



Z. Wang

# 板鍛造によるボス成形法に関する研究

王 志剛\*

## 1. 緒 言

現在、電気・電子機器、モバイル機器を中心に小型化、軽量化、低コスト化の要求が強くなっている。その中で筐体や外装の質量は、製品全体の質量に対して割合が高く軽量化に対し重要な要素であり、薄肉化や部品数削減の要求は強い。そのような部品に一体型のボス部を成形すると、位置決めや締結が容易となり、さらに部品数の削減につながる。薄板に対してボス部を成形する加工法として後方押し加工法が多用されている。しかし、材料を後方へ押し出す際に、材料底面に抵抗力が働くため、後方押し加工法は非常に大きな加工荷重が必要であるという欠点がある。

そこで、新たな加工法として“背圧絞り加工法”を提案する。背圧絞り加工法とは通常の絞り加工中に、パンチと対向するカウンターパンチにより背圧をブランクに負荷し、ブランク底面に対し圧縮力を作用させ、絞りによる筐体成形と同時にボス部を成形する加工法である。絞り過程によって成形品の壁面および底面には張力が作用し、底部材料の降伏面圧が低下する。さらに、面圧低下に伴い摩擦抵抗が低減され、加工荷重の低下が予測される。荷重低減が可能となれば、高強度材料の加工が可能となることや、低出力プレスでの加工が可能となるなどのメリットが期待できる。

本研究では、背圧絞り加工法、後方押し加工法のボス成形性と加工荷重について比較することを目的とするが、比較のために単純圧縮加工法も検討対象とした。以降一部表記の簡略化のために、背圧絞り加工法をBCD (Bottom Compression Drawing)、単純圧縮加工法をSC(Simple Compression)、後方押し加工法をBE(Backward Extrusion)と表記する。研究は、はじめにFEM解析を行い比較検討し、実験で検証する形で進めた。

## 2. 背圧絞り加工法原理

図1に加工原理図を示す。背圧絞り加工法は、対向する位置に配置された二つのパンチによってブランクをはさみ、所定の荷重  $P$  をブランクに負荷し、ダイスを速度  $V$  で上方に駆動させることにより、底部圧縮、ボス成形、筐体側面成形を同時に行う。圧縮される材料には、絞りにより発生した張力  $T$  が作用する。加工中の製品底面には、背圧絞り加工の場合、絞りによって生じる張力により引張応力  $\sigma_{T1}$  がかかる。また、後方押し加工の場

合、外側に流れる材料流れがダイス R 部で阻害され、圧縮応力  $\sigma_{T2}$  がかかる。すなわち、背圧絞り加工は後方押し加工に比べ、 $\sigma_{T1} + \sigma_{T2}$  に対する加工荷重低減が可能となる。

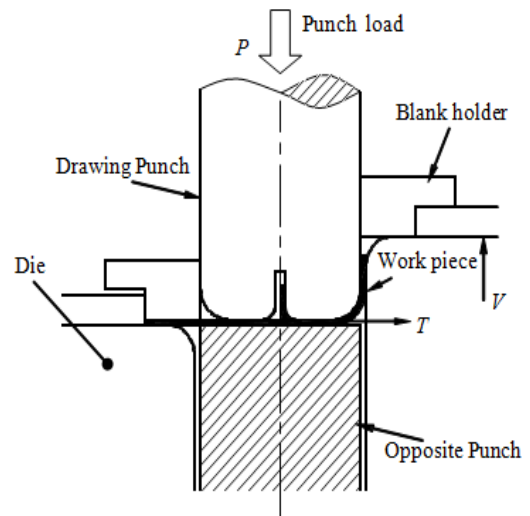


図1 背圧絞り加工法の原理

また、張力  $T$  の影響により、材料が降伏しやすくなることによってボス部成形に対する摩擦の抵抗が小さくなり、さらに、相乗効果で必要な成形圧力が減少すると考えられる。さらに、後方押し加工に比べ、試料と工具との接触面積を小さくできるため、断面減少比の高まりを抑える結果となり、加工荷重を低減することができる<sup>1),2)</sup>。

## 3. FEM解析による後方押し加工法と背圧絞り加工法の比較

### 3.1 解析モデル及び解析条件

図2に、成形する製品形状イメージ図を示す。FEM解析により後方押し加工法と背圧絞り加工法の比較を行う。本研究で行うFEM解析には有限要素解析プログラム“DEFORM-2D”を用いた。

後方押し加工の解析モデルを図3、背圧絞り加工の解析モデルを図4に示す。解析はボス部を中心とした軸対称モデルとした。また、各加工法の解析条件を表1、表2に示す。

全体形状に対するボス部の大きさを変えるためにパンチ径を変化させることで変数とし、以後この変数をパンチ径 ( $D$ ) とボス部径 ( $d$ ) の比をとり、形状比  $D/d$  と表記する。本研究では、ボス部径  $d$  は 2.5mm とした。

各工具面の摩擦・潤滑状態の加工に及ぼす影響を明ら

\* 岐阜大学工学部機械システム工学科 教授

かにするために、試料と各部位との摩擦領域を図5に示す。なお、本研究では試料を加工してできたカップ製品の、底面の材料に対するの比較を行っており、カップ製品の壁面、R肩部にあたる部分の比較は行っていない。

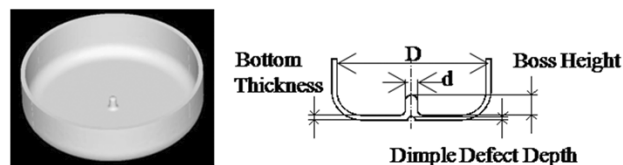


図2 製品形状

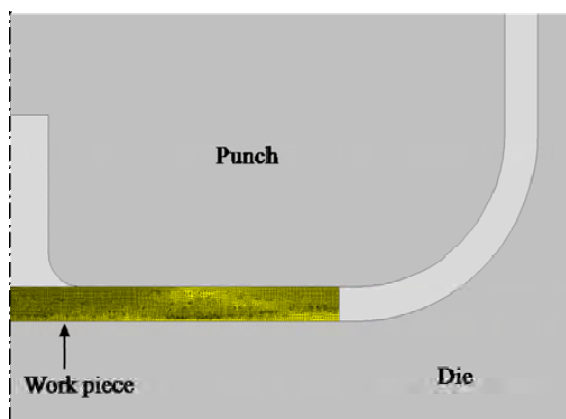


図3 後方押し出し解析モデル

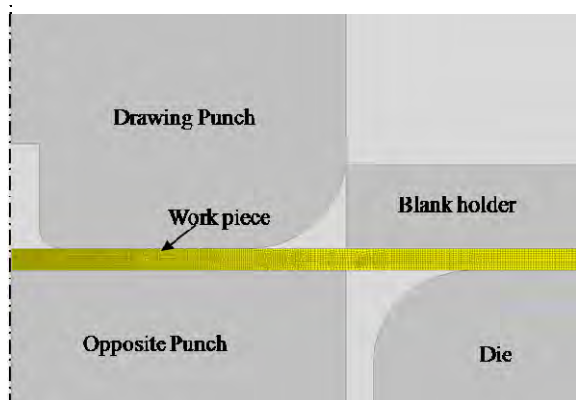


図4 背圧絞り解析モデル

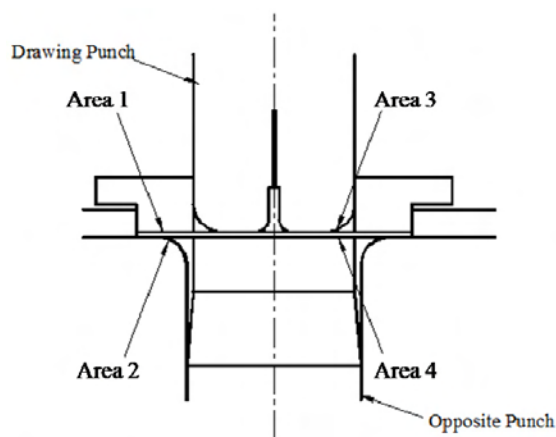


図5 試料と工具との摩擦領域

表1 後方押し出し解析条件

Analysis Condition	
Analysis mode	Two Dimension
	Isothermal Analysis
	Axial Symmetry
Number of elements	3000~7000
Processing speed	1 [mm/s]
Workpiece	Diameter: 20~110mm
	thickness: 1.5mm
	Rigid-Plastic Flow curve: $\sigma = 115\epsilon^{0.2} MPa$
Punch	Punch Diameter: 30~120mm
	Punch Profile Radius: 4.5mm
	Rigid
	Boss Diameter: 2.5mm Boss Profile Radius: 1mm
Die	Inner Diameter: 32~122mm
	Die Radius: 5.5mm
	Rigid
Friction coefficient	0.05~0.25

表2 背圧絞り解析条件

Analysis Condition	
Analysis mode	Two Dimension
	Isothermal Analysis
	Axial Symmetry
Number of elements	6000~7000
Processing speed	1 [mm/s]
Workpiece	Diameter: 51~204mm
	thickness: 1~1.5mm
	Rigid-Plastic Flow curve: $\sigma = 115\epsilon^{0.2} MPa$
Punch	Punch Diameter: 30~120mm
	Punch Profile Radius: 4.5mm
	Rigid
Opposite Punch	Punch Diameter: 30mm
	Rigid
Die	Inner Diameter: 33.2~123.2mm
	Die Radius: 2.5~4.5mm
	Rigid
Friction coefficient I	0.05, 0.1
Friction coefficient II	0.05, 0.1
Friction coefficient III	0.05, 0.1
Friction coefficient IV	0.05~0.25

### 3.2 ボス成形過程

各領域の摩擦係数・形状比  $D/d$  を固定し、ボス成形過程について解析した。

図6に、後方押し出し加工の加工荷重に対するボス成形過程を示す。また、図7に、後方押し出し加工の各ストロークにおけるボス成形状態を示す。ストロークの増加に伴い、加工荷重、ボス高さともに比例的に増加している。

図8に、背圧絞り加工の絞り荷重に対するボス成形過程を示す。また、図9に、背圧絞り加工の各ストロークにおけるボス成形状態を示す。背圧を 38.5ton, 30.8ton, 23.1ton と変化させた。どの背圧においても、絞り荷重の増加に伴い張力の影響が強まり、ボス高さが高くなり、

最大荷重点を超えるとボス高さはほぼ一定となる。

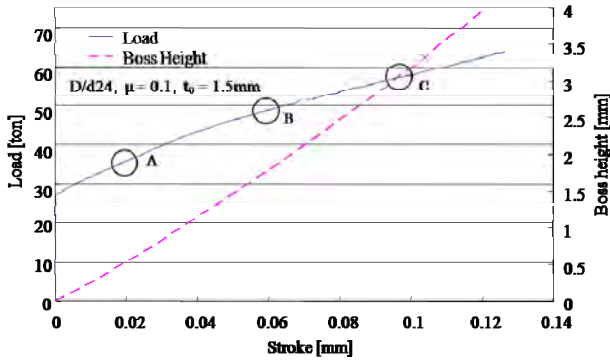


図6 後方押し出し加工の加工荷重に対するボス成形過程

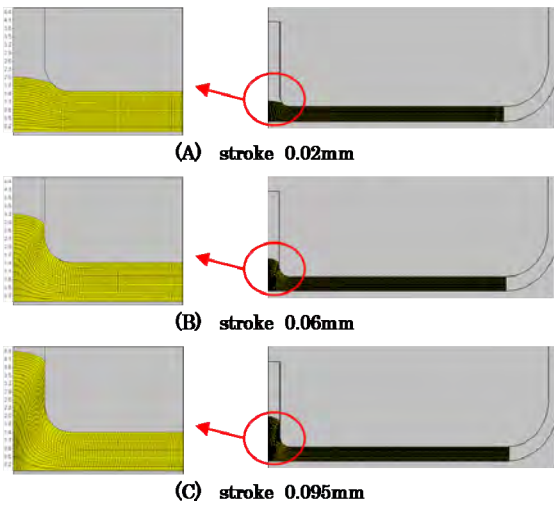


図7 後方押し出し加工のボス成形状態

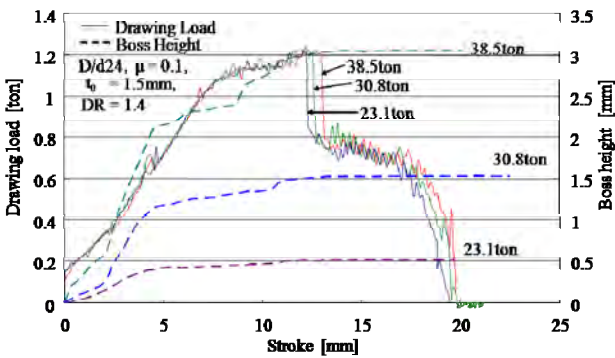


図8 背圧絞り加工におけるボス成形過程

### 3.3 ひけの発生と成長過程

両加工法とも加工進行に伴い、成形品のボス部裏側にひけが発生する。生じるひけの成長過程を図10に示し、図11に各成長過程のモデル図を示す。また、以下にその詳細を示す。

- (i) 加工初期、深さの浅い半径方向に非常に大きな径を持つひけが生じる。
- (ii) 加工進行に伴い、ひけが消滅し、ある一定範囲でひけが存在しない。
- (iii) さらに加工が進行するとまた、ひけが発生し、

徐々に半径方向に小さくなり深さと半径が同程度のひけに成長する。

- (iv) さらに加工が進行すると、非常に深いひけに成長する。

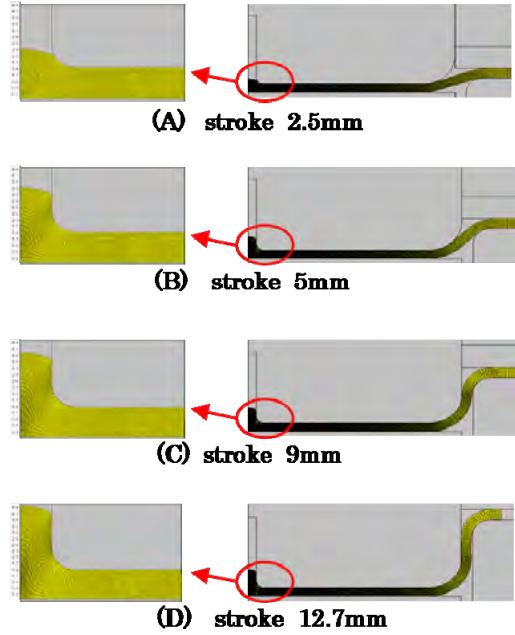


図9 背圧絞り加工の各ストロークにおけるボス成形状態

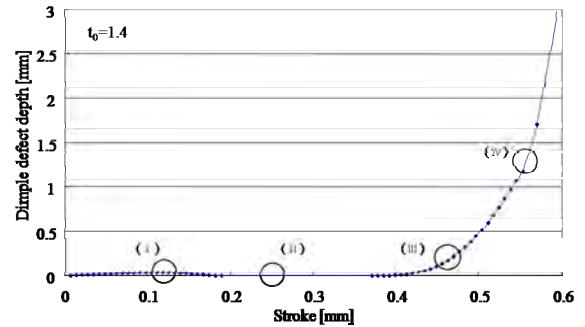


図10 ひけの成長過程

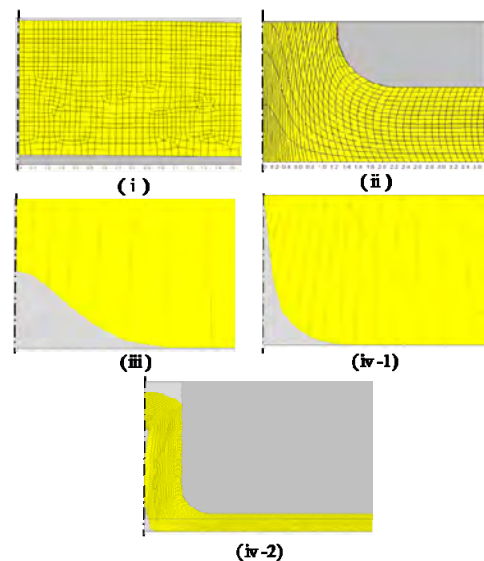


図11 ひけの成長過程モデル図

### 3.4 ひげ無し加工条件の比較

両加工法のひげの発生しない限界条件を比較するため、形状比  $D/d$ 、試料上面摩擦  $\mu_3$  を固定し、試料下面摩擦  $\mu_4$  を変化させ解析を行った。

図 12 に、底面摩擦の成形荷重と限界ボス高さに対する影響を示す。両加工法ともに、底面摩擦  $\mu_4$  の増加に伴い限界ボス高さが高くなる。また、どの荷重においても後方押し出し加工に比べ、背圧絞り加工のほうが限界ボス高さが高い。すなわち、背圧絞り加工は後方押し出し加工よりもひげが生じにくい加工法である。

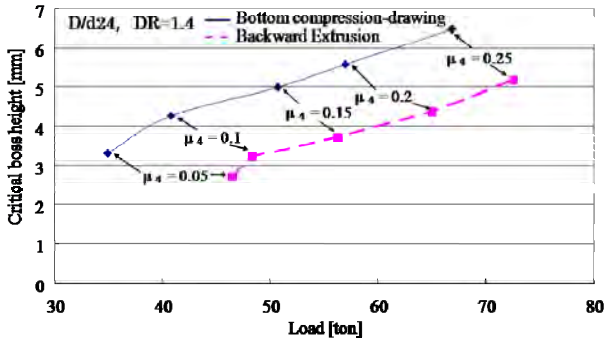


図 12 底面摩擦の成形荷重と限界ボス高さに対する影響

### 3.5 ボス成形荷重の比較

同一高さを持つ製品成形への試料底面摩擦  $\mu_4$  の影響を両加工法で対比するため、形状比  $D/d$ ・試料上面摩擦  $\mu_3$ ・ボス高さを固定し、試料底面摩擦  $\mu_4$  のみを変化させボス成形荷重の比較を行った。ここで、背圧絞り加工の成形荷重は、試料初期板厚 1.5mm の条件で高さ 3mm のボスを成形できる圧力を用いた。

図 13 に、各摩擦係数  $\mu_4$  での両加工法における成形荷重と成形荷重比を示す。両加工法ともに底面摩擦  $\mu_4$  の増加に伴い、必要な成形荷重は増加している。また、摩擦係数  $\mu_4=0.25$  の場合、背圧絞り加工荷重は後方押し出し加工荷重の 80% であり、摩擦係数が小さくなるに従って徐々にその割合が小さくなる。

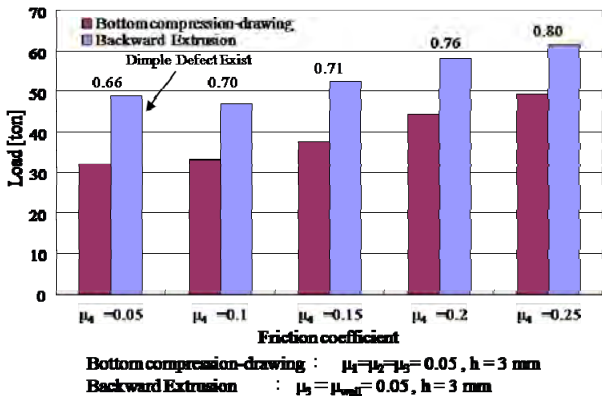


図 13 成形荷重比較

### 3.6 $D/d$ による板厚減少率および分流点の比較

ボスを成形する際、ブランク内でボスのあるパンチ内

側へと流れていく材料流れと、パンチ側面へと流れていく材料流れの境界が存在する。その境界を「分流点」と定義する。図 14 に、分流点の概念図を示す。

両加工法での分流点の位置を比較するためのパラメータとして、パンチによりつぶした板厚 ( $t_0-t$ ) を初期板厚  $t_0$  によって除した値を「板厚減少率」とする。

図 15 に、各形状比  $D/d$  での両加工法における板厚減少率を示す。板厚減少率が大きいほど、同一ボス高さを成形するための体積を稼ぐために、より多くの板を潰していることになる。つまり、ブランク中央から分流点までの径が小さいといえる。すべての形状比  $D/d$ 、摩擦係数において、背圧絞り加工の値が後方押し出し加工の値よりも大きい。よって、後方押し出し加工よりも背圧絞り加工の方が分流点が内側に存在しているといえる。このことから、背圧絞り加工は後方押し出し加工に比べ、板厚減少速度とボスへの流入速度の差が小さくなるため、ひげが発生しにくいと考えられる。また、両加工法ともに、形状比  $D/d$  の増加に伴い、板厚減少率が小さくなっている。これは、加圧面積の増加によって、分流点までの内半径が大きくなり、ボスに流入する体積が増えたために潰す板厚が少なくなるからである。

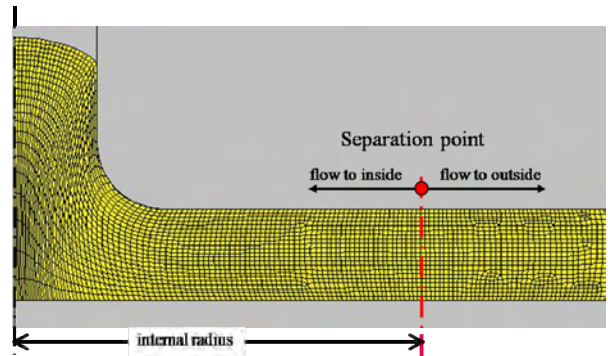


図 14 分流点の概念図

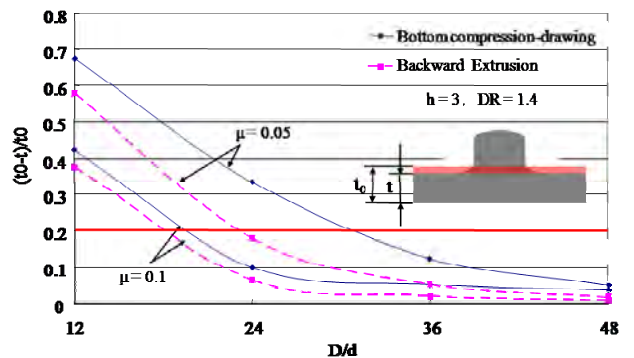


図 15 各形状比  $D/d$  での両加工法における板厚減少率

## 4. 実験によるボス成形性の比較

### 4.1 実験装置および実験条件

試験機は、110ton サーボプレスを使用し、加工荷重はサーボプレスに搭載されている荷重計により測定した。金型は背圧絞り型と後方押し出し型を製作し、単純圧縮加工は背圧絞り加工型を使用し、圧縮のみの加工を行うこととした。図 16 に背圧絞り型、単純圧縮型、後方押し出し型を示す。



出し型の加工方法および製品形状を示す。

背圧絞り加工は、ダイハイトの調整により圧縮荷重を設定し、下方からエア駆動式クッションピンを上昇させることにより絞り加工を行う。張力の影響により、絞り加工途中でパンチ荷重が減少するため、絞り加工中にパンチをストロークさせることで加圧力を保つ。試料と工具の摩擦状態を同条件とするために、上パンチは3型共用とし、背圧絞り型の背圧パンチと後方押し型のKOパンチは1ショット毎にダイヤモンドペーストで磨き、表面粗さ  $0.05 \mu\text{m Ra}$  の条件で加工を行った。潤滑条件を表3に示す。被加工材は A1100-O材で、絞り比は1.5とした。

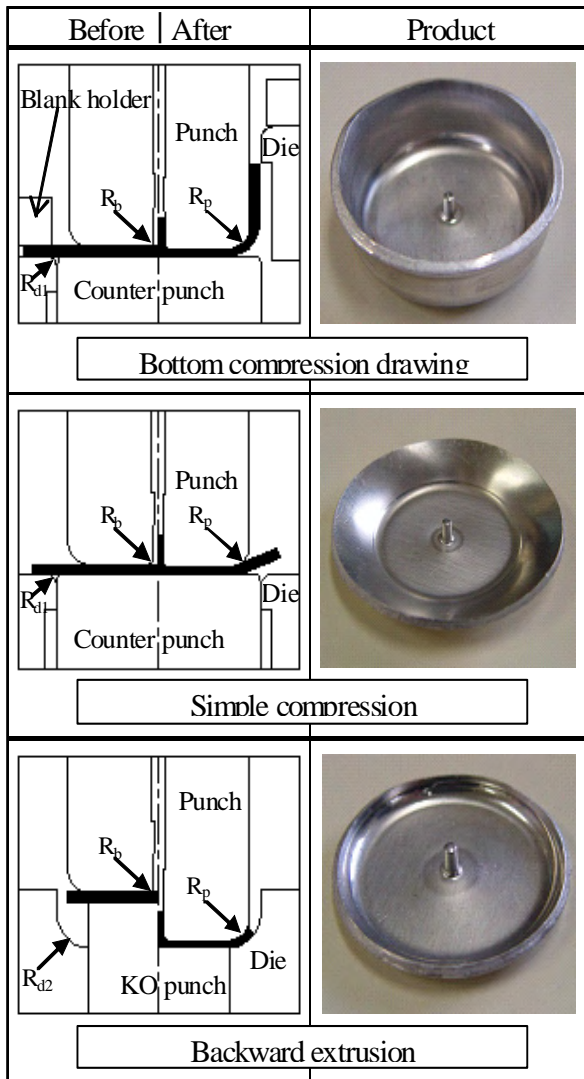


図16 成形法と成形品形状

表3 潤滑条件

Frictional condition	Lubricant area
Type A	Upper surface of blank
Type B	Upper and lower surface of blank

## 4.2 実験結果

図17に加工荷重に対するボス高さの変化を示す。同じ加工荷重で比較すると潤滑状態に依らず、後方押し加工、単純圧縮加工、背圧絞り加工の順に底面板厚減少量が大きく、ボス高さが大きくなっている。同じ板厚減

少量で比較すると背圧絞り加工は後方押し加工よりもボスは低くなっているが、背圧絞り加工は後方押し加工よりも低い荷重で材料を潰すことができ、より高いボスの成形が可能である。

両面潤滑 (Type B) の条件の場合、板厚減少量とボス高さが同程度となっていることからボス部へ材料がほとんど供給されていないことがわかる。

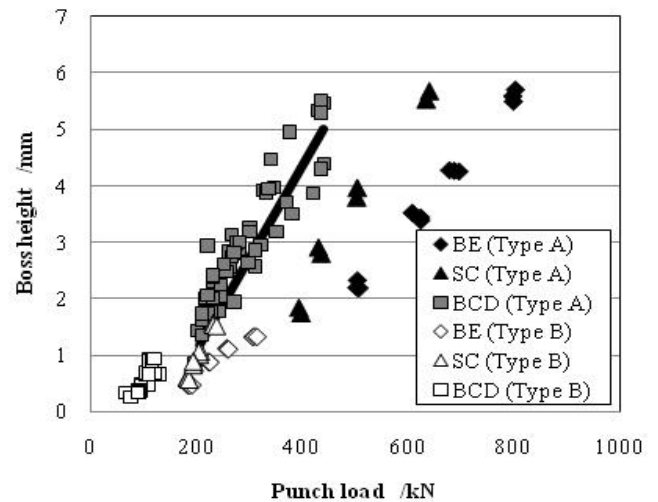


図17 各成形法におけるボス高さと成形荷重との関係

## 5. 結論

中実ボス成形における後方押し加工と背圧絞り加工を FEM 解析にて比較した結果、以下のことがわかった。

- 1) 背圧絞り加工法は、後方押し加工法の約 60% の加工荷重で成形可能である。
- 2) 小さい摩擦条件で、加工荷重をより低減することが可能である。
- 3) 背圧絞り加工法は後方押し加工法に比べ、分流点の内側に存在するため、ひげが発生しにくい加工法である。

本実験により、絞り加工による張力の影響で、降伏面圧が低下し、板がつぶれ易くなり、単純に圧縮するより高いボスを成形できることが確認できた。

## 謝 辞

本研究は (財) 天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成を受けておこなわれたものであり、関係各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 近藤一義: 塑性と加工 vol.24 no.271, (1983), 801-808.
- 2) 村上碩哉: 第54回塑加連論文集, (2003), 243-244.
- 3) 村上碩哉: 平成16年塑加春論文集, (2004), 241-242.
- 4) 古閑伸裕: 第55回塑加連論文集, (2004), 53-54.