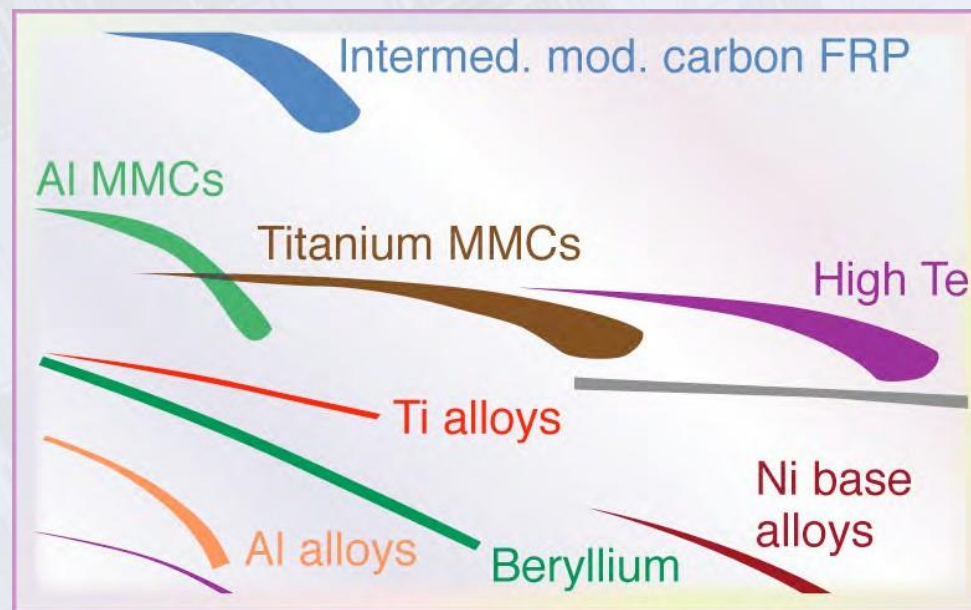


Κεφάλαιο 3

Φυσικές ιδιότητες υλικών

(με βάση Κεφ. 3, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

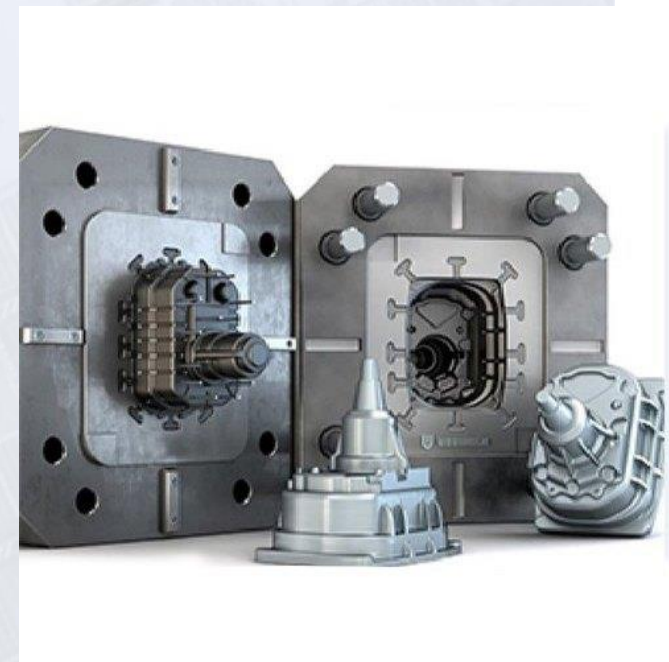
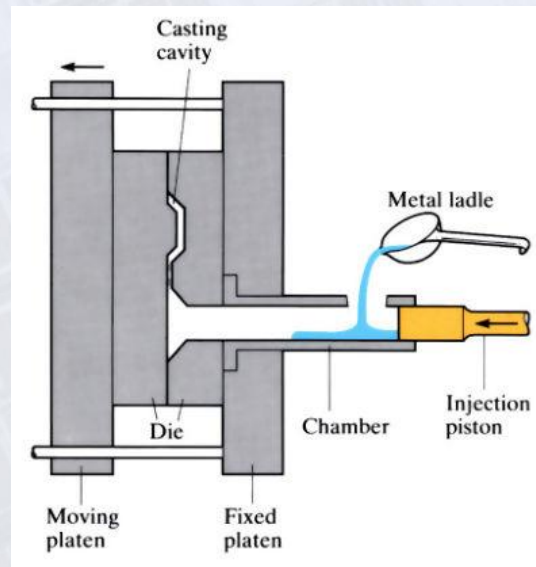


Δρ. Ι. Παπαντωνίου

Υλικό	Πυκνότητα (kg/m ³)	Σ. Τήξης (°C)	Ειδική θερμότητα (J/kg-K)	Θερμική αγωγιμότητα (W/m-K)	Συντελεστής θερμικής διαστολής (μm/m - °C)	Ηλεκτρική ειδική αντίσταση (Ω-m)
Μεταλλικά						
Αλουμίνιο	2700	660	900	222	23.6	2.8×10^{-8}
Κράματα αλουμίνιο	2630–2820	476–654	880–920	121–239	23.0–23.6	$2.8\text{--}4.0 \times 10^{-8}$
Βηρύλλιο	1854	1278	1884	146	8.5	4.0×10^{-8}
Νιόβιο	8580	2468	272	52	7.1	15×10^{-8}
Χαλκός	8970	1082	385	393	16.5	1.7×10^{-8}
Κράματα χαλκού	7470–8940	885–1260	377–435	219–234	16.5–20	$1.7\text{--}5.9 \times 10^{-8}$
Χρυσός	19,300	1063	129	317	19.3	2.4×10^{-8}
Σίδηρος	7860	1537	460	74	11.5	9.5×10^{-8}
Μόλυβδος	11,350	327	130	35	29.4	20.6×10^{-8}
Κράματα μόλυβδου	8850–11,350	182–326	126–188	24–46	27.1–31.1	$20.6\text{--}24 \times 10^{-8}$
Μαγνήσιο	1745	650	1025	154	26.0	4.5×10^{-8}
Κράματα μαγνησίου	1770	610–621	1046	75–138	26.0	$4.5\text{--}15.9 \times 10^{-8}$
Κράματα μολυβδενίου	10,210	2610	276	142	5.1	5.3×10^{-8}
Νικέλιο	8910	1453	440	92	13.3	6.2×10^{-8}
Κράματα νικελίου	7750–8850	1110–1454	381–544	12–63	12.7–18.4	$6.2\text{--}110 \times 10^{-8}$
Λευκόχρυσος	2145	1768	133	71.6	8.8	10.5×10^{-8}
Πυρίτιο	2330	1423	712	148	7.63	1.0×10^{-3}
Αργυρος	10,500	961	235	429	19.3	1.6×10^{-8}
Χάλυβες	6920–9130	1371–1532	448–502	15–52	11.7–17.3	17.0×10^{-8}
Κράματα ταντάλιου	16,600	2996	142	54	6.5	13.5×10^{-8}
Κασσίτερος	7310	232	217	67	22	11.5×10^{-8}
Τιτάνιο	4510	1668	519	17	8.35	42×10^{-8}
Κράματα τιτανίου	4430–4700	1549–1649	502–544	8–12	8.1–9.5	$40\text{--}171 \times 10^{-8}$
Βολφράμιο	19,290	3410	138	166	4.5	5.0×10^{-8}
Ψευδάργυρος	7140	419	385	113	32.5	5.45×10^{-8}
Κράματα ψευδάργυρου	6640–7200	386–525	402	105–113	32.5–35	$6.06\text{--}6.89 \times 10^{-8}$
Μη-μεταλλικά						
Κεραμικά	2300–5500	—	750–950	10–17	5.5–13.5	—
Γυαλιά	2400–2700	580–1540	500–850	0.6–1.7	4.6–70	—
Γραφίτης	1900–2200	—	840	5–10	7.86	—
Πλαστικά	900–2000	110–330	1000–2000	0.1–0.4	72–200	—
Ξύλο	400–700	—	2400–2800	0.1–0.4	2–60	—

Σημείο τήξης

- ❖ Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας για το οποίο σχεδιάζεται ένα εξάρτημα αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά την επιλογή υλικών.
- ❖ Τα πλαστικά, για παράδειγμα, έχουν το μικρότερο εύρος ωφέλιμων θερμοκρασιών, ενώ ο γραφίτης και τα πυρίμαχα μεταλλικά κράματα έχουν το μεγαλύτερο.
- ❖ Το σημείο τήξης έχει αρκετές έμμεσες επιδράσεις στις κατεργασίες παραγωγής. Επειδή η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης ενός μετάλλου σχετίζεται με το σημείο τήξης του, διεργασίες όπως η ανόπτηση και διάφορες θερμικές κατεργασίες απαιτούν γνώση των σημείων τήξης των εμπλεκόμενων υλικών.
- ❖ Το σημείο τήξης παίζει επίσης σημαντικό ρόλο κατά την επιλογή εξοπλισμού και τεχνικών τήξης που χρησιμοποιούνται σε κατεργασίες χύτευσης μετάλλων και ηλεκτροδιάβρωσης, στις οποίες το σημείο τήξης των μετάλλων συναρτάται με τον ρυθμό αποβολής υλικού και τη φθορά των ηλεκτροδίων.



Ειδική θερμότητα

- ❖ Η ειδική θερμότητα (specific heat) ενός υλικού ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για την αύξηση, κατά έναν βαθμό, της θερμοκρασία μιας μονάδας μάζας του.
- ❖ Τα κραματικά στοιχεία έχουν σχετικά μικρή επίδραση στην ειδική θερμότητα των μετάλλων.
- ❖ Η άνοδος της θερμοκρασίας σε ένα τεμάχιο, όπως π.χ. αυτή που προκαλείται από κατεργασίες διαμόρφωσης ή κοπής, είναι συνάρτηση του έργου που δαπανάται και της ειδικής θερμότητας του υλικού του τεμαχίου. Υπερβολική άνοδος της θερμοκρασίας ενός τεμαχίου μπορεί να οδηγήσει σε:
 - μείωση της ποιότητας του προϊόντος, λόγω του ότι επηρεάζει δυσμενώς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της επιφάνειάς του και τη διαστατική ακρίβεια
 - υπερβολική φθορά εργαλείων και μητρών
 - ανεπιθύμητες μεταλλουργικές μεταβολές του υλικού



Θερμική αγωγιμότητα

- ❖ Η θερμική αγωγιμότητα (thermal conductivity) ενός υλικού υποδεικνύει τον ρυθμό με τον οποίο ρέει η θερμότητα εντός και διαμέσου αυτού.
- ❖ Τα υλικά με μεταλλικούς δεσμούς (μέταλλα) έχουν γενικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα, ενώ τα υλικά με ιοντικούς ή ομοιοπολικούς δεσμούς (κεραμικά και πλαστικά) έχουν φτωχή αγωγιμότητα. Τα κραματικά στοιχεία μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στη θερμική αγωγιμότητα κραμάτων.
- ❖ Γενικά, τα υλικά με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα έχουν επίσης υψηλή θερμική αγωγιμότητα.



Θερμική διαστολή

- ❖ Η θερμική διαστολή (thermal expansion) των υλικών μπορεί να έχει διάφορες σημαντικές επιδράσεις, ιδιαίτερα ως προς τις σχετικές διαστολές-συστολές διαφορετικών υλικών σε συναρμολογούμενα εξαρτήματα, όπως ηλεκτρονικές διατάξεις και εξαρτήματα υπολογιστών, στεγανοποιήσεις γυαλιού-μετάλλου, αντηρίδες σε αεριοθούμενους κινητήρες, επιστρώσεις σε εργαλεία κοπής και κινούμενα μέρη/εξαρτήματα μηχανών που απαιτούν συγκεκριμένες ανοχές ή βαθμούς ελευθερίας για τη σωστή λειτουργία τους.
- ❖ Ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι αντιστρόφως ανάλογος του σημείου τήξης του υλικού. Τα κραματικά στοιχεία έχουν σχετικά μικρή επίδραση στη θερμική διαστολή των μετάλλων.
- ❖ Τα φαινόμενα θερμικής διαστολής και συστολής αξιοποιούνται επίσης σε σφικτές συναρμογές (shrink fits).



Θερμικ

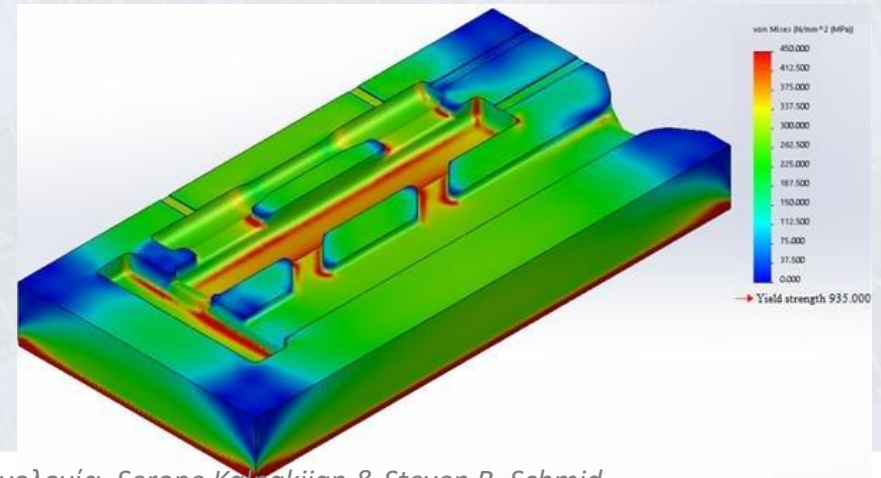
- ❖ Η θερμική σημαντική διαφορετικές διατάξεις αντηρίδες και κινούσες ανοχές ή β
- ❖ Τα φαινόμενα σφικτές σ



ει διάφορες
ες-συστολές
λεκτρονικές
ο-μετάλλου,
λεία κοπής
υγκεκριμένες
επίσης σε

Θερμική διαστολή – θερμικές τάσεις (thermal stresses)

- ❖ Η θερμική διαστολή, σε συνδυασμό με τη θερμική αγωγιμότητα, παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην ανάπτυξη θερμικών τάσεων οι οποίες οφείλονται σε θερμοκρασιακές βαθμώσεις, τόσο σε κατασκευαζόμενα εξαρτήματα όσο και σε εργαλεία, μήτρες και καλούπια κατεργασιών χύτευσης.
- ❖ Αυτό το ζήτημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις όπως, παραδείγματος χάριν, μία κατεργασία σφυρηλάτησης κατά τη διάρκεια της οποίας τεμάχια αυξημένης θερμοκρασίας τοποθετούνται κατ' επανάληψη πάνω σε σχετικά ψυχρή μήτρα, υποβάλλοντας κατ' αυτό τον τρόπο τις επιφάνειες της μήτρας σε κυκλικά επαναλαμβανόμενη θερμική καταπόνηση. Για τη μείωση των θερμικών τάσεων, είναι επιθυμητός ένας συνδυασμός υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και χαμηλής θερμικής διαστολής.
- ❖ Η θερμική διαστολή/συστολή μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη ρωγμών, στρέβλωση, ή χαλάρωση εξαρτημάτων κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής τους, καθώς επίσης και σε ανάπτυξη ρωγμών σε κεραμικά εξαρτήματα, ή εργαλεία και μήτρες που κατασκευάζονται από σχετικά ψαθυρά υλικά.



Θερμική διαστολή – θερμική κόπωση (thermal fatigue) & θερμικός αιφνιδιασμός (thermal shock)

- ❖ Η θερμική κόπωση (thermal fatigue) που προκαλείται από κυκλικά επαναλαμβανόμενη θερμική καταπόνηση οδηγεί στον σχηματισμό διάφορων επιφανειακών ρωγμών, ιδιαίτερα σε εργαλεία και μήτρες χύτευσης και σε μεταλλουργικές κατεργασίες.
- ❖ Θερμικός αιφνιδιασμός (thermal shock) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται γενικά για να περιγράψει την ανάπτυξη μιας ή πολλαπλών ρωγμών αφού το εξάρτημα υποβληθεί σε έναν μεμονωμένο θερμικό κύκλο.
- ❖ Κράματα χαμηλής διαστολής (low-expansion alloys).

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (electrical conductivity) και οι διηλεκτρικές (dielectric) ιδιότητες

- ❖ Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (electrical conductivity) και οι διηλεκτρικές (dielectric) ιδιότητες των υλικών είναι σημαντικές όχι μόνο σε ηλεκτρικό εξοπλισμό, αλλά επίσης σε κατεργασίες παραγωγής όπως η διαμόρφωση μέσω μαγνητικού παλμού, η συγκόλληση με αντίσταση, η κοπή με ηλεκτροδιάβρωση και η ηλεκτροχημική λείανση σκληρών και ψαθυρών υλικών.

Αντοχή σε διάβρωση

- ❖ Τα μέταλλα, τα κεραμικά και τα πλαστικά υπόκεινται σε διάφορες μορφές διάβρωσης (corrosion). Ο όρος διάβρωση χρησιμοποιείται συνήθως για μέταλλα και κεραμικά, ενώ τα αντίστοιχα φαινόμενα στα πλαστικά αναφέρονται γενικά ως υποβάθμιση (degradation). Η διάβρωση οδηγεί σε υποβάθμιση της επιφάνειας εξαρτημάτων και κατασκευών (π.χ. γεφυρών και σκαφών) και, επιπλέον, μειώνει την αντοχή και τη δομική ακεραιότητά τους.
- ❖ Η αντοχή σε διάβρωση (corrosion resistance) αποτελεί σημαντική παράμετρο κατά την επιλογή υλικών για εφαρμογές στη χημική βιομηχανία, την πετρελαιοβιομηχανία και τη βιομηχανία τροφίμων, καθώς επίσης και στις κατεργασίες παραγωγής.
- ❖ Επιπρόσθετα με πιθανές χημικές αντιδράσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων στοιχείων και ενώσεων, η οξείδωση και διάβρωση εξαρτημάτων και κατασκευών κατά την αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον αποτελεί σημαντικό πρόβλημα, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, σε αυτοκίνητα και άλλα οχήματα μεταφοράς.



Φυσικές ιδιότητες επιλεγμένων υλικών σε θερμοκρασία δωματίου

Υλικό	Πυκνότητα (kg/m ³)	Σ. Τήξης (°C)	Ειδική θερμότητα (J/kg·K)	Θερμική αγωγιμότητα (W/m·K)	Συντελεστής θερμικής διαστολής (μm/m·°C)	Ηλεκτρική ειδική αντίσταση (Ω·m)
Μεταλλικά						
Αλουμίνιο	2700	660	900	222	23.6	2.8×10^{-8}
Κράματα αλουμίνιο	2630–2820	476–654	880–920	121–239	23.0–23.6	$2.8\text{--}4.0 \times 10^{-8}$
Βηρύλλιο	1854	1278	1884	146	8.5	4.0×10^{-8}
Νιόβιο	8580	2468	272	52	7.1	15×10^{-8}
Χαλκός	8970	1082	385	393	16.5	1.7×10^{-8}
Κράματα χαλκού	7470–8940	885–1260	377–435	219–234	16.5–20	$1.7\text{--}5.9 \times 10^{-8}$
Χρυσός	19,300	1063	129	317	19.3	2.4×10^{-8}
Σίδηρος	7860	1537	460	74	11.5	9.5×10^{-8}
Μόλυβδος	11,350	327	130	35	29.4	20.6×10^{-8}
Κράματα μολυβδου	8850–11,350	182–326	126–188	24–46	27.1–31.1	$20.6\text{--}24 \times 10^{-8}$
Μαγνήσιο	1745	650	1025	154	26.0	4.5×10^{-8}
Κράματα μαγνησίου	1770	610–621	1046	75–138	26.0	$4.5\text{--}15.9 \times 10^{-8}$
Κράματα μολυβδενίου	10,210	2610	276	142	5.1	5.3×10^{-8}
Νικέλιο	8910	1453	440	92	13.3	6.2×10^{-8}
Κράματα νικελίου	7750–8850	1110–1454	381–544	12–63	12.7–18.4	$6.2\text{--}110 \times 10^{-8}$
Λευκόχρυσος	2145	1768	133	71.6	8.8	10.5×10^{-8}
Πυρίτιο	2330	1423	712	148	7.63	1.0×10^{-3}
Αργυρος	10,500	961	235	429	19.3	1.6×10^{-8}
Χάλυβες	6920–9130	1371–1532	448–502	15–52	11.7–17.3	17.0×10^{-8}
Κράματα ταντάλιου	16,600	2996	142	54	6.5	13.5×10^{-8}
Κασσίτερος	7310	232	217	67	22	11.5×10^{-8}
Τιτάνιο	4510	1668	519	17	8.35	42×10^{-8}
Κράματα τιτανίου	4430–4700	1549–1649	502–544	8–12	8.1–9.5	$40\text{--}171 \times 10^{-8}$
Βολφράμιο	19,290	3410	138	166	4.5	5.0×10^{-8}
Ψευδάργυρος	7140	419	385	113	32.5	5.45×10^{-8}
Κράματα ψευδάργυρου	6640–7200	386–525	402	105–113	32.5–35	$6.06\text{--}6.89 \times 10^{-8}$
Μη-μεταλλικά						
Κεραμικά	2300–5500	—	750–950	10–17	5.5–13.5	—
Γυαλιά	2400–2700	580–1540	500–850	0.6–1.7	4.6–70	—
Γραφίτης	1900–2200	—	840	5–10	7.86	—
Πλαστικά	900–2000	110–330	1000–2000	0.1–0.4	72–200	—
Ξύλο	400–700	—	2400–2800	0.1–0.4	2–60	—

(με βάση Κεφ. 3, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Φυσικές ιδιότητες υλικών

TABLE 3.2

Physical Properties of Materials, in Descending Order

Density	Melting point	Specific heat	Thermal conductivity	Thermal expansion	Electrical conductivity
Platinum	Tungsten	Wood	Silver	Plastics	Silver
Gold	Tantalum	Beryllium	Copper	Lead	Copper
Tungsten	Molybdenum	Porcelain	Gold	Tin	Gold
Tantalum	Columbium	Aluminum	Aluminum	Magnesium	Aluminum
Lead	Titanium	Graphite	Magnesium	Aluminum	Magnesium
Silver	Iron	Glass	Graphite	Copper	Tungsten
Molybdenum	Beryllium	Titanium	Tungsten	Steel	Beryllium
Copper	Copper	Iron	Beryllium	Gold	Steel
Steel	Gold	Copper	Zinc	Ceramics	Tin
Titanium	Silver	Molybdenum	Steel	Glass	Graphite
Aluminum	Aluminum	Tungsten	Tantalum	Tungsten	Ceramics
Beryllium	Magnesium	Lead	Ceramics		Glass
Glass	Lead		Titanium		Plastics
Magnesium	Tin		Glass		Quartz
Plastics	Plastics		Plastics		

Λόγος μέγιστης τάσης διαρροής ως συνάρτηση της πυκνότητας

TABLE 3.3

**Ratio of Maximum Yield Stress to
Density for Assorted Metals**

Alloy	Maximum yield stress/ density (in. * 10 ³)
Titanium	1250
Aluminum	800
Steels	750
Magnesium	675
Nickel	550
Copper	500
Tantalum	375
Molybdenum	215
Lead	5

Ειδική αντοχή (αντοχή σε εφελκυσμό/πυκνότητα) και ειδική δυσκαμψία (μέτρο ελαστικότητας/πυκνότητα) για διάφορα υλικά σε θερμοκρασία δωματίου

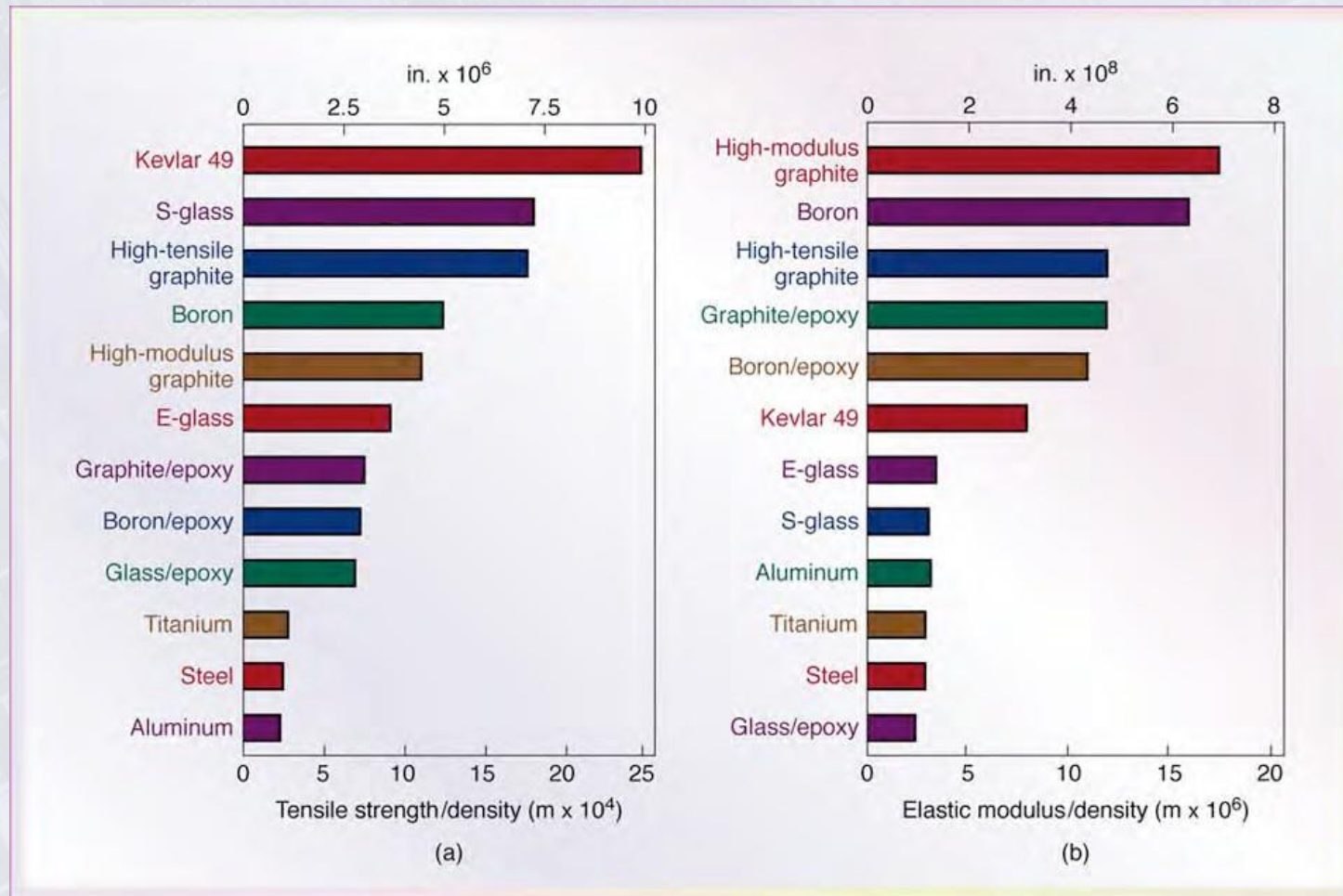


Figure : Ειδική αντοχή (αντοχή σε εφελκυσμό/πυκνότητα) και ειδική δυσκαμψία (μέτρο ελαστικότητας/πυκνότητα) για διάφορα υλικά σε θερμοκρασία δωματίου.

Ειδική αντοχή (αντοχή σε εφελκυσμό/πυκνότητα) για διάφορα υλικά ως συνάρτηση της θερμοκρασίας

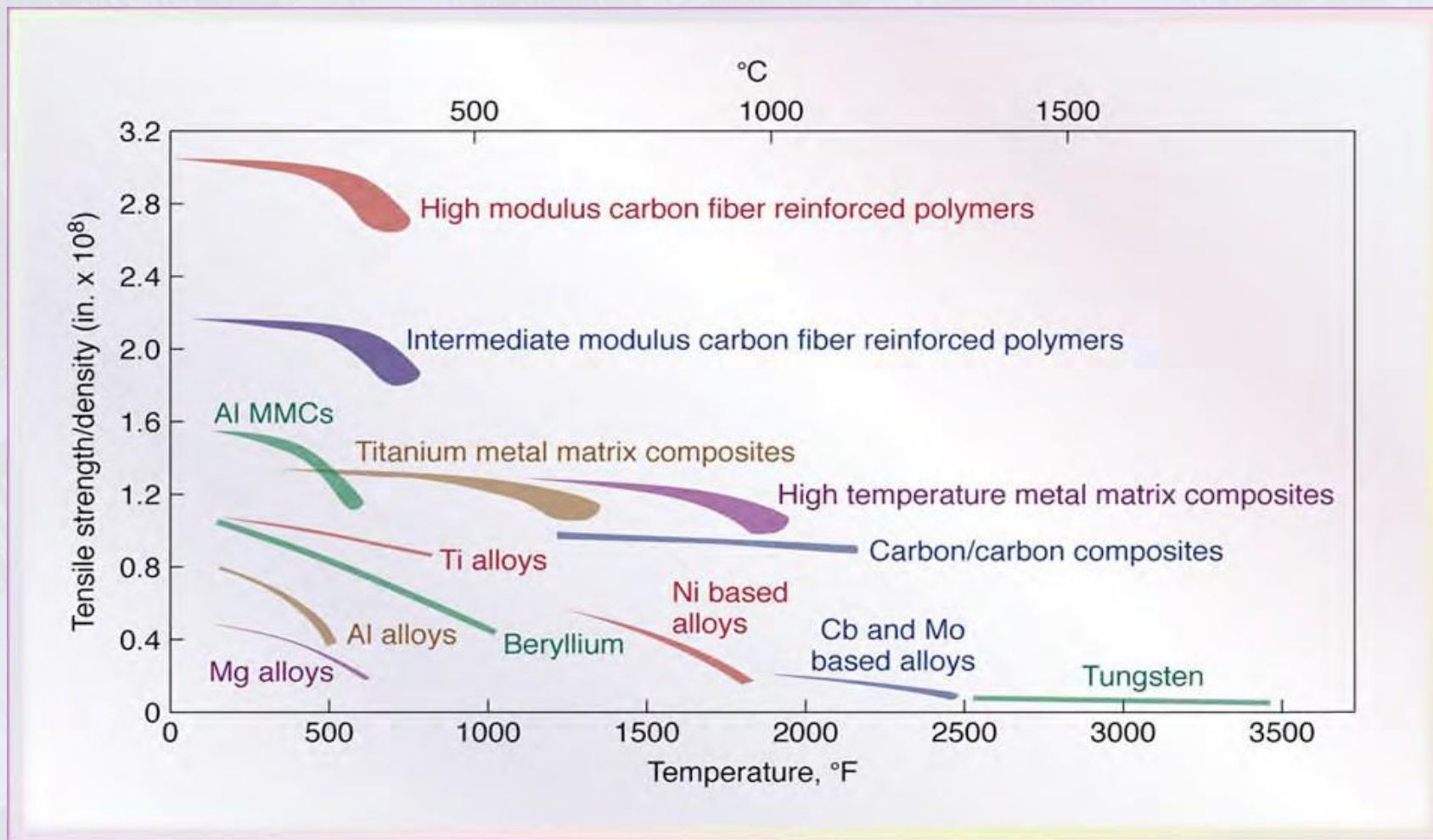
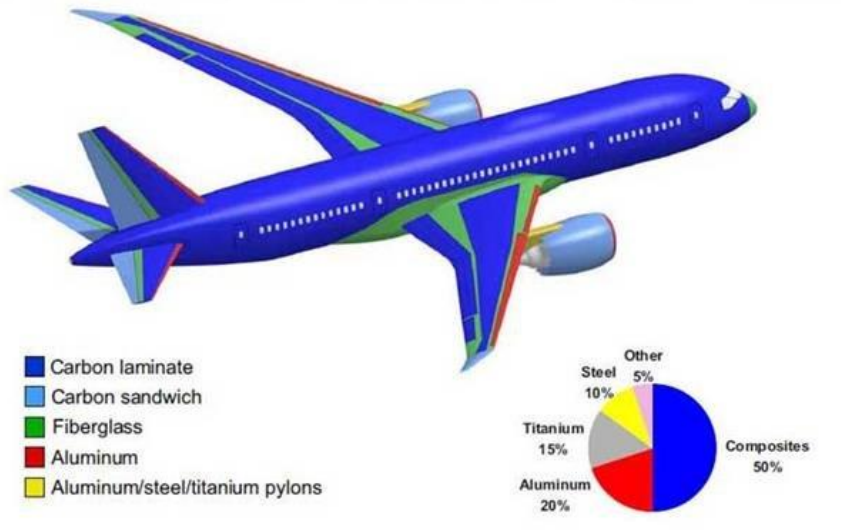
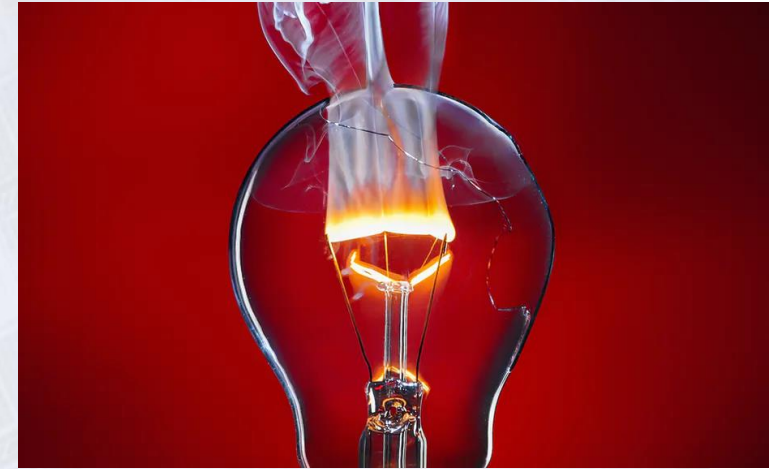
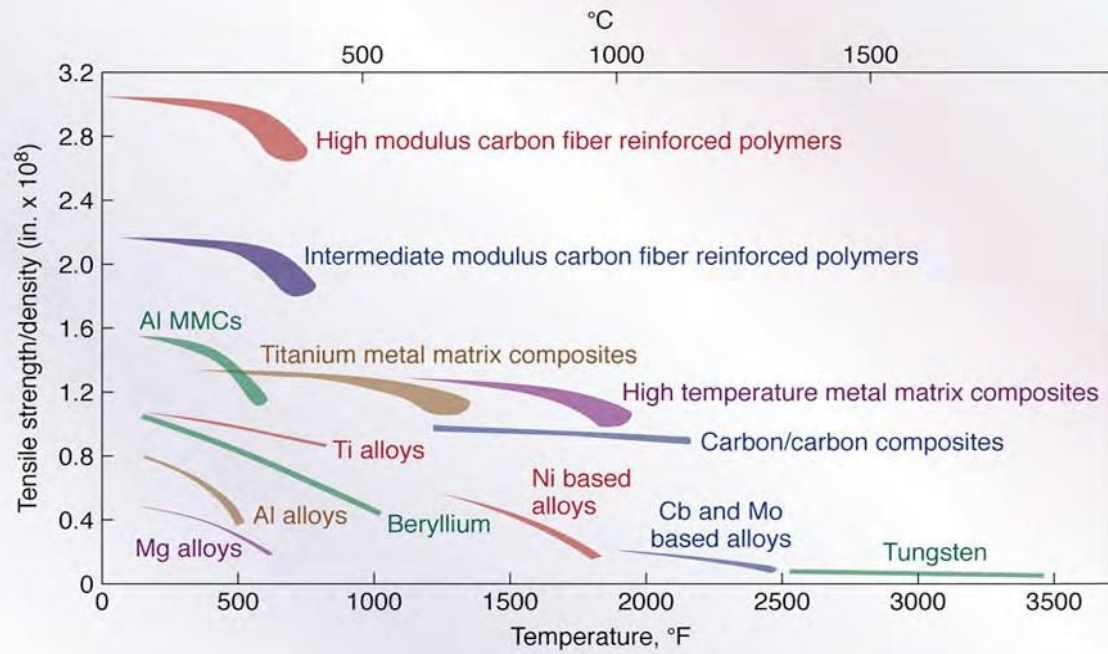


Figure: Ειδική αντοχή (αντοχή σε εφελκυσμό/πυκνότητα) για διάφορα υλικά ως συνάρτηση της θερμοκρασίας· παρατηρήστε το χρήσιμο εύρος θερμοκρασιών για αυτά τα υλικά και τις υψηλές τιμές για τα σύνθετα. ΣΜΜ: σύνθετο μεταλλικής μήτρας· ΕΠ: ενισχυμένο πλαστικό· ΜΕ: μέτρο ελαστικότητας.



(με βάση Κεφ. 3, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)