

ガスタービン翼に施工された遮熱コーティングのトップコート膜厚測定

Measurement of topcoat thickness of thermal barrier coating applied to gas turbine blade

電中研¹, NICT² ○福地 哲生¹, 布施 則一¹, 岡田 満利¹,尾関 高行¹, 藤井 智晴¹, 水野 麻弥², 福永 香²CRIEPI¹, NICT² ○T. Fukuchi¹, N. Fuse¹, M. Okada¹, T. Ozeki¹, T. Fujii¹, M. Mizuno², K. Fukunaga²

E-mail: fukuchi@criepi.denken.or.jp

遮熱コーティング(TBC: thermal barrier coating)はセラミックス製のトップコート(TC)と合金製のボンドコート(BC)で構成され, ガスタービン翼などの高温部品に施工されている。TC 膜厚は TBC の遮熱性能を決定する重要な因子であるため, 正確な測定が望まれる。

THz 波を用いてタービン翼に施工された TBC の TC 膜厚を測定した。測定箇所を Fig. 1(a)に示す。マーカーとして, 近傍に三角形の Al テープを貼った。測定後, 翼を切断し断面を顕微鏡で観察した結果を Fig. 1(b)に示す。TC 膜厚は $173 \pm 13 \mu\text{m}$ であった。TC および Al テープからの THz 波の反射波形を Fig. 2 に示す。図中 S は TC 表面, R1 は TC/BC 界面からの反射波であり, その時間差は $\Delta t = 5.6 \pm 0.2 \text{ ps}$ である。TC 膜厚は $d = c\Delta t / 2n$ (n : TC の屈折率) で与えられ, 表面が鏡面であると仮定すると, THz 波に対する TC 表面の反射係数は $|r| = (n-1)/(n+1)$ で与えられる。TC および Al テープ (完全導体と仮定する) からの振幅比 $|r| = 96 \text{ mV} / 160 \text{ mV} = 0.60$ から $n = 4.0$, $d = 210 \pm 8 \mu\text{m}$ が得られた。この値は実測値と乖離しており, 算出した屈折率が誤った値であることが原因である。

THz 波の波長が極めて大きい場合, 表面粗さの影響は無視できると考えられるため, 低周波数限界における振幅比を求めた。TC および Al テープからの反射波の周波数特性 (振幅) とこれらの比を Fig. 3 に示す。0.56 THz 付近に水蒸気による吸収があるため 0.1~0.5 THz の領域で振幅比に直線近似を行った結果, 傾き -0.058 THz^{-1} , y 切片 0.653 を得た。y 切片の値, 即ち振幅比を $f=0$ へ外挿した値を $|r|$ とおくと, $n = 4.77$ が得られた。これから得られる TC 膜厚は $d = 176 \pm 6 \mu\text{m}$ であり, 断面の顕微鏡観察結果と一致した。このことから, 周波数特性の振幅比を $f=0$ へ外挿する方法の妥当性が示された。以上の結果から, 周波数解析を行うことで TC の表面粗さの影響を除去し, TC 膜厚が正確に求められることを示した。

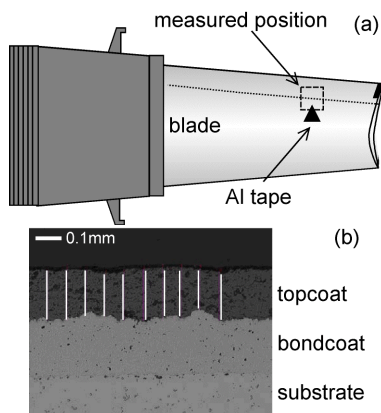


Fig. 1. (a) Schematic diagram of gas turbine blade and measured position, (b) microscopic observation result

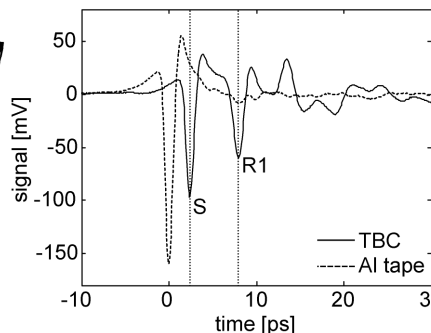


Fig. 2. Waveform of THz wave reflected from TBC and Al tape (S, R1: reflections from front and back surfaces of the topcoat)

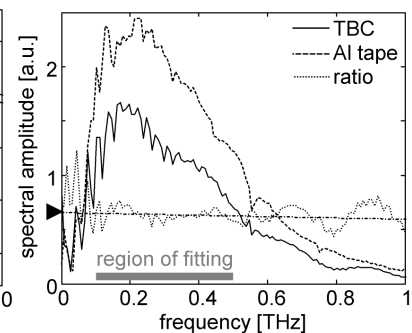


Fig. 3. Frequency spectra of THz wave reflected from TBC and Al tape, their ratio and result of linear fitting