

遮熱コーティングの組織変化を用いた温度推定手法および AI 含有量予測手法

背景

ガスタービン高温部品には、燃焼ガスより基材を保護するため、表面に遮熱コーティング (TBC) が施工されており、ガスタービンの高温・高効率化に伴い、TBC の重要性は一層高まっている。一方、保守コスト削減および信頼性向上のため、高温部品の寿命評価を実施する際には、部品の温度分布を推定する手法の開発が必須である。当所は、耐食コーティングについては組織変化を用いた温度推定手法¹⁾を提案したが、TBC の組織変化を用いた温度推定手法について未開発であり、他に検討された例はない。また、ボンドコート²⁾の外面酸化や基材との相互拡散によってボンドコート中のアルミニウム (Al) 含有量が低下すると、ボンドコート外面に保護性の低い酸化物が形成され、それがトップコートのはく離を誘起する原因となることが懸念される。しかし、ボンドコートの耐酸化性にとって重要な Al 含有量を予測する手法は開発されていない。

目的

高温酸化雰囲気での Al の拡散に伴うボンドコートの組織変化を把握するとともに、それを用いた温度推定手法および Al 含有量予測手法の可能性を明らかにする。

主な成果

CoNiCrAlY ボンドコート (厚さ約 100 μm) を施工した TBC 試験片 (表 1) を用いて大気中高温酸化試験を行い、以下の成果を得た。

(1) ボンドコートの組織変化

酸化試験後には、ボンドコート外面に酸化層が成長し、それに伴い、特に外面近傍において Al が豊富な相が消失した層 (以下、外面 Al 低下層²⁾と称す) が観察された (図 1)。これは、ボンドコートの酸化に伴い、Al が外面へ拡散したことが原因であると考えられる。この外面 Al 低下層厚さは、酸化時間の平方根に比例する放物線則に従って成長することが明らかとなり、外面 Al 低下層厚さと酸化時間および温度の関係式を得ることができた (図 2)。ただし、ボンドコートの酸化がさらに進展すると、Al の外面および基材への拡散³⁾によって、Al が豊富な相はボンドコート全体から消失し (図 1(c))、外面 Al 低下層は判別できなくなる。

(2) 組織変化を用いた温度推定手法

TBC 施工実機部品の外面 Al 低下層厚さを測定することにより、上記の式を用いてボンドコート外面近傍の温度を推定できる可能性が得られた。しかし、外面 Al 低下層厚さの検出限界⁴⁾ (約 10 μm) と判別限界 (約 50 μm) のため、本手法の適用が可能な時間範囲がある (図 3)。本試験結果では、例えば使用温度が 850 とすると、約 2 千時間から約 4 万時間であると考えられる。

(3) ボンドコート中の Al 含有量予測手法

ボンドコート中の平均 Al 含有量は、外面 Al 低下層厚さの増加に伴い、直線的に減少する関係が得られた (図 4)。この関係を用いて Al 含有量の低下を予測できる可能性が見出された。ただし、外面 Al 低下層が厚さ約 50 μm で判別不能となると、Al 含有量の低下は初期含有量の約半分 (4wt%) で飽和し、この関係は成立しなくなる。したがって、Al 含有量が初期値の約半分に低下するまでが適用範囲であると考えられる。

今後の展開

実機で使用された TBC 施工翼を用いて、本手法の実機適用可能性を検討する。

- 1) 岡田、餌取、久松、電力中央研究所報告 W01022 および W03012
- 2) 本報告書では、ボンドコート外面近傍において Al が豊富な相が消失し、Al 含有量が約 4wt% に低下した領域と定義した。
- 3) ボンドコートと基材は化学的組成が異なるため、相互拡散によって、Al が基材へ拡散する。
- 4) 光学顕微鏡で観察する場合に測定可能な外面 Al 低下層厚さの最小値と定義した。

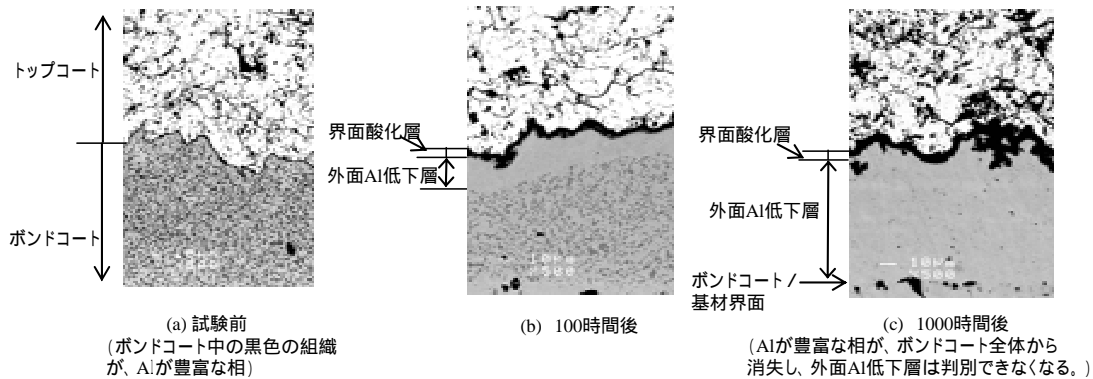


図1 トップコート/ボンドコート界面近傍の組織変化(大気中1000)

表1 TBC 試験片の概要

トップコート	材質(wt%)	8wt% Y ₂ O ₃ -ZrO ₂
	厚さ(μm)	200
	施工方法	大気プラズマ溶射
ボンドコート	材質(wt%)	Co-32Ni-21Cr-8Al-0.5Y
	厚さ(μm)	100
	施工方法	減圧プラズマ溶射
基材	材質	Inconel738LC (φ10mm × 20mm)

$$l = 2.96 \times 10^6 \exp\left(-\frac{152 \times 10^3}{RT}\right) \sqrt{t}$$

l : 外面Al低下層厚さ(μm), T : 温度(K),
 t : 時間(h), R : ガス定数(8.31J/(m·K))

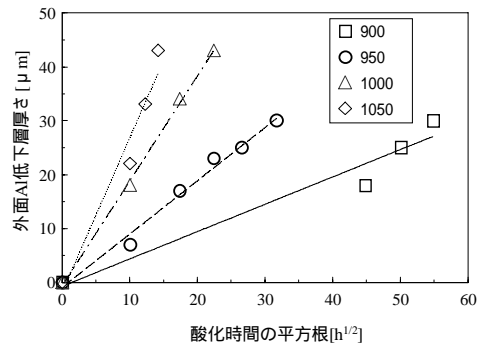


図2 外面 Al 低下層厚さと酸化時間の平方根の関係

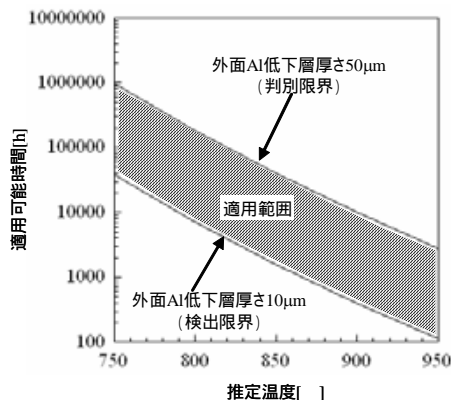


図3 温度推定手法の適用可能範囲

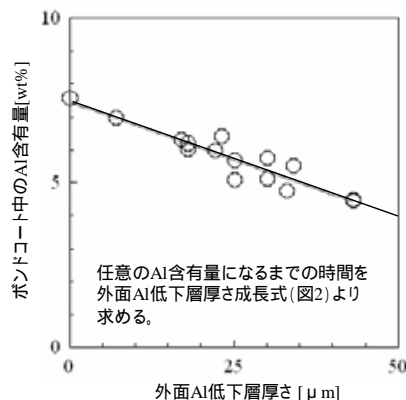


図4 ボンドコート中の Al 含有量と外面 Al 低下層厚さの関係

研究報告 Q05010	キーワード：ガスタービン、遮熱コーティング、温度推定、組織変化、アルミニウム含有量
担当者	岡田 満利 (材料科学研究所・機能・機構発現領域)
連絡先	(財)電力中央研究所 材料科学研究所 Tel. 046-856-2121(代) E-mail : msrl-rr-ml@criepi.denken.or.jp