

超音波押し出しの研究

金沢大学 理工研究域 機械工学系

教授 米山 猛

(平成 19 年度一般研究開発助成 AF-2007023)

キーワード：押し出し，超音波，圧縮

1. 緒言

超音波付加の効果は，摩擦の低減，変形抵抗の低減などが期待されている．超音波振動の付加は，打抜き加工¹⁾や引抜き加工などの塑性加工や難削材への切削加工など各種の加工への応用が広がっており，加工荷重が著しく低減するなどの効果が現れている²⁾．押し出しにおいては，高い加工荷重が求められており，超音波を付加することで加工荷重や応力を低減することができれば，従来には困難であった断面形状の加工が実現したり，加工装置の小型化，省エネルギーの効果などが得られたりすると考えられる．しかしこれまでのところ，押し出しへの適用については，Mousavi らが FEM 解析を行っているのみで，実物への適用が試みられていない³⁾．圧縮変形⁴⁾や圧印加工⁵⁾に対しては超音波を付加することで加工荷重が低減することが知られており，押し出し加工に対しても，超音波の与え方によって，荷重の低減効果が得られることが期待される．

そこで本研究では，まず塑性変形に対する超音波の効果の確認として，超音波圧縮の実験を行い，次に超音波の押し出しへの適用を行った．

2. 超音波圧縮

超音波振動を加えながら圧縮を行う装置を図 1 に示す．20kHz の超音波振動ユニット (UL20 (株) 岳特製，外径 126mm 長さ 367mm) を 300kN 油圧サーボ試験機にとりつけた．超音波振動ユニットで加振されるホーンは，先端部を円錐状にし，さらに試料を加圧する下端面を直径 20mm の平面とした．圧縮荷重を検出するロードセルを超音波振動ユニットの上部に取り付けた．

圧縮する試料の寸法は直径 8mm，高さ 12mm の円柱とした．材質は純アルミニウム A1050 と Al-Mg 合金 A6063 を用いた．いずれも鍛造材から切り出したものである．圧縮は室温で行い，圧縮速度は 0.1mm/s と 10mm/s の 2 種類とした．無負荷時の振幅で，11 μ m ～20 μ m を超音波ホーンの下端面に発生させて圧縮した．

純アルミニウム A1050，圧縮速度 0.1mm/s の場合の応力-ひずみ線図を図 2 に示す．圧縮前にホーンに加振を始めると，接触時に試料が移動したため，振幅 11 μ m の場合

は圧縮を始めた直後に，振幅 20 μ m の場合は，圧縮ひずみがおよそ 0.07 の時点から振動を加えた．振動を加えなかった場合の応力に比べ，振幅 11 μ m の場合の応力は約 65% に，振幅 20 μ m の場合の応力は約 40% に低減している．

Al-Mg 合金 A6063 を 0.1mm/s で圧縮したときの応力-ひずみ線図を図 3 に示す．純アルミニウム A1050 と比べる

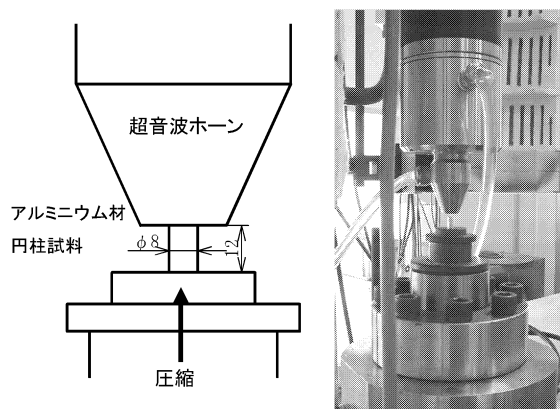


図 1 超音波圧縮装置

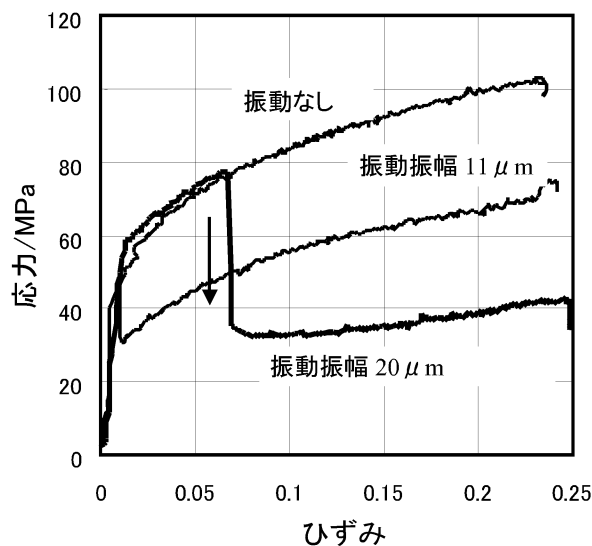


図 2 純アルミニウムの圧縮応力とひずみに対する超音波振動の効果 (圧縮速度 0.1mm/s)

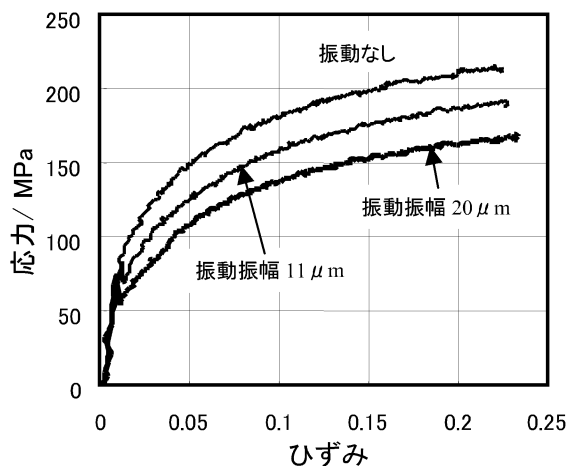


図3 A6063の圧縮応力とひずみに対する超音波振動の効果 (圧縮速度 0.1mm/s)

と応力低減率は低く、超音波振幅 20 μm で、振動なしの場合の約 75% に低減している。

3. 超音波押し出し

3・1 後方押し出し装置

超音波振動を後方押し出しのダイに付加する装置を考えた。後方押し出しにおいては、ビレット内の変形がダイ近傍に集中し、ダイをビレットに押し込む方式を取ることから、ダイに超音波を付加することで、塑性変形領域に有効に振動を与えることができると考えたからである。

後方押し出し工具の構成を図4に、ダイ等の寸法の詳細を図5に示す。コンテナ内径 8mm、ダイ出口径 4mm、押し出し比 4とした。ダイとビレットの境界面に超音波振動の最大振幅が生じるように、ダイの厚さを 1mm と薄くした。超音波振動ユニットとして、20kHz のユニット (UL20 (株) 岳将製、外径 126mm 長さ 367mm) を使用した。超音波振動ユニットの先に、直径 50mm の円柱の先端部が円錐状になっているホーンを取り付けた。ホーン先端部を中空パイプ状に作成した。中空パイプ部分の外径を 7.8mm、内径を 4.3mm とし、ストレート部分の長さを約 6mm とした。

ストレート部分の長さが長いほど、押し込み量を大きくとれるが、押し出し荷重に対して座屈するのを恐れ、押し出し量は少なくとも、超音波付加による荷重低減効果を見ることを優先して、ビレットを 5mm 程度押し込むことができる長さとした。ホーン先端に厚さ 1mm のダイを加えたダイ面で最大振幅 15 μm (無負荷時) が発生するようにホーン形状を調節した。

押し出し装置の全体状況を図6に示す。超音波振動ユニットを 30 トン油圧サーボ試験機 (島津製作所サーボパルサー) の上ロッドに取り付け、下ロッドにコンテナを取り付

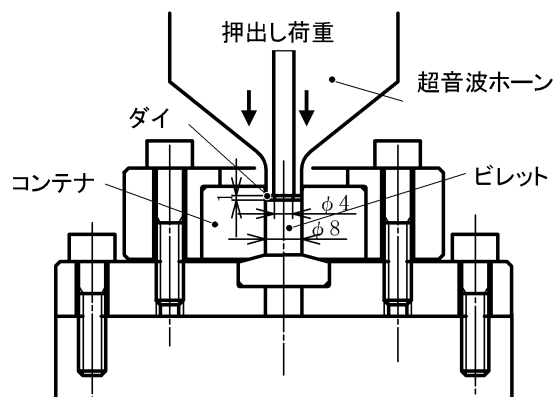


図4 超音波付加後方押し出し装置

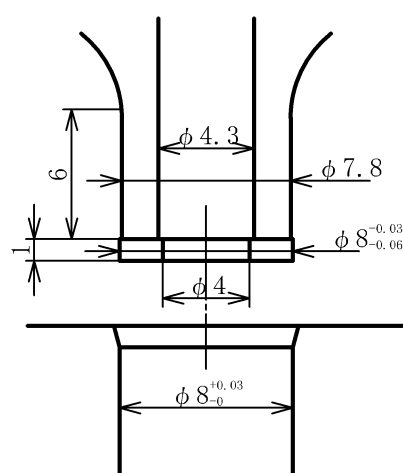
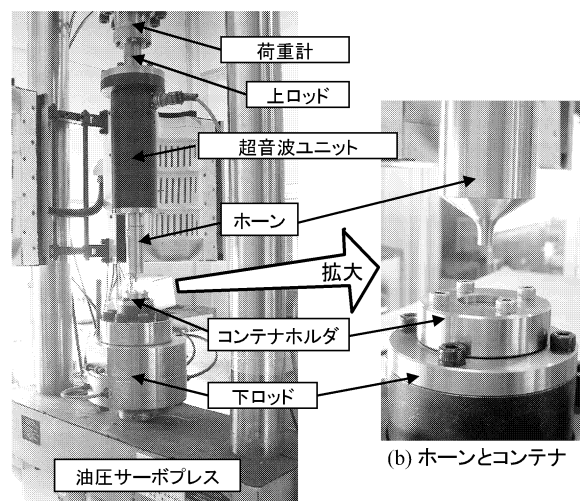


図5 ダイおよびホーンの寸法詳細



(a) 押し出し装置全体

(b) ホーンとコンテナ

図6 超音波押し出し装置全体

けた。上ロッドの上にはロードセルが設置されている。

3・2 後方押し出し実験

供試材は、直径 7.8mm、長さ 12mm の A1050 ビレットで、

鑄造後そのままの材料から削り出したものである。平均粒径は $90\mu\text{m}$ であった。試料表面に潤滑剤 (CRC-55) を塗布してコンテナ内に挿入し、ダイをピレット上面に載せ、中空ホーンで加圧して、後方押しを行った。押しは常温 (20°C) で行った。超音波振動をあらかじめホーンに付加し、 0.1mm/s の速度でホーンを下降させてダイを加圧して押しを行い、サンプリングタイム 1ms で荷重とストロークを測定した。比較のため、超音波振動を付加しない場合の押しも行った。ホーンへの荷重付加を 20kN 以下に抑えるため、ピレットへの押し込み量 (ストローク) を超音波振動なしの場合は、ピレット長さの 15% (1.8mm)、超音波振動付加の場合は、ピレット長さの 20% (2.4mm) とし、2回ずつ押しを行った。

3・3 押し実験結果

押し荷重とストロークとの関係について、超音波振動付加の場合と超音波振動付加なしの場合を比較して図7に示す。

押し荷重は最初にコンテナ内のピレットを圧縮する荷重を経た後、押しを始める荷重へ増加している。

超音波振動を付加しない場合、ピレットを圧縮する過程で約 4kN に達した後、荷重が増加して押しが始まり、ストローク 2mm で押し荷重は $18\sim 18.5\text{kN}$ まで上昇している。ストロークとともにさらにまだ増加を続ける途中である。純アルミニウムは、加工硬化が著しいため、押し初期の変形による加工荷重の増加が著しく、このストロークではまだコンテナ内の変形が定常的な状態に至らず、加工硬化を続けている過程であると思われる。

これに対し、超音波振動を付加した場合には、ピレットを圧縮する荷重も約 2kN と低く、その後荷重が上昇して押しを始めるが、ストローク 2mm で押し荷重は 10kN ないし 12kN で、その後はほぼ一定となっている。定常的な押し状態に達したと考えられる。押し荷重が低減するとともに短いストロークで定常状態に達している。2回の押しのうち、1回は荷重変動が小さいが、もう1回では、押し過程で荷重の断続的な下落と復帰が起こった。

コンテナ内でピレットを圧縮する荷重は、超音波振動の付加によって、約 60% に低減しており、押し荷重も $55\%\sim 60\%$ に低減している。

なお超音波振動を付加した場合には、押しが進むとともに、潤滑材が焼けたためか、ピレット外周部から煙の発生が見られた。押し中のピレットの温度上昇量は計測していないので不明であるが、コンテナを外側から触った状態でおおよそ 50°C 程度の温度になっていた。

押し後の試料を図8に示す。超音波押しでは、押し中にダイ外周とピレット内面との間の隙間から材料がバリとして出ており、ピレットを取り出したときに、ダイ

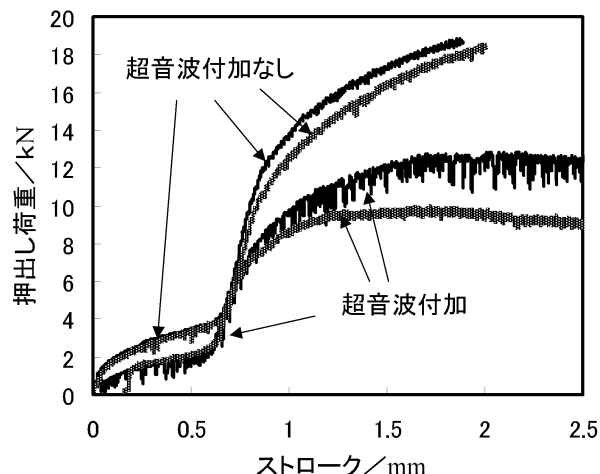
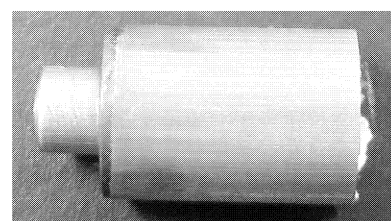
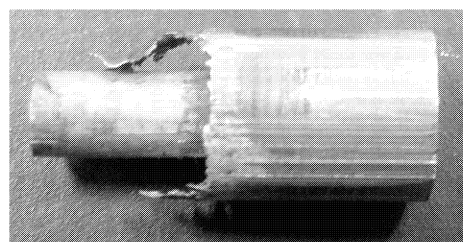


図7 後方押しに対する超音波付加の効果



(a) 超音波付加なしの試料



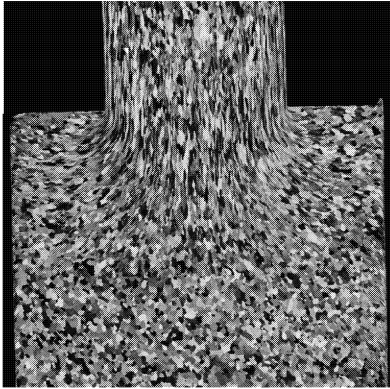
(b) 超音波付加の試料

図8 後方押し後の試料

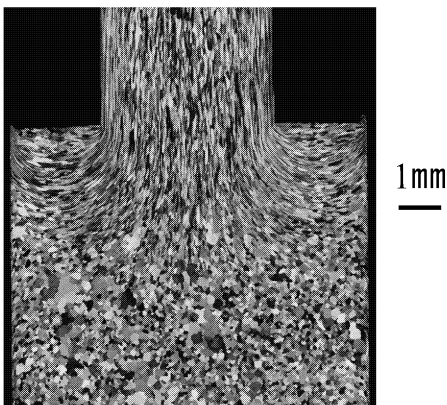
の周りにこびりついている。このバリの厚さは $28\mu\text{m}$ で、ダイとコンテナ内面との間のクリアランスに対応する厚さであった。超音波なしでは、ダイの外周部に材料が入り込むことはなかった。

押し後の試料を縦割りにカットして、エッチングして断面組織を比較したのが図9である。

超音波なしの場合は、ダイ直下の材料の変形が小さく、コーナ部はデッドメタルになっていて、ダイ出口に向かって円錐領域で変形が起こってダイ出口へ流れている。これに対して超音波付加の場合には、ダイ直下の部分の材料が圧縮されてダイ出口にむかって流れ、ダイ出口から流出している。またダイの外周部へも流れ込んでいる様子がわかる。



(a) 超音波なしの結晶組織



(b) 超音波付加した場合の結晶組織

図9 押し出し後のピレット断面結晶組織

さらに超音波を付加しながら十字断面を持つ異形材の押し出しを行った例を図10に示す。超音波付加なしでは、押し出し荷重が大きくてステムの耐荷重を超えてしまうが、超音波を付加することによって、耐荷重を超えずに押し出しを行うことができた。

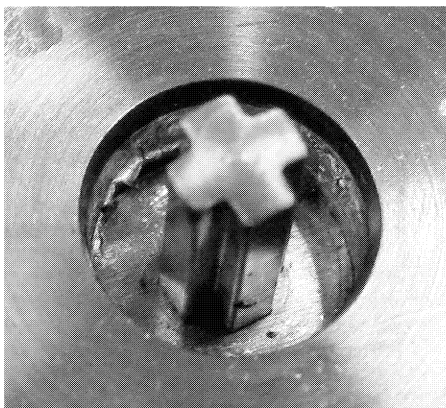


図10 超音波付加による十字断面型材の押し出し

4. 結言

本研究では、まずこれまでの研究でも報告されていた超音波圧縮を行い、超音波付加による荷重低減を確認した。この効果は、超音波による変位が圧縮試料の弾性変位と塑性変位を受け持つことによって、平均荷重を低減させたと考えている。純アルミニウムの圧縮に対する荷重低減に比べ、A6063の圧縮に対する荷重低減の効果が小さかったのは、A6063の方が変形抵抗が大きいため、塑性変形に至るまでの弾性変位が大きく、より大きな効果を得るためには、より大きな超音波変位が必要であったためと考えている。

加工荷重低減のためには、加工される材料に有効に超音波変位が与えられることが必要だと考え、後方押し出しのダイに超音波振動を付加した。その結果、加工硬化が大きく、室温での押し出しは通常行われない純アルミニウム材の押し出しにおいて、押し出し荷重が約40%低減することを見出した。ダイ直下での材料内の塑性変形が促進されていることが観察された。押し出しにおいて、ダイ近傍は、押し出し出口（自由表面）に向かって大きく塑性変形が起こる領域であり、この領域に効果的に超音波振動を加えることによって、ダイの変位がダイ近傍の材料の塑性変形を促進して、荷重を低減することができたと考えられる。

ステムに対する荷重負荷が大きくなりすぎる断面形状に対しても超音波を加えることによって押し出しが可能であったことは、従来は荷重が過大となって押し出しが難しかった断面形状の押し出しを行うことが可能となることを示唆している。

以上のように、本研究では、超音波を押し出しダイに加えることによって、押し出し荷重を低減することができることを明らかにした。従来困難であった押し出しが可能となる可能性もあり、今後の発展を期待する。

本研究は住友軽金属工業（株）高橋昌也氏との共同研究として進めた。本研究を進めるに当たり、超音波振動ユニットの適用について、（株）岳将にお世話になった。

本研究を推進することができたのは、天田金属加工機械技術振興財団より研究開発助成をいただいたからである。ここに改めて御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 竹増 光家・山崎 進・三浦 秀士・水江 亮太・星山 卓志・尾崎 龍夫：塑性と加工, **47**-548 (2006), 885-889.
- 2) 日本塑性加工学会：超音波応用加工,(2004),森北出版.
- 3) Mousavi, S.A.A., Feizi, H. & Madoliat, R. : Material Processing Technology, 187-188(2007), 657-661.
- 4) 和泉修・大山致知・鈴木義彦：塑性と加工, **7**-61(1966), 59-64.
- 5) 神雅彦・林正弘・Thipprakmas, S.・村川正夫：平成15年度塑性加工春季講演会講演論文集,(2003), 85-86.