

(論文内容の要旨)

本研究は、核融合や超高温ガス冷却核分裂炉で期待されている SiC/SiC 複合材料の実用化における重要な課題である接合技術開発を目的としている。本論文は 7 章から成っており、ホットプレスを用いたモノリシック SiC や SiC/SiC 複合材料の基本的な接合技術開発、ねじり試験による高強度接合材の強度評価法開発、複雑形状・大型部品のための接合技術開発までを論じ、SiC セラミックス接合材の開発に成功した結果をまとめている。

第 1 章は、序論で、次世代のエネルギー問題を扱い、新しい基盤エネルギー源の必要性和魅力的な核融合炉エネルギーの特長について述べ、核融合エネルギーの早期実現に向けた材料工学研究の現状についてまとめている。次いで、核融合炉材料、原子力材料として、非常にポテンシャルの高いが難加工性でもある SiC 及び SiC/SiC 複合材料の実用化のために、非常に重要な課題である接合に関して、想定される中性子照射環境を考慮した課題について述べ、複雑形状への適用も考慮した基本的な作製技術、評価方法の確立を目的としている。第 2 章では、SiC セラミックス接合での基礎的な要件として、SiC、SiC/SiC 複合材料の各構成要素の特徴を説明し、SiC セラミックスに対する接合法の種類と動向を述べている。また、界面での力学的挙動、接合強度評価の問題点、注意点などに関する文献調査結果をまとめている。

第 3 章では、高強度モノリシック SiC 接合材を作製するため、母材と接合層が同質になるホットプレスを用いたナノインフィルトレーション遷移共晶相 (NITE) 法による接合を検討し、接合強度に対する SiC 同士の接合の優位性を示している。特に、接合条件による接合層の組織変化に注目し、接合温度と圧力の制御による接合層の特性設計の可能性を示している。さらに、突き合わせ継ぎ手端部における無拘束状態での接合による継ぎ手外部への接合層のはみ出しを確認し、この現象と接合層の強度との相関を解明し、述べている。

第 4 章では、NITE-SiC/SiC 複合材料とモノリシック材での接合の相違点を解析し、最適化が必要となる要素因子を検討している。要素因子について、SiC/SiC 複合材料の気孔率に依存した接合強度を示す傾向があるが、モノリシック SiC と SiC/SiC 複合材料の気孔率に対する強度特性と比較し、接合材の強度結果の妥当性を検証した。さらに、SiC/SiC 複合材料の繊維のカーボン被覆が接合強度に及ぼす影響を検討し、カーボン層の面積率や気孔率とその分布を考慮した上での接合強度との関係を考察し、接合強度の向上の方向を提案している。

第 5 章では、有限要素解析により、接合材のせん断試験である非対称 4 点曲げ試験とダブルラップ試験の接合部やピンに掛かる応力分布を検討し、高強度 SiC 接合材に対するねじりせん断試験の必要性を示している。フィレットを持つねじり試験片はフィレットと接合部の直径の比が応力集中係数を決定する因子になり、この比の増加によって応力集中係数は線形的に低下する傾向があり、この比の調節によって応力集中係数の制御が可能であ

ることを有限要素解析により示している。さらに、接合部の応力集中に対するノッチの長さの影響を検討し、他の方法では出来なかった高強度接合材の正確な接合せん断強度の評価を実験により実証している。

第 6 章では、複雑形状部材の接合における温度、圧力の影響を検討することで単純形状にはない複雑形状特有の問題点を示している。新たな接合方法として 2 段階での接合法を提案し、ハンドリング性の向上と接合部の均質化にも有効であることを示し、多段チャンネルの複雑形状部材作製が可能となることを実験的に実証した。さらに、コーティング条件(1900℃、20MPa、0hr)、接合条件(1800℃、20MPa、1hr)の 2 段階接合材は、300MPa 以上の高引張接合強度特性を示し、1 段接合同様に優れた強度特性を示すことを実験的に実証した。

最終章として、第 7 章では、総括を述べており、本研究で開発・評価した SiC 及び SiC/SiC 複合材料が核融合炉の高熱負荷機器材料や先進原子炉の炉心材料として魅力的であり、接合による SiC/SiC 複合材料の実用化への可能性を示している。

氏名	鄭憲採
----	-----

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、核融合や超高温ガス冷却核分裂炉で期待されている炭化珪素 (SiC) セラミックス材料の実用化における重要な課題であるモノリシック SiC 材及び SiC/SiC 複合材料の接合技術開発に関するものである。本研究では、接合材と同質の接合層の形成が可能なホットプレスを用いた接合法 (NITE 法) に関して、強度向上のための接合プロセスの最適化から大型・複雑形状の部材の作製に適用できる接合技術開発まで、SiC セラミックス材料の接合の基礎から応用に至る系統的な研究を行った。本研究は、(1) 高強度接合のための接合プロセス最適化、(2) 高強度接合材に対する接合せん断強度評価方法の開発、(3) 大型・複雑形状の部材の接合技術開発、に大別される。まず、モノリシック SiC 材を用い、接合強度の大きな制御因子となる接合条件に関して検討し、接合強度と接合温度、接合圧力の相関を明らかにした。検討した結果に基づき、気孔率や繊維の被覆の特性が異なる 3 種類の SiC/SiC 複合材料を用いて接合を行い、接合強度に及ぼす母材となる SiC/SiC 複合材料の影響を明らかにした。また、接合材の正確なせん断強度評価が困難であった高強度接合材の強度評価に対し、試験片サイズの制限がある中性子照射試験への適用可能となる微小ねじり試験片を提唱し、接合部の応力集中の因子になるフィレットと接合部の直径の比、ノッチの長さとの相関を解明した。実際にねじり試験片を用いたねじり試験評価を行うことで有限要素法の有用性を確認するとともに、新たな評価方法としての有用性を明確にした。単純形状であるモノリシック SiC 板材の接合技術に基づき、複雑形状の接合材を作製するための技術的な問題点を指摘したうえで、接合温度、接合圧力と接合特性との関係を明らかにした。特に、加圧時に接合用フィラーがチャンネル内に押し出され接合不良部が形成される挙動の対応策として 2 段階での接合法により大型・複雑形状部材の作製技術に関する検討を行った。また、2 段階での接合法においても、母材に近い非常に高い接合強度が得られ、有用性を実証した。特に、2 段階での接合は接合法のハンドリング性を著しく向上させることができ、複雑形状部材の作製や精密な寸法の制御が可能であり、これは SiC セラミックス材料だけではなく、一般的なセラミックス間の接合でも適用の可能性がある接合方法である。

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 20 年 8 月 21 日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。