

Table des matières

Introduction	1
Patrice PEYRE et Éric CHARKALUK	
Chapitre 1. Les procédés de fabrication additive métallique	5
Coordonné par Patrice PEYRE	
1.1. Le procédé DED-LMD	8
1.1.1. Bref historique du procédé	8
1.1.2. Éléments de base du procédé	8
1.1.3. Présentation et influence des paramètres du procédé	12
1.1.4. Cycles thermiques induits par le procédé	18
1.1.5. Types de matériaux concernés	20
1.1.6. Microstructures des pièces fabriquées ou réparées	20
1.1.7. Systèmes industriels	21
1.2. Le procédé L-PBF	26
1.2.1. Distinction entre frittage et fusion laser	26
1.2.2. Intérêts et souhaits des industriels	27
1.2.3. Principe et éléments de base du procédé	29
1.2.4. Types de matériaux concernés	33
1.2.5. Présentation et influence des paramètres opératoires du procédé	33
1.2.6. Comparaison du procédé L-PBF avec le procédé DED.	37
1.2.7. Conception et stratégie de fabrication d'une pièce	38
1.2.8. Domaine des bains stables adaptés à la construction	42
1.2.9. Optimisation de la fabrication L-PBF de pièces 3D.	43

1.3. Le procédé de fusion sur lit de poudres par un faisceau d'électrons E-PBF (<i>Electron Powder Bed Fusion</i>)	44
1.3.1. Introduction	44
1.3.2. Mise en œuvre du procédé E-PBF	45
1.3.3. Optimisation des conditions de fusion et défauts caractéristiques	53
1.3.4. Autres caractéristiques du procédé E-PBF	58
1.3.5. Conclusion partielle sur l'E-PBF.	63
1.4. Le procédé de dépôt de matière par fusion de fil à l'arc électrique (WAAM).	64
1.4.1. Technologies de fabrication additive par procédé arc/fil	64
1.4.2. Paramètres procédés en dépôt WAAM	68
1.4.3. Mise en œuvre des matériaux	70
1.4.4. Contraintes résiduelles et distorsions	73
1.4.5. Parachèvement ou finition.	74
1.4.6. Chaîne numérique : contrôle en ligne	75
1.4.7. Conclusion	78
1.5. Les procédés émergents	78
1.5.1. Fabrication indirecte par frittage laser sélectif et infiltration.	78
1.5.2. Fabrication indirecte par MBJ (<i>Metal Binder Jetting</i>)	84
1.5.3. Fabrication directe à l'état solide, sans fusion	87
1.6. Conclusion	93
1.7. Bibliographie.	95

Chapitre 2. La matière première : les poudres et les fils métalliques 103

Coordonné par Marc THOMAS

2.1. Les poudres métalliques	103
2.1.1. Introduction	103
2.1.2. Élaboration des poudres	105
2.1.3. Propriétés physico-chimiques des poudres	121
2.1.4. Propriétés rhéologiques des poudres.	123
2.1.5. Influence des poudres sur les procédés et les propriétés finales.	131
2.1.6. Normalisation	135
2.1.7. En résumé	136
2.2. Les fils métalliques	136
2.2.1. Introduction	136
2.2.2. Élaboration des fils	139
2.2.3. Utilisation de fils d'apport en fabrication additive.	142

2.2.4. Influence des fils sur les procédés et les propriétés finales	144
2.2.5. En résumé	155
2.3. Bibliographie	155

Chapitre 3. La physique des procédés de fabrication additive métallique

159

Coordonné par Patrice PEYRE

3.1. L'interaction énergie-poudre-zone fondue dans les procédés additifs par fusion laser	159
3.1.1. Introduction	159
3.1.2. Rappel des grandeurs physiques essentielles	160
3.1.3. Absorption du rayonnement et transfert de chaleur : différents régimes d'interaction pour différents procédés	161
3.1.4. Cycles thermiques locaux : influence des conditions aux limites	170
3.1.5. Hydrodynamique des zones fondues et défauts associés	172
3.1.6. Conclusion partielle sur la physique des procédés de fabrication additive laser	178
3.2. La physique du procédé E-PBF	179
3.2.1. Introduction	179
3.2.2. Rappel des grandeurs physiques essentielles caractéristiques de l'interaction électron-matière	179
3.2.3. Les phénomènes induits lors de l'interaction électron-matière	181
3.2.4. Absorption d'énergie dans la poudre en E-PBF	185
3.2.5. Description de la zone fondue en E-PBF et défauts associés	188
3.2.6. Conclusion partielle sur l'E-PBF	190
3.3. Physique du procédé WAAM	191
3.3.1. Rappel des grandeurs physiques essentielles	191
3.3.2. Interaction arc-fil-dépôt	193
3.3.3. Forme des dépôts et défauts associés	200
3.4. Conclusion	203
3.5. Bibliographie	203

Chapitre 4. La simulation numérique des procédés de fabrication additive

209

Coordonné par Muriel CARIN

4.1. Simulation thermo-hydrodynamique	209
4.1.1. Description des phénomènes physiques	209
4.1.2. Modélisation de l'apport de chaleur	211

4.1.3. Modélisation de l'apport de matière	215
4.1.4. Méthodes numériques pour simuler la construction du dépôt . . .	216
4.1.5. Modélisation du transfert de chaleur et de masse dans le bain. . .	218
4.1.6. Exemples de simulations thermo-hydrodynamiques	221
4.2. Simulation thermomécanique	231
4.2.1. Simulation à l'échelle de la pièce : différentes techniques	233
4.2.2. Résolution thermique.	234
4.2.3. Résolution métallurgique	236
4.2.4. Résolution mécanique	241
4.2.5. Couplage	243
4.2.6. Application à l'échelle mésoscopique : contraintes locales de fabrication	245
4.2.7. Application à l'échelle macroscopique	245
4.2.8. Logiciels et codes de calcul dédiés à la fabrication additive	249
4.3. Conclusion	249
4.4. Bibliographie.	250
Conclusion	255
Patrice PEYRE et Éric CHARKALUK	
Liste des abréviations	257
Liste des auteurs	269
Index	273
Sommaire de <i>La fabrication additive des alliages métalliques 2</i> . . .	275