

ポリイミド樹脂摩擦材の成形とその摩擦摩耗挙動

Fabrication of polyimide friction materials and their friction and wear behavior

群馬大院・理工(正)*松元優斗 (正)攪上將規 (正)上原宏樹

小倉クラッチ(非)木菱隆志 (非)長沼拓 (非)二宮崇行 (非)松本益幸 (非)金山典充 (非)園部哲也

Yuto Mastumoto*, Masaki Kakiage*, Hiroki Uehara*,

Takashi Kibishi**, Taku Naganuma**, Takayuki Ninomiya**, Yoshiyuki Matsumoto**,

Norimitsu Kanayama**, Tetsuya Sonobe**

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

1. 緒言

摩擦材は自動車の制動用ブレーキなどに用いられ、高摩擦係数(μ)・低摩耗性、および摩擦材が置かれる環境からフェード現象に耐える耐熱性や機械的強度を目標とした開発が行われている¹⁾。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利用が期待されている²⁾。このような樹脂材料の物性は、高分子の分子構造、分子量や分子量分布、末端基などの一次構造から予想できるが、実用上は、射出成形などの加熱成形、冷却、切削加工などの成形条件に依存して高次構造が変化するため、成形加工条件によってその物性は変化する。よって、成形加工条件の違いは樹脂摩擦材のトライボロジー特性にも影響を及ぼすと予想される。そのため、樹脂摩擦材の利用において、成形加工条件による物性変化およびトライボロジー特性と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樹脂摩擦材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樹脂摩擦材を作製し、成形条件と高 μ ・低摩耗性を目標とした摩擦摩耗挙動の相関を検討した。その際の摩擦摩耗試験として、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樹脂摩擦材(ピン)の作製

出発原料としてPIパウダーを用い、常圧焼結法により摩擦材(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5分間加圧することでピン形状への圧縮成形を行った。この時のプレス面圧は294 MPaを基準として、40%減少させた180 MPa、40%増加させた407 MPaと、圧縮時における面圧の異なる3種類の成形体を作製した。作製した成形体は金型から取り出し、紙やすりを用いてバリを除去を行った。

得られた3種類の成形体に対して、大気中で常圧焼結を行った。焼結条件は、昇温速度10 °C/minで400 °Cまで加熱し、15分保持した後、再び室温まで徐冷、とした。得られた焼結体の寸法を測定し、成形体との密度変化を評価した。最後に焼結体表面の研磨作業を行い、直径約6 mm、高さ約4 mmの円柱状PIピンを得た。研磨後のピンの硬度はロックウェル硬度試験(HRS)にて評価した。

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3種類のピンに対して、直径78 mm、高さ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。得られたレーザー顕微鏡像から、試験後のピン表面の粗さ分布を解析した。

3. 結果および考察

3.1 ピンの密度とロックウェル硬度(HRS)

面圧180 MPa、294 MPa、407 MPaで圧縮したピンの密度はそれぞれ 1.150 ± 0.036 g/cm³、 1.224 ± 0.011 g/cm³、 1.263 ± 0.016 g/cm³であり、面圧の増加と共に密度も増加していた。また、HRS規格でロックウェル硬度試験を行った結果、それぞれ 84.3 ± 1.1 、 97.9 ± 1.8 、 100.5 ± 0.6 と、面圧の増加と共にロックウェル硬度も増加が見られた。このことから、圧縮時の面圧の増加によりピン全体が緻密になったと言える。

3.2 圧縮時の面圧と摩擦摩耗挙動の関係

圧縮時の面圧が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。また、得られた各ピンの平均摩擦係数、高さ減少量、および比摩耗体積を Table 1 に示す。圧縮時の面圧を増加させると高 μ ・低摩耗を示すことがわかった。このことから、面圧の増加が PI パウダーの凝集性を向上させ、密度・硬度と共に、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。

摩擦試験後のピンの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。摩擦試験後の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。表面粗さ分布は、ピン中央にて摩擦試験の摺動方向に対して垂直に切断面をとり、表面粗さの平均値を 0 (基準粗さ) として算出した。これを見ると、面圧が増加するにつれてピン全体の粗さが一定になり、均一に摩耗されたことがわかる。そこで、摺動面全体の表面粗さにおける正の値をピン表面の細かい凸と仮定し、その表面積を算出したところ、面圧 180 MPa では $4.870 \times 10^6 \mu\text{m}^2$ 、面圧 294 MPa では $1.260 \times 10^7 \mu\text{m}^2$ 、面圧 407 MPa では $1.496 \times 10^7 \mu\text{m}^2$ と、面圧の増加とともに拡大していた。このことから、圧縮時に高面圧にするほど得られたピン表面の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³⁾ことから、これが平均摩擦係数の増加した要因として考えられる。また、面圧の増加とともに比摩耗体積が減少した要因として、高面圧で作製したピンは摺動面が均一であることから、密度・硬度共に高く、摺動時における応力が均一に分散したためと考えられる。

次に、レーザー顕微鏡像から見積もった摩耗粉のサイズ分布を Table 1 に示す。面圧が増加するほど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 (圧縮前 PI パウダーの粒子径は $7.4 \pm 1.2 \mu\text{m}$)。これは、ピンの緻密性の違いを反映しており、圧縮時に高面圧で成形を行うことで PI パウダーの密着性が向上し、得られた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。

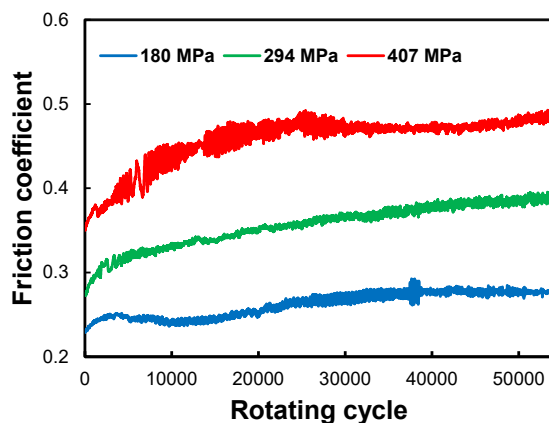


Fig. 1 Friction coefficients of PI pins obtained by molding pressures of 180 MPa, 294 MPa, and 407 MPa.

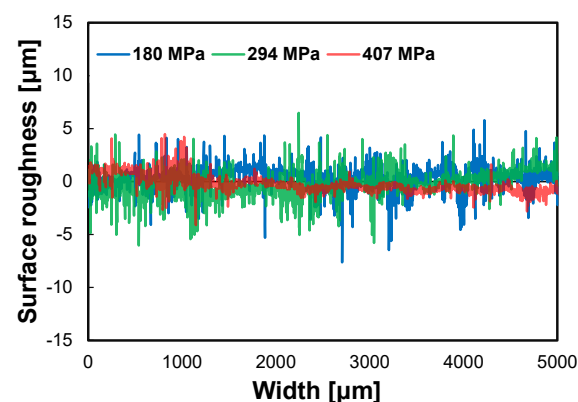


Fig. 2 Surface roughness of PI pins after sliding by molding pressures of 180 MPa, 294 MPa, and 407 MPa.

Table 1 Friction and wear behavior of PI pins obtained by molding pressures of 180 MPa, 294 MPa, and 407 MPa.

	Average coefficient of friction	Height reduction [mm]	Specific wear volume [$\text{cm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$]	Surface area [μm^2]	Size of wear debris [μm]
180 MPa	0.23	2.6×10^{-2}	2.0×10^{-8}	4.870×10^{-6}	14.7 ± 6.8
294 MPa	0.37	2.1×10^{-2}	1.0×10^{-8}	1.260×10^{-7}	12.8 ± 4.9
407 MPa	0.46	1.1×10^{-2}	4.5×10^{-9}	1.496×10^{-7}	9.5 ± 1.6

4. 結論

本研究では、PI 樹脂摩擦材の成形条件が摩擦摩耗挙動に与える影響をピンオンディスク試験により評価した。PI 粉末の圧縮成形時の面圧を 180 MPa, 294 MPa, 407 MPa と変えた、3 種類の PI ピンを作製した。作製したピンの密度・硬度は、面圧が増加するほど高い値を示した。得られたピンの摩擦摩耗挙動を比較したところ、面圧が増加するほど高い平均摩擦係数と低い比摩耗体積を示した。摩擦面の表面観察から、高面圧になるほど摺動後のピン全体の粗さが一定で、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、高面圧になるほど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、原料 PI 粉末の成形を高面圧で行うことで最終的な PI ピンの緻密性の向上し、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) 野口・平野, 摩擦材用フェノール樹脂, 熱硬化性樹脂, 第 4 巻 第 2 号, (1983) 29.
- 2) 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.
- 3) 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.