

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14064 号
------	---------------

氏 名 顾 少杰

論 文 題 目

Strain hardening relief and crack initiation delay of Ni-based superalloy Inconel 718 induced by high-density pulsed electric current

(高密度パルス電流によるNi基超合金インコネル718のひずみ硬化の緩和とき裂発生が遅延)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	巨 陽
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	梅原 徳次
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	奥村 大
委員	名古屋大学	工学研究科	講師	徳 悠葵

論文審査の結果の要旨

顧 少杰君提出の論文「Strain hardening relief and crack initiation delay of Ni-based superalloy Inconel 718 induced by high-density pulsed electric current」は、高密度パルス電流（HDPEC）による金属成形と疲労破壊過程に発生する損傷の修復についていくつかの重要な課題を解決したものである。本研究では、HDPECによるニッケル基超合金インコネル718（IN718）のひずみ硬化緩和を実現し、ひずみ硬化緩和と材料微細組織変化の関係、そして微細組織変化の発生メカニズムを明らかにした。さらに、HDPECを用いた切り欠き先端塑性域のひずみ回復に成功し、き裂発生の遅延とその機構の解明を実現した。

第1章は緒論であり、金属成形と疲労破壊のそれぞれの研究背景を紹介し、金属材料に対する高密度電流印加の効果をまとめている。また、高密度電流によるひずみ硬化緩和および疲労寿命向上に関する研究現状および問題点を示し、本研究の目的および目標を示している。

第2章では、本研究で使用した材料と実験方法について紹介している。X線回折法（XRD）、電子後方散乱回折法（EBSD）、走査型電子顕微鏡（SEM）に基づく材料微細組織の評価方法を記述している。また、HDPEC印加が材料に与える影響を評価するための電場解析、温度分布解析、応力場解析に関する有限要素法（FEM）コードおよびグラフィカルユーザーインターフェースの開発を記述している。

第3章では、HDPECによるIN718のひずみ硬化緩和について、応力緩和および延性改善の効果を示した。XRD、EBSD、SEMを用いた組織解析から、HDPECによる転位の除去や結晶粒の微細化、結晶粒形状・方位の回復を確認した。また、HDPECによる変形した材料のすべり損傷の修復も示した。最終的に、ひずみ硬化緩和の支配因子はHDPECによる転位除去であり、結晶粒径および粒方位の影響は小さいことを明らかにした。

第4章では、HDPECに起因する材料のひずみ硬化緩和と微細組織変化のメカニズムを明らかにした。HDPECによるひずみ硬化の緩和に対する熱効果および非熱効果の寄与を解明し、熱効果よりも非熱効果が重要であることを示した。また、EBSDのその場観察により、HDPECによる転位消滅の原因として、従来の転位双極子の合体や結晶粒界による吸収に加え、新たに電子風力の駆動により転位が亜粒界で絡み合い、新しい粒界を形成する新規転位消滅機構を見出した。さらに、転位運動の駆動力と抵抗力の定量的解析を行い、電子風力により転位を駆動する機構を明らかにした。加えて、HDPECによる電子風力は転位のすべり運動を促進し、転位の上昇運動を促進する熱効果よりも効率的であり、転位消滅によるひずみ硬化緩和に対して有効な方法であることを示した。

第5章では、HDPECによる切り欠き先端塑性域のひずみ回復およびき裂発生寿命の向上効果を示し、き裂発生寿命を2倍以上増加することに成功した。また、HDPEC印加により切り欠き近傍の転位密度が減少し、これがき裂発生を遅延させる重要な原因であることを示した。さらに、FEMシミュレーションを行い、切り欠き近傍の電流密度場が塑性域全体を覆い、転位の運動と消滅を促進していることを明らかにした。

第6章では、本研究によって得られた主な結論を要約している。

以上のように、本論文ではHDPECによるニッケル基超合金IN718の成形性の改善およびき裂発生寿命の向上を実現することに成功した。また、HDPECによる材料組織変化のメカニズムを実験および理論的な解析により明らかにした。本研究は先駆的技術の基礎となる非常に価値の高い成果を挙げており、学術的および産業的に寄与するところが多い。よって、本論文の提出者である顧 少杰君は博士の学位を受けるに十分な資格があると判定した。