

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高温蒸気タービン用析出強化型Ni 基超合金の硬さ法によるクリープ損傷評価
Title(English)	
著者(和文)	生沼駿
Author(English)	Shun Oinuma
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11947号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:竹山 雅夫,小林 覚,木村 好里,寺田 芳弘,村石 信二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11947号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	生沼 駿	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	竹山雅夫	教授	寺田芳弘	准教授
	審査員	小林 寛	准教授	村石信二	准教授
		木村好里	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「高温蒸気タービン用析出強化型 Ni 基超合金の硬さ法によるクリープ損傷評価」と題し、7 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、CO₂ 排出量を削減する 700°C 級 A-USC 火力発電システムの開発の現状について概説し、本システムの実現の鍵となるタービンロータ用材料として優れた高温強度と熱間鍛造性を両立する Ni 基合金の製造技術開発がほぼ達成され、そのクリープ破断強度の特徴について述べている。また、システムの実用化に向けては保全技術が求められ、特に材料のクリープ損傷評価手法の確立が課題であり、その最も簡便な非破壊検査手法として硬さ法の重要性を指摘し、本論文の意義、目的および構成を示している。

第 2 章「クリープ変形挙動と硬さによる損傷評価方法」では、新たに開発された γ' -Ni₃(Al,Ti) 相の体積率が約 20% であり結晶粒径約 150~200 μ m の鍛造 Ni 基超合金 TOSIX-2 を用いて 700°C~750°C、145~400MPa にて最長 40,000 時間のクリープ破断試験を行い、クリープ変形挙動を調べている。その結果、クリープは、温度および応力によらず、全寿命の 8 割をクリープ加速の程度が一定となる加速域 (領域 II) で占められ、その最大ひずみ量は約 20% となること、また、この領域の変形はひずみの増加に伴い粒界近傍において僅かに優先的に進行するものの、粒内において均一に進行することを明らかにしている。以上から、室温での硬さ法によるクリープ損傷評価は、応力加速試験においても、領域 II における 20% 以下のひずみにおいて粒内領域を十分含む圧痕を用いれば可能であることを示している。

第 3 章「硬さに及ぼす応力時効の影響」では、前章の結果から TOSIX-2 のクリープ破断材を用いて、平行部全体の室温における硬さを、単純時効に相当するねじ部とともに測定し、硬さに及ぼす応力時効 (ひずみ) の影響を調べている。その結果、平行部の硬さは、クリープのマクロひずみ ϵ_c の増加に伴って増加し、この硬さのねじ部に対する増分 ΔHV は ϵ_c の 1/2 乗と比例関係にあり、これはひずみの導入による転位密度の増加に起因すると述べている。したがって、領域 II における ΔHV を評価すれば ϵ_c を推定でき、硬さ法により信頼性のある損傷評価が可能であると結論している。

第 4 章「応力時効材の硬さに及ぼす温度および応力の影響」では、第 3 章で得られた知見に基づいて、実機の ΔHV から ϵ_c を推定することを目的に、TOSIX-2 を用いて破断時間が数千時間以内となる温度および応力加速条件にてひずみが 20% 以内でのクリープ中断試験を行い、 ΔHV と ϵ_c の関係を調べている。その結果、 ΔHV は ϵ_c の 1/2 乗と比例関係にあること、また、その傾きは高温および低応力長時間ほど低下することを明らかにしている。この傾きの低下は、高温ほどクリープ中の回復によるサブバウンダリーの形成が顕著になることによる転位密度の減少に起因すると述べている。したがって、加速試験により実機の寿命を評価するための ΔHV と ϵ_c の基準線を得るためには、応力加速試験が適切であると指摘している。

第5章「応力時効材の硬さに及ぼす γ' 相の体積率の影響」では、粒内 γ' 相の体積率 $V_{\gamma'}$ が 4% (Alloy 617) および 32% (Alloy 520) の商用合金を用いてクリープ中断試験を行い、 ΔHV と ε_c の関係を調べている。その結果、いずれの場合も ΔHV は ε_c の 1/2 乗と比例関係にあるが、その傾きは $V_{\gamma'}$ の減少に伴い低下することを見出し、この低下はサブバウンダリーの形成による転位密度の減少に起因すると述べている。したがって、硬さ法による損傷評価は、 ε_c に対して ΔHV が明確に捉えられる $V_{\gamma'}$ 十数%以上の合金に適用可能であると述べている。

第6章「硬さ法によるクリープ損傷評価手法の構築」では、前章までに得た知見を基に、実機ロータの評価対象部分のクリープひずみやクリープ余寿命を硬さ測定によって推定する具体的な手順を明示している。また、その妥当性を確認するために、実機の損傷を模擬した TOSIX-2 のクリープ試験材を対象に、本評価法の推定精度を検証している。その結果、硬さ測定値からクリープひずみおよびクリープ時間を、損傷評価精度の指標となる Factor of 2 の範囲内にて推定可能であることを実証し、本手法は $V_{\gamma'}$ が十数%以上の合金のクリープ損傷を評価する上において工業的に利用できる有効な方法であることを示している。

第7章「結論」では各章で得られた結果をまとめ、本論文を総括している。

以上要するに、本論文は、非破壊かつ簡便な検査法の一つである硬さ法に着目し、析出強化型 Ni 基超合金のクリープ変形挙動の温度および応力依存性を踏まえた上で、クリープ変形中の組織変化と室温硬さとの関係を定量的に明らかにし、 γ' 相の体積率が異なる商用合金にも適用可能な汎用的かつ信頼性の高いクリープ損傷評価指針を提案したものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。