

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	P含有オーステナイト系耐熱鋼における微細炭化物組織の形成機構とその応用に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	大石勝彦
Author(English)	Katsuhiko Ohishi
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10108号, 授与年月日:2016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,林 重成,小林 覚
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10108号, Conferred date:2016/3/26, 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	大石 勝彦	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	竹山雅夫	教授	林 重成	准教授
	審査員	中村吉男	教授	小林 寛	講師
		熊井真次	教授		

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「P 含有オーステナイト系耐熱鋼における微細炭化物組織の形成機構とその応用に関する研究」と題し、7章から構成されている。

第1章「緒論」では、近年の環境規制にともなう省資源技術として、高温環境下で使用される材料の低合金化技術が求められ、特に自動車部材に適用されるオーステナイト系耐熱鋼においてその要望が高いことを述べている。その技術として、微量の P の添加による炭化物の微細均一析出 (MDP: Matrix dot precipitation) を用いる手法は、レアメタルを用いずに優れた高温強度特性を得る次世代の有望な強化手法であり、MDP 形成機構および、それを効果的に利用する合金化技術の解明がこの強化法を利用した合金設計および開発にとって重要であることを指摘し、本研究の意義及び目的について述べている。

第2章「時効硬化挙動とミクロ組織に及ぼす P の影響」では、C を 1.5at.% に固定し、P を 0.01at.%-0.5at.% 含有するオーステナイト鋼を準備し、それらの鋼の時効硬化挙動について調べている。その結果、P 無添加鋼では結晶粒界にのみ  $M_{23}C_6$  が生成し硬さの増加は認められないのに対し、P 添加鋼では結晶粒内に 10nm-20nm サイズの  $M_{23}C_6$  が微細均一に析出する MDP が形成され、その析出密度は P 添加量の増加にともない増大して時効硬化能が高まることを示し、MDP 形成に必要な P 量の下限臨界値は 0.24at.%、また、その形態を維持するのに適正な P 量は 0.32at.% であることを見出している。さらに、P は結晶粒界の一部にリン化物として存在するもののその量はわずかであり、大部分が  $\gamma$  母相中に固溶していることを実証している。

第3章「粒内炭化物形成に及ぼす合金元素 (Mo, N) の影響」では、MDP を形成する P 含有鋼に炭化物形成に影響を及ぼす置換型元素の Mo および侵入型元素の N を種々の量添加した鋼を用いて、MDP の形成に及ぼす両元素の効果について系統的に調べている。その結果、Mo は結晶粒内の  $M_{23}C_6$  の析出を促進するが MDP 形成による時効硬化能を高める効果はないこと、一方、侵入型固溶元素である N は MDP の形成を促進するとともに、時効硬化能を高めることを見出している。

第4章「MDP を形成する  $M_{23}C_6$  炭化物の核生成に及ぼす P の役割」では、P 添加による MDP 形成機構について、X 線回折および 3次元アトムプローブ (3DAP) により検討している。その結果、固溶化材の格子定数は P の固溶にともない減少し、P は  $\gamma$  母相中に置換型に固溶すること、また、3DAP による動径分布関数解析により、C 原子は P 原子の侵入型第一近接および第二近接位置に平均濃度よりも高い確率で存在することを実験的に明らかにしている。P 原子の周りに C 原子が存在するのは、原子半径の小さな P 原子の置換型固溶により形成される引張応力場と C 原子の侵入型固溶により形成される圧縮応力場が互いに打ち消し合うことに起因し、したがって P 添加に伴う MDP の形成は、 $\gamma$  母相中に置換型に固溶した P 原子が  $M_{23}C_6$  の核生成サイトとして働くためであると推察している。

第5章「MDP 形成機構に及ぼす合金元素 (P, Mo, N) の効果」では、P の添加による MDP の形成とその形態に及ぼす Mo および N の役割について、時効による  $M_{23}C_6$  の組成および格子定数の解析から検討している。その結果、P は粒内炭化物内には存在せず  $\gamma/M_{23}C_6$  界面に濃化すること、また Mo と N は粒内炭化物の  $M_{23}C_6$  中に存在し、 $M_{23}C_6$  の格子定数を増加させることを実験的に明らかにしている。これらのことから、核生成した  $M_{23}C_6$  がその後の時効によりその微細な形態を維持するのは、 $\gamma/M_{23}C_6$  界面の母相側への P の濃化による母相側の格子定数の減少に加えて、Mo と N の  $M_{23}C_6$  の M サイトおよび C サイトへの置換による  $M_{23}C_6$  の格子定数の増加により、 $\gamma/M_{23}C_6$  界面での格子ミスマッチが低下し、弾性歪エネルギーの低い整合界面の形成により炭化物の成長が抑制されることに起因すると推察している。したがって、MDP の形成には P の添加に加え、 $\gamma$  相と  $M_{23}C_6$  の格子ミスマッチの制御が重要であることを指摘している。

第6章「P含有オーステナイト系耐熱鋼の開発とその諸特性」では、前章までの結果に基づいて、MDP形成のための設計原理を述べるとともに、P添加オーステナイト系耐熱鋼を用いたエンジンバルブ材の合金設計と開発を試みている。その結果、開発材は要求される特性を満足すること、また、工業規模における素材製造および量産性を満足し、現行材 (Fe-Ni合金) 対比で Ni 添加量を約7割低減しつつも現行材に匹敵する特性を有することを実証している。

第7章「結論」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 P の添加によってオーステナイト系耐熱鋼において生じる MDP の形成機構を明らかにし、その効果を利用した設計指導原理を構築するとともに、その原理を用いてレアメタルを低減させた耐熱鋼の開発に応用した点において、工学上並びに工業上貢献するところが大きい。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。