

## 塑性変形型ラピッドプロトタイピングの開発 - 隅部修正のための工具姿勢の考慮 -

金沢大学 米澤真一, 浅川直紀, 平尾政利 長岡技術科学大学 田中秀岳

Development of a Forging Type Rapid Prototyping System

-Automation of a Metal Hammering Working-

Kanazawa university Shinichi YONEZAWA, Naoki ASAKAWA and Masatoshi HIRAO

Nagaoka University of Technology Hidetake TANAKA

This study proposes an automation of metal hammering system on the basis of CAD data and a trial development of a forging type rapid prototyping system. In this article, development of a CAM system for metal hammering is reported. A CAM having feed-back function considering tool posture by use of range finder is developed to improve a depth error and a shape error at corner part. From the experimental result, the system is found to have an ability to decrease the shape error by tool posture optimization.

### 1. はじめに

塑性加工であるプレス成形加工は、工業的には金型を用いて大量生産が行われる。しかし単品や試作品の場合、コスト、時間的に金型を用いるのは得策ではないため、多くの場合、熟練工による手作業に頼っているのが現状である。また同時にプレス成形加工は他品種少量生産の場合でも、切削加工などの他の加工に置き換えることのできない加工法でもある。

現在、プレス成形加工分野において、金型を用いずに加工を行ういくつかの加工法が考案されており、特にインクリメンタルフォーミング(逐次張出し成形法)が注目され、研究や実用開発が進められている<sup>1)</sup>。

本研究では、ハンマリングによる逐次成形加工に着目し、従来熟練工の手作業によって行われていた鍛金加工に対して、鍛金ハンマの動作を自動化するハンマリングユニットと鍛金加工に対応したCAMシステムの開発を行い、鍛金加工をCAD/CAMシステムを用いて数値制御化を行うことを目的とし、さらにラピッドプロトタイピング技術の新たな3次元造形法として塑性変形型造形法を提案してきた<sup>2)</sup>。しかし、変形加工である鍛金加工は、必ずしも工具軌跡と工作物の変形は一致しないため、工作物の変形の逃げや隆起を考慮し、ハンマを動かす順序や方向も加工対象形状よって的確に決めなければならないという問題が存在する。

本報では、ハンマリングによる鍛金加工の成形特性を考察するために鍛金加工用CAMを試作し、成形実験を行い、その造形物を三次元測定し、CADにより定義された形状との誤差を算出し、再加工することにより加工誤差を低減させるシステムを開発し、精度向上を図ることができたので報告する。

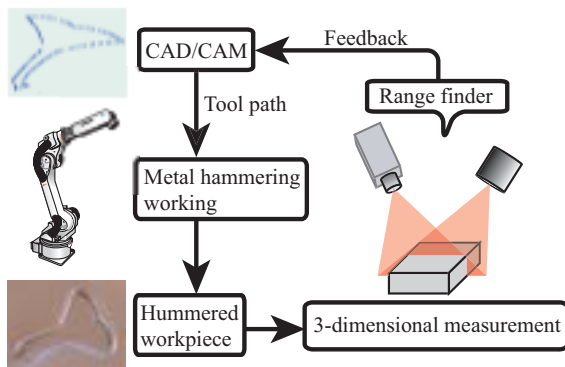


Fig.1 Configuration of the system

### 2. システム構成

本研究のシステム構成を図3に示す。ワークステーション(サン・マイクロシステムズ(株)Ultra 30(UltraSPARC-296MHz))上のCADシステムにより工作物の形状定義を行い、開発したCAMにより、ハンマの加工経路を生成した後、6軸ロボット((株)安川電機 MOTOMAN-HP6)ハンド先端に搭載したハンマリングユニットにより塑性加工を行う。得られた形状に対しレンジファインダを用いて三次元測定を行い<sup>3)</sup>、CADにより定義された形状との誤差を算出し、再加工を行う。

### 3. 塑性変形型造形法による加工誤差

本造形法には大きく分けて二つの加工誤差を引き起こす要因が存在する。一つは、サポート材の隆起の影響である。本研究では、図2(a)に示すような手法を用いて鍛金加工を行っており、金属板の下にサポート材として粘弾性樹脂を用いることによりフレキシブルな当て金の役割を果たしている。しかしその結果として、図2(b)に示すような隆起が発生してしまい、深さ方向の寸法誤差が増大する。またもう一つの要因として、図3に示すように、垂直壁を形成する際のハンマの姿勢が及ぼす加工誤差が考えられる。ハンマの姿勢が不適切であると、打撃力が分散し、またハンマが工作物を滑ってしまうため、目的の変化量が得られず、隅部において形状誤差が増大する。

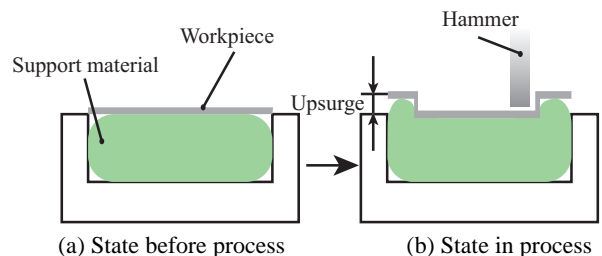


Fig.2 Metal hammering working process

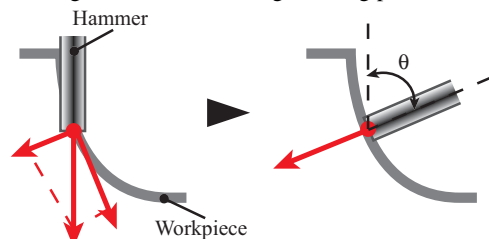


Fig.3 Posture of hammer when vertical wall is formed

#### 4. 隅部修正のための工具姿勢の考慮

##### (1) 深さ方向の寸法補正

本加工法では、ハンマによる1回の押し込み量を1mmとしており、図4(a)に示すように、CADにより定義した形状の深さを $Z$  mmとした場合、 $Z$ 個の層に分割し、層毎に加工する。鍛金加工を行うとサポート材の隆起が発生してしまうため加工誤差を考慮せず最終層まで加工した場合、相対的にCADで定義した深さ $Z$  mmを大きく超えてしまう。そこで、図4(b)に示すように、途中の層である、深さ $Z_T$  mmとなるべき層まで鍛金加工を行った後、三次元測定を行うことにより実際の加工深さを得る。これによって得られた深さを図4(c)に示す値 $Z_M$  mmとした場合、 $Z_M > Z_T$  となるため、次層の加工深さは $Z_M$  mmからとし、工具経路を補正する。再加工後、再度三次元測定を行い、CADデータと測定データの位置合わせを行った後、形状比較を行うことにより最終的誤差を確認する。

##### (2) 隅部における形状修正

隅部の誤差を含んだ工作物に対し三次元計測を行い得られた点群データをCAMへフィードバックする。CAM上では、測定データとCADデータとの間に発生した差分を埋めるように再加工用工具経路を生成する。

鍛金加工により垂直壁を形成するための工程には、図5に示すように、4通りの方法がある。板厚は打撃回数に依存し減少するため、上部から下部に向かって板厚は減少しているものと考えられる。鍛金加工では板厚の厚い部位から薄い部位に向かって形成することにより板厚の制御が可能であり、破断の危険を減らす事ができる。そのため、図5(c)に示す加工工程をフィードバックCAMの工具経路として採用することが最も望ましいと判断した。また、図2に示した通り、ハンマの打撃方向は加工面に対して垂直であることが理想であるが、 $\theta$ が大きくなると、ハンマリングユニットが工作物と干渉してしまい、逆に $\theta$ が小さいと、ハンマが滑りを起こしてしまう。そのため、ハンマと工作物との摩擦を考慮し、 $\theta=45^\circ$  で一定とした。

#### 5. 実験結果

図7はフィードバックCAMによる補正を行わずに加工した結果である。深さは約15.1mmまで達しており、約5.1mmの誤差が確認された。また、隅部は不明瞭であり、垂直壁は形成されていない。

図8は深さ方向に対する寸法補正を行い得られた最終形状を三次元測定したものと、CADによる定義形状とを比較したものである。深さ方向は約10.5mmと、若干の誤差は残ったものの、補正を行わなかった場合に比べ、大幅に改善されていることが分かる。しかし、依然隅部は不明瞭で、大きく誤差が生じている。

図9は隅部に対する形状補正用の工具経路を生成した結果である。三次元測定データから定義形状上の壁面に向かって、工

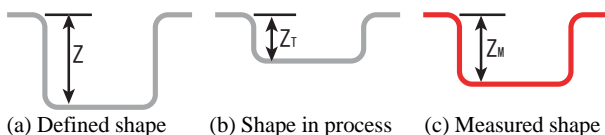


Fig.4 Method of re-processing path generation

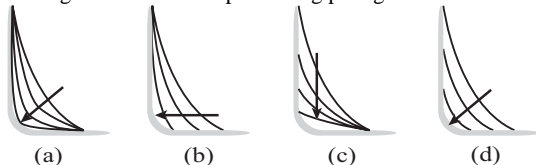


Fig.5 Types of procedure to form vertical wall

具経路が生成されている様子が分かる。また、ハンマの打撃方向を表すベクトル(工具ベクトル)は壁面に対し $45^\circ$  となっており、図5(c)に示した工具経路が生成されていることも確認した。また、加工結果を図11に示す。図10と比較すると、隅部の丸みが改善されており、より良好な隅部形状が得られることを検証できた。

#### 6. 結論

塑性変形型造形法による加工誤差を軽減する手法として、レンジファインダを用いたフィードバックCAMシステムを開発し、実験を行った。その結果以下の結論を得た。

- 1) 塑性変形型造形法に対し、三次元測定を用い、測定結果をフィードバックすることにより加工誤差を軽減する手法を提案した。
- 2) 三次元測定データとCADデータから誤差を算出するCAMを開発した。
- 3) 隅部修正のために工具姿勢を制御することで、より良好な隅部形状の成形品が得られた。

#### 参考文献

- 1) 日本塑性加工学会編：わかりやすいプレス加工，日刊工業新聞社，(2000)
- 2) 田中秀岳，浅川直紀，平尾政利，塑性変形型ラピッドプロトタイプングの開発研究-CADデータに基づいた鍛金加工の成形特性-，日本機械学会論文集C編71巻711号，(2005)214-219
- 3) 高杉敬吾，浅川直紀，田中秀岳，平尾政利，塑性変形型ラピッドプロトタイプングの開発研究-レンジファインダを用いたフィードバックCAM-，精密工学会春季大会学術講演会論文集，(2005)62。

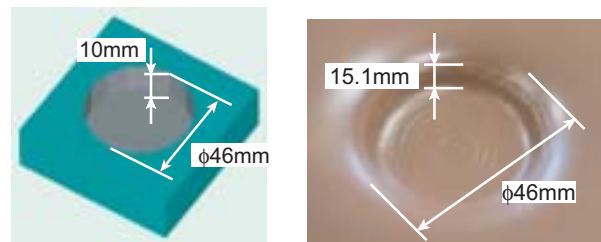


Fig.6 Defined shape Fig.7 Workpiece shape after hammering without compensation

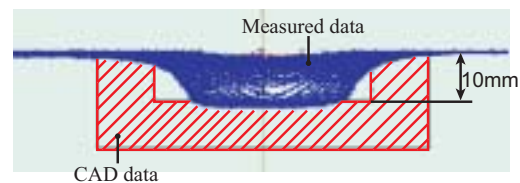


Fig.8 Workpiece shape after hammering with depth compensation

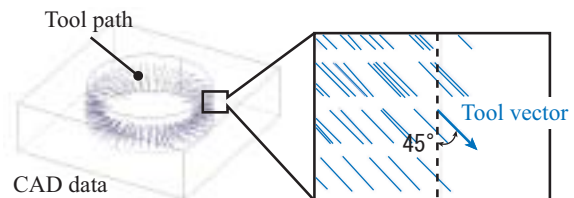


Fig.9 Tool path with vertical wall compensation



Fig.10 Hammered workpiece with fixed posture



Fig.11 Hammered workpiece with optimized posture