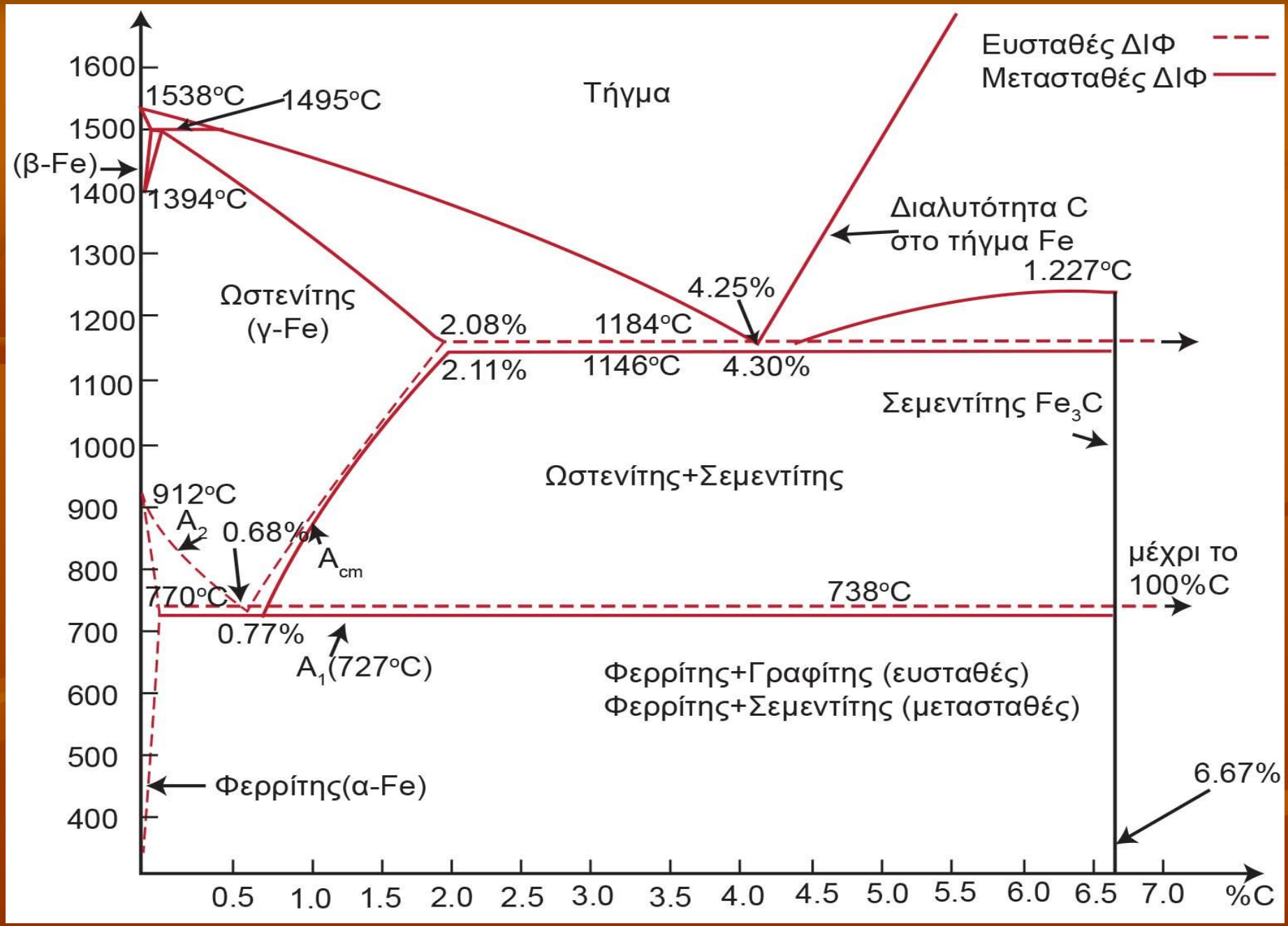
Φάσεις και δομές στα σιδηρούχα κράματα

Το Διάγραμμα ισορροπίας των φάσεων

Fe - C


Ευσταθές ΔΙΦ
Μετασταθές ΔΙΦ
Τήγμα
1538°C
1495°C
(β-Fe)
1394°C
Διαλυτότητα C
στο τήγμα Fe
1.227°C
4.25%
Ωστενίτης
(γ-Fe)
2.08%
1184°C
2.11%
1146°C
4.30%
Σεμεντίτης Fe3C
Ωστενίτης+Σεμεντίτης
912°C
A2
0.68%
Acm
μέχρι το
100%C
770°C
738°C
0.77%
A1(727°C)
Φερρίτης+Γραφίτης (ευσταθές)
Φερρίτης+Σεμεντίτης (μετασταθές)
6.67%
Φερρίτης(α-Fe)
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
%C

Το ΔΙΦ Fe – C (1)

- Με συνεχή γραμμή το μετασταθές ΔΙΦ Fe-C ή διάγραμμα Fe – Fe_3C (σιδήρου – σεμεντίτη). Στην οριζόντια των περιεκτικοτήτων περιορίζεται στην κατακόρυφο του σεμεντίτη στο 6,67% C.
- Με διακεκομμένη γραμμή το ευσταθές ΔΙΦ Fe-C ή διάγραμμα σιδήρου – γραφίτη. Στην οριζόντια των περιεκτικοτήτων η ανάγνωση πρακτικά γίνεται μέχρι το 100% C.
- Το ΔΙΦ ισχύει για πίεση 1 atm. Σε υψηλότερες πιέσεις τα όρια φάσεων μετατοπίζονται και νέες φάσεις εμφανίζονται πχ η φάση ε-Fe.

Το ΔΙΦ Fe – C (2)

- Ο γραφίτης είναι πολύ πιο σταθερή μορφή από το σεμεντίτη. Σε βάθος χρόνου επομένως ο σεμεντίτης τείνει να διασπάται προς γραφίτη.
- Πάντως η γραφιτίαση προωθείται με προσθήκη στοιχείων κρταμάτωσης στο χάλυβα.
- Δύσκολο να βρεθεί γραφίτης στου χάλυβες.
- Με βάση τα παραπάνω το ευσταθές ΔΙΦ εφαρμόζεται στους χυτοσιδήρους και το μετασταθές στους χάλυβες.

Το ΔΙΦ Fe – C (3)

- Θα περίμενε κανείς σύμφωνα με την προηγούμενη καρτέλα την εμφάνιση μόνον του γραφίτη (μαζί με φερρίτη) κατά τη στερεοποίηση των χυτοσιδήρων στη μικροδομή του στερεού.
- Η εμφάνιση περλίτη όμως, πέραν των φερρίτη και γραφίτη, είναι γεγονός σε πολλές ποιότητες χυτοσιδήρων. Αυτό υποδηλώνει στερεοποίηση κατά το μετασταθές διάγραμμα φάσεων.
- Πρόκειται για μία ***ενδιάμεση κατάσταση κατά τη στερεοποίηση των χυτοσιδήρων***. Ακολουθούν το ευσταθές ΔΙΦ στις υψηλές θερμοκρασίες (λίγο κάτω από την ευτηκτική θερμοκρασία) όπου η ταχύτητα απαγωγής θερμότητας από το χυτό είναι αργή.
- Οσο πλησιάζει η ευτηκτοειδής τότε η ταχύτητα ψύξης αυξάνεται και η στερεοποίηση ακολουθεί το μετασταθές ΔΙΦ με εμφάνιση του περλίτη.
- Βέβαια η παρουσία του περλίτη ελέγχεται και από άλλες παραμέτρους οι οποίες θα συζητηθούν κατά την ανάλυση των ποιοτήτων των χυτοσιδήρων.

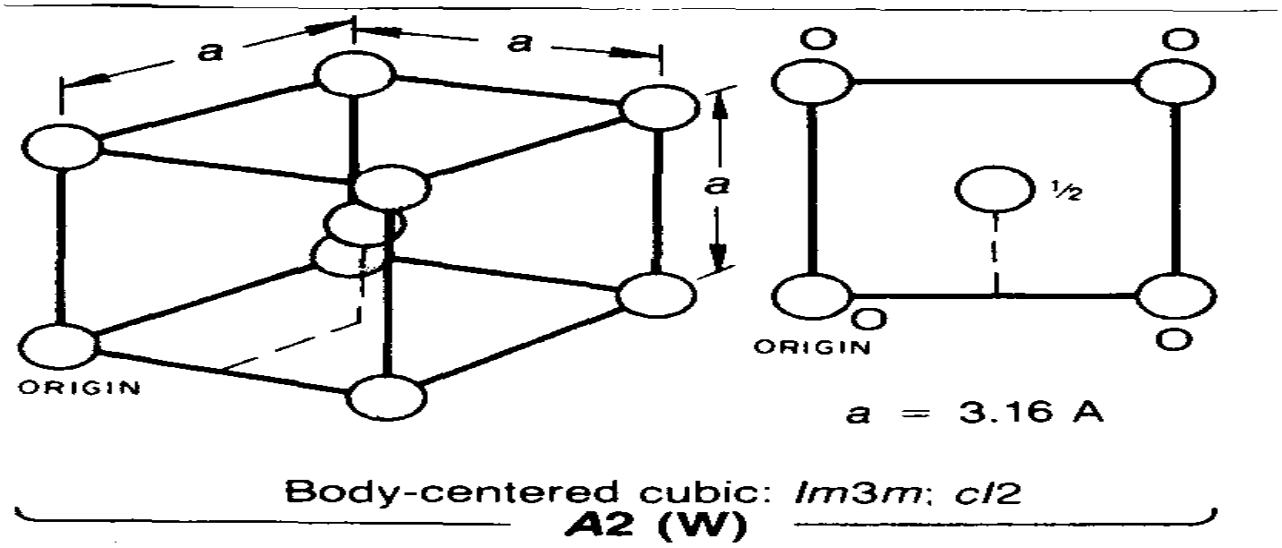
α-Fe, γ-Fe, σεμεντίτης, γραφίτης

- Στον καθαρό σίδηρο τρεις είναι οι φάσεις ενδιαφέροντος (αλλοτροπικές μορφές): α-Fe (φερρίτης), γ-Fe (ωστενίτης), δ-Fe (δέλτα φερρίτης).
- Ο δ-Fe δεν έχει ενδιαφέρον για τους περισσότερους εμπορικούς χάλυβες. Στους ανοξείδωτους χάλυβες σε κάποια έκταση έχει.
- Η αναφορά σε γραφίτη ή σεμεντίτη σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ταχύτητα ψύξης του υλικού (δηλαδή από θερμοδυναμικά επέρχεται μετάβαση σε κινητικά δεδομένα).

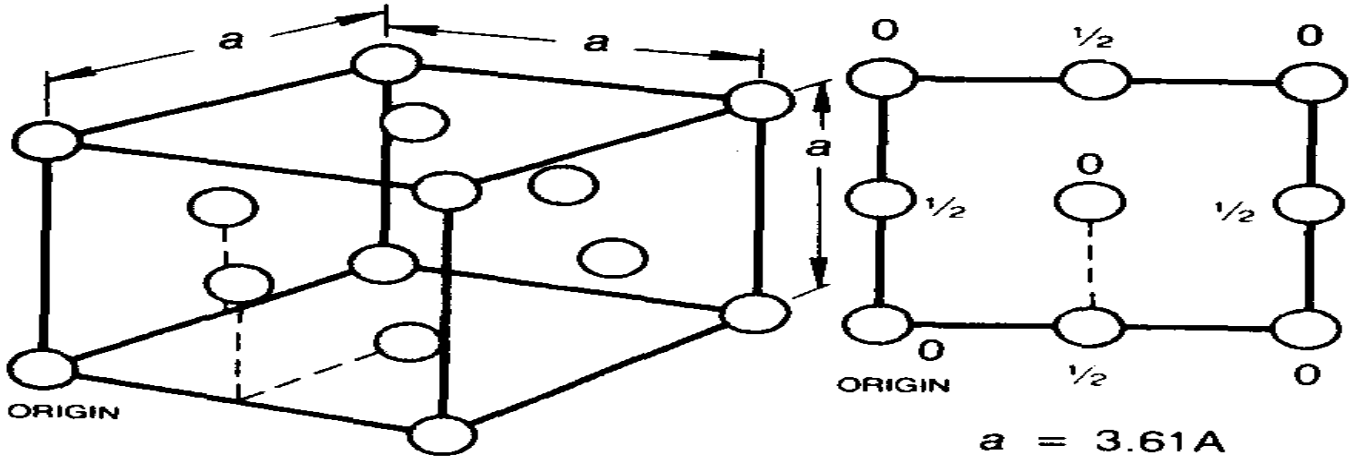
Χάλυβες - χυτοσίδηροι

- Η περιεκτικότητα 2% C χωρίζει την *περιοχή των χυτοσιδήρων* (όπου επικρατεί η ευτηκτική αντίδραση) από την *περιοχή των χαλύβων* (όπου επικρατεί η ευτηκτοειδής αντίδραση).
- Πάντως *στη στερεοποίηση χυτοσιδήρων πολλές φορές γίνεται εφαρμογή του μετασταθούς ΔΙΦ αντί του ευσταθούς*. Ειδικά όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από την ευτηκτοειδή.
- Όπως και νάχει το πράγμα αυτό που αποκαλούμε *art and science of steel processing* βασίζεται στην *ύπαρξη και το ρόλο του ωστενίτη* στους μετασχηματισμούς. *Είναι η δομή εκκίνησης*!!!!!!

α-Fe (α=0,286 nm) γ-Fe (α=0,356 nm)

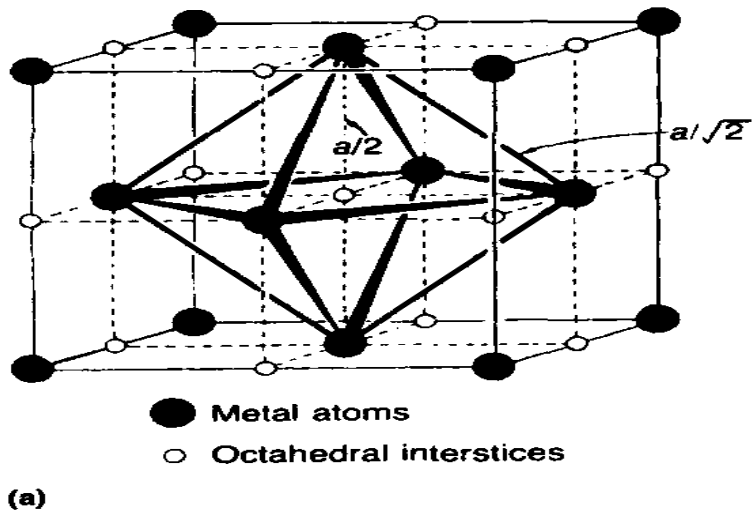


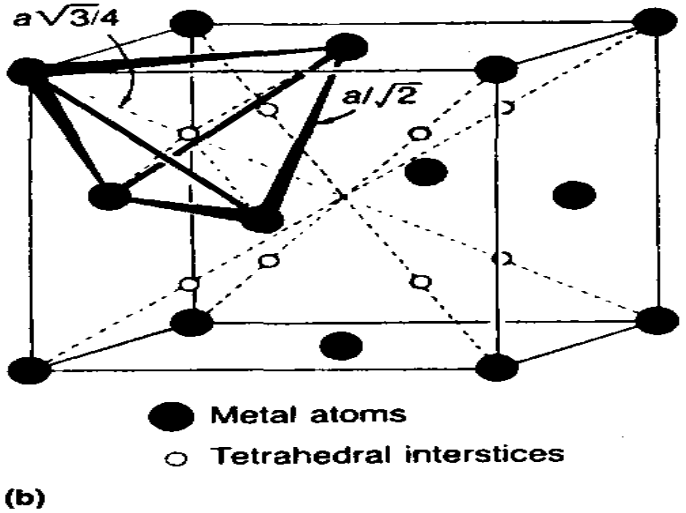
Body-centered cubic: *Im3m*; *cI2*
A2 (W)

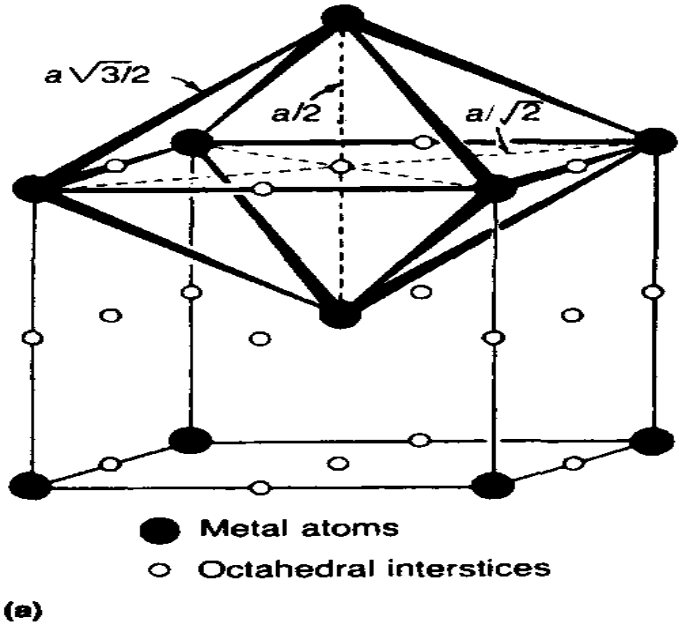


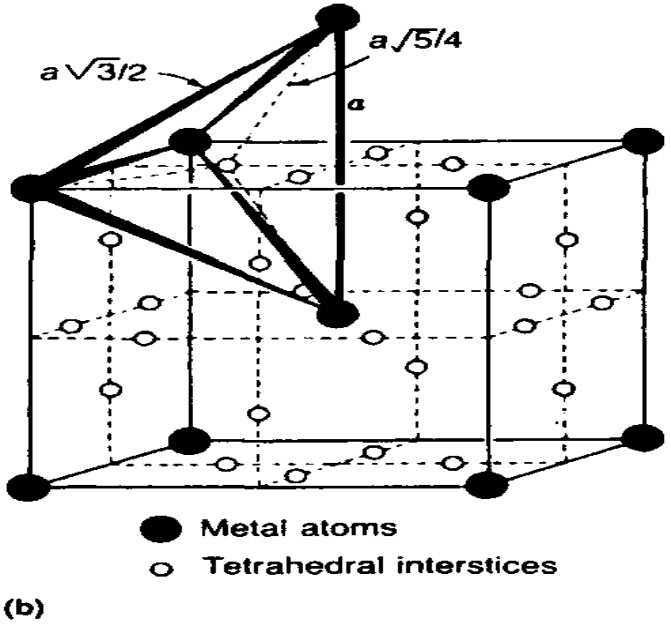
Face-centered cubic: *Fm3m*; *cF4*
A1 (Cu)

α-Fe (α=0,286 nm) γ-Fe (α=0,356 nm)









α-Fe (α=0,286 nm) γ-Fe (α=0,356 nm)

- Γιατί ο ωστενίτης μπορεί να δεχθεί σε στερεό διάλυμα μέχρι 2,11% C;

- Οκταεδρικό σφαιρικό κενό στον ωστενίτη R=0,052 nm
- Τετραεδρικό σφαιρικό κενό στον ωστενίτη R=0,028 nm

- ***Ακτίνα ατόμου άνθρακα R=0,07 nm***

- Οκταεδρικό σφαιρικό κενό στο φερρίτη R=0,019 nm
- Τετραεδρικό σφαιρικό κενό στο φερρίτη R=0,035 nm

Ρόλος των στοιχείων κραμάτωσης

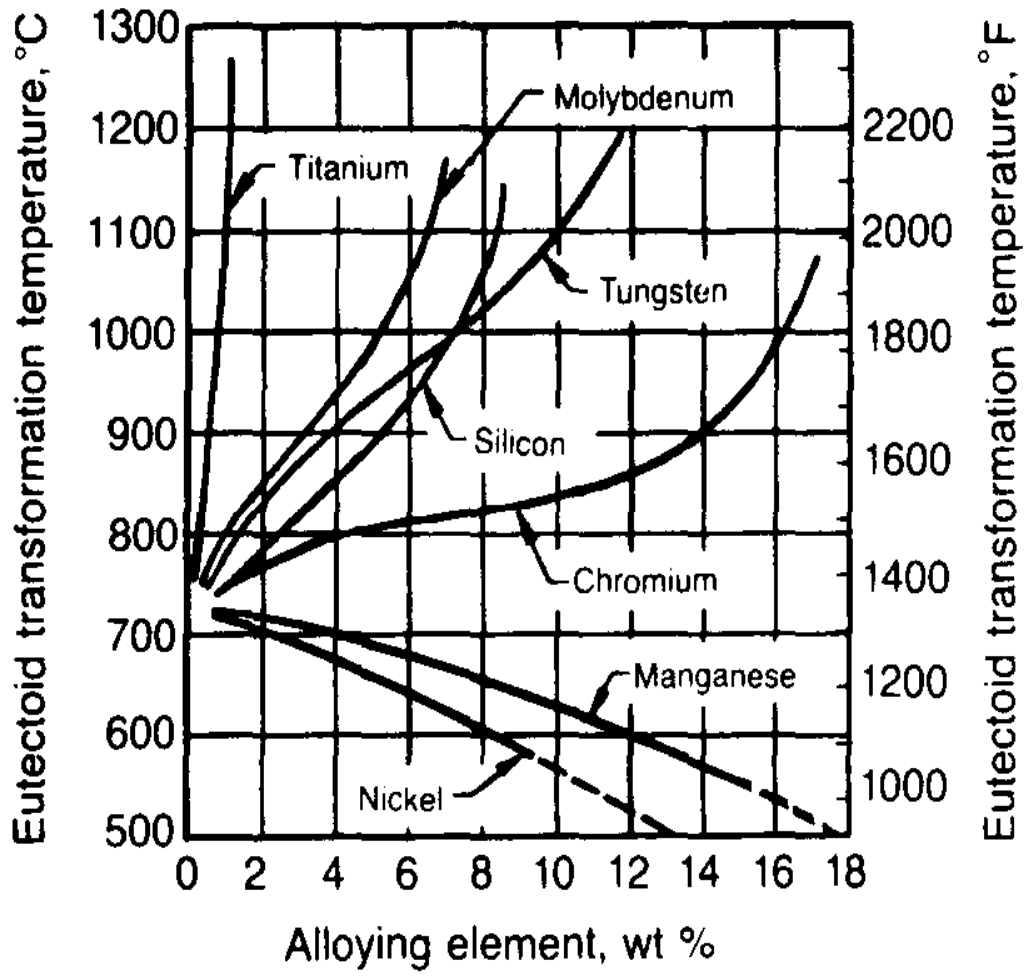
- Οι προσθήκες κραμάτωσης μεταβάλλουν τη θέση των ορίων των πεδίων στο ΔΙΦ *διευρύνοντας το πεδίο το οποίο σταθεροποιούν*. Τα στοιχεία αυτά ομαδοποιούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Α) *αλφα-φερρογόνα ή στεθεροποιητές του φερρίτη*: Si, Cr, Nb

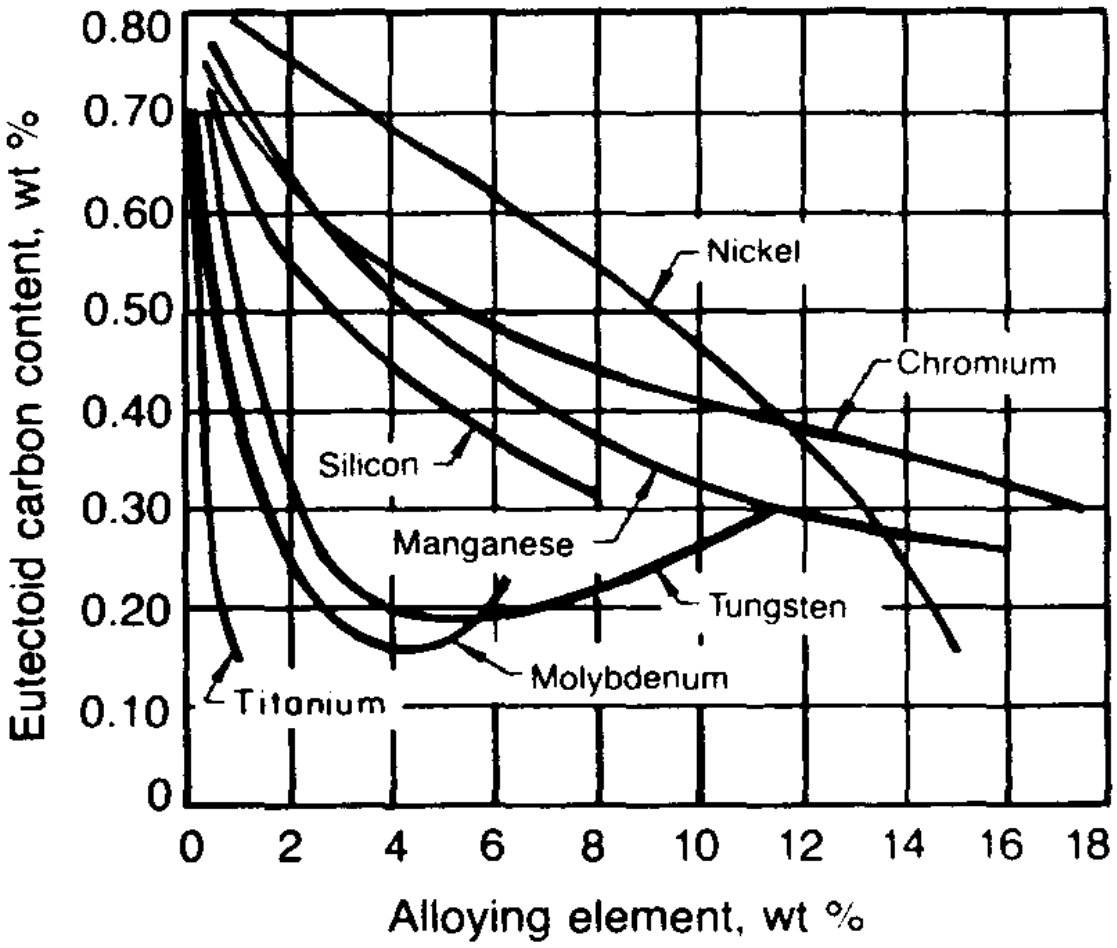
- Β) *γάμμα-φερρογόνα ή σταθεροποιητές ωστενίτη*: C, Mn, Ni

- Γ) *καρβιδιογόνα*: Ti, Nb, Mo, Cr

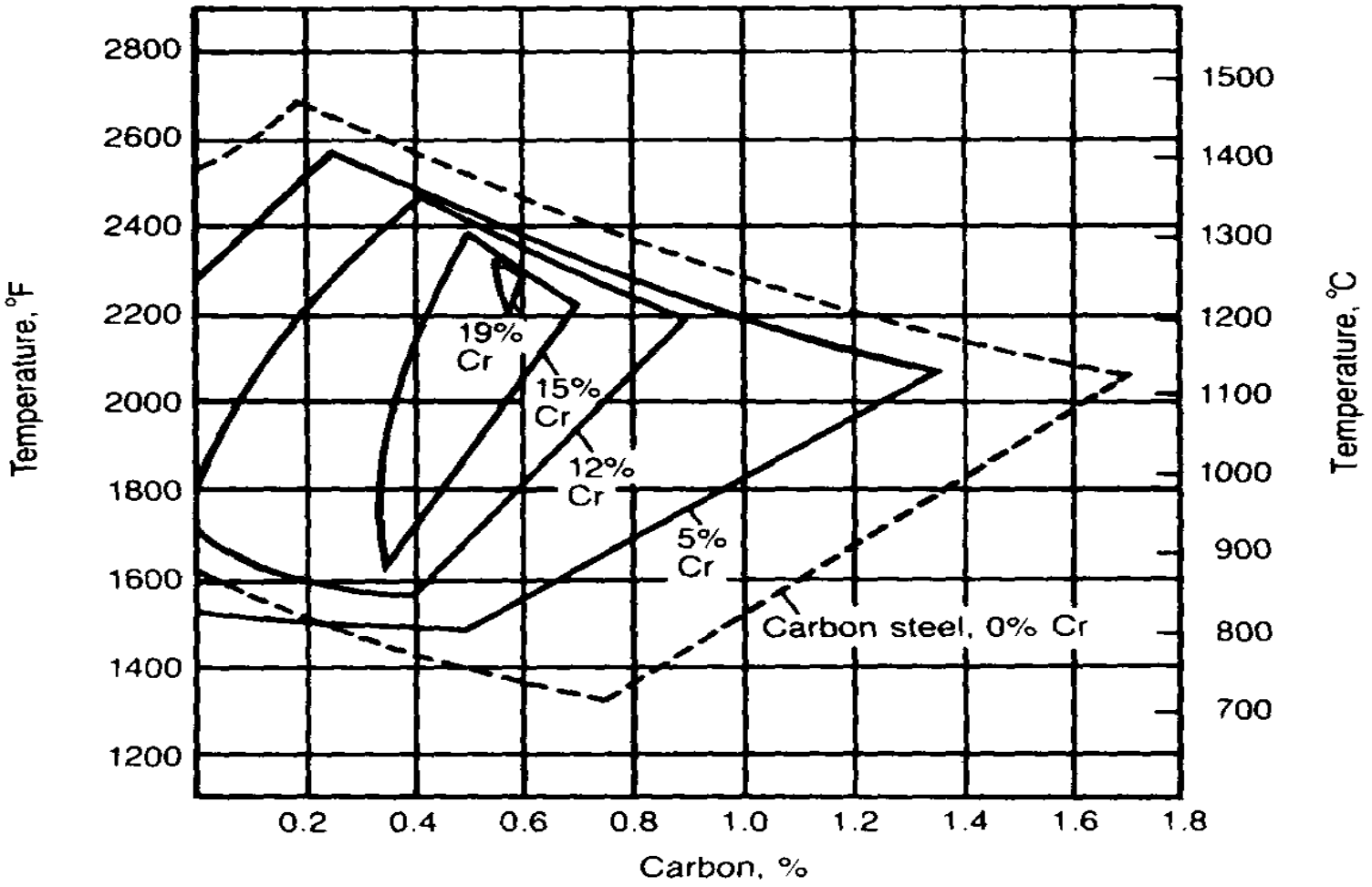
Επίδραση των στοιχείων κραμάτωσης στην ευτηκτοειδή θερμοκρασία



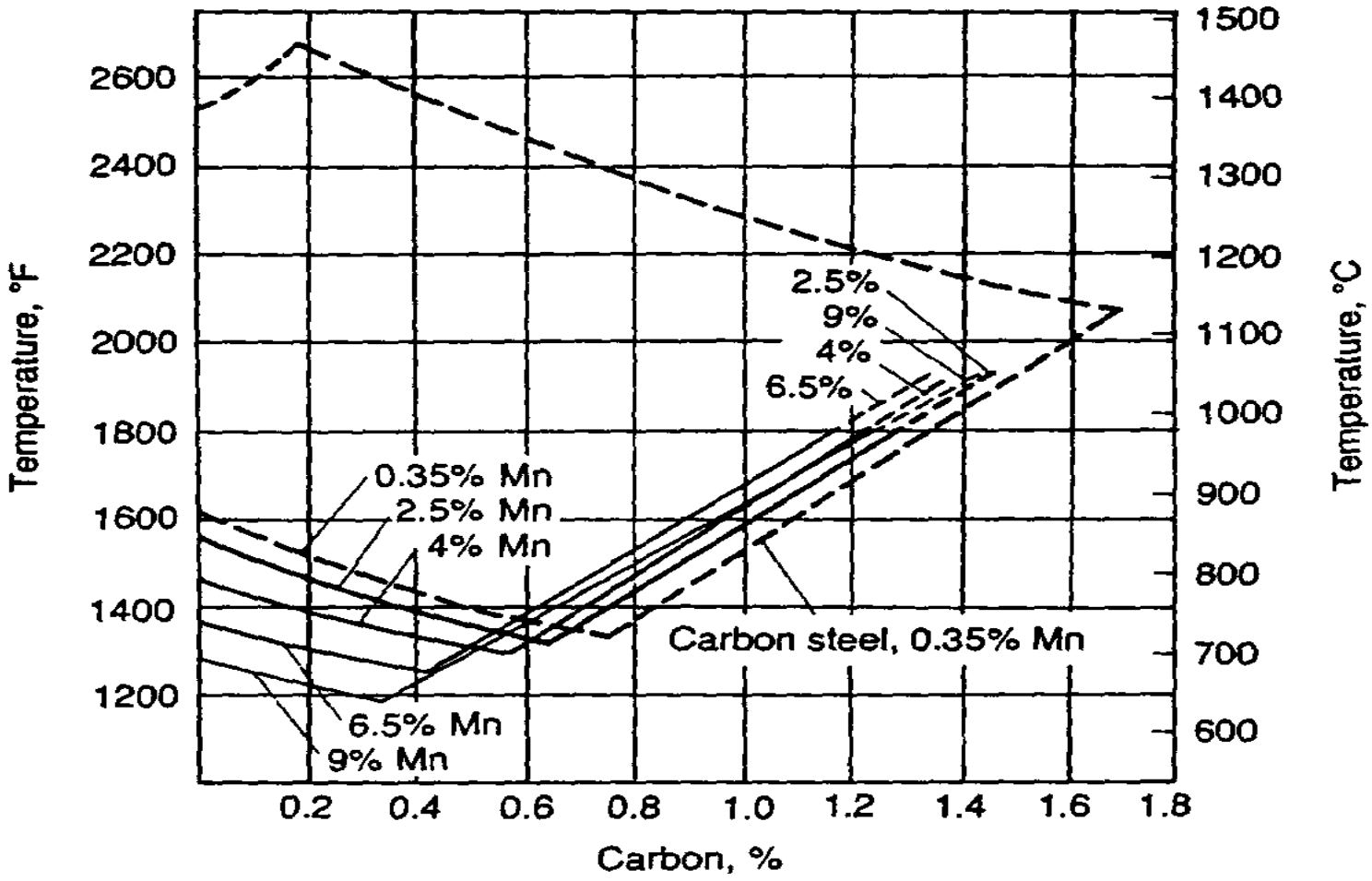
Επίδραση των στοιχείων κραμάτωσης στην περιεκτικότητα σε C του ευτηκτοειδούς σημείου



Επίδραση της περιεκτικότητας σε C στο εύρος του πεδίου του ωστενίτη (συρρίκνωση)

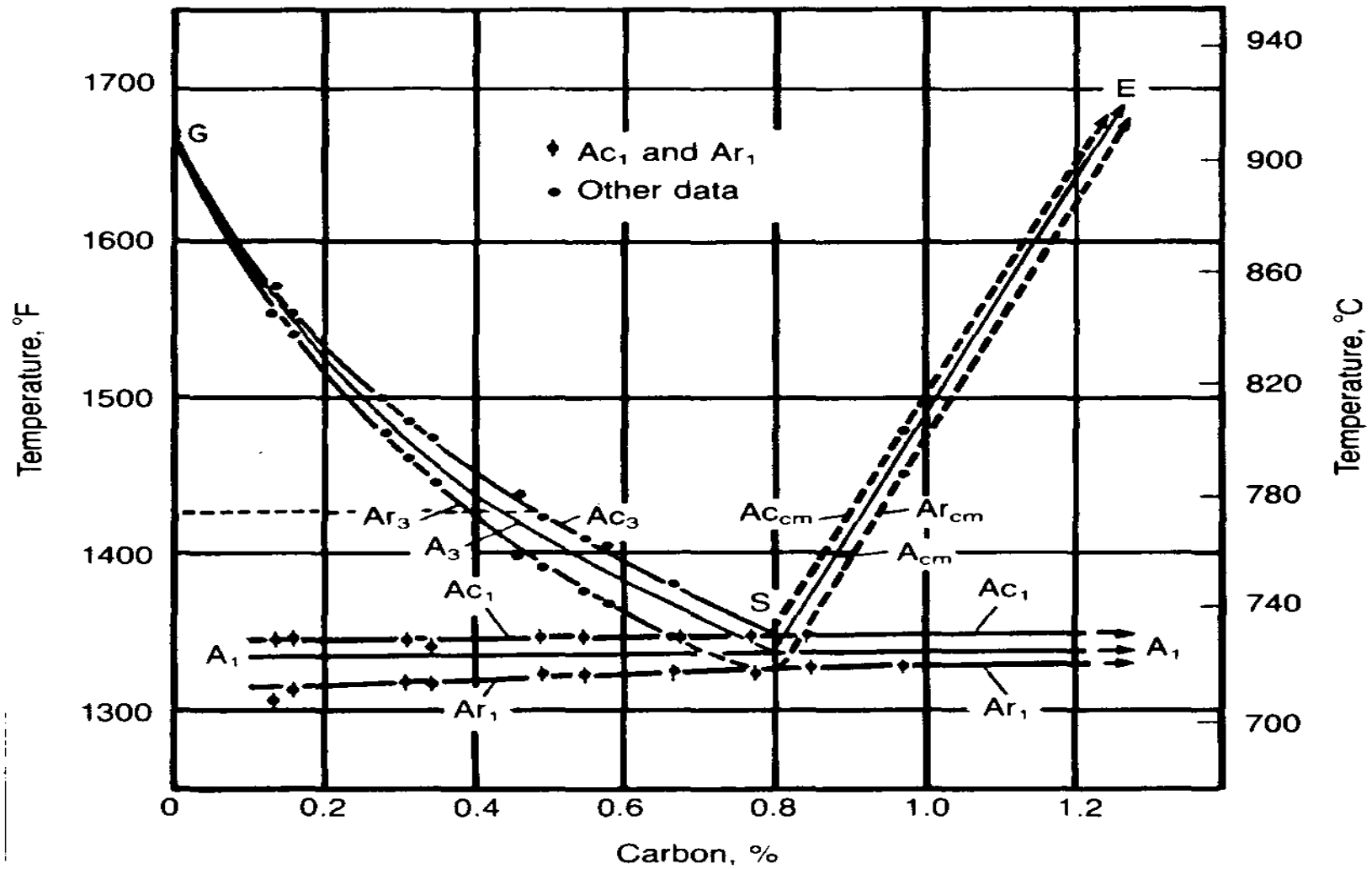


Επίδραση της περιεκτικότητας σε Mn στο εύρος του πεδίου του ωστενίτη (διεύρυνση)

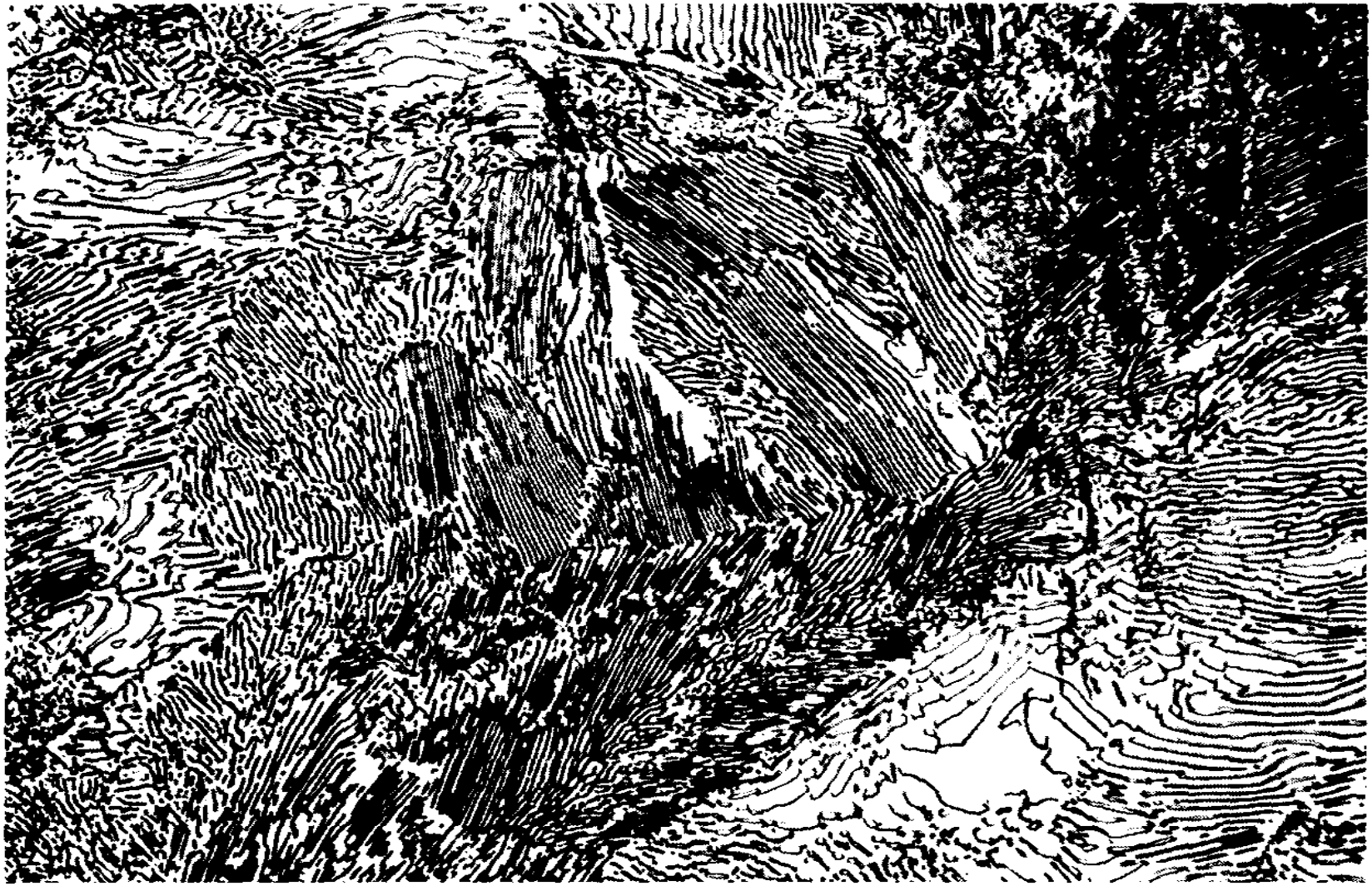


Κρίσιμες θερμοκρασίες A_1 – A_3 – A_{cm}

Osmond – Arret Chauffant – Arret Refroidissant



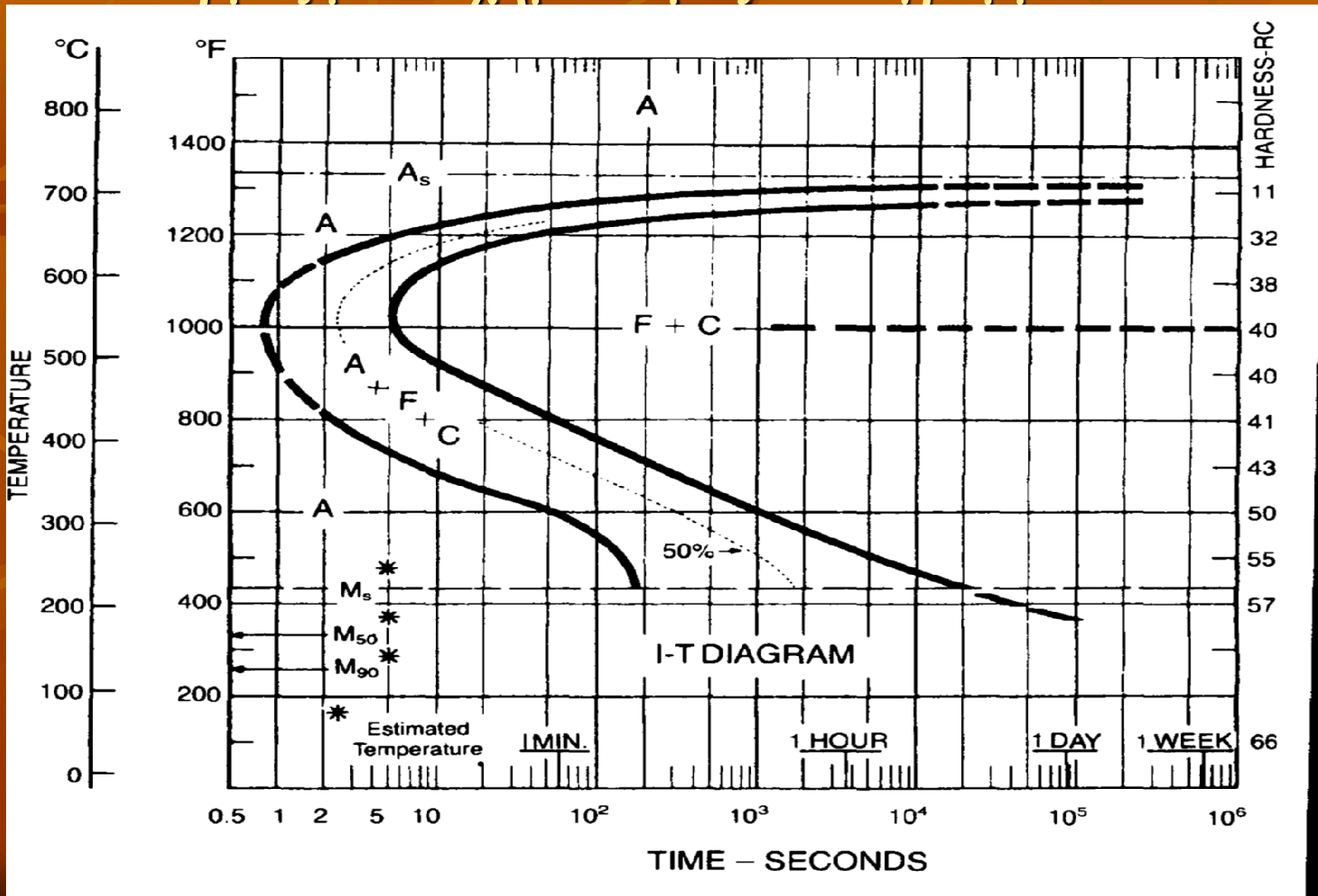
Ευτηκτοειδής ισόθερμος μετασχηματισμός Περλίτης



Δομικά χαρακτηριστικά του περλίτη

- Ο περλίτης είναι ένα μίγμα φάσεων φερρίτη και σεμεντίτη. Εφαρμόζοντας τον κανόνα του μοχλού προκύπτει ότι αποτελείται από 11% σεμεντίτη και 89% φερρίτη.
- Οι φάσεις αυτές είναι πλακόμορφες και εναλλάσσονται διαδοχικά.
- Όταν επιχειρηθεί τομή επιφάνειας για παρατήρηση σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο είναι πιθανόν οι διαστάσεις των πλακών από θέσεως σε θέση να μεταβάλλονται.
- Αυτό οφείλεται στη διαφορετική κλίση του συνόλου των πλακών ως προς το επίπεδο τομής.

Κινητική του περλιτικού μετασχηματισμού
Ισόθερμος μετασχηματισμός – Διαγράμματα TTT

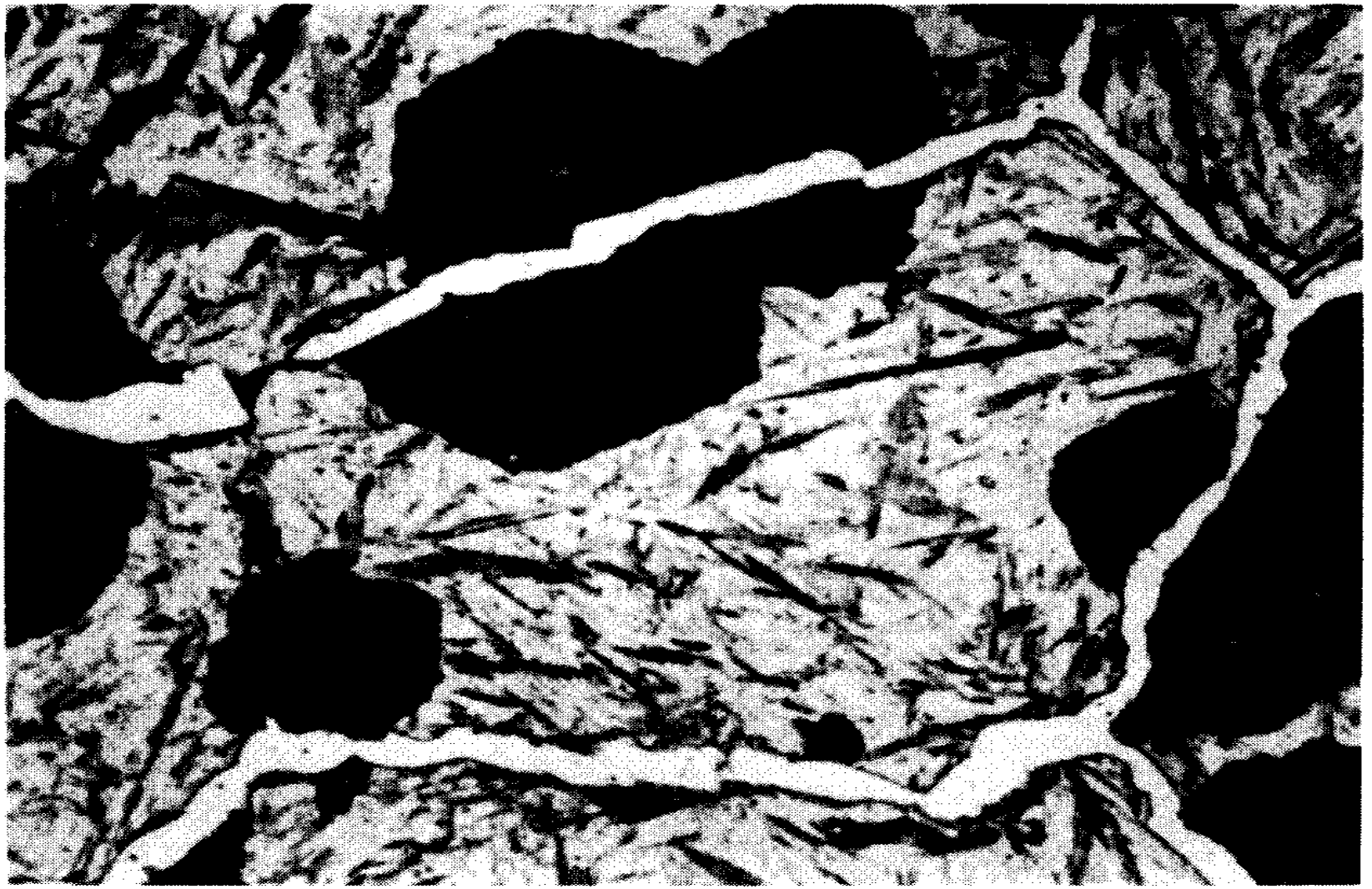


Τι είναι ο ισόθερμος μετασχηματισμός

- Στη θερμοδυναμική τιμή θερμοκρασίας έναρξης του περλιτικού μετασχηματισμού ο μετασχηματισμός κινητικά δεν εξελίσσεται. Απαιτείται υπόψυξη.
- Σειρά δοκιμίων ωστενιτοποιούνται και οδηγούνται σε φούρνο όπου αναμένεται ο μετασχηματισμός (ισόθερμη παραμονή).
- Αφαιρούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και με βαφή επισημαίνεται ο χρόνος όπου πρωτοεμφανίζεται περλίτης.
- Η διαδικασία συνεχίζεται για κάθε θερμοκρασία, επισημαίνεται ο χρόνος και το ποσοστό μετασχηματισμού και τελικά ο χρόνος πλήρους μετατροπής του ωστενίτη σε περλίτη.
- Ετσι διαμορφώνονται οι καμπύλες αρχής και πέρατος του μετασχηματισμού στα διαγράμματα ΤΤΤ.

Μορφολογίες περλίτη – Εξοχοι μηχανισμοί ισχυροποίησης των χαλύβων

- Η ανάπτυξη περλίτη από τον ωστενίτη είναι ένα τυπικό θέμα πυρήνωσης και ανάπτυξης κρυστάλλων.
- Η θερμοδυναμική μιλά για δύο φάσεις σε ισορροπία (φερρίτης – σεμεντίτης) αλλά ΔΕΝ προδιαγράφει τη μορφολογία τους.
- Μορφολογικά λοιπόν υπάρχουν *τρία είδη περλίτη*:
- Α. Ο περλίτης με τη ζωνώδη εναλλαγή των φάσεων
- Β. Ο περλίτης Honeycombe που συναντάται στους κεκραμένους χάλυβες με καρβίδια να κατακρημνίζονται στη διεπιφάνεια ωστενίτη – φερρίτη (interphase precipitation).
- Γ. Ο περλίτης του μηχανισμού DET (divorced eutectoid transformation) όπου ο σεμεντίτης είναι διεσπαρμένος στη μήτρα φερρίτη (dispersed carbide particles in ferrite).

Προευτηκτοειδείς φάσεις
Φερρίτης

Προευτηκτοειδείς φάσεις
Σεμεντίτης