

A. Okada

放電加工を利用した新しい表面改質法の開発

岡田 晃*

1. はじめに

近年、切削工具、加工機械および CAD/CAM システムの性能向上により高速切削による金型加工が普及してきた^{1) - 3)}が、リブ形状などの高アスペクト比の形状や複雑微細形状は今なお放電加工が重要な加工手段として多用されている。そして一般的には金型の耐摩耗性向上のために硬質被膜のコーティングが CVD 法などによって行われる。しかしながら、母材との密着性やコスト、さらには高温処理のため寸法精度の厳しい部品においては歪みの点から適用困難など問題がある。

ところで近年、放電加工において適切な条件下では加工液中の成分や電極成分が工作物加工面に付着拡散する現象が明らかにされている^{4) 5)}。また加工液中に導電性粒子を混入することによって面粗さを飛躍的に減少させることも可能である⁶⁾。

そこで、放電加工を用いて加工表面に硬質被膜を形成する新たな表面改質法の可能性について検討を行った。すなわち、電極材料および加工液に混入する導電性粒子の組み合わせによって耐摩耗性硬質膜を形成しようとするものであり、本手法が確立すれば形状加工後に同一加工機上で連続して表面処理プロセスが可能となり、効率的かつ低コストの金型製造プロセス実現が期待できる。本研究では、まず、チタン電極と炭素粉末混入加工液を用いて、熱間金型鋼表面に TiC 被膜の形成を試みた。そして電気加工条件と被膜層性状の相関を明らかにするとともに、耐摩耗性についても評価した。さらにシェルモールド金型材として使用されるアルミニウム青銅に耐摩耗性向上を目的としてニッケル表面層形成の可能性についても検討を行った。

2. 熱間金型への TiC 被膜形成

2.1 TiC 含有層形成実験方法

放電加工において電極材質や加工液に混入した導電性粒子の成分が加工面に付着、拡散することが明らかにされている。そこで、両者が同時に加工面へ堆積すれば、両者の合金層が形成できる可能性があると考えた。そこで電極にチタン、加工液に炭素粉末を混入することによって、図1

に示すようなメカニズムで加工面に TiC 硬質被膜を形成することを試みた。また粉末混入加工液を用いることにより、表面粗さの向上も期待できる。

実験はトランジスタスイッチング式の NC 型彫り放電加工機により行われた。図2にその概略を示す。電極は直径 15mm の純チタンの丸棒とした。本手法においては、電極成分も加工表面に供給することが必要であり、適度に電極が消耗する加工条件としている。

2.2 TiC 含有層形成メカニズム

まず、いくつかの加工条件で加工を行い TiC が加工表面に形成できるか否かについて確認した。

図3は本手法によって得られた加工断面写真および EPMA による TiK α 像、CK α 像、FeK α 像を示す。加工表面には白色の再凝固層が形成されており、その部分には

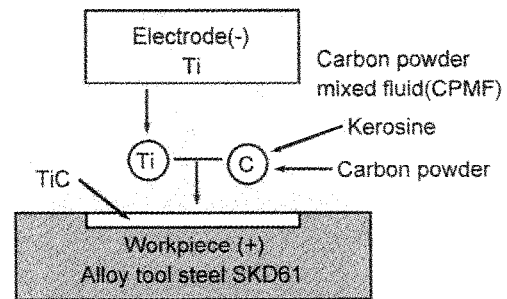


図1 TiC 被膜生成メカニズム

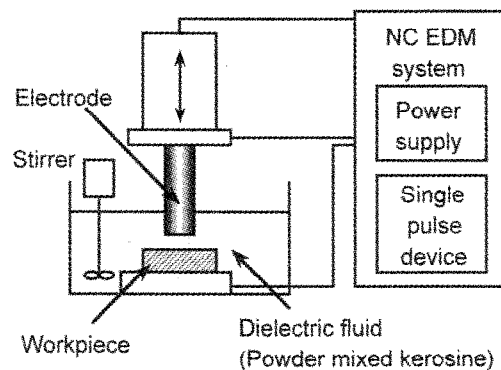


図2 実験装置模式図

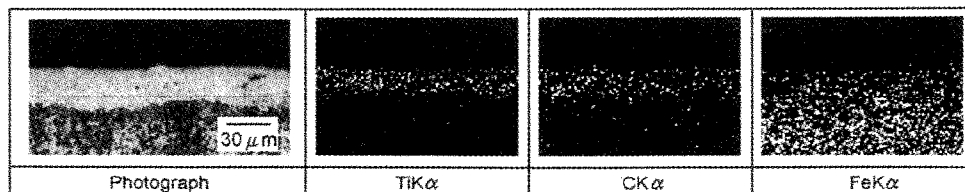
Ti(-)/SKD61, ie=3A, te=200 μ s, τ =10%, Cc=15g/l, T=30min

図3 EPMA による再凝固層の成分分析結果

チタンおよび炭素が多く存在していること、鉄は母材部分よりやや少ないことが確認できる。この結果から再凝固層部分での TiC の存在が期待できる。そこで X 線回折を用いて表面の組成分析を行った。その結果を図4に示す。図より母材の成分以外に新たに TiC が生成されていることが確認できる。従って放電加工によって TiC を含有する被膜が形成できることが明らかとなった。

2. 3 加工条件が被膜性状に及ぼす影響

次に炭素粉末混入濃度、パルス幅の条件が面粗さおよび被膜厚さに及ぼす影響について調べた。図5は炭素粉末混入濃度を変化させた場合の加工面粗さの変化を示す。いずれのパルス幅の条件においても炭素粉末混入濃度の増加とともに表面粗さは減少することがわかる。また図6は加工液の炭素粉末濃度を変化させた場合の被膜の平均厚さの変化を示している。被膜厚さは断面を観察することによって計測した。図よりパルス幅が長いほうが被膜厚さは大きく、炭素粉末混入濃度にはほとんど依存しないことがわかる。これらの結果から、炭素粉末濃度およびパルス幅によってある程度被膜厚さならびに表面粗さを制御できることが明らかとなった。

図7は被膜の断面写真である。加工表面に白く見える部分が被膜であるが、前述のように、いずれのパルス幅においても粉末混入濃度による平均厚さの変化はほとんどない。しかしながら、粉末混入濃度の小さい条件では場所によってその厚さにはかなりばらつきがあり表面の凹凸は激しい。これに対して粉末混入濃度の大きい条件ではその厚さは均一であり、同時に表面の凹凸も小さいことがわかる。以上のことから最適な条件下では被膜厚さが大きく面粗さの小さい被膜を得られることが明らかとなった。

2. 4 被膜の硬度および耐摩耗性

図8はパルス幅および炭素粉末混入濃度を変化させた場合の加工表面のビッカース硬度変化を示す。母材の SKD61 の硬度は約 400 であるが、放電加工を行った表面のほうが硬度が高いことがわかる。またその値はパルス幅が長いほど、粉末混入濃度が大きいほど大きくなっており、2000

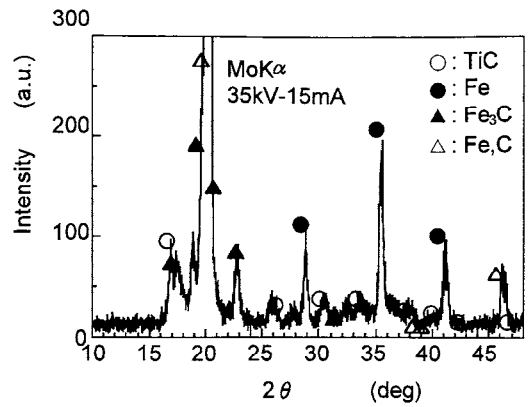


図4 X線回折による加工面の組成分析結果

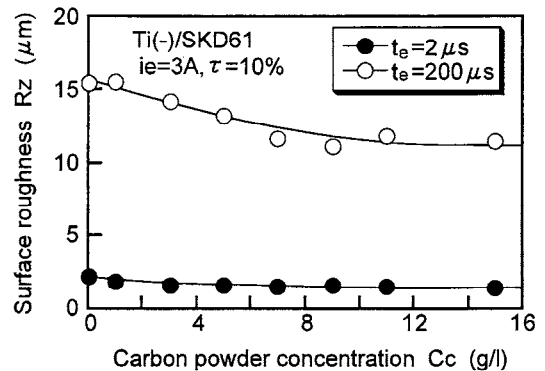


図5 加工面粗さと炭素粉末混入濃度の関係

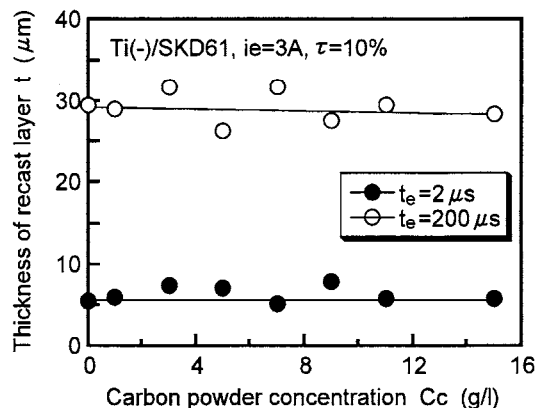
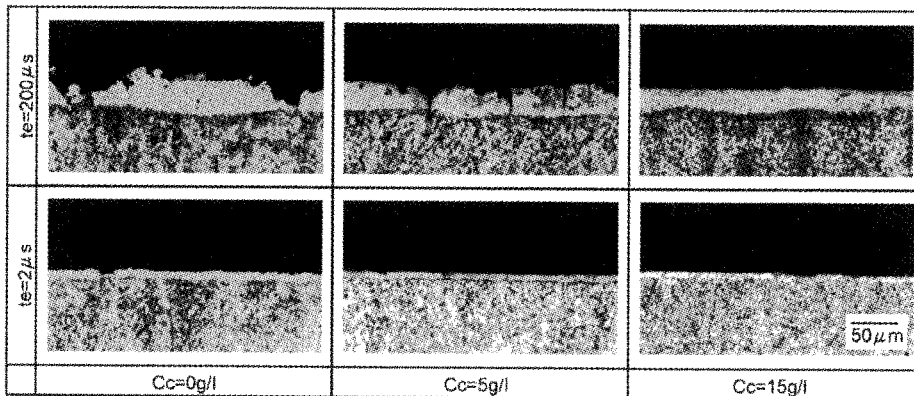


図6 被膜厚さと炭素粉末混入濃度の関係



Ti(-)/SKD61, ie=3A, τ=10%, T=30min

図7 被膜断面写真

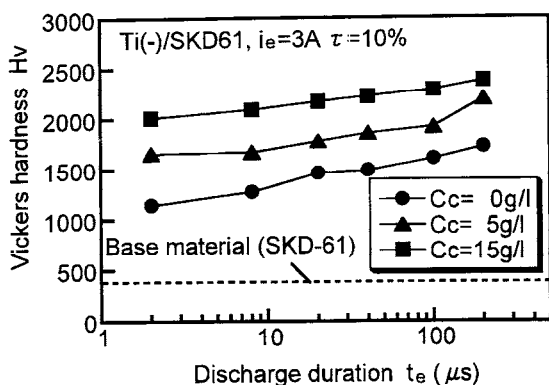


図8 表面硬度の変化

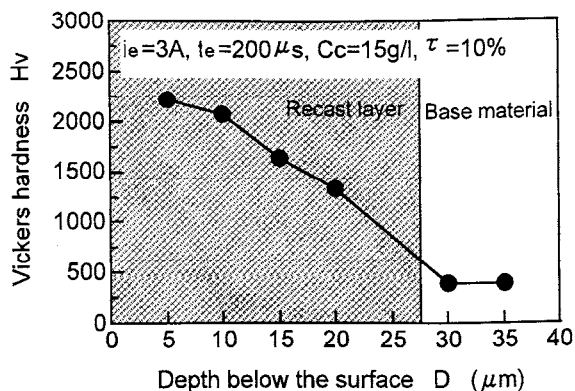


図9 加工断面の硬度分布

以上の高い硬度を示す条件もある。TiC 本来の硬度 3200 と比較すると本方法における表面硬度は低いが、母材と比較するとかなり高く、表面硬化の効果は十分得られたものといえる。また図9はパルス幅 200 μ s、粉末混入濃度 15g/l の条件での加工断面での硬度分布を示す。図中ハッチング部分は被膜部分を表しているが、被膜部分でも表面のほうが硬度が高く、母材に近いほど硬度が低いことがわかる。このことはTiCの含有量が加工表面ほど多いことを示している。またこのような分布は膜の密着性の点でも優れているものと予測できる。

最後に得られた加工面の耐摩耗性について評価した。試験機は図10に示す往復摺動型摩擦摩耗試験機であり、主な試験条件を表1に示す。図11は、試験後の摩耗痕の最大深さを示しているが、放電加工面の摩耗はかなり小さいことがわかる。そして炭素粉末混入濃度が大きいほど摩耗深さは小さく、前述の硬度変化とよく対応していることが確認できる。

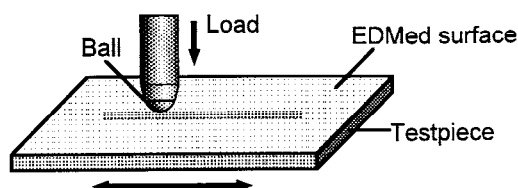


図10 往復摺動型摩擦摩耗試験

表1 試験条件

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| Load | 100 gf |
| Ball material | ϕ 10 bearing steel SUJ2 (Hv800) |
| Stroke | 4 mm |
| Sliding speed | 32 mm/s |
| Time | 60 min |

3. シェルモールド金型材へのニッケル層形成

3.1 ニッケル層形成実験方法

つぎにシェルモールド金型材として使用されるアルミニウム青銅に耐摩耗性向上を目的としてニッケル表面層形成の可能性について検討を行った。工作物にはアルミニウム青銅3種 AIBC3 を用いた。アルミニウム青銅は従来より船舶用部品材料として広く用いられているが、近年はシェルモールド用金型やプラスチック成形用金型に従来の鋼材に替わり使用されはじめている。そしてシェル用金型においては特に耐食性、耐摩耗性の向上を目的としてニッケルメッキが広く行われている。しかし、母材との密着性の点で問題がある。本方法では、放電加工液にニッケル粉末を混入したニッケル粉末混入加工液 (Nickel Powder Mixed Fluid: 以下 NPMF と示す) を用い、放電加工によるニッケル層の形成を試みた。ニッケル粉末の粒径は、攪拌の容易さを考慮し、約 5 μ m のものを使用した。また加工中は粉末の沈殿を防ぐために攪拌機によって加工液を攪拌させている。電極には直径 15mm の銅棒を用いた。表2

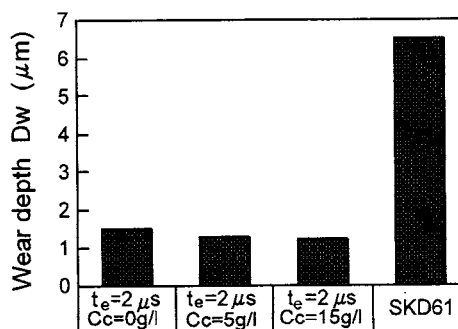


図11 摩耗痕深さ

表2 加工条件

| | |
|-------------------|-----------------|
| Polarity | Electrode : (-) |
| Discharge current | $i_e = 3A$ |
| Pulse duration | $t_e = 2 \mu s$ |
| Duty factor | $\tau = 10\%$ |
| Machining Fluid | NPMF |

に主な加工条件を示す。これまでの基礎実験によって表面粗さの良好な放電状態の安定した条件としている。そしてニッケル粉末混入 C_N を変化させ、被膜性状におよぼす影

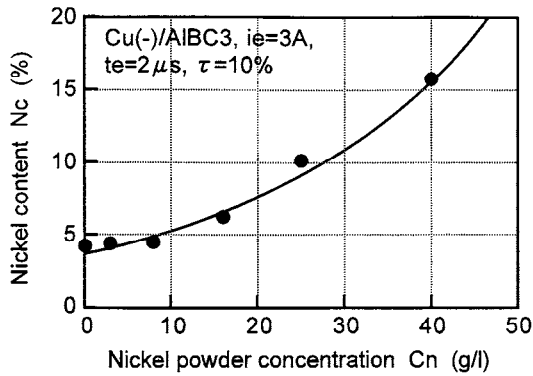


図 12 加工面ニッケル含有量とニッケル粉末混入濃度の関係

響について検討した。

3. 2 被膜性状およびニッケル粉末混入濃度の影響

図 12 はニッケル粉末混入濃度を変化させた場合の表面のニッケル含有率変化を示す。ニッケル含有量の測定はグロー放電発光分光分析にて行った。図よりニッケル粉末混入濃度が高いほど加工表面にニッケル含有率は増加している。因みにニッケル粉末濃度が 40g/l 以上になるとニッケル粉末の攪拌が良好に行われず、安定した加工が不可能であったため、以下の実験においては 40g/l のニッケル粉末混入濃度で実験を行っている。この結果から本手法によって放電加工面にニッケル含有層を形成できることが明らかである。

図 13 は灯油系加工液および NPMF を用いて加工を行った場合の加工表面写真および断面曲線を示す。灯油系加工液の場合と比較すると、NPMF の場合の加工表面には、形状の整ったきれいな円形の放電痕が集積している。このとき粗さ曲線からわかるように、凹凸の少ない滑らかな面を形成していることが確認できる。最大粗さが約半分に粗さを低減することが可能であった。

さらに、断面の観察を行った。図 14 にそれぞれの断面写真を示す。なお、再凝固層の状態を明確にするために断面には腐食を施している。灯油系加工液 (0g/l) の場合では再凝固層は表面に数 μm しか存在せず、その下に約 $10\mu\text{m}$ の厚さの熱影響層が存在している。そしてニッケル粉末混入濃度を増加させるにしたがって再凝固層が厚みを増し、かつ均一になっていくことがわかる。この部分はほとんど腐食が進んでいないことから、ニッケルの含有量が増加して耐食性が向上していることも確認できる。

3. 3 被膜の硬度および耐摩耗性

図 15 は加工表面のビッカース硬度である。図より明らかに NPMF の場合の硬度は母材の約 2 倍となっていることがわかる。再凝固層のニッケル含有量が増加することと、放電加工による最表面の溶融、急冷却によって構造自体も微細化しているものと推測できる。

さらに、得られた加工面の耐摩耗性についても検討した。シェルモールド製作においては、金型内にシェル砂を高速

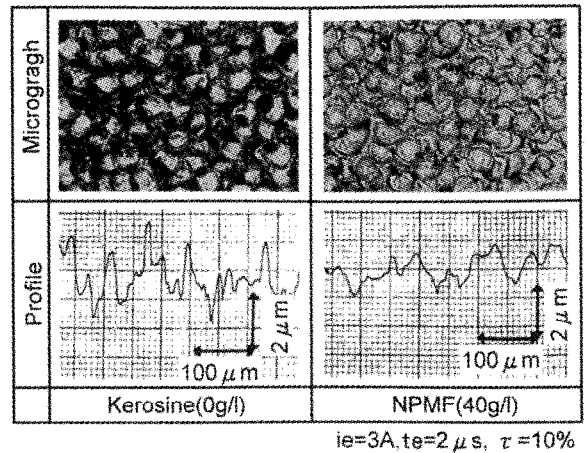


図 13 加工面および断面曲線

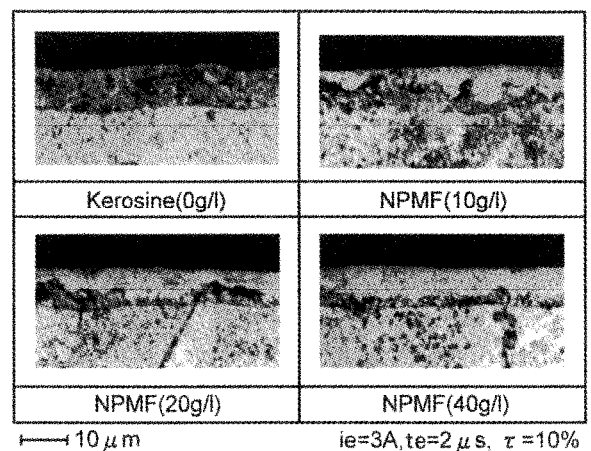


図 14 表面層断面写真

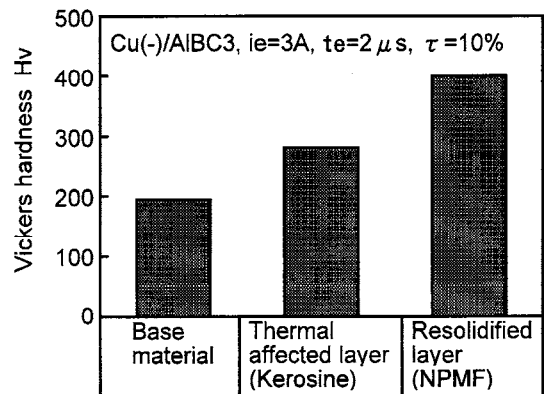


図 15 加工表面のビッカース硬度

に充填させるため、その際の砂による摩耗が型形状崩れの大きな要因となる。そこで、図 16 に示すような装置にて砂摩耗試験を行った。2つの試料を 5mm の間隔を設けて対向させ、その間にシェル砂を $1.96 \times 10^5 \text{Pa}$ の圧力で 60 秒間吹き付ける。試験面はシェル砂噴出方向に対して 30° の傾斜面となっている。この試験条件は実際のシェル砂充填数万サイクルに相当する。

図 17 に試験後の摩耗深さを示す。図より明らかにな

に、母材と比較すると放電加工面の摩耗は小さくなっていることがわかる。そして NPMF の場合はさらに摩耗が小さくなっており、耐摩耗性を向上でき金型の高寿命化に有効であることがわかる。

4. まとめ

本研究では、主にシェルモールド金型として使用されるアルミニウム青銅にニッケル表面層、および熱間金型鋼にTiC 被膜の形成を試み、両者とも目的の被膜層を得ることができた。そして粉末混入濃度やパルス幅などの加工条件と被膜層性状の相関を明らかにし、被膜形成のための最適加工条件を明らかにした。さらに、耐摩耗性についても評価し、新たな表面処理プロセスとしての可能性を示した。

謝 辞

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団平成12年度研究開発助成によることを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 若岡俊介:21世紀の金型加工技術の幕開け, 型技術, 16, 2 (2001) 32-33.
- 2) 西山為裕:高速・高精度加工のさらなる追求, 型技術, 16, 2 (2001) 38-39.
- 3) 牟田芳喜:金型の高速・高精度加工と CAE システム, 精密工学会誌, 67, 3 (2001) 394-398.
- 4) 斎藤長男ら:粉末混入加工液による放電仕上げ加工, 電気加工学会誌, 25, 49 (1991) 58.
- 5) 宮谷保太郎ら:シリコン粉末添加放電加工による加工面の機能性向上, 電気加工技術, 19, 62 (1995) 21.
- 6) 宇野義幸ら:粉末混入放電加工における表面生成機構の研究, 電気加工学会誌, 29, 62 (1995) 9.

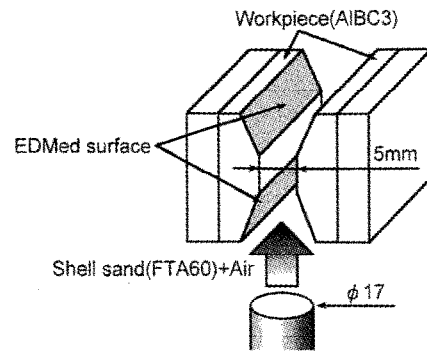


図 16 砂摩耗試験

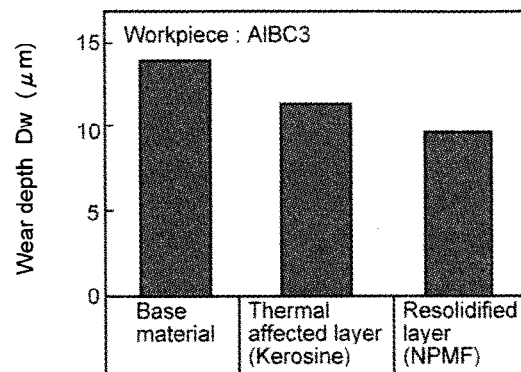


図 17 砂摩耗試験結果