

# 微細工具製作における加工技術の確立 (第2報)

## — 工具材料の検討および工具の作製 —

佐野 正明・八代 浩二・米山 陽・山田 博之・岡田 勝蔵\*<sup>1</sup>  
吉田 善一\*<sup>2</sup>・戸島 昭二\*<sup>3</sup>・斉藤 由樹\*<sup>4</sup>・石川 勲\*<sup>5</sup>

## Establishment of technique on manufacturing micro tool (2nd Report)

### — Investigation of tool material and tool manufacturing —

Masaaki SANO, Koji YATSUSHIRO, Akira YONEYAMA, Hiroyuki YAMADA, Katsuzo OKADA  
Zenniti YOSHIDA, Syouji TOSHIMA, Yoshiki SAITO and Isao ISHIKAWA

### 要 約

本研究では各種の素材（タングステン、超硬合金、高速度鋼、焼結ダイヤモンド）に対して微細放電加工を行い、得られた加工面について走査型電子顕微鏡（SEM）による加工面の観察および表面あらさの測定等から評価を行った。その結果、超硬合金および焼結ダイヤモンドの場合では表面あらさは小さく、放電加工特性が良好である事がわかった。更に超硬合金に対し工具を作製し、得られた工具により穴加工を行ったが、軟質材料の銅ではバリが認められるものの、切削加工が可能であることがわかった。

### Abstract

In this report, various materials (tungsten, cemented carbide, high-speed steel, and polycrystalline diamond) were machined by micro electric discharge machining. Then, their surfaces were evaluated by SEM observation, the surface roughness measurement, residual stress measurement and X-ray diffraction analysis. The following result of the experiment, The affected layer was few at the cemented carbide and the polycrystalline diamond though the affected layer had existed thick in the machining to high-speed steel and tungsten. Moreover, cemented carbide and the polycrystalline diamond showed that the surface roughness was smooth at the machining on the finish condition. The cutting hole experiment was done with drill made of cemented carbide. Though Bali is admitted, drilling is possible to a copper plate.

### 1. 緒 言

近年、製品の小型化に伴い、マイクロ金型やマイクロセンサ部品などに使用される微小部品は、微細軸、微細穴および微細溝等の加工による領域が多いため、マイクロ加工技術の需要が急速に高まっている。

三次元的な形状を自由に加工する方法としては、切削加工が広く用いられているが、微細加工の場合、より微細なドリルやエンドミル等の切削工具が必要になる。これらの工具作製では、従来の機械加工の場合、加工反力による工

具折損等の問題から限界があることから、様々な加工手法が検討されている<sup>1)2)</sup>。

これらの要求に対し、放電加工方法は最も有利な加工方法の一つである<sup>3)</sup>。放電加工方法は電極と工作物が非接触であり、加工反力を受けることなく加工できる特徴がある。また放電単発当たりのパルスエネルギーを微小化することにより、微細加工が可能になる。

そこで、本研究では微細な切削工具の作製手法として微細放電加工を適用し、各種の素材に対して加工を行い、素材の基礎特性を把握するための実験を行った。得られた加工面を走査型電子顕微鏡（SEM）による加工面の観察および表面あらさの測定等から評価を行った。更に、得られた知見に基づき微細工具を作製し、切削加工実験を行った。

\* 1 山梨大学工学部

\* 2 東洋大学工学部

\* 3 高畑精工㈱

\* 4 ㈱池田精機製作所

\* 5 (有) 昭和精機

表1 各素材特性

	融点 (°C)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	熱伝導率 (w/mk)	硬さ	電気抵抗率 (μΩcm)
タングステン	3407	19.3	178	69HRC	5.55
超硬合金	2900	14.3	70	91.5HRA	20~38
高速度鋼	1200-1400	7.96	24	69HRC	52~54
多結晶ダイヤモンド	3550	3.51	2000	7000HK	1375

## 2. 実験方法

### 2-1 加工素材

実験に用いた素材は、微細放電加工用電極として用いられるタングステン、切削工具用素材として一般的に用いられる超硬合金（超微粒子超硬、直径0.5μm, Cemented-carbide）、高速度鋼（高C, Co粉末ハイス, High-SpeedSteel）および焼結ダイヤモンド（直径10.0μm, Poly Crystalline Diamond）の4種類を使用した。タングステンは素材から引き抜きにより成形した材料であり、超硬合金および高速度鋼は粉末冶金手法により生成された材料である。また、焼結ダイヤモンドは多結晶ダイヤモンドの微粒子を結合材金属とともに高圧下で結合させた材料であるが、超硬合金に比べ非常に硬く、また耐摩耗性も優れた特性を有する。各素材特性を表1に示す。

### 2-2 加工方法

各素材ともにワイヤ放電加工機により、直径1.0mm、長さ20.0mmに切り出したものを試験片とした。実験に用いたタングステン、超硬合金および高速度鋼は塊（バルク）材料であるが、焼結ダイヤモンドは超硬合金上に高温圧縮成形した素材である（密着力780MPa, 厚さ1.5mm）。

微細放電加工は、三菱電機製微細放電加工機EDSCAN8Eを使用してワイヤ放電研削方法（Wire Electric Discharge Grinding, 以降WEDG<sup>®</sup>と称す）により、加工を行った。加工工程およびエネルギー条件を表2に示す。加工

表2 加工条件および加工工程

	工程	条件
↓ 仕上げ	E1	ie;25A, te;2μs, to;64μs
	E2	ie;5.5A, te;2μs, to;64μs
	E3	uc;80V, C;4300pF
	E4	uc;80V, C;0pF

は試験片に対し、端面および側面について行った。端面加工は試験片端部から1mm程度切り落とす加工を行い、また側面は試験片直径を1.0mmから0.8mmまで細くし、観察面とした。

### 2-3 評価方法

得られた加工面の観察は走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope, 以後SEMと称す）により行った。表面あらさの測定は、微細軸の測定であるために、通常先端球半径5μmのプロープ（測定子）では測定不可能なため、先端形状がナイフエッジタイプの測定子（先端エッジ半径5μm）を用いた。

なお、切削加工実験は工具作製をした放電加工機上で行ったため、回転数は加工機の持つ最大回転数1,000rpmとし、送り速度は0.06mm/minの条件で行った。

## 3. 結果および考察

### 3-1 端面加工した加工面の観察

表2の各エネルギー条件（E1, E2, E3, E4）により、高速度鋼および焼結ダイヤモンドの端面に対し、各々微細放電加工を行った。加工表面におけるSEM観察結果を示す。図1が高速度鋼および図2に焼結ダイヤモンドの場合を示す。

図1の高速度鋼の場合、割れ（クラック）および凹（くぼみ）形状は確認されないが、非常に大きなうねりのある加工面が形成されていた。しかし、加工エネルギーの低下により、表面は小さいうねりのある加工面へと変化した。同一条件での超硬合金の場合に比べ、そのうねりは大きかった。

更に、図2に焼結ダイヤモンドの場合を示すが、それぞれの試験片について、加工面は他の素材に比べ非常に小さい放電痕の集積であり、うねりの少ない良好な加工面であることが確認された。

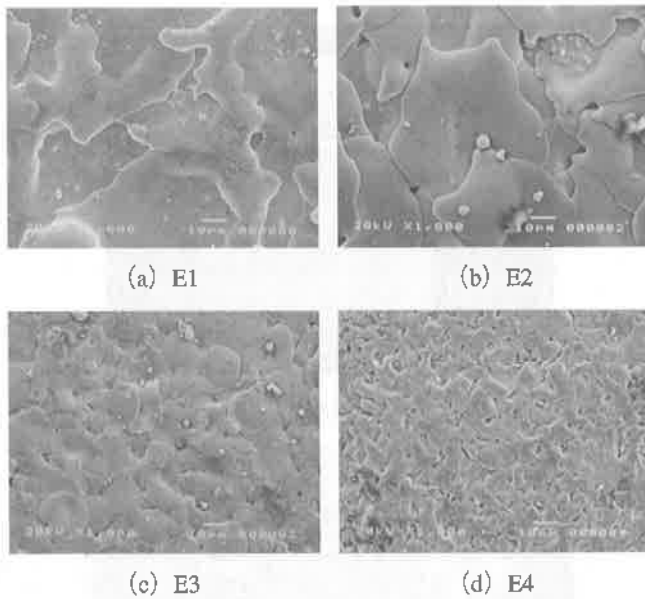


図1 高速度鋼素材の表面SEM観察結果

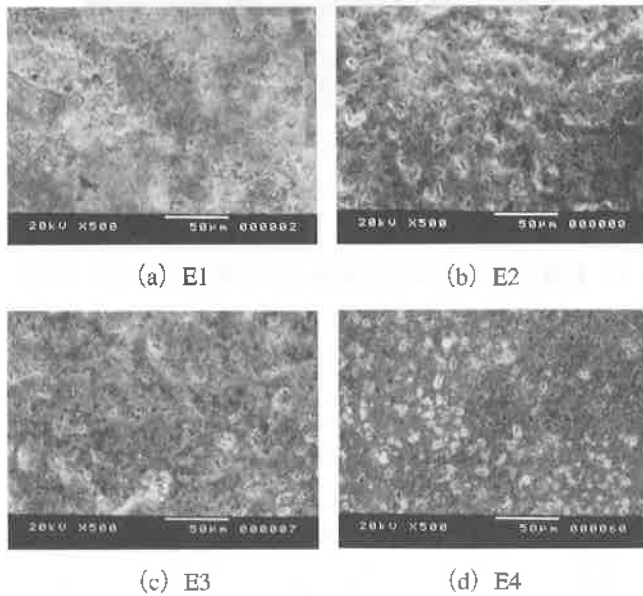


図2 焼結ダイヤモンド素材の表面SEM観察結果

### 3-2 側面加工した加工面の観察

またエネルギー条件の違いによる加工面状態の変化はほとんどみられなかった。図3に高速度鋼の場合を示す。表面の観察(a)では、端面加工とほぼ同様な加工面を示していた。更に断面観察結果(b)から、加工影響層厚さは5 $\mu$ m程度と推察される。なお焼結ダイヤモンドの場合も同様に行ったが、端面加工した加工面の場合とほぼ同様であった。

### 3-3 表面あらしの測定

側面加工した試験片について表面あらしの測定を行った。測定長さは1mm程度であり、軸方向に沿って行った。その結果を図4に示す。

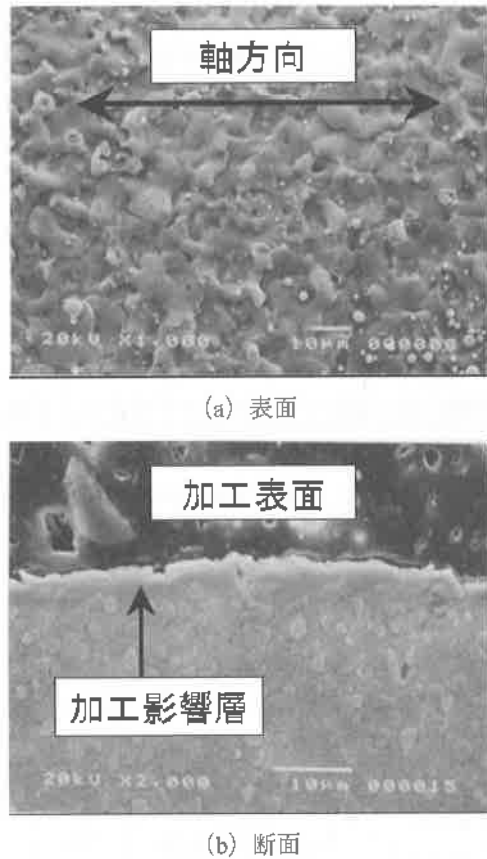


図3 高速度鋼素材の断面SEM観察結果

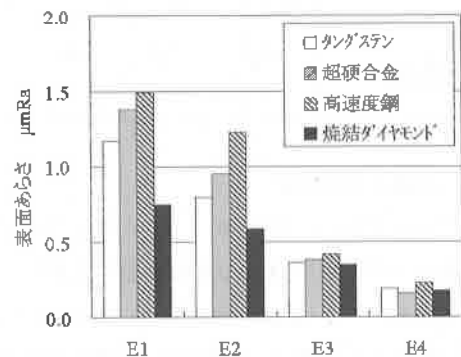


図4 表面あらしの測定結果

各素材ともに加工エネルギーの低下に伴い、表面あらしは小さくなったが、同一条件(E1, E2)で比較した場合、高速度鋼が最も大きく、次いで超合金、タングステン、焼結ダイヤモンドという順序であった。特に焼結ダイヤモンドの表面あらしは非常に小さく、タングステンおよび高速度鋼の半分程度であった。タングステンの場合、側面には軸方向に空孔が存在し、測定子がナイフエッジであるため、侵入困難な部分を考えて、実際の表面あらしは更に大きいものと推察される。試験片の融点および熱伝導率から表面あらし(変質層厚さ)を考えた場合、焼結ダイヤモンドは融点が高く、また熱伝導率が極めて高いことから表面あらしは最も小さくなり、融点および熱伝導率が低い

高速度鋼が最も大きくなるとされている。このことは本結果ともよく一致している。エネルギー条件の最も小さいE4では、4種類の試験片の表面あらかさはほぼ同程度となったが、特に超硬合金および焼結ダイヤモンドは他の素材に比べ、低下する傾向を示した。

また、表3はSEMによる断面の観察から加工影響層の厚さ測定を行った結果を示す。高速度鋼およびタングステンにおけるE1,E2の条件では、加工影響層が非常に厚く存在したが、エネルギーの低下に伴い、その厚さは減少した。しかし、超硬合金の場合では、エネルギー条件による変化はほとんど認められず、ごくわずかな領域が観察された。超硬合金の加工では、放電加工の熱エネルギーによる飛散・除去の影響が非常に大きく、熔融再凝固層が少ない結果であると推察される。

表3 熱影響層厚さの測定 $\mu\text{m}$   
(クラック, あり:×, なし:○)

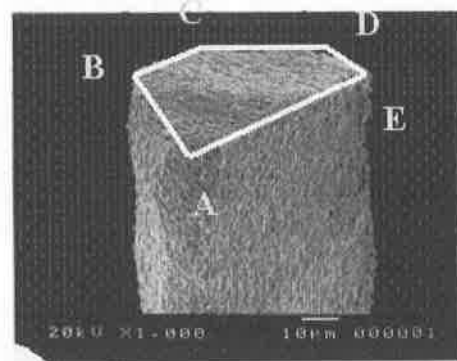
	E1	E2	E3	E4
タングステン	20.0 (×)	12.5 (×)	7.5 (×)	2.5 (×)
超硬合金	<1.0 (×)	<1.0 (○)	<1.0 (○)	<1.0 (○)
高速度鋼	12.5 (×)	7.5 (×)	3.8 (×)	1.2 (○)

### 3-4 微細工具の成形

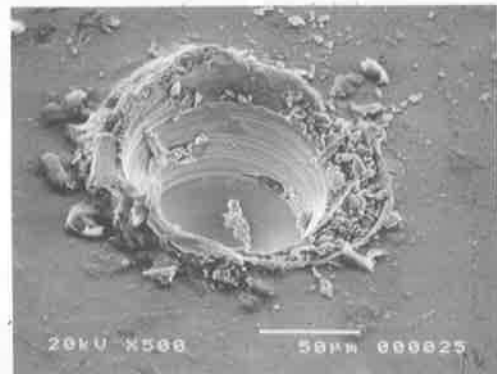
これまでの結果から、放電加工による加工影響層が少なく、表面あらかさの良好であった超硬合金を選択して、微細工具の作製を行った。形状は直径 $100\mu\text{m}$ のD形断面形状を有する一枚刃とし、側面には四つの逃げ面および端面にも $15^\circ$ の逃げ面を有する形状とした。作製した工具形状は図5(a)に示すとおりである。加工面のエッジは、ややだれの形態が見られるが、ほぼ目的とした形状に加工されていた。得られた工具により板厚 $1.0\text{mm}$ の銅板上に穴加工を行った。その一例を(b)に示す。加工深さは $50\mu\text{m}$ 程度であるが、加工側面には切削によるツールマークも確認でき、切削加工用の工具として利用できる可能性が確認できた。

## 4. おわりに

タングステン、超硬合金、高速度鋼および焼結ダイヤモンドの各素材に対し、微細放電加工を行い、その加工影響層の挙動について各種評価により検討を行った。得られた結果を要約すると以下のとおりであった。



(a) SEM観察結果



(b) 被加工物形状 (Cu)

図5 加工結果

- (1) 超硬合金および高速度鋼および焼結ダイヤモンドでは、良好な加工面を呈したが、タングステンの場合は、放電加工による熱エネルギーの影響から、軸方向に対し、クラックが認められた。
- (2) 同一条件で加工した場合、焼結ダイヤモンドが最も表面あらかさは小さかった。また仕上げ条件での加工では、超硬合金も同様に表面あらかさは小さい傾向を示した。
- (3) 細棒素材に対し放電加工を施した場合、端面加工した加工面では、圧縮応力が形成されていたが、側面加工した加工面では、引張応力が形成されていた。
- (4) 超硬合金に対し工具を作製し、得られた工具により穴加工を行った。その結果、軟質材料の銅ではバリが認められるが、切削加工は可能であることがわかった。

### 参考文献

- 1) 江頭快, 水谷勝巳; 放電加工成形された極小径ボールエンドミルによる切削加工, 精密工学会誌 Vol.69, No.10, (2003), 14492
- 2) 熊谷正夫; 微細な工具をつくる, 産総研ニュースNo.5 (2004), P3
- 3) 増沢隆久; マイクロ放電加工技術の概要, 電気加工学誌, Vol.35, No.80 (2001), pp.5-20.
- 4) T.Masuzawa, M.Fuino, K.Kobayashi and K.Suzuki; Wire electro

discharge grinding for micro-machining, annals of the CIRP, Vol.39, No.1 (1985) pp.431

- 5) 放電加工技術基礎から将来展望まで、齊藤長男、毛利尚武、高藤民生、吉谷政典、日刊工業新聞社、(1997) pp.54
- 6) 佐野三明、日原政彦、八代浩二、向山芳世；複合処理した放電加工面の熱疲労挙動、電気加工学会誌、Vol.31, No.68 (1997)、pp.1-8.
- 7) 緒方勲、向山芳世、日原政彦；放電加工における応力分布に関する研究（第六報）、電気加工学会誌、Vol.25, No.50 (1991)、pp.1.