

多層材の熱伝導率測定 ～遮熱コーティング(TBC)の熱伝導率測定事例～

1.概要

遮熱コーティングのコーティング層は、厚みが数100μ m程度と薄いため、層単体での熱伝導率測定は困難



基材のみと、基材にコーティング層が付与された試料を測定し、測定結果の差異からコーティング層の熱伝導率を評価
→ISO制定に参画 (ISO 18555:2016年2月制定 Determination of thermal conductivity of thermal barrier coatings)



遮熱コーティング(TBC)の断面模式図

TBC:Thermal Barrier Coatings

2.測定方法

$$\lambda = \alpha \times c \times \rho$$

λ : 熱伝導率

- [1] α : 熱拡散率
- [2] c : 比熱容量
- [3] ρ : 密度

・熱伝導率:熱拡散率、比熱容量、密度の情報が必要
 ・多層材の場合には、さらに多層解析モデルを用いることによりコーティング層の熱伝導率を導出

以下の3種類の試料を用意

それぞれの熱拡散率、比熱(比熱についてはコート層単体)、密度を測定

BC、TCそれぞれの熱伝導率を算出

TBC(=BC+TC)の熱伝導率を算出

a) Sub specimen

b) BC specimen
(Sub + BC)

c) TBC specimen
(Sub + BC + TC)

注意点: 膜厚が薄かつ膜の熱伝導率が高い場合は解析困難

レーザーフラッシュ(LF)法による熱拡散率の測定方法
- 単層における基本的な方法 -

出力
時間

規格化した温度上昇、 $\Delta T/T$

放射温度計

試料

α

(d:厚さ)

時間

温度上昇曲線

ハーフタイム法

$\alpha = \frac{0.1388 \times d^2}{t_{1/2}}$

(JIS R1611による)

BCとTCの熱拡散率は、レーザーフラッシュ法測定にて得られた温度上昇曲線をもとに多層材の解析モデル(面積熱拡散時間)を用いて計算する。

面積熱拡散時間

測定された温度上昇曲線

面積熱拡散時間 (Area Heat Diffusion Time)

時間

温度上昇曲線

$$A = \frac{d^2}{6\alpha_{app}}$$

d : 試験片の厚さ

α_{app} : 見かけの熱拡散率

熱拡散率の解析手法には、ハーフタイム法とカーブフィッティング法の2種類があり、弊社ではいずれも対応可能です。

<ハーフタイム法> $t_{1/2}$
 温度上昇曲線において、解析時間原点から最高温度上昇の半分まで上昇するのに要する時間をもとに、熱拡散率を算出

<カーブフィッティング法> CF
 温度上昇曲線において熱損失の影響を考慮し、等面積法にて理論温度上昇曲線にフィッティングさせ熱拡散率を算出

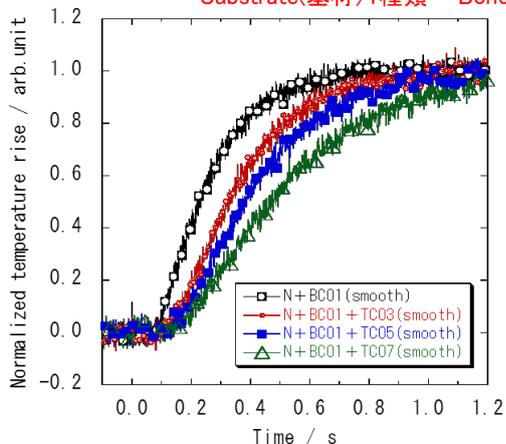
多層材の熱伝導率測定 ～遮熱コーティング(TBC)の熱伝導率測定事例～

3.測定事例

TBCについての熱拡散率の測定例 - TCの熱拡散率の測定例 -

● Specimen: IN738LC(2mm) / APS-CoNiCrAlY(0.1mm) / APS-YSZ (0.3-0.7mm)

Substrate(基材) 1種類 Bond coat(BC) 1種類 Top coat(TC) 3種類



Temperature-rise curves of three-layer samples with TC layers various thickness attached BC layer and Ni based superalloy at RT.

Sample	Lab.	解析方法 Analysis	熱拡散率 Thermal diffusivity α ($10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)		
			Apparent	BC	TC
N + BC01 + TC03 TC 0.3mm	AIST	CF	2.32		0.45
	AIST	$t_{1/2}$	2.21	1.35	0.47
	SMT	$t_{1/2}$	2.19		0.33
	ULVAC	$t_{1/2}$	2.32		0.40
N + BC01 + TC05 TC 0.5mm	AIST	CF	1.80		0.38
	AIST	$t_{1/2}$	1.90	1.35	0.40
	SMT	$t_{1/2}$	1.86		0.38
N + BC01 + TC07 TC 0.7mm	AIST	CF	1.33		0.33
	AIST	$t_{1/2}$	1.52	1.35	0.41

↑ TBC構造での見かけの熱拡散率 ↑ BCの熱拡散率 ↑ TCの熱拡散率

M. Akoshima, T. Tanaka, S. Endo, T. Baba, Y. Harada, Y. Kojima, A. Kawasaki, F. Ono.
Jpn. J. Appl. Phys. **50** (2011) 11RE01

4.補足説明

- 当社は、経済産業省より委託のエネルギー使用合理化国際標準化推進事業の内、省エネルギー等国際標準共同研究開発事業における「タービンの遮熱コーティングの特性評価試験方法に関する国際標準化」に参画しており、上記の測定事例は、その共同研究で得られた測定結果です。
- TCの膜厚を変え、複数の参画機関で測定結果を比較、また解析手法による比較を行った。
- 遮熱コーティングの発電用ガスタービンへの適用目的: タービン用耐熱合金製の翼を高温から保護し、耐久性の向上を図る。
- 参考文献: 表面技術 vol.63 No.5 (2012) p.301-305 「溶射による遮熱コーティング」 首都大学東京 高橋

本手法により、遮熱コーティング以外にも、様々な多層材の熱伝導率測定が可能です。