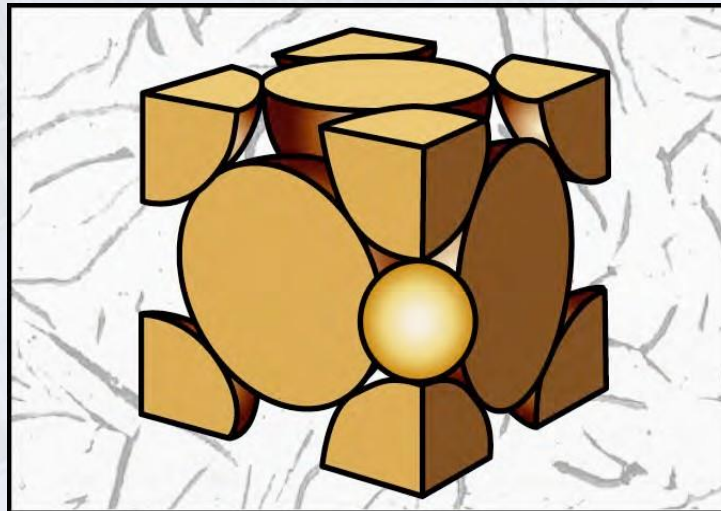


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μεταλλικά κράματα: δομή και ισχυροποίηση μέσω θερμικής κατεργασίας

(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)



Δρ. Ι. Παπαντωνίου

Μεταλλικά κράματα: δομή και ισχυροποίηση μέσω θερμικής κατεργασίας

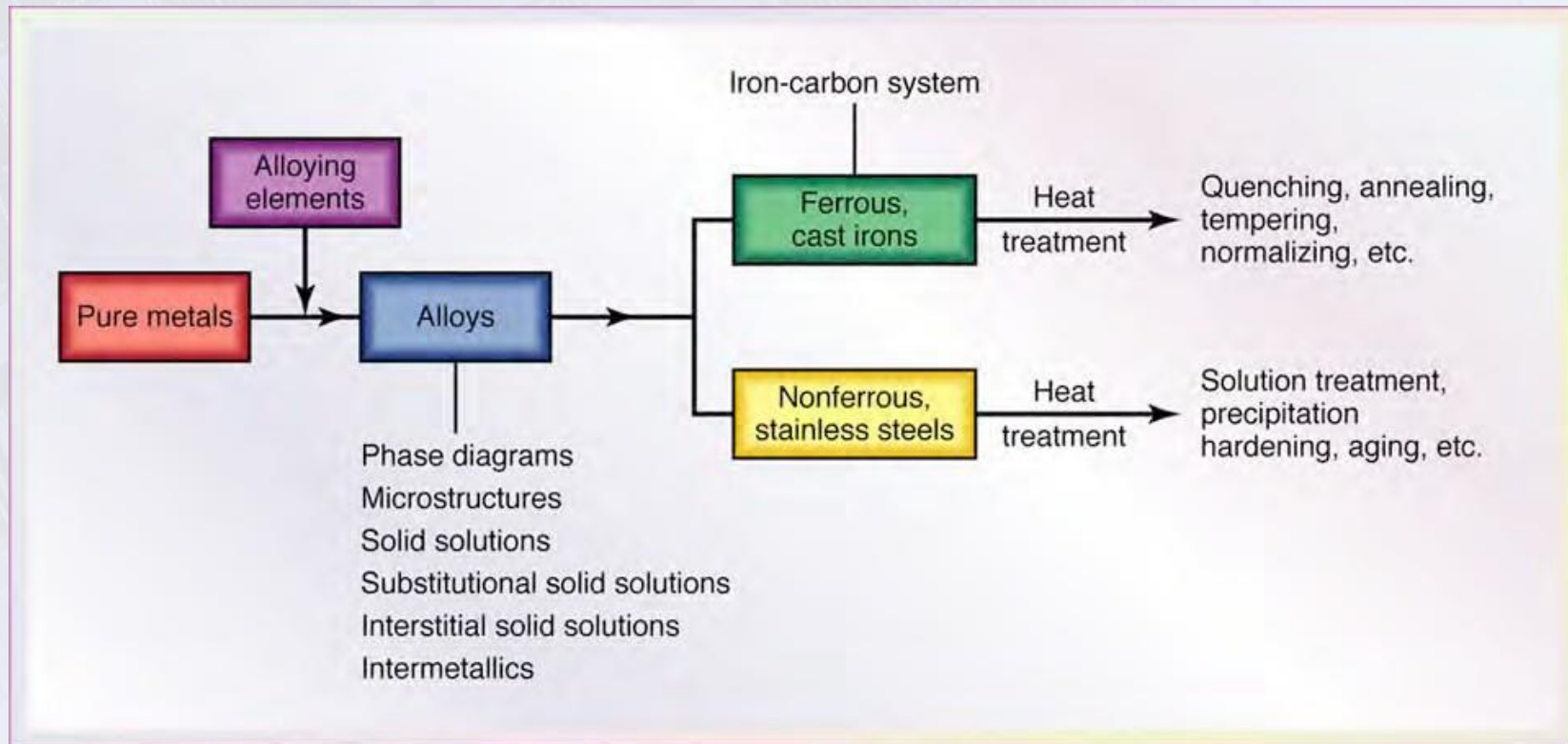


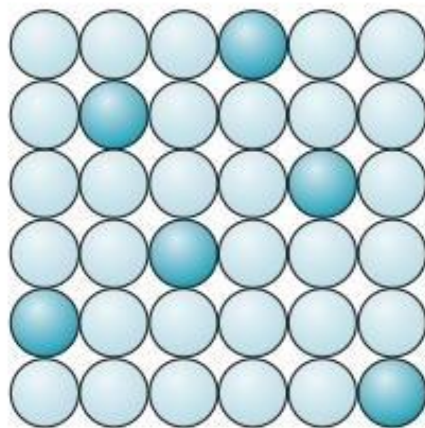
Figure: Συνοπτική παρουσίαση των θεμάτων που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο

Δομή Κραμάτων

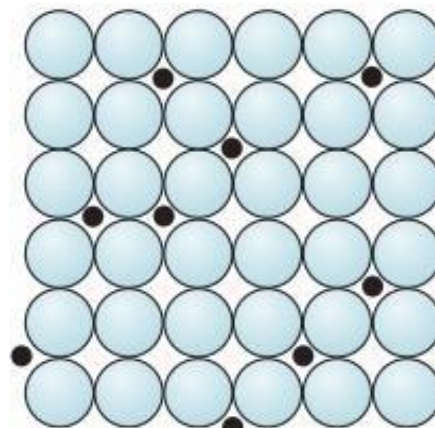
- Κατά την περιγραφή της βασικής κρυσταλλικής δομής των μετάλλων, αναφέρθηκε ότι τα άτομα είναι όλα του ίδιου τύπου, με εξαίρεση την όχι-συχνή παρουσία ατόμων προσμείξεων· αυτά τα μέταλλα αναφέρονται ως καθαρά μέταλλα, αν και μπορεί να μην είναι 100% καθαρά.
- Τα καθαρά μέταλλα του εμπορίου χρησιμοποιούνται για διάφορες εφαρμογές και προϊόντα, όπως το αλουμίνιο για φύλλα (π.χ. αλουμινόχαρτο), ο χαλκός για ηλεκτρικούς αγωγούς, το νικέλιο ή το χρώμιο για επιμετάλλωση και ο χρυσός για ηλεκτρικές επαφές. Τα καθαρά μέταλλα έχουν σχετικά περιορισμένες ιδιότητες, αλλά αυτές μπορούν να μεταβάλλονται και να βελτιώνονται μέσω της κραμάτωσης (alloying).
- Ένα κράμα (alloy) αποτελείται από δύο ή περισσότερα χημικά στοιχεία, τουλάχιστον ένα εκ των οποίων είναι μέταλλο· η πλειονότητα των μετάλλων που χρησιμοποιούνται σε τεχνολογικές εφαρμογές είναι κάποια μορφή κράματος.
- Υπάρχουν δύο βασικές μορφές κραμάτωσης: **στερεά διαλύματα** (solid solutions) και **μεσομεταλλικές ενώσεις** (intermetallic compounds).

Στερεά διαλύματα

- Δύο όροι είναι καίριας σημασίας για την περιγραφή των κραμάτων: διαλυμένη ουσία και διαλύτης. Η διαλυμένη ουσία είναι το δευτερεύον στοιχείο (π.χ., αλάτι ή ζάχαρη) που προστίθεται στον διαλύτη, ο οποίος είναι το κύριο στοιχείο (π.χ., νερό).
- Με όρους στοιχείων σε μία κρυσταλλική δομή, η διαλυμένη ουσία (άτομα διαλυμένης ουσίας) είναι το στοιχείο που προστίθεται στον διαλύτη (άτομα μητρικής δομής). Όταν η συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή του διαλύτη διατηρείται κατά την κραμάτωση, το προκύπτον κράμα αποκαλείται στερεό διάλυμα.
- Είδη στερεών διαλυμάτων: (a) Στερεά διαλύματα αντικατάστασης, (b) Στερεά διαλύματα παρεμβολής.



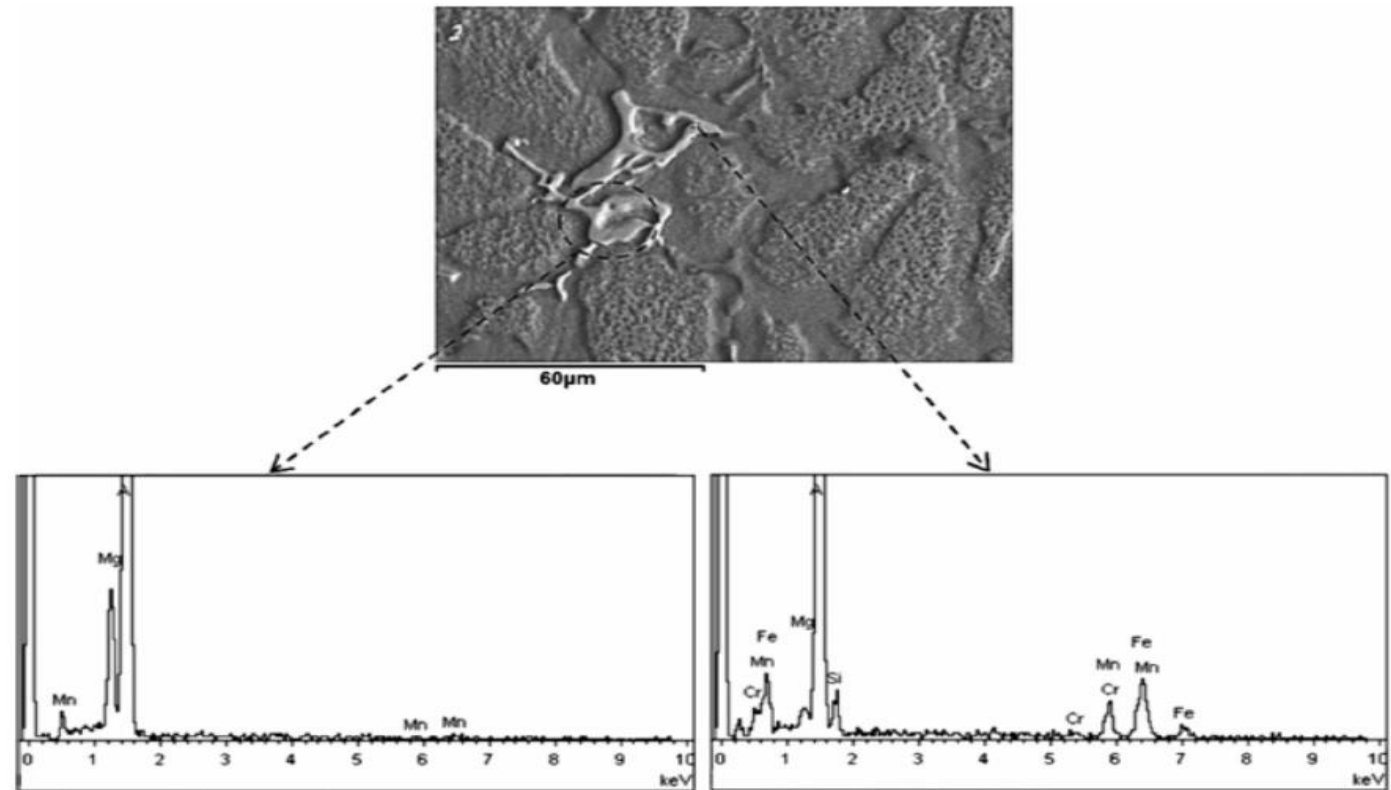
(a)



(b)

Μεσομεταλλικές ενώσεις

Figure 17 EDS analysis of the eutectic resolidified structure which includes intermetallic phases with formula Al_6Mn .



- ❑ Οι μεσομεταλλικές ενώσεις (intermetallic compounds) είναι πολύπλοκες δομές που αποτελούνται από δύο μέταλλα· σε αυτές, τα άτομα της διαλυμένης ουσίας τοποθετούνται ανάμεσα σε άτομα του διαλύτη σε συγκεκριμένες αναλογίες.
- ❑ Οι μεσομεταλλικές ενώσεις χαρακτηρίζονται από αντοχή, σκληρότητα και ψαθυρότητα. Λόγω των υψηλών σημείων τήξης, της αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες, της καλής αντίστασης σε οξείδωση και της σχετικά χαμηλής πυκνότητας, είναι κατάλληλα υλικά για εφαρμογές όπως προηγμένοι στροβιλοκινητήρες.

Συστήματα δύο φάσεων

- ❑ Μία φάση (phase) ορίζεται ως ένα φυσικά οριοθετημένο και ομοιογενές "μέρος" σε ένα υλικό. Κάθε φάση είναι ένα ομοιογενές μέρος της συνολικής μάζας και έχει δικά της χαρακτηριστικά και ιδιότητες.

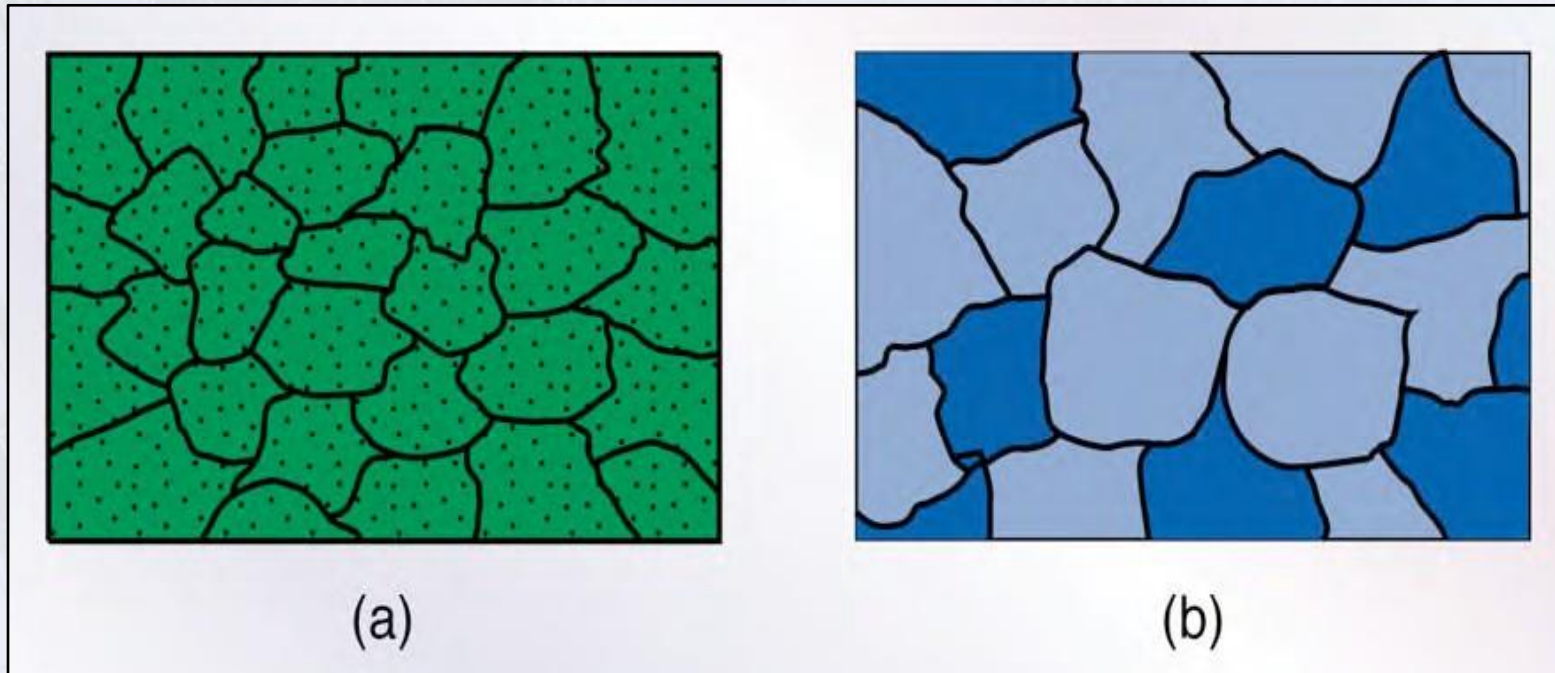
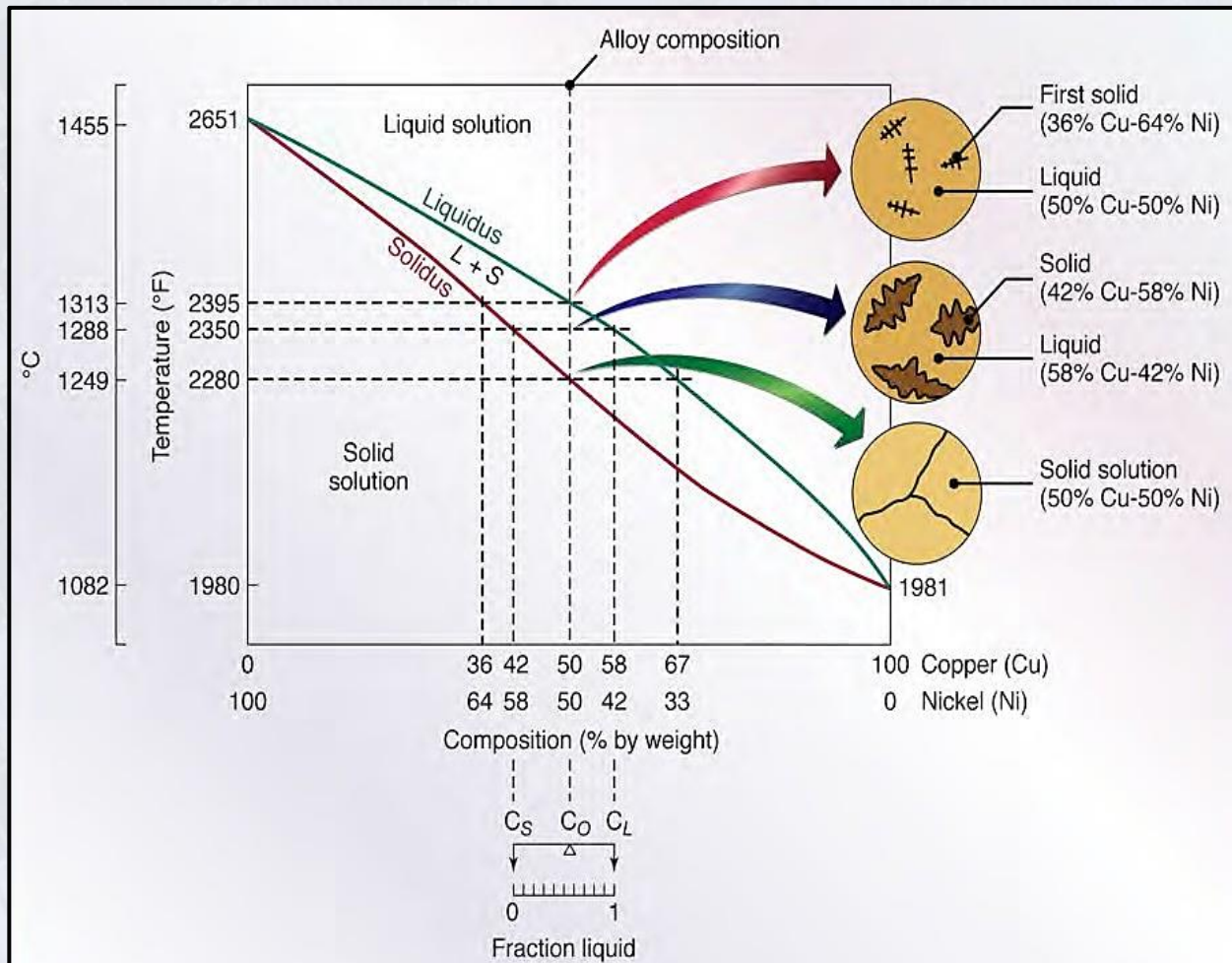


Figure 4.3 (α) Σχηματική αναπαράσταση κόκκων, όριων κόκκων και σωματιδίων διεσπαρμένων σε όλη την έκταση της δομής ενός συστήματος δύο φάσεων, όπως π.χ. ένα κράμα μόλυβδου- χαλκού. Οι κόκκοι αναπαριστούν μόλυβδο σε στερεό διάλυμα σε χαλκό και τα σωματίδια είναι μόλυβδος ως δεύτερη φάση. (β) Σχηματική αναπαράσταση συστήματος δύο φάσεων αποτελούμενου από δύο σύνολα κόκκων (σκουρόχρωμα και ανοιχτόχρωμα). Οι έγχρωμοι και λευκοί κόκκοι έχουν διαφορετικές συστάσεις και ιδιότητες.

Διαγράμματα φάσεων

- ❖ Ένα διάγραμμα φάσεων, γνωστό και ως διάγραμμα ισορροπίας, παρουσιάζει τις σχέσεις ανάμεσα στη θερμοκρασία, τη σύσταση και τις φάσεις που υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο κραματικό σύστημα που βρίσκεται σε ισορροπία.
- ❖ Ο όρος ισορροπία για ένα σύστημα σημαίνει ότι η κατάστασή του δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Διάγραμμα φάσεων για το κραματικό σύστημα χαλκού-νικελίου



Ο κανόνας του μοχλού:

Η σύσταση των διάφορων φάσεων σε ένα διάγραμμα φάσεων μπορεί να προσδιοριστεί μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως κανόνας του μοχλού.

Κλάσμα βάρους του στερεού:

$$\frac{S}{S + L} = \frac{C_o - C_L}{C_S - C_L}$$

Κλάσμα βάρους του υγρού:

$$\frac{L}{S + L} = \frac{C_S - C_o}{C_S - C_L}$$

Figure: Διάγραμμα φάσεων για το κραματικό σύστημα χαλκού-νικελίου όπως λαμβάνεται με αργό ρυθμό στερεοποίησης.

Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων χαλκού

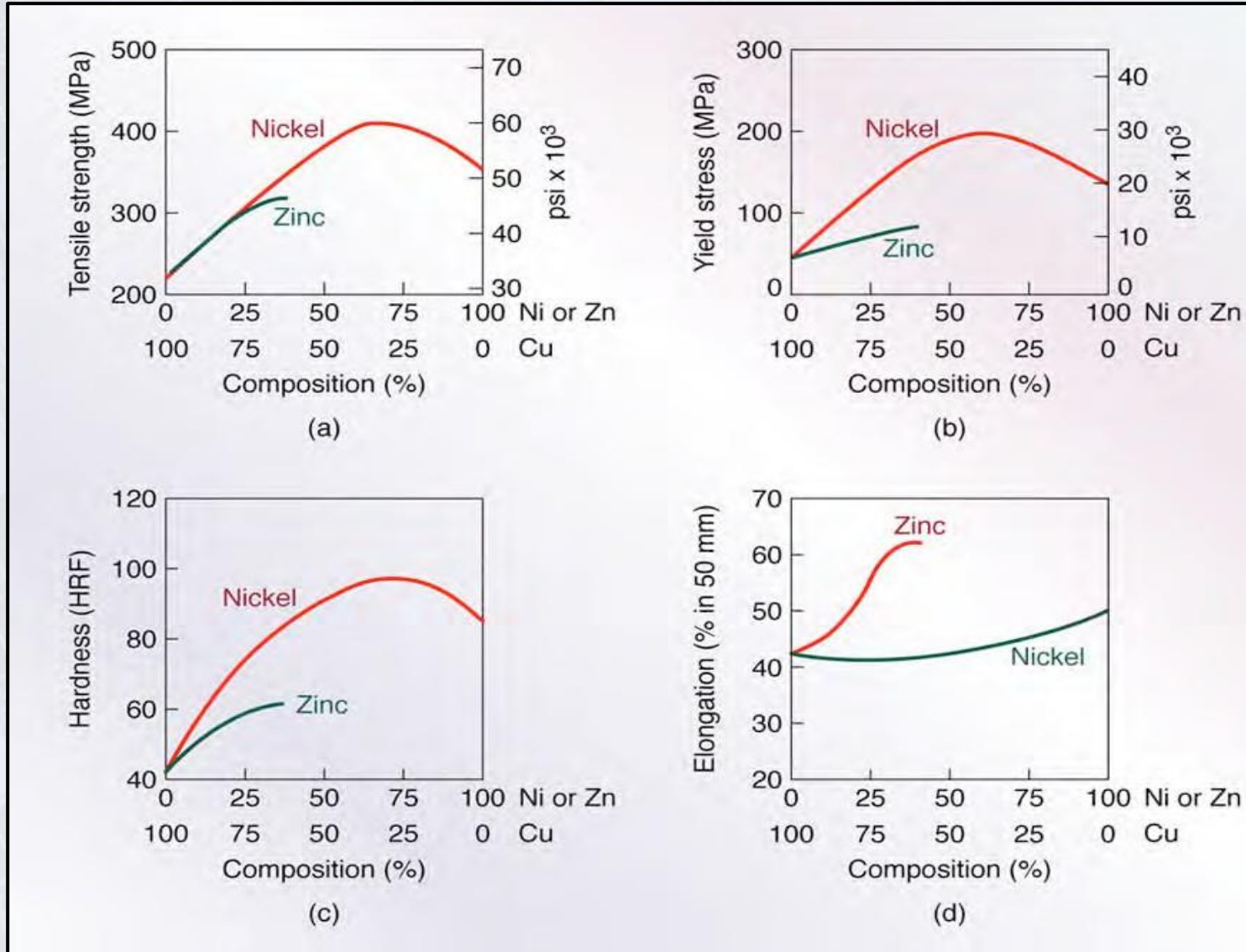


Figure: Μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων χαλκού-νικελίου και χαλκού-ψευδαργύρου ως συνάρτηση της σύστασής τους. Οι καμπύλες για τον ψευδάργυρο έχουν μικρό μήκος, επειδή ο ψευδάργυρος έχει μέγιστη στερεά διαλυτότητα σε χαλκό 40%.

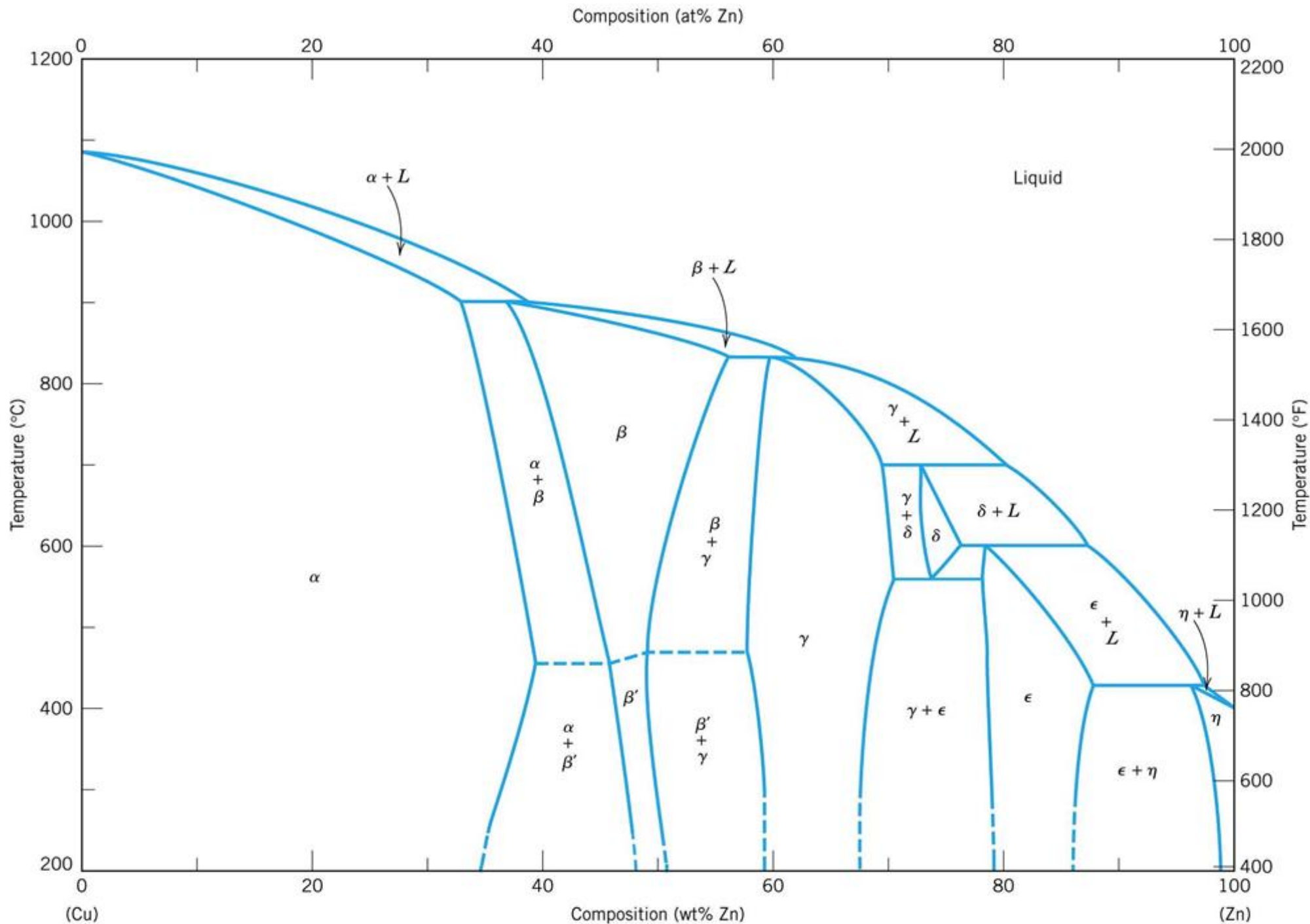


FIGURE 9.17 The copper–zinc phase diagram. [Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 2, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]

(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Διάγραμμα φάσεων για το κραματικό σύστημα κασσίτερου-μόλυβδου

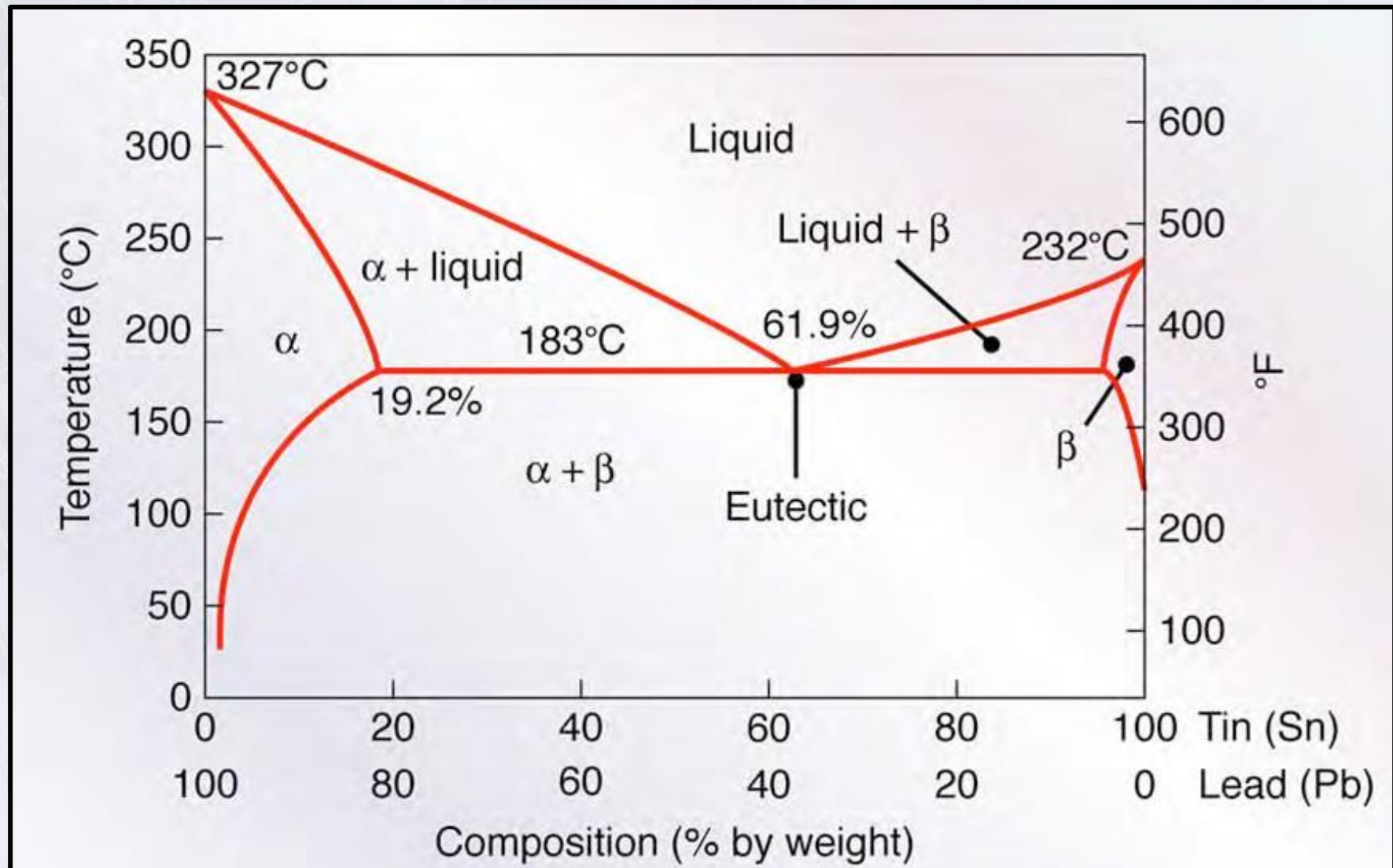
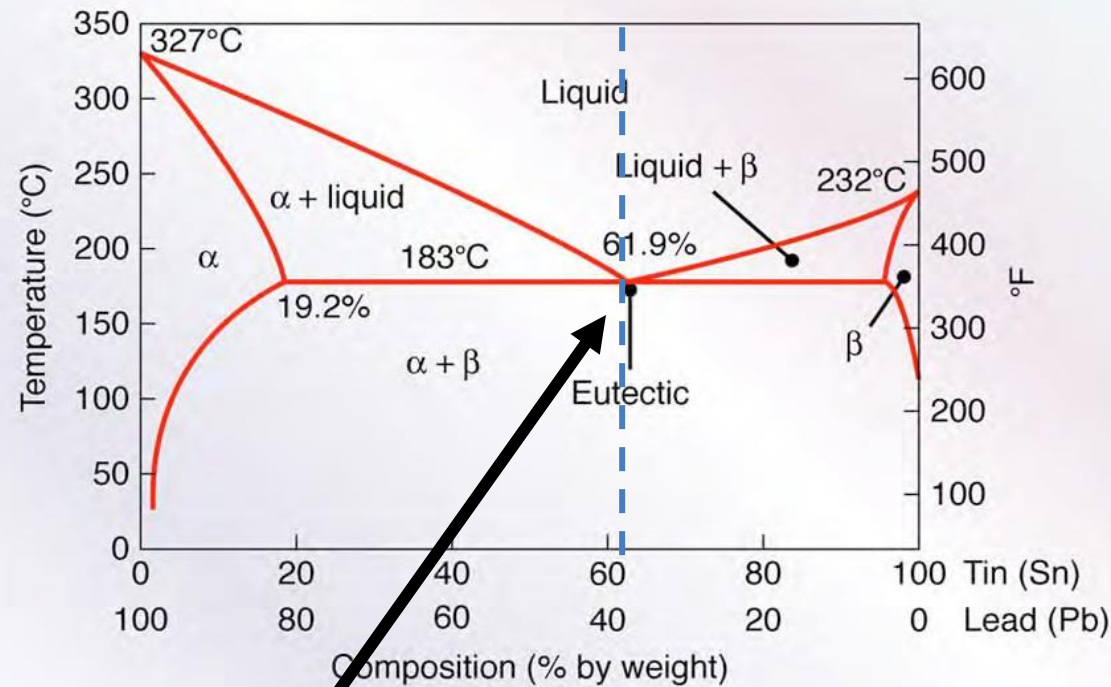


Figure: Διάγραμμα φάσεων για το κραματικό σύστημα κασσίτερου-μόλυβδου όπως λαμβάνεται με αργό ρυθμό στερεοποίησης.



Alloys commonly used for electrical **soldering** are 60/40 Sn-Pb, which melts at 188 °C (370 °F), and 63/37 Sn-Pb used principally in electrical/electronic work. 63/37 is a eutectic alloy of these metals, which: has the lowest melting point (183 °C or 361 °F) of all the **tin-lead** alloys; and.



www.homedepot.com

Solder - Wikipedia

<https://en.wikipedia.org/wiki/Solder>

? About this result Feedback

Το σύστημα σιδήρου-άνθρακα

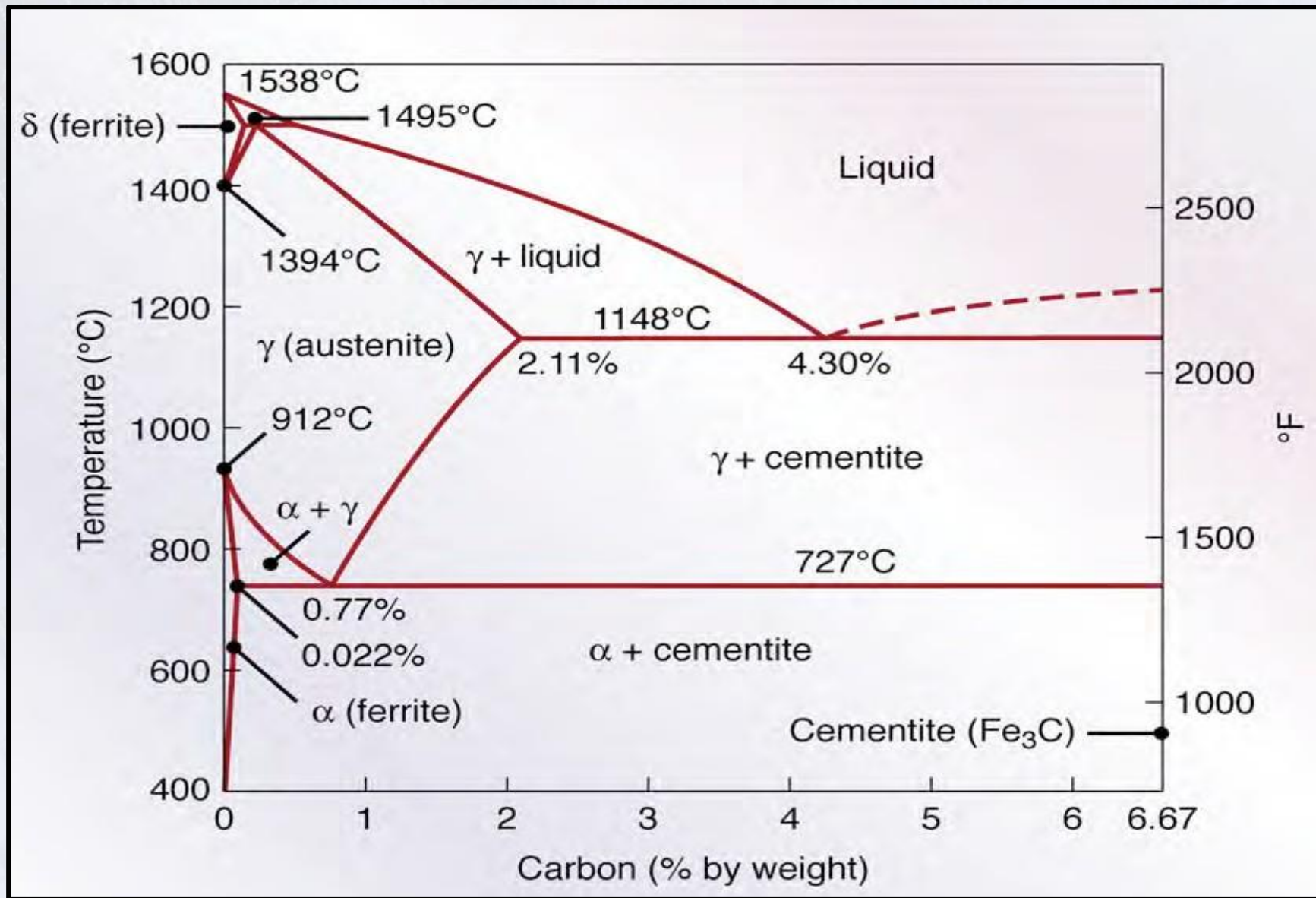


Figure: Το διάγραμμα φάσεων σιδήρου-άνθρακα.

Το σύστημα σιδήρου-άνθρακα

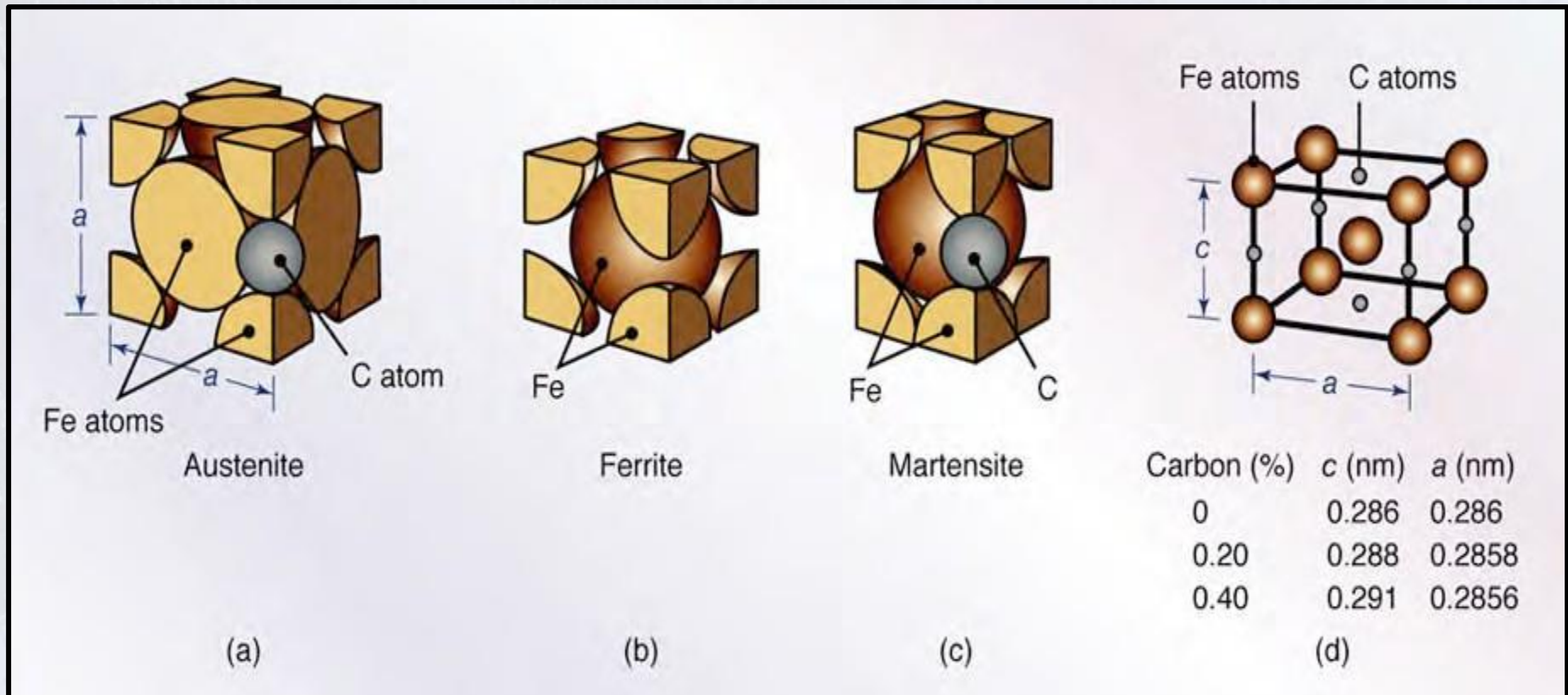


Figure: Οι μοναδιαίες κυψελίδες για (α) ωστενίτη, (β) φερρίτη και (γ) μαρτενσίτη. Η επίδραση του (κατά βάρος) ποσοστού άνθρακα στις διαστάσεις του πλέγματος για τον μαρτενσίτη παρουσιάζεται στο (δ): παρατηρήστε τη θέση παρεμβολής των ατόμων άνθρακα. Παρατηρήστε επίσης την αύξηση της διάστασης c αυξανόμενης της περιεκτικότητας σε άνθρακα: αυτή η επίδραση υποχρεώνει τη μοναδιαία κυψελίδα του μαρτενσίτη σε σχήμα ορθογωνικού πρίσματος.

Το διάγραμμα φάσεων σιδήρου-καρβιδίου και η ανάπτυξη μικροδομών σε χάλυβες

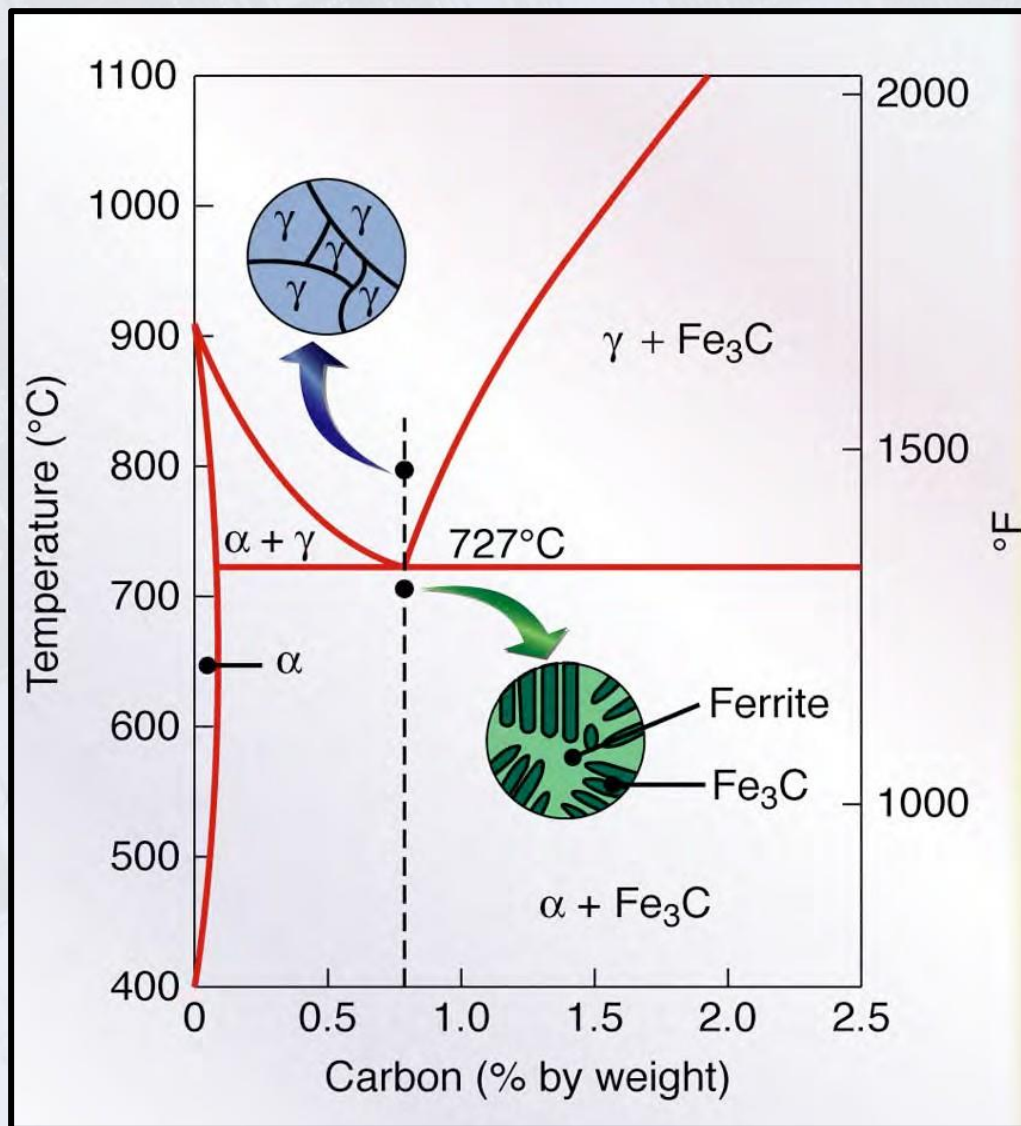


Figure: Σχηματική αναπαράσταση των μικροδομών για ένα κράμα σιδήρου-άνθρακα με ευτηκτοειδή σύσταση (0.77% άνθρακα), πάνω και κάτω από το ευτηκτοειδές σημείο (θερμοκρασία 727°C, 1341°F).

Το διάγραμμα φάσεων σιδήρου-καρβιδίου και η ανάπτυξη μικροδομών σε χάλυβες

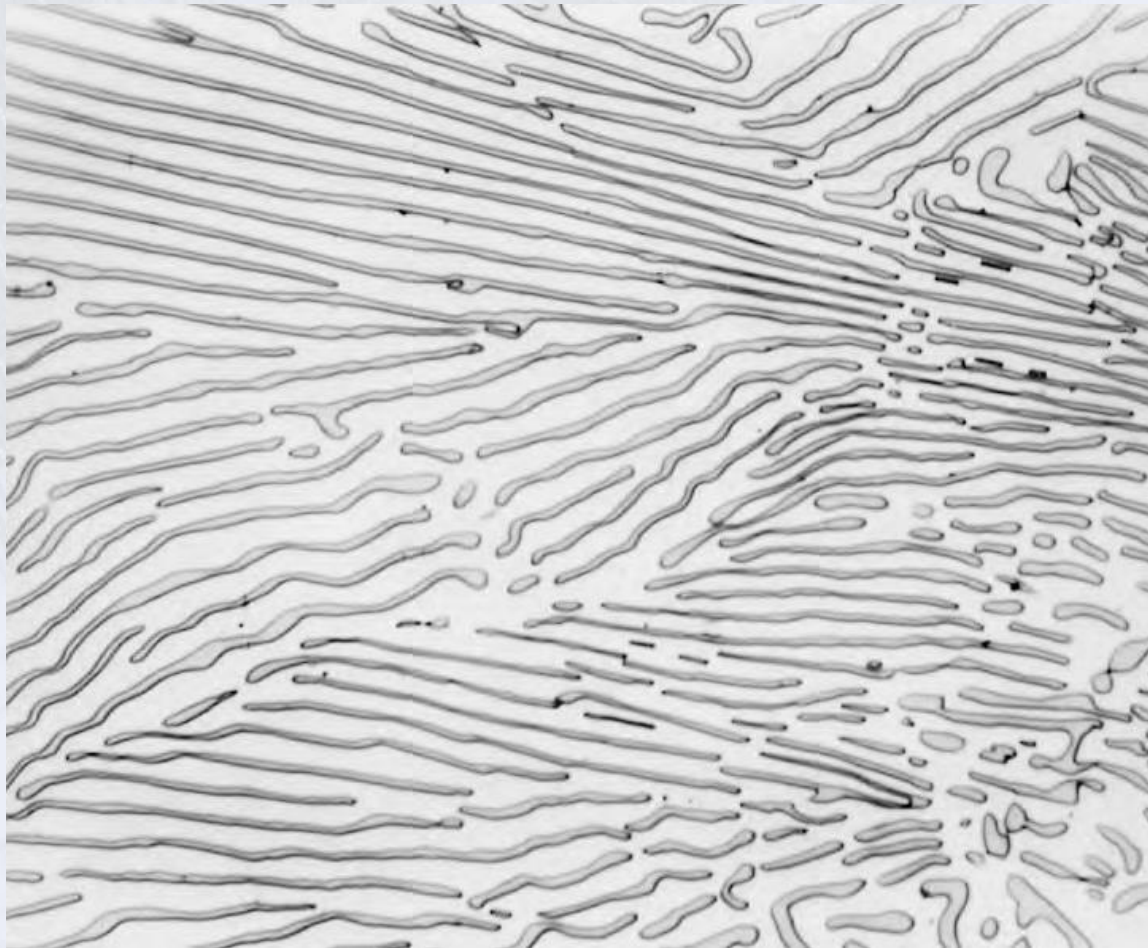
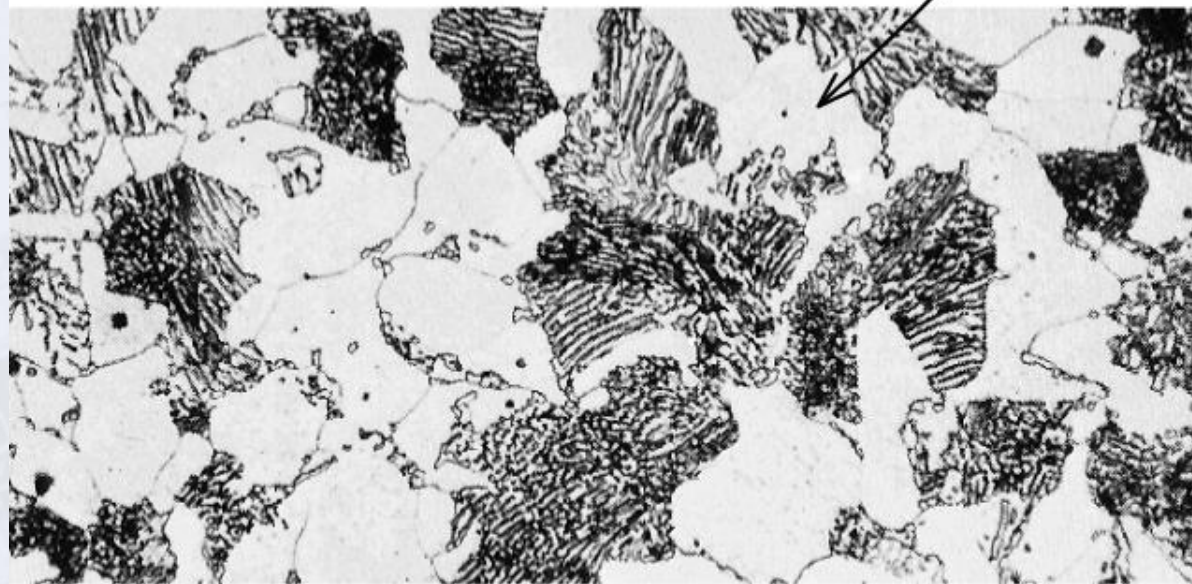
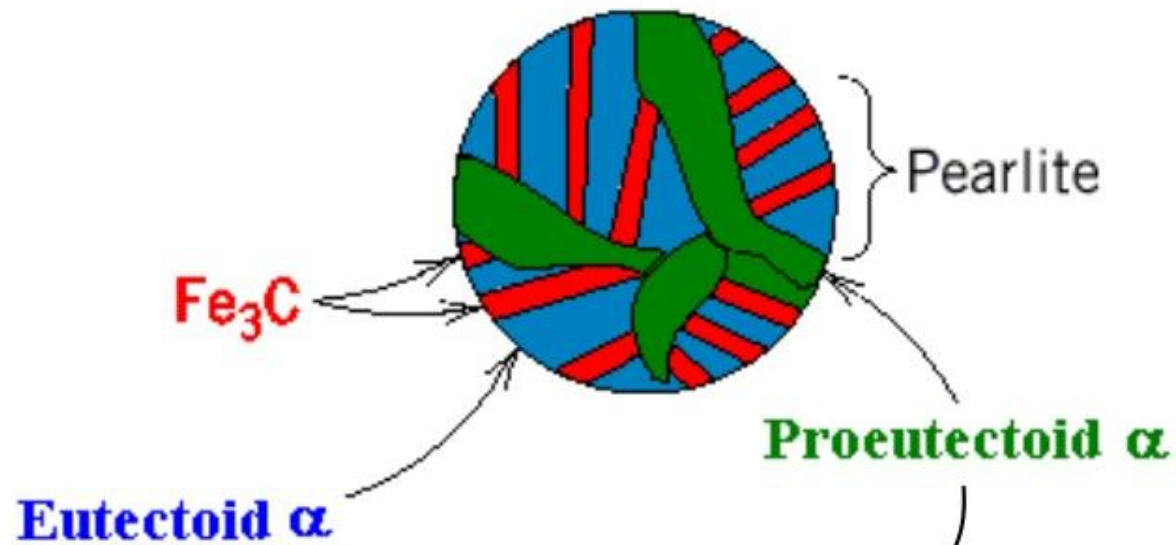
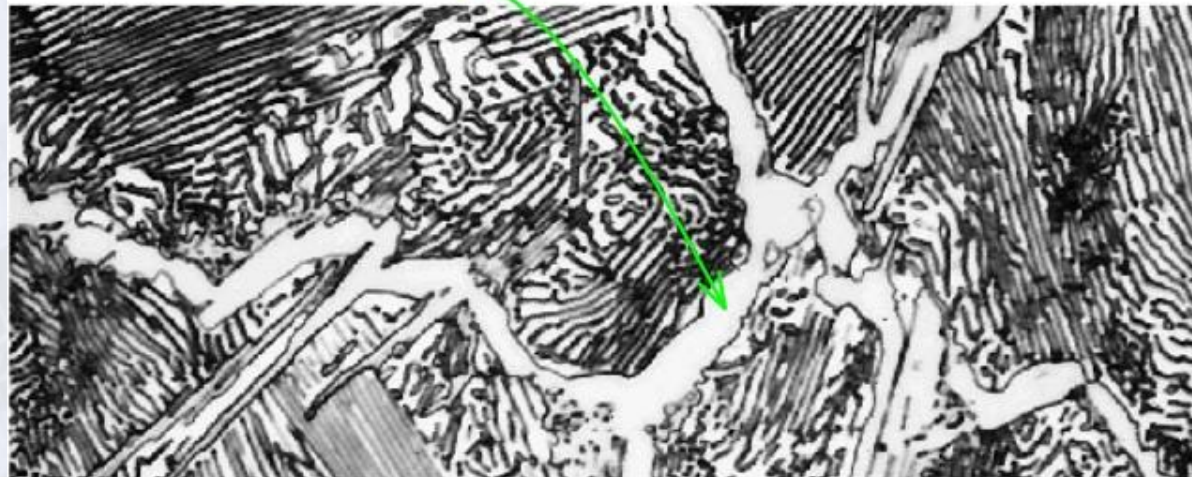
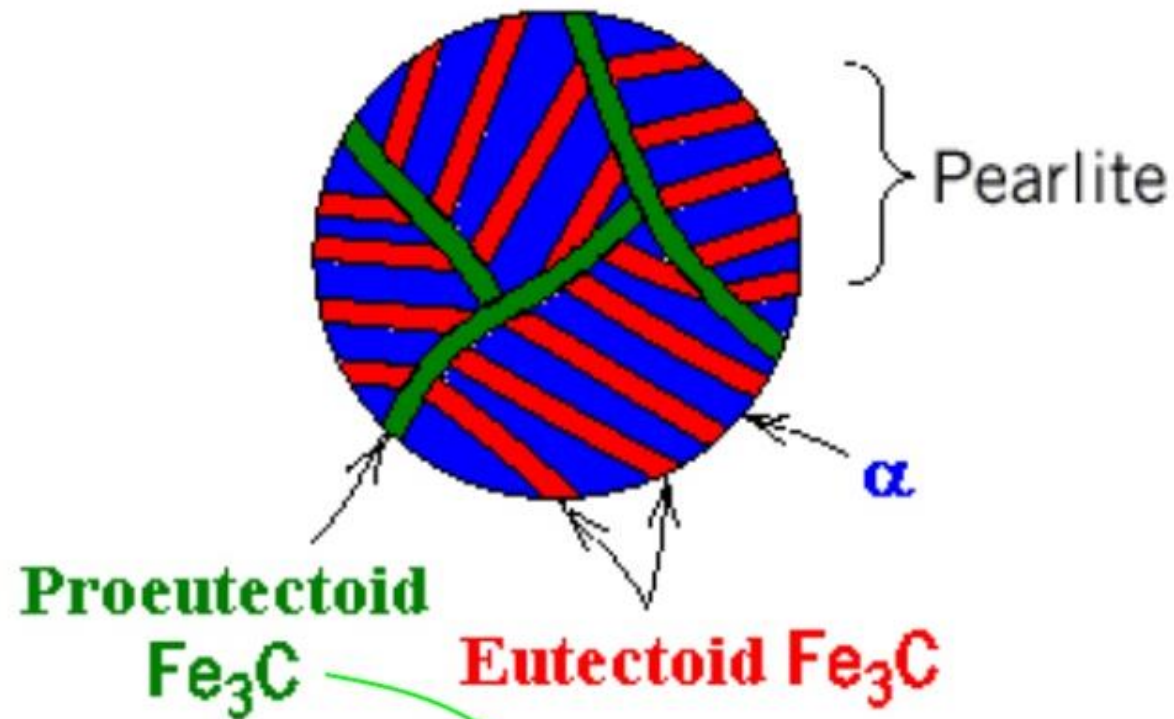


Figure: Μικροδομή του περλίτη σε χάλυβα 1080, η οποία σχηματίζεται από ωστενίτη ευτηκτοειδούς σύστασης. Σε αυτή τη λαμελοειδή δομή, οι ανοιχτόχρωμες περιοχές αντιστοιχούν σε φερρίτη και οι σκουρόχρωμες περιοχές σε καρβίδιο. Μεγέθυνση: 2500×.

Hypoeutectoid alloys contain proeutectoid ferrite (formed above the eutectoid temperature) plus the eutectoid perlite that contain eutectoid ferrite and cementite.



Hypereutectoid alloys contain proeutectoid cementite (formed above the eutectoid temperature) plus pearlite that contain eutectoid ferrite and cementite.



(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Χυτοσίδηροι

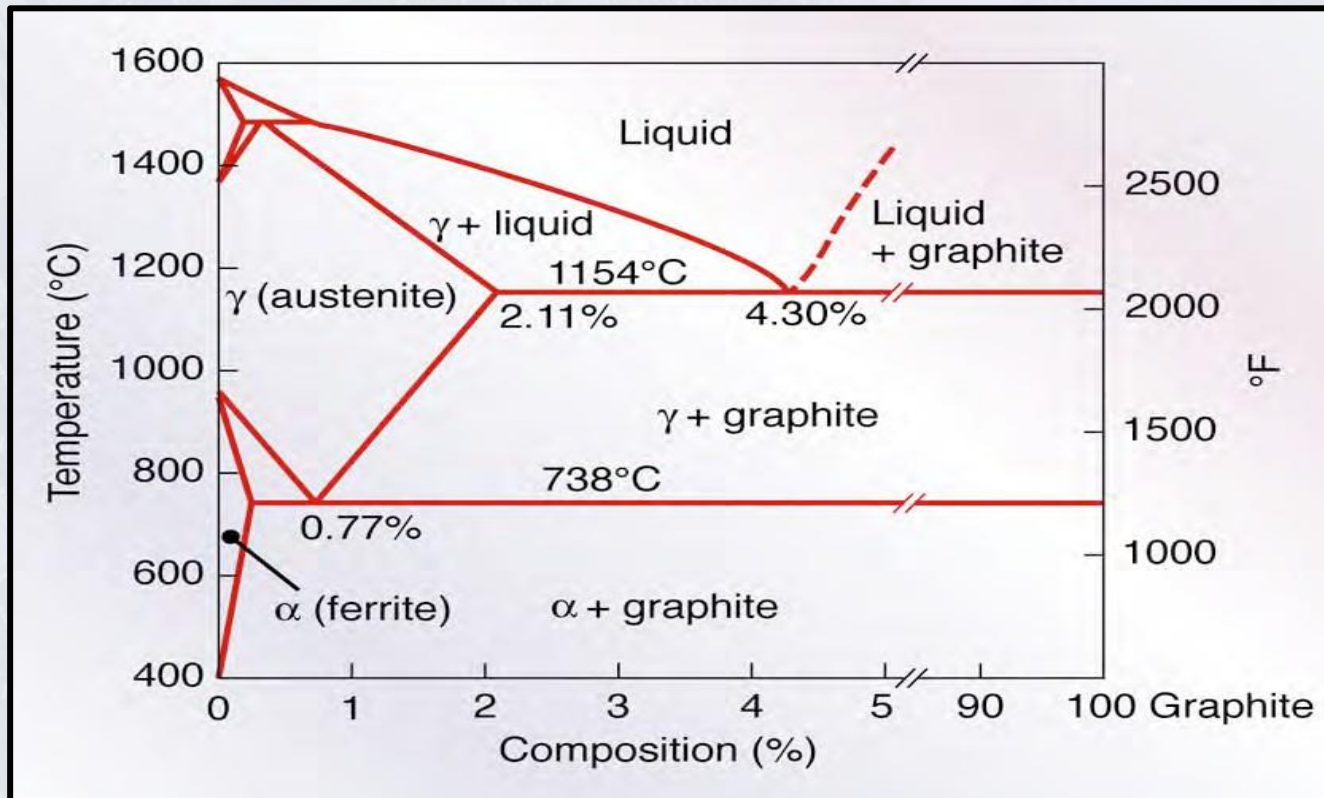


Figure: Διάγραμμα φάσεων για το σύστημα σιδήρου-άνθρακα με γραφίτη (αντί σεμεντίτη) ως ευσταθή φάση.

Ο όρος χυτοσίδηρος αναφέρεται σε μία οικογένεια σιδηρούχων κραμάτων που αποτελούνται από σίδηρο, άνθρακα (με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 2.11% έως 4.5%) και πυρίτιο (έως 3.5%).

1. Φαίος χυτοσίδηρος ή φαιοσίδηρος (gray cast iron, gray iron)
2. Όλκιμος χυτοσίδηρος, αναφέρεται επίσης ως χυτοσίδηρος σφαιροειδούς μορφής ή χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη (nodular cast iron, spheroidal-graphite cast iron)
3. Λευκός χυτοσίδηρος (white cast iron)
4. Μαλακτός σίδηρος (malleable iron)
5. Σίδηρος συμπαγούς γραφίτη (compacted graphite iron)

Χυτοσίδηροι

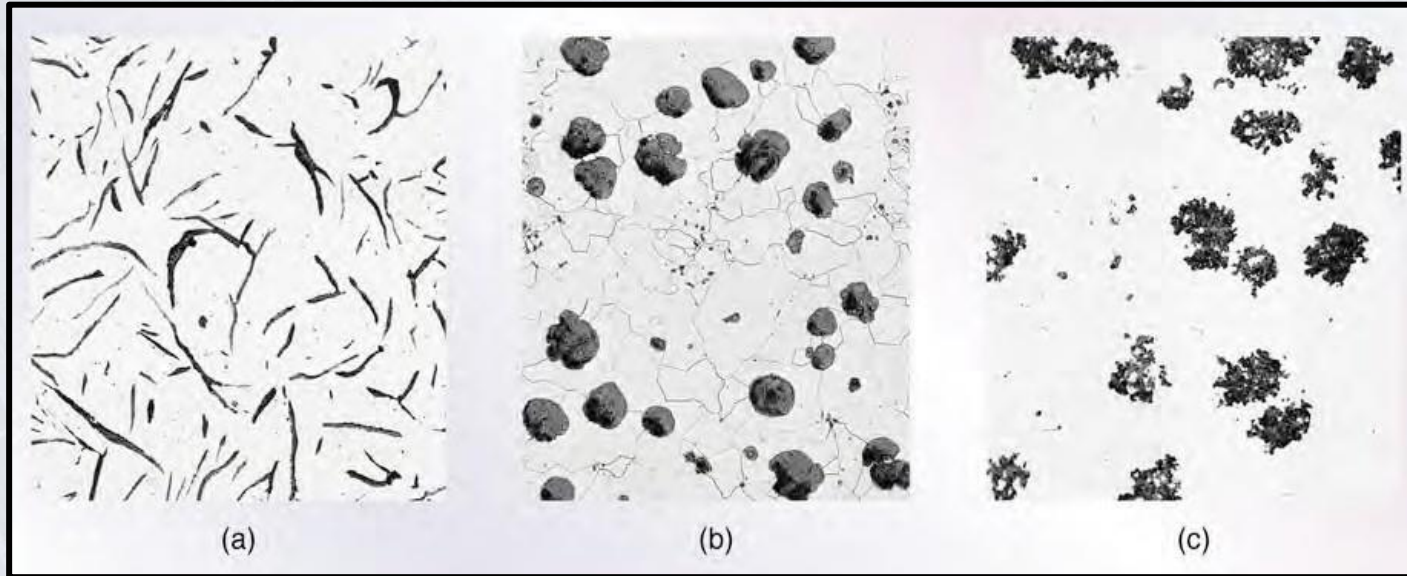


Figure: Μικροδομή χυτοσιδήρων (μεγέθυνση: 100×). (α) Φερριτικός φαιοσίδηρος με φυλλίδια γραφίτη. (β) Φερριτικός, όλκιμος σίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη. (γ) Φερριτικός, μαλακτός σίδηρος· στερεοποιείται ως λευκός χυτοσίδηρος με τον άνθρακα να εμφανίζεται ως σεμεντίτης και ακολουθεί γραφίτωση μέσω κατάλληλης θερμικής κατεργασίας.

1. Φαίος χυτοσίδηρος ή φαιοσίδηρος (gray cast iron, gray iron)
2. Όλκιμος χυτοσίδηρος, αναφέρεται επίσης ως χυτοσίδηρος σφαιροειδούς μορφής ή χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη (nodular cast iron, spheroidal-graphite cast iron)
3. Λευκός χυτοσίδηρος (white cast iron)
4. Μαλακτός σίδηρος (malleable iron)
5. Σίδηρος συμπαγούς γραφίτη (compacted graphite iron)

Χυτοσίδηροι

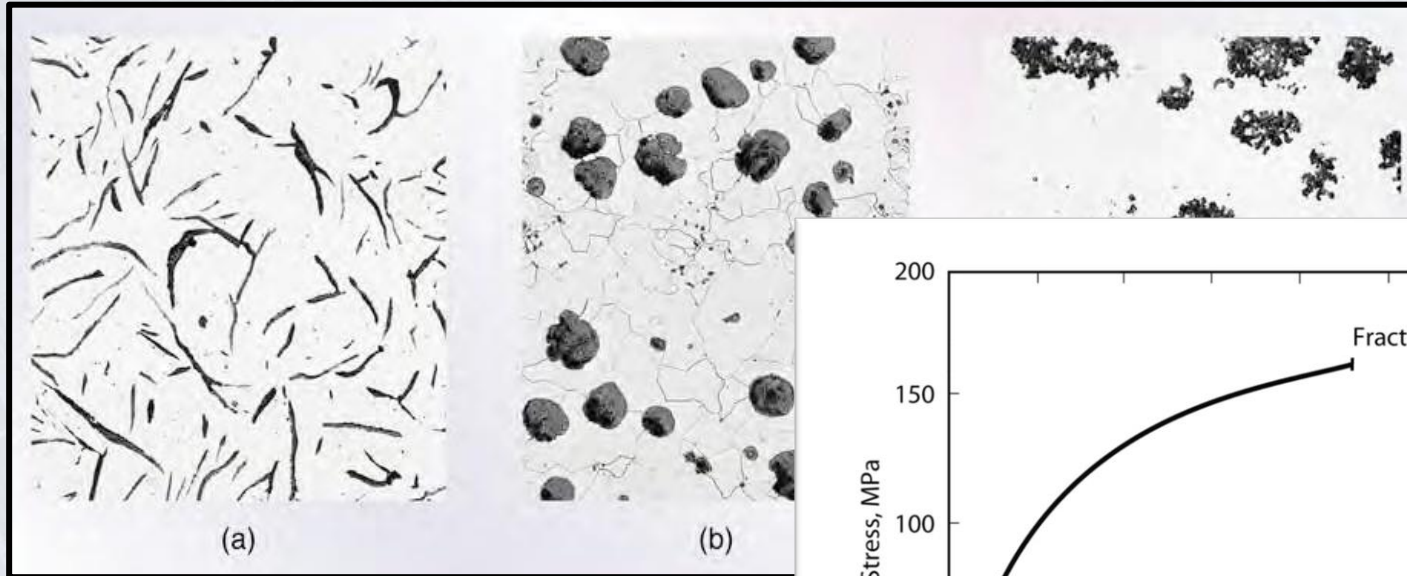
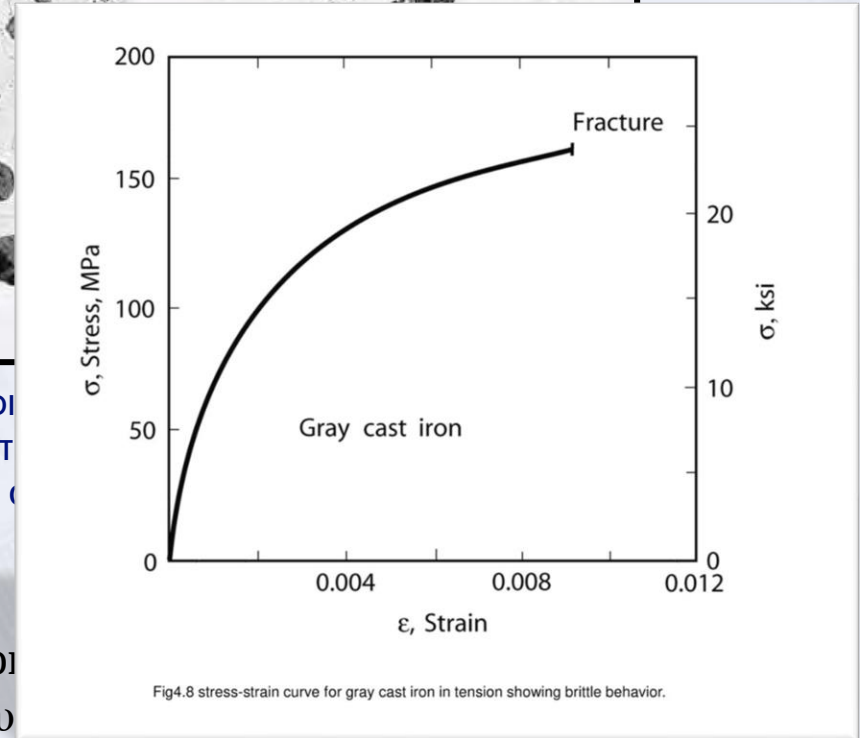
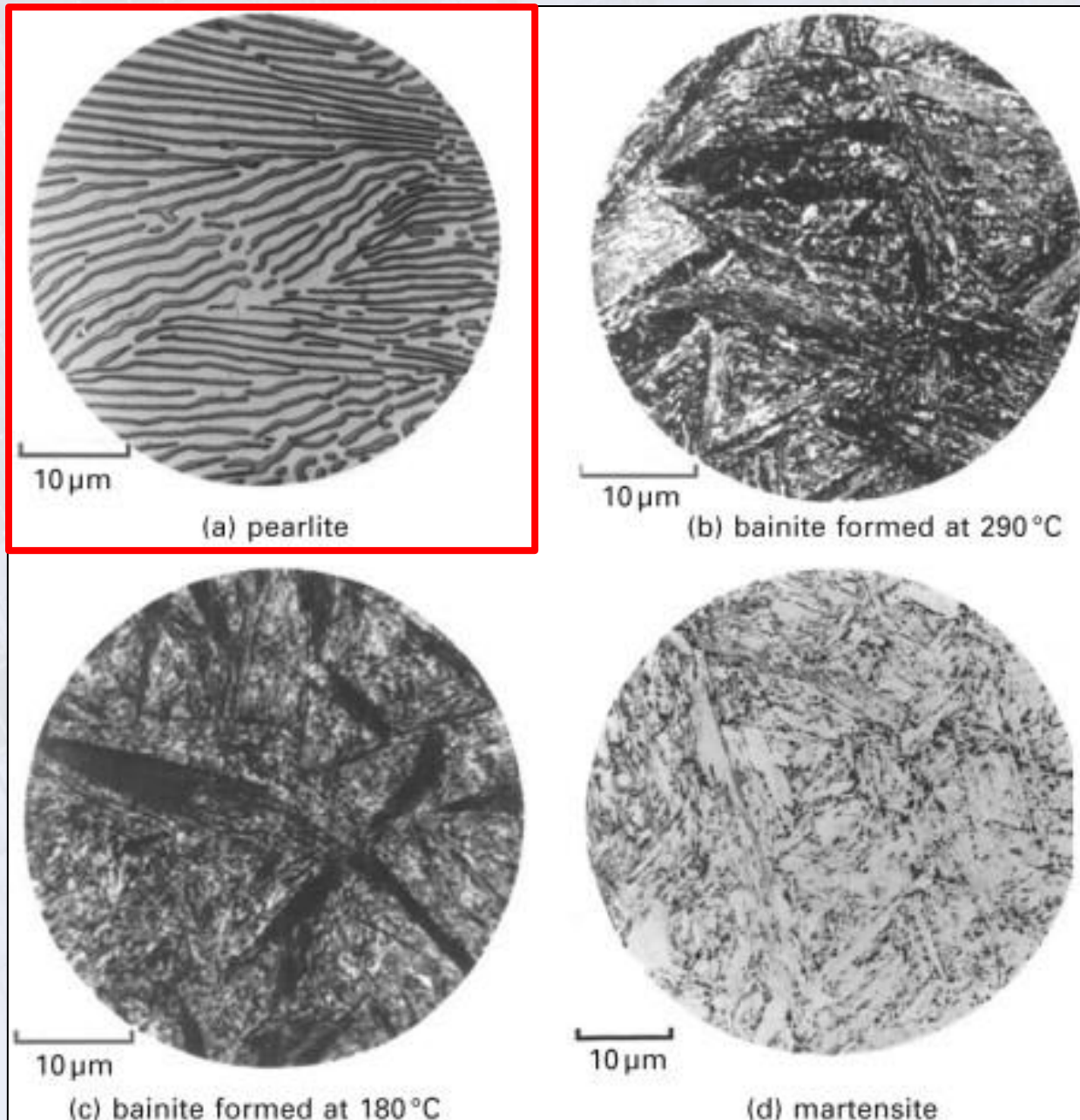


Figure: Μικροδομή χυτοσιδήρων (μεγέθυνση: 100×). (α) Φερριτικό, σφαιροειδής γραφίτης. (β) Φερριτικό, σφαιροειδής γραφίτης. (γ) Φερριτικό, σφαιροειδής γραφίτης με τον άνθρακα να εμφανίζεται ως σπινθήκια και να κατεργασίας.



1. Φαίος χυτοσίδηρος ή φαιοσίδηρος (gray cast iron)
2. Όλκιμος χυτοσίδηρος, αναφέρεται επίσης ως χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη (nodular cast iron, spheroidal-graphite cast iron)
3. Λευκός χυτοσίδηρος (white cast iron)
4. Μαλακτός σίδηρος (malleable iron)
5. Σίδηρος συμπαγούς γραφίτη (compacted graphite iron)

Μικροδομές Χαλύβων

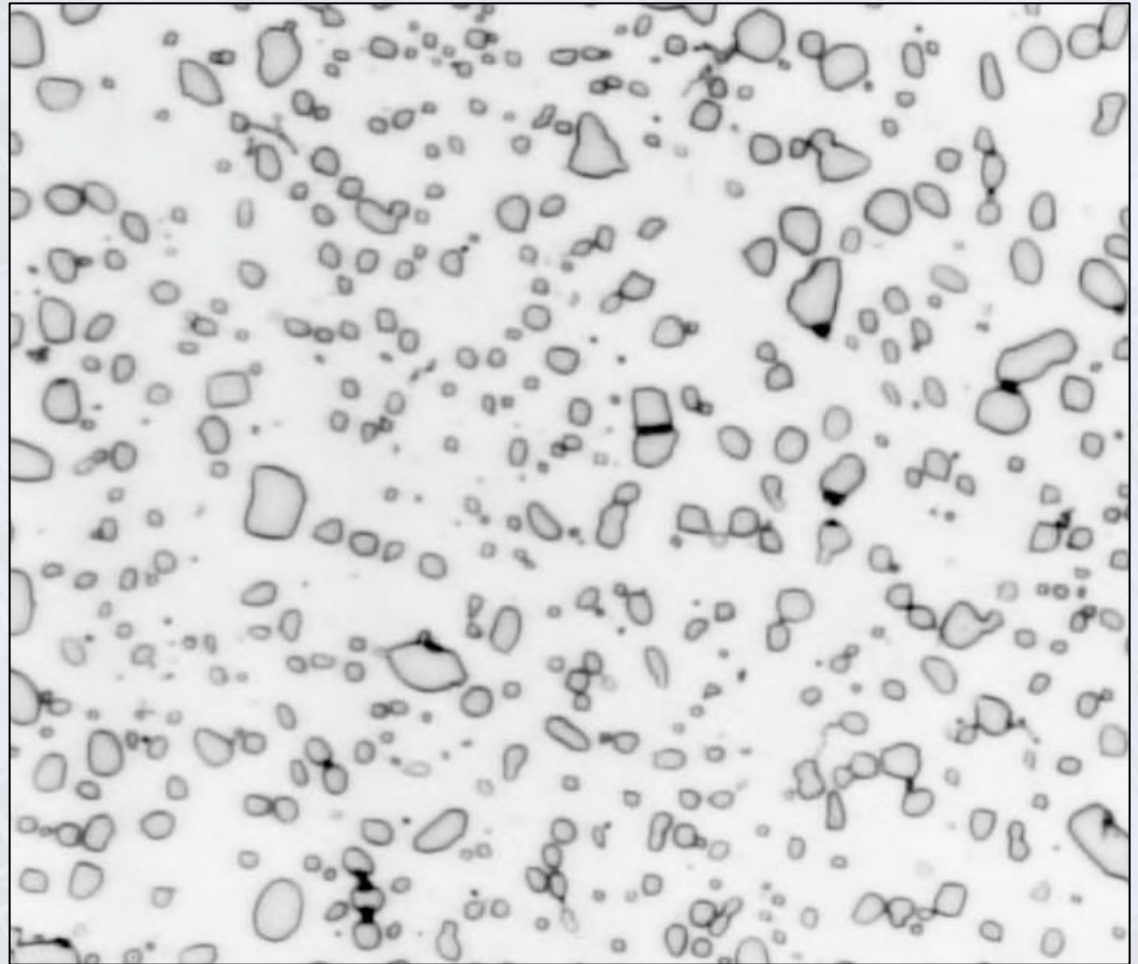


(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

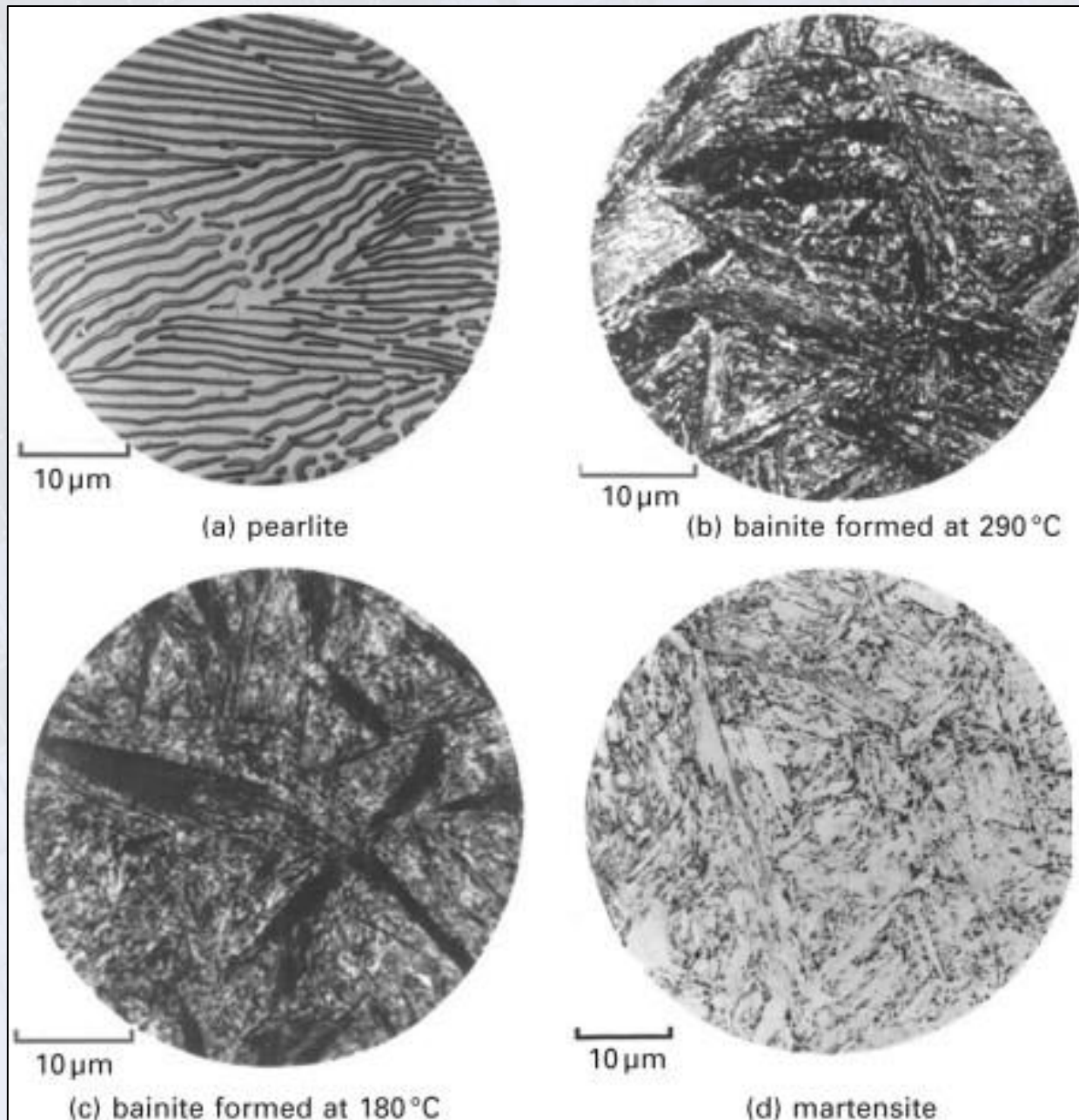
Μικροδομές Χαλύβων

Figure:

Μικροδομή ευτηκτοειδούς χάλυβα.
Ο σχηματισμός σφαιροειδίτη γίνεται
με επαναφορά του χάλυβα σε
θερμοκρασία 700°C.
Μεγέθυνση: 1000×.

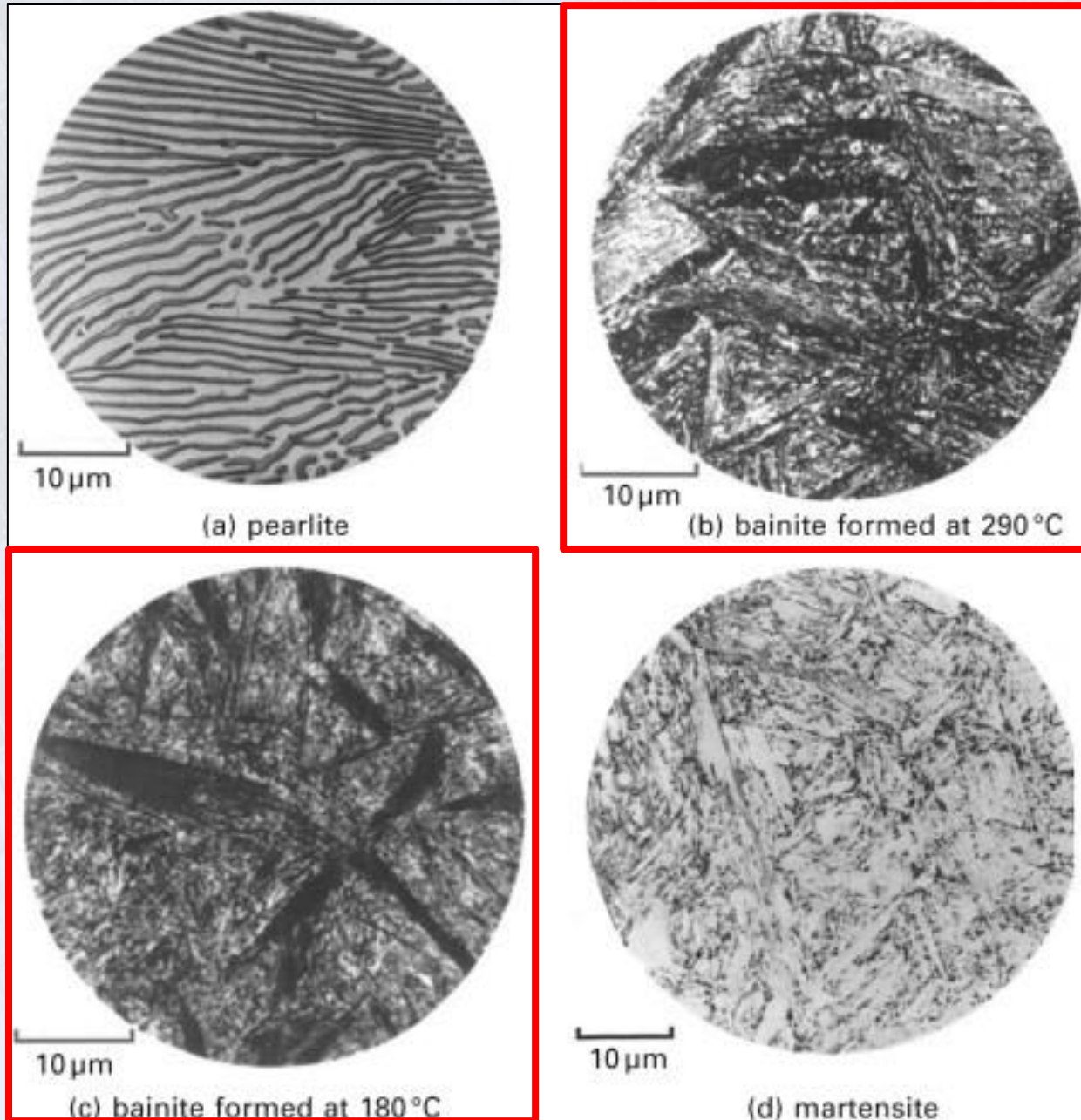


Μικροδομές Χαλύβων



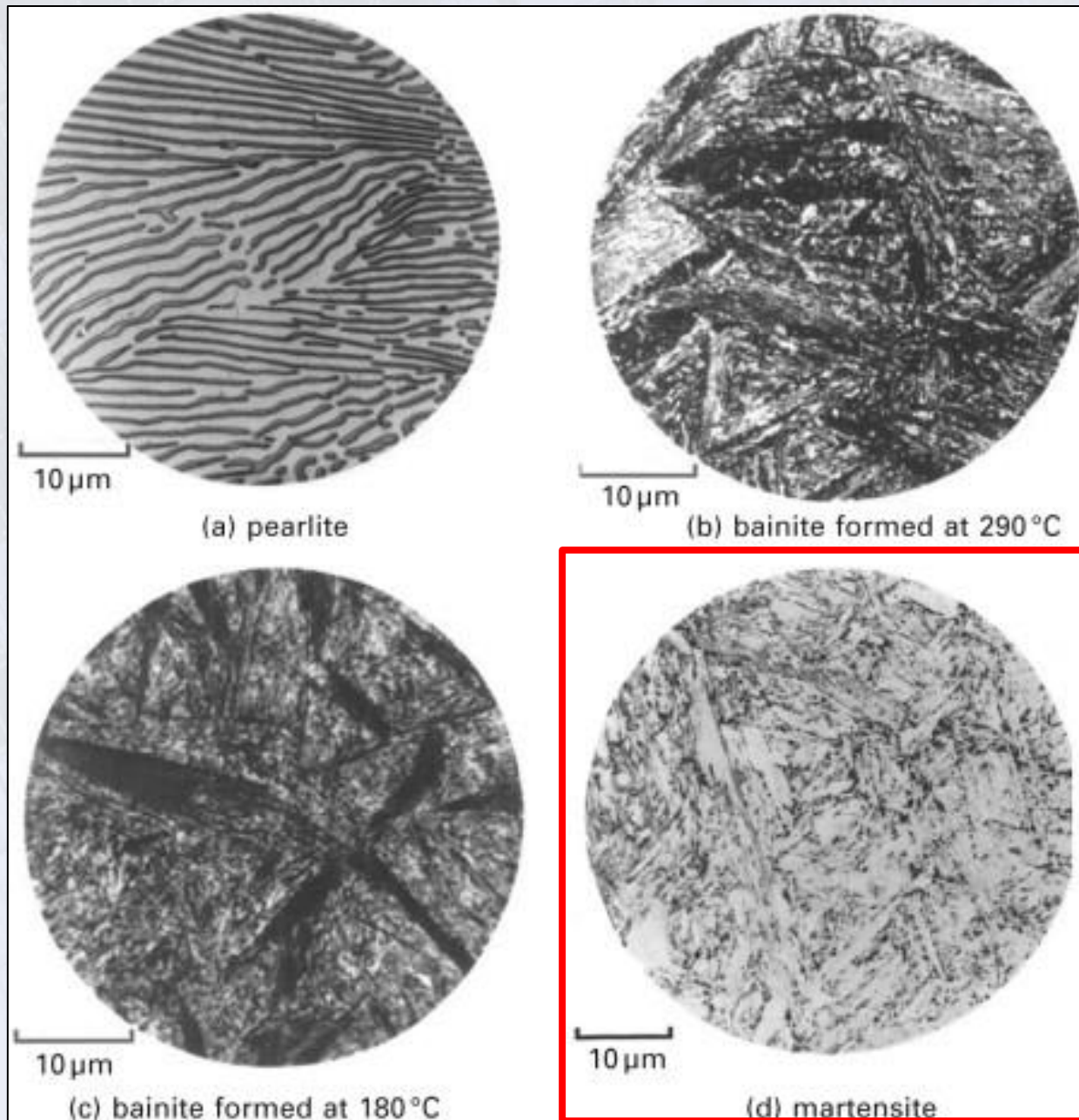
(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Μικροδομές Χαλύβων



(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Μικροδομές Χαλύβων



(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Μαρτενσίτης (martensite)

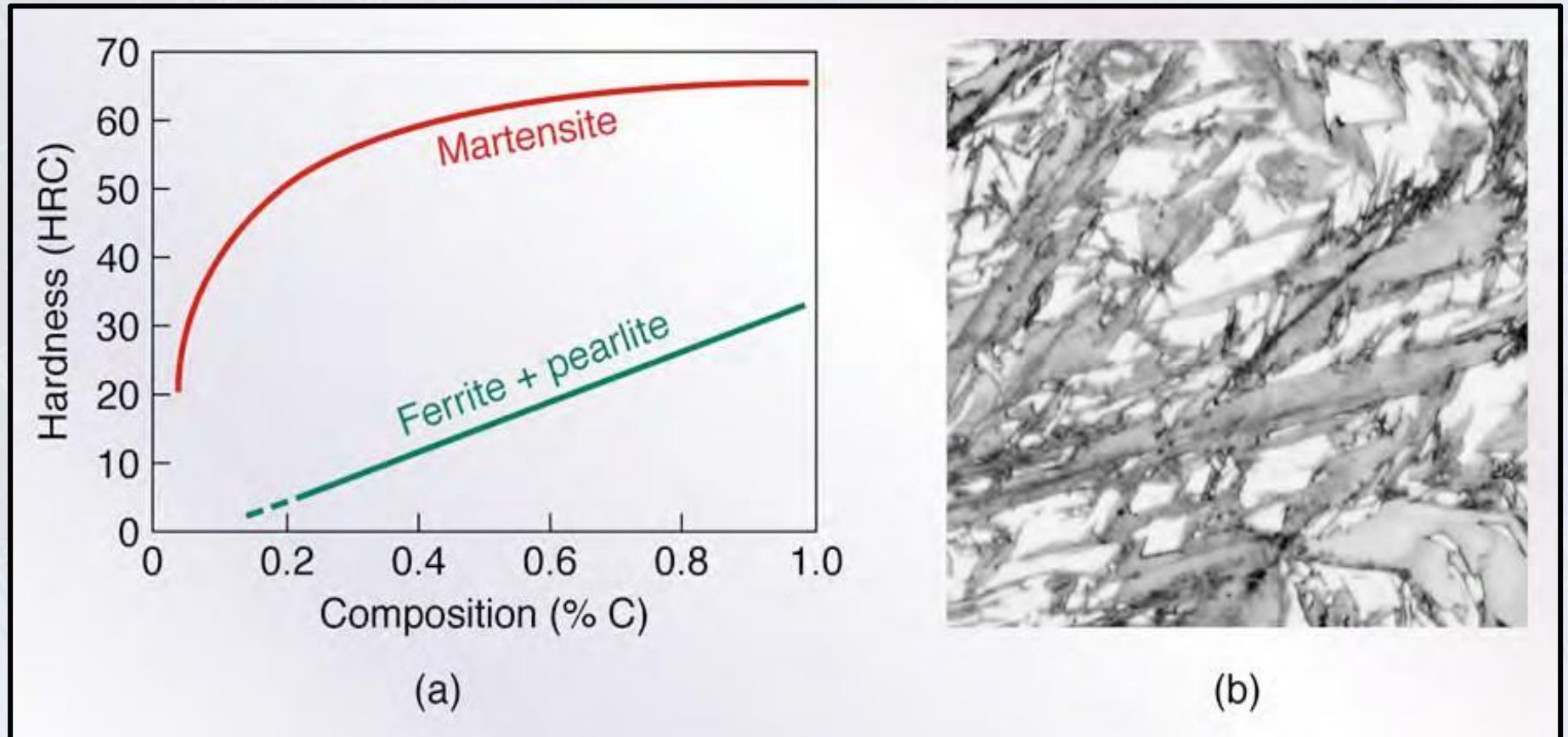


Figure: (α) Σκληρότητα του μαρτενσίτη ως συνάρτηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα. (β) Μικρογραφία μαρτενσίτη με περιεκτικότητα άνθρακα 0.8%. Οι γκρίζες, "πλακώδεις" περιοχές είναι μαρτενσίτης· έχουν την ίδια σύσταση με τον αρχικό ωστενίτη (λευκές περιοχές). Μεγέθυνση: 1000×.

Μαρτενσίτης εξ επαναφοράς (tempered martensite)

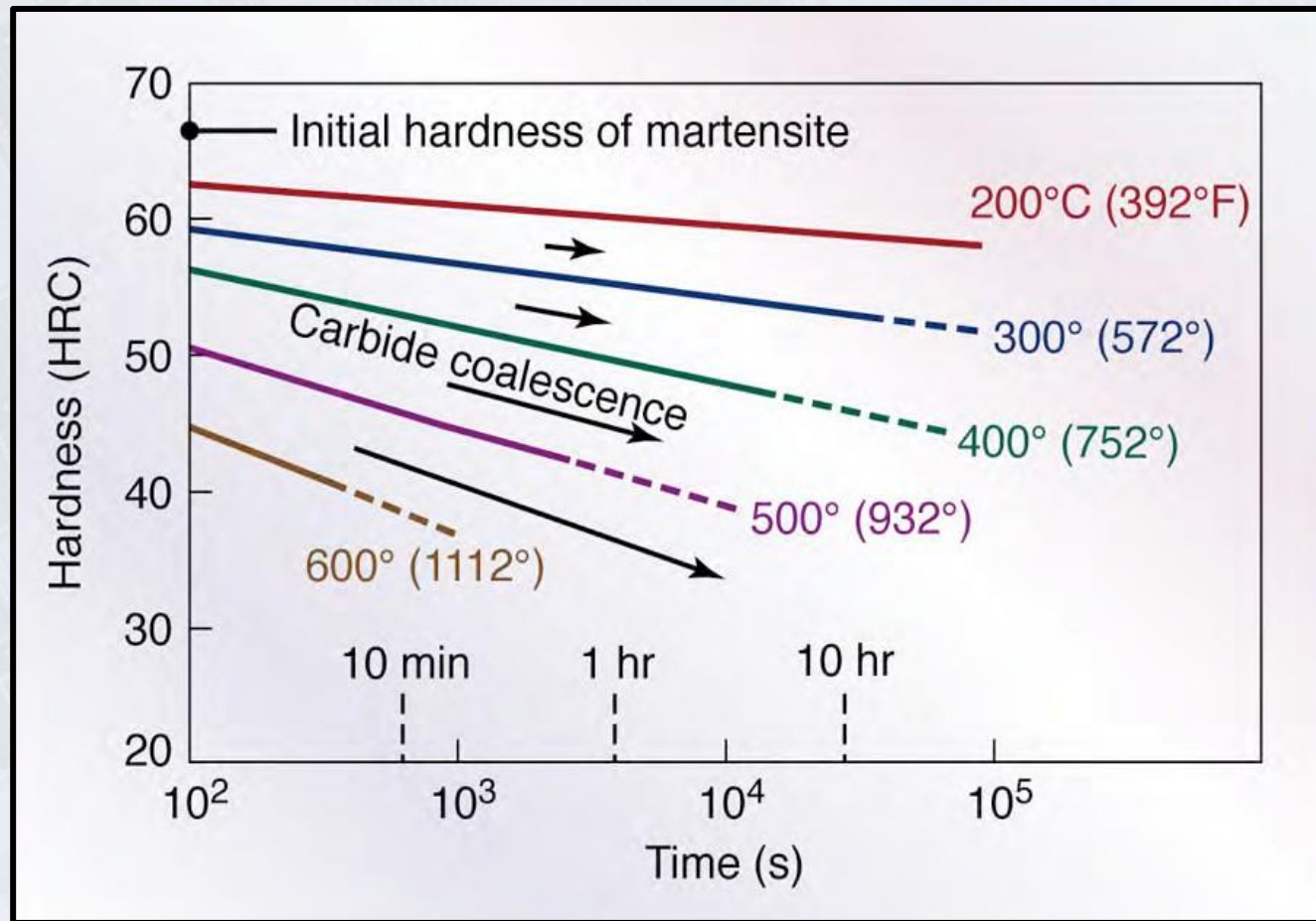
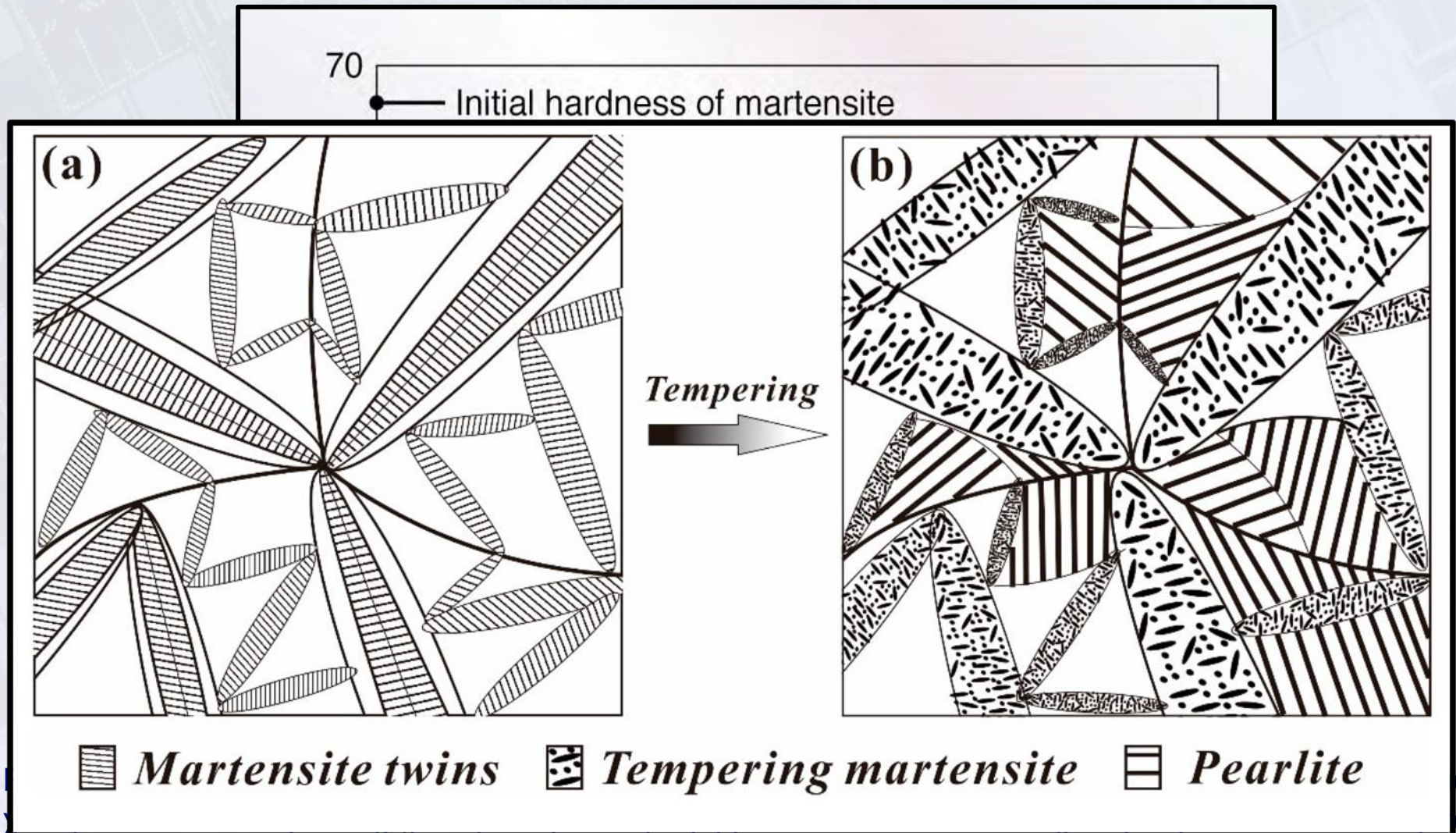


Figure: Σκληρότητα του μαρτενσίτη εξ-επαναφοράς ως συνάρτηση του χρόνου επαναφοράς για χάλυβα 1080 που μετασχηματίζεται μέσω βαφής σε 65 HRC. Η σκληρότητα μειώνεται επειδή τα σωματίδια καρβιδίου συνενώνονται και μεγαλώνουν σε μέγεθος, αυξάνοντας έτσι την απόσταση μεταξύ σωματιδίων στον μαλακότερο φερρίτη.

Μαρτενσίτης εξ επαναφοράς (tempered martensite)



σωματίδια καρβιδίου συνενώνονται και μεγαλώνουν σε μέγεθος, αυξάνοντας έτσι την απόσταση μεταξύ σωματιδίων στον μαλακότερο φερρίτη.

Διαγράμματα χρόνου-θερμοκρασίας-μετασχηματισμού(TTT)

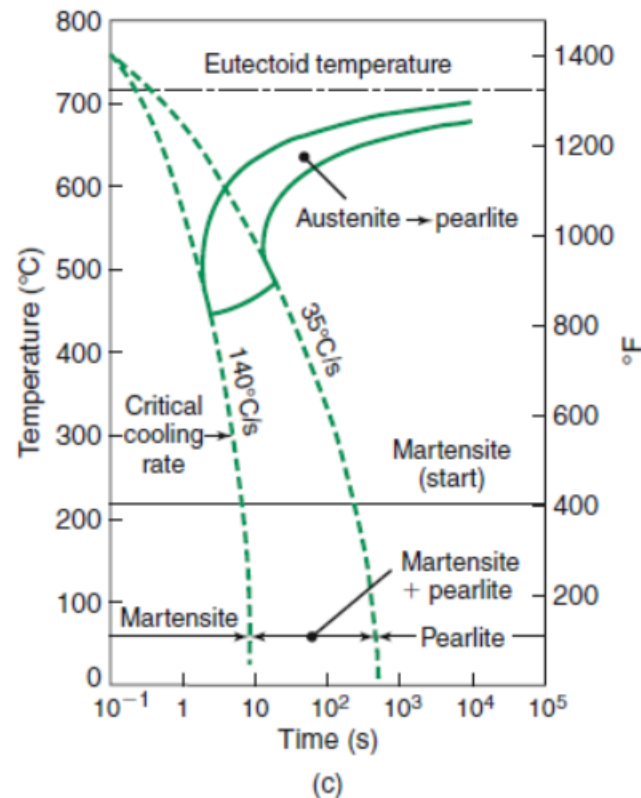
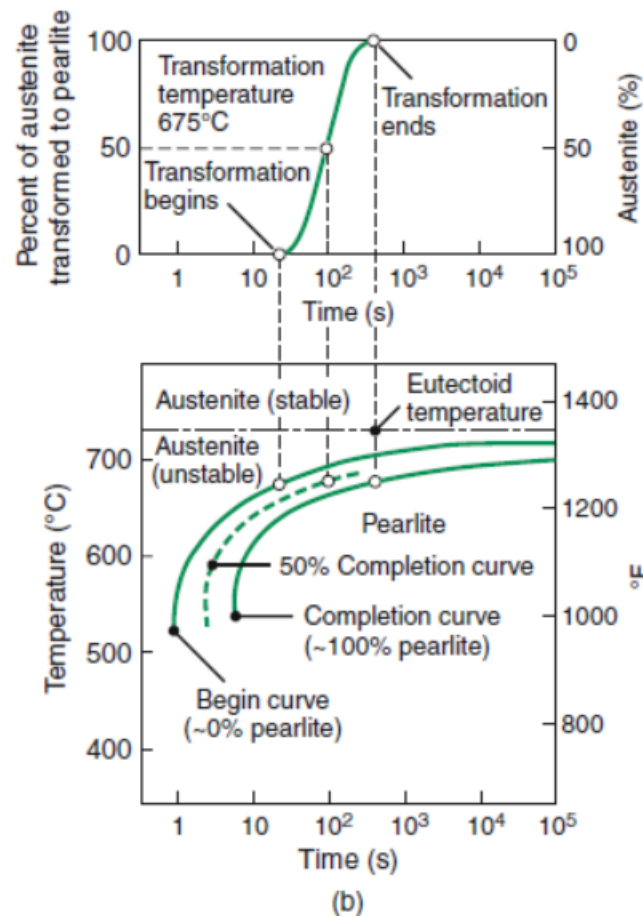
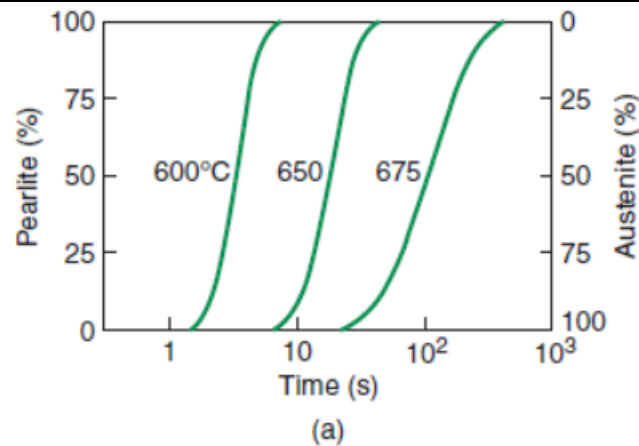


Figure : (α) Μετασχηματισμός ωστενίτη σε περλίτη για ένα κράμα σιδήρου-άνθρακα, ως συνάρτηση του χρόνου και της θερμοκρασίας. (β) Διάγραμμα ισοθερμοκρασιακού μετασχηματισμού που προκύπτει από το (α) για θερμοκρασία μετασχηματισμού 675°C (1247°F). (γ) Μικροδομές που λαμβάνονται για ευτηκτοειδές κράμα σιδήρου-άνθρακα ως συνάρτηση του ρυθμού ψύξης.

Μηχανικές ιδιότητες χαλύβων ανόπτησης ως συνάρτηση της σύστασης και μικροδομής

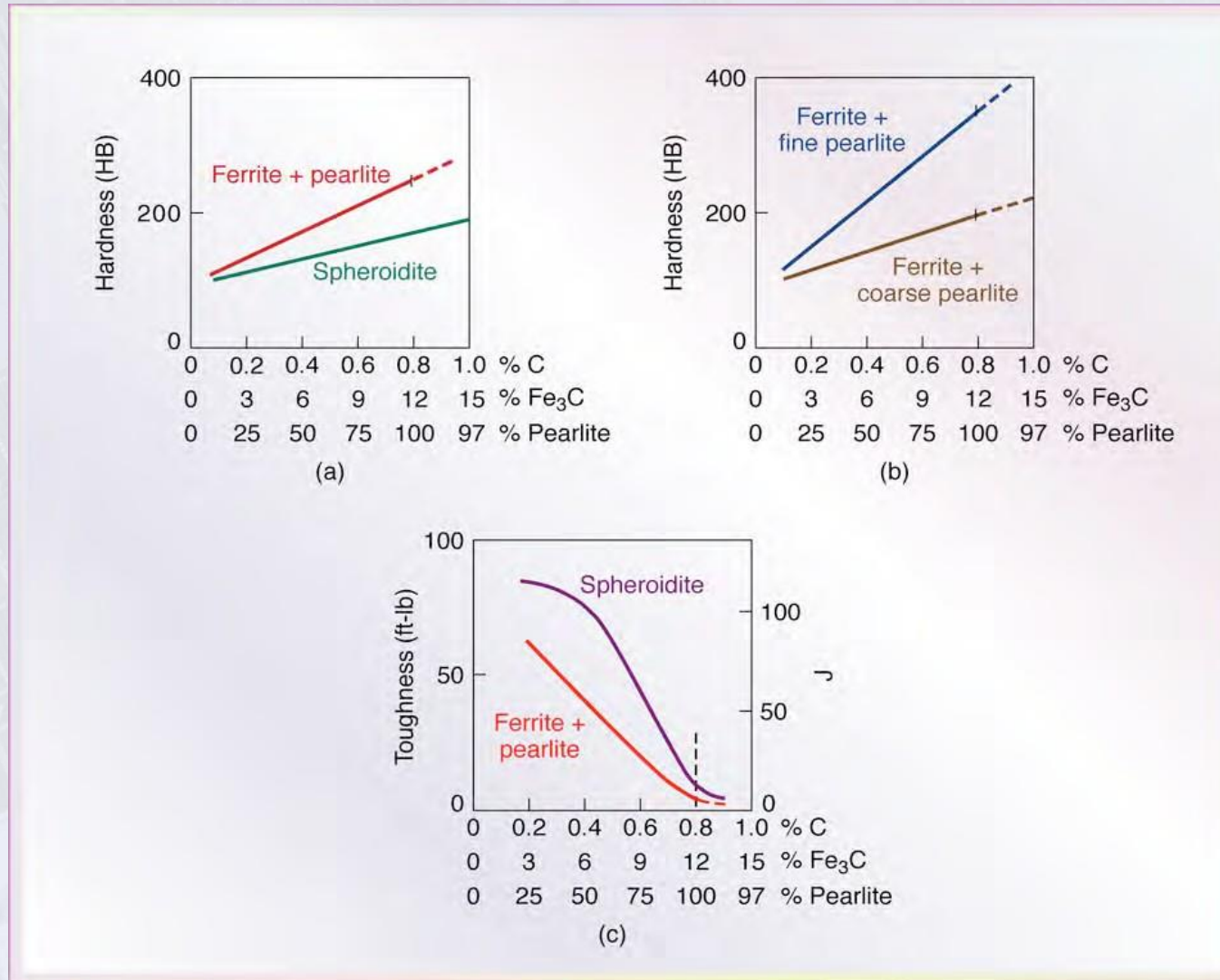
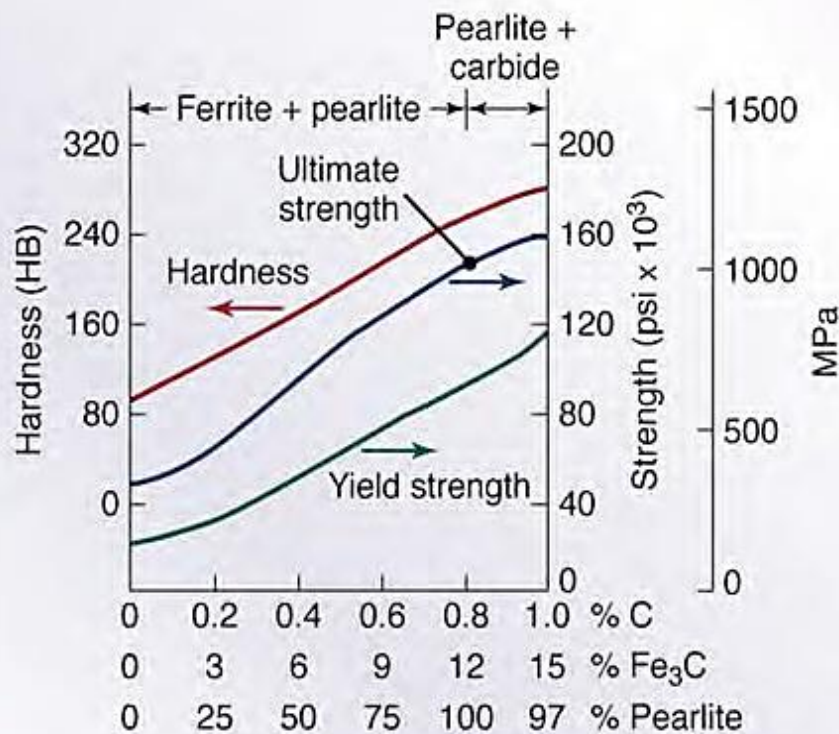
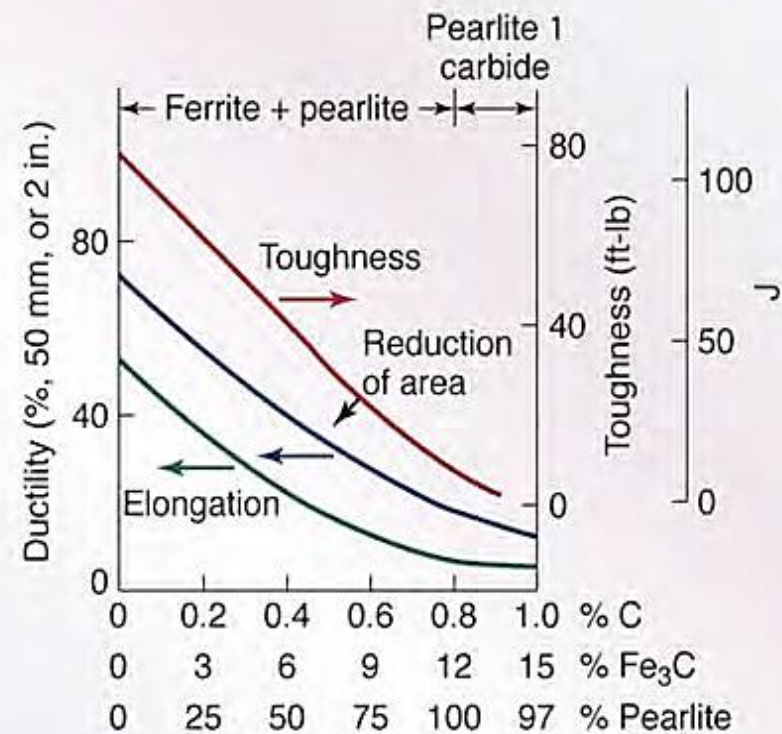


Figure: Σκληρότητα (α), (β) και δυσθραυστότητα (γ) για απλούς ανθρακούχους χάλυβες ανόπτησης ως συνάρτηση του σχήματος των σωματιδίων καρβιδίου. Στον περλίτη τα σωματίδια είναι λαμελοειδή. Λεπτόκοκκος περλίτης λαμβάνεται αυξάνοντας τον ρυθμό ψύξης. Στη δομή σφαιροειδίτη τα σωματίδια καρβιδίου έχουν σφαιρικό σχήμα.

Μηχανικές ιδιότητες χαλύβων ανόπτησης ως συνάρτηση της σύστασης και μικροδομής



(a)



(b)

Figure: Μηχανικές ιδιότητες χαλύβων ανόπτησης ως συνάρτηση της σύστασης και μικροδομής. Παρατηρήστε την αύξηση της σκληρότητας και αντοχής στο (α) και τη μείωση της ολκιμότητας και δυσθραυστότητας στο (β), αυξανόμενης της ποσότητας περλίτη και καρβιδίου σιδήρου.

Δοκιμή εμβαπτότητας Jominy

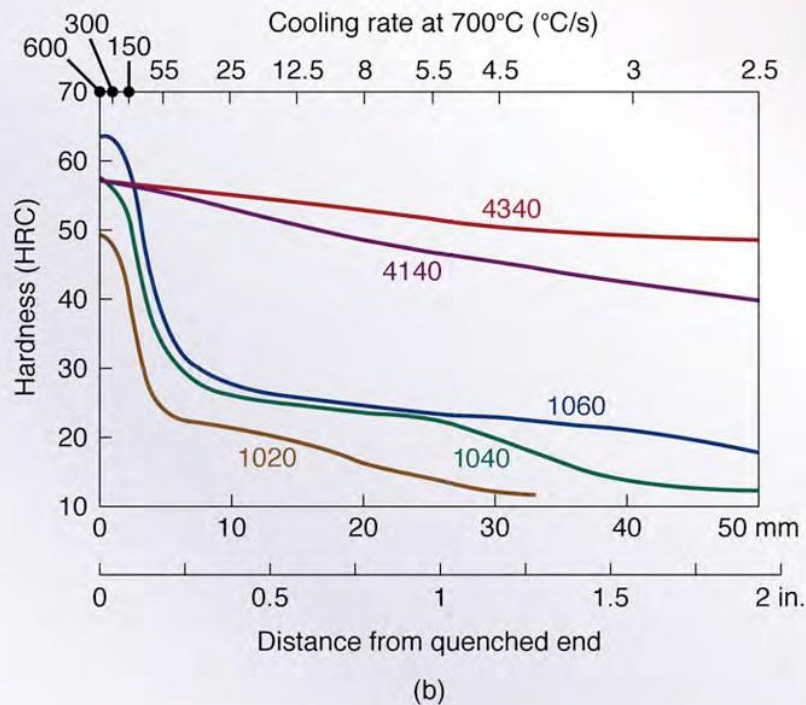
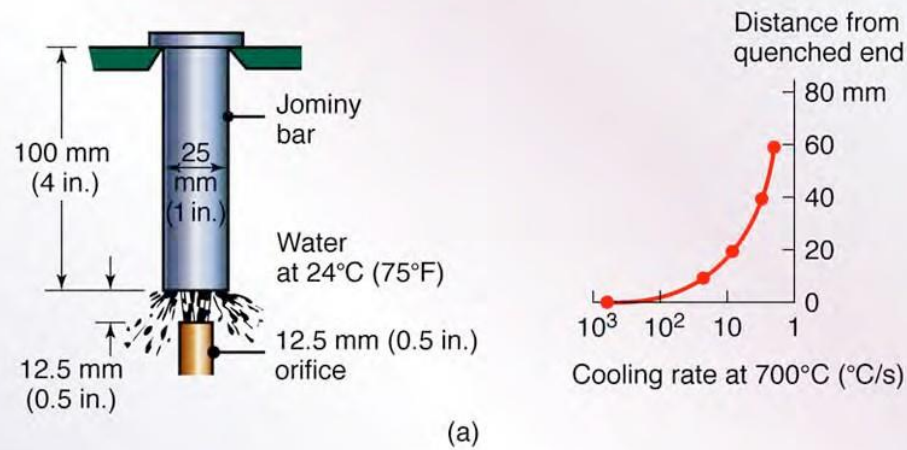


Figure: (α) Δοκιμή Jominy και ρυθμός ψύξης. (β) Καμπύλες εμβαπτότητας για πέντε διαφορετικούς χάλυβες, όπως λαμβάνονται από την αντίστοιχη δοκιμή. Μικρές διακυμάνσεις στη σύσταση μπορούν να μεταβάλλουν το σχήμα αυτών των καμπυλών. Κάθε καμπύλη είναι στην πραγματικότητα μία ζώνη και ο ακριβής προσδιορισμός της είναι σημαντικός για τη θερμική κατεργασία μετάλλων, επιτρέποντας καλύτερο έλεγχο των ιδιοτήτων.

Θερμική κατεργασία μη-σιδηρούχων κραμάτων και ανοξείδωτων χαλύβων

Θερμική κατεργασία μη-σιδηρούχων κραμάτων και ανοξείδωτων χαλύβων / Σκλήρυνση με κατακρήμνιση

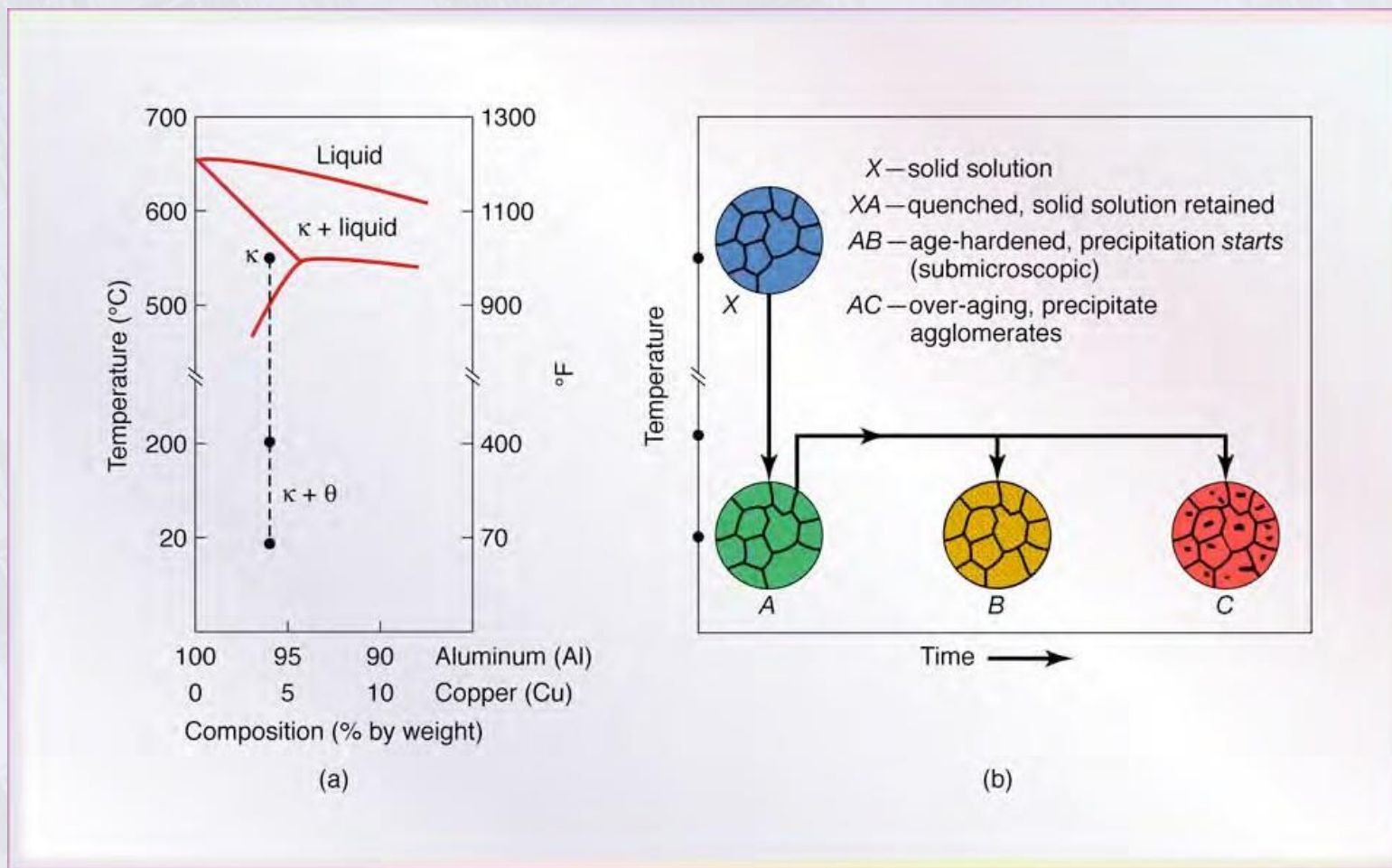


Figure: (α) Διάγραμμα φάσεων για το κραματικό σύστημα αλουμινίου-χαλκού. (β) Διάφορες μικροδομές που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης γήρανσης.

Γήρανση (ageing)

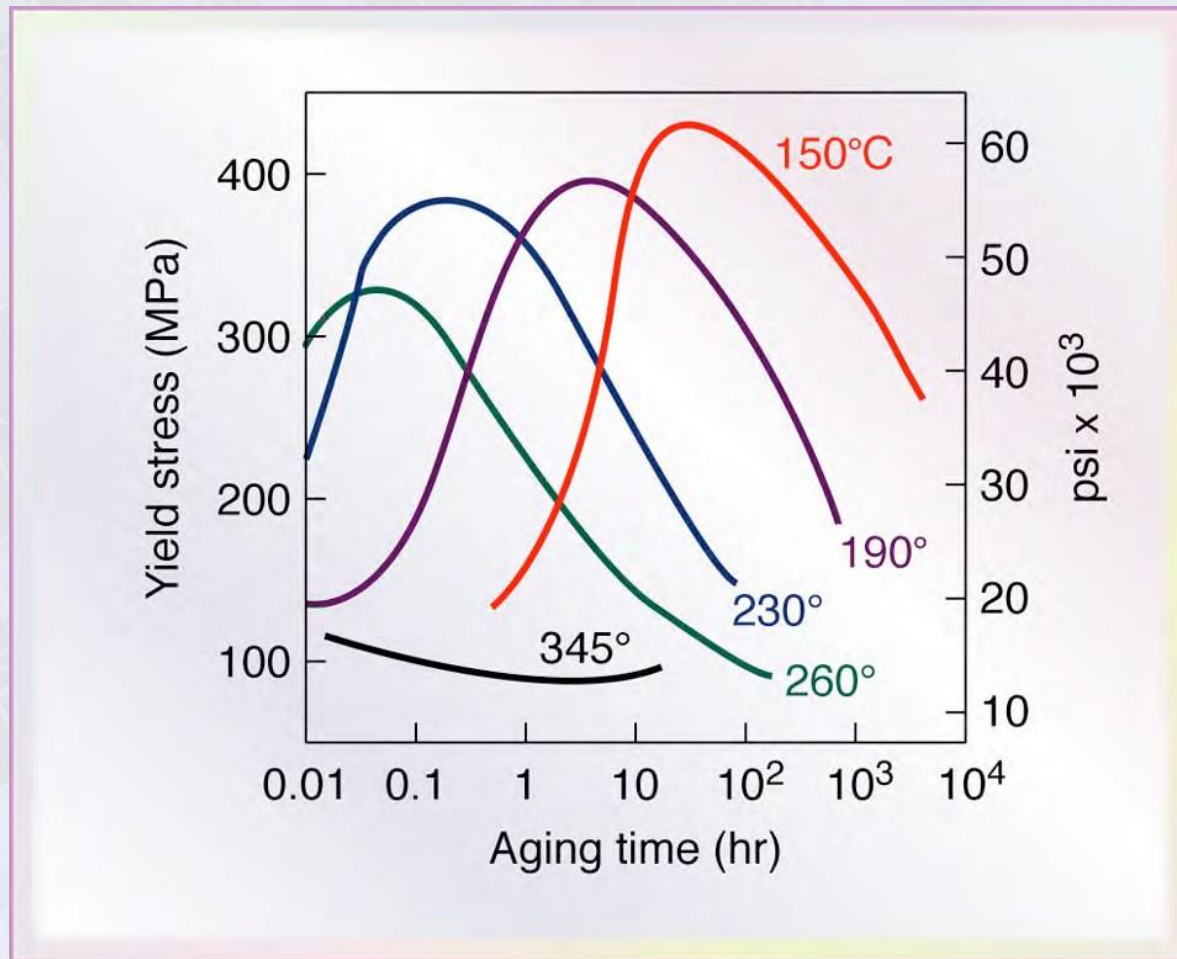


Figure: Επίδραση του χρόνου γήρανσης και της θερμοκρασίας στο όριο διαρροής του κράματος αλουμινίου 2014-T4· για κάθε θερμοκρασία υπάρχει ένας βέλτιστος χρόνος γήρανσης για μέγιστη αντοχή.

Τεχνικές επιφανειακής σκλήρυνσης / Surface (Case) Hardening

TABLE 4.1

Outline of Heat Treatment Processes for Surface Hardening

Process	Metals hardened	Element added to surface	Procedure	General characteristics	Typical applications
Carburizing	Low-carbon steel (0.2% C), alloy steels (0.08–0.2% C)	C	Heat steel at 870–950 °C (1600–1750 °F) in an atmosphere of carbonaceous gases (gas carburizing) or carbon-containing solids (pack carburizing). Then quench.	A hard, high-carbon surface is produced. Hardness 55 to 65 HRC. Case depth < 0.5–1.5 mm (< 0.020 to 0.060 in.). Some distortion of part during heat treatment.	Gears, cams, shafts, bearings, piston pins, sprockets, clutch plates
Carbonitriding	Low-carbon steel	C and N	Heat steel at 700–800 °C (1300–1600 °F) in an atmosphere of carbonaceous gas and ammonia. Then quench in oil.	Surface hardness 55 to 62 HRC. Case depth 0.07 to 0.5 mm (0.003 to 0.020 in.). Less distortion than in carburizing.	Bolts, nuts, gears
Cyaniding	Low-carbon steel (0.2% C), alloy steels (0.08–0.2% C)	C and N	Heat steel at 760–845 °C (1400–1550 °F) in a molten bath of solutions of cyanide (e.g., 30% sodium cyanide) and other salts.	Surface hardness up to 65 HRC. Case depth 0.025 to 0.25 mm (0.001 to 0.010 in.). Some distortion.	Bolts, nuts, screws, small gears

Τεχνικές επιφανειακής σκλήρυνσης / Surface (Case) Hardening

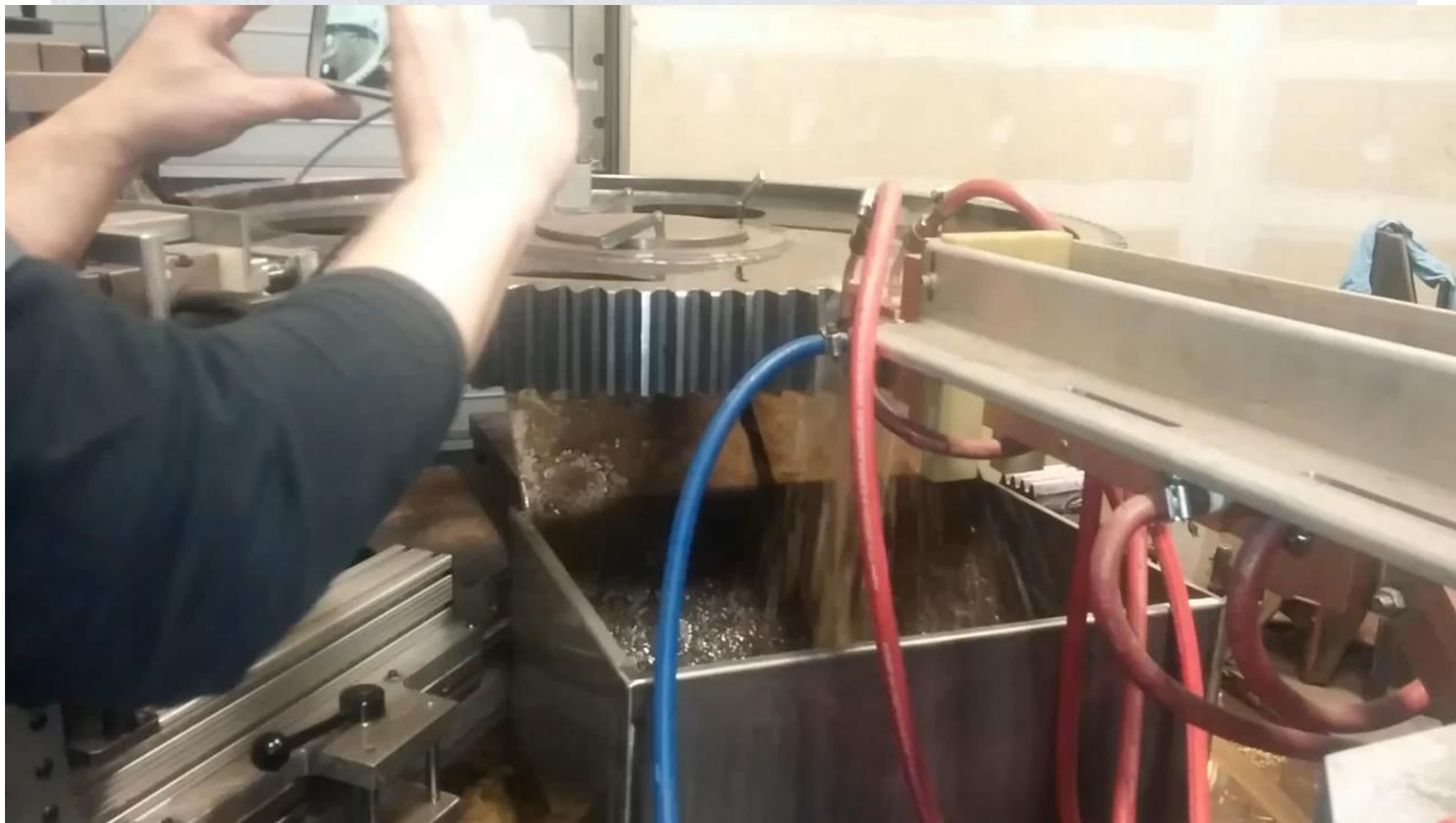
TABLE 4.1

Outline of Heat Treatment Processes for Surface Hardening

Process	Metals hardened	Element added to surface	Procedure	General characteristics	Typical applications
Nitriding	Steels (1% Al, 1.5% Cr, 0.3% Mo), alloy steels (Cr, Mo), stainless steels, high-speed tool steels	N	Heat steel at 500 –600 °C (925 –1100 °F) in an atmosphere of ammonia gas or mixtures of molten cyanide salts. No further treatment.	Surface hardness up to 1100 HV. Case depth 0.1 to 0.6 mm (0.005 to 0.030 in.) and 0.02 to 0.07 mm (0.001 to 0.003 in.) for high speed steel.	Gears, shafts, sprockets, valves, cutters, boring bars, fuel-injection pump parts
Boronizing	Steels	B	Part is heated using boron-containing gas or solid in contact with part.	Extremely hard and wear resistant surface. Case depth 0.025 –0.075 mm (0.001 –0.003 in.).	Tool and die steels
Flame hardening	Medium-carbon steels, cast irons	None	Surface is heated with an oxyacetylene torch, then quenched with water spray or other quenching methods.	Surface hardness 50 to 60 HRC. Case depth 0.7 to 6 mm (0.030 to 0.25 in.). Little distortion.	Gear and sprocket teeth, axles, crankshafts, piston rods, lathe beds and centers
Induction hardening	Same as above	None	Metal part is placed in copper induction coils and is heated by high frequency current, then quenched.	Same as above	Same as above



(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)



(με βάση Κεφ. 4, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Διαδικασίες επαναφοράς ενός ψυχρηλατημένου ή θερμικά κατεργασμένου κράματος στις αρχικές του ιδιότητες

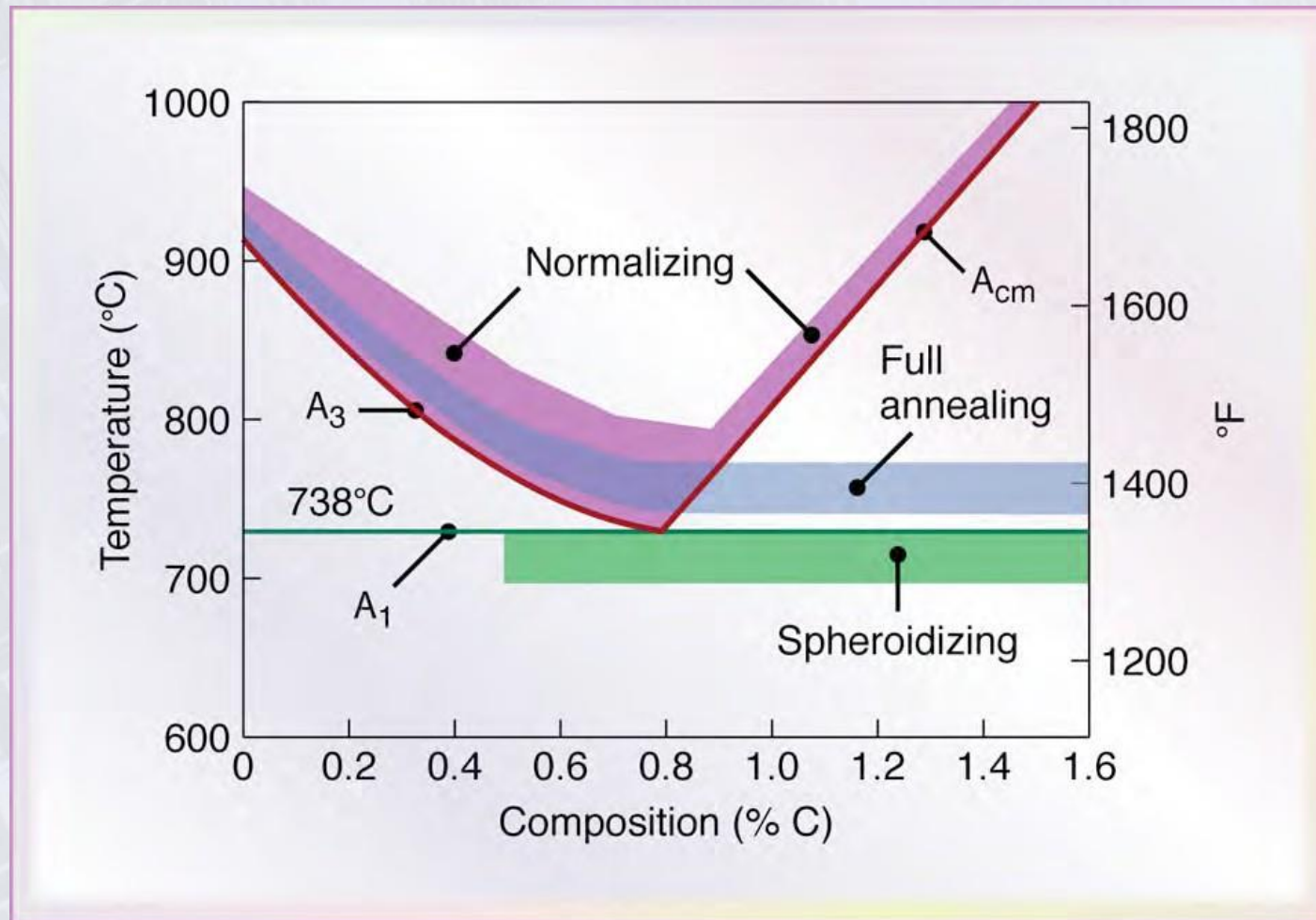


Figure: Περιοχές θερμοκρασιών κατεργασίας κοινών (ανθρακούχων) χαλύβων, όπως υποδεικνύονται στο διάγραμμα φάσεων του συστήματος σιδήρου-καρβιδίου.

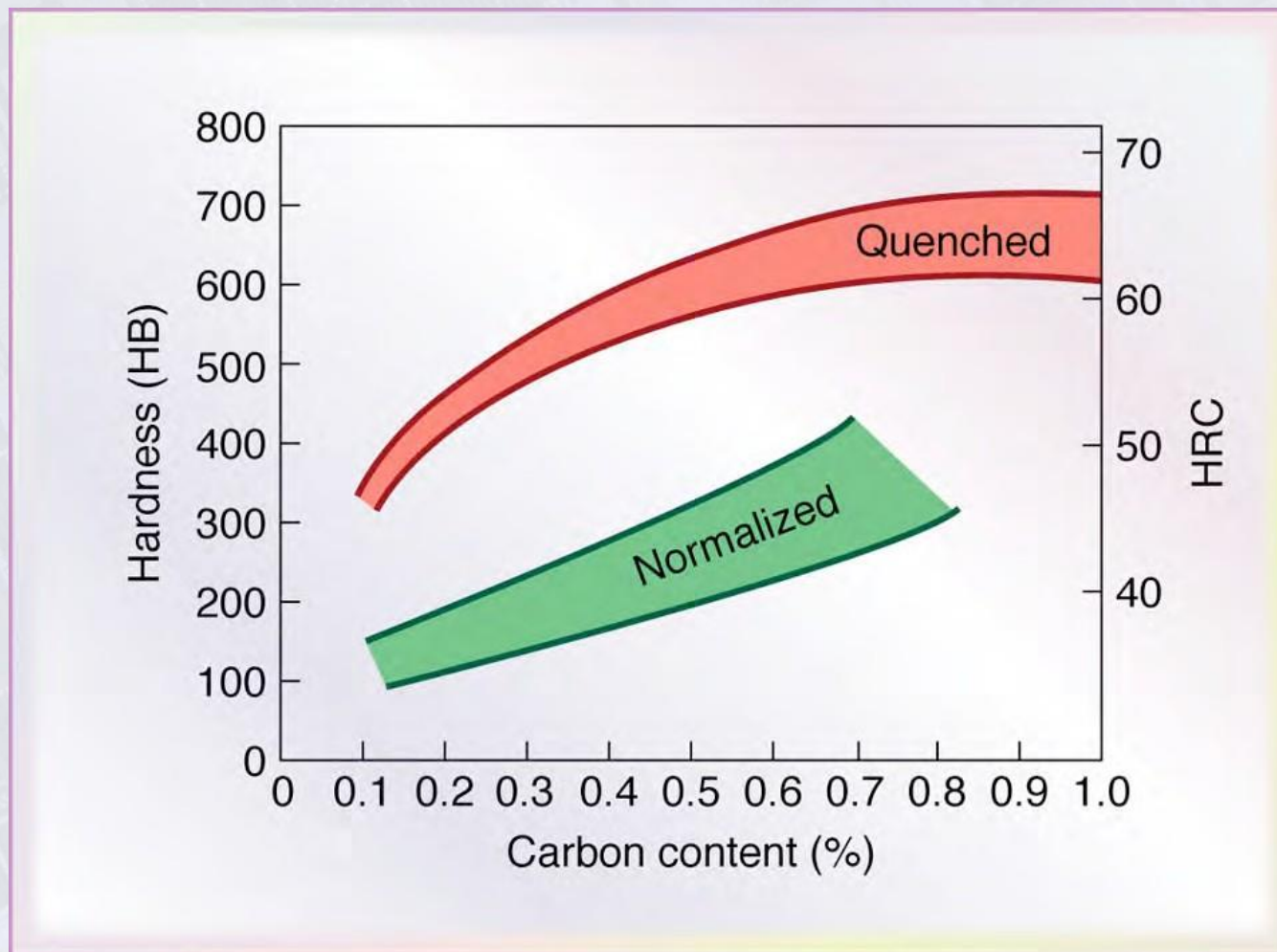


Figure: Σκληρότητα χαλύβων σε κατάσταση βαφής και **εξομάλυνσης**, ως συνάρτηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα.

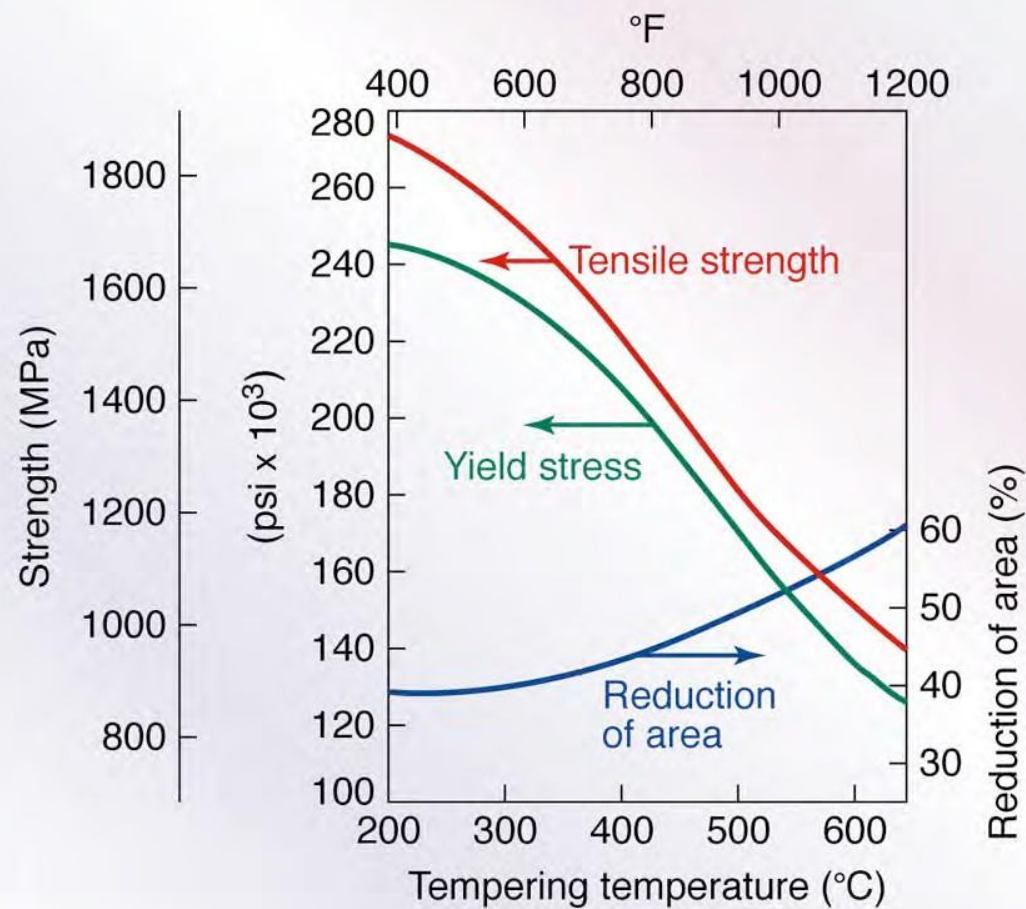


Figure: Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα 4340 μετά από βαφή (με έλαιο) ως συνάρτηση της θερμοκρασίας επαναφοράς.