

アルミニウム複合材料の振動付加角筒深絞り・しごき加工システムの開発

九州大学大学院 工学研究院 知能機械システム部門

助教授 竹増 光家

(平成10年度研究開発助成 AF-1998012)

キーワード : 角筒深絞り, アルミニウム複合材料, 振動付加

1. 研究の目的と背景

近年、各電器製品の発達にともなって二次電池の軽量化が要求され、Li-ion 電池のアルミニウム化が進められており生産能率の向上が求められるようになってきた。ここ数年で需要が急増した携帯電話や PHS などその例にもれず、これらは Fig. 1 に示すような角筒形状の容器が深絞り加工により大量に使用されている。深絞り加工では、各工程の工具形状・寸法および工程数、バンクのパラメータ、加工力、潤滑材などがこの加工性に大きな影響を与える。本研究では、これらのパラメータの最適値を見出し、上述の電池容器を想定した所望寸法の角筒絞り製品の開発を試みた。

これまでの実験では、4 段成形で目標とする製品の再絞りが可能となった。しかし、加工数量が多くなると、ダイ表面にアルミニウム粉末の溶着が多くなり製品表面の粗さが大きくなって所望とする製品が得られなかった。

ところで、最近摩擦を低減させる方法として各種の振動を付加した加工法が注目されている。振動を付加した加工では、加工中微小振動を与えることにより、ダイと工作物の間に隙間が生じて潤滑剤の流入が容易になり摩擦が小さくなって工具への溶着が著しく減少することが報告されている^{1), 2)}。これまでの振動を付加した加工としては、超音波を付加した加工による円筒の多段しごきを行ってきた^{3), 4)}。その結果、ダイ R 半径を大きくし、初期の試料表面を粗くすることで、無振動加工時に比べて最大絞り力を約 50% 程度低減させる結果が得られている。

しかし、超音波装置は高価であり、装置自体が大型となる。また、振動ホーン的设计においても多くのノウハウが必要であり一般的でない等が指摘されている。

そこで、本研究では振動源としてコンパクトで安価であり、しかも発生力が比較的大きく耐久性に優れた市販の piezo アクチュエータ (PZT) を用いた振動付加角筒深絞り装置の開発を試みた。今回は最終工程において再絞りダイを 2 分割し、ダイの横方向に微小振動 (10~50 μ m) を与え、ダイと材料間の接触抵抗を極力減少させるこ

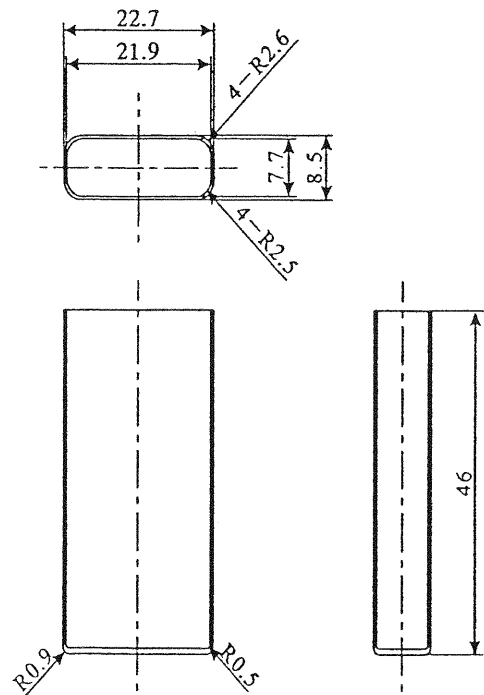


Fig. 1 角筒製品の形状・寸法

とを考えた。また、加工中におけるアクチュエータの振動特性(振動数、制御電圧、波形)が製品の成形性に与える影響について詳細に調べた。

2. 実験装置・方法および条件

2・1 実験装置の概略図

最終工程における絞り装置の概略図を Fig. 2 に示す。振動源としては piezo アクチュエータ⑧を (PZT) 用いた。piezo アクチュエータ本体は、PZT ホルダー⑨に固定されスライダ⑩により水平方向に移動できる。2 分割ダイのクリアランス設定は左右の PZT 押えねじ⑪(初期の圧力調整ねじ)により行う。

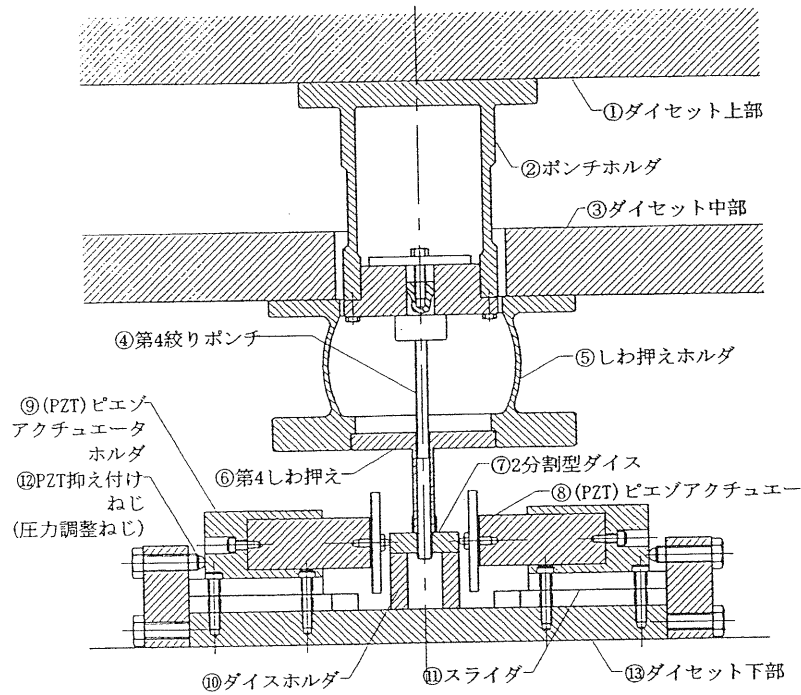


Fig.2 実験装置の概略図

2. 2 2分割ダイの詳細

4段成形での絞りが十分可能になることが確認されたので、ここでは最終工程(第4工程)におけるダイを2分割して加工中の絞り力を低減させるなどの生産能率の向上を図った。Fig. 3は2分割ダイの組立図を示す。左側のダイはダイホルダ⑩に固定されている。右側のダイは水平方向に自由に移動可能で、ピエゾアクチュエータ⑧をダイ側面に接触させた状態で微小振動を加えて加工を行う。工具クリアランスの設定は左右ダイを固定するM5のボルトによって調整する。パンチとダイのクリアランスは0.53mmに設定した。

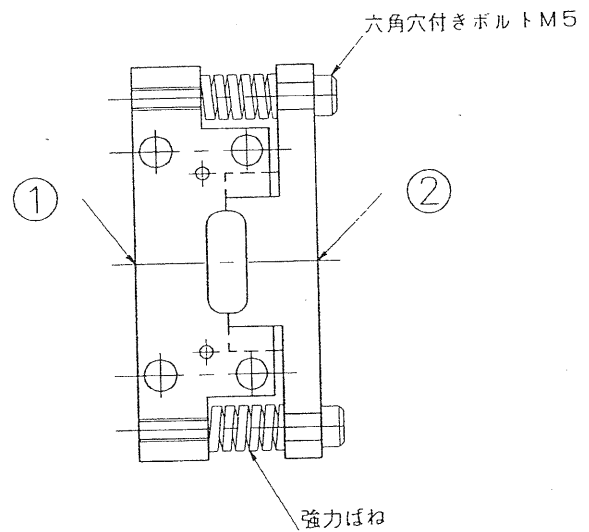


Fig.3(A) 2分割ダイ組立図

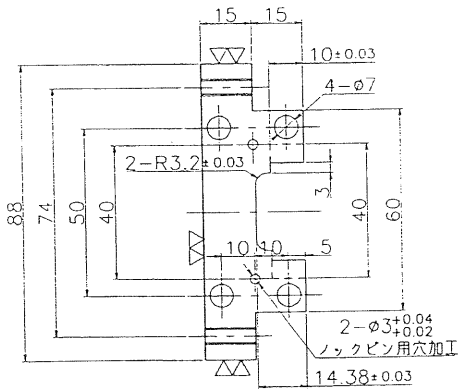


Fig.3(B) ダイ左部分詳細

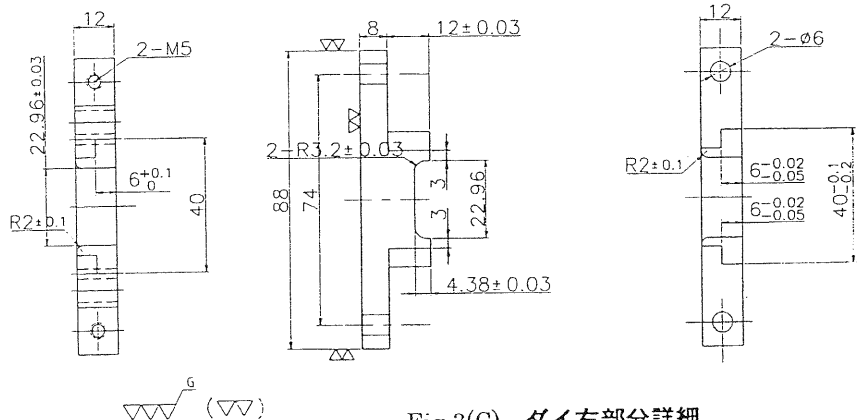


Fig.3(C) ダイ右部分詳細

2. 3 実験条件

角筒絞りでは、加工途中の材料流動が円筒絞りよりも複雑なために初期ブランク形状は擬似楕円形状や円形にすることが多い。ここでは直径 50mm の円形ブランクを用い、初期絞り(第一絞り)では長軸側を圧延方向に一致させて絞りを行った。実験に用いた試料は板厚 0.5mm のアルミニウム板 A1100P-H24 材で、潤滑剤は融点 45~46℃ の固形パラフィンを使用した。左右ダイの間に強力ばねをはさみ込み、ダイ間の隙間を 0.1mm にセットした。振動付加の条件としては、印可電圧は 600v で、制御電圧は 0.5~2.0v の範囲で行い、振動数は 50~200Hz まで変化させた。加工速度は 7.3mm/s である。

加工中のパンチ荷重としわ押え荷重の測定は、パンチホルダー②としわ押えホルダー⑤にひずみゲージを貼り付け、動ひずみ計を介して X-Y レコーダに記録した。

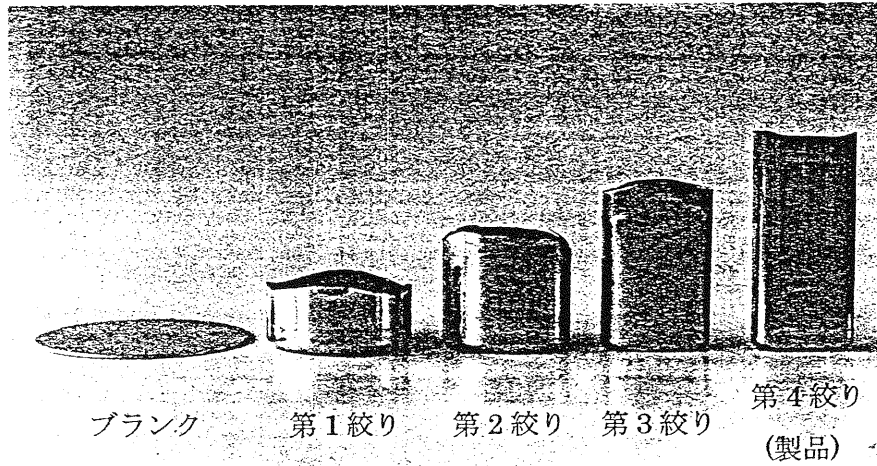


Fig.4 角筒再絞りの成形過程

3. 実験結果および考察

3. 1 再絞り製品

Fig.4 は本実験で得られた各工程の写真の一例を示す。最終工程では 2 分割ダイを用いているため、短辺部中央には Fig.5 に示すように加工方向に、幅 50 μ m、高さ 70 μ m 程度の筋状の盛り上がりが生じてくる。

3. 2 再絞り加工力

最終工程(第 4 絞り)における絞り加工性を調べるために加工中に微小振動を与えたときの平均絞り加工力について調べた。Fig.6 は加工力線図の一例を示す。絞り加工中はかなりの荷重変動が見られるが、平均パンチ荷重は加工中期における定常状態の値を採用した。

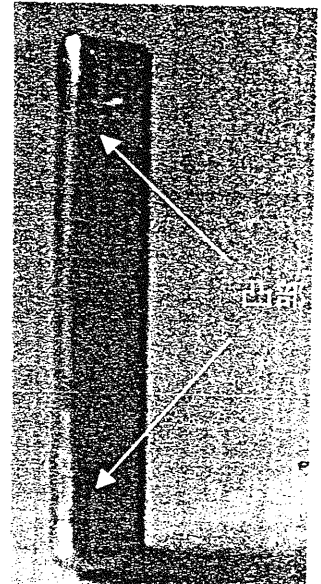


Fig.5 角筒製品の短辺部

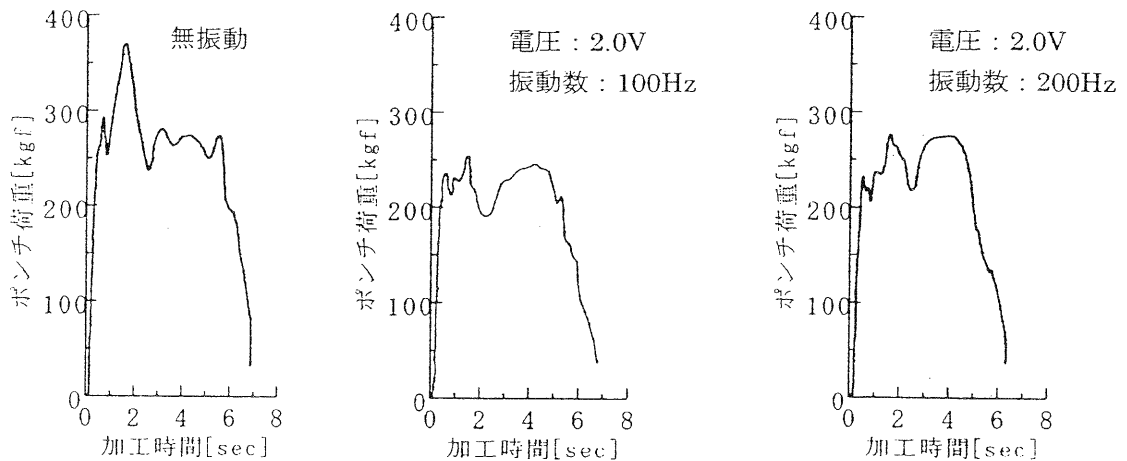


Fig.6 加工力線図例

Fig.7 は平均パンチ荷重測定値の一例を示す。この場合、制御電圧 0(v)、周波数 0(Hz)は無振動のときの値である。無振動のときの最大パンチ力は約 360Kgfであり、再絞り加工における計算値(307~412Kgf)とほぼ一致する。なお、この実験の範囲において平均パンチ荷重は、制御電圧が(2v)の時は振動数に関係なく小さくなり、無振動時に比べて 18~25%程低下する。加工中振動を付加した場合、周波数が高くなるとダイと試料間の接触回数が増え、逆に低くなると接触時間が長くなり、いずれも加工力が大きくなるので加工に適した周波数が存在する。今回の実験の範囲では、最適な周波数は 50Hz であった。

3. 3 製品の板厚分布

Fig.8 は制御電圧を一定にして、無振動の場合と、振動を付加させたときの加工方向(軸方向)の板厚分布の一例を示す。図中破線はピエゾアクチュエータの伸縮による工具クリアランスの範囲を示す。上側、下側の破線はダイがピエゾアクチュエータにより押し狭められた時(0.53mm)と、押し広げられたとき(0.58mm)の寸法である。板厚分布は図中に示すように、長辺部(○)、短辺部(□)、角部(△)について測定した。短辺部(□)と角部(△)では、絞り変形を受けるためにその部位の材料流れが長辺部に比べて遅くなり、設定クリアランスと同じ板厚になる。

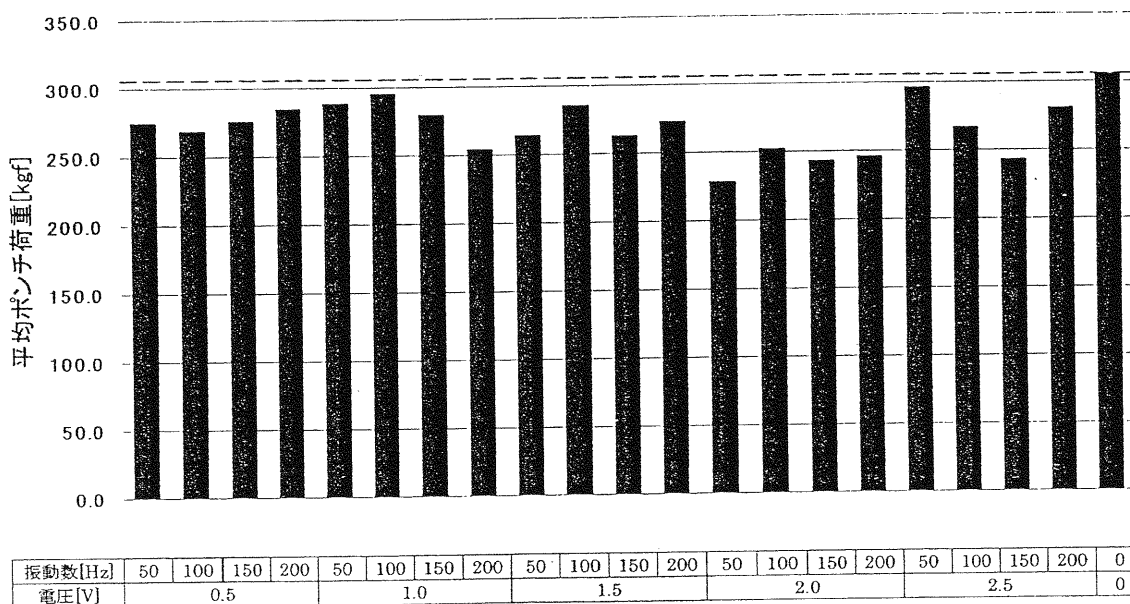


Fig.7 平均パンチ荷重例

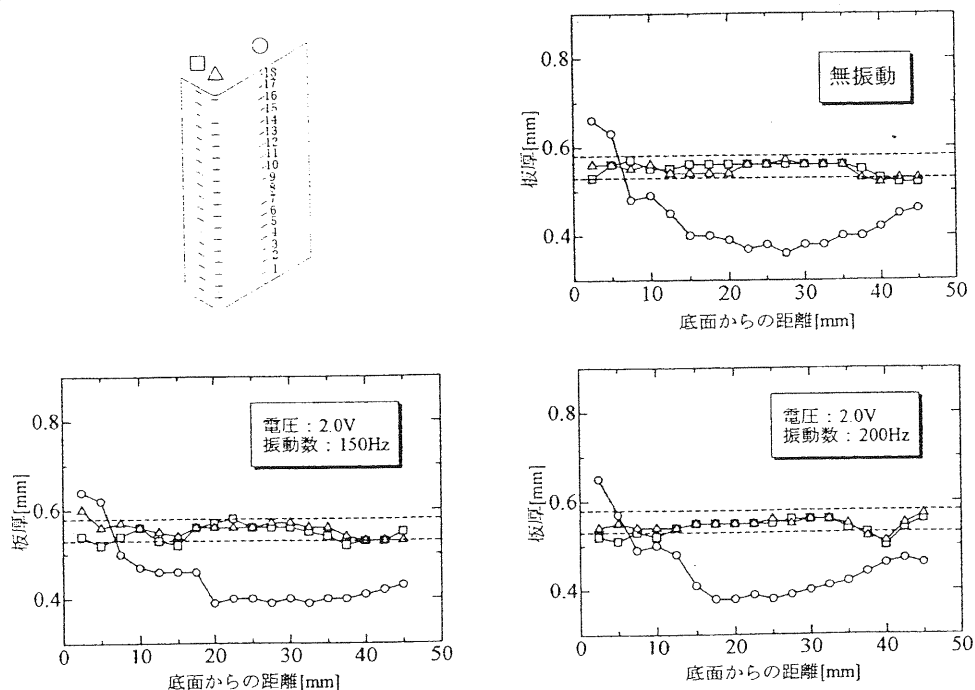


Fig.8 加工方向の板厚分布例

長辺部では、曲げのみの変形を受けるため角部、短辺部に比べて変形が容易となり上部では引っ張りにより0.2mm程板厚は薄くなる。

Fig.9は制御電圧2.0vについて、無振動の場合と100Hz、200Hzの振動を付加した時の各位置、底部(●)、中央部(▲)、上部(■)の周方向における板厚分布の一例を示す。前述のように、容器の板厚は底部付近では工具のクリアランスと同寸法となるが、中央部、上部では引っ張

りカの影響により薄くなる。この実験の範囲では、振動数200Hzのとき無振動時に比べて下部の板厚は薄くなり、周方向板厚のバラツキが減少する。制御電圧と振動数が大きくなると加工中に容器壁を強く叩く回数が増え、ハンマリング効果が大きくなっているのではないかとと思われる。

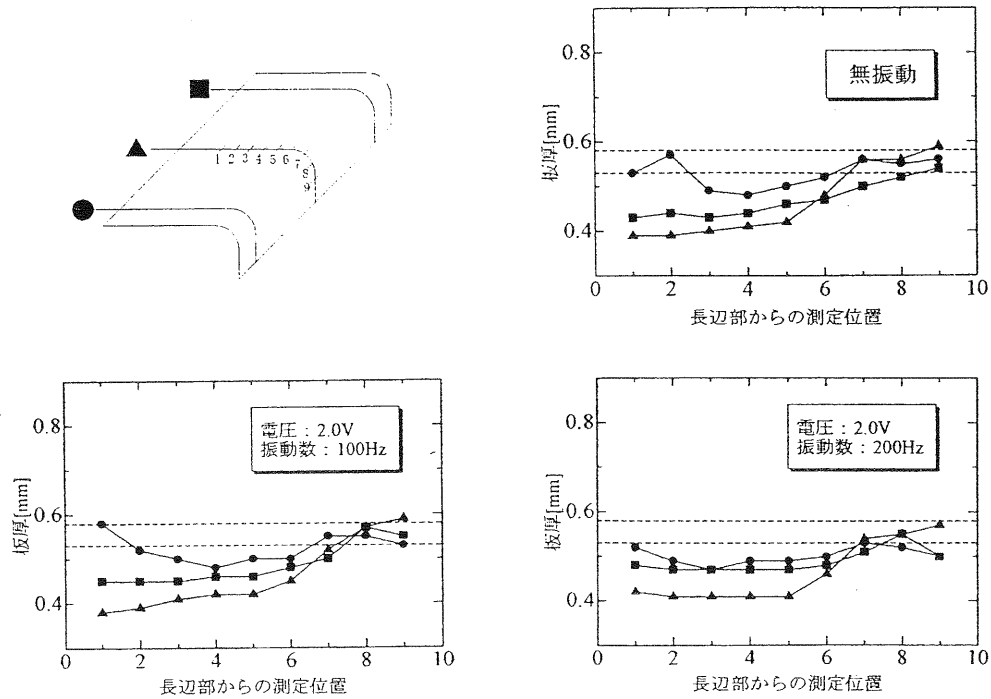


Fig.9 周方向の板厚分布例

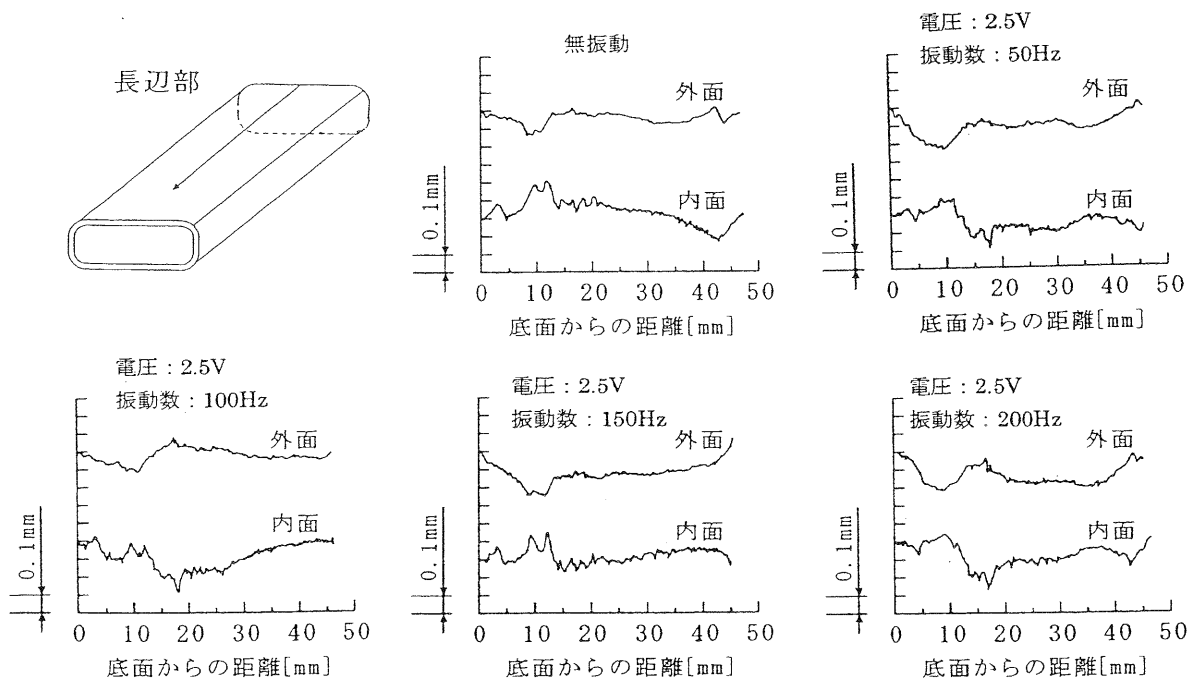


Fig.10 長辺部の表面形状例

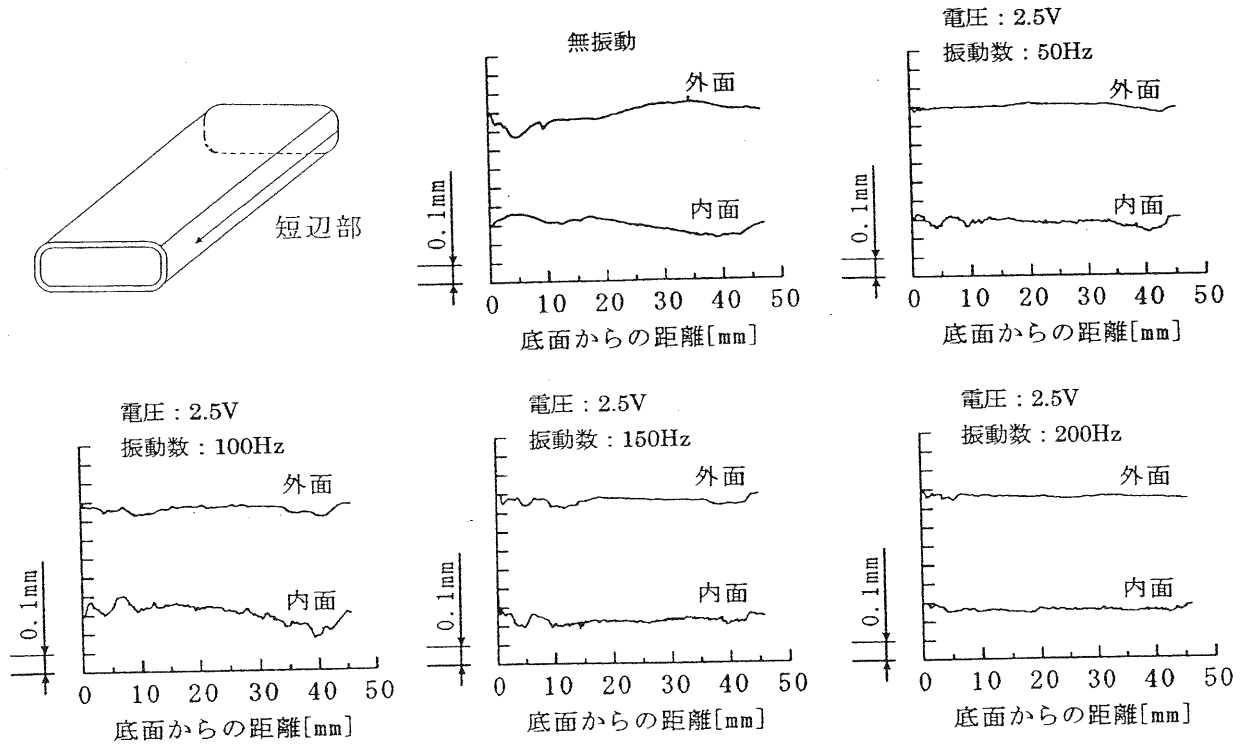
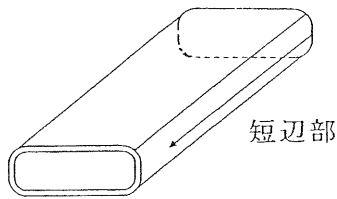


Fig.11 短辺部の表面形状例

3. 4 製品の表面性状

Fig.10 は長辺部、Fig.11 は短辺部それぞれの製品の外面と内面について加工方向に沿って測定した表面性状の一例を示す。長辺部では前工程による板厚が工具クリアランスより薄くなっているために最終工程でのしごきを伴った加工が行われず、振動を付加した場合でも内外表面の凸部が平坦化されず、表面性状は改善されなかった。一方、短辺部では板厚が設定クリアランスとほぼ同じ寸法になっているために微小なしごきに加わって加工が行われているものと思われる。この場合も制御電圧と振動数が大きくなると前述のハンマリング効果により、内外表面とも、うねりの少ない平滑な面が得られた。

4. 結 言

最終工程における再絞りダイを2分割し、加工方向に対して垂直方向に微細な振動(10~50 μ m)を与えてアルミニウム材の角筒再絞り実験を試みた。

- (1) 加工中、微小振動を付加することにより、無振動時に比べて加工初期から最大パンチ力がかなり減少することが確認できた。
- (2) 本実験で行った範囲では、平均パンチ荷重は制御電圧が 2.0v、振動数が 50Hz のときに最も小さくなり、無振動時に比べて約 25%減少した。

- (3) 微小振動を付加することにより、無振動時に比べてダイ内面へのアルミニウムの溶着が著しく減少した。
- (4) 加工方向の板厚は、短辺部、角部では設定した工具クリアランスと同等になるが、長辺部では曲げ変形のためのため、短辺部、角部に比べて材料の流動速度が大きくなり製品上部では初期板厚の 50%以下と薄くなる。
- (5) 振動を付加した場合、周波数が大きくなると試料に接触する回数が増加し、逆に小さくなると接触時間が長くなり、いずれもパンチ荷重が増加するので加工に適した周波数が存在する。今回の実験範囲では最適な周波数は 50Hz であった。今後さらに高、低周波数の領域について詳細に調べる必要がある。

参 考 文 献

- 1) 片岡征二・木原淳二・相澤龍彦・中田高志・加藤光吉：塑性と加工、35-403(1994)、977-982。
- 2) 片岡征治：軽金属、48-2(1998)、73-77。
- 3) 竹増光家・尾崎龍夫・松永良一・山崎進・坂口雅司・鋤本己信：塑性と加工、38-432(1997)、81-86。
- 4) 竹増光家・尾崎龍夫・松永良一・山崎進・坂口雅司・富田賢二：塑性と加工、38-442(1997)、51-58。