

塑性変形型ラピッドプロトタイプングシステムの開発 (下死点固定形ハンマリングユニットの開発)

○小林正弥, 金沢大学 ◎浅川直紀, 高杉敬吾

要旨

本研究ではハンマリングによる逐次成形に注目し自動鍛金システムを開発してきた。鍛金の自動化のためにハンマの動作を装置ハンマリングユニットを開発し用いてきた。しかし、既存のハンマリングユニットは構造的な問題から工作物の成形誤差につながる可能性があった。本研究では既存のハンマリングユニットの問題を解決したハンマリングユニットを開発し、加工実験を行い成形性の評価を行った。

1. 緒言

塑性加工の分野では、金型製作にかかるコスト削減や試作品の製作期間短縮のために金型レス加工が研究されており、近年ではインクリメンタルフォーミング（以下 IF）が注目され研究が進められている¹⁾。本研究ではハンマリングによる逐次成形加工（インクリメンタルハンマリング、以下 IH）に着目し、鍛金加工の動作を模したハンマリングユニットを開発し、産業用ロボットやマシニングセンタを用いた自動鍛金加工システムと鍛金加工に対応した CAM システムを構築し鍛金加工によるラピッドプロトタイプング技術を開発してきた²⁾。しかし、これまで用いてきたハンマリングユニットは十分な成形精度が得られない問題があった。図 1 に既存のハンマリングユニットの構造を示す。カムによりばねを圧縮し、カムがハンマから外れるとバネ力によりハンマを加速落下させストップによりハンマの到達する点である下死点が決まる構造であった。そのため工作物の変形抵抗がばね力を上回るとハンマがストップより前で止まるため、下死点が設計値に達しなくなり工作物の成形誤差につながる可能性があった。そこで本研究では既存のハンマリングユニットの問題点を改善することを目的とし、毎秒約 100 回の打撃が可能でストローク量が常に一定となる下死点固定形のハンマリングユニットの開発を行った。またそれを用いた加工実験及び評価を行った。

2. システム構成

2.1 概要 本システムはハンマリングユニット、サポート治具、3 軸マシニングセンタ、PC により構成される。ハンマリングユニットはマシニングセンタのスピンドルに取り付ける。PC 上で定義形状から工具経路、NC プログラムを生成しマシニングセンタでハンマリングユニットの位置決めを行い工作物を目的形状に成形する。工作物は図 3 に示すサポート治具により 4 辺をホルダーとベース間に挟み込み固定する。

2.2 ハンマリングユニット 本研究によって新たに開発したハンマリングユニットの 3D モデルを図 2 に示す。ハンマリングユニットは主に DC ブラシレスモータ、カム、バネ、カムフォロワ、ハンマにより構成される。動作原理は 7 つの凹凸を持つ特殊形状のカムをモータにより回転させる。カムフォロワはバネ力によりカム外周面と常に接しカムの回転に合わせて上下動する仕組みとなっており、工作物の変形抵抗にかかわらずカムの山により強制的にハンマが押し下げられるため下死点が固定される。

カム形状はカムフォロワが滑らかにカム外周面を追従するようにサインカーブを円弧上に配置した形状（図 4）を採用し、以下の式で表される。

$$\begin{cases} x \\ y \end{cases} = (r + A \sin(n\phi)) \begin{cases} \cos \phi \\ \sin \phi \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 r はカムのピッチ円半径、 A は片振幅、 n はカムの山数

をそれぞれ示す、このときハンマのストロークは $2A$ となる。本研究では従来のハンマリングユニットのハンマ打撃力 150N と加最大毎秒 100 回の打撃数を達成するためカムのピッチ円半径を 30mm、山数 7 個、ストローク 2mm とした。

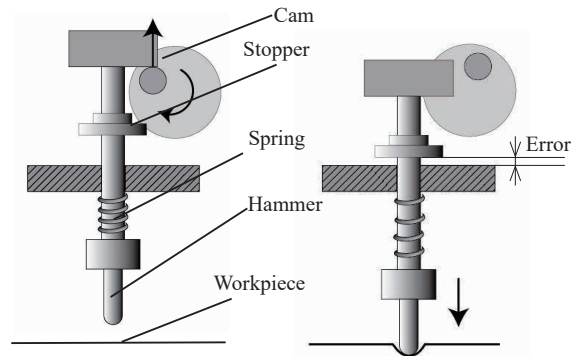


Fig.1 Schematic model of conventional hammering unit

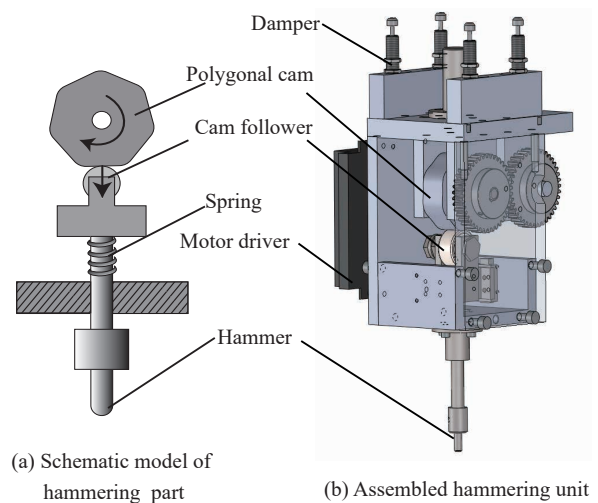


Fig.2 Model of developed hammering unit

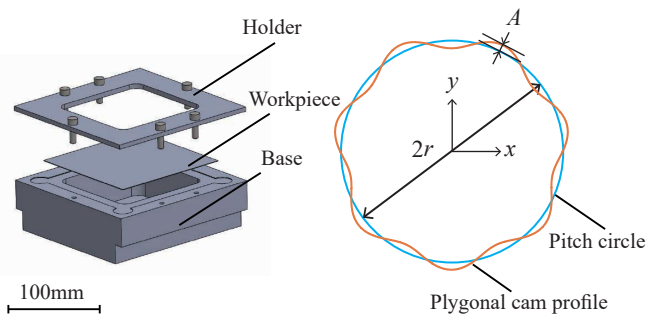


Fig.3 Support jig

Fig.4 Polygonal cam profile

3. 実験

開発したハンマリングユニット有効性を確認するため半径20mmの半球をIHとIFにより加工し比較した。また加工した工作物の形状、歪み分布を計測し図6(a)及び図7(a)に示す従来のハンマリングユニットによる実験結果と比較した。加工素材は板厚0.5mmのA1050平板でハンマリングユニットの送り速度は600(mm/min)、ハンマの打撃数は $70(s^{-1})$ とした。加工経路は10ステップに分かれており、各ステップは球の外側から内側へ渦巻き状に向かう経路となる。各ステップ間は楕円形に補間される。

4. 結果と考察

図5(a)(b)に実際に加工した工作物の写真、図6(b)(c)に各工作物の歪み分布を示す。図5(a)(b)からIH、IF共に破断、亀裂はなく成形できたことが確認できる。図6(b)(c)の歪み分布に関しても両者に目立った違いは無かった。図6(b)は図6(a)と同様の歪みが得られると考えたが既存のハンマリングユニットによる加工ほど大きな歪みは得られなかった。これはハンマの速度が従来のハンマリングユニットに比べて遅く衝撃荷重でなく準静的荷重となっていたことが考えられる。次に図7に工作物の形状上測定結果を示す。図7(b)(c)ともに成形精度に差は見られませんが、既存のハンマリングユニットによる加工(図7(a))と比べると僅かに成形精度の改善がみられた。半球の深さは両者とも20mmに達しておらず15~16mm程度であった。加工は工作物の中心付近で工作物とハンマが接触する点を工作物の原点として行った、加工中工作物は4辺を固定されているが中心付近はハンマが押し付けられる力によりたわむ、そのため実際に工作物の塑性変形が原点以下から始まったためだと考えられる。両者の違いは図5(c)(d)に示す加工面に見られた、IHによる加工では加工面の半球外縁部に、IFによる加工では半球中心部に擦過痕が見られた。IHではハンマの上下動によりハンマの側面が工作物と擦れることで生じたと考えられる。IFでは加工中、常に工具が工作物と接触している。加えて、半球中心部ほどハンマと工作物の接触面積と工作物変形量が大きくなり、ハンマと工作物の間の摩擦が大きくなったため生じたと考えられる。

5. 結言

本研究により下死点固定形のハンマリングユニットの開発及び実験により以下の結論を得た。

- (1) 開発したハンマリングユニットにより工作物の成形が可能であることを確認した。
- (2) 従来のハンマリングユニットによる加工に比べ若干の成形精度の改善が見られた。
- (3) IHとIFの加工に関して、加工面に発生する擦過痕の位置に違いがみられた。
- (4) 形状、加工経路等を変えインクリメンタルハンマリングとインクリメンタルフォーミングの成形性の違いをより詳細に検証する必要がある。

参考文献

- (1) 鈴木信行 佐野利幸:「チタン合金板材の局部加熱を用いたインクリメンタルフォーミング法の開発」, Journal of the JSTP Vol.52 No.604
- (2) 高杉敬吾:「インクリメンタルハンマリング張出し成形に関する研究」, 日本機械学会論文集(C編)78巻795号(2012-11)

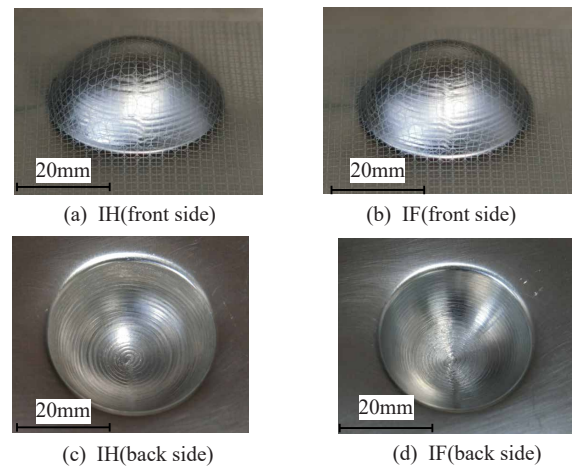


Fig.5 Comparison of machining result between IH and IF

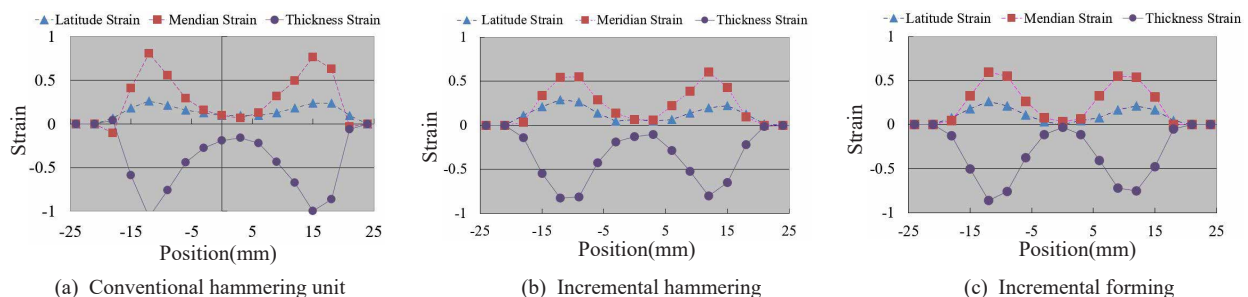


Fig.6 Strain distribution for experimental result

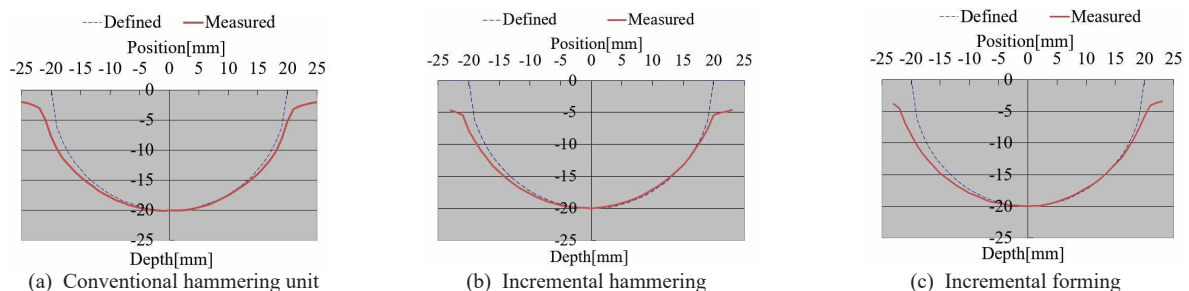


Fig.7 Profile measurement of experimental result