

# 超音波振動引抜き法による精密薄肉円管の製作に関する研究

日本工業大学工学部機械工学科

助手 神 雅彦

(平成8年度奨励研究助成 AF-96033)

キーワード：引抜き加工，超音波振動，精密薄肉管

## 1. まえがき

乾式複写機やレーザプリンタ等に使用されている感光ドラム基体には、高い表面精度と形状精度を有するアルミニウム合金製薄肉管が用いられ、各種用紙サイズ用、各種直径(30 ~ 100mm)のものが生産されている。その製作には、現状、EI(押し出し・しごき)法や、ED(押し出し・引抜き)法により薄肉管を製作した後、最終的に要求精度を満たすためにダイヤモンド工具による精密旋削仕上げを行っているのが一般的である。しかし、近年のOA機器の低価格化に伴い、この精密部品である感光ドラムに対しても、製造コスト低減が強く要求されている。

その要求に対して、ED法における引抜き工程で半径方向超音波振動プラグおよび半径方向超音波振動ダイスを用いたことで、特に製作することが難しい大径の感光ドラム(直径60mm)基体に相当する高精度薄肉円管がダイヤモンド旋削仕上げなしにED法のみで製作可能となった<sup>1)</sup>。

## 2. 半径方向超音波振動プラグによる引抜き機構

半径方向超音波振動プラグを用いた引抜きにおける工作物とプラグの相対変位の関係を従来多用されている軸方向のもの<sup>2)</sup>と比較して図1に示す。まずプラグを軸方向に振動させた場合のプラグと工作物の相対位置関係は振動1周期T毎に振幅a<sub>a</sub>でプラグが前後運動することから、プラグのアプローチ部ではl<sub>r</sub>の距離間隔で軸方向に接触・分離・接触を繰り返す関係となり、潤滑剤の進入効果が期待できる。しかし、ベアリング部では常時接触し摩擦運動が発生する機構となるため激しい摩擦熱が発生するものと考えられる。本研究による大径の高精度薄肉管製作における実験では、振動によるプラグと工作物との摩擦による激しい発熱が発生し、油切れが原因で管が破断してしまうという事態が発生した。それに対して、半径方向超音波振動プラグによる引抜き機構は図(b)に示すように、プラグのアプローチ部とベアリング部の両方が工作物に対して、半径方向に接触・分離・接触を繰り返す関係となり、潤滑剤の進入効果が期待できるのはもちろんのこと、軸方向振動時に発生した摩擦運動がなくなる。従って、発熱

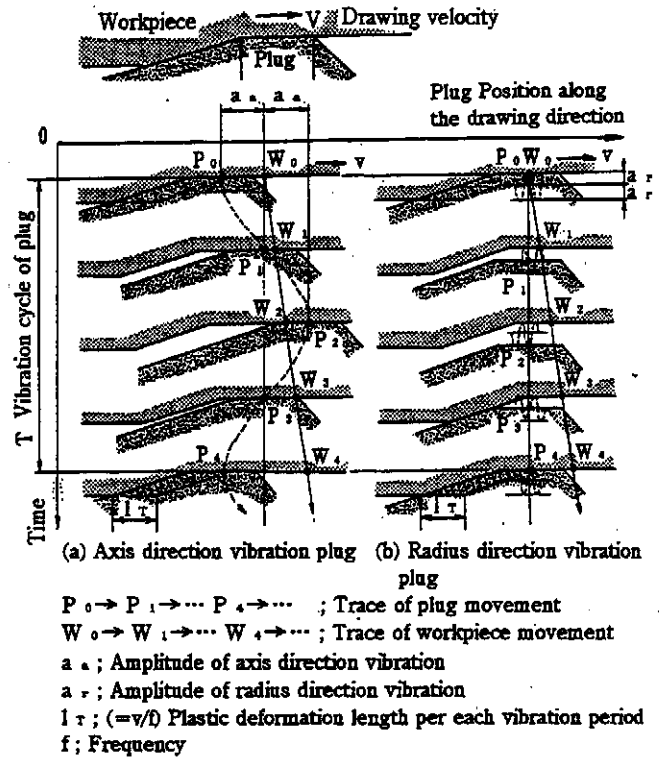
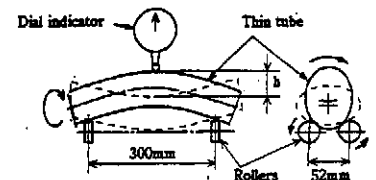


図1 超音波振動プラグによる引抜き機構

表1 目標精度

| Precision item           | Allowable limit          |
|--------------------------|--------------------------|
| Surface roughness (Rmax) | Smaller than 1.0 $\mu$ m |
| Roundness                | Smaller than 50 $\mu$ m  |
| Thickness variation      | Within $\pm 30 \mu$ m    |
| Radial run out h         | Smaller than 70 $\mu$ m  |



することなく潤滑性の向上、引抜き力の減少などの効果が得られるようになるのではないかと考えられる。

### 3. 実験装置および方法

目標とした加工精度を表1に示す。これらは有機感光体を塗装して用いる感光ドラム基体としての一般的な要求精度となっている。

次に、ED法による高精度薄肉管の製作実験工程を図2に示す。開始素材には、図(a)に示すような、感光ドラム基体用として一般的に用いられているアルミニウム合金 A3003-O の押出し管（引張強さ：96N/mm<sup>2</sup>，伸び：46.4%）を用い、それを図(b)のようにスエージング加工により口付けを行った後、図(b)～図(d)に示すように、3工程の固定プラグによる引抜き加工を行って最終製品を得ることとした。各工程の断面減少率は25%前後で、全工程で59.3%の断面減少率となっている。ダイス及びプラグの形状および寸法を図3に示す。

実験に用いた引抜き装置を図4に示す。引抜き装置には管の曲がりや歪みを極力少なくするために管のガイドやエアージャックを備え、機械的精度も十分に調整されたものを用いている。プラグの超音波振動は、マンドレル棒の後端部にボルト締めランジュバン型超音波振動子を設置し、先端に超音波振動プラグを取り付けることによってその装置を構成し、駆動は公称出力1.2kW(max)超音波発振器(超音波工業(株)製)によりマンドレル棒を7.5波長で縦振動させ、マンドレル棒先端のプラグを半径方向に振動させた。製作した半径方向超音波振動プラグの概略形状及び、その振動モードを図5に示す。その形状は、軸方向に1/2波長の縦振動モードで共振する長さとし、そのノードの位置にプラグベアリング部を配置するものとした。振動駆動テストを行った結果、ベアリング部が片振幅約2.5μmで軸対称に半径方向振動していることを確認した。プラグの材質は良好な振動モードを得るためにSKD11(硬さ62HRC)の一体型のものとし、さらに後述するように、凝着防止のためにDLC(ダイヤモンドライクカーボン)<sup>3</sup>をコーティングしたものとした。半径方向超音波振動ダイスは材質をSKD11(62HRC)とし、外径と厚みは、振

動数15kHzで、軸対称の伸縮振動モードとなるように有限要素法により振動解析を行って決定した。振動の発生は、公称出力2.4kW(max)の発振機(超音波工業(株)製)と2本の振動子によって行った。共振周波数 $f$ は14.89kHz、振幅 $a$ はベアリング部で約8μm(実測値)となっている。

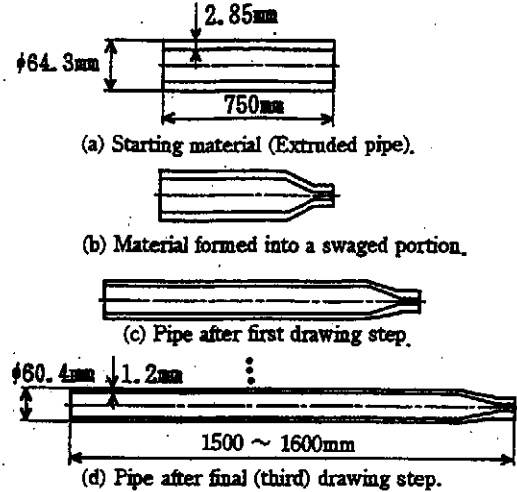
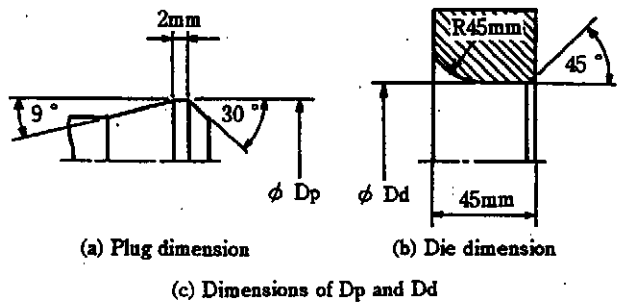


図2 感光ドラム基体製作実験工程



(a) Plug dimension (b) Die dimension (c) Dimensions of Dp and Dd

| Step of the ED process | 1st  | 2nd  | 3rd  |
|------------------------|------|------|------|
| $\phi$ Dp (Plug)       | 58.4 | 58.2 | 58.0 |
| $\phi$ Dd (Die)        | 62.7 | 61.4 | 60.4 |

図3 ダイスおよびプラグの形状

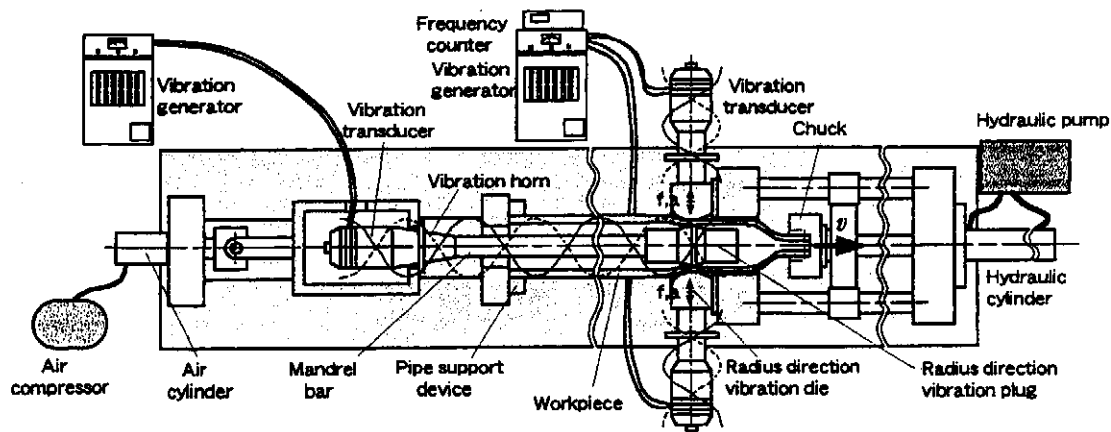
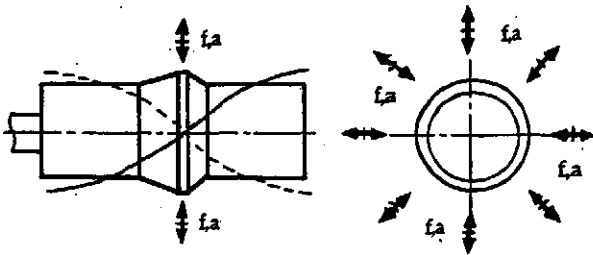


図4 超音波振動引抜き実験装置



(Frequency  $f$ : 14.8kHz, Amplitude  $a$ : 2.5  $\mu$ m)

図5 半径方向超音波振動プラグの形状と振動モード

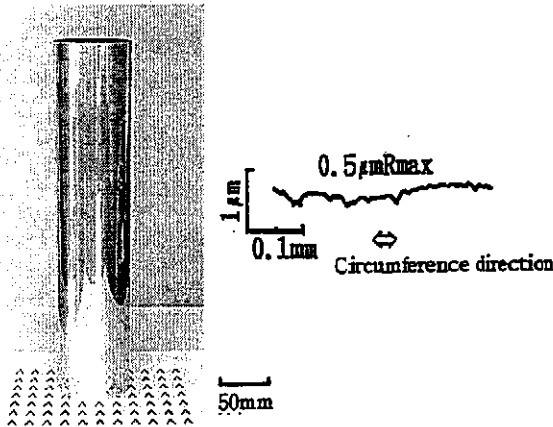
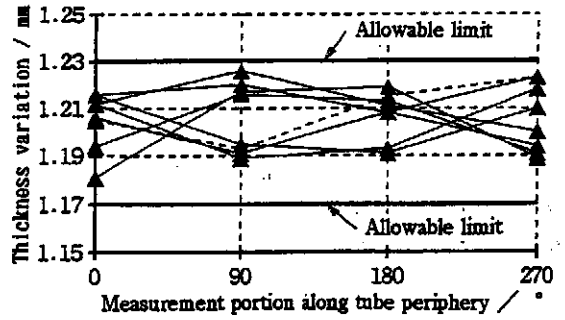
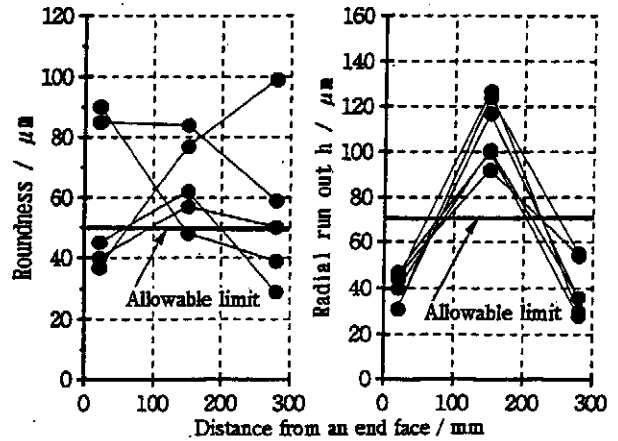


図6 慣用引抜きによる表面精度



(a) Thickness variation



(b) Roundness

(c) Radial run out  $h$

図7 慣用引抜きによる形状精度

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 慣用引抜きにおける加工精度

まず、慣用引抜きにおける加工精度を図6および図7に示す。外周の表面精度および肉厚精度は目標精度内に収まった。しかし、真円度と振れ量は目標精度から大きくはずれる結果となった。尚、このときのダイスとプラグの材質は超硬合金で、潤滑油にはポリブテンと鉱油の基油にイオウ系極圧添加剤とリン系摩擦調整剤、及び油性剤を混合した潤滑油（動粘度:560mm<sup>2</sup>/s(40℃)、品名:DW223C(株)コスモ石油製)を用いている。

この原因は、特に潤滑状態が悪くなりやすい内面に微小な引抜き傷が発生し、その傷が真円度と振れ量を悪化させる原因となっていると考察された。その対策として半径方向超音波振動プラグによる引抜きを検討した。

##### 4.2 半径方向超音波振動プラグによる引抜き効果

(1) 引抜き中の発熱 実際、引抜き中の工作物の温度はプラグを振動させない場合とほぼ同じになることを確認し、半径方向振動プラグを用いれば、考察したように発熱がない状態で引抜きが行えることがわかった。

(2) 引抜き力 引抜き力を測定した結果を図8

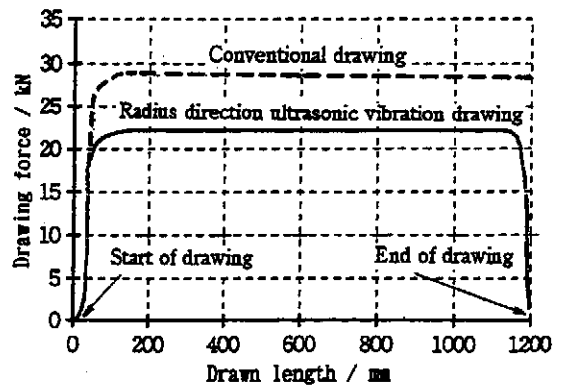


図8 半径方向超音波振動プラグを用いた引抜きによる引抜き力

に示す。慣用引抜きの場合に比べ、引抜き力が約30%減少することを確認した。すなわち、半径方向超音波振動引抜きにおいても、これまで軸方向振動引抜きで報告されている<sup>2)</sup>ような、引抜き力減少効果が得られることがわかった。

(3) 内面の性状 引き抜いた薄肉管の内面は傷が減少し、きれいな鏡面となった。また、内面に太陽光線を反射させると虹面模様が観察され、表面の拡大観察結果では、解析した振動1周期毎の塑性変形長さ  $\lambda/2$  に一致する約2  $\mu$ mピッチの線の存在が

確認できた。

(4) 加工精度 真円度及び振れ量を測定した結果を図9に示す。両者は慣用引抜きの場合に比べて改善され、振れ量は15%程度減少し、また真円度は目標精度内に収めることができ、半径方向超音波振動プラグの効果を得られることがわかった。しかし、用いたプラグがSKD11製のためもあったか、数本引抜きを行うと、アルミニウムが凝着し始め、内面の傷が増え形状精度が徐々に悪化してくるという問題点が発生した。

(5) DLCコーティングと超音波振動との併用の効果 プラグへの凝着防止対策としてSKD11製の超音波振動プラグにDLCコーティングを施した。まず、超音波振動の振動応力によるコーティングの剥離等の不具合がないことを数回の振動駆動テストを行って確認した。その後3本の引抜き実験を行った結果、プラグへのアルミニウムの凝着は皆無となり、振れ量を測定した結果は図10に示すように、測定した全本を目標精度内とすることができた。すなわち、このDLCコーテッドプラグによる半径方向超音波振動引抜きにより、最終的に表1の目標精度の全項目を満足する感光ドラムを製作することができた。

#### 4.3 半径方向超音波振動ダイスによる引抜き効果

引抜き力を調べた結果、ダイスを振動させた場合の引抜き力は慣用引抜きに比べて10%程度減少した。

外周面を定性的に観察した結果では、半径方向振動ダイスによる表面状態は、プラグ超音波振動の場合および慣用引抜きの場合に比べ光沢が少なく曇り気味の表面となった。表面粗さの測定結果では、慣用引抜きに見られるような微小スクラッチがなく一様で、 $R_y$ の比較では慣用引抜きと同様の $0.5 \mu\text{m}$   $R_y$ となり、目標精度を満足することがわかった。

形状精度に関して真円度および振れ量  $h$  を測定した結果例を表2に示す。ダイスを振動(R.U.D.)させることによって、真円度、振れ量が慣用引抜き(C.D.)に比べ共に向上し、目標精度を満足させることがわかった。形状精度の測定結果は前項のプラグを超音波振動させた場合とほぼ同じか、あるいはそれ以上の精度となる傾向になることがわかった。

#### 5. むすび

特に製作が困難とされている大径感光ドラム基体(直径60mm)が、DLCコーティングを施したプラグに半径方向超音波振動を付加する方法、またはダイスに半径方向超音波振動を付加する方法によりED法のみで製作可能となることがわかった。

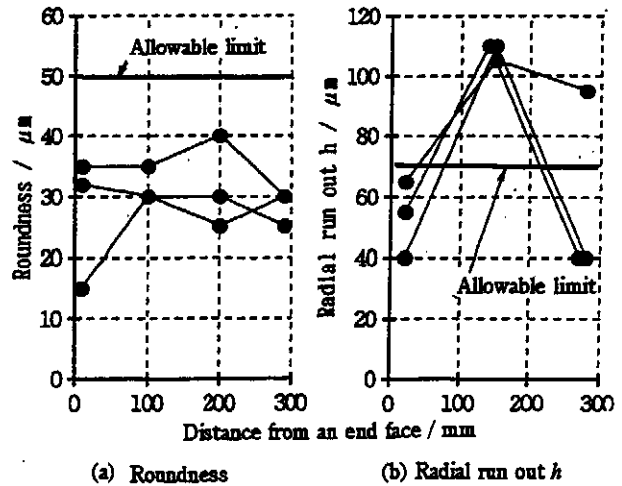


図9 半径方向超音波振動プラグを用いた引抜きによる形状精度

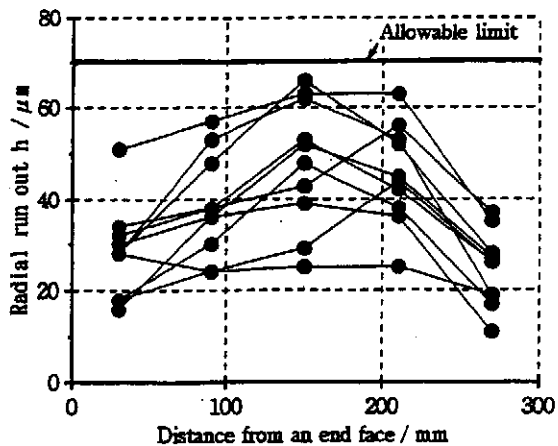


図10 DLCコーテッド半径方向超音波振動プラグを用いた引抜きによる振れ量

表2 超音波振動ダイスを用いた引抜きによる形状精度

| Precision item     | C.D.                | R.U.D.             |
|--------------------|---------------------|--------------------|
| Roundness          | 41.5 $\mu\text{m}$  | 26.5 $\mu\text{m}$ |
| Radial run out $h$ | 139.0 $\mu\text{m}$ | 58.0 $\mu\text{m}$ |

#### 謝辞

本研究に際し終始ご指導を承りました日本工業大学工学部村川正夫教授に深く感謝申し上げます。最後に、本研究は(財)天田金属加工機械技術振興財団の研究助成を受けて遂行されたものであり、貴財団に対し深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 神 雅彦, 古閑伸裕, 村川正夫, 熊谷泰: ED法による大径の高精度アルミニウム合金薄肉管の製作, 塑性と加工, 37.429(1996).1095.
- 2) 日本電子機械工業会編: 超音波工学(1993), 189, コロナ社.
- 3) C.Weissmantel, K.Bewilogua, D.Dietrich, H.-J.Erler, H.-J.Hinnerberg, S.Klose, W.Nowick and G.Reisse: Thin Solid Films.72(1980).19.
- 4) 村川正夫, ホンパソキョウタイプ, 神雅彦: アルミニウム薄肉管製作法に関する研究(第9報), 平成9年度塑性加工春季講演会講演論文集, 49.