

高性能溶射・フュージング技術の確立ー

Establishment of Thermal Spraying and Fusing Technology with High Quality



技術開発センター
尾崎 龍宏
Tatsuhiro Ozaki

技術開発センター
古田 博昭
Hiroaki Furuta

要旨

自溶合金溶射は、主としてごみ焼却設備内の熱交換用ボイラー管や鉄鋼製造プロセス等の高温腐食環境下に曝される部位への表面処理加工や耐摩耗製品の肉盛り補修として汎用されている。この自溶合金を成膜する場合には、溶射後、基材との密着性の向上および皮膜を緻密にするため、融点近傍へ加熱する再溶融処理を施すことが一般的に行われている。現状、再溶融処理は高周波誘導加熱装置、電気炉、ガス炉等の熱処理設備、または燃烧炎トーチにより熟練作業者が目視作業を行うので、設備投資の増大および品質が不安定などの問題点がある。そこで当社では、経済的かつ高品質な施工法を開発した。

Synopsis:

Self-fluxing alloy spraying is used mainly as surface treatment or cladding repair of wear-resistant products to boilers for heat exchange in waste incineration plants and to parts at high temperature or corrosive circumstance in steel making process.

In the case of coating this self-fluxing alloy, generally the fusing treatment that is heated until nearly melting point is applied after the thermal spraying, in order to raise adhesive property with the substrate surface and to make the sprayed coating close.

Under the existing state fusing treatment is managed either in the furnace used high frequency induction, electricity or fuel gas, or with the skill and feeling of operators to handle gas torch (burner). Therefore the investment to their plants increases, or qualities of the fusing become instability.

Then we, FUJICO, have successfully established the thermal spraying and fusing technology that are inexpensive and has high quality.

1 緒言

自溶合金は、JIS H 8303で規定されているように、主成分のニッケル及びコバルト合金にB,Siなどのフラックス成分を含有させたもので、溶射後に1000~1100℃の材料融点近傍へ再溶融処理（以下フュージング処理）を行うことで、気孔が少なくかつ基材との密着性が優れた皮膜を形成し、優れた耐摩耗特性を示す材料である。また、化学的性質においても塩酸、硫酸などの各種の酸およびアルカリ溶液に対する耐食性に優れている。このため耐摩耗性、耐食性及び耐熱性を必要とされるごみ焼却設備内の熱交換

用ボイラー管、鉄鋼製造プロセス等の高温腐食環境に曝される部位の表面処理および耐摩耗製品の肉盛り補修として広く用いられている。後処理としてのフュージング処理には、燃烧炎トーチを使用する方法、雰囲気調整した加熱炉を使用する方法、高周波誘導加熱装置を使用する方法などが実用化されている。しかし、加熱炉の後処理法では、母材や皮膜に酸化が生じるため雰囲気ガス調整などが必要であり、処理コストが高い。一方、熱処理設備を必要としない燃烧炎トーチを使用する際には、施工方法などの標準化が難しいことから品質のバラツキが生

じやすい。そこで当社では、溶射とフュージング処理を同時に管理施工を行うことで経済的かつ高品質な施工法を開発した。以下に、新技術の紹介ならびに皮膜組織等の調査結果を報告する。

2 従来法の問題点

自溶性合金溶射法は、一般的に溶射後にフュージング処理を施している。フュージング処理には、雰囲気調整した加熱炉、高周波誘導加熱装置を使用した間接加熱、燃焼炎トーチによる直接加熱が広く行なわれている（Fig.1参照）。間接加熱である加熱炉を使用する場合、炉内雰囲気水を水素や窒素等のガスでの調整、もしくは真空化する必要がある。また、再熔融温度に達するまでの間に高温雰囲気下に長時間さらされることで皮膜の酸化や過拡散などの不良を生じ、皮膜硬度と耐食性が劣化することがある。直接加熱である燃焼炎を使用した場合には、局部加熱による皮膜の部分剥離や過剰なフュージング処理により皮膜が流れるなどの問題を生じ、作業者の技能により品質のパラツキが生じやすい。また、ランニングコストの軽減を目的に溶射の熱源を利用し、同時にフュージング処理を行なう方法（以下同時フューズ法）も実用化されている。しかし、同時フューズ法は、施工管理を作業者の目視確認に頼っているため、熔融状態の管理が難しく、標準化できにくいなどの問題がある。

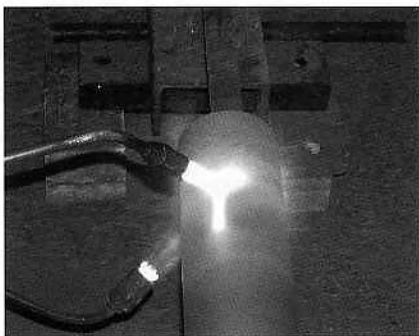
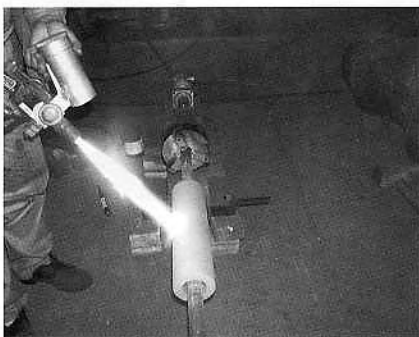


Fig.1 Fusing process with torch for combustion flame

3 新施工法の開発

3-1 概要

当社では、同時フューズ法の管理施工を行うに当たり、熔融状態を正確に把握し、かつ自動制御する

方法を開発した。この自動制御法とは、フュージング処理時の温度を実測し、その温度に対し溶射距離を変動させることでワークへの入熱を変化させ、最適な熔融状態に制御する機構である。ワークの実態温度を測定することで正確な状態把握が可能となる。

3-2 装置の構成

Fig.2に装置の構成を示す。パウダー式フレーム溶射ガンと中高高温用放射温度計（Si単色形、測定温度範囲：600～3000℃、測定距離：0.2～∞m、レーザー投光）を並列に配置し、溶射時にワークの温度を測定する。制御盤内には指示計、調整器、ドライバー（治具用）を納め、外部端子にレコーダーが取り付けられる構造とした。また、カードロガーにより測定データを記録し、パソコン上にアウトプットし、データ処理も可能である。制御盤内で自動⇄手動と切り替えでき、手動時にはモノレバーにより溶射距離の調整が可能である。また、自動稼働時には放射温度計⇒指示計⇒調整器⇒溶射距離変更治具（モーター）と連動する構造であり、測定温度により再熔融状態を把握することによって、諸条件の設定に応じて自動的に溶射距離を制御する。

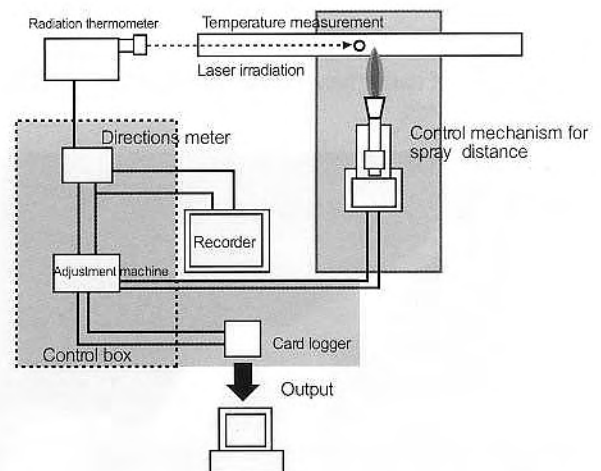


Fig.2 Schematic diagram of equipment composition for thermal spraying and fusing process

3-3 自動制御機構

本製膜法による施工方法をFig.3に示す。鋼管の中心に対し45°の位置に溶射ガン及び溶射距離変更治具、並列に放射温度計を配置し、施工時の温度測定並びに溶射距離を変更する。ここで、自動制御する測定温度管理法をFig.4、施工状況をFig.5に示す。材料融点に応じて管理する温度範囲（1010～1030℃）と目標温度（1020℃）を設定し、ワークの温度に応じて溶射ガンとワークとの距離を調整することで、常に適正な再熔融温度の維持が可能である。また、溶射距離が100mm以下になると素地との境界部にフェームやスラグの巻き込みなどが発生し、密着性が低下する可能性があるため、溶射距離の下限値を設けている。

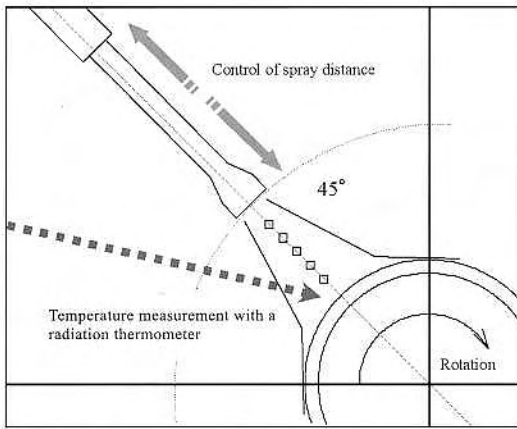


Fig.3 Simultaneous fusing method

る。同様に本製膜法においてもFig.6に示すように溶射スポットに対し、進行方向の後方に赤熱したフェーズ帯が形成される。このフェーズ帯が施工管理のパロメーターとなり、この温度を実測することで熔融状態を正確に把握し、施工を管理することが出来る。Fig.7には溶射材料にSFNi4と素材にSTB340（φ76.5×5.0 t）を使用し、本製法による施工を行った際の温度測定結果を示す。素材鋼管の材質・管径・管厚により温度上昇は異なるが、予熱開始後、基材温度が急激に上昇し、200秒後に約900℃、300秒後には約1000℃に達する。300秒を過ぎ350秒までは1000℃を下回る温度が測定され多少のバラツキを示しているが、それ以降は目標とする温度範囲内（1000～1020℃）で推移していることが分かる。次に、同一試料の施工中に目標温度と設定を変更した際の温度測定結果をFig.8に示す。このように目標温度・温度範囲を変更した場合でもスムーズに温度制御が行われており、材料融点に応じたフェージング処理温度の制御が可能である。

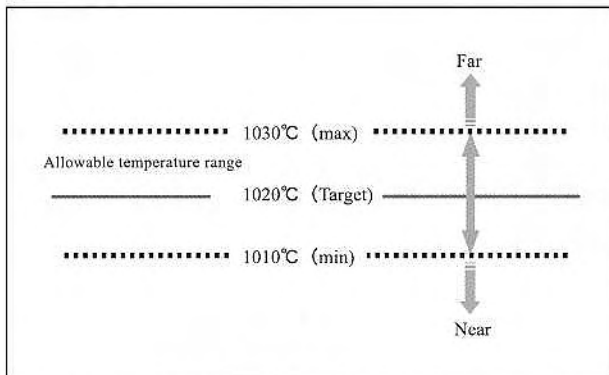


Fig.4 Control of spray distance responding to temperature measured

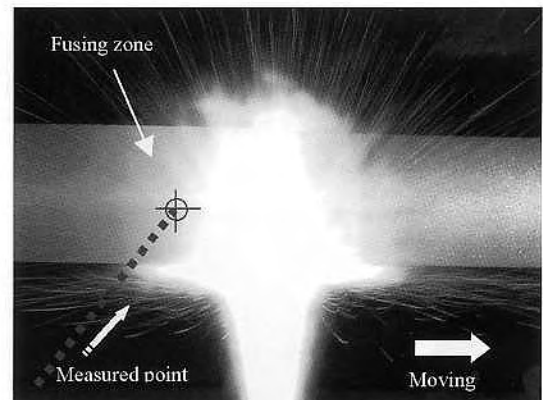


Fig.6 Fusing zone



Fig.5 Performance of the thermal spraying and fusing

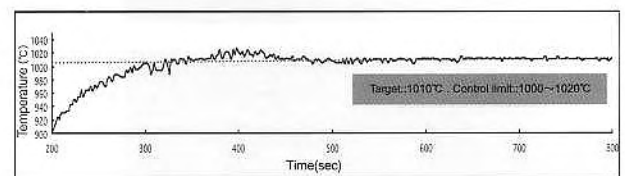


Fig.7 Distribution of temperature measured (Constant control)

3-4 施工管理方法

自溶合金は材料の成分系にもよるが、固液相温度（固相【Solid us】—液相【Liquid us】）が950～1150℃の範囲にあり、フェージング処理温度は1010～1050℃が適正とされている。ここでフェージング処理を行う場合、皮膜が約800℃以上の温度に達すると赤熱を始め、950℃以上の再熔融温度に達すると表面がガラス状の光沢（以下フェーズ帯）を持ち始める。通常の燃焼炎トーチでは、このフェーズ帯を目視で確認し、トーチの調整により熔融状態を維持してい

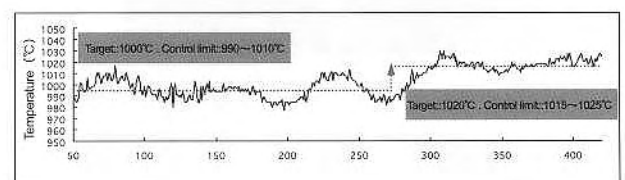


Fig.8 Distribution of temperature measured (Case of changing in temperature control)

4 皮膜特性

4-1 皮膜組織

Fig. 9に本製膜法（目標温度：1020℃,設定温度範囲：1015~1025℃）による試料の境界部（皮膜-基材）における断面SEM画像及び各成分元素の分布状態を示す。Table 1に示すように溶射膜（SFNi4）は、Ni,Crを主成分にB,Si,Fe,Cu,Moが確認されており、素材鋼管（STB340）は、C,Si,Mnなどがわずかに存在しているが、大部分はFeで占められている。皮膜-基材の境界部（接合部）では20~30μmの拡散層(合金層)を形成し、基材と冶金的に接合していることが観察される。溶射膜中の析出物部分ではCrCが上昇し、Ni,Siが低下している。拡散層ではFig.10に示すように主に溶射層からのNiと素材からのFeが相互に拡散した層と一部Crの析出物①で形成されており、冶金的に強固に密着していることが分かる。また、Table2の分析結果より基材界面に見られる介在物②はブラスト時の残留グリットと考えられる。

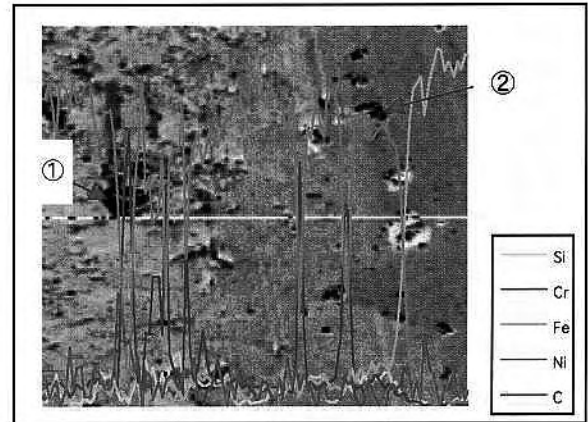


Fig.10 Detail of line analysis by SEM(EDS) across boundary zone

Table 2 Chemical composition analyzed by EDS

	Element(Wt%)			
	Si	Cr	Fe	Ni
①	1.6	79.91	19	16.85
②	0.66	0.83	97.63	0.88

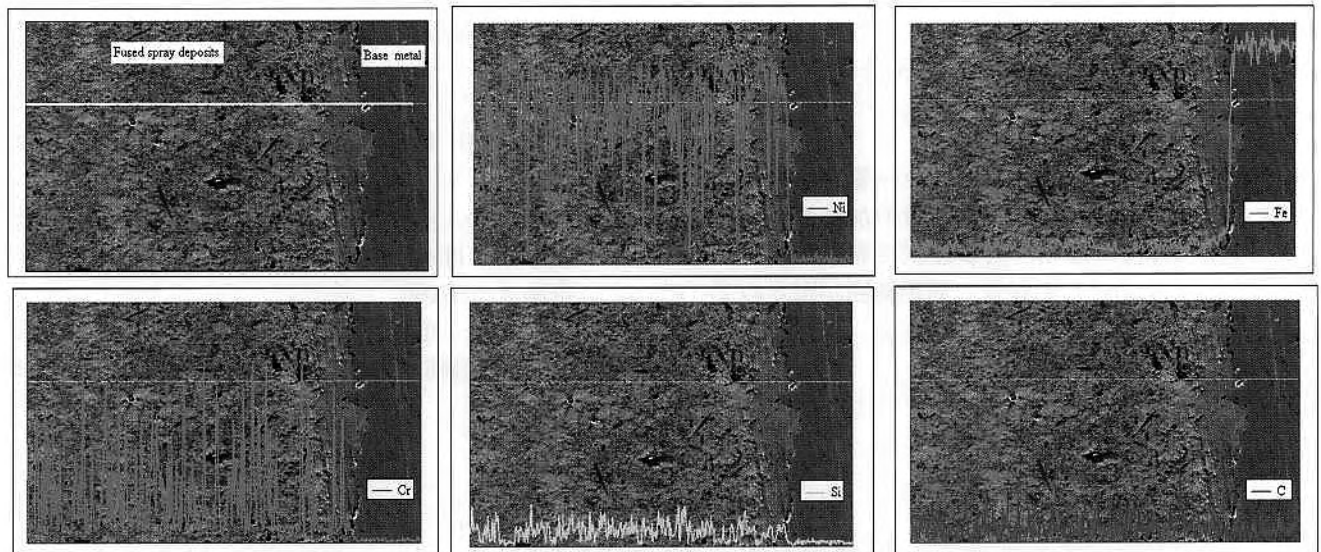


Fig.9 Line analysis by SEM(EDS) across fused spraydeposits

Table 1 Chemical composition of self-fluxing alloy and base metal (JIS)

JIS	Element(Wt%)							
	Ni	Cr	B	Si	C	Fe	Co	others
SFNi4	Bal	12~17	25~4.0	35~5.0	0.4~0.9	<5	<1	<Mo <4Cu
STB340	-	-	-	<0.35	<0.18	Bal	-	Mn:0.30~0.60

4-2 硬さ

自溶合金の硬さは、加熱処理温度と冷却条件（冷却時間、冷却法）によって影響を受け、フェージング処理状態により大きく変動する。Fig.11に本製膜法による試料と処理温度を変更した窒素雰囲気下の電気炉で加熱した試料硬さ（Hv）を示す。ここで本製膜法での試料は、電気炉で再熔融処理した試料より高い数値を示した。

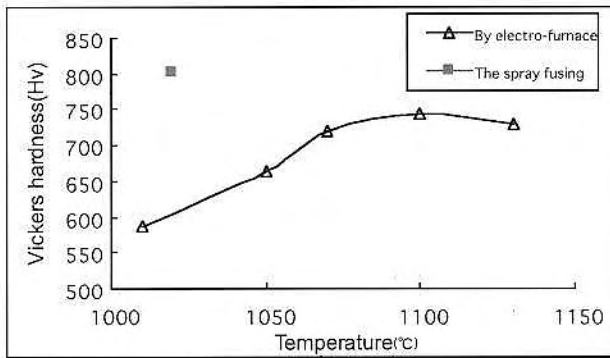


Fig.11 Vickers hardness of test piece

5 製品コスト

本製膜法は溶射フレームを熱源として利用し、溶射と同時にフェーシング処理を行う手法であり、プロパンやアセチレンガスの燃焼炎により直接加熱を行う。一般的には溶射・フェーシング処理を個別に行っているが、両作業を同時施工することにより施工時間の短縮ひいてはランニングコストの大幅な削減が見込める。

本製膜法と一般手法と比較した際に予想される削減効果は、

① 実施工時間（人件費）を30%短縮

② 燃料消費費を約30%短縮

が挙げられ、製品費用を試算すると①,②の削減効果により実費用の約15%の削減が可能である。

6 課題

本研究では、主に熱交換用ボイラー管を対象製品に研究を進めてきた。現在の施工時の加熱量では、素材と寸法（外径・厚み）及び形状に制限があり、小径（φ38.1～φ76.5）の鋼管に適用範囲が限られている。今後、溶射熱量の増大を検証し、施工対象を拡大することが必要である。

7 まとめ

高温腐食環境下に曝される部位への表面処理加工や耐摩耗製品の肉盛り補修として汎用されている自溶合金のフェーシング処理技術を低コスト化かつ管理施工を行う技術として、溶射とフェーシング処理を同時施工し、自動制御により施工管理を行う方法を開発した。以下に本製膜法及び皮膜特性を要約する。

(1) パウダー式フレーム溶射ガン、中高温用放射温度計、制御盤及び溶射距離変更治具で構成され、フェーシング処理温度の管理を行う。ここで、施工中に目標温度・温度範囲を変更した場合においてもスムーズに温度制御が行えており、材料融点に応じたフェーシング処理温度の制御が可能である。

(2) 皮膜—基材の境界部（接合部）を観察すると境界で20～30 μmの拡散層(合金層)を形成し、拡散層では主に溶射層からのNiと素材からのFeが相互に拡散した層と一部Crの析出物で形成されており、冶金的に強固に密着していることが分かる。

(3) 溶射とフェーシング処理を同時施工することにより施工時間の短縮ひいてはランニングコストの大幅な削減が見込め、実費用の約15%のコストダウンが可能である。

今後、この技術を有効活用するために適用範囲を拡大させ、実製品への適用を進めていく。

参考文献

- 1) 細井敏雄：日本溶射協会編集，溶射技術ハンドブック
- 2) 鴨田秀一，酒井昌宏，田頭孝介，赤沼正信，宮腰康樹：日本溶射協会誌 Vol. 26, No. 2, 学術論文 H1080
- 3) 岸武勝彦，恵良秀則，大坪文隆，大原秀樹：日本溶射協会誌 溶射 Vol. 33 No. 4 1996 (12)