金属溶射の現状と問題点

長 坂 秀 雄*

1. 金属溶射とは

金属を溶かして霧状にして吹きつける金属溶射法はスイスの Dr.M.U.Schoop によって発明されている。最初には金属を高温炉でとかして吹きつける溶湯式と、金属微粉末を高温炎の中におとして溶かしつつ吹きつける粉末式とで 1910 年頃の発明とされている。現在広く実用化されている溶線式はこの 2 年後の発明と言われている⁽¹⁾。

我が国への導入は 1921 年であるから既に 60 年をこえている。最初は装飾用に用いられていたが以後鉄鋼防錆に使われ、最近では耐摩、耐熱、耐食といった材料や部材の機能向上用に偉力を発揮しつつある。

金属溶射の原理は金属を溶融し、これを微粒化しあかも霧吹きのように素材表面に吹きつけるもので、現在では表 1 のような各種の方式が実用化されている。最も広く用いられているのがフレーム溶線式で酸素とプロパンなどが用いられ炎の温度は 2300~2800 K (2000~2500 °C) である。溶射に必要な設備の一式を図 1 に示す。

12 が溶射機で 16 はこれに線材を送り込む線材保持機である。9 と 11 は酸素および燃料のボンベでそれぞれ 8, 10 の減圧弁を有している。1 はコントロールパネルで、2 から圧縮空気を送り込む。4 に酸素ホースを 6 に燃料ホースを連結する。流量を調節した空気は 7 から、

表 1 実用されている溶射方式。

粉末式 アーク溶線式	粉末を高温炎中に供給する方式 2 本の線材を供給し、これに大電流を流しノズル先端に発生するアークでとかす方式
フレーム溶線式 プラズマ式	線材を高温炎中に送りとかす方式 粉末をプラズマジェットでとかす方式

* 茨城大学教授；工学部

The Present Situation and a Few Problems of Metal Spraying; Hideo Nagasaka (Faculty of Eng. Ibaraki Univ. Hitachi)

Keywords: metal spraying, plasma spraying, arc spraying, flame spraying, detonation gun, self fluxing alloy, vacuum plasma, graded coating

1983 年 8 月 17 日受理

燃料ガスは 5 から、酸素は 3 から出てくる。これが連結器 13~15 を通して溶射機(ガン)に送り込まれるようになっている。ガンの先端に着火しこの炎の中を線材が通り溶融すると同時に圧縮空気で微粒化され吹きつけられる。用いる線材の径は、 $\phi 1.5 \sim 6 \text{ mm}$ 程度である。溶射の状況を図 2 に示す。粉末式溶射は線材にしにくい材料例えば Zn-Al 合金、Ni-Cr-B-Si 合金などの加工に用いられる。同じ粉末式であるがプラズマ式溶射機は熱源に

図 1 フレーム溶線式溶射設備。

図 2 ローラーへ溶射加工。

プラズマ(非移行性)ジェットを用いたもので図3のように数万度という高温を発生する。またプラズマの速度も音速の2~3倍に及ぶので、高融点材料を吹いて高い密着性を得ることが出来る特徴を有して、最近急速に需要が増しつつある。

アーク溶線式は低電圧大電流(20~30 V(数百 A))でアークを発生させるので2800~3300 K(2500~3000°C)という高温が得られ、1時間あたりの溶射量が高くかつ密着性もすぐれているので、次第にこの方式が用いられるようになりつつある。溶射量の一例を表2に示す。

図3 プラズマ炎の温度。

表2 アーク溶線式の溶射能力。

材 料	100 A あたり溶射量 (g/s) [kg/h]	最大溶射量 (g/s) [kg/h]
亜鉛	3.17 (11.4)	9.56 (34.4)
アルミニウム	0.89 (3.2)	2.64 (9.5)
炭素鋼	1.31 (4.7)	3.69 (13.3)
ステンレスチール	1.47 (5.3)	3.69 (13.3)
アルミブロンズ	1.31 (4.7)	3.61 (13)
燐青銅	1.78 (6.4)	4.44 (16)
ニッケル合金	1.61 (5.8)	4.44 (16)

2. 金属溶射の目的と特徴

目的は前述のように鉄鋼防錆と機能向上とに二大別される。溶射皮膜は多孔性であるが、鉄鋼より電気化学的に卑な金属、例えば Zn, Al, Zn-Al 合金をこれに溶射すれば、溶射膜は犠牲陽極となり素材の発錆を防ぐことが出来る。一般には溶射膜の上に塗装を施したりシーリング剤を用いたりして寿命を一層向上させている。

加工量からみると機能向上を目的とするものが鉄鋼防錆用に比肩するのではなかろうか。しかし研究の中心はこちらの方に移行し、本年5月に西ドイツで開催された 10th International Thermal Spraying Conference (ITSC) では発表論文の 80% 程度が機能向上を目的とするものであったと言えよう。

耐摩処理、ハードフェーシング、耐熱処理、高温耐食など他の方法ではむずかしくたり、手間がかかったりするものを短時間で加工処理を行っている。使用により摩耗した部分の肉盛り加工は古くから行われていて、素

材に熱による歪を発生しないので便利である。図4⁽²⁾は製鉄ミルのジャーナル部の肉盛りで、(a)は摩耗した状態、(b)はこれに溶射を施してもとの径に戻しグラインダー仕上げを行った後の状況である。

次に溶射法および溶射皮膜の特徴を述べよう。溶射装置は図1にも示したとおり簡単に移動性に富む。そのため現地での加工が容易である。素材の形状や大きさにとらわれず、ガンを入れることが出来るならばどんなものにも加工出来るのは便利である。また、素材にほとんど熱が及ばないので(特殊な加工例は別)歪を生じることがない。更に溶射量も表2のようにかかなり大きく、電気めっきや溶接肉盛りに比べてはるかに作業が早い。

出来た溶射皮膜は電気めっきなどと異なり独得なものと言えよう。

(i) 素材と皮膜との密着はほとんど機械的であり、合金化の要因はすくない。そのため溶射すべき素材表面はブラスト処理により粗化と清浄化とをしなければならぬ。表3⁽²⁾に示すようにブラスト処理または粗い溝切りは密着度向上に大きな影響を与えている。

(ii) 溶射膜には多数の気孔(開孔)が存在する。よって皮膜は原材料より比重が小さくかつ気体や液体を遮断することはできない。図5は溶射層の断面顕微鏡写真で多数の気孔があることを示している。

(iii) 酸化物が含有される。材料は大気中で溶融され微粒化されるので酸化物が生じる。よって一般に原材料

(a)

(b)

図4 ミルの肉盛り溶射。

表3 Cu10-Al 合金を軟銅上にアーク溶射したときの剪断密着力.

前 処 理	スプレー幅 (mm)	平均密着強度 (MPa)	標準偏差 (MPa)
ベルト研磨	150	18.7	8.4
グリットブラスト	150	36.5	7.4
グリットブラスト	100	52.4	3.6
粗い溝切り	150	52.9	7.6
粗い溝切り	100	93.6	3.7

図5 溶射層の断面(×400×%).

よりも硬度が高く、電気抵抗も大きくなる。

(iv) 溶射された粒同志は融着し完全に一体化するようなことがないため、皮膜は抗張力が小さく耐屈曲性に劣る。

(v) 溶射膜表面は粗であり平滑にするには研磨や切削など機械加工を必要とする。

3. ここまできている金属溶射

金属溶射を昔はメタリコンと呼んだ。メタリコンは剥がれるという悪いイメージが長い間定着し、中には今でもこの概念をもっておられる方もあるかもしれない。“メッキがはげる”という言葉と共にこれは過去のものである。

世界の空をかける大型ジェット機のエンジンの修理には勿論、新品にもエンジン1基あたり1000~3000箇所溶射が行われているのを知っている方は少ないと思う。高い信頼性を要求されるジェットエンジンは溶射加工なくしては動くことが出来ないといっても過言でない。定期点検時のエンジン修理も次第に電気めっきから溶射に代りつつあるのを見ても性能の良さを知ることが出来る。

(1) 密着度はここまできている

フリューム溶線式でAlとかZnを吹くと4~5 MPa (40~50 kgf/cm²)の密着度である。これでも防錆用には十分使用可能である。これに対しclosed nozzleを設けたアーク式溶射ではうまく溶射すると18~20 MPa (180~200 kgf/cm²)の得が得られる。

今から20年程前にアメリカのメトロ社がニッケルと

アルミニウムの複合粉末を開発した。アルミニウムの粉末をNiで被覆したり、Ni粉末の表面にアルミニウムを被覆したものである。後になってNiの薄いチューブの中にAl粉を充填したものを作った。これを溶射すると図6の状態図からもわかるようにAl: Niの比によりNiAl₃, Ni₂Al₃, NiAl, Ni₃Alなどの合金が発熱反応によって生じる。勿論この外に α -Al₂O₃やNiOも生じる。図7に示すようにDTAカーブ⁽³⁾も900 K付近で発熱を示している。温度差は30 K程度で小さいが、これは昇温速度が遅いためではなかろうか。1025 Kの炉中に粉末を入れたら750 Kの温度上昇を認めた結果もある⁽⁴⁾。

図6 NiとAlの状態図.

図7 ニッケル被覆を行ったAl粉のDTAピーク.

この発熱により素地と合金結合を生じるまでに至ると言われる。密着度として 22~30 MPa (220~300 kgf/cm²) に達する。Mo は高融点金属のためこれを溶射すると 15 MPa (150 kgf/cm²) 程度の密着度を示すが、Ni-Al-Mo という組合せ材では 50 MPa (500 kgf/cm²) に達する密着度となった。

密着度を測定するのに ASTM 法がある。これは接着剤で試片を接合し張力をかける方法であるが、接着剤の破断強度の関係上その上限が 10000 psi (=68.9 MPa≒700 kgf/cm²) と規定されている。

長い筒の一端に酸素とアセチレンを導入し、これに電気プラグで毎秒 4~8 回点火し、この爆発エネルギーで粉体を溶融させ 800 m/s 以上の速度で吹きつけるデトネーションガンの出現、また 80 kW プラズマ溶射機の工業化により、超微粒子 WC を含む 17%Co のサーメットを溶射し簡単にこの壁を破ってしまった。おそらく 100 MPa (1000 kgf/cm²) という密着度が冷間加工で得られているのであろう。最近 20 年間の発達のすばらしさを物語っているように思われる。

(2) 気孔の無い皮膜をめざして

密着度は著しく向上した。更に気孔の無い皮膜が得られるならば、ドライプロセスで電気めっきやクラッドに代る方法が確立されることとなる。これには 2 つの方法がある。1 つは自溶合金溶射であり他は減圧プラズマである。

(i) 自溶合金溶射

Ni-Cr-B-Si を主成分とする合金を溶射し、後でこれを約 1300 K (1000°C) に加熱する工程から成っている。第 1 段階の溶射までは従来のものと大差が無いが、第 2 段階の溶融工程で溶射膜が大きく変る。Si および一部の B は反応して珪酸ガラスになり、溶射皮膜中の酸化物をとかし込んで膜の表面にうかんでくる。酸化物のなくなった粒同志は融着して一体となり、また素地とは合金化を生じる。一方 Cr と B とは CrB を生成し割合軟かい Ni 固溶体中に散在することとなる。詳細にみると皮膜は 5 つの相からなっている。すなわち、ビッカース硬さ 2100~2900 の炭化物 (2 相)、同 400 の固溶体、同 900~1000 の共晶、同 3600~4600 の硼化クロムである。なお一層硬度をあげるため WC 微粒を混在させたものもある。

この合金皮膜は 570~670 K (300~400°C) まではほとんど硬さが低下せず、また耐食性もかなりすぐれているのが特徴と言えよう。成分例を表 4 に示す。

(ii) 減圧プラズマ溶射

プラズマ溶射膜は一般の溶射膜と比べて気孔率が少ない、酸化物の含有が少なく、素地との密着がよいなど多

表 4 自溶合金成分.

	Ni	Cr	B	Si	Fe	C	Cu	Mo	Co	WC
Ni-Cr-B-Si 系	82.35 67.0	10.0 16.0	2.5 4.0	2.5 4.0	2.5 2.5	1.5 0.5	3.0	3.0		
Co-Ni-Cr 系	26.8	18	3.0	3.5	2.5	0.2	—	6.0	40	
WC 系	46	11	2.5	2.5	2.5	0.5	—	—	—	35.0

図 8 銅のプラズマ溶射膜の断面 (×500×%)。

くの点ですぐれたものをもっている。図 8 は銅を 80 μm プラズマ溶射したものの断面で十分その特徴をうかがうことが出来る。これは電気伝導体として使用するものである。しかしこの特性を一層向上せしめようとして減圧プラズマの研究がさかんであり、既に一部では実用化の段階にある。

約 10 MPa (50~100 Torr) といった減圧室の中でプラズマ溶射を行うもので、溶射加工はロボット化されている。利点を次に示す⁽⁵⁾。

(1) ほとんど酸化せずに素地を高温予熱でき、かつ作動温度も高くなるので皮膜の密着度が増す。

(2) 膜厚のコントロールが精確にできる。

(3) 気孔率が減少する。

(4) 付着効率が向上する。

(5) 用いた粉末と出来た皮膜との間で化学的並びに冶金学的変化がすくない。

(6) 環境汚染の問題がない。

図 9 からわかるように大気中のプラズマ溶射ではノズルをはなれるとプラズマジェットは温度は激減する。これに対し減圧プラズマではそれがない。よって溶射される粉末の炎中での滞留時間は長くなり、かつ溶射加工時のノズルと物体との距離の影響は少なく作業が容易となる。

表 5 に減圧プラズマと常圧プラズマによって出来た皮膜との比較を示したが、前者のすぐれていることが明瞭

図9 プラズマ炎の温度とノズルからの距離。

表5 減圧並びに常圧プラズマ溶射膜の物性比較。

材 料	溶 射 法	硬 さ		密 度 (Mg/m^3)	限界厚さ (mm)	酸 化 物 含 有 率 (%)	付着効率 (%)
		マクロ RC	ミクロ DPH 300				
75%Cr ₃ C ₂ +25% Ni,Cr 混合	減 圧 常 圧	60	850~950	6.6	2.6	1/2	—
		52	500~600	6.2	0.38	3~5	50
Cr 25.5%, W 7.5%, Ni 10.5%, C 0.5%, Co 残	減 圧 常 圧	44	430	7.8	2.6	1/2	60
		34	330	7.6	0.38	1	50
WC 5.3%, Co 17% バインダー	減 圧 常 圧	65	1150	12.5	0.76	—	70
		55	750~950	11.8	0.38	—	55
WC 4.17%, Co 12% バインダー	減 圧 常 圧	65	1300	14.0	0.76	—	80
		60	850~950	13.8	0.50	—	65

* $1 \text{ Mg}/\text{m}^3 = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 表6 材料並びに溶射膜の抵抗率。
($3 \times 10^3 \text{ Pa}$ 減圧プラズマ)

金 属	材 料	溶 射 膜
Cu	$1.75 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	$3 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Ta	$16.5 \Omega \cdot \text{m}$	$200 \sim 300 \Omega \cdot \text{m}$

である。なお表6は減圧プラズマ溶射膜は酸化物含有が少ないので抵抗率が原材料と大差のないことを示している。

(3) 研究技術の進歩

より良い皮膜の生成をめざして研究、技術の改良が行われている。勿論前述の減圧プラズマもその一つであるが、超音速溶射に関する開発もその範囲に入る。また、レーザー溶射も研究の段階にある。最もおこなわれているのは皮膜の検査法であって、超音波やホログラフィーの導入が行われつつあるが、実用化の域にない。

溶射工程は極めて短時間に行われる。溶けた粒子が $100 \sim 300 \text{ m/s}$ でとび、素材に付着すると $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ s}$ で凝固する。この間に酸素や窒素との反応、蒸発、冷却、合金化、熱伝導といった数多くの現象がおきる。一方、溶射される素材の表面清浄度、粗度、プロフィール、組織などが溶滴との密着につよくなってくる。これらに関し多くの研究者の追究が行われ、次第に解明されつつある。詳細に関しては筆者のまとめたもの⁽⁶⁾を参照されたい。

4. 金属溶射に使われる材料と応用面

(1) 防 錆 用

鉄鋼防錆用として古くから Zn と Al とが使われてきたが、最近になって Zn-Al 合金の需要が増してきた。田園地帯では Zn、工業地帯では Al などと環境別に使用材料を区別してきたが、次第に諸環境の混在地が多くなった点、並びに Zn-Al があらゆる環境下で最も耐食性がすぐれている点がかわれて次第に多く用いられるよ

うになった。鉄鋼防錆用として ISO でも JIS (H 8305 1982) でもこれが溶射にくみいれられるに至った。

フランスでは $\text{Zn}/\text{Al}=85/15$ が最適といっているが、フランス規格 41002 による塩霧テスト(濃度 $50 \text{ kg}/\text{m}^3$)を行った結果を表7に示す⁽⁷⁾。筆者らもこれに関する研究を行い $\text{Zn}/\text{Al}=83/17$ の組成で4暴露地点をえらび14年間の実験を行った。その中で海帯地帯での結果を図10に示す⁽⁸⁾。これは茨城大学の五浦研究所での結果で、溶射膜の上にフタル酸塗料をコートしたものは更に良く、ほとんど変化のないことを示している。このようにすぐれた耐食性を示す理由について解明を行った。表面の Zn が腐食し、Al がスケルトン状に残る。この孔の中に Zn の腐食生成物がつまって以後の腐食をおさえるものと推定している⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

海洋構造物のスプラッシュゾーンでの防食に自溶合金溶射で成功している⁽¹¹⁾。実験は海面下 10 m のところでプラスト処理、溶射加工などのすべてを行うという大がかりなテスト結果である。

表7 溶射加工品の塩霧テスト。

経過時間(ks) [h]	Zn (130 μm)	Zn-Al (105 μm)
86.4 (24)	発錆なし	発錆なし
1440 (400)	〃	〃
4262.4 (1184)	点錆あり	変化なし
5760 (1600)	変化進行	〃
7200 (2000)	発錆面積増大	〃

図10 溶射鋼板の経年重量変化。

防錆用溶射の応用例にふれよう。概して大型構造物への加工例が多い。下を海水が流れるような大型橋梁には実施例が多い。イギリスのフォース道路橋、セバン橋、ノルウェーの数々の橋、カナダでの橋を始めとし我が国では関門橋は全面 Zn の溶射加工がなされている。なお本四架橋にも一部採用されつつある。

アメリカ海軍では軍艦の防錆に Al 溶射を採用し成功をおさめている。我が国では小型船舶しか実施例をもっていない。この外最近では水門、水道管、石油備蓄槽などにも使われだし、需要は増加傾向にある。

(2) 機能向上用

かなりの歴史を有する自溶合金溶射は完全に定着した感があり広い分野で用いられている。ディーゼルエンジンのシリンダーヘッド、押出し用スクリー、ペレタイザダイ、弁、シャフト等々である。

再融に高周波加熱を用いたり、溶射にプラズマ式を用いるなど加工法にも多くの進歩が見られる⁽¹²⁾。

一方、新材料も開発されつつある。原子炉用として Ni-Cr-B-Si 系を使用すると高温で問題が発生するので Ni-Cr-W-Si 系を開発した。表 8 のように高温特性がよい⁽¹⁴⁾。中性子透過材料としてこれに炭化ハフニウムを

表 8 Ni-Cr-W-Si 系溶射膜の高温特性。

	硬度 Hv ₂₀	圧縮強度 (MPa)
常 温	370	1950
673 K (400°C)	332	—
873 K (600°C)	—	1450
1273 K (1000°C)	220	—

混合したものを溶射するとよいと言われている。

ガラス器製作金型は一般にラメラ黒鉛鋳鉄で作られる。ガラスの付着を防ぎ、高温酸化を防ぎ、熱衝撃に耐える性能を付与することが要求される。次のような熱膨張係数の差を利用し二層で高性能溶射膜を作り成功している⁽¹³⁾。

Ni (82.4%), C (9.3%), B (1.8%), Si (3.25%),
Fe (3.25%) : $14.25 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

ニッケルアルミナイド : $13 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

鋳鉄 : $11 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

上記の各種自溶合金粉末を別にして粉末材料は 200 種類に及ぶのではなからうか。この中にはセラミック粉末も含まれるが、金属でも Ni, Ni-Cr, ステンレススチール, Ni-Cr+WC, ブロンズ, Co+WC, タンタル, Mo 等々数々のものがある。

超微粒 WC+17%Co の粉末材料をプラズマ溶射したものはすぐれた耐摩性を有し、硬質クロムめっきの 2 倍と言われている。しかし同じ材料であっても粒径や粒形更に溶射条件によって出来た皮膜性能に差がでてくる⁽¹⁴⁾。粒形は球形に近いものが望ましく、粒径は溶射方式によって適切な範囲があると結論している。硬い材料だけに後加工(研削、研磨など)に多くの時間を要するのでなるべく細かい粉末を用い、出来れば後加工なしで使用できることを望んでいる。しかし細粒となると搬送がむずかしくなるので、また問題をかかえることとなる。現在の粒径は 5~150 μm の範囲にあるが、5 μm 以下を将来の目標としている。

最近注目を集めているのが MCrAlY (M は Co, Ni, Co Ni, Fe など) という合金でガスタービン用に大きな効果を示している。タービン翼は 1270 K (1000°C) 付近の温度にさらされるので酸化、腐食、エロージョンなどの諸作用を受ける。この防止に本合金の溶射は効果的である。Al や Cr は酸化して Al₂O₃ や Cr₂O₃ となり素地によく密着するが Y を少量添加すると密着性を増強し酸化膜の脱落が防げる。外周をアルゴンでシールしたプラズマ溶射はすぐれた性能を示すと言われている⁽¹⁵⁾。できた溶射膜表面は 8 μm Ra 程度の粗度をもつが、これを 1.25 μm Ra まで機械仕上げして用いる。溶射膜厚は 50~200 μm 程度である。なお、この溶射膜の上に ZrO₂, MgO, Y₂O₃ の混合膜を溶射すると一層効果的であるといわれている。代表的な合金組成を表 9 に示す。

表 9 MCrAlY 合金の標準的な組成。

記 号	Co	Ni	Cr	Al	Y	Mo
LCO-5	70	—	19	10	0.5	—
LCO-22	39	32	21	7.5	0.5	—
LN-11	23	48	17	12	0.3	—
LN-34	0.5	67	20	11	0.5	0.5

均質な溶射膜を素材の各部に均一厚さにコートすることが要求されロボットの導入もさかんになりつつある。図 11 はその一例でプラズマ溶射機を持つロボットで多くの移動軸を有している。また、素材の方も回転可能軸に保持しているのであらゆる部分に均一な溶射が可能である⁽¹⁶⁾。一方、溶射膜は先ず金属を吹き、これに次第

にセラミック粉を混じ最外層はセラミックのみとする漸変コーティングが利用の度を増しつつあるが、これにはコンピュータ制御が導入されつつある。漸変コーティングの例としては金属に $\text{Ni}/\text{Al}=95/5$ をセラミックに $\text{ZrO}_2+25\%\text{MgO}$ などがある。密着度にすぐれかつ熱衝撃に強いセラミック膜を得ることが出来る。

航空機関係への応用例の二、三を表 10 に示す。

5. む す び

金属溶射はどこまで使えるかという点を中心に述べたつもりであるが、まだまだ特徴を十分に生かした応用例もある筈である。多孔性を利用して貯油性を高めて潤滑に用いる、膜の構造(多孔質である)による熱緩衝作用を利用する、高い硬度を利用する等々である。更に溶射膜と他の表面処理法との複合化も興味がある。現在では溶射と塗装との併用程度であるが、溶射と CVD、溶射後のレーザー加工、溶射膜の酸化還元等をあげることが出来る。筆者らも TiO_2 のプラズマ溶射膜の若干の還元度を利用して半導体特性を得ている⁽¹⁷⁾。今後電子工業への新しい展開も期待したい。

図 11 プラズマ溶射用ロボット。

表 10 航空機へのコーティング加工例。

機 械 部 品 名	コーティングの目的	被 覆 材 料	厚 さ	加工法	寿 命
主着陸ギヤー アクセル・ブレーキ・フランジ	フレットニング および腐食	カドミウムでシールされた ニッケルアルミナイド	<0.5 mm	p e	数 年
グラス・ファイバー強化エポキシ・パネルで製作された ADF-感知アンテナ	伝 導 性	Al	0.1~0.2	f	
主着陸ギヤー ホイールベアリング 軽合金 Zr 14	フレットニング および腐食	ニッケル・アルミナイド + Al_2O_3 およびエポキシ・プライマーによるシール			2~3 年もし摩耗が大きければ Al_2O_3 を加える
ギヤーボックス 軽合金 Az 92	フレットニング および腐食	Al もしくはニッケル・アルミナイド + Al + プライマー・シール			
ファンブレードの 突起部表面	表面がギザギザになる事および 衝撃摩耗	88%WC 12%Co 88%W 12%Co		p d	不可, クラック発生 良好
ファンローターディスク	潤滑剤貯留性	59 Cu 36 Ni 5 In		p	
燃 焼 室	熱障壁	1. Ni 95 Al 5 2. マグネシウム・ジルコネート 65 (24MgO + 76ZrO ₂) ニッケル・アルミニウム 35 (95Ni + 5Al) 3. マグネシウム・ジルコネート (24MgO + 76ZrO ₂)		p	3~4 ヶ月
燃焼室ライナー					
コンプレッサーとのアブレード ダブル・シール	アブレード・ダブル・コーティング	75/25 ニッケル・グラファイト			

加工法の欄 e) 電気めっき, d) デトネーションコーティング, f) フレームスプレー, p) プラズマスプレー

文 献

- (1) W.E.Ballard : *Metal Spraying and the Flame Deposition of Ceramics and Plastics*, Griffin, Fourth Edition, (1963), p.1.
- (2) D.H.James : *Aston University Metal Engineering Conference*, Sept., (1981), p.49.
- (3) O.Knotek, E.Lugscheider and K.H.Cremer : 9th International Thermal Spraying Conference, 281 (1980).
- (4) J.M.Hauben and J.H.Zaat : 7th ITSC, (1973).
- (5) P.C.Wolf and F.N.Longs : 9th International Thermal Spraying Conference, ITSC, 187 (1980).
- (6) 長坂秀雄 : 洗浄設計, (1982), winter号, p.23.
- (7) M.Leclercq and R.Bensimon : 8th ITSC, 417 (1976).
- (8) H.Nagasaka, S.Uhida, Y.Kitamura, S.Yoshida, M.Seki and K.Isikawa : 10th ITSC, (1983).
- (9) 鈴木隆三, 柴田孝夫, 長坂秀雄 : 金属表面技術, **30** (1979), 595.
- (10) 鈴木隆三, 柴田孝夫, 長坂秀雄 : 軽金属, **30** (1980), 679.
- (11) H.G.Schafstall and P.Szelagowski : 10th ITSC, 171 (1983).
- (12) E.Lugscheider, H.Eschanauer and G.Krushe : 9th ITSC, 271 (1980).
- (13) B.Bourgoin : 9th ITSC, (1980).
- (14) G.G.P.Langer : 9th ITSC, 263 (1980).
- (15) B.J.Gill : 10th ITSC, 99 (1983).
- (16) K.D.Borbeck : 10th ITSC, (1983).
- (17) 長坂秀雄, 竹内 学 : 金属表面技術, **34** (1983), 19.

掲 示 板

鑄鉄の物理冶金学に関する第3回国際会議

(1984年8月29日～31日, ストックホルム)

鑄鉄は1800年代から広く用いられてきた重要な工業材料です。とくに1948年球状黒鉛鑄鉄が発明されて著しく強靱化され、この材料の用途は一段と拡大しました。ただし、その合金組成の複雑さと凝固条件の影響によって組織が大きく変化するので、材質を制御するにはこれらの相互関係を十分理解することが必要です。

このような観点から鑄鉄の物理冶金学に関する第1回の国際会議が1964年デトロイトで開かれました。10年経過して1974年、第2回がジュネーブで開かれ150人程度が参加して50篇の論文が3日間にわたって議論されました。その内容は凝固時の核発生、結晶成長、熱力学、溶湯構造、共晶凝固、溶湯の流体力学など広範囲にわたっています。

さらに10年目にあたる1984年に第3回が計画され8月29日から31日までストックホルムで開催される予定です。我が国からの参加も大いに期待されています。とくに今回の重点テーマとしては次の3項が挙げられています。

- (1) 凝固および固体における変態機構
- (2) 顕微鏡組織、欠陥の生成および諸性質に及ぼす合金組成と冷却条件の影響
- (3) 冷却条件と変態挙動のコンピュータ解析による組織、性質を予測するためのシミュレーション法

論文を提出する場合は明年3月31日までにそのアブストラクトを提出し、これにもとづいて受理の可否が6月1日までに著者に通知されますのでその後フルペーパーを送ることになります。会議終了後、討論内容を加えて論文集が発刊される予定です。

我が国からも多数参加していただき研究発表されることを期待いたします。

申込先 : Symposium on Cast Iron CI 3

Material Research Center

Royal Institute of Technology S-100 44

STOCKHOLM, Sweden

問合せ先 : 郡山市 日本大学工学部 大平五郎