

学位論文の審査結果の要旨

本学位論文では、アルミナセラミックスの機械的強度および破壊靱性を、カーボンナノチューブ(CNTs)を複合化することで改善し、アルミナセラミックスを信頼性の高い材料とすることを目的としている。そして、CNTsをアルミナへ複合化し、得られた複合体の微構造を詳細に調べ、複合体の微構造の変化および微構造と機械的性質の関係を検討している。その中で、複合体の微構造の評価においては、CNTsの分布状態を定性的および定量的に評価する新規な方法を提案している。定量的な評価については報告例がなく、申請者が初めて行ったものである。その複合体の微構造については、CNTsの表面状態やCNTsの繊維径に大きな影響を受けることを見出し、また、CNTsはアルミナの粒界とともに移動してバンドルを形成すること、あるいはアルミナの粒内に取込まれることも見出している。複合体の破壊靱性は、アルミナ焼結体の破壊靱性と比べ、最大で88%向上させることができた。この破壊靱性については、アルミナ平均粒径との間に関係性を見出し、種々の実験の結果から検証している。CNTsによる破壊靱性の向上が微構造と関係するとの報告例はこれまでになく、その関係性を見出したのは特筆に値する。複合体の機械的強度については、アルミナ焼結体の強度を上回るものを得ることができなかったが、その要因について解明し、複合体の強度の改善のために方策を提案している。

第1章では、研究の背景および既往の研究について説明し、課題と目的を明確にしている。

第2章では、CNTsを機械的に高分散処理して、CNTsが均一分散した複合体を作製し、その緻密化挙動、微構造および機械的性質について検討している。この中で複合体の破壊靱性はアルミナ平均粒径が微細になるほど高くなることを明らかにした。これについては、CNTsが通常のセラミックスウィスカーやカーボンファイバーとは異なり、アルミナ粒界に沿って折れ曲がるということから説明している。複合体の曲げ強度については、アルミナ焼結体より向上はなかった。これはCNTsの複合化により、破壊源が大きくなるためとしている。

第3章では、CNTsを酸処理して、表面の状態を親水化したCNTsを用いて複合体を作製し、その緻密化挙動、微構造および機械的性質について検討している。その結果、酸処理の処理時間が短く、わずかに親水化させたCNTsを用いると、複合体にCNTsは均一に分布し、アルミナの粒成長を効果的に抑制することを見出した。この場合でも、複合体の破壊靱性はアルミナ平均粒径が微細になるほど高くなるが、酸処理時間が長いCNTsを用いると、あるアルミナ平均粒径以下になると低下することを見出した。これは、酸処理したCNTsは欠陥が多くなり、破断しやすくなると考察している。

第4章では、CNTsの添加量が複合体の微構造および破壊靱性に与える影響を検討してい

る。CNTsの添加量が1.6wt%以下では、CNTsが複合体中に均一に分布することを定性的および定量的に明らかにした。添加量が多くても、複合体の破壊靱性はアルミナ平均粒径が微細になるほど高くなる傾向にあるが、CNTsが著しくバンドル化すると、その傾向から外れることを見出した。

第5章では、CNTsの繊維径が複合体の微構造および破壊靱性に与える影響を検討している。CNTsの繊維径が細いほど、複合体の微構造はより微細化することを見出した。このため、CNTsの繊維径が細いほど、破壊靱性は向上するが、繊維径が細くても欠陥が多く結晶性の低いCNTsは破壊靱性の改善に効果があまりないことを見出した。これより、結晶性が高く細いCNTsが複合体の破壊靱性の改善に大きな効果があるとしている

第6章では、第5章の結果に基づき、結晶性の低い非常に細いCNTsを熱処理して結晶性を高めてアルミナと複合化している。結晶性を高めると親水性が低下するため、CNTsは複合体中でバンドルを形成し、均一に分布しにくくなるが、破壊靱性は熱処理しないものに比べるとより高くなることを見出した。

第7章では、CNTs複合アルミナセラミックスの微構造と機械的性質に関して明らかになった点を総括し、複合体の機械的性質の改善に関する展望を述べている。

以上の研究成果は、高性能あるいは新機能が期待されているCNT複合セラミックスの基礎科学や応用展開に対して非常に有用な知見を与える。これらの内容は、博士学位論文として十分な価値を持つものと認めることができる。

公表主要論文名

- ① Naoki Ueda, Tomohiko Yamakami, Tomohiro Yamaguchi, Kunio Kitajima, Yuki Usui, Kaoru Aoki, Morinobu Endo, Naoto Saito & Seiichi Taruta, “Microstructure Development and Fracture Toughness of Acid-treated Carbon Nanofibers/Alumina Composites” Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol.120, No.12, 560-568 (2012)
- ② Naoki Ueda, Tomohiko Yamakami, Tomohiro Yamaguchi, Kunio Kitajima, Yuki Usui, Kaoru Aoki, Takefumi Nakanishi, Fumiaki Miyaji, Morinobu Endo, Naoto Saito & Seiichi Taruta, “Fabrication and Mechanical Properties of High-dispersion-treated Carbon Nanofiber/Alumina Composites” Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol.118, No.9, 847-854 (2010)