

## 審査の結果の要旨

氏 名 江村 聡

航空機用エンジンなどの熱機関においては、更なる高効率化のために耐熱特性に優れた軽量構造材料が求められている。本論文は新たな軽量耐熱材料として将来性が期待されている Ti-Al-Nb 系金属間化合物について、金属微細組織の制御およびセラミック粒子の分散による機械的特性向上の指針を実験的に明らかにしたものであり、全6章より構成されている。

第1章は序論であり、航空機エンジンなどへの適用が期待されているチタン系耐熱材料の研究開発の現状および問題点を整理し、新しい軽量耐熱材料開発の必要性および要求される機械的特性を明らかにした。候補材料として有望な Ti-Al-Nb 系金属間化合物の特徴や軽量耐熱材料としての将来性について概説するとともに、製造プロセスや特性向上の手法について既存の研究開発を整理し、問題点を明確にし、本論文の目的を示している。

第2章では、素粉末混合法を用いて  $\alpha_2 + \beta$  二相組織からなる  $Ti_3Al-Nb$  金属間化合物の製造を試みるとともに、熱処理による金属組織の最適化ならびに TiB セラミック粒子分散強化の両面から力学特性の向上について検討を加えた。その結果、熱処理による金属組織の微細化により、 $Ti_3Al-Nb$  の室温高サイクル疲労強度を応力繰返し数  $10^4$  回 $\sim 10^7$  回の範囲で 100MPa 程度向上させることが可能であるが、クリープ特性の低下も同時に招くことを実験的に示した。また、TiB 粒子の分散によって、 $Ti_3Al-Nb$  の引張強さは、500°C以下の温度域で 100MPa 以上向上し、室温高サイクル疲労強度も応力繰返し数  $10^7$  回で 100MPa 以上向上することを明らかにした。しかし、650°C以上の高温域では引張強さが急激に低下し、TiB 粒子の分散に伴う  $Ti_3Al-Nb$  の微細化によってクリープ特性が逆に劣化してしまうことを明らかにしている。

第3章では、 $Ti_3Al-Nb$  よりも高温特性に優れていると考えられる O 相(斜方晶)を主体とした  $Ti_2AlNb$  金属間化合物の素粉末混合法による製造を試みるとともに、 $Ti_2AlNb$  金属間化合物中への TiB 粒子分散の効果を調べた。素粉末混合法によって製造した  $Ti_2AlNb$  の室温および高温での引張特性および室温高サイクル疲労特性は、 $Ti_3Al-Nb$  と比較して、引張比強度で  $50Pa \cdot m^3g^{-1}$  以上、 $10^7$  回疲労強度で 100MPa 以上上回ることを明らかにした。一方、TiB 粒子分散  $Ti_2AlNb$  基複合材料では、高酸素含有量(0.8mass%以上)に起因する塊状  $\alpha_2$  相の析出が 600°C以下での引張強さおよび延性の大幅な低下をもたらし、TiB 粒子分散の効果が認められないことを示した。これらの結果から、材料中の酸素含有量を低減し、TiB 粒子分散の効果を発現させるために、新たな製造プロセスの検討が必要であると結論している。

第4章では、第3章の結果をもとに、低酸素含有量の材料を得るために、合金粉末法を用いて  $Ti_2AlNb$  金属間化合物の製造を行った。さらに、機械的性質の向上を目的として、 $Ti_2AlNb$  の金属組織制御、結晶粒径の微細化および  $TiB$  粒子分散強化について検討した。製造した  $Ti_2AlNb$  の室温および高温での機械的性質は、加工熱処理による金属組織制御を行うことによって変化することを実験的に示した。特に、高温単相領域から毎秒  $0.03\sim 0.5K$  の速度で徐冷するという熱処理を施すことで、室温引張比強度  $150Pa\cdot m^3g^{-1}$  以上、室温延性が約 5%、 $800^\circ C$ での引張比強度  $100Pa\cdot m^3g^{-1}$  以上と、クリープ特性も合わせた機械的性質のバランスに優れた材料を作り出すことに成功している。さらに、加工熱処理によって均一に分散させた  $\alpha_2$  相が結晶粒の成長を抑えることによる、結晶粒径の微細化によって、 $Ti_2AlNb$  の室温延性が最大 15%以上と大幅に改善されることを明らかにしている。

$Ti_2AlNb/TiB$  複合材料においても、素粉末混合法によって製造した場合と比較して、合金粉末法を用いて製造した複合材料中の酸素含有量が 0.08 mass%以下と極めて低いこと、急冷凝固粉末を原料として使用することで、分散する  $TiB$  粒子の大きさが最大 ~~500~~500nm 以下と非常に微細になること、合金粉末法を用いることによって  $Ti_2AlNb/TiB$  複合材料の室温での引張比強度が  $150Pa\cdot m^3g^{-1}$  以上向上し、全く得られなかった室温延性についても 2%以上の延性が得られることを明らかにした。さらに、 $650^\circ C$ でのクリープ特性についても、溶解法で製造した粗大な  $TiB$  粒子を含む複合材料と比較して、合金粉末法による微細な  $TiB$  粒子を含む複合材料が 5倍近く高いクリープ変形抵抗を有することを示した。これらの結果より、合金粉末法による  $Ti_2AlNb$  金属間化合物および  $TiB$  粒子強化複合材料の製造は、 $Ti-Al-Nb$  系金属間化合物材料の特性向上の手法として有望であることを示している。

第5章では、本論文を通して得られた知見をもとに、 $Ti-Al-Nb$  系金属間化合物系材料の機械的特性向上の手法および向上の程度について材料組織学的視点から整理している。金属組織の微細化と結晶粒径の微細化を組み合わせることにより、既存のチタン系耐熱材料(チタン合金および  $\gamma-TiAl$ )を大きく上回る特性が期待できること、クリープ特性等の高温強度の向上の観点からは微細な  $TiB$  粒子の分散が非常に有効であること、という指針をまとめている。

第6章は結論であり、本論文で得られた結果を総括している。

以上のように、本論文は、 $Ti-Al-Nb$  系金属間化合物および  $TiB$  粒子強化複合材料について、機械的性質に及ぼす金属微細組織制御および粒子複合化の影響を詳細に検討し、高温特性と材料信頼性を両立できる新たな軽量耐熱材料の実用化に向けた組織制御の指針を示したものであり、金属材料工学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。