

## 水素誘起転がり疲れの発生条件と水素の起源

田中, 宏昌

<https://doi.org/10.15017/1932011>

---

出版情報 : 九州大学, 2017, 博士 (工学), 論文博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 田中 宏昌

論 文 名 : 水素誘起転がり疲れの発生条件と水素の起源

区 分 : 乙

## 論 文 内 容 の 要 旨

転がり軸受(Rolling-element bearing)は、高速、高負荷回転体の支持になくてはならない機械要素であり、比較的コンパクトで長寿命、かつ、グリース潤滑を用いることができることなどからメンテナンス性に優れている。転がり軸受は一般的には軸受鋼と呼ばれる高強度鋼で作られているが、軸受鋼は、水素脆化と呼ばれる強度劣化のため疲労寿命の低下が懸念される。水素脆化とは、鋼中に侵入した水素が原因で生じる鋼の劣化で、一般には水素濃度が高ければ高いほど劣化が顕著となるが、この“脆化過程”についてはいまだに未解明な部分も多い。水素脆化は鋼の組織構造に大きく依存するため、耐“水素脆化”の処方として、鋼を改善する研究が多くなされている。一方、転がり軸受の使用は潤滑剤を伴うことが常であるので、潤滑状態の観点から水素脆化を防止する研究も多く実施されている。

本研究は、転がり軸受の寿命と水素脆化過程に及ぼす、水素の発生と鋼への侵入・拡散の影響を明らかにすることを目的とする。様々な条件の転がり疲労寿命試験を実施し、水素の発生、侵入、拡散過程と、軸受寿命との関係を調べ、これらの関係について考察した。

本論文は次の7章からなる。

第1章では、転がり疲れと、転がり疲れにおける水素脆化の問題を概説した。これまでに研究されてきた水素誘起転がり疲れ発生事例を挙げ、転がり疲れの進行過程に潤滑と鋼材双方の経時変化が影響していることを示した。このことを踏まえ本研究では、水素誘起転がり疲れの発生プロセスの中のうち、水素の発生と侵入を特に注目すべき重要な問題として位置付けることを述べた。

第2章では、本研究で用いたスラスト軸受タイプの環境制御型転がり接触疲労寿命試験機を解説した。また、水素侵入過程の評価のためには鋼中の水素濃度計測が必要であるが、その計測に用いる昇温脱離分析装置(Thermal desorption spectrometry, TDS)を紹介した。さらに、水素の発生源の一つと考えられる潤滑油基油の熱分解特性、および金属触媒による分解特性を、ガスクロマトグラフィーとカールフィッシャー水分計を用いて把握した。

第3章では、第2章で説明した装置と潤滑油を用いて転がり疲労寿命試験を実施し、水素侵入量と軸受寿命の相関を確認した。まず、合成潤滑油による転がり疲労試験の結果を示し、水素を含む各種雰囲気の影響を整理した。水素雰囲気において疲労寿命は著しく低下し、ついでアルゴン中で低く、空気中は他の雰囲気と比べ長寿命であった。水素環境においては、鋼への水素侵入量が他のガス中より高いことも分かった。つまり、鋼への水素供給が水素誘起転がり疲れを誘発するための条件であることが明らかになった。次にグリースを用いた各種雰囲気下転がり疲労試験を、さらにフッ素系グリースを用いた試験を実施し、種々の潤滑剤が多様な潤滑状態と、それに起因する表面損傷を受けることを示した。その表面損傷の中で、過大な摩耗や電蝕的な損傷とは異なる水素誘起転がり疲れが現れる条件を示した。また、鋼の組織変化と、水素侵入過程がどのように連動してい

るかを確認した。

第 4 章では、転がり接触における水素侵入過程を追跡した。潤滑表面において水素が生成され、表面吸着、輸送、拡散していく過程を、空气中、水素中における転がり接触試験と TDS や表面分析結果を用いて示した。また、潤滑油添加剤の水素侵入防止効果を種々の添加剤を用いて比較した。炭化水素系基油の酸化劣化、もしくは溶存水分の分解により水素が発生し、それが鋼に侵入する場合があるが、油分解による副生成物や鋼表面酸化層の形成により、水素侵入を阻害することも有りうることを示した。また、硫黄系潤滑油添加剤が反応被膜を形成し、水素侵入を防止することを確認した。

第 5 章では、新たに単純接触試験機を導入し、転がり接触を単純化した模擬接触試験を行い、雰囲気種や温度、接触圧力が接触表面からの水素侵入挙動に及ぼす影響を TDS 測定から評価した。転がりすべり接触域からの水素侵入は、垂直応力振幅が弾性領域にある範囲においてはあまり顕著ではなく、弾性限界を超える応力振幅を与えた場合に顕著になった。水素ガス雰囲気中の水素侵入は、室温中より 100℃の環境において促進された。詳細な TDS 分析の結果、このプロセスは、主に高温のため表面酸化膜が熱分解した表面において拡散性水素が鋼に侵入し、侵入した固体中の水素は非拡散性水素として存在することが確認された。

第 6 章では、本研究で見いだされた結果に関する考察と、水素誘起転がり疲れ発生プロセスの提案を行った。3 章における転がり接触下における種々の損傷の形態評価と、5 章で示した接触表面からの水素の拡散の経路の、双方を理解したうえで組織変化に至るプロセスを考察することが、水素誘起転がり疲れを含む転動疲労に対する適切な対処法を示す上で重要であることを指摘した。

第 7 章は結論であり、本研究の統括と今後の展望について議論した。

以上、本研究は、実際に転がり要素を用いた実験の結果より、雰囲気と潤滑剤、及び軸受の作動条件が転がり接触表面における水素侵入特性に及ぼす影響を明らかにし、水素誘起転がり疲労の防止に有効な潤滑設計を提示した。