

減少するにつれて周囲から水素、窒素が浸入し、水素窒素含有量が多くなる。またこのように考えると気泡中のガスに遊離状態の酸素が存在していることも説明される。

V. 結 言

熔鋼中に酸素、水素を吹き込んで気泡を発生させ、真空切削装置で切削して気泡内のガスの分析を行った。その結果

- 1) 気泡内のガスは水素、窒素が主成分であり、一酸化炭素、二酸化炭素、メタンは極めて僅かである。
- 2) ガス中には遊離の酸素が含まれている。
- 3) 脱酸を行っていない鋼に発生する気泡内のガスは大部分窒素で水素は少く、脱酸剤を投入した鋼では水素

が多く窒素は僅かであることが判明した。

(昭和 30 年 9 月寄稿)

文 献

- 1) P. Klinger: Stahl u. Eisen 46 (1922) 445
- 2) 小平 勇: 日鉄八幡製鉄所研究報告 16 (1937) 160
- 3) H. D. Hibbard: Iron age 129 (1932) 715
- 4) 藤井毅彦: 鉄と鋼, 第 38 年 (昭和 27 年) 188
- 5) Müller: Stahl u. Eisen 2 (1882) 531
" 3 (1883) 443
- 6) Klinger: Kruppsche Mh Bd 6 (1925) 11
- 7) Hultgren & Phragmen: Trans. AIME 135 (1939) 133

冷間引拔せる鋼管中の残留応力 (II)*

今 井 宏**

RESIDUAL STRESS IN COLDADRAWN STEEL TUBINGS (II)

Hiroshi Imai

Synopsis:

Following the previous report of some studies on residual stress measurements, the author studied in this report the sinking and plug drawing of wall thickness, outside diameter ratio, about 10% steel tubings, and investigated on the relations between residual stress and two drawing conditions, namely die contour and reduction.

The results clarified were summarized as follows.

- a) In case of sinking (Fig. 6 & Fig. 7)
 - a.1) Residual stress increased with the increase of outside diameter reduction.
 - a.2) The larger the die angle, within limit of about 10% reduction of outside diameter, the residual stress of sunk steel tubings were greater.
 - a.3) On the other hand, when in excess of 15% reduction of outside diameter, the residual stress of sunk steel tubings with smaller die angle became greater.
 - a.4) Within 10~15% reduction of outside diameter, almost no influence of die angle could be observed.
- b) In case of plug drawing (Fig. 8 & Fig. 9)
 - b.1) By reduction of the wall thickness the residual stress decreased remarkably with the increase of reduction of wall thickness.
 - b.2) In case of about 10% reduction of the wall thickness, the residual stress generally increased with the increase of the outside diameter reduction and the die angle.
 - b.3) In case of about 20% reduction of wall thickness, when reduction of the outside diameter and die angle were smaller, considerable negative stress remained on outer surface, but they decreased with the increase of the die angle. In case of larger reduction of the outside diameter, this phenomenon could not be observed and a comparatively smaller positive residual stress occurred regardless of the die angle.
 - b.4) In conclusion, when cold-working steel tubing, a moderate reduction of outside diameter and a sufficient reduction of wall thickness are required for the manufacture of cold-drawn steel tubing with smaller residual stress.

* 昭和 29 年 10 月本会講演会に発表, ** 日本特殊鋼管株式会社, 工

I. 緒言

前報¹⁾において鋼管中の残留応力の測定法の検討を行ったので、第2報よりは、引抜条件の残留応力におよぼす影響につき調査した結果を報告する。本報告はその内、工具形状およびリダクションの影響を空引きおよび玉引き、夫々の場合につき調査した結果である。

第1報に示した通り、立ち割り近似法は簡単に残留応力の多寡を知る便利な方法であるので、今回は専らこの方法で引抜条件の比較を行う事とした。即ち引抜後の鋼管中に残留する応力は一次的に分布すると仮定しその外表面最大応力をその試料の残留応力と考えたもので、従つて前報で述べた様に分布が一次分布より甚しい偏りを示す恐れのある圆弧ダイス、楕円プラグ (Fig. 1a) の玉引き作業は今回の研究の範囲より除く事とした。

II. ダイス半角の残留応力に及ぼす影響

緒言に述べた理由により著者の研究は主として円錐ダイス (Fig. 1b) による引抜きの場合に限られるが、こ

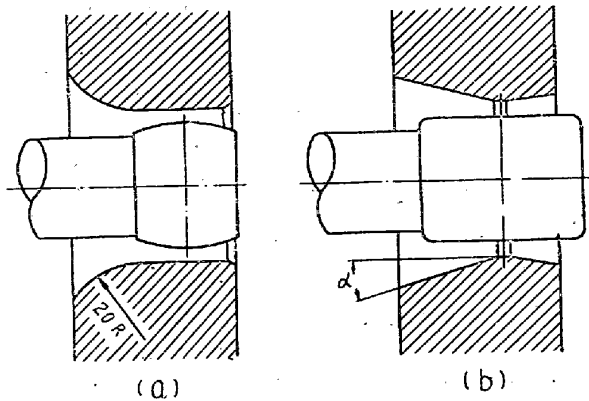


Fig. 1. Contour of dies and plugs.

の円錐ダイス形状の内最も問題になるものは、ダイス半角 α である。従つてこの α が、仕上り管の残留応力におよぼす影響を空引きおよび玉引きの場合につき調査を行った。

試料として使用せる素管は、キルド鋼第一種 (C=0.14, Si=0.14, Mn=0.53, P=0.07, S=0.029, Cu=0.17) の冷間仕上り後焼準した継目無鋼管、外径 43.0mm、肉厚 4.2mm で、これを空引きの場合、孔径 40mm、ダイス、玉引きの場合は 40mm ダイスに 38.0mm 円筒プラグを使用して引抜き試料とした。使用したダイスの半角は 6°, 12°, 16°, 26° の4種で、その他の工具寸法は第1報 Fig. 5 に示した通りである。

約 7m000 の試料の長さ方向適宜の位置より 5ヶの試片を採取しこれを立ち割り、近似法により円周方向残留

応力を求めその平均値を以て各条件の場合の残留応力とした。この結果を図にまとめると Fig. 2 を得る。図より下の事が判る。

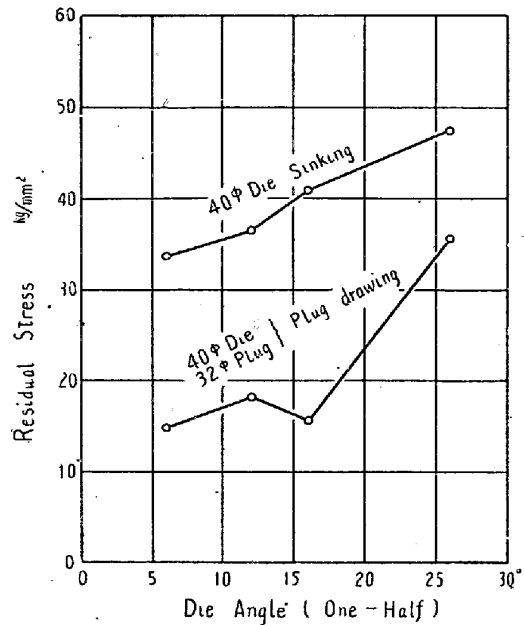


Fig. 2. Effect of die angle on residual circumferential stress in sunk and plug-drawn steel tubings.

i) 空引き管には玉引き管より遙かに大きな応力が残留する。

ii) 10% 程度の加工度では空引き、玉引き共ダイス半角の増加に従つて残留応力は増加する。

iii) 従つて玉引きにおいてもダイス半角によつては可成り大きな応力が残留する事もあり得る。

従来これに類似した実験を行つた報告として Sachs, Espey 両氏の報告²⁾がある。両氏は黄銅管の空引きの場合を研究し、Fig. 3 の結果を発表している。ダイス半角は 15° 迄であるが、著者の結果と同じ傾向を示している。図に見る如く両氏は更にリダクションの影響も見ているが、加工度の異なるものでは試片の数が少く傾向は充分明らかとはいえず、また玉引きについてのこの種の研究は両氏は勿論、その他の人々も未だこれを調査しておられない様である。従つて著者は更に広範に空引きおよび玉引きの各々の場合につきダイス半角およびリダクションの影響を調査した。

III. 空引きのリダクションと残留応力

残留応力におよぼすリダクションの影響の調査には多数の試料を要するので、素管材質および寸度を変えて、リムド鋼一種管材より冷間で仕上げた外径 29.0mm、肉厚 3.0mm を用いる事とした。

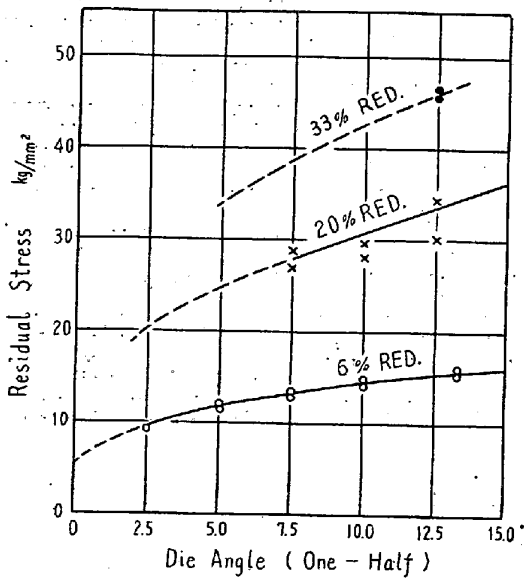


Fig. 3. Effect of die angle and reduction on residual circumferential stress in cartridge-brass tubing. (By Sachs and Espey 1941)

Table 1. Drawing program for the study of residual stress in sunk steel tubings.

Reduction of out. dia.	Type of die		Type b die die-angle (one-half)			
	Inn. dia. of die. mm	Type a die R=20	6°	12°	18°	26°
4%	27.8φ	○	○	○	○	○
8%	26.7φ	○	○	○	○	○
12%	25.5φ	○	○	○	○	○
16%	24.4φ	○	○	○	○	○

使用したダイスは Table 1 に示す通りで、ダイス半角の異なる 4 種の円錐ダイス (Fig. 1 a) および R=20mm の円弧ダイス (Fig. 1 a) の合計 5 種類、ダイス孔径としては素管外径より 4%、8%、12%、16% 小さい表にみる 4 種の寸法を選び、総計 20 種類のダイスを用意した。

上記の如く、ダイス孔径を選んだが、空引きにおいては現場で“引細り”と呼ぶ現象があつて仕上り管の外径はダイス孔径より小になるのが常であり、またこの引細り量は工具形状、リダクションによつても変化する。その詳細については既に研究³⁾されているので、ここでは今回の実験において認められた引細りと引抜条件の関係を示すと Fig. 4 の如くである。図に見る如く、円錐ダイスにおける引細り量は外径殺し大なる程、またダイス半角大なる程増加する傾向にある。この事は同一孔径のダイスで同一外径の管を引抜いても、ダイス半角が異ると仕上り径が異なる事を示し、この場合ダイス半角大なる

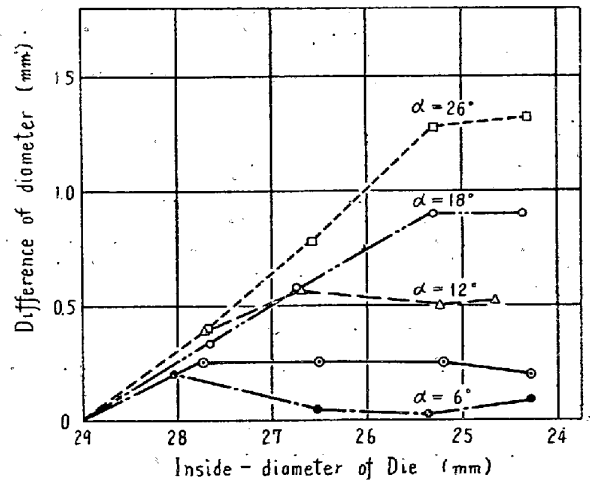


Fig. 4. Difference value between outside diameter of sunk tubing and inside diameter of die.

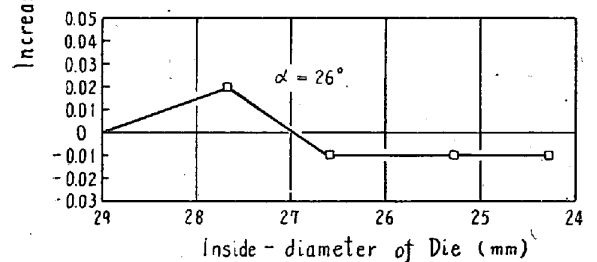
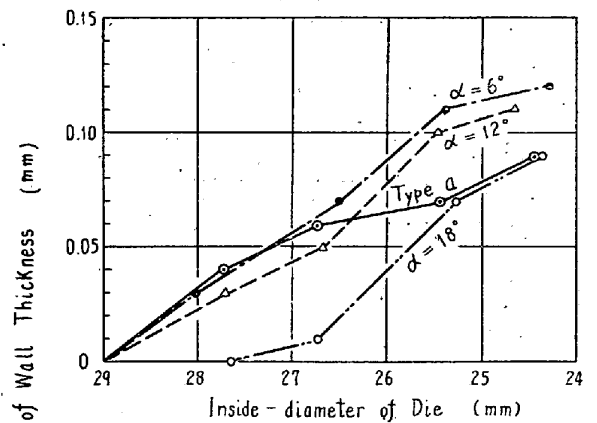


Fig. 5. Increase of wall thickness by sinking of steel tubing.

もの程、外径減少率大となる事を示すものである。

更に空引きにおいては、内面は自由であるから、径を空引きで減少すると一般に肉厚は増加する。リダクションは先の引細りにより計算上のものより大となつたが、この肉厚増加でリダクションは逆に緩和されるものである。今回の実験でこの肉厚増加量と引抜条件との関係を調査した結果を Fig. 5 に示す。図より明らかな如く、一般に外径殺しの増加につれ、肉厚増加は大となるが、

ダイス半角の増加に従つて肉厚増加量は減少し半角26°となると肉厚は逆に減少している。この事から肉厚増加によるリダクションの緩和はダイス半角の増加に従つて減少する事が判ろう。

これ等を要するに、同一孔径のダイスでもダイス半角が大になるに従つて引抜かれた管の引細りは大となり、肉厚増加は小になるので、リダクションは半角の増加と共に増加する事になる。

先に示した著者の実験結果 Fig. 2 および Sacks, Espey の結果 Fig. 3 は何れもこの事を考慮に入れて見なければならない。

次に残留応力の測定結果を述べる。Table 2 に示した 20 種類のダイスで空引を行い得た長さ約 4m000 の鋼管の頭部、中央部、尾部より 3ヶの試料を採取、これを立ち割り、その前後の径変化 ΔD をマイクロメーターで測定し、次式より残留応力を求め、その平均を以てその鋼管の残留応力とした。

$$Sc_{max} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{\Delta D}{D_m^2} \cdot d$$

但し E : ヤング率, ν : ポアツソン比

D_m : 立ち割り前後の平均直径(但し中空層の径)

d : 管の肉厚

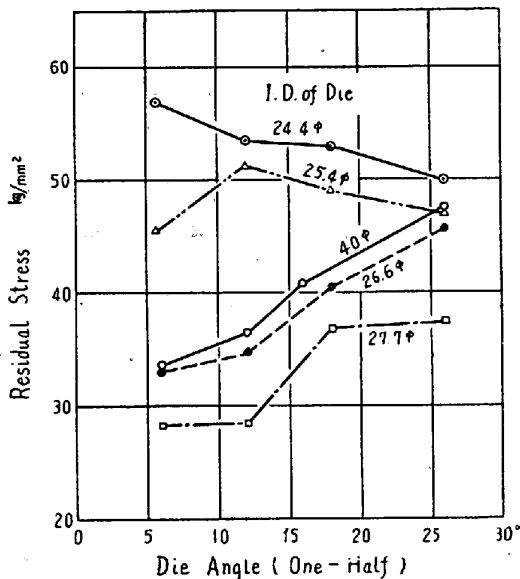


Fig. 6. Effect of die angle and reduction on residual circumferential stress in sunk steel tubings.

これ等残留応力の測定値を、ダイス半角を横軸にとつて整理したものが Fig. 6 である。図中、中央の実線は Fig. 2 に示した 43mm×4.2mm 鋼管空引きの場合で今回の結果も 27.8mm, 26.7mm ダイスの場合には、同様ダイス半角の増加と共に残留応力も増加しているが

リダクションの大なる場合はこれと聊か異り 24.4φ の場合は明らかにダイス半角と逆に残留応力は減少し、25.5φ の場合は中間的な傾向を示している。前述の如くダイス半角が大となると引細りおよび肉厚増加の影響でリダクションは大となる管で、またこの傾向は24.4φ の様に外径殺し大なる程大きい管であるからダイス半角の影響を同一リダクションの管につき比較すると更に顕著に上の傾向が現われると思われる。

この点を更に解り易くするために、横軸に引細りを含めた実際の外径減少率をとり Fig. 7 を作つた。この図ではダイス半角の異なる 3 線が中央付近で交叉しており

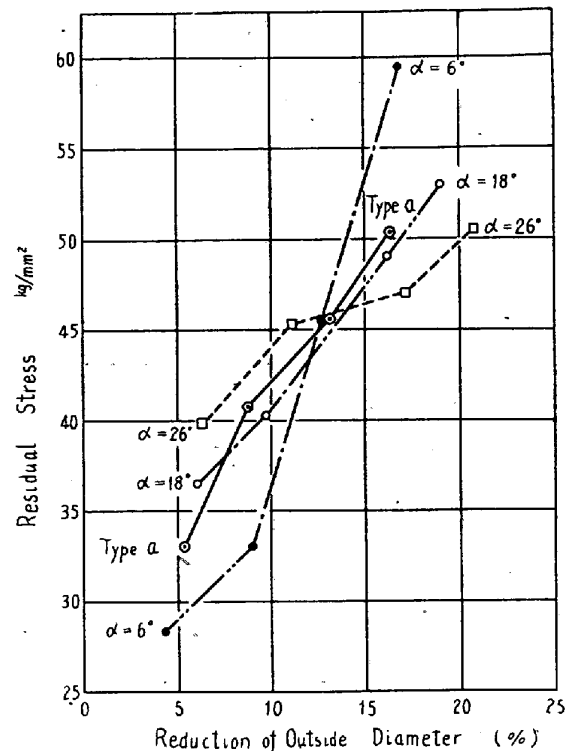


Fig. 7. Effect of reduction and die angle on residual circumferential stress in sunk steel tubings.

外径減少率小なる所ではダイス半角の小さいもの程残留応力が低くなつて居るが外径減少率 15% 以上ではこの関係が逆になつて居る事が認められる。Fig. 6 でダイス半角-残留応力の関係をより厳密にリダクション一定として示すためには Fig. 7 を適当な縦線で切り、ダイス半角種々なる場合の残留応力も求めてプロットすればよい。これを行えば前記の様に更に傾向が明らかに示される事は Fig. 7 より明らかであろう。

また Fig. 7 の実線は、円弧型ダイスによる測定値である。これ等ダイスの加工中の有効ダイス角度を計算して見るとリダクション最小の場合 10.3° で、リダクションの増加と共に増し、最大リダクションの場合 19.8° で

ある。これ等有効ダイス角度を考へて Fig. 7 を見ると若干の偏りはあるが略々傾向として妥當な値を示している事が判る。

Sachs, Espey²⁾ は Fig. 3 に示した通り、リダクションに關係なく残留応力はダイス角度の増加に伴つて増大すると結論を下しており、著者の結果と異つてゐるが前述の如く両氏の実験はリダクション大なる所での実験数が少なかつたために著者の認めた現象を見出し得なかつたものと推定される。この現象の理由としては残留応力に影響する因子として、ダイス角度とダイス接触長さの2因子があり、リダクションが大となるとこの後者の影響が大きく現われてくるものであらうと一応は定性的に考へるが、この点に關しては現在検討中であるので、他の機会に報告を行いたい。

IV. 玉引きのリダクションと残留応力

玉引きの場合は空引の時と異り、鋼管は外径をダイスにより、内径をプラグにより定められた間隙を通つて引抜かれるから、ダイス、プラグを所定の寸法に作製すれば予定の加工を行ひ得る。

玉引きのリダクションは通常断面減少率で表わされるが、残留応力の様に管の内外面のメタル・フローが直接關係するものは断面減少率を以て整理する事はできない。一例をあげると Table 2 は 29.0 mm × 3.0 mm に断面減少率は略々 25% で等しいが外径減少率肉厚減少率は夫々異なる加工を与えた場合の残留応力の値を示している。引抜時に測定した引抜応力は兩者略々等しいが

円周方向残留応力は全く異なる値を示している。この様に残留応力は外径減少と肉厚減少のふりわけ方により変化をするものである。

従つて外径減少と肉厚減少の2因子で加工条件を規定する事とし、ダイスは空引きに使用したものをうい外径減少率を数種に変え、これに肉厚減少率が素材肉厚 3.0 mm の 10%, 20% となる様適當寸法のプラグを使用する事とした。この配慮の下に Table 3 に示した 24 通りの引抜条件で、空引きの場合と同様の 29.0 mm × 3.0 mm リムド鋼管を引抜きこれを試料とした。この場合、円錐ダイス、円筒プラグのみを使用して、円弧ダイス、楕円プラグによる玉引きは行わなかつたが、その理由は緒言に述べた通りである。

上の各々の条件で引抜いた試料につき、空引の際と同様の方法で残留応力を測定したが、その結果を整理し、ダイス半角と残留応力との關係を圖に示したものが Fig. 8 である。

圖に見る如く、肉厚減少率 10% の場合と 20% の場合では残留応力の値および傾向には相當な差がある様に見受けられる。従つてまず肉厚減少率 10% につき述べるとこの場合は圖に見る様にダイス半角、外径減少率の増加に伴い残留応力も一般に増加の傾向を示す。唯、外径減少率 16% の場合ダイス角度の大なる所で、外径減少率 12% の曲線より低い値を示した点が注目される。実験数が少いのでこれが、実験誤差の如きものか、或いは応力低下の加工条件の限界がここにあらわれたものであるかは今後の研究にまたねばならない。

Table 2. Effect of various reduction on residual stress in plug-drawn steel tubings.

Size of mother tubes O.D. × Wall T. mm	Size of drawn tubes O.D. × Wall T. mm	Reduction of area %	Reduction of out. dia. %	Reduction of wall thick. %	Drawing stress kg/mm ²	Residual circumferential stress. kg/mm ²
29.0φ × 3.0	24.4φ × 2.7	24.8	16	10	29.9	19.0
29.0φ × 3.0	26.7φ × 2.4	25.0	8	20	32.9	1.2

Table 3. Drawing program for the study of residual stress in plug-drawn steel tubings.

Reduction of wall thick	Reduction of out. dia.	Inn. dia of die mm	Out. dia. of plug mm	Die angle (One-half)			
				6°	12°	18°	26°
10%	4%	27.8φ	22.4φ	○	○	○	○
	8%	26.7φ	21.3φ	○	○	○	○
	12%	25.5φ	20.1φ	○	○	○	○
	16%	24.4φ	19.0φ	○	○	○	○
20%	4%	27.8φ	23.0φ	○	○	○	○
	8%	26.7φ	21.9φ	○	○	○	○

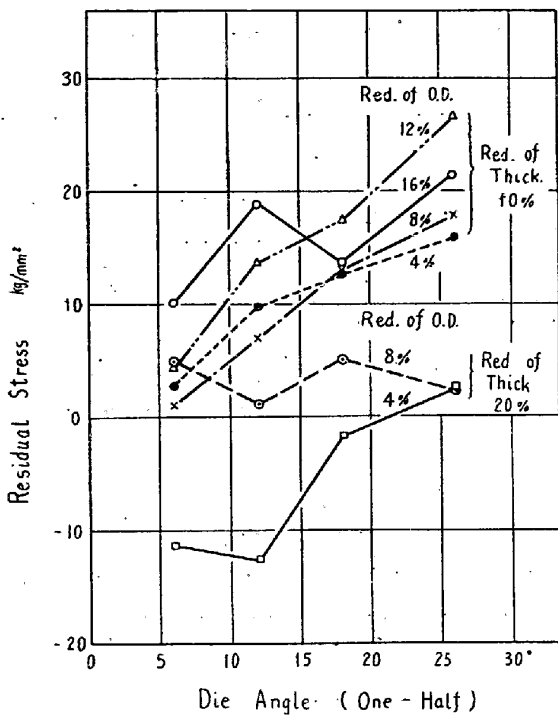


Fig. 8. Effect of die angle and reduction of outside diameter or wall thickness on residual circumferential stress in plug-drawn steel tubings.

これに反し、肉厚減少率 20% の場合においては残留応力はダイス半角の増加に伴い低下を示す事が認められる。即ち外径減少率 4% の場合、残留応力は方向を異にし、負の応力を示すが、その絶対値はダイス半角の増加と共に著しく減少し、外径減少率が 8% に増加すると再び正の残留応力を示すが、その値は僅少で、かつ、半角の増加に従って僅かながら減少する傾向が見受けられる。

従つて玉引き管の残留応力におよぼすダイス半角の影響もリダクションに関係する所多く、空引きの場合同様第 I 節に述べた傾向は一般的なものではなく、加工条件によつては逆の傾向を示す事もある事が判つた。

今少しく考えて見ると玉引き加工は外面よりの加工と内面よりの加工に分析される。外面の加工を外径減少率で規定する如く、内面の加工を、肉厚殺しによる内径増大と考え、内面に玉をおかなかつた場合、即ち空引きにより得られる肉厚を芯金で減少すると考えた計算肉厚減少率で規定すれば、この 2 つの減少により、玉引き加工を規定する事ができる。この観点より先のデータを整理したものが、Fig. 9 である。横軸に上記、計算肉厚減少率をとり、上図が外径減少率 4% の場合、下図が 8% の場合である。図に見る如く肉厚減少率 0 即ち空引きの場合より肉厚殺し大になるにつれ残留応力は極めて顕著な減

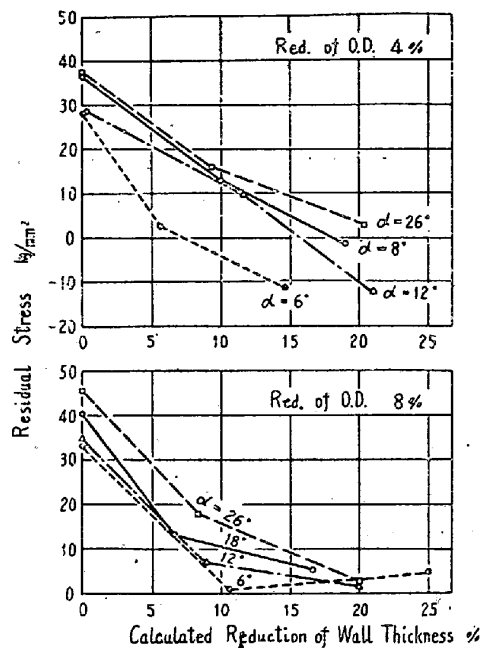


Fig. 9. Effect of reduction of wall thickness on residual circumferential stress in plug-drawn steel tubings.

少を示し、充分な肉厚減少を与れば、残留応力は 5kg/mm^2 以下におさめ得る事が判る。この様に玉引き加工において残留応力の減少する事はこの加工では管の内外面より加工が均一に進行するためと考えられる。但し外径減少率 4% ダイス半角 6° , 12° の場合、肉厚減少が大きい時には残留応力が負の可成りの値を示しているがこの原因その他については、今後の研究にまきたい。

以上実験により作業条件と残留応力の関係を単に現象的に明らかにしたに過ぎないが、これ迄の結果からも次の結論は下し得る。即ち鋼管の冷間引抜きにおいては残留応力の点からも空引きは好もしかざる作業で、玉引き作業で適度な外径減少と充分な肉厚減少を与える事が残留応力を小にするには効果的である。

V. 総 括

残留応力測定法の検討を行つた前報に引続き、今回は肉厚、外径比、約 10% の鋼管の空引きおよび玉引き各々の場合につきダイス形状およびリダクションの 2 つの引抜き条件と残留応力の関係を調査した。

その結果明らかとなつた点を列挙すると下記の如くである。

a) 空引きの場合

- (a.1) 残留応力は外径減少率の増加と共に増加する。
- (a.2) 外径減少率 10% 程度迄はダイス半角大なる程、そのダイスで空引きした鋼管の残留応力は大である。

(a.3) 外径減少率 15% を超えると逆に半角小なるダイスで空引きした鋼管の方が残留応力が大となる。

(a.4) 外径減少率 10~15% ではダイス半角の影響が殆んど認められない。

b) 玉引きの場合

(b.1) 残留応力は玉引きにより肉厚減少を行うと減少し肉厚減少率の増加に従って顕著に減少する。

(b.2) 肉厚減少率 10% 程度の場合、一般に外径減少率、ダイス半角の増加に伴い残留応力も増加する。

(b.3) 肉厚減少率 20% 程度の場合、外径減少率、ダイス半角小なる場合は外表面に可成りの負の応力が残るが、これはダイス半角の増加により減少する。外径減少率がこれより大なる場合には、この現象は認められず、ダイス半角に関係なく、比較的小さな正の残留応力が生ずる。

(b.4) 従つて鋼管の冷間加工においては、適度な外径減少と充分な肉厚減少を与えれば残留応力の小さい引抜鋼管が得られる。

以上各種の条件で引抜いた試料につき残留応力を測定し現象的に上の諸点を明らかにしたが、それ等の理由については現在検討中でなお結論的な事は言い得ない。また素管肉厚外径寸法比の異なる場合、逆張力の影響等については今後更に研究をすすめたいと思つている。

本研究は日本特殊鋼管本社工場において須永巳代次社長以下関係各位の御指導、御援助の下に行われ、社外より東京大学生産技術研究所鈴木弘教授に種々有益な御助言御教示を頂いた。ここに深く感謝する。

また本実験に必要な工作は当社研究課清水藤重君により、測定は佐藤次男君により極めて満足な精度で行われたものである事を茲に記し、謝辞に代える。

(昭和 30 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) 今井 宏: 鉄と鋼, 42 (1956) No. 1. p. 23~28
- 2) G. Sachs & G. Espey: Metals Technology A.I.M.E. Tech. Publ. No. 1386, Oct. 1941
- 3) 岡本豊彦: 住友金属 6 (1954) 2, p.85~102

含ボロンばね鋼 TS50 B60 に関する研究 (I)*

安 田 洋 一**・鈴木 吉 弥***

STUDIES ON THE BORON-TREATED SPRING STEEL TS50 B60 (I)

Yoichi Yasuda and Kichiya Suzuki

Synopsis:

It is reported by American investigators that B-treated Cr steel TS50B60 showed very good results for leaf or coil spring material of trucks, tractors and passenger cars. But in our country there is few data about this steel, and so the authors studied the properties of TS50B60 in comparison with SUP 6 (Si-Mn steel), SAE 5160 (Mn-Cr steel) and SAE 6150 (Cr-V steel) as minutely as possible.

Results of the studies were as follows:

1) Non-metallic inclusions.

There was little difference between different steels and so the influence of B-addition was not found.

2) Transformation points.

High temperature order was as follows:

A₁ point: SAE6150 > SAE5160 = SUP6 > TS50B60

A₃ point: SAE6150 > SAE5160 > TS50B60 = SUP6

3) Hardenability.

D₁, calculated from the measured Jominy curves, were 115mm for SAE6150, 100mm for SAE 5160, 97mm for TS50B60 and 53mm for SUP 6. The fading phenomena of B were not seen. The results of dilatometric observation at quenching were as same as above.

4) Tendency of quenching cracks.

The residual stress of quenched specimen showed the transformation type for different steels

* 昭和 30 年 4 月本会講演大会にて講演 ** 大同製鋼株式会社平井工場技術課 *** 同