

Table des matières

Introduction	1
Patrice PEYRE et Éric CHARKALUK	
Chapitre 1. Les microstructures des matériaux métalliques issus de fabrication additive	5
Coordonné par Christophe COLIN	
1.1. Microstructures de solidification issues des procédés de fabrication additive	9
1.1.1. Introduction	10
1.1.2. Cinétiques de croissance avec équilibre local de l'interface	14
1.1.3. Perte de l'équilibre local de l'interface à haute vitesse de solidification	15
1.1.4. Morphologies de croissance	18
1.1.5. Compétition de croissance entre microstructures	21
1.1.6. Sélection des structures de grains	24
1.1.7. Bilan sur la solidification en fabrication additive	26
1.1.8. Remerciements	27
1.2. Les microstructures des aciers	27
1.2.1. Aciers et fabrication additive	27
1.2.2. Solidification rapide des aciers en fabrication additive	29
1.2.3. Phases et transformations de phase	32
1.2.4. Mécanisme de fissuration à froid	39
1.2.5. Exemples de microstructures brutes d'élaboration	40
1.2.6. Synthèse sur les microstructures des aciers	43
1.3. Les microstructures des superalliages base nickel	44
1.3.1. Superalliages base nickel et leurs applications	44
1.3.2. Généralités sur la métallurgie des superalliages base nickel	44

1.3.3. Deux familles de superalliages	46
1.3.4. Microstructures des alliages base nickel issus de fabrication additive : cas des alliages soudables	47
1.3.5. Cas des superalliages difficilement soudables	53
1.3.6. Bilan sur les microstructures des superalliages.	59
1.4. Les microstructures des alliages de titane	59
1.4.1. Phases et transformations de phase.	60
1.4.2. Microstructures des alliages de titane issues du procédé DED (<i>Direct Energy Deposition</i>)	62
1.4.3. Microstructures des alliages de titane issues du procédé L-PBF (<i>Laser Powder Bed Fusion</i>)	67
1.4.4. Microstructures des alliages de titane issues du procédé E-PBF (<i>Electron Beam Powder Bed Fusion</i>)	73
1.4.5. Synthèse sur les microstructures des alliages de titane	78
1.5. Les microstructures des alliages d'aluminium	79
1.5.1. Microstructures induites par la technologie L-PBF (<i>Laser Powder Bed Fusion</i>)	79
1.5.2. Microstructures induites par la technologie WAAM (<i>Wire Arc Additive Manufacturing</i>) sur aluminium	87
1.5.3. Microstructures induites par la technologie DED-LMD (<i>Laser Metal Deposition</i>)	91
1.5.4. Synthèse sur les microstructures des alliages d'aluminium	92
1.6. Conclusion	93
1.7. Bibliographie	94

Chapitre 2. Les post-traitements en fabrication additive 105

Coordonné par Brigitte BACROIX

2.1. Les traitements de surface	105
2.1.1. Introduction	105
2.1.2. Les procédés en voie aqueuse.	107
2.1.3. Les procédés mécaniques	120
2.1.4. Les procédés physiques : exemple du polissage laser.	132
2.1.5. Bilan sur les traitements de surface	135
2.2. La compaction isostatique à chaud (CIC)	137
2.2.1. Introduction	137
2.2.2. Rappel des mécanismes mis en œuvre lors de la CIC et traitements standards	138
2.2.3. Principales modifications microstructurales engendrées par un post-traitement de CIC	141

2.2.4. Lien entre CIC et propriétés mécaniques pour les alliages de titane et de nickel	144
2.2.5. Synthèse sur la CIC	146
2.3. Les traitements thermiques	147
2.3.1. Les traitements de détensionnement	148
2.3.2. Les traitements d'homogénéisation	150
2.3.3. Précipitation et durcissement structural	155
2.3.4. Synthèse sur les traitements thermiques pour la fabrication additive	158
2.4. Conclusion	160
2.5. Bibliographie	160

Chapitre 3. Les propriétés d'usage des pièces élaborées par fabrication additive

169

Coordonné par Éric CHARKALUK

3.1. Propriétés mécaniques statiques	170
3.1.1. Éprouvettes	170
3.1.2. Propriétés en traction dans le cas brut de fabrication	173
3.1.3. Effet des post-traitements sur les propriétés en traction	178
3.1.4. Quelques indications sur les mécanismes de déformation	181
3.1.5. Bilan sur les propriétés en traction des alliages obtenus par fabrication additive	183
3.2. Comportement en fatigue	183
3.2.1. Propriétés générales en fatigue	184
3.2.2. Zoologie de défauts	186
3.2.3. Vivre avec les défauts	189
3.2.4. Post-traitement des pièces	194
3.2.5. Bilan sur les propriétés en fatigue des alliages obtenus par fabrication additive	195
3.3. Comportement et résistance au fluage	197
3.3.1. Mécanismes de déformation en fluage	197
3.3.2. Essais de fluage	198
3.3.3. Comportement en fluage	200
3.3.4. Endommagement, durée de vie	207
3.3.5. Bilan sur les propriétés en fluage des matériaux de fabrication additive	208
3.4. Corrosion aqueuse et à haute température des alliages élaborés par fabrication additive	208
3.4.1. Effet de la composition chimique	209
3.4.2. Effet de la microstructure	210

3.4.3. Effet des défauts d'élaboration	213
3.4.4. Effet de la rugosité de surface.	214
3.4.5. Effet des contraintes résiduelles	217
3.4.6. Effet des géométries complexes et parois minces	217
3.4.7. Effet de la pré-oxydation pendant le traitement de compaction isostatique à chaud (CIC)	218
3.4.8. Alliages développés spécifiquement pour la fabrication additive . .	218
3.4.9. Bilan sur les performances en corrosion des alliages issus de fabrication additive	219
3.5. Propriétés des matériaux architecturés	221
3.5.1. Exemples d'application	222
3.5.2. Spécificités liées à la fabrication additive de matériaux architecturés.	233
3.5.3. Bilan sur les propriétés des matériaux architecturés.	245
3.6. Conclusion	246
3.7. Bibliographie.	246
Conclusion	263
Patrice PEYRE et Éric CHARKALUK	
Liste des abréviations	265
Liste des auteurs	277
Index	279
Sommaire de <i>La fabrication additive des alliages métalliques 1</i> . .	283