

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高速炉用炭化ホウ素制御材の微構造制御による高性能化
Title(English)	
著者(和文)	小林知裕
Author(English)	Tomohiro Kobayashi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9470号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:矢野 豊彦,小原 徹,高橋 実,赤塚 洋,尾上 順
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9470号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻:	原子核工学	専攻	申請学位(専攻分野):	博士 (工学)
Department of			Academic Degree Requested	Doctor of
学生氏名:	小林 知裕		指導教員(主):	矢野 豊彦 教授
Student's Name			Academic Advisor(main)	
			指導教員(副):	池田 泰久 教授
			Academic Advisor(sub)	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

高速炉用制御材として炭化ホウ素 (B_4C) を使用する場合、熱応力およびヘリウムガスによる B_4C ペレットの破壊およびペレット片と被覆管との機械的相互作用 (ACMI) による被覆管の破損が問題となっている。 B_4C 制御材を用いた制御棒を長期間、安定して使用するためには B_4C 制御材の機械的・熱的性質、耐熱衝撃性およびヘリウムガス排出能の向上が求められる。本研究では B_4C 粉末の合成における粒子形態制御およびカーボンナノチューブ (CNT) 強化 B_4C 複合材料の作製を行い、 B_4C 制御材の高性能化に関する研究を行った。

初めに、 B_2O_3 /カーボンブラック混合粉末を用いて熱炭素還元法により B_4C 粉末を合成し、熱処理温度および原料粉末の組成が合成 B_4C 粉末の形状および粒径に及ぼす影響を調べた。熱処理温度は合成 B_4C 粒子の粒径に影響を与え、温度の上昇に伴い合成 B_4C 粒子の粒径が減少することを明らかにした。混合粉末組成は合成 B_4C 粒子の形状に影響を与え、熱処理温度 $1550^\circ C$ では B_2O_3 量の増加に伴い骸晶粒子の生成量が増え、 $1750^\circ C$ では B_2O_3 量の増加に伴い B_4C 粒子が丸みを帯びることを明らかにした。次に、 B_2O_3 /カーボンブラックの混合粉末に種粒子として B_4C 粉末を添加し、種粒子添加が熱炭素還元法により合成した B_4C 粉末の形状および粒径に及ぼす影響を調べた。 B_4C 種粒子は、結晶成長における核として働き、合成 B_4C 粉末の収率が向上することが明らかとなった。 B_4C 種粒子を添加することにより、広い熱処理温度範囲で合成 B_4C 粉末の粒子形状を制御可能であること、また、合成 B_4C 粒子の粒径は種粒子の添加量および粒径に影響されることを明らかにした。熱炭素還元法における合成条件を制御することにより、結晶性の良い粒径の大きな B_4C 粉末を合成できることが明らかにした。粒径の大きな B_4C 粉末を使用することにより、 B_4C ペレットの熱伝導率を向上させることができると期待される。

アルミニウム (Al) および酸化アルミニウム (Al_2O_3) を焼結助剤として用い、ホットプレス法により B_4C /CNT 複合材料を作製し、焼結助剤および CNT 添加量が複合材料の機械的・熱的性質に与える影響を評価した。Al 助剤では温度 $1850^\circ C$ 、 Al_2O_3 助剤では温度 $1950^\circ C$ でホットプレスすることにより、緻密な複合材料を作製することができた。Al 助剤を用いた場合、複合材料内に粗大な欠陥が生成するため強度が低く、一方 Al_2O_3 助剤を使用した複合材料は組織が均一かつ微細であり高い曲げ強度を有し、強度のばらつきも小さかった。複合

材料の弾性率は CNT 添加量の増加に伴い低下し、20 vol% の CNT を添加した場合、 B_4C 単体の約 1/2 倍となった。また、一軸加圧による CNT の 2 次元面内配向により複合材料の弾性率は異方性を示した。複合材料のビッカース硬さは、CNT 添加量の増加に伴い大きく減少し、CNT 添加量 20 vol% の複合材料では、 B_4C 単体の 1/3 程度となった。複合材料の破壊靱性は CNT 添加量の増加に伴い上昇した。ビッカース圧痕から発生した亀裂には、CNT による架橋が観察されたことから、これが破壊靱性向上のメカニズムであることを確認した。CNT を 20 vol% 添加した複合材料では、 B_4C 単体と比較して破壊靱性が 1.5-2 倍まで向上することが明らかとなった。

B_4C/CNT 複合材料の熱拡散率および熱伝導率は、CNT の配向により異方性を示し、ホットプレス方向に対して平行方向の値よりも垂直方向の値の方がより高い値を示した。複合材料の熱拡散率は B_4C 単体と比較して最大で約 1.2 倍まで上昇した。実験により得られた熱拡散率の値と、短繊維強化複合材料の熱拡散率の理論値との比較から、複合材料の熱拡散率および熱伝導率は、 B_4C/CNT 界面における熱抵抗により支配されていることが明らかとなった。作製した複合材料の曲げ強度、弾性率、ポアソン比、熱伝導率の値を用いて熱衝撃破壊抵抗を算出したところ、 B_4C 単体と比べ、最大で 2 倍向上することが明らかとなった。

さらに、 B_4C/CNT 複合材料内の CNT の配向方向を制御するため、押出成形法により CNT を一方向に配向させ、ホットプレス法により CNT を 20 vol% 含む B_4C/CNT 複合材料を作製し、CNT の配向が複合材料の機械的性質に与える影響を評価した。SEM 観察により、押出方向に対して CNT が配向している様子を観察することができ、押出成形法は CNT を配向させた複合材料の作製に有効であることが分かった。しかし、原料の混合が不十分であったことから、押出成形法により作製した $B_4C/20\%CNT/Al_2O_3$ 複合材料の曲げ強度は押出成形法を用いないで作製した $B_4C/20\%CNT/Al_2O_3$ 複合材料よりも低い値を示した。また、破壊靱性に大きな違いはないことが明らかとなった。

本研究により、 B_4C に CNT を分散させることにより、 B_4C 単体と比べ耐熱衝撃性および破壊靱性に優れた複合材料を作製することができた。このことから、熱応力による B_4C ペレットの壊滅的な破壊および ACMI の抑制が期待できる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	原子核工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	小林 知裕		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	矢野 豊彦 教授	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	池田 泰久 教授	

要旨 (英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

Boron carbide (B_4C) pellets used as neutron absorbers for FBR frequently fractured by thermal stress and helium gas release, followed by failure of control rods by absorbers-cladding mechanical interaction (ACMI). Therefore, improvement of mechanical, thermal and helium release properties of B_4C pellets is required for long-lived control rods. In this study, in order to fabricate long-lived B_4C absorbers, microstructural control of B_4C powder and fabrication of carbon nanotubes (CNT) reinforced B_4C composites were investigated.

First, B_4C powders were synthesized from mixtures of boron oxide (B_2O_3), carbon black (C) and B_4C seed grains and effects of heat-treatment temperature, B_2O_3 content and seed addition on morphology and particle size of B_4C powders were investigated. In the case of mixtures of B_2O_3 and C, it was revealed that heat-treatment temperature and B_2O_3 content influenced particle size and morphology of B_4C particles, respectively. In the case of mixtures of B_2O_3 , C and B_4C seeds, the B_4C seeds influenced microstructure of synthesized B_4C powder, and morphology and particle size of the B_4C powder were controlled by the B_4C seed addition. From these results, it is supposed that thermal conductivity of B_4C pellets would increase using larger B_4C particles.

Next, B_4C /CNT composites were fabricated by hot-pressing with Al or Al_2O_3 additives and effects of CNT content and sintering additives on mechanical and thermal properties of the composites were investigated. Bending strength of the composites with Al_2O_3 additive was higher than that of the composites with Al additive. Elastic modulus of the composites decreased with increasing CNT content. Fracture toughness of the composites increased with increasing CNT content. Thermal diffusivity and conductivity of the composites increased with increasing CNT content. Thermal shock resistance calculated using the properties of the composites was double of that of monolithic B_4C . From improvement of fracture toughness and thermal shock resistance, it is expected that fracture in smaller fragments of B_4C pellets by thermal stress and helium gas would be restricted and the ACMI would be inhibited.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).