

Table des matières

PARTIE A : ELABORATION, MICROSTRUCTURES ET PROPRIETES DES METAUX ET ALLIAGES DE BASE

Chapitre I : DIAGRAMMES DE PHASES	1
1- Quelques rappels	1
2- Diagrammes fer carbone	3
3- Influence des éléments d'addition	8
3.1. Rôles spécifiques des éléments d'addition	8
3.2. Quelques exemples d'alliages fer-élément d'addition	10
3.3. Exemples de diagrammes fer-carbone-élément d'addition	11
4- Exercices	13
Chapitre II : SIDERURGIE	15
1- Historique	15
2- La sidérurgie française	22
2.1. Elaboration de la fonte	23
2.2. Elaboration de l'acier	28
2.3. Affinage et coulée de l'acier	32
2.4. Mise en forme et parachèvement	35
2.5. Cas de l'élaboration des aciers spéciaux	39
3- Exercices	40
Chapitre III : ELABORATION DES METAUX NON FERREUX	41
1- Métallurgie extractive : objectifs et procédés	41
2- Elaboration de l'aluminium	43
2.1. Historique	43
2.2. Domaines d'utilisation	43
2.3. Minerais et traitements	43
3- Elaboration du cuivre	45
3.1. Historique	45
3.2. Domaines d'utilisation	45
3.3. Minerais et traitements	46
4- Elaboration du zinc	47
4.1. Historique	47
4.2. Domaines d'utilisation	47
4.3. Minerais et traitements	47
5- Elaboration du nickel	49
5.1. Historique	49
5.2. Domaines d'utilisation	49
5.3. Minerais et traitements	49
6- Elaboration du magnésium	51
6.1. Historique	51
6.2. Domaines d'utilisation	51
6.3. Minerais et traitements	51
7- Elaboration de l'étain	53
7.1. Historique	53
7.2. Domaines d'utilisation	53
7.3. Minerais et traitements	53
8- Elaboration du titane	54
8.1. Historique	54
8.2. Domaines d'utilisation	54
8.3. Minerais et traitements	54
9- Elaboration du plomb	56
9.1. Historique	56

9.2. Domaines d'utilisation	56
9.3. Minerais et traitements	56
10- Exercices	58
Chapitre IV : MICROSTRUCT. ET PROPRIETES DES ACIERS NON ALLIES	59
1- Microstructures à l'état recuit	59
1.1. Evolution des microstructures avec la teneur en carbone	60
1.2. Microstructures industrielles	67
2- Modification des microstructures par recuit.....	73
3- Propriétés mécaniques des aciers	77
3.1. Rappels.....	77
3.2. Effet de la teneur en carbone.....	79
3.3. Durcissement des aciers.....	80
3.4. Température de transition de la résilience.....	82
4- Exercices	83
Chapitre V : MICROSTRUCTURES ET PROPRIETES DES FONTES.....	85
1- Fontes blanches	85
2- Fontes grises lamellaires	87
2.1. Rôle particulier du silicium.....	87
2.2. Conditions de graphitisation	88
2.3. Microstructures des fontes grises	90
2.4. Formes de graphite dans les fontes grises	91
2.5. Cas des anciennes fontes phosphoreuses	93
2.6. Fontes truitées	94
3- Fontes malléables à graphite sphéroïdal.....	97
4- Fontes malléables à cœur blanc	99
5- Fontes malléables à cœur noir.....	99
6- Fontes alliées.....	100
7- Propriétés mécaniques des fontes	101
8- Exercices	103
Chapitre VI : MICROSTRUCT. ET PROP. DES ALLIAGES NON FERREUX... 105	105
1- Propriétés de base des métaux non ferreux	105
2- Diagrammes de phases	107
3- Principaux alliages non ferreux	107
3.1. Aluminium et alliages	107
3.2. Cuivre et alliages.....	115
3.3. Zinc et alliages	119
3.4. Nickel et alliages.....	119
3.5. Magnésium et alliages.....	120
3.6. Titane et alliages	122
4- Exercices	124

PARTIE B : TRAITEMENTS THERMIQUES
--

Chapitre VII : TRAITEMENTS THERMIQUES DES ACIERS	125
1- Introduction et approche expérimentale.....	125
1.1. Décomposition anisotherme de l'austénite	127
1.2. Transformation isotherme de l'austénite.....	130
1.3. Conditions d'austénitisation.....	130
2- Transformation martensitique des aciers.....	131
2.1. Transformation martensitique.....	131
2.2. Transformation martensitique des aciers.....	134
2.3. Austénite résiduelle.....	137
3- Bainites.....	138

4- Diagrammes TRC et TTT	140
4.1. Diagrammes TRC	140
4.2. Diagrammes TTT	141
4.3. Traitements isothermes industriels	143
5- Trempabilité des aciers.....	144
5.1. Caractérisation de la trempabilité.....	144
5.2. Effets des éléments d'addition	148
6- Revenu des aciers	150
6.1. Décomposition de la martensite	151
6.2. Evolution des propriétés mécaniques lors du revenu	153
6.3. Durcissement secondaire au revenu	154
6.4. Conditions du revenu et problèmes de fragilité.....	156
7- Exercices	157
Chapitre VIII : TRAITEMENTS THERMIQUES DES FONTES	159
1- Introduction.....	159
2- Recuits des fontes	159
2.1. Contrôle de la microstructure.....	159
2.2. Relaxation des contraintes et adoucissement	160
3- Trempe martensitique	160
4- Fontes bainitiques	161
Chapitre IX : DURCISS. ET TRAIT. THERM. DES ALLIAG. NON FERREUX	163
1- Durcissement des métaux et alliages	163
2- Traitements thermiques des principaux alliages.....	166
2.1. Alliages d'aluminium.....	166
2.2. Durcissement des alliages de cuivre	169
2.3. Durcissement des alliages de zinc	172
2.4. Durcissement des alliages de nickel.....	172
2.5. Durcissement des alliages de magnésium	174
2.6. Durcissement des alliages de titane.....	174
Chapitre X : TECHNOLOGIE DES TRAITEMENTS THERMIQUES	179
1- Fours de traitements thermiques.....	179
1.1. Constitution des fours	179
1.2. Procédés de chauffage des fours	180
1.3. Chargement des fours	181
1.4. Fours batch.....	182
1.5. Fours sous vide et atmosphères basse pression	182
2- Atmosphères de traitement	184
2.1. Oxydation-réduction et carburation-décarburation	184
2.2. Rôles de l'oxygène, de hydrogène et de la vapeur d'eau.....	185
2.3. Atmosphère contenant CO et CO ₂	186
2.4. Mesure des paramètres d'une atmosphère de traitement thermique.....	188
2.5. Procédés de réalisation d'atmosphères contrôlées.....	189
3- Fluides de trempé.....	192
3.1. Drasticité et sévérité des fluides et milieux de trempé.....	192
3.2. Fluides de trempé.....	196
3.3. Cas particulier des traitements thermiques en lits fluidisés.....	198
4- Traitements thermiques en bains de sels	199
5- Défauts et anomalies des pièces traitées.....	200
5.1. Conditions de chauffage des pièces	200
5.2. Manque de dureté.....	201
5.3. Tapures et déformations.....	201
5.4. Austénite résiduelle.....	203
6- Prédiction de la réponse des aciers aux T.T.	204
7- Exercices	206

PARTIE C : FAMILLES D'ALLIAGES ET METALLURGIE DE LA MISE EN FORME
--

Chapitre XI : NOMENCLATURE	207
1- Désignation européenne des aciers	207
1.1. Classes d'aciers	208
1.2. Désignation symbolique	208
1.3. Désignation numérique	210
1.4. Symboles additionnels	210
2- Désignation européenne des fontes	211
3- Désignation de l'aluminium et de ses alliages	212
3.1. Désignation alphanumérique des alliages corroyés	212
3.2. Désignation alphanumérique des alliages de fonderie	213
3.3. Désignation symbolique	214
4- Désignation du cuivre et de ses alliages	214
5- Désignation du zinc et de ses alliages	215
5.1. Désignation symbolique	215
5.2. Désignation numérique	215
6- Désignation du nickel et de ses alliages	216
7- Désignation du magnésium et de ses alliages	216
8- Désignation du titane et de ses alliages	216
 Chapitre XII : FAMILLES D'ACIERS	 217
1- Aciers non alliés et aciers microalliés	217
2- Aciers spéciaux de construction mécanique	221
2.1. Rappel sur la classification	221
2.2. Familles d'aciers de construction	222
3- Aciers inoxydables	226
3.1. Tenue à la corrosion	226
3.2. Microstructures des aciers inoxydables	227
3.3. Familles d'aciers inoxydables	229
4- Aciers à outils	231
 Chapitre XIII : FAMILLES D'ALLIAGES NON FERREUX	 237
1- Aluminium et alliages d'aluminium	237
1.1. Alliages corroyés	237
1.2. Alliages de fonderie	238
2- Cuivre et alliages de cuivre	239
2.1. Cuivres	239
2.2. Alliages	239
3- Zinc et alliages de zinc	240
4- Nickel et alliages de nickel	240
5- Magnésium et alliages de magnésium	241
6- Titane et alliages de titane	241
 Chapitre XIV : METALLURGIE DE LA MISE EN FORME	 243
1- Emboutissage des métaux en feuille	244
1.1. Modes de déformation	244
1.2. Analyse des déformations	246
1.3. Essais d'emboutissage	247
1.4. Tôles pour emboutissage	248
2- Forgeage	250
2.1. Principes généraux	250
2.2. Traitements thermiques associés au forgeage	252

PARTIE D : INGENIERIE DES SURFACES

Chapitre XV : DOMAINES DE L'INGENIERIE DES SURFACES.....	253
1- Sollicitations des surfaces industrielles	253
2- Ingénierie des surfaces.....	254
Chapitre XVI : TREMPE SUPERFICIELLE.....	257
1- Trempe superficielle par chauffage au chalumeau.....	257
2- Trempe superficielle par chauffage inductif.....	259
2.1. Rappels des lois de l'électromagnétisme	259
2.2. Technologie du chauffage par induction	266
2.3. Aspects métallurgiques	270
3- Lasers de puissance.....	271
4- Exercices	274
Chapitre XVII : TRAITEMENTS THERMOCHIMIQUES DES ACIERS	275
1- Cémentation (par le carbone)	275
1.1. Procédés de cémentation	276
1.2. Traitements thermiques après cémentation	279
1.3. Aciers de cémentation et défauts possibles	280
2- Nituration.....	281
2.1. Diagramme fer-azote.....	281
2.2. Structures de nituration.....	283
2.3. Procédés de nituration.....	283
2.4. Aciers de nituration et défauts possibles.....	285
3- Traitements thermochimiques assistés plasma	286
3.1. Notions sur les plasmas	286
3.2. Mise en œuvre des traitements assistés plasma	287
3.3. Procédés de traitement	288
3.4. Domaines d'applications.....	289
4- Cémentations par les métaux	290
4.1. Cémentation par le zinc : shérardisation	290
4.2. Cémentation par l'aluminium : calorisation	290
4.3. Cémentation par le chrome : chromisation	290
4.4. Autres cémentations	291
5- Choix des traitements thermochimiques.....	291
6- Exercices	292
Chapitre XVIII : TRAITEMENTS ET REVETEMENTS DE SURFACE	293
1- Introduction.....	293
2- Conversion par alliation laser	294
3- Revêtements par immersion dans un métal fondu.....	294
3.1. Zingage ou Galvanisation	295
3.2. Aluminage.....	296
3.3. Etamage	296
4- Dépôts de couches épaisses : projection thermique	296
4.1. Principes communs et classement des procédés	296
4.2. Projection thermique à partir de l'énergie chimique.....	298
4.3. Projection thermique à partir de l'énergie électrique.....	298
5- Traitements hors équilibre : glaçage laser.....	300
SOLUTIONS DES EXERCICES.....	301
POUR EN SAVOIR PLUS.....	309
INDEX.....	311