プラズマジェットによる溶射の研究 (第2報)*

—Ni-Cr-B-Si 合金の溶射条件の影響とシールドノズルの効果について—

岡田 実** 西口 公之*** 丸尾 大*** 谷 隆之****

Studies on Plasma Spraying (Report II)*

—On the Effect of spraying condition in the Ni-Cr-B-Si alloy coating,
and the utilities of the shield nozzle—

By Minoru Okada**, Kimiyuki Nishiguchi***, Hiroshi Maruo*** and Takayuki Tani****

Abstract

An excellent dense and oxide free coating of Ni-Cr-B-Si alloy was obtained by the shielded plasma spraying method as shown in the previous report. The present report describes certain effects of spraying conditions, such as spraying atmosphere and preheating of substrate surface, on the quality of coating. And the application of shield nozzle and its effect are also investigated in details.

Usually, plasma spraying of Ni-Cr-B-Si alloy in the air makes a porous and oxide inclusive deposit, even with use of pure argon plasma jet. It may be seen that some of these defects were caused by the oxidation of droplets in spraying. Air contamination into the plasma flame up to 90% was detected in the quantitative gas analysis of plasma flame at a distance of 90 mm from the torch.

Spraying in argon atmosphere gave a somewhat better coated layer compared with the spraying in the air, but is far from being perfect. These results suggest that the protection of particle and substrate from oxidation is necessary but is insufficient for obtaining perfect coating. Furthermore, thermal problems in a process should be considered at the same time. As the result of atmospheric, thermal and kinetic considerations in the processes, shield spraying method has been proposed.

In the shielded spraying of this alloy, the preheating of substrate has great effect on the bond between the coated layer and the substrate. For the specimen which is shield-sprayed without any preheating, a little amount of porosity was observed at the boundary. But almost perfect metallurgical bonding is accomplished with local preheating (300°C) of substrate surface.

As for the application of shield nozzle, a series of experiments were carried out to analyze the effect of nozzle. Results as follows;

- (1) Spraying atmosphere is kept perfectly inert.
- (2) Shield nozzle has an effect of raising the heat transfer from the plasma flame to the particles and substrate, since the contamination of cold gas is completely shut off.
- (3) Application of shield nozzle makes it easy to preheat the substrate surface with a high effluent of heat flux.
- (4) Temperature and velocity of particle rise as a result of increase of thermal efficiency and velocity of plasma flame.

序

プラズマジェットによる Ni-Cr-B-Si 合金の溶射に関して、著者らは一連の系統的研究を行ってきた。すでに前報¹⁾で、溶射装置、適正溶射条件とくに被溶射材の表面を局部的に予熱し、シールドノズルを用いて溶射雰囲気気を大気から遮蔽しながら溶射する、“予熱シールド溶射法”について述べた。この溶射法による溶射皮膜

は、組織、硬さ、有孔率、X線回析、接着強度および耐磨耗性の各試験の結果、従前の金属溶射法による溶射皮膜よりも、格段にすぐれていることが分かった。

本報では、これらの溶射皮膜の性質におよぼす溶射条件の影響と、予熱シールド溶射法におけるシールドノズルの効果について述べる。

§6. 溶射条件の影響

- (1) 溶射雰囲気の影響²⁾ (その1) (大気中の溶射)

すでに §5 でも述べたごとく、従来の金属溶射と同じ要領で、大気中でプラズマ溶射した溶射皮膜は Photo.17 のように非常に多孔質である。皮膜の硬さも、この合金の本来の硬さに比べると低い値を示す。また母材との境

* 原稿受付、昭和41年6月20日

** 名誉会員、大阪大学工学部 Honorary Member, Faculty of Welding Engineering, Osaka University

*** 正 員、大阪大学工学部 Member, Faculty of Welding Engineering, Osaka University

**** 正 員、住友金属工業(株) Memaer, Sumitomo Metal Industry Co., Ltd.

Photo. 17 Microstructure of Ni-Cr-B-Si alloy coating plasma sprayed in ordinary method. $\times 150 \times 1/2$

界面には多数の空洞がみられ、皮膜と母材との接着は、ほとんど機械的に結合しているにすぎない。引張りによる接着強度は $2 \sim 5 \text{ kg/mm}^2$ であった。溶射皮膜中にじゅう分溶融しないまま、母材に到達したと思われる球形の粉末粒子が観察されることも多い。このようなことから気孔の多い、不完全な溶射皮膜が形成される原因として①粒子の溶融不完全、②溶射中の溶滴および母材の酸化、③溶滴の母板への衝突速度の過少などが考えられる。

①の粒子の溶融は、主としてプラズマジェットのエネルギ量によって定まり、電流、プラズマ作動アルゴン流量などによって変る。しかしながら Photo. 17 に示した試片は、すでに示した予熱シールド溶射試片と同じ電流 (500 A) ガス流量 (60 l/min) によって溶射したものであるから、もし粒子が母板面上に到達したとき、溶融不完全であるとすれば、溶射トーチを出て溶射面に到る間の過程が問題となる。②の酸化は、大気中の溶射であるから、空気存在によって溶滴および被溶射面の酸化が、多少は生じることは容易に推測できる。Fe の場合、酸化物 FeO の融点は Fe の融点よりも低い、他の金属の酸化物の融点はその金属の融点よりも高いことが多い。たとえば Cr の融点は 1400°C であるが、 Cr_2O_3 は 2265°C である。したがって溶滴が酸化して、表面に酸化皮膜が形成されると、溶滴の冷却に際して、まづ表面の酸化物が固化して強い表面皮膜を形成することが考えられる。このような状態で母板に衝突しても、衝突速度がじゅう分大きくなければ、酸化皮膜を破って、内部の合金が母材あるいは他の溶滴と相互に接触密着することは困難である。また酸化皮膜が破れた場合でも、溶射皮膜中に酸化膜が介在することになる。母材表面が酸化しているときもおなじ結果になる。一般の金属溶射では溶射中における酸化がかなり認められている²⁾。熱歪みのよく制とからんで、溶射中の母材の温度上昇を可及

的に低くするようにしている一つの理由は酸化皮膜の形成を防止するためである。この実験で使用しているのはアルゴンのプラズマジェットであるから、酸化を問題とすると、アルゴンのプラズマ流中に混入する空気量が問題となる。一般に流れの特性はレイノルズ数 $Re = Ud/\nu$ (U ; 流通, d ; 代表長さ, ν ; 動粘性係数) によって変わる。この溶射実験で用いたプラズマジェットの Re は $Re \approx 500$ であるから流れは乱流である。しかもノズルの出口で流管の断面積は急変しており、プラズマ流は伴流をとめない、またプラズマ流と大気との境界に渦流を形成して、周辺の空気を混入することが予想される。そこでプラズマ流中の空気混入量を知るためつぎのごとく定量ガス分析を行なった。

電流 500 A, アルゴン流量 60 l/min のプラズマジェット流の中心軸上の各位置 (ノズル出口から 20, 30, 40, 60, 80, 100, および 120 mm の位置) にプラズマ流に平行にガス採取管を挿入し、水置換法によってプラズマガスを捕集した。ガス採取管は石英管を用いた。その内径は 1 mm で外径 3 mm, 長さは 60 mm である。プラズマ中に混入した空気量は捕集ガス中の酸素をピロロールアルカリ溶液により吸収法によって定量し、その量の 79/21 が空気の量に相当するとして求めた。結果は Fig. 10 に示すごとくである。ノズルから 30 mm はなれた位置ではすでに 50% に相当する空気がプラズマ中に混入している。実際に溶射する溶射距離 (ノズルから 80 mm ~ 100 mm) だけ離れた位置では 90% の空気がプラズマ中に存在している。このように大気中で溶射すると、プラズマ作動ガスとしてアルゴンを用いても、溶射雰囲気はほとんど空気中と変わらないことが分かる。したがって溶射中に溶滴および母材はかなり酸化するものと考えられる。このようにプラズマ流中に大量の空気の混入があると、プラズマ流の温度は急速に低下し、また流速もいちじるしく減少する。このためノズル部で加熱され、一たん溶融した粒子も、その温度が持続されずに溶射面に到達することになる。しかもプラズマ流速が低下するの

Fig. 10 Results of gas analysis of the plasma jet flame without shield nozzle.

Arc current 500 A, Argon flow rate 60 l/min.

で衝突速度もそれにつれて低下し, 酸化皮膜が介在した, 多孔質の溶射金属皮膜を形成することになる。

(2) 溶射雰囲気の影響³⁾ (その2) (アルゴン雰囲気中の溶射)

大気中の溶射では前記のごとく大量の空気がプラズマ中に混入するため, 酸化がおき, 良好な溶射皮膜が得られない。溶射雰囲気の影響のうち, 酸化の影響を調べるため Fig. 11 のごとく, 可変雰囲気溶射チェンバーを製作し, 完全なアルゴン雰囲気中で溶射実験を行なった。チェンバー内をまず 10^{-2} mmHg に排気したのち, アルゴンを充填し, さらにもう一度アルゴンで置換して, 完全にアルゴン雰囲気に保った。電流, プラズマガス流量を, それぞれ適正条件であった 500 A, 60 l/min で

Fig. 11 Controlled atmospheric spraying chamber.

溶射して得た溶射皮膜の組織の一例を Photo. 18 に示す。この例からも分かるごとく, 溶射層および母材との境界部のいずれにも気孔が残る, 溶射皮膜の硬さは平均して VHN 600 である。これは再溶融処理した皮膜よりもやや低い。また大気中において溶射したときと同じく, 未溶融のまゝ皮膜中に入ったと思われる粒子も多く見られる。Photo. 17 に示した組織に比べれば, 酸化皮膜がないため, 粒子相互の溶着がかなり改善されているが, 予熱シールド溶射試片に比較するといちじるしく劣る。酸化皮膜がいちじるしく減少しているにもかゝらず, このように多孔質になる理由の一つは, 前項の場合と同じく, プラズマ流の温度低下による溶滴の温度の低下にあると思われる。すなわち溶射雰囲気はアルゴン雰囲気であるがプラズマ中に混入する低温のアルゴンがプラズマの温度降下をひきおこし, 同時に流速も低下させていると考えることができる。そのため粒子の温度および速度もそれにつれて低下し, 良好な溶射皮膜を形成することができないのである。

(1) および (2) に記した結果から, 溶射雰囲気中に空気が混入する溶射では, 良好な溶射皮膜を得ることはできない。しかも溶射雰囲気をアルゴン雰囲気にした

Photo. 18 Microphotograph of cross section of Ni-Cr-B-Si alloy coating sprayed in argon atmosphere $\times 150 \times 1/2$ Arc current 500 A, argon flow rate 60 l/min. etched with mixed acid.

だけではじゅうぶんでない。しかしながら溶射雰囲気をアルゴン雰囲気にすることは酸化防止のうえから必要であることが分る。

(3) 母材の予熱の影響

前項で述べた諸欠陥を防止するため, 予熱シールド溶射法ではシールドノズルを用いて, 大気の混入を遮断しかつ, 母材の表面を約 300°C に局部予熱したのち溶射を行なっている。そして良好な溶射皮膜が得られたが, (1) (2) の結果から分かるごとく, 酸化防止だけでなく, 溶射中のプラズマ温度の低下を防ぐなど, 熱的な因子も検討しなければならない。シールドノズルの効果は §7 に詳しく述べるが, こゝでは母材の予熱の影響について検討する。

粒度 $-150 \sim +200$ メッシュの粉末をシールドノズルを

Photo. 19 Microhardness and microstructure of Ni-Cr-B-Si alloy coating sprayed with use of shield nozzle

$\times 150 \times 1/2$

Arc current 500 A, Argon flow rate 60 l/min.

用いて、母材表面を予熱せずに溶射した皮膜の組織は Photo. 19 のごとくである。大気中で溶射した場合の皮膜およびアルゴン雰囲気中で溶射した溶射層に比べると溶射皮膜中の気孔はいちじるしく減少していることがわかる。粒子は完全に溶融して母板面に到達し、じゅう分変形し、粒子相互の溶着も完全になっている。皮膜の硬さはいずれも VHN 800 以上を示し VHN 1100 近い値を示す例も見られる。このように溶射皮膜の組織はいちじるしく改善されている。しかしすでに示した Table 7 (前報 §5 参照) の接着強度試験の結果からもわかるごとく、母材との結合はあまり良好でない。

Photo. 20 Microphotographs of bond in Ni-Cr-B-Si alloy coating, shield sprayed without any preheating of substrate surface.

(a) As polished

(b) 2% Nital etched $\times 400 \times 1/2$

Photo. 21 Typical defect in bond of the coating, sprayed without any preheating the substrate surface $\times 600 \times 2/5$

Photo. 19 に示した試片の溶射金属と母材との境界の顕微鏡組織は Photo. 20 のごとくである。母材表面を予熱せずに溶射した場合には溶射皮膜は緻密な組織になるにもかかわらず、母材との境界近傍では溶着不完全な個所が多く見られる。Photo. 21 はその典型的な例で、グリットブラスト処理した母材表面に溶滴はじゅう分になじまないまま急速に凝固した状態がうかがえる。いっぽう、母材表面を 300°C に予熱したのち、シールドノズルを用いて溶射した皮膜の母材との境界は Photo. 22 のごとくである。研磨したままでは境界が識別出来ないぐらい完全に密着した状態になっている。したがって母材表面の初期温度が、溶射皮膜との結合に大きく影響して

Photo. 22 Microphotograph of bond in Ni-Cr-B-Si alloy coating, sprayed with shield nozzle and local preheating of substrate surface at, 300°C.

- (a) As polished $\times 100 \times 1/2$
 (b) 2% Nital etched $\times 600 \times 1/2$

いることが分かる。適正な予熱温度を調べるため、予熱温度を 100°C, 200°C, 300°C, 400°C および 500°C の各温度にかへた。その結果、100°C, 200°C では、なんら予熱せずに溶射した試片に見られたとき溶着不完全な個所が部分的に残る。400°C および 500°C に予熱したものは 300°C に予熱したものとはほとんど差異がみとめられなかった。したがって 300°C 程度に予熱すればじゅう分と考えることができる。

母材を予熱した場合も、しない場合も、トーチを出てシールドノズル中を飛行する溶滴は変わらないのであるから、母材を予熱しない場合の境界部の欠陥は、溶滴が母材に衝突した瞬間にうける冷却効果に原因するものと考えられる。つぎつぎと溶滴が積み重なっていくにつれ、緻密な溶射層になっていくことも、溶射中に序々に溶射皮膜が加熱効果をうけ温度が上昇して、丁度母材表面を局部予熱した場合と同様な効果によって相互の溶着が完全になっていったものと考えられることができる。

(4) その他の溶射条件の影響

溶射雰囲気、母材表面の局部予熱以外に、溶射トーチの構造を含め、種々の溶射条件が溶射皮膜の性質に影響する。概括すると以下のごとくである。

- (a) 溶射電流: 200~300 A の過少電流では未溶融粒子が多く、電流増加とともに減少する。しかし 900~1000 A では過熱状態になって、ノズル部で粉粒が凝集し、大粒の溶滴を作りやすくなる。
 (b) アルゴン流量: 40 l/min から 60 l/min の範囲

が試作したトーチでは適当であった。少ない場合は溶滴の速度がおそく、また過大にすれば、プラズマの高温部に入る粒子が減少し、未溶融粒子が増加し、溶着率が低下する。

- (c) 溶射距離: この実験では 70~100 mm が適当であった。50 mm 以下では母材の温度上昇が激しく、150 mm 以上では溶滴の温度低下、速度低下のため溶射効率が悪化する。またできた皮膜も気孔がでやすい。
 (d) 粉末粒度: 500 A~600 A では+100メッシュの粗大な粉末は溶融が不完全である。また-325メッシュの微粒は、プラズマ流中への送りが困難で、またプラズマ流中に入ったものは過熱する。
 (e) 母板の表面処理: グリットブラスト処理したものが全般に良好であった。サンドブラストしたものは微粒の砂が残りやすい。

§7. シールド溶射法におけるシールドノズルの効果⁴⁾

Ni-Cr-B-Si 合金の溶射において完全な溶射皮膜を得るためには Table 4 (前報参照) に示した予熱シールド溶射法が有効であることを前項までに述べた。この場合シールドノズルは溶射雰囲気制御の効果のみでなく、プラズマ流の温度、熱効率、流速、母材の予熱効果など溶射過程にとって重要な因子に影響している。

(1) 溶射雰囲気

シールドノズルを用いた時の溶射雰囲気は §6, (1) 項に記した方法と同じく、プラズマジェット構成ガス中の酸素を定量分析して調べた。外径 3 mm, 内径 1 mm の石英管を所定の位置にセットし、水置換法によって試料ガスを採取した。ガスの捕集速度は 20~30 cc/min (標準状態に換算) にした。この値はプラズマ作動ガス流量 60 l/min に比してじゅうぶん小さい。採取したガスは秤量して四球吸気管にうつし、ピログロール・アルカリ溶接に酸素を吸収させ、その吸収量を測定した。試料ガスの捕集および分析はそれぞれ3回づつ行ない、その平均をとった。

長さ 95 mm のシールドノズルを用い、シールドノズル端面と 0.5 mm の細隙だけはなして母板をおいた場合、シールドノズル内の中心軸上におけるガス分析結果は Fig. 12 の A 曲線のごとくである。実験誤差内ですべてアルゴン100%になっていることがわかる。

シールドノズルの一端に母板をおかず、開放状態にした場合の分析結果は Fig. 12 の B 曲線および Fig. 13のごとくである。プラズマ流の中心軸上ではトーチのノ

Fig. 12 Results of gas analysis of the plasma jet flame when the shield nozzle was used.
Arc current 500 A, Argon flow rate 60 l/min.

Fig. 13 Gas analysis of the plasma jet in the shield nozzle.
Arc current 500 A, Argon flow rate 60 l/min.

ズルから 60 mm 程度はなれると空気が混入している。シールドノズルの内壁面上では torch のノズルから 10 mm の位置で約 1.5%, シールドノズル端面近傍で 42% に相当する空気量が検出された。このようにシールドノズルを開放状態にした場合、空気はプラズマ流とは逆に、シールドノズルの内面に沿って上流側に侵入してくる。シールドノズルの開き角を大きくするとこの傾向が強くなる。

これらの実験の結果、溶射雰囲気完全なアルゴン雰囲気にするにはシールドノズルの使用が有効であることが分かる。しかもその場合シールドノズルと母板との間隔をできるだけ小さくしておくことが必要である。たとえば母板とシールドノズルの間隔を 1 mm 以上にした場合、予熱時母板の酸化がみとめられ、このとき溶射金属と母板の間に酸化皮膜が介在することになるので良好な溶射はできない。また溶射部分の周囲の母材は溶射中、熱伝導によって徐々に温度上昇していくから、溶射面を酸化させないようにするには、かなり大きい面積をカバーするシールドカバーを使用することが必要である。

(2) プラズマ流の熱移行

シールドノズルを使用することによって溶射部は完全

にアルゴン雰囲気中に保たれる。プラズマ流と空気を分離すると、プラズマ流に低温の空気が混入した場合よりもプラズマ流の温度降下は少なく、また熱エネルギーの損失が減少するはずである。これを確認するため Fig. 14 に図示したように溶射 torch の陰極、陽極 (ノズル)、シールドノズルおよび母板のそれぞれの受熱量を、各部分の冷却水の流量および温度上昇から測定した。プラズ

Fig. 14 Schematic diagram of experimental device for the heat transfer measurement.

Fig. 15 Schematic representation of convertible shield nozzle.

Fig. 16 Heat transfer characteristics in plasma jet spraying when shield nozzle is used.
L; Distance from torch to substrate
Q; Argon flow rate

Fig. 17 Heat transfer characteristics of plasma jet spraying without use of shield nozzle.

L; Distance from the torch to substrate
Q; Argon flow rate

Fig. 18 Absorbed heat of shield nozzle and substrate at various distance from torch (40, 75 and 90 mm)

Argon flow rate 60 l/min.

マガス流量はすべて 60 l/min の一定値に保ち、電流は 200 A から 500 A にわたって変えて実験した。溶射トーチと熱量計(母板部)の間隔は 42 mm から 90 mm の範囲にかえた。このため、シールドノズルは Fig. 15 のごとく、3 ケに分割できるものを用いた。

シールドノズルを使用した場合としない場合の熱移行量は Fig. 16, Fig. 17 のごとくである。シールドノズル

Fig. 19 Effect of shield nozzle on the heat transfer from plasma to substrate.
Argon flow rate 60 l/min.

と母板の位置において熱量計の吸収する熱量は、トーチから熱量計までの距離に応じ、Fig. 18 のごとくかわる。トーチ部の熱効率ほぼ50%で、電流増加とともにわずかに上昇する傾向が認められる。

母材に相当する熱量計が吸収する熱量は Fig. 19 に示すごとく、シールドノズルを用いると、いちじるしく上昇する。同一電流の場合、その絶対値は2~4倍にも増大している。シールドノズルを用いない場合、供給した入口からトーチでの吸収量、母板の吸収量をそれぞれ減じた残余の熱量は大気中に失われているわけである。シールドノズルを用いるとシールドノズルの吸収熱量が、熱損失として計測されるが、しかしその損失は、シールドノズルを用いない場合における大気中への熱損失量よりもいじるしく小さい。水冷した金属壁を高温プラズマ流に接して設けると、プラズマ流に対する冷却効果が大きく、シールドノズルを用いない場合よりも、むしろ熱損失が大きくなると思われるが、結果はかえって逆である。しかも母板に相当する熱量計が得る熱量が上昇するのであるから、低温の空気がプラズマ流中に混入した場合、急速にプラズマ温度が降下し、単位質量あたりのエネルギーが低下したことがわかる。理想的なシールドノズルとしてはエネルギーを吸収しないものが望ましい。磁気的な方法の適用もこのためには有効と思われる。

母材への熱移行量はプラズマの流速、温度などによってきまる熱伝達係数と母材とプラズマ間の温度勾配および母材の受熱面積によってきまる。プラズマ流の流速その他の因子があまりかわらなくて熱伝達係数の変化が小とすると、母板の吸収熱量はプラズマの温度に比例する。吸収熱量からアルゴンの比熱、流量、供給エネルギーの各値によってプラズマの温度を計算すると Fig. 19 に示したごとくになる。したがってシールドノズルを用いると、(溶射間隔) 90 mm の位置においても、合金の融点以上の温度が維持でき、シールドノズル中を通過する粒子は、溶融状態を保って母板に衝突することが可能に

Fig. 20 Relationship between temperature of substrate surface and heating time.
Argon flow rate 60 l/min.
Distance from torch 80 mm.

Fig. 21 Relationship between temperature of substrate surface and heating time.
L: Distance from torch
Argon gas flow rate 60 l/min.
Arc current 500 A

なる。

3 母板の予熱効果

予熱シールド溶射法では母板表面を局部的に予熱して溶射し、良好な溶射皮膜とすることができる。2で分かるごとく、シールドノズルを使用した場合の母板の吸収熱量は、しない場合の2ないし4倍に上昇する。このため、シールドノズルを用いると母板の予熱を容易に、しかもアルゴン雰囲気中で行なうことができる。予熱は母板全体について行なう必要はなく、表面近傍を局部的に予熱すればよいことが分かった。加熱時間と表面温度の変化を調べるため $60 \times 60 \times 5$ mm の軟鋼板の裏面から $3\text{mm}\phi$ 穴をあけ、表面より $0.2 \sim 0.5$ mm の位置にアルメルクロメル熱電対を溶接し、温度変化を

電磁オシログラフで記録した。電流およびトーチからの距離を変えた場合の結果を、Fig. 20, Fig. 21 に示す。これらの実測結果から母板の表面を 300°C に予熱するにはたとへば $I=500\text{ A}$, $L=80\text{ mm}$ では8秒加熱すればよいことが分かる。シールドノズルを用いない場合は20秒を要する。それゆえシールドノズルを使用すれば、他の予熱用熱源を用いずとも短時間プラズマ焰を母材にあてることによって、容易に母材表面の予熱を行なうことができる。また溶射中は溶射トーチの移動につれて熱伝導により、自動的に母材に予熱効果を与えるながら溶射を続けることができる。

(4) プラズマの流速

シールドノズルを使用し、母材とシールドノズルの間隔を小さくして溶射するとき、母板の中心ではプラズマ流の激み点ができる。中心軸上の総圧と静圧の分布からプラズマ流を断熱流と設定して流速を求めると Fig. 22 のごとくになる。図中にはシールドノズルを使用しない場合の流速を比較のため点線で示した。これより分かるように、トーチノズルから 80 mm 附近までの流速はシールドノズルを附けた場合の方が附けない場合よりも大きい。母板表面では軸方向の速度成分が0に近づき、半径方向の成分に転換していく。粉末のガス流による加速については §8 および §10 (次報) で述べるが、粉末に働く力は粒子とプラズマ流の相対速度の自乗に、またプラズマの密度に比例する。シールドノズルを使用するとプラズマの温度は附けない場合よりも高いので密度は減少し、粉末がうける力は相対速度の二乗の変化にのみ比例しないが、粉末粒子が加速される区間は増加する。シ

Fig. 22 Velocity of plasma stream in the shield nozzle when the substrate is set in front of shield nozzle exit.
Argon flow rate 60 l/min,

ールドノズルを附けないときにはトーチから50~60 mmの所までが加速区間となって, それ以後は粉末の速度がプラズマ流速よりも高くなるので減速区間となる. ところがシールドノズルをつけると, 母板近傍までプラズマの流速が大きいのので加速区間が伸び, 粉末はより加速されるわけである. 母板上で激み点ができ, 軸方向の流速は0となるがそれまでの加速区間が長いので, 粒末の速度はむしろ上昇し, 衝突速度を大きくする結果になるのである.

結 言

Ni-Cr-B-Si 合金の予熱シールド溶射法における溶射条件の影響とシールドノズルの効果について検討してきた. これらを要約すれば次のごとくである.

(1) 溶射雰囲気は溶射皮膜の性質に大きく影響する. 大気中で溶射するとプラズマガスとしてアルゴンを用いても酸化がおき, 不完全熔融粒子の混入とともに溶射皮膜は多孔質になる.

(2) ガス分析の結果上記の酸化はジェット中に混入する大量の空気によっておきることが推定される.

(3) アルゴン雰囲気中で溶射すれば酸化が防止されるので溶射皮膜の組織は多少よくなるが, なおかなりの量の気孔が残る. したがって溶射雰囲気をアルゴンに

することは必要であるが, 完全な溶射皮膜を得るためにはじゅう分でない. シールドノズルを用いると緻密な皮膜が得られる.

(4) 溶射皮膜と母材との結合を完全に行なわせるには, 母材表面を 300°C 内外に予熱しておくことが望ましい. Ni-Cr-B-Si 合金では 300°C が適当であった.

(5) 予熱シールド溶射法におけるシールドノズルの効果は①溶射雰囲気を完全なアルゴン雰囲気にすることができる, ②プラズマ流から母板への移行熱量を増大することができる, ③これを利用して短時間に母材表面を局部予熱しうる, ④プラズマ流の温度低下が防止され, 流速は増大する, などである.

終りに本実験を行なうにあたって, 学部学生川上一郎君の協力を得たことを記して謝意を表する. また本研究の一部は文部省科学試験研究費によって行なったことを附記する.

文 献

- 1) 岡田実, 丸尾大, "プラズマジェットによる溶射の研究 (第1報)" 本誌 第35巻 (1966) 第12号
- 2) 美馬善文, "金属溶射 (主として溶封金属の性質について)" 溶射技術講習会テキスト, 日本溶射協会 (1962) 15
- 3) 岡田, 丸尾, 川上, "プラズマジェットとその応用に関する研究" (第14報) 講演予稿, 本誌, 34巻, 2号 (1965) 267
- 4) 岡田実, 丸尾大, "プラズマジェットによる Ni-Cr-B-Si 合金の溶射" 日本溶射協会誌, Vol. 2, No. 2 (1965)

I.I.W. 年次大会出席に関する手続等について

I.I.W. 年次大会に出席あるいは論文提出を希望される方は概略次の事項を御承知いただき, 各自遺漏のないよう前もって御準備下さるようお願いいたします.

1 大会出席について

日本の I.I.W. 加盟団体は次の4団体です.

日本学術会議金属研究連絡委員会 (溶接分科会)

社団法人 溶接学会

財団法人 溶接研究所

社団法人 日本溶接協会

したがって大会出席希望者はこれらの会員であることが必要で加盟団体の関知しない出席申込は登録されません. (側人の申込が仮に受けられても資格確認の照会状が送られてきます.) 日本では I.I.W. に関する事務処理は一括して本会が行います. 年次大会代表団のリストは大会二カ月前に本会から I.I.W. 事務局に提出しなければなりませんので他団体を經由して出席申込みをされる方も念のため本会に御連絡下さるようお願いいたします. 本会では申込を受けると溶研連に報告して日本学術会議に対し必要によっては外貨枠の申請, 国費支給の手続きなどを取ってまいります. それと同時に J.I.W. (日本

溶接会議) の該当委員会 (I.I.W. に設置されている委員会に対応する国内委員会) の委員長に通達して出席資格の決定や連絡事項などの打合せを行ってまいります. したがって出席希望者は J.I.W. の該当委員会委員長と連絡をとり I.I.W. 委員会の運営状況や日本が果さねばならない役割などについて充分な知識を得ておかれるよう希望いたします.

なお I.I.W. への出席登録は組織委員会から登録用紙が送られてまいります. 出席申込者にはたぎちに配付いたしますので各自で指示されたとおり処理していただきます. (登録は各自で行い本会では一括いたしませんので御注意下さい.)

これには大会出席の登録と同時に Tour, Reception などへの参加, ホテルの予約なども申込むことになっています. この手続きには期限がありまたそれぞれの料金が払込まれないと受付が室いたしましたので御注意下さい. (89頁へつづく)