

審査の結果の要旨

氏 名 川 端 健 詞

金属材料の高温強度を改善する目的でマトリクス中により剛な強化相を分散(複合)させた場合、定常クリープには、しきい応力による分散強化、強化相への荷重の移動による複合強化と、強化相周りの拡散によって荷重の移動が消失する複合軟化という、見かけ上全く異なる3種の挙動が現れることが知られている。しかしながらそれらの挙動は、発現する材料系が全く異なることから別個に議論され、それらの関係は不明のままであった。本論文は、同一の強化原理に基づいているにもかかわらず別個に議論、検討されていた3種の挙動について、強化相とマトリクス間に生じる塑性歪みの不一致の緩和機構に注目することにより、それらの関係を明確にすることを試みており、6章から構成されている。

第1章は序論であり、高温における金属材料の強化法に関してのこれまでの研究の推移を概括し、本論文の位置づけ、すなわち同一の強化原理に基づいているにもかかわらず、見かけ上全く異なって現れる3種の挙動の統一的解釈の必要性を述べている。

第2章は、高温クリープに共通する現象としての界面での拡散による拡散緩和とマトリクスの不均一な塑性変形による塑性緩和をとりあげ、そこから第二相分散金属基材料の定常クリープ挙動が、拡散緩和速度を境として完全拡散緩和領域と緩和律速領域に分けられることを述べている。そして、完全拡散緩和領域は分散強化が見られるしきい応力領域と複合軟化が見られる完全拡散緩和領域に分けられ、緩和律速領域は拡散緩和律速領域と、複合強化の見られる塑性緩和律速領域に分けられることを導いている。このことから理想的なクリープ曲線がS字状に描かれることが期待されるが、従来の実用的第二相分散金属基材料では、拡散緩和および塑性緩和の速度が極めて小さい、しきい応力が巨大、マトリクス/強化相界面での割れや剥離等の理由によりS字曲線は観察されないことを述べている。このため、緩和機構を考慮した定常クリープ挙動の解析に適したモデル材料(Ti/TiB 複合材料、Al-Mg/Al₂O₃ 複合材料)によるモデル実験を提唱している。

第3章～第5章は、それらの実験結果であり、まず第3章では、体積分率、配向性をそろえた Ti/5, 15, 20vol.%TiB 複合材料において、緩和機構を考慮した定常クリープ挙動を実験的に検証した。すなわちまず定常クリープ挙動がS字曲線を呈することを示し、変形の活性化エネルギーが、低応力域ではTiの体拡散

の活性化エネルギーに、高応力域では界面拡散の活性化エネルギーにほぼ等しいこと、また高応力域では体積分率の増加と共にひずみ速度が減少し、その傾向は複合強化で予測されるものとほぼ等しいこと等々、2章で述べたクリープ挙動が拡散緩和速度を境に完全拡散緩和、拡散緩和律速、塑性緩和律速領域に分けられることを実験的に示している。

次いで第4章では、Al-Mg/Al₂O₃ 複合材料を用いて完全拡散緩和領域でのしきい応力について実験から、高応力側で Al-Mg のべき乗則クリープに漸近するものの、低応力側で応力指数の増加が見られ、その値は完全拡散緩和による転位と強化相の引力型相互作用で得られる値とほぼ等しいことを導き、完全拡散緩和下では粗大強化相であっても引力型相互作用によるしきい応力が発現することを述べている。

第5章では Ti/10vol%TiB と Ti/20vol%TiB を中間の応力域でクリープ試験を行うことにより完全拡散緩和領域での複合軟化と塑性緩和律速領域での複合強化を実験的に示している。すなわち両者の定常クリープ挙動はひずみ速度 10⁻⁶ s⁻¹ を境として低ひずみ速度側で Ti/20vol%TiB の方が Ti/10vol%TiB よりもひずみ速度が大きくなる複合軟化挙動を示し、高ひずみ速度側では逆に Ti/10vol%TiB の方がひずみ速度が大きくなる複合強化挙動を観察している。

第6章は総括であり、第二相分散金属基材料において従来全く別の変形挙動として議論されてきた分散強化、複合強化、複合軟化挙動について、緩和機構に基づいて解析することにより、それぞれが完全拡散緩和領域、塑性緩和律速領域の変形挙動として統一的に理解できることを結論づけている。

以上要するに、本論文は高温における金属材料の強化に際して遭遇する分散強化、複合強化、複合軟化といった見かけ上全く異なる現象の統一的解釈を行った研究である。本研究は、粒子分散合金はもとより金属基およびセラミックス基複合材料の設計、使用法に関しての適切な指針を与えるものであり、材料強度学、特に高温材料強度学への貢献が大きいと認められる。

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。