

京都大学	博士 (工 学)	氏名	森 藤 文 雄
論文題目	Mo-Re 合金の微細組織の特徴と材料特性向上に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>粗粒化した Mo 材料は室温近傍で粒界破壊を生じ易く、構造材料としての信頼性を欠くという大きな課題を有している。本論文は、これらの問題を実用的な立場から解決するために、生産コスト的にもメリットがある粉末冶金法により製作した Mo-Re 合金に関して、微細組織、機械的性質、破面状態などのキャラクタリゼーションを詳細に行い、溶接性の改善、材料特性の向上を試み、更に、Re 添加効果の溶接性、中性子照射特性に及ぼす影響などに関して総合的に検討した結果をまとめたものであって、8 章からなっている。</p> <p>第 1 章において、Mo 材料の歴史、現状、用途および課題について概観するとともに、Mo 材料の粒界脆化、溶接性に関してまとめている。Mo-Re 合金は将来有望な先端的高融点材料として期待されているため、実用化の具体的検討の必要性を述べている。</p> <p>第 2 章において、本研究における各種 Mo 材料の特徴と作製および実験方法について述べている。機械的性質は、引張試験、曲げ試験、マイクロビッカース硬さ試験により、組織観察、破面観察は、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡、オージェ電子分光を用いて、更に X 線回折、波長分散型 X 線回折、エネルギー分散型 X 線回折による分析も併用している。</p> <p>第 3 章において、種々の Mo 材料の特徴を概観し、多結晶 Mo および Mo 合金の電子ビーム溶接材について、溶接性の向上、粒界脆性の改善を図るため、微細組織、破面状態などのキャラクタリゼーション、機械的特性、粒界破壊の機構解明について議論するとともに、従来の Mo 材料の研究・開発に関するまとめを行っている。</p> <p>第 4 章において、室温での固溶範囲内とされている 41 wt% Re 以下の固溶型 Mo-Re 合金電子ビーム溶接材の機械的、組織的特徴について検討している。さらに、固溶型 Mo-Re 合金電子ビーム溶接材の Re 添加効果についてまとめている。15~40 Re を含む粉末冶金法 Mo-Re 合金の電子ビーム溶接材には、ポロシティなどの溶接欠陥は認められず、極めて健全な材料であることを明らかにし、粉末冶金法による Mo-Re 合金材料の健全な電子ビーム溶接材を得るための作製加工工程を確立している。Mo-Re 合金材料への C 添加および溶接前後の焼鈍処理は機械的特性の改善、とりわけ、延性の回復に効果的であり、これの主因は C の結晶粒界偏析による粒界結合力の増加によると考えられることを示している。Mo-Re 合金の電子ビーム溶接材の機械的特性を改善するための最適な Re 量は 25 wt%以上であることを明らかにし、粉末冶金法による Mo-Re 合金の電子ビーム溶接材が高温構造材料として有望であることを明らかにしている。</p> <p>第 5 章において、σ 相や χ 相のような第 2 相が存在する、析出型 Mo-Re 合金についての結果をまとめている。Mo 合金のなかで、Mo-Re 合金は優れた特性を示すことは良く知られている。しかし、Mo の組織と特性に対する Re の添加効果は十分に理解されているとは言えない。Mo-47 wt% Re、Mo-50 wt% Re 合金電子ビーム溶接材において、77 K までの機械的特性、微細組織について検討するとともに、溶接後の温間加工と高温熱処理の影響も議論し、さらに、析出型 Mo-Re 合金電子ビーム溶接材の Re 添加効果について考察している。</p>			

第6章において、数種のMo材料の特性に及ぼす中性子照射による影響について議論するとともにMo材料の耐照射性の特徴を概観している。中性子照射の影響により、Mo材料の母材、電子ビーム溶接材ともに機械的特性に関して、延性脆性遷移温度(DBTT)の上昇、降伏応力、引張強さ、ビッカス硬さの増加を確認している。また、各種粉末冶金法Mo、電子ビーム溶解Mo、アーク溶解Mo、TZM、Mo-0.56 wt% Nbの母材と電子ビーム溶接材の曲げ試験によるDBTTについて、加工材の方が焼鈍材よりもDBTTが低下すること、焼鈍温度の上昇とともにDBTTが上昇し、母材よりも電子ビーム溶接材のDBTTが増加することを見出している。そして、浸炭焼鈍は母材および電子ビーム溶接材いずれもDBTT低下に効果的であることを確認している。このように、各種の加工、熱処理を施した母材、電子ビーム溶接材の特性は照射後にも反映され、非照射時の特性が良好なものは照射後の特性にも持続される傾向を明らかにしている。

第7章において、固溶型および析出型Mo-Re合金の中性子照射による機械的性質、組織変化について議論している。さらに、Re添加効果の観点から、固溶型および析出型のMo-Re合金電子ビーム溶接材の組織と特性を比較検討するとともに、中性子照射による影響について検討している。Mo-Re合金電子ビーム溶接材におけるRe添加効果を、中性子照射による照射誘起偏析、照射誘起析出、照射誘起脆化、破壊様式、機械的特性などに関して検討し、Mo-Re合金電子ビーム溶接材のRe効果に及ぼす中性子照射の影響を明らかにすることが必要不可欠であると結論している。

第8章において、各種のMo材料およびMo-Re合金の健全な電子ビーム溶接材の開発・研究についてまとめ、微細組織に及ぼす不純物の影響、加工熱処理、中性子照射特性、Reの添加効果などについて総括している。さらに、今後のMo材料の研究・開発課題に関して提言を行っている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、粉末冶金法による Mo-Re 合金を主な対象とし、健全な電子ビーム溶接材の開発を目標に、Re の添加効果、微細組織に対する不純物の影響、加工熱処理、中性子照射特性を総合的に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 粉末冶金法 Mo および Mo 合金では、従来、電子ビーム溶接によって健全な溶接継手を作製することは難しかった。溶接性改善のために、素材の吟味、材料作製工程の見直しを行い、材料中の O 含有量を 20wt. ppm 以下に低減させることに成功した結果、粉末冶金法 Mo 材料は溶解 Mo 材料に比べて、まったく遜色ないことを明らかにしている。

2. 粉末冶金法 Mo-Re 合金の特性を把握するため、固溶型から析出型までの広範囲に Re 濃度を変化させて、それらの溶接性、機械的特性を中心に調べている。粉末冶金法 Mo-Re 合金の溶接性の向上を図るために、加工熱処理による強靱化を試み、温間圧延と熱処理の適当な組み合わせによって、析出相による結晶粒微細化、高強度化が維持されるとともに、溶接性の低下を抑制することに成功している。

3. 粉末冶金法 Mo、アーク溶解 TZM 合金、電子ビーム溶解 Mo-0.56 wt%Nb 合金の中性子照射による機械的性質、微細組織への影響を調べている。さらに、粉末冶金法 Mo-Re 合金の材料特性を総合的に評価・検討するため、溶接性、耐中性子照射特性を詳細に検討している。特に高温では Re による強化作用は非常に顕著で、中性子照射による損傷を低温に比べて大きく軽減させると結論している。

4. 各種 Mo と Mo-Re 合金の溶接性と機械的性質に及ぼす高温および低温での中性子照射の影響について議論するとともに、Mo 材料の耐中性子照射特性について考察している。また、機械的性質に及ぼす中性子照射の影響について比較検討している。その結果、Mo-Re 合金電子ビーム溶接材を用いた構造体は、高温照射による影響が母材と同様であるため、寿命の低下を生じないという特徴を見出している。

本論文は生産コスト的にメリットがある粉末冶金法による Mo-Re 合金に関して、溶接性の改善、材料特性の向上を試み、高温構造材料として有望であることを確認したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 9 月 25 日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。