

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 15 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560113

研究課題名(和文) 金属ろう材でダイヤモンドを固定したマイクロソーワイヤによるハイブリッド加工

研究課題名(英文) Hybrid Machining by Micro Saw Wire Bonded with Diamond Grains using Metal Solder

研究代表者

神谷 修 (Kamiya, Osamu)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60113891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：直径が100～200 $\mu\text{m}$ の固定砥粒型ダイヤモンドソーワイヤを用いて切断加工する際に、放電加工、パルスジェット流、超音波を付加してその効果を研究した。また、ダイヤモンドソーワイヤ自身の改良を試みた。その結果、ダイヤモンド砥粒の大きさを10 $\mu\text{m}$ から30 $\mu\text{m}$ にすることにより、切断速度は約5倍とすることができた。さらに、超音波を付加してハイブリッド加工することによりさらに切断速度を30%向上させることが出来た。

研究成果の概要(英文)：I studied the effects of the electrical discharge, the water pulsejet and the ultrasonic wave on the cutting processing by using the fixed grain type diamond saw wires of 100-200 micrometers diameter. Moreover, I tried to improve the mechanical properties of diamond saw wire itself. As a result, cutting speed can be improved into about 5 times by the size of a diamond grain being 30 micrometers from 10 micrometers. Furthermore, cutting speed was able to be further raised 30% by adding an ultrasonic wave and carrying out hybrid processing.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：ダイヤモンドソーワイヤ 固定砥粒 金属ろう材 ハイブリッド加工 放電加工 ジェット水流 超音波  
ダイヤモンド形状

1. 研究開始当初の背景

代表者は、細いタングステンワイヤを高温真空炉の中で加熱して、金属ろう材を溶かしダイヤモンド砥粒を強固に接合する事によって、固定砥粒型のダイヤモンドソーワイヤを2002年に開発し発表した。(これをADWと呼ぶ) この新技術は、従来の遊離砥粒型のソーワイヤ切断法には無い高い切断速度を実現することが出来た。その後市場には、電着や接着剤でダイヤモンド砥粒を固定する安価な類似技術が現れた。しかし、ダイヤモンド砥粒の固定強度の点で、本ワイヤの切断性能と寿命が最も高い。この点を生かすために、他の切断条件をプラスして、2つの効果により切断特性を改善するハイブリッド加工を目指そうとするものである。

2. 研究の目的

固定砥粒型のソーワイヤ切断法に組合せてハイブリッドとする第2の切断条件としては、当初は放電加工のみを考えていた。しかし、放電加工に加えて、パルスジェット流と超音波を加え3種類の条件とソーワイヤ切断法の組合せを検討することとした。

すなわち次の3種類のハイブリッド加工を実施する。①ソーワイヤ切断と放電加工、②ソーワイヤ切断加工とジェット水流、③ソーワイヤ切断加工と超音波。以上の3つの組合わせのハイブリッド加工において、現象の観察と切断特性の変化について検討した。

3. 研究の方法

(1)ADWを改良する製造方法

初めに、ハイブリッド加工に適する固定砥粒型のソーワイヤ改良方法を示す。直径が80、~200 $\mu\text{m}$ のタングステンワイヤに対して、天然由来のゲルを塗布し、その上に青銅ろう材(Cu85-Sn15)、水素化チタン(TiH<sub>2</sub>)およびダイヤモンド砥粒(直径32 $\mu\text{m}$ )を混合した粉体を吸着させてゲルの乾燥によって仮止める。その後、高真空(10<sup>-2</sup>-10<sup>-3</sup> Pa)、温度900 $^{\circ}\text{C}$ にて焼成することによって固定砥粒型のソーワイヤを製造した。

(2)ソーワイヤ切断と放電加工

ソーワイヤに対する放電の影響を調べるために、ダイヤモンド砥粒を固定したソーワイヤに対して、パーカッション溶接機により放電を試み、ワイヤの表面を観察した。その後に放電加工機(Sodik製、EPOC-300)にワイヤをセットして加工を試みた。

(3)ソーワイヤ切断とパルスジェット水流

歯科口腔洗浄用の装置(EW1200)を用い水圧450 kPa、周波数27Hzにて、パルスジェットを発生させて、切断加工中のワイヤに吹き付けた。

(4)ソーワイヤ切断と超音波

超音波は、切断試料であるタングステンカーバイドに接続した発信器により、振動方向が切断方向と等しくなるように配置した。周波数2.3MHzにて1Wおよび5Wの出力に

て、ADWによる切断中に振動を付加した。

4. 研究成果

(1)ADWの改良

ワイヤの直径を100 $\mu\text{m}$ から200 $\mu\text{m}$ に大きくし、ダイヤモンド砥粒のサイズも9 $\mu\text{m}$ から32 $\mu\text{m}$ に大きくして改良したADWを図1に示した。ワイヤ直径に対して15%のサイズの砥粒がバランス良く配置されており、ろう材のぬれ性も良好であった。

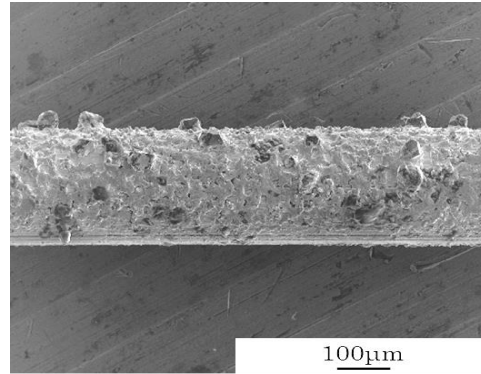
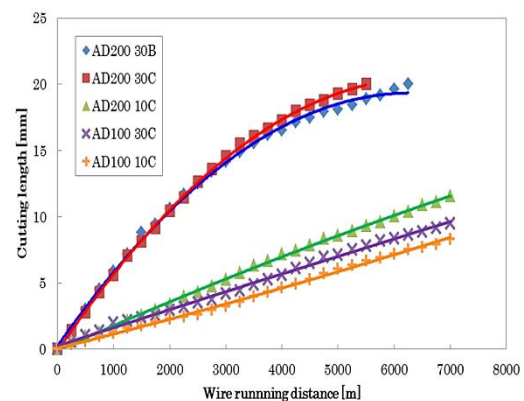


図1. 改良したダイヤモンドソーワイヤ

このワイヤを用いて、タングステンカーバイド(WC)を被削材として切断試験を行なった結果を図2に示す。従来のワイヤ直径100 $\mu\text{m}$ でダイヤモンド砥粒サイズ10 $\mu\text{m}$ のワイヤAD100-10Cに比較して、改良型のAD200-30Cは、およそ5倍の切断長さになっている。

改良された主な理由は、砥粒のサイズが大きくなったことである。しかし、砥粒が大きくてもワイヤ直径が100 $\mu\text{m}$ と細かい場合には、AD100-30Cのように、その能力を発揮できない。同様に、ワイヤ直径が太くても砥粒が小さい場合にはAD200-10Cに示すように切断速度は改善されない。



これまでの観察から、タングステン直径に対してダイヤモンド砥粒直径が10から15%のバランスで作製したADWが最も効率よく砥粒の切断能力を発揮できると言える。

さらに、太いワイヤとして300 $\mu\text{m}$ 級のタングステンワイヤを試みようとしたが、針金のように曲がりやすく、本研究用に開発したADW製造装置及び切断装置では扱うことが出

来なかった。従って、いわゆるソーワイヤとして成立する芯線は、 $200\mu\text{m}$ 以下と判断した。ADW 製造装置を開発したことは強みである。

### (2) ワイヤ寿命の解明

ADW ワイヤが断線する場合は次の 3 つの理由による。1 つは、疲労き裂の伝播によるものである。き裂の発生は、表面に存在するろう材に発生する割れである。従って、ろう材は、なるべく延性の高い素材であることが望ましい。2 つめは、引っ張り応力以上の負荷がかかることによる断線である。過負荷の原因は振動、切削抵抗の超過およびワイヤのひっかかりなどである。三つ目は、 $100\mu\text{m}$ 以下の直径を持つワイヤで見られる、ねじれによる断線である。ねじれ現象は、摩擦力により発生するねじれトルクがワイヤ自身の許容せん断力を越えるために発生する事を代表者は明らかにした。従って、往復繰返し使用をしたワイヤの寿命を延ばすには、①延性の高いろう材を使用すること、②ワイヤ直径精度を高くして使用中のひっかかりをなくすこと、そして③ワイヤ直径を  $100\mu\text{m}$ 以上としてねじれ破壊をなくす。

以上のように①～③に配慮したワイヤの開発と使用方法によりワイヤ寿命は延ばすことが出来る。

### (3) 放電ワイヤカット実験

本研究で開発した ADW を、図 3 に示すように放電ワイヤ加工機 (Sodik 製、EPOC-300) にセットして、放電加工を試みた。図 4 に放電状態を示した。ADW においても放電と通常の加工は確認することが出来たが、この段階でろう材とダイヤモンド砥粒は脱落してしまうことが解った。従来の装置にそのまま ADW を用いる事は出来ないので、装置の改良は進めながら、パルスジェット水流と超音波によるハイブリッド加工を先行して進めることとした。

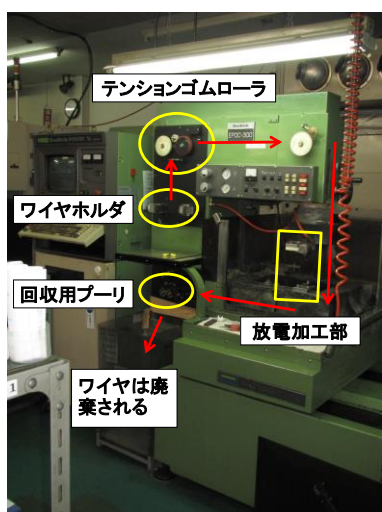


図 3. 放電加工機に ADW をセットした状態



図 4. 中央に ADW が見え、オレンジ色の放電が確認される。

### (4) パルスジェット水流

ADW による切断中に、研究方法で示した条件でパルスジェット水流を噴出した効果を、図 5 に示した。ジェット水流の方向に依らずに、切削速度に関してはマイナスの効果となった。しかし、切削面を観察すると、切屑が良く排除されていることが解った。(図 6)

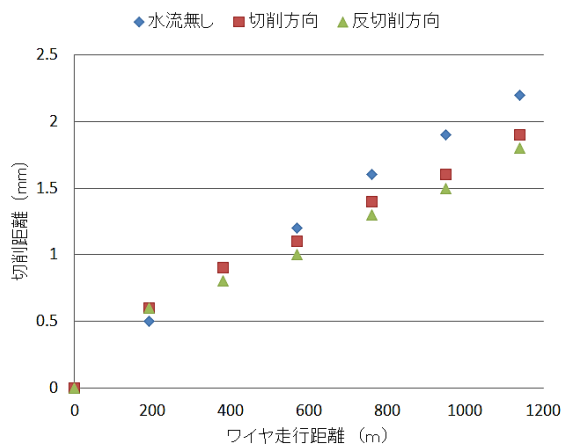


図 5. パルスジェット水流の影響

以上のことから、切断加工中に高圧のパルスジェット流を吹き付けると、ワイヤと被削材の間に水流が介在して、切屑は排除するが、ワイヤが浮いてしまうので切削速度は減少したものと考える。これらの、パルスジェット水流の効果は、連続的に切断を続ける場合に、切断面の精度を上げることと、ADW ワイヤの目詰まりを防いで、精度と切れ味を持続させる効果がある。

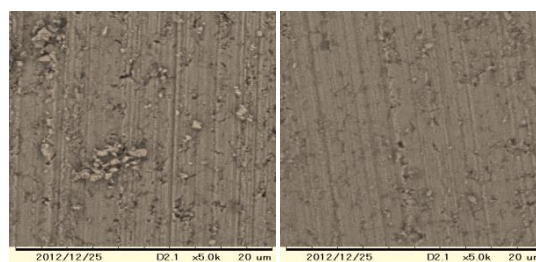


図 6. ジェット水流有り右側, 無し左側

### (5) 超音波とのハイブリッド加工

ADW によるタンゲステンカーバイド (WC) の切断中に、WC に対して超音波振動を与えることにより、図 7 に示すように切断距離が 30% 程度増加することが明らかとなった。切断領域存在する、ワイヤや冷却水に超音波をかけても、このような改善効果は見られず、被削材 (WC) に直接超音波を伝播させたときのみ、改善される。これは、被削材に伝播させたときのみ、加工領域に超音波が到達するのであり、ワイヤや冷却水では超音波エネルギーが拡散してしまうためと考えられる。

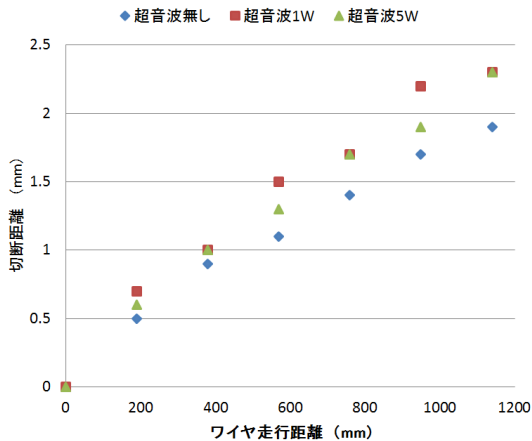
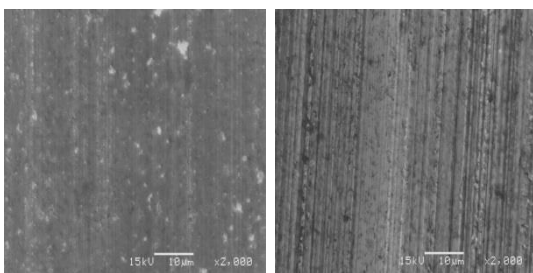


図 7 ADW と超音波とのハイブリッド加工

また、超音波の出力が 1W の場合と 5W の場合とではその改善効果はほとんど変化しないことが解る。その原因は、5W では試験片が加熱され、熱損失が大きくなるためと考えられる。従って、超音波エネルギーには最適なレベルが存在すると推測される。

図 8 超音波による切断面の変化。左側は通



常の ADW 切断で、右側は ADW と超音波ハイブリッド切断。

ADW と超音波によるハイブリッド加工した場合の切断面を電子顕微鏡によって観察した写真を、図 8 に示す。超音波を付加した面では切削による溝が深く、切断による切屑がほとんど存在しないことが解る。このことから、超音波振動を、切断表面に対して垂直に与えることにより、ダイヤモンド砥粒による切り込みが深くなり、また切屑が効果的に排除されることにより、切断速度が改善されたものと考えられる。

本研究に用いた、超音波振動子の周波数は、

2.3MHz でありその振幅は 20nm 程度と言われている。この場合、振動エネルギーは高いが振幅が小さすぎて切断加工には効果が小さかったのではないかと考えられる。今後は、超音波ナイフなどに使用されている kHz オーダーの振動子に更新して格段の効果を得ることを、今後の検討課題とする。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① 齊藤亜由子、佐藤達弥、神谷修、ダイヤモンド砥粒の接触角度と切断性能に関する基礎的研究、精密工学会誌、2014 年、掲載決定巻号未定。

② Ayuko Saitou, Mamoru Tkahashi, Yasuyuki Miyano and Osamu Kamiya, Influence of the Cutting Condition on Cutting Performance with Fixed Abrasive Diamond Saw Wire, International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, Vol.20, 2012.掲載決定

③ Osamu Kamiya, Yasuyuki Miyano, Mamoru Takahashi, Yuichi Oga, Zhan When Chen and Kenji Funaoka, Soldering Process and Cutting Performance of Micro Saw Wire Bonded with Diamond Grains, International Journal of Modern Physics, 査読有, Vol.6, 2012, 491-466.

DIO:10.1142/S2010194512003662

[学会発表] (計 4 件)

① 齊藤亜由子、佐藤達弥、神谷修、固定砥粒型ダイヤモンド工具の切断性能に及ぼすダイヤモンド砥粒形状の影響、2014 年度精密工学会春季大会学術講演会、2014 年 3 月。

② 齊藤亜由子、佐藤達弥、神谷修、金属ろう付固定砥粒型ダイヤモンドソーワイヤを用いた各種金属材料への切断、2013 年度精密工学会東北支部学術講演会、2013 年 12 月。

③ Ayuko Saitou, Mamoru Tkahashi, Yasuyuki Miyano and Osamu Kamiya, Resource-Saving Twisted Diamond Saw Wire (ADW) with High-Speed Cutting Performance, ICMR2013 (Akita City)

④ Osamu Kamiya, Yasuyuki Miyano, Mamoru Takahashi, Yuichi Oga, Zhan When Chen and Kenji Funaoka, Soldering Process and Cutting Performance of Micro Saw Wire Bonded with Diamond Grains, AMDP2011 (徳島大学), 2011.7.18.

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

神谷 修 (Kamiya Osamu)

秋田大学・大学院工学資源学研究所・教授  
研究者番号：60113891