T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	TiAl基合金の粒界析出制御とそのクリープ特性に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	若林英輝
Author(English)	Hideki Wakabayashi
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11147号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:竹山 雅夫,小林 覚,熊井 真次,藤居 俊之,村石 信二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11147号, Conferred date:2019/3/26, 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

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料　系 材料　コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	若林　英輝	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	竹山　雅夫
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	小林　覚

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は，「TiAl 基合金の粒界析出制御とそのクリープ特性に関する研究」と題し，６章から構成される．

第１章「緒論」では，2037 年までに 42000 機の航空機が製造予定であり，環境負荷低減に向けて材料の軽量化と高温化による高燃費かつ高性能なエンジン開発が進められていること，中でも優れた高温比強度を有する γ-TiAl 基合金の適用範囲の拡大が求められ，その実現には現状よりも 100 K 高い 1073 K でのクリープ強度の向上が必要であるという社会的背景について述べた．また，クリープの高強度化にはクリープ加速の抑制が重要であり，加速の開始が，遷移クリープ域でのクリープ速度の減少の程度が低下する時点，にあることを提案し，TiAl 基合金においては，α_2-Ti_3Al/γ-TiAl 二相からなるラメラ組織による粒内強化に加えて，加速の原因となる粒界近傍での変形を抑制する組織制御が重要であることを指摘し，本研究の意義，目的および構成を述べた．

第２章「クリープに及ぼす粒界β相の影響」では，Ti-Al-Nb-V 四元系合金を用い，多元系特有の相変態（$\beta+\alpha\rightarrow\alpha\ (\alpha_2)+\gamma\rightarrow\beta+\gamma$）を利用して，初期組織をほぼ$\alpha_2/\gamma$ラメラ組織とした試料およびそのラメラ粒界を粒状のβ相により被覆した試料を準備し，1073 K におけるクリープ挙動を調べている．その結果，後者の加速の開始は早期に生じるが，その後の加速クリープ域における加速の程度（以後$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ と表記する）は減少すること，一方，前者の大きな$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ は，クリープ中に生じるα_2/γラメラ組織から粒状 β/γ duplex 組織への相変態による組織の不安定性に起因することを明らかにした．そこで，この相変態が生じない場合の$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ をクリープ歪みから算出するとともに，前者に時効を施してラメラ組織の安定化を図り，且つ，その粒界をセル状析出反応（$\alpha_2+\gamma\rightarrow\beta+\gamma$）により形成した板状β相により被覆した試料のクリープ試験を行い，この試料の$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ は，粒状β相により被覆した試料の$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ よりも小さく，算出した$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ とほぼ同じになること，および，クリープ寿命が著しく向上することを見出した．組織解析より，板状β相近傍には動的再結晶が認められず，このクリープ強度の向上は，ラメラ組織の安定化に加えて，板状β相の粒界被覆によるクリープ加速の抑制に起因すると述べた．

第３章「$\alpha_2+\gamma\rightarrow\beta+\gamma$ セル状析出反応を利用した組織形成」では，前章での結果を踏まえて，板状β相の形成機構を，β安定化能の高い Cr を添加した Ti-Al-Cr 三元系合金を用い，その相平衡および相変態経路（$\beta+\alpha\rightarrow\alpha\ (\alpha_2)+\gamma\rightarrow\beta+\gamma$）を利用して検討した．その結果，板状 β相は α_2/γ ラメラ組織の形成後，そのラメラ粒界からのセル状析出反応により形成し，セルの大きさはラメラ粒径に依らず直径約 10 μm となることから，その形成機構は sympathetic nucleation 型であると述べた．また，セル内の β 相の体積率は約 20 %となり，平衡状態図における β/γ 二相タイラインから得られる値と一致すること，さらに，セルの形成速度はその反応に対する Cr の過飽和度を 0.8 at.%から 1.0 at.%に増加させると約 1 桁増加することを見出した．以上の結果から，セル状析出反応の TTT 図および CCT 図を作成し，ラメラ粒界を板状β相よって被覆し，且つ，未変態ラメラ組織を安定に維持する組織制御法を提案した．

第４章「クリープに及ぼす粒界 β 相の体積率の影響」では，前章で示した Ti-Al-Cr 三元系における組織制御法を利用して，粒径約 100 μm のα_2/γラメラ組織の粒界から幅約 10 μm および 20 μm までセルを形成させ，その体積率をそれぞれ 10 %および 20 %とした板状β相にて粒界を被覆した２種類の試料を作成し，1073 K でのクリープ中に相変態が生じない条件にてクリープ試験を行い，クリープ抵抗と

β相との関係を定量評価した．その結果，前者の加速の開始は後者に比べて５倍以上遅滞し，1500 h を越えても未だに遷移クリープ域にあり，同一条件にて試験をした中で最も優れたクリープ強度を示すこと，また，後者は加速の開始は早いものの，$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ は第２章で求めた相変態を起こさない場合の計算値よりも一桁小さく，クリープ加速が抑制されることを明らかにした．以上より，熱力学的に安定な板状β相によるラメラ粒界の被覆は，クリープ加速を著しく抑制し，クリープ強度の向上に有効であると結論した．

第５章「クリープに及ぼす粒界 α_2 相の影響」では，Ti-Al-Nb 三元系特有の反応経路である α→α+γ→γ を利用して，等軸 γ 単相組織とした試料，それを γ 単相域直上の α+γ 二相域にて保持し，粒界を α_2 相により被覆した試料，および α 単相域からの制御冷却により γ/γ フルラメラ組織とした試料を準備し，1073 K におけるクリープ挙動を調べた．その結果，加速の開始はα_2 相による粒界被覆材において最も遅滞し，また，その後の$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ も等軸 γ 単相材および γ/γ フルラメラ材の値に比べてそれぞれ 0.3 倍および 0.8 倍と最も小さくなることを見出した．また，等軸 γ 単相材の$\Delta\dot{\varepsilon}_{ast}$ の増大は粒界近傍での動的再結晶粒の早期の形成とその粒内への急激な発達に起因し，一方，α_2 相による粒界被覆はフルラメラ材と同等以上にその形成と発達を抑制することを組織解析より明らかにした．以上より，α_2 相による粒界被覆はクリープ強度の向上に有効であると述べた．

第６章「結論」では，本研究にて得られた知見を総括し，TiAl 基鍛造および鋳造合金のクリープ強度の向上に向けた組織制御法を述べた．

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 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).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 系 材料 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	若林 英輝	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	竹山 雅夫
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	小林 覚

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

The objective of this study is to clarify the effect of grain boundary β-Ti phase and grain boundary α_2-Ti_3Al phase on creep behavior of γ-TiAl based alloy. α_2/γ lamellar colony boundary was covered by globular type β phase (β/γ globular) and lamellar type β phase (β/γ lamellar) utilizing unique phase transformation path way of $\beta+\alpha\text{-Ti}\rightarrow\alpha_2+\gamma\rightarrow\beta+\gamma$ in the multi component system. Former specimen shows shorter time to accelerate but smaller degree of creep acceleration than nearly α_2/γ lamellar specimens. The small degree of acceleration is due to the phase transformation from α_2/γ lamellar to β/γ globular during creep. On the other hands, later specimen shows longest time to start acceleration and lowest degree of acceleration and most superior creep strength in spite of the same volume fraction of β phase with former specimen. It is suggested that high creep resistance of later specimen is due to the high microstructural stability of α_2/γ lamellar and high thermo-mechanical stability of β/γ lamellar which suppresses a formation of dynamic recrystallization at a vicinity of lamellar boundary. Microstructural control technique to cover α_2/γ lamellar boundary by lamellar type β phase was constructed by exploring formation process using $\alpha_2+\gamma\rightarrow\beta+\gamma$ cellular precipitation reaction. Effect of volume fraction of lamellar type β phase at α_2/γ lamellar boundary on creep property was investigated with a condition that no phase transformation occurs. This specimen shows significantly small degree of acceleration compared with α_2/γ lamellar covered by globular β phase. It is clear that introduction of lamellar type β phase on α_2/γ lamellar boundary is effective to improve creep strength. Equiaxed γ grain boundary was covered by α_2 phase using $\alpha\rightarrow\alpha+\gamma\rightarrow\gamma$ phase transformation. This specimen shows longer time to accelerate and small degree of creep acceleration compared with α_2/γ lamellar and equiaxed γ specimen. It is revealed that this is due to the suppression of formation in dynamic recrystallization at a vicinity of grain boundary by α_2 phase. Based on these results, microstructural design principle of γ-TiAl based wrought and cast alloy for the superior creep strength using grain boundary β phase and grain boundary α_2 phase was proposed.

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).