

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 37-137223 蓮沼将太

研究題目: Ni 基超合金 Alloy718 の低サイクル疲労強度に及ぼす表面加工層の影響のモデル化

本論文は、表面加工層が Ni 基超合金 Alloy718 の低サイクル疲労強度に及ぼす影響のモデル化を目指したものである。表面加工層の観察手法の提案および低サイクル疲労試験を行うことで、表面加工層が低サイクル疲労強度に及ぼす影響を明らかにしている。また、結晶塑性有限要素法を用いて表面加工層をモデル化し、残留応力解放挙動を明らかにしている。以上の結果を基にして、表面加工層が低サイクル疲労強度に及ぼす影響をモデル化している。さらに、提案したモデルを SUS316L に適用し、材料依存性についても調査している。

第 1 章では、表面加工層が低サイクル疲労強度に及ぼす影響に関する課題と学術的意義、解決手法について述べている。

第 2 章では、表面加工層の観察手法について述べている。特に、電子線後方散乱回折法 EBSD を用いた微視組織変化の観察手法を提案している。EBSD を用いて表面加工層を観察した結果、バルク層、塑性変形層および微細粒層に分かれていた。そして、局所方位差パラメータを用いることによって微細粒層および塑性変形層の深さを定量的に評価できることを示している。さらに、原子間力顕微鏡 AFM やレーザー顕微鏡を用いた加工傷の形状評価法を提案している。また、X 線回折法 XRD を用いることで残留応力が評価できることを示している。

第 3 章では、低サイクル疲労試験を行い、表面加工層が低サイクル疲労強度に及ぼす影響について検討している。まず、表面加工層の因子を分離するための手法を提案している。表面仕上げと荷重条件による表面加工層の分離手法を提案し、それにより表面加工層を分離できることを示している。次に、表面仕上げを施した試験片に対し、低サイクル疲労試験を行っている。それにより、表面加工層の因子が低サイクル疲労強度に及ぼす影響を検討している。微細粒層はすべり帯からのき裂発生を抑制することが明らかとなった。また、加工傷は初期き裂寸法に影響を与え、加工傷が大きい場合、疲労寿命を低下させるとしている。残留応力はき裂の開閉口挙動に影響を与え、圧縮残留応力は低サイクル疲労寿命を延ばすことを示している。塑性変形層は低サイクル疲労寿命に影響を与えないことが明らかとなった。

第 4 章では、結晶塑性有限要素法を用いて表面加工層をモデル化し、残留応力解放シミュレーションを行っている。それにより、微視組織変化が残留応力解放挙動に与える影響について検討している。まず、結晶塑性有限要素法を用いた表面加工層のモデル化手法を

提案している。そのモデルを用いて解析を行った結果、解析結果は 3 章の実験結果と整合性が取れており、解析結果は妥当であった。次に、残留応力解放挙動について検討し、塑性変形層の圧縮残留応力は解放されやすく、疲労寿命に与える影響は少ないことを明らかにしている。一方、微細粒層の残留応力は解放されにくいことから、微細粒層の残留応力は長寿命化の効果があるとしている。

第 5 章では、第 3 章および第 4 章の結果を基に、表面加工層が低サイクル疲労強度に及ぼす影響をモデル化している。破壊力学を基にしてモデル化を行い、加工傷を初期き裂寸法としてモデル化している。残留応力の影響は、残留応力と外力の応力拡大係数を重ね合わせることでモデル化している。残留応力の応力拡大係数の計算には、第 4 章で示した残留応力解放シミュレーションの結果を用いている。それにより、残留応力解放に及ぼす微視組織の影響をモデル化している。このモデルを用いて疲労寿命を予測したところ、実験結果と一致していた。また、残留応力の解放を考慮した場合、考慮しない場合に比べて誤差が小さくなっていた。そのため、第 5 章で提案したモデルを用いることで、疲労寿命予測精度が向上することを示している。

第 6 章では、第 2～5 章で提案した手法やモデルをオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L に適用している。その結果、本論文で提案した手法やモデルは SUS316L にも適用可能であった。そして、表面加工層が「加工傷」「粗さ」「残留応力」「微細粒層」「塑性変形層」で構成される場合、本論文で提案した手法やモデルが適用できるとしている。そして、多くの材料の表面加工層はこのような因子で構成されていることから、本論文で提案した手法やモデルは多くの材料に対して適用可能であるとしている。また、第 6 章では加工傷が低サイクル疲労強度に与える影響のモデル化についても詳細に検討している。加工傷の表面長さおよび深さを初期表面き裂長さおよび深さに用いて疲労寿命予測を行った結果、実験結果よりも長寿命となった。一方、加工傷の表面長さを初期表面き裂長さとし、アスペクト比を 1 として初期き裂深さを決定した場合、安全側の予測が得られることが明らかとなった。

第 7 章では、結論と研究の展望を述べた。

以上のように、本論文で提案した表面加工層観察手法、分離手法および疲労寿命予測モデルは航空機や化学プラントの安全に大きく貢献でき、多くの材料にも適用できると考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。