

3. ヤング率算出理論

3.1 押し込み試験結果からのヤング率算出

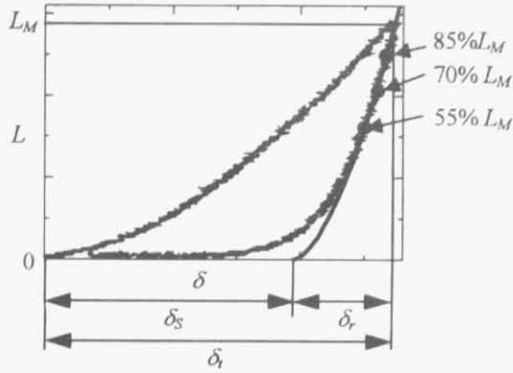


Fig.3 Schematic illustration of Approximation curve

Fig.3 に示すような押し込み試験から得られる荷重—変位線図を基にして、提案されている以下のヤング率算出式⁽¹⁾によりトップコートヤング率を求めた。

$$E_{S(C)} = (1 - \mu_s^2) \left[\left(\frac{4}{3} \right) \frac{\tan(\beta_{Con}/2)}{L_M} (\delta_i - \delta_E + T_{Con})(\delta_r - \delta_E) - I(E) \right]$$

- δ_i : 押し込み量 δ_r : 除荷量
- δ_E : 試験機の弾性変形量
- L_M : 押し込み荷重 μ_s : 試験片のポアソン比 (=0.07)
- $I(E)$: 圧子の弾性パラメータ (= 8.73×10^{-4} [GPa⁻¹])
- β_{Con} : 圧子の先端角度 (=119°51')
- T_{Con} : 圧子のトランケーション (=30.3 [μm])
- $E_{S(C)}$: 算出ヤング率

ただし、本研究で得られた除荷曲線部の不安定要素を排除するため、Fig.3 に示したように最大荷重点から85,70,55[%]の三点を通る曲線を除荷近似曲線として用い、 δ_r を決定した。除荷曲線の近似式を以下に示す。

$$L = a(\delta - \delta_s)^b, \quad \delta_r = \delta_i - \delta_s$$

- L : 荷重 δ : 変位 a : 近似曲線の係数
- δ_s : 近似曲線と変位軸との交点 b : 近似指数

3.2 気孔率からのヤング率算出

本研究では試験片断面画像から得られたトップコート内部の気孔率を、提案されているトップコートヤング率 E と気孔率との関係式⁽²⁾に代入することでヤング率を算出した。

$$E = E_0 \cdot e^{-kP}$$

- E_0 : 気孔を含まないときのヤング率 (=200[GPa])
- b : 定数 P : 気孔率

4. 試験結果及び考察

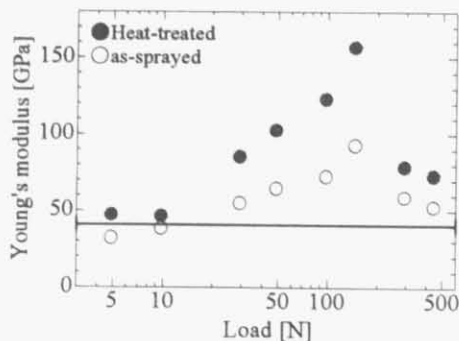
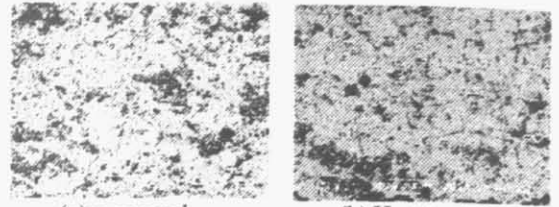


Fig.4 Relationship between load and calculated top coat Young's modulus



(a) as-sprayed (b) Heat-treated
Fig.5 Cross-sectional observation of top coat

Table 2 Calculation results of Porosity

	porosity[%]
as-sprayed	21.38
Heat-treated	19.06

Table 3 The relative error of Young's modulus

	$E_{S(C)}$	E	$(E_{S(C)} - E) / E_{S(C)} \times 100$ [%]
as-sprayed	35.1	31.4	10.5
Heat-treated	46.9	38.4	18.1

Fig.4 に押し込み試験から算出した各試験片のヤング率と押し込み荷重の関係を示す。Fig.4 において、これまでの研究結果からヤング率算出の適正荷重とみなせる 4.9[N]及び 9.8[N]におけるそれぞれの試験片の算出トップコートヤング率の平均は熱処理を施した TBC 試験片で 46.9[GPa]、未熱処理の試験片で 35.1[GPa]であり、約 34[%]の上昇を示した。これは Fig.5 で示すトップコート断面観察結果および Table 2 の気孔率算出結果からわかるように、熱処理付加によりトップコートセラミックスの焼結が進行し気孔が減少したため剛性が向上した結果と考えられる。また、この熱処理を施した試験片と未熱処理の試験片における算出トップコートヤング率の差は、試験荷重の増加に伴い拡大し、149[N]で最大となるが、これは上述の剛性向上に加え、試験片準備時の表面研削量の相違が影響しているものと考えられる。

Table 3 に押し込み試験から算出したヤング率 $E_{S(C)}$ 、気孔率から算出したヤング率 E およびその相対誤差を示す。これより両者の気孔率には 10~20[%]程度の相違が存在することが示された。これは気孔率とヤング率の関係式、および気孔率算出の際の手順に更なる検討が必要であることを示している。

5. 結言

- (1) 押し込み試験からのトップコートヤング率算出により、熱処理付加で TBC のトップコートヤング率が約 34[%]上昇するという結果が得られた。また、気孔率からのトップコートヤング率算出により、熱処理付加で TBC のトップコートヤング率が約 22[%]上昇するという結果が得られた。
- (2) 断面観察における気孔率算出結果から、トップコートヤング率上昇の原因は気孔率減少に起因すると考えられる。
- (3) 押し込み試験および気孔率から算出したヤング率の間に生じた相対誤差から、気孔率とヤング率の関係式に関して更なる検討が必要である。

謝辞

学部 4 年の米田恭祐君にお手伝いいただき感謝します。

参考文献

- (1) HAMANO, T. ISHIBASHI, S. SUKIGARA, M. FUJITSUKA, H. SAKURAI: Indentation Theory and Experiments of the Truncated Indenter, (1st), J. Mater. Test. Res., Vol. 47, No. 3, 170 (2002)
- (2) 大木基史、武藤睦治、高橋雅士、石橋達弥: 傾斜組成しや熱コーティングの熱サイクル損傷機構 溶射 第 38 巻・第 4 号, 152 (2001)