エンボス・リストレーション加工による アルミニウム合金板の成形性向上

飯塚 高志*・畑中 伸夫**・コンソルショ ナモコ***
高倉 章雄*・山口 克彦*

Journal of Japan Instituted of Light Metals, Vol. 56, No. 7 (2006), pp. 354-360

Improvement of formability of aluminum alloy sheets using emboss and restoration process

Takashi IIZUKA*, Nobuo HATANAKA**, Consorcio Salinasal Namoco Jr.***
Norio TAKAKURA* and Katsuhiko YAMAGUCHI*

Using thinner sheet metal is effective in making the products with low cost and light weight. It also contributes to saving the energy and resources on earth. However, the rigidity and formability of sheet metal decrease when the thickness of sheet becomes thinner. Emboss process and restoration process can locally change the shape of a sheet metal, and also add partial work hardening. Therefore, there are some possibilities that the formability of thinner sheet metal is improved by these processing, like as the rigidity. In this study, emboss processes and restoration processes were conducted to the aluminum alloy sheet. The variations of the strength and formability of the aluminum sheet by these processing were investigated. The results showed that the yield stress of the sheet changed and the total elongation increased by performing these processing. On the basis of these results, the improvement of the formability of sheet metal was attempted by emboss process, restoration process and combination of these. The Erichsen cupping test and the deep-drawing test were conducted to the sheets having some processing patterns. From the result, it was confirmed that it was possible to improve the formability of sheet metal by adopting emboss process and restoration process properly.

(Received December 7, 2005 Accepted March 2, 2006)

Keywords: emboss process, restoration process, aluminum alloy, deep drawing, formability

1. 緒 言

近年、環境保全および資源の有効利用の観点から、各種構造部材の軽量化が取り組まれている。板材の軽量化を実現するために最も効果的な方法は、アルミニウム合金やマグネシウム合金などの軽金属を利用すること、さらに、その部材を薄肉化することである。アルミニウム合金 (A6061-T6 ほか) は、鋼材 (SPCC) のおよそ3倍の比強度を有することから、鉄鋼部材をアルミニウム合金化することによって大幅な軽量化が期待される¹⁾。しかし、高強度アルミニウム合金は、変形能が低く板材成形が困難な場合がある。また、板厚が薄くなるほど成形性が低下するといった問題がある。

一般に深絞り加工において、フランジ部の絞り抵抗が小さく、パンチ肩部の強度が大きいほど深絞り性がよい²⁾。これらの性質は矛盾するため、強度・伸びともに適度に大きな材料が成形性のよい材料となる。しかし、深絞り性が悪い板材に対して、荷重を受け持つパンチ肩部の強度を上げ、フランジ部の求心方向への材料流動を容易にすることができれば、深絞り性が向上すると考えられる。

一方、板材にエンボス加工やリストレーション加工を施すと、その部分への形状付加および加工硬化によって、機械的特性が部分的に変化し、また、板材全体の見かけの機械的特性^{3),4)}も変化させることができる。エンボス加工は、張出加工によって板材に凹凸をつける加工であり、板材の剛性が向上する。また、リストレーション加工^{5),6)}は、塑性変形を受けた材料を元の素材形状に戻す加工を意味しており、加工された部分が加工硬化するために、素板の部分的な強度の向上が望める。

そこで本研究では、アルミニウム合金板材にエンボス加工⁷⁾およびリストレーション加工を施し、板材の部分的および見かけの機械的特性が変化することを利用して、その成形性の向上について検討した。リストレーション加工としては、いったんエンボス加工した板を平坦工具によって、元の平らな板に戻す加工を採用した。最初に、エンボス加工およびリストレーション加工を施した試験片に対して引張試験を行い、予加工が板材の見かけの機械的性質に及ぼす影響について検討した。その後、予加工を施したアルミニウム合金板材の成形性の向上を試みた。その結果、これらの予加工が深絞り成

* 京都工芸繊維大学工芸学部 (〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町)。Kyoto Institute of Technology (Matsugasaki, Sakyou-ku, Kyoto-shi 606-8585).

** 阿南工業高等専門学校機械工学科 (阿南市)。Anan National College of Technology (Anan-shi, Tokushima)。E-mail: hatanaka@anan-nct.ac.jp

*** 京都工芸繊維大学工芸学部大学院 (京都市)。Graduate School, Kyoto Institute of Technology (Kyoto-shi, Kyoto)。

Table 1 Mechanical property of materials

	Al-O	Al-H	A5052	A6061
Yield strength, $\sigma_{0.2}$ (MPa)	24	115	230	343
Ultimate strength, σ_B (MPa)	77	123	281	363
Total elongation, δ	0.65	0.11	0.14	0.18
Plastic coefficient, F (MPa)	137	141	379	412
Work hardening exponent, n	0.34	0.048	0.21	0.14
r-value, r	0.66	0.67	0.76	0.58
Vickers hardening HV10	38.5	49.6	86.8	111.3

Fig. 1 Schematic diagram of emboss process.

形性および張出成形性の向上に有効であることが明らかとなった。

2. 実験方法

2.1 供試材料

実験に使用した材料は、板厚1mmの軟質純アルミニウム板 (A1050-O, 以下 Al-O と表記), 硬質純アルミニウム板 (A1050-H24, Al-H), A5052-H34 板 (A5052) および A6061-T6 板 (A6061) である。これらの機械的性質を調べるために引張試験およびビッカース硬さ試験を行った。引張試験片は、引張方向が材料の圧延方向と一致するように素板から切出し JIS13B 号試験片を作製した。結果を **Table 1** に示す。なお、塑性係数 F および加工硬化指数 n は、一軸引張試験によって得られた応力-ひずみ線図を $\sigma = F\varepsilon^n$ (σ : 真応力, ε : 対数ひずみ) で近似した場合の F , n 値である。

2.2 エンボス加工およびリストレーション加工の方法

エンボス加工に使用した工具の概要を **Fig. 1** に示す。先端が直径6mmの球頭パンチおよび内径が8mmのダイスを用いて、パンチを押込むことによって張出加工を行った。張出高さ h は材料の破断時の張出高さ h_f を基準にして設定した。

リストレーション加工は、エンボス加工後の試験片を **Fig. 2** に示す平坦工具を用いて、板材が平板状 (エンボス加工時の張出高さ h に対して、リストレーション加工時の押戻しストローク $R_s=h$) になるまで圧縮することにより行った。

本研究においては、いずれの加工の場合にも、板材と工具間を潤滑するためにテフロンスプレーと白色ワセリンを使用した。

2.3 張出加工およびリストレーション加工した板の形状・板厚・加工硬化

エンボス加工およびリストレーション加工による材料の形状や特性の変化を検討するために、まず、単一の張出加工およびリストレーション加工を行った。 **Fig. 3** および **Fig. 4** に、加工後の試験片の断面形状および裏面 (張出時にパンチと接

Fig. 2 Schematic diagram of restoration process. **Fig. 3** Deformation of sheet with bulge and restoration processes (Cross section). **Fig. 4** Deformation of sheet with bulge and restoration processes (Sheet surface, Anvil side view).

触する側)の形状の例を示す。材料は Al-O, 張出高さ 1.0mm および 2.0mm である。断面形状は、所要のストロークまで加工した試験片を中心断面で切断し、光学顕微鏡により測定した。 **Fig. 3** に示すように、リストレーション加工後の試験片は、ほぼ平坦に戻されるが、 **Fig. 4** からわかるように表裏面には、リング状の様子が観察された。

Fig. 5 に、各張出高さにおける予加工後の板厚ひずみ分布の例を示す。板厚の測定には、ポイントマイクロメータを使用し、加工前にあらかじめ試験片表面に中心から 0.5mm 間隔で描いたけがき線の間接点の板厚を測定した。図に示すように張出加工材、リストレーション加工材ともに張出高さが大きくなるに伴い板厚が減少する。特に、張出加工材では、中心から約 1.8mm 付近 (図中 B 点: パンチと板材が離れる部分) とダイス肩部 $r=3.8$ mm 付近 (図中 D 点) の板厚減少が大きい。一方、リストレーション加工材では、張出加工を受けた部分が平坦化される過程において、中心から約 1.8mm 付近の板厚が回復する。しかし、ダイス肩部の板厚は、リストレーション加工においても減少する。

Fig. 6 に張出高さ $h=2$ mm の張出加工材およびリストレーション加工材の硬さ分布を示す。ビッカース硬さは、張出中

Fig. 5 Distribution of thickness strain with bulge and restoration processes (B: Contact boundary of sheet and punch, D: Die shoulder part).

Fig. 6 Distribution of Vickers hardening with bulge and restoration processes (B: Contact boundary of sheet and punch, D: Die shoulder part).

心点より 0.25mm 間隔で中心から 6mm まで測定した。測定は板厚方向に 4 点測定し、その平均値をビッカース硬さとした。破線は変形前の板材表面を 20 点測定した結果の平均値である。図より、板材に張出加工を施すと材料が加工硬化し、リストレーション加工を加えると材料はさらに加工硬化することがわかる。特に、張出中心部のパンチに接触している領域およびダイス肩部 (図中 D 点) の最も大きな変形を受ける部分の加工硬化が大きい。これより、張出加工およびリストレーション加工を施した板材は加工前に比べて強度が増加していると考えられる。

3. エンボス加工およびリストレーション加工に伴う引張特性の変化

3.1 引張試験片および公称応力-公称ひずみ線図

エンボス加工およびリストレーション加工が引張特性に及ぼす影響について検討した。引張試験は、試験片を引張方向が圧延方向と一致するように Fig. 7 に示す形状に素板から切出し、それにエンボス加工およびリストレーション加工を施した後に実施した。伸びの測定は、加工後の試験片中心部において標点間距離 90mm で行った。なお、試験片は部分的に形状および板厚が異なっているが、ここでは、未加工材の初期断面積を用いて、

Fig. 7 Geometry and dimension of tensile specimen.

Fig. 8 Nominal stress-strain curves of specimen processed by emboss and restoration.

Fig. 9 Fracture surface of tensile test.

公称応力 (σ) = 引張荷重 / 未加工試験片の初期断面積
公称ひずみ (ϵ) = 標点間の伸び / 初期標点間距離

として、引張試験の結果を整理した。

引張試験により得られた公称応力-公称ひずみ線図の例を Fig. 8 に示す。材料は A5052、張出高さ比 $h/h_f=0.5$ の場合である。図に示すようにエンボス加工およびリストレーション加工を施した試験片は、未加工材に比べて、降伏応力 (0.2% 耐力)、引張強さ、全伸び、 n 値などの機械的性質が変化する。

Fig. 9 は引張試験後の試験片破断部を示す。破断は、エンボス加工材では張出頭部を横切って引張方向に垂直に生じた。また、リストレーション加工材ではリストレーション領域の輪郭部に沿って生じた。これは、エンボス加工材では張出頭部の板厚が薄いために、頭部からき裂が発生するためであると考えられる。一方、リストレーション加工材の場合には、リストレーションされた領域の板厚は他の領域とほぼ同一であり、また、加工硬化により変形抵抗が大きくなっているために、リストレーション領域の輪郭に沿って破断したと考えられる。この結果から、リストレーション加工は、板材の強度を局所的に高める方法として有効であることがわかる。

3.2 引張特性値の変化

Fig.8に示したように、エンボス加工およびリストレーション加工を施すと公称応力-公称ひずみ線図が変化する。そこで、公称応力-公称ひずみ線図から得られる0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 、引張強さ σ_B 、全伸び δ および加工硬化指数 n に対するエンボス加工およびリストレーション加工の影響を調べた。なお、 n 値は、公称応力-公称ひずみ線図（最大応力に達するまでの範囲）から、見かけの真応力 $\bar{\sigma}$ 、対数ひずみ $\bar{\epsilon}$ を

$$\bar{\sigma} = \sigma(1 + \epsilon)$$

$$\bar{\epsilon} = \ln(1 + \epsilon)$$

で算出し、これらを $\bar{\sigma} = F\bar{\epsilon}^n$ で近似して得た値である。

ここでは、張出率 h/h_f の増加に伴う引張特性値の変化を表す値として、以下の各式を用いた。ここで、添字 i は未加工材を、 p は加工材を表す。

降伏応力変化率 α

$$\alpha = \frac{\sigma_{yp} - \sigma_{yi}}{\sigma_{yi}} \times 100 \quad (1)$$

引張強さ変化率 β

$$\beta = \frac{\sigma_{Bp} - \sigma_{Bi}}{\sigma_{Bi}} \times 100 \quad (2)$$

全伸び変化率 γ

$$\gamma = \frac{\delta_p - \delta_i}{\delta_i} \times 100 \quad (3)$$

n 値変化率 ψ

$$\psi = \frac{n_p - n_i}{n_i} \times 100 \quad (4)$$

降伏応力の変化をFig. 10に示す。図よりエンボス加工材は、張出率 h/h_f の増加に伴い、降伏応力が小さくなる。これは、加工部の板厚が未加工材に比べて薄くなり、見かけの降伏応力が低下するためと考えられる。この傾向は n 値の小さい材料ほど顕著である。一方、リストレーション加工材では、Al-Oの場合には、 h/h_f の増加に伴い降伏応力は大きくなり、 $h/h_f=0.8$ において約30%大きくなる。しかし、Al-H、A6061では、降伏応力は小さくなる。A5052では、 $h/h_f=0.3$ までは降伏応力は増大するが、その後は低下し、 $h/h_f=0.5$ 以上になると未加工材よりも小さくなる。

Fig. 11に、引張強さの変化を示す。図に示すように、Al-Oにおいてエンボス加工材では、 h/h_f の増加に伴い引張強さが大きくなるが、 $h/h_f=0.5$ を超えると引張強さは未加工材に比べて小さくなる。また、リストレーション加工材では、 h/h_f の増加に伴い引張強さは少し大きくなる。一方、Al-H、A5052およびA6061では、エンボス加工材、リストレーション加工材ともに、 h/h_f の増加に伴い引張強さは低下する。この低下の傾向はエンボス加工において特に顕著である。しかし、A5052では、 $h/h_f=0.3$ までのリストレーション加工において若干の引張強さの増加が見られる。これらの結果から、 n 値が大きい材料では、エンボス加工およびリストレーション加工による加工硬化によって引張強さが大きくなるが、 n 値の小さい材料では加工硬化の影響が小さく加工部の板厚減

Fig. 10 Variation ratio of yield stress with bulge height.

Fig. 11 Variation ratio of ultimate strength with bulge height.

Fig. 12 Variation ratio of total elongation with bulge height.

少のために引張強さは低下することがわかる。

Fig. 12に、全伸びの変化を示す。図に示すように、Al-O、A5052およびA6061では、 h/h_f の増加に伴って全伸びは小さくなる。一方、Al-Hのエンボス加工材は、 h/h_f が大きいほど全伸びは大きくなった。また、リストレーション加工材は、 $h/h_f=0.3$ において全伸びが40%増加した。このことは全伸びが小さい材料に、エンボス加工およびリストレーション加工を施すことにより、延性を向上させる可能性があることを示している。

Fig. 13に、加工硬化指数 n 値の変化を示す。図に示すように、エンボス加工材では、すべての材料で n 値が増大する。

Fig. 13 Variation ratio of n value with bulge height.

A5052, A6061 では、 h/h_f の増加に伴って n 値は増大する傾向を示すが、Al-O, Al-H 材では $h/h_f=0.5$ において n 値が最大値になる。このことから、エンボス加工は、 n 値を増大させる効果があることがわかる。一方、リストラクション加工材において、Al-O および A5052 では h/h_f の増加に伴い n 値は低下する。しかし、Al-H では、 h/h_f の増加に伴い n 値は増大する。また、A6061 ではいったん減少した後、 $h/h_f>0.5$ 以降 n 値は増大する。このことにより、 n 値が小さい材料では、リストラクション加工を施すことによって、 n 値を増大させることが期待できる。

以上のように、板材にエンボス加工およびリストラクション加工を施せば、その板材の機械的特性が変化することが明らかになった。したがって、板材のプレス成形において、荷重を受け持つ部分の強度を増大させ、変形部の変形をやすくするためにエンボス加工およびリストラクション加工を適切に配置すれば、成形限界の向上が期待される。特に、 n 値の増加が大きい材料では、ひずみ集中が生じにくくなり、張出、深絞り加工などの成形限界向上に有効であると言える。

4. エンボス加工およびリストラクション加工による深絞り性の向上

4.1 深絞り試験の方法

深絞り加工では、フランジ部の絞り抵抗が小さく、パンチ肩部の強度が大きい材料ほど深絞り性がよい。そこで、荷重を受け持つパンチ肩部およびフランジ部に、種々の条件でエンボス加工およびリストラクション加工を施した素板を作成し、深絞り性の向上を試みた。

Fig. 14 に示すように、(a) 試験片中心 0 から半径 r_b までの範囲、また、(b) 外周部 r_o から半径 r_b までの範囲に、半径方向ピッチ 3mm でエンボス加工およびリストラクション加工を m 個 ($m=2r$, r : 試験片中心からの距離) 施した試験片を作製した。試験片の直径は A5052 で 58.0mm (絞り比 2.0), A6061 で 55.1mm (絞り比 1.9) である。深絞り加工におけるしわ抑え力は 1.3kN とした。深絞り試験装置は、パンチ直径 29.0mm, パンチ肩 $R=4.0$ mm, ダイス直径 31.5mm, ダイス肩 $R=6.0$ mm である。

4.2 フランジ部絞り抵抗評価

エンボスおよびリストラクション加工領域を変化させた試験片を作成して深絞り加工を行い、最大パンチ荷重を測定し

Fig. 14 Specimen of deep drawing process with bulge and restoration processed.

Fig. 15 Influence of processed region on drawing load.

た。その結果を Fig. 15 に示す。材料は A5052, 張出高さ $h=0.4$ mm である。

まず、内側を加工する図中の実線では、加工領域を試験片中心 0 から外周部に拡大していくと、エンボス加工、リストラクション加工ともに、加工領域 $r=15$ mm 以下では最大荷重に変化は見られなかったが、 $r=15$ mm 以上になると荷重が大きく減少した。これは、加工領域が 15mm 以内では、フランジ部の変形抵抗に影響がでないためである。一方、図中の破線の加工領域を外周部から試験片中心方向へ拡大させた場合には、加工領域が大きくなるに伴って最大荷重が小さくなり、 $r=18$ mm 以下ではほぼ一定の値になった。

これらの結果は、フランジ部にエンボス加工およびリストラクション加工を行うことによって、フランジ部の絞り変形抵抗が減少することを示している。したがって、フランジ部に加工を施せば深絞り性を向上させることができるものと考えられる。一方、パンチ頭部の領域に加工を施してもパンチ荷重の低減には効果が見られない。

4.3 パンチ肩部強度評価

試験片のパンチ肩部の強度を調べるために、深絞り加工中にパンチストローク 13mm において、しわ抑え力を 80kN まで増加させ、材料がダイス内へ流入するのを防ぐことにより、試験片をパンチ肩部で破断させた。そして、その破断時の最大パンチ荷重を試験片のパンチ肩部強度とした。

素板のパンチ肩部付近 $r=15$ mm にリストラクション加工 (円周方向に 30 箇所、張出高さ $h=0.4$ mm) を施した試験片を用いた場合のパンチ荷重—ストローク線図を Fig. 16 に示す。材料は A6061 である。図に示すように、リストラクション加工を施した試験片は、未加工材に比べて破断時の荷重が大きくなっている。これは、リストラクション加工によって

Fig. 16 Punch load-stroke curve in deep drawing test with flange draw-in constraint stage for determining the loading capacity at punch shoulder part.

Fig. 17 Influence of processed region on strength at punch shoulder part.

荷重を受け持つパンチ肩部が加工硬化され、パンチ肩部強度が増加したためであると考えられる。

Fig. 17 に、リストレーション加工の領域を変化させた場合の破断強度を示す。リストレーション加工の領域を中心部から外周部に拡大した図中の実線の場合、 $r=12\text{mm}$ まではパンチ肩部強度に大きな差異は見られないが、パンチ肩部付近に相当する $r=15\text{mm}$ で増加し、その後はほぼ一定の値を示した。一方、加工領域を外周部から中心部に向かって拡大した破線の場合には、外周部から $r=18\text{mm}$ までほとんど変化がなく、 $r=15\text{mm}$ で増加し、その後はほぼ一定の値をとった。この結果から、パンチ肩部強度を向上させるためには、素板のパンチ肩付近にのみ加工を施せばよいことがわかる。

次に、素板のパンチ肩部強度を増加させるために有効なリストレーション加工数について検討した。素板の破断が予想される部分 $r=15\text{mm}$ の円周に m 個の加工（張出高さ 1.2mm ）を施して破断強度を測定した。そして、破断強度の増加率を次式で評価した。

$$\eta = \frac{P_p - P_i}{P_i} \times 100 \quad (5)$$

結果を Fig. 18 に示す。Al-O および A5052 では加工数の増加に伴いパンチ肩部強度は大きくなる。一方、Al-H および A6061 の場合には、加工数 8 回および 4 回で最大値を示し、

Fig. 18 Influence of number of restoration processes on strength at punch shoulder part.

Fig. 19 Influence of bulge height on LDR.

加工数をさらに増加させるとパンチ肩部強度が減少する。これは、 n 値が小さい材料では加工硬化の効果が十分に望めないこと、および加工による板厚減少による影響のためであると考えられる。

以上のことから、破断が予想される素板のパンチ肩部にリストレーションを適度に施すことは、パンチ肩部強度を上昇させるのに有効であると考えられる。

4.4 限界絞り比に及ぼす加工条件の影響

A6061 について、(a) フランジ外周部から $r=15\text{mm}$ まで絞り抵抗を減少させるためにエンボス加工した板材、(b) パンチ肩部 $r=15\text{mm}$ の強度を増加させるためにリストレーション加工した板材、(c) その両者を組合せて、フランジ外周部から $r=15\text{mm}$ までエンボス加工し、 $r=15\text{mm}$ 円周上にリストレーション加工した板材を用いて、限界絞り比を測定した。結果を Fig. 19 に示す。(a) のエンボス加工材では、張出高さが大きいほど限界絞り比が向上し、張出高さ 0.4mm のとき、限界絞り比が 2.05 に向上した。(b) のリストレーション加工材でも同様に張出高さが大きいリストレーション加工材ほど限界絞り比が向上し、張出高さ 1.2mm で限界絞り比が 2.08 に向上した。(c) のエンボス加工とリストレーション加工を組合せた場合には、リストレーション加工の張出高さを 1.2mm に設定し、エンボス加工の張出高さを変化させた。その結果、エンボス加工の張出高さ 0.4mm で限界絞り比が 2.15 に向上した。Fig. 20 にエンボス加工とリストレーション加

Fig. 20 Appearance of drawing formation.

Fig. 21 Geometry and dimension of bulge specimen.

Fig. 22 Influence of bulge height on Erichsen value.

工を組合せて深絞り加工した成形品の写真を示す。得られた成形高さは $H=27.13\text{ mm}$ で、未加工材で得られた成形高さ $H=22.3\text{ mm}$ より、成形高さが約 20% 向上した。このことから、板材の適切な箇所にエンボス加工とリストレーション加工を施すことによって、その板材の成形性を向上させることが期待できる。

5. 張出性

5.1 エリクセン試験の方法

一辺 90 mm の正方形の中央に Fig. 21 に示すようにエンボス加工・リストレーション加工を施した試験片を用いて、JIS 規格 Z2247 に基づいてエリクセン試験を行った。潤滑にはエリクセン試験用ワセリンを用い、しわ抑え力は 10 kN、パンチ速度は 5 mm/min で実施した。実験は破断点検出装置により自動試験を行った。

5.2 エリクセン値に及ぼす加工条件の影響

Fig. 22 は、エンボス加工やリストレーション加工における張出高さの増加に伴う、エリクセン値の変化を示す。Al-O および Al-H は、エンボス加工の張出高さ 0.5 mm において、未加工材より張出性が向上した。A5052 および A6061 では、張出高さの増加に伴い、張出性は減少した。これは、張出高さが大きくなるにつれて、Fig. 13 に示したように n 値は増大するが、全伸びが Fig. 12 のように低下するため、未加工材に比べて大きく延性が低下するためと考えられる。また、加工硬化が局部的に生じるため材料の不均質性や、加工部での板厚減少が張出性を低下させると考えられる。

これらの結果から、Al-O のように n 値が大きな材料や、Al-H のようにエンボス加工およびリストレーション加工によって、 n 値、全伸びともに増大する材料では、張出性が向上する。

6. 結 言

アルミニウム合金板材に、エンボス加工およびリストレーション加工を行い、未加工材と比べて機械的特性や成形性がどのように変化するかを検討した。その結果は、次のとおりである。

- (1) エンボス加工およびリストレーション加工を行うことにより降伏応力が低下し、成形力を意図的に下げることができる。
- (2) n 値が大きい材料にエンボス加工およびリストレーション加工を付加することにより引張強さを増大させることができる。
- (3) 全伸びが小さい材料にエンボス加工およびリストレーション加工を行うことにより変形能を大きくすることができる。
- (4) エンボス加工およびリストレーション加工により、 n 値を大きくすることができる。
- (5) 深絞り成形性に関して、フランジ部にエンボス加工およびリストレーション加工を行うことにより、フランジ部の絞り抵抗が減少し、深絞り性が向上する。
- (6) パンチ肩部にリストレーション加工を行うことにより、パンチ肩部の強度を上げ成形性を向上させることができる。
- (7) エンボス加工とリストレーション加工を適切に組合せることにより、深絞り加工における限界絞り比が向上し、成形高さが向上する。
- (8) エンボス加工およびリストレーション加工によって、 n 値、全伸びともに増大する材料では、張出性が向上する。

参 考 文 献

- 1) 山口克彦：塑性と加工，**38** (1997)，23-27.
- 2) 日本塑性加工学会編：わかりやすいプレス加工，(2000)，日刊工業新聞社，51-61.
- 3) 山口克彦，成田憲二，高倉章雄，飯塚高志，畑中伸夫：第 54 回塑性加工連合講演会講演論文集，(2003)，64-70.
- 4) 松居正夫，加藤久佳，鈴木義則，鈴木 隆，木村雅幸，和田均：第 55 回塑性加工連合講演会講演論文集，(2004)，135-136.
- 5) 畑中伸夫，コンソルショ ナモコ，高倉章雄，飯塚高志，山口克彦：軽金属，**56** (2006)，45-50.
- 6) 畑中伸夫，コンソルショ ナモコ，飯塚高志，高倉章雄，山口克彦：軽金属，**56** (2006)，221-225.
- 7) 高倉章雄，成田憲二，飯塚高志，山口克彦：第 55 回塑性加工連合講演会講演論文集，(2004)，215-216.