



研究ノート

プラズマ溶射における溶滴の衝突変形

丸尾 大*

Deformation of Molten Droplets in Plasma Spraying

1. 緒 言

プラズマ溶射における溶射粒子の衝突変形は、積層して皮膜を形成する溶射現象の重要な過程である。微小粒子が100~200m/sの高速度で素地に衝突し、しかも個々の粒子はプラズマ中での飛行経路に応じてその温度、速度が異なる。そこで、溶射粒子群のうち速度、温度等が一定と見なせる粒子のみを抽出し、その変形状態を種々の方法で観察し、検討した。

2. 実験装置および材料

(1) 溶射装置

プラズマ溶射法では、粒子がプラズマ中で熔融状態に加熱され、変形し積層するに十分な運動量をもって素地に衝突することが必要である。従来の溶射トーチでは粉粒はノズル外部もしくはノズルスロート部において、プラズマ流に対して半径方向から送給する方式をとっている。このとき、最も高温部であるプラズマの中心に全ての粉粒を送給することは困難である。

用いたプラズマ溶射ガンは粉末粒子をプラズマ流の中心部へ送給することを目的として開発した3電極型溶射トーチである。図1に3電極型プラズマ溶射トーチの構造を示す。3本の陰極は、トーチ中心軸上にある粉末送給口を囲んで120°おきに軸に対し20°の傾斜で配置され

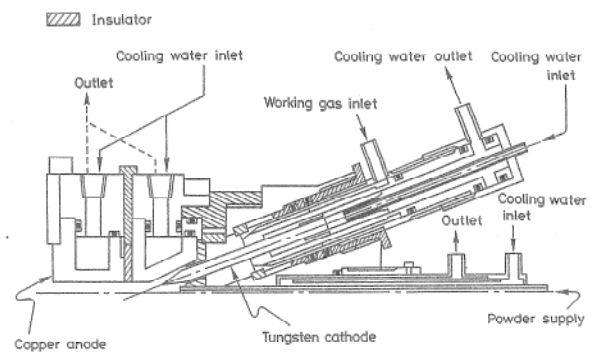


図1 3電極プラズマ溶射トーチの構造

ている。ノズル部はBNによりテーパ部と電氣的に絶縁してあり、所定のアーク長が確保されている。プラズマ作動ガス及び粉末送給ガスにはアルゴンを用いた。

(2) 溶射材料と素地材料

溶射材料は耐熱被覆用NiCrAlY合金粉末(Ni-17Cr-5Al-0.5Y, 商品名: Shocoat NiCrAlY 10~45 μ m)で、まず、-390~+440メッシュに篩別し粒径を揃えた。金属顕微鏡による測定では80%の粒子は粒径32~38 μ mであった。溶射素地には鏡面研磨したSUS304鋼板(板厚5mm)を用い、表面はアセトンで脱脂した。

3. 実験結果および検討

3.1 素地上での変形現象

プラズマ流の速度、温度は半径方向に急峻な勾配をもつ。このことはプラズマ溶射における個々の溶射粒子がプラズマ中でのそれぞれの飛行経路により異なった温度と速度をもつことを意味しており、すべての飛行経路の粒子の温度



*Hiroshi MARUO
大阪大学工学部生産加工工学科,
教授, 工学博士, 加工基礎学,
TEL 06-877-5111

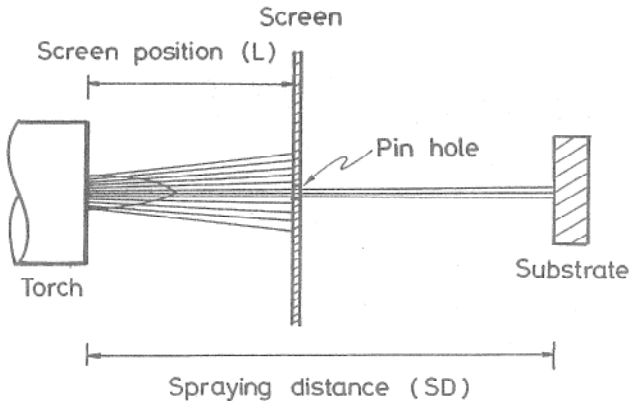


図2 溶射粒子の部分的抽出

と速度を知ることは困難である。そこで、温度・速度ともに揃った粒子を取り出し、これらの変形特性を知ることが出来れば基礎的情報として有用である。

プラズマ流中心軸上においてはプラズマの温度・速度ともに比較的一定しており、ここから速度・温度の揃った粒子群を取り出すため、図2に示すようにプラズマ流中心軸上に2mmφピンホールをもつ銅製のスクリーンを設置した。

粒子が飛行する光跡をとらえた写真で飛行速度を測定し、溶射距離との関係を図3に示す。

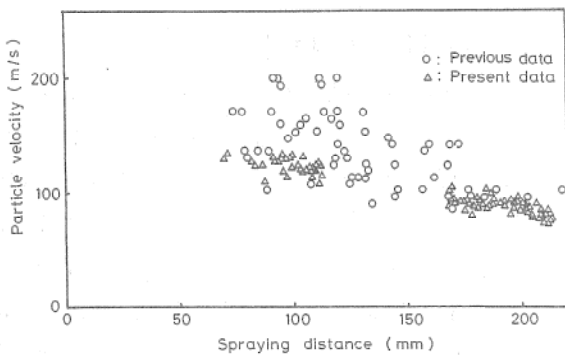


図3 抽出した粒子の飛行速度

粒子速度のばらつきは20%以内におさまり、特性の均質な粒子が取り出せることがわかる。

変形した粒子には変形時の様々な情報が記憶されている。図4は粒子の素地上での変形形状の一例を示す。周りに飛散がみられ、この飛散部は粒子速度が増すと大きくなる。

衝突時の変形に影響を及ぼす因子には粒子の

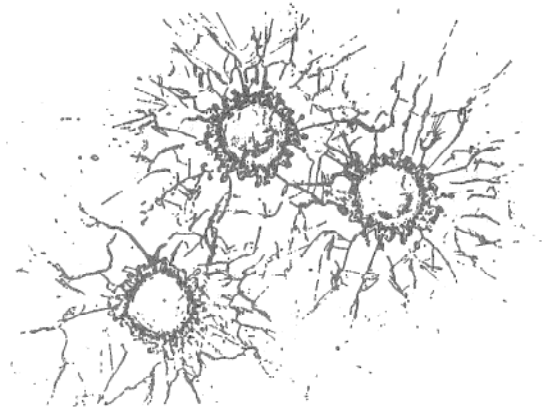


図4 Ni-Cr-Al-Y粒子の変形

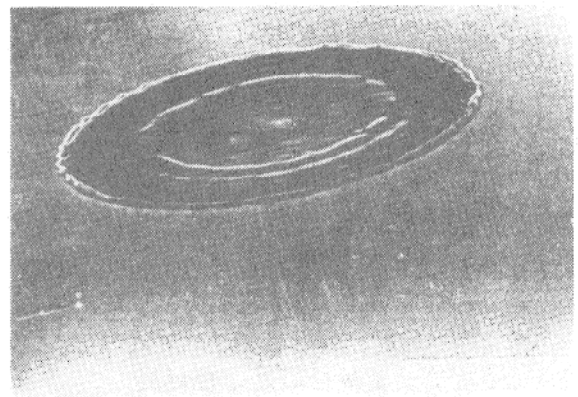


図5 予熱した素地での変形

温度と速度以外に、素地の温度及び表面状態が考えられる。素地を不活性雰囲気中で100℃に保ち、溶射を行なうと、図5に示すように飛散のない扁平な円形のスプラットが得られた。さらに、一旦100℃以上に加熱した後、温室まで冷却した素地に大気中で溶射しても、同様に飛散のない円形スプラットが得られる。このことは素地の予熱効果よりも素地表面に僅かに形成される酸化皮膜などの表面状態の影響が極めて大きいことを示唆している。

3.2 変形時間の推定

傾斜した素地面上での変形は、垂直に衝突した面上での変形よりも、変形時間が長いと考えられる。この時の溶射は飛散が生じない様に素地を100℃に予熱し、傾斜角を30~70°まで変化させ、その変形形状から変形時間の推定を行った。

この楕円形に変形した形状の重心に着目し、

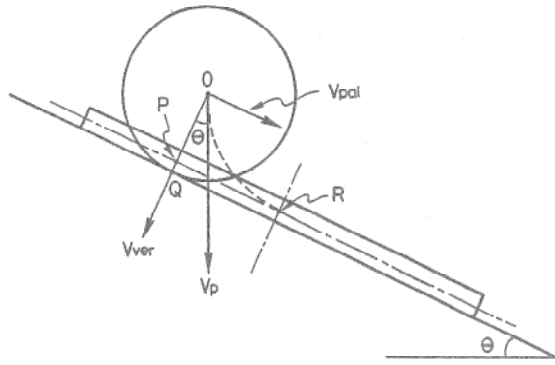


図6 斜に置いた素地との衝突変形モデル

粒子の重心が、斜面上での変形ディスクの重心に到達するまでの時間を図6に示すモデルを用いて求めた。衝突時の粒子の重心Oの速度 V_p を斜面に平行な速度成分 V_{pal} と垂直な速度成分 V_{ver} に分け、変形ディスクの重心Rに達するまで等加速度運動するとした。斜面との衝突点Qは変形ディスク内部の円の中心とし、粒子の直径を $35\mu\text{m}$ 、変形後のスプラットの厚さを $2\mu\text{m}$ とした。

結果を横軸に V_{pal}/V_{ver} を表す $\tan\theta$ 、縦軸に変形時間をとったものを図7に表す。この図から垂直面 $\tan\theta=0$ での変形時間は $0.5\sim 1.0\mu\text{s}$

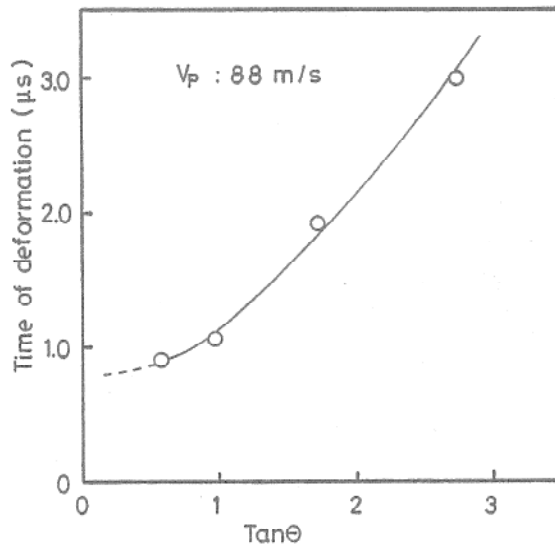


図7 傾斜角と変形時間の推定値

であると推測される。

3.3 速度によるD/dの整理

変形を表す指標としてスプラットの径Dと原粉末の径dとの比D/dを用いることとする。D/dを粒子速度で整理したものを図8に示す。

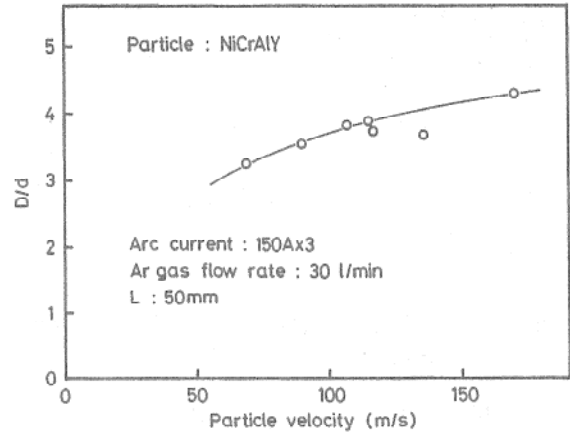


図8 粒子の速度と変形度

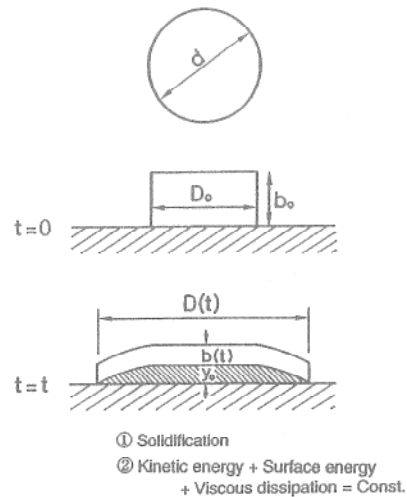


図9 Madejskiモデル

これから粒子速度とD/dには相関関係があることがうかがえる。

また、スプラットの変形・凝固現象を理解する手がかりとして、Madjeskiの解析モデルがある。モデル図を図9に示す。円柱状のスプラットと素地との界面から凝固が始まることを前提として、液体は衝突時の運動エネルギーを駆動力として変形するが、粘性によるエネルギー散逸と表面エネルギーによって制動力を受けるという考え方である。Madjeskiモデルにしたがって算出した理論値と、先に述べた実験値とを比較したものを図10に示す。実線は理論値、プロット点はNiCrAlY溶射粒子による実験値を示している。Madjeski理論に非常によく合っているのがわかる。

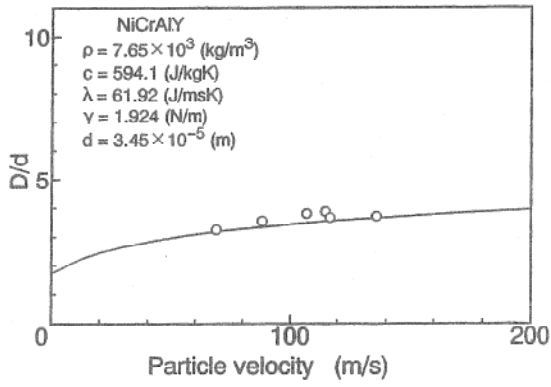


図10 粒子の速度と変形 (Madejskiモデルによる計算)

4. むすび

表面改質法の有力なプロセスとしてプラズマ溶射法が考えられる。この方法がさらに普及するには溶射現象の解明が重要であり、この方向に研究を進めている、読者の御参考になる所があれば幸である。

