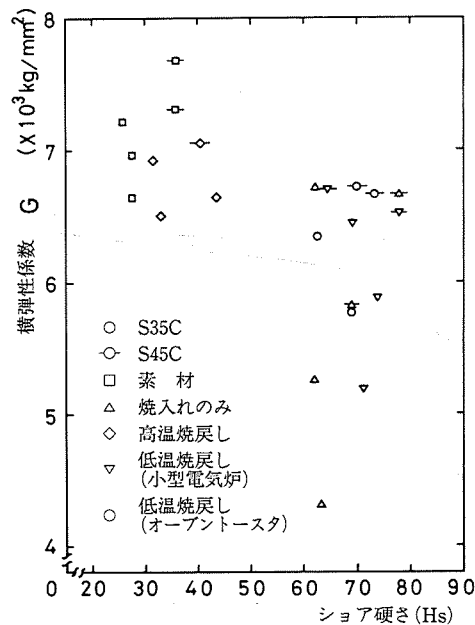


図14 ショア硬さと横弾性係数

るものとオーブントースタによるものと、両方とも本実験装置の測定限界を越えてしまったものが多くみられた。S35C同様、振りモーメント、振れ角の両面で、焼入れのみの場合より優れていると考えられる。

図14に示すショア硬さと横弾性係数との関係で、S35CとS45Cについて素材、焼入れのみ、高温焼戻し、2種の低温焼戻しの状態を検討してみる。

S35Cについてみると、素材の横弾性係数が平均  $6.9 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、焼入れのみのそれが  $5.4 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、高温焼戻しが  $6.9 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、小型電気炉による低温焼戻しが  $5.8 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、オーブントースタによる低温焼戻しが  $6.0 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$  である。素材、高温焼戻しではショア硬さが小さい値で横弾性係数は比較的高く、焼入れでは、ショア硬さが大きな値で横弾性係数は非常に低くなることもあり、安定していないことが分かる。

一方S45Cについても素材が平均  $7.5 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、焼入れが  $6.2 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、高温焼戻しが  $7.1 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、小型電気炉による低温焼戻しが  $6.6 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ 、オーブントースタによる低温焼戻しが  $6.7 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$  となっている。全体的にS35Cより高い値を示しているが、S35Cと同様、素材、高温焼戻しが、ショア硬さが小さい値で横弾性係数の値は比較的高く、焼入れのみではショア硬さが大きな値で低い値を示すことが分かる。総じて、低温焼戻しは焼入れのみ、高温焼戻しに比較してショア硬さがあまり落ちないで横弾性係数も素材に比べて少しの低下で維持できることが分かる。

## 5. 結 言

金属の熱処理の内、電気オーブントースタを使用して焼戻し実験を行った結果を要約すると次の

ようになる。

(1) S35C 鋼と S45C 鋼のショア硬さ試験および振り試験から比較的小さい振り角における硬さおよび振りモーメントについては高温焼戻しより、低温焼戻しの方がすぐれた結果が得られた。

(2) ショア硬さ試験および振り試験の結果により、小型電気炉を使用した低温焼戻しとオーブントースタを使用した低温焼戻しとはほとんど差異のないことが分かった。

(3) オーブントースタは、ふたのある正面手前より奥の方がふたの開閉の影響も比較的少なく温度が安定しているが、ヒータの上部付近は温度分布が一定していない。

(4) 加熱時間と入力電圧の制御だけで、オーブントースタ内の温度が予測でき、低温焼戻しができることが分かった。

本研究の一部は第 3 回日本産業技術教育学会北海道支部大会（平成元年11月）において、その概要を報告した。

### 参 考 文 献

- 1) 鈴木寿雄編，教科書 技術・家庭⑤，開隆堂，(1987)，pp.80—96.
- 2) 馬場信雄，石毛フミ子，林雅子編，教科書 新しい技術・家庭(上)，東京書籍，(1987)，pp.79—100.
- 3) 三谷將之，長谷川正人，長澤徹，カートリッジ型ガストーチランプを用いた金属の熱処理実験，北海道教育大学紀要(第2部A)，第39巻，第1号，(1988)，pp.31—41.
- 4) 三谷將之，長澤徹，カートリッジ型ガストーチランプを用いた金属の熱処理実験(続報)，北海道教育大学紀要(第2部A)，第40巻，第1号，(1989)，pp.65—74.
- 5) 三谷將之，横川広志，長澤徹，ガストーチランプによる金属の熱処理，日本産業技術教育学会北海道支部研究発表論文集，第1号，(1988)，pp.41—48.
- 6) 三谷將之，長谷川正人，長澤徹，ガストーチランプによる金属の熱処理(続報)，日本産業技術教育学会北海道支部研究発表論文集，第2号，(1989)，pp.53—60.
- 7) 三谷將之，丹羽恒，長澤徹，中学校技術[金属加工II]で使用する材料の選定，北海道教育大学紀要(第2部A)，第37巻，第1号，(1986)，pp.85—94.
- 8) 長岡金吾，機械材料学(改訂3版)，工学図書，(1983)，pp.67—77，pp.99—100，pp.148—171.
- 9) 日本熱処理技術協会編，熱処理ガイドブック基礎編及び応用編，大河出版，(1984)，pp.122—124，pp.50—63.