

Φυσική

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

Ενότητα 8: Μετασχηματισμοί φάσεων στους χάλυβες

Γρηγόρης Ν. Χαϊδεμενόπουλος
Πολυτεχνική Σχολή



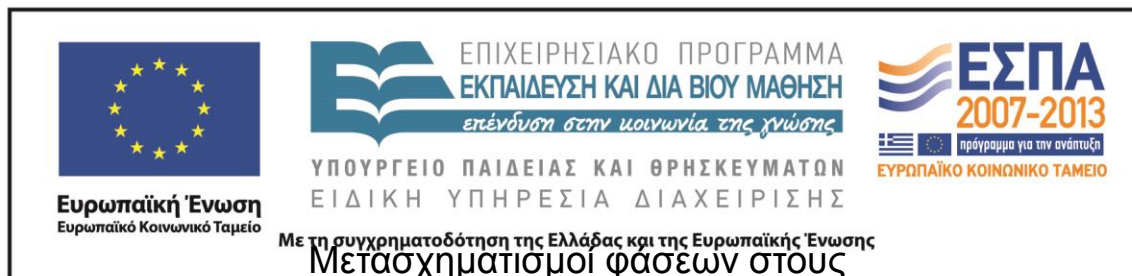
Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σκοποί ενότητας

- Να περιγράψουμε τους ισόθερμους μετασχηματισμούς ξκαι τα διαγράμματα IT (TTT)
- Να περιγράψουμε τους μετασχηματισμούς συνεχούς ψύξεως και τα διαγράμματα CCT
- Να περιγράψουμε την έννοια της εμβαπτότητας των χαλύβων
- Να περιγράψουμε την επαναφορά των χαλύβων

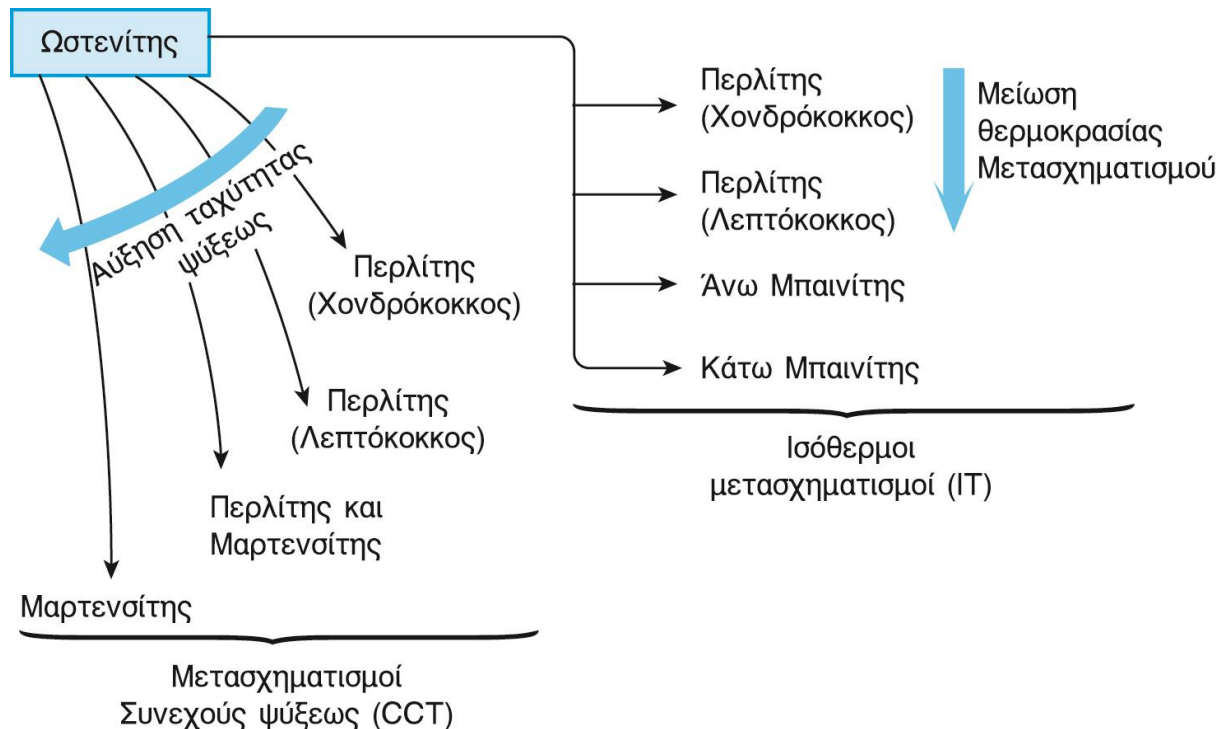
Περιεχόμενα ενότητας

1. Μετασχηματισμοί του ωστενίτη
2. Ισόθερμοι μετασχηματισμοί – Κινητική
3. Αθερμικός μαρτενσιτικός μετασχηματισμός
4. IT ευτηκτοειδούς χάλυβα
5. Ισόθερμοι μετασχηματισμοί τεσσάρων δοκιμίων από ευτηκτοειδή χάλυβα (Fe-0.8C)
6. Διάγραμμα IT για υποευτηκτοειδή χάλυβα
7. Διαγράμματα συνεχούς ψύξεως
8. Μετασχηματισμοί και Ιδιότητες
9. Εμβαπτότητα
10. Μέθοδος Jominy
11. Επαναφορά χαλύβων

Ενότητα 2: Κρυσταλλική Δομή των Μετάλλων

Μετασχηματισμοί του ωστενίτη

1 (1)

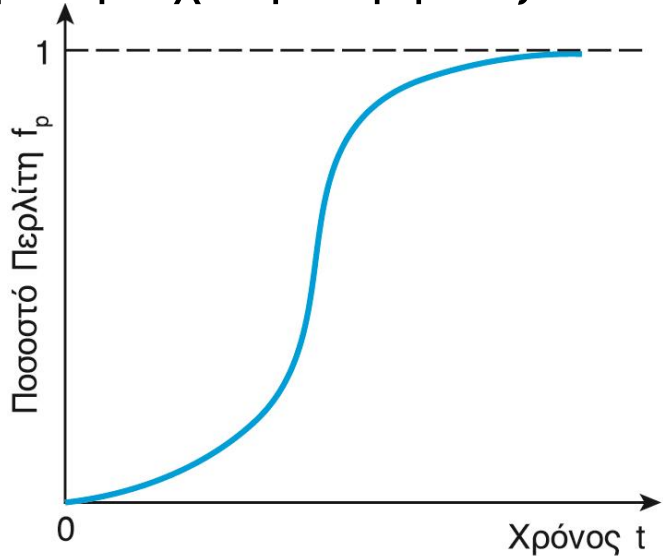


Στους χάλυβες η φάση που μετασχηματίζεται είναι ο ωστενίτης. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με ισόθερμα είτε με συνεχή ψύξη. Στο διάγραμμα φαίνονται τα προϊόντα των μετασχηματισμών σε ευτηκτοειδή χάλυβα.

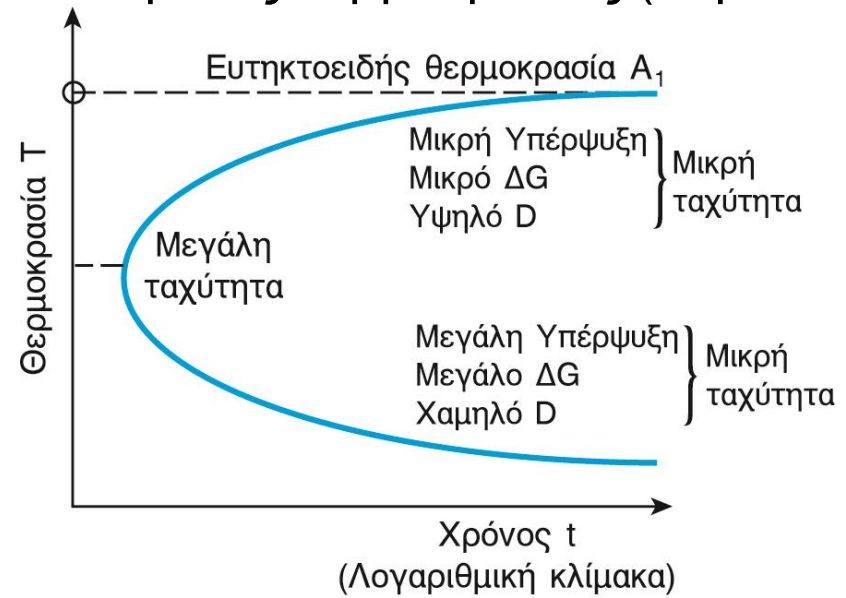
Μετασχηματισμοί φάσεων στους χάλυβες

Ισόθερμοι μετασχηματισμοί – Κινητική 2 (1)

Σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες η ταχύτητα είναι μικρή (μεγάλοι χρόνοι).
Η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες (περλιτική μύτη)



(α)

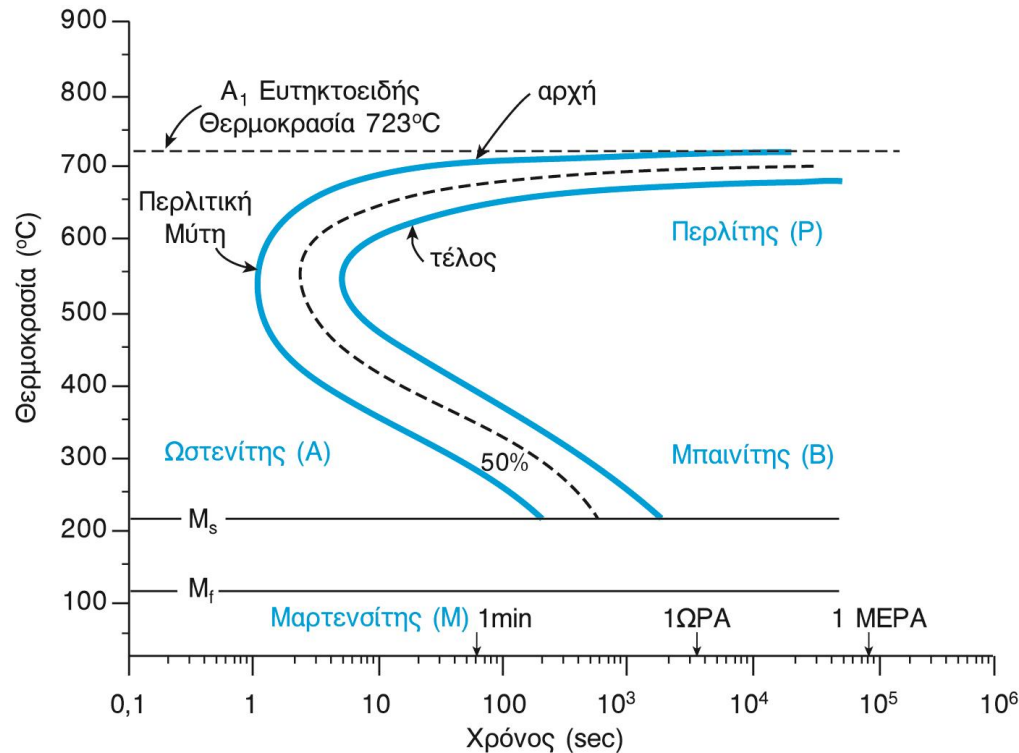


(β)

(α) Καμπύλη ισόθερμου μετασχηματισμού ωστενίτη σε περλίτη. Η ευτηκτοειδής αντίδραση ολοκληρώνεται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτό εξαρτάται από τη θερμοκρασία (β) επίδραση της θερμοκρασίας στον μετασχηματισμό - Κινητική τύπου C.

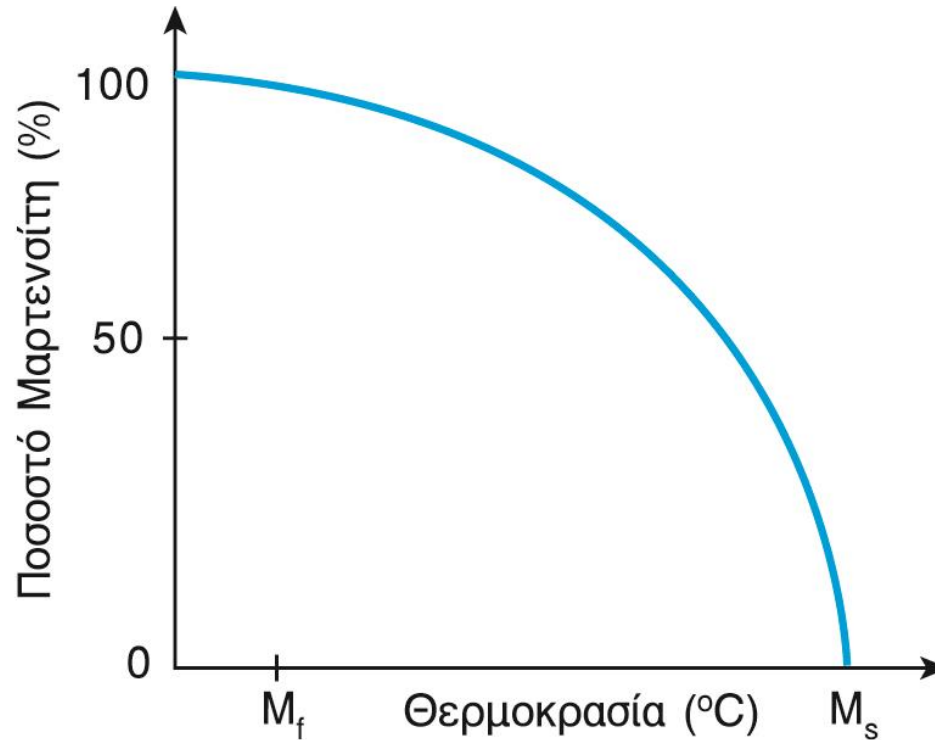
Ισόθερμοι μετασχηματισμοί – Κινητική 2 (2)

Διάγραμμα ισόθερμων μετασχηματισμών (IT) για ευτηκτοειδή χάλυβα (Fe-0.8C)



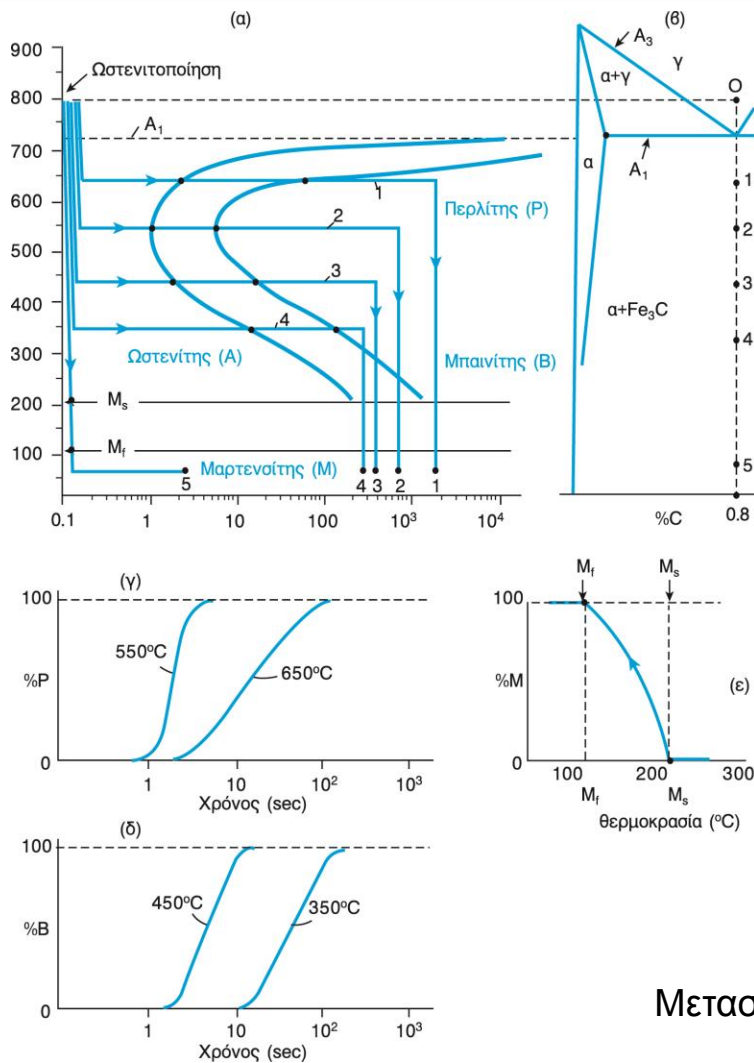
Στο διάγραμμα αυτό φαίνονται οι γραμμές έναρξης και λήξης του σχηματισμού περλίτη (ευτηκτική αντίδραση), του μπαϊνίτη και του μαρτενσίτη. Στον μαρτενσίτη οι γραμμές M_s και M_f είναι ευθείες γιατί ο μετασχηματισμός είναι μη διαχυτικός.

Αθερμικός μαρτενσιτικός μετασχηματισμός 3 (1)



Το ποσοστό του μαρτενσίτη δεν αυξάνεται με τον χρόνο. Ο μαρτενσιτικός μετασχηματισμός είναι αθερμικός: το ποσοστό του μαρτενσίτη αυξάνεται με την πτώση της θερμοκρασίας από την M_s στην M_f .

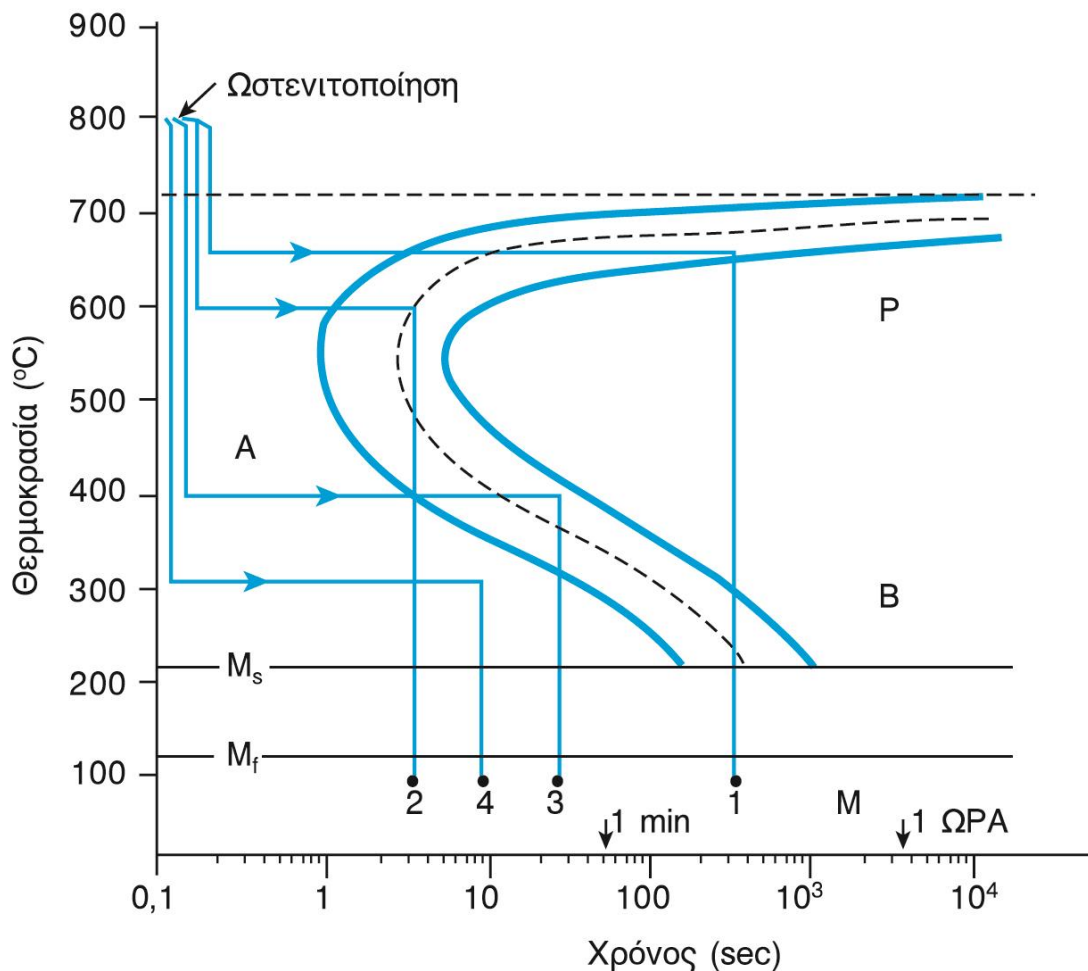
IT ευτηκτοειδούς χάλυβα 4 (1)



(α) Διάγραμμα IT ευτηκτοειδούς χάλυβα, (β) τμήμα του διαγράμματος φάσεων, (γ) ισόθερμος μετασχηματισμός ωστενίτη σε περλίτη στους 650 και 550°C, (δ) ισόθερμος μετασχηματισμός ωστενίτη σε μπαϊνίτη στους 450 και 350°C, (ε) ποσοστό μαρτενσίτη σε συνάρτηση με την θερμοκρασία

Μετασχηματισμοί φάσεων στους χάλυβες

Ισόθερμοι μετασχηματισμοί τεσσάρων δοκιμίων από ευτηκτοιδή χάλυβα (Fe-0.8C) 5 (1)



Δοκίμιο 1: 90% περλίτης και 10% μαρτενσίτης

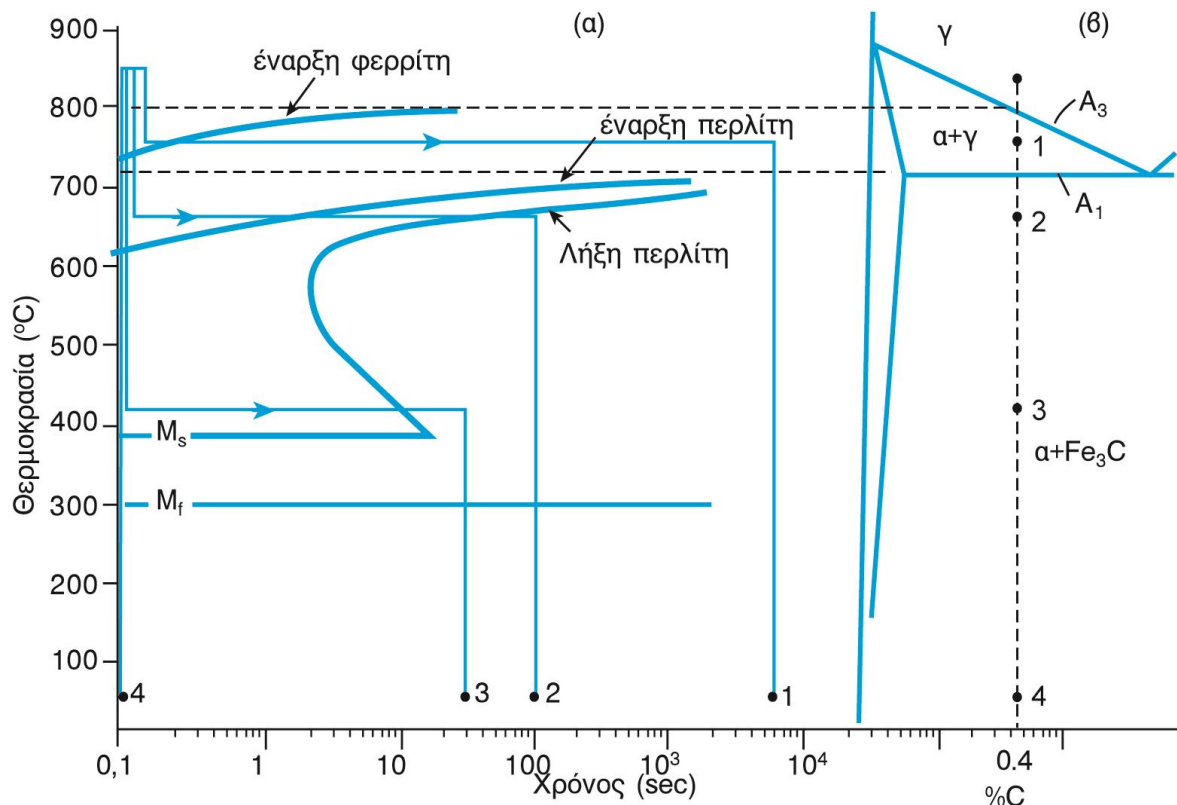
Δοκίμιο 2: 50% περλίτης και 50% μαρτενσίτης

Δοκίμιο 3: 80% άνω μπαϊνίτης και 20% μαρτενσίτης

Δοκίμιο 4: 100% μαρτενσίτης με διακοπτόμενη βαφή

Διάγραμμα IT για υποευτηκτοειδή χάλυβα 6 (1)

Διάγραμμα IT για υποευτηκτοειδή χάλυβα (Fe-0.4C) με μετασχηματισμούς τεσσάρων δοκιμίων και τμήμα του διαγράμματος φάσεων.

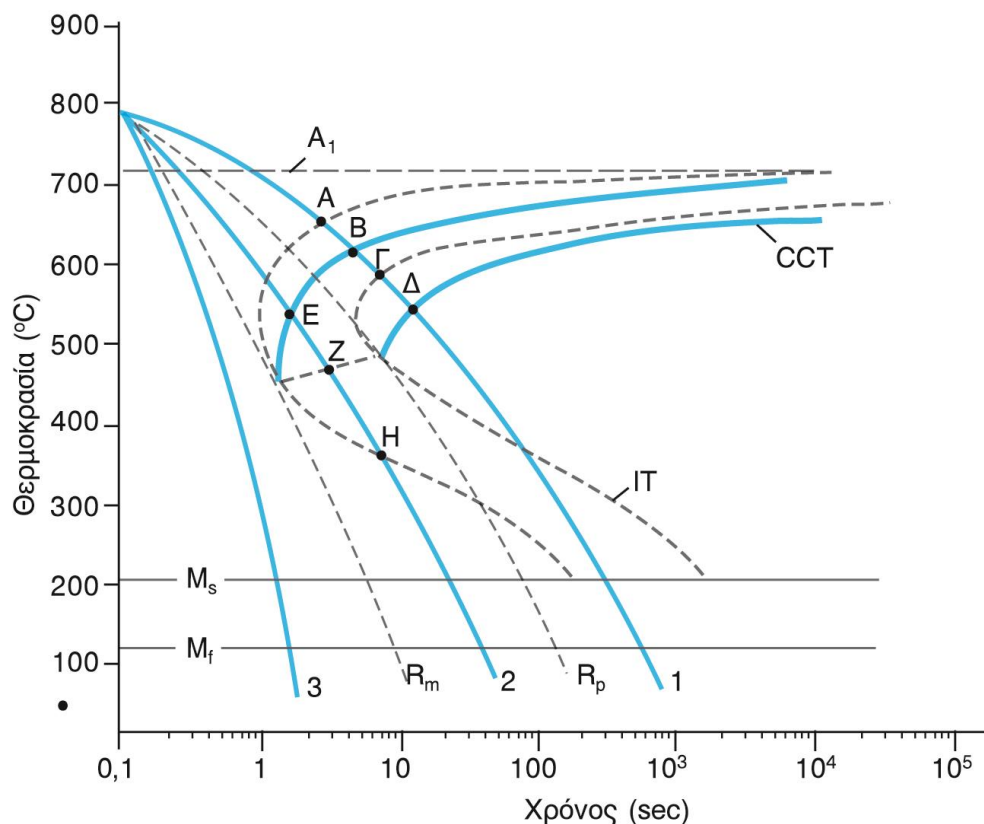


Εκτός από τις γραμμές του περλίτη υπάρχει και η γραμμή έναρξης του προευτηκτοειδούς φερρίτη. Το διάγραμμα έχει μετατοπιστεί σε μικρότερους χρόνους σε σχέση με αυτό του ευτηκτοειδούς χάλυβα.

Μετασχηματισμοί φάσεων στους χάλυβες

Διαγράμματα συνεχούς ψύξεως 7 (1)

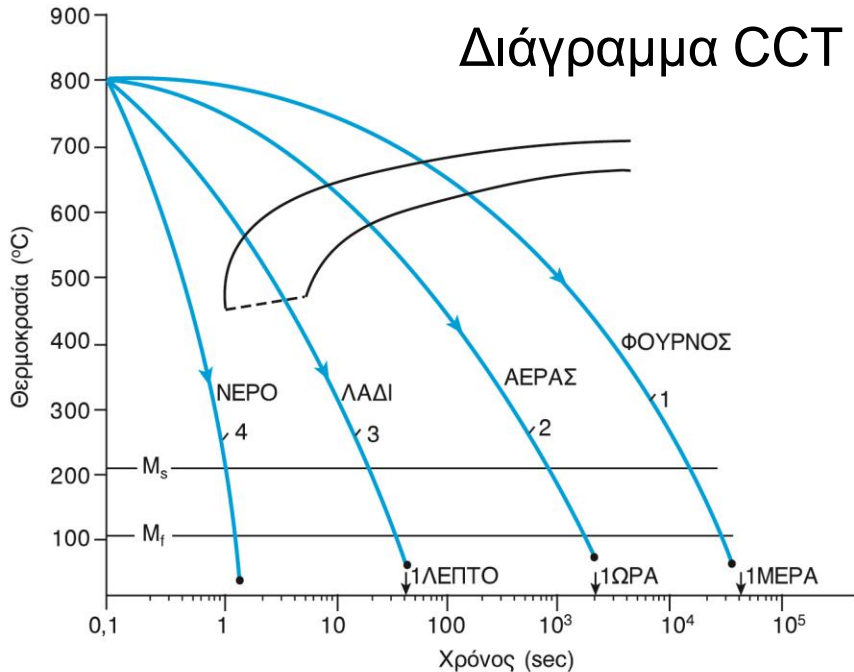
Διάγραμμα CCT (πλήρεις γραμμές) και διάγραμμα IT (διακεκομμένες γραμμές) για ευτηκτοιδή χάλυβα (Fe-0.8C).



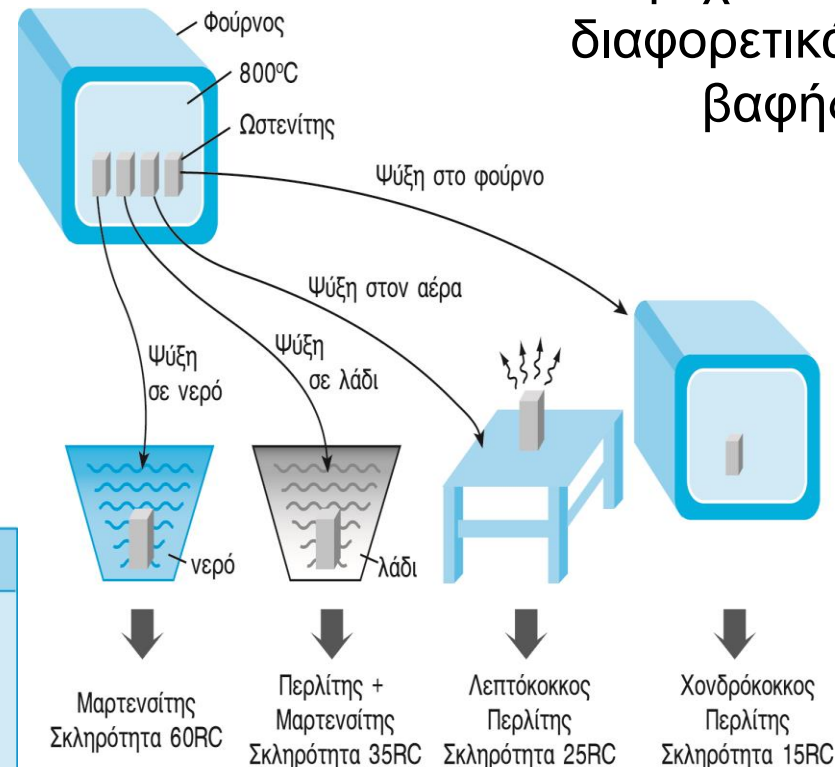
Διακρίνονται οι κρίσιμοι ρυθμοί ψύξεως RM και RP . Με ψύξη γρηγορότερη από την RM έχουμε 100% μαρτενίτη. Με ψύξη αργότερη από την RP έχουμε 100% περλίτη. Με ενδιάμεσες ψύξεις έχουμε μίγματα περλίτη και μαρτενσίτη.

Μετασχηματισμοί και Ιδιότητες 8 (1)

Διάγραμμα CCT ευτηκτοειδούς χάλυβα



τέσσερα δοκίμια που ψύχονται σε διαφορετικά μέσα βαφής

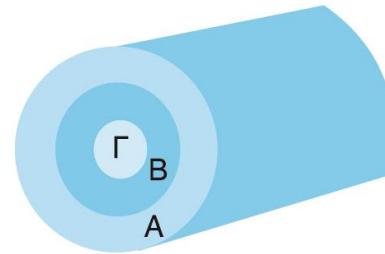
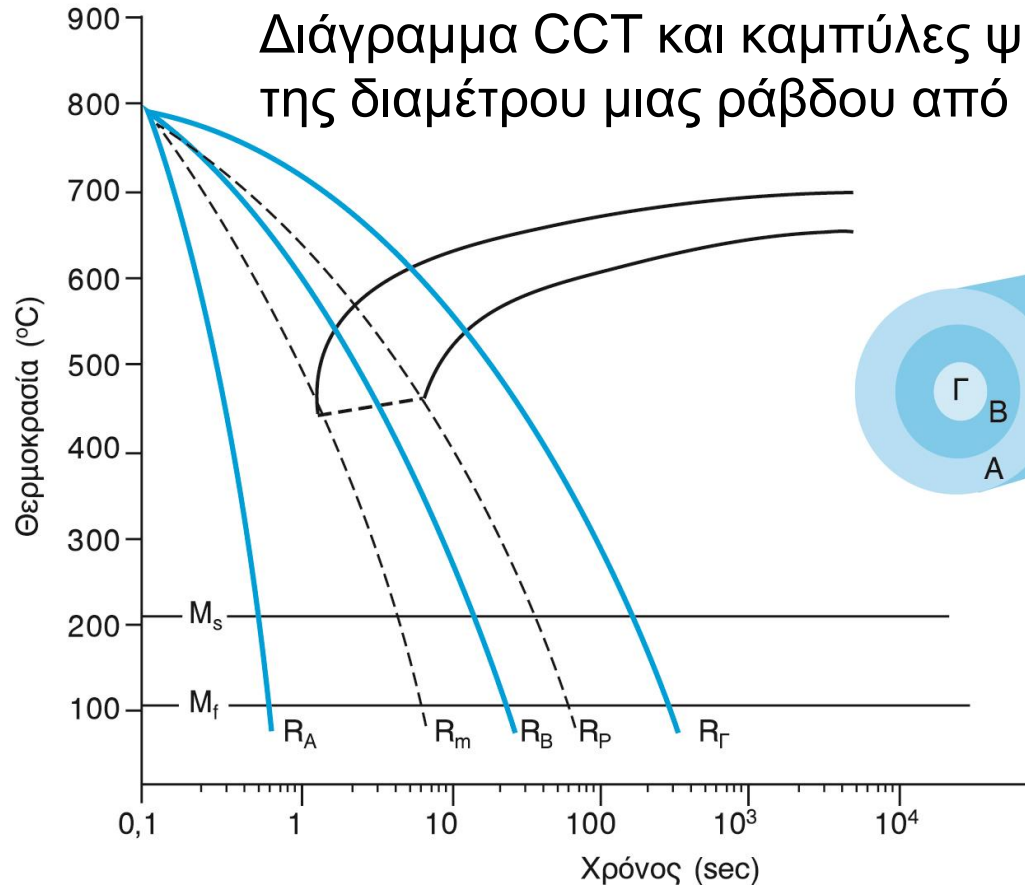


Δοκίμιο	Μέσο Βαφής	Σκληρότητα (RC)	Επιμήκυνση (%)
1	Μέσα στο φούρνο	15	30
2	Αέρας	25	20
3	Λάδι	35	10
4	Νερό	60	

Μετασχηματισμοί φάσεων στους χάλυβες

Εμβαπτότητα 9 (1)

Διάγραμμα CCT και καμπύλες ψύξεως για τρεις περιοχές κατά μήκος της διαμέτρου μιας ράβδου από ευτηκτοιδή χάλυβα (Fe-0.8C).

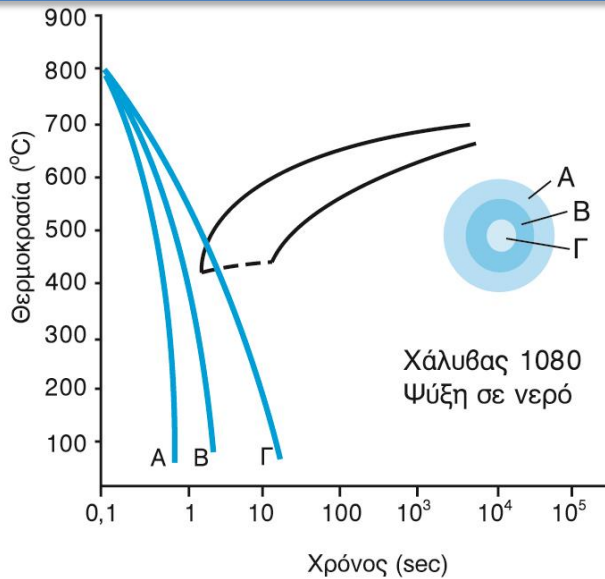


Βαφή σε λάδι

Δεν σχηματίζεται μαρτενσίτης σε όλη τη διάμετρο, παρά μόνο στην επιφάνεια (A).

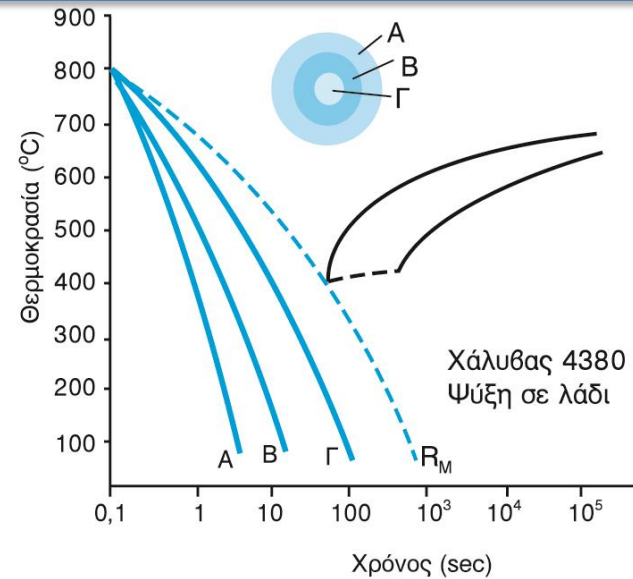
Μετασχηματισμοί φάσεων στους
χάλυβες

Εμβαπτότητα 9 (2)



(α)

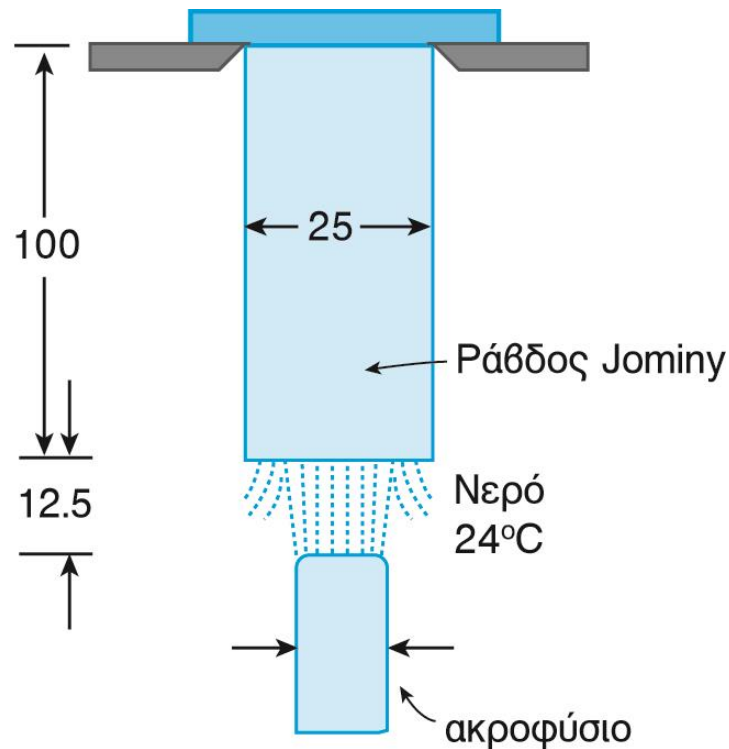
Χάλυβας 1080 με ψύξη σε νερό. Τώρα σχηματίστηκε μαρτενσίτης σε μεγαλύτερο βάθος απ' ό τι με την ψύξη στο λάδι. Όμως η ψύξη στο νερό δημιουργεί ρηγματώσεις και στρεβλώσεις. Λέμε ότι ο χάλυβας έχει περιορισμένη εμβαπτότητα



(β)

Χάλυβας 4380 με ψύξη σε λάδι. Σχηματίζεται μαρτενσίτης σε όλη τη διάμετρο με ηπιότερη ψύξη. Ο χάλυβας 4380 έχει μεγαλύτερη εμβαπτότητα από τον 1080 γιατί έχει κραματικά στοιχεία που επιβραδύνουν την ευτηκτοειδή αντίδραση.

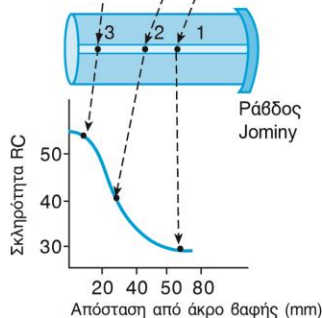
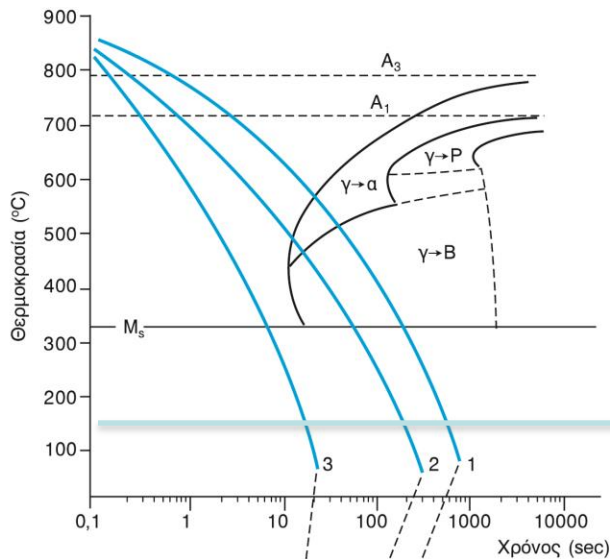
Μέθοδος Jominy 10 (1)



Μετά την πραγματοποίηση της δοκιμής μετράμε την σκληρότητα σε συνάρτηση με την απόσταση από το άκρο βαφής.

Μετασχηματισμοί φάσεων στους
χάλυβες

Μέθοδος Jominy 10 (2)

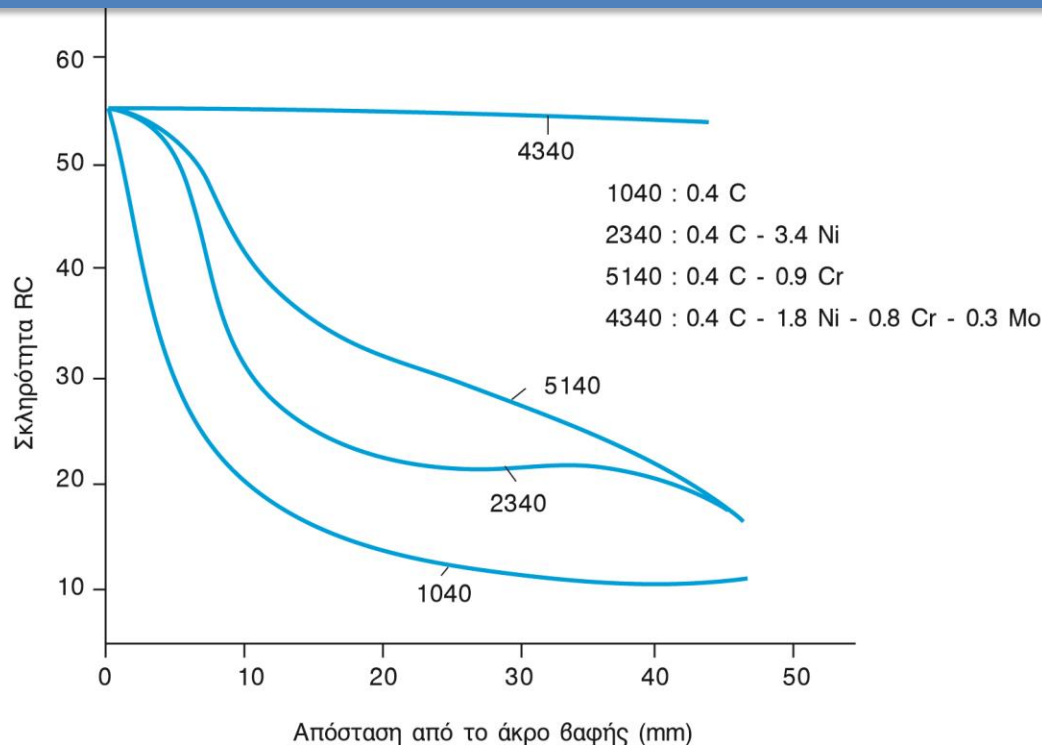


Προσδιορισμός καμπύλης
εμβαπτότητας Jominy και
αντιστοιχία με το διάγραμμα CCT
για τον χάλυβα 4140

Μετράμε την σκληρότητα από το
άκρο βαφής και κατασκευάζουμε
το διάγραμμα εμβαπτότητας

Μετασχηματισμοί φάσεων στους
χάλυβες

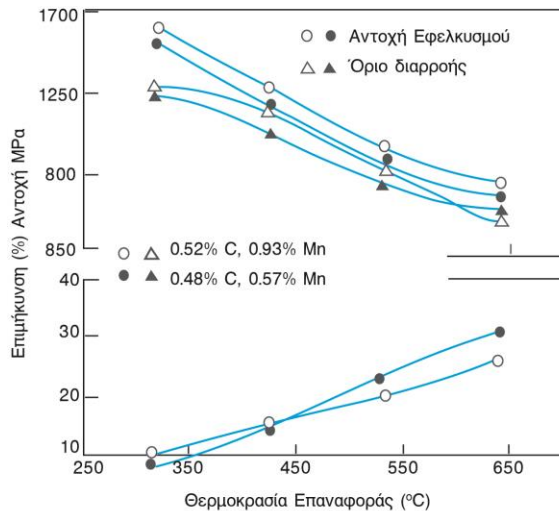
Μέθοδος Jominy 10 (3)



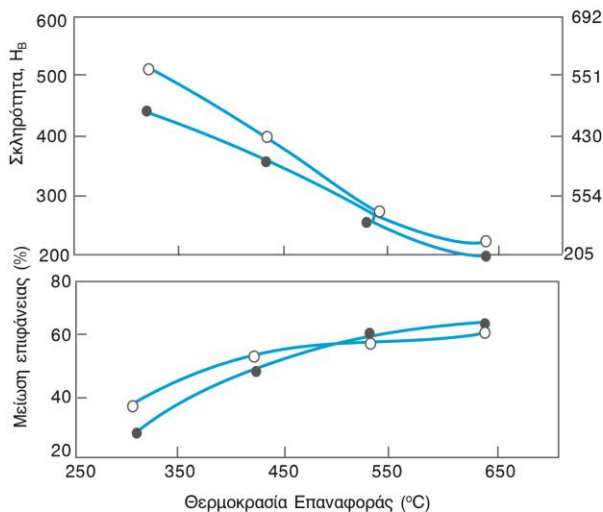
Καμπύλες εμβαπτότητας για τους χάλυβες 1040, 2340, 5140 και 4340 που έχουν ίδια περιεκτικότητα σε άνθρακα (0.4C). Ο χάλυβας 4340 έχει την μεγαλύτερη εμβαπτότητα αφού η σκληρότητα διατηρείται σε μεγάλες αποστάσεις από το άκρο βαφής.

Μετασχηματισμοί φάσεων στους
χάλυβες

Επαναφορά χαλύβων 11 (1)



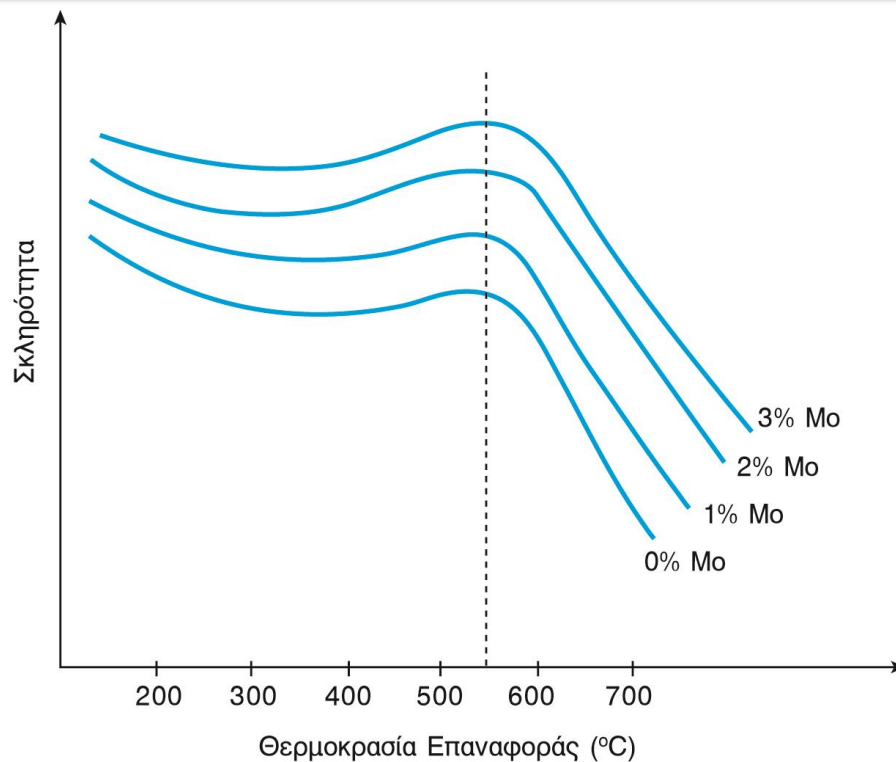
Μετά την βαφή, έχει σχηματιστεί μαρτεσνίτης, ο οποίος είναι μεν σκληρός αλλά ταυτόχρονα είναι ψαθυρός. Έτσι μετά την βαφή ακολουθεί η θερμική κατεργασία της ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ με την οποία αυξάνεται η ολκιμότητα με μια ταυτόχρονη μείωση της σκληρότητας του χάλυβα.



Επίδραση της θερμοκρασίας επαναφοράς στις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα AISI 1050 (Πηγή: Metals Handbook 9th ed., Vol. 1, ASM (1978)).

Μετασχηματισμοί φάσεων στους χάλυβες

Επαναφορά χαλύβων 11 (2)



Επαναφορά και δευτερογενής σκλήρυνση

Σε χάλυβες που περιέχουν καρβιδιογόνα στοιχεία (Cr, V, W) κατά την επαναφορά σχηματίζονται καρβίδια. Τα καρβίδια αυτά αυξάνουν την σκληρότητα και το φαινόμενο ονομάζεται δευτερογενής σκλήρυνση.