

# 打刃物鋼の焼入とその歪の研究

小柴定雄\* 菊田光男\*\*

## Studies on the Distortion of Quenched Cutlery Steel

By Sadao Koshiha, D. S. E. and Mitsuo Kikuta  
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The writers studied the apparent aspect of deformation and warping of the quenched cutlery steel due to the variation of heat treatment and when strain was given by cold working.

It was found that the warping was least when agitating quenching method was used and largest when the specimen was quenched from the reverse side of the edge.

Though it was observed that the distortion differed according to the change of temperature of quenching and quenching water, the tendency was not definitely determined.

Through the above research it was ascertained that the strain can be prevented to some extent by giving proper heat treatment and cold working before the quenching is practised.

The writers finally devote in the report a discussion from various angles to the results of their experiments.

### 〔I〕 緒 言

一般に鋼材を焼入する際、その量に大小の差はあれ必ず歪の現象を生ずる。特に地金と刃物鋼を鍛接により附刃する場合この現象が著しく、多くの場合使用目的に大なる障害を伴うものである。これが防止策に就いては刃物鋼を扱う鍛冶業者の古来より苦心し来つたところであるが、長期に亘る経験の一つに「生打ち」と称する操作を行うことにより、或程度の歪を防止し得ると云う人もある。本研究は打刃物鋼の熱処理による歪の状況、これが生因を明かにし、又「生打ち」の歪に及ぼす影響を究明し、更に他の方法による刃物鋼の歪防止法を見出そうとするものである。

本報告に於ては、刃物鋼のみの場合に就いて各実験を行つたもので、実際には附刃の場合の歪が問題となるからこの意味に於て本報告は予備的研究とも称すべきものである。

\* 日立製作所安来工場 工博

\*\* 日立製作所安来工場

### 〔II〕 実験試料及び実験方法

本研究に供せる試料は日立製作所の刃物鋼白紙2号を用いた。その化学成分を第1表に示す。

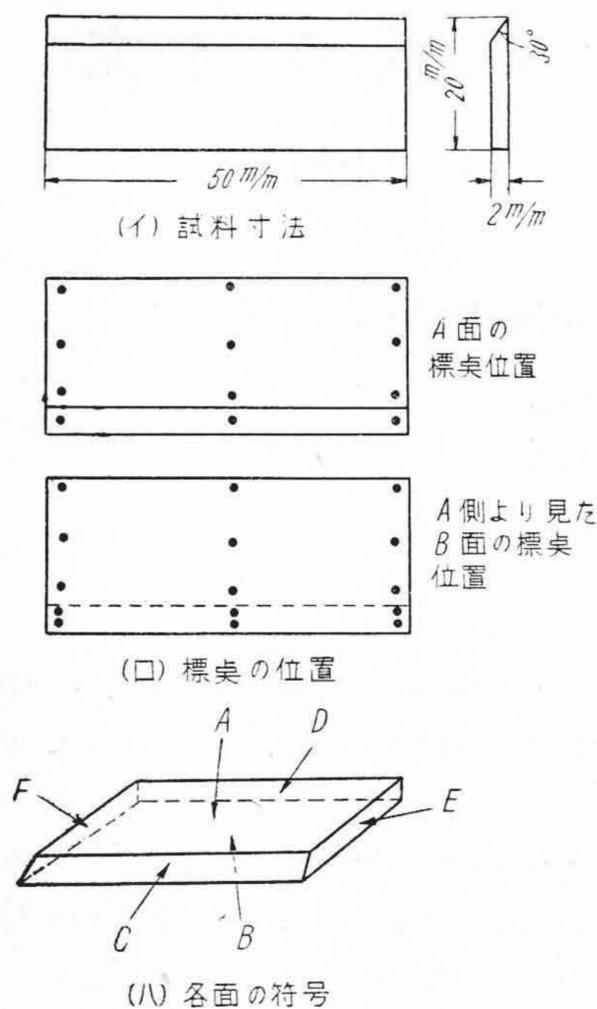
素材は圧延で19mm角とせるものを鍛伸により4mm×25mmの板状とし、これを750°Cに1hr加熱後徐冷せるものをセーパー成形後グラインダーで第1図(イ)(次頁参照)の寸法に仕上げた。同図(ロ)は熱処理前後の歪量を測定する為の標点の位置を示す。第1図(ハ)は試料の各面に対し便宜上符号を附したもので以下この符号を用いて試料各部を示すこととする。

熱処理前後の伸、或は縮は左右上下各標点間をマイクロコンパレータにより、厚さの変化はマイクロメータに

第1表 試料の化学成分

Table 1. Chemical Analysis of Specimen

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
白紙2号	1.12	0.23	0.23	0.016	0.004	0.13	0.05	Nil	0.03

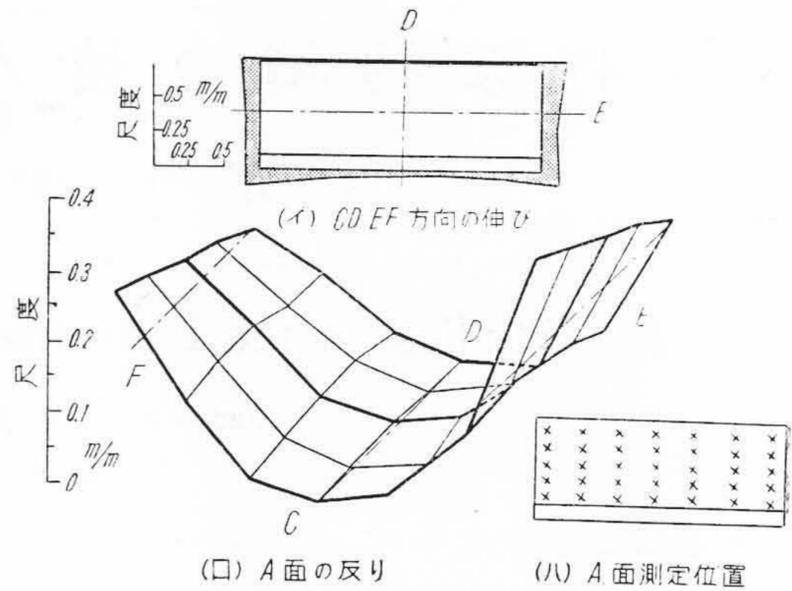


第1図 試料の寸法標点位置及び符号  
Fig. 1. Dimensions, Mark Positions and Signs of Specimen

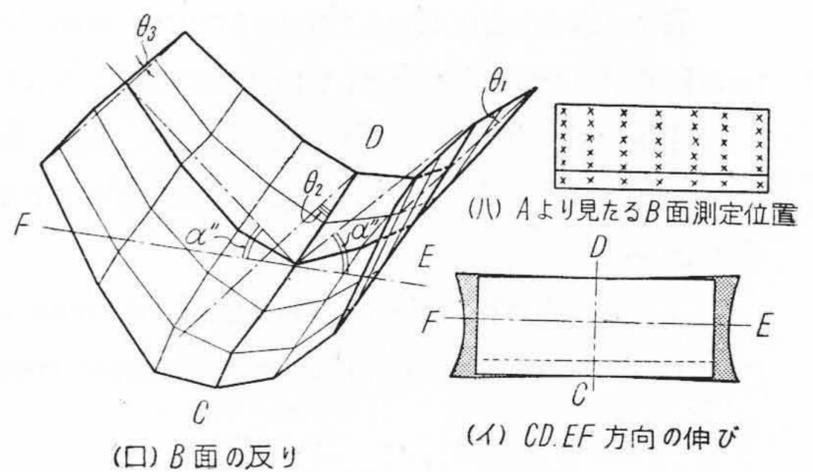
より測定した。又反り (Warping) の測定は次の如くした。即ち、油を薄く塗布せる定盤上にトースカンを利用して取付けた 1/100 mm ダイヤルインデケータを摺動し、定盤上に三点で支指された各試料の同位置の高さの変化を後に述べる如くグラフ上に立体的に表わした。逆に反つた試料はその中央部を押え金具で固定せしめ、両端間隙に適当なライナーを挟んで測定を行つた。この方法による測定誤差は約  $\pm 1/200$  mm である。

第2図(イ)は A 面に於ける焼入後の EF, CD 方向の実際の伸、或いは縮を 20 倍に拡大して表わした一例で、斜線部分でその量及び形状を示したものである。縦横の中心線はこの二方向が動かなかつたものと仮定し、これを基準線として EF, CD 方向の変形を作図した。同図(ロ)は反りの状態を示す。即ち上記の測定装置により、始めの高さと焼入後の高さの差で作図せるものである。(ハ)はその測定位置を×印で示したものである。第3図(イ)は B 面の変形を A 側よりみた場合で、(ロ)(ハ)は同様 A 側よりみた B 面の反り及び測定位置である。特に B 面に於ては A 面で測定不能の部分即ち傾斜面 C に相当する部分の変形と反りを示さんとした。

EF, CD 2 方向の歪は第 2, 3 図に示した規準線で求めた。実際の焼入後の長さは warping 及び deformation の為、測定値と多少異なることが考えられるが、その量は



第2図 焼入試料の伸びと反りの状況(A面)  
Fig. 2. Aspect of Elongation and Warping of the Quenched Specimen (Surface A)



第3図 焼入試料の伸びと反りの状況(B面)  
Fig. 3. Aspect of Elongation and Warping of the Quenched Specimen (Surface B)

無視して差支えない程度である。厚さ即ち AB 方向の変化はマイクロメータの誤差が影響するので参考程度に留めた。今始めの長さ  $l$  と熱処理後の長さとの差を  $\Delta l$  とすれば歪は  $\Delta l/l$  で表わされる。

一般に板状試料の反りは両面の長さの差によつて生じ、一様に反つた場合は球面をなす。本試料に於ては反りは EF 方向が最も大きい。そこで B 面上の EF 方向の基準線の反りに就いて平均曲率で比較する方法をとつた。今 AB 両面の始めの長さを何れも  $l$  とし、焼入後それぞれ  $l + \Delta l_A$ ,  $l + \Delta l_B$  となつて反りを生じたとすれば、B 面の曲率は次式で表わされる。

$$\frac{1}{\rho_B} = \frac{\Delta l}{l_B h} \dots \dots \dots (1)$$

但し  $\Delta l = \Delta l_B \sim \Delta l_A$   
 $\rho_B$ : B 面に於ける半径  
 $h$ : 試料の厚さ

又実際の warping より幾何学的に B 面の曲率を求めれば近似式 (2) を得る。

$$\frac{1}{\rho_B} = \frac{4 \tan \alpha}{l_B} \dots \dots \dots (2)$$

但し  $\alpha$ : Warping によつて生ずる  $l_B$  の両端と中央部とのなす平均角度

本文に於ける曲率は凡て、第3図(ロ)の如き図面上より図学的に平均角  $\alpha'$  を求め、これより曲率を算出した。図面では  $EF$  方向の長さを見易くする為、適当に  $2a'$  にとつたが、実際の長さ  $2a(=l_B)$  にとつた時は、長軸  $2\rho$ , 短軸  $\rho/50$  なる楕円周の長軸方向の一端が図面に表わされる。これより  $\tan \alpha'$  を求め、これを 100 で除したものが実際の  $\tan \alpha$  である。又第3図(ロ)に示す如く  $\theta$  なる  $CD$  方向の傾斜角により、 $\alpha$  の値より多少増減することがあるが、その誤差は殆ど無視し得る程度である。

(1), (2) 式共に試料が一樣に反つたものと仮定した場合成立するものであるが、実際には一樣な warping を生ずるとは限らないから、(1), (2) 式により表わされる曲率は  $EF$  の平均曲率である。又 (1), (2) 式の同一試料に於ける値が異なる時は、厚さの不均一な変化或は想定規準線及び他の部分の不規則な歪を生じたと見ることが出来よう。

大部分の試料の加熱焼入には  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  42%,  $\text{NaCl}$  58% 組成の塩浴炉を用い酸化膜の生成を防止した。

### [III] 実験結果

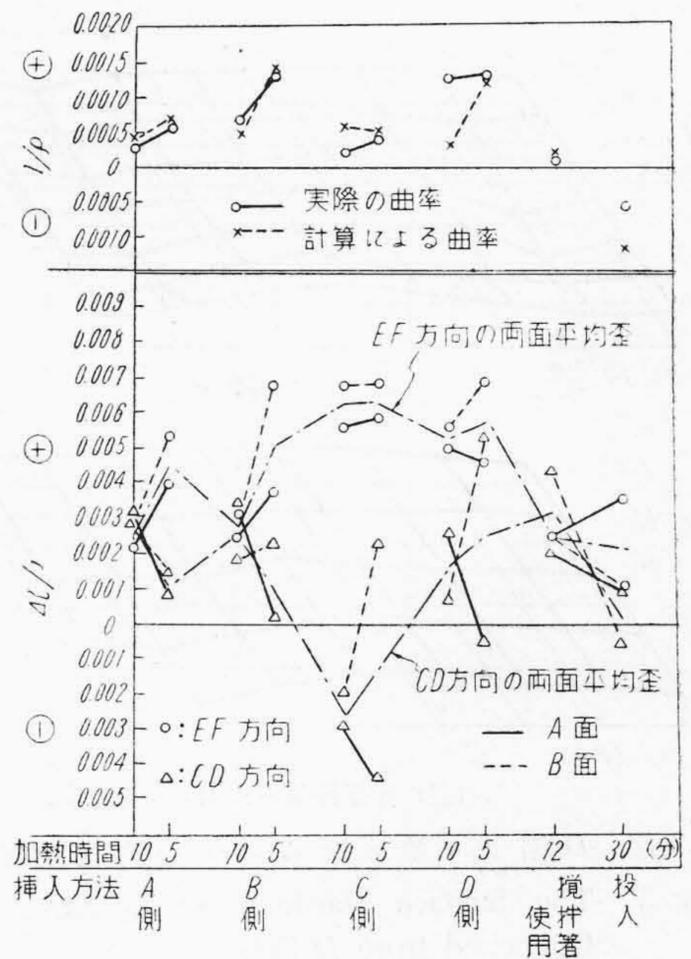
#### (1) 焼入方法と歪の関係

試料の水中挿入方法と歪との関係を第4図に示す。焼入は試料を細いニクロム線で塩浴炉中に吊し、何れも  $780^\circ\text{C}$  より  $35^\circ\text{C}$  の水中へ各方法により焼入を行つた。但し試料も水も静止のままとした。加熱時間は 5 min と 10 min の2通りとしたが、5 min 保持の方が曲率と  $EF$  方向の歪に於て大で  $CD$  方向は増減した。而して  $AB$  両面の平均値をとつてみると、 $EF$  方向と  $CD$  方向の歪の増減の割合は概して逆傾向である。反りは  $D$  側即ち背方向から挿入せる場合が最も大きく、鉄製箸にて試料を挟み水中に攪拌焼入した場合が最小である。然しこの場合の  $AB$  両面の凹凸は甚しい。投入とあるは試料を水槽に投入し、 $B$  面が水槽の底部に接触冷却したもので、反りの方向は他の場合と逆である。

塩浴炉を用いても、僅か乍ら酸化膜の生成が見られ、これの厚さの変化に及ぼす影響を考慮してみるに、今酸化膜が試料全面に一樣に生じたとすれば一面に於ける酸化膜の厚さは次式で算出される。

$$\Delta h' = \frac{g}{S \times A} \dots \dots \dots (3)$$

但し  $\Delta h'$ : 酸化膜の為に減少せる厚さ  
 $g$ : 焼入前後の重量差



第4図 試料水中挿入方法と歪との関係  
 Fig. 4. Relation between the Strains, Warpings and Quenching Methods

$S$ : 焼入後の比重  
 $A$ : 焼入後の試料の全表面積

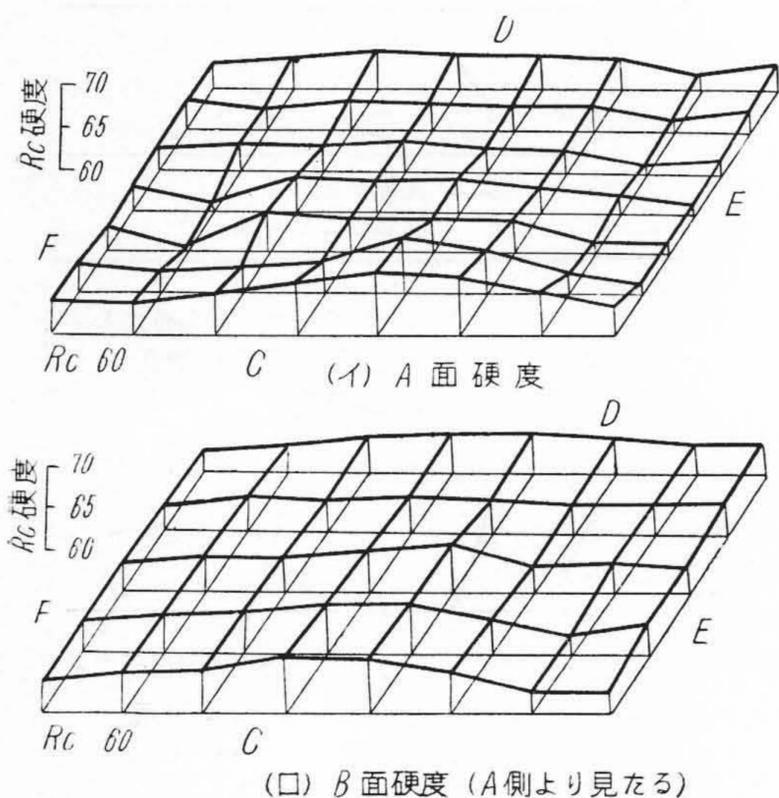
今最も加熱時間長く重量減の大なる投入の場合をとると重量減 0.2 g, 比重 7.7, 全表面積  $2,380 \text{ mm}^2$  となり、 $\Delta h'$  は  $0.000019 \text{ mm}$  となる。表面積は  $A, B$  面がその大部分を占めるから、この値を 2 倍したものが実際減少した厚さとみて差支えない。即ち  $0.000038 \text{ mm}$  となり無視し得る程度である。次に厚さ方向 ( $AB$  方向) の歪の大きさを推定するに、今三方向の歪が同率であるとすれば次式より一方向の歪が算出される。

$$\frac{\Delta l}{l} = \left( \frac{S_0}{S} \right)^{1/3} - 1 \dots \dots \dots (4)$$

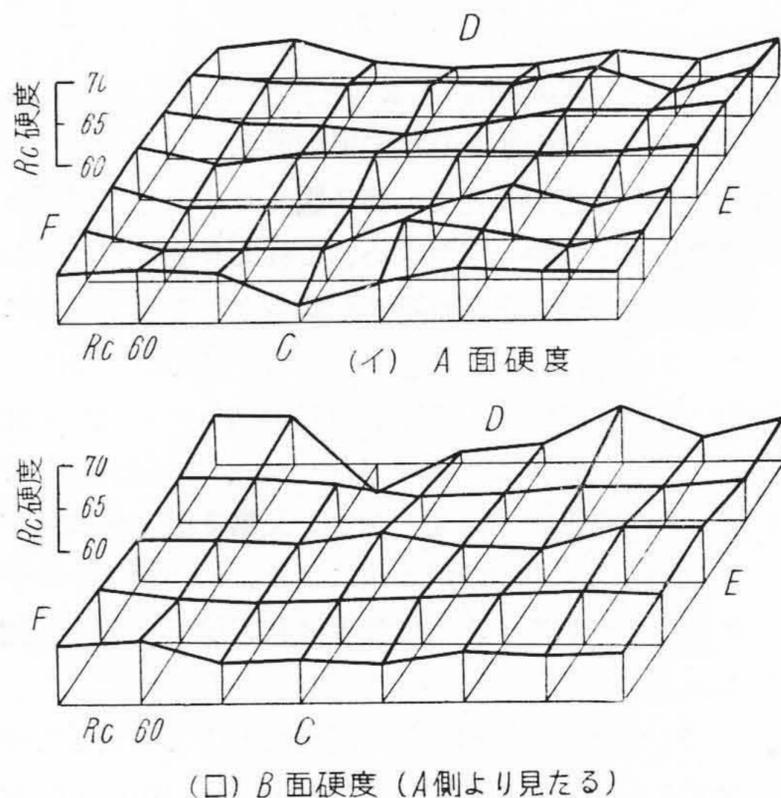
但し  $S_0$ : 焼入前の比重  
 $S$ : 焼入後の比重

本実験に供せる試料の比重を Archimedes の式より算出すると焼入前、焼鈍状態で平均 7.772, 焼入後 7.708 である。これから (4) 式を用い、平均歪を対数計算すれば、約 0.0027 となる。第4図より  $EF, CD$  方向の歪は、前者はこの値より大きく、後者は小である。故に厚さの平均の歪は両者の中間にあるものと推定される。

歪の状況は全部四隅方向へ伸びる傾向にある。然し  $EF$  方向の歪は  $A, B$  又は  $C, D$  方向から挿入せる場合の傾向はお互に逆であつて、 $A, C$  方向の場合は  $C$  側部の伸が大であり、 $B, D$  方向の場合には  $D$  側の伸びが  $C$  側より大きい。



第5図 D側より焼入せる場合の表面硬度  
Fig. 5. The Surface Hardness of Specimen Quenched from D Side



第6図 C側より焼入せる場合の表面硬度  
Fig. 6. The Surface Hardness of Specimen Quenched from C Side

何れの場合も双先部分は特に大なる歪を生じた。CD方向の反りは殆どないとみて差支えない程度で、その方向も一定でない。EF方向の反りは双先部が最も大きく、次いで中央部、D側の順となる。又CD方向の歪は部分により異なるが一般に双先部の歪が他に比し大きいようである。硬度は投入の場合を除いては何れも僅かではあるがB面の方が大である。

第5、6図はC側及びD側より焼入した場合の試料両面硬度を立体的に表はしたもので、A面硬度は第5図の如く、D側より挿入せる場合はEF方向の中央が高く、CD方向では中央が低いのに反し、C側より焼入した際は第6図の如くD側の場合と逆傾向を有する。B面に於てはそれ程の差を見出し難い。第6図(ロ)のD側の一部の硬度が非常に低いのは塩の附着せる結果と考えられる。他の試料に就いてもこの種の硬度ムラが認められた。両図に於てC面とこれに相当するB面の一部は反りの為硬度測定が困難で割愛した。挿入方法と硬度との関係は、5min保持の方が何れの場合も10minの場合に比し僅かに硬度が高い。僅少な脱炭の影響も考えられるが寧ろ焼入温度の差異に基くものである。両面の平均硬度と挿入方法の間に大差は認められないが、唯投入の場合は少々低くなっている。

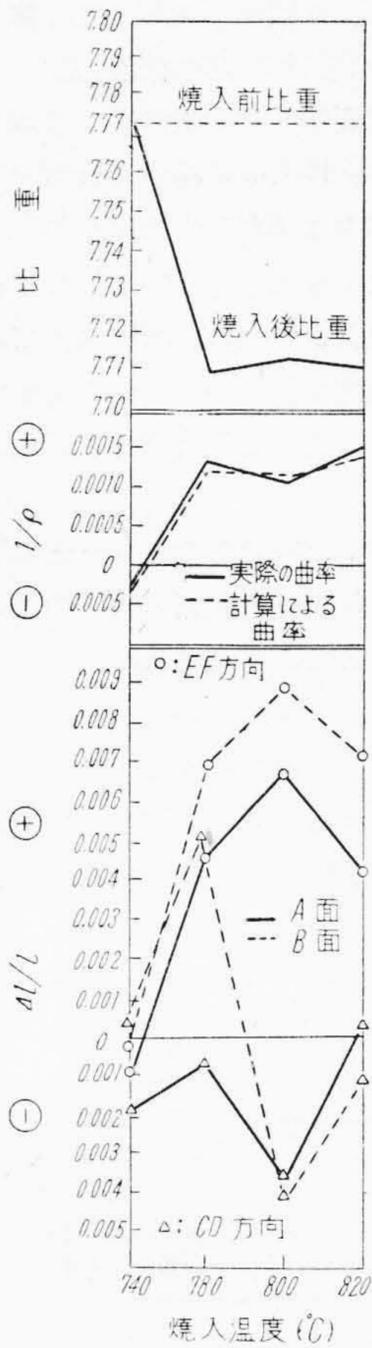
第7図は焼入温度を変えた場合であり、何れも焼入方向はD側、加熱時間は10minである。740°Cの場合はA<sub>C1</sub>以下にあつたものゝ如く、各寸法は減少し反りは逆方向で且つ焼きが全然入っていない。EF方向に一様に反りを生じたことはwarping測定図及び(1)、(2)両式

による値が殆ど等しいことから知られる。この場合も歪の傾向は前実験同様である。CD方向の歪はEF方向のそれが大きい為か却つて減少を示した。硬度は780°Cの場合が最も大で、両面の各平均硬度は僅かにB面がA面より大きい。

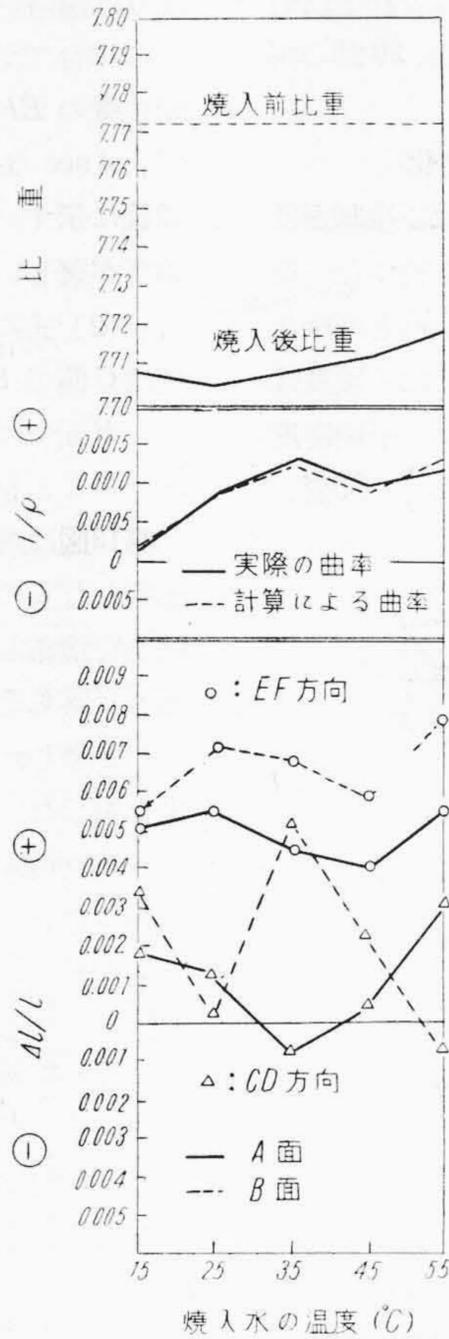
第8図は焼入水の温度を変えた場合の歪の変化を示す。焼入方法は780°Cに10min保持後D側より静止焼入した。図の如く反りは水温上昇と共に増加する傾向があるが、35°Cの場合には特に大きい。15°Cの場合には平均曲率は小さいが凹凸が他に比し甚しい。AB面の歪の傾向は前述の実験同様で、硬度は35°Cの場合が少々高く、比重は25°Cの場合が最小、55°Cの場合が大となつた。

(2) 焼入前の熱処理の焼入歪に及ぼす影響

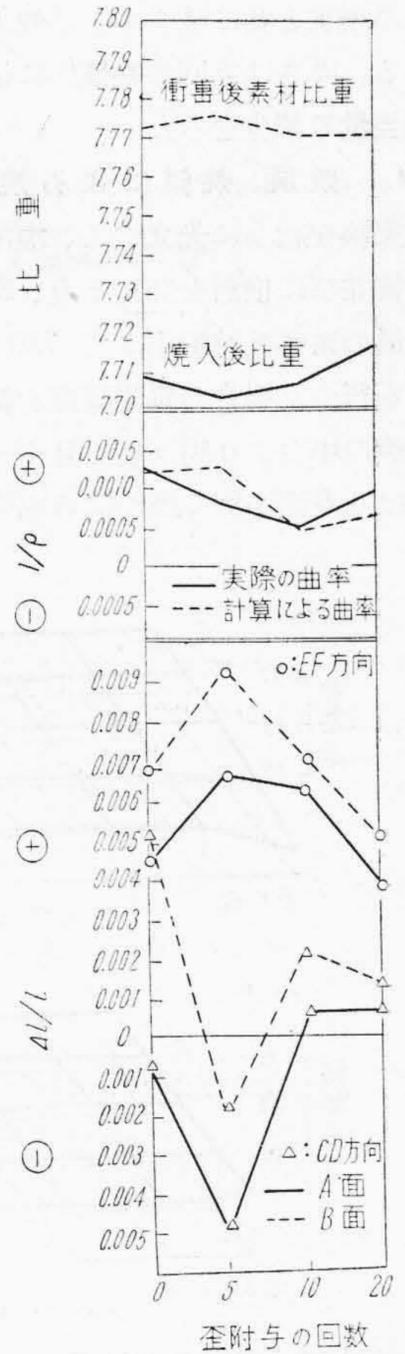
次に焼入歪と焼入前の熱処理との関係を調べる為に、820°Cで油焼入せる試料を鉛槽で650°Cに30min保持焼戻し、再び780°Cに10min保持後前実験同様に35°Cの水へ焼入を行つた。油焼入、焼戻した場合の歪は、EF方向に於ては中央部が縮み、CD方向は逆に中央部が増加したがその大きさは僅少である。反りは殆ど無い。又厚さは僅かに減少した。これを水焼入した場合の歪は、EF、CDに於てはこれ迄の場合に比し甚しい変化は認められないがwarpingは小さい。即ち(1)式による曲率0.00041、(2)式による曲率0.000512で、A面に於てはEF方向の歪0.0047、CD方向0.00063、B面に於てはEF方向0.0055、CD方向-0.00029である。厚さの変化は確められなかつたが、焼入歪のAB面に於ける状況は今迄と同様であつた。



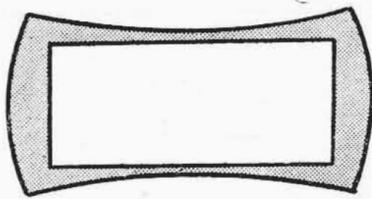
第7図 焼入温度と歪、反り、比重との関係  
Fig. 7. Relation between Strains, Warpings, Specific Gravities and Quenching Temperatures



第8図 焼入水温度と歪、反り、比重との関係  
Fig. 8. Relation between Strains, Warpings, Specific Gravities and Water Temperatures



第9図 加工度と歪、反り、比重との関係  
Fig. 9. Retation between Strains Warpings, Specific Gravities and Degree of Cold Working



第10図 歪附与による変形  
Fig. 10. Deformation of Specimen after Cold Working

前記試験と共に 760°C より空冷した試料を同様に焼入してその歪を調べた結果、EF, CD が僅かに減少し、厚さは少々増加し、反りは殆ど生じない。これを水焼入をした時は相当大なる歪を生じた。即ち(1)式による曲率 0.00035, (2)式による曲率 0.000805, A面に於ける EF 方向の歪 0.0075, CD 方向 0.00125, B面に於ては EF 方向の歪 0.0068, CD 方向 -0.00058 となつた。EF 方向の歪は両面の基準線上ではA面に於ける方が大きい、平均歪はB面が大きいので warping はやはり他の

場合の如くA面に凹であり、その量も相当大きい。又 CD 方向の warping も相当大きく現われたが、これは CD 方向の両面の差が大きくなつたからであろう。

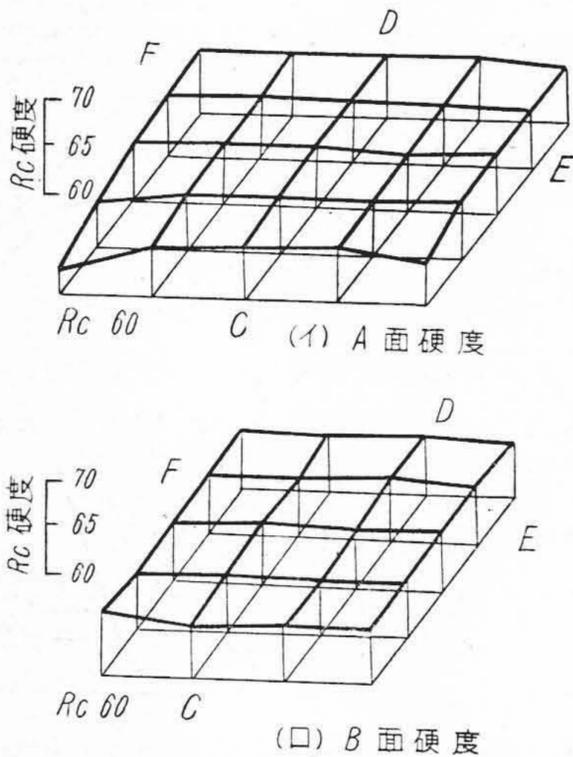
(3) 歪附与の影響

本実験では始めの第1図寸法の試料に 25kg のハンマーを 1.5m の高さより試料に落下激突せしめ、この回数と歪の関係を調べた。実際には第10図の如く試料の三方向の変形を生じたので長さ寸法のみはグラインダーで規定寸法としたが多少減少せる厚さは寸法通りにする訳に行かずその儘で実験を行つた。勿論標点は成形後規定位置に印した。焼入方法は 780°C, 10 min 保持後 35°C 水中へD側より静止焼入した。実験結果を第9図に示す。EF 方向は5回の場合伸びが急増し、10回、20回とその量を減ずる。CD 方向はこれと逆傾向である。warping は、10回の場合が最も小さい。焼入硬度は warping と同傾向にある。焼入前の比重は5回の場合少々増加し、

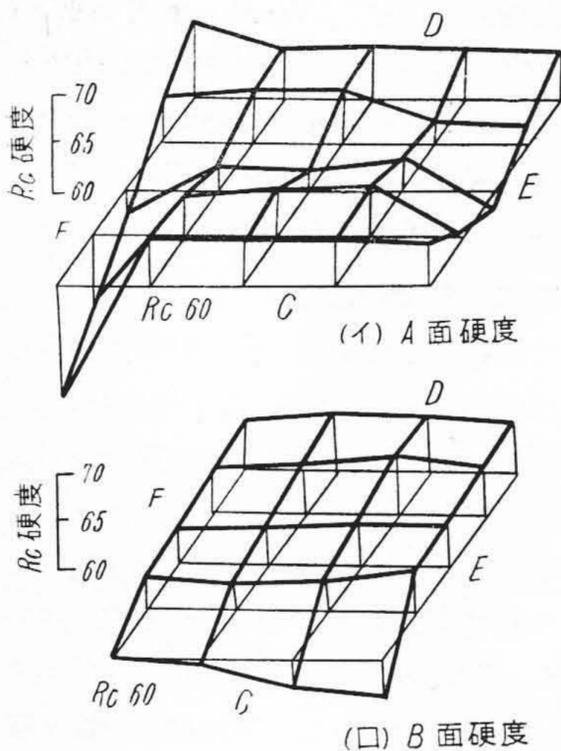
回数が増加と共に減少する。焼入後の比重はこれと反対である。厚さは5回の時僅かに減少し、10回、20回の場合相当量の減少をみた。

(4) 焼戻、焼鈍による焼入歪の変化

本実験を行うに先立つて、塩浴剤の影響及び冷却速度の影響並びに検討を加える為、2, 3の実験を行つた。即ち普通の電気抵抗炉中にて780°C加熱後、前と同様な焼入を行つた場合の両面硬度を第11図に示した。硬度は塩浴炉の場合より少々高く且つ一様であるが、平均硬度はやはりB面が極く僅かにA面のそれより高い。又歪、



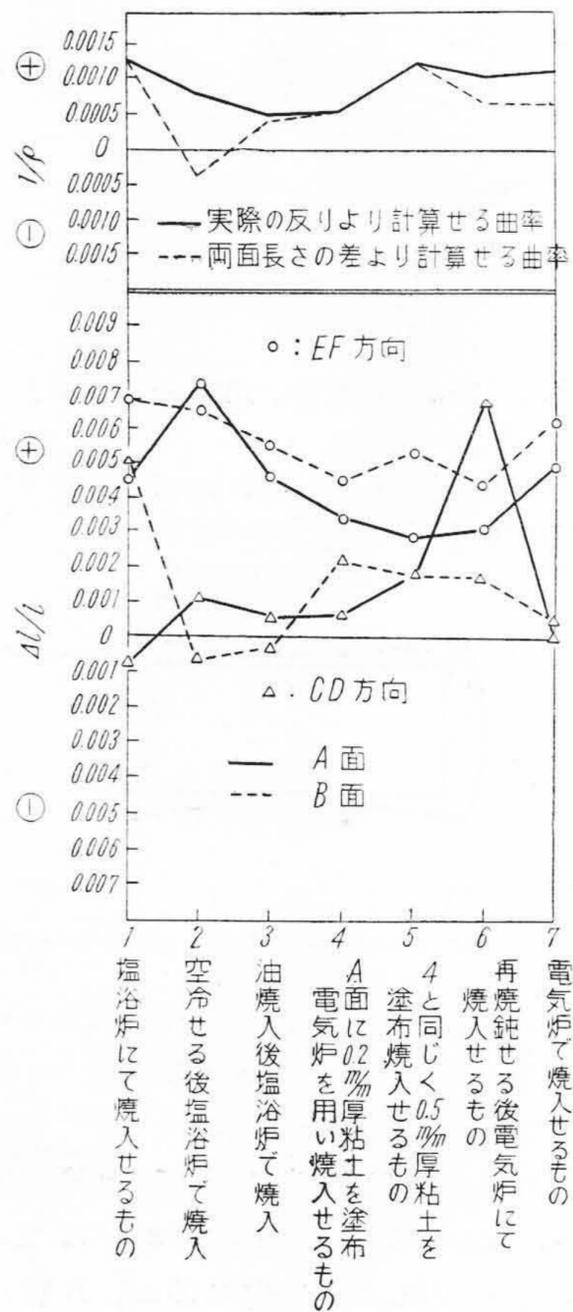
第11図 普通の電気炉を用いた場合の表面硬度  
Fig. 11. The Surface Hardness when Heated in the Electric Furnace



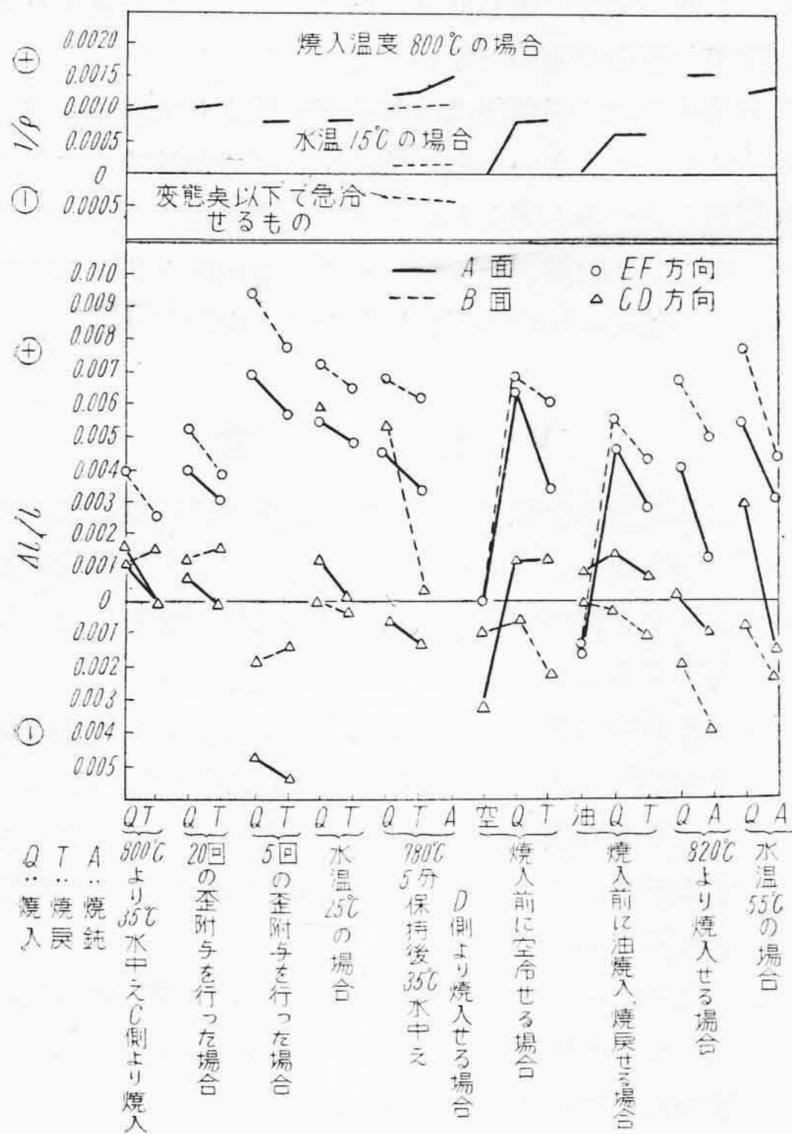
第12図 4sec 放冷後焼入せる場合の表面硬度  
Fig. 12. The Surface Hardness of Specimen Quenched after Air Cooling for 4 seconds

反りは塩浴炉による場合より少々小であつて(第3図はこの場合である)。B面に於ける硬度測定位置はA面測定位置のEF方向の間で測定した。次に炉より取り出して、4secおいた後水中え焼入せる場合の硬度分布を第12図に示す。この場合の歪はEF方向では双先部が特に伸びが著しいが歪の量は余り大きくない。反りは相当大で、(2)式によれば0.00105である。同図に於てA面硬度はC側でEF方向の両端が著しい硬度低下を示すに対し、B面では一様にC側に向つて硬度低く、双先より冷却せることを示している。

第13図は焼入方法を変えた場合の歪と反りとの関係を総括したものである。4, 5の粘土塗布とあるのはA面に粘土を塗布し焼入した場合で、5は焼入に際し粘土が全面ハゲ落ちその歪及び反りに及ぼす影響は少なくなつたものと思われる。4の場合、A面の表面硬度は著しい変化を生じた。即ちE側は非常に低く、F側の一部も低くなりwarpingはE側より1/3の面を除き殆ど反りを生じなかつた。



第13図 焼入方法と歪、反りとの関係  
Fig. 13. Relation between Strains Warpings and Various Quenching Methods



第14図 焼戻、焼鈍による焼入歪の変化  
Fig. 14. Changes of Quenching Strain due to Tempering and Annealing

(5) 焼入歪に及ぼす焼戻、焼鈍の影響

一旦焼入により歪、反りを生じたものを 200°C で焼戻せる場合は何れも EF 方向の歪が減少する。減少の割合は油焼入、空冷を焼入前に行つたものは大きく、他の場合は殆ど同じである。CD 方向は両面に於てそれぞれ異なるので明確ではないが、やはり収縮の傾向を有する。反りは殆ど変わらないか、寧ろ増大の傾向にある。焼入せるものを焼鈍した場合も warping は増大する。歪は EF, CD 方向ともに大きく減少するが原寸法には戻らない。

第14図は種々な方法で焼入したものを 200°C で焼戻し、或は 780°C で焼鈍せる場合の歪及び反りの関係を示したものである。なお、歪及び反りの状態は焼戻或は焼鈍を行つても焼入時の傾向を変えることはなかつた。

[IV] 実験結果に対する検討

一般に鋼の歪は不均一なる冷却に基く温度差によつて生ずる熱応力と変態による体積膨脹及び組織の不均一に基く変態応力に起因する。而して応力は何れも焼入時の冷却速度の部分的差異により生ずる。普通焼入に際して試料表面と内部の温度差は相当大きく、今これを  $t^{\circ}\text{C}$ ,

そのときの線膨脹係数を  $\alpha$ , 弾性係数を  $E$  とすれば熱応力  $f$  は次式で与えられる。

$$f = \alpha t E \dots \dots \dots (5)$$

$t$  が非常に大きく  $f$  の値がそのときの試料の降伏点より大きくなつたとすれば、冷却後も永久歪を生ずる。各表面の歪は試料の形状によつて異なるが、一般に面積大なる部分に直角に働く熱応力は小なる面のそれより大きく、又各面に於てもその中央部が全応力を受ける為特に大きい。変態による応力は普通試料の温度が相当降つて起きるので応力による変形を起すに至らない場合が多く変態による体積膨脹が歪の大部分を占める。

本研究に供せる試料は厚さ 2mm で、内部と外部の温度差は小さく従つてこれに起因する熱応力も小さいと考えられる。変態点直下より急冷せる場合(第7図)厚さのみ僅かに増えたのは熱応力のみによるものであろう。別に変態点以下で急冷した場合もやはり三方向が極く僅かではあるが増大した。これより試料の各方向特に EF, CD 方向の変形歪は大部分変態による組織変化に基くものと思考される。又縦横方向の歪の関係が逆傾向にあるのは厚さ方向が平均に歪を生ずると仮定すれば単に縦横の poisson's ratio の関係から説明される。

隅角部、刃先の伸が特に大なるは、この部分の変態が他に比し早く且つ慣性小なる為容易に行われた結果と考えられる。

今 AB 両面で warping を生じたときの温度差を考えるに第12図より明かな如く刃先より伝わる B 面の冷却速度は A 面のそれより早く、従つて B の全面温度が早く降下するものと考えられる。こゝに一つの板を考え、その厚さ方向に対して温度が直線的に変化し膨脹も同様直線的に起るものと仮定すれば、周辺の自由な板の熱膨脹に因る撓は球面状となり、最大膨脹量と中心面のそれとの差は、両面の温度差を  $t$ , 膨脹係数を  $\alpha$  とすれば  $\alpha t/2$  である。依つて中心面の曲率は次の如くなる。

$$\frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha t}{h} \dots \dots \dots (6)$$

但し  $h$ : 板の厚さ  
 $\rho_0$ : 中心面に於ける半径

$$\text{或は} \frac{1}{\rho_0} = \frac{M}{EI} = \frac{M}{(1+\mu)D} \dots \dots \dots (7)$$

但し  $M$ : 曲げモーメント  
 $I$ : 慣性モーメント  
 $E$ : 弾性係数  
 $\mu$ : ポアソン比  
 $D$ : 直径

(7) 式は両端を支えられ全面に外力を受ける場合の弾性変形の式である。(6) 式は両面の温度差による自由変形を表わすものであるが、急激にこれが起るとすれば、当

然るに応力を生じ反対方向に warping を生ずる。外力と応力が同じ大きさと仮定すれば、この場合自由変形なる故(7)式は又熱応力(或は変態応力)による曲率の関係式と見做される。この応力がその時の温度に相当する試料の降伏点を超えれば permanent set を生ずる。本実験で焼入の際は、始め冷却の早いB面に於て収縮し、A面はこれと逆の力を受ける。即ちB面は compressive stress を、A面は tensile stress を生ずる為(始めと逆方向の)warping が生じ降伏点を超えて反りの主因をなすものと考えられる。変態  $A_{\gamma}''$  は前述の如く温度が相当降下して起り時間的にB面がA面より早く expansion を生ずるから熱応力による warping と同傾向になるが、少々遅れて生ずるA面  $A_{\gamma}''$  による膨脹はEF方向又はCD方向に作用するが warping に関係ないことは、焼入試料を焼戻し或は焼鈍した場合 warping に殆ど変化の無いことから窺われる。

箸で試料を水中に攪拌焼入すればAB両面の冷却は一樣に行われるから反りの小なる道理である。焼入方法により warping が異なるのは焼入操作中の条件即ち気泡、水流による渦流並びに気泡の試料表面に於ける離脱状態の差異に因るものと考えられる。

焼入温度高い場合は(6)式の  $t$  が大きく、又両面の温度降下は時間に対し、概して対数的になるから冷却時間の長い時は或程度両面温度差  $t$  も大きくなる。然し変態による応力を考慮すると温度が高い程 warping が大きくなるとは限らない。寸法変化は三方向の歪が異なる為、EF, CD 二方向の歪丈けではその大きさを推定出来ない。然し硬度が高い場合、歪が大きいことは推定出来、780°C の場合がその一例である。

水温の高い場合は試料の冷却速度が問題となる。この場合 straining speed の影響によるよりも elastic after effect が関係すると考えられ、warping を生ずるときの試料温度は高い程大体慣性モーメント小である。

油焼入、空冷或は冷間加工せる場合は、既に結晶格子間に歪力を受け、残留応力が焼入の際も多少残っている

ので、他の場合に比し反り及び変形は少いと考えられるが確実な理由は明かでない。

尙前述の如く隅角部は冷却速度が他より大きく、慣性モーメントは小さいから、焼入すれば対角線方向に伸びる傾向を有すると考えられるが、実際高温より急冷し焼割を生ぜしめた際、その焼割模様は対角線とEF方向に最も力が加えられた状況を呈したことを附記する。

## [V] 結 言

双物鋼が片双を有する場合生ずる焼入歪に就いて、熱処理方法を変え、或は冷間加工で歪を附与した場合の変形及び反りを調べ又その原因に就いて検討を加えた。以上を要約すると次の如くである。

1. 本研究に供した試料の焼入歪は長手方向即ちEF方向が最も大で、特に対角線方向、双先部が著しい。
2. 反りは両面の冷却速度の差に基く温度差により生ずる熱応力によるが、一部は変態  $A_{\gamma}''$  により助長されると考えられる。
2. 反りは静止焼入の場合は背方向即ちD方向から焼入したとき最大で、双即ちC方向のとき少いが、全般を通じ攪拌焼入の場合が最小となる。
4. 焼入温度、焼入加熱時間及び焼入水温度によつても反り及び歪は相当に異なるが明かな傾向は認められない。又焼入前の処理或は歪附与によつて、或程度の反りを防止し得る。

先に述べた如く本研究の焼入には主として塩浴炉を用い又双物鋼のみの場合に就いて実験を行つたもので、この点、現場的の熱処理或は附双の場合と異なることが考えられる。これらの点に就いては後日の研究に於て明かにしたい。

## 参 考 文 献

- (1) Hattori: Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 18 (1929)
- (2) Timoshenko: Strength of Materials (1940)

