

ポリイミド樹脂の摩擦摩耗挙動に及ぼす成形条件の影響

Effect of Molding Conditions on Friction and Wear Behavior of Polyimide Materials

群馬大院・理工(正)*松元優斗 (正)杉山裕秋 (正)攪上將規 (正)上原宏樹 (非)山延健

小倉クラッチ(非)木菱隆志 (非)中島政哉 (非)長沼拓 (正)野澤淳一 (非)二宮崇行 (非)松本益幸 (非)金山典充
(非)園部哲也

Yuto Mastumoto*, Hiroaki Sugiyama*, Masaki Kakiage*, Hiroki Uehara*, Takeshi Yamanobe*,
Takashi Kibishi**, Masaya Nakajima**, Taku Naganuma**, Junichi Nozawa**, Takayuki Ninomiya**,
Yoshiyuki Matsumoto**, Norimitsu Kanayama**, Tetsuya Sonobe**

Gunma University*, OGURA CLUTCH CO.,LTD.**

1. 緒言

摩擦材は自動車のクラッチや産業用ロボットの制動用ブレーキなどに用いられ、高摩擦係数・低摩耗性、および摩擦材が置かれる環境から耐熱性や機械的強度を目標とした開発が行われている。その中で、スーパーエンジニアリングプラスチックは従来の金属、繊維補強材、および汎用樹脂から構成される複合材料摩擦材と比較して優れた低摩耗性、耐熱性、機械的強度、自己潤滑性を有し、かつ長期利用が可能であることから、樹脂摩擦材としての適用が期待されている¹⁾。このような高機能化や使用目的に合わせた物性は高分子の分子構造、分子量と分布、末端基などの一次構造から予想できるが、実際問題として、射出成型などの加熱成形、切削加工、加熱、冷却などの成形条件に依存して高次構造に変化が生ずるため、プラスチック材料の物性は成形加工条件によって変化する。そのため、成形加工条件の違いは高分子材料のトライボロジー特性にも影響をもたらすと予想される。そのため、摩擦材の成形による物性変化とトライボロジー特性とプラスチック材料の高次構造の関連を把握することが課題となっている。

そこで本研究では、スーパーエンジニアリングプラスチックの中でも最高の耐熱性かつ低摩耗性、寸法安定性などをもつポリイミド (PI) に着目し、PI 成形体の摩擦摩耗挙動に及ぼす成形条件の影響を評価した。PI パウダー原料から異なる成形条件にて PI 樹脂成形体を作製し、成形条件と摩擦摩耗挙動の相関を検討した。摩擦摩耗試験としては、面圧が一定かつ外部の要因を統一し、摩擦材における影響のみを比較可能であるピンオンディスク試験を選択した。

2. 実験

2. 1 PI 焼結体(ピン)の作製

原料として PI パウダーを用い、常圧焼結法により成形体 (ピン) の作製を行った。まず、PI パウダーを室温の金型に充填し、プレス機を用いて面圧 3000 kg/cm² で 5 分間加圧し、ピン形状への圧縮予備成形を行った。この予備成形時の圧縮操作を、大気中あるいは真空中で行うことで、2 種類の予備成形体を作製した。作製した予備成形体を金型から取り出し、バリを紙やすりを用いて除去および焼結前の寸法を測定した。

得られた 2 種類の予備成形体に対して、大気中で常圧焼結を行った。焼結条件は、昇温速度 10 °C/min、400 °C で 15 分保持した後、再び室温まで徐冷、とした。焼結後の成形体 (焼結体) についても寸法を測定し、焼結前後での寸法変化を評価した。最後に焼結体表面の研磨作業を行い、直径約 6 mm、高さ約 3 mm の円柱状 PI ピンを得た。

2. 2 ピンオンディスク試験による摩擦試験および摩擦摩耗挙動の評価

作製した 2 種類のピンに対して、直径 78 mm、厚さ 5 mm の炭素鋼 S10C ディスクを相手材に用いて、大気中、室温にてピンオンディスク試験を行った。試験条件は、摺動半径 26 mm、回転速度 300 rpm (摺動速度 85.1 mm/s)、荷重 15.8 N、試験時間 3 時間 (54000 回転) とした。摩擦係数は試験時間 3 時間の平均摩擦係数として算出した。

ピンの比摩耗体積は、摺動前後のピンの体積変化率から求めた。また、レーザー顕微鏡観察を行い、試験後のピンの表面状態と相手材に付着した摩耗粉の形態を評価した。

3. 結果および考察

3. 1 焼結時におけるピンの寸法変化

大気中および真空中で圧縮した予備成形体に対して焼結操作を行ったところ、焼結前後の平均成形収縮率は大気中予備成形で 0.3 %、真空中予備成形で 0.1 %であった。また、焼結体の密度はそれぞれ 1.220±0.013 g/cm³、1.211±0.022 g/cm³ であり、その寸法変化は同程度であった。

3. 2 予備成形条件と摩擦摩耗挙動の関係

予備成形条件の異なるピンを用いたピンオンディスク試験における、回転数に対する摩擦係数の変化を Fig. 1 に示す。各ピンの平均摩擦係数は大気中予備成形で 0.37, 真空中予備成形で 0.45 と、真空中予備成形の方が高い平均摩擦係数を示した。また、各ピンの比摩耗体積を算出したところ、大気中予備成形では $1.599 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, 真空中予備成形では $6.186 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ と、比摩耗体積においても真空中予備成形の方が高い値を示した。このことから、寸法変化からでは判断できないスケールでのピンの表面および内部構造の違いが摩擦摩耗挙動に影響を及ぼすことが示唆された。

摩擦試験後のピン摩耗状態を評価するため、レーザー顕微鏡を用いて摩擦試験後のピン表面と相手材に付着した摩耗粉の形態観察を行った。ピン表面のレーザー顕微鏡像から見積もった表面粗さ分布を Fig. 2 に示す。ピンの中央にて摩擦試験の摺動方向に対して垂直に切断面を取り、表面粗さの平均値を 0 (基準粗さ) とした。これを見ると、真空中予備成形の方が摺動後においてピン全体の粗さが一定であり、均一に摩耗されたことがわかる。そこで、摺動後のピンの摺動面全体の表面粗さにおいて正の値をピン表面の細かい凸と仮定し、表面積を算出したところ、大気中予備成形では $1.347 \times 10^7 \mu\text{m}^2$, 真空中予備成形では $1.476 \times 10^7 \mu\text{m}^2$ であった。このことから、真空中予備成形で得られたピンの表面状態は真実接触面積が大きいと考えられる。本検討よりも小さいオーダー ($10^4 \mu\text{m}^2$) においても真実接触面積と摩擦係数の相関が報告されている²⁾ことから、これが平均摩擦係数および比摩耗体積が大きくなった要因として考えられる。次に、摩耗粉のレーザー顕微鏡像およびそこから見積もった摩耗粉のサイズ分布を Fig. 3 に示す。真空中予備成形の方が摩耗粉の粒子径が小さく、粒子径のばらつきも小さいことがわかる。これは、ピン (焼結体) の緻密性の違いを反映しており、真空中予備成形の方が緻密なピン (焼結体) であることが示唆される。真空中雰囲気で行うことで PI 粉末の密着性が向上し、得られた焼結体 (ピン) が緻密化されることで、表面粗さの均一性や真実接触面積の増加に繋がったと考えられる。

結論

本研究では、PI 樹脂摩擦材の成形条件が与える摩擦摩耗挙動の影響をピンオンディスク試験により評価した。予備成形時の圧縮操作を大気中あるいは真空中で行った、2 種類の焼結体 (ピン) を作製した。摩擦摩耗挙動を比較すると、真空中予備成形の方が高い平均摩擦係数と比摩耗体積を示した。摩擦面の表面観察を行ったところ、真空中予備成形の方が摺動後においてピン全体の粗さが一定であり、均一に摩耗されており、その表面積分析から真実接触面積が大きいことがわかった。また、真空中予備成形の方が摩耗粉の粒子径が小さく、粒子径のばらつきも小さかった。これらのことから、真空中で予備成形を行うことでピン (焼結体) の緻密性の向上し、これによる真実接触面積の変化が摩擦摩耗挙動に影響していることがわかった。

文献

- 1) 三和, エンジニアリングプラスチックの滑り軸受への適用事例, トライボロジスト, 第 26 巻 第 1 号, (2012) 25.
- 2) 黒江・向江・三小田, 磁気テープの真実接触面積の測定, テレビジョン学会誌, 第 43 巻, 第 8 号, (1989) 842.

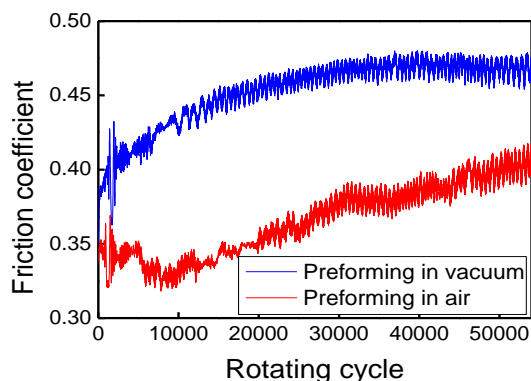


Fig. 1 Friction coefficients of PI pins obtained by preforming in vacuum or air

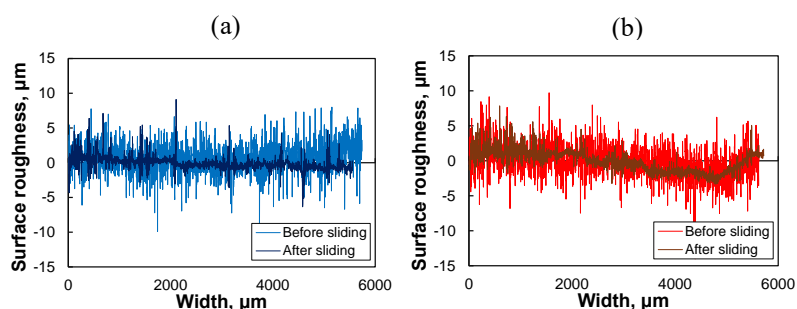


Fig. 2 Surface roughness before and after sliding by preforming in (a) vacuum or (b) air

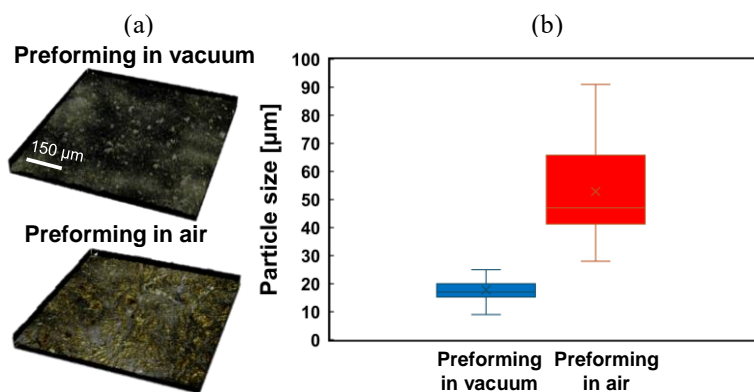


Fig. 3 (a) Wear debris formed on carbon steel disks after pin-on-disc testing for PI pins obtained by preforming in vacuum or air. (b) Particle size distribution of wear debris