

OS0704 H₂/Air デトネーション溶射によるセラミック皮膜形成の試みExperiment on Ceramics Film-forming Using H₂/Air Detonation Thermal Spray

○正 佐藤博之 (湘南工大) 孫 波 (プラズマ技研工業)
 大野直行 (プラズマ技研工業) 深沼博隆 (プラズマ技研工業)
 山田英助 (青学大・理工) 林 光一 (青学大・理工)

Hiroyuki SATO, Shonan Institute of Technology
 Bo Sun, Plasma Giken Kogyo Co., Ltd.
 Naoyuki OHNO, Plasma Giken Kogyo Co., Ltd.
 Hirotaka FUKANUMA, Plasma Giken Kogyo Co., Ltd.
 Eisuke YAMADA, Aoyama Gakuin University
 A. Koichi HAYASHI, Aoyama Gakuin University

Key Words: Thermal Spray, D-GUN, PDE, Equivalent Ratio, Ceramics

1. はじめに

表面処理の手法の一つに溶射というものがある。溶射法にもいくつか種類があるが、爆発溶射法 (D-GUN 法) はデトネーションのエネルギーを利用したものである。D-GUN は一端が開放された水冷銃身であり、銃身に燃料・酸化剤と溶射用粉末が送給されると点火プラグにより着火され、衝撃波をともなうデトネーションが起こる。この結果、溶射粉体粒子が秒速 750メートルにまで加速される^[1]とともに融点近傍まで加熱される。また、デトネーションが終了すると不活性ガスが送り込まれて銃身の残留物が除去される。溶射粒子は、非常に高い運動エネルギーと熱エネルギーを保持して被溶射体まで達し、衝突して薄くつぶれ、このサイクルを繰り返すことで、相互に重なり冷却され積層状態となる。このときの衝突力により、母材との間、並びに粒子間が強く密着する。溶射皮膜は、気孔の少ない均質な層状組織となっており、高い密着強度となることが知られている。

しかしながら D-GUN は現在、米国の Praxair 社の独占状態になっていて、資料や論文などの記述があまり無い。そこで本研究では、管長、粒子供給位置、酸化剤-燃料供給位置などをフレキシブルに変化させることのできる装置を用いて、水素-酸素における PDE 溶射として最適な運転条件を見つけ出すこと、粒子の速度・温度を測定して、よい溶射条件を探し出すことを目的とし、装置の性能評価を行った。

2. 実験装置および制御・計測システム

図 1 に実験装置の概要を示す。装置は点火・副ガス供給部 (副室)、主ガス供給部 (主室)、粒子供給部、燃焼室で構成される。燃焼室は水冷式の二重管構造で、長さ 300mm, 200mm, 100mm のものを 2 本ずつ用意した。これにより、各部との組み合わせで、様々な形状を作り出すことができ、多様な実験条件に対応できるようになっている。また、圧力測定用に、長さ 100mm の燃焼室を 3 本用意し、中心部 (50mm の位置) に PCB 圧力センサを取り付けた。さらに、副室には多孔板を取り付けることができる。多孔板はこれまでの研究成果よりデトネーション遷移に最適とされた $\phi=2$ 、閉塞率 85% に近いものを用意し、DDT 距離短縮、燃料・酸化剤の流動混合性能を高める目的で使用した。

装置の制御・計測は LabVIEW を用いて行い、副室、主室からそれぞれ H₂, O₂ を噴射し、直後に着火、その後、管内に残ったガスをパージするため N₂ を噴射という動作を 1 サイクルとした。PCB 圧力センサはトリガーを着火信号として、圧力の測定を行った。粒子は Particle Feeder により、N₂ を

carrier gas として 20 l/min で供給した。

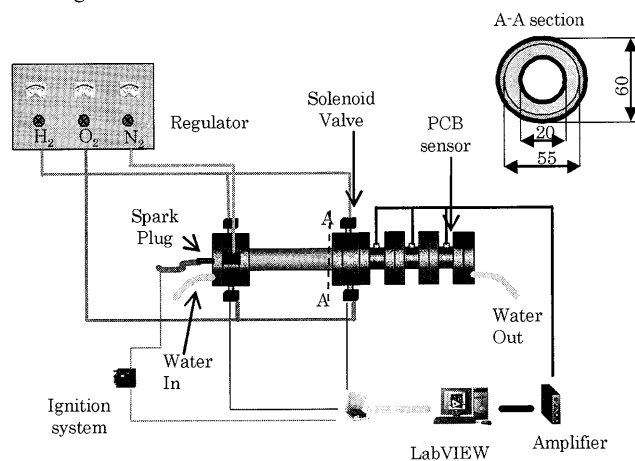


Fig.1 Experimental setup (unit=mm)

3. 実験結果および考察

3.1. H₂-O₂ 連続運転実験

H₂-O₂ 連続運転で、当量比 $\phi=1.15, 1.44, 1.54, 1.65, 1.78, 1.93$ について、周波数を 2Hz, 4Hz, 10Hz と変化させて、デトネーションの遷移に効果的な条件を調べる目的で実験を行った。PCB 圧力センサを 290, 390, 490mm の位置に設置し、圧力波形から圧力および速度を求めた。なお、速度はセンサ間の距離、時間差から求めた。当量比 $\phi=1.54$ における圧力、速度の CJ 値との比較を図 3, 4 に示す。なお、CJ 値は田中^[2]による AISTJAN のデータベースによるものを参考にした。

$\phi=1.54$ を見ると圧力、速度ともに CJ 付近の値を示しており、デトネーションに遷移したといえる。周波数条件別に見ると、10Hz の 1 つが圧力・速度ともに CJ に対してかなり高い値をとっているが、これはデトネーションに遷移した直後であることを示している。その他、ある特定の周波数で目立った特長というものは見られないので、周波数の影響は無いものとして考えられる。また、当量比 $\phi=1.15, 1.44$ の場合においても圧力・速度ともに CJ 付近の値を示しており、デトネーションへの遷移が確認できた。当量比 $\phi=1.65, \phi=1.78, 1.93$ の場合においても、デトネーションに遷移しないものが周波数に関係なく見ることができた。

これらの結果から、今回の実験条件では、当量比 $\phi=1.15$,

1.44, 1.54 においてはデトネーションへの遷移が“安定”で、周波数 $\phi=1.65, 1.78, 1.93$ においては、デトネーションへの遷移が“不安定”であるといえる。また、10Hz までの連続運転では周波数によって結果に差が出るということは無かったため、周波数の影響はあまり考慮しなくて良いと考えられる。ただし、10Hz においては 10 秒ほどの連続運転で多孔板が破壊されてしまい、それまでデトネーションに遷移していたものがこの影響で遷移しなくなる結果に至った。多孔板を用いると燃料・酸化剤の混合の向上やジェット噴流による DDT 距離の短縮などの効果が得られると考えられ、装置の重要な役割を担っているが、すぐに破壊されてしまうのでは溶射装置として適さない。多孔板を用いる事無く DDT を促進するためには、Shchelkin spiral などの代替機構が求められる。

3.2. 粒子の速度および温度測定

Ni-Cr 80-20(平均直径 $38 \mu\text{m}$) を N_2 により 20 l/min で供給し、実際に溶射を行い、粒子の速度および温度の測定を行った。今回の実験では、測定距離、当量比、粒子供給位置を変化させてその影響を調べた。当量比を変えた場合の測定距離 200mm の結果を図 4-6 に示す。

当量比の違いに注目すると、速度・温度ともに $\phi=1.54$ のほうが少し高い結果になっているが、どちらも同じような値をとっており、ほとんど違いは見られないと言える。ただ、当量比 $\phi=1.54$ の条件が $\phi=1.78$ よりも、速度・温度ともに分布のばらつきが小さい結果となった。次に、測定距離の違いに注目すると、粒子温度はほぼ同じような分布になっているのに対し、速度は測定距離 200mm の結果が測定距離 400mm に比べ全体的に高い値を示している。燃焼室から出た粒子は空気抵抗を受けることで飛行速度が落ち、この影響は距離が長くなるほど大きくなる。このため、実際に溶射を行う際は、母材を装置の近くに置くのがよい。今回の実験では装置から 200mm 以内の場所に母材を置いた方が、より良い皮膜を得ることができると考えられる。

今回の実験では、粒子の径が大きいほど速度・温度が低く、小さいほど速度・温度が高いという結果になった。融点が高い材料を溶射する際は、径の小さい粒子を用いるなどの工夫が必要である。

4. まとめ

本研究では実験装置の形状は変化させず、当量比、周波数を変化させてデトネーション遷移に与える影響を調べ、PDE としての最適な運転条件を探し出すこと、ならびに溶射粒子の速度および温度の測定をすることで装置の性能評価を行い、以下の知見を得た。

1. 当量比 $\phi=1.54$ まではデトネーションへ遷移しやすいが、 $\phi=1.65$ 以上になるとデトネーションへ遷移しない割合が多くなる。
2. 10Hz までの連続運転であれば、デトネーションへの遷移に対して、周波数の影響は考慮しなくても良い。しかし、10Hz ではデトネーション遷移に有益な多孔板は、10 秒程度の耐久性しか示さない。
3. 溶射装置から母材までの距離が遠くなると粒子の速度は低下する。

参考文献

1. R.C.Tucker, Jr. and Hideo NITTA, “Detonation Gun and Super D-GUN Coating Processes”, 高温学会誌 Vol.18, pp260-265, 1992.10
2. 田中克己 “可燃性気体の燃焼特性” 産業技術総合研究所研究情報公開データベース (<http://riodb.ibase.aist.go.jp/ChemTherm/aistjan.html>)

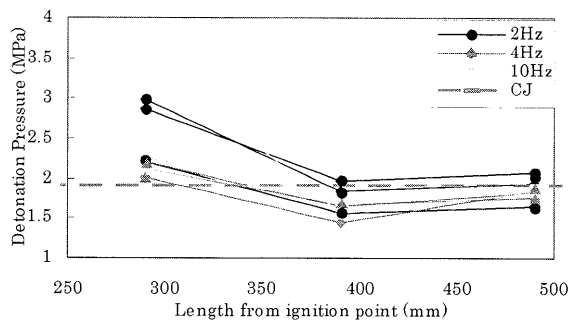


Fig.2 Comparison of CJ pressure with experimental pressure

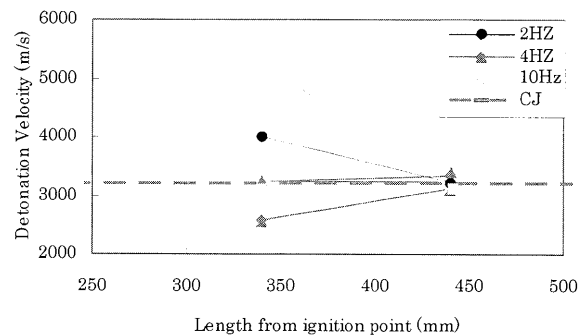


Fig.3 Comparison of CJ velocity with experimental velocity

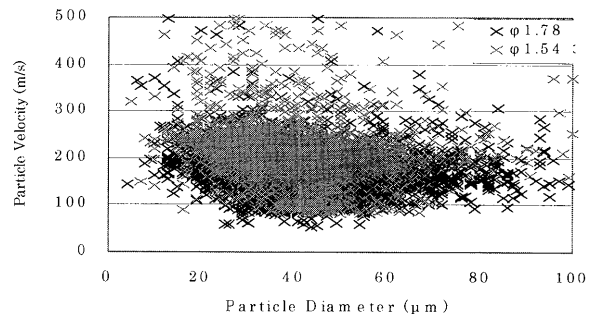


Fig. 4 Velocity distributions at 200mm from D-GUN end

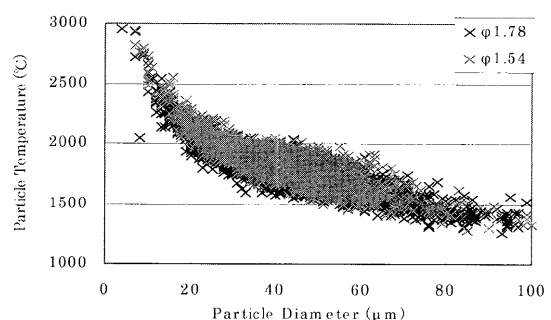


Fig. 5 Temperature distributions at 200mm from D-GUN end

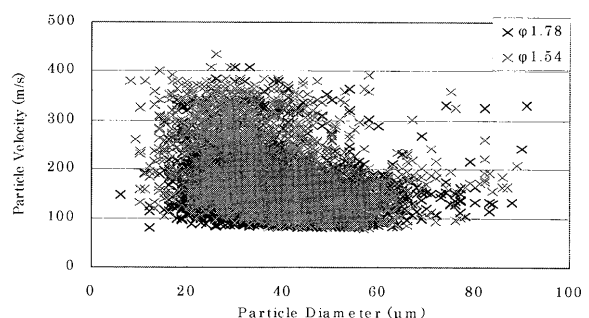


Fig. 6 Velocity distributions at 400mm from D-GUN end