

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	オーステナイト系耐熱鋼のTCP Laves相による長時間クリープ強度に対する新概念
Title(English)	Novel Concept for Long-Term Creep Strengthening by TCP Laves Phase in Austenitic Heat Resistant Steels
著者(和文)	IMANUELTARIGAN
Author(English)	IMANUELTARIGAN
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9425号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:竹山 雅夫,中村 吉男,熊井 真次,藤居 俊之,里 達雄,寺田 芳弘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9425号, Conferred date:2014/3/26, 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	Immanuel Tarigan	
論文審査 審査員		氏名		職名	氏名	職名
	主査	竹山雅夫		教授	里達雄	教授
	審査員	中村吉男		教授	寺田芳弘	准教授
		熊井真次		教授		
		藤居俊之		教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Novel Concept for Long-term Creep Strengthening by TCP Laves Phase in Austenitic Heat Resistant Steels」と題し、7章から構成されている。

第1章「General Introduction」では、エネルギーの安定供給と CO₂ ガス排出量の低減を両立させる高効率火力発電 A-USC (Advanced Ultra-super Critical) プラントの重要性を指摘し、その実現のためには 700°C 以上において低応力・長時間クリープ強度に優れた新たな耐熱材料の開発が喫緊の課題であること、その材料として粒界に TCP (Topologically Close-packed) 相である Fe₂Nb Laves 相を析出させた Fe-Cr-Ni-Nb オーステナイト系耐熱鋼が有望であることを述べるとともに、更なる高強度化のためには Laves 相の粒界析出制御とクリープ変形機構を明らかにすることの重要性を指摘し、本論文の意義と目的について述べている。

第2章「Precipitation Behavior and Morphology Control of Fe₂Nb Laves Phase at Grain Boundary」では、モデル鋼とし提案した Fe-20Cr-30Ni-2Nb (at.%) 鋼及びこれに微量の B を添加した鋼を用いて、700°C～800°C での時効に伴う粒界 Laves 相の析出形態の変化を定量的に調べている。その結果、B 添加鋼は、全粒界面積に対して Laves 相で覆われている粒界の割合 (粒界被覆率 ρ) が、無添加鋼に比べて著しく増大し、その値が 9 割に達することを見出し、それが B の粒界偏析による界面エネルギーの増加に起因すると述べている。

第3章「Effect of Grain Boundary Laves Phase on Creep Behavior」では、第2章で用いた鋼の 700°C 及び 800°C におけるクリープ試験を行い、クリープ抵抗及びクリープ破断強度と ρ との関係を定量的に評価している。その結果、 ρ の高い鋼は、延性を低下させることなく、クリープ抵抗及びクリープ破断強度を向上させることを実証している。また、700°C での試験結果から、本鋼は A-USC 材料に要求される 700°C、10 万時間クリープ破断強度 100MPa という強度条件を満たすことを指摘し、長時間クリープ破断強度の向上にとって Laves 相による粒界析出が重要な強化因子であることを明らかにしている。

第4章「Creep Strengthening Mechanism by Grain Boundary Laves Phase」では、第3章での結果を利用して、クリープ速度 $\dot{\epsilon}$ と ρ との関係を定量的に評価するとともに、透過型電子顕微鏡を用いて転位下部組織を調べている。その結果、クリープ速度と被覆率との間には $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 (1-\rho)$ (但し、 $\rho < 1$) の関係が成立することを見出している。また、粒界 Laves 相は転位の運動の障害物として作用すること、さらに、クリープの応力指数 n 値は約 5 となることから、その変形が転位の上昇運動によって律速されることを明らかにしている。これらの事実から、粒界析出強化 (GBPS: Grain-boundary Precipitation Strengthening) は長時間クリープ破断強度の向上にとって重要な強化機構であると述べている。

第5章「Role of Grain Boundary Laves Phase on Deformation Mechanism at Accelerating Stage」では、第4章で提案した粒界析出強化とクリープの加速域での現象との関係を、詳細な組織解析により調べている。その結果、Laves 相で覆われていない粒界では、ひずみの増加にともなってサブバウンダリーが発達し、結晶方位差が増加すること、一方、被覆されている粒界ではそのような組織変化が生じにくいことを、EBSD 法を用いて定量的に明らかにし、局所的な組織変化がクリープの加速を支配する因子であると提案している。

第6章「Application of GBPS Mechanism to Engineering Materials for A-USC Power Plants」では、前章までの結果を受けて、粒界析出強化機構を利用した材料設計手法について述べている。すなわち、Laves 相による粒界被覆と粒内に優先的に析出するもう一つの金属間化合物相である GCP (Geometrically Close-packed) 相の Ni₃Nb 相を利用すると、短時間側では GCP 相による粒内析出強化、一方、長時間側では TCP Laves 相による粒界析出強化が有効に作用し、A-USC に要求されるクリープ特性を満足する低応力・長時間クリープ強度が得られること、また、この強化方法は 800°C でも可能であることを指摘している。

第7章「General Conclusions」では、本研究で得られた知見を総括するとともに、今後の課題を述べている。

以上を要するに、本論文は、金属間化合物を強化相とする新たなオーステナイト系耐熱鋼の強化機構を長時間クリープデータに基づいて検討し、その優れたクリープ強度が、Laves 相による粒界被覆に起因することを定量的に明らかにするとともに、その強化機構を利用すれば更なる高強度が図れることを実験的に示した点において、工学上並びに工業上貢献するところが大きい。したがって、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。