

250kW超音速ガスプラズマ溶射 (S.S.P.S.) によるクロミア (Cr_2O_3) 皮膜の特性

Properties of Cr_2O_3 Coatings Formed by 250 KW Super Sonic Plasma Spray (S.S.P.S.)



溶接溶射技術開発室

林 慶治

Hayashi Keigi

溶接溶射技術開発室

大村 正孝

Omura Masataka

製品開発部課長

東 洋一

Azuma Yoichi

要 旨

250kW超音速ガスプラズマ溶射 (S.S.P.S.) について、その作動原理及び特長を簡単に述べた。この S.S.P.S. を Cr_2O_3 皮膜形成に適用する場合の代表的溶射因子について、詳細に検討し、ほぼ最適溶射条件を見出した。 Cr_2O_3 溶射については、従来の60kW級ガスプラズマ溶射に比べ、S.S.P.S. は非常に優れた溶射皮膜を形成することが判った。

今後、この用途展開が期待される。

Synopsis:

This is to simply describe the working principle and features for supersonic plasma spray (S.S.P.S.). We studied in detail typical spraying factors when S.S.P.S. is applied to Cr_2O_3 film formation and found approximately the optimum spraying conditions. It has been recognized that S.S.P.S. with Cr_2O_3 forms a highly superior spraying film compared to 60KW class gas plasma spraying.

The application of this process is expected to be developed further in future.

1. 緒 言

溶射産業の、ここ数年の年成長率は、約10%で推移しており、今後もこの傾向は続くと思われる。その理由としては、溶射適用範囲が全産業分野にわたって拡大していること、各産業設備への溶射高級品採用メリットが、計算上、認識され始めて来たこと等が上げられる。

溶射技術は、第一に溶射材料技術、第二に溶射装置及び操作技術、第三に皮膜評価技術の三点より成り立っている。

第一の溶射材料技術としては、Mクラリー等新合金や炭化物、硼化物、硅化物、窒化物等多数の新規合成品が溶射用に開発されている。

第二の溶射装置技術としては、古くからあった溶射装置の改良タイプや、より高品質の皮膜が期待できる新しいタイプの溶射装置が、次々と発表されている。

第三の皮膜評価技術としては、従来感覚でとらえられがちであった性質が、測定装置の開発や測定技術の進歩により、数値化される傾向が加速されている。

これらの三要素のうち、現状は第二の溶射装置の比重がかなり高いと思われる。

本稿では、弊社が昨年導入した、(株)プラズジェット社製、PLAZJET-Ⅲ 250 Hypersonic Plasmajet Coating System (弊社名称 S.S.P.S.=Super Sonic Plasma Spray) について、その作動原理、特長を述べるとともに、この装置を Cr_2O_3 溶射に適用した場合の、 Cr_2O_3 皮膜特性について、その実験結果を報告する。

2. S.S.P.S. (Super Sonic Plasma Spray)

S.S.P.S. (Super Sonic Plasma Spray)とは、ガスプラズマ溶射を、超音速で行なうことを可能にした溶射方法である。

Fig 1 に S.S.P.S. ガンの構造を示す如く、プラズマガスを旋回流で供給することと、ノズルを長くしているところに、その特徴がある。

4孔のガスディストリビュータより、高圧・高流量のプラズマガスを、ノズル内面円周方向に供給し、強いスパイラルのガス流を発生させる。このプラズマガス流に、長いノズルを利用した直流高電圧をかけることにより、発生するアークは、ノズルの中央に集中し、収束性の高い超音速ジェットとなってノズルより噴出する。

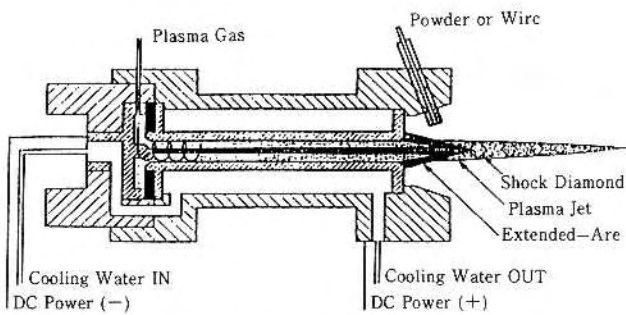


Fig.1 Schematic illustration of S.S.P.S. arc gun

ノズル出口でのジェット速度は、従来のガスプラズマ装置がマッハ0.5～1と言われているのに対し、当 S.S.P.S. はマッハ3～8 と非常に高速である。

このため、溶融粉末の速度が大きくなり、母材への密着強度が高くなると共に溶射皮膜が緻密・高品質となる。

又、従来のガスプラズマ装置が概略最大80V—1000Aであるのに対し、当 S.S.P.S. は概略最大500V—500Aであり、そのエネルギーは、約3倍である。

以上をまとめると、S.S.P.S.の特長は次のとおりである。

- ①溶融粒子が超音速で、母材に衝突するため、母材への密着強度の高い溶射皮膜が得られる。
- ②溶射皮膜は、気孔率が極端に低く、緻密で硬度の高い皮膜となり、特に耐摩耗性に優れる。
- ③セラミックス、サーメット、金属等、広い範囲の溶射材料に適用することができる。
- ④時間当りの溶射粉末量が、従来のガスプラズマ溶射の5～10倍となり、生産性が非常に高い。

3. S.S.P.S. における溶射因子の影響 (Cr₂O₃ 溶射)

粉末ガスプラズマ溶射は、その操業因子が多く、又各々の因子が複雑にからみあっていることは、周知の事実である。

る。

このため、全ての溶射因子の影響を調べ、皮膜使用目的に合った最適溶射条件を見出すためには、膨大な実験量が必要となる。

そこで、S.S.P.S. 装置メーカー殿より、操作条件の教示を頂き、この条件を初期条件 (Primary condition) とし、比較的影響の大きいと考えられる因子に限って、その数値を前後に振らせることにより、各因子が皮膜特性及び粉末附着歩留にどのように作用するかを調べた。Table1 にその内容を記している。

ここで取り上げられていないものとしては、粉末条件 (化学成分、粉末形状、粒度分布、等) と、母材条件 (材質、プラスト等前処理、予熱温度、等) と、ガン条件 (ピッチ間距離、溶射角等) と、粉給条件 (粉末投入位置、粉末投入角、ポート数、ノズル径等) その他、数え上げると切りがない。後々、これらも取り上げなければならないと思われる。

3. 1 実験方法

溶射材料は、ドイツスタルク製Cr₂O₃ (325 mesh paso) を使用した。基板はSPCC—SB 鋼板 (60mm×50mm×3.2mm) を用い、トルオールで脱脂し、アルミナグリッド (#24) でプラスト処理を行った後、約300μm 厚に溶射して、試験片とした。

溶射方法は、Fig2 の如く、回転パイプ (φ114mm×1000mm) にマグネット (25mm×25mm×50mm) を取り付け、これに基板を磁着させた。そして、回転パイプを、基板の周速を調整してガン速度となる様に回転させた。1回転当りの、ロボットによるガンの送りピッチは15m/m 巾に固定した。

皮膜の特性評価は、附着粒子間密着強度を代表として取り上げ、Fig3 の如く、荒田式溶射皮膜評価試験機 (ACT—JP、プラストエロージョン摩耗試験機) を用いて測定した。

Table 1 S. S. P. S. parameters for Cr₂O₃ Coatings

	Factor of Cr ₂ O ₃ spraying	Numbers of level		
			Primary Condition	
1	Current	380, 420, 460	500	
2	Plasma gas feed rate (ℓ / min)	N ₂	250	300, 350, 400,
		H ₂	200	150, 100, 50,
3	Plasma gas feed rate (ℓ / min)	N ₂	240, 270	300, 330, 360,
		H ₂	120, 135	150, 165, 180,
4	Powder gas feed rate (ℓ / min)	10, 20	25	30,
5	Powder feed rate (kg / hr)	10, 15	20	25, 30,
6	Gun speed (m / sec)	0.5,	1.0	1.5,
7	Purge air (ℓ / min)	0,	200	
8	Spraying distance (mm)	100, 150	180	200, 250,

又、皮膜厚さをマイクロメーターで測定し、パス数で除する事により、1パス当りの溶射厚さを計算し、粉末付着歩留の指標とした。

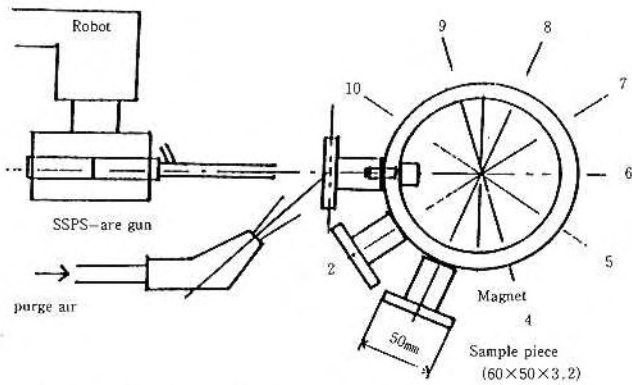


Fig-2 Spraying to sample piece

3. 2 結果と考察

3. 2. 1 電流値の影響

Fig4 に示す如く、電流値は大きい程、プラストエロージョン摩耗に強い皮膜となる。又、粉末付着歩留も向上する。Cr₂O₃ の場合、ガン出力を大きくし、粉末を十分に熔融・加速することが重要と考えられる。

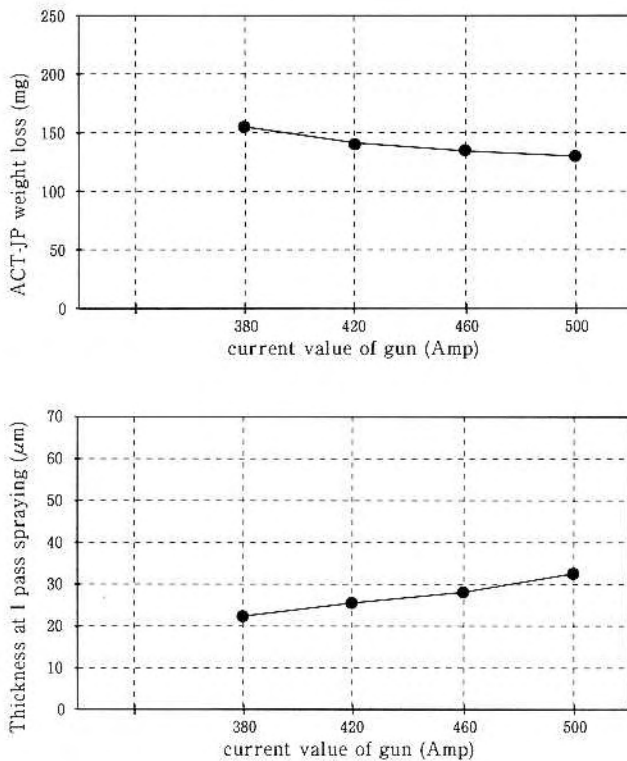
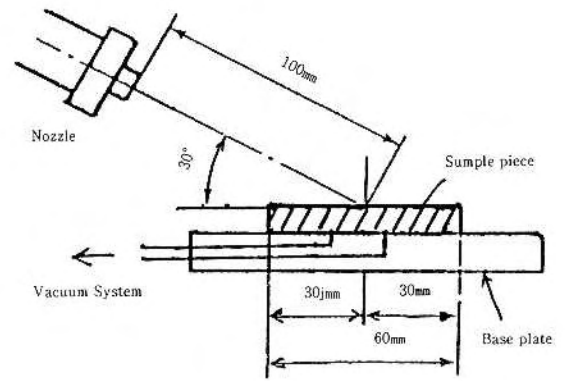


Fig-4 Effect of current (Amp)



Blast material gray alumina powder
 Particle size of alumina powder 450μm (#55)
 Schotting angle
 Inside diameter of nozzle 5.2mm φ
 Pressure of air 0.304Mpn.
 Mass of used alumina 0.686 N.
 Schotting time 10 Sec

Fig-3 Blust erosion wear test (ACT-JP)

3. 2. 2 ガス組成の影響

Fig5 に示す如く、皮膜特性及び粉末付着歩留とも、ガス割合、N₂300 ℓ/分：H₂150 ℓ/分が最良である。

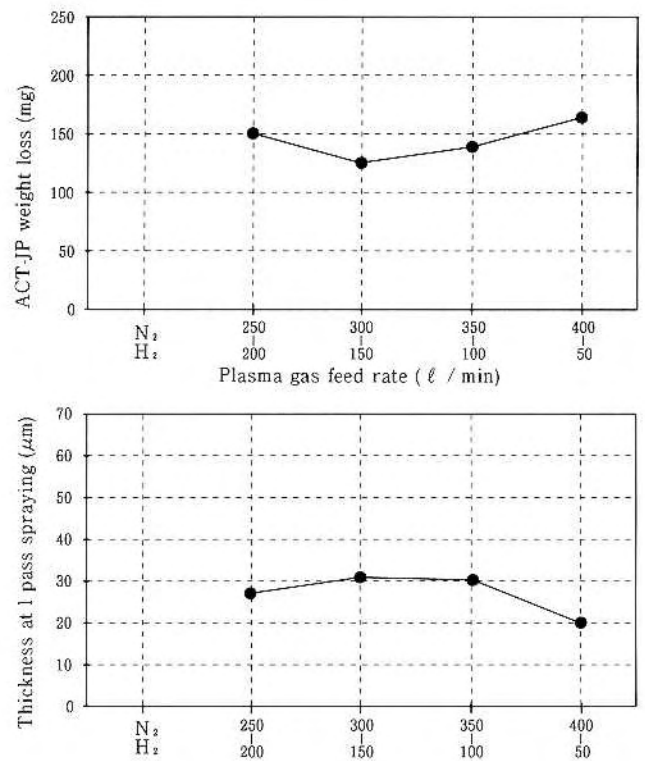


Fig-5 Effect of plasma gas Plasma gas feed rate (ℓ/min)

3. 2. 3 ガス流量の影響

Fig6 に示す如く、皮膜特性及び粉末付着歩留とも N₂300 ℓ/分：H₂150 ℓ/分が、これ以上に流量を増しても影響は少

ない。

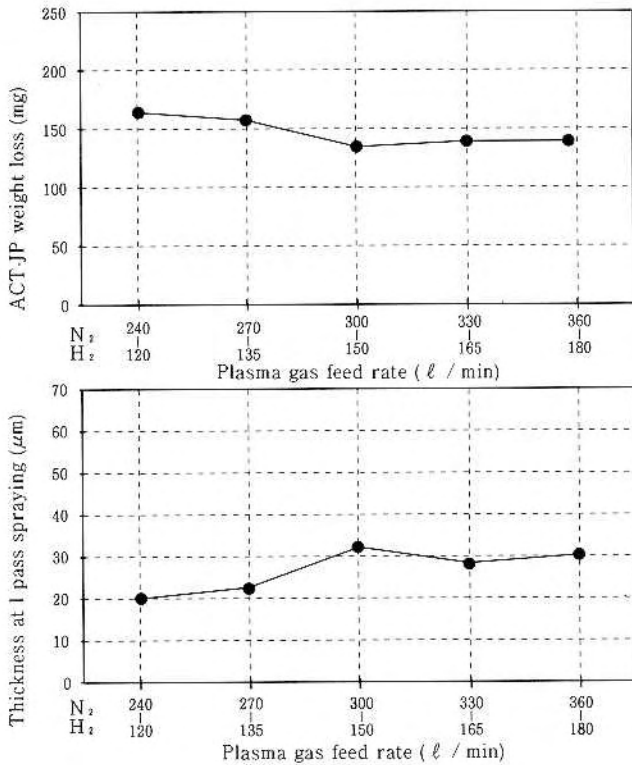


Fig-6. Effect of plasma gas

3. 2. 4 粉末供給用ガス量の影響

Fig 7 に示す如く、粉末供給量20kg/時のときは、粉末供給用ガスは25 l/分が適する。ガス量を減ざると、皮膚特

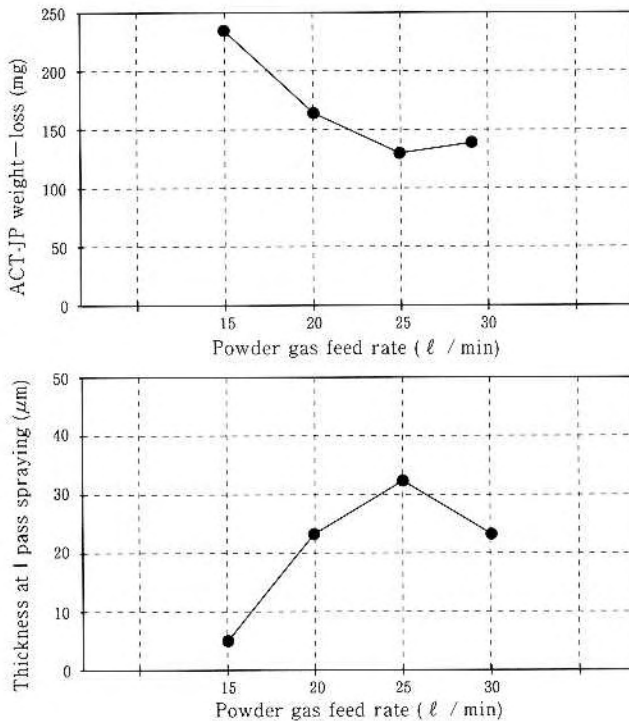


Fig-7 Effect of Powder gas feed rate

性及び粉末付着歩留が極度に低下するが、これは、粉末をアークのセンターに送り切れないためとみられる。

又、ガス量が多過ぎてても、皮膚特性及び粉末付着歩留が低下する。これは、粉末供給用ガスがアークの形状を乱す

ことが原因とみられる。

3. 2. 5 粉末供給量の影響

Fig 8 に示す如く、粉末供給用ガス量25 l/分のときは、粉末供給量は20~30kg/時が、皮膚特性及び粉末付着歩留に良い値が得られる。

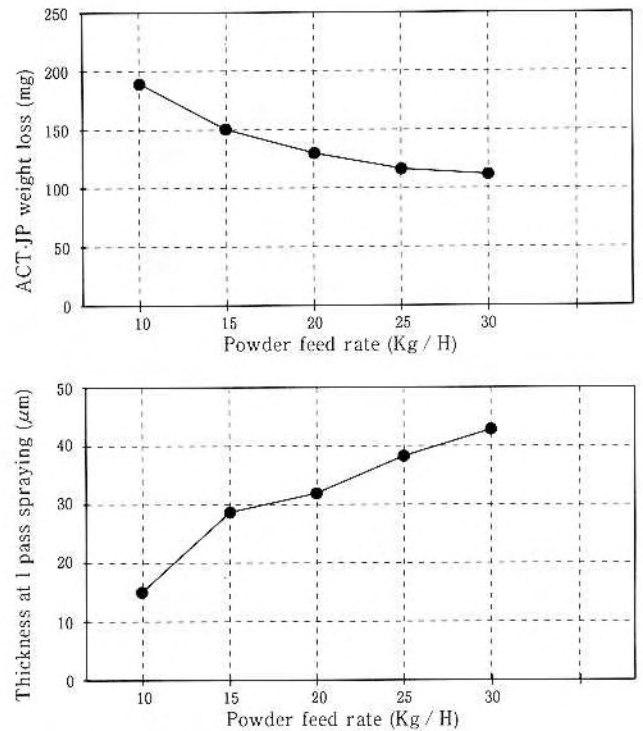


Fig-8. Effect of Powder gas feed rate

3. 2. 6 ガン速度の影響

Fig9 に示す如く、皮膚特性は、低速の0.5m/秒が良い。粉末付着歩留は、0.5 1.0 1.5m/秒いずれも変化はない。

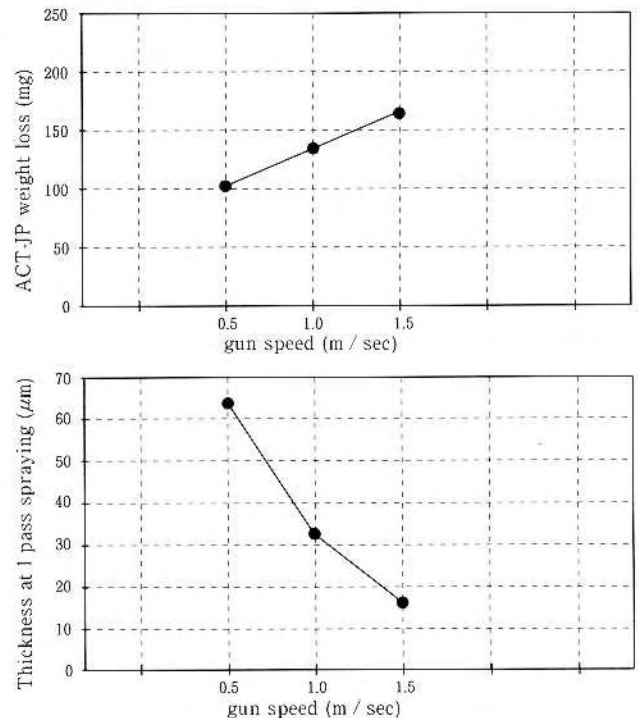


Fig-9. Effect of gun speed

3. 2. 7 パージエアの影響

Fig 10 に示す如く、パージエアが600 ℓ/分の方が、皮膜特性は向上するが、粉末付着歩留が低下する傾向にある。但し、この影響は少ない。

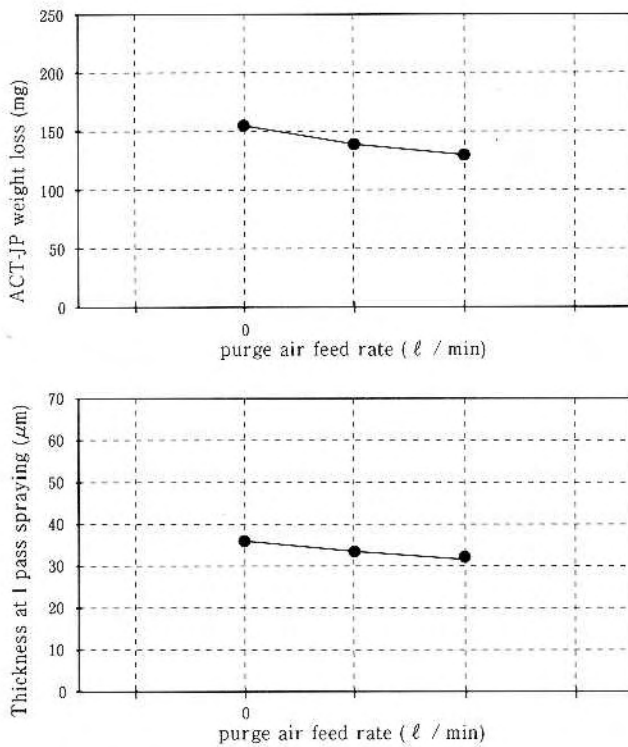


Fig.10. Effect of purge air feed rate

3. 2. 8 溶射間距離の影響

Fig11 に示す如く、母材とガン先端との距離は、180 m/m のときが、皮膜特性及び粉末付着歩留とも、最良である。

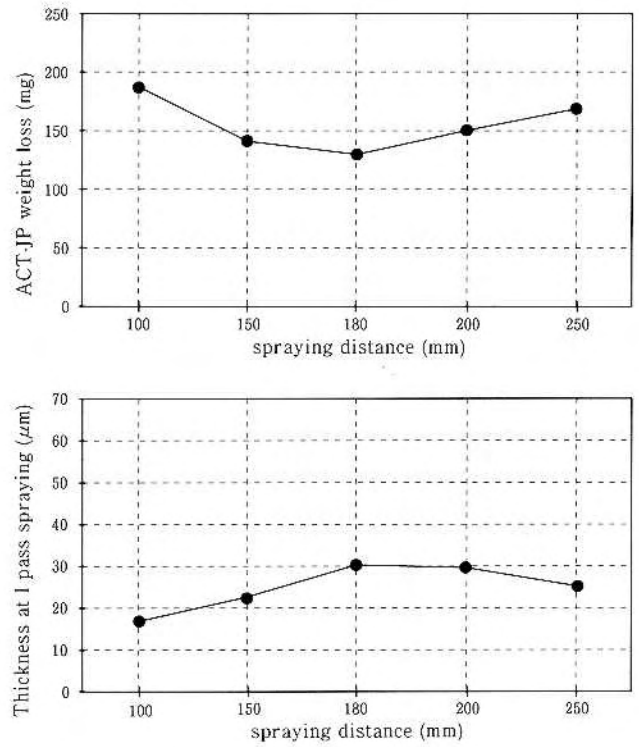


Fig.11. Effect of spraying distance

Table 2 Parameters and test results of SSPS and 60 kw plasma spraying apparatus

Type of Gun		S. S. P. S.	Conventional Plasma Gun
1	Input power (kw)	225	40
2	Voltage (v)	450	50
3	Current (A)	500	800
4	Plasma gas feed rate (ℓ / min)	N ₂ 300 H ₂ 150	Ar 40 H ₂ 10
5	Spraying material	Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
6	Powder feed rate (kg / hr)	20	2
7	Powder gas feed rate (ℓ / min)	25	10
8	Gun speed (m / sec)	1.0	0.5
9	Spraying distance (mm)	180	80
1	Coating thickness (μm)	330	300
2	Roughness of surface (μm)	27.0	28.3
3	Adhesive force (kg / mm ²)	3.1	1.7
4	Spalling Resistance (times)	17	8
5	Blast erosion wear (-mg)	127	290
6	Abrasion wear (-mg)	56	230

4. S.S.P.S. 溶射と従来型60kW級ガスプラズマ溶射とのCr₂O₃ 皮膜の特性比較

Table 2 に示す如く、Cr₂O₃ 溶射皮膜の特性について、S.S.P.S. 溶射と従来型60kW級ガスプラズマ溶射とを比較した。

溶射条件は、Table 2 の前半に記している通りである。S.S.P.S. は、前章の結果を踏まえて決めた溶射条件であり、60kWガスプラは、従来の経験とデータより最善をつくしている。

使用した粉末は、相方とも、ドイツスタルク製 Cr₂O₃ (325 mesh pass) である。

表面粗度は、S.S.P.S. の方が、少し細くなる。

純Ni アンダーコート (0.1mm) への密着強度は、φ 2 mm のピン引技法で測定した。S.S.P.S. が3.1kg/mm²であるのに対し、60kWガスプラは1.7kg/mm²である。

JIS-H 8663で規定されている落下球テスト (サンプル 45°固定、φ 40 m/m 鋼球 1 m 自由落下) では、S.S.P.S. は17回で落下地点局所剥離し、60kWガスプラは8回で落下地点局所剥離を起した。

Fig 12 に示す如く、ACT-JP、ブラストエロージョン摩耗試験の結果は、S.S.P.S. の方が、はるかに優れている。5回投射の合計値で、S.S.P.S. の摩耗減量が-127mgであるのに対し、60kWガスプラの摩耗減量は-290mgとなっている。

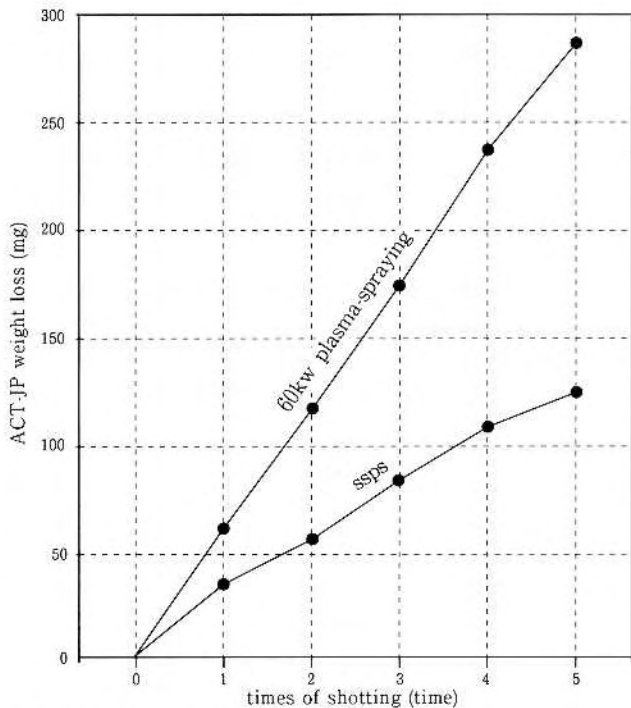
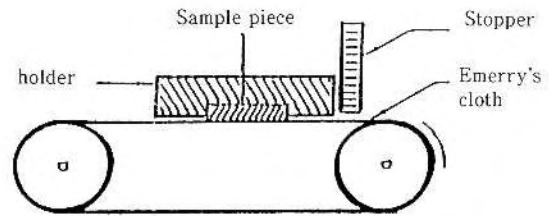


Fig.12. Result of ACT-JP Blast erosion wear

Fig 13 に示すエンドレスエメリー布摩耗テスト (ひっかけ摩耗試験) でも、S.S.P.S. の方が優れている。S.S.P.S. の摩耗減量が-56mgであるのに対し、60kWガスプラの摩耗減量は-230mgである。



Sample piece50×50×3.2mm
 Load of holder30. 4 N.
 Emery's roughness #40
 Velocity of cloth 4 m/second
 Scrubing time..... 10 minutes

Fig.13 Abrasive wear test

5. 結 言

- (1)1993年2月、弊社は、超音速—プラズマ溶射装置 (S.S.P.S.) を導入した。このS.S.P.S. について、その作動原理及び特長を簡単に述べた。
- (2)S.S.P.S. を用いて、Cr₂O₃ 溶射皮膜を形成する時の代表的溶射因子について、細かく検討し、目的に応じた最適溶射条件を、ほぼ見出した。
- (3)Cr₂O₃ 溶射については、従来型60kW級ガスプラ溶射に比べ、S.S.P.S. 溶射は、非常に優れた耐摩耗性を有する溶射皮膜を形成することが判明した。
- (4)Cr₂O₃ 溶射皮膜は、酸化セラミックス溶射皮膜の中で最も硬度が高く、製紙・印刷・フィルム・繊維等の各種ロールに使用されている。又各種機械のグランドパッキング当り面等摺動摩耗に対しても有効である。これらの方面への用途展開が期待される。

参考文献

- (1)森下徹、“超音速・超高出力 (200kW) プラズマジェット・コーティング・システム”、溶射技術 VoL. 9-No. 2 P. 108-122 (1989)
- (2)高津忠弘、森下徹、加藤周一郎 “未溶融粒子によるプラズマ溶射皮膜”、日本溶射協会第50回学術講演大会講演論文集 (1989-11) P. 118-124
- (3)重松浩気、久保甚一郎、“200kW高出力ガスプラズマ溶射によるアルミナ皮膜の性質”、日本溶射協会第52回学術講演大会講演論文集 (1990-11) P. 153-160
- (4)重松浩気、久保甚一郎、“200kW高出力ガスプラズマ溶射によるアルミナ皮膜の性質”、溶射 VoL. 28, No. 2 P. 13-18 (1991-6)
- (5)文屋明、葉真寺和八、深見慎二、“プラズマガスのCr₂O₃ 溶射皮膜特性に与える影響”、溶射 VoL. 30, No. 2 P. 33-38 (1993-6)