

アルミニウム合金の摩耗に及ぼす酸化鉄被膜の影響 Influence of Iron Oxide layer on Wear of Aluminum Alloys

NSK（正）*若杉 宙泳 NSK（正）佐藤 努 NSK（正）元田 智弘

Chuei Wakasugi, Tsutomu Sato, Tomohiro Motoda

NSK Ltd.

1. はじめに

古くから使用されている表面処理の一つとして黒染め処理がある。高温のアルカリ溶液に鉄鋼材料を浸漬することで、表面に酸化鉄（ Fe_3O_4 ）の被膜をつける処理である。この処理でできる被膜は、膜厚 $1\mu\text{m}$ 程度であり硬度も高くないため、一般的にはトライボロジー特性を向上させる目的ではなく、外観上の目的や耐食性向上を期待して処理されることが多い。ところが、転がり軸受においては白色組織はく離やピーリングなどの損傷を抑制する効果が報告されており、そのメカニズムについての研究報告¹⁾²⁾がいくつかなされている。しかしながら、報告されている研究は、ほぼ転動体と軌道面で生じる損傷を対象にしており、転がり軸受がクリープ³⁾することによって生じるハウジングの摩耗を対象にした研究報告はない。そこで本研究では、軸受の外輪に施した黒染め被膜が、軸受がクリープした際に発生するアルミ製のハウジングの摩耗に与える影響を調査したので報告する。

2. 実験方法

本研究では、深溝玉軸受に純ラジアル荷重を負荷し、強制給油環境下で内輪を回転させた試験を行い、試験中に外輪が回転した回数（クリープ回数）とアルミハウジングの摩耗量（クリープ摩耗量）を評価した。Figure 1 にクリープ試験装置の概略図を、また Table 1 に試験条件を示す。なお、クリープ摩耗量は、試験前後のアルミハウジングの重量測定から算出した。試験に用いた深溝玉軸受は、軌道輪と転動体ともに SUJ2 製の標準軸受（未処理品）とその軸受の外輪のみに黒染め処理を施した黒染め処理品の 2 種類である。黒染め処理条件は、DIN50938 に準拠し、十分に脱脂した軸受の外輪を $135\sim 145^\circ\text{C}$ のアルカリ溶液に浸漬し、約 $1\mu\text{m}$ の膜厚になるように時間を調整した。

3. 実験結果と考察

Figure 2 にクリープ摩耗量の測定結果を示す。エラーバーは標準偏差である。クリープ摩耗量の平均値は、未処理品は 0.164g であったのに対し、黒染め処理品は 0.059g であり、外輪に黒染め被膜を施すことでアルミハウジングの摩耗が約 $1/3$ に低減することがわかった。次に、クリープ試験前後の軸受外輪外径面の外観を Fig. 3 に示す。未処理品の外輪は試験前に銀色を呈し、試験後はやや黒色を帯びた銀色に変化した。一方、黒染め処理品の外輪は試験前に黒色を呈したが、試験後に黒色はかなり薄くなった。この外観上の変化は、外輪外径面の算術平均粗さが試験前後で大きく変わっていないことから、アルミハウジングとのしゅう動によって表面の組成が変化した結果と推定した。

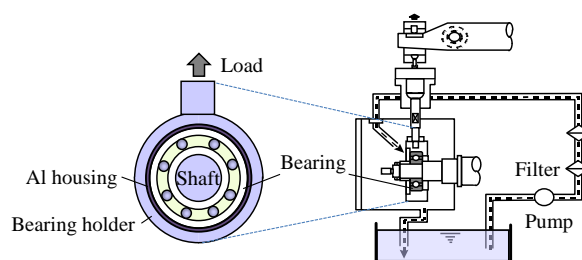


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Test conditions

Bearing	6206 (d:30, D:62, B:16)
Housing	Aluminum alloy
Radial load, N	7760
Rotational speed, min^{-1}	3900
Lubricant	ATF oil
Test time, h	96

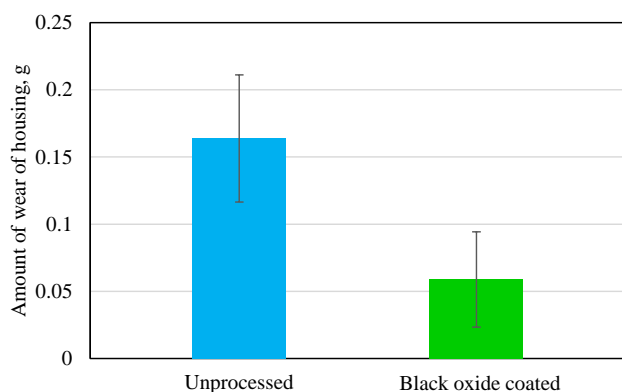


Fig. 2 Wear of aluminum alloy housing by bearing creep

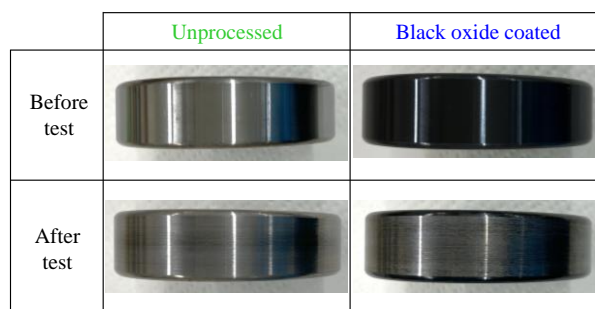


Fig. 3 Photograph of outer diameter surface

そこで、試験後のそれぞれの外輪外径面を EPMA により元素マッピングを行った。分析は、加速電圧 15kV、 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の分析範囲で、複数視野について行った。Figure 4 に代表的な Al 分布を示す。未処理品はほぼ全面に Al が検出されたのに対し、黒染め処理品は Al を検出した面積が小さく強度も低いことがわかった。この結果は、黒染め被膜を施すことによって、相手材料であるアルミの外輪外径面への移着が抑制されることを示唆している。また、試験後黒染め被膜がどれくらい残存するかを、O の X 線強度は黒染め被膜由来で、かつ被膜の存在量と比例すると仮定し算出した。その結果を Fig. 5 に示す。黒染め被膜が完全に摩耗した領域の面積は 36%、一方僅かでも黒染め被膜が残っている領域の面積は 64%と算出された。この結果から、試験後の外輪外径面は、2/3 程度の面積が黒染め被膜で覆われていると推定した。

次に、試験後に黒染め処理品の外輪外径面に確認されたアルミが移着している箇所を SEM 観察と EDX 分析によって調査した (Fig. 6)。なお、断面は FIB 加工によって作成した。観察から、アルミ移着部の下に黒染め被膜は残っておらず、母材の上に直接アルミが存在している結果を得た。また、黒染め被膜が残存している箇所ではアルミは確認されなかった。これらから、アルミは黒染め被膜が残存する箇所には移着しにくく、被膜が摩滅し母材が露出した箇所に移着しやすいと推察される。

以上の結果から、アルミが移着しにくい黒染め被膜が膜厚は薄くなっているものの外輪外径面に広範囲にわたって残存しているため、相手材料であるアルミの外輪外径面への移着が抑制され、アルミハウジングの摩耗が低減されたと考えられる。

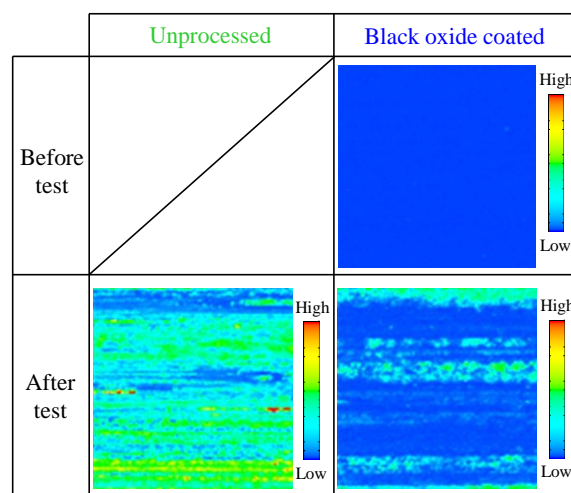


Fig. 4 Example of Al mapping of outer diameter surface after test by EPMA

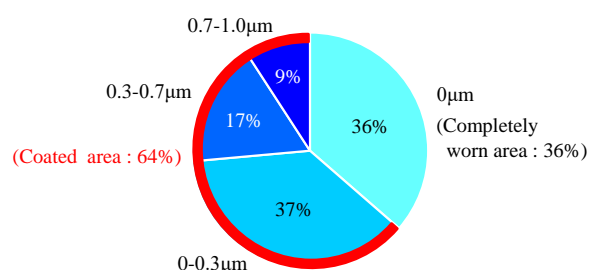


Fig. 5 Residual thickness and its area of black oxide coating after test calculated from X-ray intensity

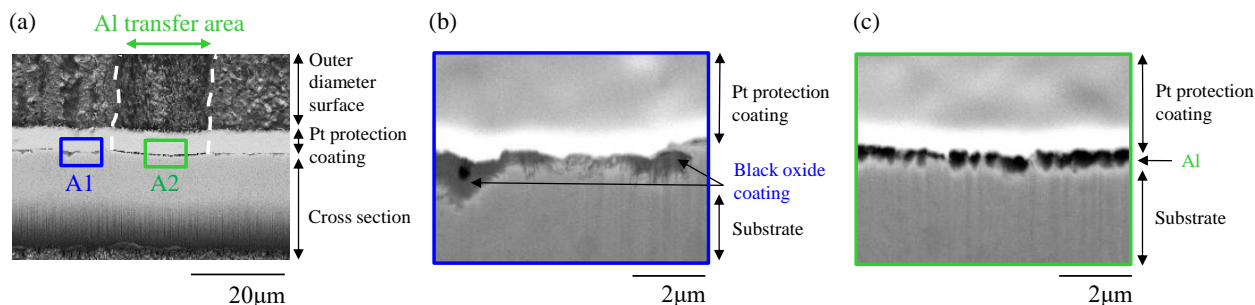


Fig. 6 SEM images of cross section of outer diameter surface after test
(a) Lower magnification (b) Higher magnification of A1 (c) Higher magnification of A2

4. まとめ

黒染め処理を施した外輪を使用したクリープ試験および試験後の表面分析から、以下の知見を得た。

- ・外輪に黒染め処理を施すことによって、アルミハウジングのクリープ摩耗量が約 1/3 に減少した。
 - ・試験後、未処理品は外輪外径面のほぼ全面に Al が検出されたのに対し、黒染め処理品は Al が検出された面積は小さく X 線強度も低かった。また、黒染め処理品においてアルミが移着した箇所は、黒染め被膜が摩滅し母材が露出していた。
 - ・試験後の黒染め被膜は、膜厚は薄くなっているものの広範囲 (64%) にわたって残存していると推定される。
- 以上から、黒染め被膜がアルミの移着を抑制した結果、アルミハウジングの摩耗が抑制されたと考えられる。

文献

- 1) Y. Kou, H. Yao, H. Yamada, H. Uyama: Influencing Factors on Rolling Contact Fatigue Life in Hydrogen Gas, World Tribology Congress 2017 Beijing, Abstract.
- 2) 長谷川・藤田・内館・阿保：転がり接触によるピーリングの発生メカニズムとピーリング抑制に及ぼす黒染処理の影響 (第 1 報), トライボロジスト, 63, 8 (2018) 35.
- 3) 展・坂尻・武村・湯川：軸受外輪クリープの発生メカニズム, NSK Technical Journal, 680 (2006) 13.