ポリアセタールの摩擦・摩耗と pv 値に及ぼすカーボン繊維と PTFE の充てん効果について*

山口章三郎** 関 口 勇**
杉 山 勝 俊*** 鈴 木 順 雄***

The Effects of Carbon Fibre and PTFE Powder upon the Friction,
the Wear and the Value of Limiting pv of Polyacetal

by

Yukisaburo YAMAGUCHI, Isamu SEKIGUCHI
Katsutoshi SUGIYAMA and Nobuo SUZUKI
(Kogakuin University, Tokyo)

Two kinds of fillers, such as carbon fibre and PTFE powder, were used for the present study of their effects on the friction *etc.* of polyacetal.

The contents of those fillers are 5, 10 and 25%, and length of carbon fibre are 1, 3 and 5 mm, respectively.

The friction and wear tests were carried out by using the Suzuki type friction tester and Itô's sliding wear tester.

The results obtained are as follows ;

(1) The kinetic frictional coefficient of polyacetal decreases with content of fillers, such as PTFE powder and carbon fibre.

(2) The sliding wear amount of polyacetal containing PTFE powder is about 0.5~0.7 times as much as that of unfilled polyacetal.

(3) The value of limiting pv of polyacetal containing the fillers increases with the increase of the contents of both fillers, PTFE powder and carbon fibre, and with that of length of carbon fibre.

The pv value of polyacetal containing PTFE powder is about 1.2~2.2 times as much as that of unfilled polyacetal, and that containing carbon fibre is about 1.1~1.6 times as much as that of unfilled polyacetal.

(Received Dec. 13, 1971)

1 緒 言

ポリアセタールはすぐれた摩擦、摩耗特性を示すことから、無潤滑剤軸受、ギヤー、カム等の摺動部品に広く使用されている。

筆者らは既報¹⁾においてポリアセタールの摩擦特性がすぐれていることを報告した。また、高野、小西らはポリアセタールコーポリマーの摩擦、摩耗特性と限界 pv 値²⁾について報告しており、片山、三宅らはカーボン繊維を充てんしたときの摩擦、摩耗特性と限界 pv 値³⁾について報告している。

本研究は既報の⁴⁾⁵⁾DAP樹脂、不飽和ポリエステル、

エポキシ樹脂および4フッ化エチレン (PTFE) 樹脂⁶⁾の充てん材による摩擦、摩耗特性の改質に関する研究にひきつづき、ポリアセタールの摩擦、摩耗特性および pv 値に及ぼすカーボン繊維の長さ、充てん量および4フッ化エチレン樹脂の充てん量の影響を実験的に明らかにするものである。

2 実 験 方 法

2・1 試験片

母材はP社のポリアセタールコーポリマー (ジュラコン M-90) を使用し、この中に Table I に示すような長さ⁷⁾⁸⁾と充てん量のカーボン繊維と PTFE を充てんして、13種類の試験片を圧縮成形によって製作した。摩擦試験に用いた試験片の形状は外径 20φ、内径 10φ、長さ 30 mm、摩耗試験に用いたものは外径 25φ、内径

* 原稿受理 昭和46年12月13日

** 正 会 員 工学院大学 東京都新宿区西新宿

*** 工学院大学 東京都新宿区西新宿

Table I. Kinds and molding condition of specimen.

Resin	Filler			Molding method
	Kind	Length (mm)	Content wt(%)	
Polyacetal	Carbon fibre		0	Compression molding temperature; 200°C
		1	5 10 25	
		3	5 10 25	Compression molding pressure; 130 kg/cm ²
		5	5 10 25	
	PTFE	Powder	5	
			10 25	

16 ϕ , 長さ 30 mm の中空円筒である。なお、充てん材として用いたカーボン繊維はN社のリグニン系炭素質 (CLF) である。

2·2 摩擦，摩耗試験機

摩擦，摩耗試験機は Fig. 1 に示すような筒形試験片の端面どうしを摩擦する構造の試験機で行なった。すなわち摩擦試験は鈴木式摩擦試験と同じ形式の試験機⁹⁾を用いて行ない，摩耗試験機は铸铁用伊藤式摩耗試験機¹⁰⁾をプラスチック用に改造した試験機を用いて行なった。

Fig. 1. Schematic diagram of machine.

2・3 実験条件

試験は温度20℃、湿度60%の恒温、恒湿の室内で行ない、摩擦距離、面間圧力および摩擦表面間の相対移動速度を表わす摩擦速度などの実験条件は Table II に示すとおりである。

これらの条件において上部運動側プラスチック、下部静止側鋼 (S 45 C) の組合わせに対する 摩耗特性および限界 μv 値を求めた。また、動摩擦係数は上部静止側鋼、下部運動側プラスチックおよび上部プラスチック、下部プラスチックの組合わせに対して求めた。なお、試験片の摩擦面は 800 番のカーボラダムペー

Table II. Test condition.

Sliding speed (cm/s)	36,	71,	118,	154
Sliding distance (m)	70,	100,	300,	600
Contact pressure (kg/cm ²)	0.7,	1.0,	2.8,	3.1
	4.2,	4.9,	5.5,	6.2

パ仕上げを行なった。

3 実験結果

3・1 動摩擦係数について

充てん材入りポリアセタールの動摩擦係数について示すと Fig. 2 となる。すなわち充てん材を充てんすることによりプラスチックどうしの摩擦係数は母材だけのものより小さくなる傾向がみられる。なかでも PTFE を充てんした場合が効果的であり、母材だけのものの $1/3 \sim 4/5$ となる。

Fig. 2. Coefficient of friction of carbon fibre and PTFE filled polyacetal.

3・2 摩耗特性について

3・2・1 摩擦距離の影響 摩擦速度 36 cm/s に対するポリアセタールおよび 118 cm/s に対するカーボン繊維入りポリアセタールの摩擦量と摩擦距離との関係を示すと Fig. 3 および Fig. 4 となる。すなわち、いずれの摩擦速度においても摩擦量は摩擦距離 100m 付近まではそれ以上の摩擦距離におけるものより大きく

Fig. 3. Effect of sliding distance on the wear of polyacetal under various pressure p .

Fig. 4. Effect of sliding distance on the wear of carbon fibre filled polyacetal under various pressure p .

Fig. 5. Melting surface of polyacetal.

Fig. 6. X-ray diffraction patterns of frictional surface.

いわゆる初期摩耗と定常摩耗状態がみられる。摩擦速度 36 cm/s のとき面間圧力 4.9 kg/cm²、摩擦距離 600 m でポリアセタールは溶融する。また、摩擦速度 118 cm/s のとき面間圧力 1.8 kg/cm²、摩擦距離 200 m でカーボン繊維入りポリアセタールは溶融する。樹脂の溶融状態の発生は摩擦速度 36 cm/s の低速の場合は摩擦距離の進行とともに徐々に溶融し、Fig. 5 (a)に示すような摩擦面を示すが速度が 118 cm/s になると摩擦距離 70 m から摩耗量は急激に増大し、急激に溶融し、溶融樹脂がFig. 5 (b)に示すように摩擦面外に流出する。

また、初期摩耗、定常摩耗状態および溶融状態のと

きの摩擦面の状態をX線回折で観察したのがFig. 6 (a), (b)である。すなわち、初期摩耗および定常摩耗状態における摩擦面のX線回折写真Fig. 6 (a)は変化なく、摩擦面は分子鎖の並列的な構造変化を生じていないと考えられる。溶融状態となると摩擦面の分子鎖が摩擦方向に並んで、構造的変化を生じたことを示している。⁹⁾¹⁰⁾ 初期摩耗から定常摩耗状態に移る原因は既報で摩耗粉の摩擦面への蓄積であろうと報告したがこのことを立証するものと思われる。

3・2・2 面間圧力の影響 一例として、カーボン繊維および PTFE 入り ポリアセタールの摩耗量と面間圧力との関係を示すと Fig. 7 および Fig. 8 となる。すなわち摩耗量は面間圧力にほぼ比例して増加し、面間圧力 1~7 kg/cm² 付近から摩耗量が急激に増加し溶融する。

Fig. 7. Effect of pressure on the wear of carbon fibre filled polyacetal under various sliding speed v .

Fig. 8. Effect of pressure on the wear of PTFE filled polyacetal under various sliding speed v .

樹脂が溶融したときの面間圧力 p と摩擦速度 v との積を限界 pv 値とする。

3・2・3 摩擦速度の影響 カーボン繊維の長さ 3 mm および 5 mm に対する摩耗量と摩擦速度との関係を示すと Fig. 9 および Fig. 10 となる。

布入フェノール、ポリカーボネート、PPO などの樹脂は¹¹⁾摩擦速度 30~41 cm/s 付近で摩耗量が最大となる。²⁾ ジュラコンの摩耗量は摩擦速度 20 cm/s 付近

Fig. 9. Effect of sliding speed on the wear under various contents of carbon fibre.

Fig. 10. Effect of sliding speed on the wear under various contents of carbon fibre.

で最大となり、それ以上の速度になると摩耗量が減少し、速度 54 cm/s 付近でふたたび摩耗量が增大することが報告されている。本実験におけるカーボン繊維および PTFE 入りポリアセタールの摩耗量は摩擦速度 70 cm/s または 120 cm/s 付近から増大する傾向がある。これは高野らの報告にもみられるように、摩擦速度が大きくなるにしたがい摩擦熱の発生が大きくなり、試験片の摩擦面は塑性変形し、摩擦面の真実接触面積が大きくなり、摩耗量が増大するものと考えられる。

3・2・4 充てん材の長さ、充てん量の影響 一例として、摩擦速度 36, 118 cm/s に対する摩耗量と充てん材の長さ、充てん量との関係を示すと Fig. 11 および Fig. 12 となる。Fig. 11 は摩擦速度 36 cm/s について示したものである。すなわち PTFE をポリアセタールに 5～25% 充てんすることにより摩耗量は母材だけのものより耐摩耗性が $1/2 \sim 2/3$ 向上する。しかし、カーボン繊維の充てん効果はみられない。Fig. 12 は速度 118 cm/s について示したものである。すなわち PTFE およびカーボン繊維を充てんしても耐摩耗性を向上させる効果は少ない。また、摩擦速度 154 cm/s においても同様な傾向がみられた。これは摩擦速度が増加するにしたがい摩擦面でミクロ的な溶融を

Fig. 11. Effect of carbon fibre and PTFE on the wear of polyacetal.

Fig. 12. Effect of carbon fibre and PTFE on the wear of polyacetal.

生じ、ポリアセタールの自己潤滑性がさらに向上するのであろう。

3・2・5 比摩耗量について 摩耗量は摩擦距離、荷重にほぼ正比例して増加することから、単位摩擦距離 (km)、単位荷重 (kg) 当たりの摩耗量 (mm^3) を意味する比摩耗量 (mm^3/km , kg) で摩耗特性を表わし、定常摩耗状態における比摩耗量を示したのが Table

 Table III. Specific wear volume (mm^3/km , kg).

Resin	Filler			Specific wear volume ($\text{mm}^3/\text{km} \cdot \text{kg}$)	Sliding speed (cm/s)
	Kind	Length (mm)	Content wt(%)		
Polyacetal	Carbon fibre	1	0	0.78	36
			5	1.21	
			10	1.23	
			25	0.97	
		3	5	1.12	
			10	1.39	
			25	1.16	
		5	5	1.18	
			10	0.83	
			25	0.93	
	PTFE	Powder	5	0.21	
			15	0.20	
			25	0.32	

III である。すなわち、充てん材入りポリアセタールの比摩擦量は0.2~1.39の範囲である。中でも PTFE 充てんのものが最も小さい値を示す。

3・3 限界 pv 値について

カーボン繊維および PTFE 入りポリアセタールが溶融したときの面間圧力 p と摩擦速度 v との関係を示すと Fig. 13 および Fig. 14 となる。すなわち、カーボン繊維入りポリアセタールの pv 値はポリアセター

Fig. 13. p - v curve for polyacetal filled with various contents of carbon fibre.

Fig. 14. p - v curve for polyacetal filled with various contents of PTFE.

Fig. 15. The value of limiting pv of carbon fibre and PTFE filled polyacetal.

ルだけのものより 1.1~1.6 倍ほど高くなり、PTFE 入りポリアセタールでは1.2~2.2倍ほど高くなる。また、限界 pv 値の平均で各種充てん材入りポリアセタールについて示したのが Fig. 15 である。すなわち、カーボン繊維が長く、充てん量が増加するにしたがい pv 値は高くなる傾向がある。また PTFE を充てんすると、充てん量が増加するにしたがい pv 値は高くなる。三宅らはカーボン繊維を5~30%ポリアセタール(ジュラコン)に充てんすることにより、 pv 値はポリアセタールだけのものより1.5~2.6倍向上することを報告しているが、本実験結果はそれよりわずかに小さいがほぼ同じ値を示した。

4 結 論

カーボン繊維の長さ 1, 3, 5 mm, 充てん量 5, 10, 25%および PTFE の充てん量 5, 10, 25%の割合で充てんしたポリアセタールの連続すべり摩擦試験の結果、次の結論が得られた。

(1) カーボン繊維の長さ 1, 5 mm で充てん量 5, 10, 25%および PTFE の充てん量 5, 10, 25%入りポリアセタールどうしの動摩擦係数はポリアセタールだけのものより小さくなる。中でも PTFE を充てんした場合が効果的であり、ポリアセタールだけのものの1/3~4/5となる。

(2) 低摩擦速度 36 cm/s においては PTFE を充てんすることにより耐摩耗性を向上する効果が見られ、ポリアセタールだけのものの摩擦量の1/2~2/3となる。摩擦速度 71, 118, 154 cm/s の比較的高速の場合およびカーボン繊維を充てんしても耐摩耗性を向上させる効果は見られなかった。

(3) カーボン繊維、PTFEを充てんすることにより限界 pv 値は高められ、充てん量が増加するにしたがい、また、カーボン繊維の長さが長くなるにしたがい限界 pv 値は高くなる傾向がある。すなわち、カーボン繊維入りポリアセタールの限界 pv 値はポリアセタールだけのものの1.1~1.6倍、PTFE入りポリアセタールで1.2~2.2倍でカーボン繊維より効果は大きい。

本研究は昭和46年5月材料学会第20期総会で講演発表したもので、ポリアセタールを提供されたポリプラスチックKK、カーボン繊維を提供された日本化薬KK、PTFE粉末を提供された日本バルカー工業KKに謝意を表す。

(昭和46年5月22日 日本材料学会第20期総会学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 山口章三郎, 関口 勇, 民部田薫, 望月俊郎, 工学院大学研究報告, No. 28, 21 (1970).
- 高野菊雄, 小西敏夫, プラスチック, 20, No. 3, 37 (1969).

- 3) 片山祐三, 三宅正二郎ほか, 第14回材料研究連合会講演会前刷, 43 (1970).
- 4) 山口章三郎, 関口 勇, 水流健一, 工学院大学研究報告, No. 29, 58 (1971).
- 5) 山口章三郎, 関口 勇, 松田定信, 日本機械学会講演論文集, No. 700-1, 173 (1970).
- 6) 山口章三郎, 関口 勇, 近藤照夫, 酒井 尚, 工学院大学研究報告, No. 30, 59 (1971).
- 7) 山口章三郎, 河合鱗次郎, 後藤弘太郎, 長島 忠, 合成樹脂, 17, No. 6, 37 (1971).
- 8) 山口章三郎, 関口 勇, 小沢正昭, 岡 和夫, 長瀬 巧, 合成樹脂, 17, No. 9, 49 (1971).
- 9) 山口章三郎, 関口 勇, 11, 485 (1966).
- 10) 山口章三郎, 関口 勇, 石井英世, 西川竜雄, 潤滑, 14, 154 (1969).
- 11) 山口章三郎, 関口 勇, 上田 稔, 村井駿二, 工学院大学研究報告, No. 25, 24 (1968).

書 評

弾 性 ・ 非 弾 性

比 企 能 夫 著

(265ページ, 1900円, 1972年, 共立出版)

著者が序文で述べているように, 物質が弾性を示すことは古くから知られており, いわゆる弾性論は物体を力学的に扱ううえでの基礎として広い応用面をもっている. これに対して物質, とくに結晶体の弾性的性質の研究を物性物理学的に詳細に取り扱われるようになったのはそれ程古いことではない. また物質は弾性限内であってもときに理想的な弾性からのずれを示し, そのような性質は一般に非弾性と呼ばれる. 本書はこれら物質の性質のうち, 非弾性の一つである塑性的性質を除く弾性, 高次弾性, 非弾性について, 簡潔な記述で解説している.

まず結晶体に適用することを念頭において, ひずみの適合条件, 力の平衡条件, 応力とひずみの関係, 運動とエネルギー方程式などの弾性論の基礎を, 一般的な記述でもって論じている. さらにこれらの各項目は, 結晶格子の非調和的性質を連続体近似で扱うのに便利な高次弾性論の立場からも記述されている. 次に結晶体の弾性の特質を代表する弾性定数をとりあげ, これに及ぼす温度, 応力, 電気的, 磁気的条件, 合金元素, 格子欠陥などの諸因子の効果を概説している. また弾性定数の物理的意味を説明するために, 弾性定数の理論を非常に詳しく論じている.

非弾性現象に関しては, 粘弾性を静的ヒステリシスに分けてそれらの形式的取扱いを行なうとともに, 各種の厚因による結晶の非弾性の例を, 擬弾性型, 粘弾性型, 共鳴型, 静的ヒステリシス型に別けて解説している.

いわゆる弾性論や, 非弾性のうちでも塑性に関する著書は多いが, この著書のように物質の弾性と非弾性を形式的取扱いのみならず, 厚子間力に着目する物性物理学的取扱いにいたる広い範囲にわたってまとめられたものは内外に例をみない. とくに結晶の弾性, 非弾性の物性論に関しては詳細に解説されており, 参考になる点が多いと考えられる.

(京都大学工学部 林 紘三郎)