T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo 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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（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		若林　英輝	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	竹山　雅夫	教授	審査員	藤居　俊之	教授
	審査員	小林　覚	准教授		村石　信二	准教授
		熊井　真次	教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

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章から構成されている．

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ている．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ている．

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ている．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ている．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ている．

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（$\beta+\alpha\rightarrow\alpha\ (\alpha_2)+\gamma\rightarrow\beta+\gamma$）を利用して検討している．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 型であると述べている．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.%増加させると約 1 桁増加することを見出している．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ている．

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ている．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ている．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ている．

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ている．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ている．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ている．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ている．

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ている．

以上要するに，本論文は，鍛造および鋳造 TiAl 基合金において重要な組織因子となる β 相および α_2 相を用いた粒界組織の制御法を多元系特有の相変態経路を用いて明らかにし，いずれの相においてもその粒界被覆がクリープ加速の開始の遅滞とその後の加速の抑制に有効であること，また従来定性的に弱化因子と見なされていた β 相による粒界被覆がクリープ強度の向上に有効であることを定量的に見出し，高強度化に対する新たな指針を提案したものであり，工学上なら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。