

溶 射 工 学

蓮 井 淳 著

序

溶射法はすでに数十年の歴史を有する材料の表面処理技術の一つであって、その技術は、着々、進展してきたが、工業における応用分野は、主として、各種構築物、容器などの防食と防錆、機械、器具の摩耗部分の内盛り補修など、概して消極的用途に定常化していたのである。ところが、ここ10年余の間に展開された溶射材料および溶射装置の急速な開発と進歩は従来の溶射技術を格段に向上させ、かつ、プラズマジェット、ガス爆燃のエネルギーなどを用いる新溶射法の発明は従来溶射困難または不可能とされていた材料の被膜の形成を可能とした。この結果、現在の溶射被膜は高度の耐摩耗性、耐熱性、断熱性、耐食性、電気絶縁性などを有するようになった。

高性能の機械、器具ならびに装置類の設計を具現化するためには、先ず最初に苛酷な作動環境に耐える材料の開発が課題となってくる。それに対処する材料表面処理法の一つとして溶射法に高い関心が払われるようになり、種々の産業分野において溶射法の新しい積極的用途の拡大に拍車をかけることとなった。

本書執筆の目的は、現在各種機械器具ならびに装置類の設計・製作に活躍しておられる技術者諸君や将来その方面に進まれる学生諸君に溶射技術に関する基礎的事項を提供することである。

本書は8章から成っている。第1章では、各種の金属表面処理法の中における溶射法の位置と特徴、第2章では、現在用いられている溶射法の種類とそれらの特質について述べてある。第3章では、溶射施工にあたっての手順と注意事項を説明し、溶射法の全体を把握できるようにした。第4章では、実用されている溶射材料についての概要を記した。第5章では、溶射現象の主なるものについてやや詳しく論じたが、これは溶射被膜の性質を左右する諸因子を考慮し、溶射条件を決定するのに参考となろう。第6章には、溶射被膜の諸性質とその測定法について解説を加え、溶射被膜利用の意味を理解

できるよう努めた。第7章には応用例を挙げた。著者は生産に直接携わっていないので生の資料を持っていない関係から文献によらざるを得なかった。引用にあたって、既刊の書物に載っているような一般化している用途を殆んど除いたので、現在の溶射の実用事情からいえば、幾分特殊例に偏ったかも知れないが、新しい応用の方向と考えられるものを採った。これは、これから溶射の新しい応用を検討する上に、却って、刺戟となるかも知れないと考えたからである。第8章では、今後の問題点を扱っている。

なお、著者はプラスチックの溶射に未経験であるので、本書ではプラスチックの溶射について殆んど触れていない。

執筆にあたって、内外の多くの文献を参考として引用させていただき、これに著者の実験経験を加えた。これら文献の著者に対して深い敬意と謝意を表する次第である。また、著者の浅学菲才のため、不十分な説明や誤解も多く残されていることと思われる。読者の御意見、御叱正をいただければ幸甚である。

終りに、恩師真島正市博士に深甚の御礼を申し上げる。研究題目の如何にかかわらず、終始賜った先生の温情あふれる御指導と御鞭撻がなかったならば著者の現在ではなかったであろう。また、金属材料技術研究所における研究に対する前所長橋本宇一博士ならびに所長河田和美博士の多大の御支援に厚く御礼を申し上げたい。さらに、本書執筆にあたって日本航空(株)整備工場の長束勇三課長は有益な資料を提供して下さり、また、溶射実験の協同者である金属材料技術研究所の北原繁、福島孟両氏は、余暇をさいて、図面作成などに御援助下さった。記して謝意を表したい。末筆ながら、本書出版にあたって御世話になった養賢堂及川鋭雄、及川清両氏に厚く御礼を申し上げる次第である。

昭和 44 年 1 月

蓮 井 淳

目 次

第 1 章 金属の表面处理と溶射…1

1.1 概 説……………1

1.2 表面处理法の種類……………2

1.2.1 化学的処理……………2

1.2.2 物理的処理……………3

1.2.3 機械的処理……………5

1.3 溶射法の特徴……………5

1.3.1 長 所……………5

1.3.2 短 所……………6

第 2 章 溶射法……………8

2.1 溶射法の種類……………8

2.2 ガス式溶射法……………9

2.2.1 溶線式ガス溶射, 溶棒式ガス
溶射, 粉末式ガス溶射……………10

2.2.2 ガス燃焼式溶射……………13

2.3 電気式溶射法……………16

2.3.1 アーク式溶射……………16

2.3.2 プラズマジェット式溶射……………18

2.3.3 高周波誘導式溶射法……………25

2.4 現行溶射法の比較……………27

2.4.1 ガス燃焼 (炎) および
プラズマジエットの温度……………272.4.2 ガス燃焼炎およびプラズマ
ジェットの流速……………312.4.3 ガス燃焼炎およびプラズマ
ジェットの気体構成……………33

第 3 章 溶射の施工……………37

3.1 前処理……………37

3.1.1 素材表面の清浄法……………38

3.1.2 素材表面の粗面化法……………38

3.1.3 特殊な素材に対する前処理……………47

3.2 溶 射……………49

3.2.1 ガス式溶射……………50

3.2.2 電気式溶射……………56

3.3 後処理……………63

3.3.1 塗料塗布法……………63

3.3.2 自溶性合金被膜の溶融処理……………66

3.4 仕上げ……………72

3.4.1 炭素鋼, ステンレス鋼などの
被膜……………72

3.4.2 自溶性合金被膜……………73

3.4.3 セラミック被膜……………74

第 4 章 溶射材料……………75

4.1 線 材……………75

4.1.1 亜 鉛……………75

4.1.2 アルミニウム……………76

4.1.3 モリブデン……………76

4.1.4 ス ズ……………76

4.1.5 鉛およびその合金……………76

4.1.6 銅および銅合金……………77

4.1.7 ニッケルおよびニッケル合金……………78

4.1.8 鉄および炭素鋼……………80

4.1.9 ステンレス鋼……………81

4.1.10 その他……………83

4.2 粉末剤……………83

4.2.1 金属および合金……………85

4.2.2 自溶性合金……………89

4.2.3 セラミック……………91

4.2.4 アルミナ……………103

4.2.5 ジルコニア……………104

4.2.6 炭化タングステン……………105

4.3 棒 材……………105

4.4 プラスチック……………106

4.4.1 熱可塑性プラスチック……………106

4.4.2 熱硬化性プラスチック……………107

(2) 目 次

第 5 章 溶射現象	109
5.1 溶射材粉末あるいは 粒子の飛行速度	109
5.1.1 飛行速度測定法	109
5.1.2 飛行速度	112
5.2 溶射粒子の温度	114
5.3 素材の温度	121
5.4 飛行粉末あるいは粒子の 挙動	123
5.5 溶射被膜	128
5.6 溶射被膜と素材の境界	135
5.7 自溶性合金溶射被膜の溶融	142
第 6 章 溶射被膜の性質と その測定法	145
6.1 被膜の密着性と強さ	145
6.1.1 引張密着強さ試験法	146
6.1.2 剪断密着強さ試験	149
6.1.3 その他の密着性試験	151
6.1.4 引抜密着強さ試験と接着剤を 用いる密着強さ試験	152
6.1.5 各種溶射被膜の密着強さ	155
6.2 被膜の引張強さ	159
6.3 溶射被膜における 気孔と通気性	163
6.3.1 気孔率測定法	163
6.3.2 各種溶射被膜の気孔率、 密度	166
6.3.3 各種溶射被膜の通気性	170
6.4 溶射被膜の硬さ	172
6.4.1 各種溶射被膜の硬さ	172
6.4.2 被膜の硬さと溶射条件	176
6.5 溶射被膜における 残留応力	179
6.5.1 残留応力の測定	180
6.5.2 各種溶射被膜における 残留応力	183

6.6 溶射被膜の耐摩耗性と 摩擦特性	187
6.6.1 各種溶射被膜の耐摩耗性	188
6.6.2 各種溶射被膜の摩擦特性	191
6.7 溶射被膜を有する 素材の疲れ強さ	195
6.7.1 アルミニウム被膜	196
6.7.2 銅被膜	196
6.7.3 モリブデンの被膜	200
6.8 溶射被膜の耐熱、断熱性	204
6.8.1 溶射被膜の耐熱性	204
6.8.2 被膜の断熱性	216
6.8.3 被膜表面の熱放射	220
6.9 溶射被膜の電氣的性質	224
6.10 溶射被膜の耐食性	230
6.10.1 大気中試験	233
6.10.2 海水浸漬試験	234
第 7 章 溶射の応用	237
7.1 人工衛星	241
7.2 ロケットあるいはジェット エンジンのノズル	242
7.3 航空機エンジン部品	245
7.3.1 カップ試験 (cup test)	247
7.3.2 密着強さ試験	248
7.3.3 組織検査	249
7.4 航空機の外板部材	259
7.5 軸 受	261
7.6 タービン羽根車の補修	261
7.7 歯車軸の補修	262
7.8 工作機械の滑り面上の 銅被膜	262
7.9 送風機の羽根など	264
7.10 ポンプ部品	265
7.10.1 水中ポンプのスリーブ	265
7.10.2 高揚程ポンプのシール部	265
7.10.3 ポンププランジャーの修理	265

目 次 (3)

7.11	メカニカルシール	266
7.12	石油化学反応器の攪拌機	267
7.13	ゲージ	267
7.14	高融点金属押出加工用 ダイス	269
7.15	フランジ成形用のパンチ	270
7.16	ばね成形用心金	271
7.17	煉瓦成形機のブリッジと 心金	271
7.18	鑄造装置	272
7.19	超硬被覆ステンレス鋼薄板	272
7.20	高温用ストレンゲージ固定	273
7.21	歯科用器具	274
7.22	電気抵抗加熱器	275
7.23	電気部品	276
7.24	引き船船体	276
7.25	高融点材料の溶射成形	278
第 8 章 今後の問題点		282
8.1	素材の前処理	282
8.2	溶射と溶射被膜の性質	283
8.3	溶射装置の改良および 機械化と自動化	285

8.4	新しい工業的利用分野の 開拓	285
-----	-------------------------	-----

附 録

亜鉛溶射製品試験方法	
JIS H 8661-1961	286
鉛溶射製品試験方法	
JIS H 8662-1961	291
アルミニウム溶射製品試験方法	
JIS H 8663-1961	292
金属表面のポリエチレン被覆試験方法	
JIS K 6766-1963	296
JIS K 6766-1963 に対する	
説明	300
噴射プラスチック用グリット規格表 (SAE	
1955)	
ふるい番ふるい目幅に対する最高	
最低限定品位	304
参考文献	
索引	311

第 1 章 金属の表面処理と溶射

1.1 概 説

金属は、機械的性質がすぐれていて、その性質が長時間安定である特性を有しているので、原子力や宇宙開発関係の諸機械、設備をはじめとして、一般生産、化学、金属などの工業における各種機械・装置、船舶、航空機、車輛などの運輸機械、構築物などから家庭日用器具にいたるまで、それらを構成する主要材料となっている。これらの諸機械、設備および器具の部材あるいは部品は、当然、それが置かれている種々の環境において必要時間、所期の性能を持続することが要求される。主として構築物に見られる風雨への曝露、船舶における海水との接触、化学機械において貯蔵あるいは流動中の各種薬品などによる腐食、各種原動機部品に対する各種流体や燃焼ガスによるエロージョン、機械部品における相對運動部の摩耗、成形機械などにみられる高温高圧下の金属接触による損傷など、諸機械器具の寿命を支配する因子は無数で、その例を克明に挙げるのは不可能である。しかも、これら環境は、最近の経済の拡大と、技術革新による諸機械設備の大型化、高速化および高能率化にともなって、ますます苛酷になってきた。また、一方、電子機器に見られるように、種々の工業において、小型軽量にしてしかも、高性能の部材、部品も要求されている。

これに対して、新しい処理あるいは製法による材料の性能改善、新しい合金または新物質の開発によって対応している現状である。他方、機械・装置が置かれる環境下で、その構成部材あるいは部品の機能がより長く維持されるよう構成材料の表面に種々の処理を施すことも多い。すなわち、日用物品に見られるような装飾を主とした光沢と色調を与える各種表面処理もさることながら、高度の耐食性、耐摩耗性、耐熱性、断熱性あるいは電気絶縁性などを有する被覆あるいは層を材料表面に形成して作動環境に対処しているの

(2) 第 1 章 金属の表面処理と溶射

である。かくして、材料表面を処理することによって製品の耐用時間が増加すれば、社会経済上、その利益は重大なものである。また、材料表面の性質改善によって、より高性能の諸機械・装置の設計、製作を可能とする結果、各種工業における生産向上が促進されることにもなる。

1.2 表面処理法の種類

材料の表面処理法には多くの方法があるが、現在用いられているおもなるものを、その機構によって分類してみると、次のとおりである。

1.2.1 化学的処理（電気化学的処理を含む）

(a) 電気メッキ 金属塩の水溶液中で、つけようとする金属板を陽極とし、金属製品を陰極として直流の電流を通じて、電気分解により製品上に金属を析出せしめる被覆法。銅、ニッケル、クロム、亜鉛、カドミウム、スズなどのメッキを行なう。

ニッケルメッキ 耐食性がすぐれ、強靱で、衝撃にも耐える。硬度 Hv 140～240 で、装飾用に、また、機械部品の摩耗部分、削り過ぎの部分の補修などに利用する。

クロムメッキ 軟質メッキと硬質メッキ（工業用メッキ）がある。前者は耐食性が良好で、装飾に用いる。後者は硬くて（Hv：800～1100）、耐摩耗性がすぐれている。各種機械器具部品の耐摩耗性向上、摩耗部の補修、樹脂あるいは金属の成形用型の表面処理などに用いる。

(b) 化学メッキ 外部より電気エネルギーを供給せずに金属塩水溶液中の金属イオンを、金属製品表面上に析出させる被覆法。処理時間は数 sec～3 min 程度で、黄銅、カドミウム、銅、金、ニッケル、スズなどのメッキを行なうが、工業的利用価値はあまり多くない。

(c) 化成被覆法 適当な溶液に浸漬した金属製品表面に磷酸塩、砒酸塩、酸化物あるいはその他の化合物を密着させる方法。アルミニウム、銅、マグネシウム、鉄鋼（鉄鋼材に行なうとき Parkarizing 法とも称する）などの防食、装飾あるいは塗装の下地処理に用いる。

(d) 陽極酸化被覆法 適当な電解液中で、金属製品を陽極として電解すると、陽極上に発生機状態の酸素を生じ、この酸素が金属表面を酸化して、強い被膜をつくる。アルミニウム、ジルコニウムなどの表面処理に用いる。とくに、アルミニウム表面における陽極酸化被膜は γ アルミナからなり、硬質である。耐摩耗部品に用いる。

1.2.2 物理的処理

(a) 溶融メッキ(どぶ漬け) 金属の溶融浴中に金属製品を浸漬して、その表面に被覆層をつくる方法。亜鉛、スズ、アルミニウム、鉛などのメッキを行なう。

溶融アルミメッキ 680°C 以上のアルミニウム浴に鉄を浸漬する。鉄表面とアルミニウムを反応させ、鉄-アルミニウム合金層(厚さ 0.1 mm 程度)を形成する方法。耐高温酸化性、耐食性がすぐれている。

溶融亜鉛メッキ 450°C 程度の亜鉛浴中に鉄を浸漬する。メッキ層は純亜鉛層と数層の硬くてもろい鉄-亜鉛合金層からなっている。

(b) 金属浸透メッキ(拡散メッキ) 浸透させたい金属または合金の粉末を主成分とする浸透剤あるいは金属または金属化合物のガスを金属製品の表面に接触させ、加熱して、製品表面に金属あるいは合金の拡散層をつくる方法。対象の多くは鉄鋼で、これにアルミニウム(calorizing 法)、クロム(chromizing 法)、亜鉛(sherardising 法)、硅素(siliconizing 法)、ロジウムを浸透させている。

アルミニウム浸透メッキ たとえば、粉末アルミニウムに少量の塩化アンモニウムを少量加えた混合物とともに、製品を回転炉中に入れ、回転しつつ所要温度(850~1000°C)で加熱を続ける。表面には、鉄-アルミニウム合金層が生成され、耐高温酸化性、耐食性にすぐれた層ができる。

クロム浸透メッキ たとえば、フェロクロム、沃化アンモニウム、カオリン粉末などの混合物とともに、製品を密封炉中に入れて、炭素 0.3% 以下の炭素鋼の場合には 950~1100°C、高炭素鋼の場合には 800~950°C に加熱保持する。前者は表面にクロム系ステンレス鋼のような耐食性の層を形成したい

ときに用いられ、後者は表面硬化を目的とするときに有用である。

(c) 滲硫法 中性塩、炭酸塩、還元性塩などの無機物に硫黄化合物を添加して、処理温度 (600°C 以下) で遊離硫黄を分解させて、鉄鋼表面層に硫黄を拡散せしめて硫化物層を生成せしめる方法。耐摩耗性が向上される。

(d) 滲炭法 低炭素鋼または合金鋼製品を一酸化炭素あるいはメタンのような炭素を含む還元性ガス中あるいは木炭、炭酸ソーダ、炭酸バリウム、炭酸カルシウムなどの混合物中で加熱 (900~950°C, 数時間あるいは 1050~1100°C, 1 時間以内) して、炭素を製品表面に浸入拡散させる方法。表面硬化に用いる。通常の処理層では Hv 720~850 程度の硬さとなる。

(e) 窒化法 アルミニウム、クロム、モリブデンなどを含む鋼製品をアンモニアガス中で加熱 (250~500°C, 50~100 hr) し、その表面に窒化物の硬い層 (Hv 900~1200) をつくる方法。表面層の耐摩耗性、耐食性、耐疲労性などが向上され、高温硬さが安定化される。

(f) 滲炭窒化法 炭素鋼製品を、たとえば、滲炭に用いるガス中に数 % のアンモニアガスを加えた雰囲気中で、加熱 (750~900°C) — 焼入処理して、その表面を滲炭と同時に窒化して硬化する方法。製品表面の耐摩耗性、耐食性が向上される。

(g) 火炎焼入法 鉄鋼製品表面を酸素-アセチレン炎によって表面層だけを急速に焼入温度にまで加熱し、ついで焼入れし、表面層をマルテンサイト化して硬化する。

(h) 高周波表面焼入法 鋼製品を加熱用高周波コイルの中に入れ、高周波電流の表皮効果と近接効果によって加熱された表面層のみを焼入れ硬化させる方法。耐摩耗性が増大される。

(i) 真空メッキ (真空蒸着法) 金属あるいは化合物を $10^{-4} \sim 10^{-5}$ mmHg の高真空中で加熱蒸発させ、蒸発した原子または分子を製品表面にあてて、その表面に金属あるいは化合物の薄膜を作成する方法。製品表面の金属光沢の改善、光学的性質の向上に用いられる。

(j) 珐瑯 金属製品の表面にガラス質の釉薬を焼付ける方法。製品表面

に耐食性、耐熱性、耐摩耗性、電気絶縁性、装飾性を与える。

1.2.3 機械的処理

(a) 合板 2 種以上の金属を層状に全面積にわたって接着（圧延圧接法、爆圧接法、鋳込法などによる）させた板。接着させる金属としてはステンレス鋼、ニッケル、モネル、銅、ハステロイ、チタンなどがあり、耐食に用いる。

(b) 溶射 燃焼あるいは電氣的エネルギーを用いて、熔融あるいはそれに近い状態にまで加熱した溶射材粒子を製品表面に吹付けて積層する被覆法。

(c) ショットピーニング 金属小粒子を金属製品表面に高速度で吹付けて、表面の薄層を加工硬化させる方法。組織上の変化はともなわず、硬化の深さは 0.3~0.5 mm 程度である。製品の耐疲労性が増加される。

1.3 溶射法の特質

前節に挙げた種々の表面処理法の中において、溶射法の有する特質を、施工および経済的観点から述べてみよう。他の方法による被膜あるいは表面層に比しての溶射被膜の個々の特性については、後章で被膜の性質を論ずる際に、触れることにする。

1.3.1 長所

1. ほとんどあらゆる材質の製品に対して溶射被膜を作成できる。すなわち、金属質材料をはじめとして、ガラス、陶磁器、有機材料（木材、布、紙類も含む）などの表面に容易に溶射を行なうことができる。これに対して、他の処理法では、処理対象を金属に限っても、それぞれ有効に適用しうる材料の種類に制限がある。

2. 加工材の寸法に制限がない。広い面積に対しても、一様な溶射被膜を形成できる。また、大型製品の限定された部分のみに、簡単に溶射が行なわれる。これに比して、熔融メッキ、電気メッキ、浸透メッキ、滲炭窒化などの方法では、メッキ槽あるいは加熱装置の容量によって、加工材の寸法が制限される。したがって、大型素材の一部に被覆が要求されるときには、溶

射法は、とくに便利であって高い経済性を有する。

3. かなりの寸法を増大させる方法（削りすぎた部分あるいは摩耗部分の補修などに必要）としては肉盛りとともに、最も有効である。これらはともに数 mm の層を表面に形成できるが、他の処理法では、たとえば、耐摩耗を目的とするクロム電気メッキではメッキの厚さは $6 \sim 300 \mu$ 程度で薄い。

4. 溶射法では作業場の移動が簡単である。溶射設備は、その構成が簡単で、比較的軽量であるからである。すなわち、ガス式溶射では、空気圧縮機（これは素材表面の前処理のためのサンドブラスト用にも用いられる）、溶射トーチとガスボンベがあればよく、また電源があれば、空気圧縮機、溶射トーチとガスボンベを運べば電気式溶射を施工することができる。

5. 溶射法では、溶射材の種類が広範囲に選択できる。金属、合金は勿論、各種化合物の大部分およびそれらの混合材の溶射が可能である。また、異種材の被膜を重ねて特殊な性質を有する被膜を作成することもできる。

6. 溶射による素材の変形が小さい。これに対し、多くの処理法では、素材全体あるいはその広い範囲が高温に加熱されるので、素材の変形は大である。

7. 素材の表面被覆のみならず、溶射法を用いて機器部品の実体そのものの形成、いわば、溶射成形が行なえる。すなわち、成形用原型の表面に溶射層を作成し、適当な方法で、これを原型から取外すのである。

8. 作業工程が少なく、かつ作業が迅速で、被膜形成速度が高いので能率的である。

1.3.2 短 所

1. 小さい製品に対しては、溶射効率（溶射材の使用量に対する被膜として付着した量の割合）が低く、経済性が劣る。このような場合、メッキは効率がすぐれている。

2. 素材表面の前処理に多く用いられるブラスト作業では、プラスチック（珪砂、アルミナ、スチールグリットなど）の微粉末が飛散し、また、空气中に浮遊するので、衛生上注意する必要がある。

3. 溶射作業中、溶射材粉末の飛散をとめない、また、溶射材あるいはその大気との化合物のヒュームが発生する。これらは人体に有害なものもあるから、適当な換気装置を必要とすることがある。

以上の概説によって、各種の表面処理中における溶射法の地位が明らかにされた。上記の表面処理法、それぞれに特有の性格を的確に把握し、しかも対象とする製品の形状、寸法精度ならびに所要の表面性質、設備経費と運転費用、作業所の環境条件などを勘案して、どの表面処理法を用いるのが、目標に対して得策かを決めねばならない。従来、溶射法の応用分野は鉄塔、鉄橋、鉄骨、船舶、水槽、各種化学、食品工業用の容器類などの防錆、防食などであった。また、各種機械・部品の削りすぎた部分あるいは摩耗部分の補修・肉盛再生などに多く用いられてきた。しかし、とくに後者における応用などは消極的なもので、溶射の特質が十分に機械工業において運用されているとはいえない。最近、溶射法の進歩、溶射材の改良および開発などと相まって、溶射の効用に対する認識が高まり、ロケットなどの航空機工業、原子力工業など、時代に先行する種々の産業界においては、独自の用途が開発されつつある。しかし、さらに、手近な諸機械器具の製作にあたって、設計段階から、積極的に、部品・部材の表面処理法の一つとして溶射の活用を考慮すべきであると思われる。

第2章 溶 射 法

2.1 溶射法の種類

最初の溶射は、ノズルから高速に噴出する空気あるいは加熱されたガス流によって、熔融金属を極微粒に分裂させる方法(1882年ドイツ特許)を用いて、図 2.1¹⁾ のように、行なわれたようであるが、この方法は、むしろ、金属粉末の製造に適していて、現在のアトマイザーに発展している。溶射装置を最初に完成したのは Schoop (スイス) で、1910 年頃低熔点金属の溶湯をガス炎で加熱されたコイル状管中を通過させた高温の圧縮空気ジェット中に注いで適当に準備された素材表面に吹き付けた(図 2.2)¹⁾。しかし、これは熔融金属溶射の基本形を与えたが、装置が巨大で、しかも、能率的でなかった。したがって、溶射の実用はその後の装置の発展にまたねばならないの

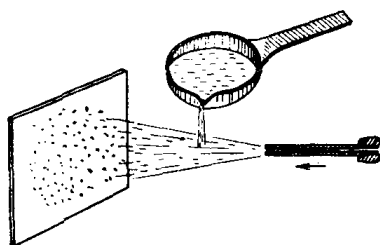


図 2.1 溶融金属微粒化法を用いた溶射

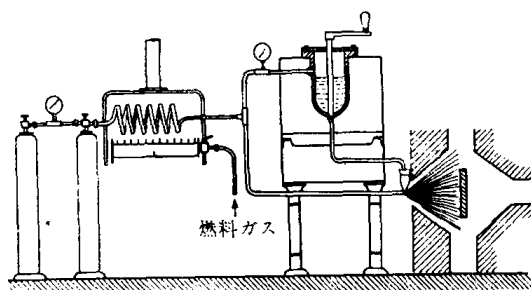


図 2.2 溶湯式溶射

であるが、溶射技術は、すでに、数十年の歴史を有しているのは事実である。この間、高エネルギー密度の安定した熱源の確保と線あるいは粉末で与えられる溶射材の確実な送給法の確立をもとめ

て、旧来の溶射装置の改良および新しい装置の発明と開発が、次々と、行なわれて現在では、多くの種類の優秀な溶射装置が稼動している。今後は、さ

らに発展が続き、工業の質の変転と規模の拡大にともなって、溶射装置の大型化ならびに機械化が促進されるものと思われる。

最近の溶射装置は溶射材を加熱する熱源の種類によって、可燃性ガスと酸素の燃焼炎を用いるガス式と電気エネルギーを用いる電気式とに大別される。

ガス式溶射は溶射技術の黎明期から用いられたもので、溶射装置および溶射材料の改善によって、最近では、セラミックなど高融点材料の良質な被膜の形成にも用いられるようになり、最も多く実用されている。また、ニッケル基あるいはコバルト基の合金である自溶性合金の溶射被膜を軽く溶融処理する方式も高く評価されている。さらに、ガス式の特殊な形態として、アセチレン酸素混合ガスの爆燃のエネルギーを用いる方式は、より高融点を有する材料の溶射に用いられている。

電気式溶射法の中で、アーク溶射は古くより用いられてきたものである。従来は、交流アークを用いていたため、種々の難点を有していたが、直流アークによる現在の方式では、多くの利点を有するようになった。さらに、プラズマジェット式ならびに高周波誘導加熱方式は、数年前から実用され始めたものであるが、従来の溶射方式に比して、それぞれ、多くの特色を有しているため、種々の産業分野において関心が払われている。

2.2 ガス式溶射法

ガス式溶射法では、酸素-燃料の燃焼炎を熱源とする溶線式、溶棒式と粉

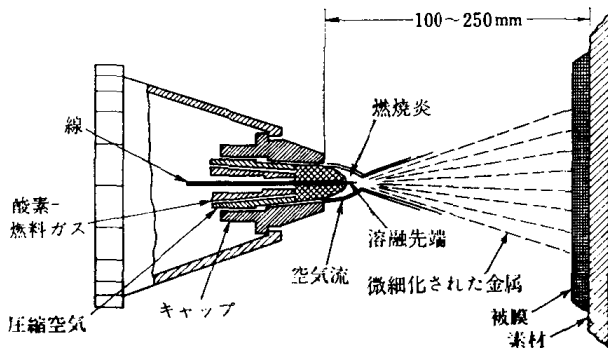


図 2.3 溶線式ガス溶射

末式の 3 方式および酸素-燃料の爆燃エネルギーを用いる爆燃式とが現用されている。

2.2.1 溶線式ガス溶射、溶棒式ガス溶射、粉末式ガス溶射

図 2.3 は溶線式ガス溶射の原理を示すものである。溶棒式ガス溶射は溶線式と同様の機構になっている。いずれも、溶射トーチの中心孔から線状あるいは棒状になっている溶射材を送出して、酸素-燃料炎によって溶射材が溶融するだけ、周囲からの圧縮空気のジェットで、微粒化して吹飛ばし素材表面にたたきつける。線材の送給は、トーチ内に内蔵された空気タービン

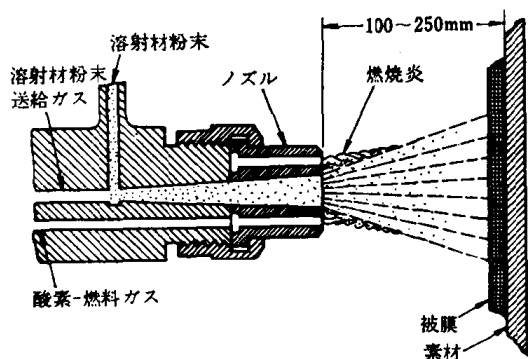


図 2.4 粉末式ガス溶射

(溶射に用いる圧縮空気を分流して用いる)あるいはモータの一定に制御された回転で、減速機構(ウォーム、歯車などの組合せ)を通じて駆動されるロールによって一定速度で行なわれる。空気タービンを用いたものでは、線材送給速度

の細かい調節および一定速度の維持が困難になることがあるが、その構造上、トーチの重量が軽くできるので、手持ち溶射作業用には適当である。これに対し、モータ式によると、線材の送給は細かく調節でき、かつ、一定の速度に保持できるが、トーチの重量が重くなるから、普通、機械化された溶射装置に用いられる。溶射線材として、一般に、3 mm 以下のものが用いられるが、低融点金属(アルミニウム、亜鉛など)を能率的に溶射する大型トーチでは、5~7 mm 径の線材が用いられることがある。

図 2.4 は粉末式ガス溶射の原理を示している。粉末式溶射では、送給用ガス(酸素-燃料混合ガス)中に、溶射材粉末を上方のホッパーから送給口を通して送り込んで、ノズル出口よりの燃焼ガスの流れにのせて、加熱しつつ、素材面に吹付ける。粉末式溶射トーチでは、燃焼炎中に溶線式と同じよ

うに、溶射材粉末を加速するために圧縮空気ジェットを吹込む方式もある。
 なお、プラスチック溶射には、図 2.5 に示すように、酸素-燃料ガスを同心に燃焼させ、その炎を取囲むように圧縮空気を噴出させて、炎の長さの調整とノズルの過熱を防止しつつ、溶射材粉末を圧縮空気
 炎の中心部へ流出させるような構造のトーチを用いる。

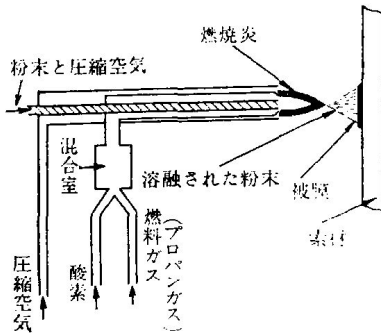


図 2.5 プラスチックの粉末式ガス溶射



図 2.6 粉末式ガス溶射トーチの外観

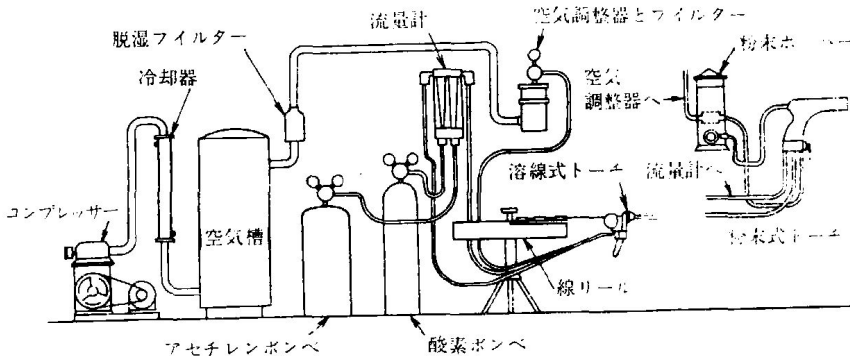


図 2.7 溶線式ガス溶射装置の構成

図 2.6 は粉末式溶射トーチの外観を示したものである。一般の溶線式溶射装置の構成は図 2.7 のようになっている。図中、空気調整器は空気槽より