

機上ワイヤ放電ツルーイング/ドレッシングの試み

On-machine Trueing/ Dressing with Wire Electro Discharge Machining

鈴木 清*・植松 哲太郎**・中川 威雄*
Kiyoshi SUZUKI, Tetsutaro UEMATSU and Takeo NAKAGAWA

1. はじめに

セラミックスの高効率、高精度研削加工用と銘打った新しいダイヤモンド砥石が次々に開発されるようになってきている。一方、高効率研削へのアプローチは研削機械の側からも図られ、従来の研削盤の枠に囚われない新しいタイプの研削機械開発の機運が高まってきた。この研削装置はテーブルのNC駆動機構や、ATCによる砥石の自動交換機能などを有しており、グラインディングセンタ (GC) などと呼ばれている。

マシニングセンタ (MC) は元来切削加工のための機械であるが機能的にみるとGCに極めて近いものである。著者らは、このMCと铸铁ファイバボンダダイヤモンド砥石 (CIB-F wheel) を用いることにより、窒化珪素を驚異的な能率 (7,500mm³/mm/min) で研削加工できることを明らかにしたり、これが契機となり、切削と研削に対応可能なMCが普及の兆しを見せるに至っている。

GCやMCによる研削加工の利点は、自動工具交換 (ATC) 機能の利用による摩耗砥石の迅速な自動交換や、加工部位に適した形状・寸法・粒度を持つ砥石の選択にあるが、これにより複雑で高付加価値の研削や長時間の自動加工が可能となる。

高精度の研削加工を行うには、適切な時期に砥石の形崩れを修復するツルーイングや、切れ味を回復させるドレッシング操作が不可欠となる。しかし、メタルボンダ砥石の場合は、機上でのツルーイングが困難であるという問題点もあり、長時間の加工を行うには何らかの対策が必要となっていた。

本研究では、メタルボンダ砥石による高精度研削加工に不可欠な研削機械上でのツルーイング/ドレッシングを効果的に行う方法として、放電加工を利用する“機上放電ツルーイング/ドレッシング法”を提案し、その効果の確認を行った。

*東京大学生産技術研究所 第2部

**富山県立技術短期大学

2. 機上放電ツルーイング/ドレッシング法の提案

2.1 原理

メタルボンダダイヤモンド砥石のツルーイング/ドレッシングは、単石ダイヤモンドによる方法が困難なため、一般にはスティックまたは回転体形の通常砥石 (C, GC, WA) によって行われている。この方法は簡便であるが、ツルーイング/ドレッシング砥石が使用中に減耗するため、ダイヤモンド砥石の寸法や形状精度の低下、総形砥石への適用の困難さ、自動化の難しさ、などの問題点を有している。

一方、CIB-F砥石を初めとするメタルボンダ砥石が導電体であることを考えれば、放電加工によるツルーイングを行うことも可能となる。著者らは、GCやMCのようなNC研削機械上に電極を設置し、主轴に砥石を装着した状態で放電ツルーイングを行う図1のような“機上放電ツルーイング/ドレッシング法”を考案した。この方法によれば、研削機械に付随するテーブルのNC駆動機構を利用し、砥石への形状付与や高精度のツルーイングを行いうるばかりでなく、研削中に必要に応じてドレッシングをMC/GC機上で行うことも可能となる。

2.2 特徴

この機上放電ツルーイング/ドレッシング法により期待される特徴は以下のとおりである。

- ① 導電性を有するすべての砥石に適用できる。

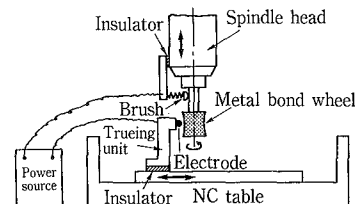


図1 機上放電ツルーイング/ドレッシング法原理図
(鈴木, 植松, 中川)

研究速報

- ② 砥石を研削機械のスピンドルに装着した状態で、放電によりボンド材の除去を行うため、ツルージング/ドレッシングの高精度化が達成できる。
- ③ 加工圧力が僅少であるため、小径の軸付き砥石や薄形の切断砥石などに対しても高精度のツルージング/ドレッシングが可能となる。
- ④ 放電条件を変更するだけで種々の粒度の砥石に適したツルージング/ドレッシングが行える。
- ⑤ MCあるいはGCなどのNC駆動機構を活用して、機上でドレッシングおよび種々の形状の成形ツルージングが行える。
- ⑥ 研削機械(MCなど)のNC駆動機構を利用できるので、面倒なサーボ制御が不要となる。

3. 機上ワイヤ放電ツルージング/ドレッシング法

3.1 原理と特徴

機上放電ツルージング/ドレッシング法では、電極にブロック電極を用いる方法とワイヤ電極を用いる方法の2通りが考えられるが、ここでは電極消耗を無視できるワイヤ電極を用いる方法(図2)について検討を行った。

3.2 装置および実験条件

図3は機上ワイヤ放電ツルージング/ドレッシング実験装置を示したもので、縦形MC(定格出力3.7KW)の

NCテーブル上にワイヤ放電ツルージング/ドレッシング装置が取り付けられている。 $\phi 0.5\text{mm}$ の黄銅ワイヤ電極が $\phi 32\text{mm}$ のアルミナセラミックス製ワイヤガイドに沿って $V_{we}=150\text{mm}/\text{min}$ の速度で走行し、砥石外周面との間で放電除去が行われる。加工効率の点から砥石面または砥石軸に接触している電極ブラシ側を正極に、ワイヤ側を負極にしている。図4に軸付き砥石に対する放電ツルージング状況を示したように、主軸に装着した鑄鉄ファイバボンドダイヤモンド砥石(CIB-F wheel, $\phi 30\text{mm}$, #600, Conc.100)に対しツルージング/ドレッシング実験を行った。放電加工液は実用時の簡便性を考慮して、研削液(Johnson's JC-707, $\times 50$)と共用したが特に問題は生じていない。実験条件を表1および表2に示す。

3.3 機上ワイヤ放電ツルージング実験結果

(a) 放電条件と除去能率

一定周速度 V_d で回転する軸付き砥石に対し、ワイヤ電極による放電ツルージングを行い、加工条件と除去量との関係を調べた。ツルージングに際しては、初期砥石面とワイヤ電極の距離(セットバック量)を $l_{sb}=20\mu\text{m}$ ($V_d=200\text{m}/\text{min}$ のみ $0\mu\text{m}$)で一定としたまま、砥石を軸方向に送り移動(距離=5mm)させたときの1パスごとの放電除去厚さ Δh_{ar} と、累積除去厚さ h_{ar} を測定した。その結果を図5(a), (b), (c)に示す。

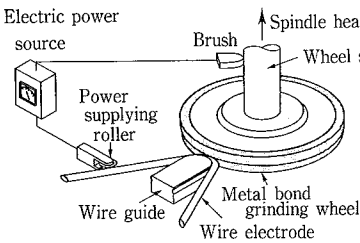


図2 機上ワイヤ放電ツルージング/ドレッシング法原理図

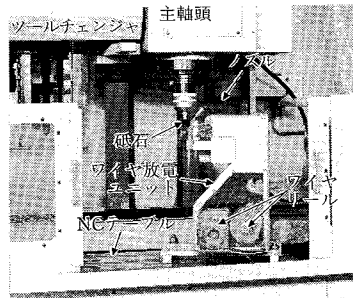


図3 MCのテーブル上に装着されたワイヤ放電ツルージング/ドレッシング装置

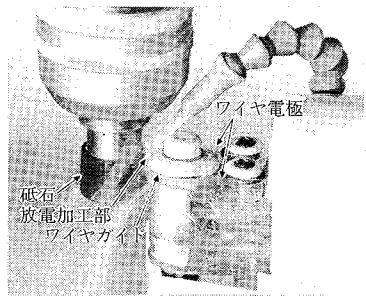


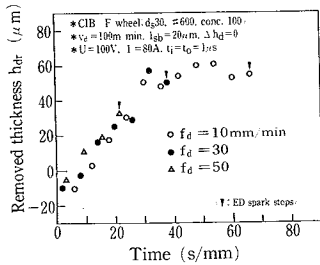
図4 鑄鉄ファイバボンド砥石への放電ツルージング状況

表1 放電ツルージング用実験装置の仕様

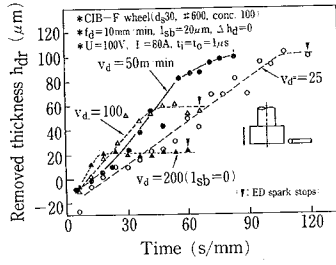
加工電源	ワイヤカット用MGN-15W (牧野フライス製作所)
実験装置	縦形MC (TMC40V, 3.7KW)
砥石	鑄鉄ファイバボンドダイヤモンド砥石 軸付き ($\phi 30 \times B5$, #600, Conc.100) (新東工業)
放電加工液	JC-707, 50倍希釈液(研削液と共用) 比抵抗 $= 0.8 \times 10^4 \text{-cm}$, (Johnson)
電極材料	ワイヤ= $\phi 0.5\text{mm}$ 黄銅線

表2 放電ツルージング条件

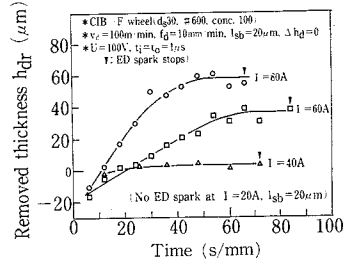
ワイヤ走行速度: $V_{we}=150\text{mm}/\text{min}$	
砥石周速: $V_d=25\text{-}200\text{m}/\text{min}$	
砥石送り速度: $f_d=10\text{-}50\text{m}/\text{min}$	
追込み深さ: h_{dr}	
追込深さ/パス: $\Delta h_a=0\text{-}5\mu\text{m}$	
セットバック量: $l_{sb}=20\mu\text{m}$	
無負荷電圧: $U=60\text{-}180\text{V}$	
設定電流: $I=10\text{-}80\text{A}$	
パルス幅: $t_1=1\text{-}100\mu\text{s}$	
休止時間: $t_0=1\text{-}5\mu\text{s}$	
除去厚さ/パス: $\Delta h_{ar}(\mu\text{m})$	
最大放電間隙: $S_{max}(\mu\text{m})$	



(a) 砥石送り速度 f_d の影響



(b) 砥石周速 V_d の影響



(c) 設定放電電流の影響

図5 砥石除去厚さ h_{ar} と放電ツルーイング条件の関係

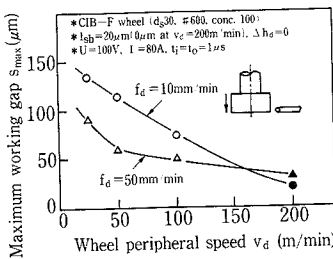


図6 最大放電間隙 S_{max} と砥石周速 V_d の関係

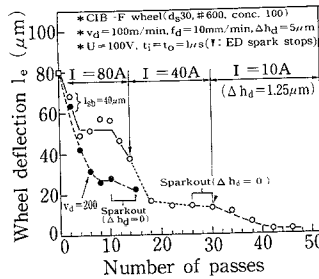


図7 繰返し放電による砥石偏心量 l_e の減少



図8 ワイヤ放電によるMC機上での総形砥石の創成

除去速度は電流値 I の影響を最も強く受けるが、砥石送り速度 f_d の影響は余りない。また、図6から砥石周速が低いほど、砥石送り速度 f_d が遅いほど、放電間隙 S_{max} ($=l_{sb} + h_{ar}$) を大きく取れることが明らかとなった。たとえば、 $f_d = 10\text{mm/min}$ 、 $V_d = 25\text{m/min}$ のときには、最大 $130\mu\text{m}$ までの放電間隙 S_{max} を取ることができている。この結果から、ツルーイング中に砥石との接触によるワイヤ切れが懸念される荒い砥石の場合には、 V_d や f_d を小さくすれば良いことがわかる。

(b) 電流条件と振れ直し効果

軸を故意に 0.08mm 偏心させた軸付き砥石に対し1パスごとに所定の送り込み量 Δh_0 (5 or $1.25\mu\text{m}$) をワイヤ電極に与えながら放電ツルーイングを行い、振れ直し効果を調べた。砥石周速 $V_d = 100\text{m/min}$ の場合の結果を図7に示す。いずれの電流条件においてもワイヤパス回数と共に偏心量 l_e は減少するが、電流値が $I = 80\text{A}$ と高い場合、放電回数を増しても偏心量 l_e はある値以下には減少しない。ただし、砥石周速を $V_d = 200\text{m/min}$ に増加させると、 l_e はより小さい値 ($25\mu\text{m}$) まで減少した。電流を $I = 40\text{A}$ に減少させると偏心量は $13\mu\text{m}$ となり、 $I = 10\text{A}$ とすると偏心量 l_e は約 $3\mu\text{m}$ にまで改善された。この値は使用MCの心振れ精度とほぼ一致することより、使用研削装置の精度までのツルーイングが行えることを意

味している。

上記の結果から高精度の放電ツルーイングを行うには、段階的に放電条件を微弱化していく必要があることがわかる。したがって、初期の偏心量 l_e が大きくない場合は、最初から小さい電流値 I を採用すれば良い。

(c) 機上での総形砥石の放電成形

このワイヤ放電ツルーイング法をMCのNC機能と組み合わせることにより、総形砥石の機上成形および修復が容易に可能となる。図8は、MC上で軸付き砥石に形状創成を行っているようすである。

3.4 機上ワイヤ放電ドレッシング実験結果

(a) ドレッシング面の観察

放電ツルーイングでは、砥石の振れ取りや形状付与などの加工効率を重視するため、初期段階では荒加工用放電条件(高電圧、高電流、高切込み)が採用される。しかし、最終段階で精度を重視して仕上げ加工条件に変更すれば、ドレッシングも同時に行えると考えられる。図9に電圧を 100V と一定としたときの放電ドレッシング面の状態を示すが、電流値が $I = 20\text{A}$ のように小さすぎると、母地からの砥粒突出量が不十分となる。このことは、初期には荒加工条件を採用して十分な砥粒の突出量を確保したのち、仕上げ加工条件に切り換えて母地の盛り上がり等を除去することで効果的なドレッシング

研 究 速 報

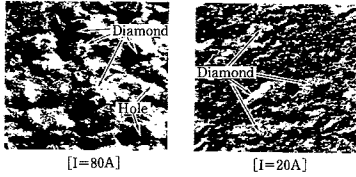


図9 放電ドレッシング面の性状 (d_s30, #100/120, Conc. 100, V_a=100m/min, f_e=10mm/min, U=100V, t₁=t₀=1μs)

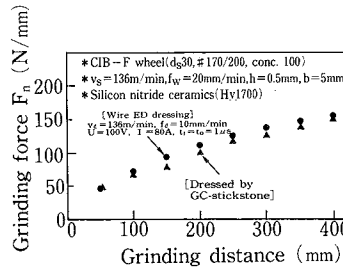


図10 通常砥石およびワイヤ放電ドレッシング法を用いたときの砥石切れ味の比較

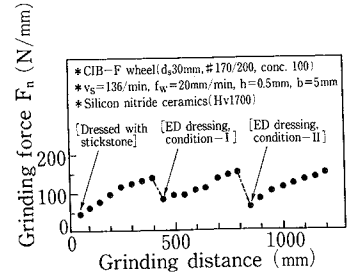


図11 放電ドレッシングによる砥石切れ味の回復

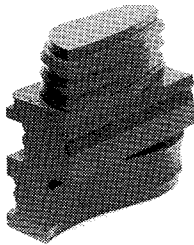


図12 MC機上で放電ツルーイングされた総形CIB-F砥石によるNC研削例 (窒化珪素: Hv1700)

が可能となることを意味している。

(b) ドレッシング効果の比較

通常砥石を用いたツルーイングによりダイヤモンド砥粒先端が平坦化したCIB-F砥石 (#170/200) にワイヤ放電ドレッシングを施し、ドレッシング効果を調べた。

比較のため通常スティック砥石によりドレスされた砥石も用いたが、窒化珪素 (東京窯業製, Hv1700) を研削したときの両者の研削抵抗の変化に差異は認められなかった (図10)。

次に、研削により切れ味の低下した砥石に機上ワイヤ放電ドレッシングの適用を試みた (図11)。この場合にもツルーイング面に対する場合と同様、放電ドレッシングの度に切れ味が回復することが確認された。

3.5 総形砥石によるセラミックスの研削

これまで述べてきたワイヤ電極によるツルーイングによって成形された総形砥石とMC/GCのNC駆動機構を利用することで図12に示すような相当複雑な形状の研削加工が容易となった。

4. おわりに

メタルボンド砥石の研削性能を高めることを目的とし、放電加工を利用した“機上ワイヤ放電ツルーイング/ドレッシング法を開発した。この方法では、研削砥石を主軸に装着したまま電極消費を無視できるワイヤ電極により砥石の放電除去が行われるので、ツルーイング/ドレッシング精度が大幅に向上することになる。また総形電極を用いずに総形ツルーイングが可能となることも大きな特徴となろう。この方法の出現により、ATCにより交換された砥石の高精度ツルーイングや、研削中に切れ味が悪化したり、形崩れが生じた砥石を主軸から外すことなくツルーイングやドレッシングを行うことが可能となったため、真の意味でのセラミックス研削の自動化が実現できるものと考えている。

謝 辞

実験機器に便宜を図っていただいた牧野プライス製作所(株)、新東工業(株)、本庄正道氏(住友電装(株))、ジョンソン(株)、貴重な御意見を戴いた本学増沢隆久教授、実験に御協力いただいた柳瀬辰仁氏(富山県立技術短大)に厚くお礼申し上げます。(1987年3月25日受理)

参 考 文 献

- 1) T. Nakagawa, K. Suzuki and T. Uematsu : Annals of the CIRP Vol. 35/1/1986, p205-210
- 2) T. Nakagawa, K. Suzuki and T. Uematsu : Proc. of Winter Annual Meeting of ASME, Vol. 17, (1985) 1-8
- 3) K. Suzuki, T. Uematsu and T. Nakagawa : Annals of the CIRP (1987-8)