

(10) 圧縮変形における超音波の影響

材料開発部 鶴岡一廣

要旨

非定常変形の圧縮加工に超音波振動を適用するための基礎研究として、圧縮加工において、チタン酸ジルコン酸鉛磁器製のボルト締めランジュバン型振動子による超音波振動を付加した場合の挙動について研究を行っている。本報告書では側面を拘束しない状態でアルミニウム材にパンチを押し込んだ時の超音波付加出力による変化、振動モードによる差違等について検討を行った。

その結果、加圧速度 $V=5\text{mm/Sec}$ 、圧下量 $l_s=4\text{mm}$ の条件で、①最大超音波付加出力 $E_{\text{max}}\approx 600\text{W}$ で約27%の押圧荷重の低下がみられた。②振動振幅が最大の振動モードの方が押圧荷重の低下が著しい、等がわかった。

1. 緒言

超音波振動を金属の塑性加工に適用すると、加工荷重の低減が図れることが報告されている。しかし圧縮加工は非定常状態の変形であり、安定した超音波振動の適用を困難にしている。そこで圧縮を伴う加工に超音波振動を応用するための基礎研究として、アルミニウム材の圧縮試験において、超音波振動を付加した場合の挙動について研究を行っている。

これまで、チタン酸ジルコン酸鉛磁器製のボルト締めランジュバン型振動子を用いて、純アルミニウム材の単軸圧縮試験において、超音波振動付加による効果の有無、加圧速度および振動モードの影響について検討した。その結果超音波出力 $E=200\text{W}$ の条件で、①ブラハ効果によると思われる材料の変形抵抗の減少、②潤滑剤がない場合、振動振幅最大の振動モードの方が効果が大きい、③振幅拡大率 $R=1$ と3のあいだにはほとんど差はない、④潤滑剤を使用した場合、ブラハ効果に比べて摩擦低減効果の方が大きく、振動応力最大の振動モードの方が効果的である、などの知見が得られた¹⁾²⁾。

しかし超音波出力を大きくした場合には検討が不十分である。そこで本報告書では、ホッピング加工のように治具との接触面積が大きい圧縮加工に適用し、振動モードや超音波出力の大小についての検討を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

超音波振動の付加機構は図1に示すように、高周波発振器からの進行波出力(E_f)を周波数整合器を通して振動

子に付加する。振動子は周波数約20kHzのチタン酸ジルコン酸鉛磁器製のボルト締めランジュバン型振動子(日本特殊陶業(株)製、D4520)で、この振動子より発振器への反射入力(E_r)の差が負荷吸収電力となる。振動子のエネルギー変換効率を考慮すると、実際に試験片に付加される超音波振動はこの負荷吸収電力と異なるが、ここでは負荷吸収電力を付加超音波出力(E)とした。

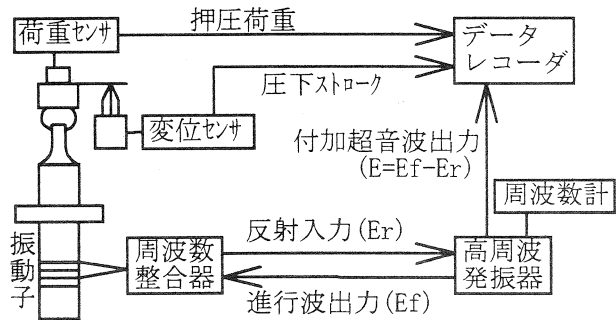


図1 超音波発振・計測概略

振動子の共振周波数の設定、および発振器と振動子との整合は、まず高周波発振器(日本イー・エヌ・アイ(株)社製EGR-1600B)の周波数調整により、出力表示メーターに示される負荷吸収電力が最大となる共振周波数を設定し、次に進行波出力と負荷吸収電力とが一致するように、整合器で負荷整合インピーダンスを調整する。

振動子、コーン、ホーンからなる振動系は、コーンおよびホーン材料中の音速度を 5100m/Sec 、振動周波数を 20kHz として構成しており、コーンは軟鋼材で、全長は約 $1/2$ 波長の 130mm とした。加圧部のパンチ(ホーン)はダイス鋼を使用し、コーンとの結合はネジ固定で、必要に応じて交換が出来るようにした。

パンチは試験片接触部分で振動応力が最大となる振動モードに対応したパンチHL65(長さHL=65mm)と、最小(振動振幅が最大)となる振動モードに対応したパンチHL130(長さHL=130mm)を作製した。振動子、コーンはフランジ部を除いてφ50mmの円柱状とし、パンチは端面径φ15mm(振幅拡大率R=11)とした。超音波振動は振動子からコーン、パンチを経て試験片へ付加される。受圧板の加圧端面は、受圧板端面での摩擦低減効果の影響を極力少なくするために、図2に示すような凹凸形状とした。

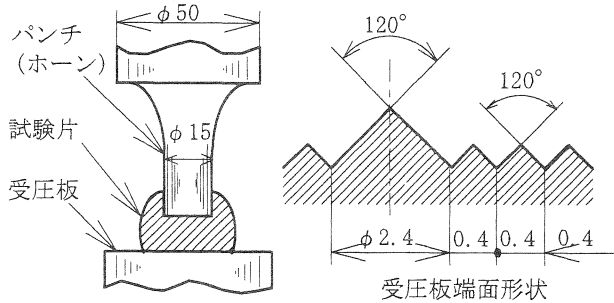


図2 超音波振動付加圧治具

振動系のパンチHL65、およびHL130を取り付けた状態のインピーダンスを計測した結果、フランジを固定しない場合の共振周波数は $f_r=19.3\text{kHz}$ 近辺であった。フランジを固定し、試験片に荷重 $P=20\text{kN}$ をかけた状態で、高周波発振器による周波数調整およびインピーダンス整合を行った場合は、パンチHL65では、 $f=21.71$

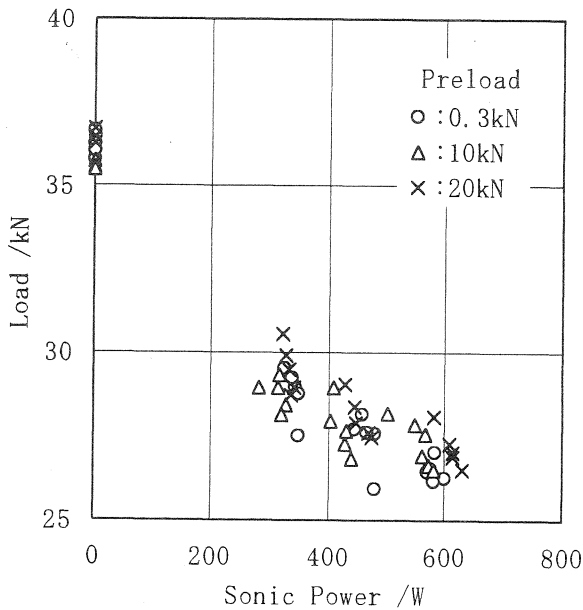


図3 最大超音波出力と最大押圧荷重 (振動モードHL130)

kHz付近に、パンチHL130では、 $f=21.60\text{kHz}$ 付近に整合点があった。

2.2 実験条件

試験片はアルミニウム材(A1050-BDH24)からφ20×16mmに削り出し試験に供した。この試験片に、外周を拘束しない状態で、パンチ(端面径φ15mm)を押し込み、押圧荷重と超音波出力変動を測定した。超音波出力は最大付加出力が $E_{\text{max}}=300, 450, 600\text{W}$ になるように設定した。押圧速度は既報2)の結果より、 $V=5\text{mm/Sec}$ とした。

また整合設定荷重を $P=20\text{kN}$ としたことから、押圧初期の予荷重 $P_r=0.3, 10, 20\text{kN}$ について検討した。圧下量は試験機のクロスヘッドの移動量を計測しているために、パンチやコーンの弾性変形量を考慮して、予荷重 $P_r=0.3\text{kN}$ の場合は圧下量 $\delta s=4.4\text{mm}$ 、 $P_r=10, 20\text{kN}$ の場合は $\delta s=4\text{mm}$ に設定した。

3. 実験結果および考察

振動振幅が最大となる振動モードHL130と振動応力が最大となる振動モードHL65の場合について、予荷重をパラメータとして、最大超音波出力と最大荷重の関係を示したのが図3、4である。図3に示すように振動モードHL130の場合は超音波振動付加による効果は明らかに押圧荷重の減少として現れている。その減少量は、最大

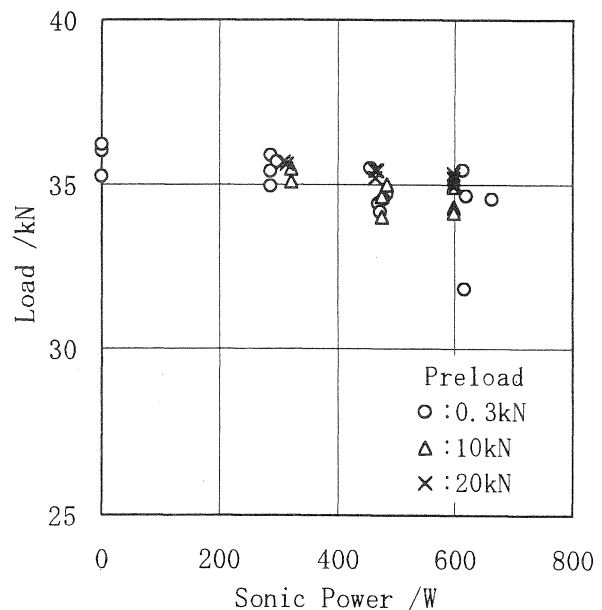


図4 最大超音波出力と最大押圧荷重 (振動モードHL65)

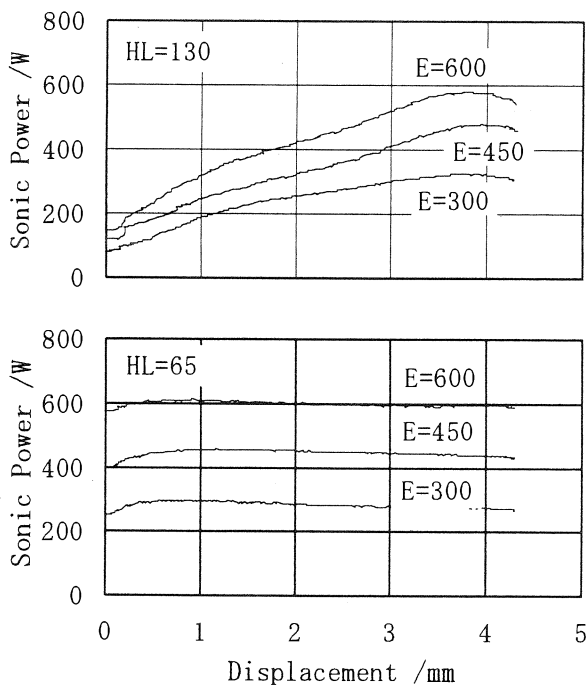


図5 超音波出力

超音波出力 $E_{max} \approx 300W$ で約19%、600Wで約27%である。一方振動モードHL65の場合は、図4に示すようにその減少量は小さく、最大超音波出力 $E_{max} \approx 600W$ で約6%程度である。

超音波振動の塑性加工特に圧縮加工において、被加工部の振動振幅が最大となるような、超音波振動の往復動作による高速繰り返し衝撃作用を利用する方式と、振動応力が最大となるような、超音波振動により発生する振動応力の重畳作用を利用する方式とがある。一般的に超音波振動を付加した圧縮加工においては、被加工部で振動応力が最大となる位置が最大効果を発揮するとされている³⁾。

しかし本実験の振動モードHL130(振動振幅最大)、HL65(振動応力最大)に関する結果からは、振動振幅が最大となる振動モードHL130の方が押圧荷重の低減率が大きくなっている。

これは試験片の寸法から被加工部が正確に応力振幅、あるいは振動振幅が最大となる位置にはないが、パンチとの接触面積が大きい押圧試験において、摩擦抵抗の低減効果が大きく現れたと考えられる。

このことから前報1)の荷重低減効果において、両端面を凹凸のパンチで圧縮した場合は振動振幅最大の方が、一方一端を平面パンチとし潤滑剤を使用した場合には振動応力最大の方が効果的であるといった結果となったの

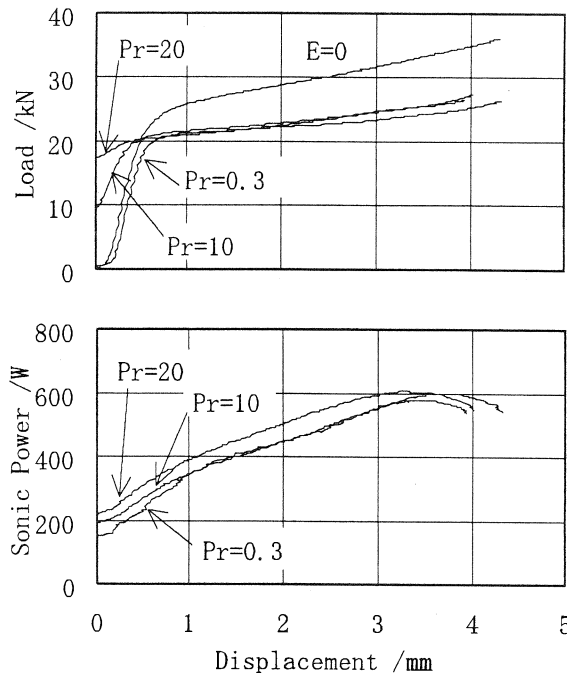


図6 押圧荷重と超音波出力

は、超音波付加出力が $E_{max} \approx 200W$ と小さかったことが原因であると推定できる。

この振動モードによる差違をみるために、予荷重 $Pr = 0.3kN$ の場合について、超音波出力と圧下変位の関係を示したのが図5である。これから、振動モードHL65の場合は全圧下範囲においてほぼ安定して、超音波出力 $E_{max} \approx 300, 450, 600W$ が付加されているが、振動モードHL130の場合は最大値超音波出力 $E_{max} \approx 300, 450, 600W$ に対して、最小値はそれぞれ $E_{min} \approx 80, 120, 150W$ となっており、押圧荷重が最大となる近傍で超音波出力がほぼ最大値となっている。

このことは超音波振動は押圧時に荷重が最大となる付近で超音波出力が最大となるような設定であればよいことになる。

また圧下量変位に対する押圧荷重及び超音波出力の変化を、予荷重をパラメータとして、最大超音波出力 $E_{max} \approx 600W$ の場合について示したのが図6である。これから、振動系の整合調整時の設定荷重を $P = 20kN$ としたが、押圧荷重および超音波出力において、この条件範囲では予荷重による差違は見られない。これは設定荷重が最大押圧荷重の約70%と大きいため変動が少ないと思われる。しかし圧下量が長くなった場合即ち最大押圧荷重が整合調整時の設定荷重に比べて大きくなった場合の挙動については今後の課題である。非定常状態の塑

性加工において、確実に超音波振動の効果を得るようになるためには最大押圧荷重時に超音波出力が最大になるように整合設定を行う必要がある。

4 結 言

超音波振動の塑性加工特に圧縮加工への応用を図るために、アルミニウム材(A1050-BDH24、 $\phi 20 \times 16\text{mm}$)に、パンチ径 $\phi 15\text{mm}$ で、押圧速度 $V=5\text{mm}/\text{Sec}$ 、圧下量 $l_s=4\text{mm}$ の条件で、外周を拘束せずパンチを押し込む超音波振動付加押圧試験を行った結果以下の知見を得た。

(1)超音波振動付加出力 $E_{\text{max}} \approx 600\text{W}$ を付加することによって、押圧荷重が最大27%低減した。

(2)振動振幅が最大の振動モードの方が超音波振動付加の効果大きい。

(3)振動振幅が最大の振動モードの場合、超音波出力は押圧荷重とともに増大し、押圧荷重最大の付近で出力が最大となる。

(4)予荷重による押圧荷重、超音波出力への影響はみられない。

今後の課題として、振動振幅が最大の振動モードでの整合設定荷重と超音波振動付加出力の変化、圧下量を長くした場合の押圧荷重の増大に伴う超音波振動付加出力の変化などについて検討を行う。

また超音波振動付加の効果を最大限利用できる超音波付加条件やそのための方法、振幅量の計測方法を検討し、超音波振動の非定常状態への利用を検討する。

参考文献

- 1) 鶴岡一廣：平成5年度大分県産業科学技術センター研究報告、(1995)、8。
- 2) 鶴岡一廣：平成4年度大分県工業試験場研究報告、(1993)、6。
- 3) 例えば(社)日本電子機械工業会編：超音波工学、コロナ社、(1993)。