アルミニウム合金の押出に関する研究 (第2報) 押出圧力に及ぼすダイス形状の影響*

麻 田 宏** 小 池 吉 藏** 森 本 三 郎** 田中英八郎***

Hiroshi Asada, Kichizo Koike, Saburo Morimoto and Eihachiro Tanaka: Study on Extrusion of Aluminium Alloys (2nd Report). Influence of the Die-Shape on the Extrusion Pressure. The effect of the die-shape upon the extrusion pressure for aluminium alloys were examined and the following results were obtained. (1) The extrusion pressure did not change by the variation of the shape of die-hole, while the circumference of hole was raised to 1.4 times. (2) Both the dies of which the lead-in has a radius of curvature and the conical die decrease the extrusion pressure in proportion to the increase of the radius of curvature and conicity. (3) The pressure when using a multiple-hole die was larger than that for the single hole die with the same total sectional area. (4) The bearing length of the die gives only very small influence to the initial pressure, but larger influence to the secondary pressure which is caused by the friction effect. The secondary pressure rises to twice the initial pressure, when the bearing length becomes 5.8 times.

(Received October, 26, 1956)

I. 緒 言

押出用ダイスとしていずれの型が Al 合金に適合しているかは次の観点から総合的に判断さるべきである。すなわち (1) 押出圧力 (2) 押出材の欠陥防止 (3) 限界押出速度の向上 (4) ダイス寿命 (5) 押出材の組織均一性、熱処理合金であれば各形式の残留歪の均一性 (6) 抗張性などがその主要項目である。これらの一項目を要求するダイス形状条件は他の項目に対しては相反的に作用する場合もあり、それぞれ密切な関係性をもっているから単独では論じ得ない。その上、ビレット処理にも影響されることはいうまでもない。本報ではダイス形状が圧力に対し如何なる影響を及ぼすかについて検討した結果について報告する。

II. 実験 結果

1. ダイス孔の形状

同一加工度でダイス孔形が相違する場合、押出圧力がどのように変化するかは古くから実験されてきた。孔形と圧力の関係は二つに大別して考えられる。その一つは孔形の相違によるビレット内の塑性流れの変化で、これが複雑化すれば内部的損失(変形抵抗)が増大して圧力上昇がおこる。第2にはダイス孔周長が相違することによる外部的損失(摩擦仕事)の変化

である。これら二つの因子がどのように押出圧力に影響するかについて検討した。

Fig. 1 は用いたダイスの外形で、この要目は Table 1 に示される。いずれも等断面積で外周長が変化している。ビレットは 2S, 63S および 17S で逆押出法によつた。押

Fig. 1, 3, 5 and 8 Details of extrusion dies.

Table 1

Die shape	Cross area (mm ²)	Ratio of circumference length
Circle	415.47	1.0
Square	416.16	1.129
Triangle	415.63	1.289
Rectangular	415.72	1.355

出条件を Table 2 に示す。

Fig. 2 はダイス外周比と押出圧力の関係を示し、いずれの場合も実験誤差内で初期圧は一致してお

** 東京大学理工学研究所

*** 東北大学金属材料研究所

* 本報の一部は 1955 年 11 月軽金属研究会秋期大会に発表

Table 2

Alloy	Soaking	Ext. temp. (°C)	Contam. er temp. (°C)	Die temp. (°C)	Ext. velocity (cm/min)
2 S	450°×40 hrs	450	364	193	75.7~95.3
63 S	450°×40 hrs	470	370	190	77.2~89
17 S	450°×60 hrs	470	400	250	50.7~55.8

Fig. 2 The effect of shape of die-hole on the force of extrusion.

この程度の孔形変化は変形抵抗に影響しないと思なしてよいであろう。また押出中にダイス壁との摩擦仕事の増加があればこれに対応する圧力曲線の異常が認められるはずであるが、ほとんど同一の形態をとっている。これよりして、1.4 倍以内の平行部摩擦面積の変化は行平行部の長さが余程長くない限り押出圧力にはきいてこないと考えてよい。

Fig. 3 Details of extrusion dies.

2. 導入部の形状

ダイス孔導入部の形をビレットの流れ線に合せれば、変形抵抗の減少により押出圧力が減ずることが一応期待される。事実、導入部を円錐形にすれば剪断変形歪量は縮小する⁽²⁾。したがって円錐角度を小さくすれば内部的な原因による圧力減少があるのではあるが、同時にダイス面との摩擦仕事量の増大がおこる。Eisbein 等によれば、これら相反因子は90°において最適条件に達しここで押出圧は最低値をとる⁽²⁾としているが、他の報告⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾では必ずしもこれと一致しておらず、180°より120~140°の間は圧力変化なくそれ以上円錐角が小さくなると圧力が急昇する例が多い。円錐形ダイス

り、この結果はSDについての東海林氏⁽¹⁾、SnについてのEisbein およびSachs⁽²⁾の結果に符合する。したがってAl合金においてもこ

と平面ダイスの良否を圧力のみから論ずるのは早計で、それよりはむしろ押出欠陥、組織の均一性が重要な意味を持つことが多いのであるが、ここでは圧力と導入部形状の関聯について検討した。

使用したダイスは Fig. 3の如き逆押出用、32φ、平行部8 mmの円孔ダイスで、導入部の形を円錐形としたものと肩の曲率をかえたものである。ビレットは2S、63Sをもちい、これらの押出条件は Table 3 に示される。得られた結果を Fig. 4 に示す。押出圧力は曲率の増加並びに円

Table 3

Alloy	Soaking	Ext. temp. (°C)	Container temp. (°C)	Ext. velocity (cm/min)
2 S	470°×70 hrs	470	300	57~63
63 S	As cast	500	250

Fig. 4 The effect of shape of lead-in entrance on the force of extrusion.

錐角の減少とともに漸減し、 $\theta=30^\circ$ において圧力減少は2Sで20%、63Sで15%に達する。このような傾向はPbの場合⁽²⁾には一致するが、SDについての報

告⁽¹⁾とは多少相違する。これは押出法、ダイス表面の仕上状況の相違によるものであろう。

3. 多数孔ダイスと押出圧力

ダイス孔数と押出圧力の関係については、Snの場合同一加工度の単孔ダイスに比し、3孔ダイスは約54%の圧力増加をきたすと報告⁽²⁾されているが、Al合金については不明である。この間の詳細を調査するため Fig. 5 に示されるダイスについて実験した。ダイス要目は Table 4 に示される。孔数の増加につれて外周長比が大きくなるが、既述の如く1.4までは圧力に影響しないが、それ以上では外周長の影響を考慮せねばならない。同時に孔数の増加に伴う塑性流れの複雑化は変形抵抗の増大を由来する。すなわち外部および内部的な原因に基く圧力増加が期待される。

Fig. 6 は17S、61Sおよび63Sの押出圧力曲線を示す。いずれも逆押出法によつて470°で押出した。63Sでは明瞭でないが、17Sと61Sの圧力曲線は2段変化を示し、この傾向は孔数の増加とともに顕著となる。17Sの初期圧以降の圧力急減は前報に指摘した組織変化による。孔数と初期圧並びに第2段圧力の関係を求めると Fig. 7 の如くなる。61Sでは初期圧は孔数に無関係であるが、他は孔数の増加とともに上昇する。ことに17Sでは著しい。周長比1.4ですでに顕著な上昇が認められることは初期圧の増加

- (1) 東海林, アルミニウムとマグネシウム, **4**(1944), 82.
- (2) Eisbein, W. und G. Sachs, Mitt. dtsch. Mat-Prüf.-Anst., **16**(1931), 67.
- (3) 森永, 細井, 湯川, 軽金属, **15**(1955), 31, 39.
- (4) P. Bernhoeft, Z. Metallk., **24**(1932), 20.
- (5) K. Löhberg, Z. Metallk., **31**(1939), 279.

が内部的な原因に基くことを指示している。押出が進行すると圧力増加率がまし屈曲点をへて以後定常圧となるのは

関係の時 (61 S) でも、2 次圧に相当する屈曲点までのラム行程は孔数に逆比例して短くなること、さらには 17 S で

Fig. 5 Details of extrusion dies.

Fig. 6 Pressure records taken during the extrusion of 17S, 61S and 63S billets by multiple hole dies.

Table 4

Die	Total cross area (mm ²)	Ratio of circumference length
Single hole	314.15	1.0
Two hole	313.87	1.414
Three hole	312.5	1.732
Five hole	313.68	2.236

Fig. 8 Details of extrusion dies.

Fig. 7 Variation of pressure when using multiple hole dies.

ダイス孔壁への Al の粘着による摩擦力の増大による。これは屈曲点より押出材の膚荒れが目立ち始めることから指摘しうる。ダイス壁への粘着度は孔数が増加すればより急激かつ大となる。これは初期圧と孔数が無

関係の時 (61 S) でも、2 次圧に相当する屈曲点までのラム行程は孔数に逆比例して短くなること、さらには 17 S でみられるように極小圧と 2 次圧の差は孔数に比例することから指摘しうる。すなわちダイス壁に対する平均圧力に大差がなくともビレットの塑性流れが複雑化すれば、ダイス壁との摩擦仕事は増加する。この原因は塑性流れが複雑化するにつれて流れ分岐点でダイスのうける局所応力は平均圧力よりずっと大きくなるためと推定される。

4. Bearing 長の影響

Bearing 長と圧力の関係にたいしダイス表面状況が著しい影響をもつことが Pb について報告されている⁽²⁾。Al 合金は他金属よりも鉄表面に粘着しやすいから十分な表面仕上の場合でも圧力および押出速度に対し bearing 長は大きな影響をもたらすと考えられる。これらの関係を求めるには単孔ダイスによれば最も簡単なのであるが、ここでは Fig. 8 および Table 5 に示される大小 2 孔のダイスをもちい、圧力および大小二つの棒の長さが bearing 長の変化にたいしどのように影響されるかを調査した。これは非対称形ダイスをもちいた場合に、流れの調制を bearing 長によって行う場合の資料にする意味をもつ。これらのダイスの総計加工比は 20 mm φ の単孔ダイスと同一

Table 5

Dia. of holes (mm)	Ratio of cross area	Ratio of circumference length
$a=16.9, b=10.7$	$a/b=2.5$	$a/b=1.59$
$a=18.24, b=8.16$	$a/b=5$	$a/b=2.238$

である。

2S について得られた典型的圧力曲線を Fig. 9 に示す。すなわち顕著な 2 段変化を示し後半での圧力変動は著しく管押出のそれに近似している。同図では同一加工度の 20 φ 単孔および $a/b=1$ の 2 孔ダイス (いずれも bearing 長 8 mm) の圧力曲線を比較のため示してある。これよりわかるように初期圧はいずれの場合も誤差範囲で一致する。すなわち、 a/b の比および bearing 長如何に関せず総計加工

度が同一であれば初期圧は等しい。2 段目屈曲点圧力はほぼ初期圧の 2 倍に達する。この間の圧力上昇はダイス壁へ

Fig. 9 The effect of bearing length on the extrusion of 2S billets.

の Al の粘着による加速的な摩擦力の増加に起因する。それ以後は粘着はほぼ飽和し圧力勾配は微変動をくり返しつつ緩慢となる。したがって第 2 段屈曲点圧力は bearing 長が短くなれば Fig. 10 および Fig. 11

Fig. 10 Variation of the pressure curve due to the construction of bearing length for 2S.

Fig. 11 The effect of bearing length on the force of extrusion for 2S. bearing 長さは 45 mm である。2S の場合と相違して明瞭な初期圧を示さず一挙に第 2 段圧力へと急昇する。管押出の 2 次圧が加工比に比例する如く、押出抵抗がませばダイス壁への粘着

による摩擦力はより効果的となる。

Pb の場合 bearing 長比 1:15 のダイスの押出圧力は十分

Fig. 12 Pressure records taken during the extrusion of 17S and 63S billets by the dies with a long bearing part length.

平滑なダイスでは差が殆んどない⁽²⁾が、Al 合金でこのように bearing 長の影響は大きく、2S の場合では 5.6 倍の bearing 長比の変化に対し 2 次圧は 2 倍の上昇を示す。すなわち、Al 合金での十分な研磨状態は Pb のドリル加工面⁽²⁾に相当する。したがって、複雑な型、薄肉型材ではダイス表面状況と bearing 長に細心の配慮が必要である。

III. 総 括

Al 合金の押出圧力に及ぼすダイス形状の影響を調査し、つぎの結果を得た。

- (1) ダイス孔周長比 1.4 以内の孔形変化は押出圧に影響しない。
- (2) 導入部の円錐度あるいは肩の曲率を適当にとれば圧力は 15~20% 減少する。
- (3) ダイス孔数の増加に比例して押出圧力は増大する。
- (4) Bearing 長さは押出圧力に大きな影響をもたらし、5.8 倍の長比変化は 2 倍の圧力上昇をきたす。

本実験に使用したダイスの製作は株式会社紀長伸銅所 浜野 清氏および小林 亘氏の御好意により、また実験の遂行は武蔵工業大学学生諸氏の協力によった。これらの諸氏に厚く謝意を表する。なおこの研究は昭和 28 年および 29 年度文部省科学研究費の補助によって行われた。本報の一部は田中英八郎の東大理工学研究所在職中に行われたものである。