

Incremental Sheet Metal Forming of Micro Shell Parts

○正 田中繁一 (静岡大) 正 中村 保 (静岡大)
 正 早川邦夫 (静岡大) 正 窪田正義 (静岡大)

Shigekazu TANAKA, Shizuoka University, Johoku 3-5-1, Hamamatsu, Shizuoka
 Tamotsu NAKAMURA, Shizuoka University
 Kunio HAYAKAWA, Shizuoka University
 Masayoshi KUBOTA, Shizuoka University

The forming process of millimeter or submillimeter shell parts using incremental sheet metal forming technique was tested. The formability of aluminium, copper and stainless steel foils into quadrangular pyramid-shaped shell parts were examined. In this process the pinhole defects were formed in the steeper wall and thin workpiece. In order to prevent the defect, new tool path in which the local strain concentration is controlled was proposed. By this tool path the steeper wall was formed successfully.

Key Words : Forming, Incremental Forming, Shell, Micro part, Foil

1. 緒言

最近、逐次的な塑性加工により製品を得るインクリメンタルフォーミングが盛んに研究されている。一方、マイクロマシンあるいはミリマシンが注目され、これを實現する加工法に対する関心が高まっている。しかし、この分野における塑性加工の適用例は少ない。

本研究は、ミリあるいはサブミリオーダーのシェル状部品のフレキシブルな逐次成形法を確立することを目的とする。本報告ではまず従来方式のインクリメンタルフォーミングと既存の金属極薄素材を用いてミリ部品の成形を試み、素材の小型化と薄肉化に伴う問題点などを明らかにするとともに非等高線工具パスによるひずみ分布制御を提案しその可能性を確認した。

2. 成形プロセス

本研究では、小型棒状工具の運動軌跡包絡面により製品形状を得る Fig.1,2 に示す方式のインクリメンタルフォーミング^{1)~3)}を採用する。成形実験において、素材はXYテーブルに固定され、独立するZテーブルに取付けられた先端半径0.5mmの球頭ポンチにより加工を行う。素材は、純銅、純アルミニウムおよびステンレスSUS304の圧延材の焼きなまし材で、板厚は10~100μmである。素材は一辺20mmの正方形で、10mm角の窓

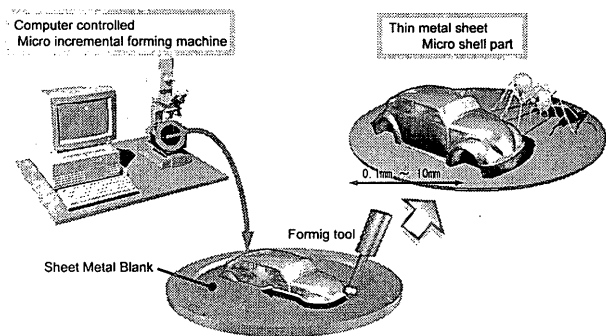


Fig.1 Micro-incremental sheet metal forming

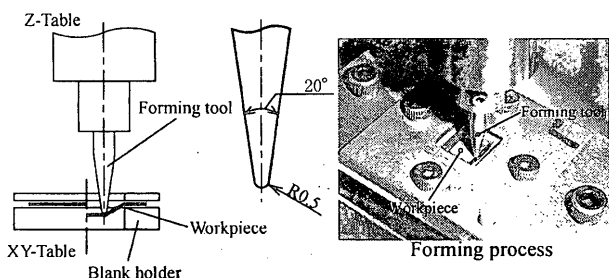
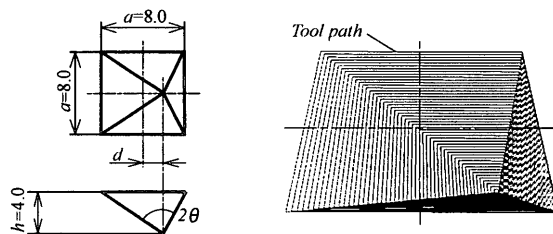


Fig.2 Experimental setup



(a) Shape of product (b) Tool path (1)
 Fig.3 Shape of final product and tool path (1)

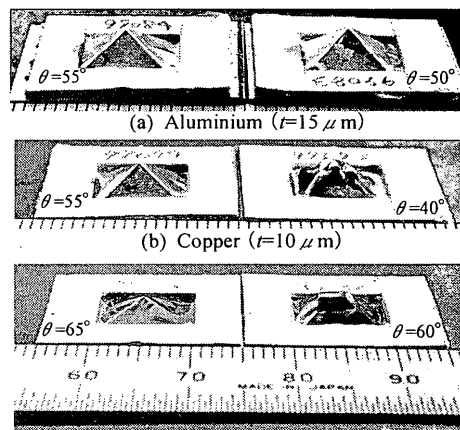


Fig.4 Formed pyramid-shaped shells ($d=0.0$)

をもつ治具で固定される。成形時には二硫化モリブデンを素材に噴霧塗布した。

3. 従来の等高線プロセスによる成形例と問題点

Fig. 3, 4 は従来用いられている等高線工具パスとそれによる成形の結果である。工具は初期素材平面を基準とする等高線に沿って外から中心に向かって周回移動し1パスで製品を完成する。製品形状は Fig. 3(a) に示す四角錐である。XY 投影面における等高線間隔は $50\mu\text{m}$ である。Fig. 4 はアルミニウム、銅およびステンレスの成形例で、右例は成形中に四角錐壁が破断した例である。アルミニウムと銅では工具運動がほぼ忠実に製品形状に反映されているが、板厚が大きいステンレスの場合では加工系の剛性不足のために製品形状が四角錐から逸脱している。Fig. 5 は四角錐の半頂角 θ を変数として成形の可否を示したもので、 θ の増大と板厚の減少とともに成形が不可能となる。

また、外見上は成形が成功している $\theta=40^\circ$ (Al, $t_0=15\mu\text{m}$) では、Fig. 6(a) に示す多数のピンホールが存在する。Fig. 5(b) はその SEM 写真であるが、平滑であった素材表面は粗くなり各所で破断している。

4. 非等高線工具パスによるひずみ分布の制御

Fig. 7(a) に示すように規則マークを素材に描画してその変形を調べると、変形様式は shear spinning 類似の sin 則にはほぼ従っていることが確認できる。したがって、Fig. 8 のように錐頂点位置を偏心させた場合には勾配が

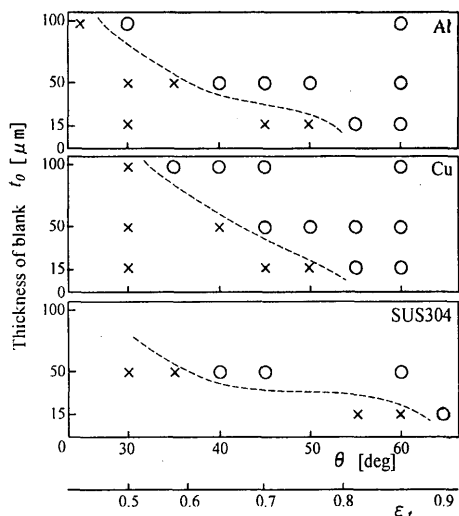
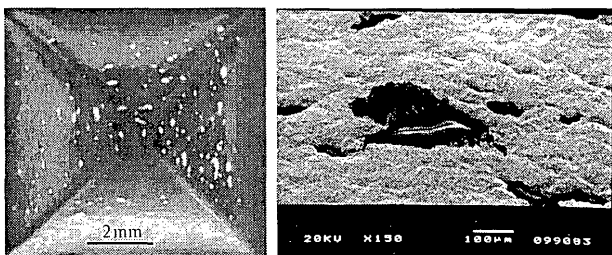


Fig.5 Formability of quadrangular pyramid



(a) Bottom view of workpiece (b) SEM view of pinhole

Fig.6 Pinhole defects

急な側の壁が薄肉化して破断する。この破断あるいはピンホール欠陥を防ぐには対向する壁の材料を移動して薄肉化を補填する必要がある。

sin 則における変形様式を、工具周回パス平面群に垂直に材料が移動すると解釈すれば、周回パス平面を適切に制御すれば素材を急勾配壁へ移動できるはずである。Fig. 9(a) の工具パス (2) ははその 1 例で、走査面を平面に維持したまま錐頂角二等分線に垂直方向へ傾斜させる。Fig. 9(b) はその結果で、成形が達成されている。

5. まとめ

- (1) 金属極薄板のマイクロインクリメンタルフォーミングにおいては、加工系の剛性不足による形状不良、製品表面の肌あれとピンホール欠陥が問題となる。
- (2) 工具パスを非等高線化して sin 則に基づき材料流動を制御することにより製品壁の薄肉化を分散させることができる。

参考文献

- 1) 北澤ほか, : 塑性と加工, 35-406(1994), 1348.
- 2) 松原, : 塑性と加工, 35-398(1994), 256.
- 3) 井関ほか, : 機論 C, 58-554(1992), 41.

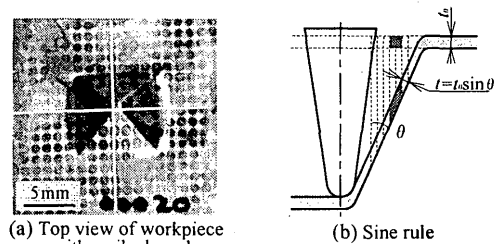


Fig.7 Material flow by sine rule

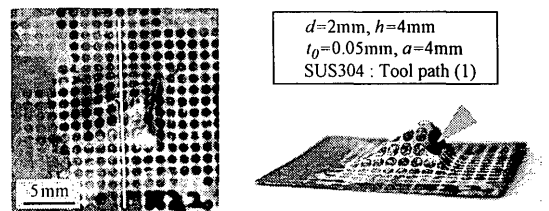
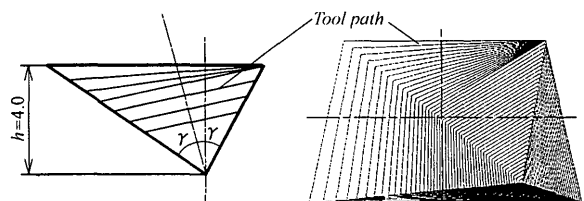


Fig.8 Modified quadrangular pyramid



(a) Modified tool path (2)

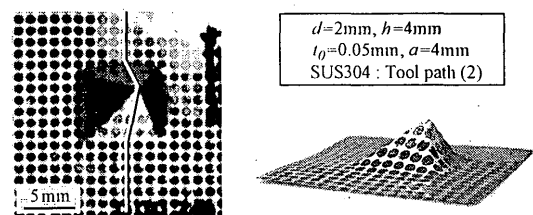


Fig.9 Formed products by tool path(2)