

4 圧縮変形における超音波の影響

機械部 鶴岡一廣

1 緒言

超音波振動を塑性加工に利用する試みは、Blaha や Langnecker が亜鉛単結晶の引張り試験に超音波振動を付加し、応力の低減が確認されて以来30数年になるが、実用化されているのは極一部であり、他の加工にはあまり利用されていない。これは非定常状態の加工における超音波振動の効果があまり顕著でないこと、強力な超音波振動が高価なこと、付加構造が複雑であること、ニッケル振動子のエネルギー変換効率が低いこと等が原因と考えられる。

しかし、材料技術の進展により、エネルギー変換効率の高いPZT振動子が容易に入手できるようになってきており、超音波振動が安価に入手できる環境になってきた。一方金属の塑性加工において、加工力の低減、加工率の増大、加工精度の向上等を図ることはNear Net Shape加工やNet Shape加工を可能にするものである。

そこでPZT振動子を使って超音波振動を非定常状態の塑性加工に適用するための基礎研究を行い、超音波技術の塑性加工への応用実用化を図るとともに新しい応用の道を探る。その予備試験としてアルミニウム合金の圧縮変形において超音波振動を付加し、その効果の程度を調べた。

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、発振器よりの進行波出力(Ef)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(Er)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試験片圧縮時の付加超音波出力(E/W)とした。

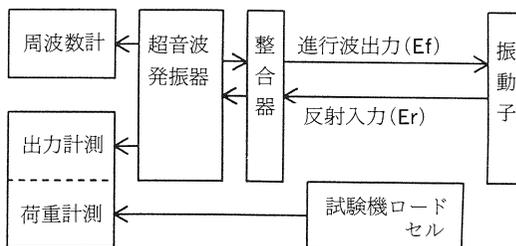


図1 超音波発振・計測模式図

また、振動子の取付及び圧縮治具の概略図を図2に示す。超音波振動は振動子からコーン、ホーンを経て試験片へ付加される。

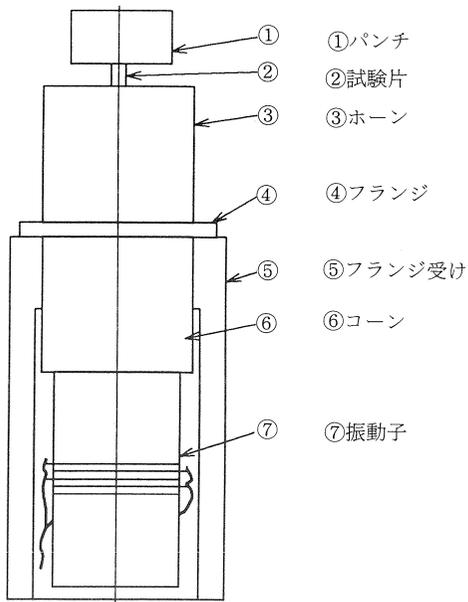


図2 超音波振動付加圧縮治具

2.2 実験条件

試験片は試験機の能力の関係から、 $\phi 5 \times 8$ mmの純アルミニウム材(A1050-B)を用いた。この試験片を据込率 $\epsilon = 20, 40, 60, 80\%$ で圧縮し、超音波振動

を付加しない場合と付加した場合の最大圧縮荷重を測定した。付加超音波出力はE=100、200、300Wとした。

また、圧縮荷重をP=3、4、8、26kNとしたときの据込率と付加超音波出力との関係を調べた。この時共振のためか発振器がシステムダウンし、最大付加超音波出力はE≒200W程度しか付加できなかった。

圧縮加圧速度は0.5mm/Secとした。超音波振動の付加により試験片の温度上昇が若干見られたが、加圧時間は最大で約15秒であり、温度の上昇は無視できる程度であった。

3 実験結果及び考察

図3に圧縮荷重と付加超音波出力の関係を、図4に超音波振動付加による圧縮荷重低減量を、付加しない場合の圧縮荷重に対する低減率として示す。

超音波振動を付加した場合、超音波出力が増大するに従って圧縮荷重はほぼ直線的に減少しており、最大荷重低減率は、据込率ε=20、40、60%に対して、付加超音波出力E=300Wのときで、それぞれR=20% (P=3.55→2.85kN)、29% (P=4.8→3.4kN)、

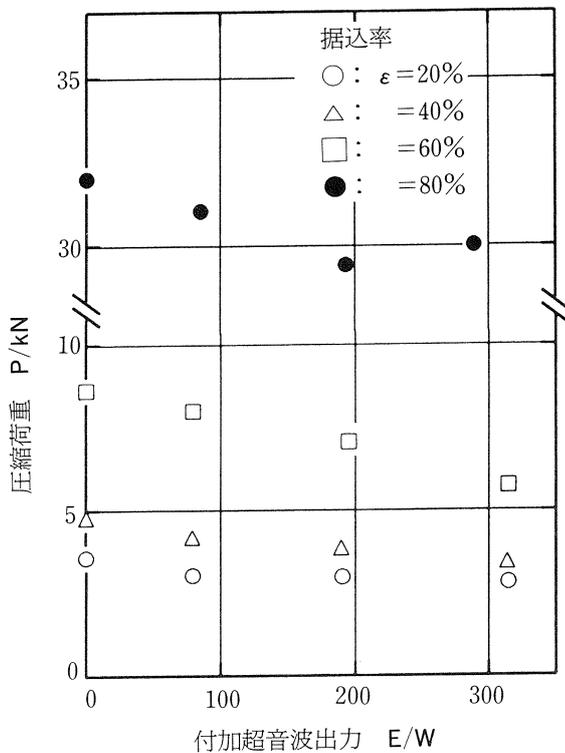


図3 付加超音波出力と圧縮荷重

34% (P=8.7→5.7kN) となっているが、ε=80%ではE=200Wで最大R=8% (P=32.1→29.6kN)となり、E=300Wでは逆にR=6%とわずかながら小さくなっている。

また、圧縮荷重曲線にはP=6、7、8kN付近で極大極小を示す変動がみられた。この極大値は超音波振動を付加しない場合の荷重曲線より約400N高くなっている。この極値を示す点と圧縮荷重とがほぼ一致したε=60%の場合に最大の効果が現れたようだ。

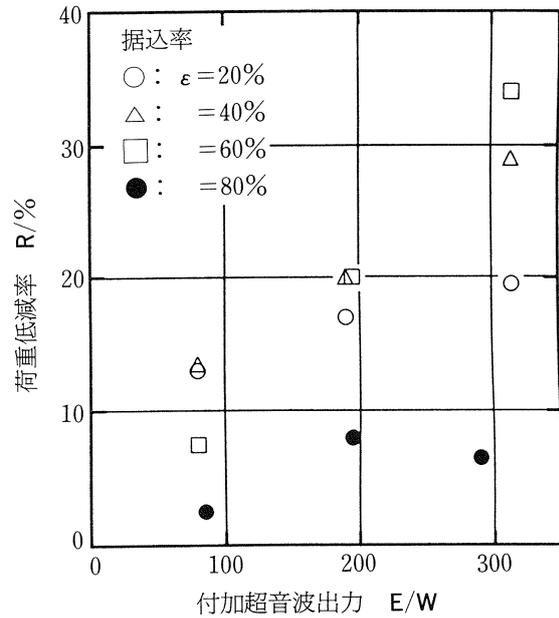


図4 付加超音波出力と荷重低減率

次に圧縮荷重を一定にした場合の据込率の変化を調べたのが図5である。

超音波振動付加の効果は、圧縮荷重がP=3、4kNのとき顕著にみられ、超音波振動を付加しない場合に比べて、据込率はそれぞれε=10→30%、30→57%と大きく増加しているが、P=8、26kNではその効果は殆ど見られず据込率の増加はみられない。

本実験条件の範囲においては、据込率を一定にした場合と圧縮荷重を一定にした場合の超音波振動付加の効果は据込率ε=60%付近で大きく異なった結果となっている。ε=60%より下では超音波振動の効果は、荷重低減の面でも据込率増大の面でも大きな効果が現れているが、ε=60%より上では効果が殆ど見られない。

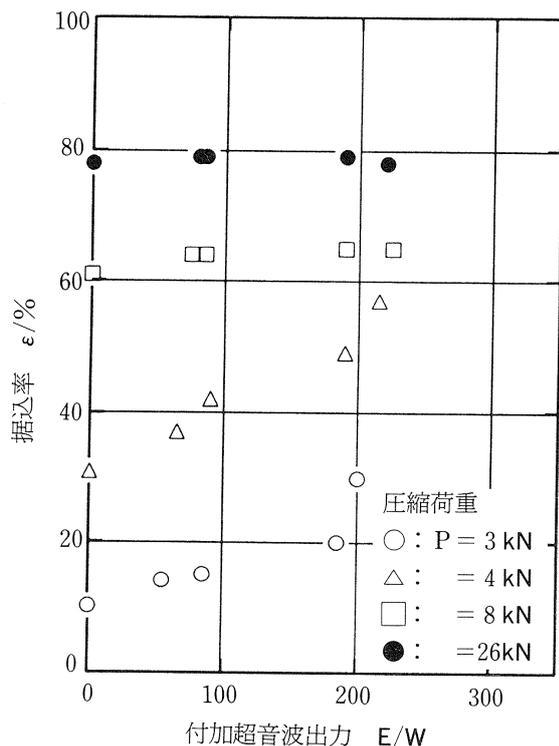


図5 付加超音波出力と据込率

この荷重低減及び据込率増大の効果において、摩擦抵抗が低減すれば、圧縮荷重は低減し、据込率は増大することになる。ただ素材自身の限界据込率へ達した場合は据込率の増大率はあまり大きくないと考えられる。さらに据込率が大きくなり、径/高さの比が大きくなると摩擦抵抗が大きくなり、圧縮変形における見かけの変形抵抗が大きくなる。そのため圧縮荷重が大きくなると考えられるが、超音波振動を付加しない場合の圧縮荷重と差がないことからすると、圧縮荷重の大きい領域においては超音波振動付加の効果が現れていないと言える。

また、摩擦抵抗の変化は加圧治具と試験片の接触面において微視的にハンマーリングに起因すると考えられる。しかし、圧縮荷重が大きくなってある限度を越えるとこのハンマーリングが抑え込まれ摩擦抵抗の軽減効果がなくなると考えると、据込率 $\epsilon = 80\%$ のときに荷重低減効果が小さいこと、据込率 $\epsilon = 60\%$ 以上に相当する圧縮荷重 $P = 8, 26\text{kN}$ のときに据込率の増加が見られないことの理由の一つと考えられる。

さらに圧縮加工による試験片寸法の変化により、振動系全体の共振特性が変化するとともに、据込率

或いは圧縮荷重が大きい場合に、試験片寸法が振動系に対して余りにも小さくなり過ぎて、無視できる程度の寸法となり超音波振動の効果が現れなかったのではないかと考えられる。

4 結 言

超音波振動の塑性加工への応用を図るための予備試験として、チタン酸ジルコン酸鉛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超音波付加圧縮試験を行った結果以下の知見を得た。

- (1) 据込率一定の場合、付加超音波出力の増加とともに圧縮荷重は減少し、据込率 $\epsilon = 60\%$ 、付加超音波出力 $E = 300\text{W}$ で34%の荷重低減となった。
- (2) 圧縮荷重一定の場合、圧縮荷重 $P = 3, 4\text{ kN}$ では据込率がそれぞれ $\epsilon = 10 \rightarrow 30\%$ 、 $30 \rightarrow 57\%$ と著しく増大したが、 $P = 8, 26\text{kN}$ では殆ど効果がなかった。
- (3) 本試験の範囲において据込率 $\epsilon = 60\%$ 付近に特異点が存在する。

本予備試験をもとに、チタン酸ジルコン酸鉛のボルト締めランジュバン型振動子を用いた、金属塑性加工における超音波振動付加の効果を調べるために、試験片寸法やホーン、コーン形状の影響、振動子周波数の影響等についての研究を進めるとともに、本研究の基礎となる Blaha 効果についても、試験片寸法の影響を考慮して、引張り試験を行い Blaha 効果の確認試験を行う。

参考文献

- 1) 高橋勲次郎・深町成一・渡辺哲哉・久保田喜郎：高周波の工業への応用，東京電機大学出版局，(1977)
- 2) 実吉純一・菊池善充・能本乙彦：超音波技術便覧，日刊工業新聞社，(1978)
- 3) 井出正男監修：超音波応用，電波実験社，(1980)