

# 鍛錬による内部変形に関する基礎実験

武市彦四郎\*

## Fundamental Experiments on Internal Deformation of Forging

By Hikoshirō Takeichi  
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The purpose of the experiments related in this report was to study the un-uniformity of the internal deformation factor which occurs at the time of steel forging. Model forging was applied on small test pieces of steel by a hammer and press. And the effect of the shape and width of the anvil was examined in the case of forging down. Then a small test piece of wax was used to conduct a model swaging test to study the effect of the shape of the swaging dies.

Then the relation between the un-uniformity of the internal deformation and the appearance of ghost cracks were examined. Also, the various aspects were studied to find the best forging method whereby uniform quality is obtained and defects do not occur.

The results of this experiments proved that when forging large ingots having many segregations, the plane anvil is unsuitable, while the V-shape or round shape anvil gives the best results and its width corresponding to 30~50% of the steel material is the most suitable. It was also found that in the case of swaging, if the swaging ratio is large and is two or more, application of the convex conical shape die is the most suitable.

### 〔I〕 緒 言

金属材料に外力を加えて塑性変形をなさしめる場合、ごく特定の場合を除いて、断面各部の加工効果は多少の差はあるが、全く均一にならないのが普通である。鋼材の鍛錬作業においてもこの傾向は免れがたく、使用鍛錬機の種類および容量、使用金敷の幅と形状、鍛錬の方法などによつて内部鍛錬効果に大差が生ずるものである。特にこれらの因子については、大鋼塊を鍛錬する場合には重要視せねばならない問題であつて、内部の機械的性質の不均一性や、時として内部の微小クラックを生ずる原因ともなると考えられる。

しかるに鍛錬に関する塑性加工上の研究はきわめて少く、日本製鋼所原於兎雄氏の油粘土による実験<sup>(1)</sup>、P.M. Cook の Plasticine による実験<sup>(2)</sup>などがそのおもなるものである。前者においては比較的加工度の低い場合の内部変形状況を鍛延、据込両作業について調べているが、

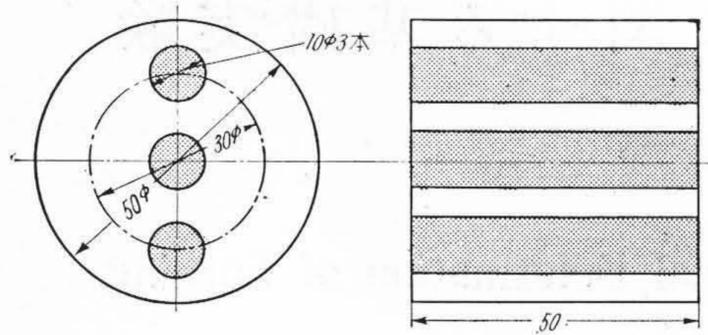
金敷の形状、鍛錬機種の影響などについては全く触れていない。また後者においても金敷の形状の影響については述べられておらず、かつ据込作業については全く論じられていない。

このほか、W. Coupette<sup>(3)</sup>は 110 t 鋼塊（平均径 2 m, 八角菊型）の内部に 38 φ の小棒を数多く挿入したものを、4,000 t プレスにて鍛錬し、その加工前後の断面積比を求めることにより、局部鍛錬係数を求め、内部変形率の不均一なることを述べ、鍛錬係数と機械的性質の関係について報告しているが、使用金敷の形状および幅、鍛錬法の詳細は不明である。

そこで筆者は内部変形率におよぼす各種因子の影響を調査するためつぎの諸実験を行つた。

第 1 部では、ハンマーおよびプレスによる鍛延作業を行つたときの内部変形率について、鋼製 50 mm 径の小試片を用いて模型鍛錬を行い、金敷形状や幅の影響を調査し、ゴーストクラック発生と変形率不均一性との関連性について論じた。

\* 日立製作所日立工場



第1図 供試材寸法図  
Fig. 1. Dimensions of Test Sample

第2部では、プレスによる据込作業を行うときの内部変形状況を探究するため、高温における鋼の塑性特性に相似た変形をするといわれている Wax (ロー) の小試片を作製し、模型プレスによつて実験した。

本実験では、据込工具形状が内部変形状況におよぼす影響を知るため、日常一般に使用されている両端面平行の平型工具によるほか、凹および凸円錐型工具による据込を行い、変形率を比較検討した。また第1部と同じように、据込時の変形率不均一性とゴーストクラック発生との関連性について若干の考察を加えた。

### 第1部 鍛延作業

#### 〔II〕 試料ならびに実験方法

##### (1) 試料

実験に供した試料は材質 SF-55 で、第1図のような寸法のものである。すなわち外径 50 mm の試料の中心部ならびに中心と外径との中間部に母材と同一材質の 10 mm 径の 3 箇の丸棒をはめ込んだ試料について実験し、加工前後の断面積比によつて変形率を算出した。はめ込んだ丸棒は母材に木ハンマーでたゞき込む程度の嵌合とした。

##### (2) 実験方法

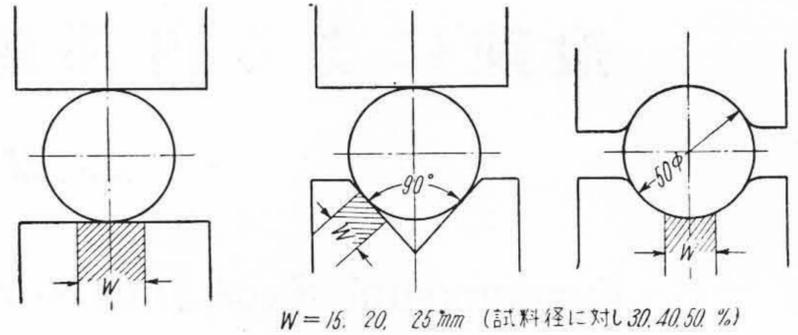
###### (A) 使用金敷

使用した金敷は第2図に示すように、幅 15, 20, 25 mm で、それぞれ平、ヤゲン、タップ型の 3 種計 9 種である。これらの金敷幅は、試料径に対してそれぞれ 30, 40, 50% に相当する。

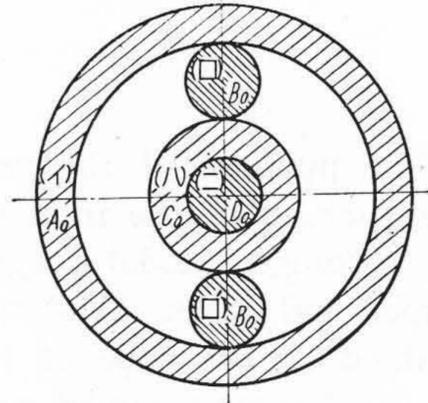
###### (B) 鍛錬係数 (以下 Forging Factor, F. F. と記す)

上記の 9 種の金敷を 1 組とし、ハンマー作業では各組ごとに F.F. 1.56 (加工後の試料径 40 mm), 2.04 (35 mm), 4.00 (25 mm), 6.25 (20 mm) の 4 つの場合、すなわち合計 36 箇の試料につき実験し、プレス作業では各金敷組ごとに F.F. 1.56, 2.04 合計 18 箇の試料につて実験した。

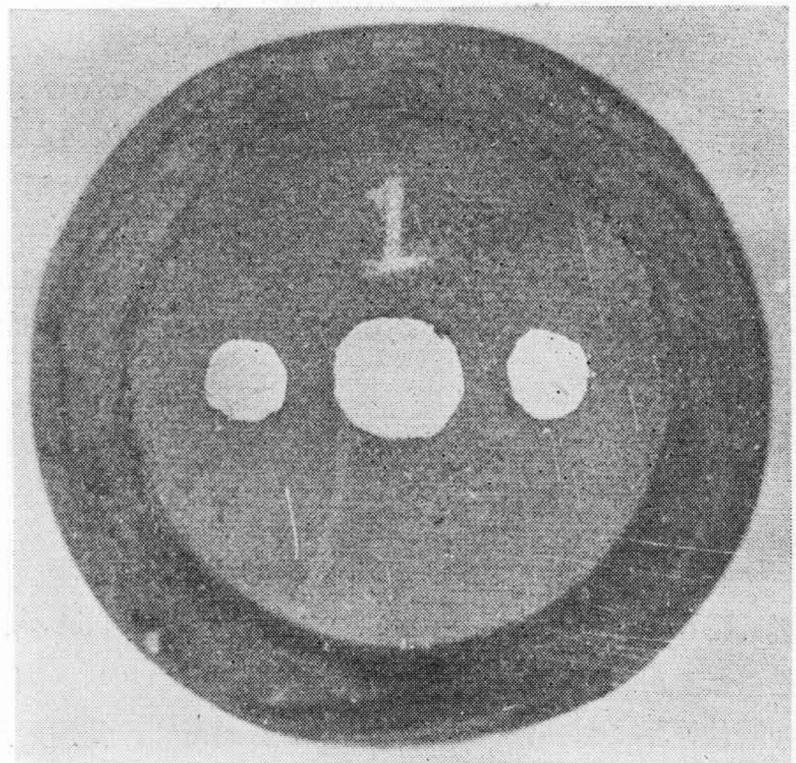
###### (C) 試料の加熱および冷却と使用鍛錬機



第2図 使用金敷の形状および寸法  
Fig. 2. Shapes and Dimensions of Anvils



第3図 各部変形率の算出区分  
Fig. 3. Method of Calculation of Deformation Factor



第4図 試料中央横断面の一例  
(白く塗った部分が挿入丸棒)  
Fig. 4. An Example of Cross-Section of Test Sample  
(White Zone: Inserted Rod)

1/2 t ハンマーおよび 30 t 水圧プレスを使用した。試料は 1,150~1,200 °C に加熱し、加工後は空冷した。

##### (3) 変形率の算出法

上記の各仕様にしたがつて鍛錬した試料を、中央にて横断し、第3図に示した  $////$  部 (イ) (ロ) (ロ') (ハ) (ニ) の加工前後の断面積を求め、次式によつて算出される値  $\eta_1 \sim \eta_4$  を変形率と定義する。

$$\eta_1 = 1 - \frac{A}{A_0} \quad \text{表面下 2.5 mm の部分の変形率}$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{B}{B_0} \quad \text{表面下 10 mm の部分の変形率}$$

$$\eta_3 = 1 - \frac{C}{C_0} \quad \text{表面下 17.5 mm の部分の変形率}$$

$$\eta_4 = 1 - \frac{D}{D_0} \quad \text{中心部の変形率}$$

ここに

$A_0, A$  = 外周リング状部分(イ)の加工前後の断面積  
 $B_0, B$  = 中間部挿入丸棒(ロ)および(ロ')の加工前後の断面積の平均値\*

$C_0, C$  = 内周リング状部分(ハ)の加工前後の断面積  
 $D_0, D$  = 中心部挿入丸棒(ニ)の加工前後の断面積

鍛錬によつて挿入丸棒の多くは、肉眼的には母材に鍛着され、機械仕上のままの横断面では、母材との境界線が識別されないのので、研磨後塩酸で腐食し、境界線を検出した。しかる後丸棒部を白ペンキにて丁寧に塗り、引伸写真によつて面積を求めた。この一例を第4図に示す。

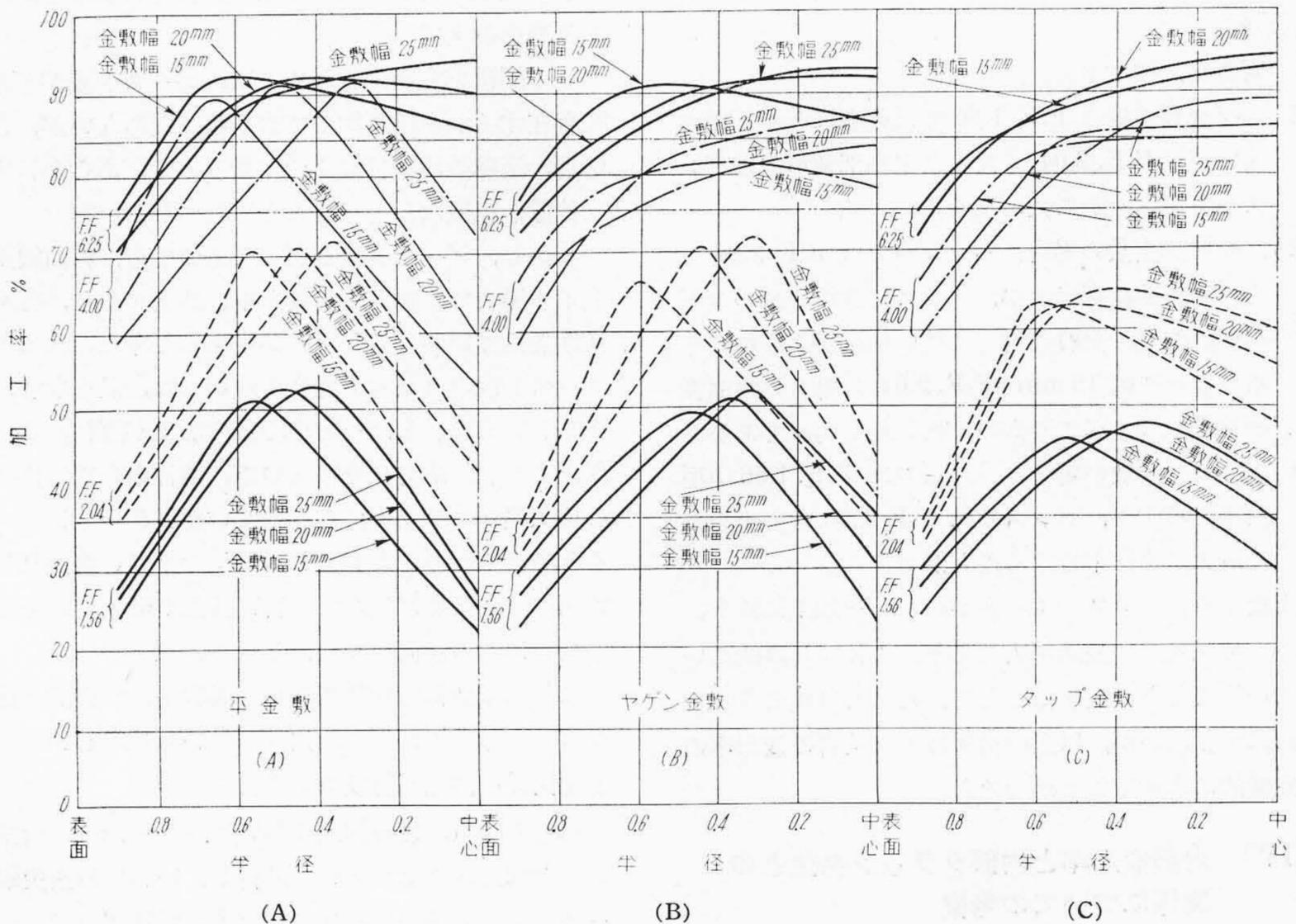
\*  $\eta_2$  を  $\eta_1, \eta_3$  および  $\eta_4$  と同じ要領で算出するためには、リング状の断面積を測定するのが望ましいが、簡便のため第3図(ロ)部のリング状部分(ハッチングをしてない部分)が均一に加工されていると仮定して、挿入丸棒断面積  $B_0, B$  を算出の基礎とした。

### 〔III〕 実験結果およびその検討

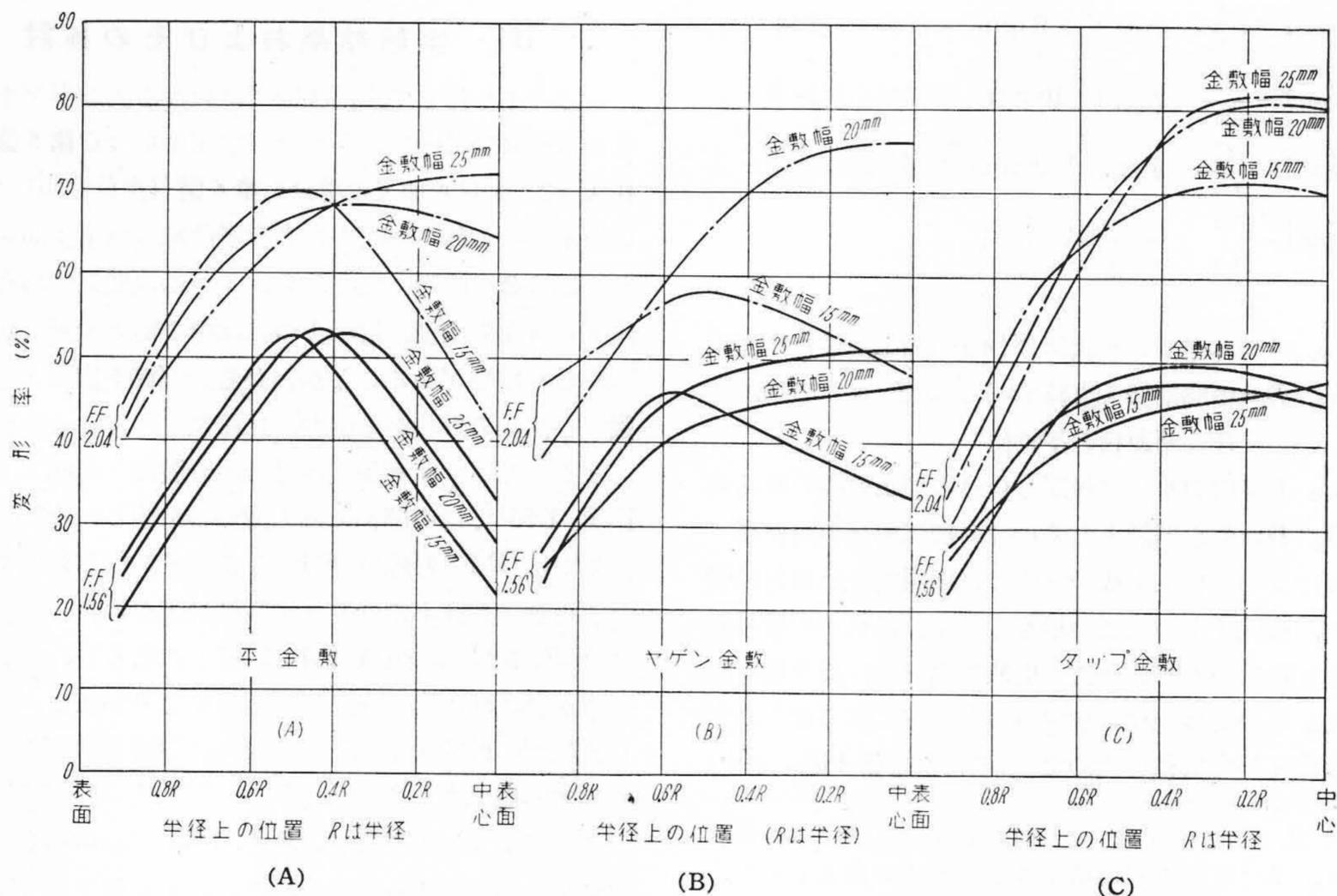
前述のようにして内部4箇所における変形率を求め、各金敷形状別に分け、ハンマー加工の場合を第5図 A, B, C に、プレス加工の場合を第6図(次頁参照) A, B, C に示す。これらの図から変形率曲線(以下  $\eta$  曲線という)には2つの形、すなわち、1つは中間部に変形率の極大を有する山型、他の1つには中心部の変形率が最大となる丘陵型があることがわかる。(第5図および第6図の各曲線の形状から山型、丘陵型と呼ぶこととする)

ところでハンマー加工の場合、全般的な傾向としては F.F. 1.56 では中間部に極大変形率を生じ、それ以後平金敷では F.F. 4 他は F.F. 2 までほど同じ傾向を保ちながら加工が進んでゆく。さらに加工が進み、平金敷では F.F. 4 以上、他は F.F. 2 以上になると、中心部変形率が急に増大し、今までの遅れをとりかえし、いわゆる丘陵型の曲線を示すようになり、以後このままの傾向で加工が続けられる。

またプレス加工の場合、F.F. 1.56 では中心部への加工効果の浸透は十分でなく、ことに平金敷では 25 mm の幅広のものでも中心部変形率は小で、ヤゲン金敷では幅 15 mm のものは前者と同様  $\eta$  曲線は山型を示すが、



第5図 各金敷別の内部変形率曲線 (ハンマー作業の場合)  
 Fig. 5. Internal Deformation Curves Worked by Hammer



第 6 図 各金敷別の内部変形率曲線 (プレス作業の場合)  
 Fig. 6. Internal Deformation Curves Worked by Press

幅 20, 25 mm になると中間部極大点は消失し, 中心部が最大となる。

この両者を比較すると

- (1) 平金敷の場合 F.F. 1.56 では両者ほとんど差はないが, F.F. 2.04 になると中心部変形率はプレスの方がはるかに大となる。
- (2) ヤゲン金敷の場合, ハンマーでは F.F. 2.04 までは山型曲線を示すが, プレスでは中心部の変形率が増加し, 全般に均一に近い加工がえられている。ことに幅 15 mm, F.F. 2.04 の場合の断面変形率は他のすべてのものに比し最も均一である。
- (3) タップ金敷の場合ハンマーでは F.F. 1.56 山型曲線を示すが, プレスでは F.F. 1.56 でも中心部に最大の変形率をうることができる。

以上要するにプレス加工の方がハンマー加工に比し, 内部への加工効果の浸透が大であり, これは常識的にいわれていることと一致することで, むしろ当然のことを示したにすぎないが, 以上の結果により両者の変形率の差を定量的に求めることができた。

〔IV〕 内部変形率と内部クラック発生との関係についての考察

以上述べた実験結果から内部変形率には, 相当いちじるしい不均一性のあることがわかったが, これが内部ク

ラック発生に対して, いかなる影響をおよぼすかについて考察を加えてみる。

この問題を究明するためには, ゴースト域がどの部分に存在するかを予め知っておかねばならないが, これは熔解, 造塊の諸条件によつて変るので, あらかじめ正確に位置, 程度などを知ることはむづかしい。

しかし, ゴースト域がどこにあつても,  $\eta$  曲線が山型を示す場合は, 局部的に変形率の急変があり, 各層間の粘性変位にいちじるしい差が生ずると考えられるので, ゴースト域のクラック発生に対しては, 最も危険な形であるといえる。また一方中心部の加工が遅れ, このため周囲より引張応力を受けるので, 鋼材中心部に内在する各種欠陥がクラックになりやすい要素を多分にもつていると考えられる。おおむね F.F. の小さい鍛錬初期では  $\eta$  曲線は山型となるので, 特に注意が肝要で, 平型金敷の場合はこの傾向はすこぶる大である。

つぎに  $\eta$  曲線が丘陵型を示す場合は, 比較的上述の危険は小と考えられるが, 内外差のいちじるしいときは, 上記同様の注意が肝要である。

以上要するに鍛錬初期においては,  $\eta$  曲線は山型を示し, 中間部の加工が大いに進行し, いわゆる鋼塊輪状ゴースト部にゴーストクラック発生の危険があるとともに, 偏析, 介在物, 粗鬆などの存在する鋼塊中心部にクラックが発生する危険を伴い, さらに鍛錬が進むにした

がつて中心部の加工が急激に進み、 $\eta$  曲線が丘陵型を示すようになるが、幅広のタップ金敷などによる加工は外層部と中心部における変形率の差がきわめて大となるので、このときもまたゴースト部にクラックが発生する危険がある。

しかし、このようなクラック発生の現象は、従来の実績では、鍛錬法のいかんを問わず、5t 以下の比較的小形鋼塊では少く、特殊な場合を除きほとんど問題にならない。これはゴーストの程度が軽微なときは、クラックが発生し難いことを示すもので、したがって一般にハンマーで鍛錬される 2t 以下の普通鋼ないし低合金鋼の鋼塊では金敷の形状、寸法はあまり問題にならないが、高合金鋼の場合は十分な注意を払う必要がある。

プレス作業における大形鋼塊の場合は、極力平型金敷の使用を避け、可及的にヤゲン型またはタップ型金敷を使用するのが有効である。

〔V〕 鍛延作業についての要約

金敷幅が試料径に対して、30, 40, 50% に相当する 15, 20, 25 mm の平、ヤゲン、タップ型の金敷を用いた場合について、ハンマーおよびプレスによる模型鍛錬を試み、内部変形率を求め、それぞれの場合の不均一性を説き、適切な鍛錬法を求めるとともに、鍛錬法と内部クラック発生との関係について若干の考察を加えた。

これらの結果を要約するとつぎの通りである。

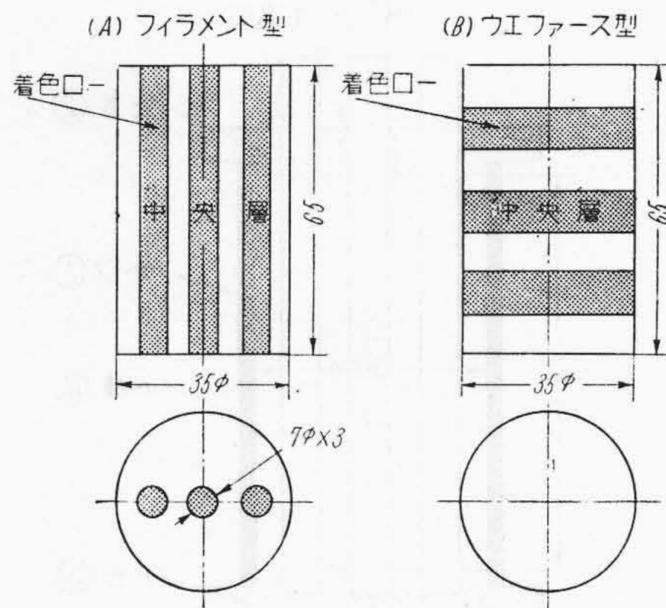
- (1) ハンマー加工よりもプレス加工の方が内部鍛錬効果が大である。これは加工時の変形速度の差による変形抵抗の大小によるものである。
- (2) ハンマー、プレス加工ともに初期において変形率の不均一性がはなはだしい。このため輪状ゴーストクラックの発生は加工初期において起りやすく、一方中心部のクラックはある程度加工が進んだ後に起りうるものと考えられる。
- (3) ハンマー加工の場合は、被加工材径の 50% 以上の幅をもつヤゲン金敷または 30% 以上の幅をもつタップ金敷が適当である。
- (4) プレス加工の場合は、被加工材径の 30~40% の幅をもつヤゲン金敷または 30% 内外の幅をもつタップ金敷(あまり幅広のものはかえって不適)が適当である。

第2部 据込作業

〔VI〕 供試材と実験の方法および変形率の算出法

(1) 供試材

高温における鋼の変形を調査するのに実験を簡便に行



第7図 供試円塊材

Fig. 7. Cylindrical Test Sample

第1表 供試材成分配合表

Table 1. Composition of Wax Sample

(L. Holmquist)

成分	重量比 (%)
パラフィンロー	44
セレンロー	40
密ロ	8
カルナウバロー	8

うため、油粘土やパラフィンローがよく利用される。筆者は外国文献<sup>(4)</sup>に発表されていた第1表に示すような成分の Wax を使用し、熔解、鑄造して試片を作成した。

(A) 試料寸法と成分

試料は日常据込素材として最も多く用いられる

$$\frac{H}{D} \left( \frac{\text{高さ}}{\text{外径}} \right) = 2$$

内外に近い寸法比のもので、第7図に示すような外径 35 mm × 高さ 65 mm の円塊材 2 種を用いた。

試料成分は第1表に示す各種の Wax を配合し、着色剤として少量の酸化鉄、酸化クロームなどの粉末を用いた。

(B) 試料の熔解と鑄造

(a) フィラメント型

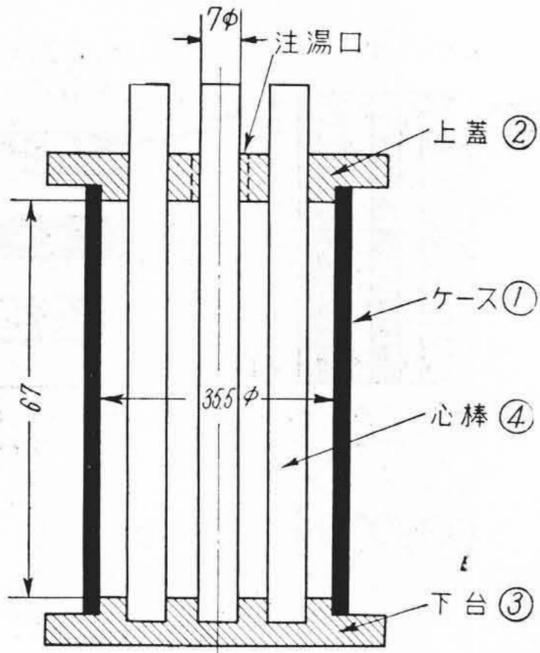
上記のパーセントに配合した Wax を所要量熔解し、温度が 70~75 °C に降るのをまつて第8図(次頁参照)に示す鋼製ケースに流しこむ。母材が凝固すれば挿入した心棒④を抜取り、このうちに着色した Wax を流しこむ。

(b) ウエファース型

同一厚さの Wax 円板の端面に極く微量の熔けた Wax を着け、他の円板を軽く押付けて密着させる。

(C) 試料の加熱

この成分の Wax は常温では相当に硬く、実験が困難であるから、軟化させるために、45~47 °C の温湯中で



第 8 図 試 料 鑄 型  
Fig. 8. Steel Case for Casting Sample

全体を均一に加熱した。

(2) 実験の方法

(A) 使用プレス

第 9 図に示すような模型プレスを使用した。

(B) 据込工具

第 10 図に示すような平型、凸および凹円錐型の 3 種の工具を使用した。これらはすべて桜材を用いた木製で、表面はペーパーで平滑に仕上げをした。

(C) 据込比

上記 3 種の工具を用い、いずれも据込比 (据込前後の高さの比) は 1.5, 2, 3, 4 とした。

(3) 変形率の算出法

各据込比に据込を行つた試料を中心線を含む面で縦断し、第 11 図に示す方法で各部の寸法を測定し、下記に示す式で変形率を求めた。

(A) 中央層における切線方向および半径方向の変形率 (第 11 図-A)

(a) 切線方向変形率

$$\text{中心部 } \epsilon_{t1}(\%) = \frac{D_1}{d_1} \times 100$$

$$\text{中間部 } \epsilon_{t2}(\%) = \frac{D_2}{d_2} \times 100, \quad \epsilon_{t3}(\%) = \frac{D_3}{d_3} \times 100$$

$$\text{外層部 } \epsilon_{t4}(\%) = \frac{D_4}{d_4} \times 100$$

(b) 半径方向変形率

$$\text{中心部 } \epsilon_{r1}(\%) = \frac{D_1}{d_1} \times 100$$

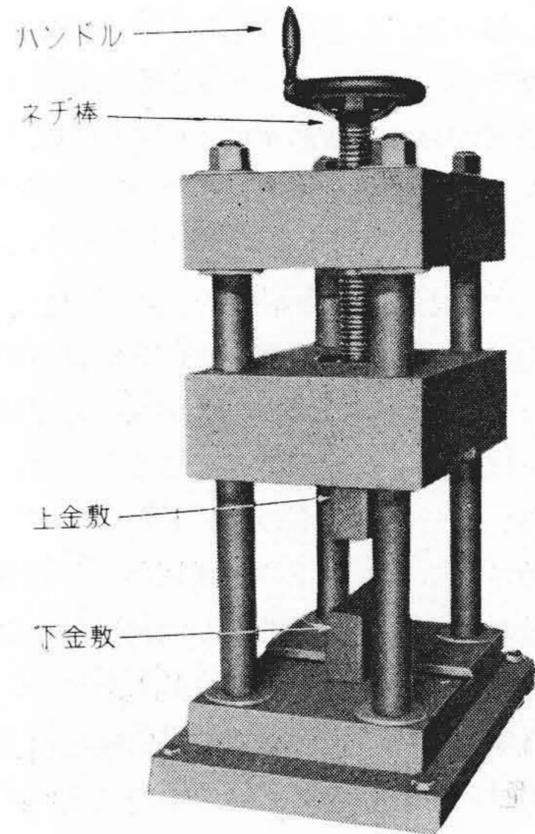
$$\text{中間部 } \epsilon_{r2}(\%) = \frac{B_2}{b_2} \times 100, \quad \epsilon_{r3}(\%) = \frac{B_3}{b_3} \times 100$$

$$\text{外層部 } \epsilon_{r4}(\%) = \frac{B_4}{b_4} \times 100$$

計算の便宜上、中心部では切線および半径方向の変形率は同じ数値を採用した。

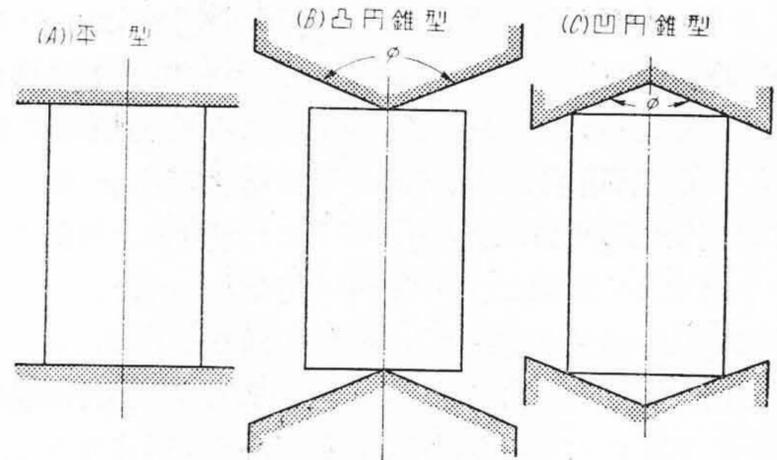
(B) 中央層より端面までの半径方向の変形率

(第 11 図-B)



第 9 図 模型プレス

Fig. 9. Model Press



第 10 図 各種の据込工具形状

Fig. 10. Shape of Swaging Dies

中心線より外周にわたる間を 7 等分し、第 11 図-B に示す a-a', b-b', ..... f-f' 線上各点の据込前後の寸法比を測定する。

$$a-a' \text{ 線上変形率 } (\%) = \frac{r_a}{r_n} \times 100$$

$$\text{ここに } r_a = \frac{R}{7} \quad (R \text{ は据込後の外半径})$$

$$b-b' \text{ 線上変形率 } (\%) = \frac{r_b}{r_n} \times 100$$

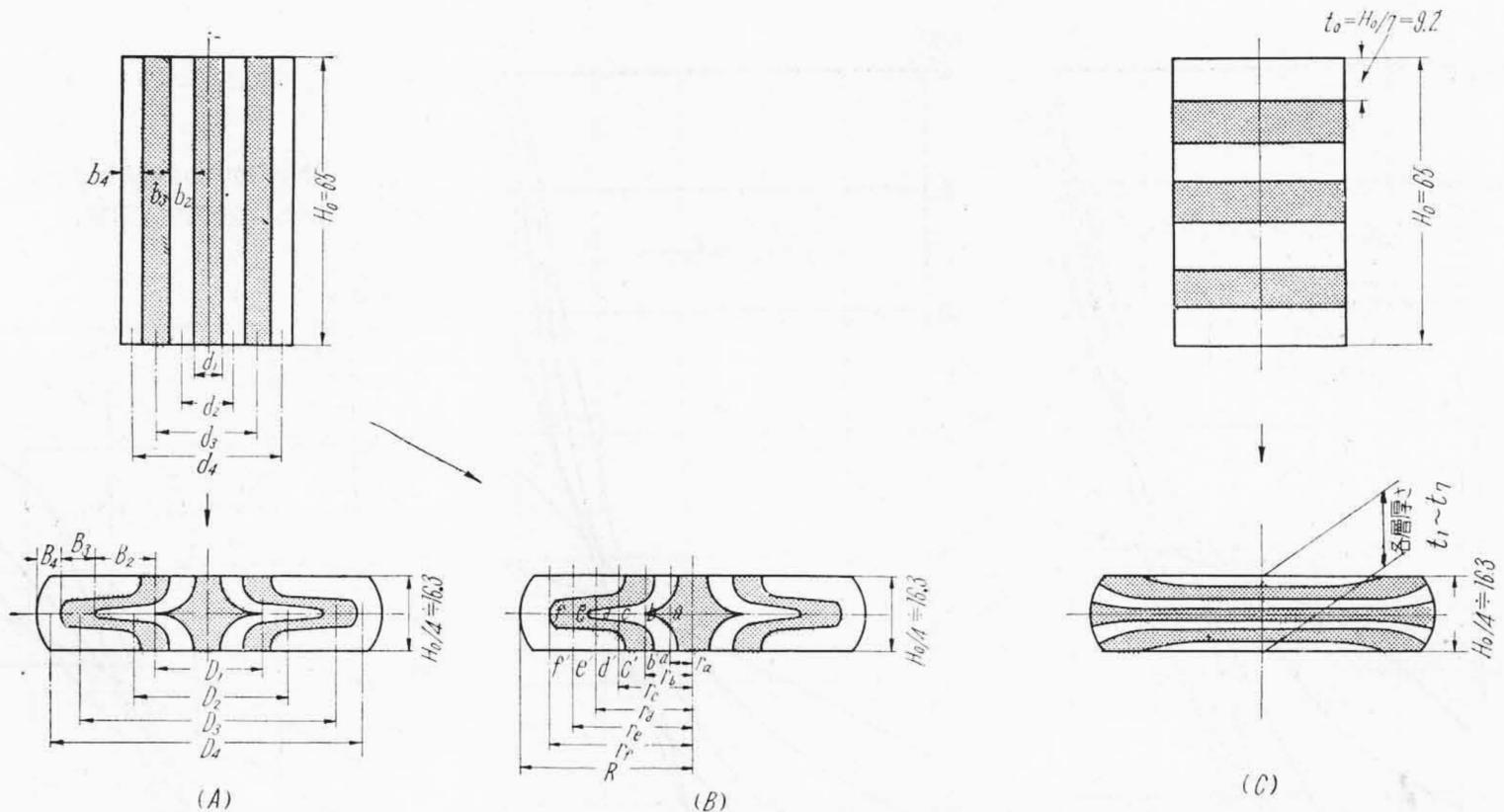
$$\text{ここに } r_b = \frac{2}{7} R \quad (R \text{ は据込後の外半径})$$

⋮

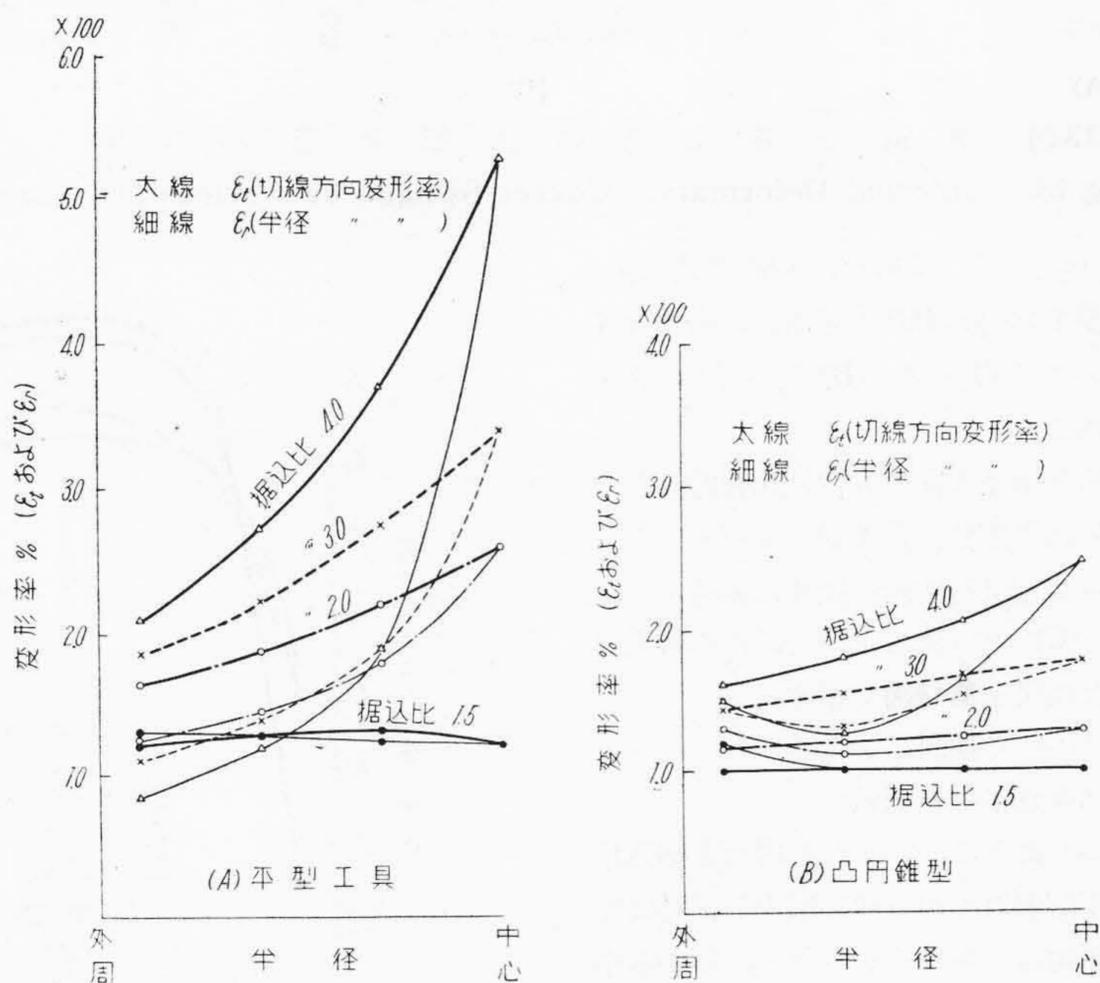
$$f-f' \text{ 線上変形率 } (\%) = \frac{r_f}{r_n} \times 100$$

$$\text{ここに } r_f = \frac{6}{7} R \quad (R \text{ は据込後の外半径})$$

上式において、 $r_n$  は各測定点の据込前の中心線よりの距離、したがつていずれの場合も既知であつて、据込後の  $r_a \dots r_f$  を測定すれば変形率が算出できる。



第11図 変形率算出のための寸法測定法  
Fig. 11. Measuring Method for Deformation Ratio



第12図 据込比と中央層における内部変形率との関係  
Fig. 12. Relation between Swaging Ratio and the Internal Deformation Factor of Middle Layer

(C) 中心線上各層の変形率 (第11図-C)

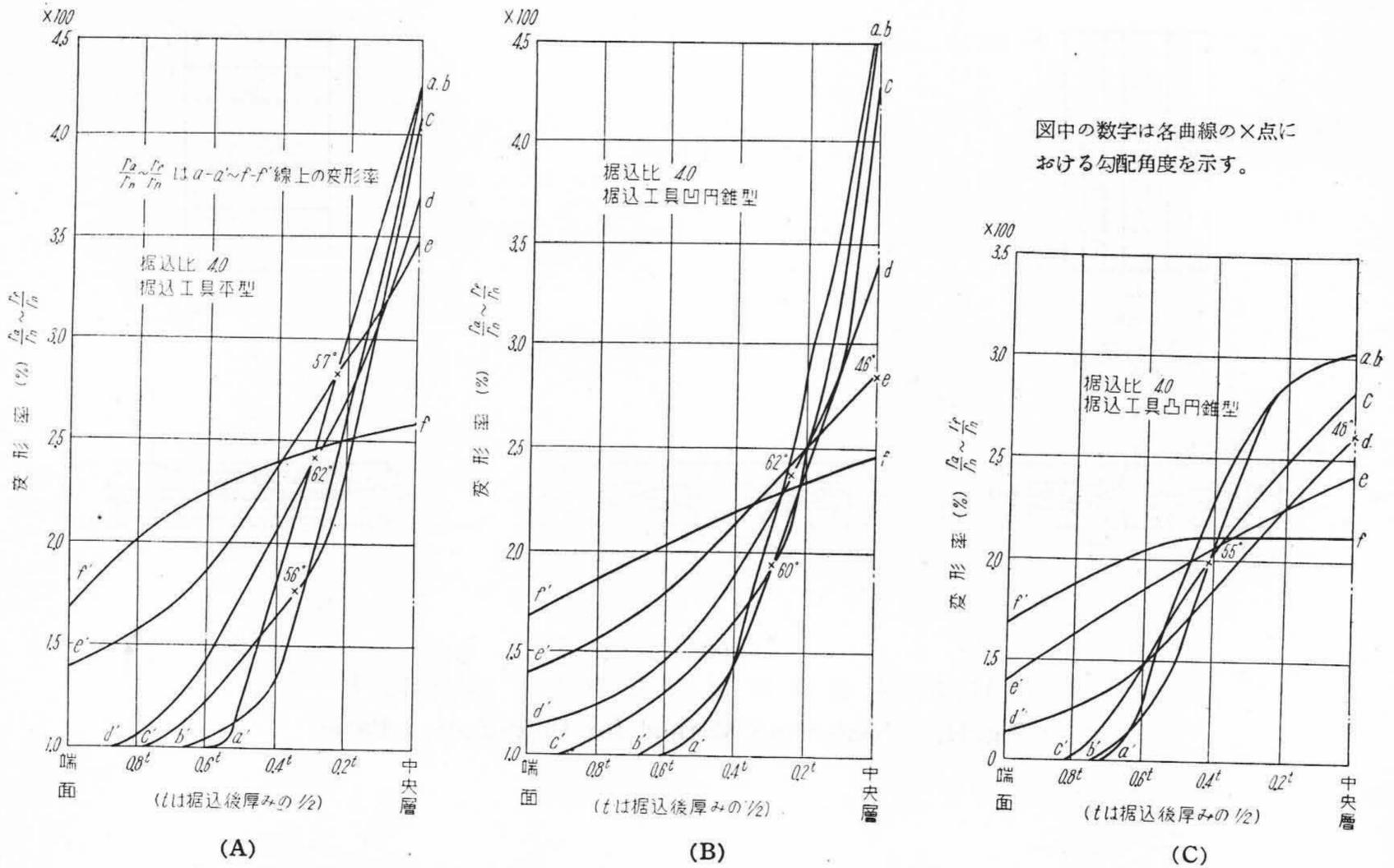
軸方向の変形率を明瞭にするためウエファース型試料につき据込前後の各層の厚さを測定し、次式により変形率を求めた。

各層変形率 (%)

$$\frac{t_0 - t_1}{t_0} \times 100, \frac{t_0 - t_2}{t_0} \times 100, \dots, \frac{t_0 - t_7}{t_0} \times 100$$

〔VII〕 実験結果およびその検討

第12図-A, B は 35 mm 径×65 mm 高さの試料を、平型および凸円錐型工具(円錐角度  $\phi=150^\circ$ )で、据込比 1.5, 2, 3, 4 (据込後の高さ 43.3, 32.5, 21.7, 16.3 mm) に据込んだものについて前述の〔VI〕-(3)-(A)の方法で内部変形率を求めた結果である。



第13図 各据込工具工別の内部変形率曲線  
 Fig. 13. Internal Deformation Curves Swaged by Various Die Shapes

第13図-A, B, C は上記と同じ試料を, 平型, 凹型 ( $\phi=150^\circ$ ) および凸円錐型工具 ( $\phi=150^\circ$ ) を用い, 据込比4に据込んだものについて [VI]-(3)-(B)の方法で内部変形率を求めた結果である。

これらの結果を見ると半径方向の変位は比較的わかりやすいが, 軸方向各層間の変位が定量的にわかりにくい。そこでウェファース型試料を据込比4に据込んだものにつき, [VI]-(3)-(C)の方法によつて, 中心線上の各層の変形率を求めた結果を第14図に示す。

以下これらの結果について検討を加える。

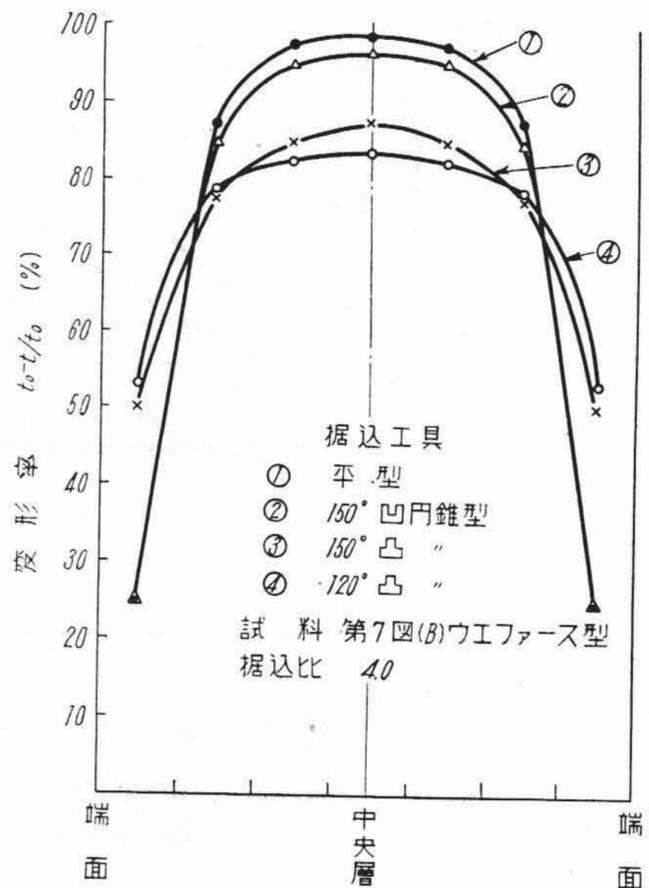
(1) 据込比と内部変形率との関係

第12図によつてわかるように, いずれの場合も据込比が増すにしたがつて変形率の不均一性は増大し, 特に平型据込の場合にこの傾向はいちじるしくなり, しかも中央層中心部に近づくほど変形率は大である。この現象をさらに明瞭にするため中央層中心部の  $\frac{D}{5}\phi$  部につき局部鍛錬係数を求め, 全据込係数 ( $\frac{H_0}{H}$ ) との関係を示すと第15図 (次頁参照) のようであり, 全据込係数4で中心部では局部鍛錬係数が 27.5 にもなることがわかる。

この現象は第1部で述べた鍛延の場合とは逆であつて, 据込比2以上の据込を行う場合には変形率の不均一性に対して特に注意を払う必要がある。

(2) 据込工具の形状が内部変形率におよぼす影響

第12図-A, B, 第13図-A, C および第14図の曲線①と

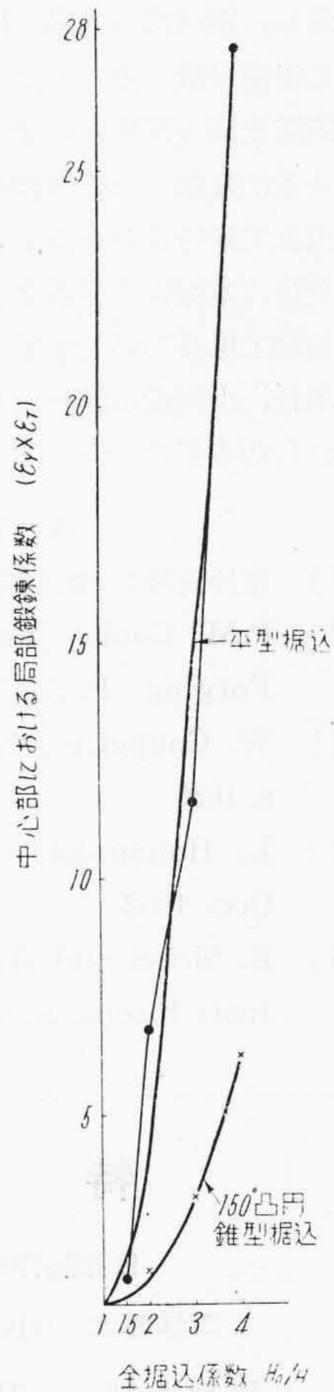


第14図 中心線上の内部変形率曲線  
 Fig. 14. Internal Deformation on Center-Line

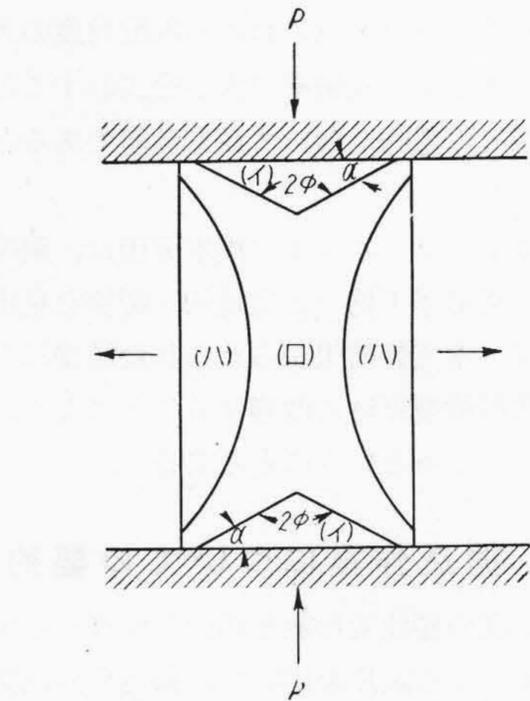
③, ④のいずれを比較しても, あきらかに平型によるよりも凸円錐型を使用したものの方がはるかに不均一性の少ないことがわかる。

このように平型による据込の場合に極端な変形率の不均一性を生ずる原因として、両端面における試料と工具間の摩擦が考えられる。第16図において(イ)部はこの摩擦のための材料の粘性変位を生じない部分、(ロ)部は剪断応力による滑り変形をおこし、変形度のいちじるしい部分、(ハ)部は(ロ)部の変形に伴う二次的引張力によつて比較的均一な変形を生ずる部分である。(イ)部の不流動円錐体が楔のごとく中心部に押しこめられるような形となり、上述の不均一変形を生ずる。したがつて不均一変形をなくするためには(イ)部の円錐体をなくすることが必要で、これには端面の摩擦を極小にする手段が考えられるが、実験室的にはある程度の効果は期待できるが、現場的にはほとんど大した効果は期待できない。

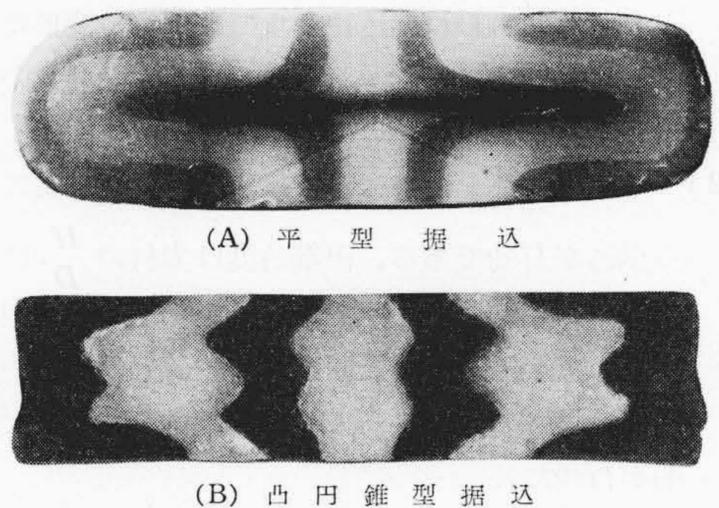
そこで筆者は別な方法として、Siebel<sup>(5)</sup>などが圧縮実験により変形抵抗を求めするために用いた凸円錐型工具を使用することに着目した。凸円錐工具の頂角は、理論的には素材の  $\frac{H}{D}$ 、端面における摩擦係数などに応じて適当な角度が存在するわけであるが、あまり鋭角なものは現場応用がすこぶる困難となるし、またいろいろの角度のものを、その都度使いわけることなども実現性にとぼしいので、本実験では現場応用の容易さも考慮し、まず頂角  $150^\circ$  のものを試験的に使用したところ、平型の場合よりも相当改善された結果をえた。また頂角の影響を調査するため  $120^\circ$  の場合も実験してみたが、第14図の曲線④のようになり、これは  $150^\circ$  の場合の曲線③と大差のないことを知つたので、今回の実験は頂角  $150^\circ$  のものに重点をおいた。



第15図 中心部  $(\frac{D}{5}\phi$ 部) の局部鍛錬係数と全据込係数との関係  
Fig. 15. Relation between Local Forging Ratio of Center Zone and Total Swaging Ratio



第16図 据込時の試料内部における変形区分  
Fig. 16. Deformation Strain Zone in Swaging between Plain Parallel Dies



第17図 据込時(据込比4)の内部変形状況の一例  
Fig. 17. An Example of Internal Deformed Condition (Swaging Ratio 4)

凸円錐型の場合の変形率は、第13図-B および第14図の曲線②に示すように平型の場合とほとんど差がないので、実用上効果のないものと断定される。

第17図-A, Bは平型と凸円錐型 ( $\phi=150^\circ$ ) を使用し、 $\frac{H}{D}=1.9$ の素材を据込比4に据込んだものの中心線を含んだ縦断面における内部変形状況の一例を示す。

ところでゴースト域にいちじるしい変形率の不均一性があると、異状滑り変形によつて粒界弛開をおこし、粒界条件の悪いときは粒界割れを生ずる危険のあることは第1部鍛延作業の項において述べた通りであるが、据込作業のときも当然同じことがいえる筈である。

今ゴースト線が据込前素材の  $\frac{D}{2}$  のところにあると仮定すると、据込比4に据込んだときのゴースト線に相当する部分の変形率は第13図-A, B, Cの各曲線中×印で示すようになる。各曲線の勾配の急なるもの程、局部不

均一性が大きであるから、×点における勾配角度の大小はゴーストクラック発生の危険率の大小を表わすこととなり、平型据込がこの意味において最も危険であるといえる。

しかしゴーストクラック発生の根本原因は、鋼塊自体の性状にあり、変形率不均一と定量的な関係を見出すことはできないが、本実験結果からえられた結論は、従来の平型据込を凸円錐型据込に改善することにより、より安全な作業がなしうるといふにとどまる。

### 〔VIII〕 据込作業についての要約

高温における鋼の塑性変形能と相似た性質を示すと考えられる Wax による試片を用いて、据込時の内部変形について調査した結果、つぎの結論をえた。

- (1) 据込作業時における内部変形は据込初期において比較的均一であるが、据込比が増すとともにおちじるしく不均一性が增大する。この現象は第1部の鍛延作業のときとは全く逆な様相を示すこととなり、おおむね据込比2までは不均一変形にもとづくゴーストクラックの発生は起らないものと推定されるが、それ以上では注意を要する。
- (2) 不均一変形を改善するには、凸円錐型工具による据込が有効である。円錐角度は素材の  $\frac{H}{D}$  によってそれぞれ適当な値を選ぶべきであるが、現場応用の点を考慮して今回は  $150^\circ$  のものを用い、内部変形におよぼす効果についてやや定量的な解明を行った。

### 〔IX〕 結 言

以上鍛延、据込の2つの基本鍛錬法の場合について、模型実験により内部変形率を求めたが、いずれの加工法によるも不均一性はまぬがれない。しかし工具の形状や幅を考慮することにより、ある程度の改善は可能であつて、この問題はできるだけ均質な欠陥のない鍛鋼品をつくるための重要な因子であると考えられる。

勿論内部欠陥を生ずる原因は多々あり、単に加工法の適正化のみによつて、すべての問題が解決できるわけではないが、鋼塊に内在する諸欠陥の大半は適切な加工法を講ずることによつて改善される筈であつて、反対に不適切な加工によつて欠陥の残存ないしは拡大を生ずることになるので、鍛造技術者にとって内部変形の問題は最も注意を払うべきことの1つであると考えられる。

前述の要約の項で述べたところにしたがつて、均質鍛錬への手段を講じ、各製品の種類、材質、大きさなどにより、適切な加工法を確立すべきである。

殊に最近では超音波探傷法のような各種非破壊検査法が

発達し、鋼材内部欠陥の検出がきわめて容易となり、すでに実用の域に達しているが、必然的に従来より以上の欠陥防止法の研究が必要となつている。この意味において基本的な加工法の再検討を行つたわけであつて、これが内部欠陥防止の一方策となりうるものと信じている。

最後に本報告の発表を許可された日立製作所日立工場田村副工場長と終始激励と有益な御助言を戴いた野村製造部長、小河鍛造課長に深謝するとともに、実験に協力された朽木君の労に感謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 原於兎雄：鉄と鋼 22巻9号 P.677 (昭11-9)
- (2) P.M. Cook: Metal Treatment and Drop Forging P. 541 (1953-11)
- (3) W. Coupette: Stahl und Eisen, 61 (1941) s. 1036
- (4) L. Holmquist: Iron and Steel Engineer, Dec. 1952
- (5) E. Siebel and A. Pomp: Mitt Kaiser-Wil. Inst. Eisenf. 9, s 157 (1927), 10 s 55 (1928)

## 特 殊 鋼

日立製作所冶金研究所長

工学博士 小柴定雄 著

B 列 5 判 317 頁 定価 850 円

本書は著者の約20年間における特殊鋼にかんする研究と経験を基とし、特殊鋼全般について記述したもので、その内容としては、まづ特殊鋼の製造法、つぎに熱処理にかんする基礎的事項を詳細に述べ、さらに合金元素別により特殊鋼の基本的性質ならびに特に実用特殊鋼の種類、熱処理、性質およびその取扱などに重点を置いて記述されている。

また重要な特殊合金材料についてもその概要を記述し、実際製造上および使用上の参考に資するため、鋼塊および鋼材の欠陥とその防止法ならびに試験検査法などについても記述されたものである。

以上の通り本書は特殊鋼の製造者、研究者および使用者などの各機械電気、冶金、化学などその他の技術者の好伴侶となるものである。

発行所 東京都千代田区丸の内1の4  
(新丸ビル) 振替 東京 71824

日立評論社

発売所 東京都中央区日本橋通2の6  
振替 東京 5

丸善株式会社