

ΚΡΑΜΑΤΑ ΣΙΔΗΡΟΥ

- **Ανθρακούχοι χάλυβες** : $\pi(\text{C}) < 1,8\% + \text{Mn} < 1\% +$
πολύ μικρές ποσότητες από άλλα στοιχεία
 - ✓ Low carbon steels (0,05-0,32 %C)
 - ✓ Medium carbon steels (0,35-0,55 %C)
 - ✓ High carbon steels (0,6-1,8 %C)
- **Χαλυβοκράματα**: Mn, Ni, Cr+άλλα κραματικά στοιχεία
 - ✓ Low alloy steels (Κραματικά στοιχεία <5%)
 - ✓ High alloy steels ((Κραματικά στοιχεία >5%)
 - ❖ Χάλυβες εργαλείων (Tool steels)
 - ❖ Ανοξειδωτοι χάλυβες (>12%Cr)
- **Χυτοσίδηροι** : $\pi(\text{C})$ 2-4,5%
 - ✓ Λευκός
 - ✓ Φαιός

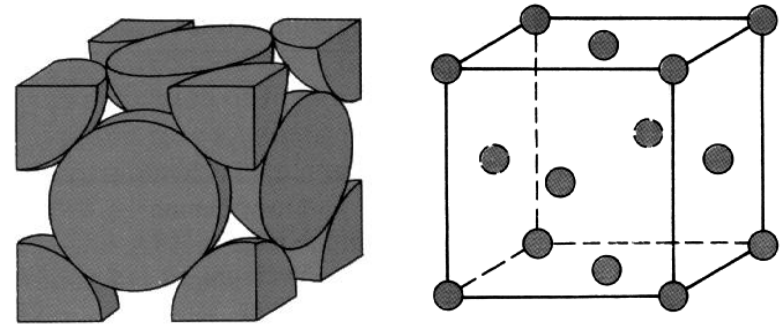
Αλλοτροπία του σιδήρου

1400-1500 °C δ-Fe BCC

909-1400 °C γ-Fe FCC

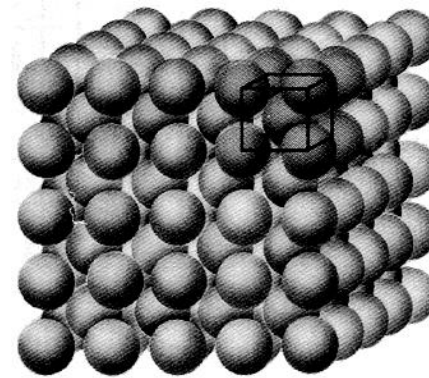
769-909 °C α-Fe BCC Μη
μαγνητικός

0-769 °C α-Fe BCC
Μαγνητικός

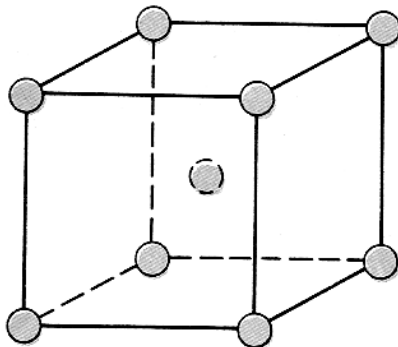


(a)

(b)



(c)



(b)

Στερεά διαλύματα σιδήρου άνθρακα(Fe-C)

Φερρίτης : Διαλυτότητα άνθρακα στον α-Fe

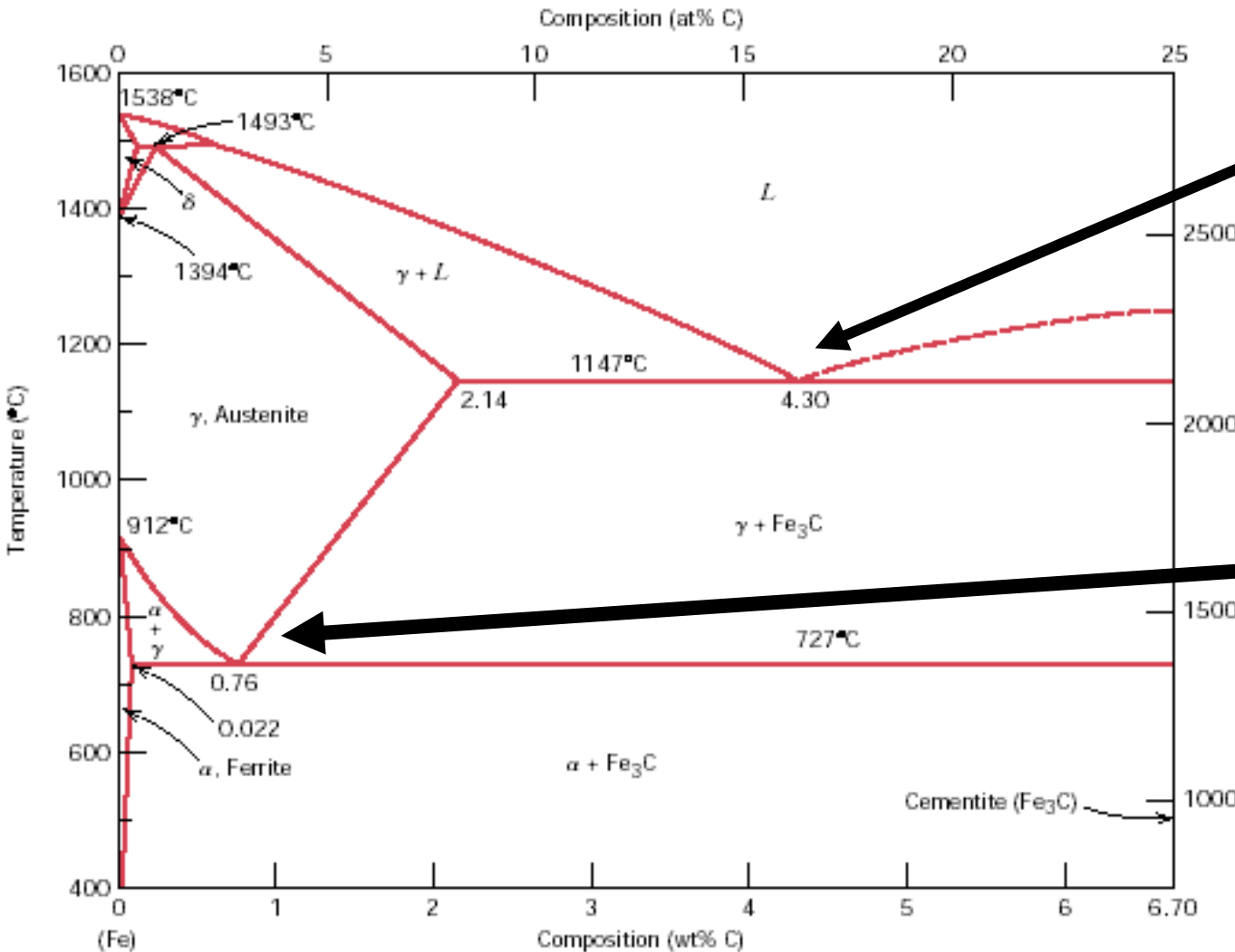
στους **723 °C** **0,025%** στους **20 °C** **0,0025%**

Ωστενίτης: Διαλυτότητα άνθρακα στον γ-Fe

στους **1130 °C** **2%**

Σεμεντίτης: Διαμεταλλική ένωση Σιδήρου
άνθρακα (καρβίδιο του σιδήρου) . Περιεκτικότητα
σε άνθρακα 6,67%

Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων σιδήρου- άνθρακα(καρβιδίου του σιδήρου)

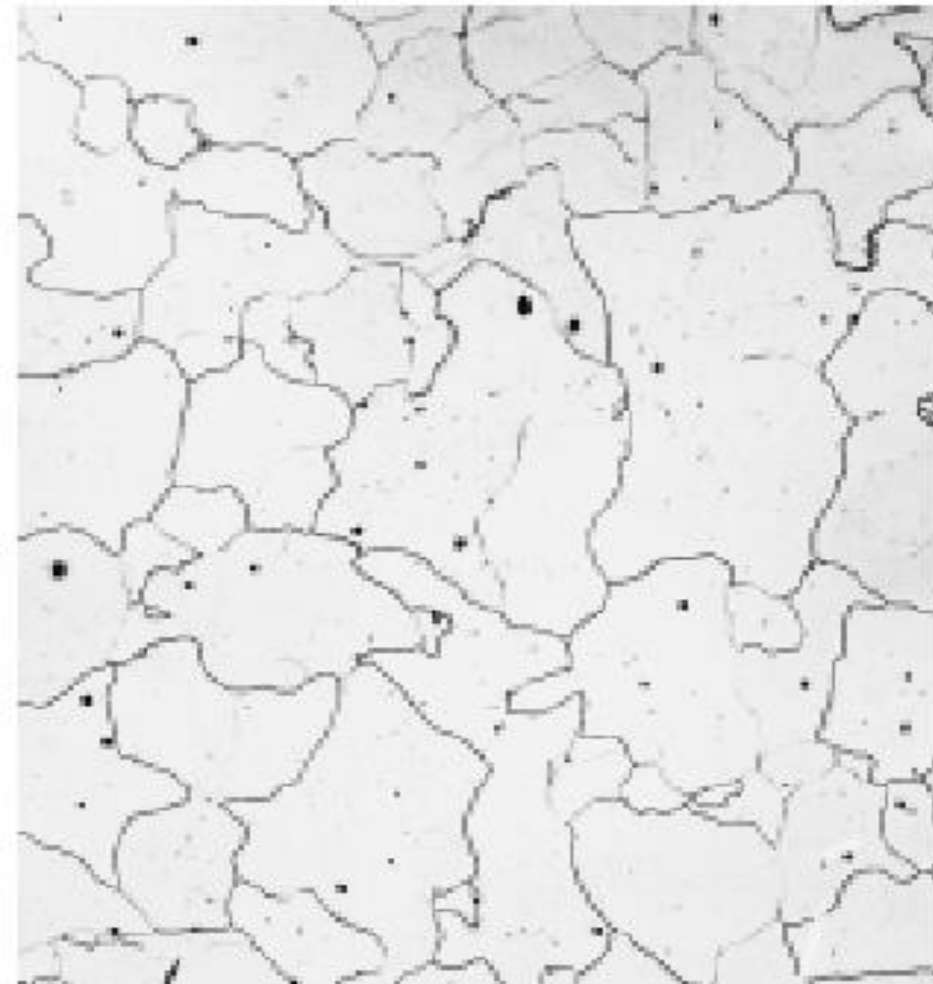


Ευθηκτική
αντίδραση
 $L = \gamma + Fe_3C$

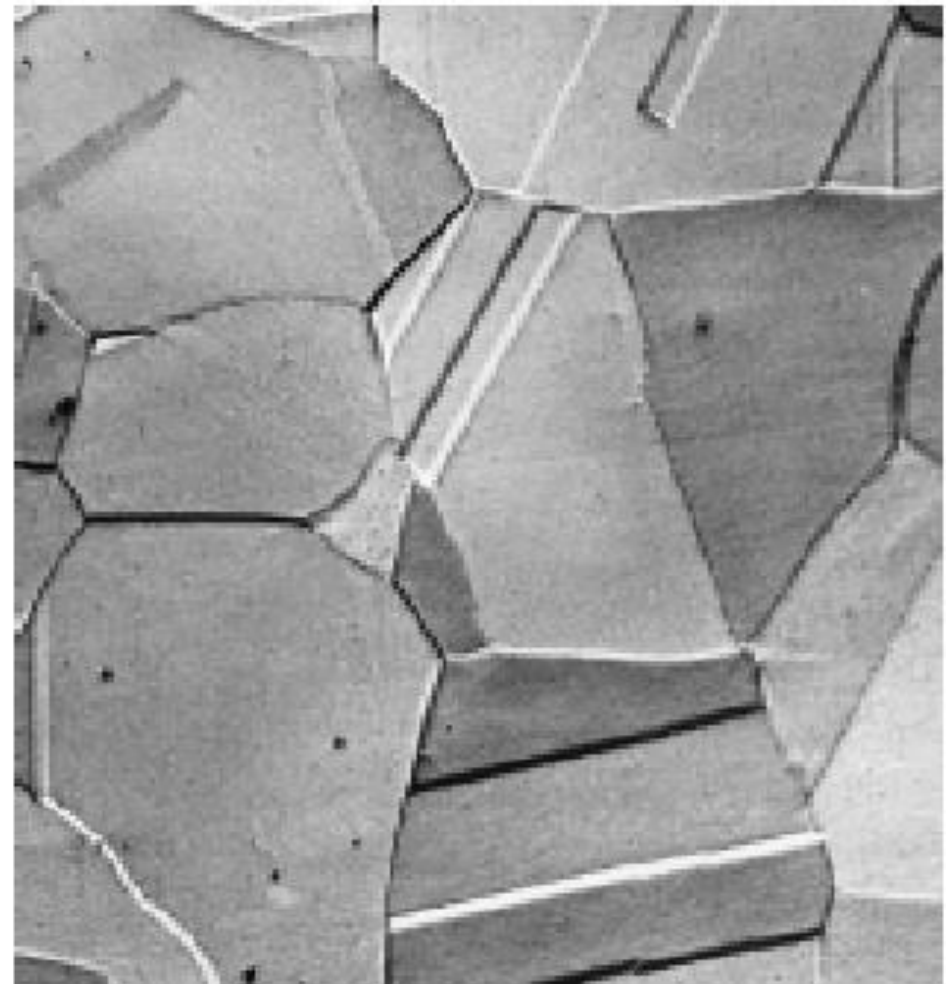
Ευθηκτοειδής
Αντίδραση
 $\Gamma(0,77\%) = \alpha + Fe_3C$

Φωτογραφία μικροσκοπικής δομής

A) Φερρίτη $\times 90$ β) Σεμεντίτη $\times 325$

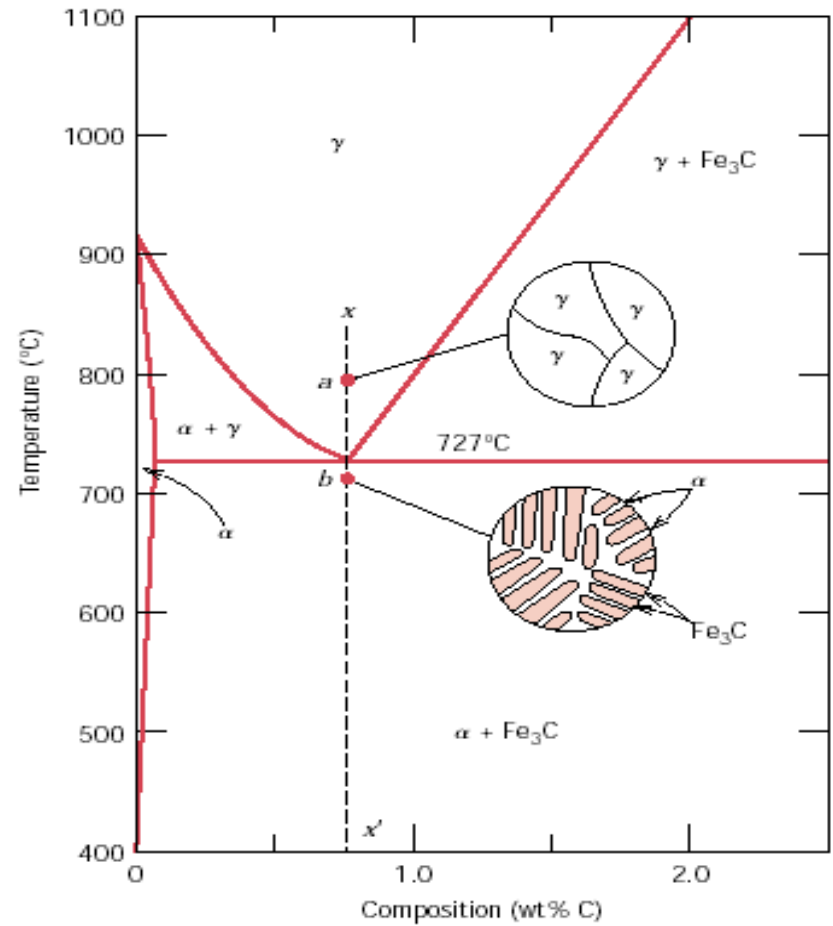
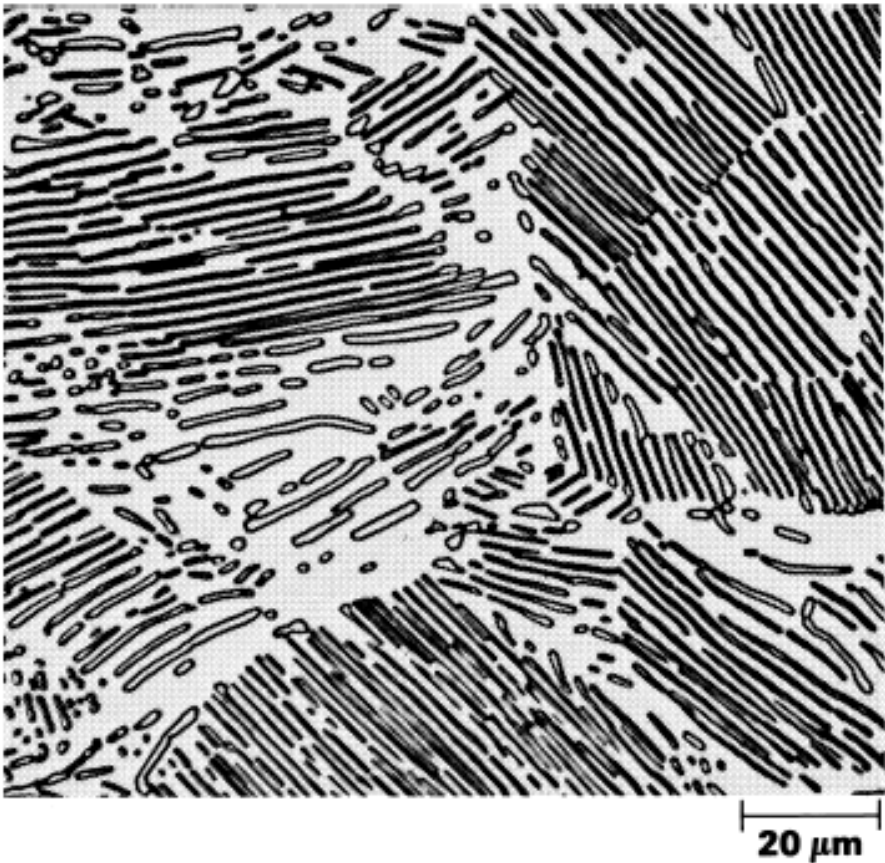


(a)

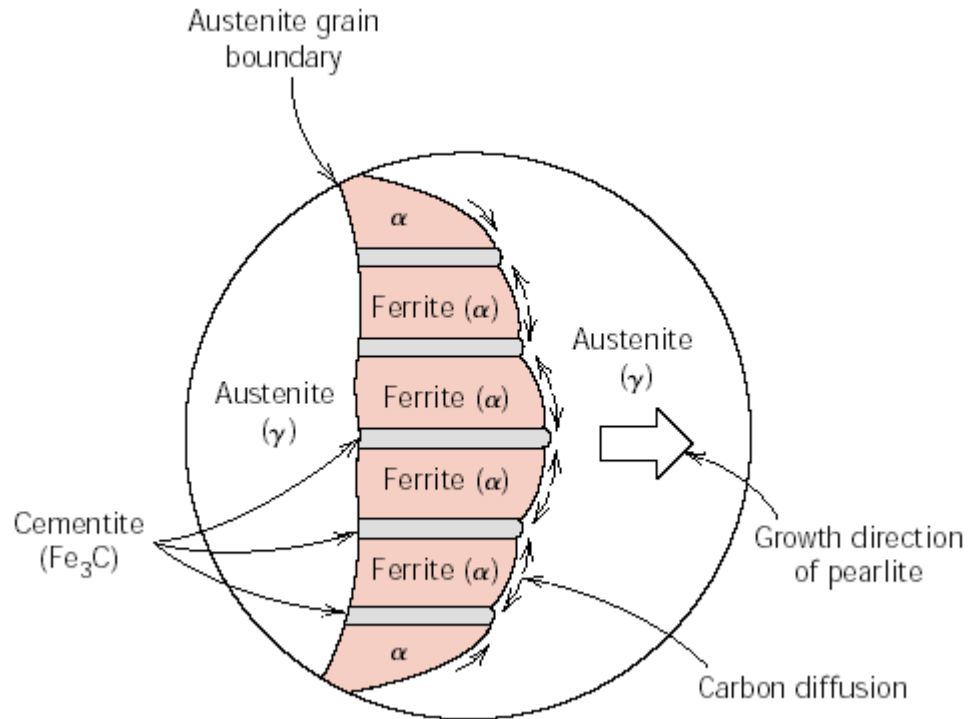


(b)

Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων ανθρακούχων χαλύβων



Σχηματισμός περλίτη



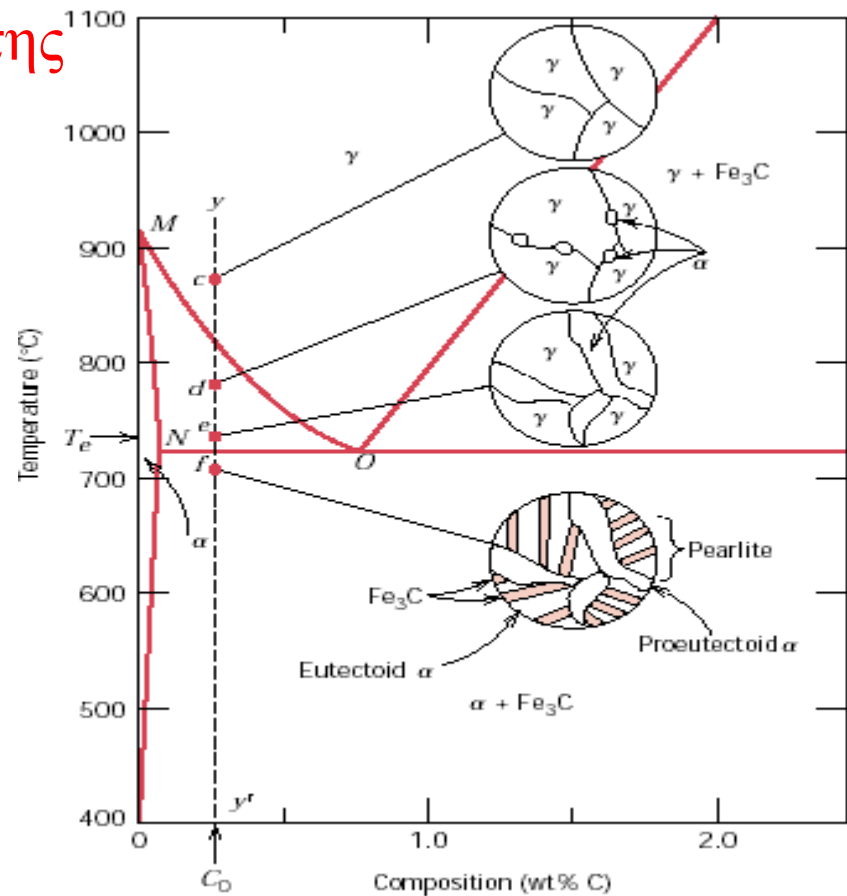
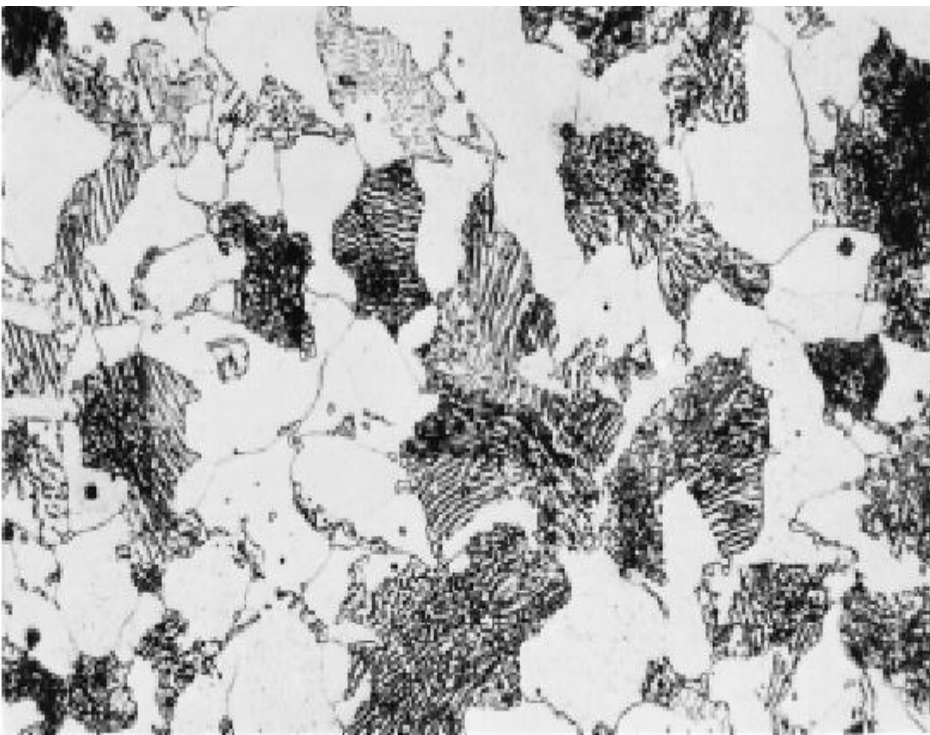
Ανάπτυξη μικροδομής

ΥΠΟΕΥΤΗΚΤΟΙΔΟΥΣ ΧΑΛΥΒΑ

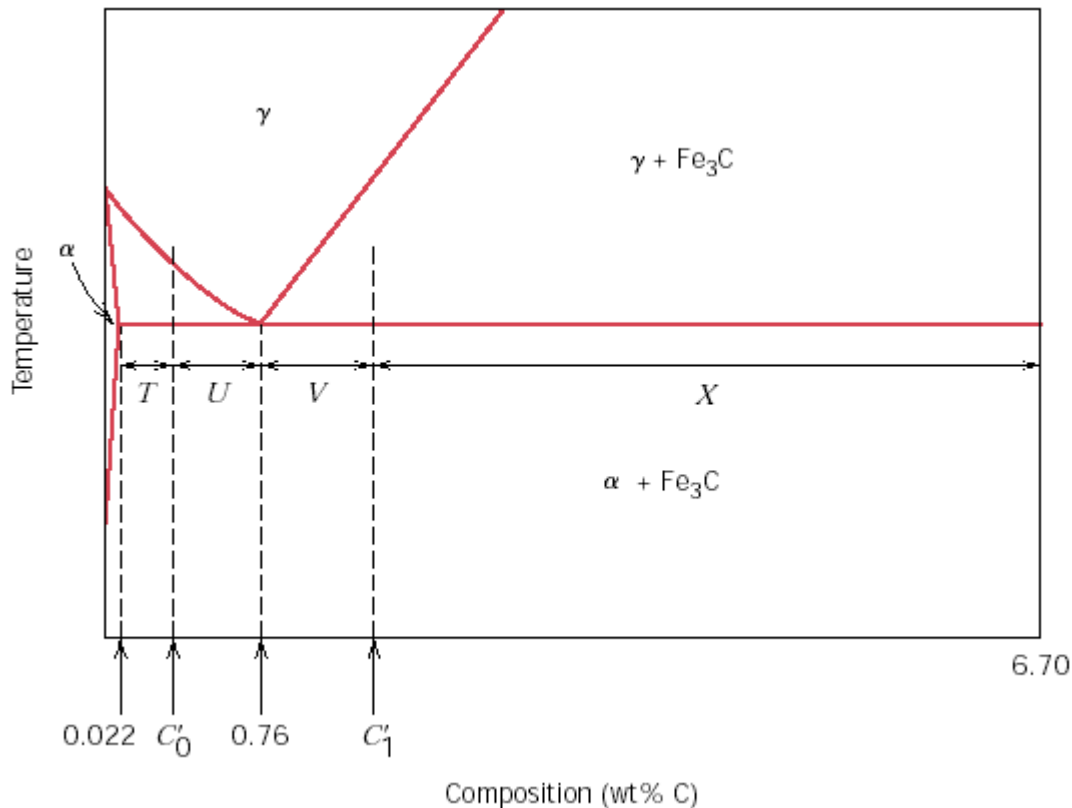
Φωτογραφία δομής, χάλυβα 0,4% C

Περλίτης+ Προευτηκτοειδής φερρίτης

Διάγραμμα φάσεων



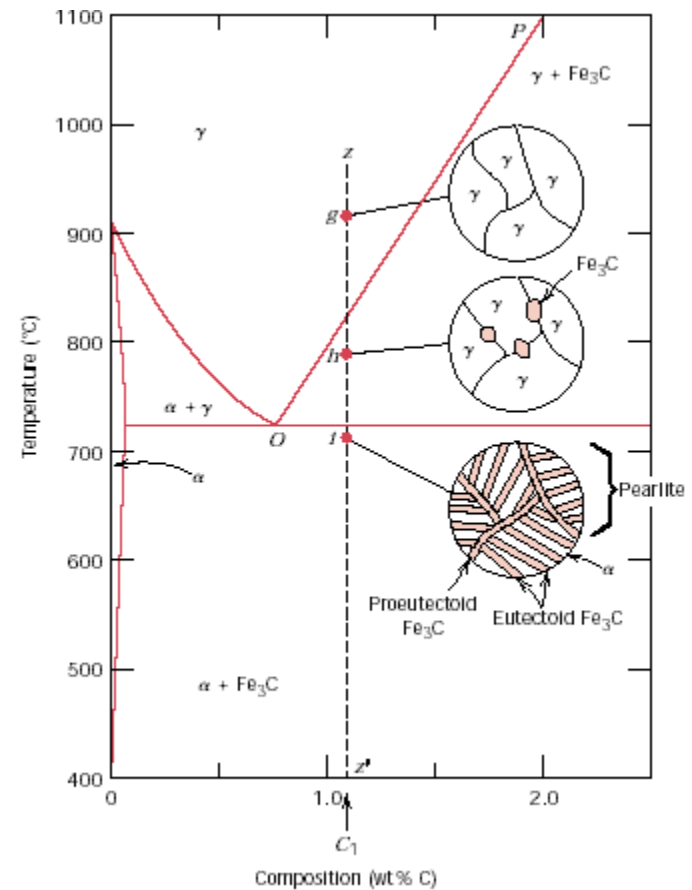
Εφαρμογή του κανόνα του μοχλού για τον υπολογισμό του ποσοστού κάθε φάσης στον ανθρακούχο χάλυβα



$$\% \text{Περλίτης} = \frac{T}{T+U} * 100$$

$$\% \text{ferrites} = \frac{U}{T+U} * 100$$

Ανάπτυξη μικροδομής υπερευθηκτοειδούς χάλυβα



Απότομη ψύξη του ωστενίτη



ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΗΣ

Χαρακτηριστικά:

Υψηλή σκληρότητα

Μικρή δισθραυστότητα

Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό

ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ: Θερμική κατεργασία για τη σταθεροποίηση του και τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του

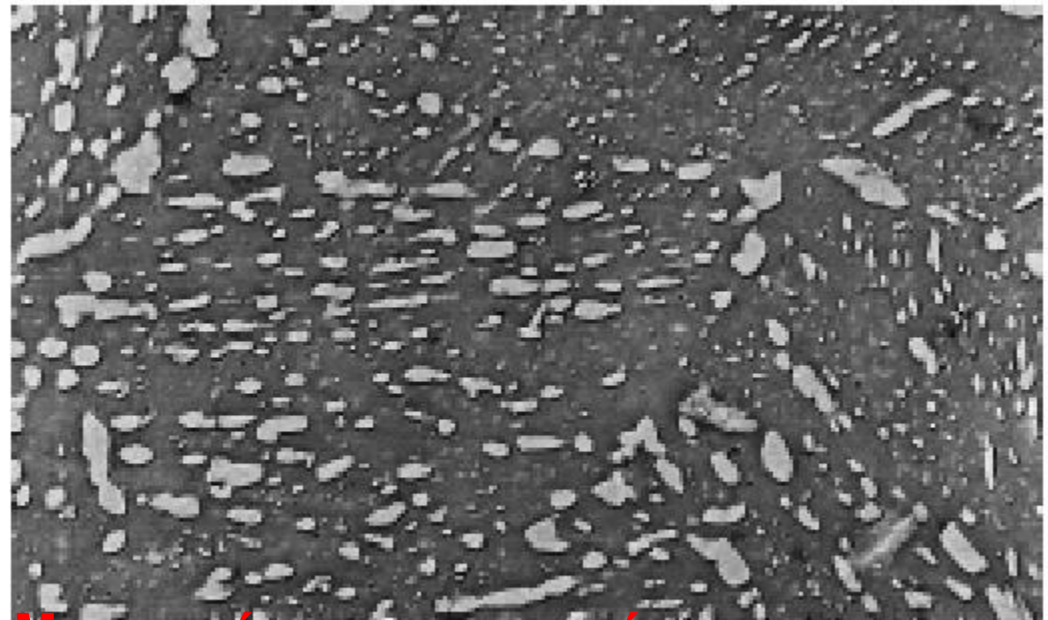
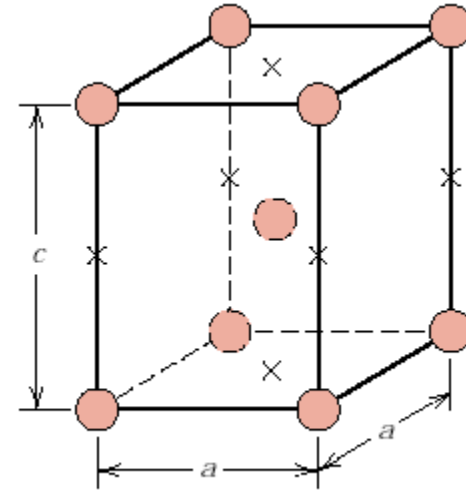


Μετά την επαναφορά: Σταθεροποίηση της δομής, απομάκρυνση των μηχανικών τάσεων, ελάττωση της σκληρότητας

ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΗΣ

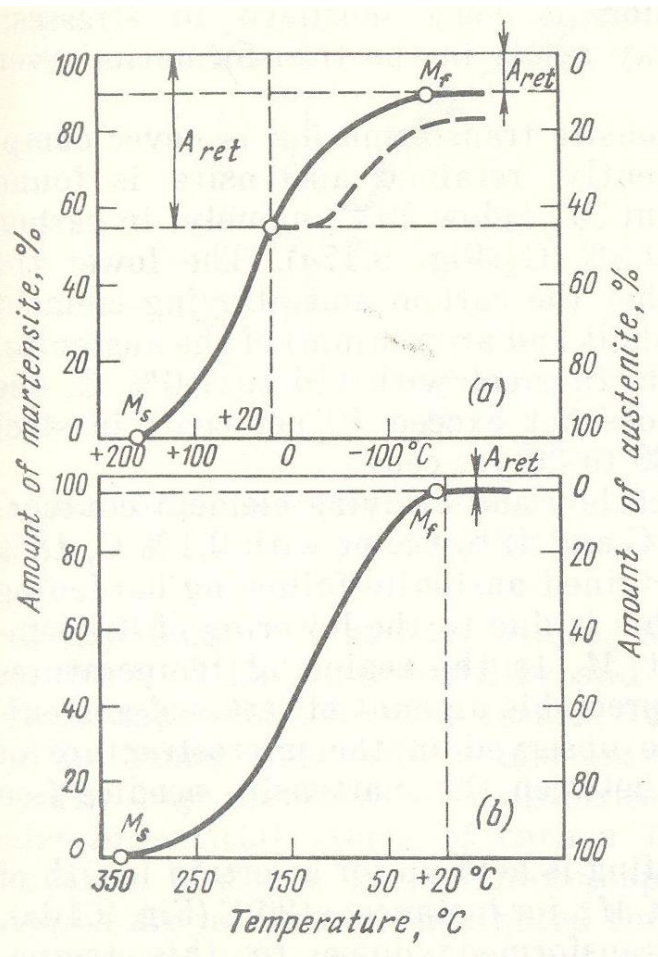
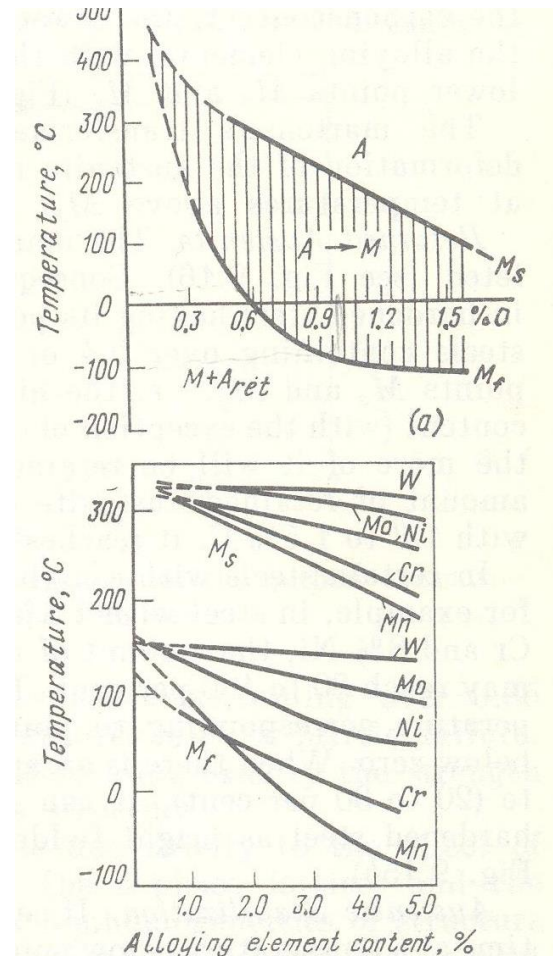


Μαρτενσίτης μετά τη βαφή



Μαρτενσίτης επαναφοράς

ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΗΣ



Καμπύλες μετασχηματισμού μαρτενσίτη
 (α) High carbon
 (β) Medium carbon
 Aret: Παραμένον ωστενίτης

Θερμοκρασίες Ms, Mf
 Ms: Έναρξη σχηματισμού Μαρτενσίτη
 Mf: Πέρασ σχηματισμού Μαρτενσίτη

ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΗ

✓ Τι είναι η επαναφορά του Μαρτενσίτη και γιατί είναι απαραίτητη;

✓ Τι συμβαίνει κατά τη επαναφορά στην περιοχή θερμοκρασίας 20-200 C

Σχηματίζεται φάση μαρτενσίτη με μικρότερη περιεκτικότητα C, Και φάση καρβιδίου (ε) $Fe_{2,4}C$.Αύξηση σκληρότητας και ψαθυρότητας

✓ Τι συμβαίνει κατά τη επαναφορά στην περιοχή θερμοκρασίας 200-700 C

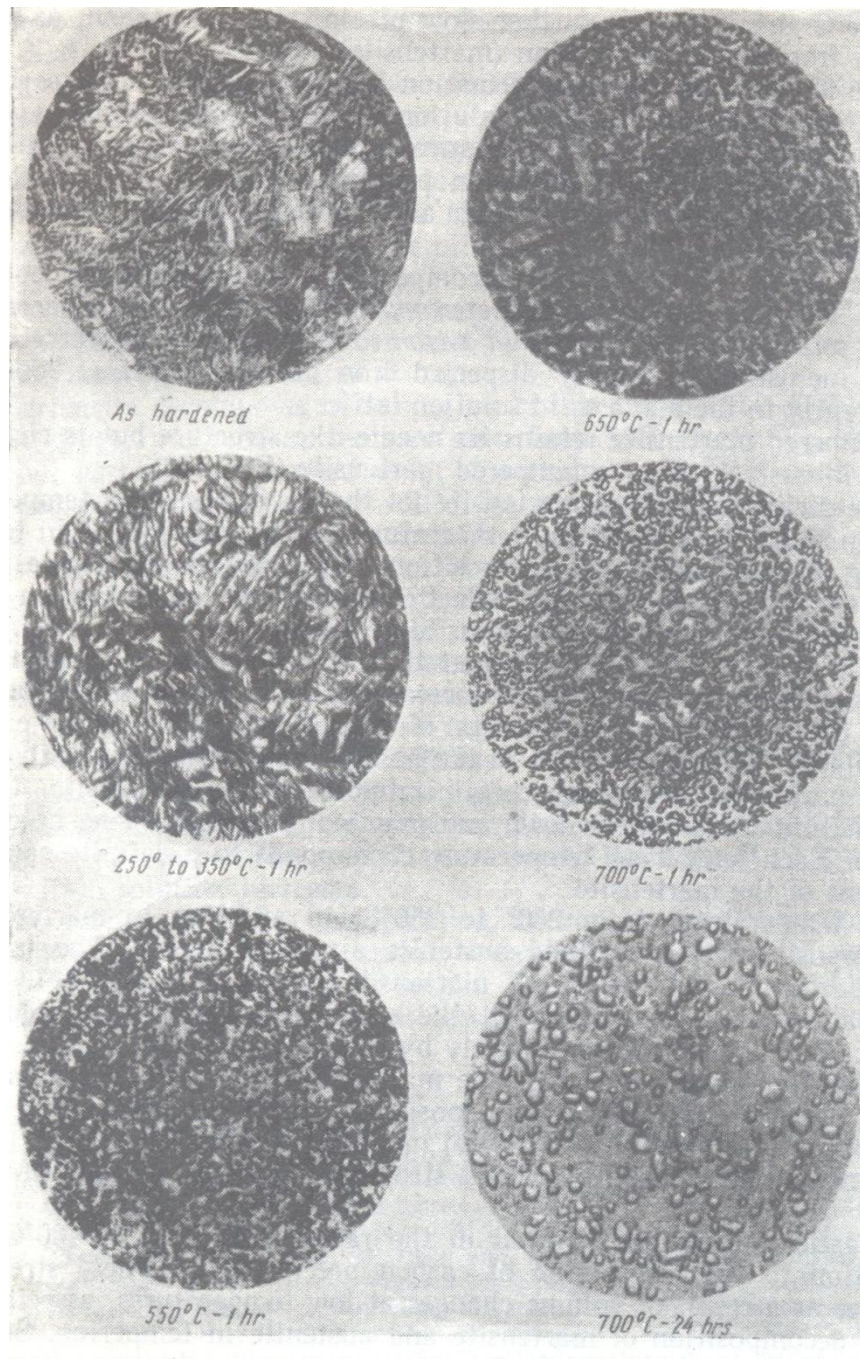
Πολύ μικρά σωματίδια σεμεντίτη διάσπαρτα σε φάση φερρίτη
Ιδιότητες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το χρόνο θέρμανσης στη θερμοκρασία αυτή

✓ Τι συμβαίνει κατά την παρατεταμένη θέρμανση(400-700⁰ C);

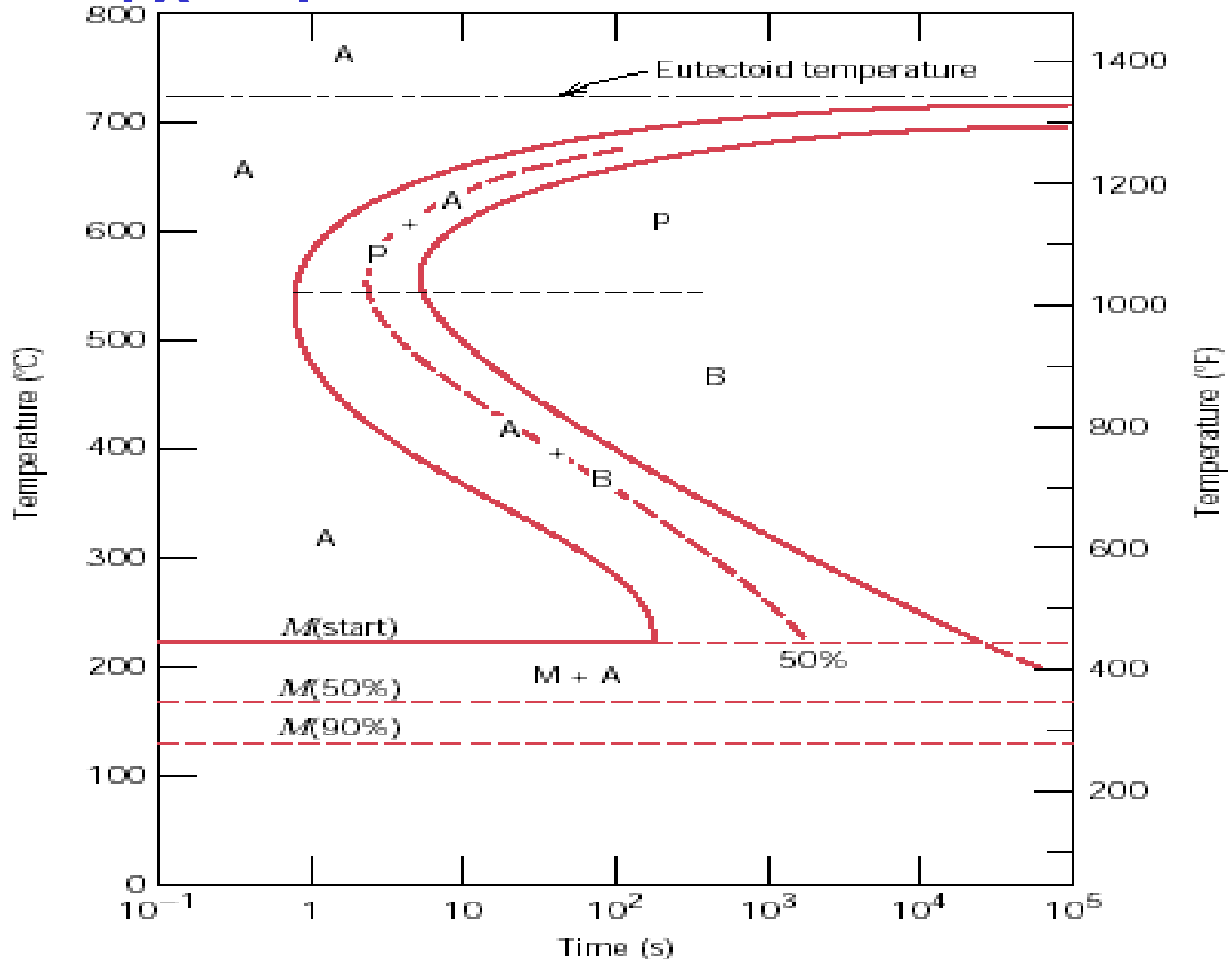
✓ Τι συμβαίνει κατά την ψαθυροποίηση επαναφοράς;

ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΗΣ

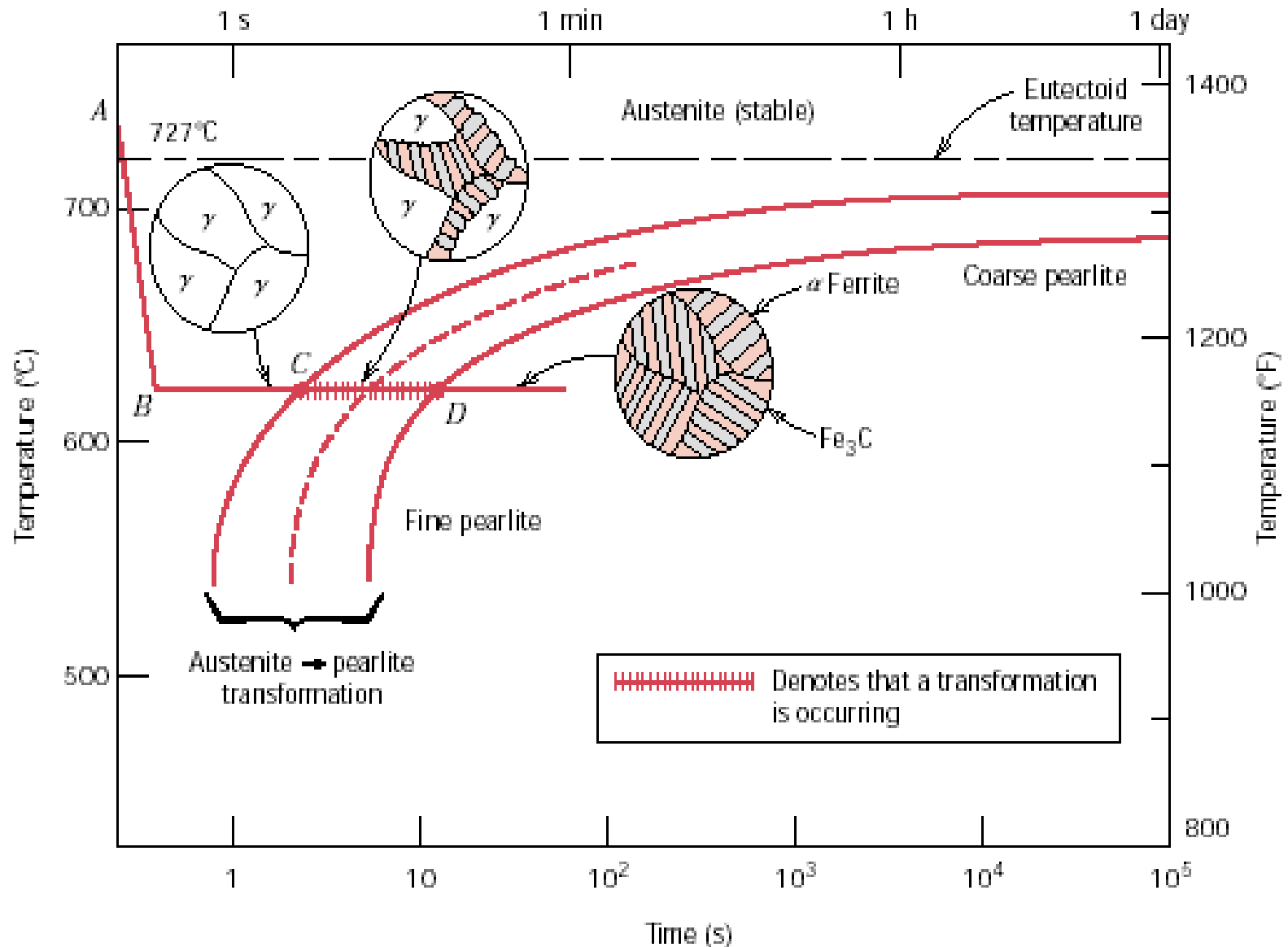
Αποτελέσματα επαναφοράς



Ισόθερμη θερμική κατεργασία. Διάγραμμα χρόνου-θερμοκρασία –μετασχηματισμού (T-T-T) για ευτηκτοιδή χάλυβα



Ανάπτυξη της κρυσταλλικής δομής κατά την ισόθερμη διεργασία

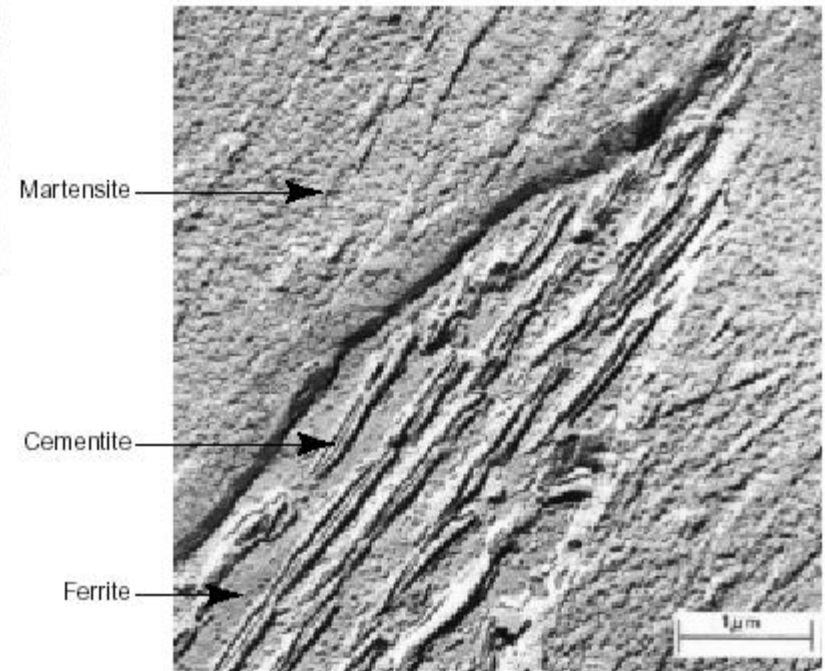


Λεπτόκοκκος
περλίτης

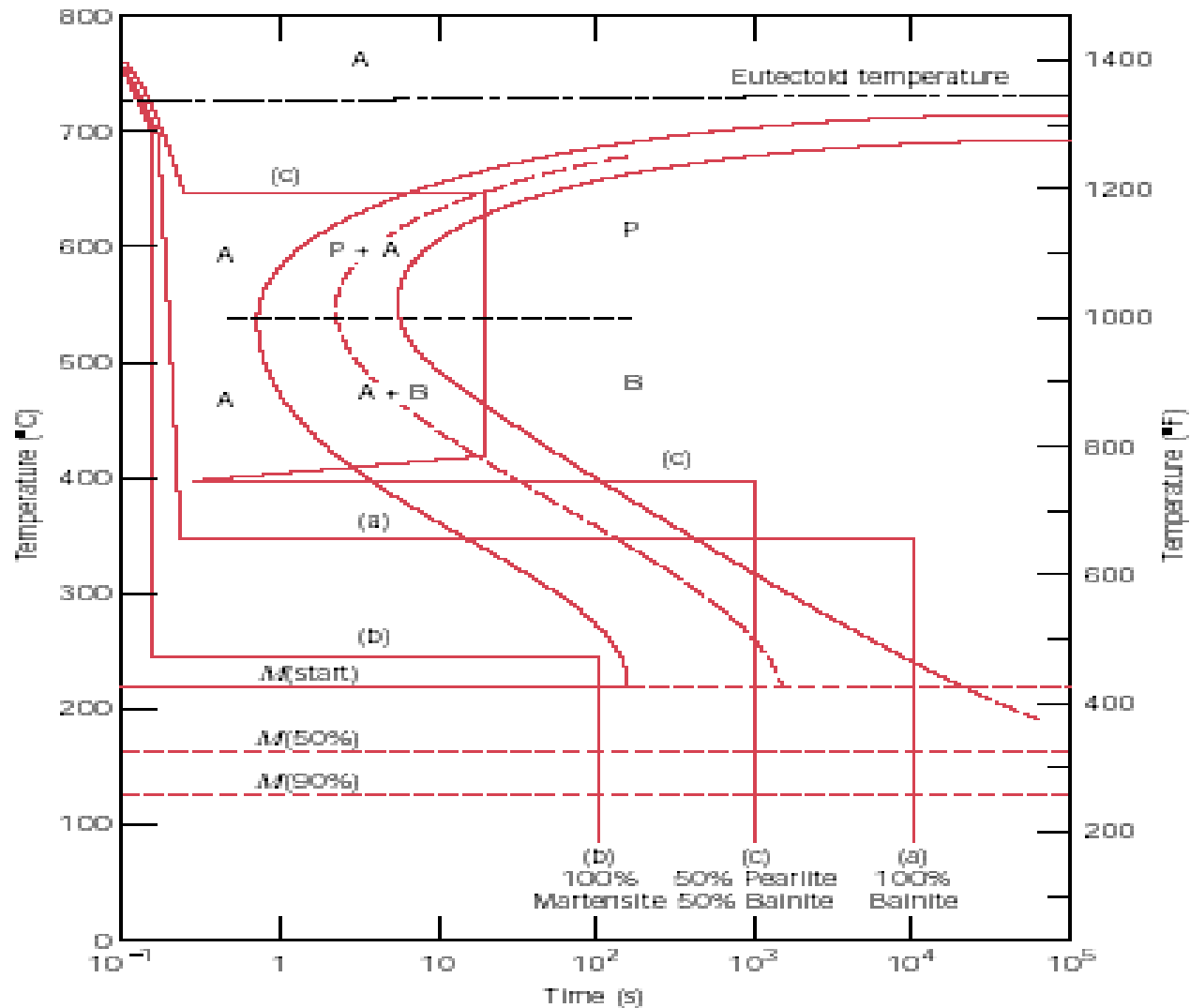


Χονδρόκοκκος
περλίτης

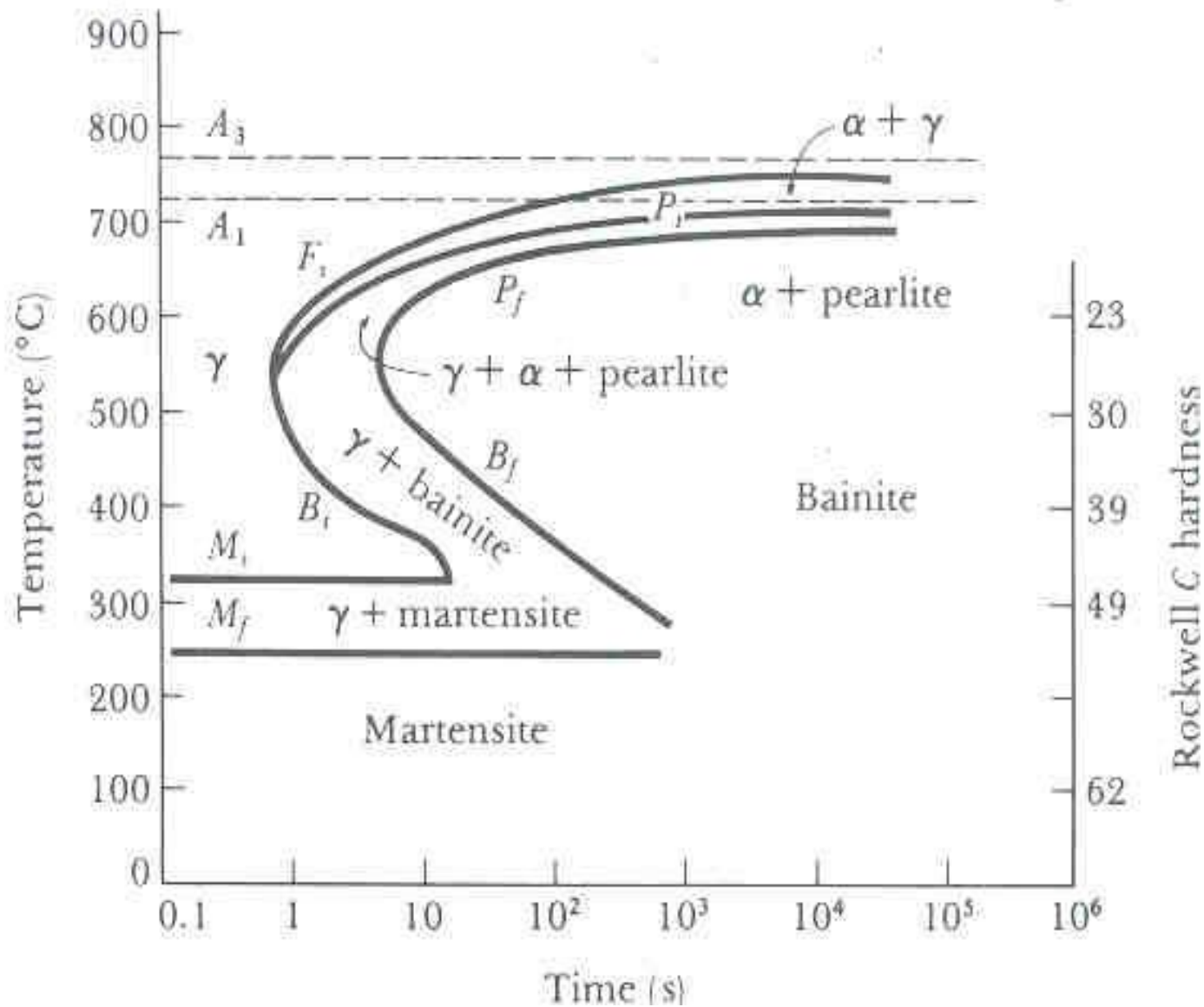
Μπενίτης

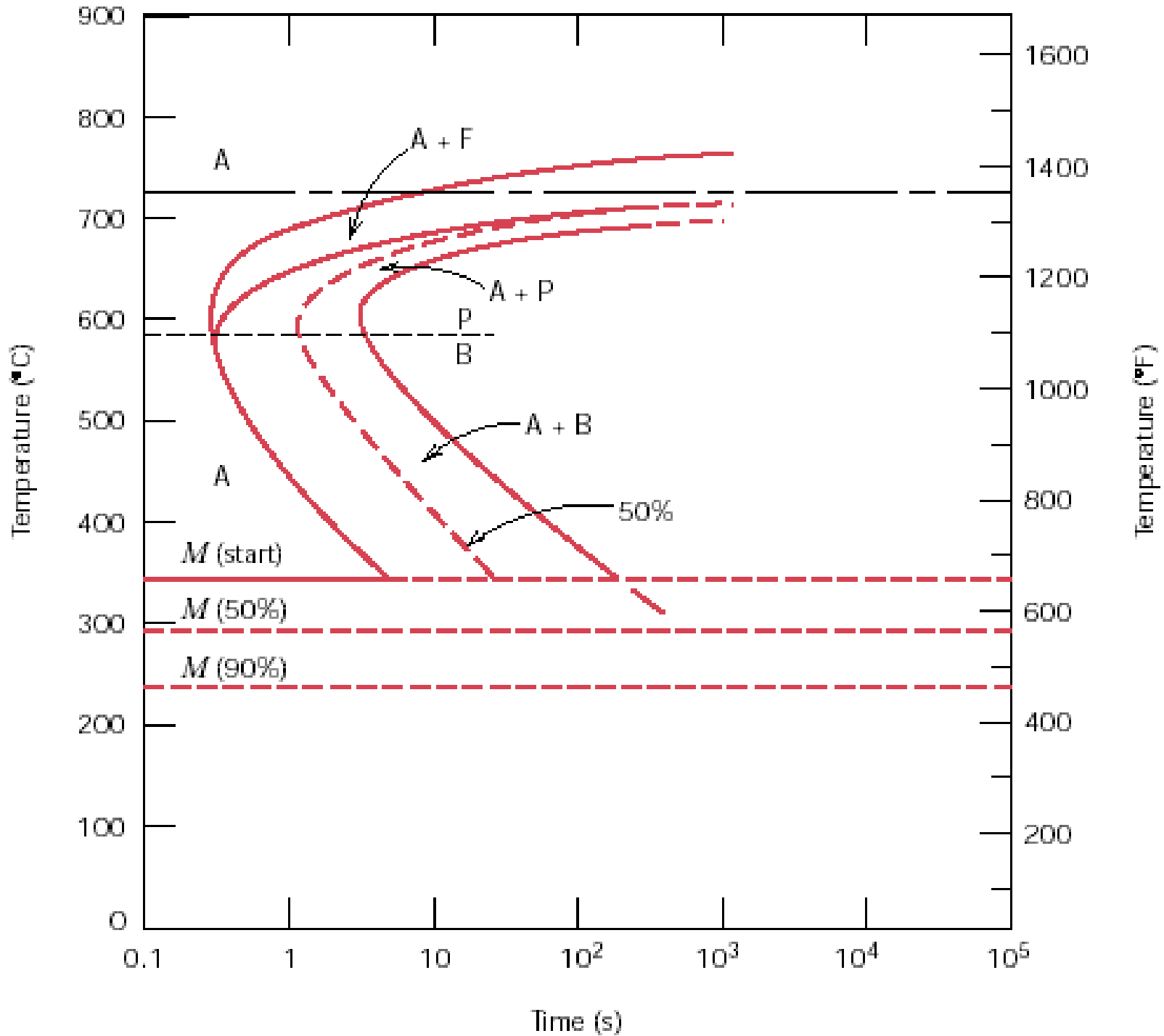


Παράδειγμα χρήσης του διαγράμματος T-T-T



Διάγραμμα T-T-T για υποευθηκτοιδή χάλυβα





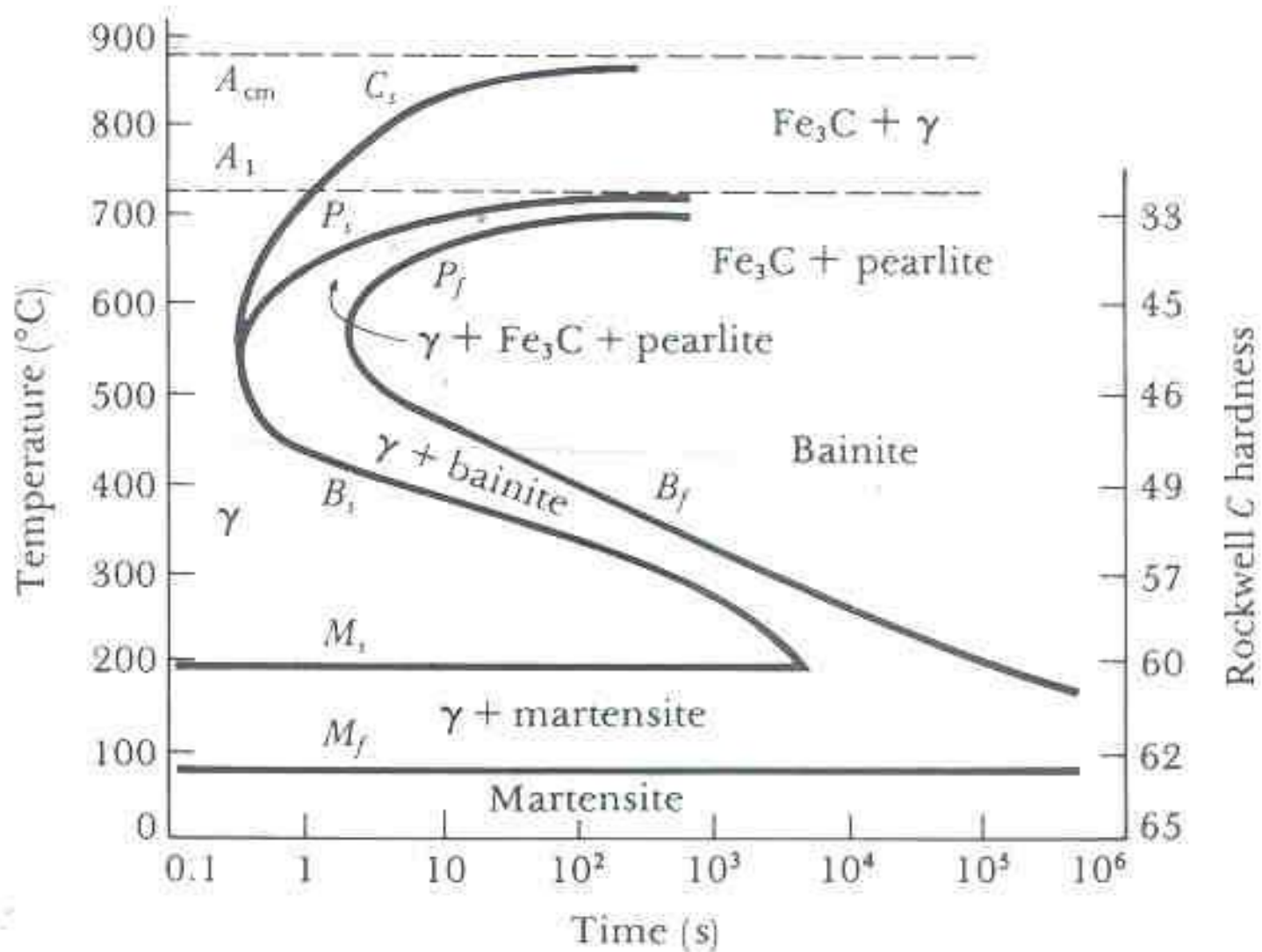
Παράδειγμα : Για ένα κράμα υποευτηκτοειδή χάλυβα με περιεκτικότητα 0,45% C Να καθορίσετε την τελική μικροδομή για κάθε ένα από τα παρακάτω δοκίμια. Να χρησιμοποιήσετε το διάγραμμα ισόθερμου μετασχηματισμού.

Δοκίμιο Α: Ταχεία ψύξη στους 700C, διατήρηση για 30 s και στη συνέχεια βαφή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος

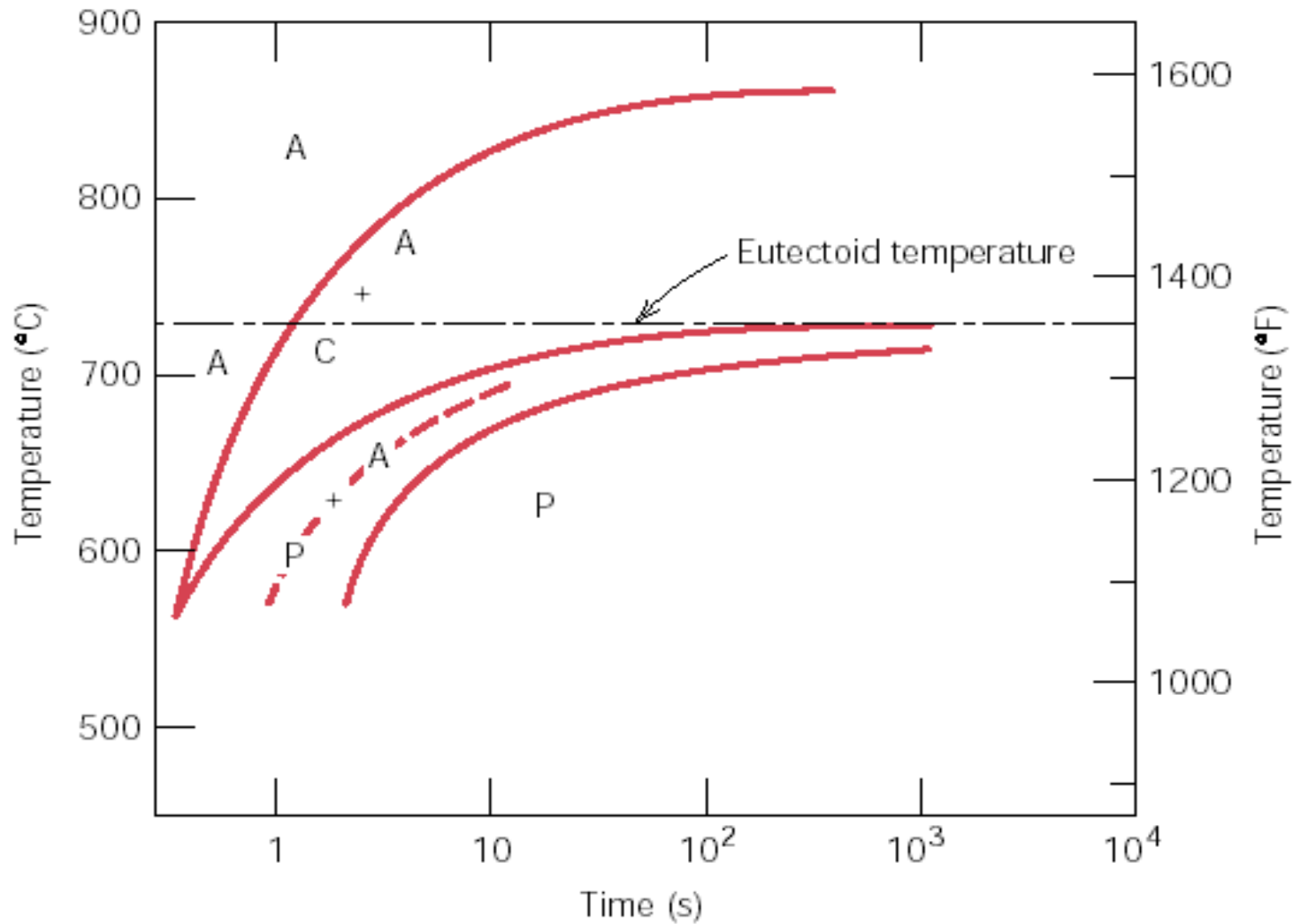
Δοκίμιο Β: Ταχεία ψύξη στους 400C διατήρηση για 500s και στη συνέχεια βαφή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Δοκίμιο Γ: Ταχεία ψύξη στους 650 C διατήρηση για 3s, ταχεία ψύξη στους 400C διατήρηση για 10 s και στη συνέχεια βαφή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

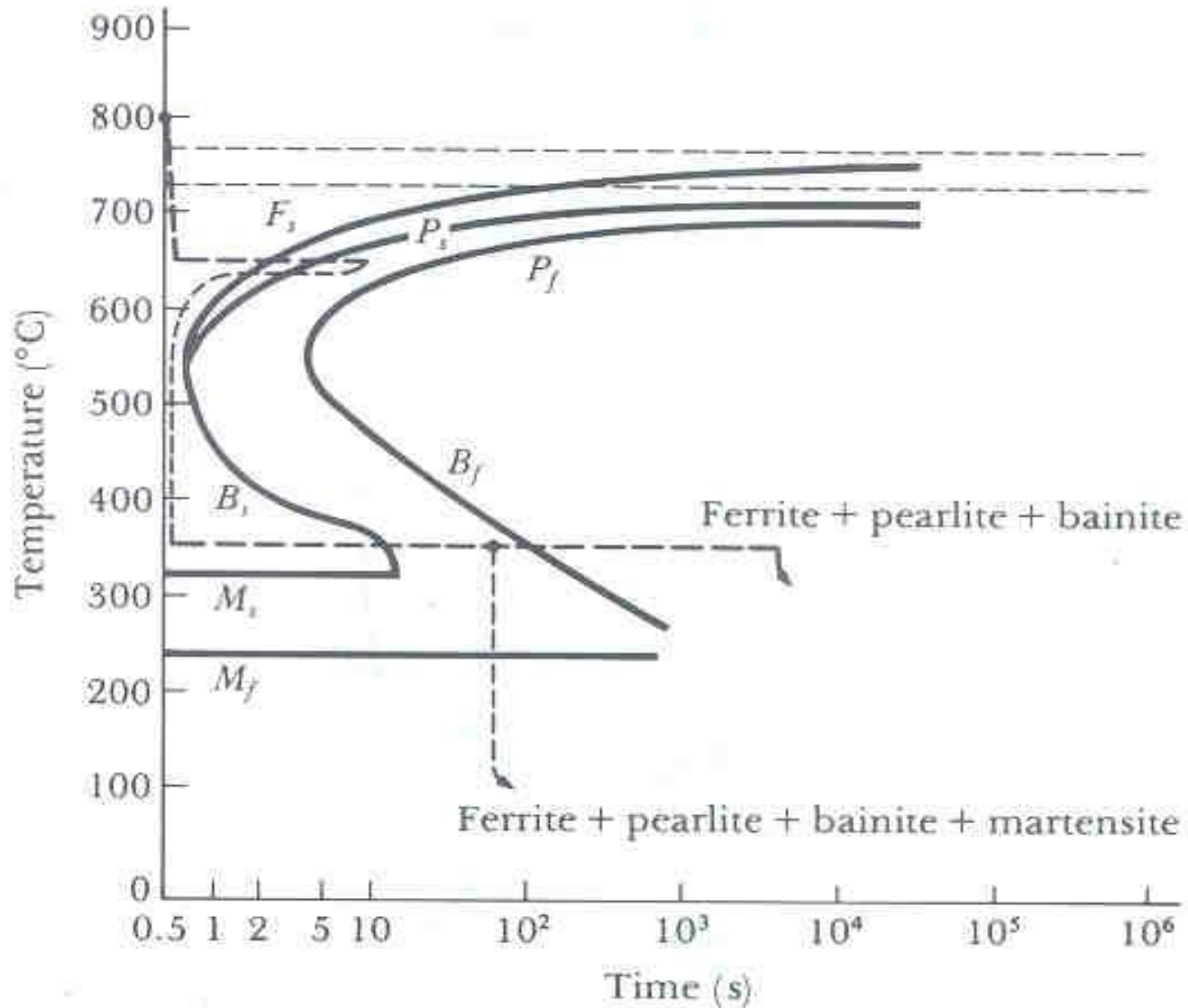
Διάγραμμα T-T-T για υπερευθηκτοιδή χάλυβα



Διάγραμμα T-T-T για υπερευθηκτοιδή χάλυβα



Παράδειγμα εφαρμογής του διαγράμματος T-T-T



Παράδειγμα: Για ένα χάλυβα με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,77%(0,8%) να περιγράψατε τις απλούστερες θερμικές κατεργασίες για να μετατρέψετε τις παρακάτω δομές των δοκιμίων:

Δοκίμιο Α: Μπενίτη σε Μαρτενσίτη επαναφοράς

Δοκίμιο Β: Χονδροκκοκο περλίτη σε μπενίτη

Δοκίμιο Γ: Μρτενσίτη σε σφαιραιδιίτη

Δοκίμιο Δ: Μαρτενσίτη επαναφοράς σε λεπτόκοκο περλίτη

Ονοματολογία θερμικών κατεργασιών

Πλήρης ανόπτηση –Full aneal

Εξομάλυνση-Normalising

Ανόπτηση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη-
Spherodizing

Ανόπτηση για ανακρυστάλλωση-Process
annealing

Αποτακική ανόπτηση-Stress relief

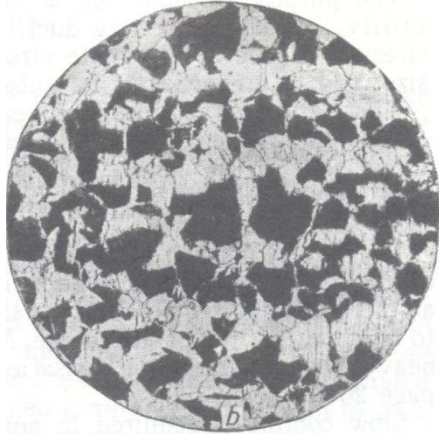
Βαφή σε λάδι-Quenching in oil

Βαφή σε νερό- Quenching in water

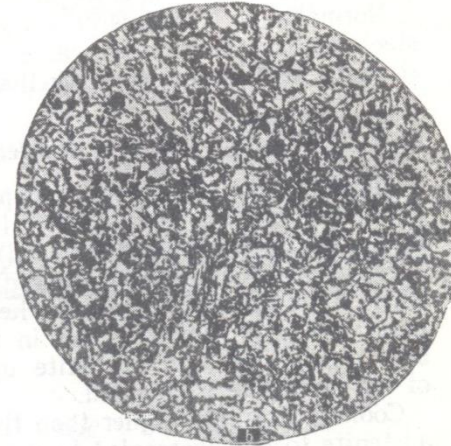
Κλιμακωτή βαφή(ισόθερμη διεργασία)

Υποευτηκτοειδής χάλυβας $\pi(c)=0,45\%$

Πλήρης ανόπτηση



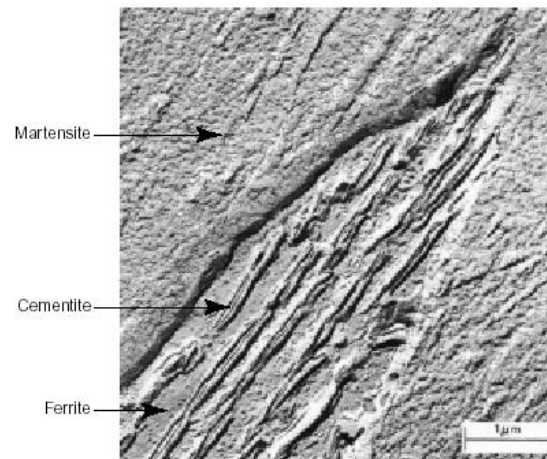
Εξομάλυνση



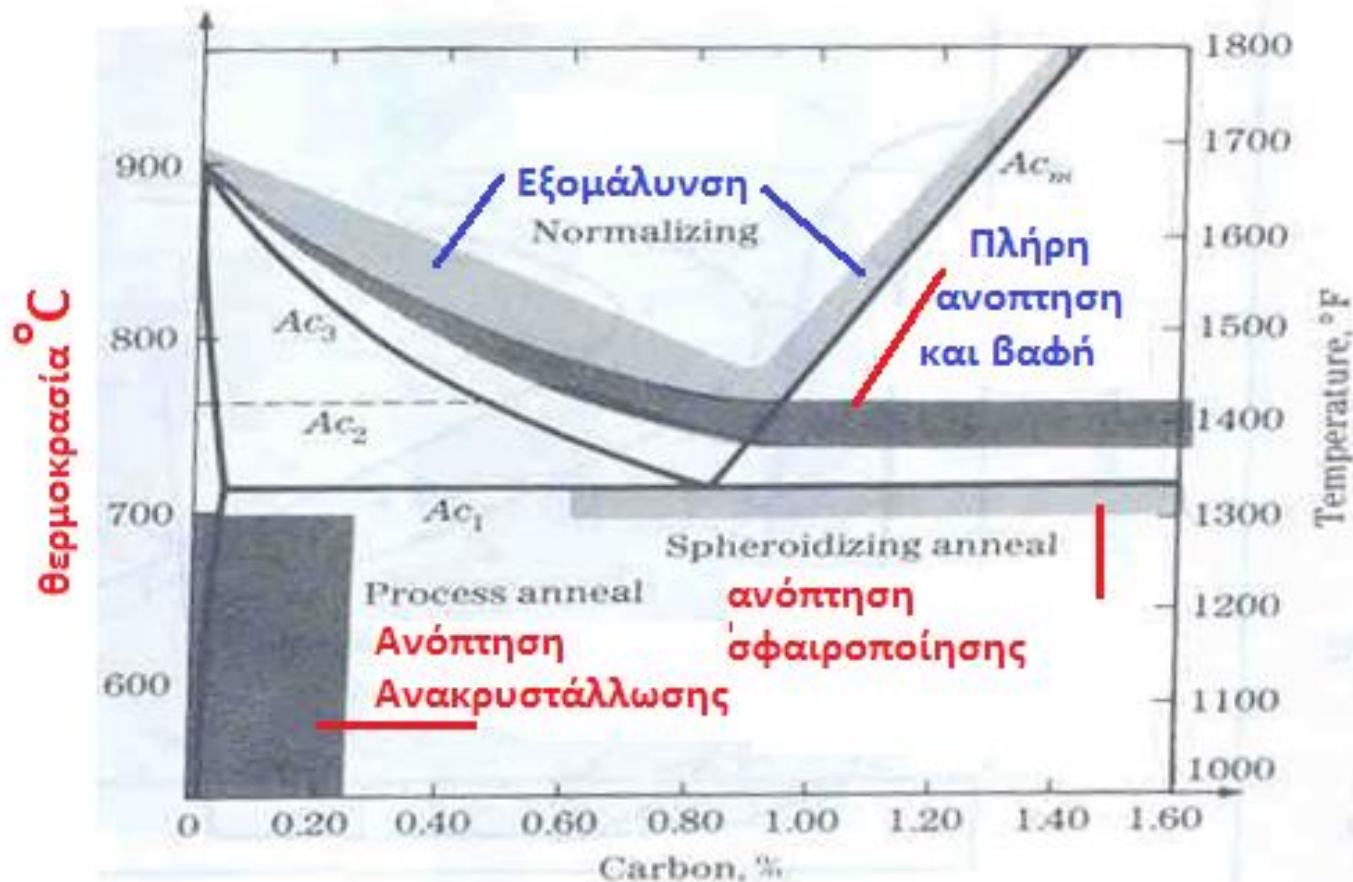
Βαφή σε νερό

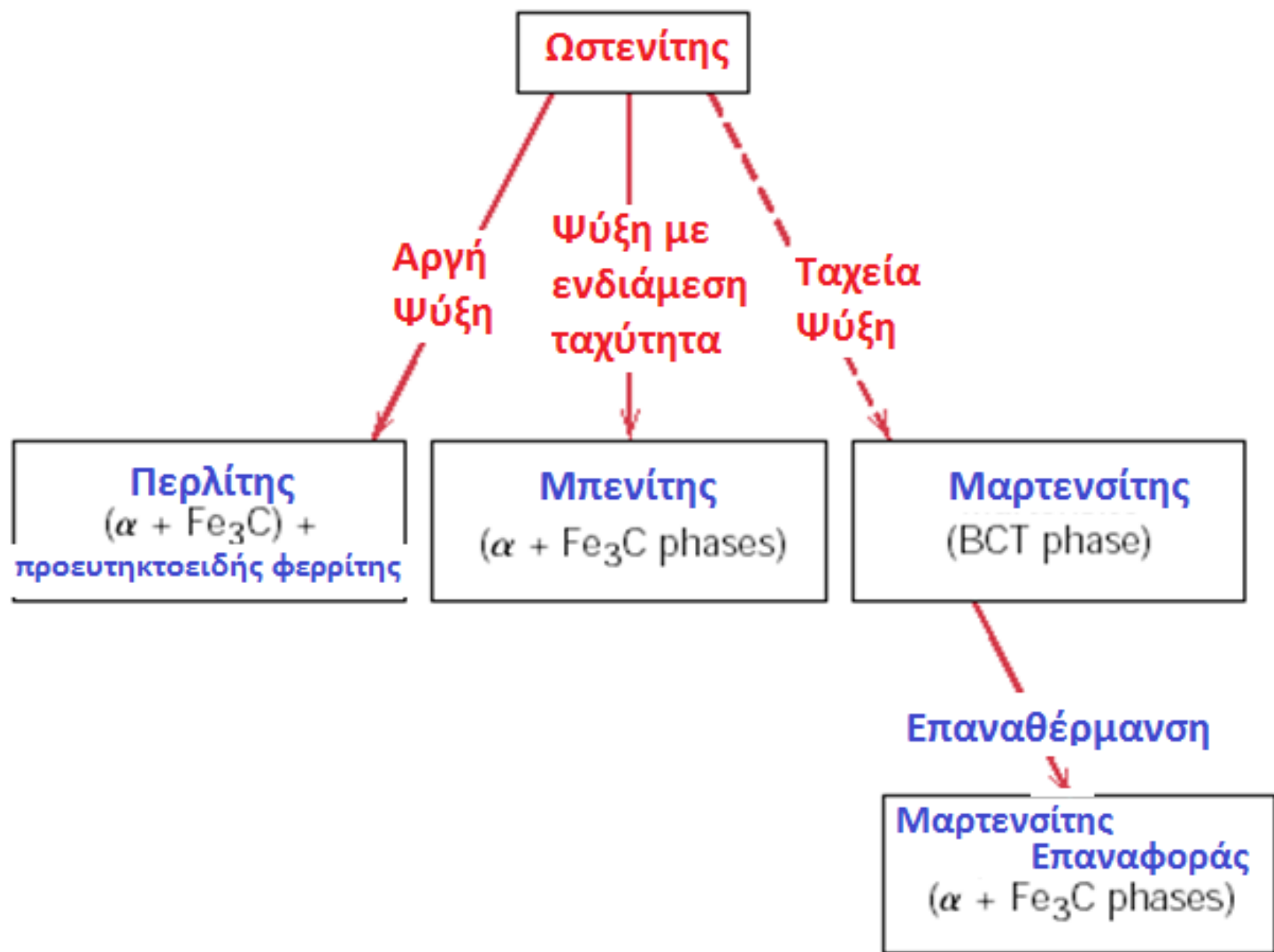


Βαφή σε λάδι



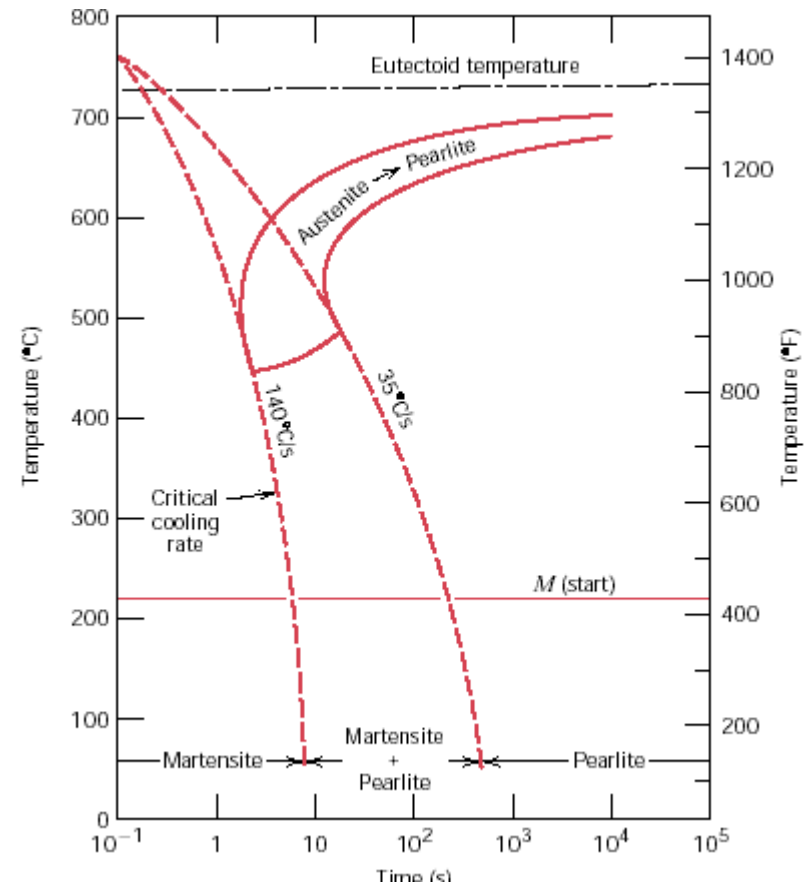
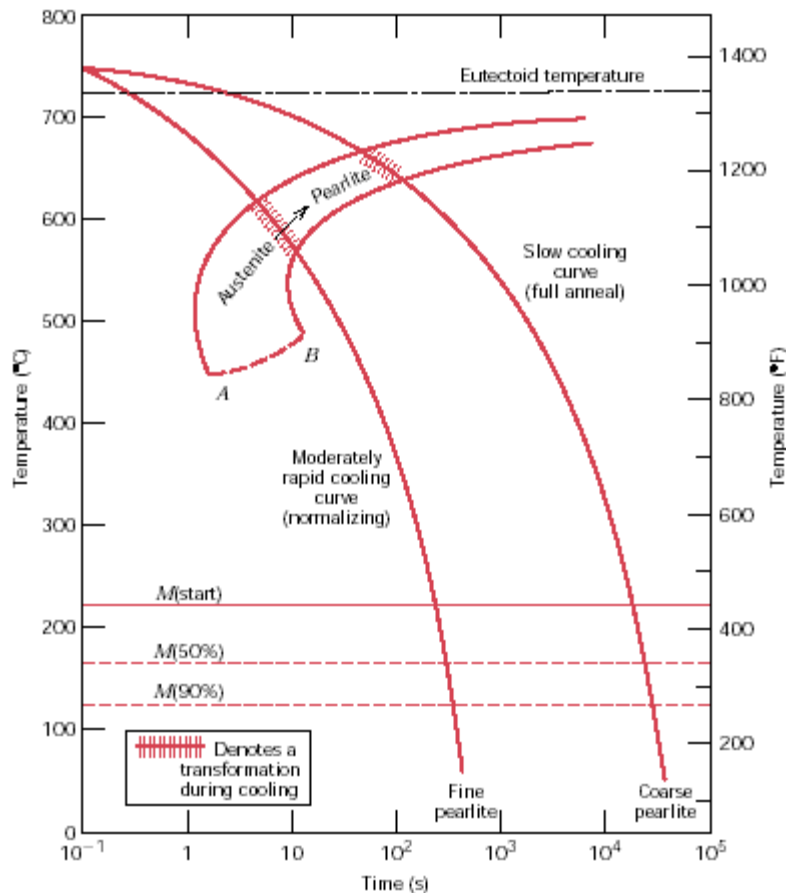
Διάγραμμα στο οποίο υποδεικνύονται οι περιοχές όπου είναι εφικτές διάφορες θερμικές κατεργασίες



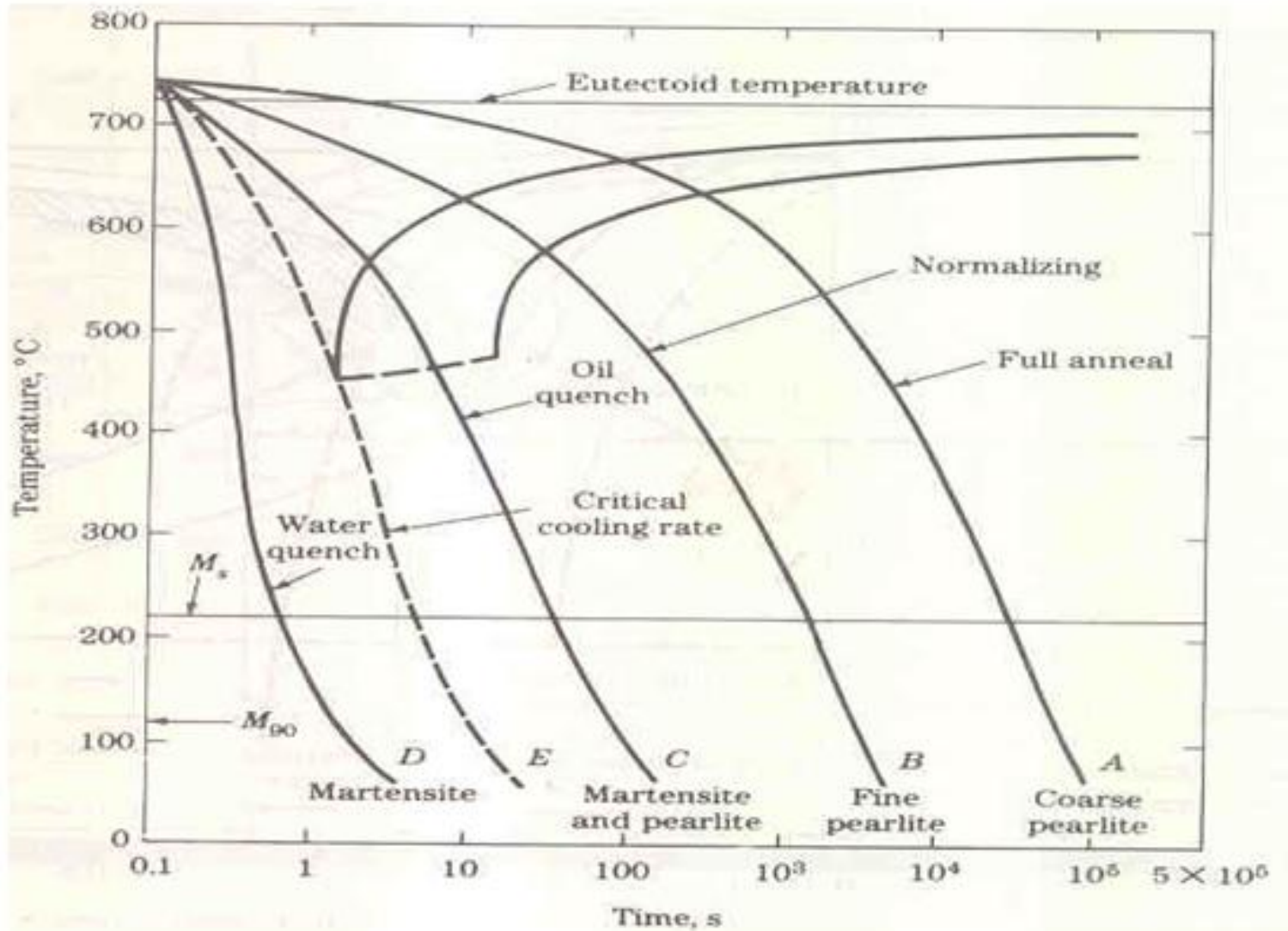


Συνεχείς θερμικές κατεργασίες

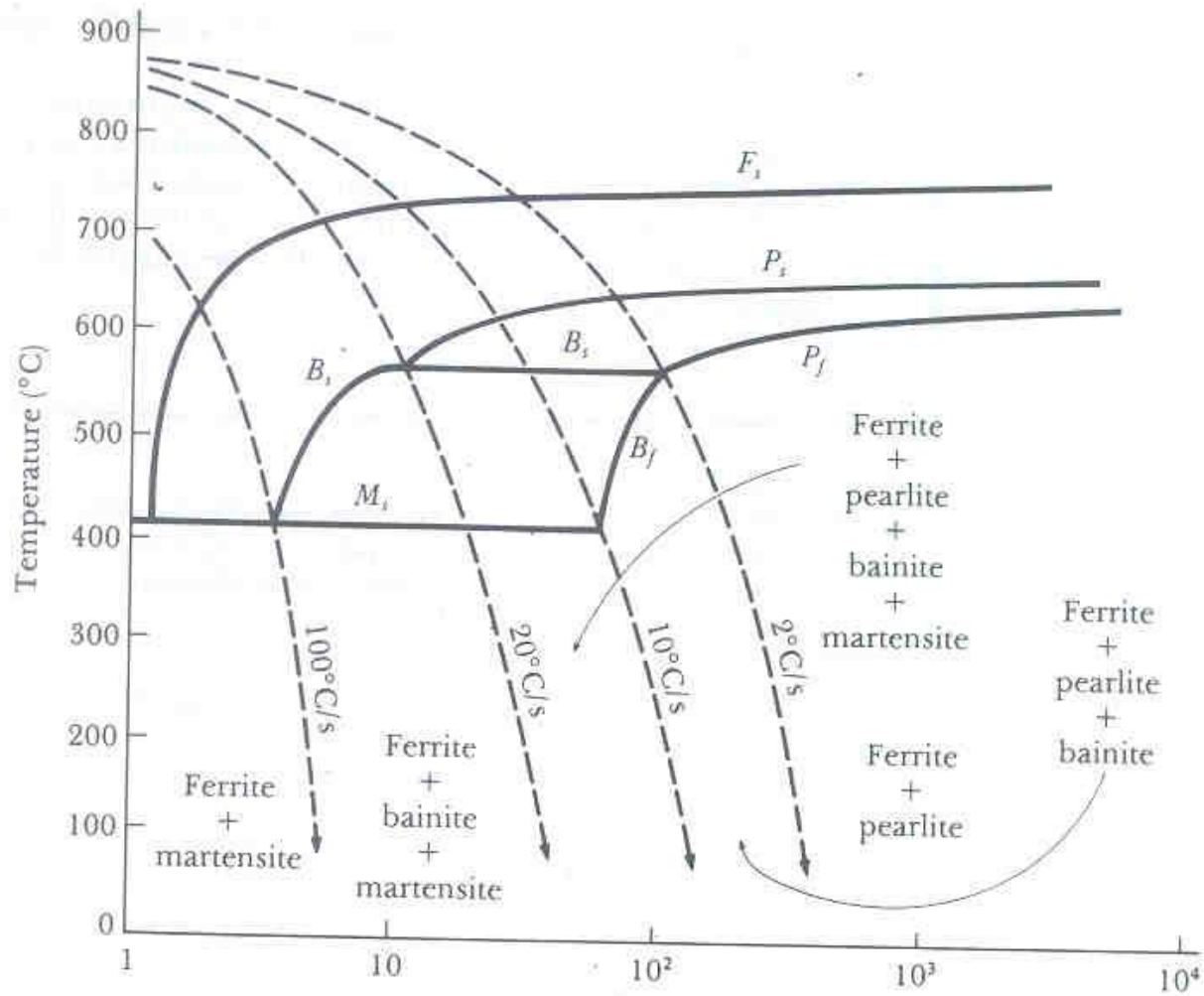
Διαγράμματα Συνεχούς-Ψύξης-Μετασχηματισμού “CCT” για ευκτοειδή χάλυβα



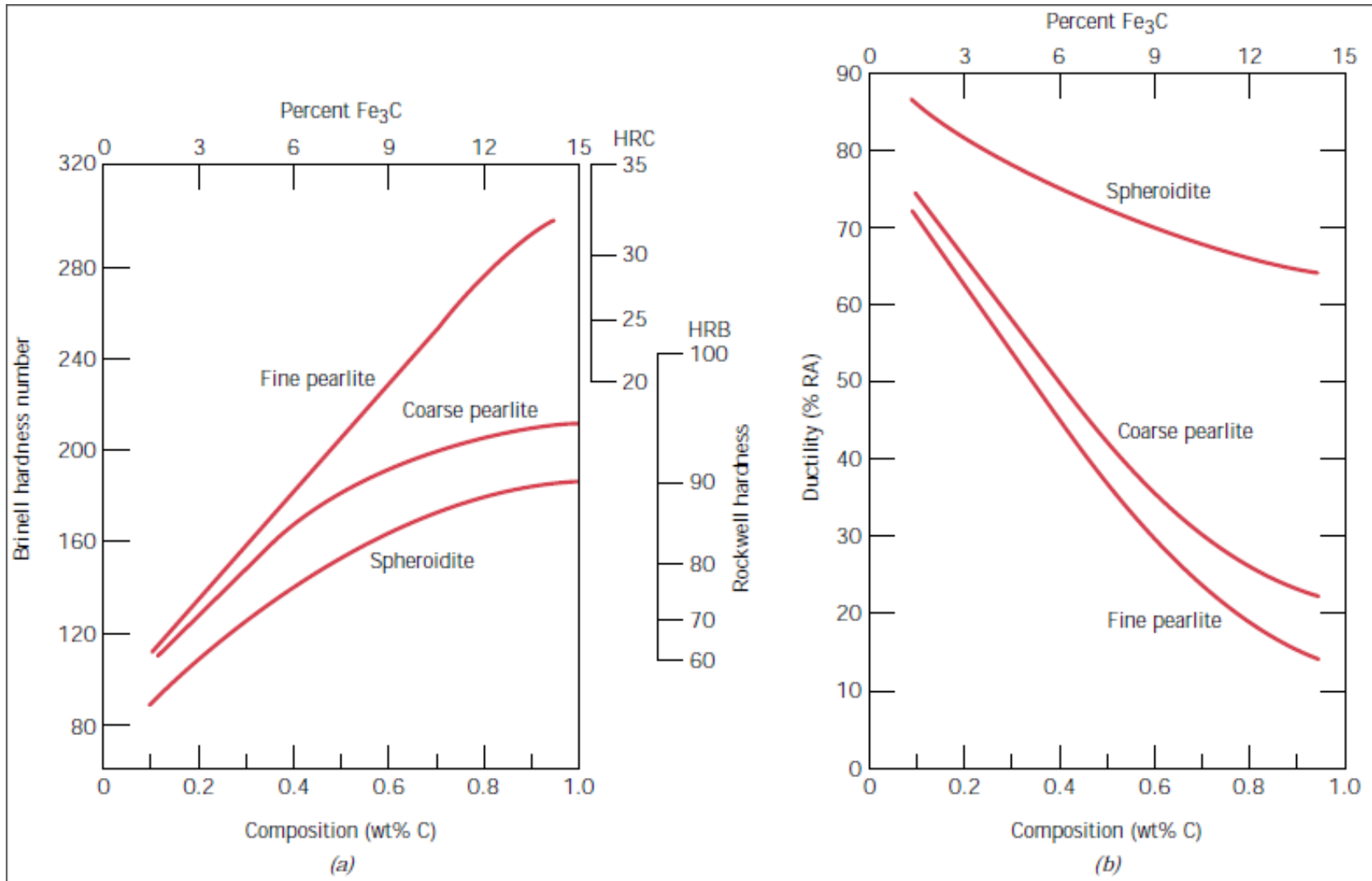
Διάγραμμα CCT για ευτηκτοιδή χάλυβα



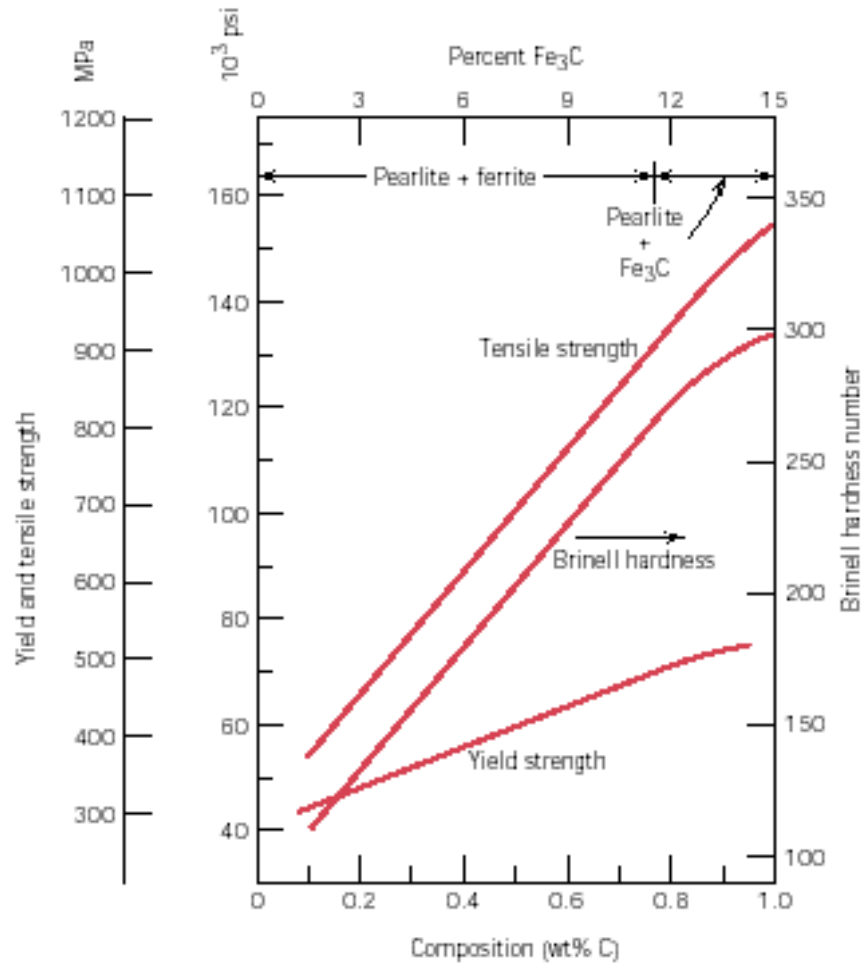
Διάγραμμα CCT για υποευτηκτοιδή χάλυβα



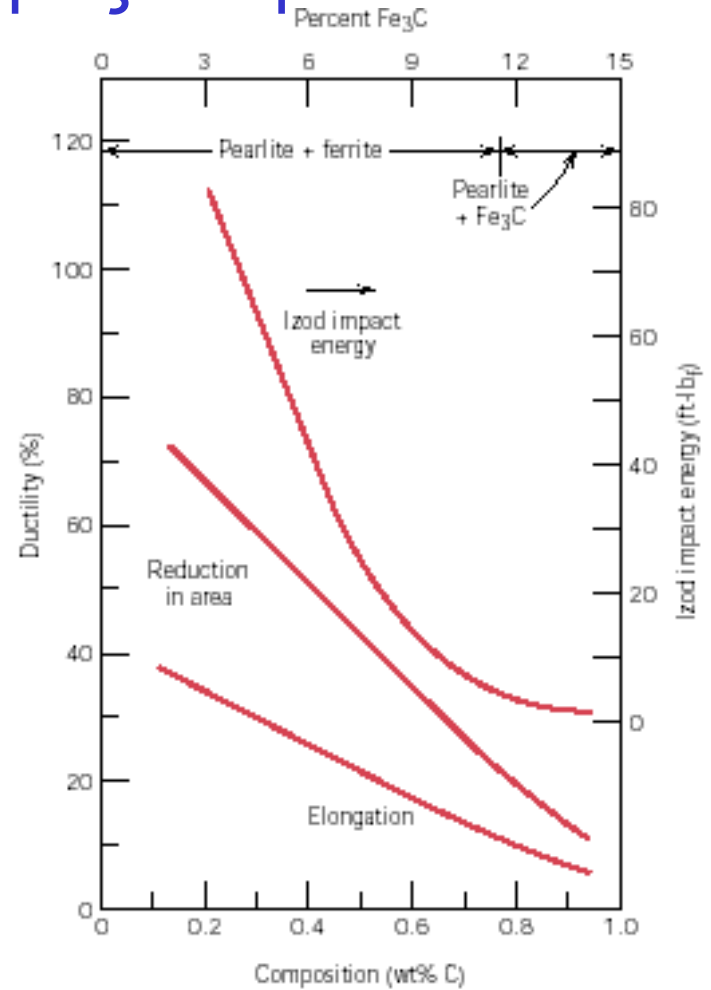
Σκληρότητα συναρτήσει της περιεκτικότητας άνθρακα για διάφορες μικροδομές



Μηχανικές ιδιότητες για ανθρακούχους χάλυβες συναρτήσει της περιεκτικότητας άνθρακα

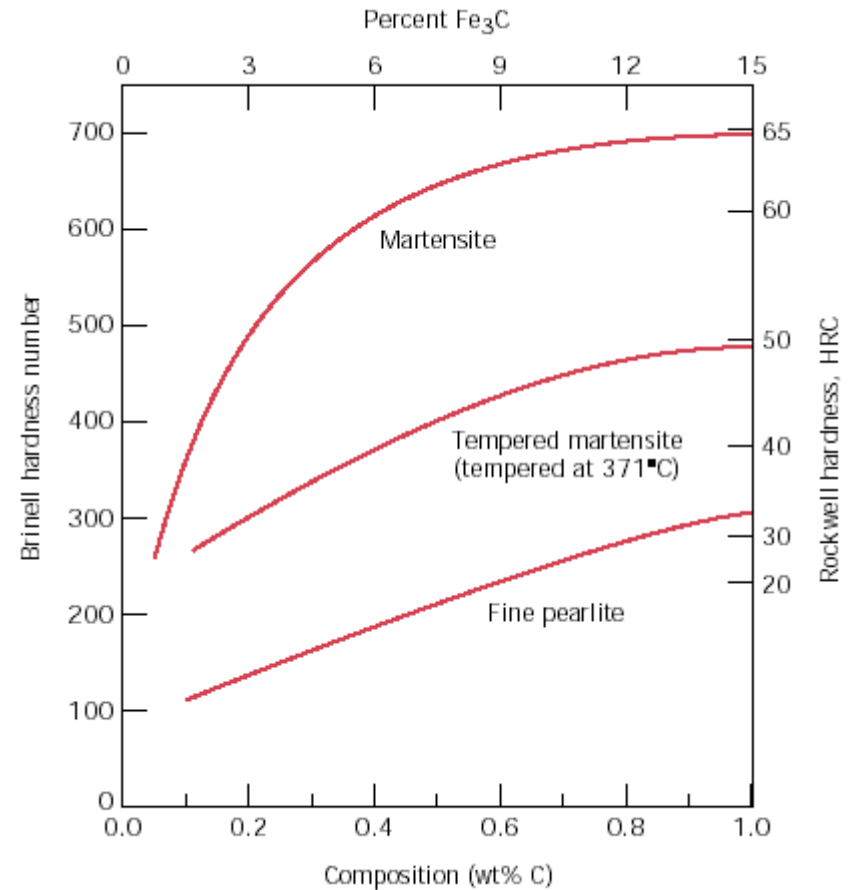
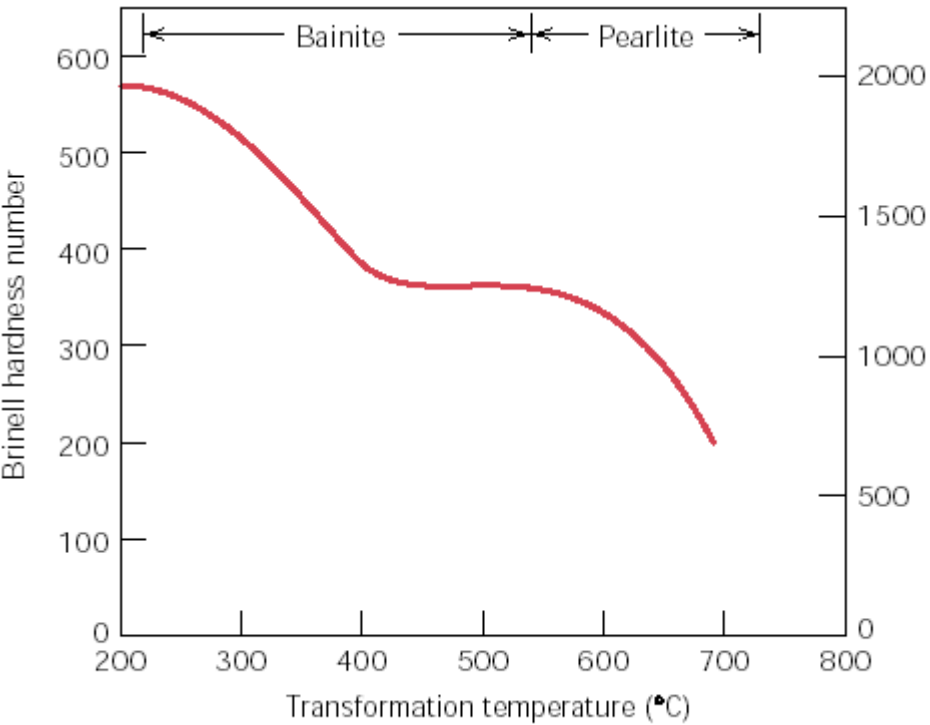


(a)

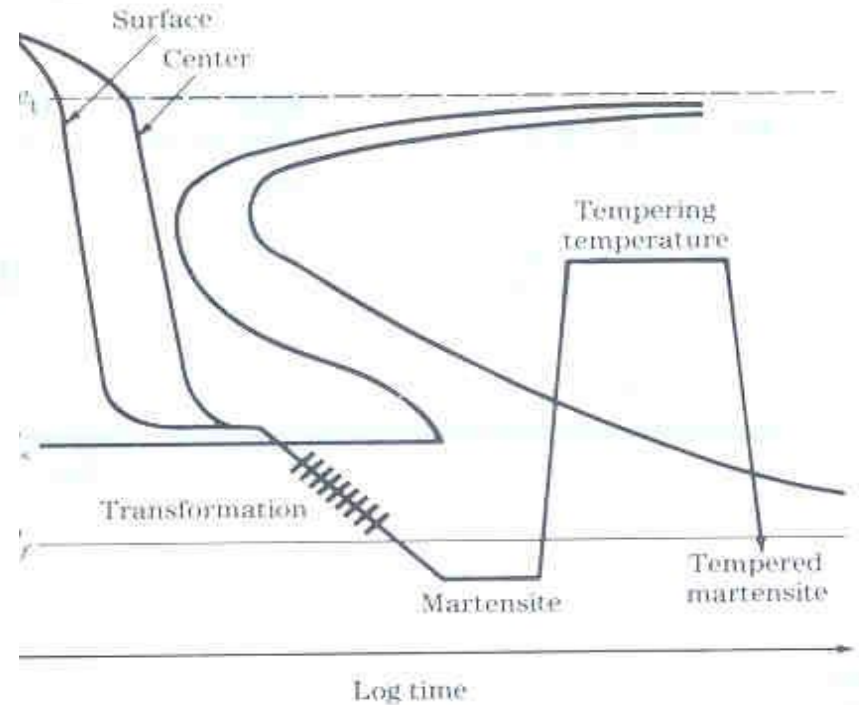
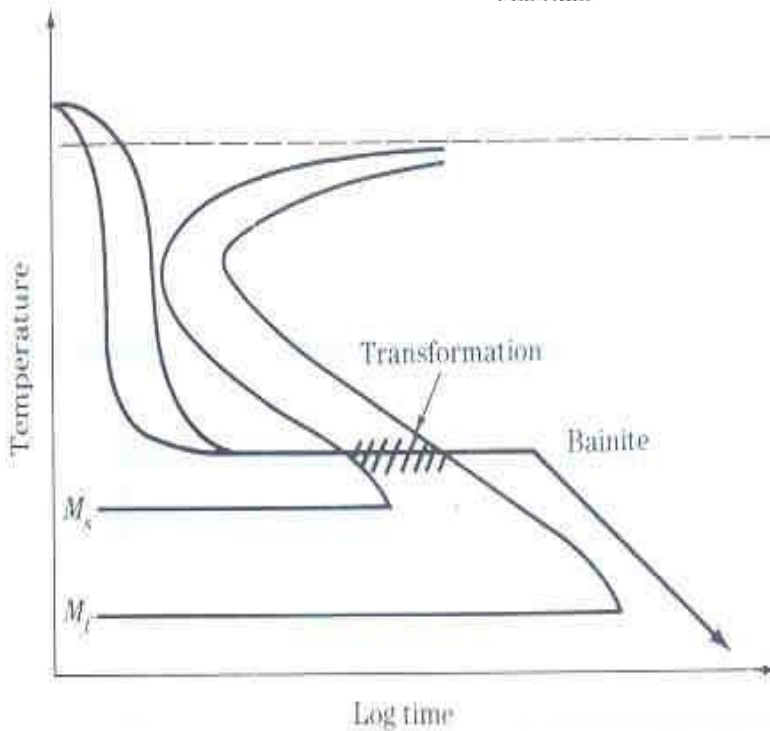
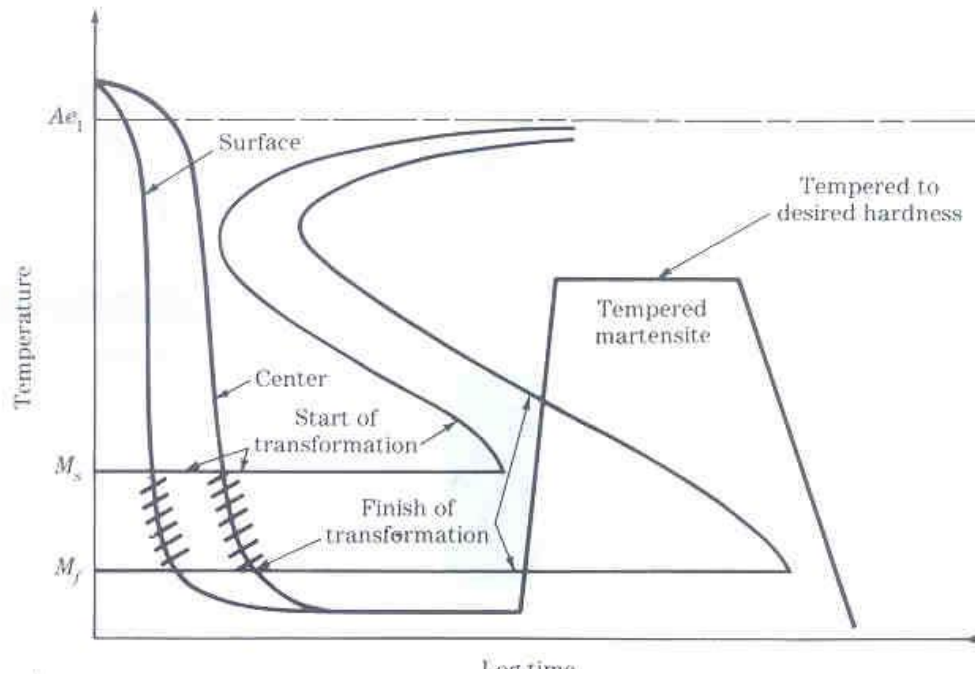


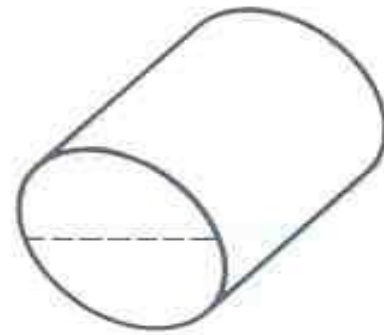
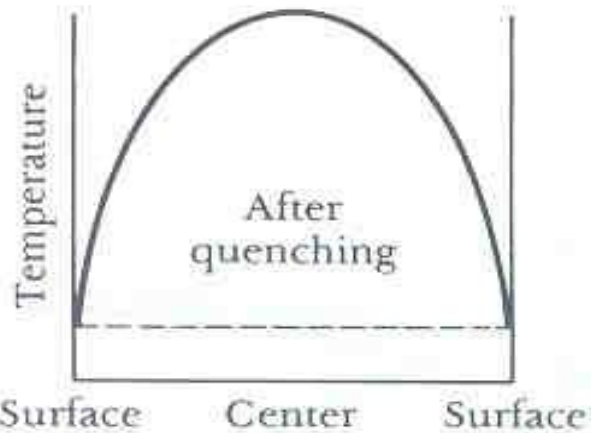
(b)

Μηχανική συμπεριφορά ανθρακούχων χαλύβων

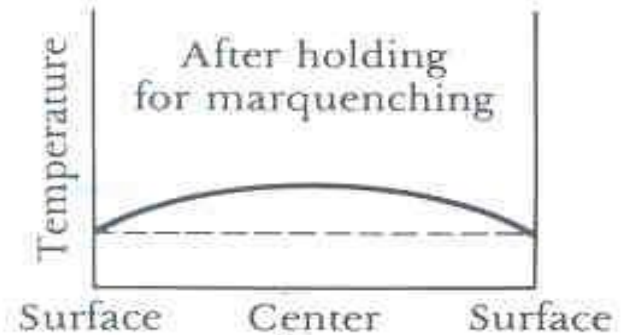
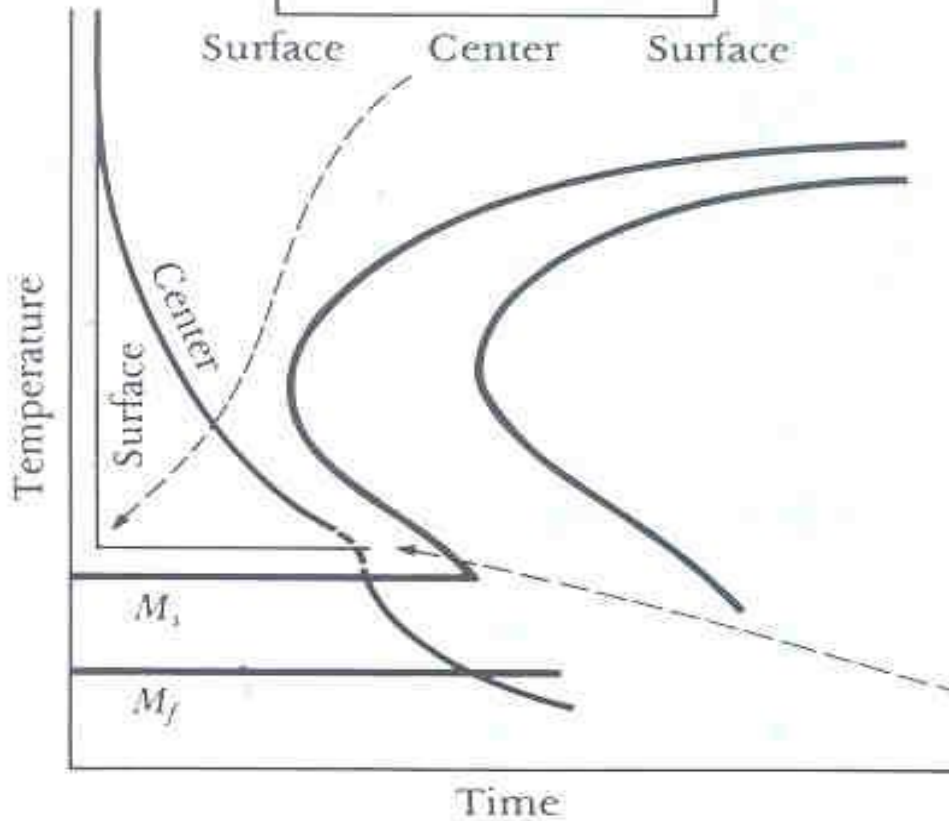


Κλιμακωτή βαφή Μαρτενσική Μπαινιτική



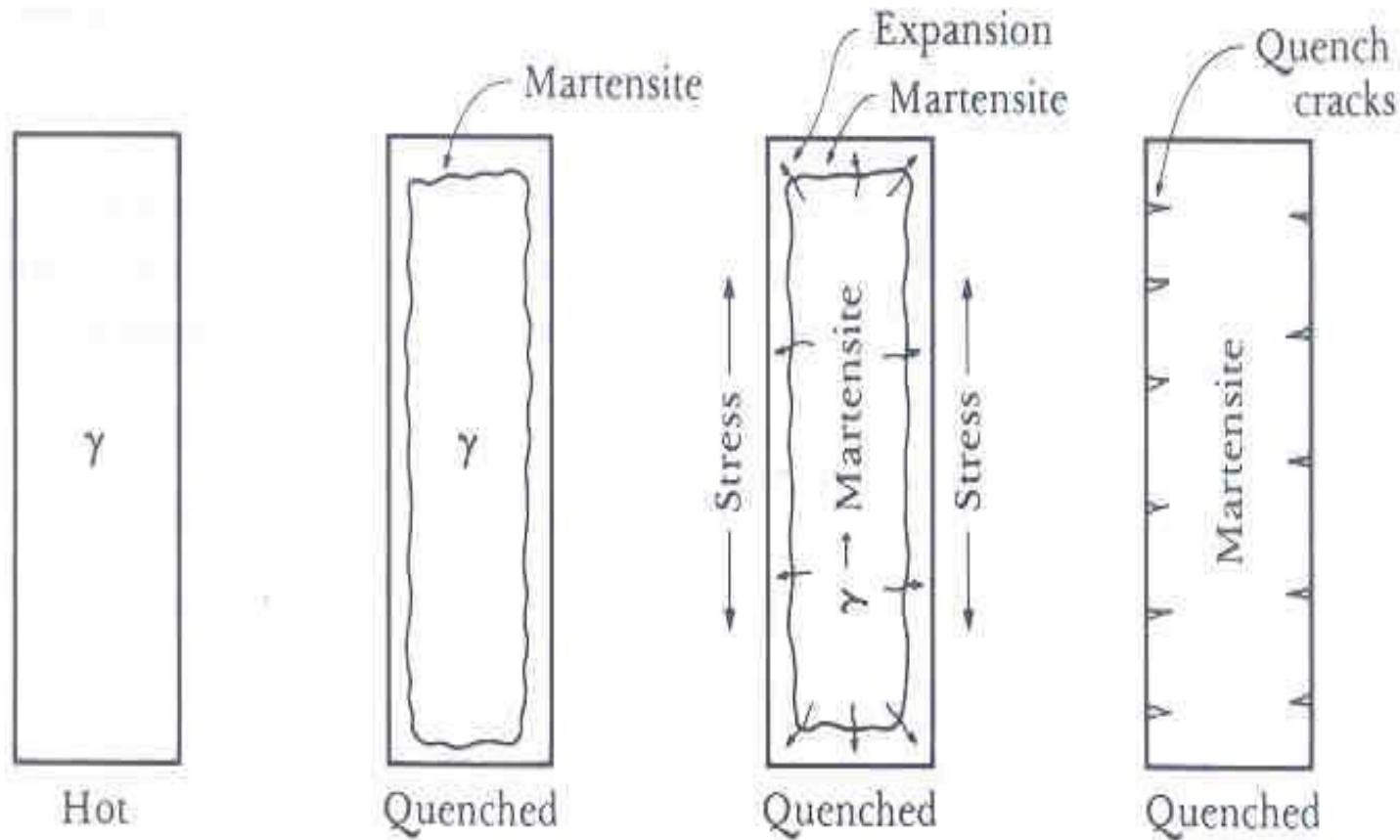


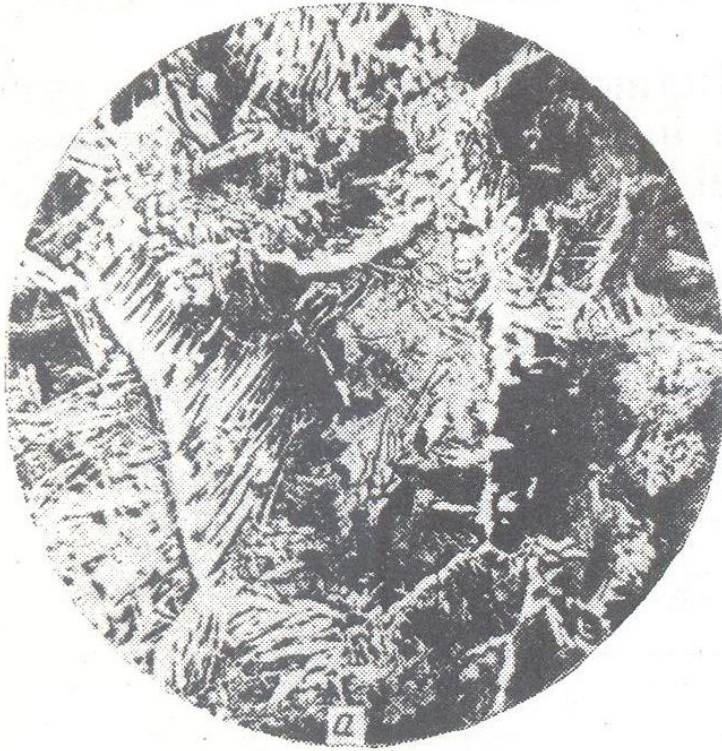
**Κλιμακωτή βαφή
Μαρτενσιτική**



Προβλήματα που παρουσιάζονται στο υλικό κατά τις θερμικές τους κατεργασίες.

Οι μακροσκοπικές βλάβες που παρουσιάζονται στη δομή του υλικού είναι αναστρέψιμες;





Υπερθέρμανση



Εξανθράκωση

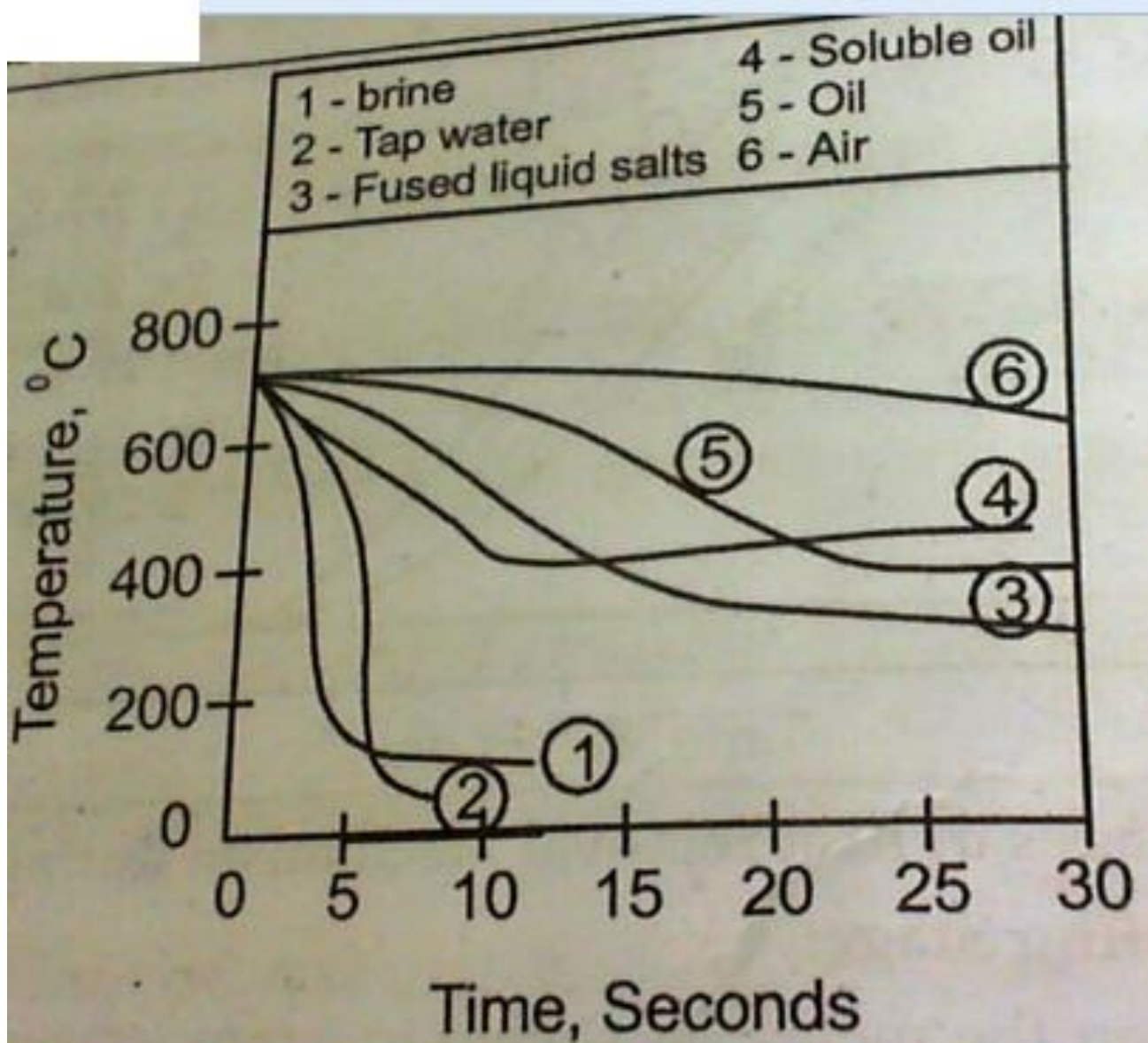
| Ατέλεια | Αιτία | Μέτρα για διόρθωση της ατέλειας |
|---|---|--|
| <p>Δημιουργία χονδροκόκκης δομής</p> | <p>Θέρμανση για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από επιτρεπόμενες</p> | <p>Εξάλειψη με ανόπτηση και εξομάλυνση</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Τήξη ορίων κόκκων ✓ Περιοχές πλούσιες σε άνθρακα ✓ Εισαγωγή αερίων ✓ Δημιουργία οξειδίων του σιδήρου | <p>Θέρμανση για μεγάλο χρονικό διάστημα κοντά στο σημείο τήξεως του μέταλλου</p> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Δεν εξαλείφεται ✓ Περιορίζεται με κατάλληλη ανόπτηση |
| <p>Οξειδωση επιφάνειας</p> | <p>Οξειδωτική ατμόσφαιρα στο φούρνο θέρμανσης</p> | <p>Πρόληψη:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Θέρμανση σε αδρανή ατμόσφαιρα ✓ Θέρμανση σε τήγμα αλάτων ✓ Κάλυψη της επιφάνειας με κεραμικές επικαλύψεις |

| Ατέλεια | Αιτία | Μέτρα για διόρθωση της ατέλειας |
|--|---|--|
| <p>Εξανθράκωση:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Καύση του άνθρακα της επιφάνειας ✓ Μικρότερη σκληρότητα μετά τη βαφή , χαμηλότερο όριο κόπωσης | <p>Οξειδωτική ατμόσφαιρα στο φούρνο θέρμανσης</p> | <p>✓ Πρόληψη:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Θέρμανση σε αδρανή ατμόσφαιρα ✓ Θέρμανση σε τήγμα αλάτων ✓ Κάλυψη της επιφάνειας με κεραμικές επικαλύψεις ✓ Διόρθωση ✓ Αφαίρεση της εξανθρακωμένης στοιβάδας |
| <p>Δημιουργία ρωγμών κατά την απότομη ψύξη</p> <p>Μπορεί να είναι επιφανειακές ή εσωτερικές , εμφανίζονται στα όρια των κόκκων και έχουν μορφή Ζικ-ζακ</p> | <p>Οφείλονται στις εσωτερικές τάσεις λόγω σχηματισμού του μαρτενσίτη</p> | <p>Δεν διορθώνεται</p> <p>Πρόληψη</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Αποφυγή απότομων γωνιών προεξοχών , απότομων μεταβολών του πάχους ✓ Δεν πρέπει να υπάρχουν τάσεις κατά την βαφή, πρέπει να έχει προηγηθεί ανόπτηση ✓ Θερμανση σε καταλληλη θερμοκρασία ✓ Κλιμακωτή βαφή ✓ Επαναφορά μετα τη βαφή |
| <p>Παραμόρφωση και μεταβολή του όγκου κατά τη βαφή</p> | <p>Αύξηση του όγκου λόγω σχηματισμού του Μαρτενσίτη</p> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Χρησιμοποίηση χαλύβων με μεγάλη επιδεκτικότητα βαφής ✓ Εφαρμογή επιφανειακής σκλήρυνσης |

Μέσα που χρησιμοποιούνται για τις θερμικές κατεργασίες κατά σειρά δραστικότητας

- Αέρας
- Λάδια
- Γαλακτώματα
- Τηγμένα άλατα
- Νερό
- Διάλυμα NaCl σε νερό (10% κ.β)

Δραστικότητα λουτρών βαφής



Χαλυβοκράματα

Κύριες προσθήκες: **Mn, Ni, Cr**

Δευτερεύουσες προσθήκες: **Mo, W, V, Co, Al, Pb, Ti, Nb**

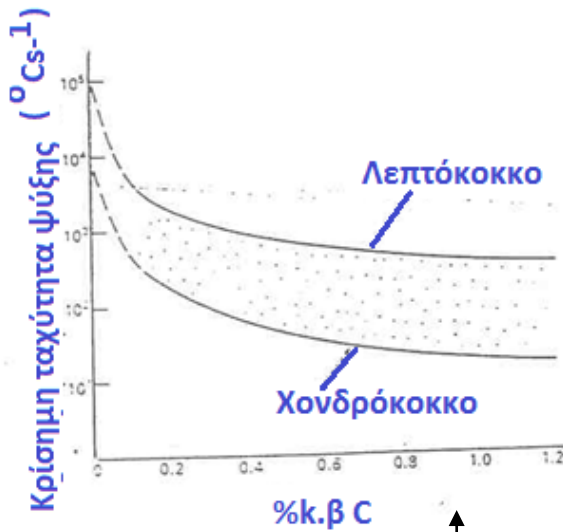
- Βελτιωμένη μηχανική αντοχή
- Αντοχή στη διάβρωση
- Βελτίωση της επιδεκτικότητας βαφής
- Σταθεροποίηση φάσεων (πχ Ωστενίτη)
- Υφίστανται θερμομηχανική κατεργασία

Μειονεκτήματα ανθρακούχων χαλύβων

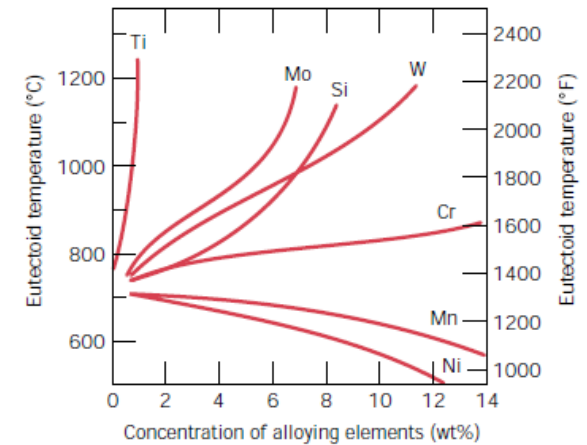
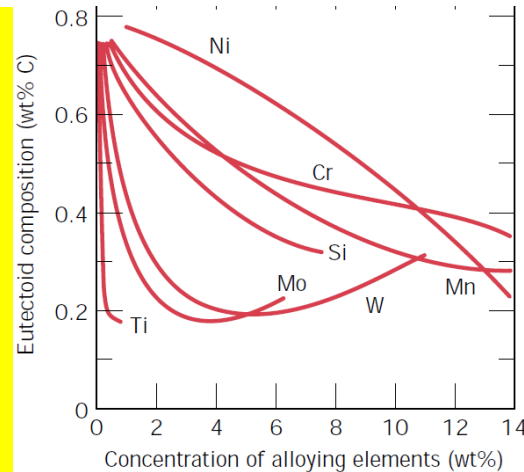
- Περιορισμένη δυνατότητα σκλήρυνσης
- Ρηγματώσεις κατά τη βαφή
- Μικρή επιδεκτικότητα βαφής
- Μικρή αντίσταση στη διάβρωση
- Μετάπτωση από την πλαστική στη ψαθυρή περιοχή

ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΦΗΣ

Επίδραση των κραματικών στοιχείων στην θερμοκρασία και στην περιεκτικότητα άνθρακα στο ευτηκτοειδές σημείο



Επίδραση της περιεκτικότητας άνθρακα και του μεγέθους των κόκκων στην κρίσιμη ταχύτητα βαφής των ανθρακούχων χαλύβων

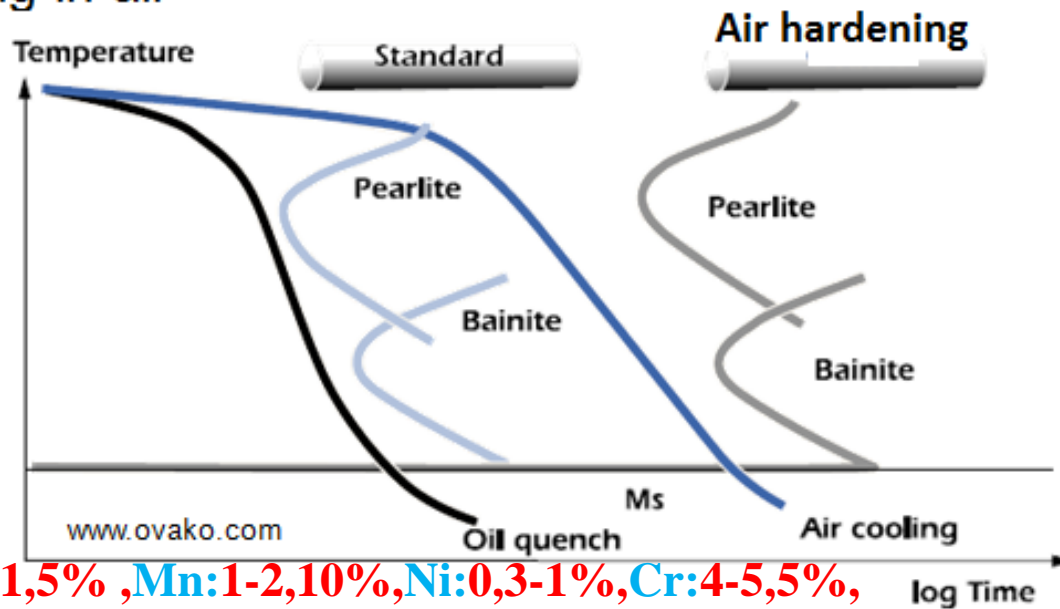


Mn, Ni : Στοιχεία σταθεροποίησης ωστενίτη
W, Mo, Si, Ti: Στοιχεία σταθεροποίησης φερρίτη

Χαλυβοκράματα αυτόβαφα ή μαρτενσιτικά

Χάλυβες βαφής στον αέρα: Χάλυβες οι οποίοι περιέχουν κατάλληλη ποσότητα άνθρακα και άλλα κραματικά στοιχεία ώστε να αποκτούν δομή μαρτενσίτη ψυχόμενα στον αέρα

- *Air-Hardening Steel:* steel containing sufficient carbon and other alloying elements to fully harden to martensite during cooling in air



**C:0,95-1,5% ,Mn:1-2,10%,Ni:0,3-1%,Cr:4-5,5% ,
Mo:0,9-1,7%,Si:0,5-1,5,W:0-0,5% ,V:0-1%**

Γιατί αυτόβαφα χαλυβοκράματα

Why Air-Hardening Steels?

- Ελαττώνεται η στρέβλωση των εξαρτημάτων που υφίστανται θερμική κατεργασία βαφής σε νερό ή λάδι
- Ελαττώνεται ο αριθμός των βημάτων παραγωγής
- Επιπροσθέτως αποφεύγεται η χρήση των λουτρών βαφής όπως λάδι, νερό, νερό με άλατα , γεγονός που βελτιώνει την ασφάλεια παραγωγής και προστατεύει το περιβάλλον



- ✓ Μειώνεται το συνολικό κόστος παραγωγής
- ✓ Τα test κόπωσης δείχνουν σημαντική υπεροχή των αυτόβαφων χαλυβοκραμάτων έναντι αυτών με συμβατική βαφή

Χαλυβοκράματα ωστενιτικά

Τα στοιχεία Ni, Mn σταθεροποιούν τον ωστενίτη. Η παρουσία τους στο χαλυβόκρμα διευρύνει τις περιοχές του ωστενίτη. Σε κατάλληλη περιεκτικότητα η ωστενιτική περιοχή καλύπτει ευρεία περιοχή του διαγράμματος φάσεων στο φάσμα των θερμοκρασιών μέχρι 724 C με αποτέλεσμα το κράμα να παραμένει με ωστενιτική δομή.

Πχ ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες