論文

前方軸・後方缶の組合せ押し鍛造における押し長さ に及ぼすビレット高さの影響

アルミニウム合金の冷間前後方組合せ押し鍛造に関する研究 第1報

村井 映介* 小野 宗憲** 戸澤 康壽***

澤井 幸彦**** 小嶋 孝浩***** 濱家 信一*

Effect of Billet Height on Extruded Length

in Forward Rod-Backward Can Combined Extrusion Forging

Research on Cold Forward-Backward Combined Extrusion Forging of Aluminum Alloy

Eisuke MURAI*, Munenori ONO**, Yasuhisa TOZAWA***, Yukihiro SAWAI****,

Takahiro KOJIMA ***** and Shin-ichi HAMAYA*

(Received on March 5, 2007)

Combined extrusion forging is not used widely. The reason seems that it is impossible to predict the load and extruded length easily. It is considered that the extrusion load and extruded length are affected by the shape ratio of the billet (initial billet height (h_0)/initial billet diameter (d_0)). In this study, the effect of the shape ratio of the billet on the extruded length was examined experimentally and by finite element simulation. The extruded length is affected by the shape ratio of the billet. In the case of a shape ratio of 1.5, the deformation is of the separate flow type. In the case of a shape ratio of 0.4, the deformation is of the shear flow type. The ratio of the forward extruded length to the backward extruded length (L_b/L_f) decreases with an increase in the ratio of the reduction in area (R_b/R_f). Moreover, in the billet with a large height compared with the diameter, the relationship between extruded length and stroke changed in a certain stroke. When the diameter and height of the billet were decided on the basis of the size of the product, the method predicted both the forward and backward extruded lengths.

Key words: extrusion forging, combined extrusion, shape ratio of billet, extruded length, prediction method

1. 緒言

現在、冷間鍛造により様々な形状寸法の製品が製作されている。最近、板材を素材とする板鍛造¹⁾が試みられており、この場合、高さ/直径比はかなり小さくなる。鍛造方法

としては、単方向押しと前方と後方を両方向同時に押し出して製品とする組合せ押し鍛造が用いられている。組合せ押し鍛造では、前後方への押し長さが所望の値になりにくい。精度が要求される場合は、前後方を別々の工程で成形するか、工具によって押し部先端を拘束する方法が用いられている。別々の工程とすることは加工コストを増大することになる。また、工具により拘束すると、押し荷重が大きくなるばかりでなく、材料割れの原因になる場合がある。

組合せ押し鍛造に関する研究は、これまでに数多く行われている^{2)~5)}。これらの研究は断面減少率の組合せと両方向への押し長さとの関係については調べられているが、研究結果は、条件によって一致しない場合がある。有効に活用されているとは言い難い。

特にビレットの高さ/直径比が変化すると前後方の押し長さが大きく変化する。これまでの研究では高さ/直径比

* (株)ニチダイ 〒610-0201 京都府綴喜郡宇治田原町禅定寺塩谷 14
NICHIDAI CORPORATION, 14 Shiotani, Zenjyouji Ujitawara-cho, Tsuzuki-gun,
Kyoto 610-0201 Japan

** 大同工業大学工学部ロボティクス学科

〒457-8530 名古屋市南区滝春町 10-3

Department of Robotics, Daido Institute of Technology, 10-3 Takiharuro-cho,
Minami-ku, Nagoya-shi, Aichi 457-8530 Japan

*** 名古屋大学・大同工業大学 名誉教授

Nagoya University, Daido Institute of Technology

**** 宮崎精鋼(株) 知多工場 〒477-0035 東海市元浜町 12

Miyazaki Seiko CO., LTD, 12 Motohama-cho, Tokai-shi, Aichi 477-0035 Japan

***** 宮崎エンジニアリング(株) 〒454-8521 名古屋市中川区丸米町 1-1
MIYAZAKI ENGINEERING CO., LTD, 1-1 Marugome-cho, Nakagawa-ku,
Nagoya-shi, Aichi 454-0834 Japan

(a) $ho/do=(8/20)=0.4$ (b) $ho/do=(20/20)=1.0$ (c) $ho/do=(30/20)=1.5$ **Fig.4** Relationship between extruded length, load and stroke ($Rf=0.65$, $Rb=0.40$)

うに、ストロークが大きくなってパンチ肩部とダイス穴近傍の相当ひずみが大きい部分が繋がると、 $ho/do=0.4$ と同様、せん断変形へと移行する。このことから、 $ho/do=1.0$ と 1.5 における Lf および Lb の変化割合の変化は、この相当ひずみが小さい領域の有無によるものと考えられ、変化後の Lb と Lf の変化割合は $ho/do=0.4$ とほぼ同じである。荷重 - ストローク曲線との関係を見ると $ho/do=1.0$ および 1.5 では、 Lb と Lf の変化割合が変わるストローク Sc と後半の荷重が減り始めるストロークがほぼ一致している。

Fig.6 にパンチ径とダイス穴径が大きく異なる $Rf=0.85$, $Rb=0.40$ の場合の押し出し長さとの関係を示す。(a)の $ho/do=0.4$ では、ストロークとともに Lf および Lb の値が増加している。(b)の $ho/do=1.0$ および(c)の $ho/do=1.5$ では、Fig.4(a)の場合に比べストローク初期の Lb の変化割合がさらに高くなる。また、 $ho/do=1.0$ および 1.5 における Lf と Lb の変化割合は $Rf=0.65$, $Rb=0.40$ と同様に、ストロークの途中で変化が見られ、 Lf の変化割合は高くなり、 Lb の変化割合が低くなった。荷重 - ストローク曲線との関係

Fig.5 Deformation of lattice line and distribution of equivalent strain ($Rf=0.65$, $Rb=0.40$) (a) $ho/do=(10/25)=0.4$ (b) $ho/do=(25/25)=1.0$ (c) $ho/do=(37.5/25)=1.5$ **Fig.6** Relationship between extruded length, load and stroke ($Rf=0.85$, $Rb=0.40$)

も $Rf=0.65$, $Rb=0.40$ と同様、押し出し長さの変化割合の変化するストローク Sc 後に荷重は減少した。

Fig.7 に $Rf=0.35$, $Rb=0.80$ の場合の押し出し長さとの関係を示す。(a)の $ho/do=0.4$ では初期に Lb の値が僅かに減少するだけでその後、 Lb の値に変化はない。(b)および(c)では、加工の初期からストロークとともに Lb が減少

(a) $ho/do=(10/25)=0.4$ (b) $ho/do=(25/25)=1.0$ (c) $ho/do=(37.5/25)=1.5$ Fig.7 Relationship between extrusion length, load and stroke ($Rf=0.35$, $Rb=0.80$)

し、後半で一定となる。荷重 ストローク曲線は初期の急激な上昇の後はストロークとともに荷重が減少する傾向であるが、 Lb が一定となるときのストローク Sc でさらに急激に減少する。この傾向は、P.E.R.A. Report²⁾において $Rf=0.565$, $Rb=0.75$, $ho/do=1.33$ での実験結果でも見られた。

4.2 前後方の断面減少率比と押出し長さ比の関係

前節では、 $Rf=0.65$, $Rb=0.40$ など典型例を挙げ、断面減少率の組合せが同じでもピレット高さ/直径比により前後方への材料流動に違いがあることを示した。ここでは、前後方の断面減少率の組合せと前後方への押出し長さの関係について検討する。前節では ho/do がある程度高くなった場合、ストローク Sc で押出し長さの変化割合が変化することを示した。Fig.8 に押出し長さの変化割合が変化するときの底厚 $tc (= ho - Sc)$ を do で割った値 (tc/do) と Rb/Rf の関係を示す。 tc/do の値は Rb/Rf の値が 1 で最大値を示し、1 より増加あるいは減少すると減少している。

Fig.8 Relationship between Rb/Rf and tc/do ($tc = ho - Sc$) Fig.10 Relationship between Rb/Rf and Lb'/Lf ($S < Sc$) Fig.9 Relationship between extruded length and stroke ($Rf=0.35$, $Rb=0.80$) Fig.11 Relationship between Rb/Rf and $(Lb' - Lb_i)/(Lf - Lf_i)$ ($S > Sc$)

前述のように、断面減少率の組合せによっては Lb の値がマイナスとなるが Fig.3 に示した見かけの後方押し長さ $Lb' (= Lb + S)$ を用いて整理した結果を Fig.9 に示す。 Lb はマイナスになるが Lb' はマイナスにならない。

Fig.10 に押し長さの変化割合が変化するときのストローク Sc より小さいストロークにおける、前後方への押し長さの比 Lb'/Lf と Rb/Rf の関係を示す。Fig.11 に Sc より大きいストロークにおける前後方への押し長さの増分の比 $[(Lb' - Lb_i)/(Lf - Lf_i)]$ と Rb/Rf の関係を示す。ここで、 Lf_i , Lb_i' は Fig.9 に示すように、それぞれストローク Sc における前方押し長さ、見かけの後方押し長さである。 Rb/Rf の増加とともに Lb'/Lf および $[(Lb' - Lb_i)/(Lf - Lf_i)]$ は減少する。

4.3 押し長さ推定法

直径 do 、高さ ho のピレットから、前方軸と後方缶とをそれぞれ Rf , Rb で、底厚 t となるまで押し出したときの押し長さ Lf , Lb は、以上の結果を用いて求めることができる。すなわち、

- 1) 前後方の断面減少率から Fig.8 により、押し長さ変化割合の変化時のストローク Sc を求める。
- 2) 設定ストロークが 1) で求めたストローク Sc より小さい場合は、Fig.10 を使用することにより、前後方の押し長さの割合 Lb'/Lf が求められる。
- 3) 設定ストロークが 1) で求めたストローク Sc より大きい場合は、変化割合変化前までは Fig.10 を使用し、変化後の残りのストローク分は Fig.11 を使用することにより $[(Lb' - Lb_i)/(Lf - Lf_i)]$ を求め、 Sc 前

後の押し出し長さの和が求める押し出し長さとなる。

以下具体例を挙げて押し出し長さの推定法を示す。

ピレットの形状 $do=25$, $ho=30$ で $Rf=0.70$, $Rb=0.50$ において製品の底厚を 5mm のときの前後方への押し出し長さを求める。前方押し出し部の断面積 Af , 後方押し出し部の断面積 Ab , パンチの断面積は Ap とした Rb/Rf より Fig.8 から tc/do を a として, $Sc=ho - a \cdot do$ である。

$S = Sc$ のとき Fig.10 からより読み取った Lb_1'/Lf_1 を b として $Lb_1'=b \cdot Lf_1$
 $S = Sc$ のときの

$$\begin{aligned} Vf + Vb &= Af \cdot Lf_1 + Ab \cdot (Lb_1' - S) \\ &= Af \cdot Lf_1 + Ab \cdot (bLf_1 - S) \\ &= Vo = Ap \times S \end{aligned}$$

$$Lf_1 = \frac{S(Ab + Ap)}{(Af + b \cdot Ab)} \quad (1)$$

$$Lb_1' = b \cdot Lf_1 \quad (2)$$

$Sc < S$ のとき

Fig.11 より $[(Lb' - Lb_1') / (Lf - Lf_1)] = c$

ここで $Lb' - Lb_1' = Lb_2'$, $Lf - Lf_1 = Lf_2$

$$Lb_2' = c \cdot Lf_2$$

$S' = (ho - t) - Sc$

$$\begin{aligned} Af \cdot Lf_2 + Ab \cdot (Lb_2' - S') \\ &= Af \cdot Lf_2 + Ab \cdot (c \cdot Lf_2 - S') \\ &= Vo' = Ap \times S' \end{aligned}$$

$$Lf_2 = \frac{S'(Ab + Ap)}{(Af + c \cdot Ab)} \quad (3)$$

$$Lb_2' = c \cdot Lf_2 \quad (4)$$

よって底厚 t のときの押し出し長さは

$$Lf = Lf_1 + Lf_2 \quad (5)$$

$$Lb' = Lb_1' + Lb_2' \quad (6)$$

となる。この(1)~(6)式に与えられた数値と図から読み取った $a = 0.87$, $b = 3.6$, $c = 1.6$ を代入すると, $Lf = 19.16$, $Lb' = 38.51$ と求まる。

Lf と Lb' を求める際に使用した tc/do と Lb_1'/Lf_1 および $(Lb' - Lb_1') / (Lf - Lf_1)$ は Rf と Rb の値により, 多少の誤差がある。そのため, ここで求めた Lf と Lb は最大約 10% の誤差を生じる場合がある。

4.4 製品寸法との対応

ここに示したのは前後方へ自由に押し出した場合の押し出し長さであり, これは一般には要求される製品寸法とは一致しない。したがってそのような場合には, 自由に押し出したときの長さが製品寸法より長くなると推定される方の材料流動を拘束すればよい。例えば, 前項で製品として前方押し出し長さを 15mm としたい場合は, 前方押し出し長さを所望の長さに拘束するカウンターパンチを設置する。前後方押し出しが進行して前方に押し出された先端がカウンターパンチに当たると, 材料流動は後方への単方向押し出しになり, 押し出し荷重はこの段階で急激に増加する。逆に後方への押し出し長さを 38.51mm より小さい 35mm としたい場合は, 下死点において後方押し出し長さが所望の長さになるようにパンチを段付きにして後方への材料流動を拘束する。前後方押し出しが進行して後方へ押し出された缶の上端がパンチ段付き部に当たると, 以降の材料流動は前方への単方向押し出しになり, 押し出し荷重はこの段階で急激に増加する。

5. 結 言

前方軸・後方缶の組合せ押し出しにおける押し出し長さについて断面減少率の組合せおよびピレットの高さ/直径比 ho/do を広範囲に変化させて実験と解析を行なった。実験結果と解析結果はよい一致を示した。実験と解析による押し出し長さに基づいて高さ/直径比および断面減少率の影響を検討し, 次のような結果が得られた。

- (1) ho/do が小さい場合, 変形はパンチ肩部からダイス穴角部にかけてのせん断変形となり, パンチ近傍外側の材料は後方に押し出され, パンチ下部のピレットは前方側に押し出される。ストロークと後方・前方への押し出し長さ(Lb , Lf)はほぼ比例の関係を示す。
- (2) ho/do が大きい場合, 変形は前方軸押し出しと後方缶押し出しが独立して起こり, パンチとダイスの中間に相当ひずみが非常に小さい領域ができ, 前後方で別々の材料流動を示す。相当ひずみが小さい領域はストロークとともに減少して最終的に消滅し, それ以降のストロークではせん断変形へ移行する。押し出し長さ(Lb , Lf)のストロークに対する変化割合はせん断変形へ移行する際に変化し, ho/do が小さい場合の変形と同じになる。
- (3) Rb/Rf と見かけの後方押し出し長さとの間に一定の関係があり, Rb/Rf が増大すると Lb'/Lf は減少する。つまり断面減少率が大きくなるほうの押し出し長さは小さくなる。また, 押し出し長さの変化割合が変化するストローク Sc の前後でその関係は変化する。
- (4) 押し出し長さの変化割合が変化する際のピレットの底厚 tc ($= ho - Sc$) と Rb/Rf との間には一定の関係がある。
- (5) 製品寸法からピレットの直径 do および高さ ho を決めた場合, 前方押し出し長さ Lf および後方押し出し長さ Lb (または Lb') を推定する方法が求まった。

謝 辞

本研究にあたり供試材を提供いただいた住友軽金属工業株式会社, 試験片の潤滑処理をしていただいた日本パーカラライジング株式会社, 解析ソフトを提供いただいたコマツ産機株式会社に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 中野隆志: 塑性と加工, 42-484 (2001), 388-392.
- 2) P.E.R.A.: Cold extrusion of Carbon Steels - Effect of Reduction in Area and Tool Geometry on Combined Forward and Backward Extrusion, P.E.R.A. Report, No.332, (1967), P.E.R.A.
- 3) Adie, J.F. & Alexander, J. M.: Proc. Ints. Mech. Eng. Part 3C, 182 (1967 ~ 68), 249-259.
- 4) Geiger, R.: Der Stofffluss beim kombinierten Napfliesspressen, Berichte IFU, Univ Stuttgart, Nr.36 (1976), Girardet Essen.
- 5) Graf, W.-D. & Schnorrbusch, H.: Fertigtech. u. Bert., 23(1973), 365-368.