

1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η αλληλεπίδραση που υπάρχει μεταξύ κατεργασιών, σχεδιασμού και υλικών επιτάσσει μια, έστω και σύντομη αναφορά, στα (τεχνικά) υλικά, πριν την παρουσίαση και μελέτη των συγκεκριμένων κατεργασιών παραγωγής. Η αναφορά αυτή γίνεται στο παρόν Κεφάλαιο. Στην ενότητα 1.1 παρουσιάζονται οι κατηγορίες των τεχνικών υλικών και στην ενότητα 1.2 ακολουθεί η αναφορά στις ιδιότητες των υλικών, με έμφαση σ' αυτές που επηρεάζουν σημαντικά στις κατεργασίες μορφοποίησης των υλικών.

1.2 Κατηγορίες τεχνικών υλικών

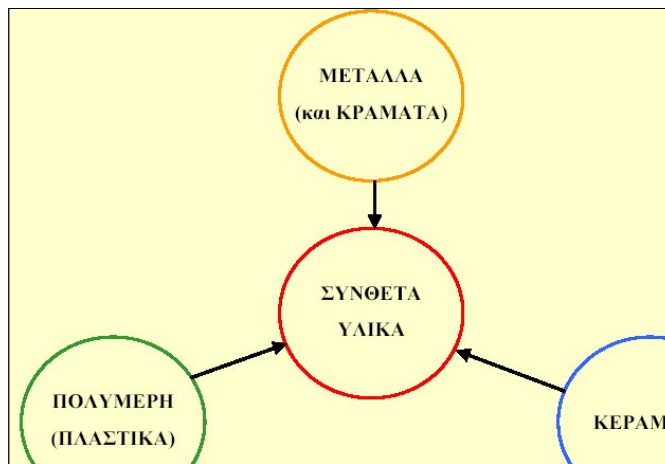
Ως τεχνικά υλικά (engineering materials) θεωρούνται όλες οι στερεές ύλες (χημικά στοιχεία ή χημικές ενώσεις), φυσικές ή τεχνητές, των οποίων οι ιδιότητες τις καθιστούν χρήσιμες σε κατασκευές ή εφαρμογές τεχνολογικού χαρακτήρα (μηχανές, συσκευές, βιομηχανικά προϊόντα).

Από την άποψη των τεχνολογικών εφαρμογών είναι σκόπιμη η κατάταξη των υλικών σε τρεις κύριες κατηγορίες:

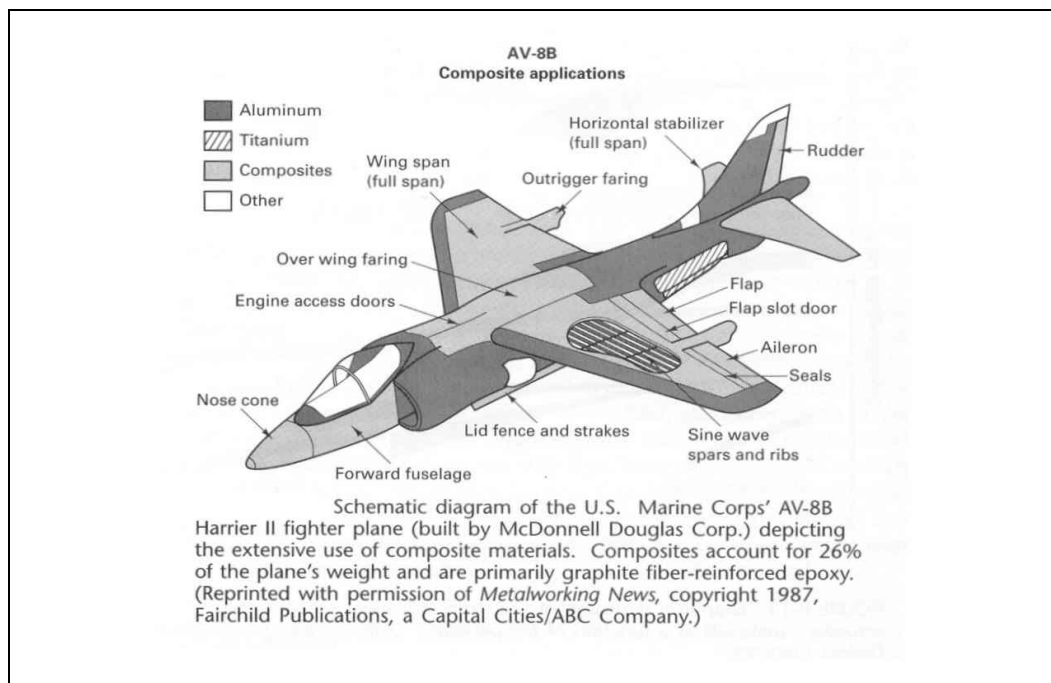
- Μέταλλα και κράματα
- Πολυμερή (πλαστικά)
- Μη μεταλλικά ανόργανα υλικά (κεραμικά)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός ανά δύο των κατηγοριών αυτών με αποτέλεσμα την δημιουργία των λεγόμενων σύνθετων υλικών (composites). Οι κύριες κατηγορίες των τεχνικών υλικών παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.1. Η αυξανόμενη χρήση σύνθετων υλικών στην κατασκευή αεροσκαφών φαίνεται στο Σχήμα 1.2(α) ενώ στο Σχήμα 1.2(β) εικονίζεται η τάση μείωσης βάρους και υποκατάστασης υλικών που εφαρμόζεται στην αυτοκινητοβιομηχανία.

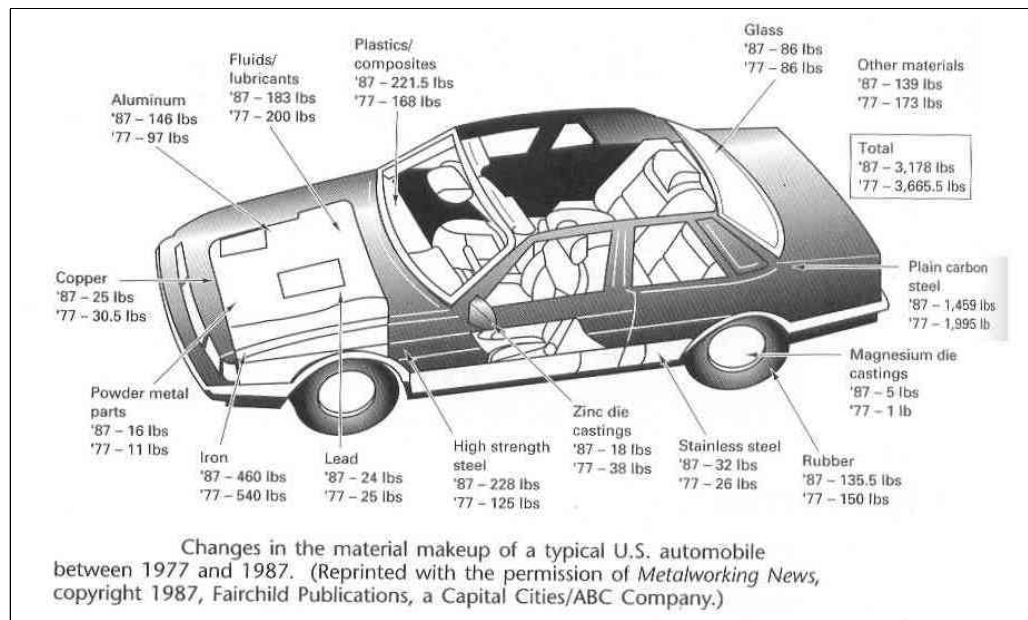
Πρέπει να επισημανθεί ότι η ανάπτυξη των τεχνολογίας και γενικότερα η εξέλιξη του υλικού πολιτισμού είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένες με την ανάπτυξη και χρήση «νέων» υλικών. Το γεγονός ότι η ανάπτυξη «καλύτερων» υλικών ασκεί την πρωταρχική επίδραση στην αύξηση των δυνατοτήτων των μηχανολογικών κατασκευών παρουσιάζεται με ενάργεια στο Σχήμα 1.3 με αναφορά την αεροναυπηγική τεχνολογία. Στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται η μεγάλη ποικιλία υλικών ενός σύγχρονου αεροπορικού κινητήρα.



Σχήμα 1.1: Κατηγορίες τεχνικών υλικών



Σχήμα 1.2: Χρήση σύνθετων υλικών σε σύγχρονο αεροσκάφος



Σχήμα 1.3: Υποκατάσταση υλικών στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Για ενημέρωση, αναφέρονται εδώ, ενδεικτικά, τεχνικά υλικά που ανήκουν στις τέσσερις προαναφερθείσες κατηγορίες υλικών.

Μέταλλα και κράματα

- Σίδηρος, χυτοσίδηροι και χάλυβες
- Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου
- Χαλκός και κράματα χαλκού
- Κράματα τιτανίου
- Κράματα νικελίου – Υπερκράματα
- Πυρίμαχα μέταλλα (refractory metals)

Πολυμερή

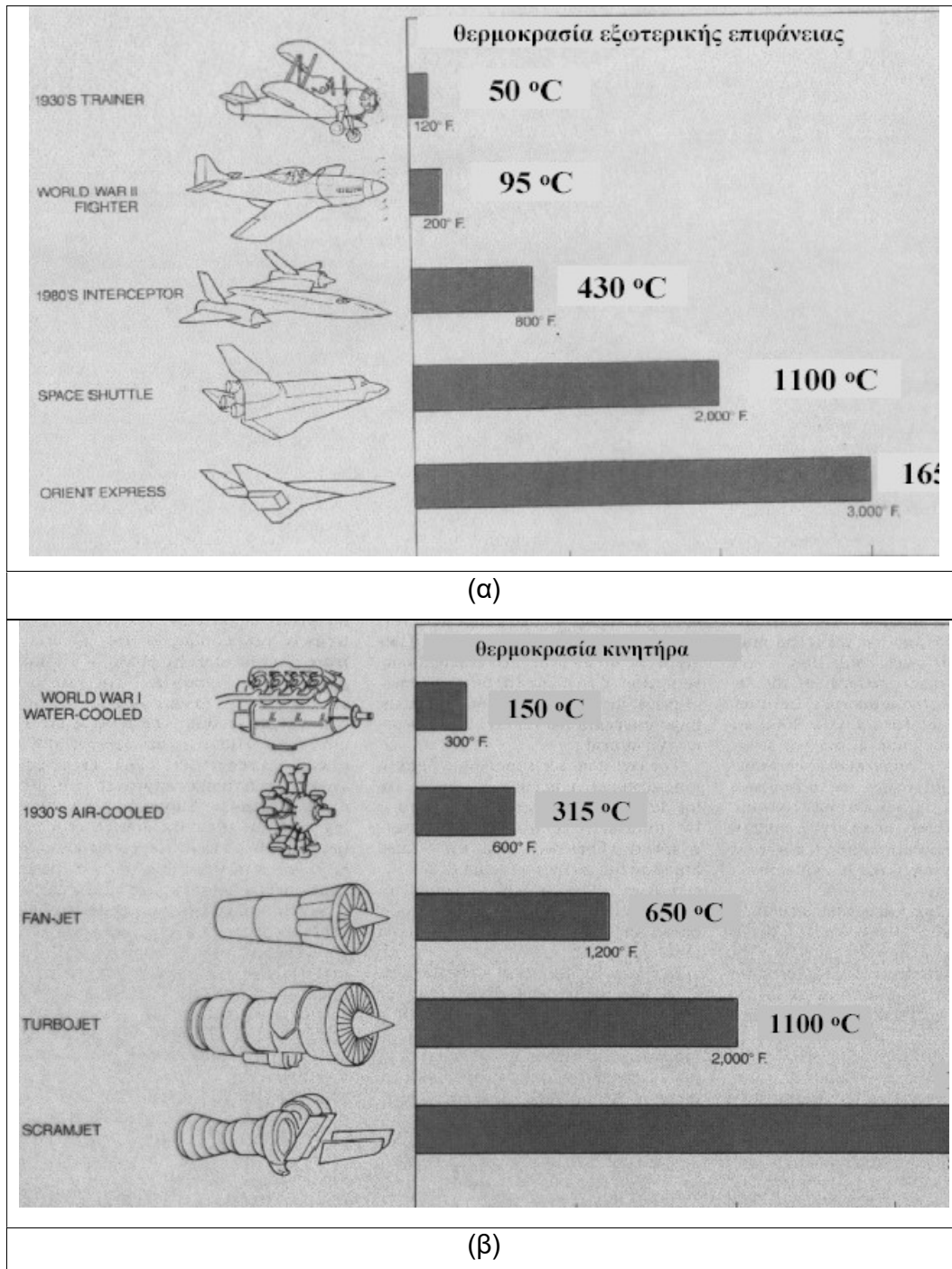
- Πολυαιθυλένιο
- Πολυστυρένιο
- Πολυουρεθάνη
- Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)
- Νάιλον

Κεραμικά

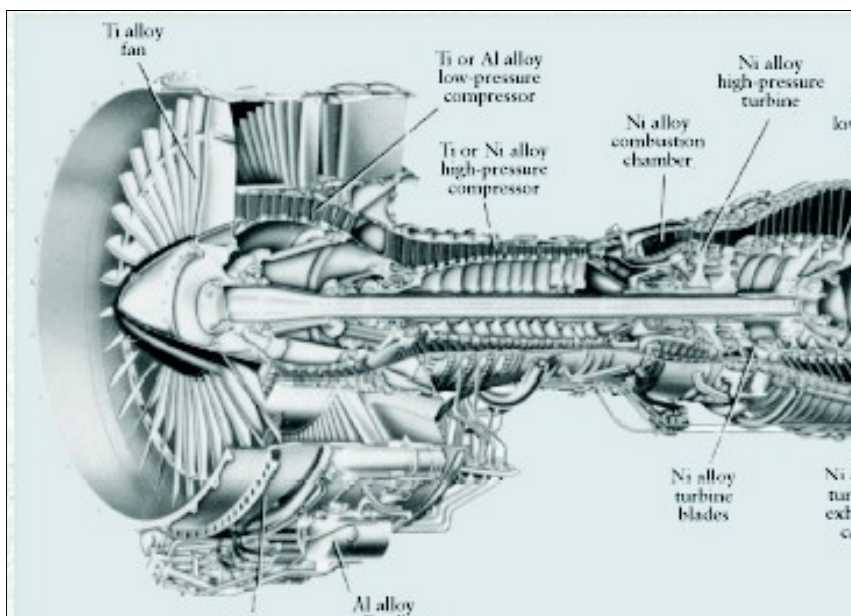
- Αλούμινα (Al_2O_3)
- Μαγνησία (MgO)
- Καρβίδιο πυριτίου (SiC)
- Χαλαζίας (SiO_2)

Σύνθετα υλικά

- Ξύλο (φυσικό σύνθετο υλικό)
- Σύνθετα μεταλλικής μήτρας (metal matrix composites)
- Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γυαλιού (GFRP)
- Ενισχυμένο σκυρόδεμα (beton arme)
- Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες άνθρακα (CFRP)
- Πολυστρωματικά υλικά (laminated)



Σχήμα 1.4: Αύξηση των ορίων λειτουργίας μηχανολογικών κατασκευών ως αποτέλεσμα της χρήσης βελτιωμένων υλικών, με αναφορά (α) την θερμοκρασία εξωτερική επιφάνειας Α/φων και (β) την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία κινητήρων Α/φων.



Σχήμα 1.5: Τομή αεροπορικού κινητήρα jet (PW 2037) με ένδειξη των επιμέρους τμημάτων και των αντιστοίχων υλικών κατασκευής.
(Προέλευση: United Aircraft Pratt & Whitney)

1.3 Ιδιότητες τεχνικών υλικών

Οι κύριες ιδιότητες των τεχνικών υλικών ομαδοποιούνται στον Πίνακα 1.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 1.1: Ιδιότητες τεχνικών υλικών

Οικονομικές ιδιότητες	Κόστος
	Διαθεσιμότητα
Μηχανικές ιδιότητες	Μέτρο ελαστικότητας
	Όριο διαρροής
	Μέγιστη αντοχή εφελκυσμού
	Δυσθραυστότητα
	Αντοχή σε κόπωση
Φυσικές ιδιότητες	Πυκνότητα
	Θερμικές ιδιότητες
	Οπτικές ιδιότητες
	Ηλεκτρικές ιδιότητες
	Μαγνητικές ιδιότητες

Επιφανειακές ιδιότητες	Αντοχή σε τριβή/φθορά
	Αντοχή σε διάβρωση
	Αντοχή σε οξείδωση
Λειτουργικές ιδιότητες (Κατεργασιμότητα)	Κατεργασιμότητα σε κοπή
	Διαμορφωσιμότητα
	Συγκολλησιμότητα
	Χυτευσιμότητα
Αισθητικές ιδιότητες	Εξωτερική εμφάνιση
	Χρώμα / Υφή

Οι φυσικές ιδιότητες επιλεγμένων υλικών, σε θερμοκρασία δωματίου, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2

Πίνακας 1.2: Ιδιότητες τεχνικών υλικών

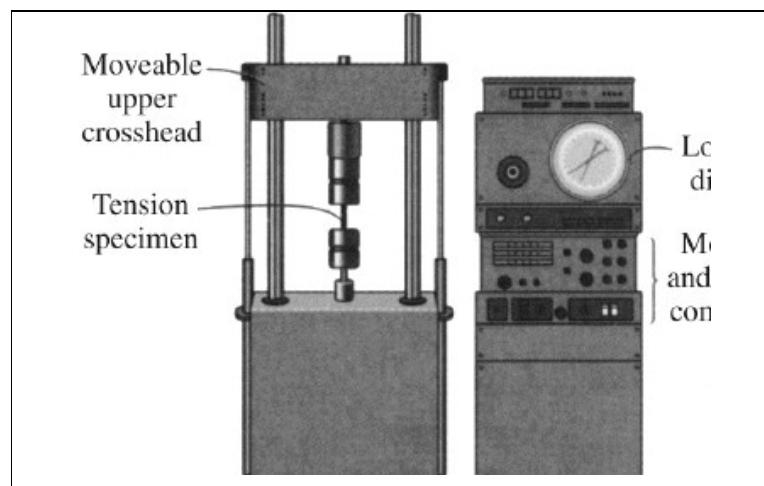
METAL	DENSITY (kg/m ³)	MELTING POINT (°C)	SPECIFIC HEAT (J/kg K)	THERMAL CONDUCTIVITY (W/m K)	COEFF OF TH EXPA (μm/m K)
Aluminum	2700	660	900	222	23.0
Aluminum alloys	2630-2820	476-654	880-920	121-238	23.0
Beryllium	1854	1278	1884	148	8.6
Columbium (niobium)	8580	2468	272	52	7.0
Copper	8970	1082	385	393	16.7
Copper alloys	7470-8940	885-1260	337-435	29-234	16.7
Gold	19300	1063	129	317	18.8
Iron	7880	1537	480	74	11.7
Steels	6920-8130	1371-1532	448-502	15-62	11.7
Lead	11350	327	130	35	28.6
Lead alloys	8850-11350	182-326	126-188	24-46	27.1
Magnesium	1745	650	1025	154	26.6
Magnesium alloys	1770-1790	610-621	1048	75-138	26.6
Molybdenum alloys	10210	2610	276	142	5.0
Nickel	8910	1453	440	82	13.0
Nickel alloys	7750-8850	1110-1454	381-544	12-83	12.7
Silicon	2330	1423	712	148	7.0
Silver	10500	961	235	429	18.8
Tantalum alloys	16600	2868	142	54	6.0
Titanium	4510	1668	519	17	8.1
Titanium alloys	4430-4700	1549-1649	502-544	8-12	8.1
Tungsten	19290	3410	138	168	4.0
NONMETALLIC					
Ceramics	2300-5500	-	750-850	10-17	5.5-6.0
Glasses	2400-2700	580-1540	500-850	0.8-1.7	4.6-5.0
Composites	1500-2200	-	800-1500	5-15	7.0

1.3.2 Μηχανικές ιδιότητες – Μηχανικές δοκιμές

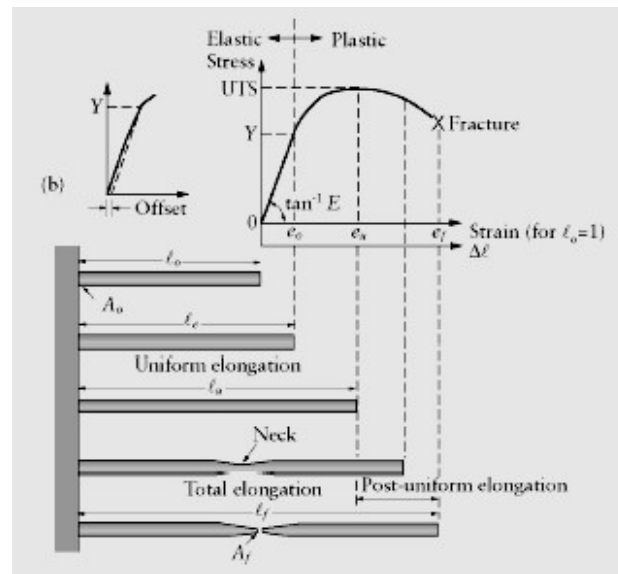
Οι μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού καθορίζουν την συμπεριφορά του υπό την επίδραση εξωτερικών φορτίσεων (δυνάμεων ή/και ροπών). Οι μηχανικές ιδιότητες καθορίζονται με βάση τυποποιημένες μηχανικές δοκιμές. Η μηχανική συμπεριφορά και οι ιδιότητες ενός υλικού εξαρτώνται, κυρίως από την μικροδομή του. Υπενθυμίζεται ότι τα μέταλλα και τα κράματα χαρακτηρίζονται από *κρυσταλλική δομή*.

Δοκιμή εφελκυσμού

Η δοκιμή εφελκυσμού αποτελεί την σημαντικότερη και συνηθέστερη μηχανική δοκιμή, βλέπε Σχήμα 1.6. Από την δοκιμή αυτή καθορίζονται το μέτρο ελαστικότητας (E) το όριο διαρροής (Y ή σ_Y), η μέγιστη αντοχή εφελκυσμού (UTS) και η ολκιμότητα. Από την καμπύλη ονομαστικών τάσεων-ονομαστικών παραμορφώσεων που παρέχει η δοκιμή εφελκυσμού, βλέπε Σχήμα 1.7, προκύπτει η πραγματική καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων, η σταθερά αντοχής και ο εκθέτης κράτυνσης. Τα μεγέθη K και n είναι απαραίτητα για την μοντελοποίηση της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών σύμφωνα με την σχέση: $\sigma = K \epsilon^n$. Οι μηχανικές ιδιότητες των συνηθέστερων τεχνικών υλικών συνοψίζονται στον Πίνακα 1.3.



Σχήμα 1.6: Μηχανή δοκιμής εφελκυσμού.



Σχήμα 1.7: Παραμόρφωση δοκιμίου και καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων σε δοκιμή εφελκυσμού.

Πίνακας 1.3: Μηχανικές Ιδιότητες των κυριότερων τεχνικών υλικών

METALS (WROUGHT)	E (GPa)	Y (MPa)	UTS (MPa)	ELONGATION (%) in 50 mm	POISSON'S RATIO
Aluminum and its alloys	69-79	35-550	90-600	45-5	0.31
Copper and its alloys	105-150	76-1100	140-1310	65-3	0.33
Lead and its alloys	14	14	20-55	50-8	0.
Magnesium and its alloys	41-45	130-305	240-380	21-5	0.29
Molybdenum and its alloys	330-360	80-2070	90-2340	40-30	0.
Nickel and its alloys	180-214	105-1200	345-1450	60-5	0.
Steels	190-200	205-1725	415-1750	65-2	0.28
Stainless steels	190-200	240-480	480-760	60-20	0.28
Titanium and its alloys	80-130	344-1380	415-1450	25-7	0.31
Tungsten and its alloys	350-400	550-880	620-760	0	0.
NONMETALLIC MATERIALS					
Ceramics	70-1000	-	140-2600	0	0
Diamond	820-1050	-	-	-	-
Glass and porcelain	70-80	-	140	0	0.
Rubbers	0.01-0.1	-	-	-	0
Thermoplastics	1.4-3.4	-	7-80	1000-5	0.32
Thermoplastics, reinforced	2-50	-	20-120	10-1	-
Thermosets	3.5-17	-	35-170	0	0.
Boron fiber	380	-	3500	0	-
Carbon fibers	275-415	-	2000-5300	1-2	-
Glass fibers (S, E)	73-85	-	3500-4600	5	-
Kevlar fibers (29, 49, 129)	70-113	-	3000-3400	3-4	-
Spectra fibers (900, 1000)	73-100	-	2400-2800	3	-

Note: In the upper table the lowest values for E, Y and UTS and the highest values for elongation.

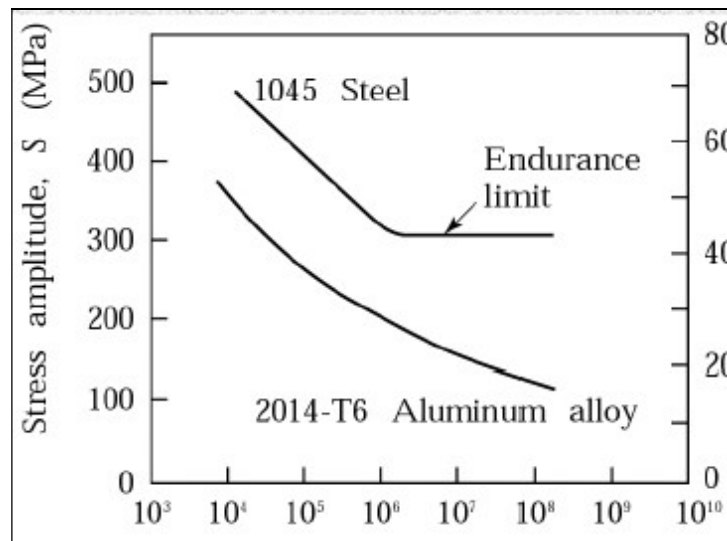
Σκληρομέτρηση

Σκληρότητα ενός υλικού ορίζεται, γενικά, η αντίσταση του σε μόνιμη διείσδυση. Για την εκτίμηση της σκληρότητας, διεισδυτής από πολύ σκληρό υλικό πιέζεται με καθορισμένο

φορτίο στην επιφάνεια του υλικού και μετράται το αποτύπωμα ή το βάθος διείσδυσης.. Ανάλογα με την μορφή του διεισδυτή και τον χρόνο επιβολής του φορτίου διακρίνουμε δοκιμές σκληρομέτρησης (και αντίστοιχες κλίμακες) κατά Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop κ.λπ. Η σκληρότητα συσχετίζεται, κατά προσέγγιση γραμμικά, με την αντοχή του υλικού.

Αντοχή σε κόπωση

Ως αντοχή σε κόπωση (endurance limit) ορίζεται η μέγιστη εναλλασσόμενη τάση στην οποία μπορεί να υποβληθεί ένα υλικό για ένα, θεωρητικά άπειρο (και συμβατικά 10^7) κύκλο φορτίσεων, χωρίς να αστοχήσει. Το όριο αντοχής σε κόπωση προσδιορίζεται από την καμπύλη S-N, βλέπε Σχήμα 1.8. Το όριο αντοχής σε κόπωση συσχετίζεται με το UTS του υλικού και για τους χάλυβες είναι, κατά προσέγγιση, το ήμισυ αυτού.



Σχήμα 1.8: Τυπικές καμπύλες S-N (όριο αντοχής σε κόπωση).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A) Συγγράμματα-Δημοσιεύσεις

- De Garmo, P., Temple Black, J. and Kohser, R.A., *Materials and Processes in Manufacturing*, Macmillan Publishing Co, 7th ed., New York, 1988.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R., *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Prentice Hall, 4th ed., New Jersey, 2003.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R., *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall, 4th ed., London, 200.
- Schey, J.A., *Introduction to Manufacturing Processes*, Mc-Graw Hill, 3rd ed., Boston, 2000.

Προτεινόμενη (προαιρετική) βιβλιογραφία εμφάθυνσης

- Ashby, M.F. and Jones, D.R.H., *Engineering Materials 1 An Introduction to their Properties and Applications*, Pergamon, 2nd ed., Oxford, 1996.
- Ashby, M.F. and Jones, D.R.H., *Engineering Materials 2 An Introduction to Microstructures, Processing and Design*, Pergamon, 2nd ed., Oxford, 1998.
- Ashby M.F., *Materials Selection in Mechanical Design*, 3rd ed., Butterworth Heinemann, 2005.
- Dieter, G.E., *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill, London, 1988.

Πηγές στο Διαδίκτυο (Internet)

➤ <http://www.allvac.com/pages/about/default.htm>

Η σελίδα εισόδου στον δικτυακό τόπο ενός γνωστού παραγωγού αεροπορικών υλικών (κράματα νικελίου, κοβαλτίου και τιτανίου)

➤ <http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/>

Η ιστοσελίδα των σημειώσεων του μαθήματος *Εφαρμογές Προηγμένων Υλικών* του Καθ. Δ.Ε. Μανωλάκου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

➤ <http://www.grantadesign.com/index.htm>

Η σελίδα εισόδου στον δικτυακό τόπο της εταιρείας Granta - Material Intelligence που παράγει και διανέμει ένα από τα πιο έγκυρα και δημοφιλή προγράμματα επιλογής υλικών. Ένα από τα προϊόντα της είναι το «CES EduPack» που προορίζεται για ακαδημαϊκή χρήση και αποτελεί μετεξέλιξη του «Cambridge Material Selector» που αναπτύχθηκε από τον Καθ. M.F. Ashby και τους συνεργάτες του.