九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

軸受鋼中のせん断型微小疲労き裂進展下限界値に関する研究

岡﨑, 三郎

https://doi.org/10.15017/1654879

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

（様式２）

氏　　名　：岡﨑　三郎

論 文 名　：軸受鋼中のせん断型微小疲労き裂進展下限界値に関する研究

区　　分　：甲

論　文　内　容　の　要　旨

転がり軸受の代表的な破損形態であるフレーキングは, Hertz 接触に起因する繰返しのせん断応力負荷による疲労破壊である．このとき，非金属介在物を起点として発生したき裂は，同時に負荷される大きな圧縮応力によってき裂の開口型の変形が抑制されるため，主に，せん断型で進展する．しかし，このような転がり接触下で生じる特殊な力学的条件を実験室レベルで実現させ，き裂の進展挙動を連続観察することは容易ではないため，せん断型疲労き裂の進展特性や進展下限界値については，多くの不明な点が残されている．このことが，転がり軸受の破壊力学にもとづく強度評価法の確立を阻んできた．

第 1 章では，本研究の背景となる現在の転がり軸受の疲労寿命評価式の問題点を挙げ，その解決策として，破壊力学にもとづく新しい強度設計法の必要性を述べた．また，これまでの転がり軸受の疲労試験で明らかになっていることをまとめ，本研究の主目的であるせん断型疲労き裂進展下限界に関する研究の重要性を示した．

第 2 章では, 半だ円スリットおよびドリル穴を有する炭素鋼 S15C および S45C の丸棒試験片を用いて，疲労限度における欠陥の傾きの影響を明らかにするための疲労試験を実施した．荷重軸方向に対する半だ円スリットの傾きは 0º および 30º，60º とし，欠陥を荷重負荷方向と垂直な面に投影したときの面積の平方根 $\sqrt{area}$ は全て 188 μm に統一した．その結果，炭素鋼 S15C および S45C の疲労限度は，欠陥の傾きの影響を受けず，$\sqrt{area}$ パラメータモデルによって計算された予測疲労限度にほぼ等しい値となることが示された．また，有限要素法を用いた 2 次元き裂の応力拡大係数の解析より，傾きを有するき裂から進展したき裂の応力拡大係数の値と，傾きがゼロのき裂の応力拡大係数の値には，顕著な差がないことを示し，S15C および S45C の疲労限度が欠陥の傾きの影響をほとんど受けない力学的な理由を明らかにした．

第 3 章では, せん断型微小疲労き裂進展試験を行うための共振型ねじり疲労試験機の開発について述べた．既存の共振型ねじり疲労試験機に静的な軸方向の圧縮荷重を負荷する機構を増設することにより，微小なせん断型微小疲労き裂の進展を連続観察することに成功し，本研究で開発した試験機は，せん断型疲労き裂進展を実施するのに十分な性能を有していることを示し

た．また，開発機は，本体価格や維持費，試験速度，設置スペースといった観点で，油圧サーボ式軸ねじり疲労試験機より優れていることを示した．

第 4 章では，軸受鋼 SUJ2 の丸棒状試験片の応力比 $R = -1$ のねじり疲労試験を静的圧縮応力 $\sigma_s = -1200$ MPa の下で行い，試験片軸方向に $\sqrt{area} < 1$ mm の微小なせん断型疲労き裂を進展・停留させた．応力拡大係数の解析にもとづき，遠方でせん断応力を受ける任意のアスペクト比のだ円き裂および半だ円き裂の応力拡大係数 K_τを，$\sqrt{area}$パラメータを用いて評価する式を提案した．さらに，提案した式を用いて，せん断型微小疲労き裂の進展下限界値の実験結果を評価した．その結果，せん断型微小疲労き裂の$\Delta K_{\tau th}$ は，$\sqrt{area}$パラメータを用いて±10 %の精度で評価でき，モード I 微小疲労き裂の場合と同様に$\Delta K_{\tau th} \propto (\sqrt{area})^{1/3}$ の関係が成り立つことが明らかとなった．

第 5 章では，軸受鋼 SUJ2 のせん断型疲労き裂進展下限界値に及ぼすき裂面干渉の影響を明らかにするため，き裂面干渉を低減する目的で，外表面に半だ円スリットを有する中空試験片に静的な内圧を負荷し，静的圧縮応力下のねじり疲労試験を実施した．その結果，静的き裂開口応力の増加とともに，せん断型疲労き裂進展下限界値 $\Delta K_{\tau th}$ は減少することが明らかとなった．また，試験終了後，EBSD および SEM によりき裂周辺の組織観察を行った結果，静的き裂開口応力が比較的低い場合，き裂周辺の組織変化が観察され，き裂は旧オーステナイト粒内を進展することが明らかになった．一方，$K_{Istatic} > 5$ MPa·m$^{0.5}$ に相当する静的き裂開口応力が負荷された場合，き裂周辺の組織変化は観察されず，旧オーステナイト粒界やパケット境界に沿ったき裂の分岐や屈曲が観察された．すなわち，せん断型疲労き裂が進展する際の静的き裂開口応力の存在は，単にき裂面を開口させてき裂面の干渉を低減させる効果だけでなく，き裂の進展形態をせん断型から開口型に変化させることが示唆された．

第 6 章では，本論文の総括を行い，今後の展望について述べた．