

Table des matières

Première partie L'acier du forgeron

1 Du fer primitif à l'acier du forgeron

1-1 Une longue histoire du fer	3
1-2 Les trois sources du fer primitif	4
1-3 Les procédés par réduction	6
1-4 Propagation de la culture métallurgique	8

2 Les aciers damassés

2-1 L'histoire métallurgique au fil de l'épée.	13
2-2 Les épées dans la tradition des forgerons celtes	14
2-3 Les épées mérovingiennes	16
2-4 Les épées de Damas forgées en wootz	20
2-5 Les épées corroyées et feuilletées	20
2-6 A la recherche d'un art perdu	23
2-7 Les épées asiatiques	27
2-8 Les microstructures damassées contemporaines	31

Deuxième partie

Genèse des microstructures dans les alliages de fer

3 Les phases importantes dans les aciers

3-1 Les phases du fer pur.	35
3-2 Les solutions solides	37
3-3 Transformation par mise en ordre	38
3-4 Les phases intermédiaires.	40

4 Les diagrammes de phases

4-1 Equilibres entre phases condensées	45
4-2 Diagrammes résultants d'un calcul théorique	50
4-3 Les diagrammes de phases expérimentaux	53
4-4 Le système Fe-Cr-C : nappes liquidus	54
4-5 Le système Fe-Cr-C : sections isothermes, isoplètes	58
4-6 Le système Fe-Cr-C: chemins de cristallisation	60
4-7 Le système Fe-Cr-C : domaine de l'austénite	62
4-8 Le système Fe-Cr-Ni.	66
4-9 Le système Fe-Mn-S.	69
4-10 Le système Fe-Cu-Co.	72
4-11 Le système Fe-Mo-Cr.	76
4-12 Le système Fe-C-V.	82
4-13 Les carbures mixtes	84

5 Genèse de la microstructure de solidification

5-1 Partition du soluté lors de la transformation du liquide en solide : point de vue phénoménologique	89
5-2 Partition du soluté, point de vue local.	92
5-3 L'interface en croissance	93
5-4 Evolution de la microstructure dendritique	99
5-5 Espacement des branches secondaires	104
5-6 La microstructure eutectique	107
5-7 La microstructure péritectique.	115

6 Transformation de la microstructure

en milieu liquide/solide

6-1 Les solidifications contrôlées.	121
6-2 L'analyse thermique	124
6-3 Les chemins de cristallisation	129
6-4 Les chemins de cristallisation métastables	140
6-5 La transformation péritectique	146

7 Grains, joints de grains et interfaces

7-1 Généralités	157
7-2 Caractéristiques associées aux joints de grains	163

8 La diffusion

8-1 La diffusion chimique	169
8-2 Zones affectées par la diffusion.	171
8-3 La cémentation.	177
8-4 Notion de couple de diffusion.	181
8-5 La galvanisation	182

9 La décomposition de l'austénite

9-1 Les classes de transformations en phase solide	187
9-2 Comment représenter les transformations?	188
9-3 Les mécanismes de croissance.	192
9-4 Les échanges diffusifs à l'interface	195
9-5 Formation de la ferrite et de la cémentite primaires.	200

10 La transformation perlitique

10-1 La transformation eutectoïde du système Fe-C	203
10-2 Cinétique de la transformation perlitique	207
10-3 Rôle des éléments d'addition.	208
10-4 La redissolution de la perlite	214

11 La transformation martensitique

11-1 La transformation displacive	217
11-2 Caractéristiques de la transformation	219
11-3 Morphologie de la martensite	223
11-4 Adoucissement et revenu de la martensite	227

12 La transformation bainitique

12-1 Les structures bainitiques	233
---	-----

12-2 La bainite supérieure	235
12-3 La bainite inférieure	244
13 La précipitation	
13-1 La précipitation continue	251
13-2 La précipitation discontinue	257
13-3 Evolution des précipités	259

Troisième partie

Les matériaux ferreux : aciers et fontes

14 L'optimisation des nuances d'aciers	
14-1 Qualités de comportement mécanique d'un matériau	265
14-2 Le rôle des éléments d'addition	272
14-3 Les éléments d'alliage	274
15 Macrostructures de solidification	
15-1 Les produits de solidification de l'acier	277
15-2 Structure de solidification d'un acier en coulée continue	278
15-3 La structure de solidification d'un grand lingot	281
15-4 Qualité de la structure de solidification	284
16 Macro/microstructures frittées	
16-1 Le frittage	289
16-2 Les aciers frittés en phase solide	292
16-3 Les aciers frittés avec une phase liquide transitoire	294
16-4 Les alliages frittés composites Fe-Cu-Co	295
16-5 Les aciers à haut carbone frittés	297
17 Les aciers peu alliés	
17-1 Les aciers résistants, peu alliés de construction métallique	299
17-2 Les aciers doux et extra-doux pour emboutissage	304
17-3 Les aciers multiphasés à haute limite d'élasticité, haute résistance CP, DP, TRIP	306
17-4 Les aciers ductiles à haute résistance, à effet TWIP	309
18 Les aciers à traitements thermiques	
18-1 Les traitements classiques des aciers hypoeutectoïdes	311
18-2 Les traitements spécifiques des aciers hypereutectoïdes	315
18-3 Les aciers à outils et aciers rapides	317
18-4 Le rechargement	321
19 Les aciers inoxydables	
19-1 Les aciers martensitiques riches en chrome	323
19-2 Les aciers inoxydables martensitiques durcis par précipitation	331

19-3 Les aciers inoxydables austénitiques au nickel	333
19-4 Les aciers à l'azote	338
19-5 Les aciers austénitiques au manganèse	340
19-6 Les aciers resulfurés	342
19-7 Les aciers ferritiques	344
19-8 Les aciers austéno-ferritiques	345
20 Les aciers résistant en fluage pendant une longue durée à chaud	
20-1 Les aciers ferritiques pour centrales thermiques	351
20-2 Les aciers austénitiques réfractaires	356
20-3 Les aciers durcis par précipitation	358
20-4 Les superalliages contenant du fer.	364
21 Les fontes	
21-1 Utilisation de la fonte pour les pièces moulées.	369
21-2 Phases et constituants structuraux des fontes.	370
21-3 Les fontes blanches	371
21-4 Les fontes grises	373
21-5 Les fontes à graphite nodulaire	380
22 Annexes	
22-1 Remarques générales	391
22-2 Energie d'interface.	391
22-3 Equivalents chrome et nickel	391
22-4 Quelques réactifs d'attaque classiques	392
22-5 Longueurs de diffusion	393
22-6 Détermination de la température MS	393
22-7 Effets des éléments d'alliage dans les aciers.	394
22-8 Dureté	396
23 Références	