

1500°C大気中におけるセラミックス基複合材料の力学特性

Mechanical property of ceramics fiber-reinforced ceramics matrix composites in 1500°C atmosphere

成田 哲也¹⁾

指導教員 田中 義久²⁾, 古井 光明¹⁾

1) 東京工科大学 工学部 機械工学科 グリーンプロセス研究室

2) 東京工科大学 片柳研究所セラミックス複合材料センター

キーワード:セラミックス, 複合材料, 超高温引張試験, ヤング率, 温度依存性

1. はじめに

昨今の航空機産業において航空機から排出される CO₂ の削減や化石燃料をはじめとする資源の節約が喫緊の課題となっている。これらの問題に対してジェットエンジンの燃費向上が有効であるとして、ジェットエンジンの構造材料を Ni 基超合金から SiC 強化繊維と SiC 母材から構成される SiC/SiC 系複合材料(CMC)に置き換える試みが行われている¹⁾。

CMC は繊維と母材という性質の異なる物を組み合わせていることから強度の決定要因が多岐に渡る。CMC の設計を行うために必要な繊維の理想的な配置や構造欠陥の許容量などが分かっていないことや、設計した材料の強度を確認するための力学試験法について適用が期待されている温度域が従来よりも高温であることなどから既存の試験法では正しいデータが得られない問題がある。そこで本研究では繊維を含まない母材だけの SiC セラミックスと SiC/SiC 系 CMC の大気中 1500°Cまでにおける種々の温度のヤング率を測定することで、大気中における昇温によって発生する酸化や水蒸気腐食などといった化学的な影響を含む力学特性の温度依存性を明らかにすると共に、CMC の機械的性質を定量的に評価するための試験基準を定める上で必要となる知見を得ることを目的として最新の力学試験装置を用いて実験を行った。

2. 実験方法

1500°C大気中という環境での引張試験では室温で

の試験とは異なる問題が発生する。例としては試験片の変形を検出する伸び計は高温に耐えられないと伸び計が加熱されないようにする必要があることや、試験片の温度差によって力学特性が変化する可能性から試験片の温度を均一にする必要があることなどが挙げられる。本研究で用いた試験装置を図 1 に示す。従来型の試験片の中央部のみを加熱する装置や、真空中で試験を行う装置とは異なり 3 つのゾーンに分かれた加熱炉で試験片とグリップを同時に加熱する特徴を持つ全体加熱型の引張試験装置で、CMC などの材料に対応した国際的な試験規格である ASTM や ISO にも対応可能である。実際の引張試験条件を表 1 に示す。材料のヤング率を調べるために引張の負荷を与えてから除去するという負荷除荷試験を行った。また、試験装置の制御方式は試験片にかかる荷重を基準に制御する荷重制御で行った。さらに、試験中に伸び計温度が変化しデータに影響が出ないよう試験速度は負荷除荷 1 サイクルを最大で 2 秒とした。次に使用した試験片について、SiC セラミックスは Si と C に熱を加えることで化学的に反応させながら焼結する反応焼結法にて作製した。対して CMC はハイニカロンという市販の SiC 繊維を複合化しており、繊維には BN と SiC の二重コーティングを施してある。また、母材の形成には繊維を編み込んだシートに炭素粉末をまぶした予備成形体に溶融シリコンを含浸させる溶融含侵法を用いている。



図1 力学試験装置の加熱炉と伸び計

表1 引張試験の条件

昇温条件		
昇温速度	Zone1 30°C/min	
	Zone2 40 °C/min	
	Zone3 30 °C/min	
負荷除荷試験条件		
	SiCセラミックス	SiC/SiC CMC
試験温度	室温	
	400 °C	
	600 °C	
	800 °C	
	1000 °C	
	1200 °C	
	1400 °C	
制御方式	荷重制御	荷重制御
試験荷重	0~1.5 kN	0~0.34 kN
試験速度	3.0 kN/s	0.34 kN/s
サイクル数	5	
グリップ圧	約1.72 MPa (250 psi)	約1.03 MPa (150 psi)

3. 実験結果および考察

実験によって得られた応力ひずみ曲線の一部を図2として示す。応力ひずみ曲線においてグラフの傾きはヤング率を表し、SiCセラミックスはCMCよりもヤング率が高く、かつ加熱による影響が小さいことが分かる。

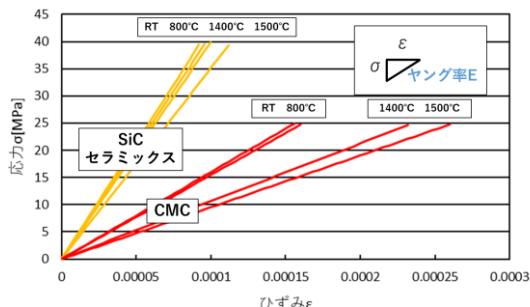


図2 各試験片の室温, 800°C, 1400°C, 1500°Cにおける応力ひずみ線図

SiCセラミックスおよびSiC/SiC系CMCのヤング率の温度依存性について、既存材料²⁾との比較を図3と

して示す。SiC/SiC系CMCおよびSiCセラミックスのヤング率は1200°Cまではほとんど変化しないが、それよりも温度が高い1400°Cや1500°Cでは急激に低下することが分かった。このことからCMCは1200°Cまでであれば強度劣化がほとんど見られないが、繰り返し加熱による熱疲労現象や高温で負荷が長い時間かけられた場合クリープと呼ばれる変形を発生する可能性があるため、このデータだけではCMCの信頼性を保証できないと言える。

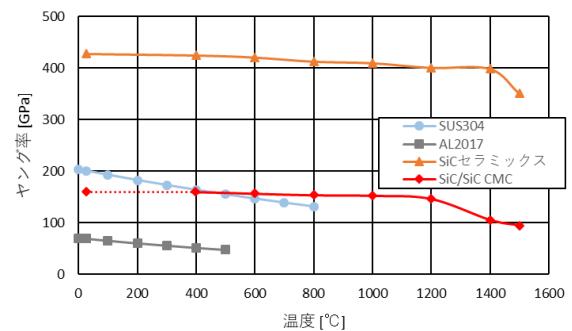


図3 各種材料におけるヤング率の温度依存性

4.まとめ

SiC/SiC系CMCおよびSiCセラミックスは1200°C以上の高温になるとヤング率が急激に低下することが分かった。この傾向は先行研究のSiCセラミックスの高温曲げ試験における結果³⁾とおおむね一致するため、本研究によってSiC/SiC系CMCにおける力学特性の温度依存性に関する定性的な評価を行うことが出来たと考えられる。また、1500°C大気中でSiC/SiC系CMCは強度劣化を示すことが分かったため、今後も設計の異なる試験片を用いて実験を行うことでCMCの設計基準を追求する必要があると言える。

参考文献

- 1) 香川豊:応用物理, 86(2017), 467-473.
- 2) 竹内洋一郎, 野田直剛, 小森茂, 入交裕, 北川俊治:日本材料学会学術論文誌, 26(1977), 210-214.
- 3) 竹田幸男, 前田邦裕:日本セラミックス協会学術論文誌, 99(1991), 715-717.