

自動車部品用ベアリングボールの内部ひずみの非破壊測定 Nondestructive Measurement of Strain of Internal Bearing Ball for Automobile Parts

宮川 進^a, 伊藤 登史政^a, 岩堀 恵介^a, 青山 喜彦^a, 久保 亮佑^a,
村田 慎治^a, 菖蒲 敬久^b, 城 鮎美^b
Susumu Miyakawa^a, Toshimasa Ito^a, Keisuke Iwahori^a, Yoshihiko Aoyama^a, Ryosuke Kubo^a,
Shinji Murata^a, Takahisa Shobu^b, Ayumi Shiro^b

^a(株)デンソー, ^b(国)日本原子力研究開発機構
^aDenso Corporaion, ^bJAEA

自動車部品用ベアリングを構成しているボールは、時として、ナイトール腐食液で白く見える白色組織を伴った転動疲労剥離を早期に生じることがある。原因究明の一環として、新品ボールと市場の繰返し負荷を受けたボールの内部ひずみを非破壊で測定することにより、市場における負荷の疲労損傷レベルを調査することを目的とした。調査の結果、市場における疲労損傷は非常に少なく、過大な負荷が作用した可能性は非常に小さいものと思われる。

キーワード： ベアリング, 高エネルギー白色 X 線, エネルギー分散法, 局所ひずみ分布, 疲労損傷

1.背景と研究目的：

自動車部品用ベアリングは内輪・外輪・ボール・保持器・シール及びグリースより構成されており、ボールは製造工程において表面硬化処理がなされている。ベアリングに作用する荷重を鉄鋼の焼戻しマルテンサイト組織からなる内輪・外輪及びボールが受持つが、時として、これら 3 部品はナイトール腐食液で白く見える白色組織を伴った転動疲労剥離を早期に生じることがある。ボールは自由に回転することができる為にストレスがボール表面で分散され、ストレスが絶えず同一点で負荷される内外輪に比較して疲労損傷が少ないにも関わらず不具合が発生しており、その原因究明が必要とされている。

原因究明の一環として、新品ボールと市場の繰返し負荷を受けたボールの内部ひずみを非破壊で測定することにより、市場における負荷の疲労損傷レベルを調査することを目的とした。

2.実験：

2.1 試料名

ボールは高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)製で、直径 $\phi 5/16$ inch($\phi 7.9375$ mm)である。

- ①A 工程品 表面硬化処理条件が通常条件の新品 A-1
表面硬化処理条件が通常条件より過酷な強加工新品 A-2
- ②B 工程品 表面硬化処理条件が通常条件の新品 B-1
剥離ボールと一緒に組込まれていた走行短距離未剥離ボール B-2-S
剥離ボールと一緒に組込まれていた走行長距離未剥離ボール B-2-L

表面硬化処理はボール同士を衝突させる処理であり、ボールの搬送やベアリングへの組込み時における圧痕の発生を抑える効果がある。なお、A 社製のボールを A 工程品、B 社製のボールを B 工程品とする。

2.2 実験方法、使用装置および実験測定条件

本研究ではボールの内部ひずみを非破壊的に評価する為に、高エネルギー白色 X 線が利用可能な BL28B2 を用いた。入射側と受光側にスリットをセットし、いわゆる高エネルギー白色 X 線によりボール表面から中心までの局所ひずみ分布を Ge 半導体検出器を利用したエネルギー分散法により計測した。回折角 2θ は 10° に固定し、周方向と半径方向の 2 方向を次に示す間隔で測定した。

0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.5, 2, 3, 3.9687 で、各測定位置あたりの測定時間は 10 分とした。なお、スリットは $0.1 \times 0.1 \text{mm}^2$ であった。高エネルギー白色 X 線を用いた内部局所ひずみ測定でもっとも精度の良い測定が可能とされている $\alpha\text{-Fe321}$ 回折線[1]を用いることとした。エネルギー分散法では回折角 2θ は固定なので局所ひずみを求める際に有ひずみ時の回折 X 線エネルギー E_n と無ひずみ時の回折 X 線エネルギー E_{n_0} が必要である。 E_{n_0} は全測定試料の中心における平均値を採用することとした。

3.結果および考察：

検出されたエネルギーの弁別に用いる MCA(Multichannel analyzer)は 4096 チャンネルからなり、蛍光 X 線でエネルギー校正した結果、 $E_n(\text{keV})=0.0176+0.0585 \times CH$ の関係式が得られた。

A 工程品の表面硬化処理の影響を受けている表面付近の測定結果を図 1 に示す。十分な位置分解能でボールの内部局所ひずみ分布が得られている。周方向の局所ひずみは表面近傍が圧縮で、深くなるに伴いほぼ 0 に漸近している。半径方向の局所ひずみは表面近傍が引張で、深くなるに伴い圧縮となっている。両者の局所ひずみの絶対値は周方向の方が大きな値となっている。又、強加工により周方向の局所ひずみが大幅に変化することがわかる。

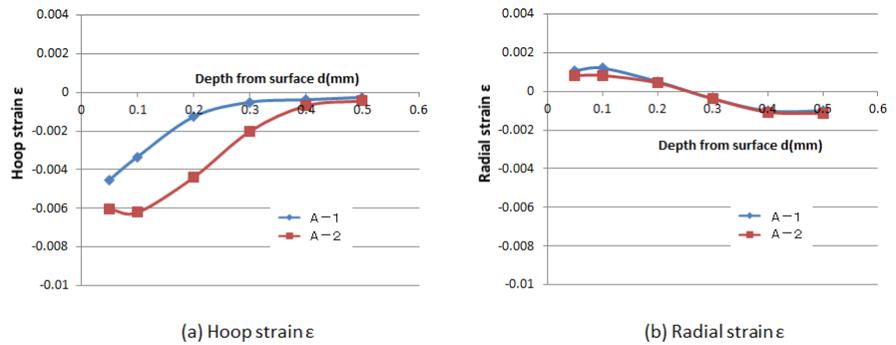


図 1. A 工程品の表面付近のひずみ分布

B 工程品の表面硬化処理の影響を受けている表面付近の測定結果を図 2 に示す。周方向の局所ひずみによれば、新品 B-1 よりも市場の繰返し負荷を受けた走行短距離 B-2-S が僅かに小さな値に、走行長距離 B-2-L が僅かに大きな値となっていることがわかる。

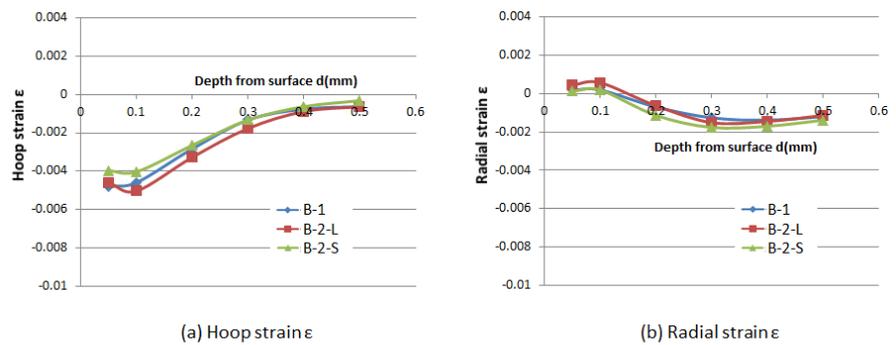


図 2. B 工程品の表面付近のひずみ分布

過大な負荷が作用した場合、疲労損傷にて表面及び内部の周方向残留応力分布が変化する[2]とされている。本研究の場合、上記剥離ボールと一緒に組込まれていた未剥離ボールの測定結果より、市場における疲労損傷は非常に少なく、過大な負荷が作用した可能性は非常に小さいものと思われる。

4.今後の課題：

今回得られた結果を考慮して白色組織を伴ったボールの転動疲労剥離メカニズム解明を今後行う予定である。

参考文献：

- [1] J.Shibano et al., *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol.56, No.10, pp985-992 (2007).
- [2] N.Tsushima, H.Nakashima and K.Maeda, *NTN Bearing Engineer Technical review*, No.49, pp25-34 (1984).