

焼結ダイヤモンド表面への放電テクスチャリング技術の開発と 塑性加工金型への適用

地方独立行政法人大阪産業技術研究所
 加工成形研究部 主任研究員 柳田 大祐
 加工成形研究部 主任研究員 渡邊 幸司
 金属材料研究部 部長 南 久
 (平成 29 年度 一般研究開発助成 AF-2017036)

キーワード：焼結ダイヤモンド、放電加工、摩擦特性

1. 研究の目的と背景

携帯用機器等に用いられる電池容器は、プレス成形による深絞り加工で製作されているが、機器の小型・軽量化が一層求められている中、素材としては、比強度が高く、耐食性に優れるチタン材の採用が望まれている。しかしながらチタンは、摺動部材に用いた場合、焼付き易い性質を持つことから、深絞り加工は極めて難しく、その金型には、優れた摩擦摩耗特性と高い耐久性が求められている。近年、精密微細部品を成形する長寿命金型に焼結ダイヤモンド(PCD)を適用する検討がなされている¹⁾²⁾。PCDは優れた摩擦摩耗特性を有することから、チタン材の深絞り加工用金型に適用した場合、耐焼き付き性の向上とこれによる金型の長寿命化が期待される。

一方、筆者らは、これまでに PCD の高精度放電加工³⁾について検討する中で、図 1 に示すように、ダイヤモンド粒子間に存在する焼結助剤(コバルト)のみを選択的に除去することで、PCD 表面に微小な穴を比較的容易に形成できることを見出した。この微小穴を潤滑油の油だまりとして用いれば、PCD 表面の摩擦特性をさらに向上することができると考えられる。

本研究では潤滑油の保持性の高い PCD 表面の形成を目的として、放電加工で形成された PCD 面の摩擦特性について調べ、チタン材の塑性加工用金型への適用の可能性について検討した。

2. 実験方法

PCD 表面に微小穴を均一に形成するために、薄板状の電極を Z 軸方向にサーボ制御し、X 軸方向に一定速度(96 mm/min)で送りながら放電加工を行った(図 2)。放電加工条件を表 1 に示す。また、得られた PCD 加工面の摩擦特性は、リングオンディスク式摩擦試験によ

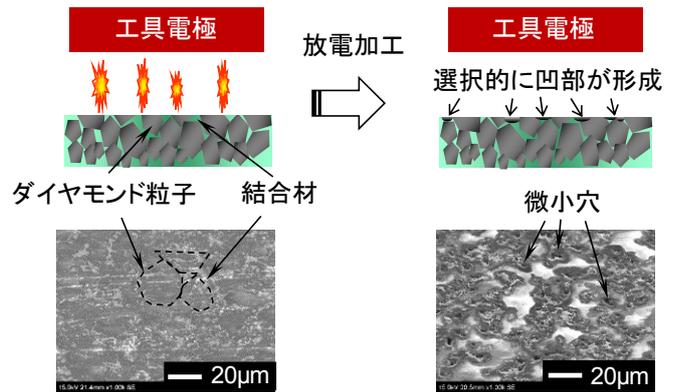


図 1 放電加工による PCD 表面への微小穴形成

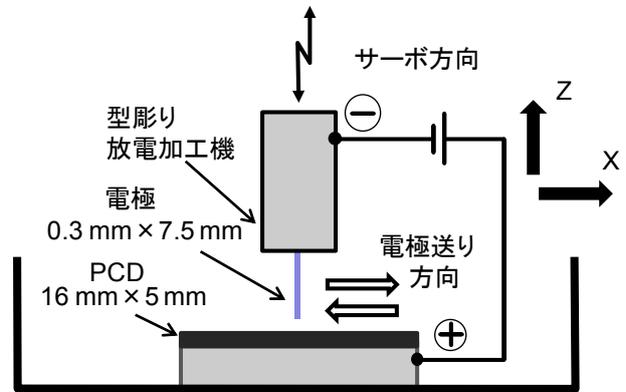


図 2 実験装置概略図

表 1 放電加工条件

実験装置	型彫り放電加工機 AP-1L (ソディック製)
最大放電電流	$i_e: 1.5 \text{ A}$
無負荷電圧	$u_i: 120 \text{ V}$
放電持続時間	$t_e: 1 \mu\text{s}$
加工液	放電加工油
加工時間	0.017, 0.044, 0.128 (min/mm ²)
工作物	PCD (ダイヤモンド粒子径: 25 µm)
電極材料	亜鉛合金

って調べた。試験条件は、流動パラフィン（動粘度：3.3 mm²/s）を用いた湿式とし円筒形状（外径φ6 mm, 内径φ3 mm）の純チタンを 1000 rpm で回転させながら一定荷重（100 N）で PCD 加工面に押し付け、得られたトルクと押し付け荷重から摩擦係数を求めた。

3. 実験結果

3.1 放電加工条件

放電加工用電極として一般的に使用されるブロック電極を用いて PCD を加工した場合、PCD 面を均一に加工することは、難しい。そこで、本実験では、PCD 表面に微小穴を均一に形成するために薄板形状の電極を検討した。図 3 に厚さ 0.3 mm の薄板状純銅電極、亜鉛合金電極を用いて加工した PCD 表面を示す。黒く見える部分は放電によって形成された微小穴を示す。銅電極を用いた場合、加工面に形成される微小穴の分布は不均一であるのに対して、亜鉛電極では、ほぼ均一な加工面となっている。亜鉛合金を放電加工用電極として用いた場合、加工中のギャップが広く、安定な加工状態が維持されやすいことが報告⁴⁾されている。PCD の放電加工においても安定な加工状態が維持されたことが、微小穴が均一に形成できた原因だと考えられる。

次に、PCD 表面に形成された微小穴が加工面全体に占める割合（面積率）について調べた。面

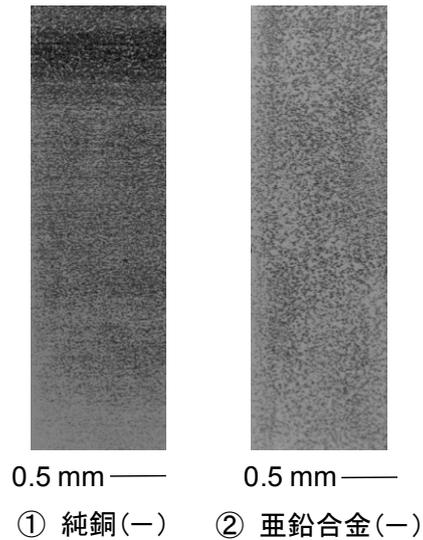


図 3 PCD 表面への均一な微小穴形成放電条件
(加工時間：0.128 min/mm²)

積率の算出は、レーザ顕微鏡で撮影した加工面の画像を 2 値化処理することで行った。図 4 に加工時間と微小穴の面積率の関係およびそれぞれの PCD 加工面を示す。加工時間とともに面積率は上昇し 0.04 min/mm² で面積率が 35 % 程度となる。その後、面積率の上昇は比較的緩やかになり、0.128 min/mm² で 41 % 程度となる。また、同じ加工時間でも、サーボ基準電圧を上げ、電極と工

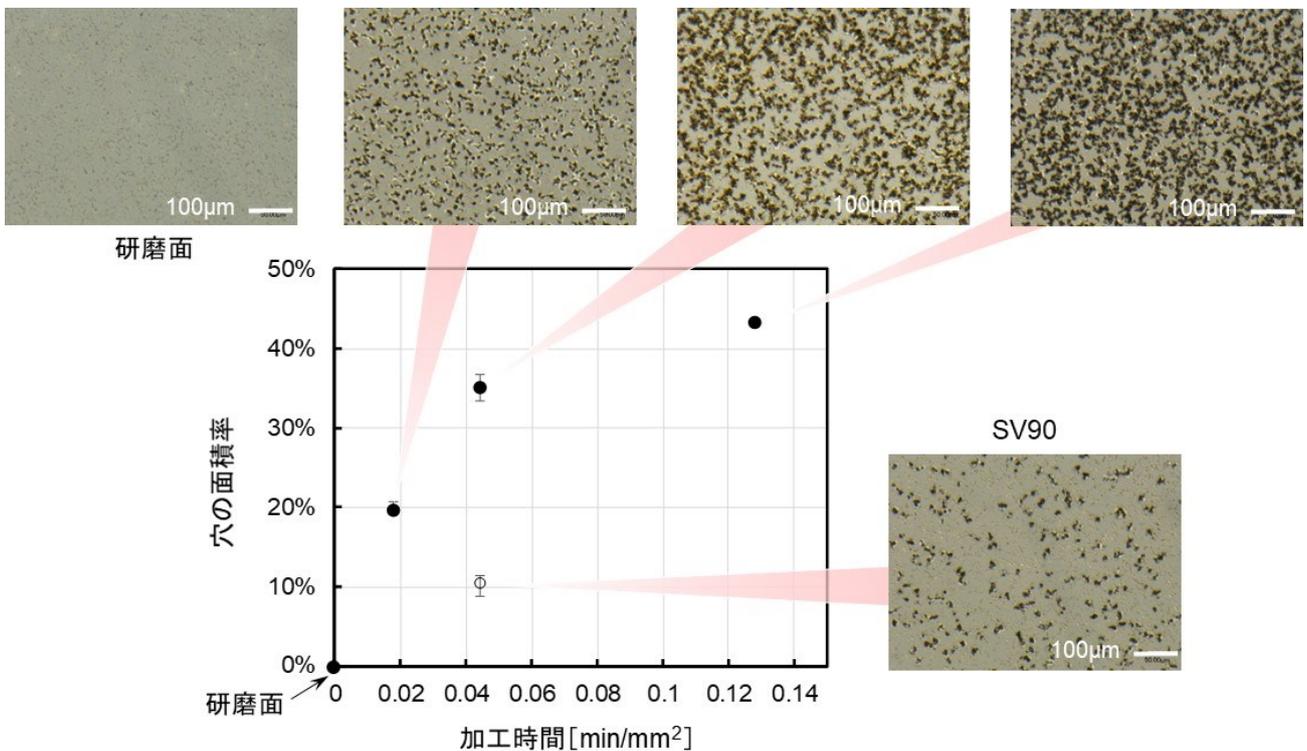


図 4 放電加工による PCD 表面への微小穴形成

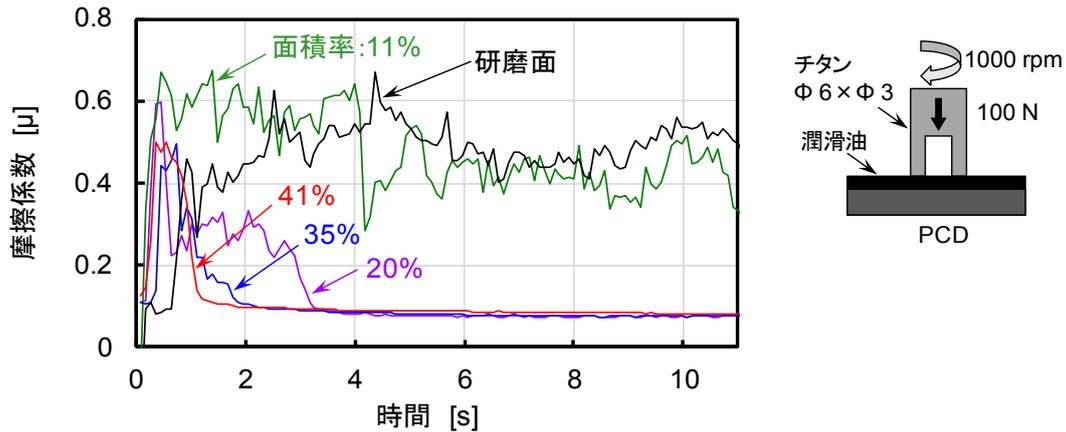


図5 リングオンディスク摩擦試験における各種 PCD 表面の摩擦係数

作物とのギャップを広くして加工することで、面積率 11 %程度の PCD 面を得ることができた (○で表記)。

3.2 リングオンディスク摩擦試験

面積率が異なる PCD 加工面の摩擦特性をリングオンディスク摩擦試験で評価した。図 5 に研磨面と放電加工面の摩擦試験結果を示す。面積率 20 %以上の放電加工面では、試験開始直後に摩擦係数が一時的に上昇するものの、その後、急速に低下し、低い値で安定している。これに対して、面積率 11 %の放電加工面および研磨面では、試験開始直後、摩擦係数が上昇した後、0.5 程度となっている。試験後の摩擦面を図 6 に示す。研磨面では、相手材として用いたチタンが摩擦部に凝着している。また、面積率 11 %の放電加工面においても一部に同様の凝着が観察される。これらに対して、面積率 20 %以上の放電加工面では、チタンとの摩擦部にリング状の痕跡が観察されるが、凝着などは認められない。

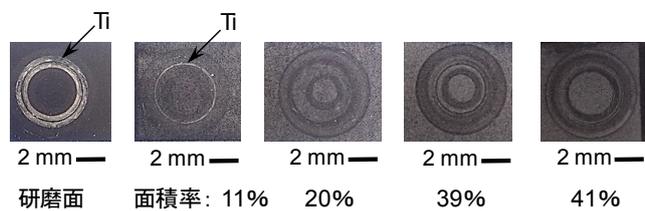


図6 リングオンディスク摩擦試験後の PCD 表面

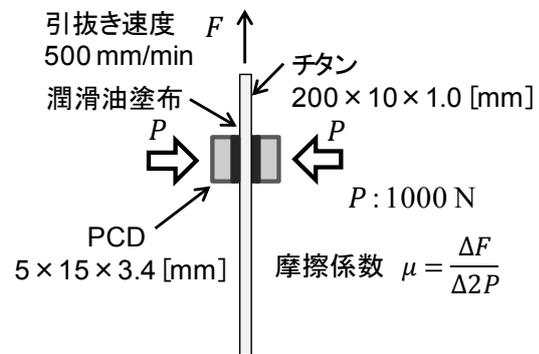


図7 引抜き摺動試験の概略図

3.3 引抜き摺動試験

塑性加工用金型への適用について検討するため、絞り加工時と同程度の荷重を付加した場合の摩擦係数を図 7 に示す引抜き摺動試験⁵⁾によって求めた。試験条件は、絞り加工における摩擦条件を参考⁶⁾にした。厚さ 1 mm の板状チタン材の両面を 2 つの PCD 面で挟み (面圧: 20 MPa)、荷重方向に対して垂直方向にチタン材を引抜いた。潤滑油としてベースオイル (動粘度: 25 mm²/s) を用いて、試験

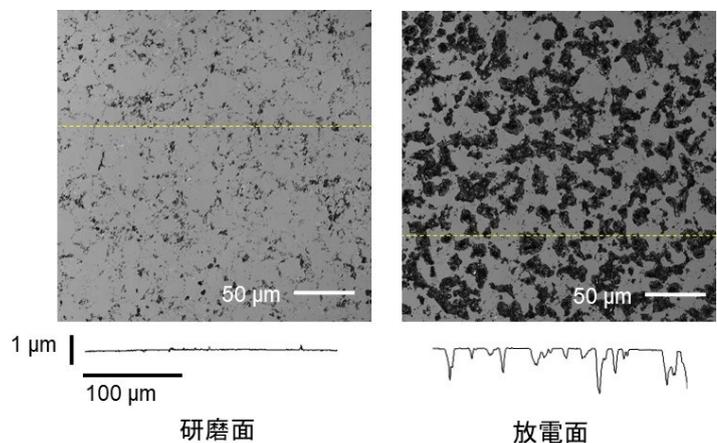


図8 PCD 表面のレーザ顕微鏡写真と断面曲線

前の PCD 面に塗布し、長さ 120 mm の板状純チタンを 4 枚引抜いた。摩擦係数はロードセルによって測定した引抜き荷重と挟み込み力から求めた。図 8 は試験に用いた研磨面と面積率 41 % の放電面、およびレーザ顕微鏡で測定したそれぞれの加工面の断面曲線を示す。

図 9 に引抜き摺動試験の結果を示す。研磨面は引抜き距離が 240 mm 程度までは摩擦係数は 0.1 以下であるが、それ以上では徐々に上昇し、引抜き距離が 340 mm を超えると 0.13 程度となる。一方で、放電面は、試験開始から終了（引抜き距離が 480 mm）まで摩擦係数が 0.07 程度と低く安定している。試験終了後の PCD 面をレーザ顕微鏡で観察した結果を図 10 に示す。研磨面にはリングオンディスク試験による結果と同様に摩擦面には、チタンが凝着している。一方、放電面には摩擦痕が観察されるが、チタンの凝着などは認められない。以上のことから、絞り加工における摩擦条件下においても、PCD 表面に形成した微小穴が潤滑油を保持することで、低い摩擦係数が維持できることがわかった。

4. 結言

潤滑油の保持性の高い PCD 表面の形成を目的として、放電加工で微小穴を形成した PCD 面の摩擦特性について検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 薄板形状の亜鉛合金を極性（-）で工具電極に用いることで、PCD 表面に微小穴を均一に形成することができる。
- (2) 放電加工で形成された微小穴は、油だまりとして、潤滑油の保持性に有効に作用し、チタン材に対しても焼付が発生することなく、低い摩擦係数を長時間維持できる。

謝 辞

本研究は、公益財団法人天田財団の一般研究開発助成（AF-2017036）により実施したものです。関係者各位に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 古閑伸裕：焼結ダイヤモンドの塑性加工工具への適用技術，FORM TECH REVIEW, 26, 1 (2017) pp.62-66.
- 2) 経済産業省平成 23 年度第 3 次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業「長寿命・微細 PCD（コバルト焼結ダイヤモンド）金型部品の開発」成果報告書
- 3) 南 久，渡邊幸司，増井清徳，鍋倉伸嘉：放電加工による燃結ダイヤモンド工具の成形加

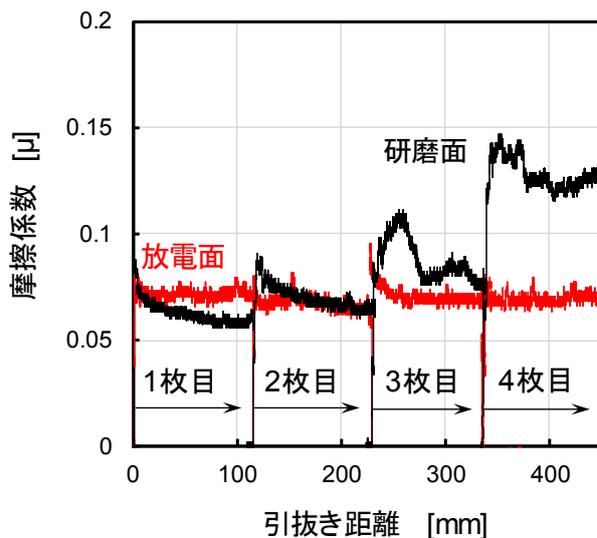


図 9 研磨面と放電面の比較

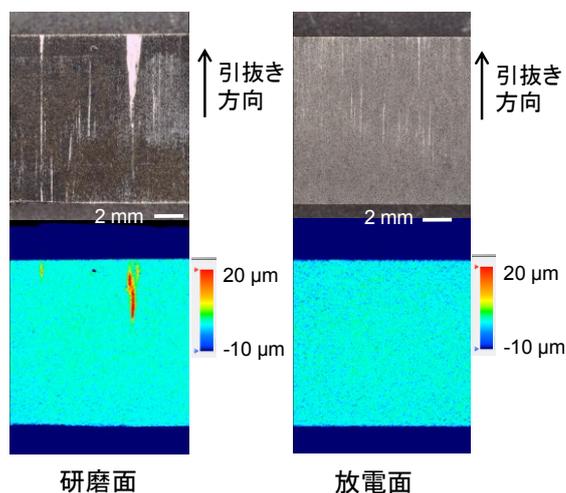


図 10 引抜き摺動試験後の PCD 表面

工，電気加工学会誌，Vol.44, No.105 (2010) pp.125-132.

- 4) 南 久，増井清徳，塚原秀和，山本龍也，大上光生：金型用亜鉛合金の高速放電加工—放電加工特性とフレーム電極による三次元創成加工—，電気加工学会誌，vol.37, No.84(2003)pp.17-22.
- 5) 樋貝和彦，玉井良清，山崎雄司，平本治郎：プレス成型における薄鋼板の摺動挙動および摺動試験条件の最適化，塑性と加工，Vol.58, No.672 (2017) pp.41-46.
- 6) 日本塑性加工学会編：プロセストライボロジー—塑性加工の潤滑—，コロナ社，(1993)pp.65-89.