

生体材料における微細放電加工特性に関する研究 (第1報)

佐野 正明・藤原 和徳・岡田 勝蔵*・塩沢 全司*

Study of micro-electrical-discharge-machining of bio-material (1st Report)

Masaaki SANÔ, Kazunori FUJIHARA, Katsuzo OKADA*, Zenji SHIOZAWA*

要 約

本研究では、金属系生体材料として優れた材料特性を有するチタン系材料に対し、微細条件により放電加工を行い、得られた加工表面の分析を走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、表面あらさの測定およびX線回折による分析から行った。その結果、以下のことが明らかとなった。1) 油加工液と水加工液を比較した場合、水加工液の方が表面あらさは大きくなる傾向を示した。またTi-6Al-4V合金は純チタンに比べ、表面あらさは大きくなる傾向を示した。2) 油加工液中でチタン系材料を加工した場合、加工表面にはTiCの回折線ピークが観察された。

Abstract

In this report, various titanium materials (Pure titanium, Ti-6Al-4V alloy) were machined by micro electric discharge machining (micro EDM). Then, their surfaces were evaluated by SEM observation, surface roughness measurement, and X-ray diffraction analysis. The following are the results of the experiment; 1) A titanium materials showed the tendency to have a smooth surface roughness when machined in working oil fluid. And the surface roughness after EDM Ti-6Al-4V alloy material is more than pure titanium material. 2) In working fluid oil by EDM, a TiC layer was formed

1. 緒 言

病気や事故などにより損傷した部位を代替する材料としてチタン合金、ステンレス鋼およびCo-Cr合金などの金属が使用されはじめて¹⁾。これらは生体内という特殊な環境の中で使用されるため、耐食性・耐摩耗性・耐疲労特性等の優れた特性を兼ね備えることが要求される。摺動部で使用される場合には、加工面の形状精度を向上させることや耐摩耗特性の向上を考慮し、加工されることが重要である。また、微小部位治療法の中で代表的な動脈瘤治療においては数ミリメートル程度の瘤部位にクリップ留めを施したり、微小粒がカテーテルを介して混入され、血管破裂を防ぐ等の治療が行われる。このため材料の健全性・加工性は極めて重要である。

近年、人体内部の画像診断装置としてMRI (磁気共鳴装置) による診断から、人体内部情報を三次元的に細部にわたり調査する方法が用いられ、有効的な診断装置となってきている。しかし、MRI診断ではステンレス鋼やCo-Cr合金等を生体内へ適用したとき、これらの材料は強磁性体であるために、診断が不可能となる場合がある。

これらに対し、チタン系材料は非磁性体であるために診断が可能とされる有効的な材料であるが、切削加工では微細形状の加工が困難とされる材料である。そこで本研究ではこのチタン系材料に対し、高精度微細加工において有効的な加工方法である放電加工方法の適用について検討を行った。

放電加工は非接触加工であるために、アスペクト比の高い加工や薄肉加工において有利な加工方法であり、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適した加工方法の一つであると考えられ、この微細放電加工方法は様々な用途に利用されてきている。

本研究では、金属系生体材料として、優れた材料特性を有するチタン系材料を主として微細加工条件での加工を行い、その加工表面の詳細な分析を行い、加工表面の安定した表面性状の形成を実現することを目的とし、放電加工特性に関する検討を行った。

2. 実験方法

実験に用いた素材は、純チタンおよびTi-6Al-4V合

* 国立大学法人山梨大学

金の2種類を用いた。放電加工機は三菱電機製微細放電加工機EDSCAN8Eであり、加工条件は仕上げ領域の3種類の条件により行った(①E201; i_p 8A- t_p 32 μ s- t_s 64 μ s, ②E202; i_p 2A- t_p 4 μ s- t_s 8 μ s, ③E203; 4300pF)。加工液は油およびイオン交換樹脂を通した純水(比抵抗 $1.0 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ 以上)とし、仕上げ加工条件で、それぞれ電極極性を(+)および(-)に変えて加工を行った。放電加工用電極素材は一般的に銅が多く用いられているが、加工表面への重金属の付着は体内での拒絶反応を引き起こすことが懸念されるため、本実験では、グラフアイト電極を用いた。

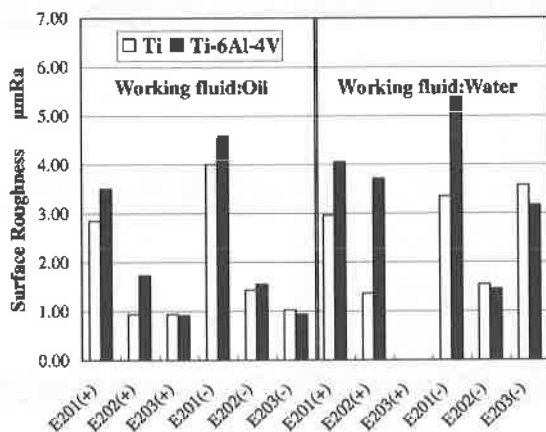


図1 表面あらかさの測定結果

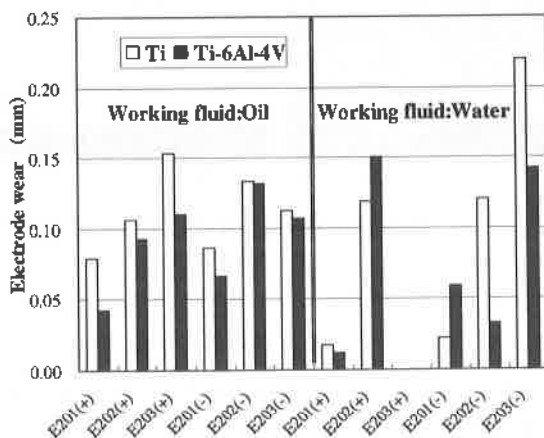


図2 電極消耗量の測定結果

加工は試験片に対し、上面から $200 \mu\text{m}$ 除去する(電極送り量 $200 \mu\text{m}$)まで行い、得られた加工面は走査型電子顕微鏡による観察、表面あらかさの測定およびX線回折等による分析から評価を行った。

3. 結果および考察

3-1 表面あらかさ

図1に放電加工面の表面あらかさ測定結果を示す。各加工面ともに表面あらかさはエネルギー量の減少により低減す

る傾向を示したが、油加工液と水加工液を比較した場合、水加工液の方が表面あらかさは大きくなる傾向を示した。これは加工液の比抵抗および粘性に起因するものと考えられ²⁾、水加工液の方が単発当たりの除去量が多いことによるものと考えられる。またTi-6Al-4V合金は純チタンに比べ、表面あらかさは大きくなる傾向を示した。

本実験において水加工液でエネルギー条件が小さい場合では、放電が不安定となり、特に③E203条件の電極極性(+)の場合では加工は進行しなかった。これに対し、電極極性(-)の場合では、局所的に放電の集中がみられるような凹部が多数観察されており、これが表面あらかさを悪くさせた原因と考えられる。

図2は各条件での電極消耗量を示す。これは電極送り $200 \mu\text{m}$ まで降下させ、加工した時の電極の消耗長さを示す。純チタンの加工に比べ、Ti-6Al-4V合金への加工の方が電極消耗量は小さい傾向となった。また比較的大きなエネルギー条件の場合は、電極消耗量は小さくなる傾向を示し、逆に小さいエネルギー条件の場合は、電極消耗量は大きくなった。加工液に水を用いた場合では、油に比べ比抵抗が小さいことから極間に同一電圧を印可した場合でも漏洩電流が流れ出すため³⁾、加工を進行しにくくさせていると推察される。

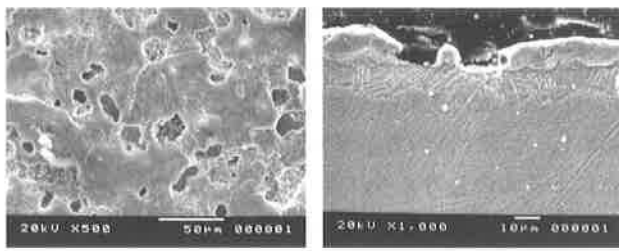
3-2 走査型電子顕微鏡による観察

図3~図6は走査型電子顕微鏡による試験片の表面および断面の観察結果を示す。図3は純チタン材料に対し、油加工液中で加工を行った場合を示すが、比較的大きな加工条件で加工した(a)は加工面に $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度の空孔が多数存在し、その存在割合はエネルギー量の低下により減少した。

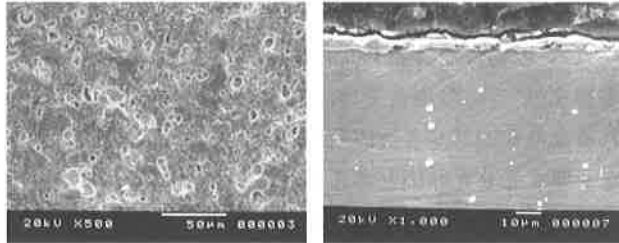
また断面の観察結果から、エネルギー条件の低下に伴い、加工変質層厚さも低下していることが観察された。更に電極極性が(-)となる(d)では、(+)極性の時に観察されていた空孔は確認できず、健全な加工面が形成されていた。また本実験条件では明確なクラックは観察されなかった。

図4は同材料を水加工液中で放電加工した場合を示す。油加工液と異なり両極性とも空孔はほとんど観察されなかった。また油加工液の場合では凹凸の大きなうねりをした放電痕形態であったが、水加工液の場合は凹凸の少ない放電痕形状をしていた。更に加工変質層厚さは油加工液に比べ、薄く形成されており、マイクロクラックもわずかに観察された。

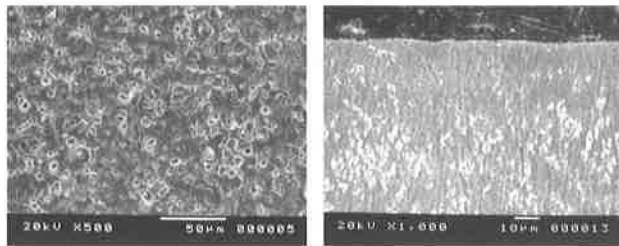
図5にTi-6Al-4V合金に対し、油加工液中で加工を行った場合を示すが、純チタンに比べ、空孔の存在割合は大きかった。更に図6に同材料を水加工液で放電加工を行った場合を示すが、純チタンの時とほぼ同様な形態を示した。



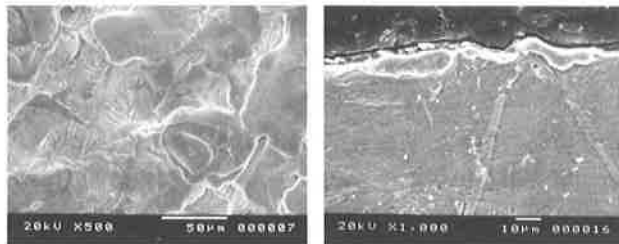
(a) Ti (Oil) E201 (+)



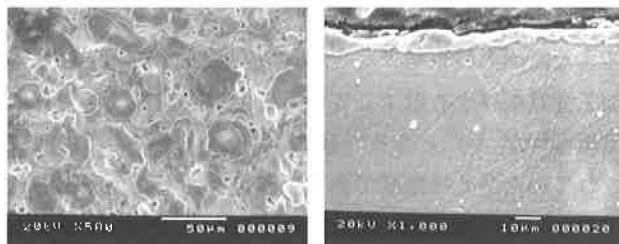
(b) Ti (Oil) E202 (+)



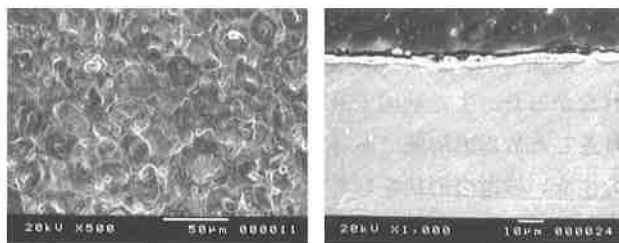
(c) Ti (Oil) E203 (+)



(d) Ti (Oil) E201 (-)



(e) Ti (Oil) E202 (-)

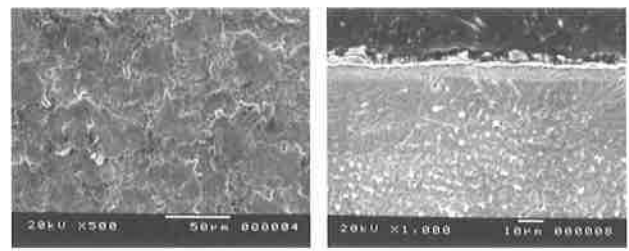


(f) Ti (Oil) E203 (-)

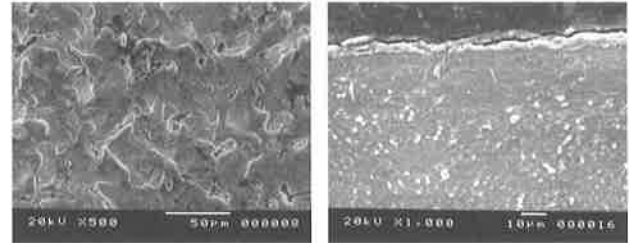
図3 SEM観察写真Ti (油加工液)

3-3 X線回折による分析

図7は放電加工前の純チタンのX線回折による分析結

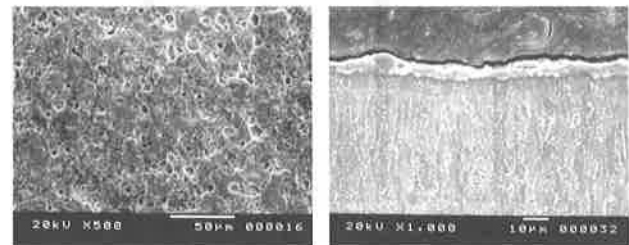


(a) Ti (Water) E202 (+)

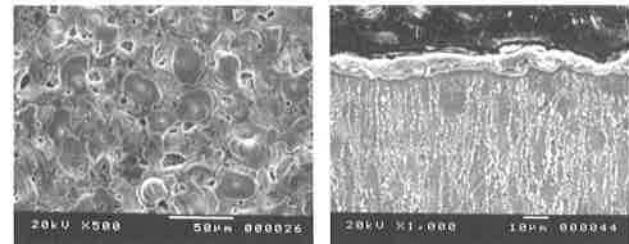


(b) Ti (Water) E202 (-)

図4 SEM観察写真Ti (水加工液)



(a) Ti-6Al-4V (Oil) E202 (+)



(b) Ti-6Al-4V (Oil) E202 (-)

図5 SEM観察写真Ti-6Al-4V (油加工液)

果を示す。加工面は純チタンの主成分であるチタン (α Ti, 六方晶) の回折線ピークが明確に観察される。この材料に対し、油中において放電加工を行った試験片の分析結果を図8に示す。

加工面にはチタンの回折線ピークは認められず、新たにTiCの回折線ピークが観察された。これにより、加工面は非常に硬度の高い層が形成されていると推察される。この傾向はTi-6Al-4V合金でも同様な傾向であった。

また同材料において水加工液中で放電加工をした場合の分析結果を図9に示す。水加工液の場合は、油加工液と異なり、TiO₂の回折線ピークが観察された。油加工液の場合は、水加工液の気化・爆発時に生成された分解カーボンとチタンが結合し加工面に付着したためにTiCの回折線ピークが観察されたものである³⁾。

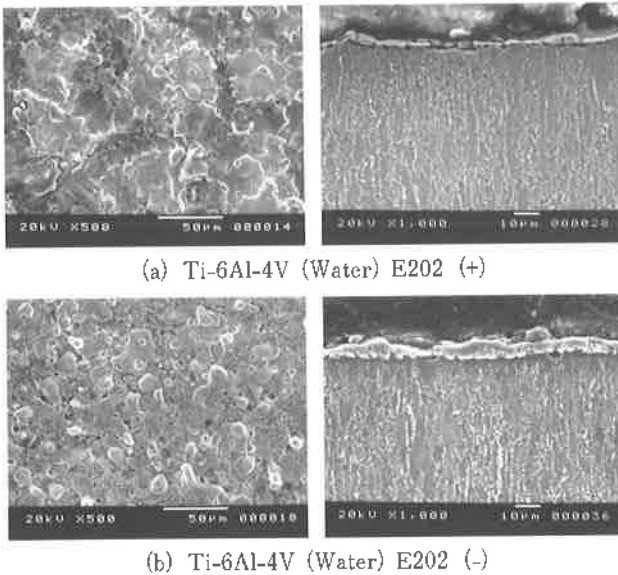


図6 SEM観察写真Ti-6Al-4V (水加工液)

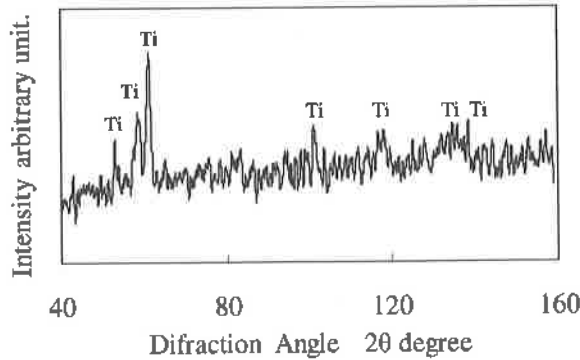


図7 X線回折による分析結果 (放電加工前)

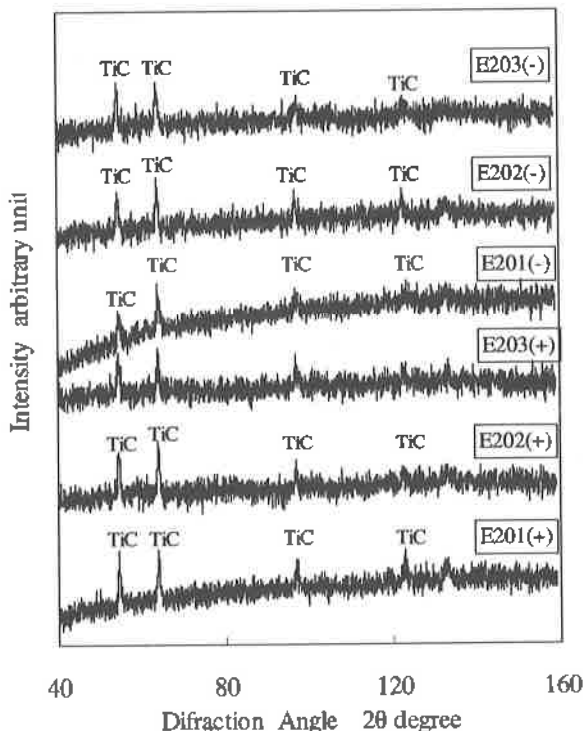


図8 放電加工面 (油加工液) のX線回折による分析結果

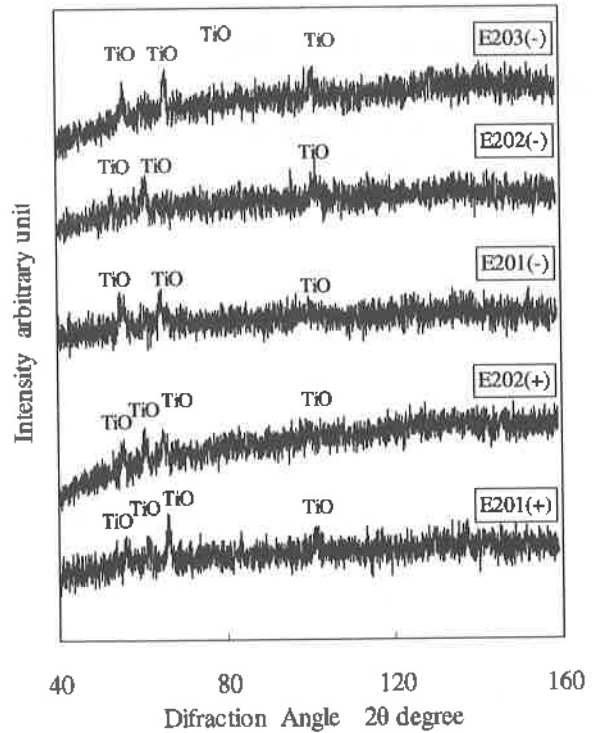


図9 放電加工面 (水加工液) のX線回折による分析結果

4. おわりに

本研究では、純チタン材料およびTi-6Al-4V合金材料に対し、放電加工を行い、安定した加工面形成を実現することを目的とし、放電加工特性に関する検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 電極極性がプラスの場合は、マイナスの場合に比べ、加工面に 10~20 μm 程度の空孔が多数存在した。マイナス極性では、明確なクラックは観察されなかった。
- (2) 油加工液と水加工液を比較した場合、水加工液の方が表面あらかさは大きくなる傾向を示した。またTi-6Al-4V合金は純チタンに比べ、表面あらかさは大きくなる傾向を示した。
- (3) 純チタンの加工に比べ、Ti-6Al-4V合金への加工の方が電極消耗量は小さい傾向となった。
- (4) 油加工液中でチタン系材料を放電加工した場合、加工表面にはTiCの回折線ピークが観察された。

参考文献

- 1) 奥野功：進化する金属系バイオマテリアル，バイオマテリアル—生体材料—，Vol.23, No.2, p.1449-1453 (2005)
- 2) 虜戦波，国枝正典：水中放電加工の除去速度に関する研究，電気加工学会誌，Vol.33, No.72, p.28-36 (1999)
- 3) 佐野正明，日原政彦，八代浩二，毛利尚武：放電加工面の改質に関する研究 (第一報) —粉末混入

の加工面性状に与える影響一, 電気加工学会誌,
Vol.36, No.82, p.25-32 (2002)

- 4) 塚原秀和, 南久, 増井清徳, 出水敬, 曾根匠: 放
電加工によるチタンの表面改質, 電気加工学会誌,
Vol.33, No.74, p.9-15 (1999)