

# 目 次

## 第1章 溶射の基礎

1.1 溶射の原理	3
1.2 溶射粒子の加速と加熱	8
1.2.1 溶射の熱流動現象	8
1.2.2 粒子の形状・物性と物理的パラメータ	14
1.2.3 粒子の加速	15
1.2.4 粒子の加熱	20
1.2.5 粒子特性の計測	23
1.3 溶射粒子の扁平	36
1.3.1 溶射プロセスの特徴・問題点	36
1.3.2 溶射粒子扁平・凝固挙動の把握解明	36
1.3.3 粒子扁平挙動の実験的把握	38
1.3.4 おわりに	45
1.4 溶射皮膜の構造と特徴	47
1.4.1 スプラット間の結合	47
1.4.2 気孔の生成	48
1.4.3 マイクロクラック	49
1.4.4 溶射パターンの影響	49
1.4.5 未溶融粒子	50
1.4.6 異方性	50
1.5 溶射における材料の変質	51
1.5.1 はじめに	51
1.5.2 溶射粒子と雰囲気との反応	51
1.5.3 反応性溶射	53
1.6 溶射過程における相変化	59
1.6.1 自由エネルギーと状態図	59
1.6.2 自由エネルギー組成曲線	60
1.6.3 無拡散凝固	61
1.6.4 非晶質相の形成	62
1.6.5 準安定相	64
1.6.6 急冷凝固による結晶粒の微細化	65
1.6.7 溶射における急冷凝固と自己焼鈍	66

## 第2章 溶射材料

2.1 溶射材料の概要	73
2.2 溶射材料の品質評価	74
2.2.1 化学成分	74
2.2.2 粉末特性	80
2.3 溶射材料の製造方法	93
2.3.1 溶射用金属線の製造方法	93
2.3.2 溶射用粉末の製造方法	95
2.4 金属材料	104
2.4.1 金属線の種類と特徴	104
2.4.2 金属粉末の種類と特徴	114
2.5 セラミック材料	136
2.5.1 セラミック棒（溶棒式フレーム溶射材料）の種類と特徴	136
2.5.2 フレキシブル・コードの種類と特徴	139
2.5.3 セラミック粉末の種類と特徴	139
2.6 サーマット材料	160
2.6.1 サーマット材料の種類と特徴	166
2.7 プラスチック材料	185
2.7.1 プラスチック溶射の特徴	185
2.7.2 プラスチックの種類	185
2.7.3 プラスチックの構造	186
2.7.4 プラスチック溶射材の種類	190
2.7.5 応用的なプラスチック溶射	192

## 第3章 溶射装置・設備

3.1 溶射装置の概要	197
3.1.1 溶射装置の原理と装置の種類	197
3.1.2 溶射装置の構成	202
3.2 フレーム溶射装置	204
3.2.1 溶線式フレーム溶射装置	204
3.2.2 溶棒式フレーム溶射装置	207
3.2.3 粉末式フレーム溶射装置	209
3.3 高速フレーム溶射装置	211
3.3.1 高速フレーム溶射装置の発展	213
3.3.2 各種HVOF, HVOF の構造と特徴	213
3.3.3 制御装置	216
3.3.4 粉末溶射材供給装置	218

3.3.5	圧縮空気供給装置	218
3.3.6	燃料（燃焼用ガス・灯油等）供給設備	218
3.3.7	HVOFによる皮膜の特徴	220
3.4	爆発溶射装置	222
3.4.1	デトネーション溶射装置	222
3.4.2	線爆溶射装置	225
3.4.3	電熱爆発粉体溶射法	227
3.5	アーク溶射装置	229
3.5.1	アーク溶射の原理	229
3.5.2	アーク溶射装置の構成	230
3.5.3	アーク溶射装置の利点と欠点	234
3.6	プラズマ溶射装置	236
3.6.1	プラズマ溶射装置の構成	237
3.6.2	プラズマ溶射ガン	238
3.6.3	プラズマ溶射制御装置	242
3.6.4	プラズマ電源	243
3.6.5	冷却水循環装置	243
3.6.6	粉末供給装置・プラズマジェットフレ	245
3.6.7	プラズマ溶射装置の種類	245
3.7	コールドスプレー溶射装置	249
3.7.1	コールドスプレーノズル	250
3.7.2	ガス加熱ヒーターおよび電源	251
3.7.3	粉末供給装置	253
3.7.4	制御装置	253
3.7.5	コールドスプレー装置の将来	254
3.8	その他の溶射装置	255
3.8.1	レーザ溶射装置	255
3.8.2	高周波熱プラズマ溶射装置	258
3.8.3	電磁加速プラズマ溶射装置	260
3.8.4	ハイブリッド溶射	263
3.8.5	微粒子高速衝突成膜装置	263
3.8.6	放電表面処理装置	265
3.9	溶射関連装置	269
3.9.1	溶射ガンおよび基材の移動機構	269
3.9.2	溶射診断・制御装置	271
3.10	前処理工程設備	275
3.10.1	プラスト設備	275

3.10.2	各種素材に対するプラスト加工粗さデータの比較	279
3.11	後処理工程設備	281
3.11.1	封孔処理設備	281
3.11.2	熱処理設備	281
3.11.3	機械加工設備	286
3.12	安全衛生設備	291
3.12.1	集塵設備	291
3.12.2	換気	297
3.12.3	防音	298
3.12.4	防火	299

## 第4章 溶射法の概要

4.1	溶射加工における作業手順	303
4.1.1	工程（プロセス）の流れ	303
4.1.2	前処理・前加工	307
4.1.3	溶射装置の特性把握および、保全の考え方	310
4.2	溶射加工仕様と事前協議	327
4.2.1	溶射される部材表面のはたらき	327
4.2.2	溶射皮膜の性質	328
4.2.3	溶射皮膜に対する環境の作用	332
4.2.4	基材と溶射皮膜の相互作用	335
4.2.5	溶射皮膜構成の決定	336
4.3	溶射加工における残留応力	339
4.3.1	応力，残留応力	339
4.3.2	溶射皮膜の残留応力の特徴	339
4.3.3	残留応力の及ぼす影響	340
4.3.4	溶射皮膜における残留応力の発生機構	340
4.3.5	残留応力の測定・評価手法	343
4.3.6	残留応力低減の対策手法	346
4.4	下地溶射	349
4.4.1	下地層，中間層の効果	349
4.4.2	下地層，中間層に用いる材料，成膜プロセス	353
4.4.3	下地層，中間層に用いる材料，プロセスの組合せ例	353
4.5	溶射中の熱管理手法	354
4.5.1	溶射材料および基材の予熱	354
4.5.2	溶射加工中の熱管理	357
4.5.3	熱管理の不備による加工品質の劣化	358

4.6 溶射工程における設計図面と表示	359
4.6.1 基材質の表示	359
4.6.2 基材質に対するJIS表示例	359
4.6.3 寸法表示 公差などの形状精度の定義	360
4.6.4 表面形態の定量表示	361
4.6.5 表面粗さの制御	364

## 第5章 前処理工程

5.1 前処理工程の概要	369
5.1.1 機械的前処理	369
5.1.2 清浄化	369
5.1.3 マスキング工程	370
5.1.4 ブラスト（粗面化処理）工程	371
5.1.5 研削材	371
5.1.6 試験および評価	372
5.2 清浄化工程	372
5.2.1 化学的方法	372
5.2.2 物理的方法	373
5.3 粗面化工程	375
5.3.1 ブラスト処理	375
5.3.2 ブラスト材料	377
5.3.3 ブラスト作業管理	378
5.3.4 ブラスト処理後の処理及び検査	380
5.3.5 ブラスト処理の表示	381
5.4 ブラスト材料	381
5.4.1 ブラスト材料の種類	382
5.4.2 金属系グリット，金属系ショット	382
5.4.3 カットワイヤー	382
5.4.4 非金属ブラスト材料	386
5.4.5 ガラスビーズ，その他	391
5.4.6 ブラスト材の保管	391
5.5 機械加工	392
5.5.1 アンダーカット	392
5.5.2 素地調整	394
5.6 マスキング	395
5.6.1 マスキング材	396
5.6.2 マスキング方法	396

5.7 下地溶射	398
5.7.1 溶射材料	398
5.7.2 各種溶射皮膜における下地溶射	399
5.7.3 施工方法	400

## 第6章 溶射加工工程

6.1 金属溶射法	405
6.1.1 防錆・防食溶射	405
6.1.2 肉盛溶射	406
6.1.3 溶射法および材料	407
6.1.4 溶射加工	408
6.1.5 金属溶射皮膜の性質	410
6.2 自溶合金溶射法	413
6.2.1 自溶合金溶射材料	413
6.2.2 溶射皮膜の設計	415
6.2.3 基材材質の確認	415
6.2.4 前処理	417
6.2.5 溶射	418
6.2.6 溶融処理	420
6.2.7 溶融処理後の冷却	422
6.3 セラミック溶射法	424
6.3.1 セラミック溶射法（プラズマ溶射法）	424
6.3.2 プラズマ溶射法	425
6.3.3 セラミック材料	426
6.3.4 前処理	427
6.3.5 基材材質，形状の確認	427
6.3.6 プラズマガス	428
6.3.7 粉末供給	430
6.3.8 予熱	430
6.3.9 溶射	431
6.3.10 セラミック溶射法（溶棒式フレーム溶射）	433
6.3.11 溶射法の特徴	433
6.3.12 溶射棒	433
6.3.13 溶射施工	434
6.4 サーメット溶射法	435
6.4.1 概要	435
6.4.2 サーメット溶射材料とその特徴	435

6.4.3	サーメットのプラズマ溶射	437
6.4.4	サーメットの高速フレーム溶射	438
6.4.5	サーメットの爆発溶射	442
6.4.6	サーメットのハイブリッド溶射	443
6.5	プラスチック溶射法	448
6.5.1	プラスチック溶射の原理	448
6.5.2	前処理	448
6.5.3	溶射	450
6.5.4	溶射皮膜の検査	451
6.5.5	加工工程	451
6.5.6	成膜機構および工程	452
6.5.7	応用例	455
6.5.8	まとめ	456

## 第7章 後処理工程

7.1	熱処理	459
7.1.1	緻密化	459
7.1.2	高密着化	461
7.1.3	合金化	463
7.1.4	結晶化	463
7.1.5	複合化	463
7.2	高周波誘導加熱	465
7.2.1	高周波誘導加熱によるフェーシング処理	465
7.2.2	高周波誘導加熱フェーシングの利点	466
7.2.3	高周波誘導加熱フェーシングの温度管理	466
7.2.4	母材への熱影響	466
7.2.5	高周波バンド技術を利用した皮膜曲げ加工品の実態	467
7.2.6	皮膜特質	468
7.3	レーザー処理（アニロックスロール）	469
7.3.1	アニロックスロールとは	469
7.3.2	レーザー彫刻加工装置	469
7.3.3	彫刻のメカニズム	470
7.4	封孔処理	471
7.4.1	封孔処理の概要	471
7.4.2	封孔剤	475
7.4.3	封孔処理作業	476
7.4.4	安全対策	477

7.5 機械加工	477
7.5.1 切削加工	477
7.5.2 と(砥)粒加工	489

## 第8章 検査工程

8.1 受け入れ検査	499
8.2 マスク検査	500
8.3 ブラスト工程検査	500
8.4 溶射工程検査	501
8.5 出荷検査	503
8.5.1 一般検査項目	503
8.5.2 溶射に特有な特性の検査	504
8.5.3 用途による検査項目	505

## 第9章 自動化技術

9.1 概説	509
9.2 溶射加工の自動化の必要性	510
9.2.1 溶射作業環境と安全性	510
9.2.2 品質と再現性	522
9.2.3 コストの低減と省人化	522
9.3 溶射加工における自動化技術	524
9.3.1 ブラスト加工の自動化	524
9.3.2 後加工における自動化技術	533
9.3.3 溶射装置における自動化	537
9.3.4 飛行溶射粒子温度・速度・粒径の測定	551
9.4 溶射ロボット	558
9.4.1 溶射作業ロボットの現状	558
9.4.2 産業用ロボットの構造	561
9.4.3 溶射作業ロボットのメンテナンス技術	566
9.4.4 溶射ロボットを使用する上での安全対策	572
9.5 溶射における自動化の適用事例	572
9.5.1 自動車機器における自動溶射システム	572
9.5.2 航空機器における溶射の自動化適用事例	577
9.5.3 ガスタービン機器における溶射の自動化適用事例	579
9.5.4 鉄鋼・製鉄設備機器における溶射の自動化適用事例	581
9.5.5 電気・電子機器における溶射の自動化適用事例	584
9.5.6 建築構造物における溶射の自動化適用事例	589

9.5.7 その他の製品における溶射の自動化適用事例	591
----------------------------	-----

## 第10章 皮膜の性質と試験方法

10.1 基礎物性	597
10.1.1 皮膜の密度, 気孔率, 有孔度	597
10.1.2 溶射皮膜の皮膜強度, 熱伝導率	597
10.1.3 貫通気孔と封孔処理	598
10.1.4 気孔率の制御	598
10.1.5 密度・気孔率測定法	600
10.2 組織・組成分析	604
10.2.1 溶射皮膜の組織	604
10.2.2 溶射皮膜の組織観察法	605
10.2.3 溶射皮膜の組成分析法	608
10.2.4 溶射皮膜の結晶構造解析法	612
10.3 機械的性質	614
10.3.1 皮膜密着強さとその試験法	614
10.3.2 皮膜強度	619
10.3.3 溶射皮膜の硬さ測定法および硬さ	619
10.3.4 疲労試験	624
10.3.5 残留応力	624
10.4 溶射皮膜の摩擦・摩耗特性と試験法	627
10.4.1 すべり摩擦特性	627
10.4.2 摩耗特性	628
10.4.3 摩耗試験法	629
10.5 高温材料試験	645
10.5.1 高温引張試験	645
10.5.2 クリーブ試験	646
10.5.3 高温低サイクル疲労試験, 熱機械疲労試験	652
10.5.4 熱衝撃試験	668
10.5.5 高温硬さ試験	669
10.6 腐食・化学特性	673
10.6.1 腐食現象の計測	673
10.6.2 電気化学的手法	688
10.6.3 環境腐食の計測と評価	697
10.7 高温腐食特性	701
10.7.1 高温腐食試験法の概要	701
10.7.2 高温腐食試験方法	702

10.8 電磁気特性	708
10.8.1 電気伝導度	708
10.8.2 絶縁破壊	710
10.8.3 超伝導	711
10.9 腐食疲労特性	712
10.9.1 腐食疲労強度におよぼす影響因子	712
10.9.2 腐食疲労寿命試験	715
10.9.3 腐食疲労き裂進展試験	718

## 第11章 溶射の応用

11.1 湿食の機構と防食溶射皮膜	723
11.1.1 湿食の電気化学	723
11.1.2 湿食防止用溶射皮膜	732
11.2 乾食の機構と防食溶射皮膜	738
11.2.1 高温酸化機構	738
11.2.2 加速酸化機構	747
11.2.3 高温酸化・高温腐食防止用溶射皮膜	757
11.3 熱遮蔽の機構と耐熱溶射皮膜	764
11.3.1 遮熱コーティングの構造と耐熱機構	764
11.3.2 遮熱コーティングの損傷要因とその機構	768
11.3.3 遮熱コーティングの高性能・高機能化	771
11.4 熔融金属の浸食機構と溶射皮膜	775
11.4.1 熔融金属の浸食機構	775
11.4.2 耐熔融金属用溶射皮膜の効果	779
11.5 腐食疲労の機構と溶射皮膜の効果	783
11.5.1 腐食疲労の機構	783
11.5.2 溶射皮膜の効果	786
11.6 摩耗の機構と溶射皮膜の効果	792
11.6.1 摩耗の機構	792
11.6.2 溶射皮膜の耐摩耗性	798
11.6.3 溶射皮膜の耐高温摩耗性	801
11.7 絶縁・誘電などの電磁気特性用溶射皮膜	803
11.7.1 直流絶縁破壊電圧特性	804
11.7.2 交流絶縁破壊電圧特性	805
11.7.3 導電特性	805
11.7.4 誘電特性	807
11.7.5 イオン導電性	808

11.8	環境浄化用溶射皮膜	810
11.8.1	酸化チタンの概要とその環境浄化機構	810
11.8.2	溶射によるTiO <sub>2</sub> 皮膜形成の課題と対策の現状	811
11.8.3	溶射法によるTiO <sub>2</sub> 皮膜の光触媒機能の調査研究例	811
11.8.4	TiO <sub>2</sub> 光触媒の用途	813
11.9	肉盛再生技術の実際と応用	815
11.9.1	肉盛再生技術の実際とプラズマ粉体肉盛溶接法の概要	815
11.9.2	プラズマ粉体肉盛溶接法の応用	817
11.9.3	溶射法による肉盛再生技術	821
11.10	溶射成形の実際と応用例	826
11.10.1	溶射成形の概要	826
11.10.2	溶射成形の応用例	826
11.11	その他の溶射皮膜の機能を利用した応用例	827

## 第12章 安全と衛生

12.1	総論	835
12.1.1	安全に作業するための日常の心構え	835
12.1.2	3S「整理・整とん・清掃」	837
12.1.3	「危険予知活動」, 「TBM (ツールボックスミーティング)」	837
12.1.4	溶射作業の安全	837
12.2	安全のための道具, 設備	838
12.2.1	保護具	838
12.2.2	工場施工における安全対策	843
12.2.3	出張工事における安全対策	845
12.2.4	研究室における安全対策	847
12.3	設備, 材料などの取り扱いにおける安全	848
12.3.1	可燃性ガスおよび支燃性ガスの取り扱い	848
12.3.2	電気の取り扱いにおける安全と衛生	855
12.3.3	溶射材料の取り扱い	856
12.4	溶射作業における災害	856
12.4.1	ヒュームおよび粉じんによる災害	856
12.4.2	粉じんおよびヒュームに対する対策	857
12.4.3	有害光線	859
12.4.4	溶射作業における騒音	863
12.5	結言	865

## 第13章 品質管理

13.1 品質とは	869
13.2 品質管理システム	869
13.2.1 ISO9001の社内への導入	872
13.3 品質管理の手法	873
13.3.1 品質データの収集と活用	873
13.3.2 統計的手法	873
13.4 標準化の進め方	878
13.4.1 溶射全般の標準化	878
13.4.2 金属（亜鉛、アルミニウムおよびそれらの合金）溶射の作業標準	885
13.4.3 自溶合金溶射の作業標準	889
13.4.4 サーメット溶射の作業標準	893
13.4.5 セラミック溶射の作業標準	898

## 第14章 資料

14.1 溶射技術年表	903
14.2 単位換算表	907
14.3 網ふるいの目開きおよび線径	911
14.4 鋼のビッカース硬さに対する近似的換算値	912
14.5 熱電対の種類	914
14.6 熱電対の常用限度および過熱使用限度	914
14.7 溶射メーカーと溶射材料一覧	915
14.8 溶射関連のJIS 概要	916
14.9 安全作業基準書の例	917

索引	921
----	-----

英文索引	930
------	-----