

Περιεχόμενα

Πρόλογος	15	1.10 Ασκήσεις	34
Ευχαριστίες	18	Βιβλιογραφικές αναφορές	34
1 Εισαγωγή και βασικές αρχές	19	2 Η εξέλιξη της τεχνολογίας της προσθετικής κατασκευής	35
1.1 Τι είναι η προσθετική κατασκευή;	19	2.1 Εισαγωγή	35
1.2 Ποια είναι η χρήση των αντικειμένων AM;	21	2.2 Υπολογιστές	35
1.3 Γενικά η διεργασία της AM	21	2.3 Τεχνολογία Computer-Aided Design (CAD)	37
1.3.1 Βήμα 1: CAD	22	2.4 Άλλες σχετικές τεχνολογίες	41
1.3.2 Βήμα 2: Μετατροπή σε αρχείο STL	22	2.4.1 Lasers	41
1.3.3 Βήμα 3: Μεταφορά στη μηχανή AM και επεξεργασία του αρχείου STL	22	2.4.2 Τεχνολογίες εκτύπωσης	42
1.3.4 Βήμα 4: Προετοιμασία της μηχανής	23	2.4.3 Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές	42
1.3.5 Βήμα 5: Κατασκευή	23	2.4.4 Υλικά	43
1.3.6 Βήμα 6: Απομάκρυνση	23	2.4.5 Κατεργασία Computer Numerically Controlled	44
1.3.7 Βήμα 7: Μετεπεξεργασία	23	2.5 Η χρήση στρώσεων υλικού	44
1.3.8 Βήμα 8: Εφαρμογή	23	2.6 Ταξινόμηση των διεργασιών AM	45
1.4 Γιατί χρησιμοποιούμε τον όρο «προσθετική κατασκευή» (Additive Manufacturing);	24	2.6.1 Συστήματα με πολυμερή υγρής κατάστασης	47
1.4.1 Αυτοματοποιημένη κατασκευή (Automated Fabrication - Autofab)	24	2.6.2 Συστήματα με διακριτά σωματίδια	47
1.4.2 Κατασκευή ελεύθερης μορφής ή κατασκευή ελεύθερης μορφής στερεού (Freeform Fabrication or Solid Freeform Fabrication)	24	2.6.3 Συστήματα με τηγμένα υλικά	48
1.4.3 Προσθετική κατασκευή ή στρωματική κατασκευή (Additive Manufacturing or Layer-Based Manufacturing)	24	2.6.4 Συστήματα με φύλλα στερεού υλικού	49
1.4.4 Στερεολιθογραφία ή 3D εκτύπωση (Stereolithography or 3D Printing)	25	2.6.5 Νέες μέθοδοι ταξινόμησης της AM	49
1.4.5 Ταχεία πρωτοτυποποίηση (Rapid Prototyping)	25	2.7 Συστήματα με μεταλλικά υλικά	50
1.5 Τα πλεονεκτήματα της AM	26	2.8 Υβριδικά συστήματα	51
1.6 Η διαφορά της AM από την κατεργασία CNC	27	2.9 Ορόσημα στην ανάπτυξη της AM	52
1.6.1 Υλικό	27	2.10 Η AM παγκοσμίως	53
1.6.2 Ταχύτητα	27	2.11 Ποιο είναι το μέλλον; Η ταχεία πρωτοτυποποίηση μετεξελιίσεται σε άμεση ψηφιακή κατασκευή	54
1.6.3 Πολυπλοκότητα	28	2.12 Ασκήσεις	55
1.6.4 Ακρίβεια	28	Βιβλιογραφικές αναφορές	56
1.6.5 Γεωμετρία	28	3 Η αλυσίδα της γενικευμένης διεργασίας προσθετικής κατασκευής	57
1.6.6 Προγραμματισμός	29	3.1 Εισαγωγή	57
1.7 Παράδειγμα κομματιών AM	29	3.2 Τα οκτώ βήματα στην προσθετική κατασκευή	58
1.8 Άλλες συναφείς τεχνολογίες	31	3.2.1 Βήμα 1: Σύλληψη της ιδέας και CAD	58
1.8.1 Τεχνολογία αντίστροφης μηχανικής	31	3.2.2 Βήμα 2: Μετατροπή σε αρχείο STL/AMF	59
1.8.2 Μελέτη με την βοήθεια Η/Υ (Computer Aided Engineering)	32	3.2.3 Βήμα 3: Μεταφορά στη μηχανή AM και διαχείριση του αρχείου STL	60
1.8.3 Απτικό CAD	32	3.2.4 Βήμα 4: Προετοιμασία της μηχανής	61
1.9 Το παρόν σύγγραμμα	33	3.2.5 Βήμα 5: Κατασκευή	61
		3.2.6 Βήμα 6: Απομάκρυνση και καθαρισμός	62
		3.2.7 Βήμα 7: Μετεπεξεργασία	62

3.2.8	Βήμα 8: Εφαρμογή	62	4.5.3	Φωτοαχύτητα	90
3.3	Διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιμέρους μηχανών AM	63	4.5.4	Χρονικές κλίμακες	91
3.3.1	Συστήματα που βασίζονται σε φωτοπολυμερή	64	4.6	VP μηχανές διανυσματικής σάρωσης	92
3.3.2	Συστήματα που βασίζονται σε πούδρα	64	4.7	Μοτίβα σάρωσης	95
3.3.3	Συστήματα τηγμένου υλικού	65	4.7.1	Φαινόμενα και σφάλματα της στρωματικής κατασκευής	95
3.3.4	Φύλλα στερεού υλικού	65	4.7.2	WEAVE	96
3.4	Συστήματα με μέταλλα	65	4.7.3	STAR-WEAVE	97
3.4.1	Η χρήση υποστρωμάτων	66	4.7.4	Μοτίβο σάρωσης ACES	99
3.4.2	Ενεργειακή πυκνότητα	66	4.8	Φωτοπολυμερισμός σε μικρο-κάδο με διανυσματική σάρωση	102
3.4.3	Βάρος	66	4.9	Τεχνολογίες και διεργασίες VP προβολής με μάσκα	103
3.4.4	Ακρίβεια	66	4.9.1	Τεχνολογία VP προβολής με μάσκα	104
3.4.5	Ταχύτητα	66	4.9.2	Εμπορικά MPVP συστήματα	105
3.5	Συντήρηση εξοπλισμού	67	4.9.3	MPVP μοντελοποίηση	106
3.6	Ζητήματα αναφορικά με τη διαχείριση των υλικών	67	4.10	Πολυμερισμός δυο-φωτονίων σε κάδο	107
3.7	Σχεδιασμός για AM	68	4.11	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διεργασίας	108
3.7.1	Προσανατολισμός κομματιού	68	4.12	Σύνοψη	109
3.7.2	Αφαίρεση των στηριγμάτων	69	4.13	Ασκήσεις	110
3.7.3	Κομμάτια με κοίλα τοιχώματα	69		Βιβλιογραφικές αναφορές	111
3.7.4	Ενσωμάτωση υποκοπών και άλλων κατασκευαστικών περιοριστικών χαρακτηριστικών	70	5	Διεργασίες σύντηξης πούδρας σε κλίνη	115
3.7.5	Συνδεδετικά χαρακτηριστικά	70	5.1	Εισαγωγή	115
3.7.6	Μείωση αριθμού κομματιών στο συναρμολογημένο σύνολο	70	5.2	Υλικά	117
3.7.7	Σήμανση/Αριθμοί αναγνώρισης	71	5.2.1	Πολυμερή και σύνθετα	117
3.8	Περιοχές εφαρμογών που δεν εμπλέκουν τη συμβατική μοντελοποίηση CAD	71	5.2.2	Μέταλλα και σύνθετα	118
3.8.1	Κατασκευή ιατρικών μοντέλων	72	5.2.3	Κεραμικά και σύνθετα κεραμικών	119
3.8.2	Δεδομένα αντίστροφης μηχανικής	72	5.3	Μηχανισμοί σύντηξης της πούδρας	120
3.8.3	Κατασκευή αρχιτεκτονικών μοντέλων	72	5.3.1	Συσσωμάτωση στερεάς κατάστασης	120
3.9	Περαιτέρω εξέταση	72	5.3.2	Χημικά προκαλούμενη συσσωμάτωση	122
3.10	Ασκήσεις	73	5.3.3	LPS και μερική τήξη	123
	Βιβλιογραφικές αναφορές	74	5.3.4	Πλήρης τήξη	126
			5.3.5	Κατασκευή κομματιού	127
4	Διεργασίες φωτοπολυμερισμού σε κάδο	75	5.4	Παράμετροι διεργασίας και μοντελοποίηση	129
4.1	Εισαγωγή	75	5.4.1	Παράμετροι διεργασίας	129
4.2	Υλικά της διεργασίας φωτοπολυμερισμού σε κάδο	77	5.4.2	Συσχετίσεις της προστιδόμενης ενέργειας και μοτίβα σάρωσης	131
4.2.1	Φωτοπολυμερή UV-πολυμερισμού	77	5.5	Διαχείριση της πούδρας	133
4.2.2	Επισκόπηση χημείας φωτοπολυμερών	79	5.5.1	Ζητήματα αναφορικά με τη διαχείριση της πούδρας	133
4.2.3	Συνθέσεις ρητίνης και μηχανισμοί αντίδρασης	81	5.5.2	Συστήματα διαχείρισης της πούδρας	134
4.3	Ταχύτητες αντίδρασης	84	5.5.3	Ανακύκλωση της πούδρας	136
4.4	Φωτοπολυμερισμός σε κάδο με σάρωση laser	84	5.6	Παραλλαγές διεργασιών PBF και μηχανές του εμπορίου	137
4.5	Μοντελοποίηση διεργασίας φωτοπολυμερισμού	85	5.6.1	Συσσωμάτωση πολυμερών με laser	137
4.5.1	Ένταση ακτινοβολίας και έκθεση	86	5.6.2	Συστήματα laser για μέταλλα και κεραμικά	140
4.5.2	Αλληλεπίδραση laser - ρητίνης	88	5.6.3	Τήξη με δέσμη ηλεκτρονίων	142

5.6.4	Γραμμικές και διαστρωματικές PBF διεργασίες για πολυμερή	145	7.3.3	Συνεχής τύπος εναπόθεσης	188
5.7	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διεργασίας	148	7.3.4	DOD τύπος εναπόθεσης	189
5.8	Συμπεράσματα	149	7.3.5	Άλλες μέθοδοι σχηματισμού σταγονιδίων	190
5.9	Ασκήσεις	149	7.4	Μοντελοποίηση της διεργασίας εναπόθεσης υλικού	191
	Βιβλιογραφικές αναφορές	150	7.5	Μηχανές εναπόθεσης υλικού	195
6	Συστήματα εξώθησης υλικού	151	7.6	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διεργασίας	198
6.1	Εισαγωγή	151	7.7	Σύνοψη	198
6.2	Βασικές αρχές	152	7.8	Ασκήσεις	199
6.2.1	Τροφοδότηση με υλικό	152		Βιβλιογραφικές αναφορές	201
6.2.2	Ρευστοποίηση	153	8	Εναπόθεση συγκολλητικής ουσίας	203
6.2.3	Εξώθηση	154	8.1	Εισαγωγή	203
6.2.4	Στερεοποίηση	156	8.2	Υλικά	205
6.2.5	Σημειακός έλεγχος	157	8.2.1	Υλικά που διατίθενται στο εμπόριο	205
6.2.6	Συγκόλληση	158	8.2.2	Κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται στο ερευνητικό πεδίο	206
6.2.7	Δημιουργία στηριγμάτων	159	8.3	Παραλλαγές της διεργασίας	207
6.3	Σχεδιογράφηση και έλεγχος διαδρομής κεφαλής εξώθησης	160	8.4	Μηχανές εναπόθεσης συγκολλητικής ουσίας	210
6.4	Κατασκευή με εναπόθεση τηγμένου υλικού – FDM από τη Stratasys	163	8.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διεργασίας	212
6.4.1	Τύποι FDM μηχανών	164	8.6	Σύνοψη	213
6.5	Υλικά	165	8.7	Ασκήσεις	214
6.6	Περιορισμοί της FDM	167		Βιβλιογραφικές αναφορές	215
6.7	Βιοεξώθηση	168	9	Διεργασίες επάλληλων φύλλων	217
6.7.1	Σχηματισμός γέλης	169	9.1	Εισαγωγή	217
6.7.2	Εξώθηση τήγματος	169	9.1.1	Συγκόλληση με κόλλα	218
6.7.3	Αρχιτεκτονική ικριωμάτων	170	9.1.2	Διεργασίες τύπου «συγκόλληση μετά διαμόρφωση»	218
6.8	Άλλα συστήματα	171	9.1.3	Διεργασίες τύπου «διαμόρφωση μετά συγκόλληση»	219
6.8.1	Διάπλαση περιγράμματος	171	9.2	Υλικά	221
6.8.2	Μη επίπεδα συστήματα	171	9.3	Βασικές αρχές επεξεργασίας υλικών	223
6.8.3	FDM κεραμικών	173	9.3.1	Θερμική συγκόλληση	223
6.8.4	Reprap και Fab@home	173	9.3.2	Σύσφιξη μεταλλικών φύλλων	224
6.9	Ασκήσεις	174	9.4	Προσθετική κατασκευή με υπερήχους	224
	Βιβλιογραφικές αναφορές	175	9.4.1	Ποιότητα συγκόλλησης UAM	227
7	Εναπόθεση υλικού	177	9.4.2	Βασικές αρχές διεργασίας συγκόλλησης μετάλλων με υπερήχους	227
7.1	Εξέλιξη της εκτύπωσης σε διεργασία προσθετικής κατασκευής	177	9.4.3	Παράμετροι και βελτιστοποίηση της διεργασίας UAM	229
7.2	Υλικά για τη διεργασία εναπόθεσης υλικού	178	9.4.4	Μικροδομές και μηχανικές ιδιότητες των κομματιών UAM	230
7.2.1	Πολυμερή	178	9.4.5	Εφαρμογές της UAM	233
7.2.2	Κεραμικά	181	9.5	Συμπεράσματα	237
7.2.3	Μέταλλα	182	9.6	Ασκήσεις	237
7.2.4	Εναπόθεση μέσω διαλύματος και εναιωρήματος	184		Βιβλιογραφικές αναφορές	238
7.3	Βασικές αρχές της επεξεργασίας υλικών	185			
7.3.1	Οι τεχνικές προκλήσεις της εναπόθεσης υλικού	185			
7.3.2	Τεχνολογίες σχηματισμού σταγονιδίων	187			

10	Διεργασίες εναπόθεσης με κατευθυνόμενη ενεργειακή δέσμη	239			
10.1	Εισαγωγή	239			
10.2	Γενική περιγραφή της DED διεργασίας	241			
10.3	Τροφοδοσία υλικού	242			
10.3.1	Τροφοδοσία πούδρας	242			
10.3.2	Τροφοδοσία νήματος	245			
10.4	Συστήματα DED	245			
10.4.1	Διεργασίες εναπόθεσης μετάλλου με laser	245			
10.4.2	Διεργασίες εναπόθεσης μετάλλων με δέσμη ηλεκτρονίων	248			
10.4.3	Άλλες διεργασίες DED	249			
10.5	Παράμετροι επεξεργασίας	249			
10.6	Τυπικά υλικά και μικροδομή	250			
10.7	Σχέσεις μεταξύ επεξεργασίας, δομής, ιδιοτήτων	252			
10.8	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της DED	256			
10.9	Ασκήσεις	258			
	Βιβλιογραφικές αναφορές	258			
11	Τεχνολογίες άμεσης εγγραφής	259			
11.1	Εισαγωγή	259			
11.2	Πλαίσιο ανάλυσης	259			
11.3	Διεργασίες DW με μελάνη	260			
11.3.1	Διεργασίες διάστρωσης με ακροφύσιο	261			
11.3.2	Διεργασίες τύπου πένα	262			
11.3.3	Διεργασίες inkjet εκτύπωσης	264			
11.3.4	DW αερολύματος	265			
11.4	DW μεταφοράς με laser	266			
11.5	DW θερμικού ψεκασμού	268			
11.6	DW εναπόθεσης δέσμης	269			
11.6.1	CVD με laser	270			
11.6.2	CVD εστιασμένης δέσμης ιόντων	271			
11.6.3	CVD δέσμης ηλεκτρονίων	272			
11.7	Άμεση εναπόθεση υγρής κατάστασης	272			
11.8	Προσεγγίσεις αποτύπωσης δέσμης στην προσθετική/αφαιρετική DW	273			
11.8.1	Αποτύπωση με δέσμη ηλεκτρονίων	273			
11.8.2	Αποτύπωση με εστιασμένη δέσμη ιόντων	274			
11.8.3	Αποτύπωση με δέσμη laser	274			
11.9	Υβριδικές τεχνολογίες	274			
11.10	Εφαρμογές των τεχνολογιών άμεσης εγγραφής	275			
11.11	Ασκήσεις	277			
	Βιβλιογραφικές αναφορές	277			
12	Η επίδραση των συστημάτων AM χαμηλού κόστους	279			
12.1	Εισαγωγή	279			
12.2	Πνευματική ιδιοκτησία	280			
12.3	Ανατρεπτική καινοτομία	282			
12.3.1	Ριζικά νεωτεριστικές επιχειρηματικές ευκαιρίες	282			
12.3.2	Το ενδιαφέρον των μέσων ενημέρωσης	283			
12.4	Το κίνημα «Maker»	284			
12.5	Το μέλλον της AM χαμηλού κόστους	286			
12.6	Ασκήσεις	286			
	Βιβλιογραφικές αναφορές	286			
13	Οδηγίες για την επιλογή διεργασίας	287			
13.1	Εισαγωγή	287			
13.2	Μέθοδοι επιλογής κατασκευαστικής διεργασίας	288			
13.2.1	Θεωρία αποφάσεων	288			
13.2.2	Μέθοδοι προσδιορισμού εφικτότητας	289			
13.2.3	Μέθοδοι επιλογής	290			
13.2.4	Παράδειγμα επιλογής	293			
13.3	Προβλήματα και προκλήσεις της διαδικασίας επιλογής	296			
13.4	Παράδειγμα συστήματος για προκαταρκτική επιλογή	299			
13.5	Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής	303			
13.5.1	Προγραμματισμός παραγωγής	304			
13.5.2	Προεπεξεργασία	305			
13.5.3	Κατασκευή κομματιού	305			
13.5.4	Μετεπεξεργασία	306			
13.5.5	Σύνοψη	306			
13.6	Ανοικτά θέματα	306			
13.7	Ασκήσεις	307			
	Βιβλιογραφικές αναφορές	308			
14	Μετεπεξεργασία	309			
14.1	Εισαγωγή	309			
14.2	Αφαίρεση στηριγμάτων	309			
14.2.1	Μετεπεξεργασία των φυσικών στηριγμάτων	309			
14.2.2	Αφαίρεση των συνθετικών στηριγμάτων	311			
14.3	Βελτίωση επιφανειακής υφής	313			
14.4	Βελτίωση κατασκευαστικής ακρίβειας	314			
14.4.1	Πηγές σφαλμάτων	314			
14.4.2	Προεπεξεργασία του μοντέλου για αντιστάθμιση σφαλμάτων	315			
14.4.3	Στρατηγική κατεργασίας	316			
14.5	Αισθητικές βελτιώσεις	320			
14.6	Προετοιμασία για χρήση ως πρότυπο χύτευσης	321			
14.6.1	Πρότυπα χύτευσης ακριβείας	321			

14.6.2	Πρότυπα χύτευσης σε άμμο	322	16.5	Παραγωγή έναντι πρωτοτυποποίησης	360
14.6.3	Άλλες μέθοδοι αναπαραγωγής με πρότυπα χύτευσης	323	16.6	Υπολογισμός κόστους	362
14.7	Βελτιώσεις ιδιοτήτων με μη θερμικές τεχνικές	324	16.6.1	Μοντέλο κόστους	363
14.8	Βελτιώσεις ιδιοτήτων με θερμικές τεχνικές	325	16.6.2	Μοντέλο χρόνου κατασκευής	364
14.9	Συμπεράσματα	327	16.6.3	Παράδειγμα εφαρμογής σε διεργασία φωτοπολυμερισμού σε κάδο με laser	367
14.10	Ασκήσεις	328	16.7	Κόστος κύκλου ζωής του κομματιού	369
	Βιβλιογραφικές αναφορές	328	16.8	Το μέλλον της DDM	370
15	Θέματα λογισμικού προσθετικής κατασκευής	329	16.9	Ασκήσεις	371
15.1	Εισαγωγή	329		Βιβλιογραφικές αναφορές	373
15.2	Προετοιμασία των CAD μοντέλων: Το STL αρχείο	330	17	Σχεδιασμός για προσθετική κατασκευή	375
15.2.1	Το πρότυπο STL αρχείου, δυαδικό/ASCII	330	17.1	Σκοπιμότητα	376
15.2.2	Δημιουργία STL αρχείων, από CAD σύστημα	331	17.2	Σχεδιασμός για παραγωγή και συναρμολόγηση	377
15.2.3	Υπολογισμός του περιγράμματος της κατασκευαστικής στρώσης/διατομής	332	17.3	Οι μοναδικές δυνατότητες της AM	380
15.2.4	Στοιχεία που εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη τεχνολογία	336	17.3.1	Πολυπλοκότητα μορφής	380
15.3	Προβλήματα των STL αρχείων	338	17.3.2	Ιεραρχικά διαβαθμισμένη πολυπλοκότητα	381
15.4	Διαχείριση του STL αρχείου	341	17.3.3	Λειτουργική πολυπλοκότητα	382
15.4.1	Απεικονιστές	341	17.3.4	Πολυπλοκότητα του υλικού	384
15.4.2	Διαχείριση του STL αρχείου στην AM μηχανή	342	17.4	Κύριες έννοιες και αντικειμενικοί σκοποί του DFAM	385
15.5	Πέρα από το STL αρχείο	343	17.4.1	Πολύπλοκη γεωμετρική μορφή	386
15.5.1	Απευθείας τεμαχισμός του CAD μοντέλου	343	17.4.2	Ενσωματωμένα συναρμολογημένα σύνολα	386
15.5.2	Έγχρωμα μοντέλα	344	17.4.3	Εξατομικευμένη γεωμετρική μορφή	387
15.5.3	Πολλαπλά υλικά	344	17.4.4	Πολυλειτουργικές σχεδιαστικές λύσεις	387
15.5.4	Χρήση του STL αρχείου για μηχανουργικές κατεργασίες	345	17.4.5	Κατάργηση των περιορισμών του συμβατικού DFM	387
15.6	Επιπρόσθετο λογισμικό για την υποβοήθηση της AM	346	17.5	Διερευνώντας τις σχεδιαστικές ελευθερίες	388
15.6.1	Επισκόπηση λειτουργιών λογισμικού	346	17.5.1	Ενοποίηση και ανασχεδιασμός κομματιών	388
15.6.2	Προσομοιώσεις AM διεργασίας χρησιμοποιώντας την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων	347	17.5.2	Ιεραρχικά διαρθρωμένες δομές	389
15.7	Το πρότυπο αρχείου προσθετικής κατασκευής	348	17.5.3	Εφαρμογές βιομηχανικού σχεδιασμού	391
15.8	Ασκήσεις	350	17.6	Εργαλεία CAD για AM	392
	Βιβλιογραφικές αναφορές	350	17.6.1	Οι προκλήσεις για το CAD	393
16	Άμεση ψηφιακή κατασκευή	351	17.6.2	Συστήματα CAD στερεάς μοντελοποίησης	394
16.1	Η εταιρεία Align Technology	351	17.6.3	Τεχνολογίες CAD με δυνατότητες και προοπτικές	396
16.2	Οι εταιρείες Siemens και Phonak	353	17.7	Μέθοδοι σχεδιαστικής σύνθεσης	399
16.3	Εξατομικευμένη κατασκευή υποδήματος και άλλα παραδείγματα DDM	355	17.7.1	Θεωρητικά βέλτιστες κατασκευές με μικρό βάρος	400
16.4	Παράγοντες που ευνοούν την άμεση ψηφιακή κατασκευή – DDM	358	17.7.2	Μέθοδοι βελτιστοποίησης	400
			17.7.3	Τοπολογική βελτιστοποίηση	401
			17.8	Σύνοψη	406
			17.9	Ασκήσεις	406
				Βιβλιογραφικές αναφορές	407

18 Ταχεία κατασκευή εργαλείων παραγωγής	409	19.5 Περιορισμοί στη χρήση της AM σε ιατρικές εφαρμογές	432
18.1 Εισαγωγή	409	19.5.1 Ταχύτητα	432
18.2 Άμεση κατασκευή ένθετων μητρών με AM για χύτευση έγχυσης	411	19.5.2 Κόστος	433
18.3 Ηλεκτρόδια EDM	415	19.5.3 Ακρίβεια	433
18.4 Χύτευση ακριβείας	415	19.5.4 Υλικά	433
18.5 Άλλα συστήματα	417	19.5.5 Ευκολία χρήσης	434
18.5.1 Εργαλεία διαμόρφωσης υπό κενό	417	19.6 Περαιτέρω εξέλιξη των ιατρικών εφαρμογών της AM	434
18.5.2 Εργαλεία χύτευσης χαρτοπολτού	417	19.6.1 Εγκρίσεις	434
18.5.3 Καλούπια διαμόρφωσης σύνθετων υλικών	418	19.6.2 Ασφαλιστική κάλυψη	435
18.5.4 Εργαλεία συναρμολόγησης και μετροτεχνικοί οδηγοί	418	19.6.3 Τεχνική εκπαίδευση	435
18.6 Ασκήσεις	419	19.6.4 Χωροταξική διευθέτηση της τεχνολογίας	435
Βιβλιογραφικές αναφορές	420	19.6.5 Γραφεία παροχής υπηρεσιών	436
19 Εφαρμογές προσθετικής κατασκευής	421	19.7 Εφαρμογές στην αεροδιαστημική	436
19.1 Εισαγωγή	421	19.7.1 Χαρακτηριστικά που ευνοούν την AM	436
19.2 Ιστορική αναδρομή	422	19.7.2 Βιομηχανική παραγωγή	437
19.2.1 Η αξία των φυσικών μοντέλων	422	19.8 Εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία	439
19.2.2 Λειτουργικές δοκιμές	423	19.9 Ασκήσεις	440
19.2.3 Ταχεία κατασκευή εργαλείων παραγωγής	424	Βιβλιογραφικές αναφορές	441
19.3 Η χρήση της AM σε ιατρικές εφαρμογές	425	20 Επιχειρηματικές ευκαιρίες και μελλοντικές κατευθύνσεις	443
19.3.1 Χειρουργικά και διαγνωστικά βοηθήματα	426	20.1 Εισαγωγή	443
19.3.2 Ανάπτυξη προθέσεων/τεχνητών μελών	427	20.2 Τι είναι το νέο που έρχεται;	445
19.3.3 Παραγωγή	429	20.2.1 Νέα είδη προϊόντων	445
19.3.4 Δημιουργία τεχνητών ιστών και εκτύπωση οργάνων	429	20.2.2 Νέοι τρόποι εταιρικής οργάνωσης	446
19.4 Λογισμικό υποστήριξης ιατρικών εφαρμογών	430	20.2.3 Νέες μορφές απασχόλησης	448
		20.3 Digipreneurship	450
		20.4 Συμπεράσματα	452
		20.5 Ασκήσεις	453
		Βιβλιογραφικές αναφορές	453