

第6章 溶射加工工程

第6章 溶射加工工程

6.1 金属溶射法

「金属溶射法」は、現在実用化されている溶射法の中では最も古く、当初は金、銀およびブロンズを成膜した装飾溶射が主体であり、その後構造物などへの防錆・防食を目的とする亜鉛、アルミニウム溶射へと展開した。その一方で、寸法復元などを目的とした肉盛溶射が実用化された。本章では、金属溶射法の主たる用途である防錆・防食溶射および肉盛溶射についてその特徴を説明し、具体的な施工方法について解説する。

6.1.1 防錆・防食溶射

防錆・防食溶射は、主に鉄および鉄鋼基材の発錆防止を目的としている。防錆・防食溶射法には一般にフレーム溶射法（粉末式、溶線式）、アーク溶射法およびプラズマ溶射法が適用され、これら溶射法の選択は、経済性と使用環境に対する皮膜性能に応じて決められる。また、減圧雰囲気等で成膜される皮膜は緻密で開気孔もほとんど存在しないが、大半は大気中で行われる防錆・防食溶射により成膜された皮膜中には必ず開気孔が存在し、この開気孔が防錆・防食に大きく関与する。この多孔質溶射皮膜を防錆・防食に適用する基本的方法には、(1) 皮膜の電気化学特性の活用、(2) 皮膜中の気孔を封孔、(3) 積層皮膜、(4) 複合技術などがある。

(1) 皮膜の電気化学特性の活用

皮膜が完全に基材を覆い、腐食性成分が皮膜表面から基材まで浸透しない場合には、皮膜材料自身の耐食性が問題となるが、一般に防錆・防食溶射皮膜は多孔質であり、皮膜材料と基材間の電気化学的反応を考慮する必要がある。各種金属の海水中における自然電位（腐食電位）列を表6.1-1に示す。自然電位列において電位差の大きい金属を組み合わせると、卑な金属がアノード、貴な金属がカソードとなり、異種金属間電池を形成し卑な金属が腐食する。したがって、皮膜材料は鉄鋼材料よりも卑な金属でなければならない。亜鉛は鉄鋼材料に対して卑である典型的な金属であるが、アルミニウムは腐食雰囲気によっては、鉄鋼材料より卑になる場合と貴になる場合がある。

(2) 皮膜中の気孔を封孔

石油、製紙、食品などのプラントに属する装置などでは、封孔剤の選定が極めて重要となる。封孔剤の各種環境における耐食性の検討が必要であり、使用温度が200℃以下の場合には、ふっ素あるいはシリコン樹脂等が有効である。また、無機質塗料も使用できる。

(3) 積層皮膜

腐食速度を遅らせるために溶射皮膜を積層することがある。通常、基材と皮膜の密着強さを増加させる目的で第一層に下地溶射を行い、次に腐食環境に適合する溶射材料を溶射する。この積層皮膜を腐食環境に適用する場合には、各皮膜の電気化学特性に関する検討に加え、各皮膜の組み合わせおよび皮膜厚さを考慮する必要がある。積層皮膜の一例を表6.1-2に示す。

表6.1-1 海水中における各種金属の自然電位列

↑	貴	白金	.....	+0.254 [V]
		金	.....	+0.104
		ステンレス鋼 (18Cr-8Ni-3Mo)	.....	-0.116
		銀	.....	-0.136
		ステンレス鋼 (18Cr-8Ni) (不動態)	.....	-0.156
		モネル (67Ni-30Cu)	.....	-0.176
		青銅 (Sn6~10%)	.....	-0.216
		黄銅 (85Cu-15Zn)	.....	-0.226
		銅	.....	-0.246
		黄銅	.....	-0.276
		標準水素電極	.....	-0.316
		ニッケル (活性)	.....	-0.316
		黄銅 (60Cu-40Zn)	.....	-0.346
		ステンレス鋼 (18Cr-8Ni) (活性)	.....	-0.356
		スズ	.....	-0.536
		鉛	.....	-0.576
		鋼, 鋳鉄	.....	-0.526~-0.726
		ジュラルミン	.....	-0.686
		アルミニウム	.....	-0.856
↓	卑	亜鉛	.....	-1.146
		マグネシウム	.....	-1.676

表6.1-2 積層皮膜の一例

1	Ni·Cr	+ Al (+封孔)
2	Ni·Cr·Fe	+ Al (+封孔)
3	Ni·Cr·Mo	+ Al (+封孔)
4	Ni·Cr·Fe + Ni·Cr	+ Al (+封孔)
5	Ni·Cr·Fe + Ni·Cr·Mo	+ Al (+封孔)

(4) 複合技術

溶射皮膜の緻密化により耐食性の向上を図る方法であり，①加圧焼結処理，②圧延処理，③HIP（熱間静水圧成形）処理，④レーザ処理，⑤めっき処理（封孔），などがある。

6.1.2 肉盛溶射

肉盛溶射はJIS H 8302において、「機械部品その他に対し耐摩耗性，耐食性および補修などの目的で炭素鋼，ステンレス鋼あるいはセラミックスなどの材料を溶射すること」と定義されている。また，JIS H 8200（溶射用語）では，「素材の摩耗した部分や寸法不足の部分に寸法回復を目的として盛り上げる溶射」と記述されている。

肉盛溶射の目的は，先に述べた防錆・防食溶射を除くと耐摩耗性皮膜の形成である。耐摩耗性皮膜には相当の外力が加わるため，皮膜と基材間の密着性を向上させる目的で，基材表面への機械加工や下地溶射を適用することが多い。また，肉盛溶射皮膜に求められる皮膜性

能は、使用環境により大きく異なるため、目的に応じた皮膜を形成する必要がある。

また、溶射以外にも多くの表面改質技術が実用化されているが、使用中に腐食や摩耗により減肉した機械部品を補修する場合には、溶射法は特に有効な手段となる。最も一般的な表面改質層を形成する方法（焼入れ、浸炭等）は適用できない。また、溶接肉盛等の基材への熱影響の大きい方法もその適用が制限される。溶射により肉盛補修を行う場合、使用温度や雰囲気等の使用環境を正確に把握し、溶射方法や条件を決定する必要があるが、成膜速度（図6.1-1）の点からも有効な手段といえる。

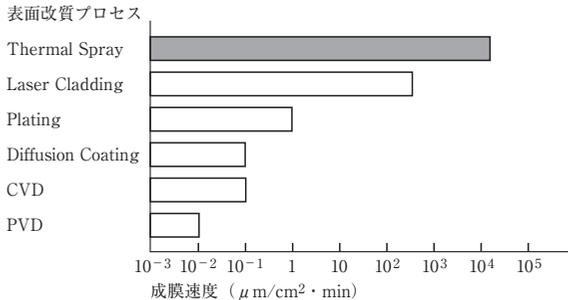


図6.1-1 各種表面改質技術の成膜速度

6.1.3 溶射法および材料

現在実用化されている溶射法のほとんどが金属溶射に適用されており、熱源の種類からガス式と電気式とに大別されている。前者のガス式にはフレーム溶射法と爆発溶射法があり、後者の電気式にはアーク溶射、プラズマ溶射および線爆溶射法などがある。中でもフレーム溶射法はアーク溶射法と並んで、鉄鋼材料などの肉盛溶射には広く用いられている。

溶射材料としては、鉄鋼材料、銅合金、ニッケル合金、モリブデンなど塑性加工が可能な金属材料は主として線材として利用され、ステライト、タングステンなどの硬くて脆い材料は、粉末材として用いられている。代表的な金属溶射用材料を表6.1-3に示す。炭素鋼やマルテンサイト系ステンレス鋼などは溶射粒子の急熱・急冷によりマルテンサイト変態を起こして硬化し、また同変態による体積膨張が皮膜の熱収縮による悪影響を緩和するため、溶射性に優れた低コスト高品質耐摩耗性皮膜として溶射補修を含めて多方面で利用されている。一方、同じステンレス鋼でもSUS304などのオーステナイト系の場合は熱膨張係数が大きいので、皮膜の熱収縮による剥離等、溶射時に注意が必要である。

また、モリブデンは高融点でその酸化物は1000℃以下で昇華する性質を持つので、大気中で溶射しても酸化物の影響を受けることなく高密着力の皮膜を実現するので、単独溶射のみならず各種溶射の下地溶射材としても多用されている。（詳細は「5.7 下地溶射」を参照）