

第3章 溶射装置・設備

第3章 溶射装置・設備

3.1 溶射装置の概要

溶射技術は、1909年のスイスチューリッヒ大のU.Schoopのガスワイヤー法による金属溶射の特許取得に端を発し、わが国へは1919年にメタライジング法として導入され、今日にいたっている。この間の溶射技術の進歩には目覚ましいものがあり、その応用分野も多岐に渡っており、航空機、ガスタービン、自動車、製鉄、製紙など幅広い産業分野へと展開するとともに、近年では半導体製造分野にもその広がりをを見せている。また、このような産業界からの要求に対応すべく、溶射装置そのものにも種々の進展が見られる。本章では、このような溶射技術の発展を支える溶射装置および関連設備についてその詳細を述べる。

本節では、溶射装置および関連設備の種類と基本構成について述べ、以後、各節で個々の溶射装置の詳細を紹介する。

3.1.1 溶射装置の原理と装置の種類

溶射の原理を図3.1-1に示す¹⁾。溶射は、溶射ガンに供給されるエネルギーにより溶射材料を加熱溶融または軟化し、これらの液滴または粒子を搬送ガスで加速して基材表面に吹き付けることにより、基材表面に、主として機械的結合により溶射材料の皮膜を強固に附着形成するプロセスである。エネルギー源としては、燃焼や電気が、溶射材料としては、粉末状、ワイヤー状あるいは棒状のものがあり、目的に応じて、それぞれの組合せにより、多くの種類の溶射装置が利用されている。



図3.1-1 溶射の原理

最初に提案された溶射装置は、前述のU.Schoopの提案した溶湯式のものであり、図3.1-2に示す通り、低融点金属の溶湯を、ガス燃焼で加熱された配管の中を通過させた高温の空気のジェットに注いで基材面に吹付けるものである¹⁾。金属溶射の基本形と言われているが、装置は大きく、効率も低かった。

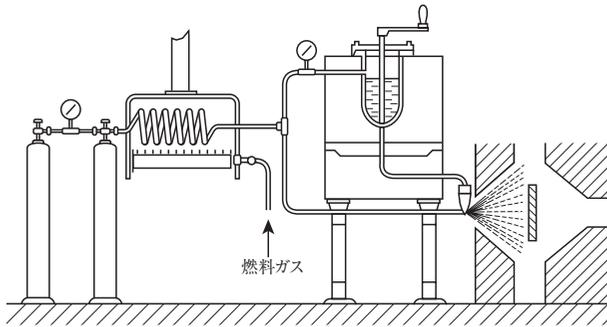


図3.1-2 溶湯式溶射装置の概要

その後、多くの溶射技術および装置が開発されており、現在発表されている溶射装置の種類を表3.1-1に示す^{2), 3)}。これらの中から、産業界で広く利用されている代表的な溶射装置の概略構造を図3.1-3に、その特徴の比較を表3.1-2に示す⁴⁾。また、熱源の熱エネルギーおよび溶射粒子の運動エネルギーから見た代表的な溶射法の比較を図3.1-4に示す。

フレーム溶射およびアーク溶射は、古くから用いられている溶射法であるが、図3.1-4に示すように熱エネルギーも運動エネルギーも相対的に低く、膜質は、プラズマや高速フレーム溶射には劣り、溶射可能な材料にも制約があるが、装置は非常にシンプルであり、コスト的には有利な方法である。高速フレーム溶射やプラズマ溶射は、比較的新しい技術であり、皮膜性能は優れたもののコストは高くなる。以下、装置ごとにその概要を述べる。

(1) フレーム溶射

フレーム溶射は、アセチレンなどのガス燃料と酸素による燃焼フレームを熱源とし、これに、粉末、ワイヤーあるいは棒状の溶射材料を供給し、熔融した粉末粒子を燃焼ガスにより基材に吹き付け、あるいは熔融した材料融液を燃焼ガスあるいは圧縮空気によって細かい液滴として吹き付けることによって成膜するものである。比較的シンプルな装置であり、古くから利用されているが、溶射可能な材料は、燃焼フレームの温度で制約を受ける。

(2) アーク溶射

アーク溶射は、電気エネルギーを熱源とするものであり、溶射材料である2本の金属ワイヤーに電圧を印加させてアーク放電を発生させ、その熱によってワイヤー材料を熔融し、圧縮空気などのガス噴射により、熔融粒子を微細化して、基材に吹き付ける方法である。電気導電性を有し、かつワイヤー状に成形できる材料にしか適用できないが、溶射速度は大きく、また、コストも低い。

(3) プラズマ溶射

最も高い熱エネルギーを利用する溶射法はプラズマ溶射である。タングステン製の電極と水冷ノズルとの間に電圧を印加し、かつ、アルゴンなどのプラズマガスを流すことによりプラズマ放電を発生させて得られる1万℃以上の高温の熱プラズマジェットを利用して、溶射を行う方法であり、高融点の材料粉末まで熔融加速することができるので、金属からセラミ

ックにいたるまでの広範囲の材料を溶射することが可能である。溶射材料としては粉末状の材料が用いられ、搬送ガスによって、溶射ガンに供給され、溶射粒子の飛行速度も速く、良好な膜質が得られる。通常は大気雰囲気中で溶射されることが多く、これを大気プラズマ溶射と呼ぶが、減圧下で溶射をする減圧プラズマ溶射法もある。減圧下では、プラズマフレームが伸び、かつ高速になるとともに、雰囲気が不活性になるため、基材の高温予熱が可能になり、また、溶射粒子の化学変化も少なくなるので、密着性の高い、かつ気孔の少ない高性能な皮膜を得ることができる。ただし、減圧のための容器や排気ポンプが必要になり、装置としては、複雑で高価なものになる。その他、加圧雰囲気や水中で溶射するものもあり、また、高周波プラズマや電磁加速プラズマを利用する方法も開発されている。また、プラズマガスの代わりに水を供給して、その分解ガスを利用する水安定化プラズマ溶射もある⁵⁾。

(4) 高速フレーム溶射

最も高い運動エネルギーを利用するのが高速フレーム溶射であり、基本的には、フレーム溶射であるが、高速フレーム溶射では、燃料と酸素の高圧下での燃焼と燃焼室に続くバレルの効果により超音速のフレームを得る最新の溶射法であり、HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) 法と呼ばれている。酸素の代わりに空気を用いるHVAF (High Velocity Air-Fuel) 法もある。高圧燃焼とバレルの効果により音速を越す高速フレームを利用する溶射法であり、燃焼フレーム温度は低いが、フレーム速度は約1300m/s～2400m/sに達し、溶射粉末が高速に加速されるため、緻密性・密着性に優れた皮膜を安価に形成することができる。

(5) その他

基本的には、熱エネルギー源として、燃焼ガスまたは電気エネルギーを利用する装置が多いが、最近では電磁加速プラズマやレーザー光を利用する装置も出現している⁶⁾。また、レーザーをプラズマ溶射の前後に使い、前処理や後処理の役割をさせる、レーザー・プラズマ複合溶射という方法も提案されている⁷⁾。

爆発溶射といわれる、爆発エネルギーを利用して、高速の溶射粒子を発生させる方法もある。装置的には、水冷したバレル(銃身)に酸素と燃料、さらに、粉末溶射材料を送り込み、スパークプラグによる点火で爆発を起こさせ、この爆発エネルギーにより、溶射粒子を高速で基材に吹き付ける方法であり、密着性に優れた高密度の皮膜が得られる。

また、電気エネルギーを利用する線爆溶射という技術もある。これは、放電回路を用いてコンデンサに充電した電気を溶射材料であるワイヤに瞬間的に通電して、爆発的熔融させて円筒放射状に溶射する方法であり、シリンダ内面への溶射などに用いられている⁸⁾。

さらに、溶射粒子を溶解させず高速で基材に吹き付けるコールドスプレーといわれる技術も開発されている。これは、高圧のガスを先細末広ノズル(ラバルノズル)により超音速流にし、その中に溶射粒子を投入して加速し、溶射材料を固相のまま基材に高速で吹き付ける方法である⁹⁾。