

非軸対称鍛造の研究

Study on Non-Axisymmetric Forging

木内 学*・重田 澄夫**

Manabu KIUCHI and Sumio SHIGETA

1. はじめに

非軸対称品の鍛造加工の解析は、いくつかの特殊な製品を対象とした研究例を除いては、あまり見られず、鍛造加工時の荷重や材料流動等について一般的には知られていないのが実状である。筆者らは、局所的な側方フラッシュを有する非軸対称品の鍛造加工に関する解析に上界接近法を適用し、鍛造荷重、材料流動のシミュレーションを試みた。さらに、鉛ビレットによる鍛造実験を行い、解析結果の妥当性を検討し、いくつかの知見を得たので報告する。

2. 解析的検討

2.1 解析モデルと動的可容速度場

本研究では、写真1に示すような製品を対象としている。ただし、側方フラッシュ数は1以上任意である。解析では、ビレットから製品に至る全工程を第1段階、第2段階に分け、動的可容速度場も2つのパターンに分けて考える。すなわち、上方フラッシュがポンチ肩に当たる以前の速度場(図1(a)参照)と、上方フラッシュがポンチ肩に当たって以後の速度場(図1(b)参照)である。後者では、ポンチ肩に当たって以後の上方フラッシュは、そのままポンチ速度と等しい速度で降下すると仮定してある。また、前方・上方・側方フラッシュは、おのおの剛体として挙動するものとする。

以上の仮定の下に剛体とした各フラッシュを除く4 Zone について、境界条件、体積一定の条件を満足する動的可容速度場を構成する。各 Zone における動的可容速度場の式を表1に示す。これらの動的可容速度場から、内部仕事率、剪断仕事率、摩擦仕事率を計算し、それらの和である全仕事率を求める。このとき前方フラッシュ速度、上方フラッシュ速度(第2段階では前方フラッシュ速度のみ)をパラメータとし、全仕事率の最小化を行う。

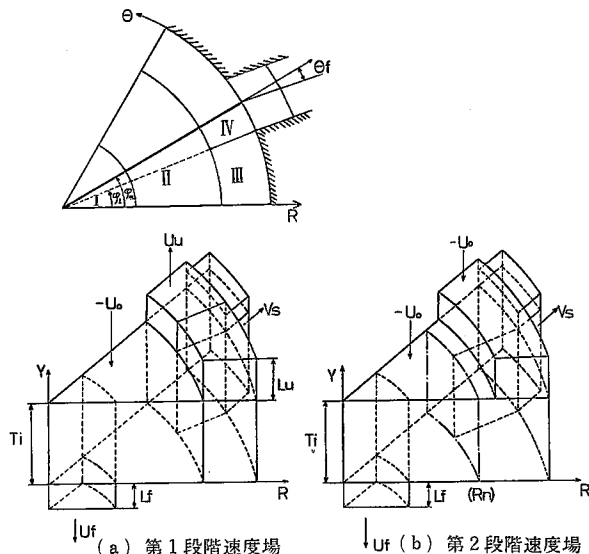


図1 解析モデル

表1 動的可容速度場一覧表

	ZONE I	ZONE II	ZONE III	ZONE IV
第1段階	$U_{y1} = A_1 Y + U_f$ $U_{r1} = B_1 R$ $U_{\theta 1} = 0$	$U_{y2} = A_2 Y$ $U_{r2} = B_2 R + C_2 / R$ $U_{\theta 2} = 0$	$U_{y3} = A_3 Y$ $U_{r3} = B_3 (R_0 - R)$ $U_{\theta 3} = \theta f_3(R)$	$U_{y4} = A_4 Y$ $U_{r4} = G_4(R)$ $U_{\theta 4} = (\theta_n - \theta) f_4(R)$
第2段階	$U_{y1} = A_1 Y + U_f$ $U_{r1} = B_1 R$ $U_{\theta 1} = 0$	$U_{y2} = A_2 Y$ $U_{r2} = B_2 R + C_2 / R$ $U_{\theta 2} = 0$	$U_{y3} = A_3 Y$ $U_{r3} = 0$ $U_{\theta 3} = C_3 \theta$	$U_{y4} = A_4 Y$ $U_{r4} = G_4(R)$ $U_{\theta 4} = (\theta_n - \theta) f_4(R)$

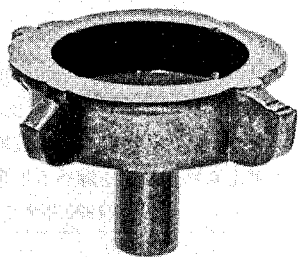
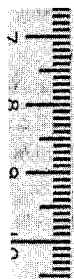


写真1 製品外観

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 松本精機株式会社

2. 解析結果および考察

ピレットと工具との接触面における摩擦定数 m が変化したときの荷重およびフラッシュの挙動を調べた結果が図2である。荷重は m と共に増加し、また、側方フラッシュ長さは、 m が小さいほど、加工終期で飽和する傾向を顕著に示す。これより側方フラッシュの成長は、材料と工具接触面での摩擦状態に大きく影響されることが判る。

前方フラッシュ径 Df の、荷重やフラッシュの挙動に対する影響を図3に示す。 Df が大きいほど、荷重は低く、側方フラッシュは成長しにくくなることが判る。

側方フラッシュ幅 BK の荷重ならびにフラッシュの挙

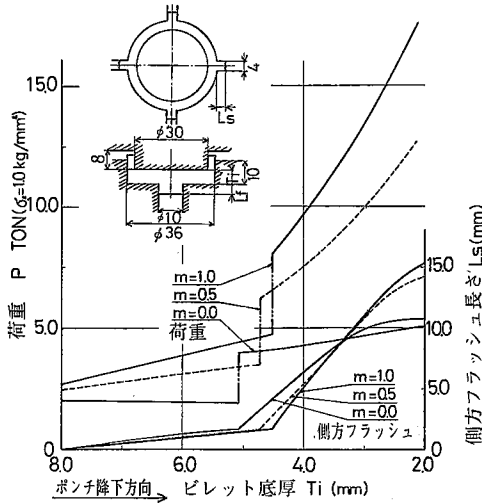


図2 摩擦定数 m と (P-S), (Ls-S) 曲線の関係

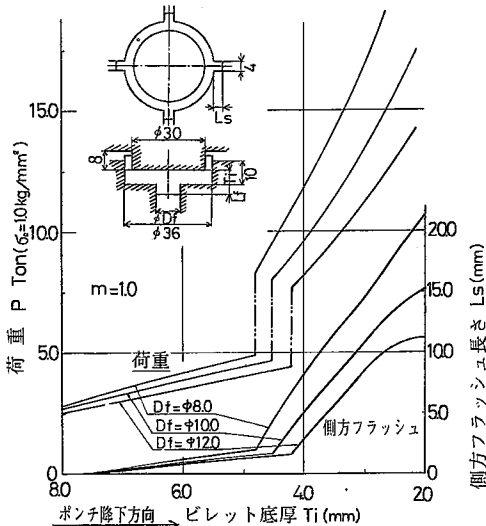


図3 前方フラッシュ径 Df と (P-S), (Ls-S) 曲線の関係

動に対する影響を図4に示す。 BK が大きくなるほど、荷重は低い値を示す。

3. 実験的検討

3.1 実験方法

実験に用いた型寸法、および、実験条件をそれぞれ図5、表2に示す。実験は鍛造加工中のフラッシュ成長挙動その他を知るため、同一寸法のピレットを、それぞれ製品仕上がり寸法に至る10段階までに加工して取り出し、荷重・ストローク線図やフラッシュ寸法と底厚との関係を測定した。なお、ピレットに使用した工業用純鉛

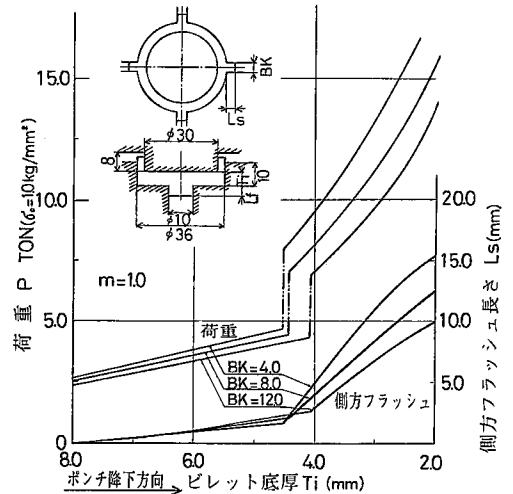
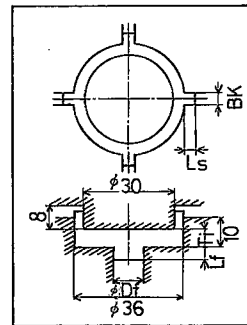


図4 側方フラッシュ幅 BK と (P-S), (Ls-S) 曲線の関係



$BK = 4.0, 8.0$
 $Df = 10.0, 14.0, 18.0$

図5 実験用型形状・寸法

表2 実験条件

実験使用機	100 TON 高速油圧プレス
加工速度	10 mm/sec
潤滑剤	マシン油
ピレット材質	工業用純鉛
ピレット寸法	$\phi 36$ mm, t 10, 8 mm

研究速報

の変形抵抗 σ_0 をカムプラストメータで調べた結果、約 2.0 kg/mm^2 ($\dot{\epsilon}=1.0 \text{ sec}^{-1}$, 潤滑剤: マシン油, 実験温度 20°C) であった。さらに鍛造実験中の摩擦定数 m を推測するため、リング圧縮試験を行った。その結果、 $0.2 < m < 0.5$ の範囲であろうという結論を得た。

3.2 実験結果と解析結果の比較および考察

鍛造実験中のビレットと工具との接触面における摩擦定数 m を推測した結果から、当面 m の値は 0.5 として検討を進める。

図6にビレット厚 10 mm の場合の $P-S$ 曲線、フラッシュの挙動の解析値、実験値を示す。定性的、定量的にかなりの一致を見ることができる。ここで第1段階から第2段階へ移る際の荷重の実測値が解析値のそれに比べて遅れて立ち上がり(A~B), その勾配は緩やかとなるが、これは、解析では上方フラッシュが全周に亘り均一に成長し、同時にポンチ肩に接触すると仮定しているのに対し、実験では、 $1\sim 2 \text{ mm}$ のオーダーで成長の不均一を生じる。したがって、上方フラッシュの高い所からポンチ肩に接触していき(図6中A→点), ある程度のポンチ降下の後、全周が接触し終わること(図6中B→点)などが原因と考えられる。

側方フラッシュの挙動を実験値と解析値で比較するのに図6では、フラッシュの根元から先端に至る長さで表した。しかし、フラッシュ形状は、実験、解析で異なる。そこでフラッシュ体積を比較の対象とし、描き直したのが図7である。定量的により一致を見ることができる。

4. 解析結果の活用

図8には、上述の解析結果を使って、所要の製品の鍛造加工の可否を検討する手順を示す。仕上がり製品底厚を TfD , 側方フラッシュ長さを LsD とする。経験的には、ポンチが破損するケースが多いので、まずポンチの許容強度から鍛造荷重の許容限界 P_{max} を求める。次にビレット厚について考える。ビレット厚 $T2$ の場合、 $Q2$ なる限界荷重の下での仕上がり底厚 $Tf2$ は TfD よりも薄い側方フラッシュ長さが $Ls2 < LsD$ となり製品寸法を満足しない。そこでビレット厚を増した $T1$ について見てみると、限界荷重 $Q1$ において、 $Tf1 < TfD$, $Ls1 > LsD$ となり、共に製品寸法を得るのに十分である。したがって、 $T2$ と $T1$ の間に適正なビレット厚があることが予想される。

5. まとめ

以上述べたように、側方フラッシュを形成する非軸対称鍛造に、上界接近法が比較的簡単に適用でき、しかも、その結果が、実験値と定量的にも良い一致を見ることが判った。したがって、これらの解析結果が所要の製品の鍛造加工の可否の検討に有効な資料を提供するものと思

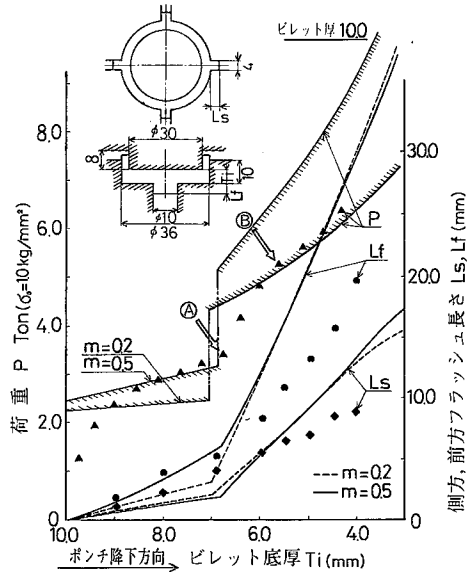


図6 (P-S), (Ls-S), (Lf-S) 曲線の実験値と解析値との比較

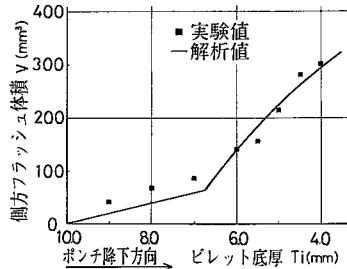


図7 側方フラッシュ体積の実験値と解析値との比較

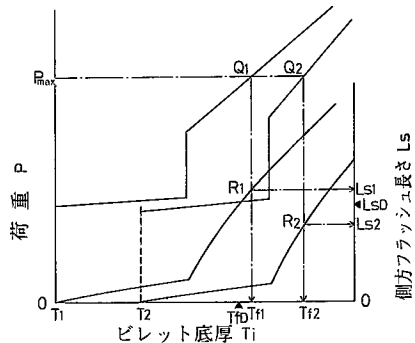


図8 鍛造加工の可否の検討図

われる。

(1980年9月30日受理)

参考文献

- 1) 工藤: 東大航空研究所報, VOL. 1-1~4,
- 2) 泉沢: 塑性と加工, 18, 193 (1977-2) 92
- 3) 木内, 村田: 昭和54, 塑加春講論, 545