

高周波超音波探傷による軸受鋼清浄度評価法

Evaluation Method of Bearing Steels
using High-Frequency Ultrasonic Testing

1. はじめに

軸受（ベアリング）は自動車など多くの機械における重要部品であり、このような軸受の素材として使われる軸受鋼には、繰返し応力に対する寿命（転動疲労寿命）の長寿命化が求められる。JFE スチールでは従来から長寿命化のための取組を行なっている¹⁾。

長寿命化の取組のためには、製造条件毎に疲労寿命の評価を行ない、最適な製造条件を見出すことが求められる。しかし、転動疲労寿命試験は長期間に渡る試験であり、結果が出るまで時間がかかるため、改善取組の律速となっていた。

そこで、寿命特性良否を迅速に評価するため、高周波超音波探傷法を用いて疲労割れの起点となる鋼中介在物を評価する手法を新たに開発したので紹介する。

2. 評価方法

転動疲労割れの原因となる介在物に関して、数 10 μm 以下の微小介在物でも起点となることが報告されている²⁾。そのため、鋼中介在物の評価法に対しては微小介在物を検出可能であることが求められる。一方で、評価の精度を上げるためには大体積の評価も求められる。そこで、超音波 C スキャン探傷法³⁾による評価を検討した。

図 1 に超音波 C スキャン探傷法の概要を示す。試験体の表面に沿ったプローブ 2 次元走査を行ないつつ、深さ方向について一定の範囲（検査範囲）にある欠陥を検出する手法である。写真 1 には超音波 C スキャン探傷を行なう測定装置の写真を示す。

超音波 C スキャン探傷法を含む超音波探傷の特徴として、使用する超音波探触子により検出性能・検査速度・検査範囲が大きく異なるという特徴がある。ここで、ビーム直径 d と検査深度 l について、探触子の周波数 f 、振動子直径 D 、焦点距離 F とすると

$$d \propto \frac{F}{f \cdot D}$$

$$l \propto \frac{F^2}{f \cdot D^2}$$

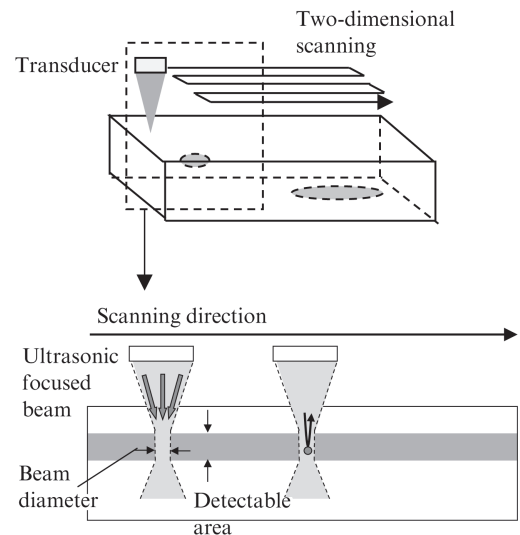


図 1 超音波 C スキャン探傷法の概要

Fig. 1 Schematic diagram of ultrasonic C-scan testing

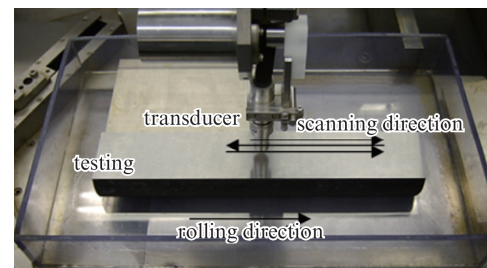


写真 1 超音波 C スキャン探傷の様子

Photo 1 View of ultrasonic C-scan testing

となるため⁴⁾、ビーム直径を小さくして検出性能を向上させることと検査深度を大きくすることは両立できないという問題がある。そのため、探触子は目的に応じて選ぶ必要がある。本評価では、微小介在物の検出性能を重視し、周波数 50 MHz 以上、ビーム直径 100 μm 以下の高集束探触子を主に使用している。接触方式としては水浸法⁵⁾を用いている。

超音波 C スキャン探傷により得られた信号を解析するにあたっては、介在物の圧延方向の長さにより、介在物が軸受製品の転走面近傍に出現する確率が変化することを考慮し、以下のような評価法を開発した。すなわち、所定の閾値以上の信号が取得された領域（指示領域）について圧延方向長さを算出し、さらに各領域についてそれらを足し合せて指示長さ総和を算出し、これを評価結果の主要な 1 項目と

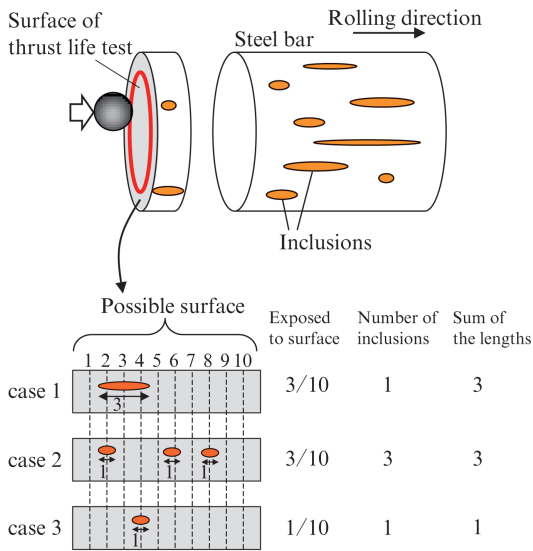


図2 指示長さ総和による評価の考え方

Fig. 2 Concept of evaluation by summing indicated length

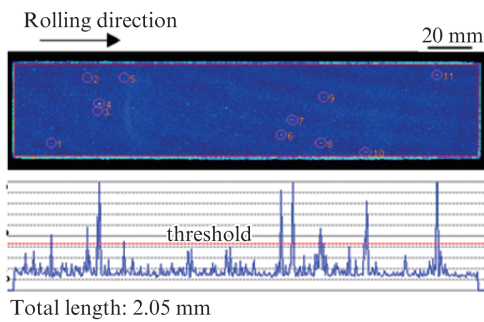


図3 検査領域全体を評価した例

Fig. 3 Evaluating all of the testing area

して出力するようにした。この評価値は図2に示すように介在物が実際の軸受製品の転走面近傍に出現する確率と対応すると考えられ、転動疲労寿命と良く対応するという期待ができる。

3. 評価例

図3に、本手法により超音波Cスキャン探傷、評価した結果の例を示す。この図に示すように、検査領域内で検出された全ての介在物の指示長さを足し合わせて指示長さ総和として取得し、評価している。ここに示すような広範囲の探傷について、10 000 mm²あたり0.5~2時間程度(条件による)で評価が可能である。このとき、検査深度は0.数mm~1.0mm程度(使用する探触子により決まる)であり、10 000 mm²の検査は検査体積としては数1 000 mm³~10 000 mm³に対応する。

図4に超音波Cスキャン探傷により検出された個々の微

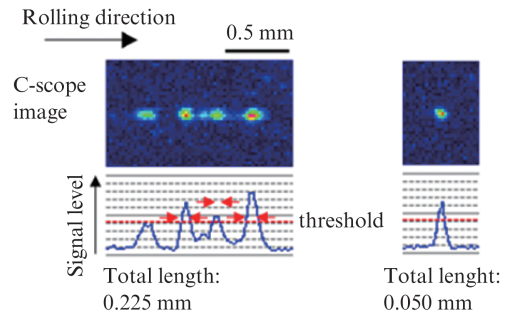


図4 検出された微小介在物画像の例

Fig. 4 Examples of inclusion images

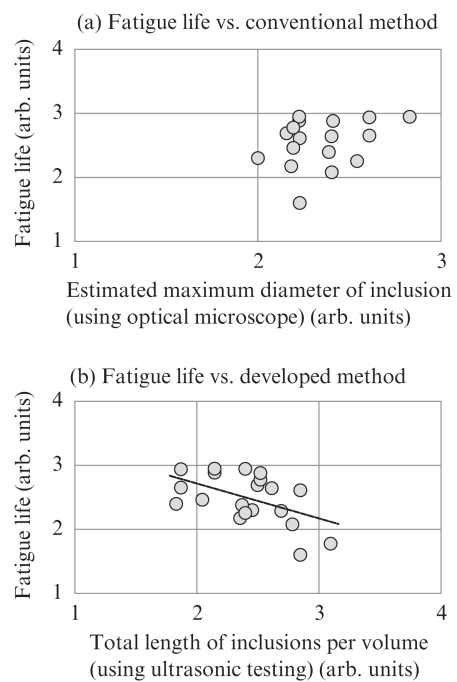


図5 本手法および顕微鏡観察による評価と寿命の比較

Fig. 5 Comparing fatigue life with evaluated results of conventional method and developed method

小介在物画像の例、およびそれらを個々に評価した結果を示す。図4左側の介在物は圧延方向に延伸しており、その結果、右側に示した点状の介在物より指示長さ総和が大きな値となっていることがわかる。このように、探傷面全体を評価するほかに個々の介在物を詳細に評価することも可能であり、これらを解析して製造条件の改善に反映することもできる。

図5には本手法を用いて高潔度軸受鋼を評価した結果と、その軸受鋼の転動疲労寿命試験結果(スラスト寿命)との比較を示す。本手法との比較として、光学顕微鏡を用いて同一の軸受鋼の一部を評価した結果と疲労寿命との比較も示している。これらの疲労寿命との比較によると、今回評価した高潔度軸受鋼においては、光学顕微鏡による評

価と寿命とは良い相関が見られない（一見すると正の相関があるように見えるが、これは介在物が大きいほど寿命が長いことになり不合理である）のに対し、今回開発した手法による評価は寿命との相関が見られ、高清浄度軸受鋼の評価法として有効であることがわかる。

4. おわりに

軸受鋼の疲労寿命に影響をおよぼす鋼中微小介在物の評価のため、高周波超音波 C スキャン探傷法を用い、検査体積中の介在物指示長さ総和を評価する手法を開発した。本手法による評価は転動疲労寿命試験と良い相関が得られている。本手法を用いて軸受鋼の迅速な評価を行なうことに

より、製品清浄度および疲労寿命のさらなる改善取組を迅速化し、今後ともさらなる軸受鋼の長寿命化に取り組んでいく。

参考文献

- 1) JFE 技報. 2009, no. 23, p. 55-56.
- 2) 藤松威史, 平岡和彦, 山本厚之. 鉄と鋼. 2008, vol. 94, no. 1, p. 13-20.
- 3) 廣瀬壮一. 応用力学論文集. 2004, vol. 7, p. 3-12.
- 4) (社) 日本非破壊検査協会. 超音波探傷試験 III (2001 年版). p. 47.
- 5) (社) 日本非破壊検査協会. 超音波探傷試験 III (2001 年版). p. 95.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール スチール研究所 計測制御研究部
TEL : 044-322-6444