

Robert Lévêque

**L'USINE
NOUVELLE**



TRAITEMENTS ET REVÊTEMENTS DE SURFACE DES MÉTAUX



DUNOD

1 • Définition et critères fonctionnels des surfaces	3
1.1 Propriétés spécifiques des surfaces	3
1.2 Critères fonctionnels des surfaces industrielles	16
1.3 Bibliographie	22
2 • Propriétés des surfaces industrielles	25
2.1 Introduction	25
2.2 Aspect, coloration	26
2.3 Réactivité	27
2.4 Biocompatibilité	28
2.5 Résistance au frottement et à l'usure	29
2.6 Résistance à la corrosion et à l'oxydation	35
2.7 Résistance à la dégradation par usure et corrosion	44
2.8 Résistance à la fatigue	49
2.9 Bibliographie	53
3 • La propreté de surface	57
3.1 Rappel de la définition d'une surface industrielle	57
3.2 Définition d'une surface propre	59
3.3 Les principales opérations de préparation de surface	59
4 • Évaluation de la propreté de surface	61
4.1 Évaluation par des méthodes de contrôle courant ou d'atelier	61
4.2 Évaluation par des techniques de laboratoire	63
4.3 Bibliographie	70
5 • L'opération de dégraissage	73
5.1 Choix du mode de dégraissage	73
5.2 Dégraissage en phase solvant	76
5.3 Dégraissage chimique en phase aqueuse	79
5.4 Dégraissage assisté par ultrasons ou par le vide	89

5.5	Dégraissage par fluide cryogénique	90
5.6	Dégraissage par fluide supercritique	93
5.7	Dégraissage assisté par plasma froid	95
5.8	Évaluation de la qualité du dégraissage	99
5.9	Bibliographie	101
6	• L'opération de décapage	103
6.1	Décapage chimique	103
6.2	Décapage électrolytique	117
6.3	Décapage mécanique des surfaces métalliques	118
6.4	Bibliographie	124
7	• L'opération de polissage	127
7.1	Polissage mécanique	127
7.2	Polissage électrolytique	130
7.3	Polissage chimique	133
7.4	Bibliographie	134
8	• Historique et enjeux	137
8.1	Historique des traitements et revêtements de surface	137
8.2	Enjeux des revêtements et traitements de surface	140
8.3	Bibliographie	142
9	• Classification des traitements et revêtements de surface	145
9.1	Traitements de surface par transformation structurale d'origine mécanique ou thermique	146
9.2	Traitements par diffusion	147
9.3	Traitements de conversion	148
9.4	Les revêtements	150
9.5	Bibliographie	155
10	• Revêtements obtenus en voie liquide	159
10.1	Dépôts électrolytiques	159
10.2	Dépôts chimiques	189
10.3	Bibliographie	196
11	• Revêtements obtenus en bains fondus	199
11.1	Dépôts par immersion dans un métal fondu	199
11.2	Dépôt par immersion dans un bain de sel fondu	206
11.3	Autres dépôts par voie liquide réalisés à chaud	208
11.4	Bibliographie	211

12 • Revêtements obtenus en phase gazeuse	213
12.1 Dépôts chimiques en phase vapeur	213
12.2 Dépôt physique en phase vapeur (PVD)	220
12.3 Propriétés des dépôts PVD, PACVD	225
12.4 Bibliographie	232
13 • Projection à chaud, rechargement, procédés divers	235
13.1 Projection à chaud	235
13.2 Rechargement	242
13.3 Procédés divers	251
13.4 Bibliographie	254
14 • Les traitements par transformation structurale	259
14.1 Transformation structurale d'origine mécanique	259
14.2 Transformation structurale d'origine thermique	268
14.3 Bibliographie	280
15 • Les traitements de diffusion	283
15.1 Cémentation	284
15.2 Carbonituration	294
15.3 Nitruration	296
15.4 Oxydation	305
15.5 Implantation ionique	309
15.6 Bibliographie	316
16 • Les traitements de conversion	319
16.1 Les traitements de conversion par voie chimique	319
16.2 Traitements de conversion par voie électrochimique	331
16.3 Oxydation anodique	334
16.4 Traitements de conversion par voie sèche	345
16.5 Bibliographie	353
17 • Introduction aux contrôles des traitements et revêtements de surface	359
17.1 Objectifs de l'opération de contrôle	359
17.2 Les différents moyens de contrôle	361
18 • Contrôle analytique	363
18.1 Rappel des principales techniques d'analyse	363

18.2	Exemples d'application des techniques d'analyse	367
18.3	Bibliographie	372
19	• Contrôle topographique et géométrique	373
19.1	Contrôle de la rugosité	373
19.2	Contrôle de l'aspect et de la brillance	376
19.3	Bibliographie	379
20	• Contrôle mécanique	381
20.1	Contrôle de la dureté	381
20.2	Évaluation des contraintes résiduelles	387
20.3	Bibliographie	394
21	• Contrôle de l'épaisseur et de l'adhérence	397
21.1	Contrôle de l'épaisseur	397
21.2	Contrôle de l'adhérence	406
21.3	Bibliographie	409
22	• Contrôle de la ductilité et de la porosité	411
22.1	Contrôle de la ductilité	411
22.2	Contrôle de la porosité	414
22.3	Bibliographie	421
23	• Aspect technico-économique et environnemental	425
23.1	Aspect technico-économique	425
23.2	Aspect environnemental	427
23.3	Bibliographie	434
24	• Perspectives d'évolution	437
24.1	Étude de cas industriels	437
24.2	Évolution des différentes technologies	448
24.3	Bibliographie	452