高性能アルミナ-炭化ケイ素系複合材料の開発

中 平 敦*

Atsushi NAKAHIRA

1. 研究遂行上感じたこと

学部時代、夢の材料としてあらゆる産業分野で脚光を浴びていたセラミックスに興味を覚えたことがセラミックスとかかわる出発点となりました。東北大学工学部の修士進学当時、著者は迷う事なくセラミックスを研究対象として選択し、種々の特性の中で、特に機械的性質をテーマに選びました。ちょうどアメリカのヴァージニア工大で客員生活を終えて帰国された新原先生は、欧米の模倣ではない新規なセラミックス材料設計の確立に情熱を注がれており、その情熱に感銘を覚えた著者は、その研究方針に従ってセラミックスの微細組織を複合化により制御し、セラミックスの種々の機械的性質を改善するための基礎研究をスタートしました。

著者は当時新しく開発された高純度で超微粉のアルミナをマトリックスとして選び、第2相として炭化ケイ素を選択しました。当時(10年ほど前)、使用できる炭化ケイ素粉末が2~3種類しか手に入らず苦勞したことが思い出されます。現在は種々の炭化ケイ素粉末が市販されており、その後、炭化ケイ素ウイスキーなども量産化されるようになり、ますます複合化の幅が大きく広がりました。本研究で取り上げたアルミナと炭化ケイ素の取り合わせは、アルミナと炭化ケイ素が反応しにくいこと、拡散速度が大きく異なること、更に熱膨張係数が大きく異なる(炭化ケイ素の熱膨張係数はアルミナの約1/2)ので残留応力が利用できること等、セラミックスの複合化の研究を遂行するためのモ

図1 アルミナ-炭化ケイ素系ナノ複合材料のTEM写真

デル材料には最適でした。

セラミックスを高温構造材料として実用化するという明確な目標があるため、研究は現状の強度、信頼性、耐熱衝撃性、高温特性の大幅な改善を目指しました。試行錯誤の予備実験から特性改善を可能にするために必要な微細組織は、セラミックス母相の粒内に第2相を分散させた組織を実現すればよい、ということに気付いたのが研究を初めて3年ほど経過した頃でした。目指す目標が明確になれば、研究は急速に進展するもので、次の年には種々の製造プロセッシングに改良を加え、図1に示すように、アルミナ粒内にナノメートルサイズの微細な炭化ケイ素粒子が分散した微細組織を有する、アルミナ-炭化ケイ素系ナノ複合材料が得られました。このように進めてきた研究課程で強く感じたことは、得られた成果も確かに重要なが、独創性を絶えず念頭において研究・探求できたのが大きな成果となった気がします。

2. 主な成果

アルミナ-炭化ケイ素系複合材料について種々の機械的性質・熱的性質を評価し、また微細組織を透過型顕微鏡で詳細に観察した結果、ナノ複合化による組織

平成5年9月8日 受付

* 大阪大学産業科学研究所

(〒567 茨木市美穂ケ丘 8-1) TEL. 06-877-5111

〈著者紹介〉

昭和57年東北大学工学部金属加工学科卒、昭和59年東北大学工学部工学研究科金属材料工学博士課程前期修了、同年東北大学金属材料研究所助手、昭和62年防衛大学校助手、平成2年から大阪大学産業科学研究所助手。工学博士。専門：材料科学。

制御が、アルミナの機械的性質の向上に非常に有効であることが明らかとなり、その研究成果を基礎として高性能なアルミナ基ナノコンポジットの開発に成功しました。以下にその結果を要約すると、

(1) 製造プロセスの最適化により、アルミナの結晶粒内にナノサイズの炭化ケイ素粒子が分散したナノ複合材料の焼結法による製造に成功し、透過型電子顕微鏡観察等により、ナノ複合化を達成するための条件を明らかにした。

(2) ナノ複合化によりアルミナの各種の機械的特性が飛躍的に改善されることを見出し、図2に示すように、特に破壊強度は僅か5vol%の炭化ケイ素をナノ複合化するだけで4倍以上(最適熱処理を施すことにより約1500MPaの高強度)も、破壊靱性は1.5倍以上も改善されることを明らかにした。

(3) ナノ複合化により、アルミナマトリックスの結晶粒が粗大化・不均質化しても強度は低下せず、また破壊強度のバラツキも逆に減少し、信頼性が向上することを見出した。

(4) 本複合系のこれらの特性改善は、アルミナと炭化ケイ素の熱膨張係数差に起因する残留応力により、アルミナ粒内に転位のネットワークとサブ粒界が形成され、破壊源寸法が著しく減少するためであることを明らかにし、セラミックスの材料分野において転位論による材料設計を導入することに初めて成功した。

(5) 高温機械的性質の評価から、炭化ケイ素ナノ粒子は、スロークラックグロース及び転位移動の抑制にも威力を発揮し、高温硬度、高温強度、クリープ変形抵抗をも著しく改善することを明らかにした。

以上のように、本研究結果から、ナノメーターレベルの複合化によりアルミナの飛躍的な高性能化に成功すると共に、セラミックスの材料設計に新しいコンセプトを導入することが可能となった。これらの成果は、機械的性質のみならず種々の特性改善にも有効であり、またアルミナのみならず他の酸化物系セラミックスや非酸化物系セラミックスにも適用可能であり、その後多くの優れた研究成果が得られました。

図2 アルミナ-炭化ケイ素系ナノ複合材料の強度

3. 研究を終えて

本学位論文の主旨であり、直接の指導を賜った大阪大学産業科学研究所新原皓一教授には、実験の仕方・進め方など研究のイロハから教えて頂いた。さらに現在の日本の研究者に必要なのは“欧米の研究の模倣ではない、独創性のある研究をすすめることである”と折りに触れて新原教授からたたき込まれたことが、学位の取得以上に有益であったと思われる。さらに、研究の進め方以外にも人や学生との接し方についても、折りに触れて体験することができたことが有意義でした。

また、本研究で取り上げた複合系に早くから注目され、研究の本質がナノメーターレベルの組織制御にあると看破されていた新原教授の先見の眼の確かさや着眼のノウハウに触れることができたのが、今後の研究を進める上で貴重な体験となったと思われます。

学位の取得後、現在、本研究で得られたセラミックス複合材料の特性を更に改善するために、必要なプロセスの開発について検討しており、またナノメーターレベルで組織制御するナノ複合化の技術を、セラミックス以外の種々の材料、例えば金属間化合物やポリマーに適用することも現在試みている。このような研究を通して、今後、新しい材料設計の指針の開発を目指して行きたいと考えている。

(学位授与は1993年2月、大阪大学)