

Υλικά

Μηχανική, επιστήμη, επεξεργασία και
σχεδιασμός

Michael Ashby
Hugh Shercliff
David Cebon

2η αγγλική έκδοση

Επιστημονική επιμέλεια ελληνικής έκδοσης:
Γιώργος Ψαρράς, Πανεπιστήμιο Πατρών



Περιεχόμενα

Πρόλογος	13
Ευχαριστίες	17

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή: υλικά — ιστορία και χαρακτήρας 25

1.1 Υλικά, διεργασίες, και επιλογή	26
1.2 Ιδιότητες των υλικών.....	28
1.3 Ιδιότητες που περιορίζουν τον σχεδιασμό.....	33
1.4 Περίληψη και συμπεράσματα	34
1.5 Πρόσθετες πηγές	35
1.6 Ασκήσεις	35

Κεφάλαιο 2 Οικογενειακά δένδρα: οργάνωση υλικών και διεργασιών 37

2.1 Εισαγωγή και σύνοψη	38
2.2 Οργάνωση των υλικών: το δένδρο των υλικών.....	39
2.3 Οργάνωση των διεργασιών: το δένδρο των διεργασιών	42
2.4 Αλληλεπίδραση διεργασιών και ιδιοτήτων	46
2.5 Διαγράμματα ιδιοτήτων των υλικών	47
2.6 Διαχείριση πληροφοριών υλικών και διεργασιών με τη βοήθεια υπολογιστή	49
2.7 Περίληψη και συμπεράσματα	50
2.8 Πρόσθετες πηγές	51
2.9 Ασκήσεις	52

Κεφάλαιο 3 Στρατηγική σκέψη: ταίριασμα υλικών και σχεδιασμού... 55

3.1 Εισαγωγή και σύνοψη	56
3.2 Η διαδικασία σχεδιασμού.....	56
3.3 Πληροφορίες υλικού και επεξεργασίας για τον σχεδιασμό	60
3.4 Η στρατηγική: μετάφραση, φιλτράρισμα, κατάταξη, και τεκμηρίωση.....	63
3.5 Παραδείγματα μετάφρασης.....	67

3.6	Περίληψη και συμπεράσματα	71
3.7	Πρόσθετες πηγές	72
3.8	Ασκήσεις	73

Κεφάλαιο 4 Δυσκαμψία και βάρος: πυκνότητα και μέτρα ελαστικότητας75

4.1	Εισαγωγή και σύνοψη	76
4.2	Πυκνότητα, τάση, παραμόρφωση, και μέτρα ελαστικότητας	77
4.3	Η γενική εικόνα: διαγράμματα ιδιοτήτων υλικών	86
4.4	Η επιστήμη: τι καθορίζει την πυκνότητα και τη δυσκαμψία;	88
4.5	Ρύθμιση του μέτρου ελαστικότητας και της πυκνότητας	100
4.6	Περίληψη και συμπεράσματα	105
4.7	Πρόσθετες πηγές	106
4.8	Ασκήσεις	106

Κεφάλαιο 5 Ευλυγισία, κάμψη, και κλυδωνισμός: σχεδίαση με βάση τη δυσκαμψία..... 109

5.1	Εισαγωγή και σύνοψη	110
5.2	Τυπικές λύσεις σε ελαστικά προβλήματα	111
5.3	Δείκτες υλικών για ελαστικό σχεδιασμό	120
5.4	Σχεδίαση ορίων και δεικτών σε διαγράμματα	127
5.5	Μελέτες περιπτώσεων	131
5.6	Περίληψη και συμπεράσματα	139
5.7	Πρόσθετες πηγές	140
5.8	Ασκήσεις	141

Κεφάλαιο 6 Πέρα από την ελαστικότητα: πλαστικότητα, διαρροή, και ολκιμότητα 143

6.1	Εισαγωγή και σύνοψη	144
6.2	Αντοχή, έργο πλαστικής παραμόρφωσης, και ολκιμότητα: ορισμός και μέτρηση	144
6.3	Η γενική εικόνα: διαγράμματα αντοχής σε διαρροή	149
6.4	Εμβάθυνση: οι ρίζες της αντοχής και της πλαστιμότητας	152
6.5	Προσαρμογή της αντοχής	161
6.6	Περίληψη και συμπεράσματα	171
6.7	Πρόσθετες πηγές	172
6.8	Ασκήσεις	173

Κεφάλαιο 7 Κάμψη και σύνθλιψη: σχεδιασμός με βάση την αντοχή 175

7.1	Εισαγωγή και σύνοψη	176
7.2	Τυπικές λύσεις σε πλαστικά προβλήματα	176
7.3	Δείκτες υλικών για τον σχεδιασμό με βάση τη διαρροή	187
7.4	Μελέτες περιπτώσεων	191
7.5	Περίληψη και συμπεράσματα	197
7.6	Πρόσθετες πηγές	198
7.7	Ασκήσεις	199

Κεφάλαιο 8 Θραύση και δυσθραυστότητα 201

8.1	Εισαγωγή και σύνοψη	202
8.2	Αντοχή και δυσθραυστότητα.....	202
8.3	Θραυστομηχανική	204
8.4	Διαγράμματα ιδιοτήτων υλικών για τη δυσθραυστότητα	211
8.5	Εμβάθυνση: η προέλευση της δυσθραυστότητας.....	213
8.6	Προσαρμογή ιδιοτήτων: το ισοζύγιο μεταξύ αντοχής και δυσθραυστότητας	218
8.7	Περίληψη και συμπεράσματα	220
8.8	Πρόσθετες πηγές	221
8.9	Ασκήσεις	222

Κεφάλαιο 9 Δονήσεις, παλινδρομικές κινήσεις, περιστροφές: κυκλική φόρτιση, βλάβη, και αστοχία 225

9.1	Εισαγωγή και σύνοψη	226
9.2	Ταλάντωση και συντονισμός: ο συντελεστής απόσβεσης.....	226
9.3	Κόπωση	228
9.4	Διαγράμματα ορίου αντοχής σε κόπωση.....	237
9.5	Εμβάθυνση: η προέλευση της απόσβεσης και της κόπωσης.....	238
9.6	Προσαρμογή της αντίστασης στην κόπωση.....	240
9.7	Περίληψη και συμπεράσματα	242
9.8	Πρόσθετες πηγές	243
9.9	Ασκήσεις	243

Κεφάλαιο 10 Σύνθεση: σχεδιασμός με βάση τη θραύση 248

10.1	Εισαγωγή και σύνοψη	248
10.2	Τυπικές λύσεις σε προβλήματα θραύσης	248
10.3	Δείκτες υλικών για σχεδιασμό ασφαλή σε θραύση.....	250
10.4	Μελέτες περιπτώσεων	253
10.5	Περίληψη και συμπεράσματα	266

10.6	Πρόσθετες πηγές.....	267
10.7	Ασκήσεις.....	268

Κεφάλαιο 11 Τρίψιμο, ολίσθηση, και πρόσφυση: τριβή και φθορά....271

11.1	Εισαγωγή και σύνοψη.....	272
11.2	Τριβολογικές ιδιότητες	272
11.3	Διαγράμματα τριβής και φθοράς	274
11.4	Η φυσική της τριβής και της φθοράς.....	276
11.5	Σχεδιασμός και επιλογή: υλικά διαχείρισης τριβής και φθοράς.....	279
11.6	Περίληψη και συμπεράσματα.....	285
11.7	Πρόσθετες πηγές.....	286
11.8	Ασκήσεις.....	287

Κεφάλαιο 12 Διαταραγμένα άτομα: υλικά και θερμότητα289

12.1	Εισαγωγή και σύνοψη.....	290
12.2	Θερμικές ιδιότητες: ορισμός και μέτρηση.....	290
12.3	Η γενική εικόνα: διαγράμματα θερμικών ιδιοτήτων	294
12.4	Εμβάθυνση: η φυσική των θερμικών ιδιοτήτων	297
12.5	Προσαρμογή θερμικών ιδιοτήτων	302
12.6	Σχεδιασμός με στόχο την αξιοποίηση των θερμικών ιδιοτήτων.....	304
12.7	Περίληψη και συμπεράσματα.....	315
12.8	Πρόσθετες πηγές.....	316
12.9	Ασκήσεις.....	317

Κεφάλαιο 13 Στο καμίνι: χρήση υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες319

13.1	Εισαγωγή και σύνοψη.....	320
13.2	Η εξάρτηση των ιδιοτήτων των υλικών από τη θερμοκρασία	320
13.3	Διαγράμματα συμπεριφοράς σε ερπυσμό	327
13.4	Η επιστήμη: διάχυση και ερπυσμός.....	329
13.5	Υλικά που αντιστέκονται στον ερπυσμό	341
13.6	Σχεδιασμός για την αντιμετώπιση του ερπυσμού.....	344
13.7	Περίληψη και συμπεράσματα.....	352
13.8	Πρόσθετες πηγές.....	353
13.9	Ασκήσεις.....	354

Κεφάλαιο 14 Αγωγοί, μονωτές, και διηλεκτρικά357

14.1	Εισαγωγή και σύνοψη.....	358
14.2	Αγωγοί, μονωτές, και διηλεκτρικά	359
14.3	Διαγράμματα ηλεκτρικών ιδιοτήτων	365
14.4	Εμβάθυνση: προέλευση και προσαρμογή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων	368

14.5	Σχεδιασμός: χρήση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των υλικών	368
14.6	Περίληψη και συμπεράσματα	388
14.7	Πρόσθετες πηγές	389
14.8	Ασκήσεις	389

Κεφάλαιο 15 Μαγνητικά υλικά 393

15.1	Εισαγωγή και σύνοψη	394
15.2	Μαγνητικές ιδιότητες: ορισμός και μέτρηση	394
15.3	Διαγράμματα μαγνητικών ιδιοτήτων.....	400
15.4	Εμβάθυνση: η φυσική και η προσαρμογή μαγνητικών ιδιοτήτων	402
15.5	Επιλογή υλικών για μαγνητικό σχεδιασμό.....	408
15.6	Περίληψη και συμπεράσματα	414
15.7	Πρόσθετες πηγές	414
15.8	Ασκήσεις	415

Κεφάλαιο 16 Υλικά για οπτικές συσκευές 417

16.1	Εισαγωγή και σύνοψη	418
16.2	Αλληλεπίδραση υλικών και ακτινοβολίας	418
16.3	Διαγράμματα οπτικών ιδιοτήτων	424
16.4	Εμβάθυνση: η φυσική και η προσαρμογή των οπτικών ιδιοτήτων	426
16.5	Οπτικός σχεδιασμός	433
16.6	Περίληψη και συμπεράσματα	434
16.7	Πρόσθετες πηγές	435
16.8	Ασκήσεις	435

Κεφάλαιο 17 Αντοχή στον χρόνο: οξείδωση, διάβρωση, υποβάθμιση 437

17.1	Εισαγωγή και σύνοψη	438
17.2	Οξείδωση, ευφλεκτότητα, και φωτο-υποβάθμιση.....	439
17.3	Μηχανισμοί οξείδωσης	442
17.4	Αντίσταση στην οξείδωση, την καύση, και τη φωτο-υποβάθμιση.....	445
17.5	Διάβρωση: οξέα, αλκάλια, νερό, και οργανικοί διαλύτες	448
17.6	Εμβάθυνση: μηχανισμοί διάβρωσης	452
17.7	Καταπολέμηση της διάβρωσης	458
17.8	Περίληψη και συμπεράσματα	473
17.9	Πρόσθετες πηγές και λογισμικό	474
17.10	Ασκήσεις	475

Κεφάλαιο 18 Θέρμανση, χτύπημα, και γυάλισμα:	
Διεργασίες παραγωγής	477
18.1 Εισαγωγή και σύνοψη.....	478
18.2 Επιλογή διεργασίας κατά τον σχεδιασμό.....	479
18.3 Χαρακτηριστικά διεργασιών: συμβατότητα υλικών.....	481
18.4 Διεργασίες διαμόρφωσης: χαρακτηριστικά και προελεύσεις	484
18.5 Διεργασίες σύνδεσης: χαρακτηριστικά και προελεύσεις.....	495
18.6 Διεργασίες επιφανειακής κατεργασίας (φινιρίσματος): χαρακτηριστικά και προελεύσεις.....	498
18.7 Εκτίμηση κόστους διεργασιών διαμόρφωσης	500
18.8 Επιλογή διεργασιών με τη βοήθεια υπολογιστή	504
18.9 Μελέτες περιπτώσεων	506
18.10 Περίληψη και συμπεράσματα	515
18.11 Πρόσθετες πηγές.....	516
18.12 Ασκήσεις.....	517
 Κεφάλαιο 19 Ακολουθήστε τη συνταγή: κατεργασία και ιδιότητες.....	519
19.1 Εισαγωγή και σύνοψη.....	519
19.2 Κατεργασία βελτίωσης των ιδιοτήτων	521
19.3 Η μικροδομή των υλικών	524
19.4 Εξέλιξη της μικροδομής κατά την κατεργασία.....	527
19.5 Κατεργασία μετάλλων	540
19.6 Κατεργασία αμετάλλων	556
19.7 Δημιουργία υβριδικών υλικών.....	561
19.8 Περίληψη και συμπεράσματα	564
19.9 Πρόσθετες πηγές.....	565
19.10 Ασκήσεις.....	565
 Κεφάλαιο 20 Υλικά, διεργασίες, και περιβάλλον	567
20.1 Εισαγωγή και σύνοψη.....	567
20.2 Η κατανάλωση υλικών και η αύξησή της	568
20.3 Ο κύκλος ζωής των υλικών και τα κριτήρια εκτίμησής του.....	571
20.4 Ορισμοί και μέτρηση: ενσωματωμένη ενέργεια, ενέργεια διεργασίας, και τέλος δυναμικού ζωής.....	573
20.5 Διαγράμματα ενσωματωμένης ενέργειας	579
20.6 Σχεδιασμός: επιλογή υλικών για οικολογικό σχεδιασμό	581
20.7 Περίληψη και συμπεράσματα	587
20.8 Παράρτημα: μερικές χρήσιμες ποσότητες	587
20.9 Πρόσθετες πηγές.....	588
20.10 Ασκήσεις.....	589

Υποβοηθούμενο μάθημα 1: Απλές έννοιες κρυσταλλογραφίας..... 591

ΜΕΡΟΣ 1: Κρυσταλλικές δομές	592
ΜΕΡΟΣ 2: Ενδιάμεσο κενό.....	595
ΜΕΡΟΣ 3: Περιγραφή επιπέδων.....	596
ΜΕΡΟΣ 4: Περιγραφή διευθύνσεων.....	598
ΜΕΡΟΣ 5: Κρύσταλλοι κεραμικών	599
ΜΕΡΟΣ 6: Κρύσταλλοι πολυμερών	602

**Υποβοηθούμενο μάθημα 2: Διαγράμματα φάσεων
και μετασχηματισμοί φάσεων..... 603**

ΜΕΡΟΣ 1: Βασική ορολογία	605
ΜΕΡΟΣ 2: Απλά διαγράμματα φάσεων, και πώς διαβάζονται	608
ΜΕΡΟΣ 3: Το διάγραμμα σιδήρου-άνθρακα	622
ΜΕΡΟΣ 4: Ερμηνεία πιο σύνθετων διαγραμμάτων φάσεων	626
ΜΕΡΟΣ 5: Μετασχηματισμοί φάσεων και εξέλιξη της μικροδομής	632
ΜΕΡΟΣ 6: Στερεοποίηση ισορροπίας.....	634
ΜΕΡΟΣ 7: Αλλαγές φάσεων στερεάς κατάστασης ισορροπίας.....	647
ΜΕΡΟΣ 8: Αλλαγές φάσεων στερεάς κατάστασης μη ισορροπίας	654

<i>Παράρτημα</i>	655
------------------------	-----

<i>Ενρετήριο</i>	669
------------------------	-----

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή: υλικά — ιστορία και χαρακτήρας



Ο Καθηγητής James Stuart, ο πρώτος Καθηγητής
της Μηχανικής (Engineering) στο Cambridge.

Περιεχόμενα κεφαλαίου

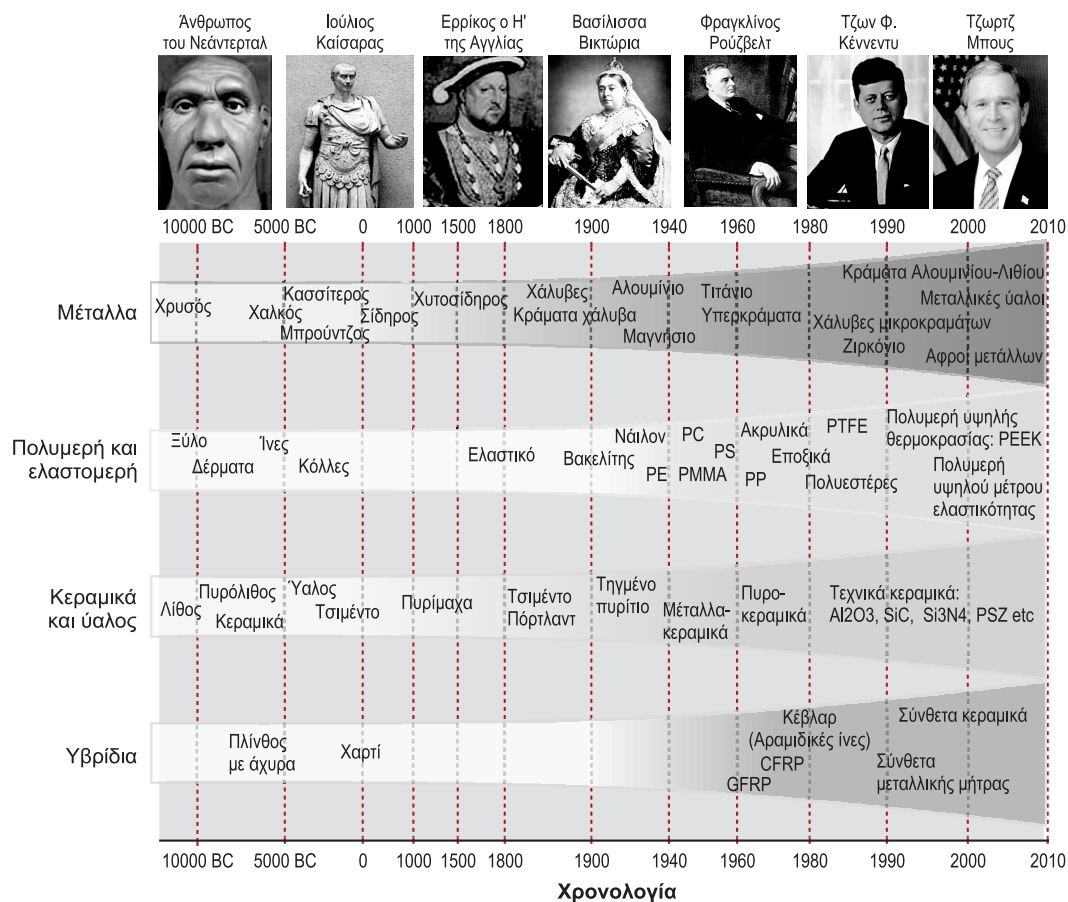
1.1	Υλικά, διεργασίες, και επιλογή	26
1.2	Ιδιότητες των υλικών	28
1.3	Ιδιότητες που περιορίζουν τον σχεδιασμό	33
1.4	Περίληψη και συμπεράσματα	34
1.5	Πρόσθετες πηγές	35
1.6	Ασκήσεις	35

1.1 Υλικά, διεργασίες και επιλογή

Οι μηχανικοί κατασκευάζουν πράγματα. Τα κατασκευάζουν από υλικά. Τα υλικά πρέπει να φέρουν φορτία, να μονώνουν ή να άγουν τη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό, να διαπερνώνται ή όχι από τη μαγνητική ροή, να διαδίδουν ή να ανακλούν το φως, να επιβιώνουν σε διαβρωτικές συνθήκες και σε συνθήκες υποβάθμισής τους, και όλα αυτά να τα κάνουν χωρίς να προξενούν βλάβη στο περιβάλλον ή να κοστίζουν πάρα πολύ.

Και να ποιος είναι ο εταίρος σε όλα αυτά. Για να κατασκευάσετε κάτι από ένα υλικό χρειάζεται και μια διεργασία. Όχι οποιαδήποτε διεργασία — αυτή που θα επιλέξετε πρέπει να είναι συμβατή με το υλικό που σκοπεύετε να χρησιμοποιήσετε. Μερικές φορές, η διεργασία είναι ο κυρίαρχος εταίρος και χρειάζεται να βρεθεί ένα υλικό-συνεργάτης που να είναι συμβατό με αυτή. Είναι ένα είδος γάμου. Η συμβατότητα δεν επιτυγχάνεται εύκολα — πολλοί γάμοι αποτυγχάνουν — και η αστοχία των υλικών μπορεί να είναι καταστροφική, εγείροντας θέματα απόδοσης ευθυνών και καταβολής αποζημιώσεων. Το τελευταίο μοιάζει με δουλειά για δικηγόρους, και συχνά είναι: ορισμένοι ειδικοί εξασφαλίζουν τα προς το ζην ως ειδικοί εμπειρογνώμονες σε δικαστικές υποθέσεις οι οποίες αφορούν αστοχία υλικών. Στόχος όμως εδώ δεν είναι να αντιδικήσουμε: είναι να σας δώσουμε μια άποψη του σύμπαντος των υλικών (καθώς ακόμη και στους πιο μακρινούς πλανήτες θα βρείτε τα ίδια στοιχεία) και του σύμπαντος των διεργασιών, και να δώσουμε μεθόδους και εργαλεία επιλογής τους ώστε να εξασφαλίζετε μια επιτυχή και ανθεκτική στο χρόνο ένωσή τους.

Θα μπορούσατε όμως να πείτε ότι οι μηχανικοί κατασκευάζουν πράγματα από υλικά για αιώνες, και με επιτυχία — ας θυμηθούμε τους Isambard Kingdom Brunel, Thomas Telford, Gustave Eiffel, Henry Ford, Karl Benz και Gottlieb Daimler, και τους αδελφούς Wright. Γιατί χρειαζόμαστε νέες μεθόδους επιλογής υλικών; Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει μια μικρή ιστορία. Ρίξτε μια ματιά στο πορτραίτο στην αρχή του κεφαλαίου. Δείχνει τον James Stuart, τον πρώτο Καθηγητή της Μηχανικής (Engineering) στο Πανεπιστήμιο του Cambridge από το 1875 έως το 1890 (προσέξτε το πούρο). Στην εποχή του, ο διαθέσιμος αριθμός υλικών στους μηχανικούς ήταν μικρός — μερικές εκατοντάδες το πολύ. Δεν υπήρχαν συνθετικά πολυμερή — σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 45000. Δεν υπήρχαν ελαφρά κράματα (το αλουμίνιο καθιερώθηκε ως τεχνικό υλικό κατασκευής μηχανών στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα) — τώρα υπάρχουν χιλιάδες. Δεν υπήρχαν σύνθετα υψηλής απόδοσης — τώρα υπάρχουν εκατοντάδες. Η ιστορία εξελίσσεται περαιτέρω στο Σχήμα 1.1, ο άξονας χρόνου του οποίου καλύπτει 10000 χρόνια. Παρουσιάζει πότε περίπου αναπτύχθηκε για πρώτη φορά κάθε μία από τις βασικές κατηγορίες υλικών. Η κλίμακα του χρόνου δεν είναι γραμμική — σχεδόν όλα τα υλικά που χρησιμοποιούμε σήμερα αναπτύχθηκαν τα τελευταία 100 χρόνια. Και ο αριθμός αυτός είναι τεράστιος: περισσότερα από 160000 υλικά είναι διαθέσιμα σήμερα στους μηχανικούς, δίνοντάς μας ένα πρόβλημα που ο Καθηγητής Stuart δεν είχε: εκείνο της βέλτιστης επιλογής από αυτό το τεράστιο μενού. Με τη συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για απόδοση,



Σχήμα 1.1 Η εξέλιξη των υλικών με το χρόνο. Τα υλικά της προϊστορίας, στα αριστερά, απαντώνται όλα στη φύση· η πρόκληση για τον μηχανικό εκείνης της εποχής ήταν να τους δώσει ένα σχήμα. Η ανάπτυξη της θερμοχημείας, και (αργότερα) της χημείας των πολυμερών, έδωσε τη δυνατότητα παραγωγής τεχνητών υλικών, που φαίνονται στις έγχρωμες ζώνες. Τρία υλικά — ο λίθος, ο χαλκός, και ο σίδηρος — είχαν τέτοια σημασία που η εποχή στην οποία κυριάρχησε το καθένα φέρει το όνομά του.

οικονομία, και αποδοτικότητα, και την απαίτηση αποφυγής βλάβης στο περιβάλλον, η κατάλληλη επιλογή γίνεται πολύ σημαντική. Καινοτόμος σχεδιασμός σημαίνει αξιοποίηση των ιδιοτήτων που προσφέρουν τα υλικά, με φαντασία.

Οι ιδιότητες αυτές είναι σήμερα σε μεγάλο βαθμό γνωστές και τεκμηριωμένες σε τεχνικά εγχειρίδια: ένα από αυτά — το *ASM Materials Handbook* — που αποτελείται από 22 χοντρούς τόμους, είναι απλώς ένα από πολλά. Πώς μπορούμε να διαχειριστούμε αυτόν τον τεράστιο όγκο πληροφοριών; Ευτυχώς, από την εποχή του Καθηγητή Stuart έχει αλλάξει κάτι ακόμη: σήμερα διαθέτουμε ψηφιακή αποθήκευση και διαχείριση των πληροφοριών. Ο σχεδιασμός με τη χρήση υπολογιστή αποτελεί σήμερα καθιερωμένο τμήμα της εκπαίδευσης των μηχανικών, και υποστηρίζεται από ευρέως διαθέσιμα πακέτα μοντελοποίησης στερεών, ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, βελτιστοποίησης, και επιλογής υλικών και διεργασιών. Το λογισμικό για το τελευταίο — την επιλογή υλικών και

διεργασιών — αντλεί πληροφορίες από βάσεις δεδομένων με τα χαρακτηριστικά και τις διεργασίες των υλικών, τεκμηριώνοντας την αμοιβαία συμβατότητά τους, και επιτρέπει την αναζήτησή τους και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τρόπους που δίνουν τη δυνατότητα επιλογών οι οποίες πληρούν με τον καλύτερο τρόπο τις απαιτήσεις του σχεδιασμού.

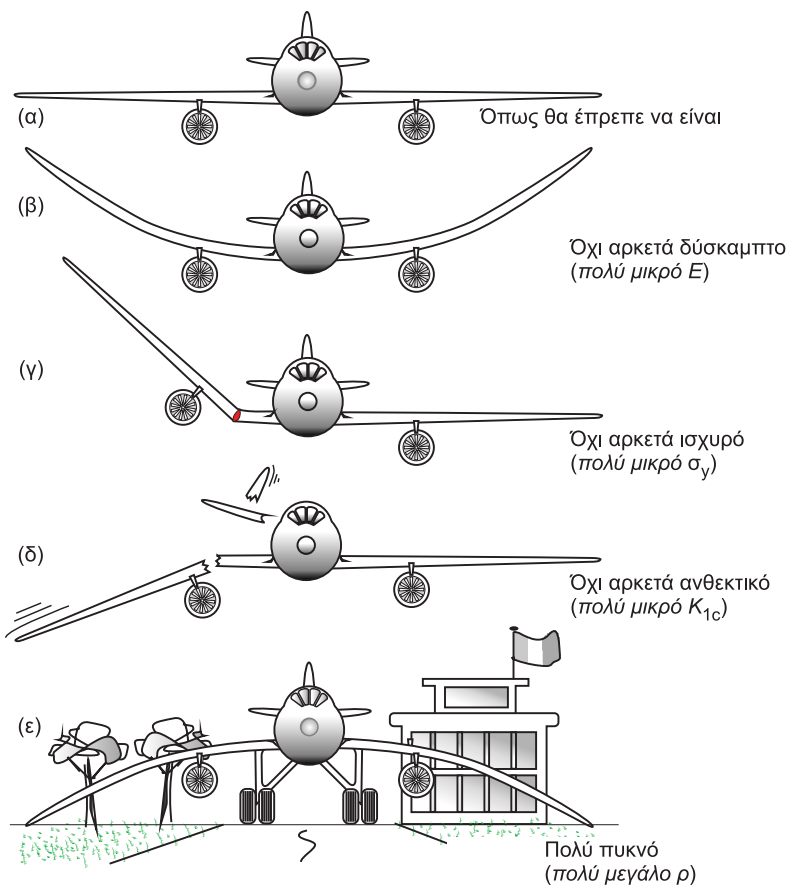
Όταν ταξιδεύετε με τα πόδια, με ποδήλατο, ή με αυτοκίνητο, παίρνετε μαζί σας ένα χάρτη. Το τοπίο των υλικών, όπως και το αντίστοιχο της γης, μπορεί να είναι πολύπλοκο και μπερδεμένο· οι χάρτες είναι καλή ιδέα και εδώ. Το βιβλίο αυτό παρουσιάζει μια καθοδηγούμενη από τον σχεδιασμό (design-led) προσέγγιση των υλικών και των διεργασιών παραγωγής, με τη χρήση χαρτών: πρωτότυπων γραφικών που απεικονίζουν τον κόσμο των υλικών και των διεργασιών με εύκολα προσπελάσιμους τρόπους. Οι χάρτες παρουσιάζουν τις ιδιότητες των υλικών με τρόπους που δίνουν μια συνολική εικόνα, αποκαλύπτουν τις σχέσεις μεταξύ ιδιοτήτων, και δίνουν τη δυνατότητα επιλογής.

1.2 Ιδιότητες των υλικών

Τι είναι λοιπόν αυτές οι ιδιότητες; Με ορισμένες, όπως η πυκνότητα (μάζα ανά μονάδα όγκου) και η τιμή (κόστος ανά μονάδα όγκου ή βάρους), είμαστε αρκετά εξοικειωμένοι· με άλλες όμως όχι και η κατανόησή τους είναι ουσιώδης. Σκεφθείτε πρώτα αυτές που σχετίζονται με την ασφαλή παραλαβή φορτίων — τις *μηχανικές ιδιότητες*.

Μηχανικές ιδιότητες Ένας χαλύβδινος χάρακας κάμπτεται εύκολα *ελαστικά* — "ελαστικά" σημαίνει πως επιστρέφει αμέσως στην αρχική του θέση και κατάσταση όταν αφαιρεθεί ελεύθερος. Η ελαστική του δυσκαμψία (στην περίπτωση μας, η αντίσταση σε κάμψη) οφείλεται εν μέρει στο σχήμα του — οι λεπτές λωρίδες κάμπτονται εύκολα — και εν μέρει σε μια ιδιότητα του ίδιου του χάλυβα: το *μέτρο ελαστικότητάς* του E . Υλικά με υψηλό μέτρο ελαστικότητας E , όπως ο χάλυβας είναι εγγενώς δύσκαμπτα· αυτά με χαμηλό E , όπως το πολυαιθυλένιο, δεν είναι. Το Σχήμα 1.2(β) δείχνει τις συνέπειες της ανεπαρκούς δυσκαμψίας.

Ο χαλύβδινος χάρακας κάμπτεται ελαστικά, αλλά αν είναι καλής ποιότητας είναι δύσκολο να του δώσουμε μόνιμη κάμψη. Η μόνιμη παραμόρφωση σχετίζεται με την *αντοχή*, όχι με τη δυσκαμψία. Η ευκολία με την οποία ένας χάρακας μπορεί να καμφθεί μόνιμα εξαρτάται, και πάλι, από το σχήμα του και από μια διαφορετική ιδιότητα του χάλυβα — την *αντοχή σε διαρροή* (ή όριο διαρροής), σ_y . Υλικά με μεγάλο σ_y , όπως τα κράματα τιτανίου, δύσκολα παραμορφώνονται μόνιμα ακόμη και αν η δυσκαμψία τους, όπως προκύπτει από το E , δεν είναι τόσο υψηλή· αυτά με χαμηλό σ_y , όπως ο μολύβδος, μπορούν να παραμορφωθούν με ευκολία. Όταν τα μέταλλα παραμορφώνονται γίνονται γενικά πιο ανθεκτικά (η διαδικασία αυτή ονομάζεται "ενδοτράχυνση"), αλλά υπάρχει ένα ανώτατο όριο, που ονομάζεται *αντοχή σε εφελκυσμό*, σ_{ts} , πέρα από το οποίο το υλικό αστοχεί (η ποσότητα της επιμήκυνσης πριν από τη θραύση ονομάζεται *ολκιμότητα*). Το Σχήμα 1.2(γ) δείχνει τις συνέπειες της ανεπαρκούς αντοχής.



Σχήμα 1.2 Μηχανικές ιδιότητες.

Μέχρι εδώ όλα καλά. Κάτι ακόμη: αν ο χάρακας δεν είναι κατασκευασμένος από χάλυβα, αλλά από γυαλί ή από PMMA (Plexiglas, Perspex), όπως οι διαφανείς χάρακες, δεν είναι δυνατόν να καμφθεί μόνιμα καθόλου. Ο χάρακας θα σπάσει ξαφνικά, χωρίς προειδοποίηση, πριν αποκτήσει μια μόνιμη κάμψη. Θεωρούμε τα υλικά που θραύονται με αυτόν τον τρόπο ως ψαθυρά, και τα υλικά που δε συμπεριφέρονται έτσι ως ανθεκτικά. Δεν υπάρχει μόνιμη παραμόρφωση σε αυτή την περίπτωση, οπότε η σ_y δεν είναι η κατάλληλη ιδιότητα. Αντί γι' αυτό, η αντίσταση των υλικών στη ρηγμάτωση και τη θραύση μετράται με την *αντοχή θραύσης*, K_{1c} . Οι χάλυβες είναι ανθεκτικοί — τέλος πάντων, οι περισσότεροι (οι χάλυβες *μπορούν* να γίνουν ψαθυροί) — έχουν υψηλό K_{1c} . Το γυαλί είναι η επιτομή της ψαθυρότητας· έχει πολύ χαμηλό K_{1c} . Το Σχήμα 1.2(δ) δείχνει τις συνέπειες της ανεπαρκούς αντοχής σε θραύση.

Ξεκινήσαμε με την ιδιότητα της *πυκνότητας* των υλικών, δηλαδή της μάζας ανά μονάδα όγκου, που συμβολίζεται με ρ . Η πυκνότητα σε ένα χάρακα είναι χωρίς σημασία. Όμως, σχεδόν για οτιδήποτε κινείται, το βάρος επιφέρει ένα κόστος καυσίμων, μέτριο για τα μικρά αυτοκίνητα, μεγαλύτερο για τα φορτηγά και τα τρέινα, ακόμη μεγαλύτερο για τα αεροπλάνα, και τεράστιο για τα διαστημόπλοια. Η ελαχιστοποίηση του βάρους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον έξυπνο σχεδιασμό — θα ασχοληθούμε με αυτό αργότερα

— αλλά εξίσου και από την επιλογή υλικών. Το αλουμίνιο έχει χαμηλή πυκνότητα, ενώ ο μόλυβδος υψηλή. Αν το μικρό αεροσκάφος του Σχήματος 1.2(ε) ήταν κατασκευασμένο από μόλυβδο, δε θα απογειωνόταν ποτέ.

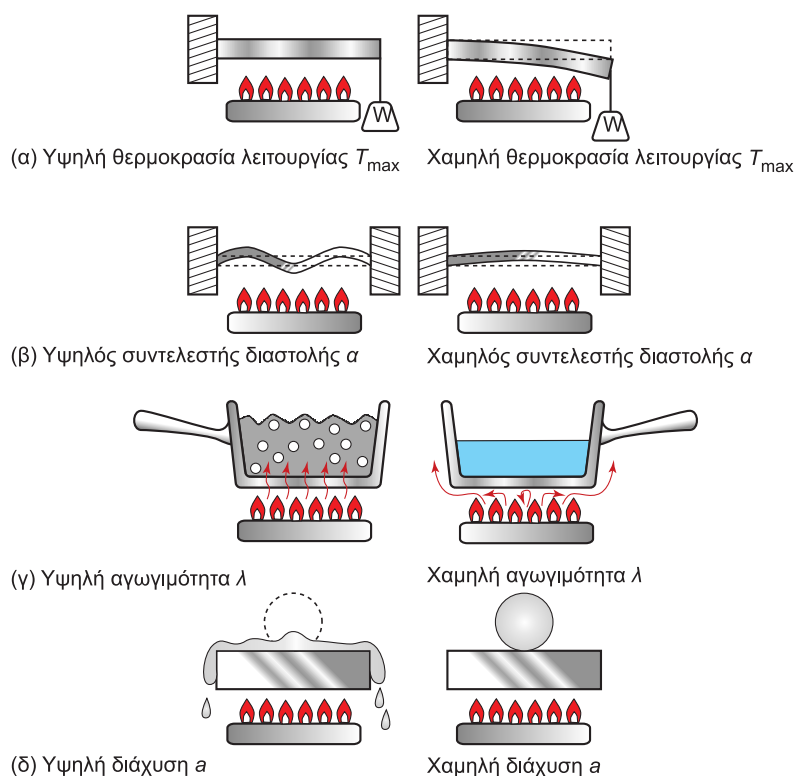
Δεν είναι αυτές οι μόνες μηχανικές ιδιότητες, αλλά είναι οι πιο σημαντικές. Θα τις συναντήσουμε, μαζί με τις άλλες, στα Κεφάλαια 4 – 11.

Θερμικές ιδιότητες Οι ιδιότητες των υλικών μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, συνήθως προς το χειρότερο. Η αντοχή τους μειώνεται, αρχίζουν να παρουσιάζουν "ερπυσμό" (να παραμορφώνονται αργά με το χρόνο), ενώ μπορεί να οξειδώνονται, να υποβαθμίζονται, ή να αποσυντίθενται (Σχήμα 1.3(α)). Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα όριο θερμοκρασίας που ονομάζεται *μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας*, $T_{\max}$, επάνω από το οποίο η χρήση του υλικού είναι πλέον άσκοπη. Ο ανοξείδωτος χάλυβας έχει υψηλό $T_{\max}$ — μπορεί να χρησιμοποιηθεί έως τους 800 °C· τα περισσότερα πολυμερή έχουν χαμηλό $T_{\max}$ και σπάνια χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες επάνω από 150 °C.

Τα περισσότερα υλικά όταν θερμαίνονται διαστέλλονται, αλλά σε διαφορετικό βαθμό που εξαρτάται από τον συντελεστή θερμικής διαστολής τους, α . Η διαστολή είναι μικρή, αλλά οι συνέπειες της μπορεί να είναι μεγάλες. Αν για παράδειγμα μια ράβδος περιορίζεται, όπως στο Σχήμα 1.3(β), και στη συνέχεια θερμανθεί, λόγω της διαστολής η ράβδος ασκεί δυνάμεις στα σημεία πάκτωσης με τελικό αποτέλεσμα τον λυγισμό της. Οι σιδηροδρομικές γραμμές λυγίζουν με αυτόν τον τρόπο αν δε ληφθεί πρόνοια για την αντιστάθμιση του προβλήματος.

Ορισμένα υλικά — όπως τα μέταλλα, για παράδειγμα — δίνουν στην αφή την αίσθηση του κρύου· άλλα — όπως το ξύλο — δίνουν την αίσθηση του ζεστού. Η αίσθηση αυτή σχετίζεται με δύο θερμικές ιδιότητες των υλικών: τη *θερμική αγωγιμότητα* και τη *θερμοχωρητικότητα*. Η πρώτη, η θερμική αγωγιμότητα, λ , μετρά το ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα ρέει μέσω ενός υλικού όταν η μια πλευρά του είναι ζεστή και η άλλη κρύα. Υλικά με υψηλό λ είναι αυτά που χρειάζεστε όταν θέλετε τη μεταφορά θερμότητας από μια θέση σε μια άλλη, όπως στα μαγειρικά σκεύη, τα θερμαντικά σώματα, και τους εναλλάκτες θερμότητας. Το Σχήμα 1.3(γ) δείχνει τις συνέπειες του υψηλού και του χαμηλού λ σε ένα μαγειρικό σκεύος. Αλλά και οι χαμηλές τιμές του λ είναι επίσης χρήσιμες — υλικά με χαμηλό λ μονώνουν τις κατοικίες, μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας σε ψυγεία και καταψύκτες, και επιτρέπουν στα διαστημικά οχήματα να επανέλθουν στην ατμόσφαιρα της γης.

Αυτές οι εφαρμογές αφορούν μακράς διάρκειας, σταθερή ροή θερμότητας. Όταν ο χρόνος είναι περιορισμένος, έχει σημασία η άλλη ιδιότητα — η *θερμοχωρητικότητα*, C_p . Η θερμοχωρητικότητα μετράει την ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία ενός υλικού κατά ορισμένη ποσότητα. Υλικά με υψηλή θερμοχωρητικότητα — όπως ο χαλκός, για παράδειγμα — χρειάζονται μεγάλη ποσότητα θερμότητας για να μεταβάλουν τη θερμοκρασία τους· υλικά χαμηλής θερμοχωρητικότητας, όπως οι αφροί πολυμερών, χρειάζονται πολύ λιγότερη θερμότητα για την ίδια μεταβολή.



Σχήμα 1.3 Θερμικές ιδιότητες.

Η σταθερή ροή θερμότητας σχετίζεται, όπως είπαμε, με τη θερμική αγωγιμότητα. Υπάρχει μια πιο διακριτική ιδιότητα που περιγράφει τι συμβαίνει όταν η θερμότητα εφαρμόζεται για πρώτη φορά. Θεωρήστε ότι ανάβετε το γκάζι κάτω από μια παγωμένη πλάκα υλικού με μια μπάλα παγωτού επάνω της όπως στο Σχήμα 1.3(δ). Αμέσως μετά από την ανάφλεξη του αερίου, η κάτω επιφάνεια της πλάκας είναι ζεστή ενώ η υπόλοιπη παραμένει κρύα. Μετά από λίγο, το μέσο της πλάκας θερμαίνεται, και ακόμη αργότερα θερμαίνεται η επάνω πλευρά της και το παγωτό αρχίζει να λιώνει. Πόσο χρόνο χρειάζεται αυτή η διαδικασία; Για δεδομένο πάχος της πλάκας, ο χρόνος που απαιτείται είναι αντιστρόφως ανάλογος της *θερμικής διάχυσης*, a , του υλικού της πλάκας. Η θερμική διάχυση διαφέρει από τη θερμική αγωγιμότητα επειδή τα υλικά διαφέρουν στη θερμοχωρητικότητά τους — για την ακρίβεια, είναι ανάλογη του λόγου λ/C_p .

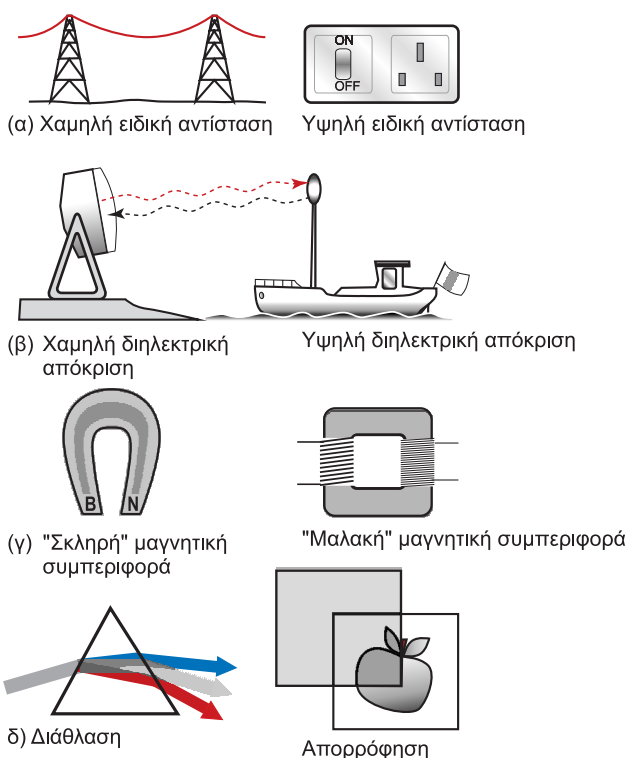
Τις άλλες θερμικές ιδιότητες θα τις περιγράψουμε στα Κεφάλαια 12 και 13, αλλά προς το παρόν αυτά είναι αρκετά. Τώρα θα περάσουμε στις ηλεκτρικές, τις μαγνητικές, και τις οπτικές ιδιότητες.

Ηλεκτρικές, μαγνητικές, και οπτικές ιδιότητες Θα ξεκινήσουμε με την ηλεκτρική αγωγιμότητα και μόνωση (Σχήμα 1.4(α)). Χωρίς την ηλεκτρική αγωγιμότητα δε θα είχαμε εύκολη πρόσβαση στο φως, τη θερμότητα, την ενέργεια, τον έλεγχο, και την επικοινωνία που — σήμερα — θεωρούμε δεδομένα. Τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί — ο χαλκός και το αλουμίνιο είναι οι καλύτεροι αγωγοί με λογικό κόστος. Όμως, η αγωγιμότητα

δεν είναι πάντοτε ωφέλιμη. Οι ασφαλειοθήκες, το περίβλημα των διακοπών, τα σημεία ανάρτησης των γραμμών μεταφοράς, όλα απαιτούν μονωτές και, επιπλέον, αυτά που μεταφέρουν κάποιο φορτίο πρέπει να αντέχουν σε κάποια θερμότητα και ηλεκτρικούς σπινθήρες που μπορεί να υπάρξουν. Εδώ η ιδιότητα που θέλουμε είναι η *ειδική αντίσταση*, ρ_e , το αντίστροφο της ειδικής αγωγιμότητας κ_e . Τα περισσότερα πλαστικά και ύαλοι έχουν υψηλή ειδική αντίσταση (Σχήμα 1.4(α)) — χρησιμοποιούνται ως μονωτές — αν και με ειδική κατεργασία μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να παρουσιάζουν κάποια αγωγιμότητα.

Το Σχήμα 1.4(β) παρουσιάζει και άλλες ηλεκτρικές ιδιότητες: την ικανότητα να επιτρέπεται η διέλευση μικροκυματικής ακτινοβολίας, όπως στα radome (κατασκευές ή επικαλύψεις που επιτρέπουν τη διέλευση μικροκυματικής ακτινοβολίας προστατεύοντας τις κεραίες από περιβαλλοντική φθορά), ή την ανάκλασή της, όπως στους παθητικούς ανακλαστήρες της βάρκας. Και τα δύο σχετίζονται με τις *διηλεκτρικές* ιδιότητες, και συγκεκριμένα με τη *διηλεκτρική σταθερά*, ϵ_D . Υλικά με υψηλό ϵ_D αποκρίνονται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο με τη σχετική μετακίνηση των ηλεκτρονίων από τις θέσεις τους, ακόμη και με την αλλαγή του προσανατολισμού των μορίων τους: υλικά με χαμηλό ϵ_D είναι απρόσβλητα από το πεδίο και δεν αποκρίνονται. Θα εξερευνήσουμε αυτές και άλλες ηλεκτρικές ιδιότητες στο Κεφάλαιο 14.

Ο ηλεκτρισμός και μαγνητισμός συνδέονται στενά. Ηλεκτρικά ρεύματα δημιουργούν (επάγουν) μαγνητικά πεδία. Ένας κινούμενος μαγνήτης δημιουργεί, σε οποιονδήποτε κοντινό αγωγό, ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόκριση των περισσότερων υλικών στο μαγνητικό



Σχήμα 1.4 Ηλεκτρικές, μαγνητικές, και οπτικές ιδιότητες.

πεδίο είναι πολύ μικρή για να έχει πρακτική σημασία. Λίγα υλικά όμως — που λέγονται σιδηρομαγνήτες — έχουν την ικανότητα να παγιδεύουν ένα μαγνητικό πεδίο μόνιμα. Αυτά λέγονται "σκληρά" μαγνητικά υλικά επειδή, αν μαγνητιστούν είναι δύσκολο να απομαγνητιστούν. Χρησιμοποιούνται ως μόνιμοι μαγνήτες σε ακουστικά, κινητήρες, και δυναμό. Εδώ η ιδιότητα-κλειδί είναι η *παραμένουσα μαγνήτιση*, ένα μέτρο της έντασης του διατηρούμενου μαγνητισμού. Κάποια λίγα άλλα — "μαλακά" μαγνητικά υλικά μαγνητίζονται και απομαγνητίζονται εύκολα. Είναι τα υλικά του πυρήνα των μετασχηματιστών και των πηνίων εκτροπής του καθοδικού σωλήνα της τηλεόρασης. Έχουν την ικανότητα να άγουν ένα μαγνητικό πεδίο, αλλά να μην το διατηρούν μόνιμα (Σχήμα 1.4(γ)). Γι' αυτά η ιδιότητα-κλειδί είναι η *μαγνήτιση κορεσμού*, η οποία εκφράζει πόσο ισχυρό πεδίο μπορεί να άγει το υλικό. Τα θέματα αυτά θα τα συναντήσουμε ξανά στο Κεφάλαιο 15.

Τα υλικά αποκρίνονται στο φως καθώς και στον ηλεκτρισμό και το μαγνητισμό — γεγονός που δε μας εκπλήσσει επειδή το ίδιο το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Τα αδιαφανή υλικά *ανακλούν* το φως· τα διαφανή το *διαθλούν*, και ορισμένα έχουν την ικανότητα να *απορροφούν* ορισμένα μήκη κύματος (χρώματα) και να επιτρέπουν σε άλλα να περάσουν ελεύθερα (Σχήμα 1.4(δ)). Όλα αυτά θα τα εξερευνήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος στο Κεφάλαιο 16.

Χημικές ιδιότητες Τα προϊόντα πρέπει συχνά να λειτουργήσουν σε εχθρικά περιβάλλοντα, να εκτεθούν σε διαβρωτικά υγρά, σε θερμά αέρια, ή σε ακτινοβολία. Ο υγρός αέρας είναι διαβρωτικός, και το ίδιο το νερό· ο ιδρώτας των χεριών είναι ιδιαίτερα διαβρωτικός και, φυσικά, υπάρχουν πολύ πιο σκληρά περιβάλλοντα από αυτά. Για να επιζήσει το προϊόν το χρονικό διάστημα για το οποίο σχεδιάστηκε, πρέπει να είναι κατασκευασμένο από υλικά — ή τουλάχιστον επικαλυμμένο με υλικά — που μπορούν να αντέξουν στο περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν. Το Σχήμα 1.5 παρουσιάζει ορισμένα από τα πιο συνηθισμένα από αυτά: γλυκό και αλμυρό νερό, οξέα και βάσεις, οργανικούς διαλύτες, οξειδωτικές φλόγες, και υπεριώδη ακτινοβολία. Θεωρούμε την εγγενή αντίσταση ενός υλικού σε καθένα από αυτά τα περιβάλλοντα ως τις ιδιότητες του υλικού, και τη μετρούμε σε μια κλίμακα από 1 (πολύ κακή) έως 5 (πολύ καλή). Το Κεφάλαιο 17 ασχολείται με την αντοχή των υλικών στον χρόνο.

1.3 Ιδιότητες που περιορίζουν τον σχεδιασμό

Η απόδοση ενός εξαρτήματος περιορίζεται από ορισμένες ιδιότητες των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένο. Αυτό σημαίνει ότι, για να επιτύχουμε ένα επιθυμητό επίπεδο απόδοσης, οι τιμές των περιοριστικών για τον σχεδιασμό ιδιοτήτων πρέπει να επιτυγχάνουν συγκεκριμένους στόχους — αυτές που δεν το κάνουν δεν είναι κατάλληλες. Στο σκίτσο του Σχήματος 1.2, η δυσκαμψία, η αντοχή, και η δυσθραυστότητα θέτουν όρια στον σχεδιασμό — αν οποιαδήποτε από αυτές είναι πολύ χαμηλή, το αεροπλάνο δε θα πετάξει. Κατά τον σχεδιασμό γραμμών μεταφοράς ενέργειας, στον σχεδιασμό θέτει όρια η ηλεκτρική ειδική αντίσταση· στον σχεδιασμό του φακού μιας φωτογραφικής μηχανής, το όριο είναι η οπτική ποιότητα και ο δείκτης διάθλασης.

Επιλέγουμε υλικά προσδιορίζοντας τις περιοριστικές για τον σχεδιασμό ιδιότητες και εφαρμόζοντας όρια σε αυτές, απορρίπτοντας αυτές που δεν πληρούν τα όρια (Κεφάλαιο 3). Οι διεργασίες έχουν επίσης ιδιότητες, αν και δεν τις συναντήσαμε ακόμη. Και αυτές επίσης μπορούν να ασκήσουν περιορισμούς στον σχεδιασμό, οδηγώντας σε μια παράλληλη μέθοδο επιλογής βιώσιμων διεργασιών (Κεφάλαια 18 και 19).



Σχήμα 1.5 Χημικές ιδιότητες: αντίσταση στο νερό, τα οξέα, τις βάσεις, τους οργανικούς διαλύτες, την οξείδωση, και την ακτινοβολία.

1.4 Περίληψη και συμπεράσματα

Ο τεχνικός σχεδιασμός βασίζεται σε υλικά που μορφοποιούνται, συνδέονται, και ολοκληρώνονται μέσω διεργασιών. Οι απαιτήσεις του σχεδιασμού ορίζουν την απαιτούμενη συμπεριφορά των υλικών, η οποία εκφράζεται με τιμές στόχου συγκεκριμένων περιοριστικών για τον σχεδιασμό ιδιοτήτων. Ένα υλικό επιλέγεται επειδή οι ιδιότητές του πληρούν αυτούς του στόχους και είναι συμβατό με τις διεργασίες που απαιτούνται για τη μορφοποίηση, τη σύνδεση, και την ολοκλήρωσή του.

Το κεφάλαιο αυτό εισήγαγε ορισμένες από τις ιδιότητες που περιορίζουν τον σχεδιασμό: τις φυσικές ιδιότητες (όπως η πυκνότητα), τις μηχανικές ιδιότητες (όπως το μέτρο ελαστικότητας και το όριο διαρροής), και τις λειτουργικές ιδιότητες (αυτές που περιγράφουν τη θερμική, την ηλεκτρική, τη μαγνητική, και την οπτική συμπεριφορά). Στα κεφάλαια που

ακολουθούν θα εξετάσουμε όλες αυτές τις ιδιότητες σε μεγαλύτερο βάθος, αλλά για την ώρα αρκούν αυτές που παρουσιάσαμε για να συνεχίσουμε. Τώρα θα περάσουμε στα ίδια τα υλικά: τις οικογένειες, τις κλάσεις, και τα μέλη.

1.5 Πρόσθετες πηγές

Η ιστορία και η εξέλιξη των υλικών

Singer, C., Holmyard, E. J., Hall, A. R., Williams, T. I., & Hollister-Short, G. (Επιμέλεια.), (1954 – 2001). *A History of Technology*. (21 τόμοι), Οξφόρδη, HB: Oxford University Press. ISSN 0307-5451. (Μια συγκέντρωση δοκιμίων σε θέματα τεχνολογίας, μεταξύ των οποίων και υλικά.)

Delmonte, J. (1985) *Origins of Materials and Processes*, Technomic Publishing Company, Pennsylvania, ΗΠΑ. ISBN 87762-420-8. (Μια επιτομή πληροφοριών σχετικά με τα υλικά στις τεχνικές κατασκευές, που τεκμηριώνει την ιστορία.)

Tylecoate, R. F. (1992) *A History of Metallurgy* (2η έκδοση) The Institute of Materials, Λονδίνο, HB. ISBN 0-904357-066. (Μια σειρά εξαιρετικά ενδιαφερόντων μαθημάτων για την εξαγωγή και τη χρήση των μετάλλων από το 6000 π.Χ. μέχρι το 1976, από ένα συγγραφέα με εγκληματολογικό ταλέντο και αγάπη για τη λεπτομέρεια.)

1.6 Ασκήσεις

Άσκηση 1.1 Χρησιμοποιήστε τη μηχανή αναζήτησης Google για να βρείτε την ιστορία και τις χρήσεις ενός από τα παρακάτω υλικά:

- Κασσίτερος
- Ύαλος
- Τσιμέντο
- Τιτάνιο
- Ανθρακονήματα.

Παρουσιάστε τα αποτελέσματα με τη μορφή σύντομης αναφοράς 100 έως 200 λέξεων (μισή σελίδα κατά προσέγγιση).

Άσκηση 1.2 Πώς αντιλαμβάνεστε την έννοια *ιδιότητες που περιορίζουν τον σχεδιασμό* σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή;

Άσκηση 1.3 Έχουν υπάρξει πολλές προσπάθειες παραγωγής και εμπορικής διάθεσης πλαστικών ποδηλάτων. Όλα αποδείχθηκαν πολύ εύκαμπτα. Ποια περιοριστική για τον σχεδιασμό ιδιότητα δεν είναι αρκετά μεγάλη;

Υλικά: Μηχανική, επιστήμη, επεξεργασία και σχεδιασμός

2η αγγλική έκδοση

Michael Ashby, Επίτιμος Καθηγητής έρευνας στο Πανεπιστήμιο του Cambridge και πρώην Επισκέπτης Καθηγητής Σχεδιασμού στο Royal College of Art του Λονδίνου

Hugh Shercliff, Επίκουρος Καθηγητής στο τμήμα Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου του Cambridge

David Cebon, Καθηγητής Μηχανολογίας στο Πανεπιστήμιο του Cambridge

Ένα απαραίτητο σύγγραμμα και πηγή αναφοράς για την τεχνολογία των υλικών που δίνει στους σπουδαστές τη δυνατότητα να αναπτύξουν δεξιότητες και να κατανοήσουν τις ιδιότητες και την επιλογή υλικών για τεχνικές εφαρμογές. Ακολουθώντας μια προσέγγιση βασισμένη στον σχεδιασμό με πολύ ευρύτερη εμβέλεια από άλλα παρόμοια συγγράμματα, αυτή η δεύτερη αγγλική έκδοση του βιβλίου καλύπτει τη διδακτέα ύλη μιας μεγάλης ποικιλίας μαθημάτων στον τομέα των υλικών και του σχεδιασμού, όπως η Εισαγωγή στην Επιστήμη και την Τεχνολογία των Υλικών, τα Τεχνικά Υλικά, η Επιλογή και Επεξεργασία Υλικών, και τα Υλικά στον Σχεδιασμό. Σε αυτή τη νέα έκδοση διατηρείται η εστίαση στον σχεδιασμό και η έμφαση στην οπτική επικοινωνία, ενώ διευρύνεται παράλληλα ο χειρισμός της κρυσταλλογραφίας και των διαγραμμάτων φάσεων με τη χρήση ενοτήτων καθοδηγούμενης εκμάθησης, έτσι ώστε να καλύπτονται πλήρως οι ανάγκες ενός εισαγωγικού μαθήματος στα υλικά.

Κυριότερα χαρακτηριστικά του βιβλίου:

- Η βασισμένη στον σχεδιασμό προσέγγιση παρέχει κίνητρα και διατηρεί το ενδιαφέρον των σπουδαστών για τη μελέτη της Επιστήμης και της Τεχνολογίας των Υλικών μέσω πραγματικών μελετών περιπτώσεων και διαφωτιστικών παραδειγμάτων
- Εξαιρετικά εποπτικά έγχρωμα σχήματα διευκολύνουν την κατανόηση των εννοιών και των ιδιοτήτων των υλικών
- Κεφάλαια για την επιλογή και τον σχεδιασμό υλικών παρεμβάλλονται μεταξύ κεφαλαίων όπου περιγράφονται τα βασικά των υλικών, δίνοντας έτσι στους σπουδαστές τη δυνατότητα να διαπιστώσουν αμέσως τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι συγκεκριμένες βασικές γνώσεις μπορούν να αποδειχθούν σημαντικές στη διαδικασία του σχεδιασμού

Νέα χαρακτηριστικά αυτής της έκδοσης:

- Ενότητες «καθοδηγούμενης εκμάθησης» σχετικά με την κρυσταλλογραφία, τα διαγράμματα φάσεων, και τους μετασχηματισμούς φάσεων βοηθούν τους σπουδαστές να εμπεδώσουν καλύτερα αυτά τα κρίσιμα βασικά ζητήματα
- Αναθεωρημένα και συμπληρωμένα κεφάλαια για την ανθεκτικότητα και την κατεργασία των υλικών με στόχο τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους
- Περισσότερα από 50 νέα λυμένα παραδείγματα σε ολόκληρο το βιβλίο



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Διομοκού 4, Σταθμός Λαρίσης, 10440 ΑΘΗΝΑ, Τηλ. 210-5237635
www.klaidarismos.gr info@klaidarismos.gr

ISBN 978-960-461-449-3



9 789604 614493