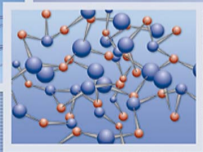


Αργύρης Σ. Βατάλης

ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ



2η έκδοση



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 Τύποι υλικών	2
Μεταλλικά υλικά	2
Πολυμερή.....	2
Κεραμικά	3
Σύνθετα υλικά.....	3
Ηλεκτρονικά υλικά	4
1.3 Επιλογή των υλικών	4
1.4 Ανταγωνισμός μεταξύ των υλικών	6

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.....	38
3.4.1 Δομή των γυαλιών.....	44

3.5	Δομή των πολυμερών	46
3.5.1	Εισαγωγή	46
3.5.2	Βασικοί ορισμοί – έννοιες και μόρια πολυμερών	46
3.5.3	Θερμοπλαστικά και θερμοστατικά πολυμερή – Ελαστομερή	50
3.5.4	Κρυσταλλικότητα πολυμερών	52
3.5.5	Θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης (T_g), ροής (T_f) και τήξης (T_m)	57
3.6	Κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις και επίπεδα	60
3.7	Περίθλαση ακτίνων X (X – ray Diffraction)	65
4	Στερεοποίηση, Ατέλειες (ή Διαταραχές) στη Δομή και Διάχυση στα Στερεά	
4.1	Στερεοποίηση των μετάλλων	73
	Ο σχηματισμός σταθερών πυρήνων στο τήγμα μετάλλων	74
	Ανάπτυξη κρυστάλλων σε υγρό μέταλλο και σχηματισμός δομής κόκκων	75
4.2	Μεταλλικά στερεά διαλύματα	78
4.3	Ατέλειες στη δομή	79
4.3.1	Σημειακές ατέλειες	80
4.3.2	Γραμμικές ατέλειες ή διαταραχές	82
4.3.3	Διεπιφανειακές ατέλειες	85
	Όρια κόκκων	85
	Σφάλματα στοιβάγματος	90
	Επιφάνειες διδυμών	90
4.4	Μικροσκοπική εξέταση	92
4.4.1	Οπτική μικροσκοπία	92
4.4.2	Ηλεκτρονική μικροσκοπία	94
4.5	Διάχυση στα στερεά	96
4.5.1	Γενικά	96
4.5.2	Μηχανισμοί διάχυσης	97
4.5.3	Διάχυση σταθερής κατάστασης	98
4.5.4	Διάχυση μη σταθερής κατάστασης	100
4.5.5	Επίδραση της θερμοκρασίας στη διάχυση	103
5	Μηχανικές Δοκιμασίες και Ιδιότητες – Αστοχία των Υλικών και Πρόληψη	
5.1	Τάση – Παραμόρφωση	107
5.1.1	Μεταλλικά υλικά	107
5.1.2	Κεραμικά και γυαλιά	120
5.1.3	Πολυμερή	122
5.2	Μηχανισμοί παραμόρφωσης	123

5.2.1	Πλαστική παραμόρφωση των μεταλλικών υλικών	123
5.2.2	Παραμόρφωση των θερμοπλαστικών πολυμερών	135
5.3	Σκληρότητα.....	136
5.4	Δυσθραυστότητα.....	141
5.5	Κόπωση	142
5.6	Ερπυσμός	145
5.7	Μηχανική θραύσης.....	149
5.8	Μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου των υλικών	151
5.8.1	Ραδιογραφία ακτίνων Χ	152
5.8.2	Έλεγχος με υπέρηχους.....	153
5.8.3	Έλεγχος με δινορεύματα	155
5.8.4	Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια	156
5.8.5	Έλεγχος με διεισδυτικά υγρά	158
5.8.6	Έλεγχος με εκπομπή ακουστικών κυμάτων	158

6 Διαγράμματα Φάσεων σε Ισορροπία

6.1	Γενικά	161
6.2	Κατασκευή διαγραμμάτων φάσεων.....	164
6.3	Διαγράμματα φάσεων συστημάτων που τα συστατικά τους εμφανίζουν πλήρη διαλυτότητα (αναμιξιμότητα) στην υγρή και στερεή κατάσταση	164
6.4	Ευτηκτικό διάγραμμα χωρίς σχηματισμό στερεού διαλύματος	167
6.5	Ευτηκτικό διάγραμμα με περιορισμένη αναμιξιμότητα στη στερεή κατάσταση.....	170
6.6	Ευτηκτοειδές διάγραμμα	174
6.6.1	Γενικά	174
6.6.2	Αλλοτροπικές μορφές του καθαρού σιδήρου και διάγραμμα φάσεων του συστήματος σιδήρου (Fe)-καρβιδίου του σιδήρου (Fe ₃ C)	176
	Ευτηκτική αντίδραση	179
	Ευτηκτοειδής αντίδραση	179
	Ευτηκτοειδείς κοινοί χάλυβες	180
	Υποευτηκτοειδείς κοινοί χάλυβες	180
	Υπερευτηκτοειδείς κοινοί χάλυβες	182
6.7	Ο κανόνας του μοχλού.....	184

7 Μετασχηματισμοί Φάσεων

7.1	Γενικά	191
7.2	Πυρηνοποίηση και ανάπτυξη φάσεων.....	191

7.3	Διαγράμματα ισοθερμοκρασιακού μετασχηματισμού στα κράματα σιδήρου – άνθρακα	193
7.3.1	Περλιτικός μετασχηματισμός.....	193
7.3.2	Μπαινιτικός μετασχηματισμός.....	198
7.3.3	Μαρτενσιτικός μετασχηματισμός	199
7.4	Διαγράμματα μετασχηματισμού συνεχούς ψύξης.....	202
7.5	Ιδιότητες χαλύβων	206
7.6	Κινητική των μετασχηματισμών φάσεων μη μεταλλικών υλικών.....	207
7.6.1	Κρυστάλλωση των πολυμερών	208

8 Μέθοδοι Αύξησης της Αντοχής των Μεταλλικών Υλικών

8.1	Εισαγωγή.....	211
8.2	Αύξηση της αντοχής με ελάττωση του μεγέθους των κόκκων.....	212
8.3	Αύξηση της αντοχής με δημιουργία στερεού διαλύματος.....	213
8.4	Σκλήρυνση από παραμόρφωση (ενδοτράχυνση).....	215
8.5	Σκλήρυνση με κατακρήμνιση λόγω γήρανσης.....	219
8.6	Αποκατάσταση και ανακρυστάλλωση μεταλλικών υλικών που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση	220
8.6.1	Αποκατάσταση	220
8.6.2	Ανακρυστάλλωση.....	222
8.6.3	Αύξηση μεγέθους (ανάπτυξη) κόκκων.....	226

9 Θερμικές Κατεργασίες Μεταλλικών Υλικών

9.1	Γενικά	227
9.2	Θερμικές κατεργασίες χαλύβων	228
9.3.1	Ανόπτηση χαλύβων	228
	Ανόπτηση κατεργασίας	228
	Ανόπτηση εξάλειψης τάσεων (αποτατική ανόπτηση).....	228
	Πλήρης ανόπτηση.....	228
	Ανόπτηση εξομάλυνσης	230
	Ανόπτηση σφαιροποίησης.....	230
9.3.2	Γρήγορη ψύξη (βαφή) και αναθέρμανση (επαναφορά) χαλύβων	233
	Εμβαπτότητα ή ικανότητα σκλήρυνσης.....	240
	Μέσα (λουτρά) βαφής και δραστικότητα αυτών.....	246
9.3.3	Επιφανειακές κατεργασίες χαλύβων	249
	Επιλεκτική θέρμανση της επιφάνειας.....	249
	Ενανθράκωση και εναζώτωση	250

10 Βιομηχανικά Μέταλλα και Κράματα

10.1 Κράματα σιδήρου	253
10.1.1 Απλοί ανθρακούχοι και ελαφρώς κραματοποιημένοι χάλυβες.....	254
10.1.2 Υψηλά κραματοποιημένοι χάλυβες	257
Ανοξειδωτοι χάλυβες	257
Χάλυβες εργαλείων	259
10.1.3 Χυτοσίδηροι	259
10.2 Ο χαλκός (Cu) και τα κράματά του	267
10.2.1 Γενικές ιδιότητες του χαλκού.....	267
10.2.2 Κατηγορίες και τυποποίηση κραμάτων του χαλκού	267
Μη κραματοποιημένος χαλκός.....	267
Κράματα χαλκού – ψευδαργύρου (Zn)	268
Μπρούντζοι κασσιτέρου (Sn).....	270
Κράματα χαλκού – βηρυλλίου (Be).....	271
Κράματα χαλκού – αλουμινίου (Al)	271
Κράματα χαλκού – νικελίου (Ni).....	271
Κράματα χαλκού – νικελίου – ψευδαργύρου.....	272
Κράματα χαλκού – καδμίου (Cd).....	272
10.3 Το αλουμίνιο (Al) και τα κράματά του	273
10.3.1 Αλουμίνιο	273
10.3.2 Κράματα του αλουμινίου	274
10.3.3 Συμβολισμός κραμάτων του αλουμινίου	281
Κράματα διαμόρφωσης	281
Κράματα χύτευσης	282
10.4 Το μαγνήσιο (Mg) και τα κράματά του.....	286
10.4.1 Γενικά.....	286
10.4.2 Συμβολισμός κραμάτων του μαγνησίου	286
10.4.3 Συνήθη κράματα του μαγνησίου.....	287
Κράματα μαγνησίου – αργιλίου – ψευδαργύρου – μαγγανίου	287
Κράματα μαγνησίου – μαγγανίου	287
Κράματα μαγνησίου – ψευδαργύρου – ζirkονίου	287
10.5 Το τιτάνιο (Ti) και τα κράματά του	288
Εμπορικά καθαρό Ti.....	289
Κράματα Ti alpha.....	290
Κράματα Ti beta.....	291
Κράματα Ti alpha – beta	291
10.6 Νικέλιο (Ni) και κοβάλτιο (Co).....	291
10.6.1 Γενικά.....	291
10.6.2 Νικέλιο και κράμα Monel	291
10.6.3 Υπερκράματα	292

10.7 Ο ψευδάργυρος (Zn) και τα κράματά του.....	295
10.8 Ο μόλυβδος (Pb) και τα κράματά του.....	297

11 Κεραμικά, γυαλιά και τσιμέντα

11.1 Εισαγωγή.....	299
11.2 Κεραμικά υλικά.....	300
11.2.1 Προϊόντα αργίλου.....	300
11.2.2 Πυρίμαχα κεραμικά.....	300
Πυρίμαχα από πυρίμαχο άργιλο που έχει προπυρωθεί (πυρίμαχα fireclay).....	302
Πυρίμαχα fireclay υψηλής περιεκτικότητας σε αλουμίνα.....	302
Πυριτικά πυρίμαχα (όξινα πυρίμαχα).....	303
Πυρίμαχα μαγνησίας (βασικά πυρίμαχα).....	303
Άλλα πυρίμαχα υλικά.....	304
11.2.3 Προηγμένα κεραμικά.....	304
Οξειδίο του αλουμινίου.....	305
Καρβίδιο του πυριτίου.....	305
Νιτρίδιο του πυριτίου.....	306
Si ₃ Al ₃ O ₃ N ₅ (sialon).....	306
Ζιρκονία (ZrO ₂).....	306
11.2.4 Εφαρμογές στην ηλεκτρική και ηλεκτρονική βιομηχανία.....	308
11.3 Γυαλιά.....	309
11.3.1 Είδη γυαλιών.....	309
11.4 Κεραμικά γυαλιά.....	312
11.5 Τσιμέντα.....	313
11.5.1 Γενικά.....	313
11.5.2 Το τσιμέντο Portland.....	314
“Δέσιμο” και σκλήρυνση.....	316
Χημικές αντιδράσεις στις οποίες οφείλεται το «δέσιμο» και η σκλή- ρυνση του τσιμέντου.....	316
Σκυρόδεμα.....	317
11.5.3 Άσβεστος.....	318
Είδη άσβεστου.....	318
Σκλήρυνση της ασβέστου.....	319
11.5.4 Τσιμέντα γύψου.....	320

12 Πολυμερή

12.1 Θερμοπλαστικά γενικών εφαρμογών.....	321
12.1.1 Πολυαιθυλένιο.....	321

12.1.2 Πολυβινυλοχλωρίδιο	323
12.1.3 Πολυπροπυλένιο	324
12.1.4 Πολυστυρόλιο	324
12.1.5 Πολυακρυλονιτρίλιο	326
12.1.6 Συμπολυμερή στυρολίου – ακρυλονιτρίλιου (SAN).....	327
12.1.7 Συμπολυμερή ακρυλονιτρίλιου – βουταδιενίου – στυρολίου (ABS)	326
12.1.8 Πολυ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας) (PMMA).....	328
12.1.9 Φθοριωμένα πλαστικά.....	329
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE ή teflon).....	329
Πολυχλωροτριφθοροαιθυλένιο (PCTFE).....	330
12.2 Βιομηχανικά θερμοπλαστικά	331
12.2.1 Πολυαμίδια (nylons)	331
12.2.2 Πολυ(ανθρακικοί εστέρες).....	332
12.2.3 Πολυακετάλες	333
12.2.4 Θερμοπλαστικοί πολυεστέρες.....	334
12.2.5 Κράματα πολυμερών.....	335
12.3 Θερμοστατικά πλαστικά	336
12.3.1 Φαινολικά θερμοστατικά υλικά (φαινολικές ρητίνες)	336
12.3.2 Εποξειδικές ρητίνες.....	340
12.3.3 Ακόρεστοι πολυεστέρες	342
12.3.4 Αμινοπλαστικά (αμινικές ρητίνες).....	344
12.4 Ελαστομερή	347
12.4.1 Φυσικό ελαστικό	347
12.4.2 Συνθετικά ελαστικά.....	350
12.4.3 Ελαστομερή θερμοπλαστικών πολυουρεθανών (TPUE).....	355

13 Σύνθετα υλικά

13.1 Εισαγωγή.....	359
13.2 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες	360
13.2.1 Συνήθη σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες γυαλιού	360
13.2.2 Προηγμένα σύνθετα υλικά	364
13.2.3 Μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σε εφελκυσμό και κρίσιμο μήκος ίνας	367
Σύνθετα υλικά με συνεχείς και ευθυγραμμισμένες ίνες.....	367
Σύνθετα υλικά με μη συνεχείς και ευθυγραμμισμένες ίνες	370
13.2.4 Δυσθραυστότητα	372
13.3 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με σωματίδια	374
13.3.1 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με σωματίδια μικρού μεγέθους σε δια- σπορά.....	374
13.3.2 Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με σωματίδια μεγάλου μεγέθους	376

Σκυρόδεμα	377
13.4 Στρωματικά σύνθετα υλικά	380
13.4.1 Πολυστρωματικά σύνθετα υλικά.....	381
13.4.2 Sandwich υλικά	383

14 Ηλεκτρικές ιδιότητες

14.1 Εισαγωγή.....	385
14.2 Μεταφορείς ηλεκτρικού φορτίου και ηλεκτρική αγωγιμότητα	385
14.3 Μοριακές ενεργειακές στάθμες	387
14.4 Ηλεκτρονικοί αγωγοί.....	389
14.4.1 Κινητικότητα και μέση ταχύτητα ηλεκτρονίων στα μέταλλα	389
14.4.2 Ηλεκτρική ειδική αντίσταση των μεταλλικών υλικών	391
14.4.3 Ειδικές ηλεκτρικές χρήσεις μετάλλων και κραμάτων.....	394
14.5 Ημιαγωγοί	396
14.5.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί.....	396
14.5.2 Εξωγενείς ημιαγωγοί	398
14.6 Μονωτικά (διηλεκτρικά) υλικά	400
14.6.1 Γενικά	400
14.6.2 Βασική θεωρία των διηλεκτρικών ιδιοτήτων των στερεών	402
14.6.3 Ηλεκτρομονωτικά υλικά.....	412
Κεραμικά	412
Μίκα	413
Αμίαντος.....	414
Γυαλί.....	415
Πολυμερή	415
Υγρά μονωτικά	416
Αέρια μονωτικά	418

15 Μαγνητικές ιδιότητες

15.1 Γενικά για τα μαγνητικά υλικά	419
15.2 Μαγνητισμός	419
15.3 Αλληλεπίδραση μεταξύ μαγνητικών δίπολων και του μαγνητικού πεδίου.....	424
Διαμαγνητική συμπεριφορά.....	424
Παραμαγνητισμός.....	425
Σιδηρομαγνητισμός.....	425
Αντισιδηρομαγνητισμός	426
Σιδηριμαγνητισμός.....	426

15.4 Δομή μαγνητικών περιοχών και βρόχος υστέρησης	427
15.5 Εφαρμογή της καμπύλης μαγνήτισης – έντασης μαγνητικού πεδίου	431
15.6 Θερμοκρασία Curie	435
15.7 Μαγνητικά υλικά	437

16 Οπτικές και Θερμικές ιδιότητες

16.1 Εισαγωγή.....	441
Οπτικές Ιδιότητες	441
16.2 Διέγερση των ατόμων	441
16.3 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	443
16.4 Απορρόφηση και Μετάδοση	445
16.5 Διάθλαση.....	446
16.6 Φωτεινότητα	447
Θερμικές Ιδιότητες	448
16.7 Εισαγωγή.....	448
16.8 Θερμοχωρητικότητα.....	449
16.9 Θερμική διαστολή	451
16.10 Θερμική αγωγιμότητα.....	454

17 Βιομηχανική Επεξεργασία των Υλικών

17.1 Μεταλλικά υλικά	459
17.1.1 Μηχανικές κατεργασίες μορφοποίησης	459
Σφυρηλάτηση	460
Έλαση	462
Διέλαση	463
Ολκή	464
Κοίλανση	465
17.1.2 Χύτευση.....	465
Χύτευση σε άμμο	466
Χύτευση σε μήτρα με βαρύτητα	468
Χύτευση σε μήτρα υπό πίεση.....	469
Χύτευση ακριβείας.....	470
Συνεχής χύτευση	472
Φυγοκεντρική χύτευση.....	473
17.1.3 Άλλες τεχνικές.....	474
Κονιομεταλλουργία.....	474

Υπερπλαστική μορφοποίηση.....	476
Συγκόλληση.....	477
17.2 Γυαλιά και κεραμικά υλικά	478
17.2.1 Κατεργασίες μορφοποίησης του γυαλιού.....	478
17.2.2 Κατεργασίες μορφοποίησης των κρυσταλλικών κεραμικών	482
17.2.3 Ξήρανση μορφοποιημένων κεραμικών	486
17.2.4 Οπτηση (ψήσιμο) μορφοποιημένων κεραμικών	486
17.3 Πολυμερή υλικά	489
17.3.1 Μορφοποίηση των πλαστικών υλικών	489
Γενικά	489
Μορφοποίηση με συμπίεση και με χύτευση μεταφοράς.....	490
Μορφοποίηση με έκχυση	491
Μορφοποίηση με εκβολή	494
Μορφοποίηση με εμφύσηση	495
Θερμομόρφωση	496
Χύτευση.....	496
17.3.2 Μορφοποίηση των ελαστομερών υλικών.....	497
17.3.3 Παραγωγή ινών	497
17.3.4 Παραγωγή φιλμ	499
<i>Βιβλιογραφία</i>	<i>503</i>
<i>Ευρετήριο όρων</i>	<i>505</i>

1

Εισαγωγή

1.1 Ο κόσμος των υλικών

Τα υλικά αποτελούν μέρος της βάσης όλων των τεχνολογικών εξελίξεων. Όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες και το επίπεδο ζωής επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την πρόοδο στην επιστήμη των υλικών. Λόγω της μεγάλης σημασίας των υλικών στην εξέλιξη της ανθρωπότητας αρχαίοι άνθρωποι πολιτισμοί χαρακτηρίστηκαν με βάση το είδος των υλικών από τα οποία κατασκευάζονταν εργαλεία και όπλα (Παλαιολιθική και Νεολιθική Εποχή, Εποχή του Χαλκού, Εποχή του Σιδήρου). Μερικά από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα υλικά είναι ο χάλυβας, ο χαλκός, το αλουμίνιο και άλλα μεταλλικά υλικά, το ξύλο, τα διάφορα κεραμικά, το γυαλί, το τσιμέντο και το χαρτί. Το δεύτερο ήμισυ του 20^{ου} αιώνα μπορεί να χαρακτηριστεί ως η εποχή των ελαφριών και οικονομικών πολυμερών υλικών, από τα οποία κατασκευάζονται πλήθος προϊόντων.

Η γνώση της σχέσης μεταξύ της δομής και των ιδιοτήτων των υλικών κατέστησε τους επιστήμονες ικανούς να επιλέγουν τα περισσότερο κατάλληλα υλικά για κάθε εφαρμογή και να αναπτύσσουν τις βέλτιστες μεθόδους κατεργασίας τους.

Οι επιστήμονες-ερευνητές εστιάζουν την έρευνά τους στη δημιουργία νέων υλικών ή την τροποποίηση των ιδιοτήτων των υπαρχόντων. Οι κατασκευαστές μηχανικοί χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα, τροποποιημένα και τα καινούργια υλικά για το σχεδιασμό και τη δημιουργία νέων προϊόντων και συστημάτων. Μερικές φορές συμβαίνει το αντίθετο και οι κατασκευαστές μηχανικοί αντιμετωπίζουν πρόβλημα στο σχεδιασμό, ο οποίος απαιτεί ένα νέο υλικό να δημιουργηθεί από τους επιστήμονες-ερευνητές.

Η έρευνα για καινούργια υλικά συνεχίζεται διαρκώς. Για παράδειγμα, οι μηχανολόγοι μηχανικοί κατευθύνουν την έρευνά τους σε υλικά αντοχής σε υψηλές

θερμοκρασίες για αποδοτικότερη λειτουργία των κινητήρων προώθησης. Οι ηλεκτρολόγοι μηχανικοί ερευνούν για νέα υλικά ούτως ώστε οι ηλεκτρονικές διατάξεις να μπορούν να λειτουργούν γρηγορότερα και σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Οι αεροναυπηγοί μηχανικοί ενδιαφέρονται για υλικά με υψηλότερο λόγο αντοχής προς βάρος για τα αεροσκάφη και τα διαστημόπλοια. Οι χημικοί μηχανικοί ψάχνουν για υλικά μεγαλύτερης αντοχής σε διάβρωση.

1.2 Τύποι υλικών

Τα κατασκευαστικά υλικά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: *μεταλλικά*, *πολυμερή* και *κεραμικά – γυαλιά*. Επιπρόσθετα, μπορούν να θεωρηθούν δύο άλλες κατηγορίες: τα *σύνθετα υλικά* και τα *ηλεκτρονικά υλικά* λόγω της μεγάλης σπουδαιότητάς τους.

Μεταλλικά υλικά

Αποτελούνται από ένα ή περισσότερα μεταλλικά στοιχεία και μπορούν επίσης να περιέχουν μερικά μη μεταλλικά στοιχεία, όπως άνθρακα, άζωτο, οξυγόνο κ.ά. Τα μέταλλα έχουν κρυσταλλική δομή, δηλαδή τα άτομα που τα αποτελούν διατάσσονται με κανονικό, επαναλαμβανόμενο και συμμετρικό τρόπο. Γενικά τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρικού ρεύματος, έχουν σχετικά μεγάλη αντοχή, μεγάλη συνεκτικότητα, πλαστιμότητα και δυνατότητα μορφοποίησης. Οι ιδιότητες αυτές εξηγούν την εκτεταμένη χρήση τους ως κατασκευαστικών υλικών.

Πολυμερή

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα εκτενώς χρησιμοποιούμενα πλαστικά και ελαστικά. Αποτελούνται από οργανικά μεγάλου μεγέθους μόρια (μακρομόρια), στη χημική δομή των οποίων συμμετέχουν κυρίως ο άνθρακας και το υδρογόνο και σε μικρότερο βαθμό άλλα στοιχεία, όπως άζωτο, οξυγόνο, θείο, πυρίτιο κ.ά.. Από δομικής άποψης τα πολυμερή στη στερεή κατάσταση μπορεί να είναι άμορφα, μερικώς κρυσταλλικά (ημικρυσταλλικά) ή σχεδόν κρυσταλλικά. Τα πολυμερή υλικά παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία ιδιοτήτων που εξαρτώνται από τη δομή τους. Η αντοχή και η πλαστιμότητα των πολυμερών ποικίλλει ευρέως.

Τα περισσότερα από αυτά τα υλικά είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές μονώσεις πέραν των ποικίλων άλλων εφαρμογών. Γενικά τα πολυμερή έχουν χαμηλές πυκνότητες και σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες τήξης και αποσύνθεσης.

Κεραμικά

Τα κεραμικά, όπως οι πλίνθοι, η πορσελάνη, τα τσιμέντα, το γυαλί, τα πυρότουβλα και τα λειαντικά, είναι ανόργανα υλικά που αποτελούνται από μεταλλικά και μη μεταλλικά στοιχεία. Τα κεραμικά υλικά μπορεί να είναι άμορφα, μερικώς κρυσταλλικά ή κρυσταλλικά. Έχουν ασήμαντη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη σκληρότητα, μικρή δυσθραυστότητα και συχνά χρησιμοποιούνται ως μονωτές. Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις μηχανές. Τα πλεονεκτήματα σ' αυτό το πεδίο εφαρμογής είναι το μικρό βάρος, η υψηλή αντοχή και σκληρότητα, η θερμική αντοχή, αντοχή στη φθορά και την τριβή και οι μονωτικές ιδιότητες. Τα πλεονεκτήματα αυτά τα καθιστούν επίσης χρήσιμα για επιστρώσεις κλιβάνων υψηλών θερμοκρασιών.

Σύνθετα υλικά

Είναι μίγματα δύο ή περισσότερων υλικών. Τα περισσότερα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ένα επιλεγμένο πληρωτικό ή ενισχυτικό υλικό που είναι διασπαρμένο σε ένα άλλο υλικό (μήτρα), συνήθως πολυμερές, για την επίτευξη των ειδικών επιθυμητών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων. Συνήθως τα ανωτέρω υλικά είναι μη αναμίξιμα και διαχωρίζονται από μια ενδιάμεση φάση. Τα σύνθετα υλικά είναι διάφορων τύπων. Οι επικρατέστεροι τύποι είναι αυτοί στους οποίους το πληρωτικό υλικό είναι ίνες και εκείνοι στους οποίους είναι σωματίδια (εγκλεισμάτα), όπου μπορούν να ενταχθούν και τα αναπτυσσόμενα τελευταία νανοσύνθετα πολυμερικά υλικά με χαρακτηριστικές διαστάσεις των εγκλεισμάτων 1 - 100 nm, τα οποία παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση των ιδιοτήτων τους σε σύγκριση με τα αντίστοιχα παραδοσιακά σύνθετα υλικά. Οι λόγοι γι' αυτό δεν έχουν ακόμα πλήρως κατανοηθεί, πρέπει όμως να συνδέονται με αλληλεπιδράσεις στις διεπιφάνειες εγκλεισμάτων-μήτρας και το μεγάλο ποσοστό διεπιφανειών στα νέα αυτά υλικά.

Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα σύνθετων υλικών, που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, είναι πολυμερικά υλικά (όπως πολυεστέρας ή εποξειδική ρητίνη) ενισχυμένα με ίνες γυαλιού και ίνες άνθρακα. Η βιομηχανική σπουδαιό-

τητα ενός σύνθετου υλικού έγκειται στο ότι αυτό συνδυάζει τις ελκυστικές ιδιότητες των επί μέρους συστατικών. Τα σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού αποκτούν αντοχή από το γυαλί και ελαστικότητα από το πολυμερές. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολλά σύνθετα υλικά.

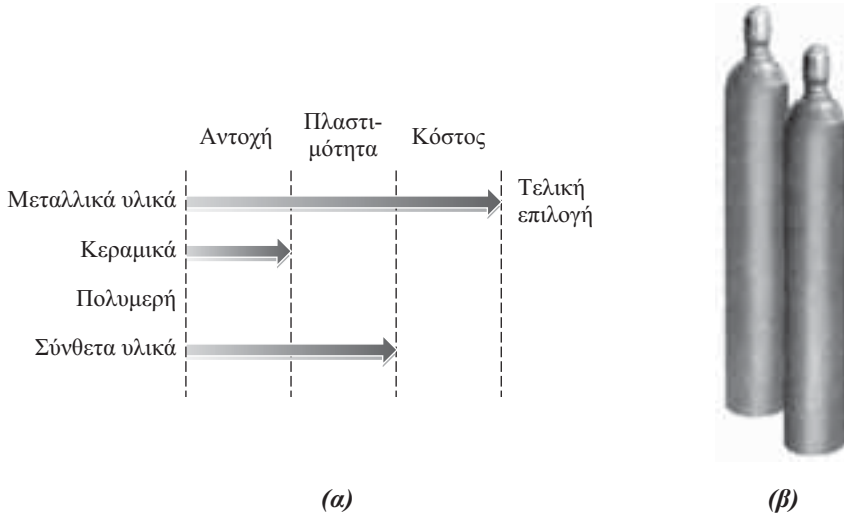
Ηλεκτρονικά υλικά

Αποτελούν ένα σπουδαίο τύπο υλικών για την προχωρημένη τεχνολογία. Τα υλικά αυτής της κατηγορίας, όπως το πυρίτιο, το γερμάνιο και διάφορες χημικές ενώσεις (π.χ. GaAs), είναι σημαντικά στην βιομηχανία των υπολογιστών και για εφαρμογές στον τομέα της ηλεκτρονικής και τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες αυτών των υλικών μπορούν να ελεγχθούν με ακρίβεια έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως transistors, δίοδοι και ολοκληρωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

1.3 Επιλογή των υλικών

Κατά τη διαδικασία επιλογής κατάλληλου υλικού για δεδομένη εφαρμογή πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ούτως ώστε να επιλεγεί ένα υλικό που (α) να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες, οι οποίες συχνά εξαρτώνται από την κατεργασία του υλικού (β) να μπορεί να μορφοποιηθεί ή να παραχθεί στο επιθυμητό σχήμα και (γ) αυτό και η διαδικασία κατεργασίας του να έχουν αποδεκτό κόστος. Η επιλογή των υλικών αποτελεί την τελική, πρακτική απόφαση στη διαδικασία του μηχανικού σχεδιασμού και καθοριστικό παράγοντα της επιτυχίας ή αποτυχίας αυτού του σχεδιασμού. Ουσιαστικά πρέπει να ληφθούν δυο ξεχωριστές αποφάσεις. Πρώτον, πρέπει να αποφασισθεί ποιος γενικός τύπος (κατηγορία) υλικών είναι κατάλληλος. Δεύτερον, πρέπει να βρεθεί το καλύτερο ειδικό υλικό αυτής της κατηγορίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή (π.χ. πρέπει να προτιμηθεί ένα κράμα μαγνησίου από κράμα αλουμινίου ή χάλυβα;).

Μερικές φορές η επιλογή του καταλληλότερου υλικού είναι απλή και προφανής. Για μια ηλεκτρονική συσκευή που απαιτεί έναν ημιαγωγό, οι αγωγοί και οι μονωτές είναι εντελώς ακατάλληλοι για το σκοπό αυτό. Όμως οι περισσότερες επιλογές έχουν ένα βαθμό δυσκολίας, καθόσον οι απαιτήσεις του σχεδιασμού είναι δυνατό σε γενικές γραμμές να καλύπτονται από διάφορα διαθέσιμα υλικά. Στο Σχήμα 1.1 απεικονίζεται διαγραμματικά η διαδικασία για την τελική επιλογή μεταλλικού κράματος ως του καταλληλότερου υλικού για την κατασκευή



Σχήμα 1.1 (α) Διαγραμματική παράσταση της διαδικασίας για την επιλογή μεταλλικού κράματος ως του καταλληλότερου υλικού για την κατασκευή κυλινδρικών δοχείων αποθήκευσης αερίων
(β) Κυλινδρικά δοχεία αποθήκευσης αερίων του εμπορίου

κυλινδρικών δοχείων αποθήκευσης αερίων υπό πίεση μέχρι και 140 atm για απεριόριστες χρονικές περιόδους. Κατ' αρχήν από τις τρεις κύριες κατηγορίες υλικών (μεταλλικά υλικά, κεραμικά και πολυμερή) τα πολυμερή πρέπει να αποκλειστούν λόγω των χαμηλών τους αντοχών. Αν και μερικά κατασκευαστικά κεραμικά υλικά μπορούν να αντέξουν το προβλεπόμενο φορτίο, γενικά δεν διαθέτουν την πλαστιμότητα που απαιτείται. Η χρήση τέτοιων εύθραυστων υλικών για κατασκευή δοχείων αποθήκευσης υπό πίεση μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνη. Διάφορα συνήθη μεταλλικά υλικά διαθέτουν ικανοποιητική αντοχή και πλαστιμότητα για τη συγκεκριμένη χρήση. Επίσης πολλά σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες ικανοποιούν τις σχεδιαστικές απαιτήσεις. Ωστόσο, τα υλικά αυτά αποκλείονται λόγω του κόστους. Το επί πλέον κόστος κατασκευής με τέτοιου είδους υλικά δικαιολογείται μόνο εάν προκύπτει κάποιο ειδικό πλεονέκτημα, όπως το μειωμένο βάρος. Περιορίζοντας την επιλογή στα μεταλλικά υλικά υπάρχει ακόμα ένας μεγάλος αριθμός υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Λαμβάνοντας υπόψη τα εμπορικά διαθέσιμα κράματα μετρίου κόστους με τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες προκύπτει μια λίστα υποψηφίων υλικών. Για την τελική επιλογή του κράματος πρέπει να γίνεται λεπτομερής σύγκριση των ιδιοτήτων σε κάθε βήμα της πορείας επιλογής. Σε ορισμένες περι-

πτώσεις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες μπορεί να βαρύνουν στην απόφαση εκλογής, αλλά συχνότερα το καθοριστικότερο είναι το κόστος.

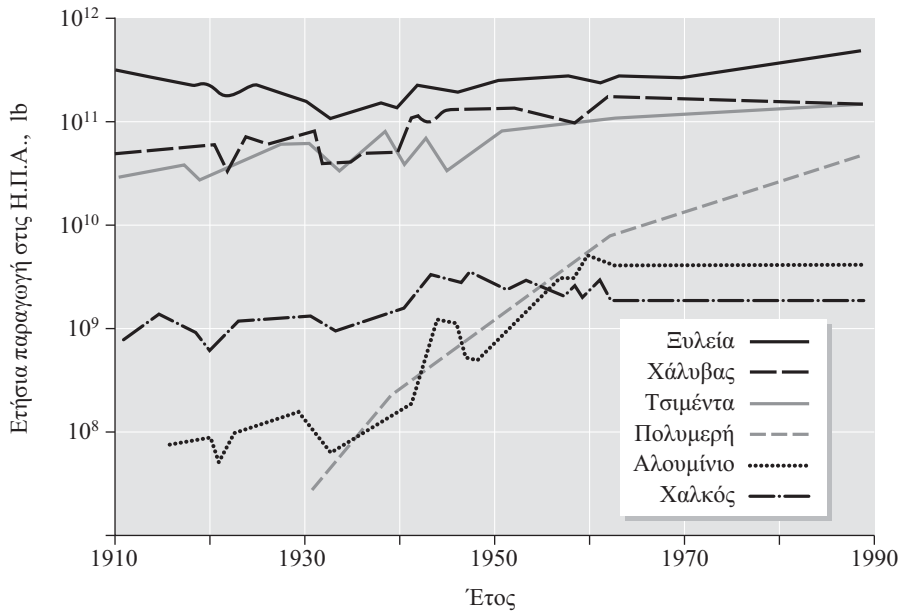
Σε ορισμένες περιπτώσεις και ειδικότερα στις αεροδιαστημικές εφαρμογές το βάρος έχει κρίσιμη σημασία, λόγω του ότι το επί πλέον βάρος του διαστημόπλοιου αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου και μειώνει την μέγιστη δυνατή απόσταση που μπορεί να διανυθεί. Για την κατασκευή πολλών μοντέρνων διαστημόπλοιων χρησιμοποιούνται ακριβότερα σύνθετα υλικά, όπως εποξειδικές ρητίνες ενισχυμένες με ίνες άνθρακα, αντί των παραδοσιακών κραμάτων αλουμινίου. Ωστόσο, η οικονομική ωφέλεια από την εξοικονόμηση καυσίμων λόγω του υψηλότερου *λόγου αντοχής προς βάρος* του σύνθετου υλικού υπερκαλύπτει την υψηλότερη αρχική επένδυση για το αεροσκάφος.

Σε κάθε περίπτωση κατά την επιλογή των υλικών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η προστασία του περιβάλλοντος και η εξασφάλιση της ασφαλούς χρήσης τους.

1.4 Ανταγωνισμός μεταξύ των υλικών

Στην αγορά υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των υλικών. Με την πάροδο του χρόνου προκύπτουν διάφοροι παράγοντες που καθιστούν δυνατόν ένα υλικό να αντικαταστήσει ένα άλλο σε ορισμένες εφαρμογές. Η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, το κόστος παραγωγής, η ανάπτυξη νέων υλικών με ειδικές ιδιότητες για ορισμένες εφαρμογές και νέων μεθόδων κατεργασίας αποτελούν τους σπουδαιότερους παράγοντες που επιφέρουν αλλαγές στη χρήση των υλικών. Στο Σχήμα 1.2 δίνεται γραφικά η μεταβολή της παραγωγής σε βάρος έξι υλικών τα τελευταία χρόνια στις Η.Π.Α. Μια αξιοσημείωτη αύξηση της παραγωγής για το αλουμίνιο και τα πολυμερή παρατηρείται μετά τα 1930. Η αύξηση της παραγωγής σε πολυμερή είναι πιο έντονη λόγω του μικρού τους βάρους.

Για ορισμένες εφαρμογές μόνο ορισμένα υλικά ικανοποιούν τις σχεδιαστικές απαιτήσεις και τα υλικά αυτά μπορεί να είναι σχετικά ακριβά. Για παράδειγμα, για την κατασκευή των κινητήρων προώθησης των αεροσκαφών χρησιμοποιούνται υπερκράματα νικελίου που αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά τα κράματα είναι ακριβά και δεν βρέθηκαν πιο φθηνά για να τα αντικαταστήσουν.



Σχήμα 1.2 Μεταβολή της παραγωγής σε βάρος έξι σπουδαίων υλικών τα τελευταία χρόνια στις Η.Π.Α. Η ταχεία αύξηση της παραγωγής αλουμινίου και πολυμερών είναι προφανής