

審査の結果の要旨

氏名 篠田 健太郎

ドライコーティング分野における溶射の位置付けは主としてその経済性によるところが大きく、これまで主として重工業を中心に発展してきた。しかしながら、本分野は応用研究の数に比して基礎研究例が極めて少ないことが特徴でもあり、新たな発展に向けた基礎研究が近年強く望まれている。本論文は、一連の溶射素過程の中でも特に研究が立ち遅れている単一溶射粒子の基板衝突時の急速変形・急速凝固過程に焦点を絞り、その場計測及び数値解析の両面からその解明を目指した研究をまとめたものである。本論文は以下の五章から成る。

第一章は序論であり、コーティング分野における溶射技術の位置付け、多様な溶射技術と応用例、並びに溶射技術に関する基礎研究の現状と課題について詳述し、本研究の位置付け目的を明確化している。

第二章は単一溶射粒子のその場計測装置の開発に関し、その背景、計測原理、装置設計、および測定精度等について詳述されている。具体的には溶射粒子の扁平過程が数マイクロ秒のオーダーであると予測されることから、計測には溶射液滴粒子からの熱放射を利用した二色高温法を基本とし、100 ns 間隔で粒子温度をサンプリング可能な高速サンプリングシステムを開発している。本装置は基材に衝突する溶射粒子のサイズ、速度、及び温度の3つの衝突因子と扁平過程における変形時間、温度履歴、凝固完了後のスプラット形態とを1:1に対応させることが可能である。また、統計的な処理が可能な様に1回の試行で20個程度の粒子について連続サンプリングが出来るようになっている。更に、本システムは粒子溶融状態と独立に粒子速度を20 - 70 m/s の範囲で制御可能なハイブリッドプラズマ溶射装置に組み込まれ気密性チャンバー内に設置したことから、各種雰囲気制御下での計測が可能であるのも特長である。

第三章は平滑基板上における溶射粒子の変形・凝固挙動の計測結果と数値計算モデルとの対応についてまとめている。具体的には、実際のプラズマ溶射条件下において700 Kに予熱した基板に衝突する ZrO_2 の粒子径(30 - 90 μm)、速度(10 - 70 m/s)、及び温度(2500 - 3200 K)の3つの因子がスプラット形態に与える影響を350個にも上る粒子について詳細に調査している。特筆すべき結果として、扁平率と粒子のReynolds数間には従来報告されていた1/5乗ではなく1/3乗に比例する関係を見いだした。また、モデルとの対応により、これまで不明であったジルコニアの粘性係数を $0.0027\exp(7000/T)$ [Pa·s]と見積もり、融点における動粘性係数は 5×10^{-6} m^2/s 程度でアルミナに比べると1/3程度と小さい事、更に、冷却速度は $10^7 - 10^8$ K/sのオーダーであり、液滴粒子と基板界面との見かけの接触熱抵抗は $10^{-6} - 10^{-5}$ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ 程度と推定している事などが挙げられる。

第四章では、溶射粒子扁平に対する基材表面粗さの影響を調査するために、特に深さ1 μm の微細加工ディンプルパターン基板上的液滴扁平挙動についてその場計測と3次元数値解析の両面から検討している。2800 K、40 m/s、60 μm 程

度の典型的な溶射粒子が平滑基板上で扁平率 3 程度の円盤状スプラットを形成する条件においても、ディンプル幅と初期粒子径の比が 0.2 程度であるようなディンプルパターン基板上では、フィンガリングを発展させたようなスプラッシング形状を示すことや、その変形時間は 4 μs 程度であることを見いだしている。また、基材の凸型表面においてスプラッシングが起こり易いと直感的には看做される現象に関し、実際には凹型表面の方が容易にスプラッシングを誘引すると結論している。

第五章は総括であり本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに、本研究は溶射素過程の中でもこれまで最も研究に進展がなく、各方面から現状打破が望まれていた溶射粒子の基板衝突時の急速変形凝固過程に焦点を絞り、その場計測と数値解析の両面からその解明を目指し本分野研究の先導的役割を果たしたものであり、材料工学に対する貢献は大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。