

## 塑性変形型ラピッドプロトタイピングシステムの開発 - 加熱領域と成形性の関係 -

金沢大学大学院 城野麻未, 高杉敬吾, 浅川直紀 長岡技術科学大学 田中秀岳

### Development of a Forging Type Rapid Prototyping System -Relationship between Heating Area and Formability-

Kanazawa University Mami JONO, Keigo TAKASUGI and Naoki ASAKAWA  
Nagaoka University of Technology Hidetake TANAKA

The study deals with forging type rapid prototyping system which automates metal hammering by use of an industrial robot. The system automates metal hammering by hammering unit using generated tool path on the basis of CAD data of a product. On the other hand, a hot processing which processes a sheet metal over the recrystallization temperature is granted to be useful to improve press forming. Therefore, we append heat gun to the system in order to allow the hot processing in the hammering. In this paper, the relationship between heating area and formability of workpiece in hot processing is reported using the system.

#### 1. 緒言

現在,塑性加工であるプレス成形加工の分野において,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)が注目され研究や開発が進められている。

本研究ではハンマリングによる逐次成形加工に着目し,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,定義形状と加工形状との間には誤差が生じており,その原因としてスプリングバックや加工硬化が考えられる。手作業で鍛金加工を行う際にも加工硬化が原因で加工が困難になる場合があり,それを抑制するために焼きなましという作業を行っている。そこで本研究では鍛金作業と焼きなまし作業を同時に行うことができる熱間加工を提案する。熱間加工は一般のプレス成形加工においてもスプリングバックを抑制する方法として有効とされているため本研究においても効果的であると考えられる。本報では熱間加工における加熱領域に着目し,工作物の成形性に与える影響について報告する。

#### 2. 熱間加工

熱間加工とは再結晶温度以上で加工することであり,焼きなまし効果により軟化と呼ばれる現象が起き,変形能が大きくなるとともに変形抵抗が減少し,加工が容易になる。

本研究では,工作物として厚さ0.5mmのアルミ板(A1050)を用い,A1050の再結晶温度である200℃以上の加工を試みる。

#### 3. システム構成

システム構成を図1に示す。本システムではまず,工作物の形状定義を行い,次に工具であるハンマの加工経路を生成した後,6自由度垂直直

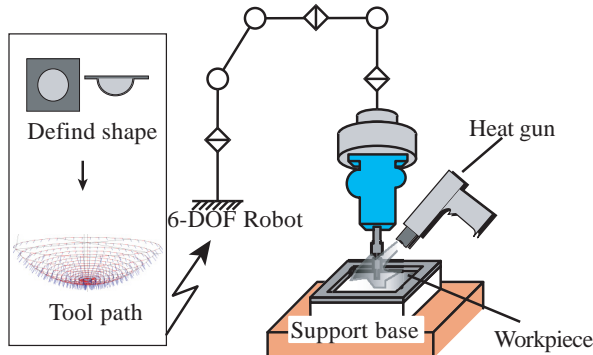


Fig.1 Configuration of the system

関節型ロボット(川崎重工業(株),Kawasaki robot FS60L)のハンド先端に搭載されたハンマリングユニットにより鍛金加工を行う。ハンマ先端の径は6mm,加工力は約150N,打撃数は毎秒約16回である。

工作物の固定方法として,図3に示すような治具を使用した。これは工作物を固定するとともに金属板が変形する際に発生するしわを防ぐためのものである。

加熱方法として,ヒートガン(最高温度450℃,風速360m/min)を使用し,熱風により工作物を再結晶温度以上に加熱する。

#### 4. 加熱時間と温度の関係

工作物を加熱する方法には,加工点を局部的に温める方法と工作物全体を温める方法の2種類が考えられる。一般的な熱間加工では,全体を温める方法が広く用いられており,手作業での鍛金加工においても焼きなまし作業は工作物全体を温めている。しかし,本システムではヒートガンを用いているため局所加熱も可能である。

熱風を一定時間以上当てれば,全体加熱による熱間加工が行えるのは明白であるが,移動を伴う局所加熱の場合において熱間加工が可能であることを確認するため,熱電対を用いて温度測定を行った。実験装置を

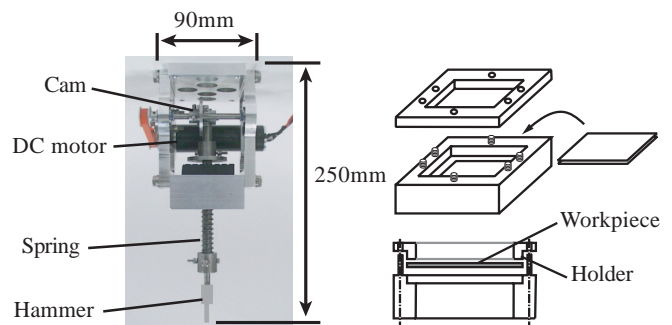


Fig.2 Hammering unit Fig.3 Support base

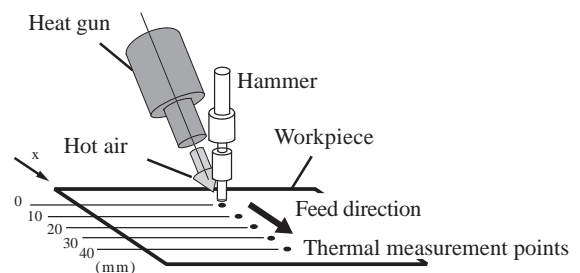


Fig.4 Experiment device

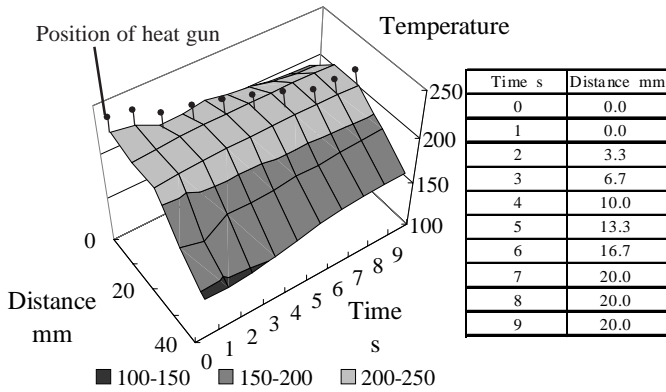


Fig.5 Temperature distributions

図4に示す．ヒートガンを手前先端に固定し，熱平衡状態になるまで加熱する．その後1秒停止させた後，約3mm/sで20mm移動させ停止させる．その間の温度分布を測定する．測定結果を図5に示す．

ハンマ先端は4秒後に10mm,7秒後に20mmの上を通過するが，その全てにおいて200℃を超えていることがわかる．また，ハンマ先端から約40mm離れた部分では150℃を下回っており，工作物が局部的に加熱されていることがわかる．以上より，加工点が移動しても工具先端付近では200℃を超えており，局所的な熱間加工が可能であることが確認できた．

5. 加工実験

加熱領域の違いによって工作物の成形性にどのような影響を与えるのかを検証するため，前項で述べた2つの加熱方法を用いて加工実験を行った．また，冷間加工との比較も行った．

加工形状は直径40mm，深さ10mmの円錐台とした．局所加熱の場合は，前項と同じようにロボットのハンド先端にヒートガンを固定し，加工点付近のみを温める．全体加熱の場合は，工作物固定治具の下から

ヒートガンによって工作物全体を温める．その際，熱電対によって工作物全体が200℃程度になっていることを確認して実験を行った．冷間加工は，ヒートガンを使用せず室温状態(29℃)で行った．他の条件は熱間加工と同じとする．

加工後の工作物の外観を図6,加工形状のプロファイルを図7,加工後の板厚分布を図8に示す．図6より，冷間加工の場合は打痕の跡がはっきりと残っているのに対し，熱間加工の場合は打痕の跡が伸び，成形性が向上している．また図7より，冷間加工と局所加熱の場合はほぼ定義形状通りに加工できているが，全体加熱の場合は，形状が若干ではあるが傾いて成形されている．この原因として，工作物を全体的に温めたことにより，全体の变形が容易になり，工作物の浮き沈みが発生し，傾いたと考えられる．図8より冷間加工を行った工作物の板厚は隅部と底面部が薄くなっており，破断しやすい形状となっているが，熱間加工を行った工作物は，隅部から遠ざかるほどに板厚が大きくなっている．このように徐々に伸びることによって破断は起きにくくなり，また冷間加工と比べると底面部の破断は起きにくいと考えられる．

以上より，加熱領域の違いによって，形状や板厚などの成形性も変化するとうわかった．また，本システムにおける熱間加工は，局所的に温める方法が最も有効であるとわかった．そして，熱間加工は冷間加工よりも工作物の成形性を向上するために効果的であるとわかった．

6. 結言

塑性変形型ラビッドプロトタイプングシステムにおいて熱間加工を試み，以下の結論を得た．

- 1) 熱風による加熱でA1050の再結晶温度以上での加工ができた．
- 2) 熱間加工による工作物の成形性向上が確認できた．
- 3) 工作物の成形性には加熱領域が大きく関係しているとわかった．

7. 今後の展望

今後は以下のような展開を考えている．

- 1) 干渉が少なく加熱機構を搭載したハンマリングユニットを開発する．
- 2) 加工時の打撃方向にも着目し，更なる成形性の向上を試みる．
- 3) 様々な形状を加工し，本システムの有効性を確認する．

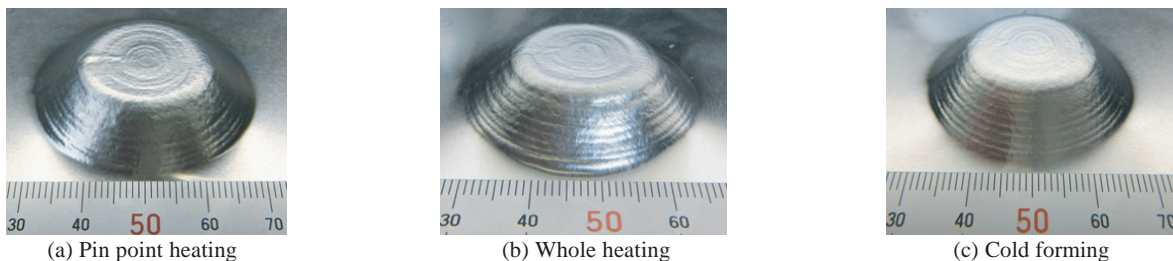


Fig.6 Workpieces after hammering

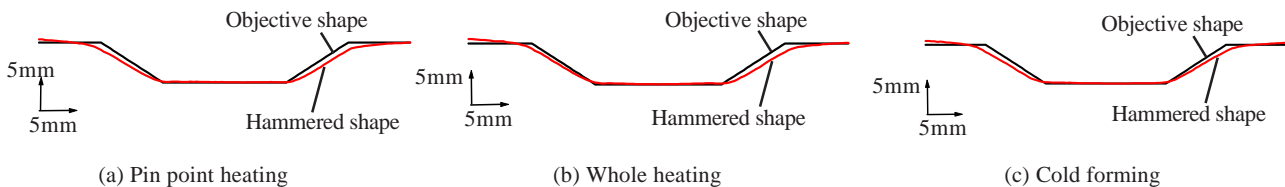


Fig.7 Profile of workpieces

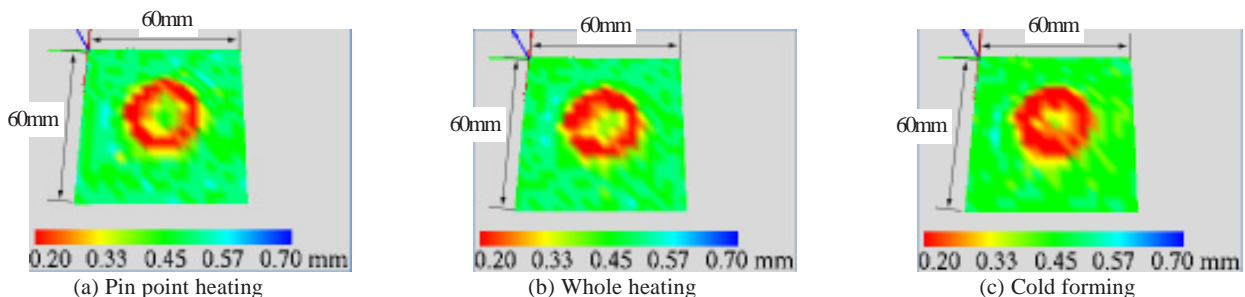


Fig.8 Distributions of thickness