

Ni基超合金Alloy718の疲労強度とせん断型疲労き裂進展下限界値に及ぼすき裂面干渉の効果の定量評価に関する研究

田中, 佑弥

<https://hdl.handle.net/2324/4475130>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 田中 佑弥

論 文 名 : Ni 基超合金 Alloy 718 の疲労強度とせん断型疲労き裂進展下限界値に及ぼすき裂面干渉の効果の定量評価に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

IoT 技術や AI の発達の後押しを受け、従来は国家機関が主導していた宇宙産業開発の担い手がベンチャー企業をはじめとした民間企業に移行しつつある。また、先進国のみならず新興国においても宇宙産業開発が活発化しており、今後 20 年ほどで宇宙産業の市場規模は 1 兆ドル以上に急成長を遂げることが予想されている。世界の宇宙産業が順調な成長傾向にある一方で、日本における宇宙産業は停滞しており、民間企業の宇宙産業への新規参入の促進と新規事業領域の創出により民生需要を拡大することで巻き返しを図ることが政府の成長戦略にも定められている。宇宙関連機器の高額な導入コストが新規事業者の参入を停滞させる原因の一つであるが、ロケットエンジンの製造に積層造形技術を導入し、低価格と研究・開発時間の短縮を実現する試みが JAXA により行われている。しかし、ロケットエンジンの主要構成材料である Ni 基超合金をはじめとした析出強化型 FCC 金属では特有の疲労破壊が多数報告されている。そこで本研究では、析出強化を施した FCC 金属に特有の疲労破壊メカニズムを解明し、その疲労限度を予測する手法を提案することを目的とした。さらに、上記の破壊メカニズムにはせん断型疲労き裂の発生・進展が深く関与しているが、せん断型疲労き裂の進展下限界値に対して影響を及ぼすき裂面干渉の影響の調査に最適な実験方法も提案し、開発した実験方法で取得したデータを用いて先行研究の結果との整合性について考察も行った。本論文は、以下の全 5 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景となる宇宙産業開発に対する日本および国際社会の現在の動向と課題を確認し、その解決策として宇宙利用機器の製造に積層造形法を利用することに注目が高まっていることを述べた。ロケットエンジンの主要構成材料である Ni 基超合金には析出強化が施された FCC 金属に共通した特有の疲労破壊が生じることが知られている。これに対し、従来の疲労設計法を析出強化材料に適用した際の問題点や、その背景にはせん断型疲労き裂の発生・進展が重要な役割を担う特有の破壊メカニズムが存在することを示した。さらに、せん断型疲労き裂に関する従来の研究を概観し、本研究の目的を述べた。

第 2 章では、BCC 鋼を中心とした多くの材料に対して広く適用されてきた従来の疲労設計法が析出強化を施した FCC 金属に対して適用できない理由、すなわち、析出強化により材料の引張強さが大きく向上する一方で、疲労限度の向上が限定的である理由を調査した。疲労負荷の作用によって転位運動の障害となる析出物が消失した無析出物帯が形成されること、供試材の疲労破壊起点領域には多数のファセットが形成されることが先行研究で示されている。これらの報告から、析出強化材料で発生するせん断型疲労き裂の進展下限界値は、析出物を含まない溶体化処理状態の材料の下限界値と一致すること予想した。それを確認するために、代表的な析出強化材料である Ni 基超合金 Alloy 718 の溶体化処理材および 2 段階時効材の 2 種類の材料に対してねじり疲労試験を行った

ところ、両供試材のせん断型疲労き裂進展下限界値が本質的に一致することが明らかとなった。

第3章では、せん断型疲労き裂の進展下限界値に及ぼすき裂開閉口応力の影響の定量化を試みた。せん断型疲労き裂の進展下限界値はき裂面干渉の影響を受けて、その値が増減することが知られている。き裂面を閉口させる応力はき裂面干渉を増大させて下限界値も上昇するが、反対にき裂開口応力はき裂面干渉を減少させて下限界値は低下する。しかし、き裂開閉口応力と下限界値の関係は定量化されていない。本章ではNi基超合金 Alloy 718 に対して引張圧縮、ねじり、静的なき裂開口応力を重畳負荷したねじり疲労試験を行い、き裂開閉口応力の効果も考慮した上で Alloy 718 のせん断型疲労き裂進展下限界値を定量的に評価する式を提案した。また、開口型き裂とせん断型き裂の進展下限界値の大小関係と疲労き裂の停留様式との関係を定量的に示した。

第4章では、せん断型疲労き裂面で発生する摩擦・摩耗現象を再現可能な新しい実験方法の開発について述べた。摩擦・摩耗特性に影響を及ぼす影響因子は多岐にわたるため、実験では実験条件を評価対象の摺動面における摩擦の発生状況に近づけることが重要である。そこで、先行研究の中でもき裂面摩擦に関する情報が比較的豊富に示されている軸受鋼のせん断型疲労き裂進展試験で発生するき裂面摩擦の再現を本研究の開発目標とした。また供試材に軸受鋼を用いた実証実験も行い、得られた結果から先行研究で報告されている軸受鋼のせん断型疲労き裂進展下限界値の信頼性について考察した。

第5章では、本論文の総括を述べた。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワープロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。