

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	能登 裕之
論文題目	タングステン/酸化物分散強化鋼の異材接合における熱応力緩和法		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、タングステン/酸化物分散強化鋼の異材接合における熱応力緩和法について論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、核融合炉ダイバータの設計において、タングステン (W) と構造材料との異材接合技術開発の必要性が述べられ、特に異材間に発生する熱応力を緩和する技術開発が困難であることが指摘されている。本研究では、核融合炉への応用を目指し、タングステン (W) および酸化物分散強化 (ODS) 鋼の異材接合部の健全性を高めるため、接合部における熱応力緩和法として、中間材を適用することに着目し、接合部の健全性に及ぼす中間材の影響を調べるとともに、新たな異材接合プロセス技術の開発を目的としている。</p> <p>第2章では、熱膨張係数が W と ODS 鋼の中間にあり、低放射化材料であるバナジウム (V) 合金中間材を用いて、弾性変形を利用した熱応力緩和を試みている。その結果、脆化相である σ 相 (Fe-V) の形成を抑制するためのチタン薄膜を V 原子や鉄 (Fe) 原子の拡散バリア層として導入することで、熱処理後も接合部の曲げ強度を維持することが可能であることを示している。一方、W 内部においてき裂の発生が確認されたことから、有限要素法により、熱応力解析を行った。解析結果から、V 合金中間材を用いた場合、V 合金の降伏応力が高すぎるため、塑性変形が生じず、薄膜を利用する中間材では弾力的な熱応力緩和のみで W のき裂を抑制するのは困難であると結論している。</p> <p>第3章では、W/ODS 鋼の拡散接合の中間材として降伏点の低い純鉄を用いて、塑性変形を利用する熱応力緩和を試み、純鉄/鉄シリコン系アモルファス合金の二層中間材に対して検討している。その結果、固体状態を維持しつつ、低い降伏応力を持つ純鉄の効果およびろう付けの役割を持つアモルファスの相乗効果により、効果的な熱応力緩和が達成され、280 MPa の曲げ強度を得ている。しかし、組織観察の結果、アモルファス中間材に含まれる融点降下元素 (Si,B) の拡散影響部が確認され、拡散影響部を取り除くことにより、さらに高い接合強度の得られる可能性が示唆された。そこで、純鉄のみを用い、高温圧縮試験機を使用し、中間材のみに数%程度の塑性変形を導入した結果、微小曲げ強度 300 MPa 以上の接合強度を得ることに成功している。また、製造工程の異なる W と結晶粒配向の異なる W を用いて接合強度を比較した結果、結晶粒配向は接合強度に大きな影響を与え、等軸結晶粒を有する W が最も高い接合強度を持つことを明らかにした。</p> <p>第4章では、焼結後の塑性加工率と製造工程の異なる純 W に関し、W の機械的性質に及ぼす結晶粒の配向、熱処理温度および試験温度の影響を調べている。W における結晶粒の配向性と曲げ強度の相関を求めた結果、配向性の影響度が塑性加工により導入された転位の回復挙動により説明できることを確認した。また、結晶粒配向性をもつ ITER grade W および等軸結晶粒のエスタンについての高温引張試験を行った結果、いずれも 200 °C 以上で延性を示し、</p>			

200~1300 °C における降伏応力は結晶粒配向に依存せず、同様な試験温度依存性を示すことが明らかになっている。

第 5 章では、変態超塑性 (変態誘起塑性変形) を示す S50C 炭素鋼を中間材として用いて拡散接合を行った結果、純鉄を中間材として用いた場合を超える接合強度 (377 MPa) が得られることを見出している。応力緩和機構を検討した結果、 α/γ 変態温度域を通過する際に徐冷を行うと最も高い破断強度を示すことから、その機構として、 α/γ 変態により、クリープ変形が誘起され、熱応力緩和が促進されることを提案している。第 3 章で用いた純鉄と S50C 鋼を接合環境 (1240°C、1 時間) で焼鈍した後に、引張強度を比較した結果、純鉄は S50C 鋼に比べ 1/6 の低い降伏強度を示したが、S50C 鋼を用いた場合の方が、純鉄に比べ、接合強度が大きく上回っており、この結果からも変態誘起高温クリープが発現したことによる熱応力緩和であると考察している。また、S50C 鋼を中間材として用いた場合の接合部断面を観察した結果、き裂発生個所は W 内部ではなく、W/中間材界面の化合物相内部であることを確認したが、1400°C、2 時間の焼鈍による変化が認められず、接合処理中における化合物相の成長は生じないことを確認している。

第 6 章は、総括であり、本論文では、核融合炉への適用に向け、W/ODS 鋼の接合技術開発を行い、変態誘起高温クリープ変形を利用することで、従来の接合法をはるかに凌ぐ、高い曲げ強度が得られることを示しており、変態誘起クリープ変形による高い接合強度の発現機構は、学術的にも重要であるとしている。また、本手法は、新規接合技術と位置づけられ、得られた成果は、W との異材接合を必要とする核融合炉ダイバータならびに他の金属との異材接合にも応用できるとしている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、タングステン (W) および酸化物分散強化 (ODS) 鋼の異材接合における熱応力緩和法について研究した結果を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。

本研究では、核融合炉への応用を目指し、W および ODS 鋼の異材接合部の健全性を高めるため、接合部における熱応力緩和法として、中間材を適用することに着目し、接合部の健全性に及ぼす中間材の影響を調べるとともに、新たな異材接合プロセス技術の開発を目的としている。

本研究では、まず、接合部の健全性を曲げ強度で評価するための微小曲げ試験装置を開発しており、この装置の開発により、接合部局所領域での接合強度を反映した曲げ強度の測定を可能にしている。

次に、中間材にバナジウム (V) 合金を用いる接合においては、V と ODS 鋼の間に拡散バリア層として、チタン薄膜を挿入すると σ 相 (Fe-V) の形成が抑制され、従来熱時効により低下していた接合強度を低下させることなく維持できることを見出している。一方、V 合金の降伏強度が高いため、熱応力緩和に V 合金の塑性変形を利用することができず、接合強度の上昇に限界が生じてしまうことを明らかにしている。そのため、純鉄 (Fe) を中間材に用い、低融点鉄系アモルファス薄膜を W と Fe の間に挿入する多層膜接合の技術開発を行った結果、280 MPa の曲げ強度が得られ、接合強度の向上が確認されている。また、接合界面近傍における元素分析の結果、W 拡散層が Fe 中に形成されており、その程度は Fe 中の W の拡散速度を考慮することで、定量的に説明されることを示している。

さらに、鉄鋼の変態超塑性に着目し、相変態誘起塑性を示す炭素鋼を中間材として拡散接合するプロセスの開発を行った結果、従来の接合部に比べ、はるかに高い曲げ強度 (377MPa) を得ることに成功している。接合プロセスとして、変態温度域を通過する際の後熱処理を検討することにより、熱応力緩和に最適な熱処理条件を見出すとともに、高強度の発現機構として、変態誘起クリープ変形を提案している。

以上、本論文では、核融合炉への適用に向け、W/ODS 鋼の接合技術の開発を行い、変態誘起高温クリープ変形を利用することで、従来の接合法をはるかに凌ぐ、高い曲げ強度が得られており、変態誘起クリープ変形によるとする高い接合強度の発現機構は、学術的にも重要である。また、本手法は、新規接合技術と位置づけられ、得られた成果は、W との異材接合を必要とする核融合炉ダイバータならびに他の金属との異材接合にも応用することが可能であると期待できる。

よって、本論文は、博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 26 年 2 月 24 日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えて、その内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：平成 年 月 日以降