押 出 に 関 す る 研 究

(第1報) 鉛、錫の押出圧力に関する予備実験

森永 卓一* 細井 吉一** 湯川 守***

STUDIES ON THE EXTRUSION (1 ST REPORT) ON THE EXTRUSION PRESSURE OF LEAD AND TIN

TAKUICHI MORINAGA* YOSHIKAZU HOSOI**
MAMORU YUKAWA***

It is described the effect of many various factors, which are die hole form, die angle, bearing length, reduction ratio and follower plate form, etc., on the extrusion pressure of Pb and Sn by direct method, as preliminary study on Al and its alloys.

The results obtained are as follows:

- (1) Although the min. pressure is agree with the G. Sachs results, that the extrusion pressure is proportional to the logarithmic reduction ratio, max. pressure at the beginning of extrusion does not agree accurately.
- (2) At the constant reduction ratio, max. and min. extrusion pressure in circle die are the largest of all other die hole forms, and the smallest is in triangle die.
- (3) The largest pressure is determined by the two side ratio in rectangle dies at constant reduction ratio and it is smaller in the case of square or sheet form dies.
- (4) Die angle which gives the smallest pressure is about 65° and the bearing length increases proportionally the max. and min. pressures which are in parallel.
- (5) It is remarkably affected by the follower plate form, extrusion velocity, lubricant and temperature as in Fig. 12, 14, 15 and Table. 4.
- (6) It is thought that the billet length greatly increases the max. pressure, but the min. one is constant from the results of Pb and Sn as in Fig. 16 and 17.

(Received Mar. 17, 1955)

1. 緒 言

最近塑性加工に関する研究^{1) 2) 3) 4)}が多く、特に押出加工技術の進歩が著しいし、また将来押出による新しい加工技術の発展も予測出来る。押出加工は非常に古くから研究され、諸種の断面を有する複雑な型材も生産されており、これらに関する基礎的研究も発表されているが、著者等はこれを系統的に Al および Al 合金について研究するため、予備実験として、Pb、Sn の押出圧力におよぼす各種因子についての結果を報告する。

度により最高 30 mm/mm にすることができる。押出装

写真 1

実験装置

Photo. 1

Apparatus

2. 実験方法と試料の作成

2.1 実験装置

実験装置は Photo. 1 の如くで、A は押出装 D の測温用温度計、B は保温用電気炉、C は押出行程読取尺度、E は押出用圧縮試験機で、島津製油圧式 60 型 Amsler であり、荷重読取板は写真の右に配置されている。

試験機はあらかじめ補正を行い、押出速度は弁の開閉

* 東京工業大学教授 工博 ** 金沢大学助教授 *** 同所

* Prof. of Tokyo Institute of Technology ** Kanazawa University *** ditto.

左 第1図
組立図
Fig. 1
Construction of ex-
trusion apparatus.

右 写真 2
各種ダイス形状
Photo. 2
Various die forms

置の組立図は Fig. 1 の如くて、Table. 1 はその部品の
明細表である。
2.2 ダイ ス

ダイスは各種の孔形状を用い、同形断面について3種
類の加工率のものを作成した。詳細はTable. 2、Photo
2 の如くて、原形は Fig. 2 a に示した。

第1表 部品材料

Table. 1 Materials of Details

Detail	Materials
Ram	Cr-Steel
Container Liner	Cr-Steel
Follower Plate	Cr-Steel
Container Case	Carbon Steel
Die Base	Cr-Steel
Container Base (1)	Carbon Steel
Container Base (2)	Cast Iron

第3表 矩形ダイス明細表

Table. 3. Details of Rectangle Dies

Die No.	Hole Form	Dia of Es- cape Hole, ϕ_3 , mm	Hole Size, mm $\times$ mm	Hole Area A_2 , mm ²	Billet Area, A_1 Die Hole Area, A_2	Reduc- tion %
13	Rect- angle	20	4 $\times$ 12.5	100	7.06	85.85
14		20	6 $\times$ 16.6			
15		28	4 $\times$ 25.0			

第2表 ダイ ス 明 細 表

Table. 2. Details of Dies

Die No.	Hole Form	Dia. of Escape Hole, ϕ_3 , mm	Dia or One Side Length, L, mm	Surrounding Lengh, L, mm	Hole Area A_2 mm ²	Billet Area, A_1 Die Hole Area, A_2	Reduction %
1	Circle	20	10.1	31.7	80.11	8.82	88.66
2		20	15.1	47.4	179.07	3.94	74.66
3		25	20.4	64.0	326.85	2.16	53.75
4	Hexagon	20	5.6	33.6	81.47	8.67	88.47
5		20	8.5	51.0	187.70	3.76	73.44
6		25	11.2	67.2	325.89	2.16	53.88
7	Square	20	9.0	36.0	81.00	8.72	88.48
8		20	13.7	54.8	187.69	3.76	73.30
9		28	18.2	72.8	331.24	2.13	53.13
10	Triangle	20	10.1	30.3	44.17	16.00	93.75
11		20	14.3	42.9	88.54	7.98	87.47
12		26	20.9	63.6	189.13	3.73	73.25

第2図 ダイス原形

Fig. 2 Original die form. (a) No. 1~No. 12I
(b) various angle.

写真3 矩形ダイス

Photo.3 Rectangle dies

写真4 種々のダイス角のダイス

Photo.4 Dies having various angle

第3図 押板原形

Fig. 3 Original
form of fo-
llower plate.

写真5 種々の押板

Photo.5 Various follower plate

矩形ダイスの原形は上記と同様で、詳細は Table. 3、Photo. 3に示した。

ダイス角の影響をみるために、Fig. 2・b の如き原形で、ダイス角は90°, 75°, 60°, 45°, 30° の5種類を採用した。Photo. 4はこれを示す。

ダイス平行部の影響をしらべるために、Fig. 2・bにおいてダイス角を45°とし、平行部長を1, 3, 5, 7 mm の4種類のものを作成した。

2.3 押板

押出加工にあつては、ほとんどすべての場合、押出尾部にパイプなる欠陥が生じ、これを防止することは経済的で、押板形状をかえるのも一方法かと考え、その前提として押出圧力を測定した。Fig. 3はその原形で、 α を135°, 120°, 105°, 90°, 75°, 60°, 45°, 30°の8個を使用し、押出圧力を検討した。Photo. 5はこれを示す。

2.4 その他の押出条件

ダイス形状、押板形状の押出圧力におよぼす影響の他に、ピレットの大きさ、潤滑剤の種類、押出速度、押出温度の影響をも測定した。

2.5 試料の作成

押出用ピレットの作成には、底部 31 mm ϕ 、上部 32 mm ϕ の勾配をもつ高さ 70 mm の金型に、Pb, Sn を鋳込み、ピレットの条件をそろえるため、いずれも1回の鋳込みごとに金型を水道水で冷却し、30 mm ϕ $\times$ 40 mm のピレットを作成したが、焼鈍は行っていない。これをコンテナに入れ、鋳込のときの底部が下になるようにした。

第4図 正六角形ダイスによる押出圧力行程一曲線
Fig. 4 Extrusion pressure-stroke curves of Pb by hexagonal dies.

3. 実験結果と考察

3.1 ダイス形状と押出圧力の関係

3.1.1 ダイス孔形状と加工率の影響

コンテナの摩擦を考えない場合の最小の押出圧力については、G. Sachs は次の関係式^{5) 6)}を示している。

$$p = c \{ k_f \cdot \ln (A_1/A_2) \}$$

ここで p は素材単位面積あたりの押出圧力、 k_f は材料の平均圧縮抵抗、 A_1 A_2 は素材と製品の全断面積で、 c は1.5~6の値をとっている。この関係は比較的簡単な断面形に適用されるわけで、著者等は Pb Sn についてこれらの関係を検討すると共に、同一の A_1/A_2 にたいして、断面形状によつて、押出圧力が如何に変化するかも、Pb について測定した。

ダイスは Table. 2 の形状のものを用い、押出速度は 25 mm/min とし、潤滑剤は黒鉛と機械油の混合剤で、コンテナ内面、ビレットおよびダイス表面、平行部に一様に塗布した。

その押出圧力行程曲線の一例は Fig. 4 の如くで、いずれも同一形状を呈し、押出初期に最高に達し、次第に低下するが、最後に上昇するのは従来の結果と同じである。

初期にあつては、素材がダイス面上に充填され、圧力がまし、このためコンテナ壁への圧力もますます増えるから、これとの摩擦力も増加し、次第に曲線が上昇し、素材はダイス孔に流れ込み、ダイス平行部との摩擦力にうちかつて、はじめて押出されることになる。ついでコンテナ部にのこるビレット長さの減少から、摩擦力低

第5図 各種断面形ダイスによる押出圧力と加工比の関係

Fig. 5 Extrusion pressure-reduction ratio curves of Pb by various dies.

下による圧力低下があるものと考えられるが、残存するビレットは内部的に相当の塑性変形をうけているから、かならずしも長さに比例して圧力低下があるとは思われない。最後に圧力の増加するのはダイスとコンテナとの隅の効果が原因するものである。これは従来の押出塑性流動に関する研究結果をみても推察出来ることで、押出加工率の小さいときは、隅の効果がおくれ、大なるものは隅の効果が早くあらわれる。したがつて、Fig. 4 の実線の如く最低圧力は A_1/A_2 の大なるものほど、押出行程中早く圧力が上昇する。

以上の推論から、コンテナとビレットの摩擦がなくなり、Pb が最後にダイスを押出されるための必要な圧力は、行程の最後まで曲線を延長したときの圧力と考えることができ、これが G. Sachs の押出圧力 (p)^{5) 6)} になるわけである。

上記最大圧力と最小圧力を各種断面形ダイスについて、加工率の影響を示したのが Fig. 5 である。

いずれの断面形においても、最小圧力は加工率の対数値の減少とともに略々直線的に低下するが、最大圧力は曲線的であり、両圧力は次第に零に近づく傾向を示す。最小圧力の変化は Eisbein u. Sachs⁷⁾ 等の実験結果と一致するが、最大圧力は必ずしも一致しない。これは上記の推論から考察して、 $A_1/A_2 = 1$ の時は、圧力は当然零になるべきで、最大圧力も零になるものと考えられる。

押出に関し、Eisbein u. Sachs⁷⁾ が応力-歪の関係を力学的に報告しているが、その後これを一部修正した M. D. Stone の研究⁸⁾ を基礎に考えると、 A_1/A_2 の変化によつて、ダイス形状係数も変化すると考えれば、著者等の結果も当然と思われる。

第6図 加工比一定の時の押出圧力と正多角形の角数及び一辺の長さとの関係

Fig. 6 Extrusion pressure-No. of angle and one side length curves of Pb at $A_1/A_2 = 3.75$

第7図 一定圧力下において押出される棒材の加工比と角度の関係

Fig. 7 Reduction ratio-No. of angle curves of Pb at the constant extrusion pressure.

第8図 矩形ダイスによる鉛の押出圧力-行程曲線
Fig. 8 Extrusion pressure-stroke curves of Pb by rectangle dies.

第9図 矩形ダイスによる鉛の押出圧力と二辺の比の関係

Fig. 9 Extrusion pressure-ratio of two side length of Pb by rectangle dies.

第10図 鉛の押出圧力とダイス角との関係

Fig. 10 Extrusion pressure-die angle curves (circle die, dia. 10mm ϕ)

$$* \quad p = p_{yp} \left(\left(\beta \cdot \ln \frac{A}{a} - 1 \right) e^{\frac{4\mu D}{L} + 1} \right)$$

p …押出圧力、 p_{yp} …圧縮降伏応力、 β …ダイス形状係数、 A …ピレット断面積、 a …ダイス孔面積、 μ …ピレットとコンテナとの摩擦係数、 L …ピレット長さ、 D …ピレット直径

つぎに加工率が一定の場合には、正六角形の圧力が高く、正方形正三角形になるにつれ、圧力は小さくなる。すなわちが多角形の場合は、角数の増加とともに押出圧力はます。またダイスの一辺の長さがますと圧力も低下するともいえる。Fig. 6はこの関係を示したものである。

Fig. 7は一定圧力 (7.5 kg/mm²) をあたえた時、押出される正多角形ダイスの角数と加工比の限度との関係を最大、最小圧力について示したもので、実際作業にあつては、いずれも最大圧力に対する曲線 (下の曲線) が重要になる。

3.1.2 矩形ダイスと押出圧力

ダイスは Fig. 2・a Table. 3、Photo. 3 の如くで、

$A_1/A_2 \approx 7$, $A_2 = 100 \text{ mm}^2$ とし、加工率は 85.85 % で、押出条件は前と同様である。

圧力行程曲線はいずれも傾向がことなり、正方形に近いものは、Fig. 4 と類似し、板状になるにしたがつて、異つてくる。板状に近いものは、残部ビレットの観察から、ビレット断面の両方から流入してゆく有様がよくわかる。このことは加工率が一定であつても、矩形の二辺比により、その流れ状況が非常に複雑になり、したがつてダイス隅の影響がことなるものと思われる。Fig. 8 はこの場合の圧力行程曲線で、Fig. 9 は最大、最小圧力と矩形の二辺の比との関係を示したもので、Sn の場合は、Pb と逆の傾向をもつようであり、顕著ではない。

3.1.3 ダイス角の影響

ダイスは Fig. 2・b、Photo. 4 に示したが、ダイス角は 90° , 75° , 60° , 45° , 30° の 5 種で、加工率は一定で、押出速度は 15 mm/min で、潤滑剤には乳化油を使用した。

Pb, Sn についてはすでに G. Sachs にも報告しているが、著者等の結果を示せば、Fig. 10 の如くで、最大最小圧力ともに、最低圧力を示すダイス角は存在するが、ダイス角 45° が最低値を示すとすると、G. Sachs⁷⁾ の結果とはかならずしも一致しない。これは使用ダイスの形状、その他の押出条件が同一でないためと思われるが、その押出圧力の絶対値はほぼ同一である。

3.1.4 平行部の長さの影響

ダイスの原形は Fig 2・b に類似するが、 $\alpha = 45^\circ$ とし、平行部長さを 1, 3, 5, 7 mm の 4 種とし、押出速度は Pb は 18 mm/min 、Sn は 10 mm/min で、潤滑剤は乳化油である。

第11図 押出圧力とダイス平行部長さの関係
Fig. 11 Extrusion pressure-bearing length curves.

実験にあたり、往々にしてダイス製作時の平行部長さ或は研磨などの相違から押出材が彎曲することがあるので、長さを一定にし、研磨状態を同一にし、平行部長さの影響を Pb および Sn についてしらべた。

Fig. 11 はこの結果で、Pb の平行部長さ 1 mm の場合をのぞいて、Pb, Sn 共にほぼ直線的に圧力は増加し最大、最小圧力が平行し、その差がほとんど一定であるのは注目すべきである。

Pb, Sn の押出速度は相違するから比較はできないがダイス形状その他の条件は同一であるから、この圧力増加は押出材とダイス平行部との摩擦力によるものと考えれば、その摩擦係数も定性的に求まるわけである。しかしダイスの他の形状がかわれば、押出最大最小圧力が変化し、摩擦力はかわるものと思われる。

3.2 押板形状と押出圧力の関係

Table. 2 No. 2 中ダイスを使用し、押板は Fig. 3、

第12図 鉛の押出圧力と押板形状の関係

Fig. 12 Extrusion pressure-follower plate angle and thickness curves of Pb by No. 2 die.

第13図 最大圧力に達する行程と押板角の関係

Fig. 13 Stroke-follower plate angle curves of Pb by No. 2 die.

Photo. 5 の如き 8 種類を使用した。

一般に直接押出にあつては、押出材の尾部にパイプなる孔があき、合金にふくまれる不純物などがパイプに集積される結果、これを切捨て、廃材となるわけで、押板形状により、パイプ形成を少くできればという考えから、まず押板形状による圧力変化をしらべた。潤滑剤は乳化油、速度は約 12 mm/min とした。

Fig. 12, Fig. 13 はこの結果である。Fig. 12・a は H (Fig. 3 参照) と最大圧力、b は押板角 α と最大最小圧力との関係曲線である。a によれば、H = 20 mm 以下すなわち凹形のもの最高圧力はほとんど一定で、20 mm 以上すなわち凸形のもの圧力は次第に大となる。これは b 曲線においても同様で、 $\alpha = 90^\circ$ を境として圧力変化がことなる。

以上の結果は素材の塑性流動の観察から明かにされるところと思われるが、押出初期にあつては、ピレットの上部は押板方向に逆に流れ、 $\alpha > 90^\circ$ のときは、コンテナ壁への圧力がまし、これによる摩擦力が大になるのに対し、 $\alpha < 90^\circ$ のときは、押出初期では同一現象が生ずるとしても、試料が凹部に充填され、押出されるときには半径方向への分力は相殺し、したがって、このための摩擦力がなくなり、 $\alpha = 90^\circ$ のものと同一効果を示すもの

第14図 押出圧力と押出速度との関係

Fig. 14 Extrusion pressure-velocity curves, used dies, No. 2 for Pb, No. 8 for Sn.

第4表 潤滑剤と押出圧力

Table 4. Relation Between Ext. Pressure and Lubricant

Metals Used Die	Lead No. 8		Tin No. 11	
	Pressure		Pressure	
Lubricant	max.	min.	max.	min.
Light Oil	8.8	7.2	17.1	16.2
no Lubricant	8.5	6.6	16.5	15.5
Machine Oil	8.3	6.8	15.9	15.5
Graphite	7.5	5.1	—	—
Vaseline	7.3	6.2	15.6	15.4
Emulsive Oil	7.1	6.3	15.7	14.5

と思われる。しかし材料の充填過程が問題で、パイプ形成とも深い関係があると考えられる。

Fig. 13 は押板角と最大押出圧力に達する行程長さとの関係を示したが、 90° 中心に行程は長くなる。 $\alpha < 90^\circ$ の場合は α の減少と共に急に行程が大となるのは尖端効

第15図 押出圧力—温度曲線

Fig. 15 Extrusion pressure-temperature curves by No. 13 die.

第16図 種々の長さのピレットの押出圧力—行程曲線

Fig. 16 Extrusion pressure-stroke curves of different billet in length.

果のためであろうが、 $\alpha > 90^\circ$ はゆるやかである。

3.3 押出条件の影響

押出条件として、押出速度、潤滑剤、押出温度の影響についてのべる。速度の影響には Table. 2 中 No. 5 ダイスを Pb に、No. 8 ダイスを Sn に用い、機械油と黒鉛の混合剤を潤滑に使用した。

Fig. 14 はその結果で、圧力および速度の対数値が直線の関係にあるのは G. Sachs の結果と一致する。

潤滑剤の影響として測定した結果は Table. 4 の如くで、すべて 28 mm/min の速度である。一般に軽油の場合は発熱があり、ワセリン、乳化油が圧力が低く、押出材表面はきれいで、軽油は表面に傷をつける傾向がある。

次に温度の影響を測定したが、Pb、Sn の如きは常温において粘性があるから、高温ではさらに圧力は下る。ダイスは No. 13、乳化油を潤滑剤とした。Pb、Sn 共に圧力-行程曲線は、初期には常温と同一傾向で、温度が上昇すれば、最大圧力に達してのち、急に圧力が低下し、常温の如く徐々に低下しない。Fig. 15 は圧力温度曲線である。なお高温における測定はコンテナとビレットを共に炉内に入れ、一定時間加熱、装置に移動し、27 mm/min で押出を行つたので、ビレットの温度低下はほとんど影響しないものと考えた。

3.4 ビレットの形状と押出圧力

一般にビレットの長さは直径の 1~5 倍が普通とされているが、長くなれば押出所要圧力は増大することは当然である。そこでどの程度に増加するかを Pb、Sn の高純度のものについて行つた。

ダイスは No. 2 を Pb に、No. 8 を Sn に用い、機械油と黒鉛の混合剤を潤滑に使用し、速度は一定とした。

Fig. 16 は圧力-行程曲線で、ビレットが長くなれば、中間行程に圧力停滞部が生じる。これは長くなれば、材

料変形が複雑になり、これによる内部摩擦などのためとも思われるが今後の研究により明かになるのであろう。ただこれらの中で、最小圧力がビレットの長さに関係なくほぼ一定である。Fig. 17 は最大最小圧力とビレット長さの関係を示したもので、最大圧力は長さが短くなるにつれて、最小圧力に近づく傾向のあることから、この圧力差が長さに影響されるものである。

最大圧力は行程の初期にあらわれ、素材がダイスをまきに出る時の圧力であるから、G. Sachs が導出した圧力(p)とビレット長さによつてきまるコンテナとの摩擦力を加算した圧力であるともいえる。

3.1.1 にのべた圧力 p は、ビレット長さ一定のときは、最大圧力で比較検討出来るが、素材とコンテナとの摩擦が加算されていることを考慮せねばならないだろう。

この最大、最小圧力の内容については、さらに理論的に検討を必要とするが、最小圧力にたいし、ビレット長さによる圧力増加が相当の割合になつていないことは注目すべきで、これが低下のための潤滑剤の選定にも考慮せねばならない。

4. 総 括

各種孔形状のダイスを用い、Pb、Sn の直接押出圧力を測定し、その各々について加工率の影響をみた。

同一形ダイスの場合は、加工率により G. Sachs が報告しているのと類似の関係をえたが、最大最小圧力は加工率低下とともに次第に低下し、その両圧力差も小となる。また同一加工率の場合は、円形、正六角形ダイスの如く角類の多いものは押出圧力が高く、正四角形、正三角形になるにしたがつて圧力は小となる。

加工率およびすべての条件を一定にした場合、短形断面の押出圧力は、その二辺の比によつて支配され、またダイス角には最低圧力を示す適当な角がある。ダイス平行部の長さの増加により押出圧力は一様に増加する。

押出速度がませば、圧力は増加し、両対数値の間に直線関係が成立する。また潤滑剤の種類によつて、押出圧力は軽減され、押出材表面の良否に影響をおよぼす。

次に押出温度上昇により圧力は一様低下をする。またビレット長さの増加とともに、最大圧力はほぼ直線的に増加するが、最小圧力は長さに関係なく、ほぼ一定である。この圧力増加は、Pb、Sn の場合、最小圧力にたいして相当な割合にあたるから、潤滑剤の選定に考慮が必要である。

終に、本研究にあたり、実験に協力された学生、南邦夫君、森田脩君、またダイス加工に支援された金子元三氏に対し、厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Symposium on Metallurgical Aspect of the Hot Working of non-Ferrous Metals and Alloys, J. Inst. Met. Vol. 77(1950), January, P. 407
- 2) Symposium on Heavy Press for Light Metals Forging and Extrusion, Trans. A. S. M. E., Vol. 75(1954), No. 8, P. 1481
- 3) 金属 Vol. 24(1954), No. 7
- 4) J. D. Shoemaker, American Machinist, 1953, July, P. 129
- 5) 精機学会編、精密工作便覧、第 3 巻、P. 102
- 6) 加藤正夫訳、加工冶金学 (下巻)、P. 252
- 7) Eisbein, W. u. Sachs, G., Kraftbedarf und Fließ Bröngänge beim Stangenpressen. Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. Sonderh. 16 (1931) 67-96 (Spanlose Formung)
- 8) M. D. Stone, Trans. A. S. M. E. Vol. 75(1953), No. 8, P. 1493

第17図 押出圧力とビレット長さとの関係

Fig. 17 Extrusion pressure-billet length curves.