957 中空円筒の外径絞り押し成形

Extrusion of Hollow Cylinder Workpiece through Reducing Outer Diameter

正 沢木 洋三 (静岡大)

正 吉田 始 (静岡大)

正 坂井田喜久 (静岡大)

学 ○長田浩太 (静岡大院)

Yozo SAWAKI, Hajime YOSHIDA, Yoshihisa SAKAIDA and Kouta OSADA

Shizuoka University, Johoku 5-3-1, Hamamatsu

Key words : Extrusion, Hollow Cylinder, FEM, Reduction in area, Mean pressure, Carbon Steel

1 緒言

鋼製の動力伝達用歯車は、一般に切削除去加工により製作されている。しかし、この加工は大量の切りくずの発生や加工時間が長い。大量生産によるコスト削減の大きな障害となっている。そこで、これらの欠点を補うために塑性加工による歯車の成形についての研究が行われてきている。

冷間での塑性加工による成形では高い面圧 (荷重) が必要で、このため型の摩耗、破損や成形された歯車の精度が問題となっている。円筒試料内径部分にマンドレルを挿入しないで半径方向内向の流動を許せば低い面圧での成形が可能と考えられる。そこで本研究は低い面圧での成形を目指し、まず円筒試料にマンドレルを挿入しないで押出すことにより、試料外径を絞る実験を試みた。また有限要素法による解析も行い実験結果と比較することにした。

2 実験方法及び解析方法

2-1 実験試料及び実験装置

実験に用いた試料素材は、低炭素鋼 S15C 焼きなまし材で、その機械的性質はヤング率 206Gpa, ポアソン比 0.3, 降伏応力 260Mpa である。試料の寸法形状を Fig. 1 に示す。試料は円筒形状で、外径 d_o は一定 ($=32$ mm) とし、内径 d_i は 6 mm, 10 mm, 14 mm とした。潤滑処理として試料表面には、リン酸塩+金属石けん (ボンデライト・ボンデリユーベ) の被膜を施した。

実験に使用した型の概要を断面模式図として Fig. 2 に示す。コンテナに円筒形状の試料 A を挿入する。この様子を図の中心線左側に示す。これをパンチ⑤で約 30mm 押出した (中心線右側)。パンチの降下速度は一定とし、パンチ行程を差動トランス、パンチ荷重をロードセルにより計測し、X-Yレコーダに記録した。また比較のため試料内径部にマンドレルを挿入した押し出しも行った。

2-2 有限要素法解析

解析には、汎用有限要素法プログラム MARC2000 を使用した。

Fig. 1 Size and dimension of workpiece

解析に用いたモデルを Fig. 3 に示す。外径 32 mm の円筒を外径 28 mm, 26 mm, 24 mm に絞った。なお、ダイス、パンチの各工具は、剛体であると定義した。

試料材質は低炭素鋼 S15C とし、試料の加工硬化に関しては、圧縮試験によって求められた n 乗硬化式を用いた。

$$\sigma = 480\epsilon^{0.24} + 260 \text{ Mpa}$$

ただし、有限要素解析プログラムの入力の都合で、Fig. 4 に示すように折れ線で近似した。

3 実験及び解析結果

3-1 荷重行程曲線

マンドレルを挿入して外径 32 mm の試料を外径 28 mm に絞る実験の荷重行程曲線を有限要素法の結果と比較した。内径 10 mm の場合について Fig. 5 に示す。実験と解析値はほぼ一致している。また

Fig. 2 Illustration of experimental equipment

Fig. 3 FEM model

Fig. 4 Flow - curve

図中に示した(a), (b)の線は、それぞれ Fig. 6 に示したようにダイス部に試料が充てんするときの行程(a)とベアリング部まで試料が充てんするときの行程(b)の位置である。これらの行程位置を境にして曲線の勾配が変わると考えられたが、実験結果ではさほど明瞭ではない。

次にマンドレルを挿入しないで行った成形の場合の荷重行程曲線について実験と有限要素法解析の結果を比較した。外径 32 mm の試料を外径 28 mm に絞る、試料内径 10 mm の場合についての結果を Fig. 7 に示す。この場合にも両者はほぼ一致しているとみなされ、荷重行程曲線について解析は実験を正しくシミュレートできていることがわかる。マンドレルの有無で荷重は実験値、解析値ともに 15% 程度低下することが分かった。

3-2 成形品形状

外径 32 mm の試料を外径 28 mm に絞るマンドレルを挿入しない実験で得られた成形品形状を有限要素解析の結果と比較した。試料内径 10 mm の場合についての例を Fig. 8 に示す。両者はほぼ一致している。これらの内径と計算された断面減少率を表 2 に示したが、有限要素解析は実験をシミュレートできているといえる。

3-3 面圧と断面減少率の関係

成形中の最大荷重をパンチの接触面積で除した面圧を断面減少率との関係として Fig. 9 に示す。マンドレルの挿入の有無並びに絞り径に関わらず面圧と断面減少率の関係は一本の曲線で表される事がわかった。

Fig. 5 Load-stroke curve (with mandrel)

Fig. 6 Workpiece front position in die

4 結言

低い面圧で良好な成形品を得るための押し出し成形法としてマンドレルを挿入しない押し出し方法について実験を行い、有限要素法解析結果とあわせて検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 円筒を絞る押し出し成形では、荷重行程曲線及び試料半径方向内向の流動などの成形状態は有限要素法解析によって実験結果をほぼ正確にシミュレートできる事が明らかにされた。
- (2) マンドレルの挿入の有無及び絞り径に関わらず成形に必要な面圧と断面減少率の関係はほぼ同じ曲線として表され、後者では断面減少率が低下する分面圧（荷重）も低下した。

参考文献 1) 沢木ら：平 16 年春塑加工論 (2004.5), 37-38

Fig. 7 Load-stroke curve (without mandrel)

Table 1 Comparison of experiment and FEM analysis

	MAX	MIN	AVE	r/%	Load/kN
EXP	7.7	6.6	7.2	20.7	169
FEM	7.1	6.9	7	20.4	177

Fig. 8 Shaping condition

Fig. 9 Mean pressure and reduction in area