

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Al4SiC4基セラミックスの熱的・機械的特性および高温酸化・腐食挙動に関する研究
Title(English)	Study on thermal and mechanical properties of Al4SiC4-based ceramics and their high-temperature oxidation and corrosion behavior
著者(和文)	田中敦子
Author(English)	Atsuko Tanaka
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12908号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉田 克己,小林 能直,塚原 剛彦,近藤 正聡,磯部 敏宏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12908号, Conferred date:2024/9/20, 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

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 原子核工学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	田中 敦子		審査員主査： Chief Examiner	吉田 克己

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

セラミックスは、軽量で耐熱性や耐食性に優れることから、原子力・核融合分野や航空宇宙分野での高信頼性耐熱構造材料として期待されている。航空分野において、セラミックスは航空機用ジェットエンジン高温部材およびその耐熱・耐環境コーティングとしての適用が期待されているが、高温水蒸気や火山灰や砂による腐食が課題となっており、優れた耐食性を有する材料の開発が強く求められている。本研究では、耐食性や耐酸化性等に優れる Al_4SiC_4 に着目し、 Al_4SiC_4 を軸とした新規耐熱構造材料の開発を目指した。 Al_4SiC_4 に高温安定性、耐熱性、耐酸化性などに優れる非酸化物セラミックスである SiC および耐高温水蒸気特性などに優れる酸化物セラミックスである $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) を添加・複合化することで、上記特性向上・付与可能な新規セラミックスの創製が可能であると考え、それぞれを添加した Al_4SiC_4 基セラミックスを作製し、熱的・機械的特性を評価した。また、高温下での酸化挙動および火山灰を模擬した CMAS ($\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) に対する腐食挙動について明らかにした。本論文は以下の 7 章から構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章「緒言」では、原子力・核融合分野および航空宇宙分野におけるセラミックスへの期待について述べた後、航空機ジェットエンジン高温部材として適用されるセラミックスの概要と、これらの材料の高温酸化および CMAS による腐食が重大な課題であることを述べた。これらを踏まえ、耐食性に優れるセラミックスの開発の重要性について述べた上で、次世代耐熱構造材料として Al_4SiC_4 に注目し、 SiC および $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) をそれぞれ添加した Al_4SiC_4 基セラミックスを作製し、その熱的・機械的特性の評価、高温下での酸化挙動および火山灰を模擬した CMAS に対する腐食挙動の解明に関する本研究の意義と目的を述べた。

第 2 章「 Al_4SiC_4 基セラミックスの作製とその熱的・機械的特性の評価」では、 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ および $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ を作製し、それらの焼結性および熱的・機械的特性を評価した。 1800°C でのホットプレスにより緻密な焼結体の作製に成功し、 1200°C での高温曲げ強度は、どちらの試料についても室温曲げ強度と同等または高い値を示すことを明らかにした。 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ の熱膨張率および熱伝導率は SiC の添加量の増加に伴って、それぞれ低下および増加することを明らかにした。一方、 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ では、YAG の添加量によらずほぼ同等の値を示すことを見いだした。

第 3 章「 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ セラミックスの酸化挙動」では、 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ 、 Al_4SiC_4 および SiC について、 1350°C 、大気中、12–100 時間の酸化試験を行い、その酸化挙動を検討した。100 時間の酸化において、 Al_4SiC_4 では Al_2O_3 、 SiO_2 およびムライトからなる厚さ $40\text{ }\mu\text{m}$ の多層構造の酸化膜、 SiC では SiO_2 からなる厚さ $1\text{ }\mu\text{m}$ の酸化膜、 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ については SiC の添加量が 50 vol% までは Al_4SiC_4 と同様に、 Al/O リッチ、 $\text{Si}/\text{O}/\text{C}$ リッチな層からなる多層構造を有する酸化膜が形成されることを明らかにした。 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ の酸化について、 Al 、 Si 、 C 、 O の拡散に基づく酸化モデルを構築した。また、生成する酸化膜は高温酸化に対する保護膜として有効であると結論付けた。

第 4 章「 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ セラミックスの高温大気中における CMAS 腐食挙動」では、CMAS 粉末を合成し、 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ について 1350°C 、大気中、12–100 時間の CMAS 腐食試験を行い、その腐食挙動を検討した。その結果、 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/50\text{vol}\%\text{SiC}$ で最も大きい減肉量を示すことを明らかにした。CMAS 腐食による減肉は、高温大気中での酸化により生成する酸化膜に起因すると考えられ、生成した酸化膜の CMAS への溶解、または CMAS による試料の直接腐食によるものと考察した。

第 5 章「 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ セラミックスの高温 Ar 中における CMAS 腐食挙動」では、雰囲気による試料の酸化の影響がない 1350°C 、Ar 雰囲気における $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ の CMAS 腐食挙動を評価した。Ar 中で CMAS との反応により生成した反応層の厚さは高温大気中における CMAS 腐食で生成する反応層よりも厚くなるが、CMAS 腐食による最大の減肉量は Ar 中の方が高温大気中よりも少なくなることを明らかにした。また、Ar 中における CMAS 腐食試験においても試料表面に生成する反応層が CMAS に溶解することで減肉が進行すると結論付けた。

第 6 章「 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ セラミックスの高温下での酸化および CMAS 腐食挙動」では、 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ について 1350°C 、大気中での酸化試験および CMAS 腐食試験を行い、その酸化および腐食挙動を検討した。100 時間の酸化試験で $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ 表面に生成する酸化膜の厚さは、 Al_4SiC_4 および $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ の酸化膜よりも厚くなると明らかにした。 $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ 表面の酸化膜にはムライト、 Al_2O_3 、 $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ および Y_2O_3 が含まれており、YAG 添加量の違いによる酸化膜中の Y 系化合物の分布の違いが $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ の耐酸化性に影響を及ぼすと結論付けた。また、CMAS 腐食試験において、腐食時間 12 時間と 100 時間で $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ に生成する反応層の厚さが変化しないことから、熔融 CMAS への反応層の溶解と反応層の生成速度が同程度であると考察した。CMAS 腐食による $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ の最大の減肉量は $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ の CMAS 腐食による最大減肉量とほぼ同等であることを明らかにした。

第 7 章「結言」では、各章において得られた結果を総括し本論文の結論とした。

本論文は、 Al_4SiC_4 を軸とする新規セラミックスの焼結性および熱的・機械的特性を明らかにするとともに、高温下での酸化および CMAS に対する腐食挙動を詳細に検討し、新規耐熱構造材料として Al_4SiC_4 基セラミックスの適用可能性を示したものであり、新規耐熱構造材料の設計および開発につながる重要な研究成果である。

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 1copy of 800

Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 原子核工学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	田中 敦子		審査員主査： Chief Examiner	吉田 克己	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis is entitled “Study on thermal and mechanical properties of Al_4SiC_4 -based ceramics and their high-temperature oxidation and corrosion behavior,” and composed of 7 chapters.

In Chapter 1, the background of ceramics applied as high-temperature components for aircraft jet engines was overviewed, and it was stated high-temperature oxidation and corrosion with volcanic ash and sand (CMAS) have been one of the critical issues of materials for aircraft jet engines. The aims of this study on the fabrication of $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ and $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ ceramics as the novel severe environment-resistant materials, the evaluation of their thermal and mechanical properties, high-temperature oxidation and corrosion behavior were described.

In Chapter 2, $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ and $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ ceramics were fabricated, and their sinterability, thermal and mechanical properties were evaluated and discussed.

In Chapter 3, the oxidation behavior of $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ ceramics at 1350°C in air was investigated, and their oxidation mechanism was discussed, and their oxidation models based on the diffusion of Al, Si and O were proposed.

In Chapter 4, the CMAS corrosion behavior of $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ ceramics at 1350 °C in air was evaluated, and the recession of the samples by CMAS corrosion was suggested to be progressed by the dissolution of the formed oxidation layer into molten CMAS or the direct corrosion of the samples by molten CMAS.

In Chapter 5, the CMAS corrosion behavior of $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ ceramics at 1350 °C in Ar was investigated, and their corrosion behavior could be concluded to be progressed by the dissolution into molten CMAS of the layer formed by the reaction between the samples and the CMAS, and the recession would be progressed.

In Chapter 6, the oxidation and CMAS corrosion behavior of $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ ceramics at 1350 °C in air were evaluated. It was revealed that the YAG addition affected their oxidation resistance, and the recession of $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{YAG}$ ceramics by CMAS corrosion was almost the same as that of $\text{Al}_4\text{SiC}_4/\text{SiC}$ ceramics.

In Chapter 7, each chapter in this thesis was summarized, and the thesis was concluded.

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).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).