

圧電素子駆動による鍛金加工に関する研究

神奈川大学 機械工学科

助手 笹田 昌弘

(平成 15 年度奨励研究助成 AF-2003025)

キーワード：鍛金加工, NC フライス盤, インクリメンタルフォーミング, 圧電素子

1. 研究の背景と目的

現在, 金属薄板の立体形状成形には深絞り成形や張出し成形が多く用いられている. これらの殆どは金型を用いた加工であり, 生産性と再現性に優れているが, 成形自由度に乏しい. 一方, 多種少量生産の観点から生産性を犠牲にしても, 特定の金型を使用せず多様な成形を可能にする「インクリメンタルフォーミング」への期待が大きくなってきている. インクリメンタルフォーミングとは, 単一の工具を移動させながら行う加工方法であり, 成形自由度が高い加工法である. 鍛金加工はインクリメンタルフォーミングの一つであり, ハンマーにより板材を叩いて伸ばし, 叩く位置を変えながら加工を行う方法である. 汎用 NC フライス盤により叩く位置を制御することで, 鍛金加工を行うことができれば, 鍛金加工を容易に行うことができ, 有益であると考えられる. これまでの鍛金加工に関する研究では, 鍛金加工の数値制御化が検討されている¹⁾. また, ハンマーの叩き方に対する局所部分の変形挙動などが検討されている²⁾. しかしながら, 汎用 NC 加工機を利用する加工方法についての検討は行われていないようである.

本報告では, 汎用 NC フライス盤を用いて鍛金加工を行うことを目的とし, ハンマーの試作及び汎用 NC フライス盤を利用した鍛金加工による成形結果を報告する.

2. ハンマーの試作

2.1 ハンマー

鍛金加工により立体形状の創成を行うためには, ハンマーを移動させながら材料を繰り返し叩くことが必要となる. つまり, ハンマーの移動及びハンマーにより材料を叩く運動の 2 つが求められる. ハンマーの移動は, 汎用 NC フライス盤のスピンドルヘッドにハンマーを取り付けることで可能となる. 一方, ハンマーにより材料を叩く運動に関しては, 圧電素子の伸縮を利用する. 圧電素子を利用することにより, ハンマーを小型化することができる. また, 圧電素子に印加する電圧波形を変化させることでハンマーの発生力及び材料を繰り返し叩く速度を容易に変化させることも可能となる. しかしながら,

圧電素子により発生するひずみは微小であり, ハンマーと被加工材の間に隙間がある場合などには, 被加工材にハンマーが当たらなくなることが考えられる. そこで, 打抜き加工などへ圧電素子を適用した研究³⁾を参考にし, 変位拡大機構を利用することとした. 圧電素子により発生したひずみを変位拡大機構により増幅しハンマー先端を運動させる方法である. 試作したハンマーを図 1 に示す. 上部が拘束されているため圧電素子は Z 軸のマイナス方向に膨張し, C 部が Z 軸のマイナス方向に移動する. これにより, a'' は a' を支点として回転運動することになる. つまり, A 部は回転運動することになる. 同様に B 部も圧電素子の膨張により回転運動することになる. A 部及び B 部が回転運動することで D 部は直動しながら Z 軸のマイナス方向に移動する. 材料を叩くためのピンを D 部に取り付けることで, 鍛金加工のハンマーとして利用する. D 部に取り付けたピンの先端は R0.5 の球状になっており材質は硬鋼線材 (SWRH42A) である. 変位拡大機構の材質は S50C である. 使用した圧電素子は, TOKIN 製の NLA-10×10×18 であり, 2 個を直列にして使用した. 圧電素子 (TOKIN 製の NLA-10×10×18) の特性を表 1 に示す.

2.2 ハンマーの特性

試作したハンマーの特性を把握するため, 圧電素子に印加した電圧と D 部の変位及び発生力の関係を調べた. 図 2 に示されるように荷重計 (日本電気三栄株式会社製) を設置し印加電圧と発生力の関係を調べた. 発生力の測定に関しては, ハンマーのピン先端と被加工材の間の隙間の発生力への影響を調べるため, 先端部 D と荷重計の間の初期隙間 h の発生力への影響も確認した. また, ハンマーの先端に非接触変位計 (株式会社電子応用製) を設置し, 印加電圧と発生変位の関係を調べた. 図 3 にハンマーの変位及び発生力と印加電圧の関係を示す. 1 個の圧電素子に 100V 印加した場合に発生するひずみが 15 μ m であるのに対し, 変位拡大機構を用いることにより, 90V の電圧を印加することで 250 μ m の変位が発生している. 一方, 荷重に関しては, 同じ電圧を印加した場合, 初期隙間が小さいほど発生する荷重が大きいことがわかる.

3. 鍛金加工

3.1 加工装置

試作したハンマーを汎用NCフライス盤のスピンドルヘッドに取り付け鍛金加工を行った。加工装置の概略図を図4に示す。ハンマーとサポートアームを小型NCフライス盤(ローランド社製 CAMM-3)のスピンドルヘッドに取り付けることで、Z方向に移動させながら加工を行う。サポートアームには、ハンマーの先端と同様に先端が球状(R1)であるピンを取り付けた。つまり、サポートアームに取り付けられたピンの先端の上でハンマーの先端に取り付けたピンにより被加工材が叩かれることになる。被加工材は、中心に直径40mmの穴をあけた2枚の拘束板(材質S45C:100×100×5mm)により挟むことで固定し、XYテーブルに設置した。小型NCフライス盤のXYテーブル

の移動を制御することで、被加工材のXY方向への移動を制御する。なお、加工開始前のハンマーのピンの先端と被加工材までの距離が0.05mmとなるように設定した。

ハンマーにより被加工材を叩く際、サポートアーム及びサポートアームに取り付けられているピンの変形が小さいことが重要である。そこで、サポートアーム及びピンに関する弾性有限要素解析を行い、サポートアーム及びピンの形状を決定した。有限要素解析により得られた結果より、ピンの先端に200Nの力が作用した時、ピン先端の移動量は約0.06mmである。

以上のようにハンマー、サポートアーム及び拘束板を汎用NCフライス盤に取り付け、Gコードによりスピンドルヘッド及びXYテーブルの移動を制御することで逐次成形を試みた。

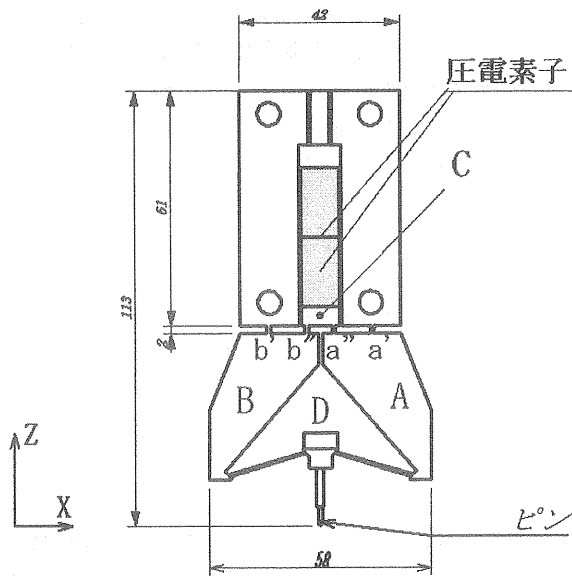
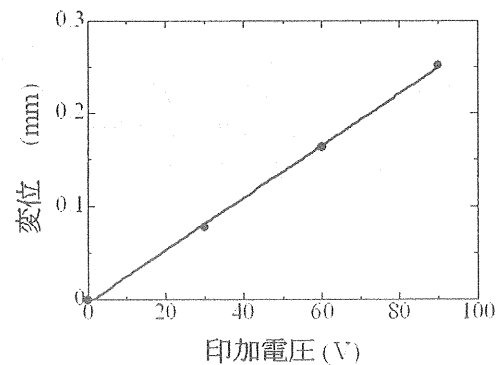


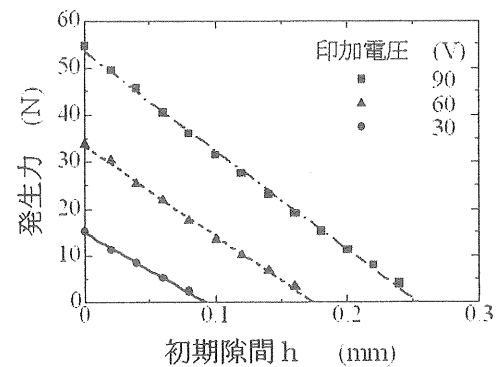
図1 圧電素子を内蔵したハンマーの概略図

表1 圧電素子の特性

寸法	10×10×18 mm
容量	6.5 μ F
変位	15 \pm 10% μ m / 100V
発生力	3430 \pm 10% N / 100V



(a) 印加電圧と変位の関係



(b) 印加電圧と発生力の関係

図3 ハンマーの特性

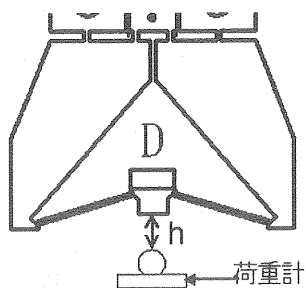


図2 発生力の測定方法

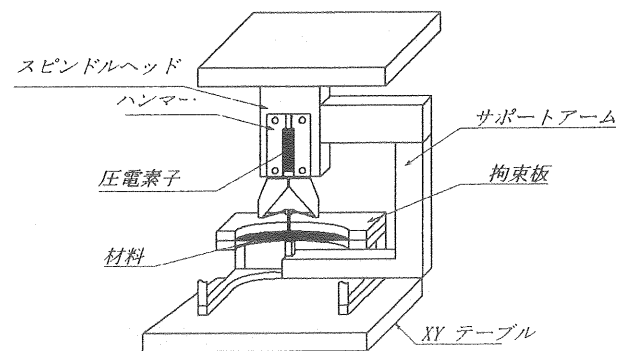


図4 加工装置の概略図

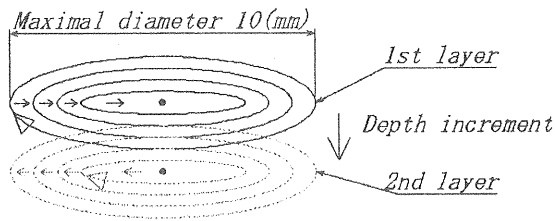


図5 ツールパス

表2 加工条件 (目標形状: 円筒形)

印加電圧 (V)	80
周波数 (Hz)	5
半径方向増分 (mm)	0.25
深さ方向増分 (mm)	0.2

表3 加工条件 (目標形状: ドーナツ及び半球形状)

印加電圧 (V)	80
周波数 (Hz)	5
半径方向増分 (mm)	0.1
深さ方向増分 (mm)	0.1

3.2 成形方法と成形条件

被加工材には厚さ 0.1mm, 85mm×85mm の銅の板材 (JIS:C1020P 1/4H) を使用した。

まず円筒形状の成形を試みた。加工条件を表2に示す。圧電素子への印加電圧は、周波数 5Hz のサイン波形により与えた。図5に示すようなツールパスを設定した。各半径増分ごとに円を描きながら、円筒の最外径より中心方向に移動させ、深さ方向へ移動した後、円筒の中心より最外径方向に移動させるツールパスを繰り返すことで加工を行った。

また、半球形状とドーナツ形状の成形も試みた。半球形状とドーナツ形状の成形における加工条件を表3に示す。ドーナツ形状の加工におけるツールパスに関しては、まず外径 10mm, 深さ 3mm の形状を加工する。続いて加工された内側を直径 5mm の円筒状に成形しながら深さ 0mm の位置まで戻る経路をとる。半球体は徐々に直径を小さくしながら深くして成形する。

加工後の製品の形状は、ミットヨ製の形状測定器 (CV-500) 形状測定器により測定した。

3.3 実験結果

直径 10mm 深さ 3mm の円筒形状を目標形状としてツールパスを設定して成形された成形品の形状を図6に示す。また、形状測定器により計測した結果を図7に示す。目標形状とは寸法がやや異なるが、成形された形状は円筒形状になっている。円筒の先端部分A (図7参) は基準とした形状に近い形状が成形されているが、円筒の根元部分B (図7参) に近づくにつれて基準の形状と異なることがわかる。

鍛金加工により成形されたドーナツ形状の成形品を図

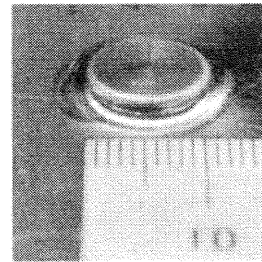


図6 円筒形状の製品 (外径: 10mm)

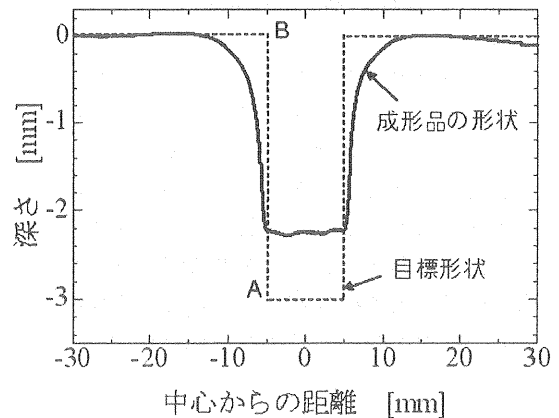


図7 成形品形状と目標形状の比較 (円筒形状)

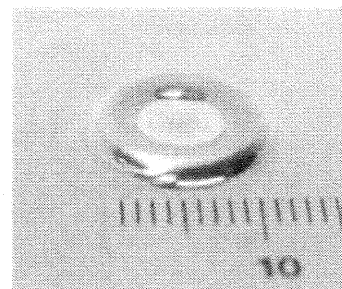


図8 ドーナツ形状の製品 (外径: 10mm, 内径: 5mm)

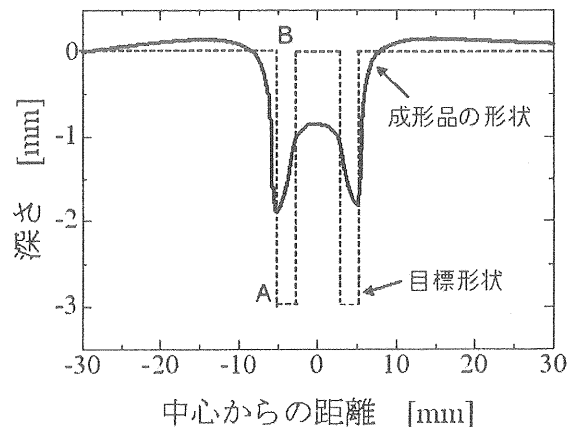


図9 成形品形状と目標形状の比較 (ドーナツ形状)

8に示す。また、目標形状と成形品の形状を測定した結果をあわせて図9に示す。目標形状とは大きく形状に違いが見られるが、成形品の形状でも中心付近が外径付近に比べ盛り上がっている。このことから、ツールパスや叩き方の工夫などにより、製品の寸法精度の更なる向上が望まれるが、中心付近を外径付近よりも盛り上げるのが本加工法では可能であると考えられる。

図10及び図11に半球形状の成形品を示す。直径9mmの半球形状を目標形状として加工した場合、成形された製品の深さは4.49mmであり、設定値(4.5mm)とほぼ同じ値が得られた。

以上より、本研究で用いたツールパスにより角部を有するような凹凸の厳しい形状を成形するためには、局所的な材料を大きく引き伸ばすことが必要となり成形が困難になると考えられる。今後、ツールパスの検討及び加工装置の改良により、さらなる製品の寸法精度の向上が望まれる。一方、球形のように角部を有さない形状を成形する場合には、局所的な材料を大きく引き伸ばす必要がないため、目標形状に近い形状が成形可能であると考えられる。

4. 結論

NCフライス盤を利用して鍛金加工を行うことを目的とし、ハンマーの試作及び成形実験を行い以下の結論が得られた。

- 1) 圧電素子駆動によるハンマーを試作し、汎用NCフライス盤とともに用いて鍛金加工が可能であることが確認できた。
- 2) 本研究で試作した鍛金加工システムでは、目標形状によってはある程度の寸法精度で製品が得られるが、角部などを有する場合の加工では精度が低下する。今後、ツールパスの検討及び加工装置の改良により、さらなる製品の寸法精度の向上が望まれる。

参考文献

- 1) 中島尚正：鍛金加工の数値制御化、塑性と加工、20-223 (1979), 696-700.
- 2) 長谷部忠司・島進：ハンマリングによるフレキシブル成形法に関する研究、塑性と加工、35-406(1994), 1323-1329.
- 3) I. Aoki, M. Sasada, T. Higuchi, T. Yano: Development of Micro-Piercing System with Punch-Damage Monitoring System, J. Mater. Process. Technol., 125-126(2002), 497-502.

謝辞

本研究の実施にあたり財団法人天田金属加工機械技術振興財団の奨励研究助成を賜りましたことを付記し、謝意を表します。

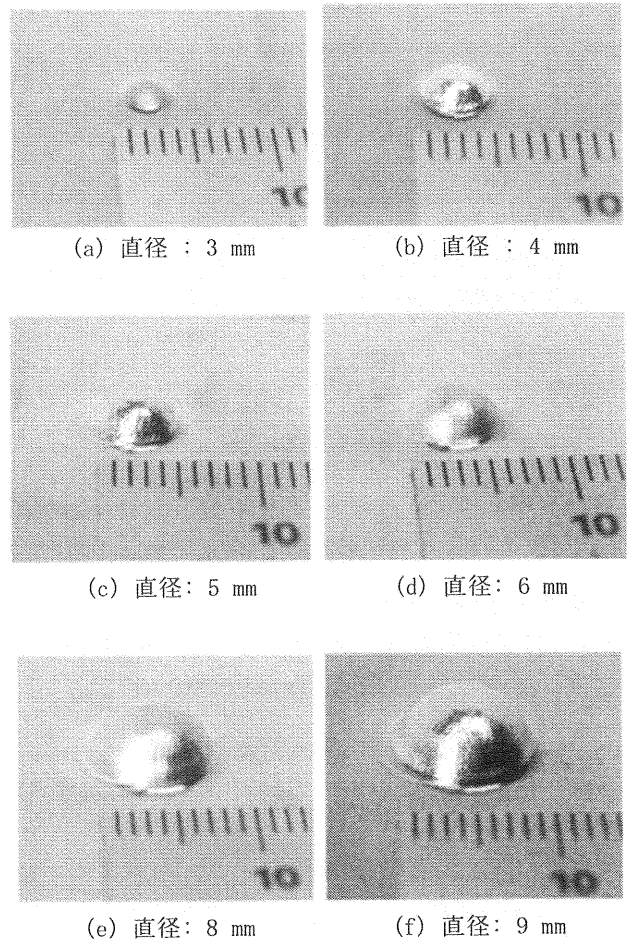


図10 半球形状の製品

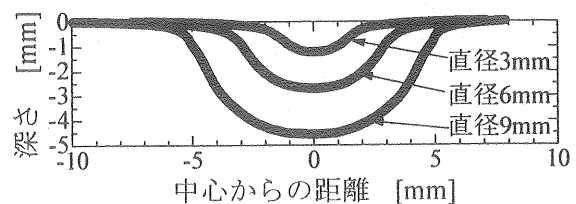


図11 成形品の形状 (半球形状)