

Χαλυβοκράματα

Κύριες προσθήκες: **Mn, Ni, Cr**

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

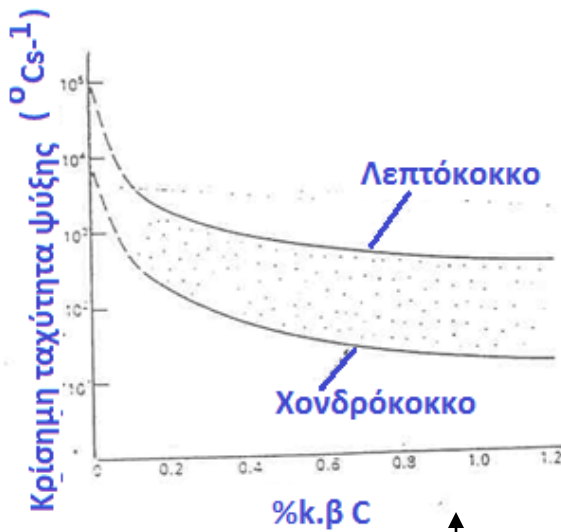
- Βελτιωμένη μηχανική αντοχή
- Αντοχή στη διάβρωση
- Βελτίωση της επιδεκτικότητας βαφής
- Σταθεροποίηση φάσεων (πχ Ωστενίτη)
- Υφίστανται θερμομηχανική κατεργασία

Μειονεκτήματα ανθρακούχων χαλύβων

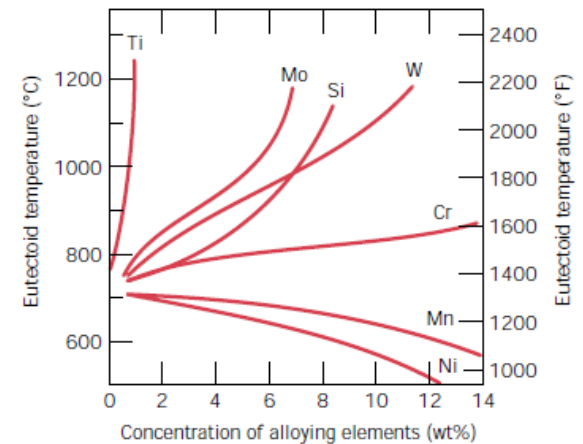
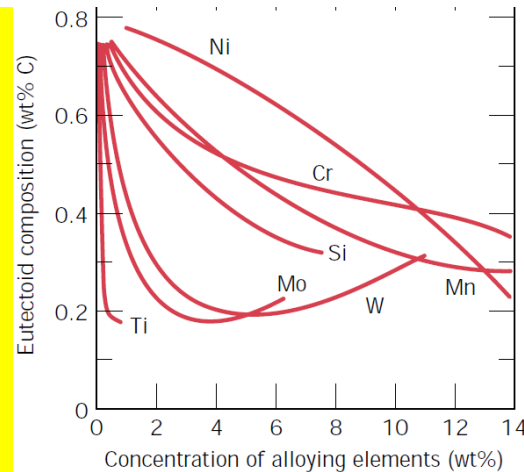
- Περιορισμένη δυνατότητα σκλήρυνσης
- Ρηγματώσεις κατά τη βαφή
- Μικρή επιδεκτικότητα βαφής
- Μικρή αντίσταση στη διάβρωση
- Μετάπτωση από την πλαστική στη ψαθυρή περιοχή

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



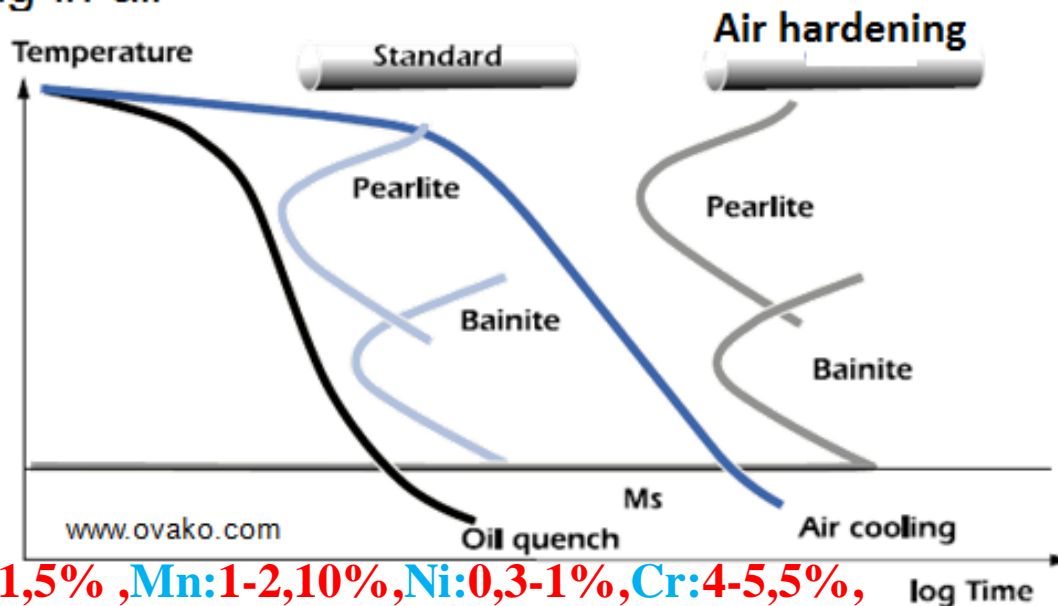
Mn, Ni : Στοιχεία σταθεροποίησης ωστενίτη

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

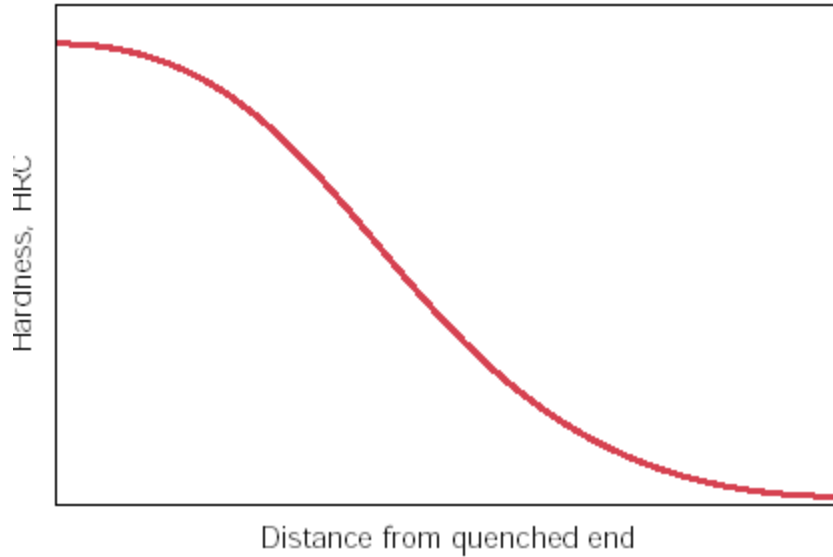
Χαλυβοκράματα ωστενιτικά

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

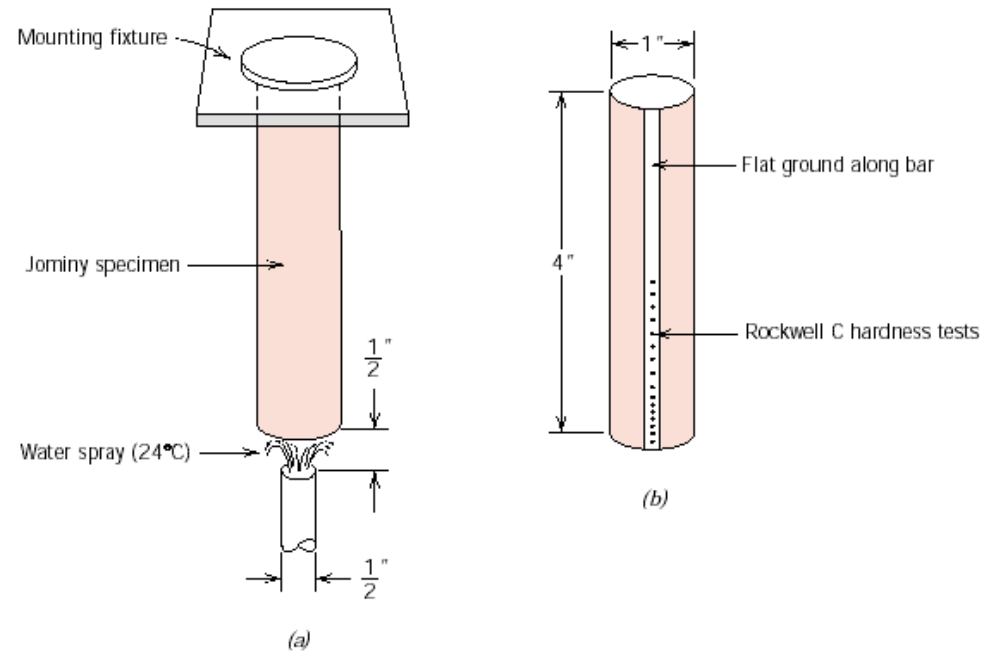
Δοκιμασία

JOMINY

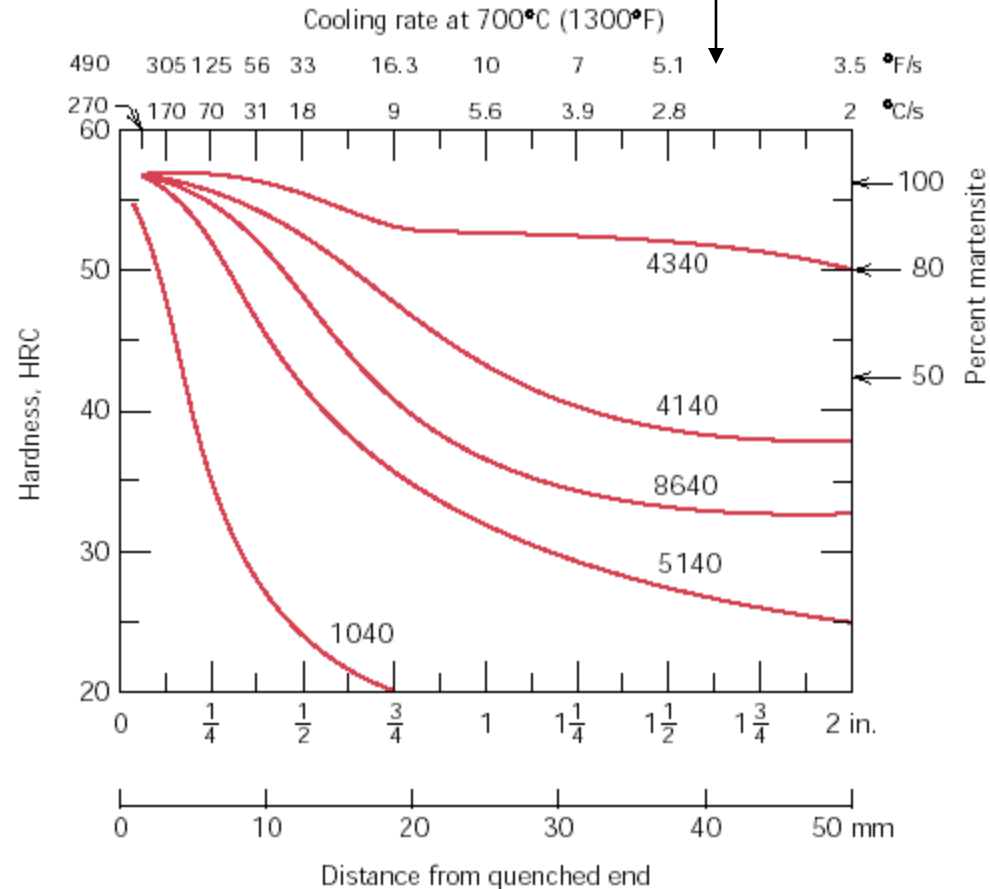
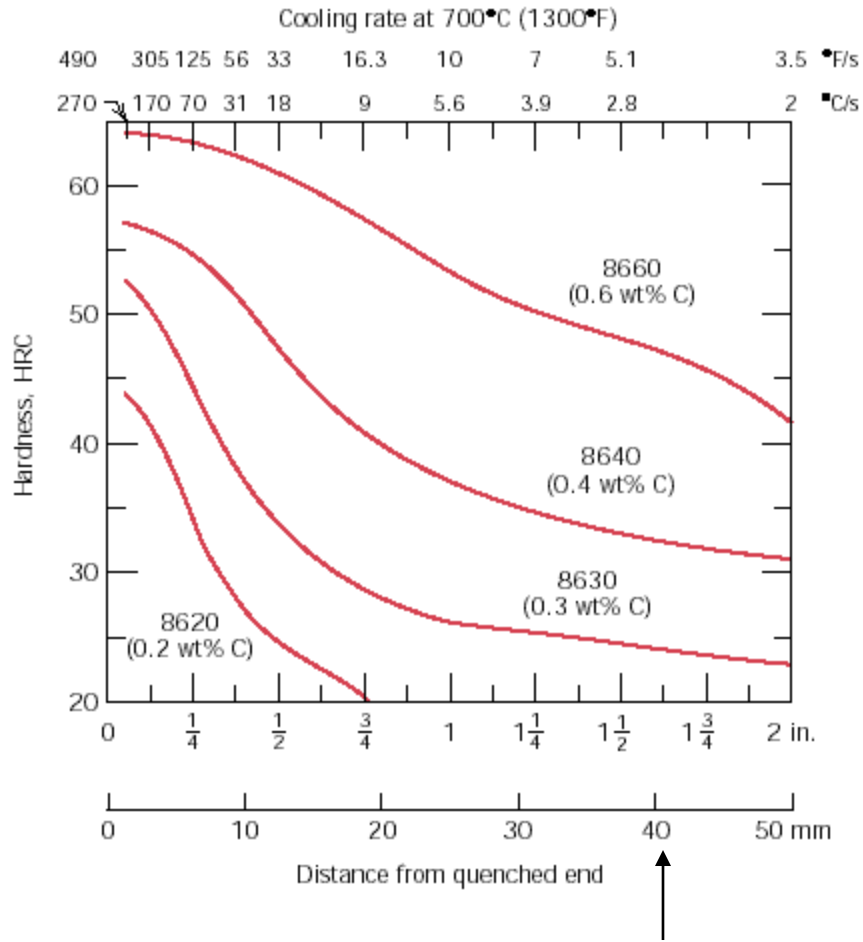


Διάγραμμα επιδεκτικότητας βαφής ή εμβαπτότητας

Δοκίμιο

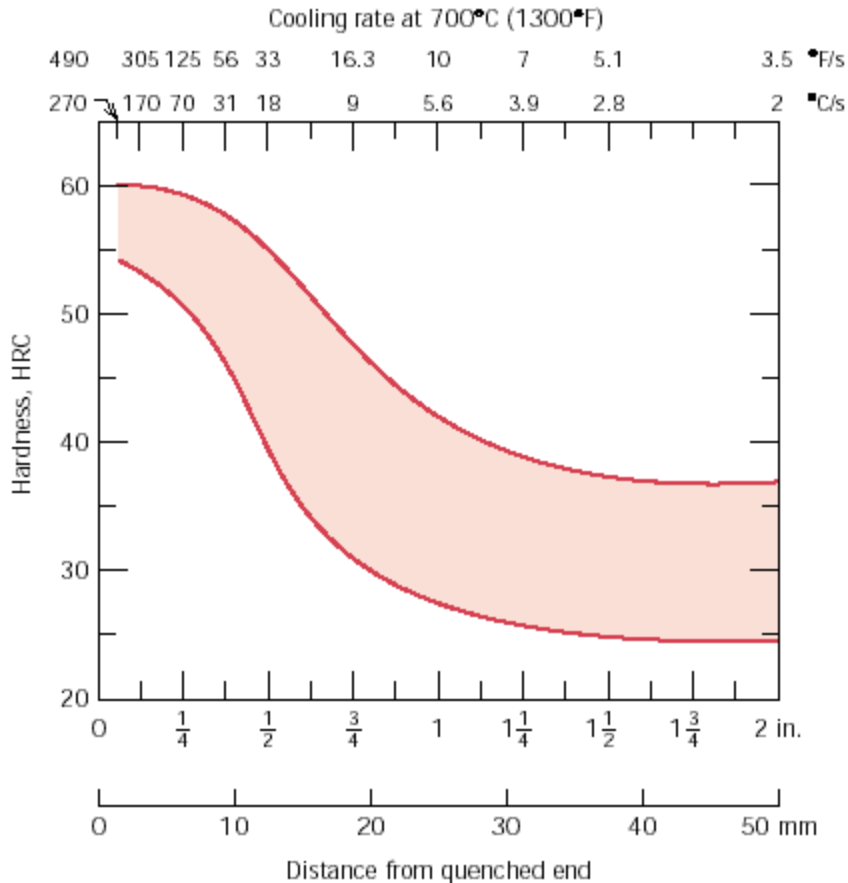


Καμπύλες ή διαγράμματα επιδεκτικότητας βαφής(εμβαπτότητας). Ίδια περιεκτικότητα άνθρακα, διαφορετική περιεκτικότητα σε κραματικά στοιχεία



Καμπύλες(Διαγράμματα) επιδεκτικότητας βαφής (εμβαπτότητας). Περιεκτικότητα άνθρακα διαφορετική ,ίδια περιεκτικότητα σε κραματικά στοιχεία

Ζώνη επιδεκτικότητα βαφής (εμβαπτότητας)

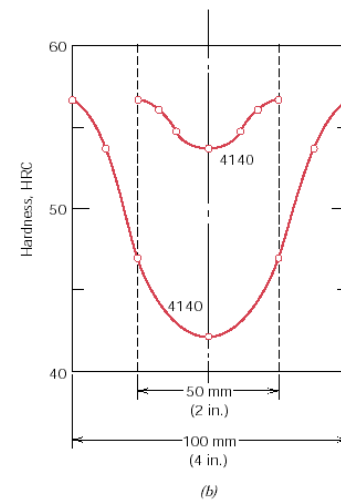
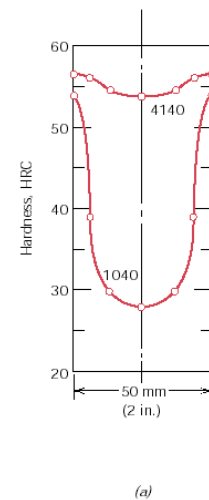
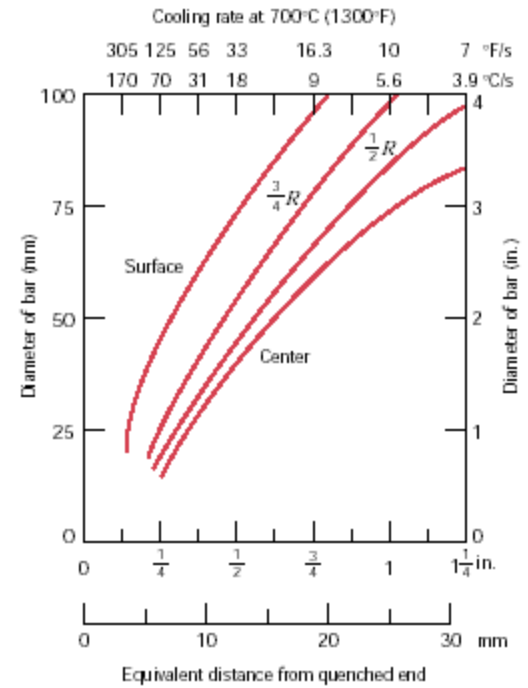
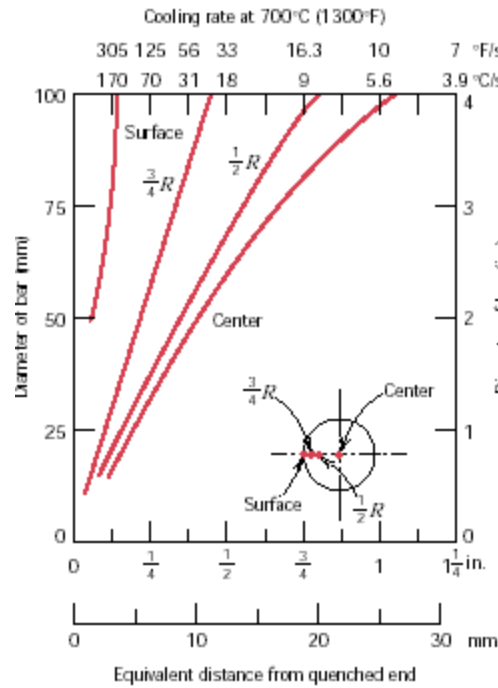
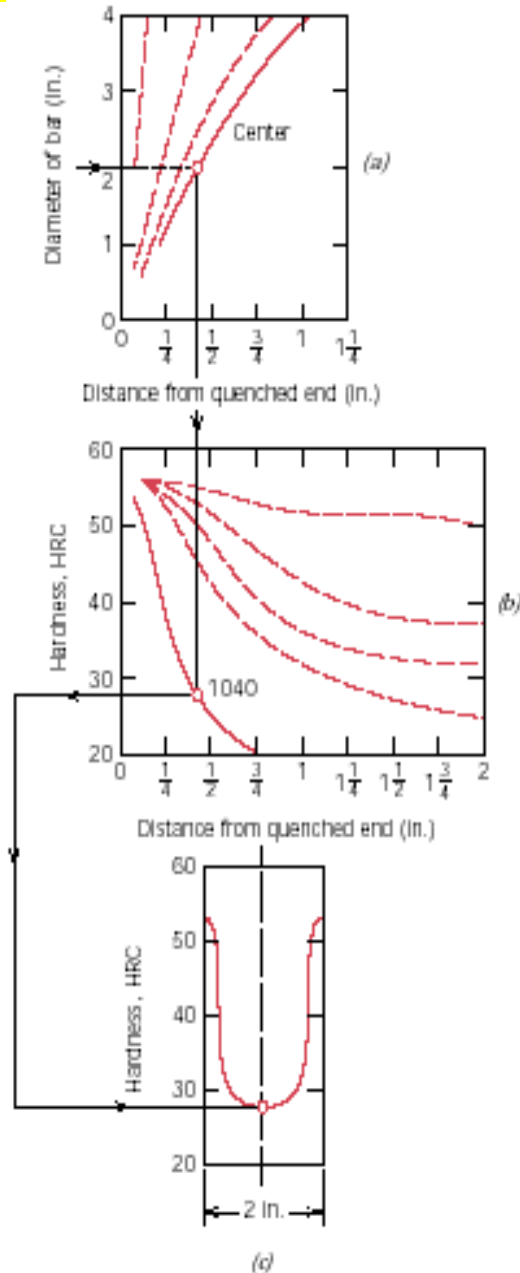


Σημασία της (εμβαπτότητας) επιδεκτικότητας βαφής

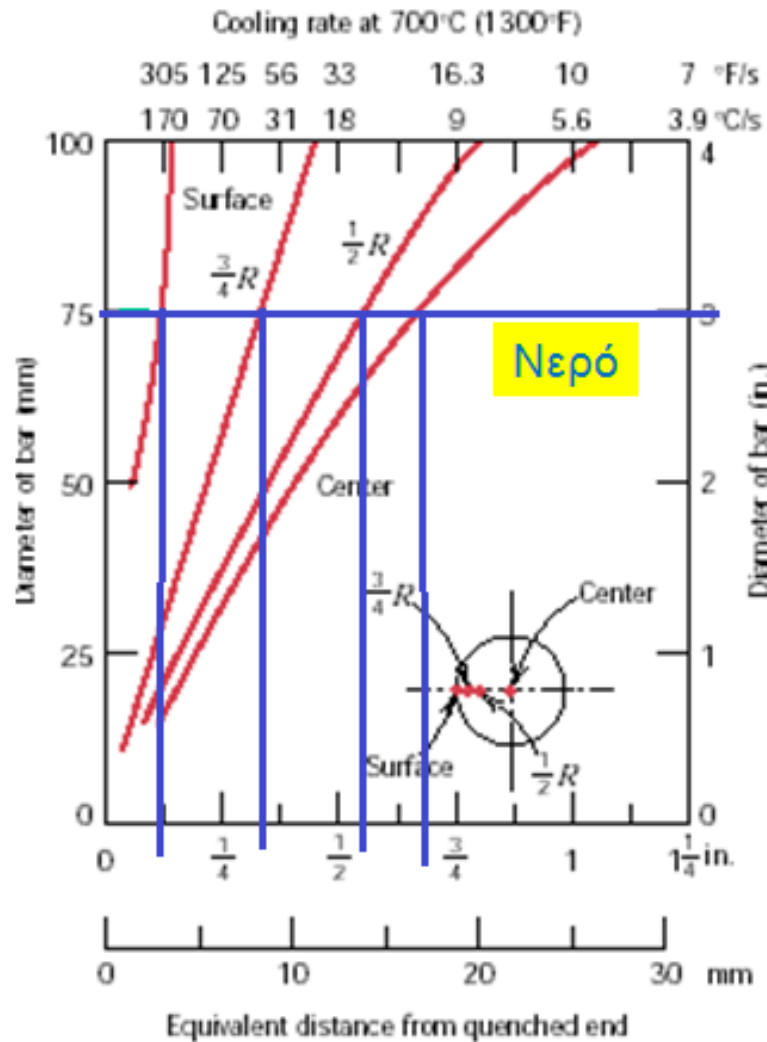
Γενικές αρχές

1. Εξαρτήματα μεγάλων καταπονήσεων 80% Μαρτενσίτης στο κέντρο
2. Εξαρτήματα μικρών καταπονήσεων 50% Μ στο κέντρο
3. Για αυτοκίνητα στα 3/4 ακτίνας 80% Μ
4. Διαφοροποίηση μεταξύ εξαρτημάτων που υφίστανται λυγισμό

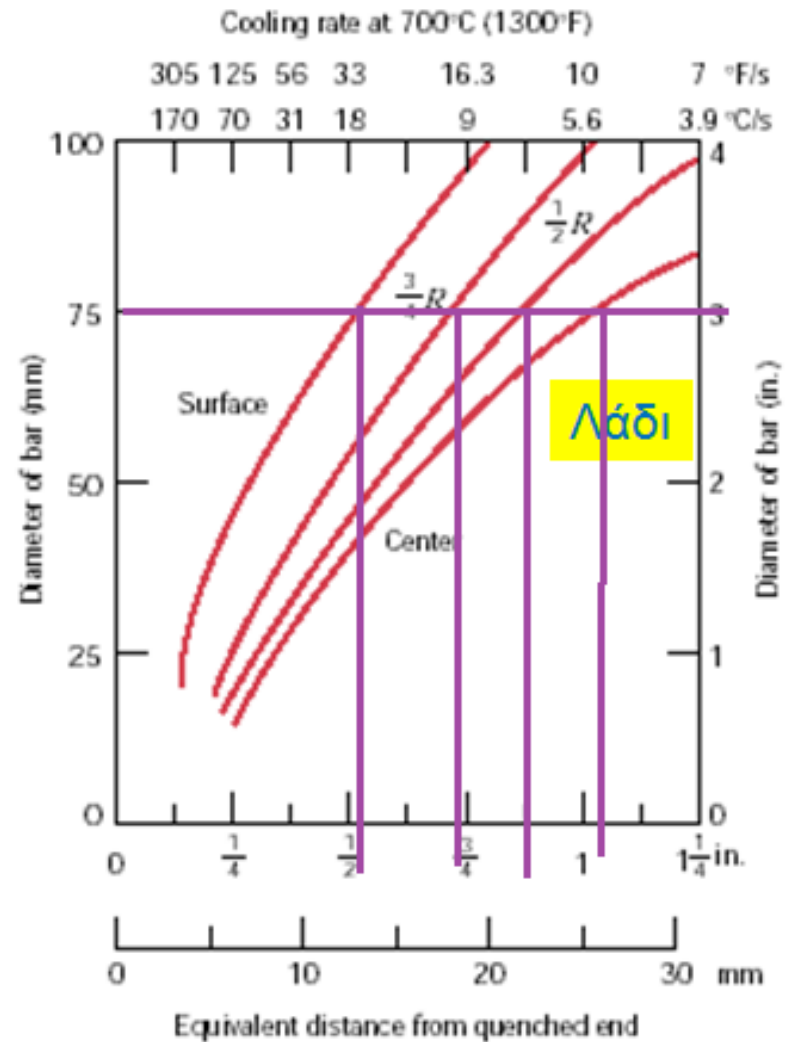
Εφαρμογή της καμπύλης επιδεικτικότητας βαφής (εμβαπτότητας)



Ρυθμός ψύξης ως συνάρτηση της διαμέτρου και σε διάφορα σημεία της διαμέτρου

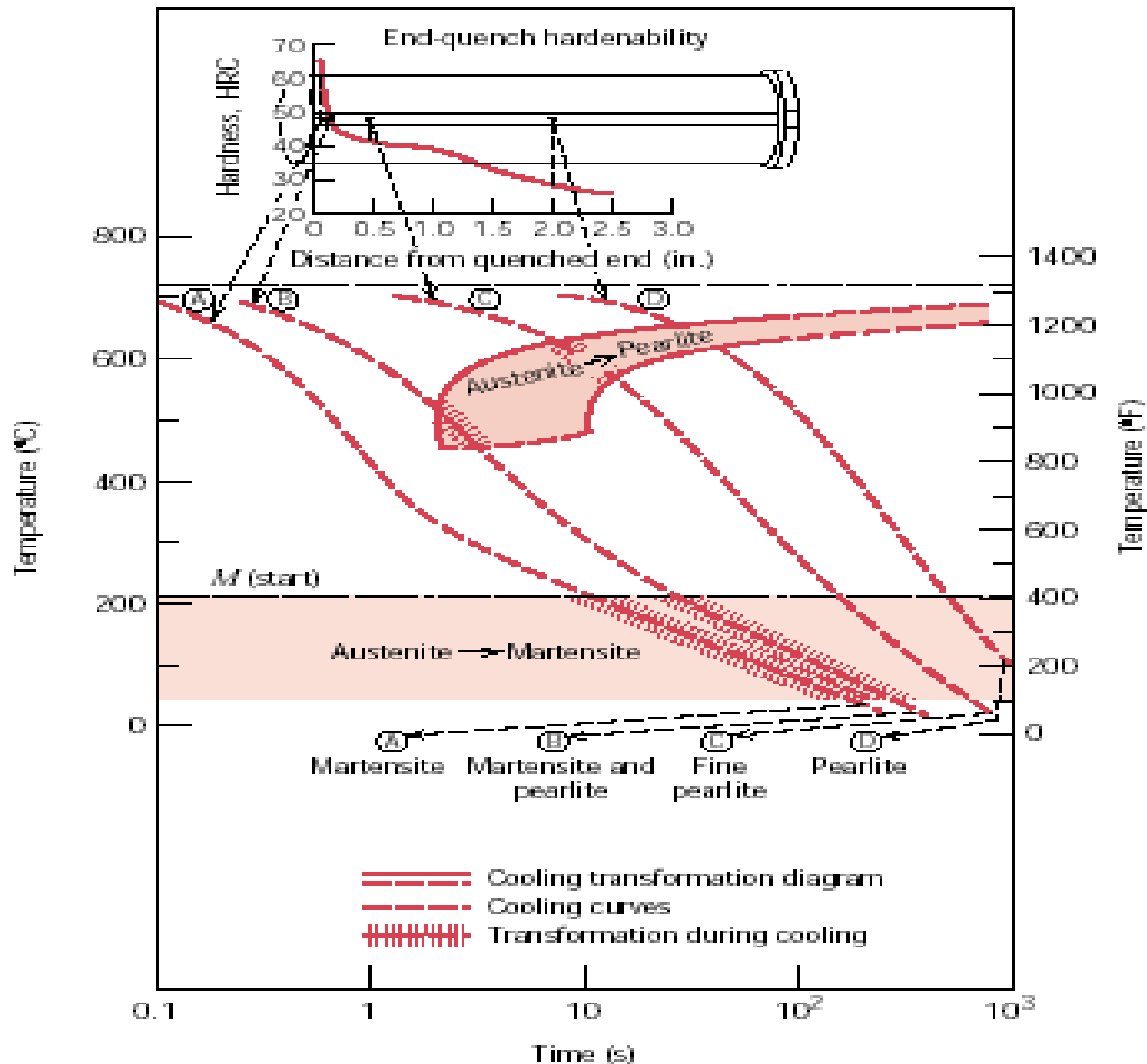


(a)

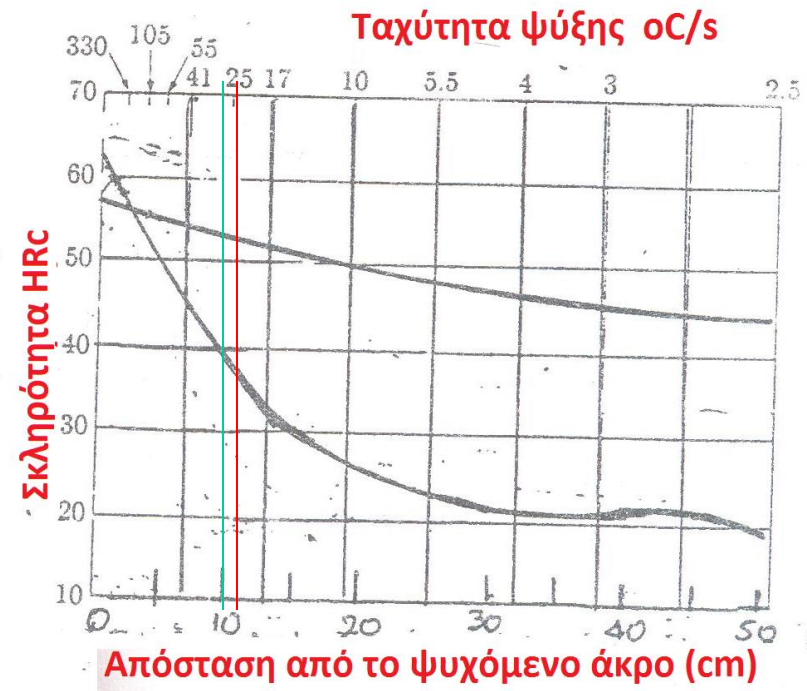
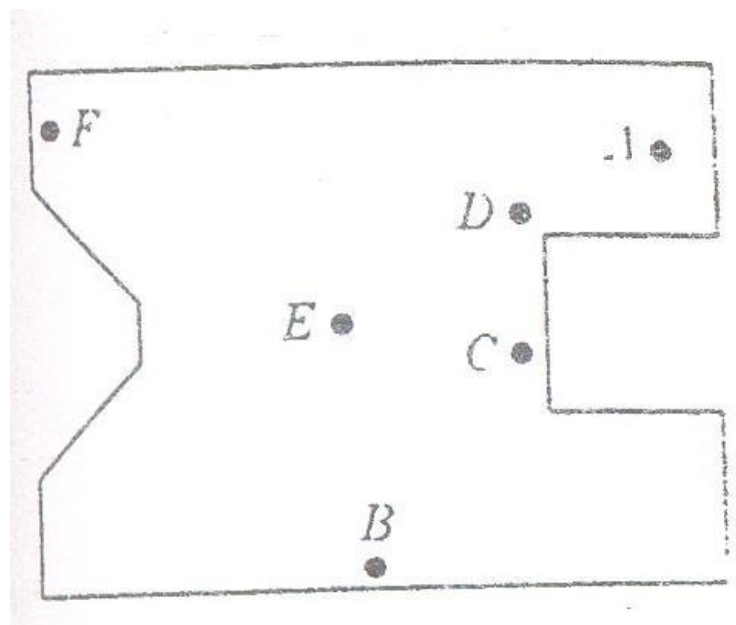


(b)

Συσχέτιση επιδεκτικότητας βαφής ή εμβαπτότητας με την συνεχή ψύξη για ευτηκτοιδή χάλυβα



Εφαρμογή: Στο δοκίμιο χάλυβα τύπου AISI 1060 του σχήματος μετά τη βαφή σε νερό μετρήθηκαν σε διάφορα σημεία οι εξής σκληρότητες: A=40HRC B=36HRC,C=33HRC ,D=32HRC ,E=31HRC ,F=63HRC. Ποια σκληρότητα περιμένετε να έχει δοκίμιο χάλυβα 4340 ίδιων διαστάσεων με το προηγούμενο. Δίνονται οι καμπύλες εμβαπτότητας ή επιδεκτικότητας βαφής των δύο υλικών



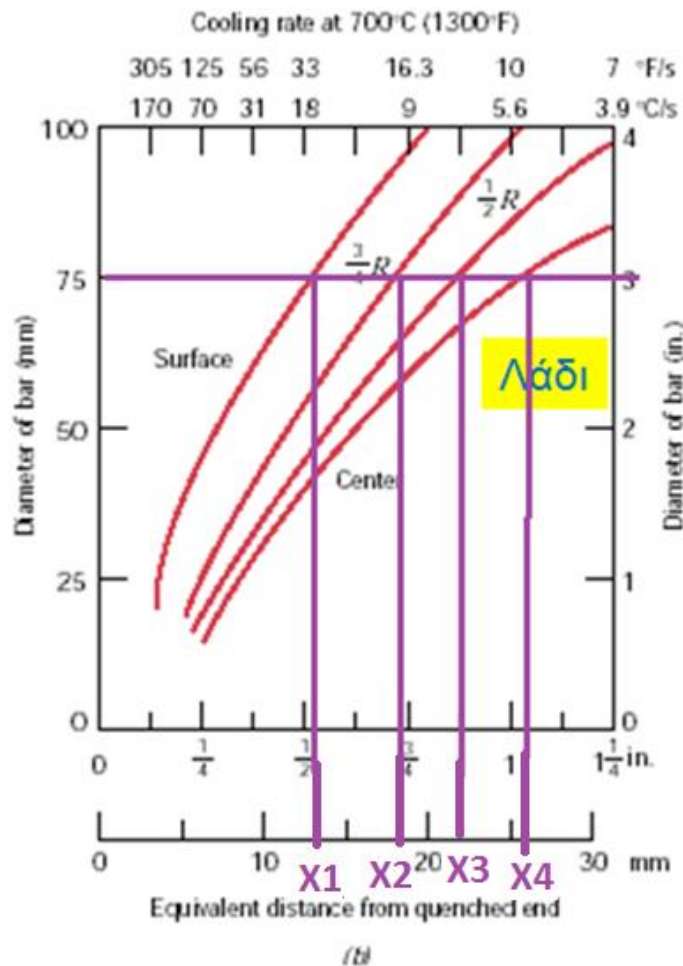
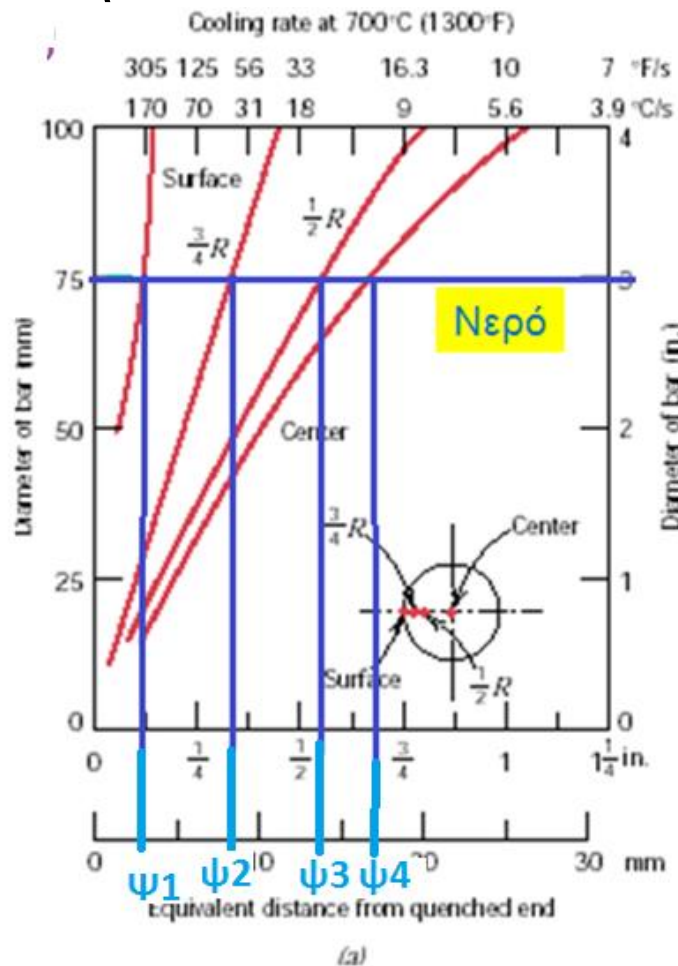
Εφαρμογή: Δύο ράβδοι χάλυβα με διαμετρο7,5 cm ψύχονται μετά την ωστενοποίηση τους. Η μία ψύχεται σε νερό και η άλλη σε λάδι. Κατά μήκος της διαμέτρου μετρήθηκαν οι εξής σκληρότητες:

Απόσταση από την επιφάνεια (cm)	Νερό HRC	Λάδι HRC
0	57	39
1,90	36	32
2,86	34	31
3,80	33	30

Να προσδιορίσετε και να σχεδιάσετε την καμπύλη επιδεκτικότητας βαφής ή εμβαπτότητας

Υπόδειξη: Να χρησιμοποιήσετε τα διαγράμματα της διαφάνειας 10

Λύση



• Κατασκευάζω πίνακα με τις τιμές:

$\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4, \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4$ και τις αντίστοιχες σκληρότητες που δίνονται

• Αποτυπώνω τις τιμές σε διάγραμμα (χ_i, Ψ_i) στον άξονα X και τις αντίστοιχες σκληρότητες τους στον άξονα Ψ

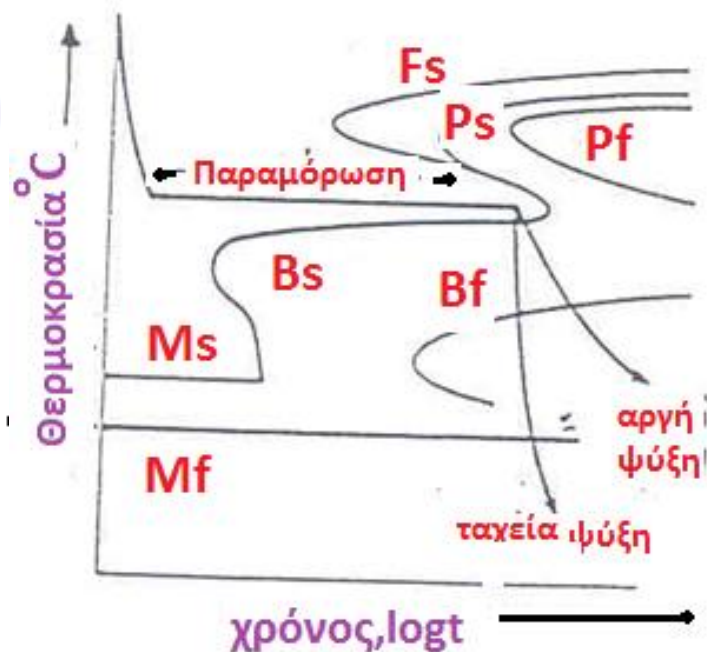
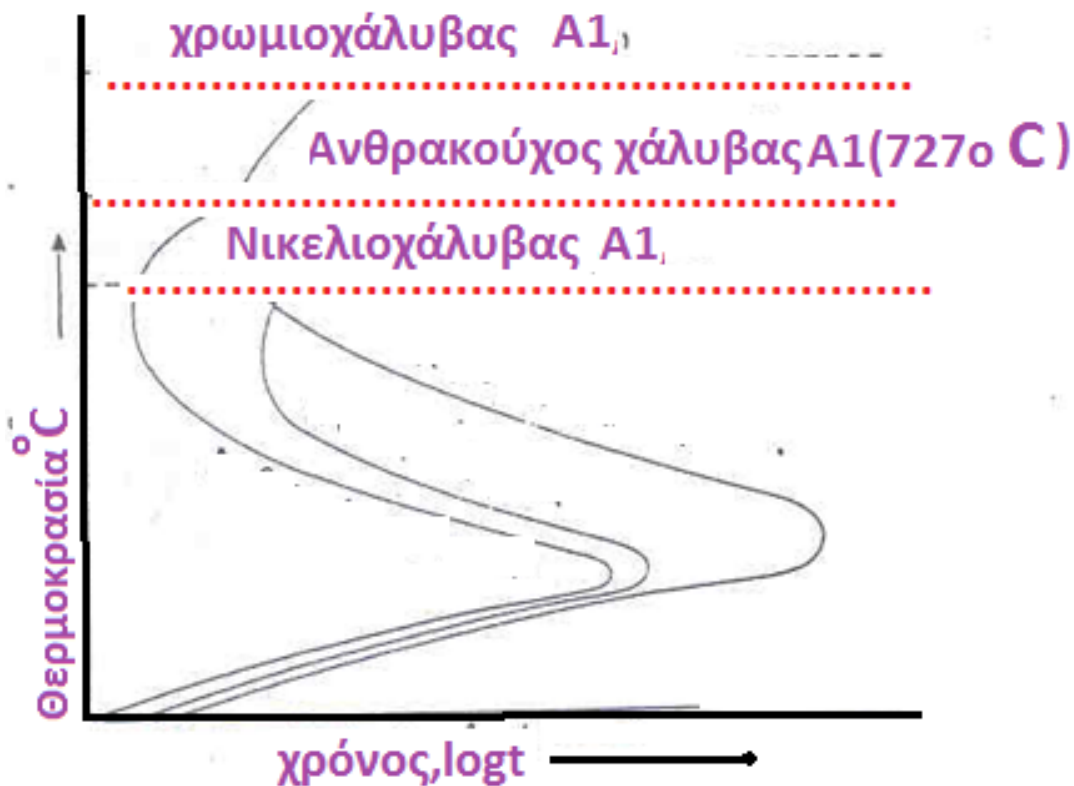
Εφαρμογή : Η σκληρότητα στο κέντρο 6 ράβδων ίδιου χάλυβα μετά τη βαφή σε νερό δίνεται παρακάτω . Να προσδιορίσετε και να σχεδιάσετε την καμπύλη επιδεκτικότητας βαφής (εμβαπτότητας) του υλικού των ράβδων.

Τι συμπεραίνετε για το είδος του χάλυβα;

Διάμετρος (cm)	HRc	Διάμετρος (cm)	HRc
2	58	8	50
4	54	10	48
6	52	12	46

Θερμομηχανική κατεργασία

Τα κραματικά στοιχεία επηρεάζουν σημαντικά τη μορφή των διαγραμμάτων IT και C.C.T με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η θερμομηχανική κατεργασία των χαλυβοκραμάτων



Θερμομηχανική κατεργασία (συνέχεια)

Είναι η πλαστική παραμόρφωση του χάλυβα ενώ βρίσκεται στην ωστενική κατάσταση και στη συνέχεια ψύξη του στο κατάλληλο λουτρό βαφής.

Θερμομηχανική κατεργασία υψηλής θερμοκρασίας HTMT

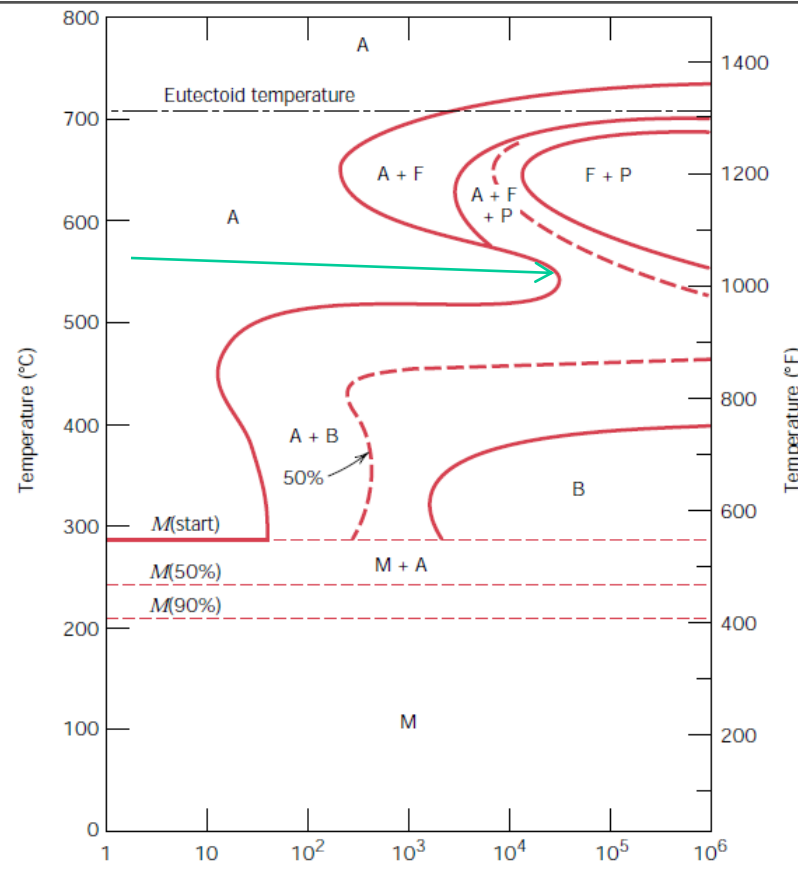
Η TMT προσδίδει στο υλικό υψηλή αντοχή εφελκυσμού σε συνδυασμό με καλή ολκιμότητα και δυσθραυστότητα. Η υψηλή αντοχή οφείλεται στη μεγάλη συγκέντρωση εξαρμώσεων που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης του ωστενίτη

Θερμομηχανική κατεργασία χαμηλής θερμοκρασίας LTMT

Η LTMT προσδίδει στο υλικό μεγαλύτερη μηχανική αντοχή σε σχέση με την HTMT γιατί κατά την HTMT δεν είναι δυνατόν να αποφευχθεί πλήρως η μερική ανακρυστάλλωση

Διάγραμμα στο οποίο φαίνονται οι περιοχές θερμομηχανικής κατεργασίας

Isothermal transformation diagram for an alloy steel (type 4340): A, austenite; B, bainite; P, pearlite; M, martensite; F, proeutectoid ferrite. (Adapted from H. Boyer, Editor, *Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams*, American Society for Metals, 1977, p. 181.)



Βελτίωση της σκληρότητας και της μηχανικής αντοχής των χαλύβων .

Η βελτίωση επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: Είτε με τη συμβολή των κραματικών στοιχείων στη δημιουργία στερεού διαλύματος είτε με το σχηματισμό καρβιδίων ή άλλων ενώσεων που καθιζάνουν στην κρυσταλλική δομή και προκαλούν σκλήρυνση .Ο μηχανισμός εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κραματικού στοιχείου: Ατομική ακτίνα , σθένος, ηλεκτροθετικότητα.

Ni → Στερεό διάλυμα με το α-Fe

Mn → Στερεό διάλυμα, καρβίδιο, ενώσεις με προσμείξεις

Cr,Ti,W,Mo,V → Κυρίως καρβίδια

Al → Οξείδιο και νιτρίδιο

Βελτίωση της αντοχής στη διάβρωση

Τα στοιχεία **Cr, Si, Al** δημιουργούν προστατευτικό στρώμα οξειδίου και προστατεύουν τον χάλυβα

Όταν $Cr > 12\%$ έχουμε ανοξείδωτο χάλυβα

Ανοξείδωτοι χάλυβες

Stainless Steels(SS)

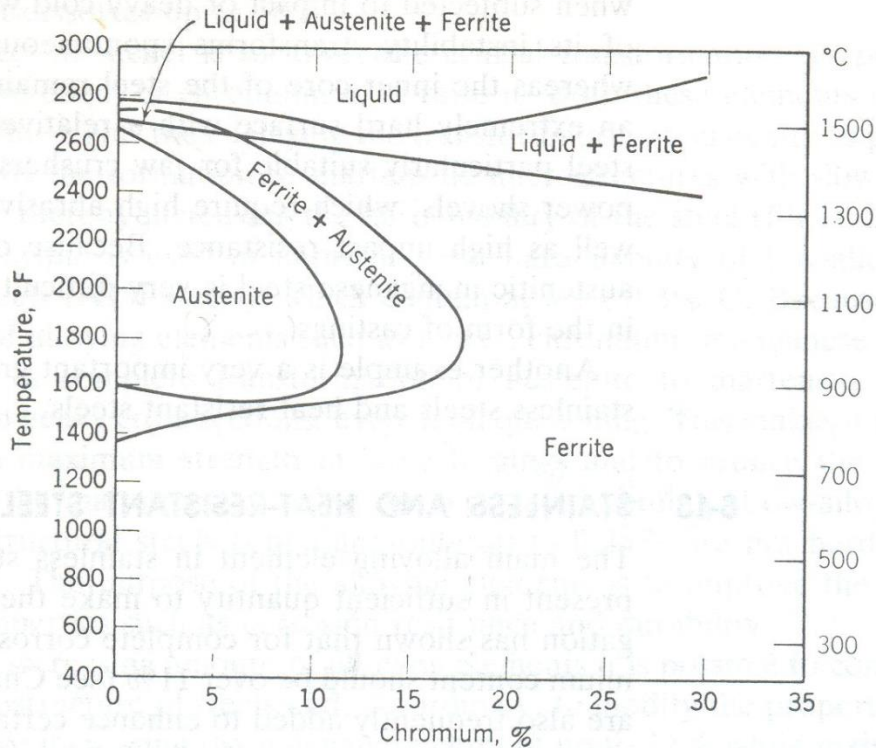
- Φερριτικοί (Ferritic)
- Μαρτενσιτικοί (Martensitic)
- Ωστενιτικοί (Austenitic)
- Σκλήρυνσης με Καθίζηση
(Precipitation Hardening ήPH)
- Φερριτικοί –Ωστενιτικοί (Dublex)

Γενικά στοιχεία

- Υπάρχουν διαθέσιμες πάνω από 150 μορφές ανοξειδωτου χάλυβα οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε 5 σειρές (τύπους) με παρόμοιες ιδιότητες.
- **Κατηγορίες ανοξειδωτων χαλύβων κατά AISI :**
 - 200 series = chromium, nickel, manganese (**austenitic**)
 - 300 series = chromium, nickel (**austenitic**)
 - 400 series = chromium only (**ferritic**)
 - 500 series = low chromium ~12% (**martensitic**)
 - 600 series = **Precipitation hardened series (17-7PH, 17-7PH, 15-5PH)**

Φερριτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Fe-Cr(12-30%)-C(0,07-0,15%)



The iron-carbon-chromium system with 0.1% C. (From *Metallurgical Aspects of Corrosion- and Heat-Resistance of Republic Enduro Stainless Steels*, 1952. Courtesy of Republic Steel Corporation.)

Ποια σημασία για τη δομή τους παίζει η περιεκτικότητα σε C και ο λόγος Cr/C;

•Όσο αυξάνεται η π(C) οι περιοχές

Austenite και Austenite+Ferrite διευρύνονται

•Για να μην αλλάζει δομή ο χάλυβας κατά τη θερμική κατεργασία και να παραμένει φερριτικός θα πρέπει ο λόγος Cr/C να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερος

Οι φερριτικοί είναι μαγνητικοί, έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση από τους μαρτενσιτικούς

400 Series SS (Ferritic):

- **Φερριτικοί**, προφυλακτήρες και άλλα εξαρτήματα αυτοκινήτων, σε χημικούς αντιδραστήρες, πτερύγια σε μηχανές, μαχαίρια, ελατήρια, ρουλεμάν, χειρουργικά εργαλεία.
- Μπορεί να υποστεί θερμική επεξεργασία!
- Περιέχουν μεταξύ **12% και 27% Cr, Ni και λίγο συνήθως μολυβδαίνιο**.
- Συνηθισμένη σύσταση: **18Cr-2Mo, 26Cr-1Mo, 29Cr-4Mo, and 29Cr-4Mo-2Ni**
- Μαγνητικοί (υψηλή περιεκτικότητα σε Fe) και μπορεί να σκουριάσει λόγω της περιεκτικότητας σε σίδηρο.
- Χαμηλότερη αντοχή έναντι της σειράς 300 (ωστενιτικοί χάλυβες)
- Φτηνό υλικό

Common 400 series grades of SS:

- **400 common alloys**

- **Type 405**— ferritic for welding applications
- **Type 408**—heat-resistant; poor corrosion resistance; 11% chromium, 8% nickel.
- **Type 409**—cheapest type; used for [automobile exhausts](#); ferritic (iron/chromium only).
- **Type 410**—martensitic (high-strength iron/chromium). Wear-resistant, but less corrosion-resistant.
- **Type 416**—easy to machine due to additional sulfur
- **Type 420**—Cutlery Grade martensitic; similar to the Brearley's original rustless steel. Excellent polishability.
- **Type 430**—decorative, e.g., for automotive trim; ferritic. Good formability, but with reduced temperature and corrosion resistance.
- **Type 440**—a higher grade of cutlery steel, with more carbon, allowing for much better edge retention when properly heat-treated. It can be hardened to approximately [Rockwell](#) 58 hardness, making it one of the hardest stainless steels. Due to its toughness and relatively low cost, most display-only and replica swords or knives are made of 440 stainless. Also known as razor blade steel. Available in four grades: 440A, 440B, 440C, and the uncommon 440F (free machinable). 440A, having the least amount of carbon in it, is the most stain-resistant; 440C, having the most, is the strongest and is usually considered more desirable in knifemaking than 440A, except for diving or other salt-water applications.
- **Type 446**—For elevated temperature service

Μαρτενσιτικοί: Fe-Cr(12-17%)-C(0,15-1,2%).

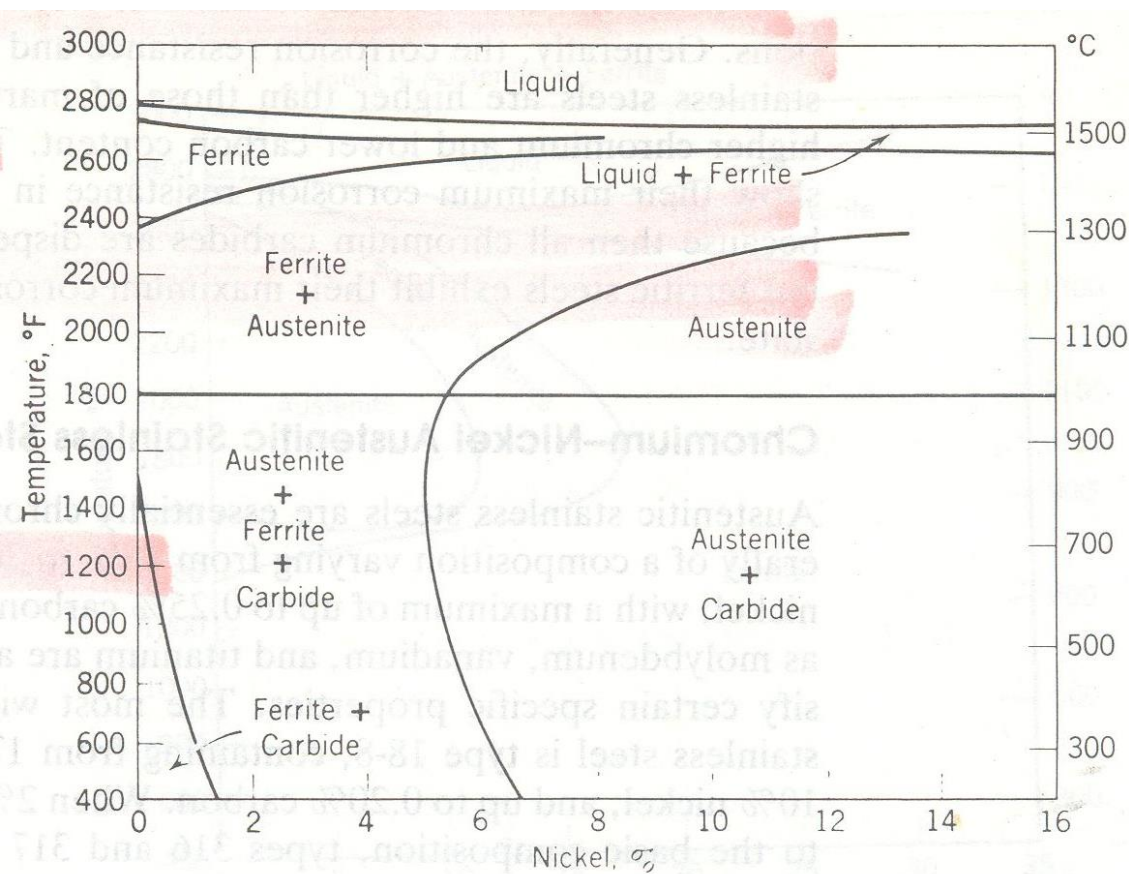
- Η π(C) καθορίζει το εύρος της περιοχής του ωστενίτη σε βάρος του φερρίτη.
- Όσο αυξάνεται η π(C) ή μικραίνει ο λόγος Cr/C ο χάλυβας αποκτά δομή ωστενίτη και μπορεί με ψύξη να αποκτήσει δομή μαρτενσίτη
- Η βαφή γίνεται σε ήπια λουτρά βαφής ακόμη και στον αέρα(Αυτόβαφοι).
- Κατά τη επαναφορά στους 500°C μπορεί να έχουμε δευτερογενή σκλήρυνση λόγω καρβιδίων που σχηματίζονται.
- Η υψηλή σκληρότητα του οφείλεται στη μαρτενσιτική δομή αλλά και στο σχηματισμό μεγάλης ποσότητας καρβιδίων Fe και Cr τα οποία διασπείρονται στη μαρτενσιτική φάση

500 Series SS (Martensitic):

- Δεν έχουν τόσο υψηλή αντοχή στη διάβρωση όσο οι άλλες κατηγορίες SS αλλά εξαιρετικά υψηλή αντοχή και ανθεκτικότητα ,επιδεκτικοί σε μηχανική κατεργασία ,υφίστανται σκλήρυνση με θερμική κατεργασία (βαφή).
- Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με υψηλή αντοχή (μέχρι 2100MPa) – Πυρηνικά εργοστάσια , πλοία, χαλύβδινα πτερύγια τουρμπινών, εργαλεία, κλπ.
- Μαγνητικοί

Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Fe –Cr(16-25%)-Ni(7-20%) –(max 0,25%)



•Ni έχει δομή FCC

Και θεωρείται στοιχείο σταθεροποίησης του ωστενίτη

•Έχουν εξαιρετική ολκιμότητα εργασιμότητα,

•Συγκολλητικότητα και αντοχή στη διάβρωση.

•Υφίστανται σκλήρυνση με ψυχρή πλαστική παραμόρφωση ή με σχηματισμό στερεού διαλύματος.

•Δεν είναι μαγνητικοί,

- Όταν περιέχουν άνθρακα $>0,03\%$ έχουν ευσθησία στη περικρυσταλλική διάβρωση όταν συγκολλούνται (φθορά συγκόλλησης).
- Τρόποι αντιμετώπισης ;
- Χρησιμοποίηση ωστενιτικών χαλύβων με $\pi(C) < 0,03\%$
- Θερμική κατεργασία: θέρμανση στους $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$,
οπότε τα καρβίδια επαναδιαλύονται στη φάση του ωστενίτη και στη συνέχεια ψύξη απότομη στη θερμοκρασία περιβαλλοντος (σταθεροποίηση του ωστενίτη)
- Προσθήκη κραματικών στοιχείων Ti, Mo, V, τα οποία έχουν μεγαλύτερη τάση να σχηματίζουν καρβίδια από το Cr, οπότε δεσμεύουν τον άνθρακα και δεν δεσμεύεται χρώμιο
- Εφαρμογή τεχνικής LASER

200/300 Series SS (Austenitic):

- Οι πιο κοινοί SS (περίπου 70% της συνολικής παραγωγής SS)
- Χρησιμοποιείται για μαχαιροπήρουνα, μαγειρικά σκεύη, την αρχιτεκτονική, την αυτοκινητοβιομηχανία, κλπ. .
- **0.15% C (max), 16% Cr (min) and Ni or Manganese**
- **Ωστενιτικοί**, Υψηλή αντοχή, καλύτερη αντοχή στη διάβρωση. Η υψηλή αντοχή στη θερμοκρασία έως **650 °C**
- . Μη μαγνητικοί καλή ολκιμότητα και σκληρότητα, δεν βράφονται με θερμική επεξεργασία, αλλά μπορούν να αυξηθεί η σκληρότητα τους μέσω ψυχρής έλασης, καλύτερη αντοχή στη διάβρωση, έχουν μεγαλύτερο κόστος, διαβρώνονται στο υδροχλωρικό οξύ.
- Γενική χρήση όπου απαιτείται αντίσταση στη διάβρωση.
- **Τυπικό κράμα 18% Cr and 10% Ni = γνωστό ως 18/10 stainless**
- Επίσης υπάρχουν οι ωστενιτικοί **SS (316L or 304L)** για να αποφεύγονται τα προβλήματα διάβρωσης κατά τη συγκόλληση,
- **L = χαμηλή περιεκτικότητα άνθρακα < 0.03%**

Common 300 series grades of SS:

• 300 Series— austenitic chromium-nickel alloys

- Type 301—highly ductile, for formed products. Also hardens rapidly during mechanical working. Good weldability. Better wear resistance and fatigue strength than 304.
- Type 302—same corrosion resistance as 304, with slightly higher strength due to additional carbon.
- Type 303—[free machining](#) version of 304 via addition of [sulfur](#) and [phosphorus](#). Also referred to as "A1" in accordance with [ISO 3506](#).^[10]
- Type 304—the most common grade; the classic 18/8 stainless steel. Also referred to as "A2" in accordance with [ISO 3506](#).^[10]
- Type 304L— same as the 304 grade but contains less carbon to increase weldability. Is slightly weaker than 304.
- Type 304LN—same as 304L, but also nitrogen is added to obtain a much higher yield and tensile strength than 304L.
- Type 308—used as the filler metal when welding 304
- Type 309—better temperature resistance than 304, also sometimes used as filler metal when welding dissimilar steels, along with [inconel](#).
- Type 316—the second most common grade (after 304); for food and [surgical stainless steel](#) uses; alloy addition of molybdenum prevents specific forms of corrosion. It is also known as marine grade stainless steel due to its increased resistance to chloride corrosion compared to type 304. 316 is often used for building [nuclear reprocessing](#) plants. 316L is an extra low carbon grade of 316, generally used in stainless steel watches and marine applications due to its high resistance to corrosion. Also referred to as "A4" in accordance with [ISO 3506](#).^[10] 316Ti includes titanium for heat resistance, therefore it is used in flexible chimney liners.
- Type 321—similar to 304 but lower risk of [weld decay](#) due to addition of titanium. See also 347 with addition of niobium for desensitization during welding.

Ανοξείδωτοι χάλυβες σκλήρυνσης με καθίζηση

- Έχουν παρόμοια χημική σύσταση με τους ωστενιτικούς και υφίστανται σκλήρυνση με καθίζηση σκληρών χημικών ενώσεων.
- Η σκλήρυνση επιτυγχάνεται με προσθήκη στοιχείων όπως **Cu, Ti, Be, Al** και κατάλληλη θερμική κατεργασία
- Με κατάλληλη θερμική κατεργασία βλπ επόμενη διαφάνεια τα στοιχεία αυτά καθιζάνουν υπό μορφή διαμεταλλικών χημικών ενώσεων στην ωστενιτική δομή και προκαλούν σκλήρυνση

600 Series SS Σκλήρυνσης με καθίζηση:

- Έχουν αντίσταση στη διάβρωση συγκρίσιμη με αυτή της σειράς 300 (ωστενιτικοί)
- Βασικό χαρακτηριστικό : Συνδυασμός υψηλή αντοχή + αντίσταση στην διάβρωση.
- Χρήση στην βιομηχανία κατασκευής αεροπλάνων : Εκτιμάται ότι ~ 2% των σχετικών αμυντικών δαπανών ,δίνονται για τη διάβρωση. Συνεπώς η ανάπτυξη SS χαλύβων με υψηλή μηχανική αντοχή αλλά και υψηλή αντοχή στη διάβρωση είναι απαραίτητο για να αντικαταστήσουν τα χαλυβοκράματα.
- Lockheed-Martin κατασκεύασε το πρώτο κοινό βομβαρδιστικό αεροσκάφος (Joint Striker Fighter – 1st aircraft) με χρήση PH SS για ολόκληρο το σκελετό.
 - Συνήθεις τύποι: **630 grade = 17-4 PH (17% Cr, 4% Ni),
17-4 PH,
15-5 PH**

Χάλυβες εργαλείων (Tool steels)

Οι χάλυβες της κατηγορίας αυτής έχουν π(C) :0,6-1,4% Αποκτούν τη σκληρότητα με βαφή και επαναφορά

- Ανθρακούχοι χάλυβες >1% C
- Χαλυβοκράματα που συνήθως περιέχουν Mn, W, Mo, Cr, V, Si

Κατηγορίες W_1 O_1 : Ανθρακούχοι βαφής σε λάδι ή νερό, χάνουν τη σκληρότητα όταν χρησιμοποιούμενοι ανέλθει η θερμοκρασία **> 300 °C**

Πως αντιμετωπίζεται το πρόβλημα αυτό;

Ταχυχάλυβες (High speed steels) T_1 και M_2

✓ Όταν θερμαίνονται στους **500-600°C**

υφίστανται αύξηση αντί για μείωση της σκληρότητας

✓ Δευτερεύουσα σκλήρυνση (secondary hardening)

Διάσπαση σεμεντίτη **Fe_3C** και σχηματισμός **$WC, V_4C_3,$**

$Mo_2C, Cr_{23}C_6$

Χάλυβες Κατασκευών

➤ Ανθρακούχοι χάλυβες

➤ Χαλυβοκράματα υψηλής αντοχής χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (HSLA)

V, Ni, Mo, Cu

➤ Χάλυβες υψηλής αντοχής (Maraging steels)

<0,1% C, 8-20% Ni, Ti, Be, Al, Nb, W, Mo, Co

Υλικά υψηλού κόστους

Χάλυβες ελεύθερης κοπής (Free cutting steels)

➤ Πολύ καλές ιδιότητες κοπής που αποδίδονται στην περιεκτικότητα S,P (ερμηνεία -συζήτηση)

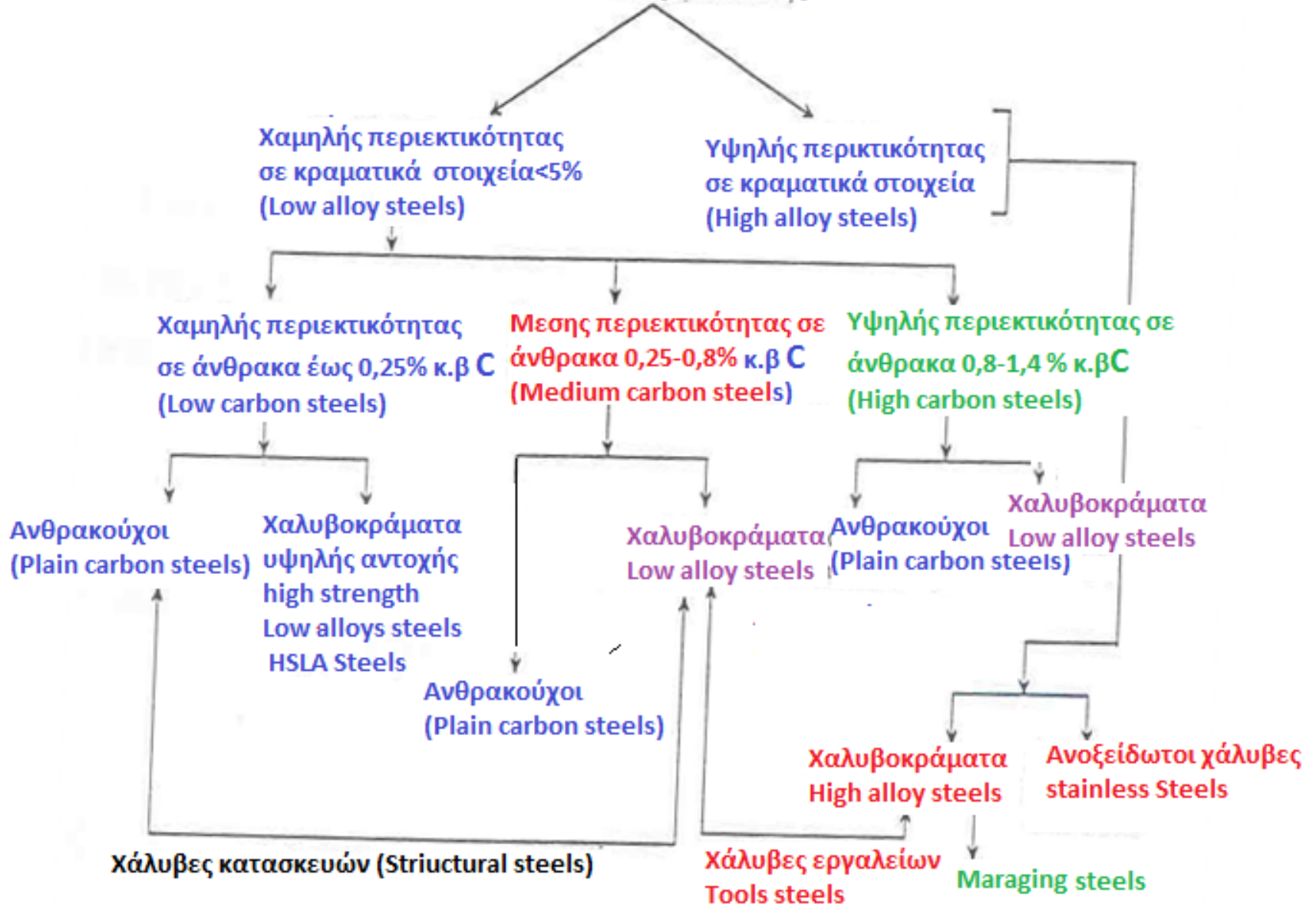
➤ Χάλυβες ελεύθερης κοπής με προσθήκη μολύβδου (Pb:0,15-0,3% .

➤ Τήκεται κατά την κοπή και μειώνει την αντοχή και τον συντελεστή τριβής. Βελτιώνει την ταχύτητα κοπής 70-100% και την απόδοση 60-90%

➤ Χάλυβες ελεύθερης κοπής με προσθήκη σεληνίου(Se)

Υποβαθμίζει τις μηχανικές ιδιότητες προστατεύει από ψαθυρή θραύση.

ΧΑΛΥΒΕΣ (STEELS)



Ταξινόμηση χαλύβων

Χάλυβες κατασκευών

Plain carbon steels

Medium carbon steels

Free cutting steels-Ελεύθερης κοπής

High strength –
Low alloy steels

Χαλυβοκράματα
High alloy steels

Χάλυβες εργαλείων
(Tool steels)
Ταχυχάλυβες
High speed steels

Maraging steels
8-20% Ni+ti,Be,Be,Al,Nb,W,Mo

Ανοξειδωτοι χάλυβες

Επιφανειακές κατεργασίες

Αλλαγή φάσεων

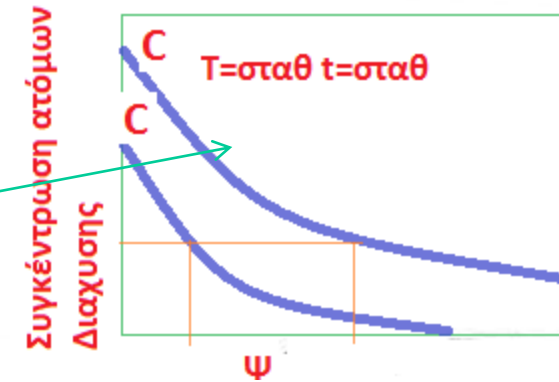
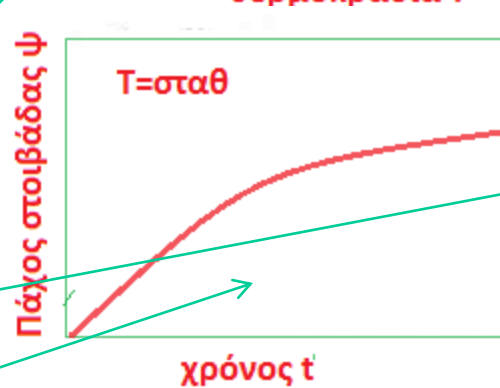
Χημικές θερμικές κατεργασίες

$$\psi = \kappa \sqrt{t}$$

$$D = D_0 * e^{-\frac{Q}{RT}}$$

Προσθήκη (εμφύτευση) στοιχείου(C,N,Al,Cr,Si,B) στην επιφάνεια. Η προσθήκη γίνεται με το μηχανισμό της διάχυσης.

Το βάθος της διάχυσης εξαρτάται από τη συγκέντρωση τη θερμοκρασία και το χρόνο

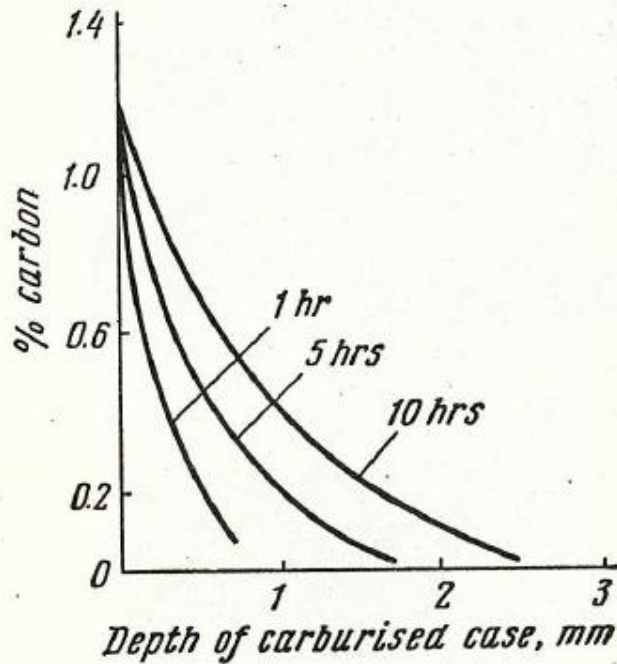


Ενανθράκωση

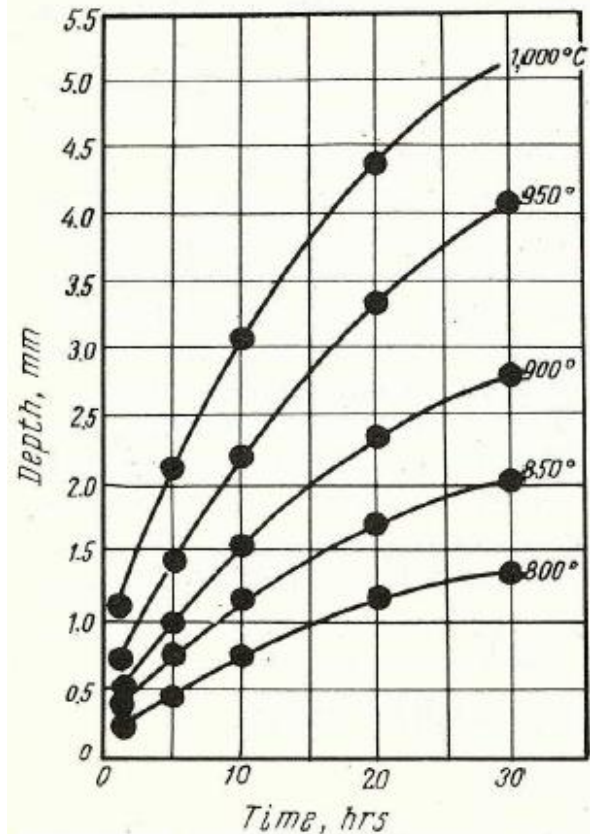
Με στερεά μέσα
 $BaCO_3 + C$

Με υγρά μέσα
 $NaCN$ (Τήγμα)

Με αέρια μέσα
 $CO + CH_4$

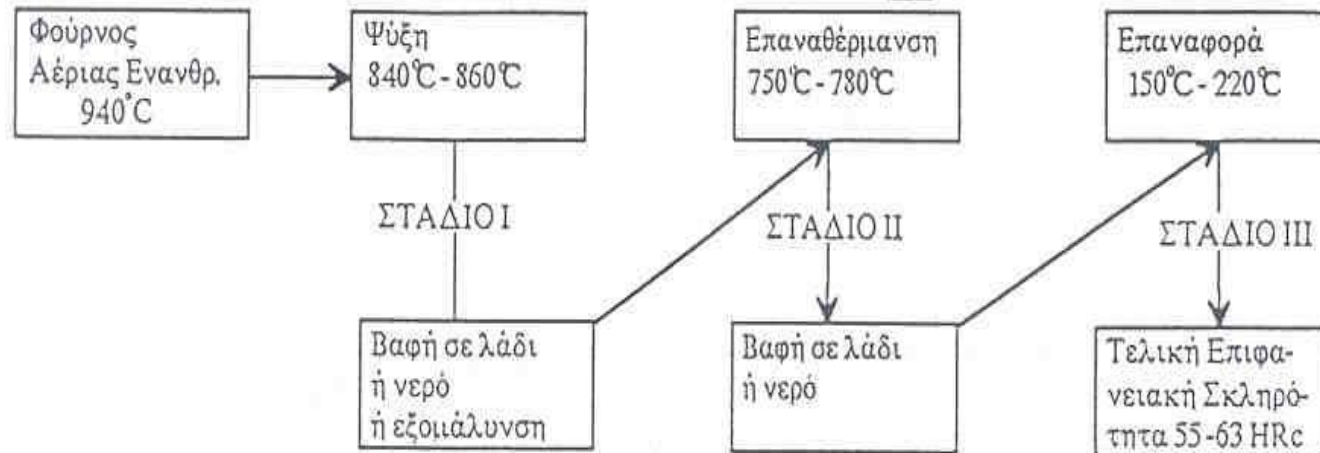


Variation in carbon content along the depth of the carburised case; carburising temperature 930°C



Effect of carburising temperature on case depth obtained

Η θερμική κατεργασία μετά την ενανθράκωση είναι απαραίτητη



ΣΤΑΔΙΟ Ι : Καθορίζει τη δομή (μέγεθος κόκκων στο εσωτερικό του υλικού όπου η περιεκτικότητα είναι $< 0,25 \% C$).

ΣΤΑΔΙΟ ΙΙ : Καθορίζει τη δομή (Μαρτενσιτική ή Μπαινιτική της επιφάνειας) ($> 0,8 \% C$).

ΣΤΑΔΙΟ ΙΙΙ: Απομάκρυνση μηχανικών τάσεων - Διάσπαση παραμένουστος ωστενίτη.

Εναζώτωση

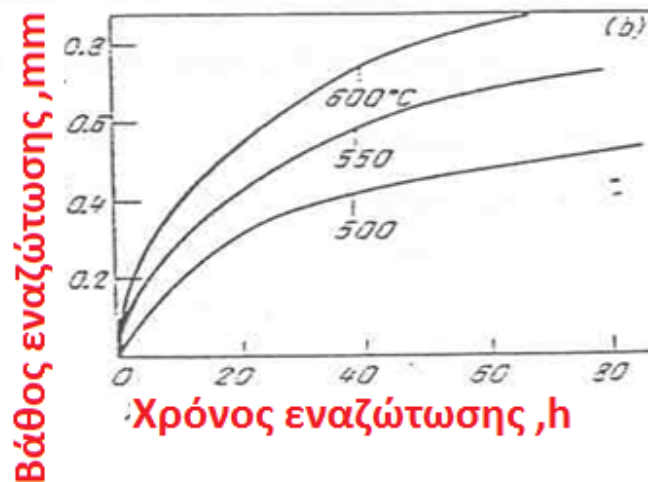
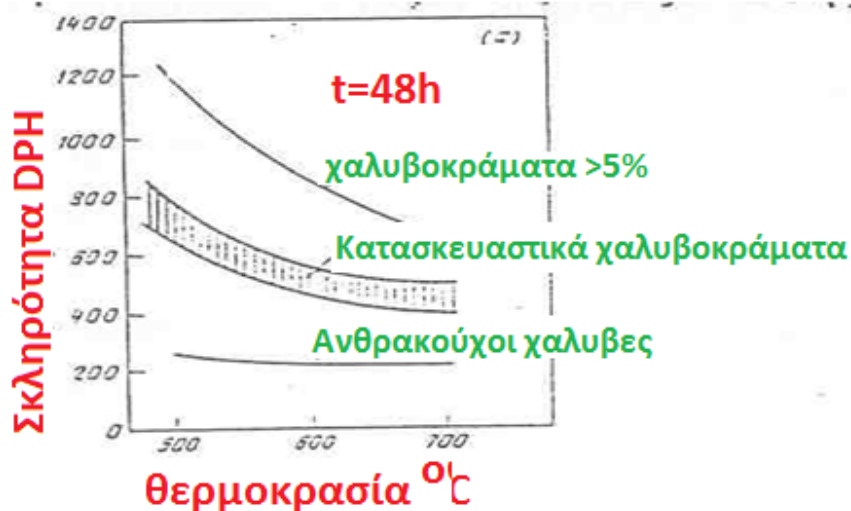
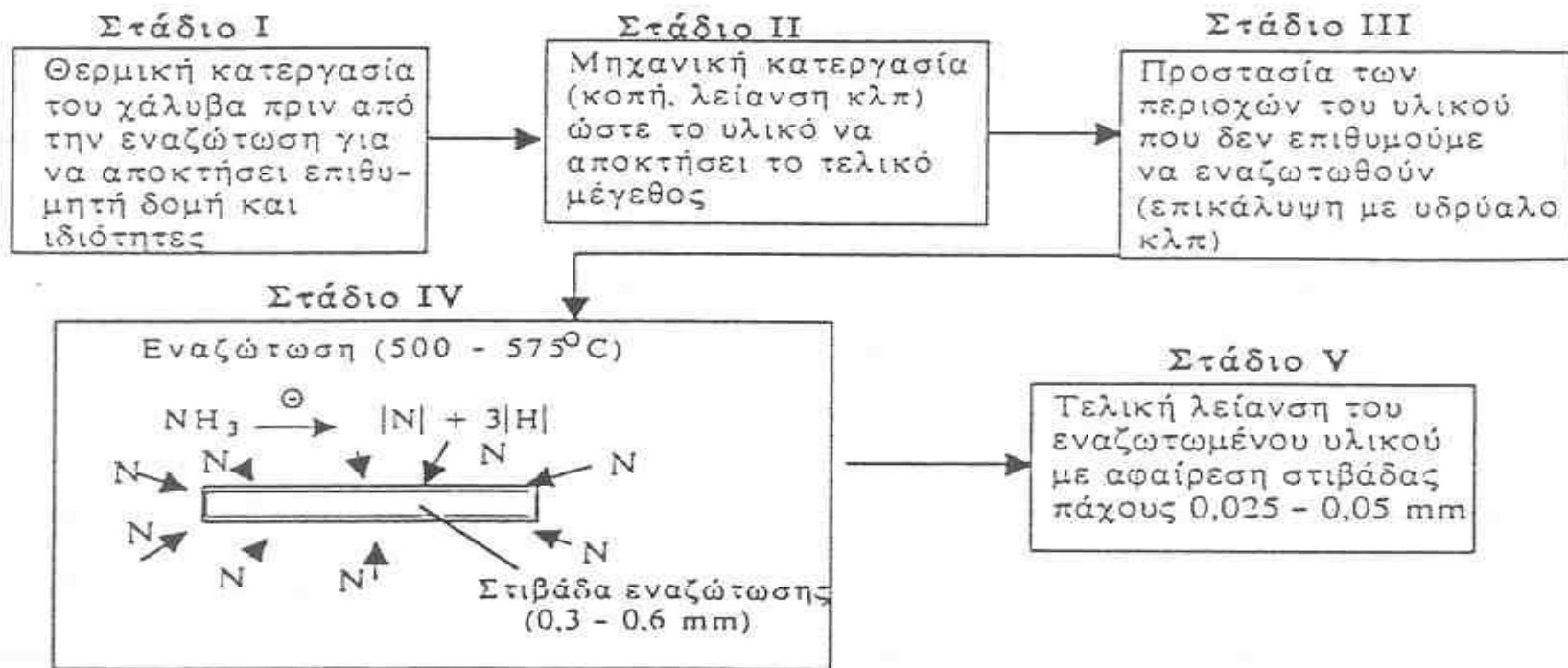
- Εφαρμόζεται σε χάλυβες με μέση περιεκτικότητα σε άνθρακα
- Σε πολλά χαλυβοκράματα σε ανοξειδωτους χάλυβες σε ταχυχάλυβες και χάλυβες εργαλείων.
- Η σκλήρυνση οφείλεται στο σχηματισμό νιτριδίων Cr_2N , Mo_2N , VN , AlN Fe_3N

Θέρμανση του χάλυβα σε ατμόσφαιρα αμμωνίας (NH_3) στους $500-575\text{ }^\circ\text{C}$

- Αυξάνει την αντίσταση στην τριβή
- Αυξάνει την αντίσταση στη διάβρωση
- Αυξάνει το όριο κόπωσης

Δεν απαιτείται θερμική κατεργασία

Διάγραμμα ροής εναζώτωσης



Προσθήκη Κυανίου (CN)

- Είναι η προσθήκη άνθρακα και αζώτου στην επιφανειακή στοιβάδα του χάλυβα για να αυξήσει την σκληρότητα και αντίσταση στη τριβή.
- Η μέθοδος είναι κατάλληλη για τη βελτίωση του ορίου κόπωσης ιδιαίτερα σε μεσαίου και μικρού μεγέθους εξαρτήματα μηχανών όπως άξονες , γρανάζια , πύροι κλπ
- Η προσθήκη CN γίνεται με θέρμανση του χάλυβα σε υγρά ή στερεά μέσα.
- Όταν γίνεται με αέρια μέσα ονομάζεται άνθρακο – εναζώτωση (carbonitriding)
- Γίνεται σε **χαμηλές θερμοκρασίες 550-600C** σε ταχυχάλυβες
σε **μέσες θερμοκρασίες 750-860 C** (κυρίως σε ανθρακούχους χάλυβες $\pi(C) < 0,8\%$
και σε **υψηλές θερμοκρασίες 900-960C**
- Όταν απαιτείται μεγάλο βάθος σκλήρυνσης

Άλλες θερμοχημικές διεργασίες

Κορεσμός της επιφάνειας με Al, Cr, Be, Si, με τη διεργασία της διάχυσης

Η εμφύτευση στην επιφάνεια μπορεί να γίνει είτε με επαφή της επιφάνειας με τηγμένο μέταλλο ,είτε με διάσπαση πτητικών χλωριούχων ενώσεων $AlCl_3$, $CrCl_2$, $SiCl_4$ κλπ.

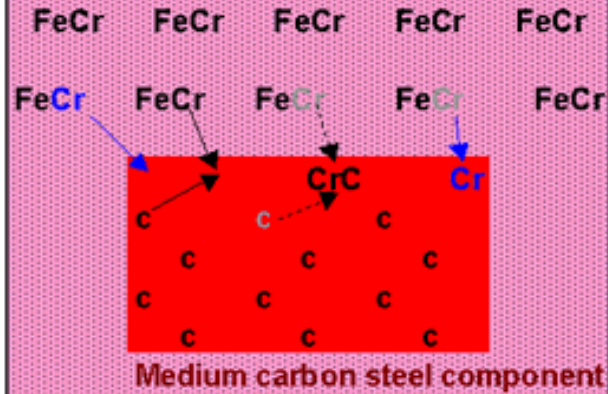
Με τη διάσπαση των χημικών ενώσεων παράγονται άτομα του μέταλλου τα οποία διαχέονται και εισδύουν στην επιφάνεια του χάλυβα.

Χρωμίωση του χάλυβα (Cromizing)

- Επιχρωμίωση μπορεί να προστατεύσει τα εξαρτήματα από τη διάβρωση, φθορά, την τριβή και την οξείδωση σε διάφορα μηχανολογικά περιβάλλοντα.
- Χρωμικές επικαλύψεις διάχυσης εξακολουθούν να εφαρμόζονται ευρέως σε ζεστό τμήμα βιομηχανικού αεριοστρόβιλου στα πτερύγια για την προστασία τους ενάντια στην υψηλή θερμοκρασία οξείδωσης.
- Επίσης εφαρμόζονται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εξαρτημάτων, όπως πείροι της αλυσίδας, σφήνες, μοχλοί, ράβδοι κλπ.
- Χάλυβες με περιεκτικότητα άνθρακα μεγαλύτερη από 0,3% μπορεί να σχηματίσουν καρβίδιο του χρωμίου το οποίο διασκορπίζεται στο επιφανειακό στρώμα το οποίο αποκτά υψηλή σκληρότητα και εξαιρετική αντοχή στη φθορά.

Chromium diffuses into surface to increase oxidation resistance

Chromium diffuses into surface and reacts with carbon in steel to form hardening carbides



Levers and Pins: Chromium Carbide coating for wear resistance



Chromised rods for heat resistance

Επαλουμινίωση (Calorizing)

• Είναι η διείδυση αλουμινίου στην επιφάνεια του χάλυβα δημιουργώντας ζώνη κραμάτωσης η οποία αυξάνει τη σκληρότητα και προστατεύει τον χάλυβα από επιφανειακή φθορά και διάβρωση. Οι ιδιότητες της επαλουμινίωσης οφείλονται στη δημιουργία φιλμ Al_2O_3 το οποίο προστατεύει από τη διάβρωση.

• Επιτυγχάνεται :

• Με τήξη σκόνης αλουμινίου στην επιφάνεια του χάλυβα

• Με εμφάνιση σε τήγμα αλουμινίου

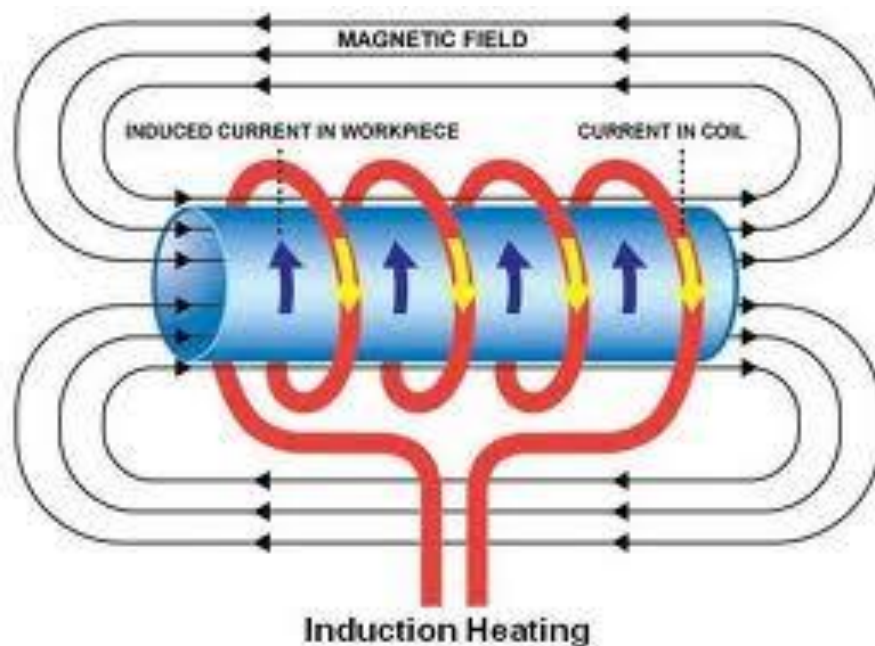
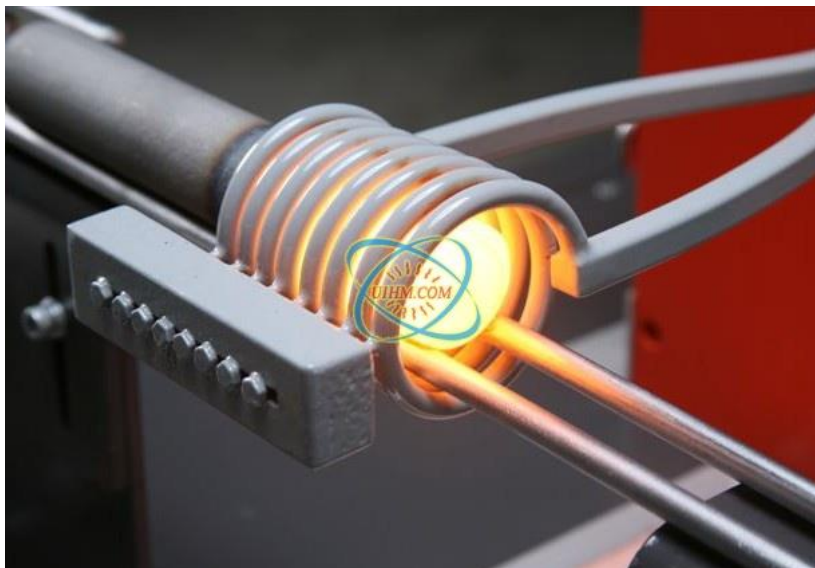
• Με διάσπαση $AlCl_3$ στην αέρια φάση

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ

- Υψηλής συχνότητας επαγωγική σκλήρυνση
- Φλογοβαφή
- Με ακτίνες LASER

Επαγωγική σκλήρυνση υψηλής συχνότητας

High Frequency Induction Hardening



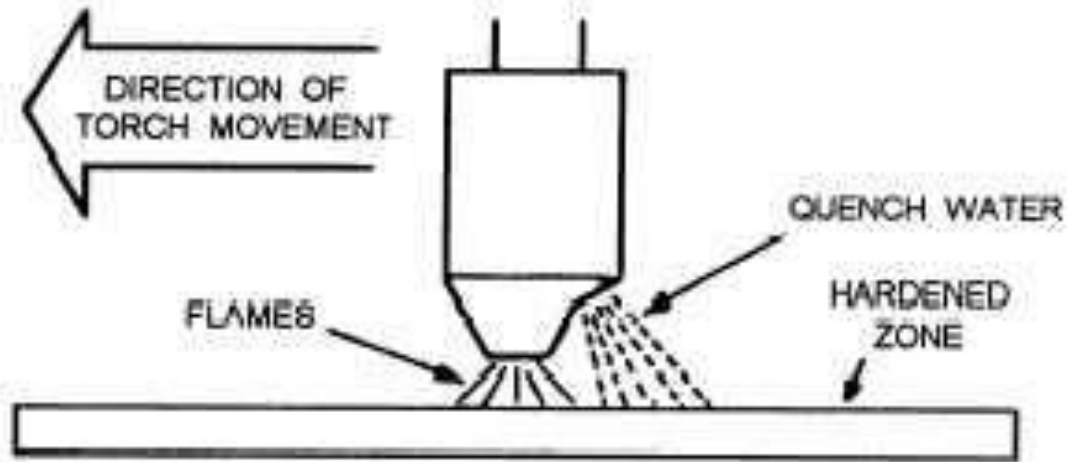
$$\psi = 5000 \sqrt{\frac{\rho}{\mu * f}} \text{ cm}$$

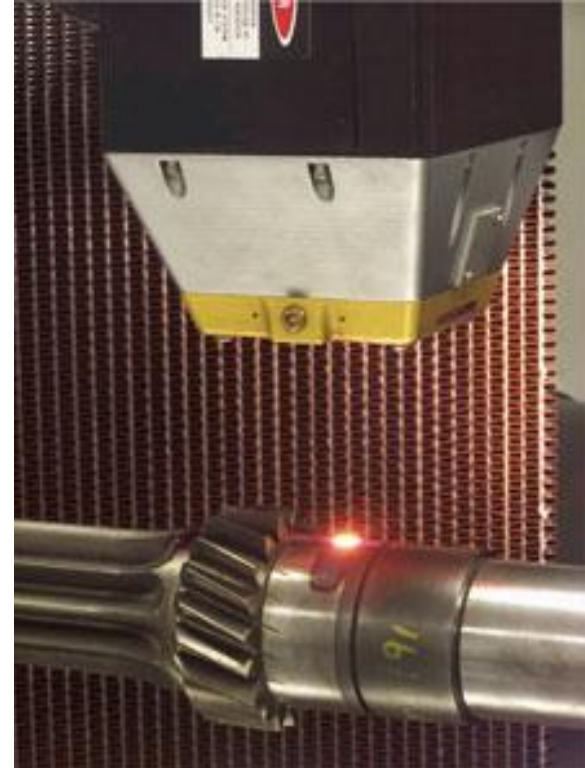
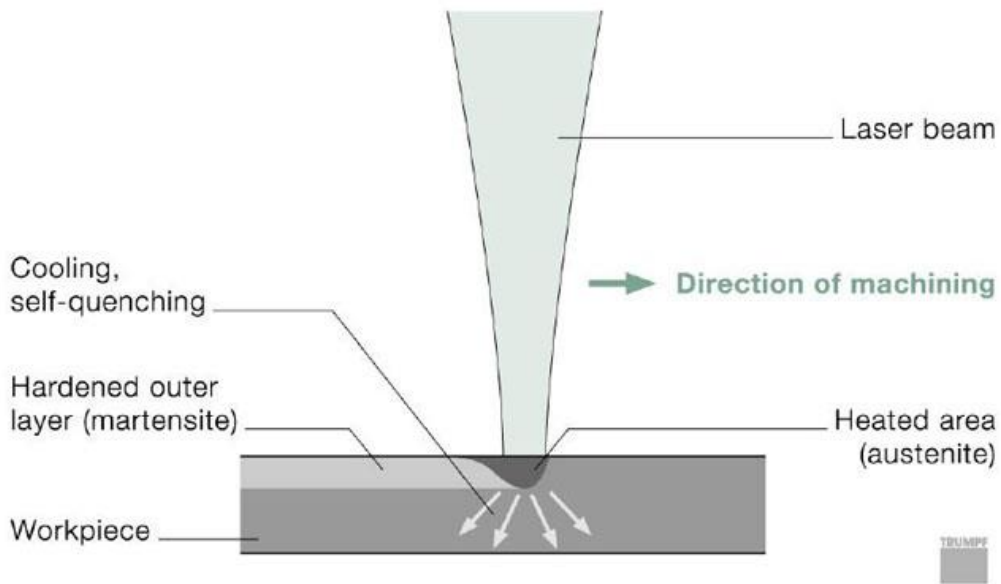
ψ = βάθος διείσδυσης του ρεύματος (cm), ρ = Ειδική ηλεκτρική αντίσταση (microohm-cm)

M = μαγνητική διαπερατότητα του χάλυβα (gs/oerst), f = Συχνότητα ρεύματος (cps)

Εφαρμογές: Επαγωγική θέρμανση χρησιμοποιείται ευρέως για την επιφανειακή σκλήρυνση σε γρανάζια, άξονες, τροφάλους, έκκεντρα, κυλίνδρους, κλπ. , ο σκοπός είναι να βελτιωθεί η αντοχή στην τριβή και η αντίσταση στη κόπωση. Το μέσο ψύξης συνήθως είναι νερό ή ειδικά γαλακτώματα

Φλογοβαφή (Oxyacetylene Flame Hardening)



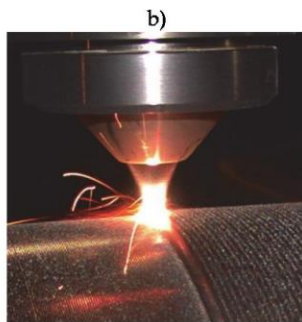
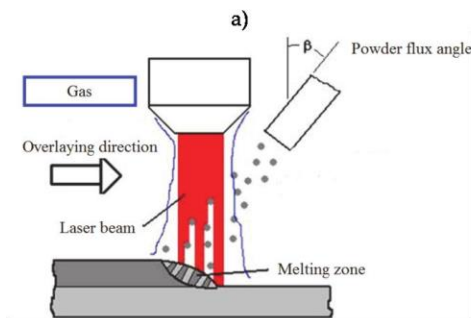
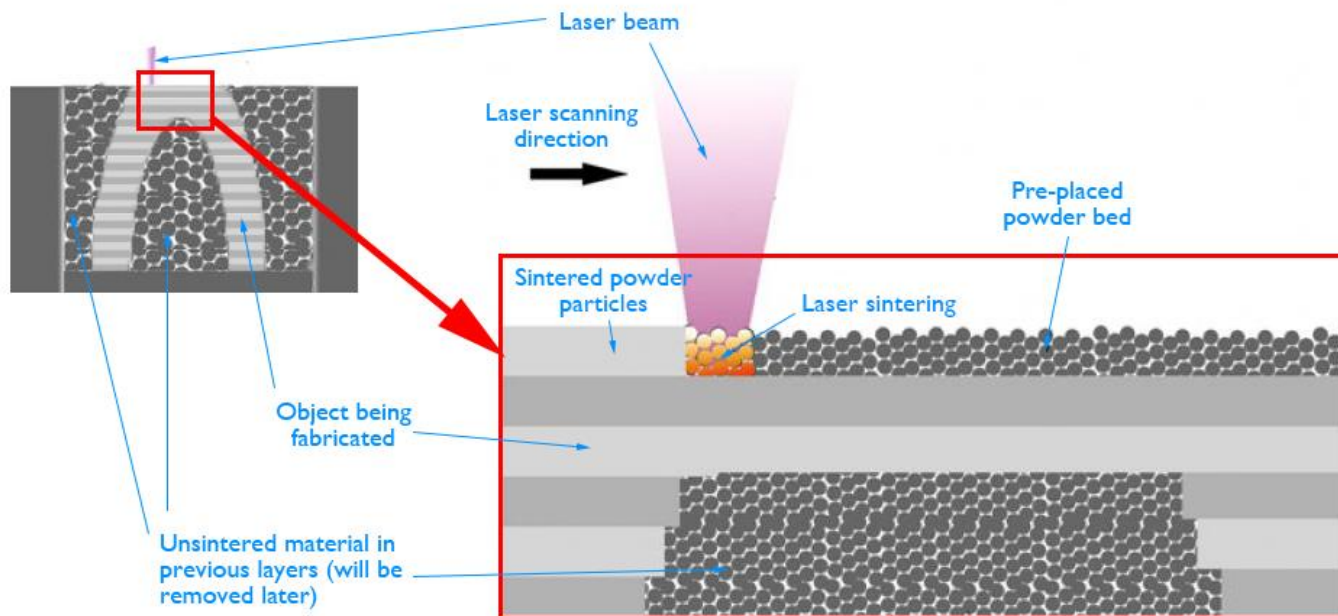


Πως λειτουργεί η σκλήρυνση με Laser; Η δέσμη laser θερμαίνει την εξωτερική στοιβάδα του μετάλλου. Ταχεία ψύξη στη θερμοκρασία περιβάλλοντος προκαλεί σκλήρυνση της εξωτερικής στοιβάδας.

Επιφανειακές κατεργασίες με LASER

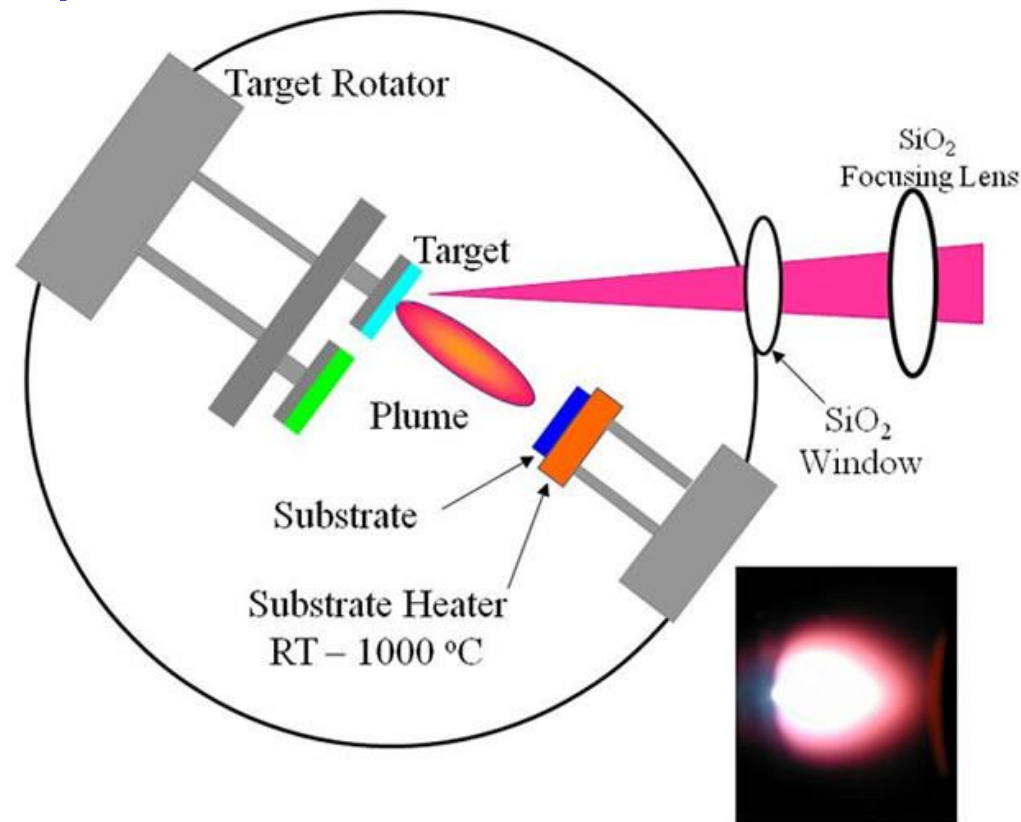
1. Σκλήρυνση (βλπ προηγούμενη διαφάνεια)
2. Εμφύτευση
3. Εναπόθεση επιφανειακού στρώματος

Εμφύτευση με LASER. Το υλικό επίστρωσης τοποθετείται απευθείας πάνω στο υπόστρωμα όπου τήκεται με τη δέσμη Laser και εμφυτεύεται στην επιφάνεια του χάλυβα



Το υλικό τροφοδοτείται υπό μορφή σωματιδίων στη διεύθυνση της δέσμης τήκεται και εμφυτεύεται στο υπόστρωμα

Εναπόθεση με Laser(μέθοδος CVD): το υλικό επίστρωσης τοποθετείται ως στόχος στην πορεία της δέσμης ,εξαχνώνεται και αποτίθεται στο θερμό υπόστρωμα



Τυποποίηση Χαλύβων-Χαλυβοκραμάτων

AISI (American Iron Steel Institute)

10xx Κοινοί χάλυβες , 11xx χάλυβες ελεύθερης κοπής κλπ

Συμβολισμός κατά DIN

➤ Κοινοί χάλυβες St-αντοχή εφελκυσμού -1,2,3

Πχ Stahl 20-3 Αντοχή 20Kp/mm^2 ανώτερης ποιότητας

➤ Χάλυβες υψηλής καθαρότητας CK 40 \longrightarrow 0,4% C

Χαλυβοκραματα με περιεκτικότητα <5%. 40CoMoP212

0,4%C, 0,5%Co, 0,1% Mo, 0,02% P

Συντελεστές [Cr, Co, Mn, Ni, Si, W*4], [Al, Mo, Ti, V*10] ,

[P, S, N-100]

**Χαλυβοκράματα με περιεκτικότητα
προσθηκών >5%**

**Οι περιεκτικότητες μπαίνουν κατά
σειρά από τη μεγαλύτερη στη
μικρότερη ως έχουν**

**Για διάκριση μπροστά από το
συμβολισμό μπαίνει τοΧ**

X10CCrNi188 

0,1%C, 18%Cr, 8%Ni

**Προτεινόμενες ασκήσεις για λύση
από το βιβλίο : Callister-Rethwisch-
οι αριθμοί αντιστοιχούν
στην 9 η έκδοση
,12.20 , 12.22 ,12.24
,12.28,12.29,12.34,12.D3,10.D5**

**Ασκήσεις που αφορούν την
εμβαπτότητα (επιδεκτικότητα βαφής)
«jominy test kef 17»**