

転がり軸受におけるセラミックの利用と電食対策

Examples of electrolytic corrosion countermeasures for rolling bearings using ceramics

関東学院大・理工（正）*堀田 智哉

Tomoya Hotta*

*Kanto Gakuin University

1. はじめに

転がり軸受は、自動車をはじめとするさまざまな機械の回転部に使用されている。転がり軸受に要求される性能は、組み込まれる機械によって異なり、静音性、高速性、耐薬品性など多岐にわたる。これらの性能は、主に軸受の形状や構造を工夫することで向上されるが、時には材質を変えて性能向上をはかることもある。

一般的な転がり軸受の材質は、高炭素クロム軸受鋼が使用されているが、これは、この鋼材が耐摩耗性に優れ、コストパフォーマンスが高いためである。水環境などで、さびなどが懸念される場合には、SUS440などのステンレス鋼が用いられている。また近年では、エンジニアリングセラミック（以下、セラミック）を使用した転がり軸受も登場した。このセラミックは金属に比べて軽量かつ高硬度であり、また、絶縁性に優れることから、転がり軸受の高速化や耐電食性向上が期待されている。

本講演では、セラミックの転がり軸受への適応事例とその効果について、電食対策を中心に概観する。

2. 転がり軸受に使用されるセラミック

Table 1 に転がり軸受で主に使用されているセラミックを示す³⁾。これらのセラミックは、非酸化物系セラミック（窒化ケイ素、炭化ケイ素）と酸化物系セラミック（アルミナ、ジルコニア）の2種類に分けることができる。

非酸化物系セラミックは、炭素や窒素など酸素以外の元素が化学結合したセラミックで、耐摩耗性、耐食性、強度などに優れており、早くから転がり軸受に利用してきた。なかでも、HIP 处理された窒化ケイ素 (Si_3N_4) は、セラミック転がり軸受の標準材料とされている。HIP (Hot Isostatic Pressing, 熱間静水圧加圧焼結) 处理とは、高温・高圧のガス中にて処理材料を加圧加工する技術で、これを施したセラミック軸受は、疲労寿命が向上する。

一方で、酸化物系セラミックは、成型方法の自由度があり、また、大気中で焼結できるため、製造コストが安く、非酸化物系セラミックに比べて安価であることが多い。

3. セラミックを用いた軸受の電食対策

電食の対策としては、軸受の電気抵抗を小さくすることにより、放電が起きる前に通電させる方法と、軸受の電気抵抗を大きくすることにより、通電できなくなる方法の2つの考え方がある。通電させる方法として、導電性グリースの使用、導電シールの使用、摺動ブラシの使用などがある。

導電性グリースは、カーボンブラックをグリースに添加したものである。このグリースは、カーボンブラックの含有率が増加すると体積抵抗率が下がるが、せん断を受けることにより、導電性が低下していく¹⁾。油膜が厚すぎる場合には、せん断によって、導電構造が破壊され、導電性が失われる。逆に油膜が薄すぎる場合には、摩耗の進行によって、摺動表面に酸化膜が形成されることで、導電性が失われる²⁾。したがって、優れた導電性を維持するためには、油膜パラメータを適切に管理する必要がある。

導電シールは、軸受シールに導電性ゴムを用いることで、外輪と内輪のバイパスを形成し、軸受内部に電流が流れないようにする方法である。また、摺動ブラシは、カーボンブラシなどによって、回転軸とハウジングを短絡させ、電位差をなくすことで、電食を防止する方法である。基本的な原理は、どちらも外輪と内輪あるいは回転軸とのバイパスを形成させるものであり、すべり摩擦が発生するため、高速化には適さない。

通電させない方法として、絶縁軸受と呼ばれる、軸受の一部、あるいはすべてを絶縁性の樹脂もしくはセラミック

Table 1 Mechanical property of ceramics³⁾

	Hardness, HV	density, g/cm ³	Young's modulus, GPa	Fracture toughness, MPa · m ^{1/2}	Coefficient of linear expansion, ×10 ⁻⁶ /K	Corrosion resistance	Magnetism	Electrical conductivity
100Cr6	750	7.8	208	15~20	12.5	×	Magnetic	Conductive
Si_3N_4	1500	3.2	320	5~7	3.2	○	Non-magnetic	Insulating
Al_2O_3	1600	4.0	380	4~5	7.5	○	Non-magnetic	Insulating
ZrO_2	1200	6.0	220	4~8	10.5	○	Non-magnetic	Insulating
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$	1400	5.5	260	6~7	9.2	○	Non-magnetic	Insulating
SiC	2200	3.1	500	3~5	3.9	○	Non-magnetic	Insulating

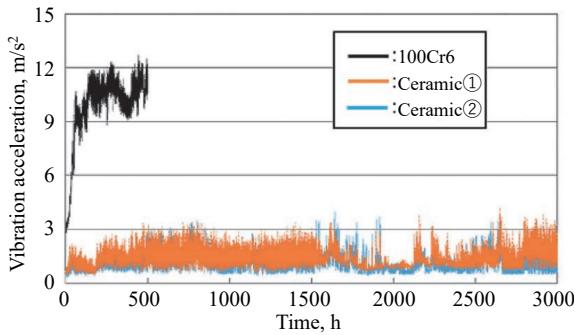


Fig. 1 Relationship between test time and vibration acceleration in electrical pitting test
(608, $F_r=30$ N, 1800 min $^{-1}$, DC 5.0 V, 0.1 A)⁴⁾

で構成したものを使用する。内輪、外輪および転動体のすべてにセラミックを使用した、総セラミック軸受あるいは一部のみにセラミックを使用した、ハイブリッド軸受が存在する。

また、軸受の外側面に樹脂やセラミックなどの絶縁層を付与することがある⁹⁾。エポキシ樹脂、フッ素樹脂、ポリアミド樹脂などの樹脂は、吹き付け、静電塗装、流動浸漬、射出成型などの方法により、層状に形成される。酸化アルミニウムや炭化ケイ素、ジルコニアなどのセラミックは、プラズマ溶射によって塗布する。

4. セラミック球を用いた軸受の優位性

4.1 耐電食効果

Figure 1 に電食耐久試験の結果の例を示す。横軸が試験時間、縦軸が振動加速度である。鋼球を用いた軸受の場合では、20 時間程度で振動が上昇している。一方で、セラミック球を用いた軸受の場合では、試験が打ち切られる 3000 時間まで、振動上昇することなく回転している。

4.2 グリース酸化劣化抑制効果

Figure 2 に酸化防止剤だけを添加したグリースを封入して、一定時間回転させた後、酸化防止剤の残存量をガスクロマトグラフィーで測定した結果を示す。鋼球よりもセラミック球を用いた軸受の方が、酸化防止剤が多く残っている。酸化防止剤の残存量が多いことは、酸化の進行が遅いことを意味している。セラミック球を転動体に用いることによって、グリースの寿命を延ばすことが可能であると考えられる。

4.3 低トルク・低発熱効果

Figure 3 に運転時の回転トルクと外輪温度を示す。セラミック球を用いた軸受は、鋼球を用いた軸受に比べ、低トルクかつ低発熱である。

5. おわりに

軸受の電食対策として、さまざまな方法があるが、セラミックを利用した絶縁軸受が有効である。その中で、セラミック球を用いたハイブリッド軸受は、電食対策のみならず、グリース酸化抑制や低トルク、低発熱なども期待ができる。

文献

- 1) 用田・中村：導電性グリースの最新動向、トライボロジスト, 61, 6(2016)355.
- 2) 傳寶ほか：事務機軸受用導電性グリースの研究、NSK Technical Journal, 683(2009)42.
- 3) 株式会社ジェイテクト：セラミック軸受、CAT. NO. B1013 などから抜粋。
- 4) 野口・堀田・美佐田・松山：軽荷重用途を目的としたジルコニアボールを組み込んだ小型玉軸受の性能評価、トライボロジスト, 63, 1(2018)43.
- 5) 野口・堀田・藤井：セラミック球を用いた玉軸受の優位性評価（内部摩耗とグリース酸化劣化）、52, 4(2017)241.
- 6) 西川ほか：鉄道車両用軸受の開発への取組み、NTN TECHNICAL REVIEW, No.88, 21.

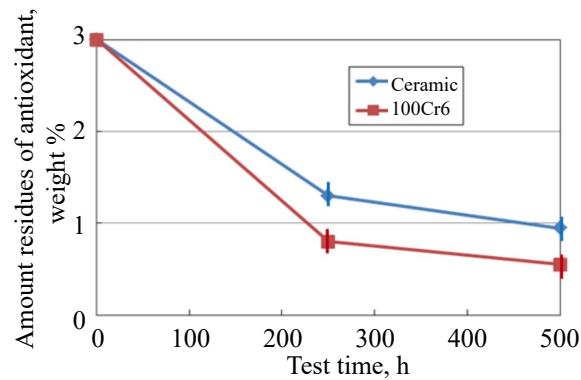
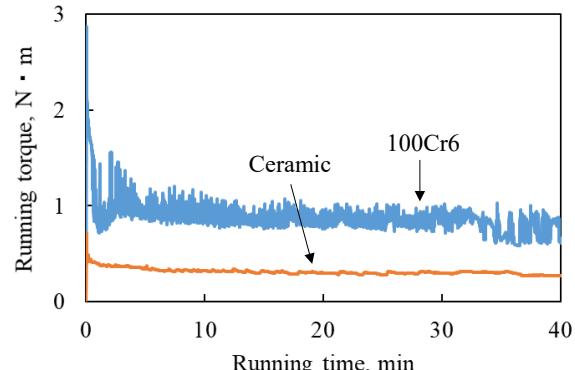
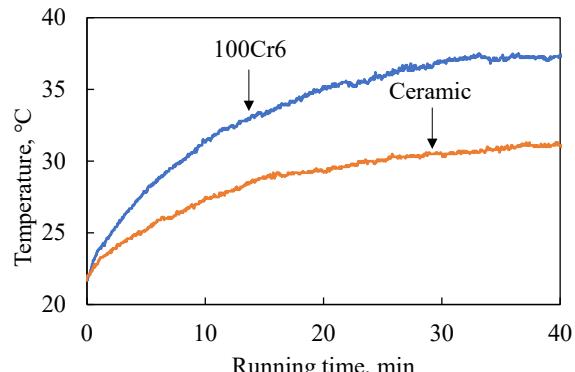


Fig. 2 The residues of the antioxidant in the grease
(608, 7000 min $^{-1}$)⁵⁾



(a) Running torque



(b) Outer ring temperature

Fig. 3 Comparison between ceramic balls and steel balls
(6201, $F_r=150$ N, 5400 min $^{-1}$, VG46 0.2ml)