

# 導電性セラミックス放電加工表面層における力学的特性

## Residual Stress on Wire-EDMed Surface of Electric Conductive Ceramics

中村 将士<sup>1)</sup>, 白木 雄大<sup>2)</sup>

指導教員 立野 昌義<sup>3)</sup>

1) 工学院大学 工学部機械工学科 材料力学研究室

2) 工学院大学大学院 工学研究科機械工学専攻 3) 工学院大学 工学部機械工学科

キーワード：表面残留応力，破壊靱性値，脆性材料，表面き裂，ワイヤカット放電加工

### 1. 緒言

ジルコニア  $ZrO_2$  にタングステンカーバイド WC を製造初期に添加することで導電性を付与させた導電性ジルコニア  $ZrO_2$ -WC が開発された<sup>1)</sup>。この材料は精密金型用材料としての適用が期待されるが，高融点材料を主体とするため放電加工効率の低下や表面き裂の発生による強度低下が懸念される。破壊力学的知見に基づけば，破壊強度から表面き裂深さを推定できると考えられるが，放電加工面に生成される変質層およびその近傍の応力分布や母材強度の特性に関しては十分に明らかにされてない。あわせて表面き裂長さの評価方法やその有効性や表面き裂長さに及ぼすワイヤ放電加工条件の影響に関しては明らかにされていないのが現状である。ワイヤカット放電加工で導入される表面き裂寸法評価には，破壊強度に基づく表面き裂予測法の他に表面き裂ならびに表層部表面改質層やそれに基づく表層部の残留応力の分布の詳細を明らかにする必要がある。

本研究では，導電性ジルコニアにおけるワイヤカット放電加工面表層部の強度特性を明らかにすることを目的とし，表層部の改質層ならびにワイヤカット放電加工面における残留応力評価を試みる。

### 2. 実験方法

日本タングステン株式会社製の導電性ジルコニア  $ZrO_2$ -WC を供試材料として，ワイヤカット放電加工面の表層部における改質層の様子を明確化するとともに，ワイヤカット放電加工面における残留応力評価を試みる。

#### 2.1 表層部における改質層

導電性ジルコニア  $ZrO_2$ -WC を対象にして，ワイヤカット放電加工面表層部断面を観察する。なお主なワイヤカット放電加工条件はパルス幅，休止時間および電圧は，表 1 に示す。試料断面切断にはダイヤモンドカッターを用いた。最終的に放電加工面に対する垂直切断面にラップ加工を施し，SEM 観察用試料とした<sup>1)</sup>。

#### 2.2 残留応力評価

熱変質層を含む表面近傍の残留応力を，X 線応力測定装置(株式会社リガク製 RINT2200/PC)を用いて計測した。(図 1)ワイヤカット放電加工面上のテーブル送り方向 x 方向に対応する表面残留応力を回折面法線角  $\psi$  一定法( $\sin^2\psi$  法)に基づき測定した。試料寸法は，照射野を確保でき，かつ試験片を X 線測定装置に取り付けできる面寸法  $17\text{mm}\times 9\text{mm}$  とした。なお板厚の影響を確認するため，板厚を  $0.1\text{mm}\leq t\leq 3\text{mm}$  に設定した。同一ワイヤカット放電加工条件にて導電性ジルコニア板から切り出した試料面  $17\text{mm}\times 9\text{mm}$  を水平に保持した状態で試料対角線の交点上における垂直軸に対して  $\psi$  の角度から X 線を照射した。回折面法線角毎の強度分布から決まる回折角  $2\theta$  と  $\sin^2\psi$  との関係から導かれる直線の傾きに応力定数  $K$  を乗じて残留応力を求めた。主な X 線回折条件は，特性 X 線 ; Cr-K $\alpha$ ，回折面 (211)，管電圧 : 40kV，管電流 : 50mA である。本実験において求められる残留応力はジルコニアより得られた応力定数  $K=-294\text{MPa/deg}$ <sup>1)</sup>を用いて測定したため，ジルコニアに起因した残留応力として扱った。

### 3. 実験結果

#### 3.1 表層部における改質層

放電加工面に対する走査型電子顕微鏡の画像を図 2 に示す。この画像より，放電加工表面層断面には表面から表面には球状の熔融付着材料がセラミックス母材上表層部に形成されていた<sup>1)</sup>。

EDX 分析の結果より，表層を構成する元素を調べたところ，層内の球状および付着物質は Cu と Zn で構成されていたことが確認できた<sup>1)</sup>。このことから，母材上に形成された表層部を覆う熔融付着物は，ワイヤが熔融および再凝固したものと推察できる。さらに既報<sup>1)</sup>では材質的に変化する層および母相と異なる層を含めた層を加工変質層と定義すれば，最表面から

10~15 $\mu\text{m}$ 程度はワイヤが溶融および再凝固したもので構成される加工変質層となることが確認できた。

溶融固着層直下における母材と見られる層は、一様ではないことから、次のように推察できる。母材である  $\text{ZrO}_2\text{-WC}$  の加工面が、放電加工条件におけるパルス間隔における放電による衝撃および加熱および休止時間による冷却の影響を受けながら破壊や溶融したものと推測される。高融点材料で構成されたセラミックスでも母材や焼結助剤で構成される変質層が生成される報告もあることから、母材と溶融層界面近傍にも変質層が形成されたと思われる。

### 3.2 表層部残留応力

表層部残留応力に及ぼす試験片板厚の影響を図3に示す。この結果から、板厚によらず、表層部の残留応力は引張り方向の残留応力が支配的であることが確認できた。ただし、測定された残留応力値の値には、板厚の依存性があることが確認できた。

表層部の残留応力測定結果の妥当性を評価するため、破壊力学的に推定できる表面き裂長さや破壊靱性値との関連から導かれる残留応力値を既報<sup>(1)</sup>の論文の機械的な研削除去量から予測できる破壊靱性値

および IF 法で評価した破壊靱性値に基づいて求め、本測定値の妥当性を検証することを試みた。詳細については学会当日にて発表する予定である。

## 4. 結論

本研究では、導電性ジルコニアにおけるワイヤカット放電加工面表層部の強度特性を明らかにする。ワイヤカット放電加工で導入される表面き裂寸法評価には、破壊強度に基づく表面き裂予測法を用いることが有効であるとされている。しかしながら、上記方法では、表面き裂ならびに表層部表面改質層やそれに基づく表層部の残留応力の分布の詳細を明らかにする必要がある。そこで、表層部の改質層ならびにワイヤカット放電加工面における残留応力評価を試みる。

### 参考文献

- (1) 大勝 啓資, 江端 将彰, 能野 晋太郎, 堤 幸太, 三浦 尚大, 味富 晋三, 立野 昌義, 導電性ジルコニアにおけるワイヤカット放電加工面き裂寸法評価, 材料, 68 巻 9 号 686-692 (2019)

表1 ワイヤカット放電加工条件

ワイヤ	O.D.0.25 Cu-Zn
パルス幅 $\tau_{\text{on}}[\mu\text{s}]$	0.8
休止時間 $\tau_{\text{off}}[\mu\text{s}]$	10
無負荷電圧 $V_0[\text{V}]$	80
Duty Factor[%]	7.4



図1 X線回折装置(型式 RINT2000)

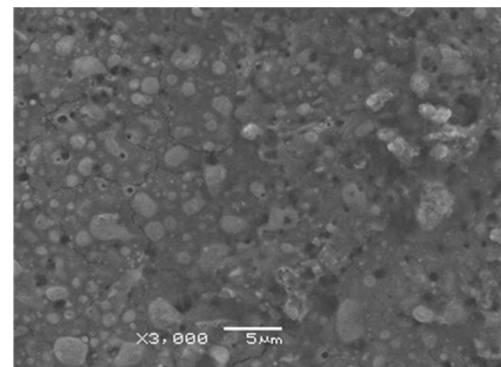


図2 放電加工表面画像(加工条件:パルス幅 0.8 $\mu\text{s}$ , 休止時間 10 $\mu\text{s}$ , DF=7.4 )

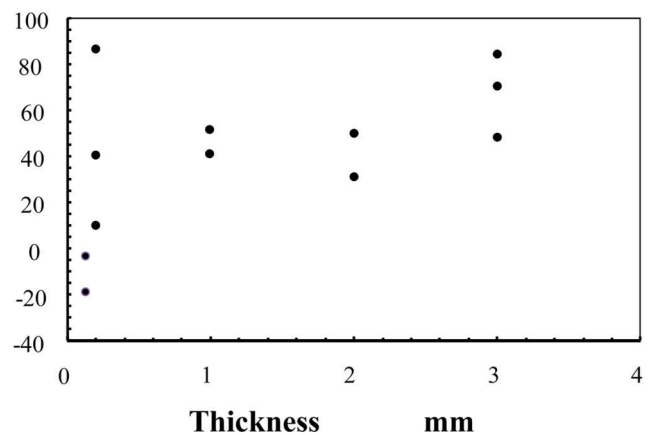


図3 表面残留応力測定値に及ぼす試験片厚さの影響