

ワイヤ放電加工機用旋削加工装置を用いた加工例

御厨照明

名古屋大学全学技術センター（工学）

1 はじめに

ワイヤ放電加工機(WEDM: Wire Electrical Discharge Machine)の工作性能, 加工範囲のより一層の拡張を図るため, 図1に示すような被加工物(ワーク: Work)を連続回転あるいは指定の角度に回転・停止させ, ワイヤ電極を旋盤のバイトにみたてて加工することが出来る旋削加工装置を製作した. そして, その製作内容や製作過程に加えて, 加工に最適な旋削回転数の選定および加工後のワークの加工精度, 面粗度, 真円度を測定して, 製作した旋削加工装置が十分実用に耐えることを昨年度の高エネ研における技術研究会で「ワイヤ放電加工機用旋削加工装置の製作と評価」(以下, 前報と称す) [1]と題して報告した. 今回, 実際の業務でこの装置を使用する機会を得た. 要求された形状を得るための経緯を報告する.

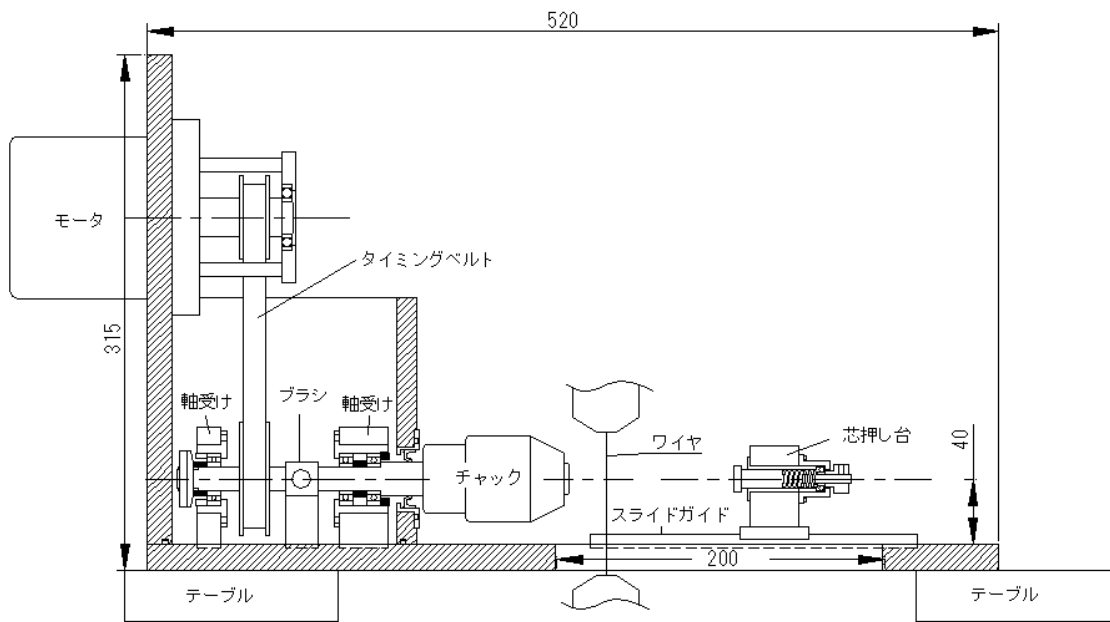


図1. 旋削装置の概要

2 業務内容

業務内容は, 図2に示すように予め加工された形状の異なる2種類の超音波用疲労試験片(図2(a)(b))と回転曲げ用疲労試験片(図2(c))の中央部に, 旋削加工装置を用いて環状切欠きを導入することである. つまり, 図2(a)の最小直径 $\phi_{\min} = 3.6\text{mm}$ の箇所にて曲率 $\rho = 0.3\text{mm}$ で切込み深さ $t = 0.3\text{mm}$ (Detail of A), 図2(b)では $\phi_{\min} = 5.0\text{mm}$ の箇所に $\rho = 1.2\text{mm}$ で $t = 1.0\text{mm}$ (Detail of B), さらに図2(c)の $\phi_{\min} = 5.0\text{mm}$ の箇所に $\rho = 0.3\text{mm}$ で $t = 0.3\text{mm}$ (Detail of C)の環状切欠きをセカンドカット(3回加工)で導入する. 試験片材料は軸受け鋼 JIS SUJ2 であり, 試験片にはすでに油焼入れ, 空冷焼き戻しを施してある. 熱処理後のビッカース硬さ HV は 777 であり, このような熱処理を施した SUJ2 製試験片を通常の旋盤で上述の形状の切欠きを作製すること

はほぼ不可能に近いといえる。また、セカンドカットすることによって、滑らかで精緻な形状の環状切欠きが作製出来ることが期待できる。

3 残留応力の測定

放電加工において、その加工面に引張の残留応力 (σ_R) が生じ、加工表面に発生するマイクロクラックとともに、その材料強度が弱くなる原因となっていることはよく知られている。そこで上述の熱処理をした SUJ2 を通常に加工、すなわちワークを固定した状態でファーストカット(1回加工)およびセカンドカット(3回加工)し、その加工面の σ_R を X線応力測定装置を用いて測定し、比較した。その結果ファーストカットで σ_R が 600MPa の引張であったのが、セカンドカットでは 270MPa に減少した。セカンドカットすることによって、少ない研磨量で σ_R を除去できることが分かった。研磨量が少ないということは、研磨によって生じる可能性のある切欠きの形状の変化を少なくすることにもつながる。

セカンドカット加工した試験片は、次に 1 μ m のアルミナで研磨し、電解研磨で表面層を約 80 μ m 除去することで加工による σ_R を除去した。その後、0.05 μ m のアルミナでバフ研磨を施し、鏡面に仕上げ試験に供した。

4 旋削加工

4.1 試作 (その1)

使用した WEDM は三菱電機製 FX10 型であり、ワイヤ電極には $\phi 0.2$ mm の黄銅を用いた。試験片を実際に加工をする前に、まず要求された形状に加工することが可能かどうか、試験的に $\phi = 3$ mm と 5mm の鋼製のドリルロット材に $\rho = 0.3$ mm の環状切欠きを旋削装置を用いて導入してみた。なお、ワークの加工表面は電界放射走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いて観察した。

図3にプログラムした加工経路を示す。ワイヤは A 点のイニシャルホールから矢印の方向へ進行してゆく。ここで、図上部のグレイゾーンが加工領域となる。加工はファーストカットで行った。加工条件はメーカー指定の E パック制御の〈助走〉E922 (板厚 5mm 用)を用いた。オフセット値 H は 123 μ m とし、旋削装置の回転数と設定加工速度 FA は、前報の同種材である S45C の結果[1]を参考にしてそれぞれ 250rpm, 0.3mm/min とした。ここで実際の加工速度 FC はデータス

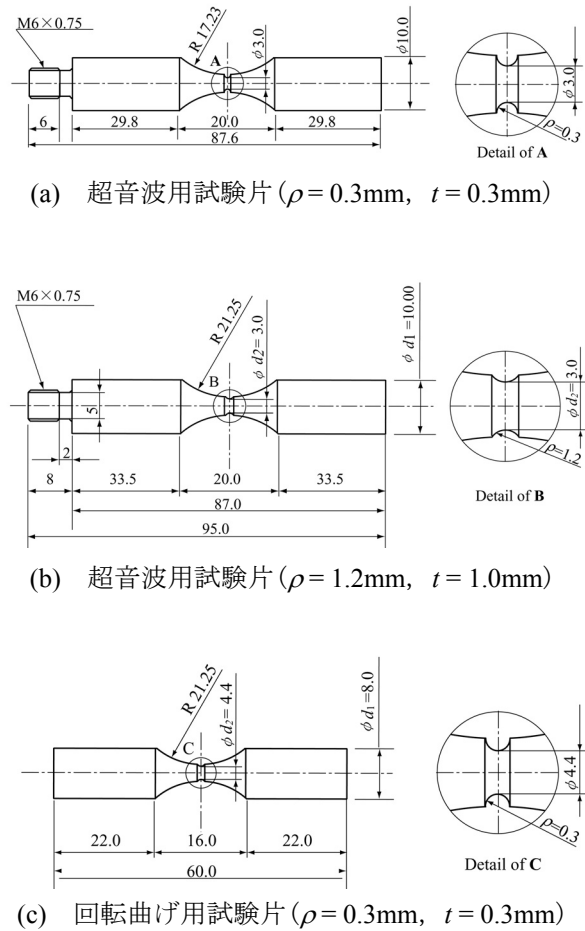


図2. 環状切欠き試験片の形状



図3. 加工経路 ($\rho = 0.3$ mm)

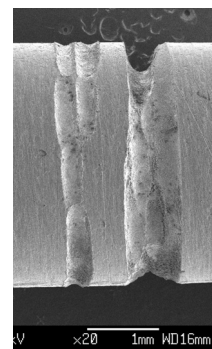


図4. 加工面の SEM 画像 ($\phi = 3$ mm, $\rho = 0.3$ mm)

イチ部の「最適送り」を ON に設定しているため、常に加工の状況に応じて変化している。

$\phi 3\text{mm}$ の丸棒の加工後の SEM 画像を図 4 の右に示す。加工面は凸凹し、このプログラムでは要求された形状には程遠いことがわかる。また、ワイヤの断線とワイヤとワークとの接触が多発した。その理由として、前報[1]ではワイヤが加工(溶解)する量は一定であるのに対して、今回の場合は溶解量が刻々変化してゆくことと回転数が少し速いことが挙げられる。また、加工時間はワイヤの断線のため、特定できなかった。

4.2 試作 (その 2)

次に、加工量を少なくするとともに加工時間を短縮する目的で、加工工程はそのままワークを 45 度ずつ回転させてそのつど静止した状態で加工し、最終加工で回転させて加工するという方法をとった。その結果が図 4 の左の画像である。加工断面は 4.1 項と同様に滑らかな環状切欠きとはいえない。ワイヤの断線も多発した。半円形にえぐれた 8 角形を最終加工で環状の半円にするわけだが、回転のたびごとにワイヤとワークとの距離が変化する。このことが断線の原因と思われる。

4.3 試作 (その 3)

4.1 項および 4.2 項の考察から、E922 の H をはじめ大きくとり、徐々にその数値を減らして最終の値である $123\mu\text{m}$ で加工すること、つまりファーストカットにおいても複数回加工することにした。その画像を図 5 に示す。この方法で、断線や接触のない滑らかな形状の加工ができることを確認した。

同様の考え方でセカンドカットを行った。セカンドカットの場合のワークを固定した通常の加工における加工条件およびオフセット値は、メーカ指定を参考に 1st では E922 と $H1 = 181\mu\text{m}$ 、2nd では(標準) E1022 と $H2 = 121\mu\text{m}$ 、3rd では E1023 と $H3 = 104\mu\text{m}$ とした。ここでそれぞれの加工の段階で H を変え、最終過程でそれぞれの指定値になるように 3 回程度ずつ行った。1st を例にとると、E922 はそのまま、H1 を $210\mu\text{m}$ 、 $191\mu\text{m}$ 、 $181\mu\text{m}$ と順次減らして加工した。

加工後の SEM 画像を図 6 に示す。全体にややいびつな形状を呈している。ワイヤの断線とワイヤとワークの接触の回数は減ったもののやはり生じ、図 6 の中央の画像のように、一度断線あるいは接触するとオフセット値を変化させても同じ箇所でも断線や接触が生じ、切欠き底に見える筋のようなものになった。この状態では要求された形状とはいえない。断線と接触が生じない適切なオフセット値を見つける必要がある。

4.4 試作 (その 4)

4.3 項からさらに加工方法を工夫した。まず、1st と 2nd ではそれぞれの加工が終了する前に「最適送り」を OFF にして $FA = FC = 0.3\text{mm}/\text{min}$ と固定して加工し、断線と接触がないことを改めて確認してから次の加工の段階に進むことにした。オフセット値も経験則から固定した。また、回転数も 200rpm と少し減速させ

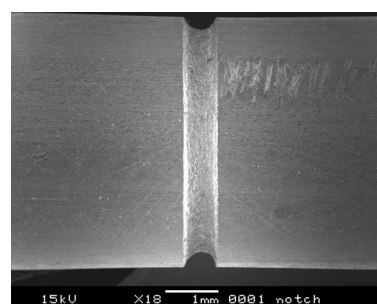


図 5. 加工面の SEM 画像
(ファーストカット, $\rho = 0.3\text{mm}$)

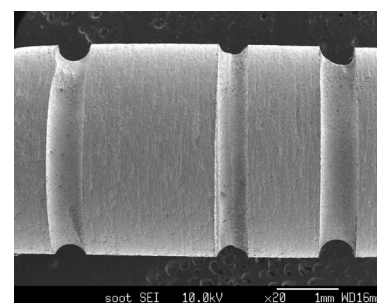


図 6. 加工面の SEM 画像
(セカンドカット, $\rho = 0.3\text{mm}$)

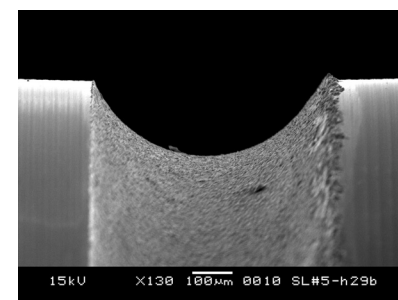


図 7. セカンドカット後の SEM 画像
($\phi = 3\text{mm}$, $\rho = 0.3\text{mm}$)

た。その結果、図 7 に示すような滑らかな加工面ができた。ちなみに、この場合の加工時間は 20min を少し越える程度である。

4.5 試作 (その 5)

滑らかな加工面が得られた次の課題は、加工精度である。加工後の切込み量 t は、図 8 に一例で示すようにすべての場合においてプログラムで設定した値よりも実際は小さくなった。そこで幾度かのテスト加工の結果、 $\rho = 0.3\text{mm}$ 、 $t = 0.30\text{mm}$ の場合の $\phi 3\text{mm}$ の丸棒における設定値 t は 0.35mm 、 $\phi 5\text{mm}$ では 0.45mm とすることで、所定の形状を得ることができた。丸棒の直径によって設定値が異なるのは、ワイヤが加工する量の違いによるものと思われる。

5 試験片製作

4.1 項から 4.5 項の経過を踏まえ、実際に試験片に環状切欠きを導入してみた。図 9 に、図 2(c) に示した回転曲げ用試験片中央部のセカンドカット後の SEM 画像を示す。旋削装置によって滑らかで精確な加工面ができた。一方、図 2(b) の $\rho = 1.2\text{mm}$ の超音波用試験片の場合は、図 3 のような $\rho = 0.3\text{mm}$ と同じ加工経路では 1st の加工量が多すぎ、断線と接触が頻発した。そこで、1st のみ図 10 に示すようなある種の拡大加工を行うことによって、良好な加工面が得られた。ここで、図中のグレイゾーンは図 3 と同様に実際の加工領域である。最後に、旋削加工面を試験用に研磨した環状き裂の SEM 画像を図 11 に示す。

6 まとめ

製作したワイヤ放電加工機用旋削加工装置を実際の業務で使用して、環状切欠き試験片を作製した。その過程で得られた知見を要約して以下に示す。

(1) ワークの材質、形状に近い材料を用いてテスト加工を入念に行い、加工の終了のたびごとに、加工面性状および加工精度を SEM などを使用して観察・測定する必要がある。

(2) 加工形状は 1st の最初の加工でほぼ決定される。

(3) ワイヤの断線やワイヤとワークの接触が生じない加工条件を得るには、オフセット値を変えて複数回加工することが有効である。

参考文献

[1] 御厨照明, 中西幸弘, “ワイヤ放電加工機用旋削加工装置の製作と評価”, 平成 15 年度高エネルギー加速研究機構技術研究会報告集, 平成 16 年 2 月, 1-011.

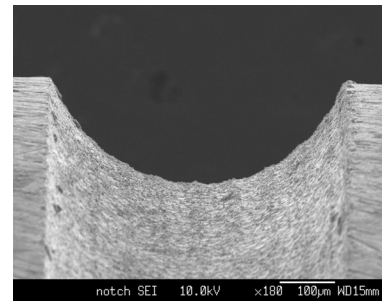


図 8. 加工面の切込み深さ
($\phi = 5\text{mm}$, $\rho = 0.3\text{mm}$, $t = 0.20\text{mm}$)

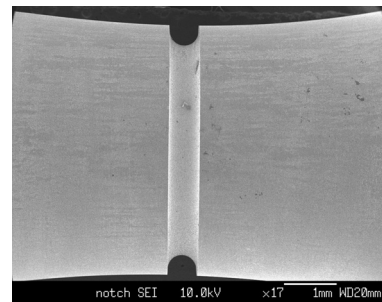


図 9. 試験片の環状切欠き
(セカンドカット, $\rho = 0.3\text{mm}$)

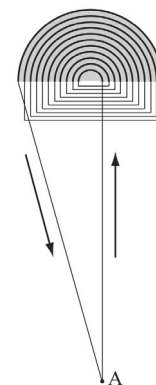


図 10. 加工経路 ($\rho = 1.2\text{mm}$)

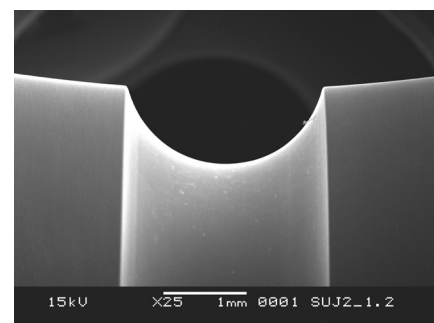


図 11. 環状き裂の最終形状
($\rho = 1.2\text{mm}$)