

微細工具製作における加工技術の確立 (第一報)

— 微細工具の試作および工具面の評価 —

佐野正明, 八代浩二, 米山 陽, 山田博之, 吉田善一, 岡田勝蔵*1, 戸島昭三*2, 斉藤由樹*3, 石川 勲*4

Establishment of technique on manufacturing micro tool (1st Report)

— Manufacturing micro tool and evaluation worked surface —

Masaaki SANO, Koji YATSUSHIRO, Akira YONEYAMA, Hiroyuki YAMADA, Zeniti YOSHIDA,
Katsuzo OKADA, Syouji TOSHIMA, Yoshiki SAITO, ISAO ISHIKAWA

要 約

切削加工に用いる微細工具の作製を目的に、切削工具材料として一般的な超硬合金および微細放電加工用電極として用いられるタングステンに対し、放電加工法により加工を行った。その結果、タングステン素材は放電加工による浸炭効果が認められ、加工面には非常に硬い層の形成が確認されたが、多くの空孔が認められた。また超硬合金の場合は比較的良好な加工面が得られ、試作した工具面も良好であった。

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各種微細部品に0.1mm以下の微小径穴加工や溝加工を行うマイクロ加工技術の需要が急速に高まっている。こうした微細加工の要求に対し、化学処理等の手法により加工されてきたが、将来的に予想される複雑な形状における高精度加工への対応は困難であり、また加工効率は必ずしもよくない。

三次元的な形状を自由に加工する方法として、切削加工法が広く用いられているが、微細な加工を行うには、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。切削工具となる材料は、従来から研削により作製されることが一般的であるが、微細形状を有する精密加工を行うには、切削抵抗の増加から限界があるといわれている。しかし微細加工を実現するためには小径工具が必要であり、微細で操作性の良い工具の開発が望まれている。

一方、放電加工法は複雑な形状物でも高精度に加工できるという利点から、高精度金型加工等にも適用されている。放電加工の特徴から非接触加工であるためアスペクト比の高い加工や薄肉加工においても、導電性であれば材料を問わず、加工反力を受けないこと加工でき、また放電単発あたりのパルスエネルギーを微小化するこ

とにより微細なクレータの集積から加工が進展する。このため微細形状の加工には、最も有利な加工法であると考えられる。さらに、複雑形状の加工でも三次元CADデータの活用から総型切削工具を作製することにより、製品開発におけるコストダウンや高効率な開発環境に寄与することが可能である¹⁾²⁾。

これらのことから、放電加工は導電性材料であれば材質を問わず加工できることと、非接触加工という点から、微小領域の高精度加工が可能である加工法であり、有効的な活用が期待できる。しかし、加工形状の微細化により、表面に存在する加工影響層の存在が材料の特性に大きく影響を及ぼすことが考えられる。特に加工面から、深さ数ミクロン程度の領域までの、材料の健全性の確認は極めて重要である。そこで、微細放電加工により得られた加工面について、数ミクロンオーダーでの分析評価を行い、さらに作製した微細工具での微細複雑加工形状への可能性について検討する。

2. 実験方法

2.1 加工条件

実験に用いた素材は直径1.0mmの形状で、微細放電加工用電極として用いられるタングステンおよび切削工具の材料となる超硬合金とし、ワイヤ放電加工機により、長さ20.0mmに切り出したものを使用した。微細放電加工は、三菱電機(株)製微細放電加工機EDSCAN8Eを用い、加工を行った。加工工程をTable1に示す。

*1 山梨大学工学部

*2 高畑精工(株)

*3 (株)池田精機製作所

*4 (有)昭和精機

Table1 加工工程

加工工程	加工条件
E1	ie;25A, te;2 μ s, to;8 μ s
E2	ie;15A, te;2 μ s, to;64 μ s
E3	ie;5.5A, te;2 μ s, to;64 μ s
E4	vo;80V, C;4300pF
E5	vo;80V, C;静電浮遊容量のみ

2.2 加工エネルギー波形の観察

通常、放電加工における加工エネルギーの供給は電源側で制御され、極間に印加される。しかし実際の放電加工に寄与されるエネルギー値は、加工機側の抵抗の変動および極間での静電浮遊容量との影響から、設定エネルギー値と異なる形で供給され、加工が進行していると考えられる。特に微細放電加工の領域では、非常に狭い極間内で、非常に短いパルスエネルギーが供給されるため、実際に放電加工に利用されるエネルギーは大きく異なると考えられる。そこで極間での放電現象を捉えるために、オシロスコープにより放電発生におけるエネルギー状態の観察を行った。観察に用いたオシロスコープはTektronix製TDS5032(周波数帯域350MHZ,サンプリング5GS/s)であり、電流モニタセンサはTCPA300である。

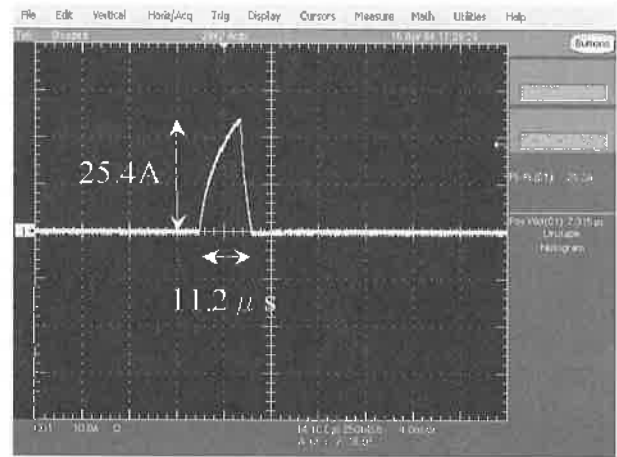
Fig.1に観察結果を示す。(a)はE1条件での極間における電流波形を観察したものである。放電電流値はほぼ設定値どおりであったが、放電時間(te)は11.2 μ sであり、5倍以上の時間放電している状態であることがわかった。また(b)に示すE3の場合では、設定値よりもやや高い放電電流ピーク値(ic)であり、放電時間(te)はやや大きな値である事がわかった。極間が非常に狭い状態であるため、極間での微細なエネルギー制御が困難となるためと考えられる。さらに、最終仕上げの条件では特にコンデンサを介さない放電であるため、実際の電流値は不明確であったが、今回の測定により、非常に微細なエネルギーが供給されていることがわかった。

3. 結果および考察

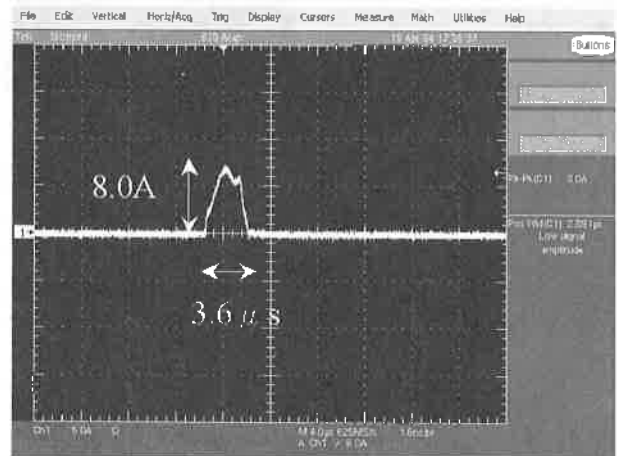
3.1 端面加工した加工面の観察

Fig.2に、Table1の各エネルギー条件で、タングステンの端面を放電加工した加工表面におけるSEM観察結果を示す。(a)は荒加工領域でのエネルギー条件における加工面であるが、非常に大きなうねりのある加工面が観察された。また(b)に示す中加工領域加工領域では加工面凹凸は減少する傾向がみられたが、空孔の集積から形成されたと思われる割れ形状は多く観察された。さらに仕

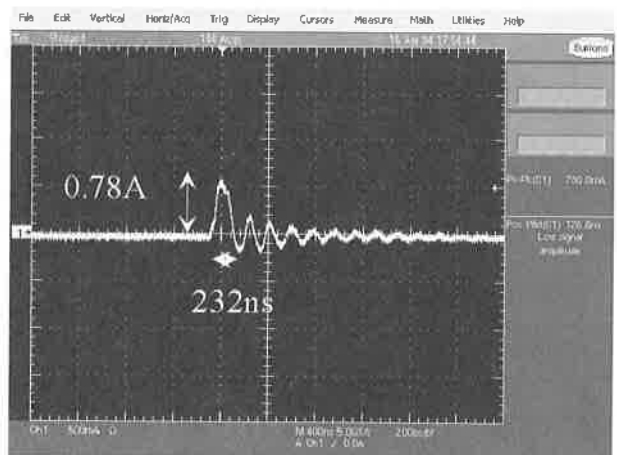
上げ条件での加工面(c)でも放電痕は小さくなるが、割れ形状は観察された。Fig.3にFig.2と同様な加工を超硬合金に行った場合の、SEMによる観察結果を示す。タングステンの場合と同様にエネルギー条件の減少(荒->中->仕上げ)に伴い、加工面の凹凸は減少し、仕上げ条件では



(a) ie;25A, te;2 μ s, to;8 μ s



(b) ie;5.5A, te;2 μ s, to;64 μ s



(c) vo;80V, C;静電浮遊容量のみ

Fig.1 エネルギー波形の観察結果

非常に細かな放電痕が観察された。超硬合金の場合も空孔の存在は確認されるが、タングステンにみられるようなピンホールの集積により形成されたクラックは、観察されなかった。ピンホールの集積により形成されたクラックの生成はタングステンのみの現象であった。

3.2 側面加工した加工面の観察

そこで、次に素材側面についてタングステンおよび超硬合金に対しTable1に示す加工工程で放電加工を行い、その加工面をSEMにより観察した結果をFig.4に示す。(a)はタングステン、(b)は超硬合金の場合をそれぞれ示す。タングステンの場合、側面において、放電加工されている部分は放電痕の形成が観察されるが、放電痕の存在が観察されない場所では、すじ状の空孔の存在が観察された。つまり、加工前の状態で、既にピンホールがあったものと

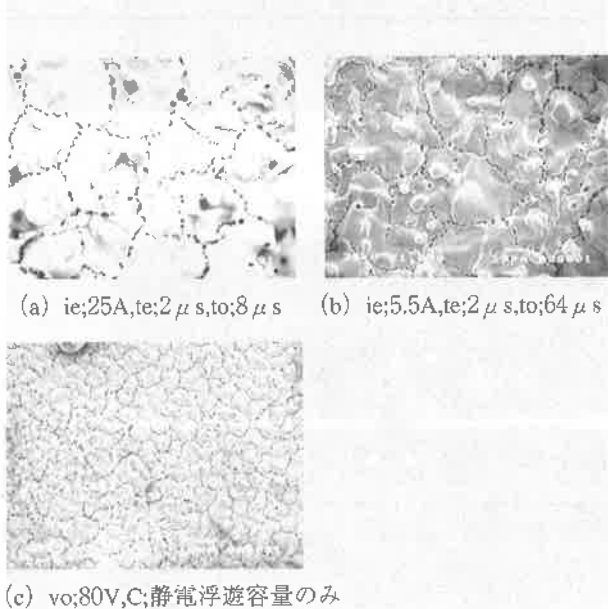


Fig.2 タングステン材料における放電加工面のSEMによる観察

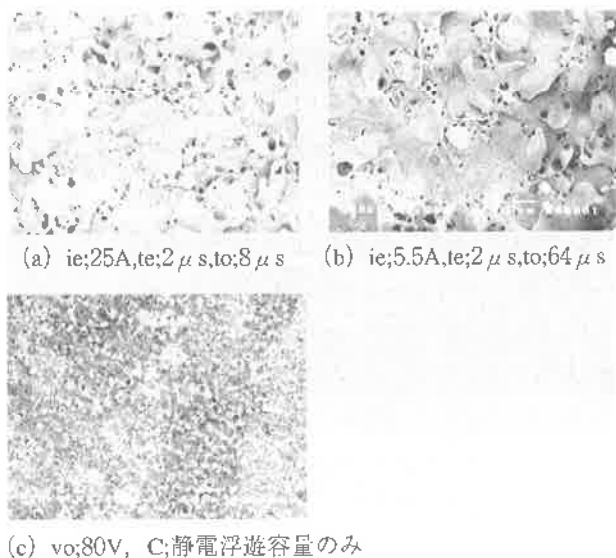


Fig.3 超硬合金材料における放電加工面のSEMによる観察

と推察され、素材の段階で生じた欠陥が残存していたものと思われる。このため棒素材端面においても、割れ形状が多数観察されたものと思われる。同工程において超硬合金の加工を行った場合 (b) では、Fig.3に示す端面加工と同様に、欠陥は観察されなかった。

そこで、さらに側面加工された試験片に対し、断面を切断し、加工面から内部への放電加工の影響について観察した。Fig.5は直径1.0mmの素材を直径0.8mmまで側面加工を行った断面におけるSEMによる観察結果である。上面の円弧状に形成されている部分が放電加工された面である。放電加工変質層はタングステンの場合、5 μ m程度であり、超硬合金では1~2 μ m程度であった。タングステンは、さらにその直下から素材内部までポーラスな部分が多数観察される。これは放電加工での影響が及ばない領域であるため、素材の欠陥であると考えられる。つまり、この結果は、Fig.4で示した結果と良く一致し、素材軸方向 (圧延方向) に空孔が多数存在しているためと考えられる。今回のように押し出し成形により得られたタングステン素材は十分注意して使用する必要がある。また放電加工による熱影響層内部では、放電加工時のエネルギーでこの空孔は熱により膨張し、クラックに進展しているものと推察される。

3.3 X線回折による分析

Fig.6にFig.3およびFig.4で示した加工面のX線回折による分析結果を示す。(a)はタングステンの場合であるが、各条件ともにタングステンの回折線ピークが観察された。またエネルギー条件が大きい場合、つまり荒加工 (E851,E852) および中加工 (E853) では、W₂Cの回折線ピークも併せて観察された。これは放電加工液中の分解カーボンと素材成分のタングステンとが結合した結果であると考えられる。さらに、(b)に示す超硬合金の場合では、超硬合金の主成分であるWCの回折線ピークと結合材Coの酸化物

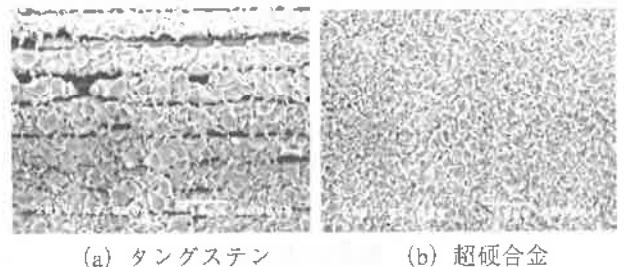


Fig.4 側面加工した加工面のSEMによる観察

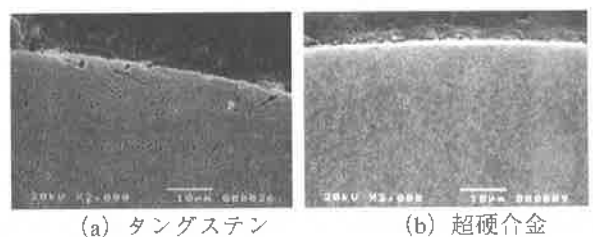


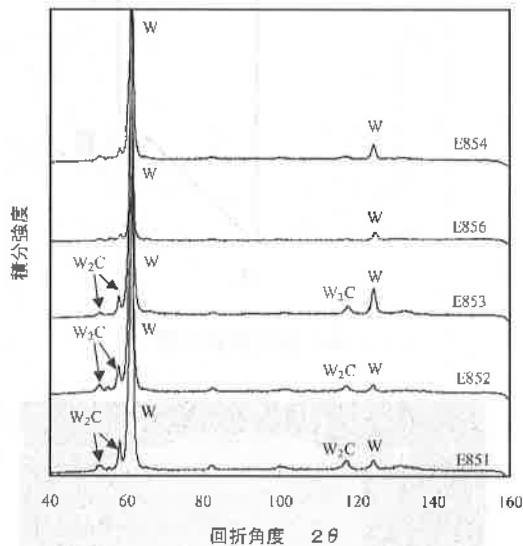
Fig.5 SEMによる断面観察結果

が各エネルギー条件において観察された。各エネルギー条件による明確な違いは少ないことから、放電加工による加工変質層厚さ（溶融再凝固層）は少ないものと推察される。

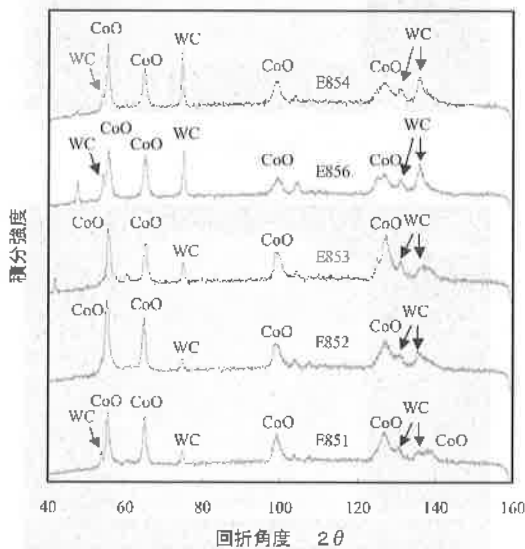
Fig.7は加工液に水および油を用い、タングステン棒端面をTable1に示す加工工程で加工した場合のX線回折による分析結果である。Fig.6の結果からもわかるように、加工液が油の場合にはWの回折線ピークのほかにWCの回折線ピークが観察されたが、加工液に水を用いた場合にはWの回折線ピークしか観察されなかった。この結果、加工液に油を用いることにより浸炭作用があることがわかった。

3.4 残留応力の測定

Fig.8にFig.2で示したタングステン棒端面を加工した面の、残留応力を測定した結果を示す。各エネルギー条件と



(a) タングステン



(b) 超硬合金

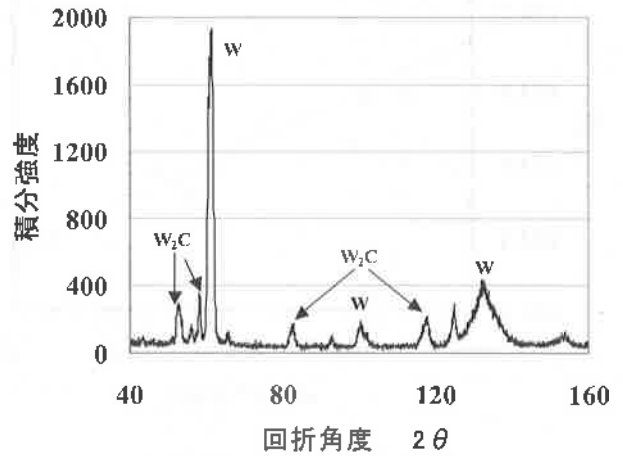
Fig.6 加工条件の違いによるX線回折分析結果

もに $2\theta - \sin^2\psi$ 線図において、ばらつきがみられるが、加工面には圧縮応力が存在していることが確認された。放電加工を行った場合、加工面には引張応力が存在していることが一般的であるが、本実験では圧縮応力が作用していた。これは実験前の材料の成形方法が引抜き加工により、行われているために配向性を持ち、加工面には引き抜き方向と垂直面に対し、強い圧縮応力が残存していたためであると考えられる。

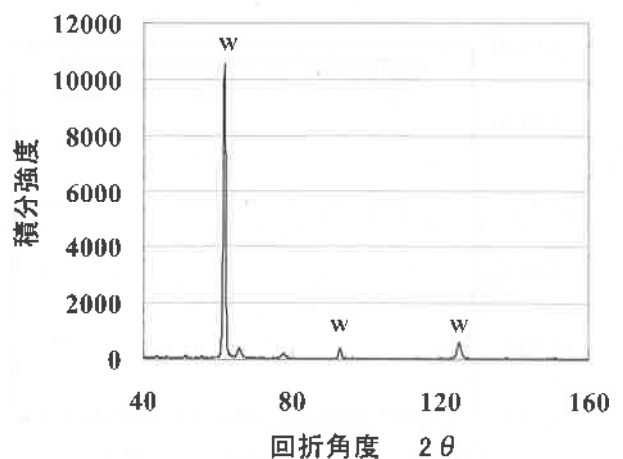
3.5 微細工具の成形

超硬合金に対し微細切削工具の製作を行った。形状はFig.9 (a)に示す直径100 μ 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度の逃げ面を持つ形状とした。

加工は作成したCAMプログラムにより行い、得られた工具形状はFig.6 (b), (c)に示すとおりである。加工面には、ややだれ形状が見られるが、ほぼ目的とした形状に仕上がっていた。

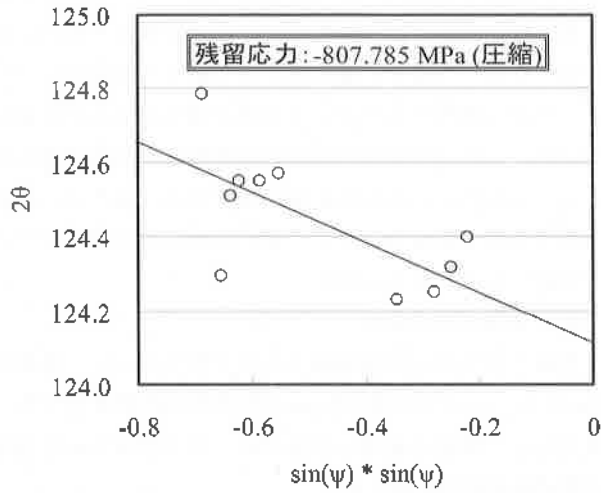


(a) 加工液：油

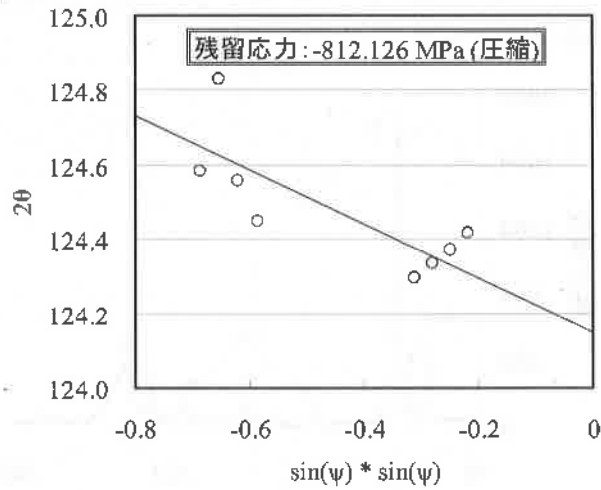


(b) 加工液：水

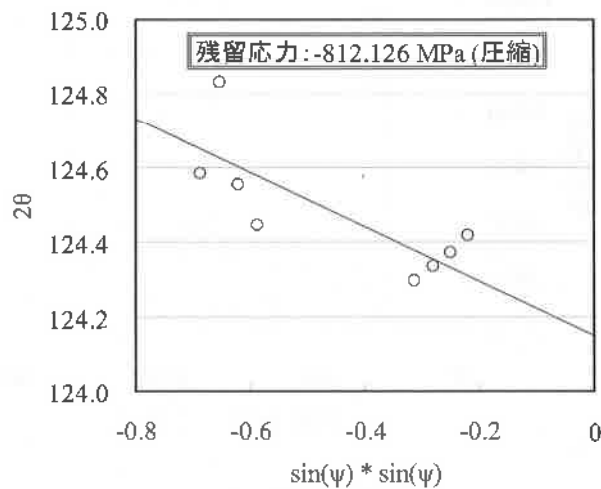
Fig.7 放電加工面のX線回折による分析結果



(a) i_e ;25A, t_e ;2 μ s, t_o ;8 μ s



(b) i_e ;5.5A, t_e ;2 μ s, t_o ;64 μ s

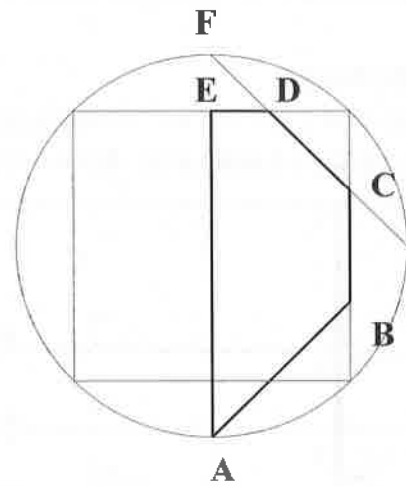


(c) V_o ;80V, C;静電浮遊容量のみ

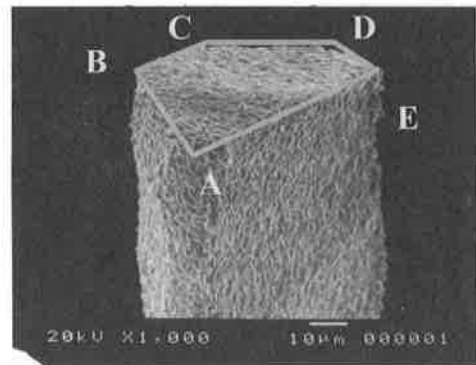
Fig.8 残留応力の測定結果

4. 結 言

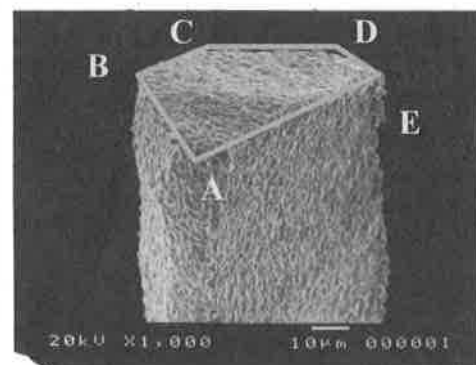
タングステンおよび超硬合金に対し、微細放電加工を行った。タングステンは素材内部において空孔が多数観察され、工具として使用した場合、支障があると考えられる。これに対し、超硬合金は良好な素材状態を示し、また加工面状態も健全であることがわかった。今後、素材は超硬合金を用い、製作した工具により切削加工実験を行うとともに、微細領域での高精度加工に適した材料の選択についても、あわせて検討していく予定である。



(a) 加工断面形状



(b) SEM観察結果



(c) SEM観察結果 (拡大)

Fig.9 製作した微細工具の外観図

参考文献

- 1) 江頭快, 水谷勝巳: 放電加工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)
- 2) 熊谷正夫他: 微細な工具をつくる, 神奈川県産業総合研究所ニュース, 5月号 (2004)