超音波振動を付与したマイクロフォーミングにおける微細盛り上がり特性

Characteristics of Material Flow in Micro-Forging with Ultrasonic Vibration

○正 本村 貢 (早大理工)、寺島 潤一 (早大院)、
斎藤 顕吾 (早大理工)、島本 昇 (早大理工)、釘持 将徳 (早大理工)

Mitsugu MOTOMURA, Jyun-iti TERASIMA, Kengo SAITOH, Noboru SIMAMOTO, Masanori KENMOTI
Waseda University, Okubo 3-4-1, Shinjuku-ku, Tokyo

Key Words: Micro-Forging, Ultrasonic, Ultrasonic Vibration, Material Flow, Fine Forming

1. 緒言

微細加工技術には、特に近年は MEMS (Micro Electro Mechanical system) と呼ばれ、IC、LSI を作製するために半導体製造加工技術を用いて立体を作製する技術がある。主に μm オーダの構造を作製することに用いられているこの技術は、アメリカの AT&T やベル研、MIT、UCB などで開催された技術で日本においても 1988 年頃から研究が活発に行われるようになり、これまでもさまざまなマイクロアクチュエータやマイクロセンサなどが試作されている。世界的に見ても 1997 年になって初めてマイクロマテリアル国際会議 (Micro Mat'97) がベルリンで開催されて、300 件あまりの講演発表がなされたことからわかるように大いに注目を集めつつある。

本研究では塑性加工、特に鍛造の微細加工の可能性に着目し、新しい塑性加工の分野として確立すべく μm オーダの塑性加工を試みる。そこで、従来からの加工法である鍛造の微細加工の可能性に着目し、その微細成形特性について検討する。このとき、超音波振動を付与する複合加工を行うことにより鍛造性能の向上を目指す。そのアプローチとして様々なパラメータにおける μm オーダの微細溝へのなじみ性試験を行うことにより、今後の微細塑性加工の基礎となるものを築き上げることを目的とする。

2. 超音波振動の効果

超音波振動の効果を塑性加工の分野で積極的、かつ効果的に利用する方法を大別すると次の 5 種類が考えられる。

(I) 被加工材の変形部へ超音波振動応力と静的応力を重畳させて加える (変形抵抗の減少、塑性変形能の向上—Blaha 効果)。

(II) 工具を超音波振動させて、被加工材へ高速繰り返し衝撃を加える (平均加工力の減少)。(III) 接触している工具と被加工材のいずれか一方、あるいは両方を超音波振動させて、両界面間に働く摩擦抵抗を減少させる (摩擦抵抗の減少)。(IV) 潤滑剤へ超音波振動を加えて、潤滑剤を活性化させたり、工具と被加工材との接触界面に潤滑剤を強制的に供給する (潤滑性能の向上)。(V) 振動損失による発熱、内部摩擦の減少、転位の発生と移動、結晶粒の微細化の促進 (変形抵抗の減少)。

3. 実験装置と条件

実験装置を Fig 1 に、実験条件を Table 1 に示す。

動力には、圧縮方向に細かい分解能をもつステッピングモータが用いられている。超音波振動系は、先端工具の最下点から

1/4 波長の部分 (振動振幅の節にあたる部分) のフランジ部のみで固定されている。数種類の溝幅を用いた実験を行うために複数の先端工具を用い、それぞれの溝幅をかえている。先端工具としては、単一四角溝付パンチ、多列溝付パンチ、同心円形状溝付パンチを用いた。

4. 実験結果

以下に実験結果の一例を示す。

A1050-0 の圧縮率 10%において、超音波振動を付与しなかった場合と、振幅 $10\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ のそれぞれの場合の盛り上がり高さを測定した結果を Fig. 2 に示す。超音波振動の別に見ると、振幅が大きいものほど盛り上がりが高くなるという予想通りの結果になっている。超音波振動を付与しなかった場合に成形された模様は、中央部が低くなるという、これまでの研究成果と同じ傾向を示している。

C1100-0 の圧縮率 10%において、超音波振動を付与しなかった場合と、振幅 $10\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ それぞれの場合の盛り上がり高さを測定した結果を Fig. 3、Fig. 4 に示す。振幅 $10\mu\text{m}$ では最高点と最低点の差は $3.13\mu\text{m}$ 、振幅 $20\mu\text{m}$ では $3.9\mu\text{m}$ である。A1050-0、A1050-H の場合と比べて、小さく収まっている。成形された盛り上がりは、振幅 $20\mu\text{m}$ のときは中央部が低くなっているように見える。それに対して、振幅 $10\mu\text{m}$ の条件では、中央部が高くなっているように見える。超音波振動を付与することで盛り上がり高さは向上しているが、超音波振動の振幅による差はあまり見られていない。超音波振動を付与しなかった場合の盛り上がりは、試験片の外周に行くほど急激に高くなっている。圧縮率 10%の結果と比べると、圧下量を増やしても中央部では変形はなかなか進まないが、試験片の端に行けば効果が現れることが分かる。振幅 $10\mu\text{m}$ では、明らかに中央部が低くなっている。圧縮率 10%のときと比べて、盛り上がりの成形が進んでいない。振幅 $20\mu\text{m}$ では、圧縮率 10%の状態から、全体に盛り上がりの成形が促進されている。

試験機の性能上、圧縮率はそれぞれ、超音波無付与のときは 5.7%、振幅 $10\mu\text{m}$ のときは 8.23%、振幅 $20\mu\text{m}$ のときは 9.3% である。図からわかるように、この範囲では荷重低減効果がみられている。振幅の抑えこみは起きていると思われるが、全工程にわたって初期振幅が大きいほど荷重低減効果が大きい結果になっている。

Fig.1 Experimental apparatus for Ultrasonic-Micro-Forging

Table 1 Experimental Condition

試験片材質	A1050
熱処理条件	H材, 255°C炉冷材, O材
直径 [mm]	1.772
試験片高さ [mm]	3.0
溝幅 [μm]	234, 169, 90
実験温度 [$^{\circ}\text{C}$]	常温
圧縮速度 [mm/s]	0.010
圧縮量 [mm]	0.600
ホーン直径 [mm]	35
超音波出力 [W]	0.300
潤滑条件	ルブペット
	高濃度 (機械油のみ)
	中濃度 (機械油: 灯油=1:1)
	低濃度 (灯油のみ)
	KC-160W
	高濃度 (原液)
	中濃度 (原液: 水=1:25)
	低濃度 (原液: 水=1:50)

Fig.2 Deformation height for radial direction(A1050-O, 10%)

Fig.3 Deformation height for radial direction(C1100-O, 20%)

Fig.4 Deformation height for radial direction(C1100-O, 10%)

Fig.5 Relation between reduction and load(A1050-H)

5. 結論

- Al, Cuで超音波微細鍛造を行い, 超音波振動を付与することによって盛り上がり高さの向上が見られた。
- Alでは超音波を付与する事で荷重低減効果が得られた。
- 振幅から予想された結果と異なり, Al-H材では振幅が小さい方が高い盛り上がりが見られることがあった。実験時にAlの場合は潤滑剤が著しく変色した。今後, 材料ごとにどの潤滑剤が適しているか調査する必要がある。

最後に, このマイクロ鍛造機は, 基本設計は当方で行い, アイダエンジニアリング(株)様と設計を相談しながら, 製作していただいたものである。本先端工具は, SII(株)船本氏に製作していただいたもので, ここに厚く御礼を申し上げます。