

厚板の押し-バーリング加工法の開発*

平澤勝芳*¹, 堂田邦明*¹, 王志剛*¹
横山尚来*², 小林義邦*²

Development of Extrusion-Burring Process for Plate Forming

Katsuyoshi HIRASAWA*³, Kuniaki DOHDA, Zhrgang WANG,
Naoki YOKOYAMA and Yoshikuni KOBAYASHI*³ Department of Mechanical Systems Engineering, Gifu University,
1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193 Japan

A new forming process, extrusion-burring process is proposed to produce the parts with a flange from a thick plate. The feature of the newly devised extrusion-burring process has been investigated in detail by FEM analysis and verified by a series of experiments with the aluminum plate. In the extrusion-burring process, a drawn cup is extruded by pushing its wall downwards and the extruded material flows into the flange portion. With increasing extrusion stroke the material of the flange portion gets thick and high. By increasing extrusion stroke, the flange height after burring process increase successfully. However, an excessive extrusion stroke results in the fracture at the base of the flange portion, because the burring process is very similar to the ironing process.

Key Words: Plastic Forming, Press Working, Forging, Sheet Metal Forming, Burring, Extrusion, Thick Plate

1. 緒 言

近年, 経済状況が不安定な中で自動車部品などの製造業では, 部品製造コストの低減が強く求められている。また, 環境問題への対応で CO₂ 削減のための燃費向上策として, 部品の軽量化が必要不可欠となっている。そのため, 必要最小限の形状に設計された部品を少工程数, 少加工エネルギーで加工する新しい複合加工技術の開発, が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。軽量化による燃費向上の効果が大きい自動車エンジン部品としては, 動弁系あるいは駆動系の回転部品があげられる⁽³⁾。図1に示すようにこれらの部品形状の特徴は, 中心部に支持形状(ボス形状)を有し, 外周部はギヤなどの機能形状となっている。従って, 外周部は機能を満足する最小肉で回転損失を低減し, 中心のボス部は全体剛性を保つための肉厚を確保する必要がある。このような形状の加工法としては, 外周機能部を成形するため最小板厚5mm程度の厚板素材の板材成形が最適と考えられる。

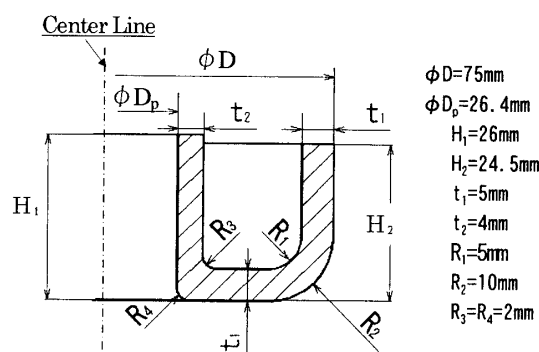


Fig. 1 Schematic illustration of target parts

ボス部の成形法としてはバーリング加工法と多段絞り成形法が考えられるが多段絞り成形法では, 工程数が多くなると予想され, 具体的な研究は進められていない。

前報⁽⁴⁾では, バーリング加工法を厚板に適用してみた。その結果, ボス高さの不足, バーリング先端部の割れおよびボス部偏肉のリストラッキング工程において巻き込みなどの欠陥が認められた。これらの問題を

* 原稿受付 2002年3月20日。

*¹ 正員, 岐阜大学工学部(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)。*² 学生員, 岐阜大学大学院。

E-mail: zgwang@cc.gifu-u.ac.jp

解決するために前報では据込み-バーリング加工法を提案した。これは、ボス周辺部分を据込むことによって、材料をボス部に集積させた後バーリング加工を行うものである。据込みによる下穴周辺部の増厚効果によって、バーリング加工後において開口部の割れ発生を防止でき、バーリング加工後のボス部が、均一に成形できるためリストラッキング工程での巻き込み不良が改善され、限界ボス高さも50%の増加が期待できる。しかし、図1のようなボス形状を据込み-バーリング加工法で成形する場合、 $H_1=13\text{mm}$ 程度が限界と考えられる。これは材料の変形能限界ではなく、製品の剛性などによるものである。すなわち、据込み量を多くとればボス部は高く成形できるが、ボス周辺部の肉厚が薄くなるため、製品機能上剛性不足となる。また、据込み幅を外周へ広げると、加工荷重の増大や加工エネルギー増加および生産設備能力のアップなど、製品生産性の低下およびコストアップにつながる。さらに、加工荷重の増大は、金型の弾性変形量が大きくなり、加工品の寸法精度劣化等の問題が予想される。

上述した問題を改善するための新しい加工法として、本報では、従来のバーリング加工法に鍛造の押し加工法を複合した押し-バーリング加工法を提案する。

2. 押し-バーリング加工

2.1 FEM解析による検討 図2に押し-バーリングの加工原理およびFEM解析モデルを示す。素材はバーリング加工の下穴を有する円形ブランクを円筒絞り加工によってカップ状に成形したものとする。まず素材をブランクホルダーで保持し、押しパンチを下げることによって、ブランクホルダーとダイスの間に中心方向へ素材を押し出す。ついでバーリングパンチを上方へ押し上げ、バーリング加工を行う。最後にスリーブパンチを下方に押し下げ、ボス部を整形する。

FEM解析には鍛造加工用解析コードDEFORM 2D⁽⁵⁾を用いた。被加工材は剛塑性体とし、表1に示した材料特性値を適用した。すべての工具は剛体とし、工具と被加工材間のせん断摩擦係数は0.1とした。成形品形状に影響する押し加工条件の押し出し量 s 、その他の条件は図1の目標形状に準じて設定して解析を行い、押し-バーリング加工法の特徴を整理する。

2.1.1 押し工程 図3に各押し出し量における形状を示し、図4に押し出し量 s と下穴開口部径 d 、ボス高さ h 、カップ底R部肉厚 t_R との関係を示す。

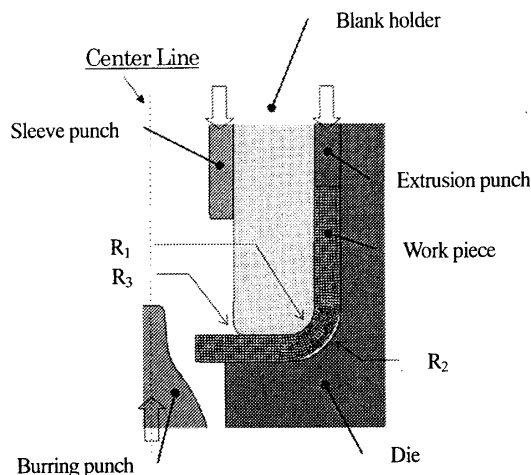


Fig. 2 Principle of extrusion-burring process and FEM analysis model

Table 1 Mechanical properties of the hot-rolled plate (A1050P-0)

Plate thickness mm	Yield strength MPa	Tensile strength MPa	Fracture elongation %	r value	n value
5.0	35	77	55	0.725	0.269

絞りカップR部は、絞り成形によって元板厚の5mmに対し約20%板厚減少している。そのため押し開始前において、金型と被加工材の間に板厚減少分約1mm程度の隙間がダイス側で発生している。押し開始から $s=2\text{mm}$ までは、押しパンチの圧力により被加工材が押し込まれるため、ダイス側の隙間がブランクホルダー側の隙間へ移行し、カップR部の整形が行われる。これによって外周部に拘束された被加工材は、その後 $s=4\text{mm}$ までは、被加工材下穴部の縮径および絞りカップR部の内側への増厚が生じ、 $s=4\text{mm}$ でR部の増厚は完了する。また、下穴部縮径は $s=8\text{mm}$ で終了し、ボス高さ h の増加にみられるように外周から押し出された材料は、ボス部の上方へ順次押し出される。

図5に押し出し量 s と下穴端面周方向ひずみ ϵ_θ および同部板厚 t_h を示す。押し出し量 s の増加に伴って、下穴端面部は、 $s=2\text{mm}$ 付近から縮径から増厚に転じる。板厚 t_h は $s=5\text{mm}$ で最大となりその後下穴端面部の拡径に伴い減少し $s=12\text{mm}$ 以降では単純に上方へ押し出されるのみで変化は見られない。

図6に押し出し量 s の増大に伴う被加工材のa点、b点およびc点の位置変化を示し、図7に各点における周方向ひずみの変化を示す。

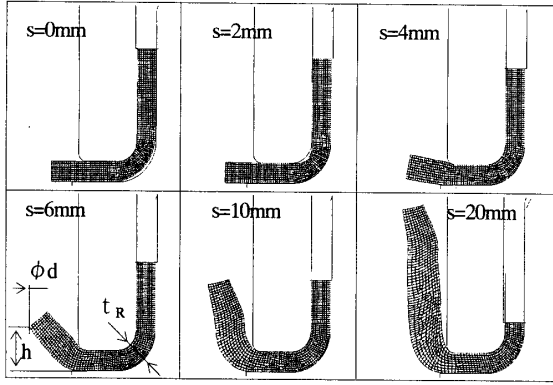


Fig. 3 Schematic illustration of part shape with extrusion

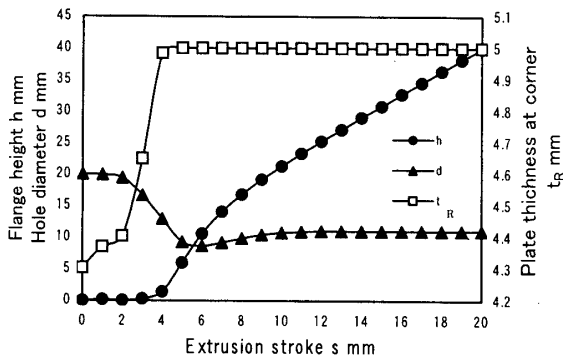


Fig. 4 Variation in corner thickness t_R , hole diameter d , and flange height h with extrusion stroke s

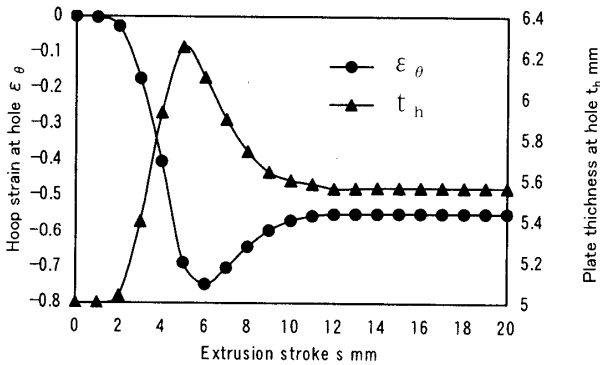


Fig. 5 Variation in hoop strain at hole and hole thickness t_h with extrusion stroke s

バーリング加工の実験結果から被加工材の割れ発生限界は、周方向ひずみで0.8から1.0の間で発生することがわかっており、いずれの位置でも割れ発生の可能性がないと思われる。

b点では、下穴端面より圧縮ひずみが大きいが素材板厚が厚いため座屈することはない。しかし、材料表面近くのC点では、圧縮ひずみが大きくダイスから押出されると自由表面となるため表面部に座屈が発生

する可能性がある。これについては、実験での検証が必要である。

図8に下穴端面部とa点での押し出し量 s と肉厚 t_h , t_a および断面の面積 A_h , A_a の関係を示す。

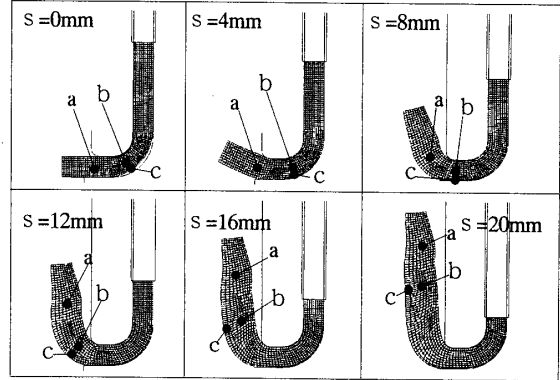


Fig. 6 Schematic illustration of material movement with extrusion

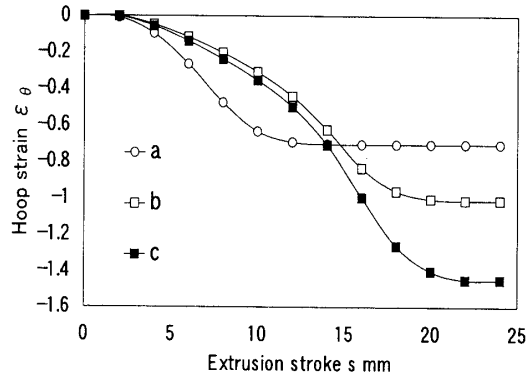


Fig. 7 Relationship between hoop strain and extrusion stroke at a, b, c

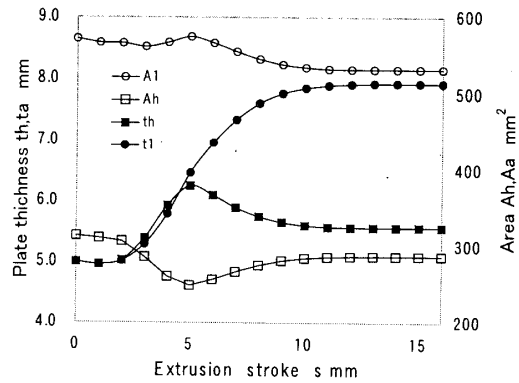


Fig. 8 Variations in thickness t_h , t_a and area A_h , A_a with extrusion stroke s

押し出しによって、下穴端面およびa点ともに増厚するが、 $s=5\text{mm}$ 以降では、ボス部の立ち上げに伴って、先端部が拡径されるため増厚が一時減少し、その後一定となる。一方、a点の場合は、同部位の自由表面が端面に比べて少ないため増厚が大きくなり、また縮径や拡径が発生しにくいといえる。

このように、押し出し工程では、ボス部各部の増厚および立ち上げが同一工程内で行われ、絞りカップR部の板厚減少も同時に改善される。

図9は、絞りカップの板厚減少が約30%の素材を押し出し成形した際の巻き込み不良の発生を示す解析事例である。

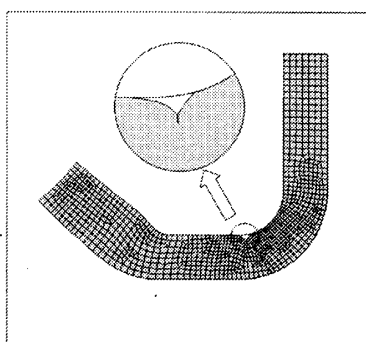


Fig. 9 Shrink on the cup inner corner

この場合、押し出し加工初期において、最小肉厚部が増厚されずに周りのみ増厚されるため、巻き込み不良となる。本報では後述するように絞り工程で、3段ダイス⁽⁷⁾を適用し板厚減少を抑えることにした。

2・1・2 バーリング工程 図10に各押し出し量 s に対するバーリング加工後のボス部高さ h と下穴端面周方向ひずみの関係を示す。バーリング加工後の ε_{θ} は、押し出し量によらずほぼ同じひずみとなっている。このことから、押し出し加工後のボス部ボリュームに応じて、バーリング加工後の高さが得られることになるが、ボス部のボリュームが多すぎると、図11(a)のようにボス根元での局部板厚減少から破断欠陥が発生する。ボス部の肉厚は最大で8.6mmあり、金型間のクリアランスが4mmであることから、しごき率は約50%でありボス部に押し出されたボリュームに応じて、バーリング工程でのボス部根元にかかる引張り応力は増大し破断に至る。このボス部根元の破断を防止するため、ボス先端部を上方向から抑える背圧パンチを図11(b)のように設定し圧力制御することによって、ボス部根元への負荷が低減し、破断を回避できると思われる。

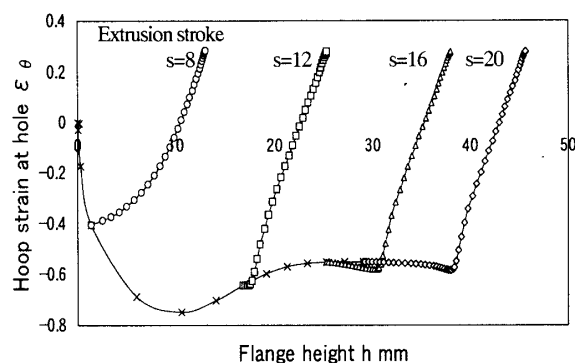


Fig. 10 Effect of extrusion stroke on flange height

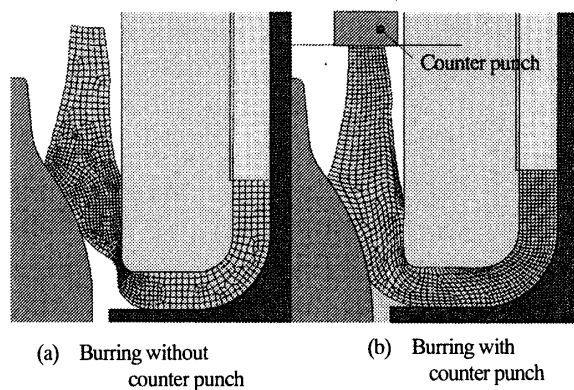


Fig. 11 Work piece shape at burring stroke 12mm

図12にバーリングパンチのストローク量とボス部根元部にかかる上下方向の応力 σ_y の関係を示す。背圧パンチを設定しないバーリングでは、急激に応力が増大し破断に至る。背圧パンチを設定した場合、若干の増加はみられるが破断応力に達することはない。

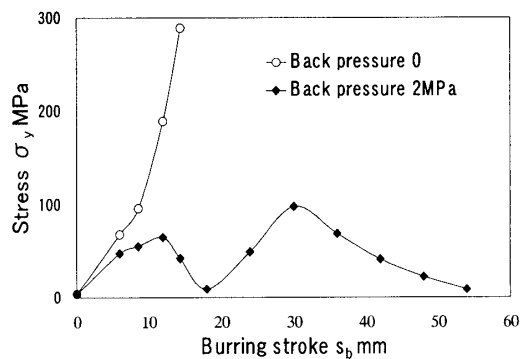


Fig. 12 Relationship between burring stroke and stress σ_y

2・2 実験による検討 FEM 解析結果および金型強度などを考慮して、図2の形状に基づいて金型を製作し実験を行った。実験用プレスは能力100トンの油圧プレスで、押し出しパンチ、バーリングパンチおよびリストライキングパンチの加工速度は、約8mm/s程度である。これらの加工は無潤滑で行った。

最初に絞り金型でカップ成形を行い、その後押し出し、バーリングおよびリストライキングを同一金型内で順次行う。

図13は、実験による各工程の製品断面写真である。(a)の絞り加工後の成形品底R部の板厚減少率は、20%以下となっている。これは、絞りダイスに3段ダイス⁽⁷⁾を適用した効果である。また、(b)の押し出し加工後の成形品は、絞りカップ底R部の増厚から始まる押し出し成形が問題なく行われ、ボス部に十分な材料の押し出しが行われている。また、(c)のバーリング加工後の成形品について、板厚減少率が約50%におよぶ過酷な成形となっているが、問題なく成形されており、バーリング開口部の材料ボリュームの偏差が問題となるのみである。ボス部根元のR形状については、整形の必要ない形状に加工されている。(d)では、ボス部上面の圧縮成形により高さと同様に整えられている。上記各工程での最大荷重は、押し出し工程の約320kNで、押し出しパンチの面圧に換算すると、約290MPaであった。また、実験によるボス部高さは、(d)のリストライキング後で約35mmとなり、目標形状を上回る結果となっている。なお、金型設計上の押し出しストロークに限界があるため、FEM解析での成形限界および図11の背圧負荷による実験は、今後金型改造が必要である。

図14に実験による成形品各部の硬度を示す。被加工材の硬度は34である。ボス部内径表面の硬度が特に高くなっているが、圧縮による表面の座屈現象は見られない。全体に硬度すなわち強度が上がっている。特に、外周部から押し出され、さらにしごきを伴ったバーリング加工によって圧縮ひずみが大きいボス部中央からボス部根元部分にかけ最大となっている。なお、絞り加工による硬度上昇は、後工程の加工性への影響は小さい。

2・3 各加工法の比較 図15に各種バーリング加工におけるバーリング工程後のボス高さ h と周方向ひずみの関係を示す。下穴径は20mmで、一般バーリング加工のみ下穴径10mmも示した。

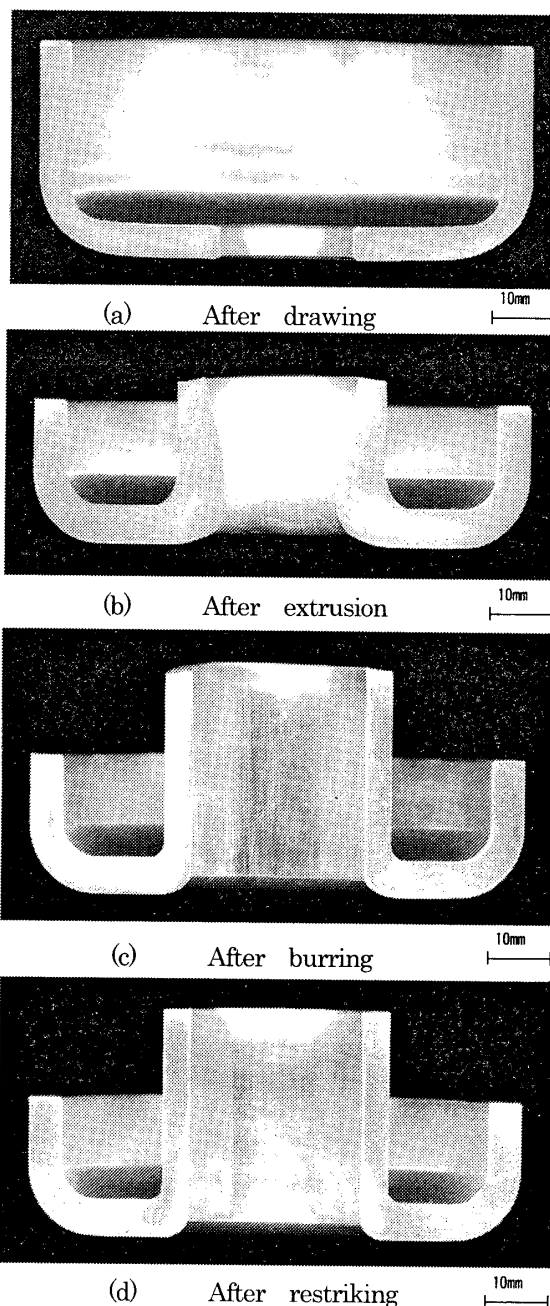


Fig. 13 Flange shape at each forming stage

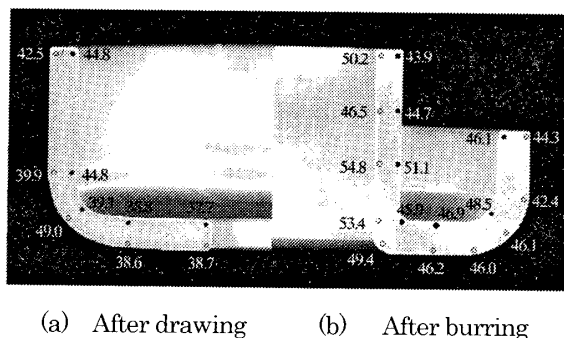


Fig. 14 Variations of Vicker's hardness in the part section

一般バーリングの場合下穴径 20mm では十分なボス高さが得られず、下穴径 10mm では 10mm 以上のボス高さが得られるが、周方向のひずみが被加工材の割れ発生限界の 0.8 を超える。

据込みバーリングでは、被加工材の割れ発生限界内ではボス高さ 13 mm 程度しか得られない。

本報で提案する押しバーリング加工法の場合、被加工材の割れ発生限界を超えることなくボス高さ 45mm 程度まで可能である。

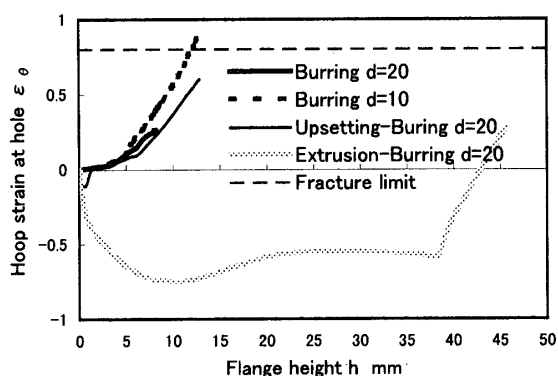


Fig. 15 Relationship between flange height and hoop strain of flange edge

図 16 に各複合バーリング加工法のボス部断面写真を示す。(a) のバーリング加工法は、巻き込み欠陥が発生するためリストラッキング工程を省いた。(b) の据込みバーリング加工法および (c) の押しバーリング加工法は、リストラッキング後の写真である。本報で提案する押しバーリング加工法が、高いボスと共に均一な肉厚に整形されることがわかる。ただし、この結果は、最初に目標設定した図 1 の形状に対してであり、各寸法比が大きく異なる場合については、検討を必要とする。

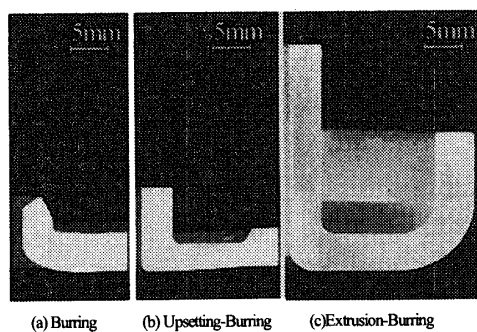


Fig. 16 Product profile by burring, upsetting-burring and extrusion burring

たとえば、本加工法ではボス径に対し押し部の直

径が大きくなると、加工荷重が大幅に増大すると予想される。今後、ボス径や板厚および押し直径を変化し、本加工法の優位性について検討する予定である。

3. 結 言

回転機能部品の支持部であるボス形状を成形する場合ボス部への材料供給が重要であり、比較的高さの低い形状であればバーリングや据込みバーリングで十分であった。しかし、高いボス形状や一般部から軸の両側へ伸びたボス形状を成形する場合には、本研究で提案する押しバーリングが優れた複合加工法であることが示された。また、FEM 解析と実験を通して、本加工は次のような特徴を持つことがわかった。

- (1) 本研究の目標形状に対し、ボス部への材料供給が、外周部からの被加工材の押し出しによって、被加工材の割れ発生限界を超えることなく比較的小さい加工力で実現できる。
- (2) 押し出し工程では、加工応力の小さい順に、被加工材の不整部分が金型形状に合わせて整形され、次いでボス部増厚およびボス部立ち上げが複合して行われる。この際、被加工材の外周端部から内周端部まで全体に渡り塑性変形が発生するため、全体強度が向上し部品の軽量化に寄与する。
- (3) バーリング工程は、押し出し工程でボス部の立ち上げ形状が成形されるため、しごき加工に近い成形となっている。押し出し量が過剰になるとボス部根元部での引張り破断が発生する。

参 考 文 献

- (1) 福岡哲男, 山口直人, 特開平 7-155883.
- (2) 前田昭宏, 荒木邦彦, 塑性と加工 39-445(1998), 106-110.
- (3) 金光俊明, 小田一幸, 特開平 5-245566.
- (4) 水野高爾, 北村憲彦, 笠井厚, 第 50 回塑性加工連合講演会論文集(1999), 15-16.
- (5) 小坂田宏造, 金炫琪, 塑性と加工 39-454(1998), 1107-1111.
- (6) 長尾雅人, 水野高爾, 北村憲彦, 笠井厚, 第 51 回塑性加工連合講演会論文集(2000), 201-202.
- (7) 平澤勝芳, 堂田邦明, 王志剛, 横山尚来, 平成 13 年度塑性加工春季講演会論文集(2001), 45-46.
- (8) 平澤勝芳, 堂田邦明, 王志剛, 横山尚来, 平成 13 年度塑性加工春季講演会論文集(2001), 47-48.
- (9) 平澤勝芳, 堂田邦明, 王志剛, 横山尚来, 機論 C, 68 巻, 671 号.