

氏 名	ヤン 楊 ウエン 文
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第48号
学位授与の日付	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻
学位論文題目	Development of CVI Process and Property Evaluation of CVI-SiC/ SiC Composites (CVIによるSiC/SiC複合材料の開発及び評価)
論文調査委員	(主査) 教授 香山 晃 教授 吉川 潔 教授 木村 晃彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高温、腐食環境、中性子照射下等の過酷環境下での使用が期待されている SiC 長繊維強化 SiC 基複合材料の開発に関する成果をまとめたもので、全7章からなっている。

第一章は、背景と目的、ならびに構成について述べている。ここでは、優れた耐環境性能を有する SiC/SiC 複合材料をエネルギーシステムの過酷環境部位に適用した場合に飛躍的な熱効率の向上と環境への負荷の低減が可能となることを説明すると共に、その応用に向けて解決すべき工学課題を指摘した上で、研究の目的と意義を示している。

第二章は、現状を踏まえた研究の方向性を示すために関連事項の概説に当たった。ここでは、過酷環境で使用されるための SiC/SiC 複合材料に求められる特性を明らかにすると共に、それを満たす性能を発現するための複合化プロセスとしての気相浸透反応法 (CVI 法) の展望を現状で得られている組織及び力学特性を基に行い、開発すべき工学課題を取り上げている。

第三章では、高度な界面制御やマトリックスを緻密に成形するための CVI 装置の設計から開発にわたってまとめられている。ここでは、化学蒸着に関する基礎実験と熱力学的計算による、セラミック繊維織布体に対する気相反応蒸着に関するパラメーター解析をはじめ、複合材料の高性能化の基本となる繊維/マトリックス界面被覆に関する知見の確立を目的とした繊維表面への被覆を高精度で行うための等温等圧 CVI (I-CVI) プロセスの開発と装置の改良を行っている。また、マトリックスの形成では、等温強制流方式による F-CVI プロセスの新たな開発ならびに合理的な製造時間にて均一な組織を実現するプロセスを確立した成果が述べられている。

第四章では、複合材料の力学特性と破壊挙動から界面層の構造による影響に関する検討がまとめられている。ここでは、複合材料の力学特性の向上に向けて、繊維/マトリックス界面の構造と厚さ並びにマトリックスの充填率を系統的に変化させた試料について強度、破壊挙動及び微細構造を詳細に調査すると共に、繊維/マトリックス境界におけるミクロなせん断強度と摩擦抵抗力からなる界面特性が材料の性能に大きな影響を及ぼすことを実験的に明らかにし、超微小インデンテーション技術を応用した測定技術の応用により界面のミクロ機械特性と複合材料のマクロ機械特性の相関に関する系統的理解を得て、これに基づいて力学特性を最適化するための組織条件を明らかにしている。

第五章では、耐環境特性のさらなる向上に向けて、新たに開発された近化学量論組成・高結晶化 Si-Al-C 系焼結繊維を適用した組織の高品位化と、開発した高精度の界面構造制御技術を応用した SiC 基多層界面を利用するプロセスの高度化に関する検討結果がまとめられている。多層被覆については、系統的調査によって力学特性を最適化するための条件を明らかにし、同界面構造により高い破壊抵抗特性が得られることを実証すると共に酸化環境寿命が顕著に改善される可能性を示している。また、CVI プロセスにおける重要な工学課題とされる多様な成形形状への適用性についても検討を行い、本研究で得られた高精度にマトリックス成形プロセスを制御するための知見の集約により、均一な組織と優れた力学特性を有する大型試料の製造が可能であることを実証し、本研究の成果が工業プロセスの高度化に直接的に資することを示している。

第六章では、実材料を用いて得られた引っ張り試験における負荷 - 除荷曲線から求められる理想モデルを用いた計算による複合材料の非線形破壊挙動の解析結果がまとめられている。ここでは界面構造の役割に関してモデルを示し、繊維の3次元強化構造を反映させた強度予測の可能性を示している。

第七章では全体の研究内容と得られた成果、将来展望を総括として述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、耐熱・耐環境性構造材料として期待される SiC 長繊維強化 SiC 基複合材料 (SiC/SiC 複合材料) の開発に関する研究の成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

まず、高温、腐食環境、中性子照射等の想定される過酷環境で使用されるための SiC/SiC 複合材料に求められる特性を検討し、それを満たす性能を発現するため有望であり且つ最適化された界面構造の探索に適した複合化プロセスとして気相浸透反応法 (CVI 法) を選択した。プロセスの開発では、材料表面のセラミックス被覆等に用いられている標準的な CVI 装置を用いた基礎実験と熱力学的計算による、セラミック繊維織布体に対する気相反応蒸着に関するパラメーター解析から開始した。続いて、複合材料の高性能化の基本となる繊維/マトリックス界面被覆に関する知見を確立するため、繊維表面への被覆を高精度で行うための等温等圧 CVI (I-CVI) プロセスの開発と装置の改良を行った。マトリックスの形成では、等温強制流方式による F-CVI プロセスを新たに開発し、合理的な製造時間にて均一な組織を実現するプロセスを確立した。複合材料の力学特性の向上に向けて、繊維/マトリックス界面の構造と厚さ並びにマトリックスの充填率を系統的に変化させた試料について強度、破壊挙動及び微細構造を詳細に調査すると共に、繊維/マトリックス境界におけるミクロなせん断強度と摩擦抵抗力からなる界面特性が材料の性能に大きな影響を及ぼすことを実験的に明らかにし、超微小インデンテーション技術を応用した測定技術の応用により界面のミクロ機械特性と複合材料のマクロ機械特性の相関に関する系統的理解を得て、これに基づいて力学特性を最適化するための組織条件を明らかにした。この結果に対する界面構造の役割に関してモデルを示し、繊維の3次元強化構造を反映させた強度予測の可能性を示している。次いで、耐環境特性のさらなる向上に向けて、新たに開発された近化学量論組成・高結晶化 Si-Al-C 系統結繊維を適用した組織の高品位化と、開発した高精度の界面構造制御技術を応用した SiC 基多層界面を利用するプロセスの高度化を行った。多層被覆については、系統的調査によって力学特性を最適化するための条件を明らかにし、同界面構造により高い破壊抵抗特性が得られることを実証するとともに酸化環境寿命が顕著に改善される可能性を示した。また、CVI プロセスにおける重要な工学課題とされる多様な成形形状への適用性についても検討を行い、本研究で得られた高精度にマトリックス成形プロセスを制御するための知見の集約により、均一な組織と優れた力学特性を有する大型試料の製造が可能であることを実証し、本研究の成果が工業プロセスの高度化に直接的に資することを示した。

以上の成果から、本論文は先進耐熱・耐環境性構造材料である SiC/SiC 複合材料製造プロセスの要素技術開発ならびに技術統合を行ったものであり、更なる高性能化に向けた重要な基礎的知見を与えるものでもあり、エネルギー材料開発ならびにエネルギー科学に寄与するものである。

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14年2月7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。