

審査の結果の要旨

氏名 DERICIOGLU Arcan Fehmi

高温下で用いることのできる透光性セラミックスは脆いために信頼性に欠け、高温窓用材料として必要性は認識されているものの、信頼性確保の方法がないことが問題になっている。本論文は「Optical and Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Ceramic Matrix Light Transmitting Composites」(日本語訳：透光性繊維強化セラミックス基複合材料の光・力学特性)と題し、高温で用いることのできる、光透過性を持ち、かつ、大きな破壊抵抗を兼ね備えたオプティカル複合材料を得るための方法を示したものであり、全6章よりなる。

第1章は序論であり、可視から近赤外光を通すことができるセラミックスは、高温での優れた機械特性や高い耐磨耗性、耐熱性、化学的安定性を有している利点を用い、応用分野が広がっている背景を述べた。しかし、実際に透光性セラミックスを構造材料として用いるためには、その破壊靱性が低いため脆性的な破壊をするという信頼性に欠ける点が大きな問題になっていることを指摘した。さらに、透光性セラミックスの従来の研究結果を整理し解決すべき問題点を明らかにし、その結果から、透光性セラミックスの光透過性を犠牲にせずに破壊抵抗向上の特性をもつオプトメカニカル複合材料作製の必要性と可能性を述べ、本論文の目的を明確にした。

第2章では、強化相をメッシュ構造としたガラス基複合材料を製造し、その光透過性の測定を可視光～近赤外光領域で行った。材料系としては、将来の汎用性を考慮し、 Al_2O_3 連続繊維強化 ZrO_2 ミニコンポジット強化ガラスマトリックスをモデル複合材料とし、ミニコンポジットをメッシュ構造にした複合材料を作製した。このメッシュ構造複合材料では、メッシュ空隙部分で十分な光透過性が得られ、その間隔が 3 mm では光透過率が 75%、1 mm でも 50% という値が得られることを証明した。この結果から、強化素材として直径が通常のセラミックス繊維よりも大きなミニコンポジットを用いても光透過性が得られるという結論を得た。複合材料の曲げ試験を行い、マトリックス破壊後にも荷重負担能力を持っており、ミニコンポジットによるフェイルセーフ機構が従来から報告されている連続繊維によるものと同様に働くことを示した。これらの結果から、メッシュ構造ミニコンポジットを用いた複合材料の光ウインドウとしての有効性を示した。

第3章では、第2章で作製したメッシュ構造強化型ガラス基複合材料の破壊抵抗について詳しく調べた。複合材料を DCB 型試験片とし、ミニコンポジットの繊維軸に垂直にマトリックスクラックが進む場合の R 曲線を測定した。マトリックス単体の破壊靱性値は $1\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ であるのに対し、ミニコンポジット間隔が 1 mm の場合には見掛けの破壊靱性値は最大で $16\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ が得られることを示した。また、R 曲線挙動が Al_2O_3 繊維強化 ZrO_2 ミニコンポジットによるマトリックスクラックブリッジング機構により働くことを証明した。さらに、試験時に顕微レーザー蛍光装置を用いて Al_2O_3 繊維中に極微量含まれる Cr^{3+} からの蛍光スペクトルのシフトを測定する装置を新たに作製し、クラックブリッジング中にミニコンポジットに働くブリッジング応力をその場測定した。この結果をもとに、定量的解析を行い、ミニコンポジットによるブリッジング機構の特徴を明らかにした。

第4章では、実用的に重要な材料として透光性スピネルセラミックス (MgAl_2O_4) を選び、その製造条件と光学特性の関係を、微細組織との関連性で調べた。まず、高純度 MgO 粒子と Al_2O_3 粒子を原料粉末として用い、最適な混合比下ではホットプレスと HIP の2段階処理により透明な MgAl_2O_4 が得られることを明らかにした。また、ホットプレスおよび HIP の温度や圧力などの最適条件を詳しく調べた。作製した材料の光学特性を調べた結果、最適な条件下で作製した場合には 200～1100nm の波長領域で最大 70% の光透過率、2.5～10 μm の波長領域でも最大 70% の光透過率が得られた。作製した材料の MgAl_2O_4 中に生じたマイクロクラックの大きさとマイクロクラック密度が MgAl_2O_4 の光透過性に影響することを、粒界に発生した

マイクロクラックの量と光透過性の関係を実験的に求めることにより明らかにした。さらに、これらの結果を総合的に判断し、以後の複合材料に用いる最適な光学特性を得るための混合比、ホットプレス、HIP の条件を決定した。

第 5 章では、第 4 章で得られた透光性セラミックスをマトリックスとして用い、SiC 繊維および Al_2O_3 繊維強化 ZrO_2 マトリックスミニコンポジットを強化材とした複合材料を作製し、光学特性と力学特性の両立性を調べた。前章までに得られた光ウインドウの考え方を導入し、第 4 章の成果をもとに複合化条件を決定し複合材料を作製した。得られた複合材料の光透過性、破壊挙動、マトリックスクラックと界面の相互作用を調べた。SiC 繊維を繊維間隔を 4 mm で用いた場合には 50~80%の光透過率、メッシュ構造のミニコンポジットを用いた場合でも 10~20%の光透過率が得られることを示した。これらの結果から、光ウインドウの考え方は MgAl_2O_4 マトリックス複合材料でも有効であり、さらに、マトリックスが破壊した後にも繊維によるフェイルセーフ機構が働くことも可能であることを示した。

第 6 章は総括であり、本研究で得られた結果を総括した。

以上のように、本論文は高温下で用いることができるオプトメカニカル複合材料に対する可能性を検証したものであり、複合材料学に対する寄与が大であり、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。