

超音波振動引抜き法・しごき法による 精密薄肉円管製作法に関する研究

神 雅彦*

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、従来、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った。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。

それに対して、これまで著者は、ダイヤモンド旋削仕上げを省き、EI法や、ED法のみで同感光ドラム基体を製作するための技術開発を手がけてきた。^{1)~4)}

本研究では、特に製作することが難しい大径の感光ドラム(直径60mm)を、ED法における引抜き・しごき工程に半径方向超音波振動プラグを用いたことで、同大径感光ドラム基体がダイヤモンド旋削仕上げなしで製作可能になった。

2. 感光ドラム基体の目標加工精度とED法による製作工程

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である。

次に、ED法による感光ドラム基体の製作実験工程を図1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 の押し出し管(引張強さ: 96N/mm², 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)~(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%の断面減少率である。ダイスおよびプラグの形状および寸法を図2に示す。

3. 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3および図

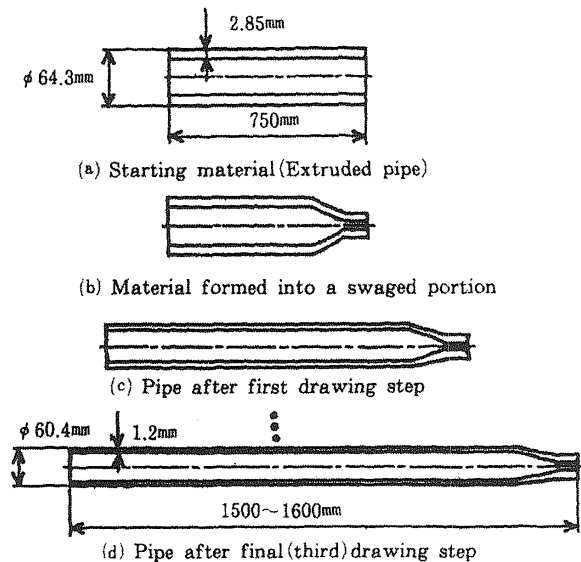
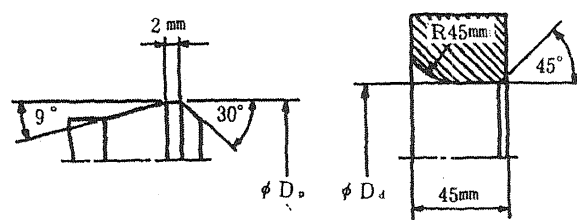


図1 感光ドラム基体製作実験工程⁴⁾



(a) Plug dimension (b) Die dimension
(c) Dimensions of D_p and D_d (mm)

Step of the ED process	1 st	2 nd	3 rd
ϕD_p (Plug)	58.4	58.2	58.0
ϕD_d (Die)	62.7	61.4	60.4

図2 ダイスおよびプラグの形状⁴⁾

表1 目標精度

加工精度項目	範囲
表面粗さ (Ry)	1.0 μm 以内
真円度	50 μm 以内
肉厚公差	$\pm 30 \mu\text{m}$
真直度 (振れ量) h	70 μm 以内

4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:560mm²/s(40°C)、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

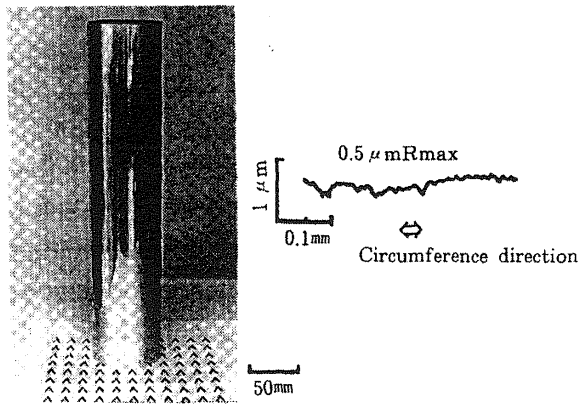


図3 慣用引抜きによる表面精度⁴⁾

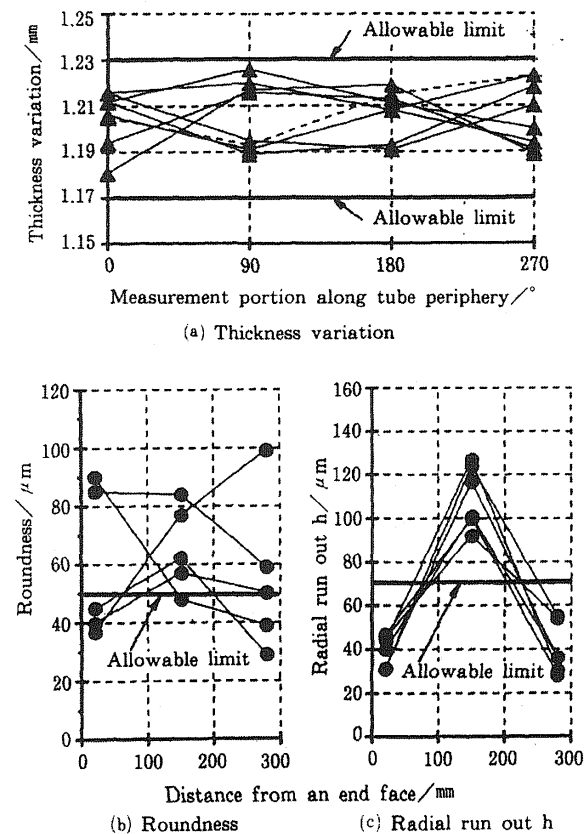


図4 慣用引抜きによる形状精度⁴⁾

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. 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⁵⁾と比較して図5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_a 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_T 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。著者らの感光ドラム基体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5(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。

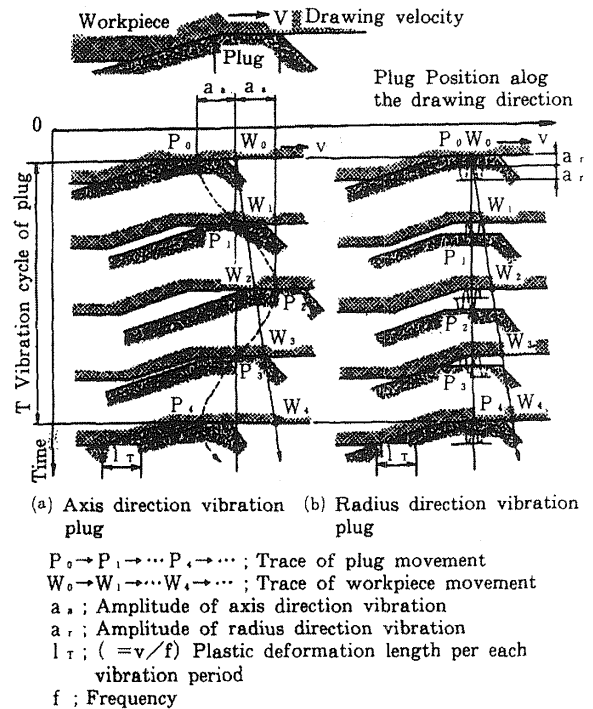


図5 超音波振動プラグによる引抜き機構⁴⁾

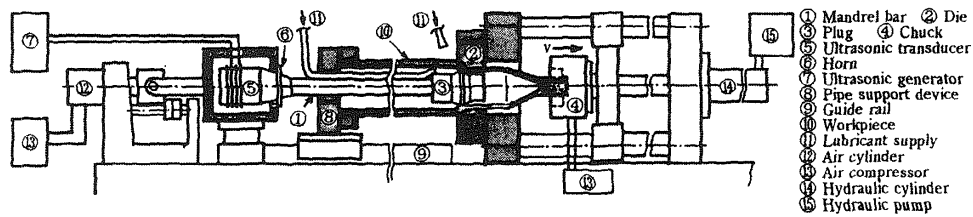


図6 半径方向超音波振動プラグ搭載引抜き装置⁴⁾

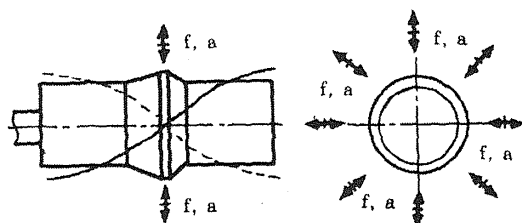
5. 半径方向超音波振動プラグを用いた引抜き装置

実験に用いた引抜き装置を図6に示す。引抜き装置には管の曲がり力を極力少なくするために管のガイドやエアーチャックを備え、機械的精度も十分に調整した。プラグの超音波振動は、マンドレル棒①の後端部にボルト締めランジュバン型超音波振動子⑤を設置し、先端に超音波振動プラグ③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2.4kW超音波発振器⑦(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③の概略形状及び、その振動モードを図7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 $2.5\mu\text{m}$ 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)⁶⁾をコーティングした。

6. 半径方向超音波振動プラグによる引抜き効果

6.1 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。



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

図7 半径方向超音波振動プラグの形状と振動モード⁴⁾

6.2 引抜き力

引抜き力を測定した結果を図8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⁵⁾ような、引抜き力減少効果が得られることがわかった。

6.3 内面の性状

引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を観察され、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 v/f に一致する約 $2\mu\text{m}$ ピッチの線の存在が確認できた。

6.4 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が見られることがわかった。しかし、用いたプラグがSKD11製のためであったか、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。

6.5 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

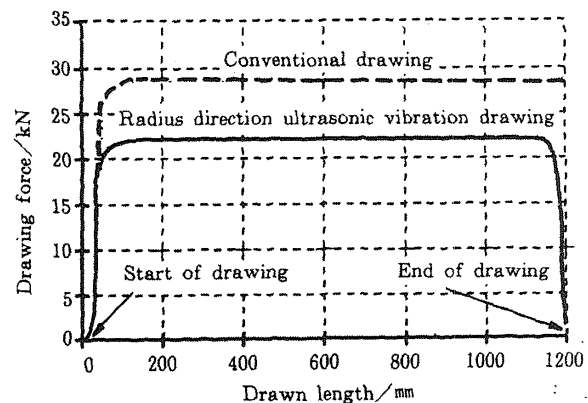


図8 半径方向超音波振動プラグを用いた引抜きによる引抜き力⁴⁾

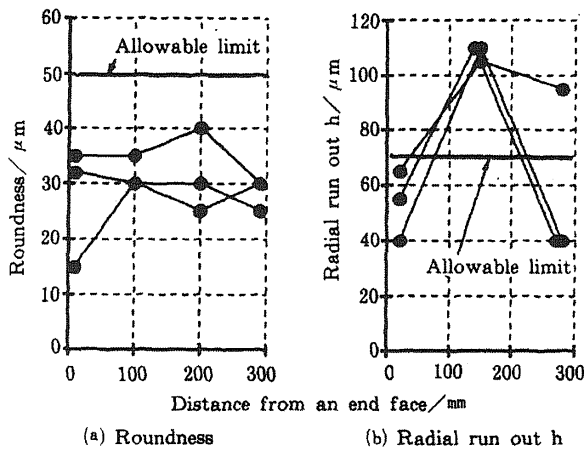


図9 半径方向超音波振動プラグを用いた引抜きによる形状精度⁴⁾

振動プラグにDLCコーティングを施した^{7,8)}。まず、数回の振動駆動テストを行って超音波に起因した不具合がないことを確認した。その後3本の引抜き実験を行った結果、超音波振動の振動応力によるコーティングの剥離等およびプラグへのアルミニウムの凝着は皆無となった。製品の振れ量を測定した結果は図10に示すように、測定した全製品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。

7. 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)がプラグに半径方向超音波振動とDLCコーティングを付加することにより、ED法のみで製作可能になることがわかった。

最後に、本研究に対しご支援をいただきました(財)天田金属加工機械技術振興財団に対しまして深く感謝いたします。

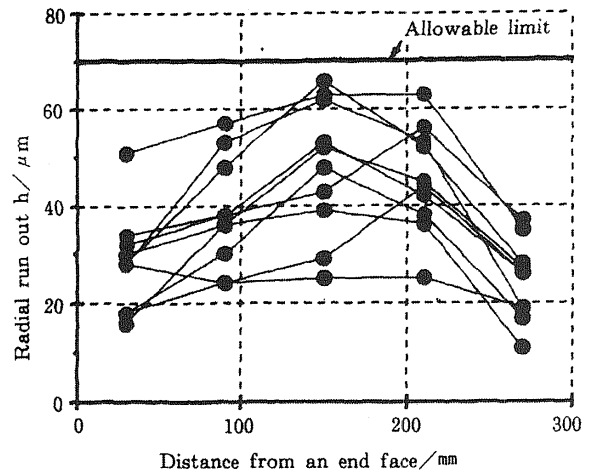


図10 DLCコーテッド半径方向超音波振動プラグを用いた引抜きによる振れ量⁴⁾

参考文献

- 1) 村川正夫, 古閑伸裕, 大川陽康: DI加工による感光ドラム用精密アルミニウム管の製作, 塑性と加工:30,338(1989), 365.
- 2) 村川正夫, 古閑伸裕, 松崎昭佳, 大川陽康: アルミニウム薄肉管製作法に関する研究(第5報 高精度感光ドラム用素管のED法による製作), 第42回塑性加工連合講演会論文集(1991), 155.
- 3) M.Murakawa and N.Koga: Precision Tubes for Photosensitive Drum Made by EI and ED Processes. Advanced Technology of Plasticity (1993) 894.
- 4) 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.
- 5) 日本電子機械工業会編: 超音波工学(1993), 189, J叶社.
- 6) 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.
- 7) 村川正夫, 古閑伸裕, 熊谷泰: コーテッド工具によるアルミニウム板の無潤滑深絞り加工, 第45回塑性加工連合講演会論文集(1994), 61.
- 8) 古閑伸裕, 村川正夫, 熊谷泰: アルミニウム板の打抜き加工におけるコーテッド工具の有用性について, 平成7年度塑性加工春季講演会論文集(1995), 81.