

- p. 27
- 9) C. E. Sims, Foundry: 79, (1951), 9, p. 92
- 10) 木下禾大: 鉄と鋼, 29, (1943), p. 699, p. 908
- 11) U. K. Bhattacharya, C. M. Adams, H. F. Taylor, AFS Prep. 78, (1954). また Foundry, (1954), July.
- 12) 沖進, 小幡鍊: 日本金属学会誌, 16, (1952) 9, p. 517, Ibid, 17, (1953), 5, p. 243

鋼管の熱間引抜に関する研究*

佐藤 謙 二** 谷 秀 夫**

STUDIES ON THE HOT-DRAWING OF STEEL TUBES

Kenji Sato and Hideo Tani

Synopsis:

Among the finishing processes of seamless steel tubings, there is one in which outside diameter of tube is reduced hot through die. In this connection, tube-drawing by use of plug is unavailable from the practical point of view, resulting in the ability of free deformation of tubes in the radius direction, and therefore it is impossible for us to estimate the wall-thickness of drawn-tubes. Moreover, we must know the fact that the outside diameter of tube already-drawn becomes smaller than the inside diameter of die.

With the above in mind, the author obtained experimentally and made some observations on the variation of wall-thickness and outside diameter of tubes.

The results obtained were summarized as follows:

1) The recording of variation of drawing force during the hot-drawing operation with an oscillograph, showed that soon after the commencement of the operation, the drawing force shockingly increased, with the values kept almost constant after that.

2) Drawing stress increased in proportion to the reduced rate in area of tube. Any difference due to wall-thickness could not be observed. The relation between the drawing stress σ_1 kg/mm² and reduction rate ϵ % at the drawing temperature of 500°C could be shown by the following equation.

$$\sigma_1 = 1.013 + 0.401 \epsilon$$

3) The distribution of outside diameter and wall-thickness of drawn tube in the axial direction was found small in the forward portion (pulling side), large in the backward portion. As for the distribution in the middle portion except those above-mentioned, remained almost constant in case of thin-walled tube, with a tendency to be increased gradually towards the forward portion from the backward one.

4) As the reduction rate of outside diameter increased, the increasing rate of wall thickness became larger up to the maximum value, with a tendency to be decreased in case of thick-walled tube as compared with that of mother tube.

5) The difference between the inside diameter of die and outside diameter of finished tube became larger with the increase of outside diameter reduction rate, to a considerable degree and therefore sufficient consideration should be taken into this fact in the finishing process in question.

I. 緒 言

継目無鋼管製造の仕上工程中に管を熱間でダイスを通して、外径を減少させる工程がある。これを鋼管の熱間引抜あるいは熱牽と称するが、標準寸法以外の管、小径厚肉管を比較的簡単に製造しうる特徴がある。この際冷間引抜の芯金引きのごとく芯金を使用して引抜くこと

は、實際上不可能なので、全て空引きとなり、したがって管内面の変形は自由であり、引抜による肉厚変化を予測できない。また引抜管の管外径は、ダイス内径より小さく、しかもかなりの量に達するので、熱間引抜により

* 昭和 30 年鉄鋼協会秋期大会で講演

** 日本特殊鋼管株式会社

所要寸法の外径をもつ管をうるためには、これを知る必要がある。

A. Pomp と U. Schylla¹⁾ は実験により熱間引抜における鋼管の変形を求めているが、実験範囲がせまくはつきりした結果を示しておらず、E. Siebel と E. Weber²⁾ は管の空引きについて理論的な解明をこころみているが、肉厚変化について定性的な傾向を知りえたのみで理論的にこれを求めることは困難である。そこで著者等は、種々の条件において鋼管の熱間引抜に関する実験をおこない、変形状況をあきらかにし、同時に引抜力を測定し両者の関連性について考察を加えた。

II. 実験方法

実験は実際の熱牽機でおこなったが、その電動機は 150P A.C. で引抜速度は 0.9 m/s である。実験に使用した素管は、冷間引抜したリムド鋼管で、寸法は外径がいづれも 80φ mm, 肉厚は 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 mm の 4 種類で長さは約 3,000 mm である。

使用したダイス形状を Fig.1 に示すが、材質は普通

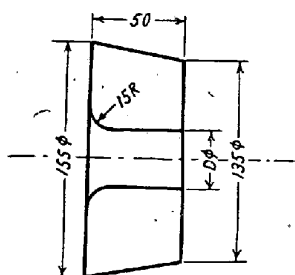


Fig. 1. Profile of die.

鋳鉄である。ダイス孔径は 77, 74, 71 mm の 3 種類あり、管外径を減少させるには、80→77, 80→74, 80→71 mmのごとく 1 回の引抜であたえる場合と 80→77→74, 80→77→74→71 mmのごとく 2 回または 3 回の引抜（以下便宜上折返し引抜と称す）であたえる

場合の 2 種類おこなった。折返し引抜は実際作業に採用されている方法である。

温度は引抜直後輻射高温計で管表面の温度を測定したが計器のタイム・ラグおよびスケール発生のため測定がやや困難であつた。目標温度は大部分 800°C とした。

III. 実験結果

(1) 引抜力について

引抜力はまず抵抗線歪計により直接測定すると同時に電動機の所要電力を測定し、両者に相関関係のあることを確かめ、大部分の引抜力は測定簡単な所要電力より算出した。

まず抵抗線歪計による引抜力の測定方法をのべると、Fig. 2 のごとく引抜力測定用連結棒を鉄車にとりつけ、これに測定用歪計 R_1, R_2 と温度補償用歪計 R_3, R_4 を

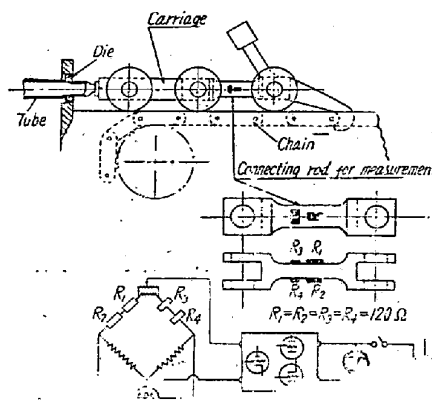


Fig. 2. Apparatus for measurement of drawing force.

貼付け、これをブリッジに組むときは、それぞれを直列に結んで曲げのかがつた場合に生ずる両面の弾性変形の相違による抵抗変化の差を消去させる方法をとった。荷重がかかると R_1, R_2 の抵抗が大となり、ブリッジのバランスが破れ、電流がながれる。これが増巾されてミリ・アンメーターに表れるわけであるが、連結棒に貼付けた歪計から増巾器までのリード線が長いので、シールド線を用いて干渉からくるリップルをなるべく防止した。しかし引抜中の引抜力の変化を知るためオシログラフに記録する場合は、増巾度が大きいので、リップルが若干現われている。

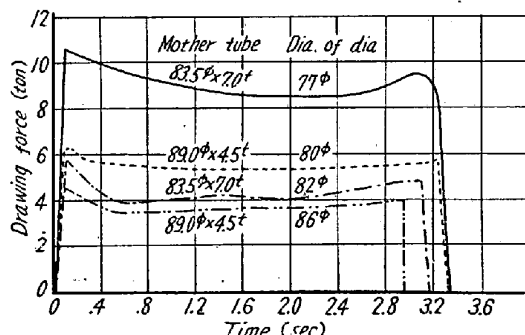


Fig. 3. Variation of drawing force. 訂正 Fig. 3 (上) Dia of dia は Dia of die の誤り

Fig. 3 に引抜中の引抜力の変化を示すが、此等の曲線を見ると、引抜開始直後に衝撃的に最大引抜力を生じ大部分の例では、次の瞬間引抜力は急激に低下し、約 0.4 s 後にほぼ安定した状態になるが、引抜後端にいたり漸増し引抜が完了する。しかし素管肉厚が厚く外径減少量の大きな場合（図中の最上曲線）は引抜力が定常状態になるのに約 1.6 s を要し引抜力変化の状況がほかの例と異なる。ここで引抜直後にピークがあるのは、管が静止の状態から衝撃的に引抜かれるためであり、その後の引抜力の変化は、摩擦によるダイス形状の変化、管とダイス間の摩擦係数の変化状況に左右されるものと思われる。

(2) 引抜き力と所要電力との関係

Fig. 4 に線歪計で直接測定した引抜き力と負荷による電力との関係を示す。電動機の所要動力の測定は記録式電力計で行なつたが、引抜き中ほぼ一定であつた。この図からわかるように両者間には高度の相関があり、引抜き力 P (ton) に対する負荷による電力 W (kw) の回帰直線は $W = -1.30 + 10.33P$ (1) となり、負荷による電力から引抜き力が算出できるので、次項にのべる引抜き力はこの方法で求めた。

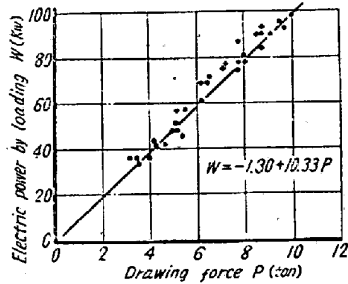


Fig. 4. Relation between drawing force and electric power by loading.

(3) 素管肉厚と引抜き応力との関係

Fig. 5 には引抜き温度が 800°C で素管肉厚が変つた場合の断面減少率と引抜き応力との関係を示すが、いずれもほぼ一直線上にあり肉厚による差異が認められない。これは冷間引抜きでも認められていることである。

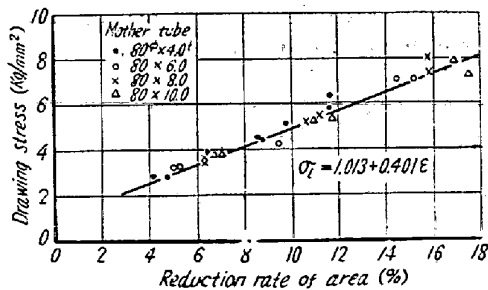


Fig. 5. Relation between drawing stress and reduction rate of area at drawing temp. of 800°C. 断面減少率 ε (%) に対する引抜き応力 σ₁ (kg/mm²) の回帰直線は次式で示される。

$$\sigma_1 = 1.013 + 0.401 \epsilon \dots\dots\dots (2)$$

なお、素管 80φ × 4.0t mm を用い引抜き温度を変えた場合は、ここに図表として示さなかつたが、引抜き応力は 900°C では 800°C よりやや小さく 700°C ではこれらより大きい値を示し、軟鋼の変形抵抗の値と同じ傾向を有している。

(4) 引抜き中の管の変形過程

管の引抜きによる変形過程を知るため、引抜の途中で鉄車のハッカーが外れるような装置をつくり、管の途中止めをおこない、これを取り出し、変形過程を調査した。素

管は 80φ × 4.0t, 80φ × 8.0t mm でダイスは 77φ, 74φ mm をそれぞれ使用し引抜き温度は約 800°C とした。

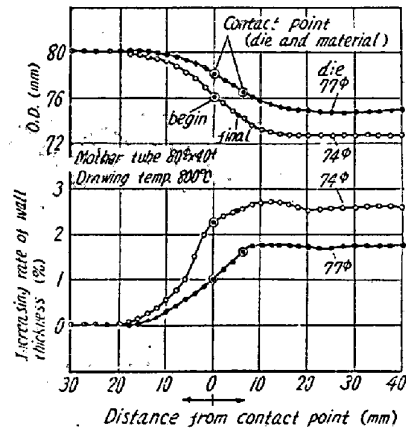


Fig. 6. Deformation process in hot drawing (thin wall tube)

Fig. 6 は素管 80φ × 4.0t mm の場合を示すが、変形は外径、肉厚とも管がダイスに接触する以前からおこり、肉厚増加は、ダイスと管がはなれる点附近でほぼ完了するが、外径はこの点からさらに減少し、ダイス内径より小さくなり、所謂引細りの現象があらわれる。また引抜き後の肉厚増加率は、ダイス 74φ mm を使用したときの方が、ダイス 77φ mm の場合にくらべてあきらかに大きくなっている。

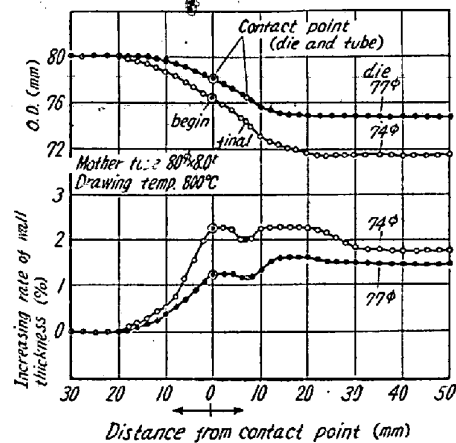


Fig. 7. Deformation process in hot drawing (thick wall tube)

Fig. 7 は素管 80φ × 8.0t mm の場合であつて、外径は素管 80φ × 4.0t mm の場合と同じ過程をたどるが、肉厚はこれとことなつた変形過程を示す。すなわち肉厚は、管とダイスの接触開始点までは増加するが、終了点附近で減少し、次に増加し、ダイス出口以降で再び減少する傾向があり、その程度はダイス 74φ mm の場合がいちじるしい。終了点附近で肉厚が減少するのは、ここ

で曲げ応力がはたらくためと思われるが、ダイス出口以降で再び減少する理由はわからない。結局ダイス出口後の肉厚増加率は、ダイス 74φ mm を使用したときの方がダイス 77φ mm にくらべて大きい、その差はわずかである。

(5) 軸方向における変形の分布

熱間引抜では冷間引抜とことなり、引抜後管の軸方向における外径と肉厚の分布が一樣でないことが、経験的にわかっている、各種工程で管を引抜き、これを引手端より 200 mm の間隔で切断し、外径と肉厚を測定し分布を求めた。

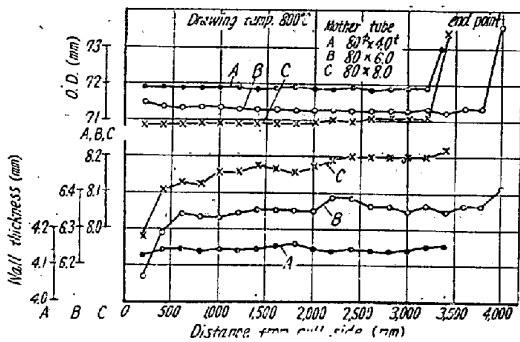


Fig. 8. Example of distribution of outside diameter and wall thickness of drawn tube in axial direction.

これらを分類すると Fig. 8 のごとく A, B, C の 3 つの型に分けられる。A は肉厚 4.0 mm のごとく薄肉管の場合であつて外径は全長に亘つてほぼ一樣であるが後端で大きくなつてゐる。肉厚は前端でややうすく、それ以後はほぼ一定である。B は肉厚 6.0 mm のごとく中肉管の場合であつて、外径の分布は肉厚 4.0 mm の場合とほぼ同様であるが、肉厚は前端でいちじるしくうすく、中央部はほぼ一定であり、後端で厚くなつてい

る。C は肉厚 8.0 mm のごとく厚肉管の場合であつて外径は引手端より後端に向つて漸増し、後端で大きくなつてゐる。肉厚は前端でいちじるしく薄く、その後、後端に向つて漸増し、後端でやや厚くなる。Table 1 に素管、引抜工程別に外径と肉厚の分布状況を一覧表にして示した。

この表をみればわかるように、薄肉管では、工程の如何にかかわらず A 型で変形の分布はほぼ一樣であるが中肉管では大部分 B 型であり、厚肉管の場合はいづれも C 型となり変形の分布が一樣でなくなり、折返し引抜ではこの傾向がさらにいちじるしくなる。

中、厚肉管で前端の肉厚がいちじるしくうすくなるのは、管が静止の状態から衝撃的に引抜かれ、引抜応力が大となるためであり、Fig. 3 のオシログラフの前端のピークがこれをあらわしている。また後端で外径がいづれの場合でも大きいのは、管が引抜の過程においてダイスのプロフィールに沿つて変形し、所謂引細りがないためであり、後端の肉厚が厚いのは、軸方向に引張力がはたらかないためである。前後端を除いた中央部の外径と肉厚の分布状況が、薄肉管では一樣であり、厚肉管では引手端より後端に向つて漸増する理由は、はつきりしないがその一つとして引抜中摩擦によりダイス形状が変化することが考えられる。今回使用したダイスは普通鑄鉄製であるため、とくに厚肉管を引抜く場合その摩擦による形状変化がいちぢるしく、これにより変形状況が軸方向で変化するものと思われる。また参考のため Table 2 に引抜温度 800°C における引抜応力と比較のため井上博士が高温引張り試験より求めた変形抵抗の値³⁾を示した。歪速度はいづれも 3~4/s. である。これからわかるように引抜応力はいづれも変形抵抗の 1/2 以下であり、

Table 1. Distribution aspect of O. D. and W. T. of drawn tube.

Mother tube (mm)	Drawing process	State of distribution
80φ × 4.0 t	One pass	A type in all cases, no effect by temperature
	Repeating pass	Ditto
80φ × 6.0 t	One pass	B type, B → C type in case of larger O. D. reduction
	Repeating pass	B type
80φ × 8.0 t	One pass	C type in all cases
	Repeating pass	In case of successive 3 times drawing, the inclination of C type becomes more clear
80φ × 10.0 t	One pass	C type
	Repeating pass	The inclination of C type becomes more clear

Table 2. The comparison between drawing stress and resistance to deformation at 800°C.

Mother tube mm	Area reduction %	Drawing stress kg/mm ²	Resistance to deformation kg/mm ²	Drawing stress /resistance to deformation	State of distribu- tions of O. D. and W. T.
80φ × 4.0 t	5.0	3.0	12.6	0.24	A
	9.5	4.8	14.8	0.325	A
	13.0	6.2	16.0	0.378	A
80φ × 6.0 t	5.5	3.2	12.8	0.25	B
	9.6	4.8	15.0	0.32	B
	15.0	7.0	17.3	0.405	C
80φ × 8.0 t	6.4	3.5	13.5	0.260	C
	11.0	5.5	15.8	0.348	C
	16.0	7.5	17.7	0.420	C
80φ × 10.0 t	7.0	3.8	13.6	0.280	C
	11.5	5.7	16.0	0.356	C
	17.0	8.0	18.2	0.440	C

引抜後管が引抜応力により変形することはないが
ダイス出口以降で材料の再結晶により管が軟化し変形抵
抗が引抜応力とほぼ同程度になれば、引抜力により管は
軸方向にのび外径、肉厚が減少することが考えられ、
Fig. 7 で 74φ mm ダイスを使用した場合はこの傾向
があらわれている。このようにダイス出口以降で管が引
抜力により軸方向にクリープするものとすれば荷重時間
の長い前端部が後端部より肉厚がうすく、外径が小さく
なる。

(6) 外径減少率と肉厚変化率との関係

熱間引抜では空引きによる肉厚変化率を正確に求める
ことは困難である。その理由は前述したように、軸方向
における変形の分布が一様でなく、また焼減りを考慮に
入れねばならずその上肉厚変化率は小さな値であるため
である。

今回はまず引抜前、管の軸方向に一定間隔に刻印し、
引抜後これを測定し、体積一定の法則から肉厚変化率を
計算した。引抜前後の鋼管の外径、肉厚をそれぞれ D_1 、
 D_2 、 t_1 、 t_2 とし伸び率を λ とすれば、体積一定の法則から

$$t_1(D_1 - t_1) = t_2(D_2 - t_2) \lambda$$

となり、肉厚変化率 $a = t_2/t_1$ とすれば $t_2 = a t_1$ となり
これを上式に代入して整理すれば、

$$a = \{D_2 - \sqrt{D_2^2 - 4(D_1 - t_1)t_1/\lambda}\} / 2t_1 \dots \dots (3)$$

となり伸び率から肉厚変化率が求められる。

一方引抜前後の肉厚を測定して直接肉厚変化率を求め
たが、計算値と実測値は、ある場合を除いてかなりよく
一致した。

Fig. 9 には各種肉厚の管を1回の引抜で外径を減少
させた場合の肉厚変化率を示すが、いずれも極大値があ

り、厚肉管ほど肉厚増加率が少くなり、10mm の場合
は減少する傾向を示してくる。これは E. Siebel & E.
Weber²⁾ が理論的に求めた肉厚変化の傾向と一致する。

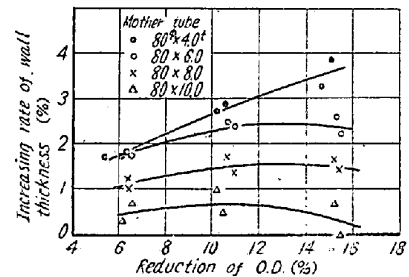


Fig. 9 Relation between increasing rate of wall thickness and reduction of O.D. by one pass. (drawing temp. 800°C)

折返し引抜の場合を Fig. 10 に示したが、ここでは
毎回の外径減少率が小さいので肉厚増加率は1回の引抜
にくらべ一般に大きい値を示している。

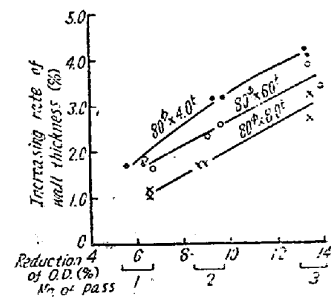


Fig. 10. Relation between increasing rate of wall thickness and reduction of O. D. by repeating pass.

(7) 引細り量

(4) 項で説明したように引抜に際し管外径は、はじめ
ダイス内壁にそつて変形するが、出口付近ではこれか

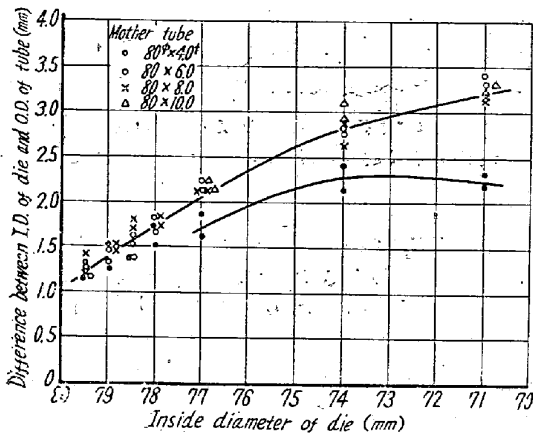


Fig. 11. Difference between inside diameter of die and outside diameter of finished tube. (drawing temp. 800°C)

ら離れてダイス内径より小さくなりいわゆる引細りという現象が生ずるが、ここでいう引細り量とは、引抜中の引細り量と冷却による収縮量を合計した値である。Fig. 11 に使用ダイス内径と引細り量との関係を示すが、これからわかるように使用するダイス内径が小さくなり外径減少率が大きくなるにつれて引細り量は増すが、これはR型ダイスを使用しているため外径減少率が増加することは直線型ダイスでいうとダイス角度が大きくなることに相当するためである。(直線型ダイスではダイス角度が大きくなると引細り量は大きくなる。) 肉厚 4.0 mm の場合はほかの場合とことなり引細り量に極大値が

あり、これ以上に外径減少率が大きくなっても引細り量は一定若しくは減少する傾向を示すが、これは引抜応力が大となり管がダイス内壁に沿って変形するためである。

ここで注意せねばならぬのは、ダイス内径が素管径に近く、外径減少率が小さい場合でも引細り量は 1.0 mm 以上もあるので仕上工程のダイス内径の決定には充分これを考慮する必要がある。

IV. 結 言

熱間引抜による鋼管の変形状況を知るため、諸種の条件の下で実験をおこない、ほぼこれをあきらかにすることができ、熱間引抜により所要寸法の管に仕上げるための指針をえた。しかし厚肉管では軸方向における変形の分布が一様でなく、この原因について摩耗によるダイス形状の変化、引抜応力などから考察したがはつきりわからなかつた。熱間引抜においては均一な寸法の厚肉管をうるのが今後の課題である。

本研究は、井上製造部長および上司各位の御指導と安斎義造君の協力により実施せられたものであり、ここにふかく感謝の意を表する次第である。(昭和32年7月寄稿)

文 献

- 1) A. Pomp & U. Schylla: M.K.W.I., 1934
- 2) E. Siebel & E. Weber: M.K.W.I., 1934
- 3) 井上: 鉄と鋼, 41 (1955), No. 5, 6, 8.

各種太物工具鋼材の鍛造による方向性と 熱処理による変形率について*

小柴定雄**・本間八郎***

DIRECTIONAL PROPERTIES CAUSED BY FORGING AND DIMENSION-CHANGE RATE DUE TO HEAT-TREATMENT WITH DIFFERENT HEAVY SECTIONS OF TOOL STEEL

Sadao Koshiba and Hachiro Homma

Synopsis:

At forging direction and its transversal direction in various heavy section of tool steels (Cr cold die steel, Cr-W-V hot die steel and Mn-Cr-W gauge steel), dimension-change measuring specimen were cut off, and then, the authors investigated directional properties caused by forging and rate of dimension change due to heat-treatment.

* 昭和 32 年 4 月本会演説大会にて発表 ** 日立金属工業安来工場, 工博 *** 日立製作所亀有工場, 工