

変形中の素板をポンチの一部に利用した逐次深絞り法の開発

山口 克彦*

1. まえがき

板材の深絞り加工によって容器状の製品を成形する場合、1回の絞り加工によって得られる製品の深さには限界がある。例えば、円筒深絞り製品の場合、破断なしに成形しうる製品の深さは直径の約3/4程度（絞り比 ≈ 2.0 に相当）である。このため、さらに深い容器を成形しようとするときには、後工程として再絞りやしごき加工を繰り返さねばならない。

このような多工程の成形では、各工程ごとに一組のポンチとダイスが必要になる。したがって、特に多品種少量生産の場合には工具コストが割高になり、また工具の製作にも時間がかかるのでリードタイムの短縮が図れないという問題がある。これらの問題点を克服するためには、できるだけ少ない工具を使用して成形限界を向上させようとする新しい成形法の開発が必要である。

このような観点から、本研究では、特別な装置や工具を使用することなく、変形中の素板をポンチの一部に利用するという簡単な方法によって、成形限界の向上を図ることができる新しい深絞り法の開発^{1), 2)}を試みた。本稿では、この深絞り法を円筒テーパ容器の成形に適用し、その可能性と問題点について検討した結果を述べる。

2. 慣用法による円筒テーパ容器の成形工程

慣用の深絞り法における円筒テーパ容器の成形工程例³⁾をFig. 1に示す。この例では、底部直径12 mm、口辺部直径35 mm、深さ51 mmの製品を得るのに5工程の絞りと1回の型押し加工が行われている。成形工程が多くなると工具の数が増えるばかりではなく、成形品側壁部の加工硬化を取り除くために成形の途中段階で焼なましをはさまねばならないこともある。したがって、深いテーパ容器の成形はさほど容易ではない。

3. 逐次深絞り法の原理と成形工程

慣用の深絞り加工法では、いったん成形されてポンチになじんだ容器をその都度取り外し、再び新たな素板を絞るという操作を繰り返す。いま、仮に、ポンチになじんだ容器を取り外さずにそのまま次の素板を絞ったとすれば、絞られた容器がポンチ頭部に層状に重なった状態になる。この状態では、見掛け上、ポンチの直径が積層容器の板厚分だけ増加しており、変形中の素板を工具の一部として利用

できることを示唆している。

本研究はこの点に着目したものである。すなわち、いったん成形されてポンチになじんだ容器を取り外さずに、これを新たなポンチとして次の素板を絞るといった操作を逐次繰り返していくことによって、ただ一組のポンチとダイ

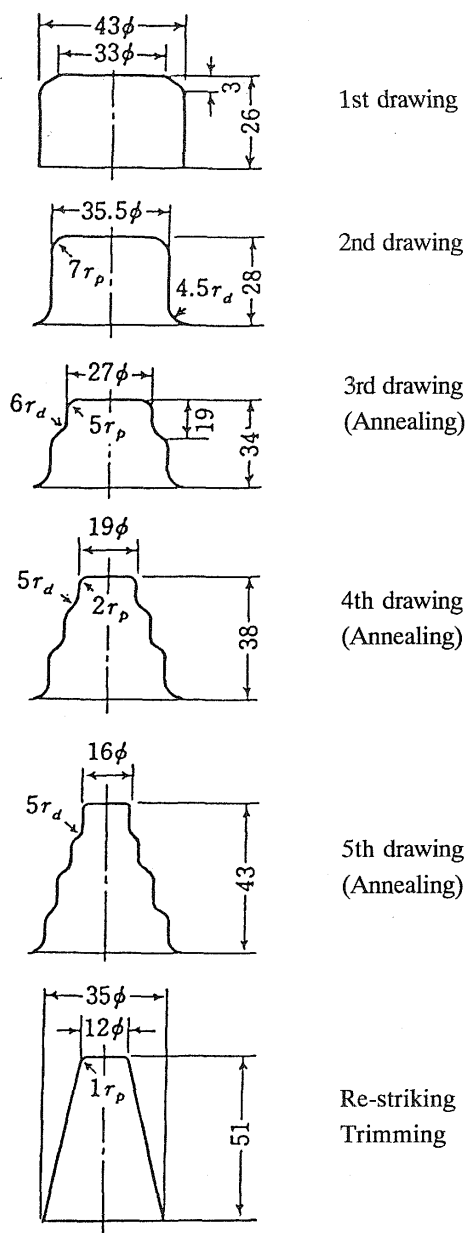


Fig. 1 Example of forming process of a deep tapered cup (SUS 304, $t=0.7$ mm)³⁾.

スを使用して深い製品を成形しようとするものである。

Fig. 2 に本深絞り法の原理と成形工程の概略を示す。この方法は、(a) 予備成形、(b) 逐次深絞り、および (c) 型押し の三つの工程から成っている。

3・1 予備成形

この工程は、成形された容器をポンチ頭部に順次積層してポンチを太らせていく段階である。すなわち、Fig.2(a)-(1) に示すような所定の素板をいきなり成形しようとする と、ポンチ直径に比べて素板径が大きすぎるために、ポンチ肩部破断が生じて絞りは成功しない。そこでまず、破断なしに絞りが行えるような直径の小さい素板を使用して深絞りを行う。そして、ポンチになじんだ素板を取り外さずに、これを新たなポンチとして次の素板を深絞りする。このような操作を繰り返していくと、Fig.2(a)-(2) に示すようにポンチの直径が順次大きくなる。その結果Fig.2(a)-(3) に示すように、所定の直径の素板を破断させることなく深絞りできるようになる。

3・2 逐次深絞り

予備成形によってポンチの直径が所要の寸法に達した

ら、ポンチにかぶさっている容器のうち第1層目（ポンチに接触している容器）のみを取り外す。そして、新たに所定の素板をセットし、太った状態のポンチで絞りを行う

[Fig.2(b)-(1)]。この際、最外層の素板がダイス壁に接触すると、それ以後はポンチの進行に伴って各層が徐々にポンチ側に押しつけられていく。その結果、第1層目を取り外したことによって生じていた隙間（ポンチと第2層目の間に生じていた隙間）が小さくなり、最終的には第2層目がポンチになじむことになる [Fig.2(b)-(2)]。そこで再びこのポンチになじんだ層を取り外し同様の操作を繰り返していくと、例えば、予備成形で3枚のプラックを使用した場合 [Fig.2(a)-(2)] には、4層目以降から1ストロークごとに1個の深絞り製品が得られることになる。

一般に、テーパ容器の深絞り加工ではボデーしわが発生しやすい。しかし本成形法では、初絞りされた容器は絞りを繰り返すたびに成形品1個の板厚分だけわずかに再絞り加工を受けながら内径が小さくなる。しかもこの再絞り過程では、積層された容器が数枚重なった状態で絞られていくので、厚板の絞りと同様の加工になる。このため、本

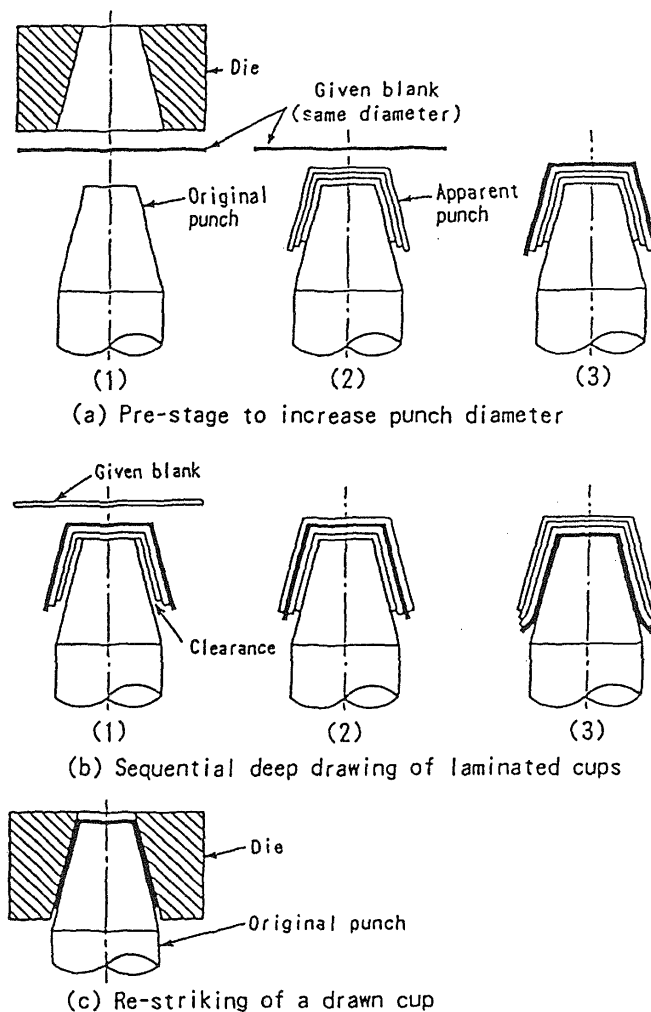


Fig. 2 Principle of a new deep drawing process using stacked cups as a part of a punch.

成形法では、1枚の板を絞る慣用のテーパ深絞り法の場合に比べてボデーしわが発生しにくい。

3・3 型押し

上述のような方法によって得られた深絞り容器の形状・寸法を矯正するために、深絞りで用いたポンチとダイスを使用して型押しを行う工程である。逐次深絞り法では、Fig.2(b)-(3)に示すように、ポンチ頭部に積層された容器の口辺部が、やや外側にそり返った状態になるが、このリストラッキングを行うことによって所定の形状・寸法の製品を得ることができる。

4. 限界絞り比向上の可能性

本深絞り法では、素板はまずみかけのポンチで初絞りされた後、最終的にポンチになじむまでの間に徐々に再絞り加工を受けることになる。

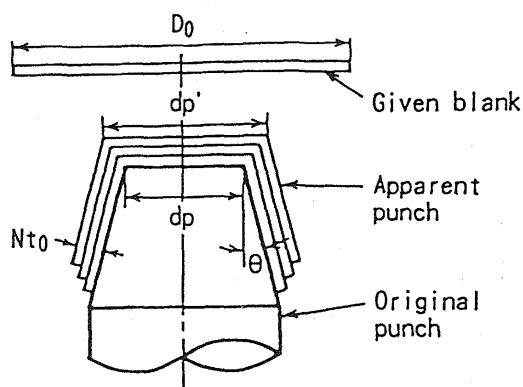


Fig. 3 Schematic illustration showing dimensions of blank, and apparent and original punches.

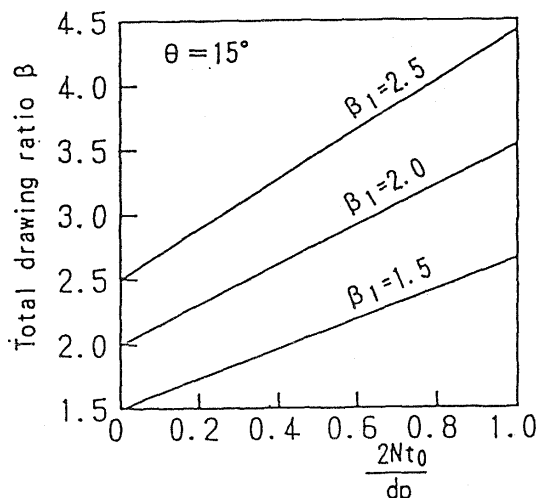


Fig. 4 Increase in calculated total drawing ratio β with the number of stacked cups N .

みかけのポンチ直径 dp' は、ポンチ頭部に積層する容器の枚数 N によって変化し、近似的に次式で表わされる。

$$d_p' = d_p + 2Nt_0 \frac{\cos \theta}{1 + \sin \theta} \quad (1)$$

ここで、 dp はポンチ頭部の直径、 θ はテーパ半角、 t_0 は素板の板厚である (Fig.3)。

いま、直径 D_0 の素板を直径 dp' のみかけのポンチで初絞りした容器 (最外層) が、順次ポンチ側へ移行して直径 dp の製品になった状態を考える。円筒深絞り加工の場合と同様に、ポンチ頭部の直径を基準にとって絞り比を定義することにすれば、絞り比 β は次のように表わせる。

$$\beta = \frac{D_0}{d_p'} \times \frac{d_p'}{d_p} \quad (2)$$

ここで、右辺の D_0/d_p' は初絞り比 β_1 、 dp'/dp は再絞り比 β_2 に相当する。式(1)を用いれば式(2)は

$$\beta = \beta_1 \left(1 + \frac{2Nt_0}{d_p} \times \frac{\cos \theta}{1 + \sin \theta} \right) \quad (3)$$

となる。

式(3)をもとにして、絞り比 β と積層容器の枚数 N の関係を計算するとFig.4のようになる。初絞り比 β_1 が大きいほど、また重ね枚数 N が多いほど、絞り比 β の向上が期待できることになる。

以上のように、ただ一組のポンチとダイスを用いて初絞りりと再絞りりとを同時に進行させることが、本深絞り法の最も大きな特徴である。ポンチ頭部に積層する容器 (半成形品) の枚数 N を加減するだけで、ポンチの寸法を自由に变化させることができるので、いわゆる寸法可変工具としての利用が可能であり、初絞り比や再絞り比が異なる場合でも比較的容易に対応できる。したがって、慣用の深絞り法に比べると工具の数を減らすことができ、多品種少量生産に適した方法であるといえる。

5. 実験方法

5・1 実験装置および方法

実験に使用した工具 (ポンチとダイス) の形状・寸法をFig.5に示す。テーパ半角は $\theta=15^\circ$ 一定である。ポンチとダイスは、予備成形、逐次深絞り、型押し工程を通して同一のものを使用した。なお、深絞り実験は、無潤滑の場合と、素板のダイス接触面にテフロンプレーを塗布した場合とについて行った。

5・2 供試材料

板厚1.2mmの軟質アルミニウム板 (Al-O) を使用した。この材料の引張特性値をTable 1に示す。素板の直径は、予備成形用の小径のものも含めて55mmから110mmまで

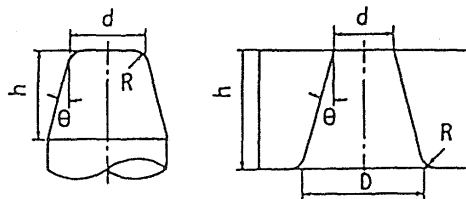
5mm 間隔で12 種類準備した。

6. 実験結果

6・1 予備成形におけるポンチ寸法の増加と絞りの成否

ポンチになじんだ容器を取り外さずに絞りを繰り返していくと、ポンチ頭部には成形された容器が層状に重なってくる。Fig.6 は、このように積層された容器を半割りにし、各層のプロフィルを示した例である。容器の重ね枚数 N を増していくと、みかけのポンチ直径や肩半径が増加していくことがわかる。

したがって、容器の重ね枚数 N を多くすると、当然、大きな直径の素板が絞れるようになる。Fig.7 に絞りが可能となる限界ブランク直径と重ね枚数 N の関係を示す。限界ブランク直径は、無潤滑の場合よりも潤滑剤を使用した場合の方が大きくなる。つまり、潤滑剤を使用すると無潤滑の場合に比べて、少ない重ね枚数で直径の大きな素板を絞ることができる。



		D/mm	d/mm	R/mm	h/mm	$\theta/^\circ$
Die	No. 1	48	24	4	45	15
	No. 2	63	34	4	66	15
	No. 3	71	29	4	70	15
Punch	No. 1	--	27	4	42	15
	No. 2	--	27	4	62	15

Fig. 5 Dimensions and shapes of tapered punches and dies.

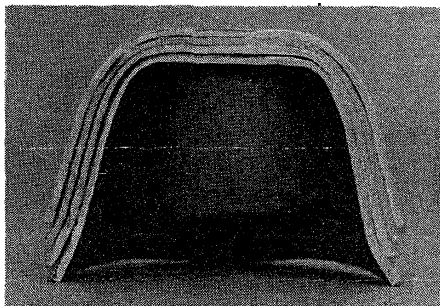


Fig. 6 Typical example of stacked cups on the original punch ($N=4$).

6・2 逐次深絞りにおける絞りの成否

Fig.8 は、逐次深絞り工程における成形限界が、積層容器の枚数 N や潤滑条件によってどのように変化するかを調べた例である。図中の×印は、初絞り段階（素板がみかけのポンチになじむ以前の段階）において素板がポンチ

Table 1 Tensile properties of soft aluminium sheets used.

Angle to rolling direction $^\circ$	0	45	90	mean
F - value /MPa	177	179	176	178
n - value	0.25	0.27	0.26	0.26
r - value	0.74	0.85	0.93	0.86
Tensile strength /MPa	114	111	112	112
Total elongation /%	35.9	41.6	42.2	40.1

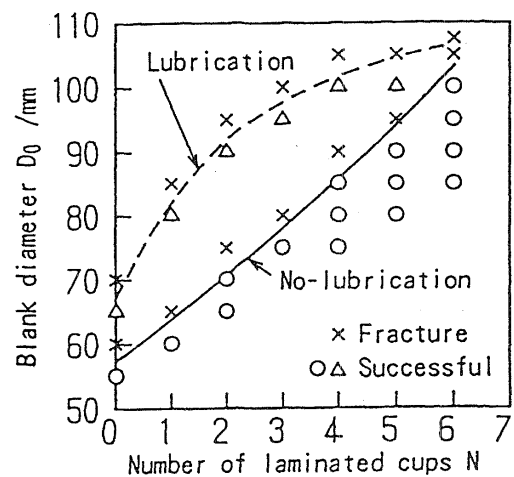


Fig. 7 Effect of number of stacked cups N on drawing limit in pre-stage drawing.

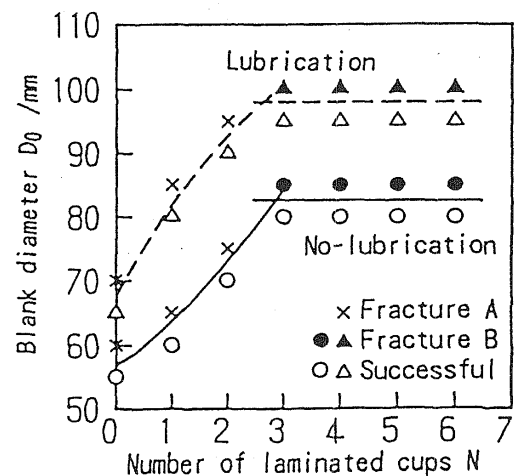


Fig. 8 Effect of number of stacked cups N on success or failure in sequential drawing.

肩部で破断したもの、●および▲印は再絞り段階（積層容器をポンチになじませる段階）において積層容器が重なった状態でポンチ肩破断したものを示す(Fig.9).

図から、積層容器の枚数 N を増加させると成形限界が向

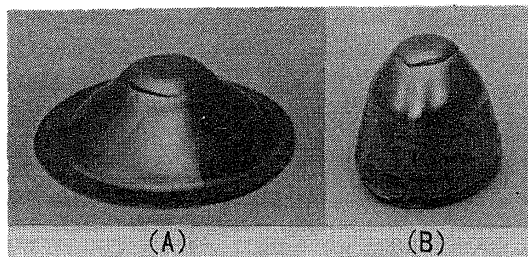


Fig. 9 Types of fracture in sequential drawing.

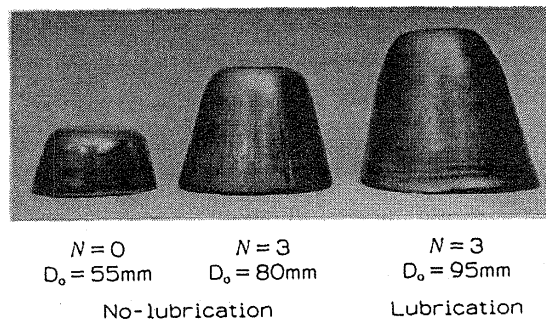


Fig. 10 Comparison of tapered cups produced by conventional method ($N=0$) with the present drawing process ($N=3$).

上することがわかる。例えば、無潤滑の場合についてみると、通常の深絞り($N=0$)では55mmの素板しか絞ることはできないが、 $N=3$ として逐次深絞りを行えば直径80mmの素板まで絞り込みが可能になる。また、通常の深絞りでは必ず破断していた直径60mmの素板が、 $N=1$ とすることによって必ず安全に絞り込めることになる。このことは、変形中の素板をたった1枚利用するだけで、再絞り工具の製作を省略できることを意味しており、実用的には大きな価値がある。

積層容器の枚数 N が多くなると厚板のテーパ絞りと類似の加工になるため、積層容器をポンチになじませるための絞り抵抗や、ダイス壁での摩擦抵抗が増大する。その結果、これらの抵抗が荷重負担部（ポンチ肩部）材料の強度を越えると、各容器が層状に重なった状態で破断することになる。このため、成形限界の向上には限度がある。図示の例では、重ね枚数の上限は3枚であり、それ以上重ね枚数を増やしても成形限界の向上は期待できない。

本逐次深絞り法によって得られた円筒テーパ容器の例($N=3$)をFig.10に示す。通常の深絞り法($N=0$)に比べてかなり深い容器が得られることがわかる。

7. 本成形法の応用例

以上は、一組のテーパポンチとテーパダイスを用い、Fig.2(b)に示した工程で逐次深絞りを行った場合の結果であるが、本成形法の応用として、①テーパポンチとテーパダイスおよび②ストレートポンチとテーパダイスによる深絞りを交互に繰り返しながら逐次成形を行うことも可能である。

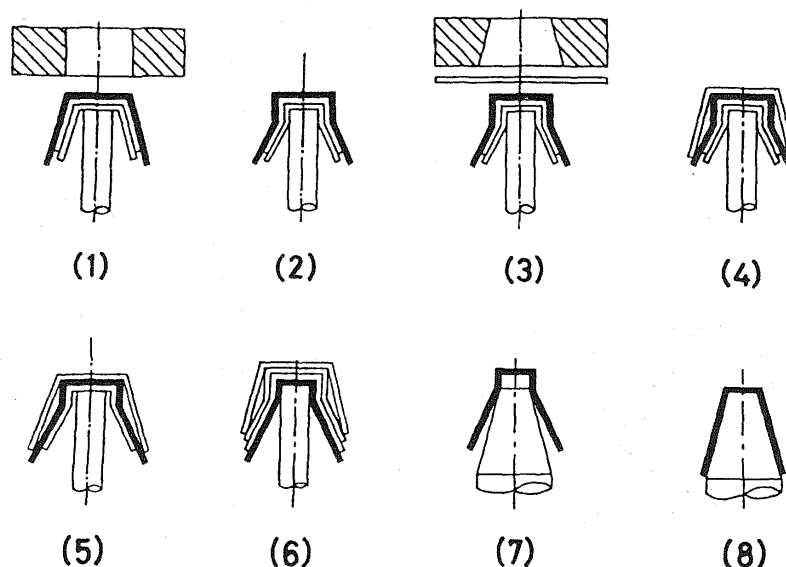


Fig. 11 A modified method of the present deep drawing process (a tapered punch and die and a straight punch and die are used by turns).

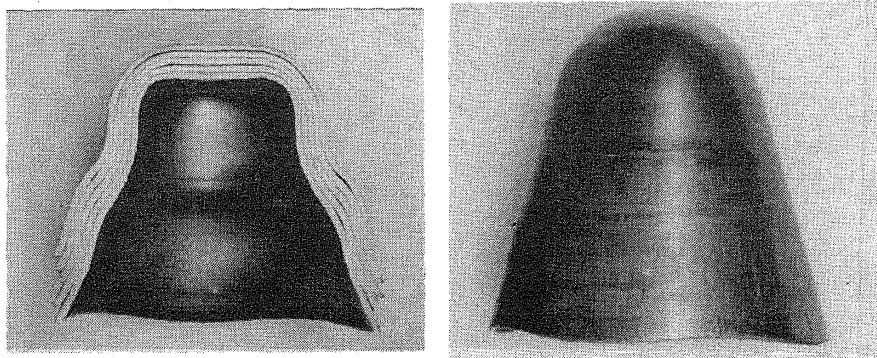


Fig. 12 Profile of stacked cups and a fully drawn cup produced by the modified method.

すなわち、Fig.11に示すように、まず(1)予備成形によって得られた層状のテーパ容器の第1層目だけを取り外し、残りのものをストレートポンチにかぶせる。そして、(2)これをストレートダイス中に押し込み、容器の底の部分をポンチになじませる。次に、(3)このようにして得られた段付の半成形品をポンチとして所定のブランクをテーパダイス中に絞り込むと、(4)外側にテーパ容器が成形される。ここで、ポンチになじんでいる第1層目をはずし、再びストレートダイス中に押し込むといった操作 [(1)-(5)] を繰り返していくと、(6)1サイクルごとに1個の段付半成形品が得られることになる。最後に、(7)ポンチから順次取り出されてくる段付半成形品を予備成形の際に使用したテーパポンチとダイスで型押しすれば、テーパポンチとテーパダイスだけを用了場合よりも、さらに深い容器を得ることができる。

このような工程で成形した積層容器のプロフィールおよび型押し後の製品例をFig.12に示す。使用した材料は、板厚板厚1.2mmの深絞り用鋼板 (SPCE) である。

8. あとがき

以上、できるだけ少ない工具を使用して深い容器を成形するための一方法として、変形中の素板をポンチの一部に利用した新しい深絞り法を提案した。この深絞り法をアルミニウムおよび軟鋼板 (板厚 1.2mm) の円筒テーパ絞り加工に適用し、その可能性と問題点を検討した。

その結果、ポンチ頭部に適当な枚数 (3~4枚以内) の

容器を積層した状態で逐次深絞りを繰り返していけば、ただ一組のポンチとダイスを使用して、慣用の深絞り法の場合よりも、限界絞り比をかなり大きく向上させることがわかった。

板材のプレス成形を行う場合、金型を製作するには相当のコストと時間を要するが、本稿で述べた予備成形用の素板 (絞り破断を生じないような小径のブランク) を余分に数枚準備することは特に問題ない。したがって、深い容器の極少量生産や、1工程では破断の危険があるため成形を2工程に分けるべきかといったような場合には、本成形法の適用を試みる価値があろう。ただし、本成形法では層状に重なっている容器を1枚ずつ取り外しては絞りを繰り返さねばならず、テーパ角度が小さくなると容器の取り外しがやや面倒になるという問題がある。この点を解決することが今後の課題である。

終わりに、本研究は天田金属加工機械技術振興財団の助成によってなされたことを付記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 山口克彦, モハメドハビビパルサ, 高倉章雄: 塑性と加工, 33-375 (1992), 417.
- 2) Yamaguchi, K., Kanayama, K., Parsa M. H. and Takakura, N.: Trans. ASME, J. Eng. Indust., 115 (1993), 224.
- 3) 日本塑性加工学会編: プレス加工便覧, (1975), 354, 丸善.