

衝撃粉末成形法で作製した PTFE 添加 Mg 基複合材料の摩耗過程における保護被膜形成

Formation of Protective Films during Wear of PTFE Added Mg Based Composite Using Shock Consolidation of Powders

同志社大・院（学）*森島 櫻礼 同志社大（正）松岡 敬 中村 守正 熊本大（非）田中 茂

Orai Morishima*, Takashi Matsuoka*, Morimasa Nakamura*, Shigeru Tanaka**

*Doshisha University, **Kumamoto University

1. 緒言

近年、自動車の CO₂ 排出量が問題視されており、燃費向上のため自動車部品の軽量化が求められている。マグネシウム (Mg) は実用金属中最も軽量で比強度、比剛性に優れている材料といわれており、今後自動車部品への適用が進むものと予想される。特にエンジン部品の軽量化は燃費向上に有効であり、部品寿命の観点から優れた耐摩耗性が要求されるが、Mg は厳しいしゅう動環境における摩擦摩耗特性に課題がある。そこで、異種材料を用いた Mg の複合化に着目した。複合化により単体では得られない性質を付与することができる。先行研究で、ポリマーを添加して作製した Mg 基複合材料の摩擦摩耗特性が向上する²⁾ことが報告されている。また、爆発エネルギーを用いた成形を実施することで、材料が高い圧力で圧縮され粒子間の結合が強くなると考えられる。このことから本研究では、衝撃粉末成形法によりポリマー材料を添加して作製した Mg 基複合材料の摩擦摩耗特性を把握することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 試料作製

母材は Mg 粉末 (粒子径 180 μm)、添加材料としてポリマーの中でもしゅう動性に優れたポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 粉末 (粒子径 10 μm) を用いた。PTFE の体積含有率は 30 % (以下、Mg-PTFE) とし、比較用に Mg のみの試料 (以下、Mg) も用意した。PTFE 添加 Mg 基複合材料を衝撃粉末成形法で作製した。衝撃粉末成形法は爆薬の爆轟時の高圧力を利用して粉末を固形化する方法である。本研究では炭素鋼製ブロック (100 mm \times 100 mm, 厚み 20 mm) の中央に ϕ 10 mm, 深さ 10 mm の穴を開けた専用容器に材料の混合粉末を詰め、その上部を厚さ 3 mm のステンレス板で蓋し、その上部に爆薬を設置、起爆することで試料を作製した。衝撃粉末成形法の概略図を Fig. 1 に示す。起爆後の炭素鋼製容器の余分な部分を切断し、軸方向で切断したものを試験片とした。試料断面を Fig. 2 に示す。

2.2 摩擦摩耗試験

作製した PTFE 添加 Mg 基複合材料に対して研磨を行い、Ball-on-disk 試験機 (RHESCA, FPR-2200) を用いることで摩擦摩耗試験を行った。試験は無潤滑条件で行い、相手材は SUJ2 球 (ϕ 3/16 インチ) を用いた。その他試験条件は Table 1 に示す。なお、本研究では PV 値、しゅう動距離それぞれと摩耗特性の関係を調査するため回転回数 500 回転のもとで荷重 1.0 ~ 6.0 N で 1.0 N 毎に 6 水準、線速度 20 ~ 60 mm/s で 10 mm/s 毎に 5 水準の条件 (条件①) と、荷重 2.0 N, 線速度 10 mm/s のもとで回転回数 (しゅう動距離) 500 ~ 12000 回転の 8 水準で変化させて (条件②) 試験を行った。PV 値算出のための接触面圧はヘルツの接触理論を用いて算出した。摩耗特性の評価のため、比摩耗量を算出した。摩耗量 (摩耗痕体積) は、形状解析レーザ顕微鏡 (KEYENCE, VK-X210) を用いてしゅう動痕の 16 箇所の摩耗断面積を測定・算出して回転周長を乗じることで求めた。また、摩耗メカニズムについて調査するため摩擦試験後のしゅう動痕を SEM で観察し、さらにフッ素 (F) や酸素 (O) を検出元素とした EDS 分析を行った。

3. PV 値と比摩耗量の関係

PV 値と比摩耗量の関係を、Fig. 3 に示す。これより、PV 値が増加すると比摩耗量も増大する傾向にあることが分かる。一方で、荷重 6.0 N においては PV 値が他の荷重の場合とそう変わらないにもかかわらず、比摩耗量が大きくなった。このことから、荷重 5.0 N 以下と 6.0 N 以上で摩耗メカニズムが変わった可能性がある。線速度 20 mm/s における荷重 5.0 N, 6.0 N でのしゅう動痕の SEM 像および F の EDS マッピング像を、Fig. 4 に示す。Figure 4 より荷重 5.0 N で

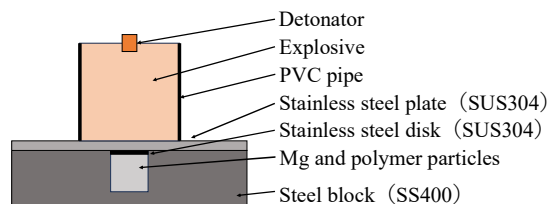


Fig. 1 Experimental device

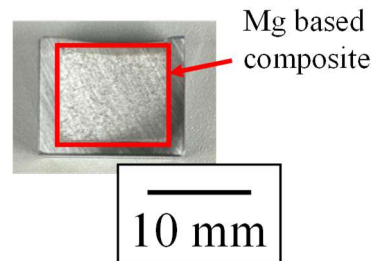


Fig. 2 Cross section of test piece

Table 1 Experimental conditions

| | ① | ② |
|--------------------------|-----------|-------------|
| Load, N | 1.0 ~ 6.0 | 2.0 |
| Linear velocity, mm/s | 20 ~ 60 | 10 |
| Number of revolutions, - | 500 | 500 ~ 12000 |

はしゅう動痕上に F が広がっているのに対し、荷重 6.0 N では F の広がり認められない。PTFE は結晶部と非晶部の層構造となっており、その層がしゅう動により容易にせん断されることにより低摩擦を示す³⁾。本研究での試料においても同様のメカニズムが発現すると考えられ、しゅう動によりせん断された PTFE がしゅう動痕上に押し広げられると考えられる。この PTFE が押し広げられることで形成された保護被膜により、しゅう動時の相手材との凝着が抑制され摩耗特性が向上したと考えられる。一方、この保護被膜は PTFE 由来であり、表面エネルギーが低く接着性は良くないものと思われる。そのため高荷重下ではせん断力が大きくなり保護被膜ははく離することで、比摩耗量が増大したものと考えられる。

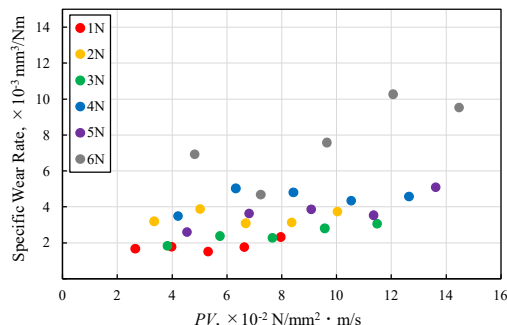


Fig. 3 Relationship between specific wear rate and PV

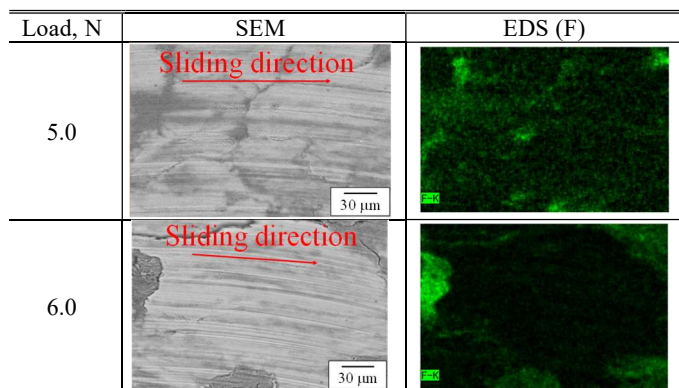


Fig. 4 SEM and EDS images of wear tracks

4. しゅう動距離と比摩耗量

回転回数と比摩耗量の関係を、Fig. 5 に示す。これより、しゅう動距離が長くなるにつれて比摩耗量が減少していき、8000 回転以降はほぼ一定になっているのが確認できる。しゅう動距離が長くなることで摩耗メカニズムが変化することが考えられるため、しゅう動痕の観察を行った。1000 回転と 8000 回転における摩擦試験後のしゅう動痕の F、酸素 (O) の EDS マッピング像を、Fig. 6 に示す。これより、1000 回転では O が全体に広がっており、局所的に F も広がっていることが分かる。一方、8000 回転、またそれ以降の摩耗痕でも、F も O も全体的に広がっているのが確認できた。このことから、しゅう動距離が長くなると、3 章で述べた PTFE 由来の保護被膜に加え、しゅう動痕上に酸化被膜が形成されていると考えられる。Mg 基複合材料において、酸化被膜は酸化した摩耗粉がしゅう動面に堆積することで形成されると報告されている⁴⁾。この酸化した摩耗粉がしゅう動により形成された凹凸に入り込んだ結果表面を平滑化することで、アブレシブ摩耗が生じにくくなると考えられる。このメカニズムとして、以下のようなことが考えられる。まず、しゅう動初期にしゅう動痕には上述した PTFE の保護被膜が形成される。しゅう動距離が長くなるとこの保護被膜が剥がれ、Mg 表面が露出する。露出した Mg 表面が摩耗し、この摩耗粉は酸化する。酸化した摩耗粉とはく離した PTFE 由来の保護被膜が相手材に押し付けられながらしゅう動することで保護被膜と酸化被膜が形成される。ここで、保護被膜は相手材の接触としゅう動により再びはく離するが、上記のメカニズムにより再び PTFE 由来の保護被膜が形成される。しゅう動距離が延びることでこれが繰り返し生じ、凝着を防ぐ保護被膜とアブレシブ摩耗を防ぐ酸化被膜が同時に存在することで比摩耗量が減少したものと考えられる。

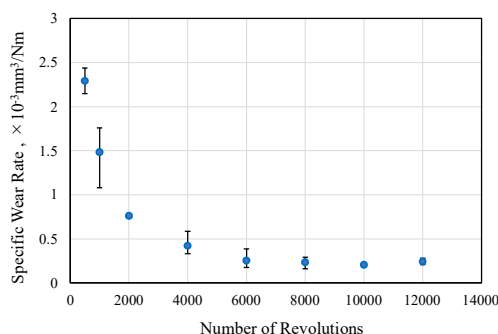


Fig. 5 Relationship between specific wear rate and number of revolutions

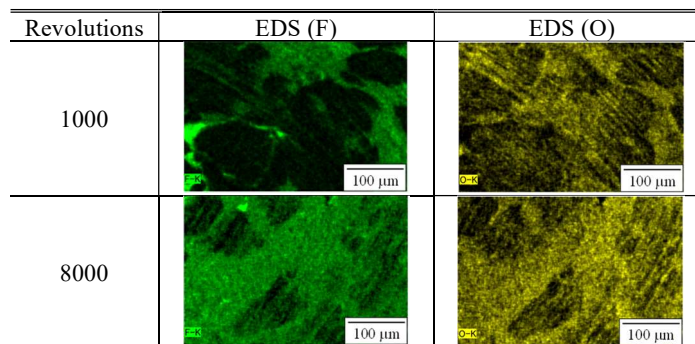


Fig. 6 EDS images of wear track

5. 結言

- (1) PV 値が大きくなると比摩耗量が増大する傾向にあったが、荷重 6 N では PV 値は大きく変わらないにもかかわらず比摩耗量が増大した。
- (2) 回転回数が増えるにつれて比摩耗量が減少し、8000 回転以降はほとんど一定であった。

参考文献

- 1) 武田秀, 自動車用マグネシウムダイカスト技術動向, までりあ, Vol.53, No.12 (2014)
- 2) 下司佑馬, 軽金属学会第 136 回春期大会講演概要 (2019)
- 3) 竹市嘉紀, 高分子材料のトライボロジー, 表面技術, Vol.65, No.12 (2014)
- 4) 一柳光輝, 第 8 回材料シンポジウム予稿集 (2022)