

ノート

微細加工の方法と加工面の観察

森 紀年* 寺西 義一* 山崎 実* 加沢 エリト**

Micro-machining Method and Observation of Processing surface

Noritoshi Mori*, Yoshikazu Teranishi*, Minoru Yamazaki*, Erito Kazawa**

キーワード: マイクロ放電加工 収束イオンビーム

Keywords: Micro electric discharge machining, FIB (focused ion beam)

1. はじめに

この技術ノートでは、極少量生産の金型の微細加工用途にむけた、試作加工用機器である微細放電加工機（西が丘庁舎設置）と収束イオンビーム加工機（城南支所設置）について特徴を述べる。また実際に標準的な加工を行い、さらにその加工面の観察を行った結果を述べる。

微細加工における高品位加工面を得ることを目的とした加工方法の選定の際の参考資料として、本報告が中小企業の試作開発の一助になれば幸いである。

2. 加工概要と加工面の観察

2.1 微細放電加工 微細放電加工機は、放電加工現象を利用して微細な穴、溝、軸といった加工を行う加工機である（図1）。この装置は、機上で電極整形と加工を行い、座標系のずれを避けた加工が行える。また作成できるサイズは、軸径 $5\mu\text{m}$ 以上、長さは 0.5mm 程度、穴は径 $8\mu\text{m}$ 以上、深さは穴径の三倍程度の加工が可能である⁽¹⁾。

2.2 微細放電加工機の特徴 放電加工の原理は、極間放電現象を利用し、電極の形を工作物に転写する方法である。具体的には電極と工作物の間に電圧をかけ、極間にある加工液（絶縁油）の絶縁破壊による放電を利用し、放電アークによる溶融、蒸発といった現象で加工する。

この放電現象は、1 放電発生 2 溶融・蒸発 3 気泡発生・除去 4 絶縁回復といった現象を経て、ふたたび放電発生に戻るといったサイクルを繰り返す（図2）。

この加工方法は放電させるために、電極と加工物の間に加工液が充填された一定の隙間が存在する。このため工作物には力のかかりにくい非接触加工となる。

装置にはRC回路が組み込まれ、回路中のコンデンサ部に蓄えられたエネルギーを放出することで放電が行われる。一回の放電において、直径が数 μm 程度の非常に浅い

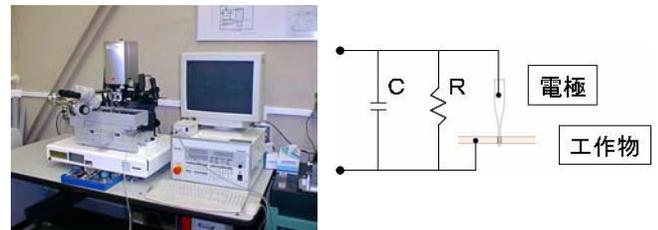


図1 微細放電加工機と加工模式図

クレーター状の除去痕ができる。一般的な加工時における放電回数は毎秒数千から数万回に達するため加工速度は比較的速い。一例として、径 $10\mu\text{m}$ の穴加工の場合では、 $5\mu\text{m/sec}$ の送り速度で加工できる。現状では、径 $5\mu\text{m}$ 程度の軸加工、穴径 $10\mu\text{m}$ 深さ $30\mu\text{m}$ 程度までの加工が安定しておこなえる。

微細放電加工により全体の大きさが $10\mu\text{m}$ 程度の工作物を加工する際、放電により除去される放電跡のスケール（表面粗さで $0.1Rz$ 程度）と、加工対象サイズにきわだった差がないため、形状に放電跡の影響が出てしまう。このことは、微細領域における精密な加工においてあまりのぞましいことではない。加工面は、放電により溶解するためシャープエッジが得にくい。また放電くずが加工面に再付着する場合は、加工品質が悪くなる要因となる。

この加工面を拡大して観察すると微細な放電跡がかさなった面となっている。加工跡（加工面）は、梨地状の面となる。

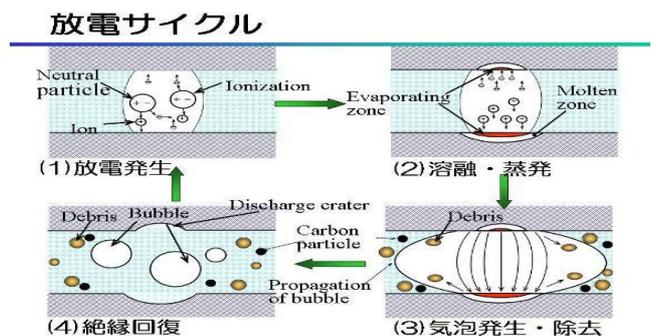


図2 放電サイクルの模式図

* 先端加工グループ

** 城南支所

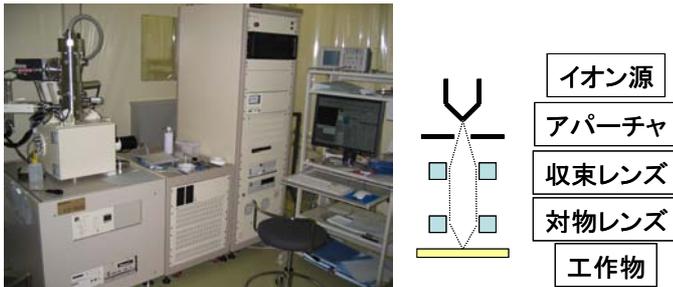


図4 収束イオンビーム加工機と加工模式図

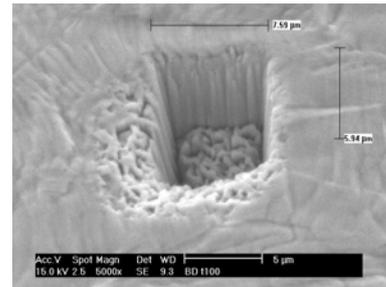


図5 FIBによる四角穴加工

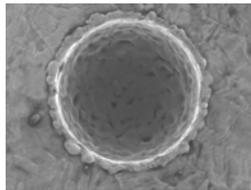


図3 放電加工した穴（径30μ：加工1分）

2.3 放電加工面の観察 図3は SUS304 材の板に径30μm、深さ10μmの加工を行ったものである。

加工によって生成されたクレーターのふちには盛り上がりが発生している。この穴周辺部の盛り上がりは溶融した素材が粘着し堆積したものと考えられる。穴内側の側面に当たる部分には、層状の筋が見られ、これは放電によって溶融した部分とそうでない部分との境界であると予想される。放電加工の穴底は放電くずの付着がすくないため穴周辺部に比較し平坦な面である。これら周辺部盛り上がりと穴底の粗さは適正な放電加工条件が見出せれば改善可能である。

2.4 収束イオンビーム加工 収束イオンビーム（FIB：Focus Ion Beam）加工は、イオン化したガリウムを高電圧で加速し、対象物にぶつけることで加工する。走査型電子顕微鏡（SEM：scanning electro microscope）と同様の構造であり、真空中で加工を行う（図4）。

ビームは電磁収束により絞られ、非常に狭い面積にぶつけることが可能である。このことは、エネルギー総量はわずかであるが、エネルギー密度としては高い加工となる。

加工サイズとしては、数百nmから数十μm程度の加工領域である（図5）。

2.5 収束イオンビーム加工の特徴 この加工機はイオン源として金属ガリウムを用いている。機器上方の金属円筒内にイオン発生源が格納されている。イオンビームの発生方法は、非常に尖らせた針先をガリウム（液体金属）で濡らし、引き出し電極にて電圧をかけるとガリウムは先端から分子サイズの流れとなって飛び出していく。その後、加速電極を用いて加速、最終的に電磁レンズにより収束されて対象物に照射される。照射により工作物は溶融、蒸発といった現象により加工されると考えられている。

この装置の特徴として、絞られたビームは円錐状の形状

をもつため、加工領域は穴深さに制限がある。ビームによって切断された方向では、なめらかな加工面を得やすい。

ビームは電極による位置コントロールを受け照射され、ビーム照射跡が加工物の表面に転写される。そのため穴底など行き止まり形状の部分では、除去された加工物や加工くずが固まったりして堆積した状態となりやすい。

加工された面については切断面と照射面とではおおきく異なった形状となることもある。

また、ガリウムイオン照射により発生する2次電子により加工後の観察がおこなえる。観察時もイオンビームが当たっているため、観察面が削られていってしまうので注意が必要である。

2.6 FIB加工面の観察 図5は厚さ0.1mmのSUS304材に試加工を行ったものである。一辺が10μmとなる四角形の範囲で塗りつぶし状にビームを照射させ、深さ6μmの四角穴を作成した。2時間程度と、比較的加工に時間がかかっている。

ビーム照射面である穴底は少し荒れた面である。加工された屑が穴底に堆積したこととともに、条件の最適化が図られていないためであると考えられる。

FIB加工の切断面は、ビーム軌跡方向では滑らかであり筋上の加工跡ははいることが確認できる。イオンビームのスキャン速度と、スキャン回数の調整が必要と考える。

穴左下方向にはビーム照射された意図しない加工跡が確認できる。発生原因として、イオンビームの断面形状が円形でない可能性、イオンビームの焦点が合っていないこと、加工熱による工作物の熱膨張といった原因が考えられる。

加工時、加工条件によって大きく加工スピードと表面の形状が異なった。焦点、加速電流、ビーム速度、滞留時間など条件の最適化は必須である。

（平成18年10月27日受付，平成18年12月26日再受付）

文 献

- (1) 山崎, 鈴木, 森, 国枝 精密工学会誌 72巻第5号 545-548 (2005)
- (2) 山崎, 森, 他 精密工学会誌 72巻第5号 657-661 (2006)
- (3) Yoshikazu TERANISHI et al. *Surface and Coating Tech.* 196. pp 216-220 (2005)
- (4) 山崎, 森, 他 東京都立産業技術研究所研究報告, No. 3, pp. 113 (2000)