押出に関する研究(第5報)

押出製管に関する一実験*

細井吉一** 湯川 守***

STUDIES ON THE EXTRUSION (5TH REPORT) CONSIDERATION OF PIPE MAKING BY DIRECT EXTRUSION*

YOSHIKAZU HOSOI** MAMORU YUKAWA***

In this report, it is described the effect of mandrel size on extrusion pressure for pipe making of Pb and Sn, various properties of pure Al pipe, and the double pipe making by direct extrusion. By studying these problems mentioned above, the results obtained are as follows:

(1) When the pipe is extruded by the same form die and the different mandrel in dia., max. or min. extrusion pressure is proportional to A_1/A_2 .

If by the same mandrel in dia. and the different die in form, it is proportional to the logarithmic A_1/A_2 .

(2) Hardness of pure Al pipe is higher in outside and is mild at inside. And it is ununiform at the head of pipe.

(3) Double pipe extrusion pressure vs. stroke curves resemble to one of pure metal bar extrusion.

And it is uniform in thickness ratio of double pipe at high temperature extrusion.

(Received Oct. 20, 1955)

1. 緒 言

著者等はさきに直接押出による棒材製作時の押出圧力、棒材の硬度分布および素材の流動状況等について報告したが、製管時の上記現象については未だ研究も不十分のようである。

本報告では直接押出法による、製管押出圧力におよぼすマンドレルの寸法効果、一定マンドレルを使用したときの断面縮少比の影響を Pb, Sn について行つた結果を報告し、さらに純Al管の硬度分布と製管時の流動の観察結果を報告する。

つぎにAl合金二重管製造の予備的研究として、Sn が外管、Pb が内管となるような二重管製造において、二重管の肉厚比におよぼす押出温度の影響等について検討した。

2. 実験方法

押出装置およびこれに使用したダイスや押板については、すでに第1報¹⁾で詳細に報告したが、製管に用いたマンドレルはFig. 1の如きもので、同図の如く5種のマンドレルを作成した。

実験に供した金属は純Al(99.80%), PbおよびSnで、ビレットの外径は前報同様30mmφで、無焼鈍のまま押

出を行つた。

上記マンドレルを使用したときの断面縮少比等の諸数値はTable. 1の如くである。

Fig. 1 マンドレル寸法の Dimension of mandrels.

3. 実験結果と考察

3. 1 製管押出圧力におよぼすマンドレルの寸法効果
使用ダイスは、No. 3(円形), No. 6(正六角形) および No. 9(正方形) の3種で、Pb, Snにつきマンドレルを種々変え、押出圧力を測定したが、その結果の一例はFig. 2の如くである。押出速度はいずれも同一で、約26mm/minである。

圧力一行程曲線は棒材押出の場合と類似するが、行程最後のダイスとコンテナーとの隅の効果に原因する圧力

* 1955年10月、日本金属学会金沢大会に発表

金沢大学助教授 *同 所

* This was reported at the 37th Autumn Meeting of the Japan Institute of Metals.

** Kanazawa University. *** ditto.

Table. 1 マンドレル使用による製管押出の諸数値 Factors at pipe making by extrusion.

Dia of Mandrel, x, mm	Sectional area of mandrel, mm ²	Sectional Area of billet, A ₁ , mm ²	Sectional Area of extrusions, $\dot{A}_2$, mm ²									Reduction Ratio, A ₁ /A ₂								
			Circle Die			Hexagon Dia			Square Die			Circle Die			Hexagon Die			Square Die		
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9
0	0.0706.8	80.1	179.1	326.9	81.5	187.7	325.9	81.0	187.7	331.2	8.8 ₂	3.9 ₅	2.1 ₆	8.6 ₈	3.7 ₇	2.1 ₇	8.7 ₃	3.7 ₇	2.1 ₃	
5	20.0686.8	60.1	159.0	306.8	61.4	167.7	305.8	61.0	167.7	311.2	11.4 ₂	4.3 ₂	2.2 ₄	11.1 ₇	4.1 ₀	2.2 ₅	11.1 ₇	4.1 ₀	2.2 ₁	
8	50.2656.6	29.8	128.8	276.6	31.2	137.4	275.6	30.7	137.4	281.0	33.1 ₀	5.1 ₀	2.3 ₇	21.0 ₃	4.7 ₈	2.3 ₈	21.3 ₆	4.7 ₈	2.3 ₄	
10	80.1626.8	0	98.9	246.7	1.36	107.6	245.8	—	107.6	251.1	∞	6.3 ₄	2.5 ₄	461	5.8 ₃	2.5 ₅	—	5.8 ₃	2.5 ₀	
15	179.0527.8	—	0	147.8	—	8.6	146.8	—	8.6	152.2	—	∞	3.5 ₇	—	61.2	3.6 ₀	—	61.2	3.4 ₇	
17	227.0479.9	—	—	99.8	—	—	98.9	—	—	104.2	—	—	4.8 ₂	—	—	—	—	—	4.6 ₁

Fig. 2 圧力-行程曲線
Ext. pressure-stroke Curves

上昇の傾向は顕著でない。

これら曲線から最大最小圧力を求め、マンドレルの直径変化による A_1/A_2 と押出圧力の関係を示せば、Fig. 3 の如くである。

棒材の押出圧力は A_1/A_2 対数に比例し、棒断面積 (A_2) が一定の場合、円形が最高圧力を示し、正三角形が最低圧力を示したが、管押出では、ダイスを一定にすれば、最大あるいは最小圧力は A_1/A_2 に比例し、 A_1/A_2 にたいしほぼ平行する。また A_1/A_2 が一定のとき円形パイプがかならずしも最高圧力を示さない。

同図中……で示した縦線はマンドレルなしの A_1/A_2 を表記したもので、これとの交点の圧力を p_0 、またその

A_1/A_2 を $(A_1/A_2)p_0$ とすれば、製管圧力 p は定性的に次の実験式で表される。

$$p = p_0 + \alpha \cdot x \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、 $\alpha \cdots A_1/A_2$ の増加にともなう圧力上昇勾配

$$x \cdots (A_1/A_2)p - (A_1/A_2)p_0$$

p_0 は定性的に G. Sachs の式²⁾あるいは M. D. Stone の式³⁾によって決定される。

いま Pb の No. 6 ダイスによる押出最小圧力を例にとれば、

$$p_0 = 3.7 \text{ kg/mm}^2$$

$$\alpha = 2.66 \text{ kg/mm}^2$$

$$\therefore p = 3.7 + 2.66x \quad \dots\dots\dots (2)$$

もし、 $(A_1/A_2)p = 4$ となるような管を押出す場合、 $(A_1/A_2)p_0 = 2.17$ であるから

$$p = 3.7 + 2.66 \times (4 - 2.17) = 8.56 (\text{kg/mm}^2)$$

しかし、 p_0 は実際に圧力- A_1/A_2 曲線より下位に位置するため、ある程度の圧力を加算しなければならない。

上式中 α の値は Fig. 3 からわかる如く、Sn, Pb により異なり、またダイスの種類によつてもかわるものと思われる。したがつて、(1)式は、一定のダイスを使用し、種々の肉厚管を押出す場合に適用出来るもので、あらかじめ棒押出圧力 p_0 をもとめ、 α について検討しておく必要がある。

つぎに A_1/A_2 が一定なとき、円形ダイスによる圧力がかならずしも最高を示さないのは、マンドレル使用により、押出流動に複雑な変化があるためと思われる。

3. 2 一定マンドレルによる押出圧力- A_1/A_2 の関係

No. 1 ~ 3 の円形ダイスと No. 7 ~ 9 の正方形ダイスを使用し、Pb, Sn について、マンドレル No. 3 (8mm ϕ) を用いて押出製管圧力を測定し、最大圧力と A_1/A_2 の関係を求めた。

Fig. 4 はその結果である。すなわち、マンドレルを一

Fig. 3 一定ダイスによる製管圧力- A_1/A_2 曲線
Ext. pressure- A_1/A_2 curves

Fig. 4 一定マンドレルによる製管圧力- A_1/A_2 曲線
Ext. pressure- A_1/A_2 curves

定にすれば、押出圧力は A_1/A_2 の対数に比例し、G. Sachs の関係式を満足する。しかしマンドレル無しの棒材押出の場合に比較し、 A_1/A_2 にたいする圧力勾配は大である。

また棒材押出圧力は A_1/A_2 の一定なとき、円形棒押出圧力が最高で、正多角形の角数の少ない正三角形棒の場合が最低であつたが、管押出では、外形が円形のものより正方形の方が圧力が大となる。

これは 3.1 におけると同様で、マンドレル使用により素材の流動に複雑な現象が伴うものと思われる。

3. 3 純Al押出製管について

Pb, Sn の軟質金属につき、押出製管圧力と A_1/A_2 の関係を検討したが、さらに製管時の流動の状況や管材の硬度分布、また残部ビレットの硬度変化等をしらべるため、99.80% Al につき、No. 3 ダイスと No. 2 および No. 4 マンドレルを用い、500°C で押出製管を行つた。潤滑剤には黒鉛と機械油の混合材を使用し、押出速度は 20mm/min とした。

Photo. 1 は管の縦断面のマクロ組織で、頭部が強加工をうけており、加工率大なる(b)は(a)よりはるかに強加工をうけ、結晶粒も極度に微細化されている。

また加工率の小さい(a)は組織的に不均一であるが、(b)は均一性が高い。これらの差異によりラムの速度が一定であつても、素材の流出速度が異なり、マンドレルとの相対速度に差が生じるためであろう。したがつてダイス近傍の流れ模様にも相違がみられる。

これらの状況を除けば、棒材押出の流動と同様な変化をするものと思われる。

Fig. 5, 6 は管の縦断面の硬度分布を示したもので、マクロ組織と比較すれば、当然と思われる。

A_1/A_2 の小さい Fig. 5 によれば、均一硬度になるのがおそく、 A_1/A_2 の大なる Fig. 6 では、早く均一硬度になる傾向がある。

いずれも頭部の流動が複雑らしく、硬度分布も不均一であるが、均一化後は、管外周が硬度が高く、内側は低い。

棒材では、 A_1/A_2 の大なるものが、硬化したが、Fig. 6 は Fig. 5 に比較し、全体的に硬度が低いのは、押出後水冷しなかつたため、管材の予熱のためと思われる。

Fig. 7 は残部ビレットのダイス近傍の硬度

Boundary dia of billet

(a)

(b)

Photo. 1 No. 3 ダイスとマンドレルNo. 2(a)およびNo. 4(b)により99.80%Al, 500°C押出管の断面マクロ組織
Macrostructures of 99.80% Al pipe extruded at 500°C by No. 3 die and No. 2(a) or No. 4 (b) mandrel

Boundary Dia of Billet (mm)	Thickness of Outside Billet (Sn), t_{i-Sn} , (mm)	Thickness of Inside Billet (Pb), t_{i-Pb} , (mm)	t_{i-Sn}/t_{i-Pb}	Billet Section
20	5	6	0.83	
18	6	5	1.20	
16	7	4	1.75	
14	8	3	2.66	
12	9	2	4.50	

Table. 2 二重管押出ビレの寸法

Dimension of double billet for pipe making.

Fig. 5 99.80%Al, No. 3 ダイス、No. 2 マンドレルによる500°C押出管の硬度
Hardness of 99.80%Al pipe extruded at 500°C by No. 3 die and No. 2 mandrel.

分布を調べたもので、ダイス孔入口付近で最高硬度を示すが、これは Fig. 8 の残部ビレットの硬度分布と比較すれば、棒材押出の現象と全く同様であることが推察できる。

すなわち素材の層流部の中心が押出行程とともに次第に硬化し、高硬度の分水嶺を形成することがわかる。しかし製管の場合は、マンドレルの影響をうけ、分水嶺が押出方向に向く傾向がある。(第4報 Fig. 6・(6)参照のこと)

3. 4 二重管の製造について

耐食性と強度を考慮し、合せ板を製造させるが、これと同様な意味で、外管に高力材を用い、内管に高純Alあるいは耐食Al合金を合せることによって、耐食管を製造すれば非常に好都合である。著者等はこの考えから、予備的研究として、外管が Sn, 内管が Pb の二重管押出の実験を行った。

使用したダイスおよびマンドレルは夫々、No. 3 と No. 2 で、押出速度は 8 mm/min とし、潤滑剤は使用しなかつた。

3. 4. 1 ビレットの製作

熔解ならびに鑄造方法は前報¹⁾と同様であるが、まず Sn ビレットをつくり、これに 12 ~ 20 mm ϕ の 5 種類の孔をあけ、これに Pb を鑄造し、30 mm ϕ $\times$ 40 mm のビレットを削り出し、最後にマンドレル用の 8 mm ϕ の孔をあけた。Pb の鑄造は、特に鑄込温度に注意し、熔解温度を 50°C 以上をこさないようにした。製作したビレットの詳細は Table. 2 の如くである。

Fig. 6 99.80%Al, No.3 ダイス、No.4 マンドレルによる
500°C 押出管の硬度
Hardness of 99.80% Al pipe extruded at 500°C
by No.3 die and No.4 mandrel.

Fig. 7 第5図と同一条件の管押出残部ビレットのダイス面
近傍の硬度
Hardness near die surface of remaining billet
extruded at the same conditions as Fig.5.

Fig. 9 押出荷重一行程曲線
Ext. load-stroke curves

3. 4. 2 荷重一行程曲線

押出方法は単一ビレットの場合と同様で、荷重一行程曲線は Fig.9 の如くで、Pb あるいは Sn の曲線と類似の傾向を示すが、二重ビレットの押出圧力は純金属に比し大であり、二重ビレットの肉厚比の相違による圧力差はほとんどとめられない。

Photo. 2 は二重管の縦断面で、常温押出では Pb と Sn の境界で入りをおこす傾向があり、肉厚が不均一となる。

Photo. 3 は上記ビレットを 150°C で押出した管の中央部の横断面を示す。

Fig. 8 第6図と同一条件の管押出残部ビレットの硬度
Hardness of remaining billet
of 99.80% Al pipe extruded
at same condition at Fig.6.

Fig. 10 ビレットと二重管の肉厚比の関係
Relation of thickness ratio of double
billet and pipe.

Fig. 11 二重管の押出方向における肉厚比
 t_{2Sn}/t_{2Pb} distribution in extruded direction

Boundary dia of billet

Photo. 2 二重管の縦断面
Longitudinal section of double pipe.

Boundary dia of billes (mm)

Photo. 3 二重管の横断面
Section of double pipe

Photo. 4 は、150°C 押出管の境界層の顕微鏡写真で、加熱押出では合金層を形成し、ハンマリングしても剥離することがない。

3. 4. 3 二重管の内厚比について

二重管は内管が均一でうすく、一様に合金層をつくり、剥離しないことがのぞましいが、このためには加熱押出がよいものと思われる。

Fig. 10 は横軸にビレットの肉厚比(t_{1Sn}/t_{1Pb})を、縦軸に管の肉厚比(t_{2Sn}/t_{2Pb})をとって示した。なお測定は管の押出方向の数箇所について測定した平均である。

常温、加熱押出ともに類似の傾向を示し、ビレットの内管肉厚が薄ければ管の内管も薄くなる。

しかし、同一肉厚比のビレットでは、加熱押出の方が内管が薄く均一につく傾向のあることがわかる。

Fig. 11 は 150°C 押出管の押出方向の肉厚比の分布を示したもので、ビレット内管の厚肉のものほど均一分布を示すものと思われる。

4. 総括

押出製管について、押出圧力、押出流動、硬度分布、二重管製造等について実験したが、以上の実験結果を要約すれば次の如くである。

Photo. 4 二重管の境界層組織 ×150
Microstructure of double pipe

(1) ダイスを一定とし、マンドレルの直径を種々変えると、圧力-行程曲線は棒押出のそれと同一傾向を示し、最大最小圧力は減面縮少比に比例する。

(2) 一定マンドレルを用い、ダイス孔面積を変化すれば、圧力は G. Sachs の報告と一致し、減面縮少比の対数に比例する。

(3) 純Al管の押出流動状況は棒押出と類似し、管の内側が軟化し、外側が硬化する。また押出方向においては、頭部で不均一硬度を示し、尾部で硬化し、一定硬度となる。

(4) 二重管押出の圧力-行程曲線は棒材押出と類似の傾向で、常温より高温押出の方が、内管肉厚が一様に薄く均一化し、Pb, Sn の境界は合金層を形成し、剝離することはない。

(5) 二重管用ビレットの肉厚比が管の押出方向肉厚分布に大いに影響を与える。

本実験は研究室的小規模のものであり、実際操業とは異なる点もあると思われるが、何らかの資料となれば幸である。

終に本研究遂行にあたり、御激励御鞭撻いただいた東京工大教授森永博士に深甚の感謝の意を表します。

文 献

- 1) 森永、細井；本誌、(1955)No. 15, 31-58
- 2) G. Sach; 加藤訳、加工冶金学(下巻), 252
- 3) M. D. Stone; Trans. A. S. M. E., Vol. 75(1953), No. 8, 1493
- 4) 森永、細井；本誌、(1955)No. 15, 34, Fig. 5

(P65より)

した結果を述べたが総括すると次の如くである。

(1) 顕微鏡組織的には Cu の各含有量に対し Si 4% で既に modification の効果が顕著であり、伸が増加するが抗張力に対しては Si 4% では大した効果がなく Si 8~10%では最も効果がある。

(2) Cu 2%, Si 8~10%の合金は Na に依る modification の効果が最も顕著で熱処理を施さずに抗張力 25~26 kg/mm², 伸 7~10%のものが得られる。

(3) Cu 3~4% を含む Si 12%合金は modification を施した場合機械的性質が低下する。Al-12Si-4Cu 合金では金型組織においても初晶 Si の異常生長を来たし抗張力、伸共に modification を施さない場合より低下する。

(4) Ba, Ca は Al-Si-Cu 系合金の組織を微細化し、機械的性質にも相当の効果が認められるが、その効果は Na に及ばない。

Sb は Al-Si-Cu 系合金の機械的性質の向上に Ba, Ca 以上に効果があり、その効果は Na には及ばないが、再

溶解により効果を失わない点で興味がある。

(6) Bi は Al-Si-Cu 系合金に対し殆ど効果が認められない。

最後に本実験の引張試験は東京工業大学機械試験室の御厚意によるものである事を記すと共に実験遂行上種々御指導御援助を賜った東北大学教授大日方一司博士に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Y. Tsumura; Light Metals, No. 16(1955)135.
- 2) Y. Tsumura; Light Metals, No. 17(1955)51.
- 3) G. Gürtler; Z. Metallkunde, 44(1953), 503.
- 4) C. Hisatune; 京大工学部彙報, 9(1935)18.
- 5) Y. Tsumura; 1955年8月、日本金属学会誌投稿
- 6) C. Mascré; Foundry Trade Journal, 94(1953), 725.
- 7) W. Guertler, A. Bergmann; Z. Metallkunde, 25(1933)81.