

ワイヤ放電加工機用旋削加工装置の製作と評価

御厨照明，中西幸弘

名古屋大学工学部・工学研究科 技術部

1 はじめに

ワイヤ放電加工機（WEDM：Wire Electro Discharge Machine）の工作性能，加工範囲のより一層の拡張を図るため，WEDMに被加工物（ワーク）を回転させることができる旋削加工装置を付加し，WEDMの非接触・溶融加工という切削抵抗が非常に少ない加工法の利点を生かして，従来の旋盤では工作不可能な歪み易い薄物や極細で縦横比の大きな線状工作物の加工を試みた．さらに，この装置に指定の角度でワークを回転・固定できる機能をもたせ，多角形の工作をも可能にした．そして，加工に最適な旋削回転数の選定およびワークの加工精度，加工面粗さを測定し，製作した加工装置の評価を行った．

2 旋削加工装置の製作

2.1 装置の概要

旋削加工装置は縦 520mm，横 250mm，高さ 315mm の大きさで，その概観を図 1 に示す．加工装置はワークを固定するチャックと，それを駆動するためのベアリングで支持された主軸，ブラシ，プーリ，ベルトならびに駆動用のモータにより構成されており，チャックを除いた駆動系は加工液の侵入を防ぐために，高さ 180mm のアルミの板で隔離してある．さらに，ワークのより安定な回転と精度の良い加工を保障する目的で，芯押し台機構を設けた．

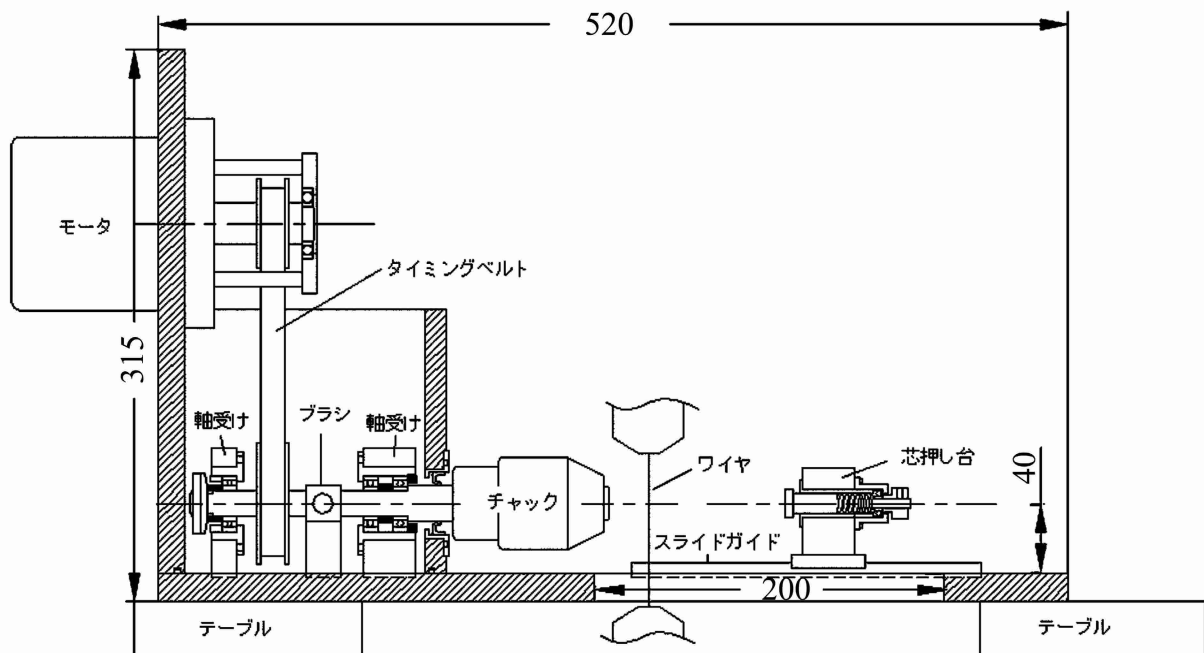


図 1．旋削装置の概観

2.2 装置の製作

ベアリングや主軸および芯押し台機構を設置するベースには、軽量で平面度の高い、厚さ 15mm のハイブリッドアルミプレート A5052P を採用した。ベース面のパーツ取付け部にはマシニングセンタで溝堀加工を行い、その溝に各パーツの凸部をはめ込んだ。このような加工を施すことで、高精度な取付け位置を保障するとともに、メンテナンス等による分解後の再組付け時の再現性を容易にした。

チャックと芯押し台機構の間は、放電加工で長方形状にくりぬき、ワイヤが移動できる加工空間を設けた。ここで、チャックに固形されたワークが加工できる長さは最大 170mm である。さらに、ベースの両端面には芯押し台が平行に移動できるよう、スライドガイドを設けた。芯押し台には、ワークが極細で低剛性であることを想定してバネを組込み、ワークに弱い圧縮力を与えることで保持するような構造とした。

2.3 組立て

ワークを加工する場合、ワイヤが主軸と平行に移動することが、精度の良い加工をするための基本となる。ここではベースの端面部分をその基準とした。そのために、まず端面と主軸が平行になるようにベアリング等の位置決めをした。さらに、WEDM のテーブル面と主軸、および主軸と芯押し台の高さを同一にするために、厚さ 0.01mm のフィラゲージテープを使って細かい調整を行った。また、チャックの安定した回転を得るために 3 個のベアリングで主軸を支持し、ベアリングを樹脂容器で保持することで主軸からハウジングへの導通を遮断した。ここで、主軸に流れる電流はブラシを経由してテーブルに導かれることになる。

駆動部分が収まる隔壁の接合面のシールにはゴムシートと O リング、回転部である主軸にはオイルシールを用いて、加工液の侵入を完全に排除した。なお、モータと主軸の間の連結にはより滑らかな回転とバックラッシュを抑えるため、タイミングベルトを用いた。

以上のような製作・組立て過程を経ることで、ワイヤはワークを平行に加工することが可能になる。つまり、テーブルに旋削装置を固定した後、その端面で装置の傾きをワイヤで計測すれば、WEDM の「軸回転自動転送機能」により、ワイヤは主軸に沿って平行に移動することが可能になり、精度のよい加工ができるようになる。ここで、チャックの回転のぶれは $\pm 0.015\text{mm}$ 以内に治めることができた。

2.4 モータの制御

モータには、ワークの回転速度や回転角度の細かな制御を行うため、5 相のステッピングモータとドライバ(オリエンタルモータ社製 RK-566AA)を採用した。このモータを 1pulse 当り 0.72 度のステップで使用し、モータと主軸のタイミングプールのギア比を 25 対 36 とすることで、0.5 度刻みで回転角度の制御を行った。モータの回転速度と回転角度の制御は、ルネサステクノロジー社製の H8/3048(16 ビットシングルチップ CISC マイクロコンピュータ)により行い、プログラムには C 言語を用いた。

運転手順としては、サムロータリスイッチで希望の回転角度、回転速度を設定し、スナップスイッチで回転方向を指定、スタートボタンを押してモータを起動させ、ストップボタンで停止する。なお、連続回転においては、モータの脱調を防ぐために、徐々に加速、減速する台形運転とした。また、連続運転と定角度運転の切り換えは、定角度値が設定されると定角度運転が優先するような設計にした。

3 旋削加工

3.1 加工モードの決定

使用した WEDM は三菱製 FX10 型で加工モードは 2 種類あり、そのひとつはセンサにより最適の電気条件になるように自動制御される PM 制御、もうひとつは材料の種類や厚さなどの諸条件から最適な条件が組合わされたメカ仕様の E パック制御である。ワークが回転する今回の試験では、予備加工を行いワークの材

質で適宜使い分けた。ここで、ジュラルミンと鉄鋼材ではEパック制御，真鍮材ではPM制御で良好な加工が得られた。なお，加工に使用したワイヤ電極は，直径0.2mmの沖電線製OB-20P（材質：黄銅）である。

3.2 加工評価用試験片の作製

評価用試験片の材料には，実際の業務で加工頻度が高い2種類の材料，ジュラルミンA2017と機械構造用鋼S45Cの直径10mmの丸棒を用いた。この丸棒を10~600rpmの各回転数において，直径8mm，長さ20mmの評価用試験片を1回加工で旋削加工した。また比較のため，回転数685rpm，送り量0.068mm/cycle，片持ち支持の条件で，実際の旋盤で同じ形状の試験片を1回加工で製作した。さらに，芯押し台機構の効果を計るために，A2017材を用いて，1回加工で直径2mm，長さ140mmの細長い丸棒を作製した。

4 評価

4.1 加工時間

各回転数における加工時間を図2に示す。回転数はA2017，S45C共に10，25，50，100，200，400，600rpmの7種類で行った。加工条件は，A2017でE922，S45Cの場合はE1031とした。A2017では各回転数で安定した加工が得られ，加工時間は回転数の如何にかかわらず20min程度と一定していた。一方，S45Cでは100，200，400rpmで加工は安定していたが，その他の回転数ではワイヤとワークが頻繁に接触し，ワイヤの断線が多発した。また，加工時間はA2017の約1.8倍と長かった。製作した試験片の端面を切落とす時間は，A2017において回転させた場合は2.5~3min，静止時では35sec程度で約5倍の時間を要した。

4.2 加工精度

図3に，旋削加工した評価用試験片の各回転数における直径の測定結果を示す。測定は μm オーダの計測が可能なマイクロメータ（Mitutoyo製）を用い，試験片の両端面から5mmほど中央部に寄った場所を2点，さらに90度回転させて2点の計4ヶ所を行った。図中のデータはその平均値である。直径は，ほとんどの試験片で図中の点線で示す設定寸法の8mmよりやや大きくなっており，A2017のほうがS45Cよりも良い値を示している。ワイヤ電極は一定の力で引張られているが，常にワークとの爆発で振動しており，剛体である旋盤のバイトと同一に比較することはできない。旋削量1mm（半径）を一回ではなく，数回にわけて行えばより精度の高い加工が可能と思われる。

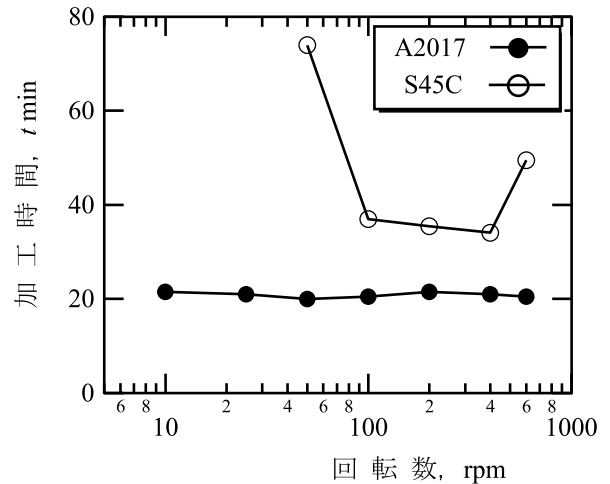


図 2. 各回転数における加工時間

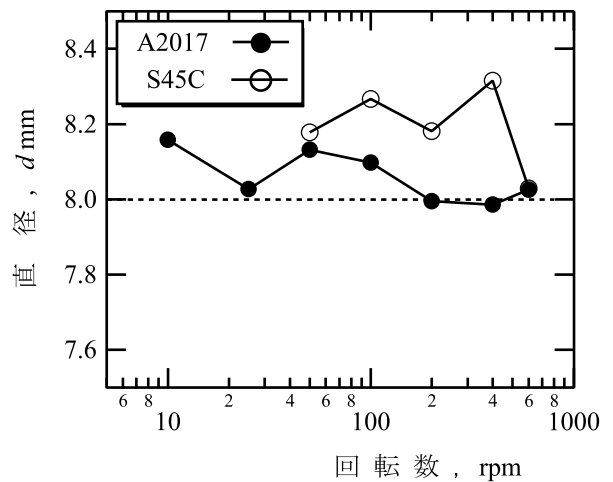


図 3. 各回転数における加工時間



図 4. 線状試験片

図4には芯押し台機構を使用した細長い線状試験片の加工例を示す。図の左の部分がチャック部である。ノギスでの測定では、チャック部から20mm離れた所の直径は1.822mm、中央で1.827mm、端面から右へ20mmの所で1.826mmであった。目標の2mmよりやや小さな値となった。一方、芯押し台を使用しない加工では、それぞれ1.830mm、1.689mm、1.933mmという結果であった。芯押し台機構の効果は顕著で、使用している加工例は使用していない例に比べ、はるかに精度の良い加工ができています。

4.3 加工面粗さ

図5には各回転数における加工面の粗さ(平均粗さRa, 最大粗さRmax)の測定結果を示した。測定には小坂研究所製の万能表面形状測定器SE-3Hを使用し、JIS B0601-1982で評価した。測定箇所は試験片の中央部、測定距離は8mm、500倍の精度で行った。

A2017では、回転数の違いによる粗さの変化はRa, Rmax共にあまり見られない。一方、S45Cでは回転数が高くなるにしたがい、粗さは小さくなっていく傾向を示している。また、両材料ともRaとRmaxの間にはある相関があるようだ。

表面粗さをA2017と比較すると、ワークを固定した通常の加工(0rpm)ではRa=3.25 μ m, Rmax=28 μ m,

旋盤加工ではRa=2.47 μ m, Rmax=14.5 μ mとなった。旋削加工で良好な値が得られた回転数200rpmではRa=3.73 μ mで旋盤加工の1.5倍、Rmax=27.5 μ mで約1.9倍という値を示した。一方、回転の有無における面粗さには差異はあまりないことから、今回製作した旋削加工装置は十分実用に耐えうる機能を持つと考えられる。

4.4 旋削加工例

連続回転および角度指定の加工例「八角堂」を図6に示す。材料は直径18mmの真鍮で、図中の台座の部分が加工前の素材である。PM制御、回転数170rpmで行った。加工は、まず連続回転で先端の球(直径4mm)と球の取付け部(直径2mm)および屋根の部分(直径50mmの円弧)を作製し、つぎに45度毎にワークを回転させて八角形を作った。加工後の直径はそれぞれ3.99mm、2.01mmとなり、十分な精度を有しているといえる。



図6. 八角堂

5 まとめ

ワイヤ放電加工機の加工範囲の拡大を図るため、旋削加工装置を製作し、その評価を行った。

1. 安定した連続回転と精度の良い角度指定回転が可能な旋削加工装置を製作することが出来た。
2. 旋削加工に最適な回転数は材料の種類により異なる。
3. 加工時間、加工精度は旋盤加工と比較するとやや劣るが、旋盤では加工が困難な縦横比の非常に大きい極細棒を精度よく製作することが出来た。
4. より高精度の加工を行うためには、予備加工や2nd cutなどの今後のノウハウの蓄積が望まれる。

謝辞

旋削加工装置の設計・製作にあたり、適切かつ懇切な助言を賜った、東京大学生産技術研究所 試作 技術専門職員 米良忠久、谷田貝悦男の両氏に心から感謝の意を表します。

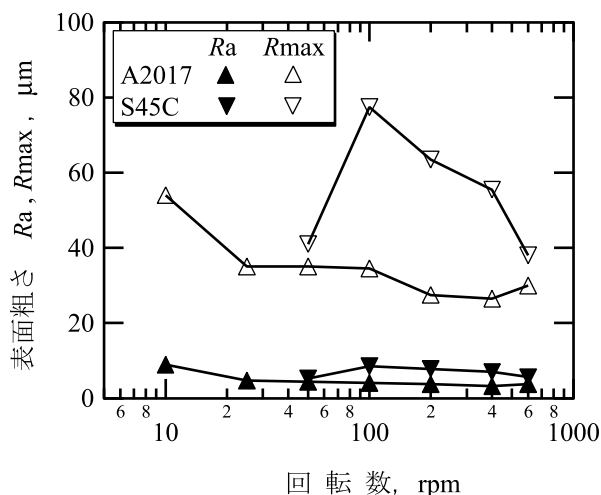


図5. 各回転数における加工表面の粗さ