

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Alloying Effects on Microstructure Control and Precipitation Kinetics of TCP Fe ₂ Nb Laves and GCP Ni ₃ Nb Phases in Novel Austenitic Heat Resistant Steels
著者(和文)	OHSEONGTAK
Author(English)	Seongtak Oh
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11763号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 寛,竹山 雅夫,熊井 真次,小林 郁夫,上田 光敏,藤居 俊之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11763号, Conferred date:2022/3/26, 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

(博士課程)

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		Seongtak Oh	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	小林 覚	准教授	審査員	小林郁夫	准教授
	審査員	竹山雅夫	教授		上田光敏	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、「Alloying Effects on Microstructure Control and Precipitation Kinetics of TCP Fe_2Nb Laves and GCP Ni_3Nb Phases in Novel 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、低炭素化社会の実現とエネルギーの安定供給を両立させるには高効率次世代火力発電の要素技術開発が喫緊の課題であり、蒸気温度 1073 K に耐えうる材料研究が進行していること、Ni 基合金に匹敵するクリープ強度を有する金属間化合物強化型の新たなオーステナイト系耐熱鋼 Fe-20Cr-35Ni-2.5Nb (at.%) が注目され、その優れた強度が Fe_2Nb - ϵ Laves 相 (TCP 相) による粒界析出強化に起因することを述べている。また、さらなる高強度化には、粒界 TCP 相 (ϵ) と粒内 GCP 相 (Ni_3Nb) の析出制御により粒界被覆率 ρ を向上させる組織設計指導原理の構築が重要であり、第4族 (Zr) および第5族 (V, Ta) 遷移金属元素の効果を明確にする必要があることを指摘し、本研究の意義、目的および構成について述べている。

第2章「Effect of Zr on Precipitation and Stability of TCP Fe_2Nb Laves and GCP Ni_3Nb Phases」では、Fe-20Cr-35Ni-2.5Nb 鋼 (基本鋼) に Zr を最大 0.5 at.% まで添加した鋼を準備し、1073~1173 K にて最長 3600 h 時効を施し、TCP, GCP 両相の析出に及ぼす効果を平衡論及び速度論の観点から調べている。その結果、Zr は γ 母相中に約 0.1 at.% 固溶し、これが Nb の固溶限を低下させること、その結果 TCP 相の析出に対する Nb の過飽和度は増加し、粒界 TCP 相の析出を促して ρ を増加させること、また、Zr は粒内に析出する Ni_3Nb - δ 相 (D_{02}) に濃化して熱力学的に安定に存在する δ 相の上限温度を約 50°C 増加させることを見出している。一方、Zr の添加は、時効初期に準安定 Ni_3Nb - γ'' 相 (D_{022}) の粒内への均一析出を促し、時効硬化性の向上に有効であることを見出している。以上から、Zr の添加による相平衡および析出挙動の変化は、 γ 相および Laves 相に対する GCP 相の相対的な相安定性の向上により説明でき、Zr は本鋼の高強度化に向けた有効な添加元素であると述べている。

第3章「Effect of V on Metastable Ni_3Nb - γ'' (D_{022}) Phase Stability and TCP Phase Precipitation」では、 γ'' 相の相安定性の向上を意図して安定相 Ni_3V (D_{022}) を形成する V を基本鋼に最大 9 at.% まで添加した鋼を用いて、TCP, GCP 両相の析出に対する効果を調べている。その結果、V 添加量の増加に伴い、粒内に析出する δ 相 (GCP) は消失し、新たに Cr-rich の FeCrV - σ 相 (TCP) が粒界に生成すること、そのため ρ は増加することを見出した。この析出相の変化は、V の Laves および σ 相への濃化による両相の相安定性の向上による相平衡の変化に起因すると述べている。また、V の添加は γ'' 相の粒内析出を抑制し、時効硬化能を低下させること、一方、粒界では時効初期に粒界 Laves 相の析出を促進させるが、その Laves 相は時効に伴い包析反応により σ 相に変化 ($\gamma + \text{Laves} \rightarrow \sigma$) することを見出した。以上より、V は本鋼の高強度化に向けた組織制御には有効な添加元素ではないと結論している。

第4章「Effect of Ta on Phase Equilibria and Precipitation Kinetics of TCP Fe_2Nb Laves and GCP Ni_3Nb Phases」では、基本鋼に Nb と同族元素の Ta を添加した鋼および Nb と置換した鋼を用いて、TCP, GCP 両相の析出に対する効果を調べている。その結果、0.5 at.% の Ta 添加は本鋼の相平衡を $\gamma + \epsilon + \delta$ から $\gamma + \delta$ へと変化させ、GCP 相 (δ) の粒内析出を促進するものの、粒界 TCP (ϵ) による ρ を低下させることを見出した。一方、Nb を Ta にて置換した場合には、粒内 GCP 相の析出は促進されるが、Ta 置換量の増加に伴い TCP 相は ϵ 相から Fe_7Nb_6 - μ 相へと変化する。また、Ta 置換は時効初期に粒内 γ'' 相の析出を著

しく促し、その置換の割合が4割までは γ 相から δ 相への変態を遅滞させる効果を有するが、4割以上置換すると粒界からの不連続析出により δ 相への変態を促進させ、 ρ の低下を招くことを明らかにした。以上の知見から、Taは、 ρ を増加する効果は小さいものの粒内GCP相の相安定性を向上させる効果を有することから、本鋼の高強度化に対して、Nbの1at.%までの置換が有効であると結論している。

第5章「Effect of Combined Additions on M (M: Zr, Ta) on the Precipitation of TCP Fe₂Nb Laves and GCP Ni₃Nb Phases」では、前章までにその有効性が見出されたZrとTaを基本鋼に複合添加した鋼を用いてTCP、GCP両相の析出に対する効果を調べている。その結果、複合添加は、単独添加の場合に比べて ρ および時効硬化能を向上させることを見出した。これは、複合添加による合金組成の1073 Kにおける $\gamma+\epsilon+\delta$ 三相共存領域内における適切化およびNbの過飽和度の増加に起因すると推察している。

第6章「Microstructure Control Utilizing Additions of 4th, 5th and 6th Group Elements in Novel Fe-Cr-Ni-Nb Austenitic Heat Resistant Steels」では、本研究において得られた各元素のTCP、GCP両相の析出に対する知見および既報のM元素(M: Ti, Mo, W)の知見を纏め、本鋼の高強度化に向けての組織設計原理を構築するとともに、新たな金属間化合物強化型オーステナイト系耐熱鋼のモデル鋼を提案している。

第7章「General Conclusions」では、本研究で得られた知見を総括している。

以上を要するに、本論文は、2種類の金属間化合物相を強化相とするオーステナイト系耐熱鋼において、第4族および第5族元素に着目して、各元素の粒界及び粒内の析出に対する効果を平衡論及び速度論の観点から定量的に評価し、組織設計の指導原理を構築するとともに、その原理に基づいて新たなモデル鋼を提案したものであり、工学上並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、東工大リサーチリポジトリ(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。