

電食防止を目的とした軸受外輪へのエアロゾルデポジション法によるセラミック膜付与 Development of Insulated Ball Bearing with Ceramic Films by Aerosol Deposition Method

関東学院大学・理工（正）*堀田 智哉

Tomoya Hotta*

*Kanto Gakuin University

1. はじめに

電気自動車が急速に普及する中、転がり軸受の電食への対策が強く求められるようになってきている。転がり軸受における電食とは、迷走電流腐食のことであり、インバータ駆動時の静電誘導や、回転子を取巻く高周波磁束など、なんらかの要因により、外輪と内輪（ハウジングと軸）に電位差が生じるために発生する。軸受内部の油膜を絶縁破壊できる程度に軸（内輪）とハウジング（外輪）との電位差が大きければ、スパークが生じ、軌道表面が局部的に熔融することで、小さなクレータ状のピット（穴）が形成される（Fig. 1）。この局部的に熔融した状態を電食と呼び、この電食が進行すると、Fig. 2 に示すような縞模様状のリッジマークが形成される。野口らの研究¹⁾によれば、1.3~1.5 V の電位差でも軸受内部に通電し、0.04 A/mm² 程度の小さな電流密度であっても電食が発生するとされている。

この電食への対策として、さまざまな対策が取られているが、軸受の一部、あるいはすべてをセラミックで構成することで、軸受に絶縁性を持たせる方法が最も有効である。中でも、セラミックボールを用いる方法や、酸化アルミニウムや炭化ケイ素、ジルコニアなどをプラズマ溶射することで、外輪にセラミック膜を形成する方法が一般的である。

しかし、セラミックボールはコストが高く、また、セラミック溶射は基材（外輪）に焼き戻しや熱変形が生じることや、溶射後に研削加工を必要とするなどの欠点が存在する。

鉄鋼系の基材にセラミック被膜を形成する方法として、セラミック溶射のほかに、エアロゾルデポジション法（以下、AD 法）と呼ばれる方法がある。この AD 法は、セラミック溶射とは異なり、常温で被膜を形成することができるため、焼き戻しの発生や変形を抑えることができ、追加工を省くことが可能である。

そこで本研究では、この AD 法を用いて転がり軸受外輪にセラミック被膜を付けた絶縁軸受を開発し、その耐電食性能を明らかにした。

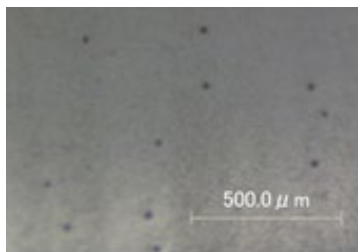


Fig. 1 Electrolytic Corrosion on Raceway Surface

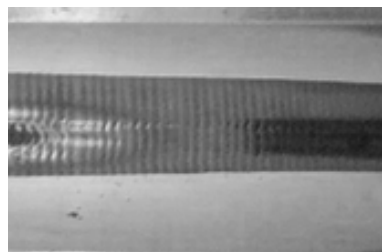


Fig. 2 Ridge Mark

2. エアロゾルデポジション法

AD 法は乾燥した粒径 0.08~2 μm 程度のセラミック焼結粉末を固体状態のままガスで搬送し、数百 m/s の高速で噴射して基材に衝突させることで、セラミックの膜を形成させる手法である。セラミック溶射とは異なり、セラミックを熔融あるいは半熔融状態にする必要はなく、また、基材の加熱を行わずに、基材表面に高密度かつ高強度にセラミックを密着させることが可能である。

3. 実験方法

本研究では、転がり軸受の耐電食性能を確認するために、Fig. 3 に示す電食耐久試験装置を用いた。本装置は 深溝玉軸受 6204 (SUJ2, 冠型樹脂保持器, 両側非接触シール, マルテンプ SRL を封入) を試験軸受とし、ハウジングおよび軸にスイッチング電源により電位差を与える。セラミックボール軸受とベークライトとを用いることで、試験軸受以外へ電流が流れない構造である。また、モータと回転軸とは樹脂製のカップリングで接続され、内輪を回転させる。運転条件は、内輪回転速度 2700 min⁻¹, アキシアル荷重 50 N とした。また、初期電圧 24 V, 最大電流 0.1 A を試験軸受に与えながら、1000 時間運転させた。測定項目は、試験軸受の振動加速度および軸-ハウジング間の電圧である。なお、最大振動加速度 15 m/s² で停止するように設定した。

本研究では、通常の軸受と AD 法を用いて外輪にセラミック被膜を施した軸受に対し、電圧を印加した状態で運転を行った。セラミック被膜は、Fig. 4 に示す外輪の外側面および端面であり、膜厚は 5 μm とした。なお、セラミック被膜の膜材は、酸化アルミニウムである。

4. 実験結果

Figure 5 に試験軸受に印加されていた電圧の時間的変化を示す。被膜を施していない軸受は電圧が 5 V 以下で推移しており、絶縁されていないことが確認できる。一方、AD 法により被膜を施した軸受は、常に 24 V の電圧が印加されており、軸受がセラミック被膜により絶縁されている。

Figure 6 に試験軸受の振動加速度の時間的変化を示す。被膜を施していない軸受では、運転直後から振動加速度が増加した。また、振動加速度 15 m/s^2 に達したため、停止した軸受もあった。一方、被膜を施した軸受は、被膜を施さなかった軸受に比べて振動加速度の上昇量が小さい。

Figure 7 に試験後の転動体を示す。また、Figure 8 に試験後の外輪の軌道面を示す。被膜を施さなかった軸受では転動体は黒く変色し、外輪の軌道面にはリッジマークが形成された。一方、被膜を施した軸受では電食は確認できず、被膜の付与によって電食が抑制されることが示された。

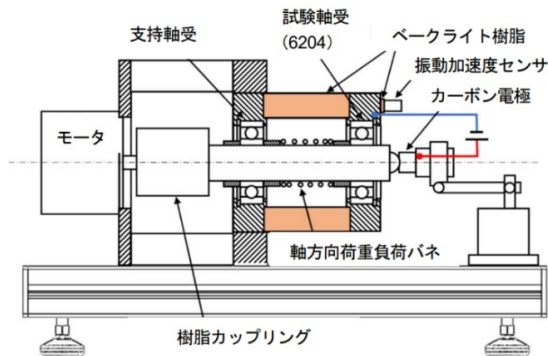


Fig. 3 Experimental Device

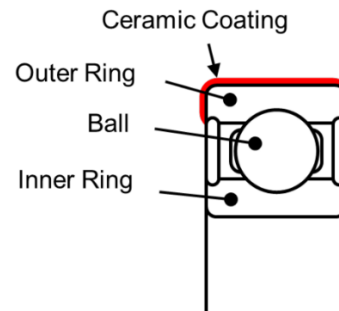


Fig. 4 Coated Area

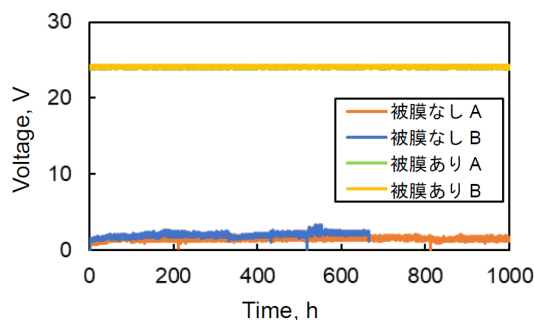


Fig. 5 Time Variation of the Voltage Applied to the Bearing

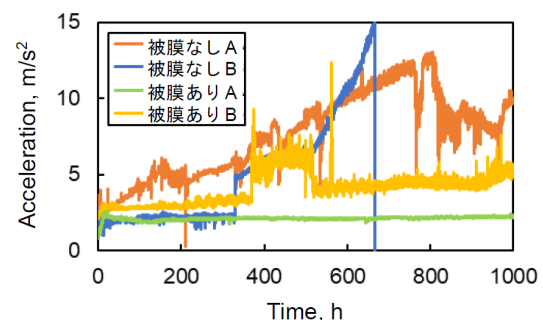
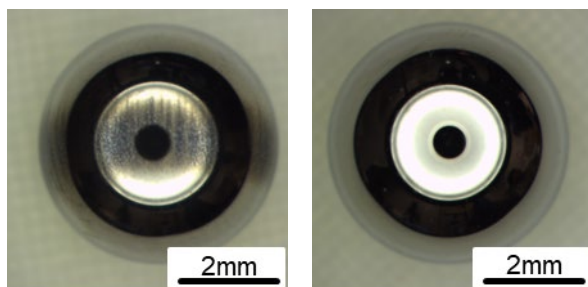
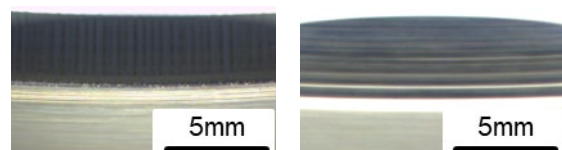


Fig. 6 Time Variation of Bearing Vibration Acceleration



(a) Non Coated (b) Coated
Fig. 7 Rolling Element (After 1000 hours)



(a) Non Coated (b) Coated
Fig. 8 Outer Ring (After 1000 hours)

5. おわりに

研究では、深溝玉軸受 6204 の外輪の外側面および端面に AD 法を用いて、膜厚 $5 \mu\text{m}$ の酸化アルミニウム被膜を施し、電食耐久試験をおこなった。試験機の電圧は 24 V、最大電流は 0.1 A として 1000 時間運転させた。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・被膜を施した軸受では 24 V の電圧を印加して 1000 時間運転しても電食が発生しなかった。
- ・被膜を施さなかった軸受では電食が発生したことにより振動加速度が上昇した。
- ・被膜を施さなかった軸受では電食が発生し、転動体に黒色の変色、外輪の軌道面にはリッジマークが形成された。

参考文献

- 1) 野口昭治, 赤松洋孝, 是永敦: 小型玉軸受の電食に関する研究 第 1 報, トライボロジスト, 52, 8(2007)622.