

LES FONDEMENTS DE LA SCIENCE DES MATÉRIAUX

Conception, caractérisation et choix

Didier Chicot



Table des matières

CHAPITRE 1- CONSTITUTION ET STRUCTURE DE LA MATIERE	11
I. Constitution de la matière	11
1. <i>Éléments et liaisons interatomiques</i>	11
2. <i>Les solides cristallins et amorphes</i>	16
3. <i>Les défauts dans les solides cristallins</i>	18
II. Les matériaux cristallins	23
1. <i>Structure cristallographique</i>	23
2. <i>Base de cristallographie</i>	27
3. <i>Déformation plastique</i>	29
4. <i>Diffraction des Rayons X (DRX)</i>	32
III. Les céramiques, polymères et composites	36
1. <i>Les céramiques</i>	36
2. <i>Les polymères</i>	41
3. <i>Les composites</i>	47
IV. Exercices	53
1. <i>Structures cristallographiques</i>	53
2. <i>Éléments de cristallographie</i>	53
3. <i>Diffraction des Rayons X</i>	54
4. <i>Défauts dans les solides</i>	55
5. <i>Structure des céramiques</i>	55
6. <i>Structure des polymères</i>	56
7. <i>Structure des composites</i>	57
CHAPITRE 2- DIAGRAMME D'EQUILIBRE	59
I. Notions élémentaires	59
1. <i>Quelques définitions</i>	59
2. <i>Diagramme eau-sucre</i>	59
3. <i>Axe des compositions</i>	60
4. <i>Axe des températures</i>	61
5. <i>Domaines monphasé et biphasé</i>	62
II. Les différents systèmes	64
1. <i>Système à un fuseau</i>	64
2. <i>Système à un eutectique</i>	65
3. <i>Systèmes complexes</i>	70
III. Construction des diagrammes d'équilibre	71
IV. Diagramme fer-cémentite	72
1. <i>Éléments constitutifs du diagramme</i>	72
2. <i>Les aciers</i>	73
3. <i>Les fontes</i>	75
V. Exercices	78
1. <i>Composition des alliages</i>	78

2.	<i>Diagramme d'équilibre à un fuseau</i>	78
3.	<i>Construction de Tammann</i>	78
4.	<i>Diagramme d'équilibre cuivre-argent à un eutectique</i>	79
5.	<i>Diagramme d'équilibre complexe</i>	81
CHAPITRE 3- TRAITEMENT THERMIQUE ET DIFFUSION		83
I.	Concepts fondamentaux	83
II.	DIAGRAMMES TTT ET TRC	84
1.	<i>Diagramme temps température transformation (TTT)</i>	84
2.	<i>Diagramme transformation en refroidissement continu (TRC)</i>	87
III.	Trempe et revenu	90
IV.	RECUIT	91
1.	<i>Recuit de recristallisation</i>	91
2.	<i>Recuit de détente</i>	91
3.	<i>Recuit de normalisation</i>	93
4.	<i>Recuit complet</i>	93
V.	Diffusion	93
1.	<i>Généralités</i>	93
2.	<i>Mécanismes de diffusion</i>	94
3.	<i>Facteurs influant sur la diffusion</i>	98
VI.	Exercices	100
1.	<i>Cinétique de transformation</i>	100
2.	<i>Diagrammes TTT et TRC</i>	100
3.	<i>Trempe des aciers</i>	104
4.	<i>Diffusion</i>	105
CHAPITRE 4- CORROSION ET ACIERS INOXYDABLES		107
I.	Morphologie de la corrosion	107
1.	<i>Les différents types de corrosion</i>	107
2.	<i>La corrosion biologique</i>	109
II.	Phénomènes de corrosion	110
1.	<i>Réaction d'oxydoréduction</i>	110
2.	<i>Vitesse de corrosion</i>	113
3.	<i>Densité de courant de corrosion</i>	113
4.	<i>Perte de masse et diminution d'épaisseur</i>	114
III.	Diagrammes de corrosion	114
1.	<i>Diagramme d'Evans</i>	114
2.	<i>Passivité</i>	115
3.	<i>Diagramme de Pourbaix (influence du pH)</i>	116
IV.	Les aciers inoxydables	118
1.	<i>Introduction</i>	118
2.	<i>Facteurs influant la résistance à la corrosion</i>	119
3.	<i>Principes et passivation</i>	119
4.	<i>Les familles d'aciers inoxydables</i>	120
5.	<i>Rôle des éléments d'addition</i>	124
6.	<i>Structure métallurgique des aciers inoxydables</i>	125
7.	<i>Corrosion spécifique des aciers inoxydables</i>	128
V.	Exercices	130

CHAPITRE 5- PROPRIETES ET COMPORTEMENTS MECANIQUES 131

I. Notions de contrainte et de déformation en traction	131
II. Propriétés mécaniques par traction	132
1. <i>Domaine élastique</i>	132
2. <i>Domaine plastique</i>	133
III. Essai de résilience Charpy	139
1. <i>Généralités</i>	139
2. <i>Principe</i>	139
IV. Essai d'indentation.....	140
1. <i>Indentation classique : Les principaux essai de dureté</i>	140
2. <i>Indentation instrumentée</i>	144
3. <i>Effet de taille en indentation</i>	152
4. <i>Dureté des matériaux revêtus</i>	157
V. Endommagement et défaillance.....	158
1. <i>Modes de rupture</i>	158
2. <i>Concentration de contraintes</i>	160
3. <i>Théorie de la rupture fragile de Griffith</i>	161
VI. Sollicitation par fatigue.....	164
1. <i>Contraintes cycliques</i>	164
2. <i>Courbe de Wöhler</i>	165
3. <i>Amorçage et propagation des fissures</i>	166
4. <i>Vitesse de fissuration</i>	168
VII. Fluage et relaxation.....	170
1. <i>Stades d'endommagement</i>	170
2. <i>Effets liés à la contrainte et à la température</i>	171
3. <i>Lois de comportement</i>	172
VIII. Comportement mécanique des céramiques	174
IX. Comportement mécanique des polymères	176
1. <i>Facteur influant</i>	177
2. <i>Viscoélasticité</i>	177
X. Comportement mécanique des composites.....	178
1. <i>Composites à fibres continues et alignées</i>	178
2. <i>Composites à fibres discontinues et alignées</i>	180
3. <i>Composites à fibres discontinues et orientées aléatoirement</i>	181
XI. Exercices	183
1. <i>Propriétés mécaniques par traction</i>	183
2. <i>Essais d'indentation</i>	184
3. <i>Mécanique de la rupture</i>	184
4. <i>Défaillance par fatigue</i>	185
5. <i>Fluage et relaxation</i>	186
6. <i>Propriétés mécaniques des céramiques</i>	188
7. <i>Propriétés mécaniques des polymères</i>	188
8. <i>Propriétés mécaniques des composites</i>	189

CHAPITRE 6- DESIGNATION DES MATERIAUX 191

I. Désignation des aciers et des fontes	192
1. <i>Désignation des aciers non-alliés</i>	194
2. <i>Désignation des aciers faiblement alliés</i>	196

3.	<i>Désignation des aciers fortement alliés.....</i>	196
4.	<i>Désignation des aciers rapides.....</i>	197
5.	<i>Désignation des fontes.....</i>	197
II.	<i>Désignation des alliages non-ferreux.....</i>	199
1.	<i>Désignation des alliages d'aluminium.....</i>	199
2.	<i>Désignation des alliages de cuivre.....</i>	204
3.	<i>Désignation des alliages de zinc.....</i>	207
4.	<i>Désignation des alliages de nickel.....</i>	208
5.	<i>Désignation des alliages de titane.....</i>	209
III.	<i>EXERCICES.....</i>	210

CHAPITRE 7- CHOIX DES MATERIAUX..... 213

I.	<i>Conception de produit.....</i>	213
1.	<i>Préambule.....</i>	213
2.	<i>Procédure de conception de produits.....</i>	214
3.	<i>Les matériaux en conception.....</i>	215
4.	<i>Processus de conception.....</i>	217
5.	<i>Le cahier des charges.....</i>	219
6.	<i>Les outils de conception et données des matériaux.....</i>	220
7.	<i>Étapes de sélection des matériaux.....</i>	220
8.	<i>Fonction, matériau, géométrie et procédé.....</i>	221
9.	<i>La sélection multicritère dans la conception.....</i>	221
II.	<i>Classification et propriétés des matériaux.....</i>	222
1.	<i>Les grandes familles des matériaux.....</i>	222
2.	<i>Approche comparative des matériaux.....</i>	226
3.	<i>Approche hiérarchique des matériaux.....</i>	228
III.	<i>Principe de choix : Notion d'indice de performance.....</i>	229
1.	<i>Limites sur les propriétés et les indices de performance.....</i>	229
2.	<i>Indices de performance.....</i>	230
3.	<i>Étapes pour la sélection des matériaux.....</i>	233
IV.	<i>Diagramme d'Ashby pour la sélection des matériaux.....</i>	234
1.	<i>Cartes de sélection.....</i>	234
2.	<i>Utilisation des cartes de sélection.....</i>	235
V.	<i>Exercices.....</i>	236
1.	<i>Minimisation du poids d'un cadre de vélo.....</i>	236
2.	<i>Minimisation du poids d'un hayon de voiture.....</i>	237
3.	<i>Minimisation du poids d'un pied de table.....</i>	240
4.	<i>Minimisation du poids d'un poteau de carport.....</i>	241
5.	<i>Minimisation du poids d'un fond de cuve à grains.....</i>	243
6.	<i>Minimisation du poids d'un télescope.....</i>	244
7.	<i>Minimisation du poids d'un mât de planche à voile.....</i>	246

CORRECTIONS DES EXERCICES..... 249

I.	<i>Préambule.....</i>	249
II.	<i>Constitution et structure de la matière.....</i>	250
1.	<i>Structures cristallographiques.....</i>	250
2.	<i>Éléments de cristallographie.....</i>	252
3.	<i>Diffraction des rayons X.....</i>	257
4.	<i>Défauts dans les solides.....</i>	259

5.	<i>Structure des céramiques</i>	262
6.	<i>Structure des polymères</i>	264
7.	<i>Structure des composites</i>	266
III.	<i>Diagramme d'équilibre</i>	268
1.	<i>Composition des alliages</i>	268
2.	<i>Diagramme d'équilibre à un fuseau</i>	268
3.	<i>Construction de Tammann</i>	272
4.	<i>Diagramme d'équilibre Cuivre-Argent à un eutectique</i>	274
5.	<i>Diagramme d'équilibre complexe</i>	277
IV.	<i>Traitement thermique et diffusion</i>	281
1.	<i>Cinétique de transformation</i>	281
2.	<i>Diagrammes TTT et TRC</i>	284
3.	<i>Trempe des aciers</i>	289
4.	<i>Diffusion</i>	292
V.	<i>Corrosion et aciers inoxydables</i>	295
VI.	<i>Propriétés et comportements mécaniques</i>	301
1.	<i>Propriétés mécaniques par traction</i>	301
2.	<i>Essais d'indentation</i>	304
3.	<i>Mécanique de la rupture</i>	308
4.	<i>Défaillance par fatigue</i>	310
5.	<i>Fluage et relaxation</i>	314
6.	<i>Propriétés mécaniques des céramiques</i>	320
7.	<i>Propriétés mécaniques des polymères</i>	322
8.	<i>Propriétés mécaniques des composites</i>	324
VII.	<i>Désignation des matériaux</i>	327
VIII.	<i>Choix des matériaux</i>	328
1.	<i>Minimisation du poids d'un cadre de vélo</i>	328
2.	<i>Minimisation du poids d'un hayon de voiture</i>	331
3.	<i>Minimisation du poids d'un pied de table</i>	335
4.	<i>Minimisation du poids d'un poteau de carport</i>	338
5.	<i>Minimisation du poids d'un fond de cuve à grains</i>	341
6.	<i>Minimisation du poids d'un télescope</i>	343
7.	<i>Minimisation du poids d'un mât de planche à voile</i>	347
BIBLIOGRAPHIE		353