

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 6日現在

機関番号：12601
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011 ～ 2012
 課題番号：23656096
 研究課題名（和文） 電解液ジェットターニング加工の研究

研究課題名（英文） Study on Electrolyte Jet Turning

研究代表者

国枝 正典（KUNIEDA MASANORI）
 東京大学・大学院工学系研究科・教授
 研究者番号：90178012

研究成果の概要（和文）：

電解液のジェットを通して電流を流し、ジェットが衝突した部分だけを局所的に加工できる。この電解液ジェット加工をターニング加工に応用するための研究を行った。効率よく複雑形状を加工するために、曲面状のフラットジェットを開発した。また、超硬合金軸の加工に応用するために、交流電流を用い、人体に有害な水酸化ナトリウムを用いることなく、硝酸ナトリウム水溶液を用いた加工を可能にした。その際、絶縁性ノズルを用いることにより、ノズルの消耗を防止することができた。

研究成果の概要（英文）：

In electrolyte jet machining (EJM), the workpiece is machined only in the area which is hit by the electrolyte jet by applying an electrical current through the jet. To apply this method to the turning process of micro rods, a curved flat jet was newly developed. Then, EJM was applied to machining of cemented carbide using a sodium nitrate aqueous solution without including hazardous sodium hydroxide. Machining with AC current enables more localized machining under the jet than DC current. Use of an insulated nozzle was effective to prevent the nozzle wear.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

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：電解加工、微細加工、ターニング、電解液ジェット、ノズル、超硬合金

1. 研究開始当初の背景

電解液ジェット加工は微細ノズルから工作物に向けて電解液を噴出し、ノズルと工作物間に電圧を印加することによって生じる電解作用を用いた加工方法である。本加工方法では電解液が工作物と衝突後に半径方向に薄膜状に広がるとき、工作物面上の電流密度分布は噴流中心で局所的に高くなる。加工量は電気量に依存するため、噴流中心部のみをマスクレスで選択的に加工することが可能である。さらに、本方法は電気化学的な加

工であるため、残留応力、熱影響層、クラック、バリなどが生じないという利点を持っている。

筆者らは電解液ジェット加工を除去加工だけではなく、付着加工や着色加工などにも応用してきたが、本研究では回転する軸状の工作物にジェットを当て、微細軸を複雑形状にターニング加工するための応用研究を行った。

2. 研究の目的

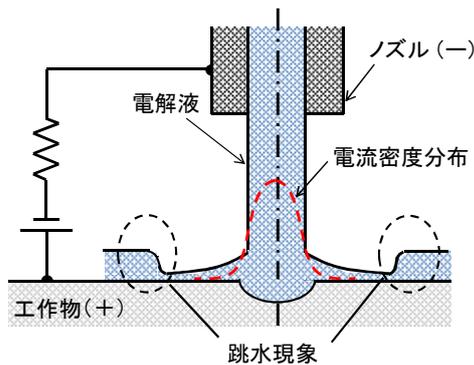


図1 電解液ジェット加工の原理

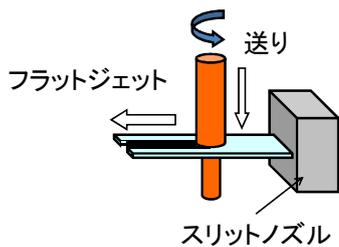


図2 フラットジェットを用いたターニング加工

微細軸を複雑形状に加工するためには、円柱状のジェットを用いるより、図2に示すフラットジェットを用いる方が効率が良い。周上で同時に加工が進むので、加工速度が速く、工作物の軸に垂直な方向のジェットの高精度な位置決めを必要としない。このフラットジェットは平面上の微細パターンの加工のために筆者らが開発したが、本研究ではターニング加工への適用を試みる。また、より複雑な加工を可能とするために、曲面状のフラットジェットの開発を試みる。

また、ジェットの直下に加工を集中させるには、図1に示す跳水現象がジェットが工作物に衝突する位置から十分に離れた位置で生じる必要がある。そこで、電解液ジェットと同軸に、アシスト空気を噴流し、薄い電解液の層流が形成されるようなノズルを開発する。

そして、金属だけではなく、打ち抜き加工用のパンチなど、微細工具などに広く使用される超硬合金の加工にも使用できるように、加工電流条件に関する研究を行った。

3. 研究の方法

基礎実験は図3の装置を用いて行った。耐圧タンクに溜めた硝酸ナトリウム水溶液(20wt%)を、コンプレッサで加圧し、ノズルから噴出させた。基礎実験には平板状のステンレス板を用い、加工ギャップはZ軸テーブルを用いて手動で調節した。また、工作物上のノズルの位置決めはXYテーブルを用いて自動で行った。

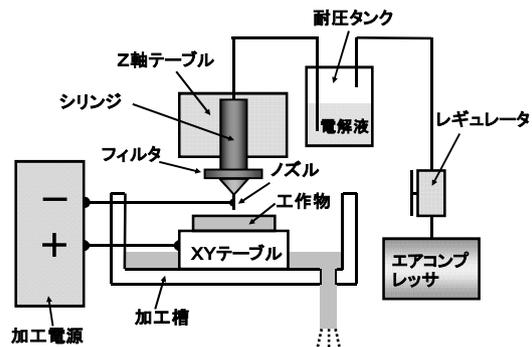


図3 基礎実験用の加工装置

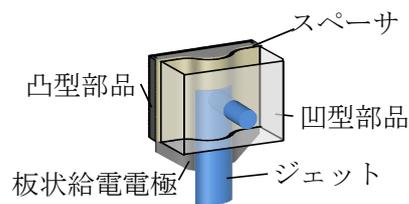


図4 曲率を持ったスリットノズル



図5 曲率を持った溝の加工例

4. 研究成果

(1) 曲面状フラットジェットの開発

直線状の微細溝を加工する場合、円筒ノズルを用いると、直線に沿ってノズルを走査しなければならないので加工時間が長くなる。そこで、筆者らは過去にスリット状のノズルから噴出されるフラットジェットを用いて、走査することなく微細溝を加工する方法を提案した。そこで、さらに複雑なパターンを加工するために、曲面状のフラットジェットを形成できるノズルを開発した。図4に示すように、板状給電電極とスペーサを、凸型と凹型のブロックで挟み込む。そして、スペーサに設けた切り欠きが作る空間に、凹型ブロックにあけた穴から電解液を導入することにより、曲面状のフラットジェットを噴出する。スペーサの板厚がスリット幅となり、スペーサの板厚を変えることで、フラットジェットの厚みを変えることができる。また、金属薄板の板状給電電極をスリットノズル出

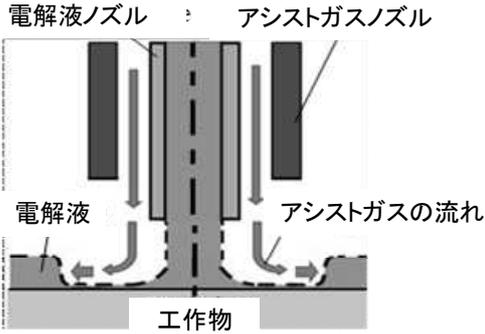
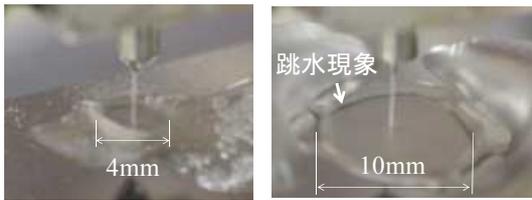


図6 曲率を持った溝の加工例



アシストガスなし アシストガスあり

図7 アシストガスの供給の効果

口から 3mm はみ出させて設置している。こうすることで、スリットノズル下端が、工作物上に溜まった電解液と短絡することを防ぐことができる。従って、これまでのスリットノズルより極間距離を狭めることができる。本加工法により加工を行った溝の様子を図5に示す。本実験では、曲率半径 5mm、スリット幅 80 μ m、スリット長さ(円弧長)6mmのスリットノズルを使用した。32 μ mの深さまで加工するのに2秒を要した。

(2) アシスト空気の噴流効果

ノズルの開口部を出たジェットは、表面張力の影響により表面積が小さくなるように変形する。よって、ノズル開口部の形状を精度よく転写するにはギャップ長は短い方が良い。また、ギャップ長を短くした方が、同じ加工電流を流すのに必要な電圧も低くてすむ。しかし、ギャップを狭くすると電解液でギャップが埋まり、図1のような電流密度の局在が得られなくなる。特に、噴流の流速が小さい場合は、跳水現象が生じる位置がジェット中心に近くなり、薄い層状の流れ場が得られにくい。そこで、図6に示すように、電解液ジェットと同軸にアシスト空気を供給するノズルを配置し、ジェット中心から十分に離れた位置で跳水現象を生じさせた。これにより、従来に比べて安定してジェット直下のみ加工を集中させることができた。図7は、アシスト空気の供給により、跳水現象を円柱状ジェットの中心から遠ざけることができた様子を示している。

(3) 超硬合金の加工

超硬合金の微細軸の加工の必要性は高いが、切削加工が困難であるため、研削加工に頼らざるを得ない。よって、自在な形状の加工が困難である。そこで電解加工の応用が考えられる。しかし、硝酸ナトリウム水溶液中で電解加工を行うと、酸化タングステンが表面を覆い、加工が進まなくなる。そこで、超硬合金の電解加工には水酸化ナトリウムを混入し、酸化タングステンを溶解しなければならない。しかし、劇物である水酸化ナトリウムが混入されたジェットを用いると、衝突噴流によってミストが発生し、環境上の問題が生じる。そこで、直流電流ではなく交流電流を用い、図8に示す原理により硝酸ナトリウム水溶液だけで超硬合金の加工を試みた。工作物が陽極の時に、工作物上でタングステンの酸化物が生成する。また、ノズルの開口部では水酸化ナトリウムが生成する。次に、極性が反転すると、工作物上で水酸化ナトリウムが生成され、酸化タングステンと反応して酸化タングステンの被膜が除去される。反転前の極性でノズル内面で生成した水酸化ナトリウムもジェットによって運ばれ、この反応を助ける。

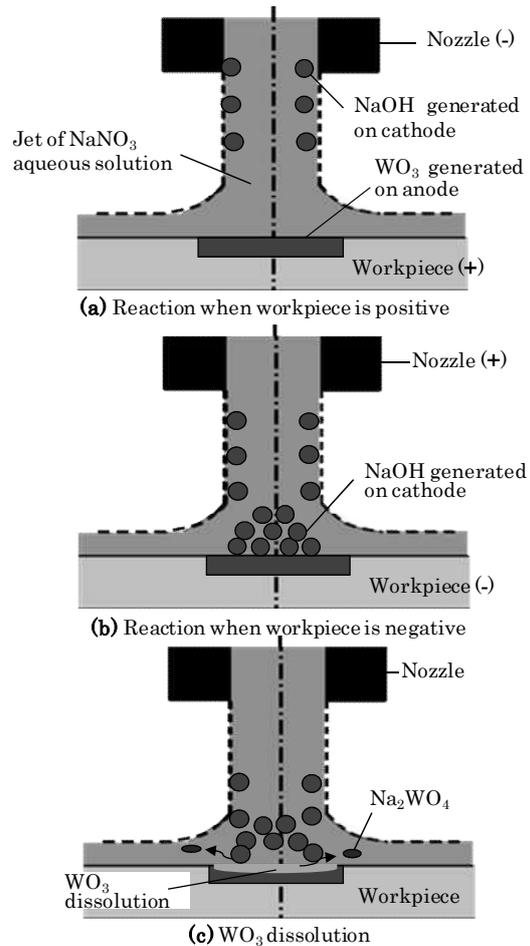


図8 交流電流を用いた超硬合金の加工

図9に交流電流の周波数を変えて、加工されたピットの断面形状を比較した結果を示す。加工電流は30mA、加工時間は30sである。5Hzのときに加工が最もジェット近傍に局在し、加工精度が良いことが分かる。ノズルには内径400 μ mの円筒ノズルを用いた。この円筒ノズルの材質はセラミックスである。金属製のノズルでは、ノズルがプラスの極性時にノズルが溶出する。そこで、ノズルにはセラミックスを用い、金属製のホルダに固定した。これによって交流電流を用いた場合もノズルが消耗せずに加工が行えることが分かった。ノズル材質としては、セラミックスのほか、単結晶の半導体シリコンも有効であることが分かった。導電性があるので、ワイヤ放電加工を用いて図4のように形状加工できる。また、絶縁体を使用する場合に比べて加工電圧を小さくすることができる。

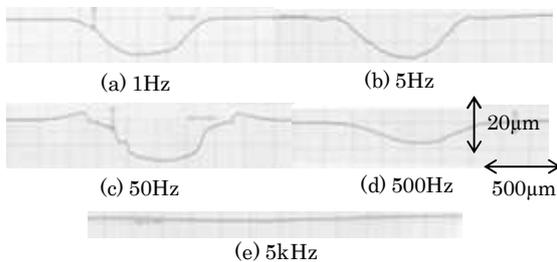


図9 交流電流の周波数が加工されたピット形状に及ぼす影響

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2件)

1. K. Mizugai, N. Shibuya, M. Kunieda, Study on Electrolyte Jet Machining of Cemented Carbide, IJEM, 18, 2013, pp.23-28

2. M. Kunieda, K. Mizugai, S. Watanabe, N., Shibuya, N. Iwamoto, Electrochemical Micromachining using Flat Electrolyte Jet, CIRP Annals, 60, 1, 2011, pp. 251-254.

[学会発表] (計10件)

1. 川中拓磨、齋 治男、国枝正典、スリットノズルを使用した電解液ジェットによる曲線パターン加工、2013年度精密工学会春季大会学術講演会、2013年03月13日～2013年03月15日、東京工業大学

2. 水谷光史、国枝正典、超硬合金の電解液ジェット加工における加工面性状に関する

研究、電気加工学会全国大会(2012)講演論文集、2012年12月06日～2012年12月07日、小倉、西日本総合展示場

3. 川中拓磨、齋 治男、国枝正典、曲面状フィルムジェットを用いた電解液ジェット加工、電気加工学会全国大会(2012)講演論文集、2012年12月06日～2012年12月07日、小倉、西日本総合展示場

4. 水谷光史、国枝正典、超硬合金の電解液ジェット加工における加工メカニズムの解明、第9回生産加工・工作機械部門講演会、2012年10月27日～2012年10月28日、秋田県立大学

5. K. Mizugai, N. Shibuya, M. Kunieda, Study on Electrolyte Jet Machining of Cemented Carbide, 37th MATADOR Conference on Advanced Manufacturing (Manchester, UK), 2012, pp.83-86

6. Shoya Kai, Haruo Sai, Masanori Kunieda, Heikan Izumi, Study on Electrolyte Jet Cutting, Proc. 5th CIRP Conference on High Performance Cutting 2012 (Zurich, Switzerland), 2012, pp. 644-649

7. 水谷光史、国枝正典、絶縁ノズルを用いた超硬合金の電解液ジェット加工、2012年度精密工学会春季大会学術講演会、2012年3月14日、八王子

8. 甲斐奨也、国枝正典、電解液ジェット加工におけるアシストガスの効果、電気加工学会全国大会(2011)、2011年11月24日、つくば

9. 齋治男、国枝正典、泉丙完、電解液ジェット加工による厚板への貫通溝加工、電気加工学会全国大会(2011)、2011年11月24日、つくば

10. 齋治男、甲斐奨也、国枝正典、泉丙完、電解液ジェット加工を用いた貫通溝加工、2011年度精密工学会秋季大会学術講演会、2011年9月21日、金沢

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

1. 名称：電解液ジェット加工装置及び電解液ジェット加工方法
発明者：国枝正典

権利者：東京大学
種類：特許
番号：特願 2012-266062
出願年月日：2012年12月05日
国内外の別：国内

2. 名称：電解液ジェット加工装置及び電解液ジェット加工方法
発明者：国枝正典
権利者：東京大学
種類：特許
番号：特願 2011-254581
出願年月日：2011年11月22日
国内外の別：国内

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

国枝 正典 (KUNIEDA MASANORI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：90178012

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

