

|          |  |
|----------|--|
| 氏名       | おおもり としひろ<br><b>大森 俊博</b>  |
| 学位(専攻分野) | 博士(工学)   |
| 学位記番号    | 博甲第811号  |
| 学位授与の日付  | 平成28年9月26日   |
| 学位授与の要件  | 学位規則第4条第1項該当   |
| 研究科・専攻   | 工芸科学研究科 設計工学専攻   |
| 学位論文題目   | <b>ステンレス鋼におけるフレット疲労強度の定量評価法と表面処理による改善効果</b>  |
| 審査委員     | (主査)准教授 森田辰郎<br>教授 村田 滋<br>教授 太田 稔<br>公益財団法人応用科学研究所理事 秋山雅義<br>京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻教授 北條正樹 |

## 論文内容の要旨

機械部品の締結部では、変動荷重および振動等の作用下で接触面にフレット疲労が発生する。フレット疲労が繰返し応力と重畳した場合にはフレット疲労が生じ、疲労強度は大幅に低下する。この現象は機械部品に予期せぬ破損をもたらす、製品の信頼性を著しく損なう。しかしながら、フレット疲労は摩擦摩耗および応力集中等が影響し合う複雑な疲労現象であるため、これを適切に防止可能な定量評価法や対策方法については十分に確立されていなかった。以上の背景から、当該研究では実際の設計への応用を念頭に置き、フレット疲労強度の定量評価法の確立を第一の目的とした。また、フレット疲労の効果的な対策として、機械部品の仕様や寸法を変更することなく適用可能なハイブリッド表面処理法の確立を第二の目的とした。

第1章「緒論」では、フレット疲労強度の支配要因に係る従来の研究成果を俯瞰した。その結果、接触した材料間の摩擦力、接触端に生じる応力集中および材料の弾塑性挙動が主要な支配要因として抽出された。また、従来の試験方法と評価方法について詳細に検討した結果、研究の第一の目的であるフレット疲労強度の定量評価を可能とするため、新たな試験方法および評価方法の確立が必要であることが明らかとなった。さらに、表面処理によるフレット疲労強度の改善効果に関する従来研究について検討した結果、各種表面処理のハイブリッド化が本研究の第二の目的を達成するために有効であると考えられた。

第2章「フレット疲労試験方法と評価方法の検討」では、従来の試験方法に改良を加え、荷重条件の精度を著しく向上させた。また、接触端に生じる局所応力と微小な相対すべりをシミュレートするための有限要素解析(FEA)方法を確立した。

第3章「フレット疲労強度と接触端における局所応力振幅の関係」では、フレット疲労強度の定量的な評価方法の確立を目指し、接触端での局所応力振幅とフレット疲労強度との関係について詳細に検討した。具体的には、大型ポンプ等に多用されているオーステナイト系ステンレス鋼について、接触圧を5段階に変化させた際のフレット疲労強度の変化を調べた。また、摩擦力および弾塑性挙動を考慮した FEA によって、接触圧とフレット疲労強度水準における接触端での局所応力振幅との関係を明らかにした。

第 4 章「ステンレス鋼の材料特性とフレット疲労強度の関係」では、オーステナイト系ステンレス鋼、二相ステンレス鋼、スーパー二相ステンレス鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼の合計 4 種類の材料について基本特性を明らかにするとともに、第 2 章で確立した試験方法および解析方法を用いてフレット疲労強度を定量的に調べた。その結果、微視組織や機械的性質が異なる場合にも、通常疲労強度からフレット疲労強度を予測できることが明らかとなった。

第 5 章「ハイブリッド表面処理によるフレット疲労強度の改善効果」では、本研究の第二の目的を達成するため、ハイブリッド表面処理によるフレット疲労強度の改善効果について系統的に検討した。その際、各種表面処理の効果を簡便に評価するため、新たなフレット疲労試験方法を別途考案し、これを用いた。材料にはオーステナイト系ステンレス鋼を用いた。ハイブリッド表面処理はプラズマ窒化と微粒子衝突処理あるいはプラズマ窒化と DLC 処理の組合せ処理とした。これらのハイブリッド表面処理は、機械的性質に影響を及ぼすことなくフレット疲労強度を顕著に改善し、その改善率は最高で 56 % に達した。上記の顕著な改善効果は単独処理では発現せず、表面処理のハイブリッド化によって初めて達成された。

第 6 章「表面処理によるフレット疲労強度改善の定量評価」では、実際の設計に適用する際に必要となる定量的かつ信頼性が高い結果を得るため、前章で説明したプラズマ窒化および微粒子衝突処理から構成されるハイブリッド表面処理の改善効果に関し、第 2 章で提案した方法を用いて調査した。その結果、ハイブリッド表面処理によりフレット疲労強度が顕著に改善され、その改善率は 50 % に達した。

第 7 章「総括」では、上記の各章で得られたすべての結果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

本学位申請論文では、各種ステンレス鋼製実製品への応用を念頭に置き、新たに考案したフレット疲労強度の定量評価方法、およびハイブリッド表面処理による顕著な改善効果について論じられている。本研究を通じて得られた主たる成果として、以下の 3 点が挙げられる。

- 1) 従来のフレット疲労試験方法の問題点を考慮し、新たな試験方法が考案されている。また、接触端に生じる局所応力および微小な相対すべりをシミュレートするための有限要素解析方法が提案されている。
- 2) 上記 1) の試験方法および解析方法を用いてフレット疲労強度を定量的に評価した結果、微視組織や機械的性質が異なる場合でも、摩擦係数や通常疲労強度からフレット疲労強度を適切に予測できることが明らかとなっている。
- 3) ハイブリッド表面処理を施すことにより、機械的性質に影響を及ぼすことなく、50 % を超える顕著なフレット疲労強度の改善に成功している。

上記 1) および 2) に基づいて、従来は困難であった実製品におけるフレット疲労破壊の防止を設計段階から可能にする方法が提案されている。また、上記 3) に基づいて、現在使用中の機械部品であっても、その仕様や寸法を変更することなく、フレット疲労に係る問題を解決可能であることが示されている。さらに、本研究で得られた現実的解決方法は、対象としたステンレス鋼以外の金属材料への応用も可能であると期待される。以上のことから、当該研究では学術研究を通じて優れた研究成果を挙げているのみならず、工学的に有用な方法を提案して

いる.

本論文は査読制度がある学術論文集に掲載された 3 編の論文と投稿中の 1 編の論文に基づいて  
いる. なお, 申請者は全論文の筆頭著者である.

1. Toshihiro Omori, Tatsuro Morita, Kohei Okada and Hideaki Maeda: Relationship between local stress amplitude at contact edges and fretting fatigue strength of austenitic stainless steel JIS SUS316, *Tribology International*, 92 (2015) 328-334.
2. Toshihiro Omori, Tatsuro Morita, Kohei Okada and Hideaki Maeda: Effect of Hybrid Surface Treatments on Fretting Fatigue Strength of Stainless Steel, *Materials Transactions*, Vol. 56, No. 3 (2015), pp. 389-397.
3. 大森俊博, 森田辰郎, 岡田光平, 前田英昭: プラズマ窒化および FPB 処理から構成される複合表面処理によるステンレス鋼のフレット疲労強度の改善, *日本金属学会誌*, 第 80 巻, 第 4 号, (2016), 225-230.
4. Toshihiro Omori, Tatsuro Morita, Kohei Okada and Hideaki Maeda: Relationship between plain fatigue strength and local fretting fatigue strength on stainless steels, *Tribology International* (投稿中) .

以上, 本論文の内容は十分な新規性と独創性を有するだけでなく高い工学的意義があり, 博士論文として優秀であると全審査員が認めた.