

放電被覆処理による押し出しダイスの表面改質と 性能評価に関する基礎研究

富山大学 工学部 機械知能システム工学科
助教授 高辻 則夫
(平成11年度研究開発助成 AF-1999022)

キーワード：熱間押し出し加工，金型表面改質，放電被覆処理

1. 研究の目的と背景

近年，アルミニウム合金押し出し形材は，より複雑で精密な製品が要求される傾向にある．特に，自動車，船舶，航空・宇宙機器などに用いられる高強度アルミニウム合金は難加工性合金であり，押し出し加工中に工具面と被加工材との境界面で合金中の硬質化合物や異質成分が工具面との摩擦によってかじり場合や，反応生成物を形成して工具面強度を脆化させて摩耗する場合など，工具寿命の低下は極めて重要な問題である．

通常，アルミニウム合金の熱間押し出しには，金型の寿命延長を図る目的で，SKD61で代表される熱間加工用工具鋼に窒化，浸炭，PVD，CVD処理などの表面硬化処理を施した押し出し金型が使用されている．しかし，近年では寸法公差に関して要求が厳しく，ダイスペアリング部の更なる摩耗軽減対策が重要な課題の一つとなっており，新たな表面硬化処理方法が検討されている．

その一例として，放電加工を応用して，絶縁性の加工液中であらかじめ所定の形状に加工された電極と加工物の間に数十 μm 以下の狭いギャップ長で対向させ，短時間のアーク放電を反復して発生させることにより，工作物に硬質皮膜を形成させる放電表面硬化処理法が開発されている．しかしながら，この方法を適用した事例は，切削工具，のこ歯，タービブレード，車輪のリム，その他機械部品などが中心で，押し出し加工時に部分的に激しい摩耗を受け，局部的に温度上昇が生じる熱間押し出し金型に適用した例は皆無である．また，この方法では，従来の鋼の焼入れやその他の表面硬化処理法と同様，より大きな設備を必要とし，金型全面の処理となるため，コスト高の原因となると考えられる．

そこで，本研究では，安価な装置で操作性がよく，大気中での放電被覆処理が可能で，金型の一部や狭い特殊な範囲の被覆・硬化に適したポータブルタイプの放電被覆処理装置を用いて押し出しダイスペアリング面の表面改質を試み，その性能評価を行った．

さらに，被覆処理層の特性評価と併せて，高強度 5056 アルミニウム合金における押し出し加工限界の向上と工具寿命の延長を図ることを目的として，放電被覆層の損耗の状態と形材表面性状との相関等を調査し，押し出し金型への適用の可能性を検討した．

2. 放電被覆による金型表面改質とその性能評価

2.1 放電被覆処理法（ESD処理法）の原理

押し出し金型の表面硬化法として適用する放電被覆処理法（ESD 処理法）は，放電加工法の一種であるが，液体中の加工ではなく火花放電を大気中で発生させ，その時に生ずる熱的影響と電極材料の被覆によって表面を硬化，被覆する方法である．

ESD 処理法の放電被覆・硬化機構の1サイクルの模式図と基本的電気回路図を図1に示す．放電被覆・硬化の機構の1サイクルは，充電，放電，短絡，被覆・硬化の4段階に分けることができる．充電段階においては，コンデンサ容量及び抵抗によって，定まった電圧まで充電される．次の放電段階においては，火花放電が電極と試料の間で発生し，微小な部分は瞬時に高温（9,000～10,000 $^{\circ}\text{C}$ ）となり，一部は蒸発し気化するが，その周囲は溶融する．さらに，外周部は焼入れ温度以上に加熱されるが，放電時間が短いため急冷され，熱変質層が生じる．次に，短絡段階においては，両極表面の一部が溶融した状態で接触し，両極間で物質移動と拡散が生じる．

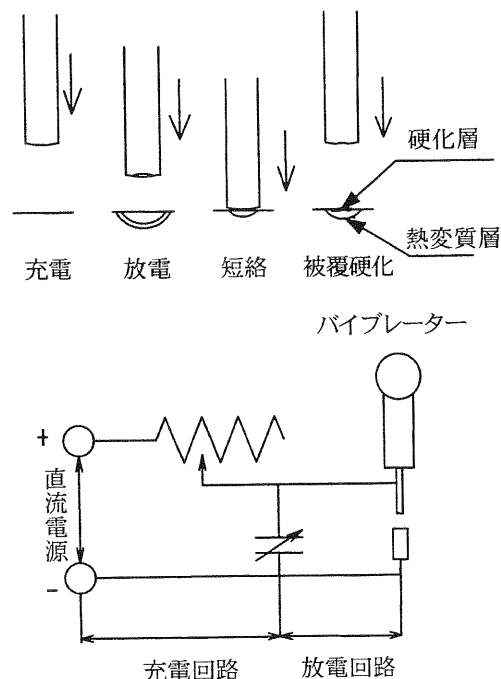


図1 放電被覆法（ESD法）によるダイ表面改質の原理

続いて、放電・被覆段階においては、パイプレーターの振動によって被覆・硬化が起こり、これらの繰り返して ESD 処理が進行する。

放電被覆処理用装置の電気回路は、充電回路と放電回路に分けられ、充電回路の変抵抗で付加電圧を、放電回路において振動ストローク数を調整できる仕組みになっている。また、被覆される材料との親和性を考慮して任意の金属材料を電極として使用できると言う長所がある反面、硬化・被覆速度が遅く広い面積の均一の硬化・被覆には適さない、硬化被覆層が薄いため激しい摩耗を受ける部分には不向き、放電現象を利用しているため加工面の表面粗さは粗いという欠点もある。

2.2 放電被覆層の特性評価

表 1 に示す超硬合金 K 種、M 種、P 種、サーメット系の 4 種類の放電被覆用電極材料を用い、Hv470 に焼入れ処理した熱間加工用工具鋼 SKD61 に ESD 処理を施し、ピッカース硬度測定、表面粗さ測定、光学顕微鏡による被覆層観察を行った。

表 1 電極材料の種類と主成分

| 電極材料 | 含有成分 | |
|--------|----------------------------|------------------|
| サーメット系 | WC, TiC, Mo ₂ C | |
| 超硬合金 | JIS:K 種相当 | WC, TaC, Co |
| | JIS:M 種相当 | WC, TiC, TaC, Co |
| | JIS:P 種相当 | WC, TiC, Co |

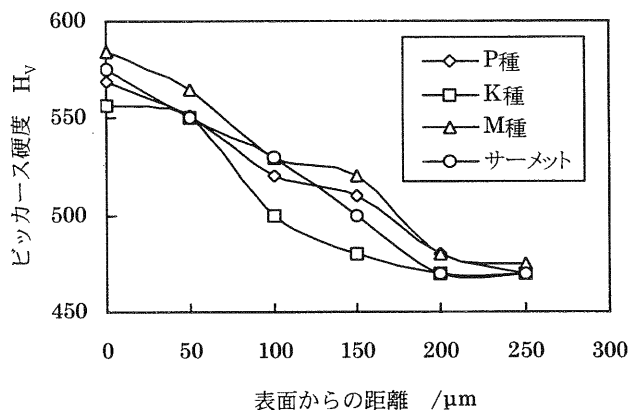


図 2 各電極材料による ESD 処理後の硬度分布

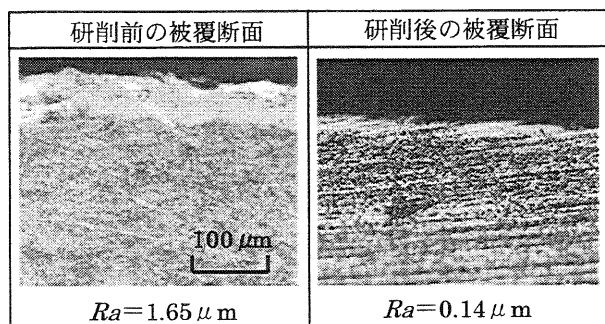


図 3 研削前後の被覆断面写真 (M 種)

図 2 は、表 1 の放電被覆用電極材料を用いて ESD 処理を施した被覆断面の硬度分布を示す。いずれの被覆材料を用いた ESD 処理においても Hv560~590 程度の硬度を有し、表面から 150~200 μm の深さまで緩やかな硬度分布を示している。

図 3 は、超硬合金 M 種を ESD 処理した後の被覆断面と、被覆層を研削によって除去した後の断面の光学顕微鏡写真を示す。いずれの電極材料を使用しても ESD 処理した後の被覆断面は放電現象を利用しているため、被覆層は凹凸の激しいの表面となり、表面粗さは $Ra=1.33 \sim 1.65 \mu m$ で、被覆層の厚さは約 30~50 μm 程度である。また、研削後の表面粗さは $Ra=0.13 \sim 0.19 \mu m$ と滑らかで、約 10 μm 程度の被覆層が存在している。

3. ESD 処理法の熱間押し出し成型への適用

3.1 実験方法

実験用素材は、表 2 に示すような成分組成の難加工材である高力アルミニウム 5056 合金で、φ60×100mm に旋削仕上げした円柱ビレットを用いた。

表 2 5056 合金の化学組成

| 5056 合金の化学組成 /mass% | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|
| Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Al |
| 0.3 | 0.4 | 0.1 | 0.05 | 5.1 | 0.25 | 0.1 | bal. |

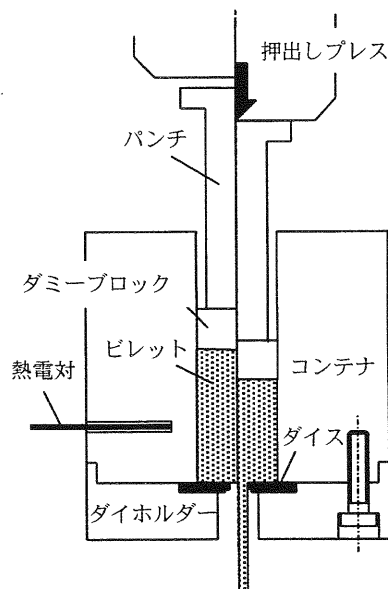


図 4 実験用押し出し工具の概略図

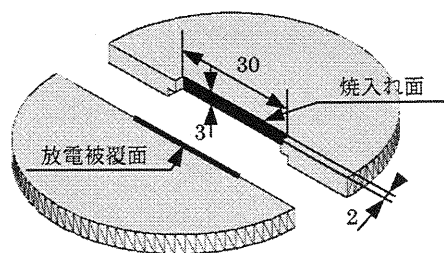


図 5 実験用分割ダイス

図4は熱間加工用工具鋼 SKD61 で製作した実験用押し出し工具の概略図を示す。押し出し実験は、図4の押し出し工具を電気抵抗炉内で520℃まで加熱した後、400ton縦型油圧プレスに設置し、押し出し温度480℃、ラム速度3.5mm/s、無潤滑状態で行った。押し出し形材は、幅30×厚さ2mmの平板で、押し出し比は47.1である。

図5は本実験に使用した分割ダイスを示す。分割ダイスのベアリング面は、上述の表1に示す4種類の被覆電極材料を用いてESD処理を施したままのものと、被覆層を研削によって除去したものを使用し、ベアリング面の状態が押し出し形材表面性状に及ぼす影響等について調べた。また、比較のために、焼入れ処理のまま、窒化処理を施したダイスについても実験を行った。

ESD処理ダイスの効果については、押し出し回数5回(形材総長さ:18.75m)を目途に、押し出し形材にテアリングが発生するかどうかで評価した。また、押し出し前後におけるベアリング面については、表面粗さ、SEMによる表面観察、EPMAによる被覆元素の変化等を調査し、放電被覆層の損耗の状態と形材表面性状との相関について考察を加えた。

3.2 実験結果及び考察

図6に押し出し形材へのテアリング発生に及ぼすベアリング面性状の影響について示す。通常の熱間押し出しに使用されているベアリング面に窒化処理を施したダイスと焼入れ処理のみのダイスでは、押し出し2回目まではテアリングの発生は見られなかった。しかし、焼入れダイスの3回目には、押し出しの初期から微小なテアリングが確認でき、押し出しが進むにつれて激しいテアリングの発生が起こった。また、窒化処理ダイスでは、焼入れダイスよりもテアリングの発生が激しく、3回目の押し出し初期から形材に大きなテアリングが連続的に発生し、正常な押し出しを行うことは困難であった。

ESD処理ダイスでは、被覆材料によってテアリング発生状態に大きな差が見られ、ESD処理を施したままの超硬合金P種とM種では、5回押し出しでもテアリングは発生しなかったが、それ以外の被覆材料では、押し出しの早い段階でテアリングの発生が起こり、ESD処理を施した効果はほとんど見られなかった。また、被覆面を研削したダイスでは、P種以外は早い段階でテアリングの発生が認められた。

図7と図8に実験前後のダイスベアリング面と、押し出し形材の表面粗さの変化を示す。図7に示すように、実験前後のベアリング面粗さを比較すると、いずれのダイスにおいても明らかにベアリング面が荒れてきている。また、図8の押し出し形材の表面粗さを見ると、ESD処理のままのダイスでは、いずれのダイスにおいてもベアリング面の表面粗さに対応した $Ra=1.10\sim 1.74\mu m$ 程度の形材表面粗さとなっており、押し出し回数が増えるにつれて表面粗さも大きくなっていることがわかる。ESD処理後に研削をかけたダイスを使用した場合には、1回

目からテアリングが発生したサーメットを除き、形材表面粗さは $Ra=0.50\sim 0.75\mu m$ 程度で、テアリング発生と同時に表面粗さが急激に増加する傾向にある。

つぎに、ESD処理の効果が認められなかったサーメットと、押し出し加工限界の向上に大きく寄与した超硬合金

| ベアリング面性状 | 処理状態 | 表面粗さ | 押し出し形材の表面状態 | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|------|-------------|---|---|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|---|
| | | | 1回目 | | | 2回目 | | | 3回目 | | | 4回目 | | | 5回目 | | |
| | | | 前 | 中 | 後 | 前 | 中 | 後 | 前 | 中 | 後 | 前 | 中 | 後 | 前 | 中 | 後 |
| 焼入れ処理 | 0.12 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | × | - | - | - | - | - | - |
| 窒化処理 | 0.16 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | - | - | - | - | - | - |
| K種 | 1.34 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | - | - | - |
| | 0.19 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| M種 | 1.65 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 0.14 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P種 | 1.65 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 0.17 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ |
| サーメット | 1.63 μm | | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0.13 μm | | ○ | △ | △ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

○:テアリングなし △:テアリング小 ×:テアリング大

図6 押し出し形材へのテアリング発生状況

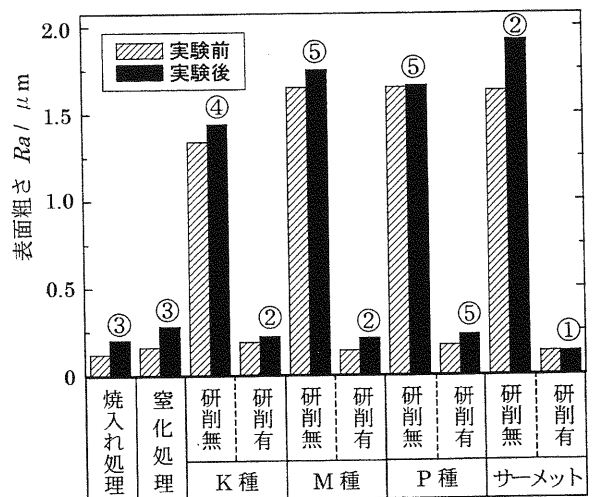


図7 ベアリング面の表面粗さ (○数字は押し出し回数)

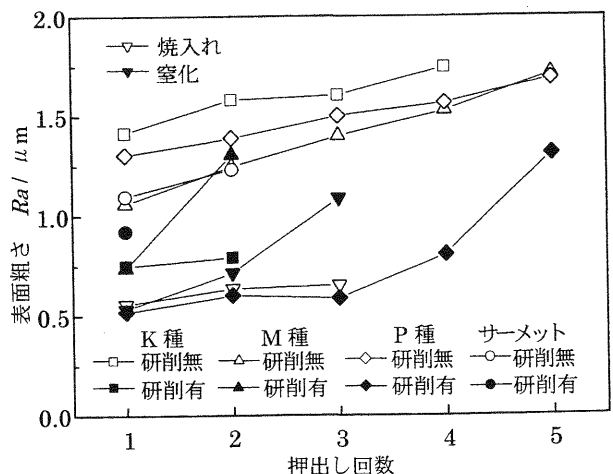


図8 押し出し形材表面粗さの変化

P種について、押出し実験前後のダイスベアリング面のSEM観察した結果を図9に示す。

押出しの早い段階でテアリングが発生したサーメット被覆ダイスでは、実験後に被覆層の一部が剥離し、母材の研削痕が現れていたが、P種被覆ダイスでは、そのような研削痕を観察することはできなかった。

さらに、詳細に検討するため、押出し実験前後のダイスベアリング面のEPMA分析を行い、被覆材料の含有元素の変化を調べた結果を図10に示す。

研削を施していない押出し実験前のダイスでは、サーメット、P種のどちらも成分元素のX線強度にうねりとバラツキがあり、サーメットではTiとMo、P種ではTiとWのX線強度が高く、被覆に凹凸があることがわかる。これに対して、研削後のダイスでは、それぞれの成分元素がほぼ均一に分布していることが観察される。

押出し実験後のダイスでは、押出しの早い段階でテアリングが発生したサーメット被覆ダイスにおいて、研削の有無にかかわらず、X線強度は小さくなり、所々に成分元素のピークが観察される。この分析結果は、被覆の一部を残して被覆層の摩耗と剥離が起こっていることを示唆しており、先の図9で観察された母材の研削痕の出現を裏づける結果となっている。これに対して、P種被覆ダイスでは、押出し実験前に比べて、X線強度は小さくなっているが、サーメットのようなピークは観察されず、均一な分布状態となっていることから、被覆層は均一に摩耗しているものと考えられ、研削ダイスを用いた5回目の押出し実験でのテアリング発生は、被覆層の摩耗が主原因であることがわかる。また、K種およびM種被覆ダイスにおいてもP種と同様な分析結果となっており、超合金系の被覆ダイスによるテアリングの発生は被覆層の摩耗によるものであると言える。

以上の結果より、サーメット系は、超合金に比べると、耐摩耗性に優れているが、靱性がやや劣るため、被覆層の摩耗よりも剥離が起こりやすいことがわかる。

4. 結論

大気中での被覆処理が可能のため、操作性がよく、金型の一部に被覆・硬化が容易であるESD処理法による押出しダイスベアリング面の表面改質を行い、高カルミニウム合金の熱間押出し加工における押出し加工限界の向上と工具寿命の延長の可能性について検討した。

その結果、通常の窒化処理等と比べ、WC、TiC、Coを主成分とした超合金をESD処理して被覆したダイスにおいて、工具寿命の延長とテアリングの発生防止に大きな効果があるという知見を得た。

5. 参考文献

- 1) 毛呂：第81回塑性加工講習会テキスト，(1999)，43-48。

6. 口頭発表

- 1) 高辻ほか：51回塑加連講論，(2000)，135-136。
- 2) 高辻ほか：100回軽金属春講概，(2001)，75-76。
- 3) 高辻ほか：101回軽金属秋講概，(2001)，263-264。

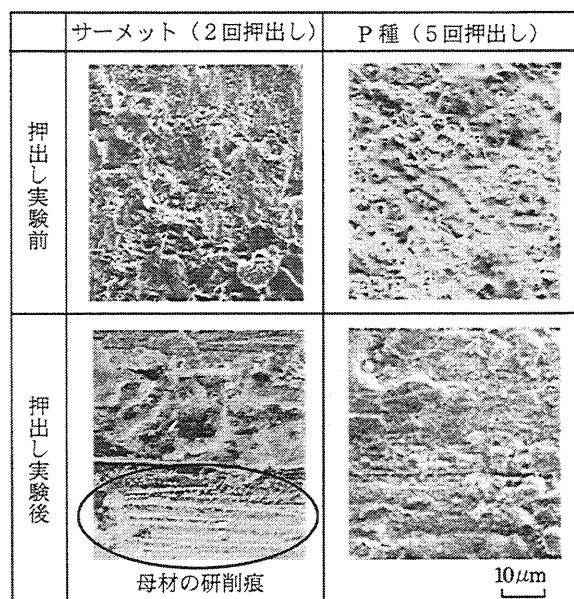
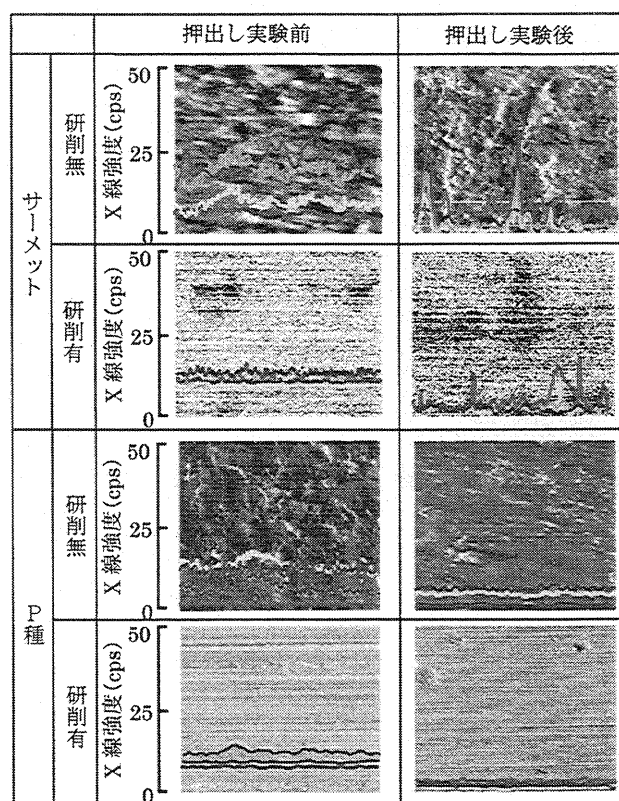


図9 ダイスベアリング面のSEM観察



| 被覆材料 | 分析元素 | | | | |
|------|------|----|---|----|----|
| | W | Ti | C | Mo | Co |
| P種 | — | — | — | — | — |

図10 ダイスベアリング面のEPMA分析