

セラミックス円環の非定常熱応力
Transient Thermal Stress Analysis of
Circular Ceramic Rings

天田重庚

昭和63年4月

日本機械学会論文集, A編第54巻 500号

セラミックスは熱機関の高効率化と高信頼性化の実現のための最も有望な材料と見なされている。構造用ファイナセラミックスは、その機械的・熱的特性が金属とは著しく異なるため、熱機関に適用された場合、セラミックスの熱応力挙動は金属のそれと著しく異なることが予想される。アルミナ、窒化珪素、炭化珪素、ジルコニアが熱機関に適用される場合についての基礎資料を得るため、環状のセラミックス板が内周と外周にて周囲媒体より熱伝達加熱を受ける場合の熱応力を解析する。特に、セラミックスの物性値と熱応力の関係を検討する。

円環の外径 $b = 10\text{cm}$, 内径 5 cm , 周囲媒体の温度 $500\text{ }^\circ\text{C}$ の場合, Bi 数 (Biot: $Bi = b h / \lambda$, λ は熱伝導率, h は周囲媒体からの熱伝導率) を種々に変えて, 温度分布と熱応力分布の時間変動を計算した。

熱伝導率の小さなセラミックスほど急激な温度こう配を生ずる。それ故, ジルコニア>アルミナ>窒化珪素>炭化珪素の順序で温度こう配の値が大きくなる。一方, 同一温度場にて生ずる熱応力は“線膨張率×ヤング率”の値が大きなセラミックスほど高い値になる。これより, アルミナ>ジルコニア>炭化珪素>窒化珪素の順で大きな熱応力を生ずる。この二種類の特性により, ジルコニアとアルミナは他のセラミックスに比較して大きな非定常熱応力を生ずる。熱伝達率 h の値を変えて熱応力を計算すると, $h < 2.5 \times 10^3 \text{W/m}^2\text{K}$ においてジルコニアの熱応力はアルミナよりも大きい。が, h が大きくなると線膨張率とヤング率の影響で両者の関係は逆転することが判明した。従って, 与えられた温度場にて最も小さな熱応力を生ずるセラミックス材料の選択も, セラミックスの応用化の面で重要な因子となる。

On Pore Structure of Plasma-Sprayed Films

プラズマ溶射皮膜の細孔構造

植松 進・天田重庚・千田哲也・佐藤誠四郎

昭和63年5月

国際溶射会議講演論文集

溶射のパラメータの中から代表的ないくつかを選び, これらと気孔率の関係を調べた。また, プラズマ中を通して加熱, 加速された粒子が基板に衝突後の変形過程で, 基板との熱伝達により材料の粘性が変化する冷却過程に注目し, このような基板上の熱的条件が皮膜の細孔構造に及ぼす影響について調べた。

実験に用いたプラズマ溶射装置は出力 40kW のものである。基板は回転する六角柱ローター面上に固定され, 溶射ガンを回転軸方向にトラバースすることにより均一な皮膜を得ている。基板の冷却速度は, 裏側から圧縮空気を吹き付けることにより変化させた。一般に溶射皮膜の気孔率を求めるとき, 皮膜断面を研磨して顕微鏡で観察し, 画像処理的手法で求められることが多いが, 研磨中に皮膜の一部が欠落したり, 微小気孔が埋まってしまふといった問題が生ずる。これを避けるため, 皮膜中の細孔構造は, 水銀圧入方式のポロシメータにより測定したものと皮膜表面を走査電子顕微鏡 (SEM) による直接観察することにより調べた。また, 溶射皮膜の付着強度はプラストエロージョン試験により調べた。

実験の結果, 溶射皮膜の厚さを増加させると, 皮膜内または皮膜と基板間で剥離が生じ易くなるが, 基板の冷却をコントロールすることによりこれらの剥離を防ぐことができた。また, 水銀ポロシメータ法で測定した溶射皮膜の細孔構造は, いわゆるバイ・モーダル分布となっており, 全気孔量に対する $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の微小気孔の割合はかなり多いものであった。SEMによる観察結果から基板を良く冷却した方の皮膜では, 微小気孔の直径に相当する $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 程度の微小割れが多く存在することがわかった。したがって, この微小割れが生じることにより皮膜の内部応力を緩和され, 皮膜積層間や皮膜-基板間の剥離が防止されるものと思われる。