

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	鍛造Ni基超合金における析出組織の定量的評価
Title(English)	
著者(和文)	山口義矢
Author(English)	Yoshiya Yamaguchi
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11453号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:寺田 芳弘,尾中 晋,梶原 正憲,木村 好里,中田 伸生
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11453号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	山口 義矢		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 寺田 芳弘
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub) 尾中 晋

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

鍛造 Ni 基超合金は、地球温暖化ガス低減に寄与する先進超々臨界圧火力発電プラントプラント (A-USC) において、最も優れたクリープ強度が求められるタービン部材への適用が見込まれる材料である。火力発電プラントのタービン部材には、973 K 以上にて 30 万時間以上耐え得る組織安定性が求められる。組織安定性の向上を図るための第一歩として、鍛造 Ni 基超合金の主な強化相である γ' 析出相形態を体系的な理解することが重要となる。体系的な研究を行うにあたり、 γ' 析出相形態を支配する合金固有の主要なパラメータとして、格子ミスフィットおよび γ' 体積率に着目した。本論文では、広範な γ' 体積率および格子ミスフィットを有する代表的な鍛造 Ni 基超合金において、溶体化熱処理後の連続冷却過程およびその後の時効熱処理過程における γ' 析出相の組織変化を系統的に調査した。

第 1 章「緒論」では、 $\gamma-\gamma'$ 型鍛造 Ni 基超合金の社会的意義を俯瞰し、 γ' 析出相についてのこれまでの知見と問題点を述べ、本論文の目的と概要を示した。

第 2 章「鍛造 Ni 基超合金 Udimet 720Li における析出相形態の定量的評価」では、 γ' 体積率が約 45% と高く格子ミスフィットが 0% に近い Udimet 720Li について、 γ' 析出組織に及ぼす溶体化熱処理後冷却速度の影響を調査した。冷却速度の低下に伴い二次 γ' 粒子サイズは単調に増加する。冷却速度の速い場合に二次 γ' 相粒子形状は球状となるのに対し、冷却速度の低下に伴い、粒子形状は球状からオクト dendrait 状に移り変わる。各種冷却材に対し 1173 K の時効熱処理を施すと、球状の二次 γ' 粒子は形状を維持したまま粗大化するのに対し、オクト dendrait 状粒子は粗大化の進行に伴い形状は球状に近づくことを見出した。

第 3 章「鍛造 Ni 基超合金 Udimet 520 における等温時効熱処理中の微細組織変化」では、 γ' 体積率が約 31% であり正の格子ミスフィットを有する Udimet 520 について、溶体化熱処理後に種々の連続冷却を施した後、1173 K の時効熱処理中における時効硬化挙動および微細組織変化を調査した。水冷材、油冷材および空冷材では時効熱処理中に時効硬化挙動を示すのに対し、炉冷材では時効初期から硬さは減少し時効硬化挙動を示さない。水冷材では、時効熱処理初期において球状の二次 γ' 相が析出し、過時効段階において二次 γ' 粒子は球状から立方体状に移り変りながらオストワルド成長により粗大化する。これに対し、炉冷材では、冷却時にオクト dendrait 状の二次 γ' 粒子と微細な球状三次 γ' 相粒子が析出し、時効熱処理中において、オクト dendrait 状の二次 γ' 粒子が分裂することを見出した。

第 4 章「鍛造 Ni 基超合金における γ' 析出粒子の形態変化」では、 γ' 体積率と格子ミスフィットを広い範囲で変えた Udimet 720Li, Udimet 520, Alloy 80A および Inconel X-750 に対して、溶体化熱処理水冷後、1173 K にて最長

4000 時間の時効熱処理を行い、過時効段階における微細組織変化を調査した。いずれの合金においても、 γ' 粒子は過時効段階においてオストワルド成長により粗大化が進行する。 γ' 形態変化過程は、格子ミスフィットの値に依存して3つのタイプに分類できることを明らかにしている。格子ミスフィットが0.02%の Udimet 720Li では、 γ' 相析出粒子は過時効段階全域において球状を維持したまま粗大化する。格子ミスフィットが0.10%の Udimet 520 では、過時効段階初期において、 γ' 粒子は立方体状となって配列し、粒子サイズの増加に伴い立方体状化および配列が進行する。格子ミスフィットが0.30%以上の Inconel X-750 および Alloy 80A では、過時効段階初期において、 γ' 粒子は立方体状となって配列し、粒子サイズの増加に伴い立方体状化および配列が進行する。そして、過時効段階後期において、 γ - γ' 界面の整合性が崩れると γ' 粒子は塊状化して凝集する。

第5章「Ni 基超合金における γ' 析出粒子の分裂現象」では、二次 γ' 相粒子が分裂する理由を明らかにすることを目的として、Udimet 520 について、溶体化熱処理後の炉冷を 773–1273 K の種々の温度にて強制水冷した試料について、1173 K にて時効熱処理を行い、時効硬化挙動および微細組織変化を調査した。1273 K 強制水冷材では時効熱処理中に時効硬化挙動を示すのに対し、773–1173K 強制水冷材では時効硬化挙動を示さない。時効温度以上で強制水冷した 1173–1273 K 強制水冷材では、二次 γ' 相粒子の粒子分裂は生じず、時効温度以下で強制水冷した 973 K 強制水冷材において粒子分裂が生じる。二次 γ' 相粒子の粒子分裂現象は、速度論と平衡論の競合により説明できる。まず、『 γ' 相粒子の溶解に起因し、二次 γ' 相粒子周りにおいて γ' 構成元素の拡散が促進され、二次 γ' 相粒子は $\langle 111 \rangle$ 方向に優先成長することでオクトドendraイト形状に変化する』速度論に基づく組織変化が起きる。次に、『弾性相互作用エネルギーの低減を駆動力に、二次 γ' 相粒子の切り込みが深くなり、遂には粒子分割が生じる』平衡論に基づく組織変化が起きる。

第6章「結論」では、本論文の各章で得られた結果をまとめている。また、この分野の課題を指摘すると共に、今後の発展につながる実験的研究の一例を提示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	山口 義矢		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 寺田 芳弘
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub) 尾中 晋

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Wrought Ni-base superalloys are materials that have been used in aircraft engines because of its excellent heat resistance. In recent years, it has attracted attention as candidate materials for Advanced Ultra-Supercritical (A-USC) power plants to increase efficiency. Since A-USC plant members are very large, it is expected that there will be a difference in cooling rate after solution treatment between the center and the outer periphery of the members. In this study, the effect of the cooling rate after solution treatment is first investigated, and then the microstructure evolution during aging treatment for each cooling specimen is systematically examined.

First, using Udimet 720Li, The size of the γ' precipitates, d increased continuously with the decrease of the cooling rate, after solution treatment with decreasing cooling rate, the shape of the γ' precipitates changed from spherical to octodendritic.

Next, using Udimet 520, for the specimens with high cooling rates such as water quenching (WQ), d increased during the isothermal aging along with the LSW model. On the contrary, the γ' particles exhibited an octodendritic shape for the as furnace cooling (FC) specimen, and the octodendritic character of the γ' particles was emphasized during the isothermal aging resulting in the splitting of the γ' particles,.

Finally, using four superalloys with a wide range of the lattice misfit, δ and volume fraction, the morphology evolution of γ' particle can be classified into three types: (A) For $|\delta| < 0.10\%$, the spherical morphology remains unchanged with increasing d , (B) In the case of $0.10 \leq |\delta| < 0.30\%$, the γ' morphology evolves from spherical to cuboidal with remaining coherency at the γ/γ' interface with increasing d , accompanied by the alignment of cuboidal γ' precipitates, (C) when $|\delta| \geq 0.30\%$, the morphology evolution of γ' is from spherical to cuboidal and finally to globular. The coherent γ/γ' interface changes to semi-coherent with the coalescence of γ' precipitates.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).