

Πρόλογος

Η πλήρης κατανόηση της συσχέτισης μεταξύ της δομής και των ιδιοτήτων των υλικών αποτελεί την βασική προϋπόθεση όχι μόνο της δυνατότητας επιλογής του καταλληλότερου υλικού για συγκεκριμένη εφαρμογή, αλλά και της ανάπτυξης νέων υλικών.

Το βιβλίο αυτό παρουσιάζει την *τριπλή συσχέτιση* μεταξύ *δομής, ιδιοτήτων και κατεργασιών των υλικών* και αναφέρεται στα είδη των διαθέσιμων υλικών με τις *ιδιότητες, την τυποποίηση και τις εφαρμογές τους*.

Περιλαμβάνει μεθόδους ποιοτικού ελέγχου και προσδιορισμού διαφόρων ιδιοτήτων των υλικών, τρόπους ελέγχου και επέμβασης στη δομή για απόκτηση επιθυμητών χαρακτηριστικών από τα υλικά και τέλος τις διάφορες βιομηχανικές επεξεργασίες μορφοποίησης των υλικών.

Αποτελεί ένα από τα λίγα βιβλία στην ελληνική βιβλιογραφία που διαπραγματεύεται όλα τα είδη των κατασκευαστικών υλικών (μεταλλικά, πολυμερή, κεραμικά, γυαλιά, τσιμέντα και σύνθετα υλικά) και είναι αποτέλεσμα μιας μακρόχρονης προσπάθειας και εμπειρίας από τη διδασκαλία του μαθήματος «*Τεχνολογία Υλικών*». Σε συνδυασμό με το βιβλίο «*Χημική Τεχνολογία*» (Βατάλης Αργύρης, Εκδόσεις Ζήτη, 2004), που παρουσιάζει τις μεθόδους παραγωγής των κατασκευαστικών υλικών από πρώτες ύλες, αποτελεί μια πλήρη αναφορά στον κόσμο των υλικών από την διαδικασία παραγωγής τους μέχρι τη χρήση τους.

Απευθύνεται σε φοιτητές Τ.Ε.Ι. και Α.Ε.Ι. και επιστήμονες ειδικότητας Μηχανολογίας, Ηλεκτρολογίας, Βιομηχανικού Σχεδιασμού, Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών, Χημικού Μηχανικού, Μεταλλειολόγου Μηχανικού, Πολιτικού Μηχανικού και άλλων ειδικοτήτων που σχετίζονται με τα κατασκευαστικά υλικά.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τις Εκδόσεις Ζήτη για τη σημαντική συμβολή τους στην πραγματοποίηση αυτού του έργου και την επιμέλεια για την όσο το δυνατό αρτιότερη εμφάνιση του βιβλίου.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή

1.1 Ο κόσμος των υλικών.....	1
1.2 Επιστήμη και μηχανική των υλικών	2
1.3 Τύποι υλικών.....	3
Μεταλλικά υλικά	3
Πολυμερή.....	4
Κεραμικά	4
Σύνθετα υλικά.....	4
Ηλεκτρονικά υλικά	5
1.4 Επιλογή των υλικών.....	5
1.5 Ανταγωνισμός μεταξύ των υλικών	7

2 Στοιχεία Δομής των Ατόμων και Θεωρίας των Δεσμών

2.1 Στοιχεία δομής των ατόμων.....	9
2.1.1 Ατομικά πρότυπα Thomson και Rutherford	9
2.1.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	10
2.1.3 Το ατομικό πρότυπο του Bohr	11
2.1.4 Η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.....	15
2.1.5 Η κυματική εξίσωση του Schrödinger	15
2.1.6 Ατομικός αριθμός – Ισότοπα – Ιόντα.....	17
2.2 Στοιχεία από τη θεωρία των δεσμών	19
2.2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2.2 Θεωρία του Lewis για τον ομοιοπολικό δεσμό. Κανόνας της οκτά- δας	19
2.2.3 Θεωρία των μοριακών τροχιακών.....	20
2.2.4 Ιοντικός δεσμός.....	23
2.2.5 Μεταλλικός δεσμός.....	24

3 Δομή των Υλικών

3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Κρυσταλλικά συστήματα και κρυσταλλικά πλέγματα	29
3.3 Δομή των μετάλλων.....	33

3.4	Δομή των κεραμικών	39
3.4.1	Δομή των γυαλιών	47
3.5	Δομή των πολυμερών	48
3.5.1	Εισαγωγή	48
3.5.2	Βασικοί ορισμοί – έννοιες και μόρια πολυμερών	49
3.5.3	Θερμοπλαστικά και θερμοστατικά πολυμερή – Ελαστομερή.....	53
3.5.4	Κρυσταλλικότητα πολυμερών.....	54
3.5.5	Θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης (T_g), ροής (T_f) και τήξης (T_m).....	62
3.6	Κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις και επίπεδα.....	64
3.7	Περίθλαση ακτίνων X (X – ray Diffraction)	70
4	Στερεοποίηση, Ατέλειες (ή Διαταραχές) στη Δομή και Διάχυση στα Στερεά	
4.1	Στερεοποίηση των μετάλλων.....	79
	Ο σχηματισμός σταθερών πυρήνων στο τήγμα μετάλλων	80
	Ανάπτυξη κρυστάλλων σε υγρό μέταλλο και σχηματισμός δομής κόκκων.....	81
4.2	Μεταλλικά στερεά διαλύματα	84
4.3	Ατέλειες στη δομή	85
4.3.1	Σημειακές ατέλειες	86
4.3.2	Γραμμικές ατέλειες ή διαταραχές.....	88
4.3.3	Διεπιφανειακές ατέλειες	93
	Όρια κόκκων.....	93
	Σφάλματα στοιβάγματος	98
	Επιφάνειες διδυμίων	100
	Διάφορες άλλες διεπιφανειακές ατέλειες	101
4.3.4	Ατέλειες τριών διαστάσεων.....	102
4.4	Μικροσκοπική εξέταση	102
4.4.1	Οπτική μικροσκοπία	102
4.4.2	Ηλεκτρονική μικροσκοπία	104
4.5	Διάχυση στα στερεά.....	106
4.5.1	Γενικά	106
4.5.2	Μηχανισμοί διάχυσης.....	107
4.5.3	Διάχυση σταθερής κατάστασης.....	109
4.5.4	Διάχυση μη σταθερής κατάστασης	110
4.5.5	Επίδραση της θερμοκρασίας στη διάχυση	113
5	Μηχανικές Δοκιμασίες και Ιδιότητες – Αστοχία των Υλικών και Πρόληψη	
5.1	Τάση – Παραμόρφωση	117

5.1.1	Μεταλλικά υλικά.....	117
5.1.2	Κεραμικά και γυαλιά.....	131
5.1.3	Πολυμερή.....	132
5.2	Μηχανισμοί παραμόρφωσης.....	133
5.2.1	Πλαστική παραμόρφωση των μεταλλικών υλικών.....	133
5.2.2	Πλαστική παραμόρφωση κεραμικών υλικών.....	147
5.2.3	Παραμόρφωση των ημικρυσταλλικών πολυμερών.....	148
5.3	Σκληρότητα.....	150
5.4	Δυσθραυστότητα.....	156
5.5	Κόπωση.....	158
5.6	Ερπυσμός.....	160
5.7	Μηχανική θραύσης.....	164
5.8	Μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου των υλικών.....	166
5.8.1	Ραδιογραφία ακτίνων Χ.....	167
5.8.2	Έλεγχος με υπέρηχους.....	168
5.8.3	Έλεγχος με δινορεύματα.....	170
5.8.4	Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια.....	171
5.8.5	Έλεγχος με διεισδυτικά υγρά.....	173
5.8.6	Έλεγχος με εκπομπή ακουστικών κυμάτων.....	173
6	Διαγράμματα Φάσεων σε Ισορροπία	
6.1	Γενικά.....	175
6.2	Κατασκευή διαγραμμάτων φάσεων.....	178
6.3	Διαγράμματα φάσεων συστημάτων που τα συστατικά τους εμφανίζουν πλήρη διαλυτότητα (αναμιξιμότητα) στην υγρή και στερεή κατάσταση.....	178
6.4	Ευτηκτικό διάγραμμα χωρίς σχηματισμό στερεού διαλύματος.....	181
6.5	Ευτηκτικό διάγραμμα με περιορισμένη αναμιξιμότητα στη στερεή κατάσταση.....	184
6.6	Ευτηκτοειδές διάγραμμα.....	188
6.6.1	Γενικά.....	188
6.6.2	Αλλοτροπικές μορφές του καθαρού σιδήρου και διάγραμμα φάσεων του συστήματος σιδήρου (Fe)-καρβιδίου του σιδήρου (Fe ₃ C).....	190
	Ευτηκτική αντίδραση.....	193
	Ευτηκτοειδής αντίδραση.....	193
	Ευτηκτοειδείς κοινοί χάλυβες.....	194
	Υποευτηκτοειδείς κοινοί χάλυβες.....	194
	Υπερευτηκτοειδείς κοινοί χάλυβες.....	197
6.7	Ο κανόνας του μοχλού.....	199

7 Μετασχηματισμοί Φάσεων

7.1	Γενικά	205
7.2	Η κινητική των αντιδράσεων μετασχηματισμού της δομής στερεής κατάστασης.....	205
7.3	Διαγράμματα ισοθερμοκρασιακού μετασχηματισμού στα κράματα σιδήρου – άνθρακα	208
7.3.1	Περλιτικός μετασχηματισμός.....	208
7.3.2	Μπαινιτικός μετασχηματισμός.....	215
7.3.3	Μαρτενσιτικός μετασχηματισμός	216
7.4	Διαγράμματα μετασχηματισμού συνεχούς ψύξης.....	222
7.5	Μηχανική συμπεριφορά των κραμάτων σιδήρου – άνθρακα.....	227
7.5.1	Περλίτης	227
7.5.2	Μπαινίτης	230
7.5.3	Μαρτενσίτης.....	231
7.6	Κινητική των μετασχηματισμών φάσεων μη μεταλλικών υλικών	232
7.6.1	Κρυστάλλωση των πολυμερών	233

8 Μέθοδοι Αύξησης της Αντοχής των Μεταλλικών Υλικών

8.1	Εισαγωγή	237
8.2	Αύξηση της αντοχής με ελάττωση του μεγέθους των κόκκων.....	238
8.3	Αύξηση της αντοχής με δημιουργία στερεού διαλύματος.....	240
8.4	Σκλήρυνση από παραμόρφωση (ενδοτράχυνση).....	244
8.5	Σκλήρυνση με κατακρήμνιση λόγω γήρανσης.....	248
8.6	Αποκατάσταση, ανακρυστάλλωση και ανάπτυξη κρυστάλλων	249
8.6.1	Αποκατάσταση	249
8.6.2	Ανακρυστάλλωση.....	250
8.6.3	Αύξηση μεγέθους (ανάπτυξη) κόκκων.....	255

9 Θερμικές Κατεργασίες Μεταλλικών Υλικών

9.1	Γενικά	257
9.2	Ανόπτηση.....	258
9.2.1	Ανόπτηση κατεργασίας	258
9.2.2	Ανόπτηση εξάλειψης τάσεων	259
9.3	Θερμικές κατεργασίες χαλύβων	259
9.3.1	Ανόπτηση χαλύβων	259
	Ανόπτηση κατεργασίας	260
	Ανόπτηση εξάλειψης τάσεων (αποτακτική ανόπτηση).....	261
	Πλήρης ανόπτηση.....	261

Ανόπτηση εξομάλυνσης.....	261
Ανόπτηση σφαιροποίησης.....	262
9.3.2 Γρήγορη ψύξη (βαφή) και αναθέρμανση (επαναφορά) χαλύβων.....	263
Εμβαισιότητα ή ικανότητα σκλήρυνσης.....	270
Επίδραση του μέσου βαφής, του μεγέθους και της γεωμετρίας του δοκιμίου.....	277
9.3.3 Επιφανειακές κατεργασίες χαλύβων.....	282
Επιλεκτική θέρμανση της επιφάνειας.....	282
Ενανθράκωση και εναζώτωση.....	283

10 Βιομηχανικά Μέταλλα και Κράματα

10.1 Κράματα σιδήρου.....	287
10.1.1 Απλοί ανθρακούχοι και ελαφρώς κραματοποιημένοι χάλυβες.....	288
10.1.2 Υψηλά κραματοποιημένοι χάλυβες.....	291
Ανοξειδωτοι χάλυβες.....	291
Χάλυβες εργαλείων.....	293
10.1.3 Χυτοσίδηροι.....	293
10.2 Ο χαλκός (Cu) και τα κράματά του.....	301
10.2.1 Γενικές ιδιότητες του χαλκού.....	301
10.2.2 Κατηγορίες και τυποποίηση κραμάτων του χαλκού.....	301
Μη κραματοποιημένος χαλκός.....	301
Κράματα χαλκού – ψευδαργύρου (Zn).....	302
Μπρούντζοι κασσιτέρου (Sn).....	305
Κράματα χαλκού – βηρυλλίου (Be).....	305
Κράματα χαλκού – αλουμινίου (Al).....	306
Κράματα χαλκού – νικελίου (Ni).....	306
Κράματα χαλκού – νικελίου – ψευδαργύρου.....	306
Κράματα χαλκού – καδμίου (Cd).....	307
10.3 Το αλουμίνιο (Al) και τα κράματά του.....	307
10.3.1 Αλουμίνιο.....	307
10.3.2 Κράματα του αλουμινίου.....	308
10.3.3 Συμβολισμός κραμάτων του αλουμινίου.....	315
Κράματα διαμόρφωσης.....	315
Κράματα χύτευσης.....	316
10.4 Το μαγνήσιο (Mg) και τα κράματά του.....	320
10.4.1 Γενικά.....	320
10.4.2 Συμβολισμός κραμάτων του μαγνησίου.....	320
10.4.3 Συνήθη κράματα του μαγνησίου.....	321
Κράματα μαγνησίου – αργιλίου – ψευδαργύρου – μαγγανίου.....	321
Κράματα μαγνησίου – μαγγανίου.....	321

Κράματα μαγνησίου – ψευδαργύρου – ζirkονίου.....	321
10.5 Το τιτάνιο (Ti) και τα κράματά του	322
Εμπορικά καθαρό Ti.....	323
Κράματα Ti alpha	324
Κράματα Ti beta	325
Κράματα Ti alpha – beta	325
10.6 Νικέλιο (Ni) και κοβάλτιο (Co).....	325
10.6.1 Γενικά	325
10.6.2 Νικέλιο και κράμα Monel	325
10.6.3 Υπερκράματα.....	326
10.7 Ο ψευδάργυρος (Zn) και τα κράματά του	329
10.8 Ο μόλυβδος (Pb) και τα κράματά του	331

11 Κεραμικά, γυαλιά και τσιμέντα

11.1 Εισαγωγή	333
11.2 Κεραμικά υλικά	334
11.2.1 Προϊόντα αργίλου.....	334
11.2.2 Πυρίμαχα κεραμικά	334
Πυρίμαχα από πυρίμαχο άργιλο που έχει προπυρωθεί (πυρίμαχα fireclay)	336
Πυρίμαχα fireclay υψηλής περιεκτικότητας σε αλουμίνα	336
Πυριτικά πυρίμαχα	336
Πυρίμαχα μαγνησίου	337
Ειδικά πυρίμαχα	337
11.2.3 Λειαντικά κεραμικά.....	337
11.2.4 Προηγμένα κεραμικά.....	338
11.2.5 Εφαρμογές στις θερμικές μηχανές	338
11.2.6 Κεραμικά θωράκισης.....	339
11.2.7 Εφαρμογές στην ηλεκτρονική βιομηχανία	339
11.3 Γυαλιά.....	340
11.3.1 Είδη γυαλιών	341
11.4 Κεραμικά γυαλιά	343
11.5 Τσιμέντα	346
11.5.1 Γενικά	346
11.5.2 Το τσιμέντο Portland	347
“Δέσιμο” και σκλήρυνση.....	348
Χημικές αντιδράσεις στις οποίες οφείλεται το «δέσιμο» και η σκλή- ρυνση του τσιμέντου.....	349
Σκυρόδεμα	350

11.5.3 Άσβεστος.....	350
Είδη άσβεστού.....	350
Σκλήρυνση της ασβέστου.....	351
11.5.4 Τσιμέντα γύψου.....	352

12 Πολυμερή

12.1 Θερμοπλαστικά γενικών εφαρμογών.....	355
12.1.1 Πολυαιθυλένιο.....	355
12.1.2 Πολυβινυλοχλωρίδιο	357
12.1.3 Πολυπροπυλένιο.....	358
12.1.4 Πολυστυρόλιο	358
12.1.5 Πολυακρυλονιτρίλιο	360
12.1.6 Συμπολυμερή στυρολίου – ακρυλονιτρίλιου (SAN).....	360
12.1.7 Συμπολυμερή ακρυλονιτρίλιου – βουταδιενίου – στυρολίου (ABS)	361
12.1.8 Πολυ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας) (PMMA).....	362
12.1.9 Φθοριωμένα πλαστικά.....	363
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE ή teflon).....	363
Πολυχλωροτριφθοροαιθυλένιο (PCTFE).....	364
12.2 Βιομηχανικά θερμοπλαστικά	365
12.2.1 Πολυαμίδια (nylons)	365
12.2.2 Πολυ(ανθρακικοί εστέρες).....	366
12.2.3 Πολυακετάλες	367
12.2.4 Θερμοπλαστικοί πολυεστέρες.....	368
12.2.5 Κράματα πολυμερών	369
12.3 Θερμοστατικά πλαστικά	370
12.3.1 Φαινολικά θερμοστατικά υλικά (φαινολικές ρητίνες)	370
12.3.2 Εποξειδικές ρητίνες.....	374
12.3.3 Ακόρεστοι πολυεστέρες.....	376
12.3.4 Αμινοπλαστικά (αμινικές ρητίνες).....	378
12.4 Ελαστομερή	381
12.4.1 Φυσικό ελαστικό	381
12.4.2 Συνθετικά ελαστικά.....	384
12.4.3 Ελαστομερή θερμοπλαστικών πολυουρεθανών (TPUE)	389

13 Σύνθετα υλικά

13.1 Εισαγωγή.....	393
13.2 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες.....	394
13.2.1 Συνήθη σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες γυαλιού	394

13.2.2 Προηγμένα σύνθετα υλικά	398
13.2.3 Μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σε εφελκυσμό και κρίσιμο μήκος ίνας	401
Σύνθετα υλικά με συνεχείς και ευθυγραμμισμένες ίνες.....	401
Σύνθετα υλικά με μη συνεχείς και ευθυγραμμισμένες ίνες.....	403
Σύνθετα υλικά με μη συνεχείς και τυχαία διευθετημένες ίνες.....	405
13.2.4 Δυσθραυστότητα	406
13.3 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με σωματίδια	408
13.3.1 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με σωματίδια μεγάλου μεγέθους	409
Σκυρόδεμα	412
13.3.2 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με σωματίδια μικρού μεγέθους σε δια- σπορά.....	415
13.4 Στρωματικά σύνθετα υλικά	416
13.4.1 Πολυστρωματικά σύνθετα υλικά.....	416
13.4.2 Sandwich υλικά	418
14 Ηλεκτρικές ιδιότητες	
14.1 Εισαγωγή	421
14.2 Μεταφορείς ηλεκτρικού φορτίου και ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	421
14.3 Μοριακές ενεργειακές στάθμες	423
14.4 Ηλεκτρονικοί αγωγοί.....	425
14.4.1 Κινητικότητα και μέση ταχύτητα ηλεκτρονίων στα μέταλλα.....	425
14.4.2 Ηλεκτρική ειδική αντίσταση των μετάλλων	427
14.4.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και ειδικές ηλεκτρικές χρήσεις μετάλλων και κραμάτων.....	430
14.5 Ημιαγωγοί.....	432
14.5.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί.....	433
14.5.2 Εξωγενείς ημιαγωγοί.....	434
14.6 Μονωτικά (διηλεκτρικά) υλικά	437
14.6.1 Γενικά	437
14.6.2 Βασική θεωρία των διηλεκτρικών ιδιοτήτων των στερεών	439
14.6.3 Ηλεκτρομονωτικά υλικά.....	449
Κεραμικά	449
Μίκα	449
Αμίαντος.....	451
Γυαλί.....	452
Πολυμερή	452
Υγρά μονωτικά.....	453
Αέρια μονωτικά	455

15 Μαγνητικές ιδιότητες

15.1 Γενικά για τα μαγνητικά υλικά	457
15.2 Μαγνητισμός.....	457
15.3 Αλληλεπίδραση μεταξύ μαγνητικών δίπολων και του μαγνητικού πεδίου	462
Διαμαγνητική συμπεριφορά	462
Παραμαγνητισμός.....	463
Σιδηρομαγνητισμός	463
Αντισιδηρομαγνητισμός	464
Σιδηριμαγνητισμός	464
15.4 Δομή μαγνητικών περιοχών και βρόχος υστέρησης.....	465
15.5 Εφαρμογή της καμπύλης μαγνήτισης – έντασης μαγνητικού πεδίου	469
15.6 Θερμοκρασία Curie.....	473
15.7 Μαγνητικά υλικά	475

16 Οπτικές και Θερμικές ιδιότητες

16.1 Εισαγωγή.....	479
Οπτικές Ιδιότητες.....	479
16.2 Διέγερση των ατόμων	479
16.3 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	481
16.4 Απορρόφηση και Μετάδοση.....	483
16.5 Διάθλαση.....	484
16.6 Φωτεινότητα	485
Θερμικές Ιδιότητες	486
16.7 Εισαγωγή.....	486
16.8 Θερμοχωρητικότητα	487
16.9 Θερμική διαστολή.....	489
16.10 Θερμική αγωγιμότητα.....	492

17 Βιομηχανική Επεξεργασία των Υλικών

17.1 Μεταλλικά υλικά	497
17.1.1 Μηχανικές κατεργασίες μορφοποίησης.....	497
Σφυρηλάτηση	499
Έλαση	500
Διέλαση	501
Συρματοποίηση	501
Κοίλανση.....	501
17.1.2 Χύτευση.....	501

Χύτευση σε άμμο.....	502
Χύτευση σε μήτρα με βαρύτητα.....	504
Χύτευση σε μήτρα υπό πίεση.....	506
Χύτευση ακριβείας.....	506
Συνεχής χύτευση.....	508
Φυγοκεντρική χύτευση.....	509
17.1.3 Άλλες τεχνικές.....	509
Κονιομεταλλουργία.....	509
Υπερπλαστική μορφοποίηση.....	511
Συγκόλληση.....	511
17.2 Γυαλιά και κεραμικά υλικά.....	514
17.2.1 Κατεργασίες μορφοποίησης του γυαλιού.....	515
17.2.2 Κατεργασίες μορφοποίησης των κρυσταλλικών κεραμικών.....	517
17.2.3 Ξήρανση μορφοποιημένων κεραμικών.....	521
17.2.4 Οπτηση (ψήσιμο) μορφοποιημένων κεραμικών.....	522
17.3 Πολυμερή υλικά.....	525
17.3.1 Μορφοποίηση των πλαστικών υλικών.....	525
Γενικά.....	525
Μορφοποίηση με συμπίεση και με χύτευση μεταφοράς.....	526
Μορφοποίηση με έκχυση.....	528
Μορφοποίηση με εκβολή.....	529
Μορφοποίηση με εμφύσηση.....	531
Θερμομόρφωση.....	531
Χύτευση.....	532
17.3.2 Μορφοποίηση των ελαστομερών υλικών.....	532
17.3.3 Παραγωγή ινών.....	532
17.3.4 Παραγωγή φιλμ.....	534
<i>Βιβλιογραφία.....</i>	<i>537</i>
<i>Ευρετήριο όρων.....</i>	<i>539</i>