

塑性変形型 3D プリンターの開発 (局所加熱が成形性に及ぼす影響)

金沢大学 ○杉岡正晴 ◎浅川直紀, 高杉敬吾

要旨

金型レスの塑性加工の新たな手法として、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 6 自由度の産業用ロボットを用いて数値制御による 3D プリンティングシステムを構築してきた。本報では工作物の加工箇所を局所加熱することで特に角部における成形性の向上を図った。局所加熱による成形性の向上及び破断の減少が確認され局所加熱の有効性が示された。

1. はじめに

近年、もの作りの現場では試作品のコスト削減や製作期間短縮のために 3D プリンターを用いられることが増えている。また、塑性加工の分野では金型レス加工のインクリメンタルフォーミング (逐次張り出し成形法) が注目され研究が進められている¹⁾。これまでの研究では、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 6 自由度の産業用ロボットを用いて数値制御による鍛金加工システムを構築してきた。しかし従来の加工システムでは、加工硬化により加工途中の工作物の破断および定義形状と加工形状の誤差が生じてしまっていた。そこで本研究では工作物の加工箇所を局所加熱することで特に角部における成形性の向上を図ることを目的とし、円錐台形を対象に実験を行った。

2. システム構成

本システムの構成を図 1(a) に示す。CAD を用いて工作物の形状定義を行い、ハンマの加工経路を自作の CAM で生成した後、6 自由度垂直多関節型ロボット (FS60L, 川崎重工業 (株)) の

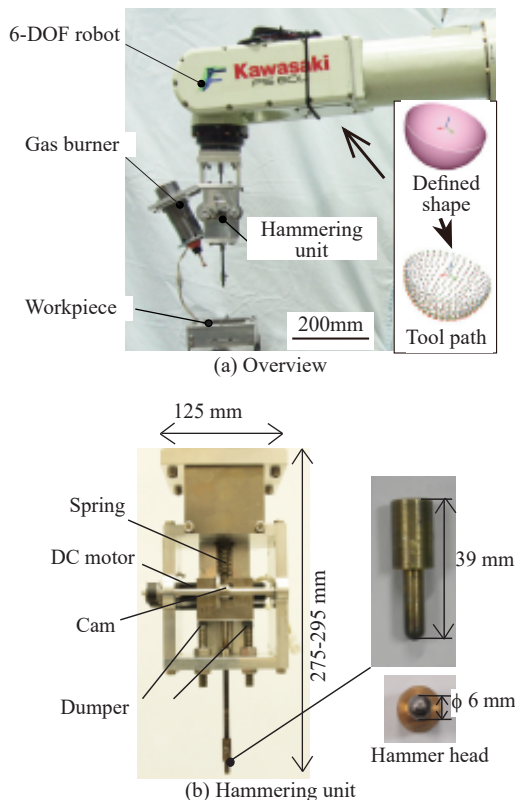


Fig.1 Experimental unit

ハンド先端に搭載された図 1(b) に示すハンマリングユニットにより加工を行う。局所加熱方法としてはガスバーナー (キャンピングスポットフラム, コールマンジャパン (株)) を用いた。工作物の固定方法としてはジュラルミン製のサポート治具を用い、ホルダとベースの間に工作物のフランジを挟むことでしわの発生を防ぎ固定する。

3. 局所加熱

塑性加工において、工作物を加熱して材料が再結晶温度を超えると焼きなまし効果により材料が軟化して延性が向上するため、熱間加工では冷間加工よりも大きい変形量が得られる。しかし本造形法のようなハンマリングによる加工では工作物全体が加熱されると加工箇所以外も変形しやすくなるため形状誤差が生じやすい。そこで図 2 に示すようにハンマが接する部分のみが再結晶温度以上になるように局所加熱すれば、加工箇所の成形限界を向上させることができ、かつ加工箇所のみが軟化するため形状誤差を小さくできると考えられる。逐次張り出し成形法に関する先行研究においても、局所加熱によって成形性が向上したという報告がある²⁾。実際に加熱すると、加熱中心点から距離が遠くなるにつれ温度が徐々に低下する温度分布となるため、加熱方法を工夫してなるべく加工箇所のみが再結晶温度以上になるように温度分布を制御することが求められる。

4. 実験方法

工作物にはアルミニウム A1050, 大きさ 125 × 120 mm, 厚さ 0.5

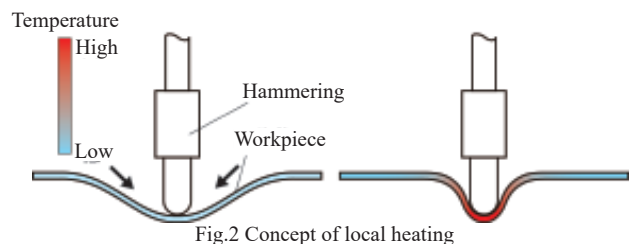


Fig.2 Concept of local heating

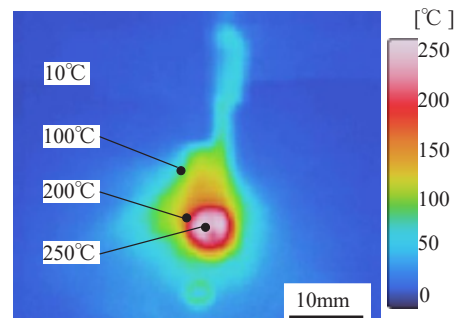


Fig.3 Distribution of temperature

mmの平板を用いた。その再結晶温度は約200℃である³⁾。予備実験として温度分布を確認した。図3に示すように、火口直径は7mmであり、ハンマの打撃点から半径10mmの範囲が200℃以上となる局所性を有している。加工実験の定義形状は半径20mm、深さ10mmで勾配60°と50°の二種類の円錐台形で実験した。加工経路を図4に示す。ハンマの打撃力は150N、終端速度は毎秒5m/s、送り速度は4mm/s、打撃数は毎秒5回である。工具姿勢は工作物に対して常に垂直とした。素板から最終形状に至るまでの過程を多層に分割した場合の各層をステップと呼び、図中1～10の番号はステップの加工番号順を示している。評価方法としてスクライブドサークルテストを行いひずみ分布を測定した。工作物の素板表面にはあらかじめスクライブドサークルパターンが印刷されている。本研究で用いた初期サークル径は直径3mmである。またプロファイルはレーザ変位計で測定した。測定範囲は円錐台形の直径が最大となる点を通る直線状の輪郭とした。

5. 実験結果

工作物の外観を図5、プロファイルを図6、ひずみ分布を図7に示す。図5(a)(b)に示した勾配60°の円錐台形では冷間加工、局所加熱共に9ステップ目で破断したため実験を中止した。これは経線ひずみが急激に増大し破断したと考えられる。図5(d)に示した勾配50°の局所加熱の形状を見ると加工部と未加工部の境界が図5(c)に示す冷間加工よりやや明瞭になっているが、両者ともたわんでいることが目視により確認できた。また、図6より、冷間加工と局所加熱共に角部が定義形状のように明瞭には現れなかった。これは鍛金加工では工作物を打撃すると打撃箇所が変形するだけでなくその周囲の材料を引き込む力も働き角部がたわみやすいためだと考えられる。ただし、図6より角部において局所加熱のほうが冷間加工より定義形状に近いことが分かる。これは加熱により局所変形しやすくなった結果だと考えられる。また、図7(b)の経線方向ひずみ ϵ_m をみると加熱によって加工部のみ急激にひずみが大きくなっており、これも加熱により局所変形しやすくなった結果だと考えられる。緯線方向ひずみ ϵ_l に関しては角部付近では正のひずみが生じているがその値は経線ひずみに比べて小さい。板厚ひずみ ϵ_t に関しては経線ひずみとは反対に加工部のみ減少している。また、局所加熱の方が板厚ひずみが加工部のみ急激に減少している。

以上の実験により局所加熱による成形性の向上が確認され、有効性が示された。

6. おわりに

塑性変形型3Dプリンターにおいて局所加熱を用いて加工を行い、以下の結論を得た。

(1) 同一の形状でも局所加熱で加工することで角部における定

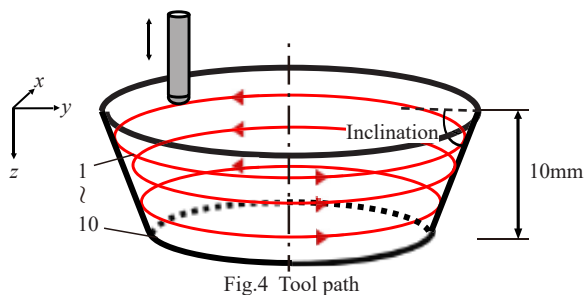


Fig.4 Tool path

義形状との誤差が小さくなる。

(2) 局所加熱によって加工部のみ急激に経線ひずみが大きくなり板厚ひずみが小さくなる。

参考文献

- 1) 鈴木信行 佐野利幸：「チタン合金板材の局所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 JSPT Vol.52 No.604
- 2) 日野隆太郎：「動的局所加熱逐次張出しによる難成形板材の成形加工」, 天田財団助成研究成果報告書, Vol.27, 2014
- 3) 森山勉, 吉田英雄, 土田信：「工業用アルミニウムの延性に及ぼすSiの析出の影響」, 軽金属, Vol139, No3, 184-189, 1989

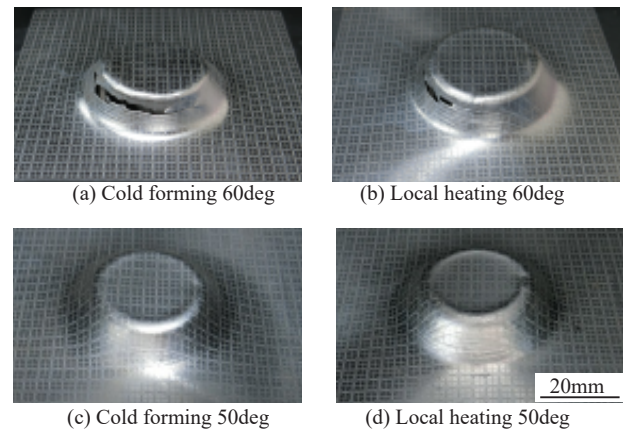


Fig.5 Workpieces after hammering

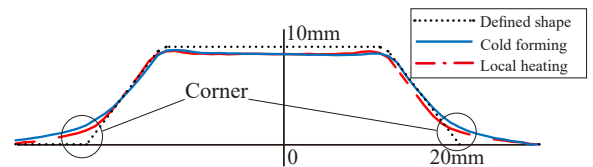


Fig.6 Profiles of workpieces

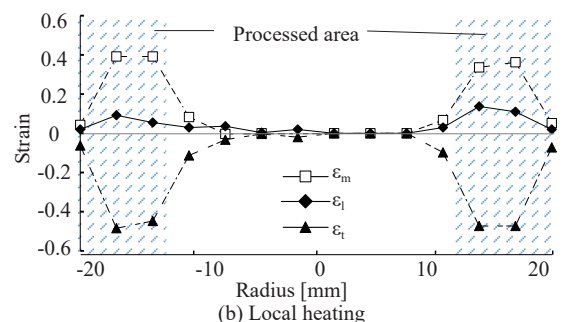
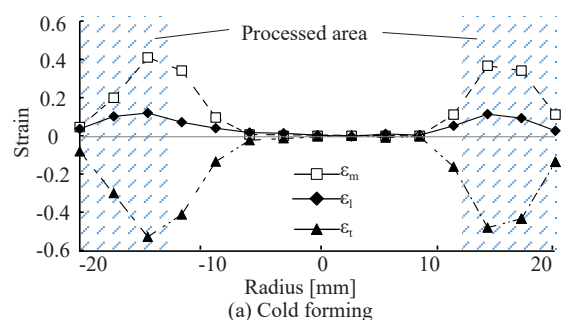


Fig.7 Strain distribution of workpieces