

玉軸受用繊維強化 PA66 射出成形樹脂保持器の組込み挿入力評価と軸受回転試験評価

Evaluation of Insert Force and Bearing Rotation Test of The Fiber-reinforced PA66 Injection Molded Resin Cage for Rolling Bearings

富山県立大・工（正）*宮島 敏郎 富山県立大・工（非）武村 隼 富山県立大・院（学）小林 香捺斗

（株）テー・シー・富山（正）齋藤 重正 （株）テー・シー・富山（非）舟戸 保典

Toshiro Miyajima*, Syun Takemura*, Kanato Kobayashi*, Shigemasa Saito, Yasunori Funato

*Toyama Prefectural University, **T・C・Toyama Co., Ltd.

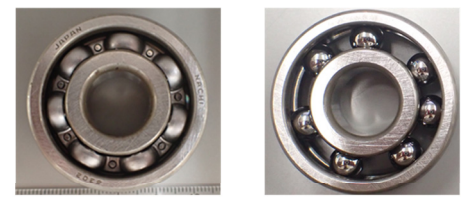
1. はじめに

軸受の構成部品である樹脂製保持器は、金属製保持器に比べて軽量で自己潤滑性や耐薬品性に優れることから、各種軸受に使用されている。この樹脂保持器を射出成形で作製する場合、様々な樹脂材料・メーカーの違いや、射出成形時の金型・成形温度・樹脂流動性の影響¹⁾などにより、強化繊維の配向状態や、表面性状に違いが生じる可能性がある。そのため、より高精度で高速回転対応可能な射出成形樹脂保持器を製作するためには、各種材料で製作された樹脂保持器の様々な特性を評価することが重要と考え、研究を進めている^{2), 3)}。

本研究では、小型射出成形機を用いて、各種炭素繊維含有量の樹脂保持器を作製するとともに、その樹脂保持器を用いて、玉軸受に保持器を組み込む際の力の測定と、玉軸受の高速回転時の摩擦力と温度上昇変化の測定を行った。これらの結果から、玉軸受用繊維強化 PA66 射出成形樹脂保持器の炭素繊維含有量によるトライボロジー特性への影響について評価した結果を述べる。

2. 試験用玉軸受について

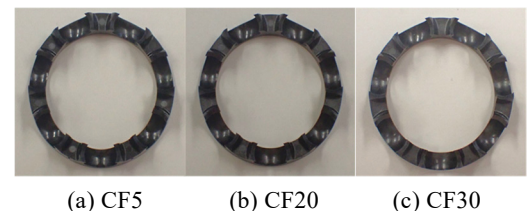
試験には、市販の深溝玉軸受 6302（外径 42 mm，内径 25 mm）を用いた。その外観写真を Fig. 1 (a) に示す。この深溝玉軸受は、7 個のリベットで締結された金属保持器が付いている。そこで、まず、このリベット部分を精密卓上ドリルで取り除き、金属保持器を外した（Fig. 1 (b) 参照）。その後、油を用いた洗浄と、圧縮空気での切削くずの吹き飛ばしを繰り返し、玉軸受内にある微小な切削くずを丁寧に除去して試験に用いた。



(a) With metal cage (b) Without metal cage
Fig. 1 Photographs of the ball bearing 6302

3. 供試材料

炭素繊維強化樹脂保持器は、企業から借用した小型射出成形機で成形した。成形した保持器（外径 33 mm，内径 25.5 mm）の外観写真の一部を Fig. 2 に示す。保持器は冠型で、ポリアミド PA 66 系樹脂に、炭素繊維（CF）含有量（重量%），5%，10%，15%，20%，25%，30% となるように成形した（以下，CF5，CF10 などと表記）。また，PA は吸湿等による機械的特性変化を有するため，蒸気による吸湿処理を 3 時間した後に，約 24 時間乾燥して，試験に使用した。



(a) CF5 (b) CF20 (c) CF30
Fig. 2 Photographs of the specimen of CF cages

4. 試験機および試験方法

4.1 保持器組込み挿入力評価試験機および試験方法

冠型保持器の場合、爪部分の強さが重要になる。そこで、爪部分の強さを評価するために、研究室独自仕様の保持器組込み挿入力評価試験機で、玉軸受に保持器を組み込む際の挿入力と変位の測定を行った。装置の概略図を Fig. 3 に示す。組込む際に発生する力は、ハンドプレス下部先端に装着された電荷出力型圧電式荷重センサを用いて測定した。また、組込みによる位置変位はハンドプレス上部先端に装着された接触式変位計で測定した。

組込み挿入力評価方法は以下のとおりである。ステージ台に置いた玉軸受の上に保持器を載せ、その上にアルミ平板を載せる。ハンドプレスのレバーを下ろすことで、ハンドプレス下部先端部分がアルミ平板に接触され、さらに押込むことで、保持器が玉軸受に組込まれる。このときの押し込んだ際の力とレバーの変位量をデータロガー経由で PC に取り込んだ。この時のサンプリング周波数は 1 ms とした。

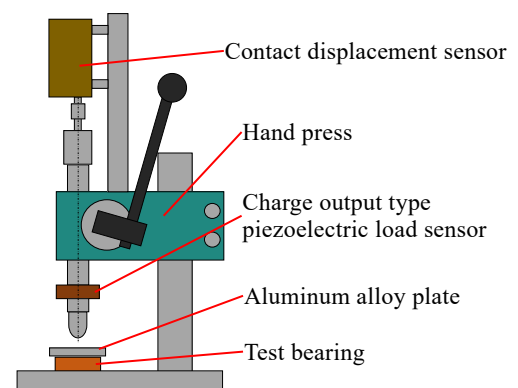


Fig. 3 Schematic view of the testing machine to measure insertion force of cage

4.2 高速玉軸受回転試験機および試験方法

高速玉軸受回転試験は、研究室で製作した試験機を用いた。装置の概略図を Fig. 4 に示す。回転軸には、オイルタンクで囲まれた支持軸受を設け、その右先端部に、セットカラーを組み込んだ試験玉軸受を取り付けた。試験玉軸受には、負荷荷重をかけずに、セットカラーの自重のみかかるようにした。セットカラーには、玉軸受を固定するボルトを設け、このボルトにナットを挿入して、ロードセルに取り付けたマグネット付ボルトに接触させた。摩擦力は、回転で作用する力をこのロードセルで検出して評価した。また、セットカラーに取り付けた熱電対によって、回転試験時の温度変化も同時計測した。

試験手順は次のとおりである。試験前に、保持器を組み込んだ玉軸受を油で一定時間浸した。次に、回転速度 1000 min^{-1} で開始させ、1 分間待機する。その後、5 秒ごとに 100 min^{-1} 上昇させて 2000 min^{-1} に達したら 1 分待機する。これを目的の回転数に達するまで繰り返す。目的の最高回転数が 10000 min^{-1} の場合、最高回転数到達から 6 時間の間、 15000 min^{-1} と 20000 min^{-1} の場合、最高回転数到達から 3 時間の間、ロードセルにかかる力（摩擦力に相当）を測定した。なお、サンプリング時間は 200 ms とした。

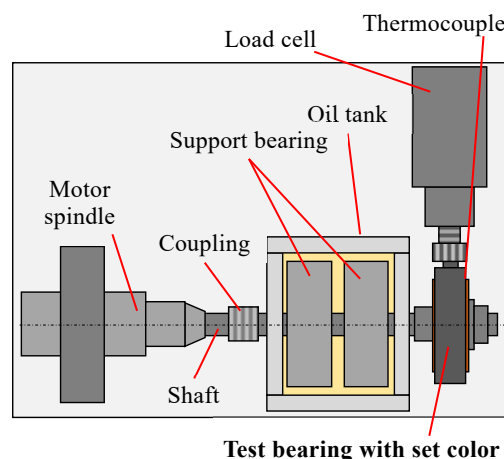


Fig. 4 Schematic view of the high-speed ball bearing rotation tester

5. 試験結果および考察

5.1 組み込み力測定試験

押込みによる変位と力の関係を Fig. 5 に示す。すべての保持器で、2 つの荷重ピークが見られた。そこで、保持器と転動体との最初の荷重ピークに着目し、図中の $x=0.2\sim0.4$ (一点鎖線内) の直線の傾きを最小二乗法によって求め、その傾きを保持器の荷重/変位 (以下、ばね定数) として評価した。各保持器のばね定数を Fig. 6 に示す。ばね定数は、CF 含有量の増加にほぼ比例して高くなることがわかった。

5.2 高速玉軸受回転試験

最高回転数に到達してから試験終了までの摩擦力の平均値と CF 含有量の関係を Fig. 7 に示す。最高回転数 10000 min^{-1} の場合、CF5 では最も摩擦力が小さく、CF 含有量が増加するにつれ、上昇する傾向となった。一方、最高回転数 15000 min^{-1} の場合、摩擦力は、CF5 と CF10 では高く、CF15, CF20, CF25 になると低くなった。しかし、CF30 では再び高くなった。さらに、最高回転数 20000 min^{-1} の場合、 15000 min^{-1} の場合と同様に、摩擦力が CF20 で最も低くなった。

回転試験時の平均温度と CF 含有量の関係を Fig. 8 に示す。最高回転数 10000 min^{-1} の場合、CF 含有量の増加に伴い、温度が少し上昇する傾向にある。一方、 15000 min^{-1} や 20000 min^{-1} の場合、すべての CF 含有量で 10000 min^{-1} よりも温度が高くなった。その中で、CF20 のみ温度が低くなった。

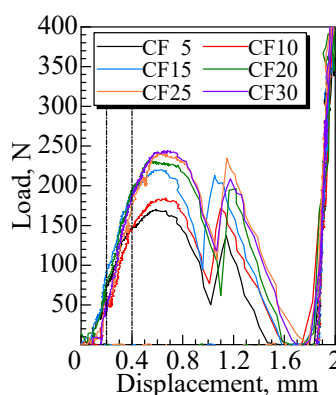


Fig. 5 Relationships between load and displacement

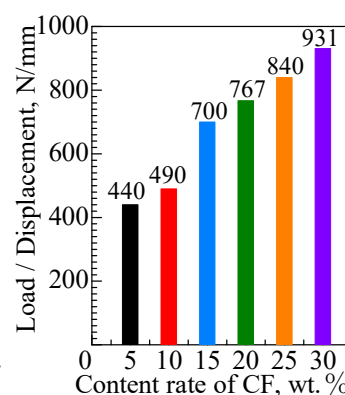


Fig. 6 Variation of load / displacement as a function of content rate of CF

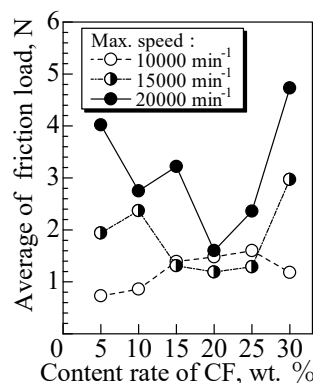


Fig. 7 Relationships between average of friction load and content rate of CF

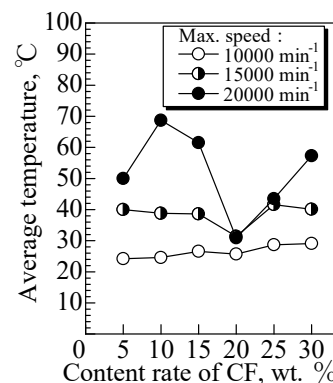


Fig. 8 Relationships between average temperature and content rate of CF

6. おわりに

高速回転で玉軸受を使用する場合、射出成形樹脂保持器のばね定数（強さ）を高くすることに重点を置いて炭素繊維含有量を多くしがちであるが、炭素繊維含有量を多くしすぎると、摩擦力や摩擦温度上昇につながることを、本研究で明らかにした。今後は、その要因考察や、ガラス繊維、セルロースナノファイバー (CNF) と比較を進めていく。

文献

- 1) 有方：射出成型加工の不良対策，日刊工業新聞社 (2003)
- 2) 川野・宮島ほか：微粒子を用いた MSE 法による繊維強化樹脂保持器の強さ評価 — 強化繊維の破砕・脱落の影響 —，トライボロジー会議 2022 秋 福井，(2022) D6
- 3) 宮崎・宮島ほか：大粒子を用いた MSE 法による樹脂保持器の耐衝撃性評価 — 損傷形態の明確化 —，トライボロジー会議 2022 秋 福井，(2022) D5