

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

Θέμα:
«ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΠΕΡΙ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ»

Πτυχιακή εργασία
Του σπουδαστή: ΚΑΖΑΔΕΛΗ ΙΩΑΝΝΗ
Επόπτης καθηγητής: ΑΓΡΙΑΝΙΔΗΣ ΠΑΥΛΟΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2007

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα μηχανολογικά υλικά γενικά διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα μεταλλικά υλικά (μέταλλα και κράματα), τα πολυμερή (κυρίως τα πλαστικά) και τα κεραμικά. Τα μεταλλικά υλικά είναι αυτά τα οποία έχουν πρωταρχικό ρολό στη βιομηχανία, κυρίως για μηχανολογικές κατασκευές. Από τη διδασκαλία του μαθήματος «τεχνολογία των υλικών» κατάλαβα ότι τα πρώτα στάδια της κατασκευής οποιουδήποτε βιομηχανικού προϊόντος, είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός. Το βασικό κριτήριο επιλογής ενός υλικού είναι η επιθυμητή συμπεριφορά του, δηλ. η ικανότητα του να ανταποκρίνεται στις συνθήκες εφαρμογής που έχουν προκαθοριστεί. Στη παρούσα πτυχιακή θα περιγράψω τη δομή των μεταλλικών υλικών και θα αναφέρω κάποιες ιδιότητες τους. Οι ιδιότητες των υλικών εξαρτώνται άμεσα από τη δομή τους και οι ιδιότητες των υλικών περιγράφουν τη συμπεριφορά τους όταν αυτά βρίσκονται κάτω από την επίδραση διαφόρων μορφών ενέργειας. Επίσης θα αναφέρω τις κατεργασίες που γίνονται στα μεταλλικά υλικά και κυρίως τις θερμικές κατεργασίες, οι οποίες έχουν σκοπό την μεταβολή της δομής τους, με αποτέλεσμα την βελτίωση των ιδιοτήτων τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος
Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

- 1.1. Γενικά για τα μέταλλα
- 1.2. Μεταλλουργία
- 1.3. Ιστορικά στοιχεία

Κεφάλαιο 2: Μεταλλογνωσία

Εισαγωγή

- 2.1. Εμφάνιση και φυσικές ιδιότητες
- 2.2. Μηχανικές ιδιότητες
- 2.3. Χημικές ιδιότητες
- 2.4. Κρυσταλλική δομή των μετάλλων
- 2.5. Η στερεοποίηση (ή κρυστάλλωση) των μετάλλων
- 2.6.1. Ατέλειες κρυσταλλικής δομής
- 2.6.2. Σημειάκες ατέλειες
- 2.6.3. Επίπεδες ατέλειες
- 2.7. Διάχυση
- 2.8. Θερμικές ιδιότητες των μετάλλων

Κεφάλαιο 3: Κράματα

Εισαγωγή

- 3.1. Στερεό διάλυμα
- 3.2. Ψυχρηλασία των μετάλλων και κραμάτων-(Ανακρυστάλλωση)
- 3.3. Ανθρακούχοι χάλυβες
- 3.4. Αλλοτροπίες του σιδήρου
- 3.5. Μελέτη του διμερούς συστήματος Fe-C
- 3.6. Η περιοχή των ανθρακούχων χαλύβων

Κεφάλαιο 4: Θερμικές Κατεργασίες

Εισαγωγή

- 4.1. Θερμικές κατεργασίες χαλύβων
- 4.2. Θερμικές κατεργασίες εντός της μάζας
 - 4.2.1. Ανόπτηση
 - 4.2.1.1. Ανόπτηση κατεργασίας
 - 4.2.1.2. Πλήρης ανόπτηση
 - 4.2.1.3. Ανόπτηση ανακρυστάλλωσης
 - 4.2.1.4. Ανόπτηση αποκατάστασης
 - 4.2.1.5. Αποτατική ανόπτηση
 - 4.2.1.6. Ανόπτηση σφαιροποίησης

- 4.2.2.Βαφή
 - 4.2.2.1.Λουτρά βαφής
 - 4.2.2.2.Προθέρμανση
 - 4.2.2.3.Θερμοκρασία βαφής
 - 4.2.2.4.Μέθοδοι βαφής
- 4.2.3.Εμβαπτότητα του χάλυβα
- 4.2.4.Επαναφορά
- 4.3.Επιφανειακές κατεργασίες χαλύβων
 - 4.3.1.Θερμικές τεχνικές
 - 4.3.1.1.Φλογοβαφή
 - 4.3.1.2.Επαγωγική επιφανειακή θέρμανση
 - 4.3.1.3.Δέσμες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας
 - 4.3.2.Θερμοχημικές τεχνικές-εμποτισμοί
 - 4.3.2.1.Ενανθράκωση
 - 4.3.2.2.Εναζώτωση
 - 4.3.2.3.Ενανθρακαζώτωση
 - 4.3.2.4.Εμφύτευση ιόντων
- 4.4.Κλίβανοι θερμικών κατεργασιών
- 4.5.Γενικά περί των χαλυβοκραμάτων
- 4.6.Θερμικές κατεργασίες χαλυβοκραμάτων
- 4.7.Ατυχήματα θερμικών κατεργασιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.Γενικά για τα μέταλλα

Είναι τα γνωστά σε όλους χημικά στοιχεία. Ξεχωρίζουν από τ' άλλα σώματα με την χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη τους τη σκληρότητα και την αντοχή τους. Η δομή τους είναι κρυσταλλική, είναι όλα αδιαφανή κι έχουν όλα σχεδόν μεγάλο ειδικό βάρος. Το πιο ελαφρύ, το λίθιο έχει ειδικό βάρος 0,59 και το όσμιο είναι το βαρύτερο με 22,48. Είναι όλα τους καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Στη συνηθισμένη θερμοκρασία είναι στερεά, εκτός από τον υδράργυρο, το μόνο υγρό μέταλλο, τήκονται όμως όλα, αλλά σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα μέταλλα είναι ελατά, δηλαδή, με κατεργασία αποκτούν μορφή ελασμάτων (πλακών, φύλλων) και όλκιμα, που σημαίνει ότι γίνονται σύρματα. Τα περισσότερα ενώνονται χημικά με το οξυγόνο κι αποτελούν οξειδία (σκουριές). Τα ευγενή μέταλλα (χρυσός, άργυρος, λευκόχρυσος) δεν οξειδώνονται και τα δυο πρώτα χρησιμοποιούνται και για κατασκευή νομισμάτων.

1.2.Μεταλλουργία

Η επιστήμη, η τεχνική και ο κλάδος της βιομηχανίας που έχουν σχέση με την εξαγωγή μετάλλων από μεταλλεύματα ή άλλες ουσίες και με τις ιδιότητες των μεταλλικών κραμάτων.

Στη μεταλλουργία υπάγονται:

- 1)Οι διεργασίες για την επεξεργασία των μεταλλευμάτων, που εξορύσσονται από τη γη, προκειμένου να κατεργαστούν για την εξαγωγή των μετάλλων.
- 2)Ο εξευγενισμός των μετάλλων (απομάκρυνση άχρηστων προσμείξεων).
- 3)Η παρασκευή κραμάτων.
- 4)Η επεξεργασία των μετάλλων με πίεση και χύτευση, καθώς και η συγκόλληση αυτών.
- 5)Η χημικοθερμική και θερμική επεξεργασία των μετάλλων.
- 6)Οι επικαλύψεις για διακοσμητικούς κ.τ.λ. σκοπούς της επιφάνειας των μεταλλικών αντικειμένων με άλλο μέταλλο.

Οι φάσεις παραγωγής των μετάλλων είναι:

- α) Προετοιμασία των μεταλλευμάτων για μεταλλουργική κατεργασία.
- β) Πυρομεταλλουργία
- γ) Υδρομεταλλουργία

1.3. Ιστορικά στοιχεία

Η μεταλλουργία, ως τέχνη εξαγωγής μετάλλων από μεταλλεύματα, εμφανίστηκε από τους αρχαιότερους χρόνους. Το πρώτο μέταλλο που ανακάλυψε ο άνθρωπος πριν από 5-6 χιλιάδες χρόνια, ήταν ο αυτοφυής χρυσός. Αργότερα ανακαλύφθηκε ο αυτοφυής χαλκός και άργυρος, καθώς και ο μετεωρικός σίδηρος. Τα μέταλλα στην αρχή έγιναν χρήσιμα με την σφυρηλάτηση (ψυχρή-θερμή) και μεταγενέστερα με χύτευση. Μετά την εποχή του χαλκού, άρχισε η ορειχάλκινη εποχή. Η κατεργασία του σιδήρου εμφανίστηκε αργότερα. Η ευρύτερη χρήση του σιδήρου αρχίζει το 1200-1500 π.χ.

Το 18ο αι. εμφανίστηκε στην Ευρώπη η μέθοδος παραγωγής χάλυβα σε χωνευτήριο, η παραγωγή όμως σε χάλυβα σε μεγάλη έκταση άρχισε μόλις κατά το 1860-70 με τις μεθόδους κατεργασίας Μπέσεμερ, Μαρτέν και Τόμας.

Τον 20ο αι. άρχισε η παραγωγή ποιοτικού χάλυβα (ανώτερης ποιότητας) σε ηλεκτρικά καμίνια και με χημικοθερμική επεξεργασία. Σήμερα υπάρχουν πάνω από 8.000 κράματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΤΑΛΛΟΓΝΩΣΙΑ

Εισαγωγή

Παρ' όλο που μέταλλα όπως ο σίδηρος ή ο χαλκός διακρίνονται και με την όραση ή την αφή από μη μεταλλικά υλικά όπως το γυαλί, το ξύλο ή το πλαστικό απαιτείται ένα σύνολο ιδιοτήτων για να καθορίσει αν το δεδομένο κάθε φορά υλικό είναι μέταλλο ή όχι. Το σύνολο αυτό είναι γνωστό ως μεταλλικές ιδιότητες οι οποίες είναι οι εξής:

2.1.Εμφάνιση και φυσικές ιδιότητες

Η εμφάνιση είναι το πιο φανερό χαρακτηριστικό των μετάλλων, επειδή τα μέταλλα είναι στερεά, αδιαφανή, βαριά και έχουν την χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Η λάμψη όμως μόνη της δεν είναι αρκετή, επειδή και μη μεταλλικά όπως το ιώδιο, οι πολύτιμοι λίθοι, ακόμα και το μετάξι, έχουν παρόμοια λάμψη. Ούτε η μεγάλη πυκνότητα φτάνει, επειδή το μέταλλο λίθιο π.χ. έχει τη μισή πυκνότητα του νερού. Επίσης όλα τα μέταλλα είναι στερεά στη θερμοκρασία δωματίου, υπάρχει όμως και η εξαίρεση του Hg, που στερεοποιείται στους -39°C . Όλα τα καθαρά μέταλλα λιώνουν όταν αυξηθεί η θερμοκρασία τους στην κατάλληλη τιμή, που είναι χαρακτηριστική του μετάλλου. Αν όμως υπάρχουν ξένες προσμίξεις, έστω και σε μικρό ποσοστό, η τιμή αυτή μεταβάλλεται. Η πλειοψηφία των μετάλλων έχει καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, με πρώτο τον άργυρο και στη συνέχεια το χρυσό, το χαλκό και το αλουμίνιο. Παρ' όλα αυτά μικρές ποσότητες ξένων προσμίξεων μπορούν να αλλάξουν σημαντικά τις τιμές. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού π.χ. μειώνεται κατά 50% με 0,1% πρόσμιξη φωσφόρου. Επίσης τα μέταλλα εκπέμπουν ηλεκτρόνια είτε με θέρμανση είτε με την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου.

2.2.Μηχανικές ιδιότητες

Με τον όρο αυτό εννοούμε την συμπεριφορά κάτω από την επιδράση μηχανικών τάσεων, όπως π.χ. την ικανότητα να υπομένουν ένα βάρος ή να μπορούν να σφυρηλατηθούν ή να μορφοποιηθούν χωρίς να σπάσουν. Όλα αυτά αποτελούν την «αντοχή», ιδιότητα

που έχουν τα μέταλλα, σε διαφορετικό όμως βαθμό το καθένα. Ο χάλυβας είναι από τα ανθεκτικότερα μέταλλα, ενώ ο ψευδάργυρος, ο κασσίτερος και ο μόλυβδος από τα ασθενέστερα. Ο χαλκός και ο άργυρος μπορούν να σφυρηλατηθούν σε πολύ λεπτά φύλλα, ενώ μπορούμε να κατασκευάσουμε από τα υλικά αυτά σύρματα πιο λεπτά από μια τρίχα. Αντίθετα το αντιμόνιο, το αρσενικό και το βισμούθιο είναι ψαθυρά, εύθρυπτα μέταλλα και δεν αντέχουν σε παραμόρφωση.

2.3.Χημικές ιδιότητες

Η βασική χημική ιδιότητα που έχουν ιδιαίτερα τα μέταλλα είναι ότι μπορούν να αντικαταστήσουν το υδρογόνο των οξέων, σε διαφορετικό όμως βαθμό το καθένα. Έτσι ο χρυσός, ο άργυρος και ο λευκόχρυσος έχουν αυτή την ικανότητα σε ελάχιστο βαθμό (γι αυτό και πολλές φορές ονομάζονται ευγενή μέταλλα, επειδή εξαιτίας της δεν προσβάλλονται από τα οξέα), ενώ το αλουμίνιο και το μαγνήσιο σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Τα μέταλλα ονομάζονται και αγωγοί, εξαιτίας της καλής τους θερμικής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ενώ τα αμέταλλα ονομάζονται και μονωτές.

2.4.Κρυσταλλική δομή των μετάλλων

A)Κρυσταλλικά πλέγματα

Τα μέταλλα έχουν κρυσταλλική δομή και αυτό αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα τους. Διακρίνουμε γενικά δυο είδη σωμάτων: τα **άμορφα** και τα **κρυσταλλικά**. Στα άμορφα σώματα τα άτομα διατάσσονται με τρόπο ακανόνιστο και παίρνουν θέσεις, οι όποιες δεν έχουν καμιά σχέση με τις θέσεις των γειτονικών τους ατόμων. Στα κρυσταλλικά όμως σώματα τα άτομα διατάσσονται στο χώρο έτσι, ώστε να ακολουθούν ορισμένη κανονική γεωμετρική μορφή. Η διάταξη αυτή των ατόμων των κρυσταλλικών σωμάτων δεν είναι η ίδια, αλλά ποικίλει ανάλογα με το είδος του σώματος. Η διάταξη των ατόμων των κρυσταλλικών σωμάτων στο χώρο αποτελεί αυτό που ονομάζουμε **κρυσταλλικό πλέγμα**.

Υπάρχουν 14 τύποι κρυσταλλικών πλεγμάτων. Τα περισσότερα όμως από τα μέταλλα κρυσταλλώνονται κατά τρία απλά και με μεγάλη συμμετρία κρυσταλλικά πλέγματα που είναι τα εξής:

- α) Το χωροκεντρωμένο κυβικό
- β) Το εδροκεντρωμένο κυβικό
- γ) Το μέγιστης πυκνότητας εξαγωνικό

Όταν μελετάμε τα κρυσταλλικά αυτά πλέγματα, θεωρούμε ότι τα άτομα είναι στερεές σφαίρες, χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη μας την υπόλοιπη ατομική δομή, δηλαδή τα ηλεκτρόνια.

α)Χωροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα

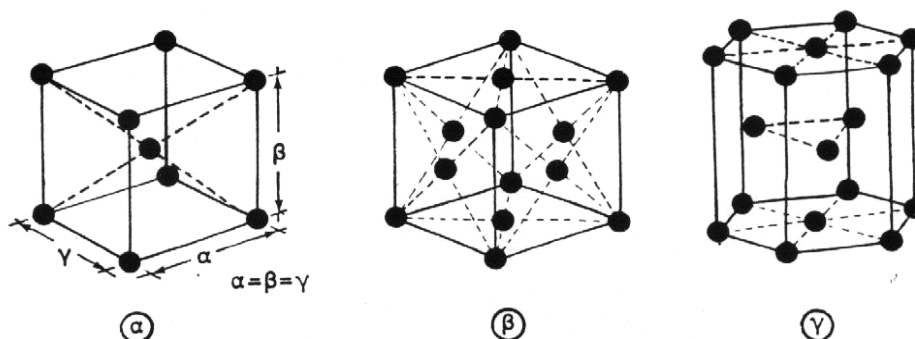
Σ' αυτό το πλέγμα τα κέντρα βάρους των ατόμων (σφαιρών) καταλαμβάνουν τις κορυφές και το γεωμετρικό κέντρο του «στοιχειώδους κύβου» (στοιχειώδους κύβου) του πλέγματος. Σε κάθε στοιχειώδες κύτταρο αντιστοιχούν δύο άτομα. Πολλά στοιχειώδη κύτταρα αποτελούν το πλέγμα.

β)Εδροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα

Τα κέντρα βάρους των ατόμων καταλαμβάνουν τις κορυφές και τα γεωμετρικά κέντρα των εδρών του στοιχειώδους κύβου του πλέγματος. Σε κάθε στοιχειώδη κύβο αντιστοιχούν τέσσερα άτομα στην περίπτωση αυτή.

γ)Μέγιστης πυκνότητας εξαγωνικό πλέγμα

Σ' αυτή τη περίπτωση σε κάθε στοιχειώδες κύτταρο αντιστοιχούν έξι άτομα.Τα κέντρα βάρους των ατόμων διατάσσονται όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.



Σχ.2.1.

Οι τρεις βασικοί τύποι κρυσταλλικών πλεγμάτων των μετάλλων: α) Χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα: Βανάδιο, μολυβδαίνιο, βολφράμιο, α-σίδηρος, δ-σίδηρος, α-χρώμιο κλπ. β) Εδροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα: Χαλκός, άργυρος, χρυσός, αργίλιο, μόλυβδος, γ-σίδηρος, β-χρώμιο, β-κοβάλτιο, β-νικέλιο κλπ. γ) Μέγιστης πυκνότητας εξαγωγικό κρυσταλλικό πλέγμα: Βηρύλλιο, μαγνήσιο, ψευδάργυρος, κάδμιο, α-κοβάλτιο, α-νικέλιο κλπ.

2.5.Η στερεοποίηση (ή κρυστάλλωση) των μετάλλων

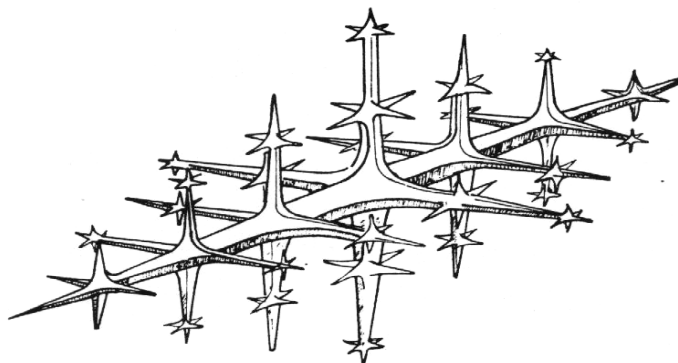
Σ' αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τον τρόπο,με τον οποίο ένα καθαρό μέταλλο «στερεοποιείται ή κρυσταλλώνεται»,αποκτά δη-

λαδή την κρυσταλλική του δομή από την υγρή του κατάσταση (τήγμα).

Όταν αρχίσει το τήγμα να αποψύχεται (με αφαίρεση θερμότητας) και αποκτήσει ορισμένη θερμοκρασία που είναι χαρακτηριστική για κάθε καθαρό μέταλλο (σημείο πήξεως ή τήξεως, γιατί και η μια και η άλλη γίνονται στην ίδια θερμοκρασία), τότε αρχίζει η στερεοποίηση του. Αρχικά σχηματίζεται στη μάζα του τήγματος μικροσκοπικός κρύσταλλος, αμέσως μετά αφού συνεχίζουμε την αποψύξη, σχηματίζονται και άλλοι μικροσκοπικοί κρύσταλλοι σε τυχαίες θέσεις οι οποίοι ονομάζονται **φύτρα ή κέντρα κρυσταλλώσεως**.

Στις θέσεις που έχουν δημιουργηθεί φύτρα, αρχίζει ο σχηματισμός της κρυσταλλικής δομής με προσθήκη ατόμων σε θέσεις που καθορίζονται επακριβώς από το είδος του κρυσταλλικού πλέγματος του συγκεκριμένου μετάλλου.

Εφόσον η στερεοποίηση συνεχίζεται, στα φύτρα προσθέτονται και αλλά άτομα, αρχίζουν δε να σχηματίζονται κρύσταλλοι, ενώ στις άλλες νέες τυχαίες θέσεις δημιουργούνται νέα φύτρα, των οποίων ο αριθμός περιορίζεται, καθώς η απόψυξη προχωρεί. Οι κρύσταλλοι αυτοί έχουν μορφή **δενδριτών** δηλαδή κρυσταλλικών σκελετών από τη σπονδυλική στήλη των οποίων εκφύονται κλάδοι. Από αυτούς τους κλάδους φυτρώνουν άλλοι δευτερεύοντες κλάδοι και ούτω καθ' εξής. Οι κλάδοι των δενδριτών συνεχίζουν να αναπτύσσονται, ώσπου να καταλειφθεί ο χώρος μεταξύ τους από στερεοποιημένο μέταλλο.



Σχ.2.2
Μορφή δενδρίτη

Εν τω μεταξύ οι εξωτερικοί κλάδοι των δενδριτών κατά την ανάπτυξη τους εφάπτονται με κλάδους άλλων γειτονικών δενδριτών, που έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα από άλλα φύτρα. Έτσι στις θέ-

σεις επαφής των κλάδων διαφορετικών δενδριτών εμποδίζεται η περαιτέρω ανάπτυξη. Ο τρόπος αυτός της δημιουργίας των κρυστάλλων κατά την στερεοποίηση μετάλλων εξηγεί το ακανόνιστο γενικά σχήμα τους.

Όταν συμπληρωθεί η στερεοποίηση, το μέταλλο αποτελείται από **κόκκους** ή **κρυσταλλίτες**. Το μέταλλο δηλαδή δεν απαρτίζεται από συνεχές κρυσταλλικό πλέγμα (μονοκρυσταλλος), αλλά από πολλούς κρυσταλλίτες, που σχηματίζονται, όπως αναφέραμε, κατά τη στερεοποίηση με ιδιαίτερο όμως ο καθένας προσανατολισμό.

Οι επιφάνειες επαφής των δενδριτών αποτελούν τα «όρια των κόκκων». Τα μέταλλα τα οποία στερεοποιούνται με τον τρόπο που αναφέραμε ονομάζονται **πολυκρυσταλλικά**.

Τα μέταλλα δεν είναι συνήθως απόλυτα καθαρά, αλλά περιέχουν διάφορες προσμίξεις οι οποίες καταλαμβάνουν τα όρια των κόκκων, γιατί έχουν τη τάση να παραμένουν στο μέταλλο, που στερεοποιείται τελευταίο. Η παρουσία των ορίων αυτών έχει άλλοτε ευνοϊκές και άλλοτε δυσμενείς επιπτώσεις στις ιδιότητες των μετάλλων. Μπορεί να συμβεί μια προσβολή γνωστή ως περικρυσταλλική διάβρωση. Αντίθετα, όταν κατά την κραματοποίηση έχουμε διασπορά ενός συστατικού στην ίδια περιοχή, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά η αντοχή του μετάλλου. Επίσης, τα όρια κόκκων συχνά παρεμποδίζουν την αύξηση του μήκους ρωγμών και γενικά αποτελούν φραγμό για την μετακίνηση των διαταραχών των πλεγμάτων στην οποία βασίζεται η πλαστική παραμόρφωση των μετάλλων.

2.6.Ατέλειες κρυσταλλικής δομής

Οι πραγματικοί κρύσταλλοι δεν αποτελούνται μόνο από ένα είδος ατόμων σε καθορισμένες θέσεις, ούτε τα άτομα είναι πάντοτε τοποθετημένα στα πλεγματικά σημεία που προβλέπονται από το πλέγμα. Έτσι λέμε ότι οι πραγματικοί κρύσταλλοι περιέχουν ατέλειες. Η παρουσία ατελειών σε ένα υλικό έχει μεγάλη επίδραση στις ιδιότητες του, ιδιαίτερα τις μηχανικές. Έτσι ο χαλκός έχει θεωρητική τιμή τάσης ολίσθησης περίπου 35 φορές μεγαλύτερη από την πειραματικά προσδιοριζόμενη. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην ύπαρξη των ατελειών και ιδιαίτερα των εξαρμόσεων. Δηλαδή το μέταλλο εδώ γίνεται πιο μαλακό εξαιτίας των εξαρμόσεων.

Επειδή είναι πλεγματικές ατέλειες, μπορούν να αντιμετωπιστούν γεωμετρικά και να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

α)Σημειακές ατέλειες

β)Γραμμικές ατέλειες ή εξαρμόσεις

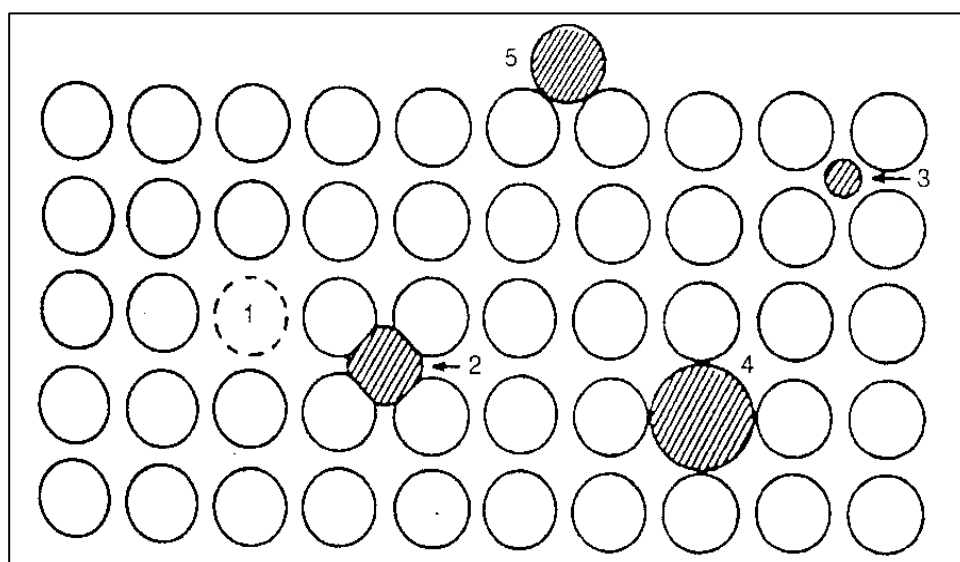
γ)Επίπεδες ατέλειες

Επίσης μπορούμε να τις χωρίσουμε με θερμοδυναμικά κριτήρια σε δύο άλλες κατηγορίες, τις **αντιστρεπτές** και τις **μη αντιστρεπτές**. Οι σημειακές ατέλειες είναι αντιστρεπτές. Δηλαδή σε μια θερμοκρασία σχηματίζονται έστω x από αυτές. Σε μια υψηλότερη θερμοκρασία αυτές θα γίνουν $x_2 > x$. Αν όμως γυρίσουμε στην πρώτη θερμοκρασία, οι ατέλειες θα ξαναγίνουν x . Οι γραμμικές και οι επίπεδες ατέλειες είναι μη αντιστρεπτές, γιατί ο αριθμός τους ελαττώνεται όταν θερμαίνουμε το μέταλλο, αλλά δεν ξαναδημιουργούνται όταν στην συνέχεια επιστρέψουμε στην αρχική θερμοκρασία.

2.6.1. Σημειακές ατέλειες

Πρόκειται για τοπικές διαταραχές σε κάποιο σημείο του μεταλλικού πλέγματος, οι οποίες διακόπτουν την κανονικότητα του. Οι πιο συνηθισμένες ατέλειες αυτού του είδους είναι οι εξής:

- α) από απουσία ενός ατόμου της δομής, (θέση 1) (πλεγματοτικό κενό)
- β) από την παρουσία ατόμου της δομής σε θέση που προβλεπόταν κενό, (θέση 2) (ενδόθετο άτομο της δομής).
- γ) από την παρουσία ξένου ατόμου σε χώρο κενού, (θέση 3) (ξένο ενδόθετο).
- δ) από την παρουσία ξένου ατόμου σε κανονική θέση του πλέγματος, (θέση 4) (άτομο αντικατάστασης).



Σχ.2.3.

Είδη σημειακών ατελειών: 1. πλεγματοτικό κενό, 2, 3, 4, .. διάφορες περιπτώσεις ενδόθετων ατόμων, (1-5) ατέλεια του Schottky

Αν το ίδιο το άτομο δημιουργεί τις (1 και 2), τότε ο συνδυασμός τους ονομάζεται **ατέλεια του Frenkel**. Αν το άτομο που φεύγει από την θέση του πάει στην επιφάνεια (1 και 5) ο συνδυασμός του με το κενό ονομάζεται **ατέλεια Schottky**. Οι ατέλειες αυτές δημιουργούν και κάποια αύξηση του όγκου.

Η τοποθέτηση ενός ξένου ατόμου σε θέση αντικατάστασης ή ενδόθετη εξαρτάται από το μέγεθος του. Αν είναι μικρό (άνθρακας, βόριο, υδρογόνο, άζωτο, οξυγόνο) μπαίνει ως ενδόθετο. Αντίθετα όταν δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στο μέγεθος των ατόμων τότε μπαίνει με αντικατάσταση. Τα κενά μπορούν να δημιουργηθούν από πλαστική παραμόρφωση ή βομβαρδισμό με σωματίδια μεγάλης ενέργειας και φυσικά με θέρμανση σε ψηλές θερμοκρασίες.

Η μεταπήδηση ενός ατόμου από την κανονική του θέση σε πλεγματικό κενό, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό στη διάχυση, εξαρτάται από το υλικό, τον αριθμό των ατόμων γύρω από το κενό (δηλαδή τη δομή) και τη συχνότητα με την οποία δονούνται.

2.6.2. Γραμμικές ατέλειες ή εξαρμώσεις

Μια ατέλεια αυτής της μορφής μπορεί να θεωρηθεί σαν μια γραμμή που χωρίζει ένα κρυσταλλικό επίπεδο σε δύο τμήματα που είναι από μόνα τους τέλεια, αλλά είναι ατελή στα σημεία επαφής τους. Η δημιουργία μιας τέτοιας γραμμικής ατέλειας μπορεί να εξηγηθεί αν θεωρήσουμε ότι το ένα τμήμα ολισθαίνει, σε καθορισμένα από τη δομή επίπεδα, σε σχέση με το άλλο, ύστερα από εφαρμογή τάσης. Η γραμμή με τις ατέλειες που σχηματίζεται στην περιοχή διαχωρισμού των δύο τμημάτων ονομάζεται **εξάρμωση** και το επίπεδο πάνω στο οποίο μπορεί να γίνει ολίσθηση κατά τη διεύθυνση ολίσθησης λέγεται **επίπεδο ολίσθησης**. Το επίπεδο αυτό περιέχει φυσικά και την εξάρμωση (διαταραχή).

Οι εξαρμώσεις χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την διεύθυνση της γραμμικής ατέλειας σε σχέση με την διεύθυνση ολίσθησης:

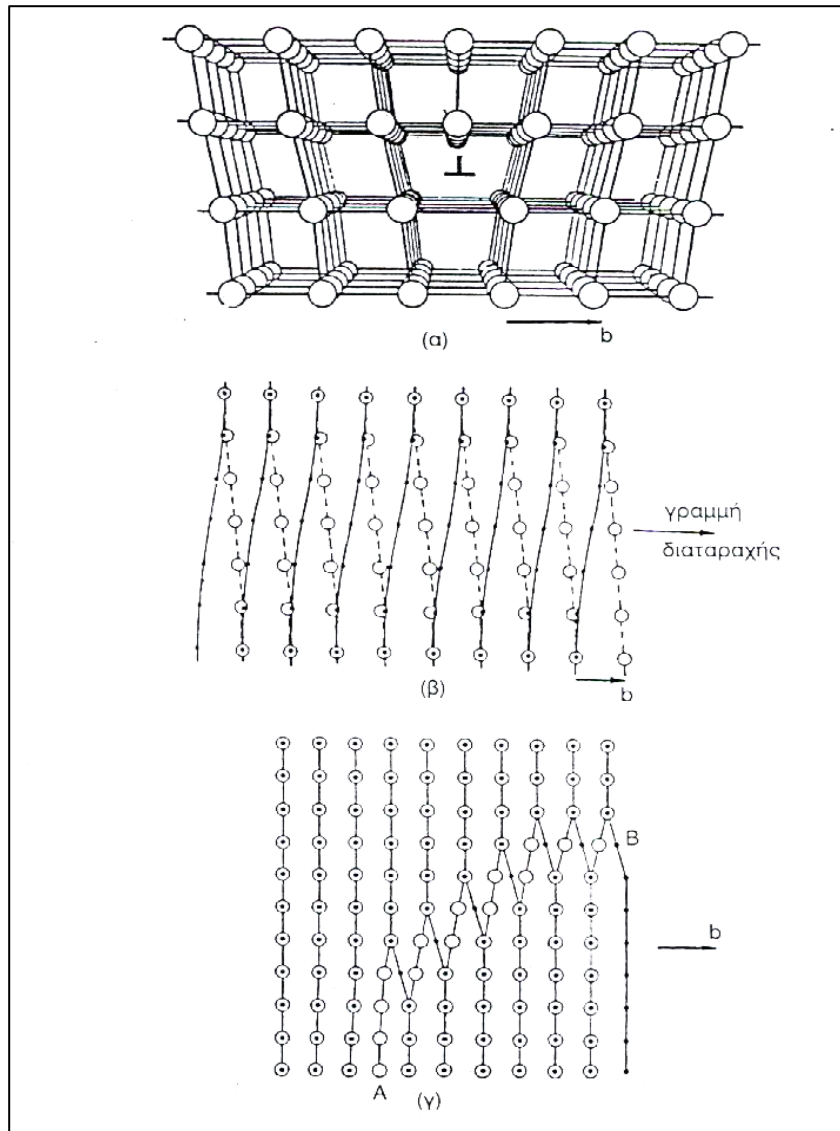
- α) διαταραχή ακμής, όταν η διεύθυνση της ολίσθησης είναι κάθετη στην διαταραχή
- β) διαταραχή κοχλία ή ελικοειδής διαταραχή, όταν οι δυο διευθύνσεις είναι παράλληλες
- γ) μικτή διαταραχή, όταν οι δυο διευθύνσεις σχηματίζουν τυχαία γωνία. Πρόκειται προφανώς για ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ των κατηγοριών α) και β).

Η δημιουργία των διαταραχών οφείλεται σε ολίσθηση ενός τμήματος ενός κρυσταλλικού σώματος σε σχέση με το υπόλοιπο. Η

ολίσθηση αυτή συνδέεται άμεσα με την κίνηση των διαταραχών που μελετώνται με ηλεκτρικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης.

Οι διαταραχές δημιουργούνται βασικά κατά την πήξη του μετάλλου. Ακόμη δημιουργούνται κατά την πλαστική εν ψυχρώ παραμόρφωση του μετάλλου.

Η δημιουργία και η κίνηση αυτή των διαταραχών αποτελεί τον ουσιώδη παράγοντα, σε μικρό-επίπεδο, για την κατανόηση της πλαστικής συμπεριφοράς των μετάλλων.



Σχ.2.4.

Διευθετήσεις των ατόμων γύρω από διαφορά είδη διαταραχών και η σχετική θέση του b ως προς τη γραμμή διαταραχής: (α) Διαταραχή ακμής κάθετη στο επίπεδο του σχήματος. (β) Ελικοειδής διαταραχή με οριζόντια διεύθυνση. Οι μαύρες κουκίδες παριστάνουν άτομα πάνω από το επίπεδο του σχήματος. (γ) Μικτή διαταραχή AB παράλληλη στο επίπεδο του σχήματος. Στο σημείο A η διαταραχή είναι καθαρά τύπου ακμής ενώ στο σημείο B καθαρά ελικοειδής. Οι ανοιχτοί κύκλοι παριστάνουν άτομα κάτω από το επίπεδο του σχήματος.

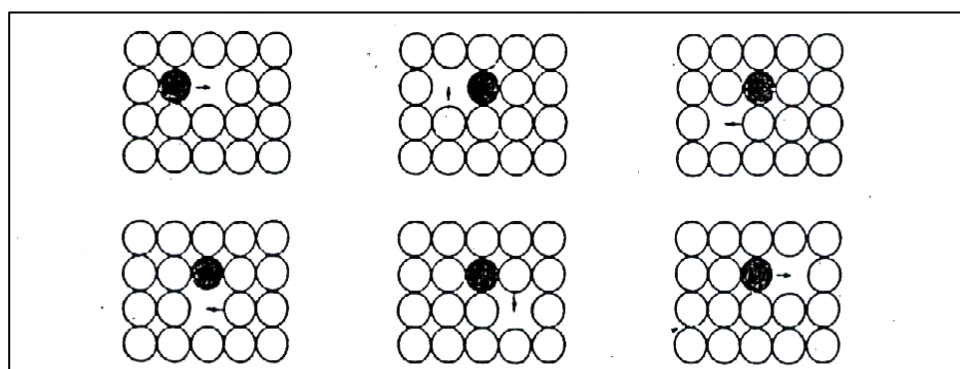
2.6.3. Επίπεδες ατέλειες

Οι επίπεδες ατέλειες προκύπτουν από αλλαγές στον τρόπο διαδοχής των ατομικών πλεγματικών επιπέδων κοντά σ' ένα σύνορο και συνδέονται άμεσα με την πλαστική παραμόρφωση του υλικού. Η αλλαγή μπορεί να είναι είτε αλλαγή προσανατολισμού των πλεγματικών επιπέδων είτε αλλαγή στο κανόνα της διαδοχής. Γενικά οι επίπεδες ατέλειες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- α) όρια κόκκων
- β) διδυμίες
- γ) σφάλματα επιστοίβασης

2.7. Διάχυση

Η διάχυση μπορεί να οριστεί ως μηχανισμός μεταφοράς μάζας διαμέσου μάζας. Τα άτομα μέσα στους κρυστάλλους μετακινούνται από ένα σημείο σε κάποιο άλλο. Η διάχυση ατόμων σε μέταλλα και κράματα είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού οι περισσότερες αντιδράσεις σε στερεά κατάσταση περιλαμβάνουν μετακινήσεις ατόμων. Κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης σε συνθήκες ισορροπίας, εξαφανίζονται οι δενδριτικές δομές και εξασφαλίζεται η ομογένεια των στερεών διαλυμάτων. Ωστόσο, για να είναι δυνατή η μετακίνηση των ατόμων πρέπει να υπάρχουν (και σχεδόν πάντα υπάρχουν) μέσα στα μεταλλικά πλέγματα ατέλειες που οφείλονται στην έλλειψη ατόμων. Γύρω από τις «οπές» αυτές, τα άτομα (τόσο της διαλυμένης ουσίας, όσο και του μητρικού μετάλλου) μπορούν να αλλάζουν θέσεις μεταξύ τους, με αποτέλεσμα η κατανομή τους να γίνεται κανονικότερη. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι εσωτερικές τάσεις οι οποίες δημιουργούνται στα μεταλλικά πλέγματα λόγω αντικατάστασης και συνεπώς ελαττώνεται η ελεύθερη ενέργεια του συστήματος.



Σχ.2.5

Μετατόπιση ατόμων γύρω από μια «οπή»

2.8. Θερμικές ιδιότητες των μετάλλων

Τήξη

Η επίδραση της θερμότητας στα μέταλλα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής ενέργειας των δομικών τους μονάδων. Κατά συνέπεια, όσο η θερμοκρασία ενός μετάλλου αυξάνει, τόσο μεγαλώνει και το πλάτος των δονήσεων των ατόμων του. Έτσι η κανονικότητα της κρυσταλλικής δομής διαταράσσεται, οι αποστάσεις μεταξύ των ατόμων μεγαλώνουν και παύουν να είναι αυστηρά καθορισμένες. Τελικά το υλικό μόλις θερμανθεί σε κατάλληλη θερμοκρασία μεταβαίνει από τη στερεή στην υγρή κατάσταση.

Η μετάβαση από τη στερεή στην υγρή κατάσταση συνοδεύεται από απορρόφηση ενέργειας (λανθάνουσα θερμότητα τήξης), η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο δύστηκτο είναι το μέταλλο.

Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης ορισμένων μετάλλων

Μέταλλο	Σημείο τήξης (°C)	Λανθάνουσα θερμότητα τήξης (Joule/mole)
Βολφράμιο	3.410	32.000
Μολυβδαίνιο	2.610	28.000
Χρώμιο	1.875	21.000
Τιτάνιο	1.668	21.000
Σίδηρος	1.537	15.300
Νικέλιο	1.453	17.900
Χαλκός	1.083	13.500
Αργίλιο	660	10.500
Μαγνήσιο	650	9.000
Ψευδάργυρος	419	6.600
Μόλυβδος	327	5.400

Θερμική διαστολή

Η θερμική διαστολή των μετάλλων δεν είναι πάντα ομοιόμορφη. Συχνά παρατηρούνται ανωμαλίες, ιδιαίτερα όταν υπεισέρχεται το φαινόμενο της μετάβασης από μια αλλοτροπική μορφή σε άλλη, όπως π.χ. στην περίπτωση του σιδήρου. Επίσης έχει παρατηρηθεί σε ορισμένα μέταλλα που κρυσταλλώνονται στο σύστημα πυκνής διάστρωσης, ότι η αύξηση του όγκου του τήγματος είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή του στερεού.

Θερμική αγωγιμότητα

Στα μέταλλα η μετάδοση της θερμότητας γίνεται όχι μόνο μέσω των θερμικών δονήσεων των ατόμων τους, αλλά κυρίως μέσω των ελεύθερων ηλεκτρονίων, τα οποία μπορούν να κινούνται σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις μέσα στα μεταλλικά πλέγματα.

Είναι συνεπώς αυτονόητο ότι, όσοι παράγοντες περιορίζουν την κινητικότητα του ηλεκτρονικού νέφους προκαλώντας διαταραχές στη κρυσταλλική δομή, επιφέρουν ελάττωση της θερμικής αγωγιμότητας. Έτσι, η θερμοκρασία, η παρουσία προσμείξεων ή η πλαστική παραμόρφωση, μειώνουν σημαντικά τη θερμική αγωγιμότητα των μετάλλων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΡΑΜΑΤΑ

Εισαγωγή

Κράμα καλείται κάθε μεταλλικό σχήμα, που σχηματίζεται από την ανάμιξη δύο ή περισσότερων χημικών στοιχείων, κατά κανόνα σε κατάσταση τήξεως, από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο (κύριο στοιχείο του κράματος).

Οι κυριότερες προσμίξεις κατά το σχηματισμό του κράματος είναι άλλα μέταλλα, πολλές φορές όμως και αμέταλλα ή μεταλλοειδή, κυρίως δε ο άνθρακας. Τα περισσότερα κράματα που χρησιμοποιούνται παράγονται από την ανάμιξη των στοιχείων που τα απαρτίζουν σε κατάσταση τήξεως. Υπάρχουν όμως και κράματα που παράγονται με άλλο τρόπο, όπως π.χ. τα κεραμεικά κράματα της κονιομεταλλουργίας. Τα κράματα αποτελούν την κύρια ύλη των μεταλλικών κατασκευών, γιατί με την κραματοποίηση βελτιώνονται οι μηχανικές ιδιότητες του κύριου μετάλλου, όπως είναι η αντοχή σε εφελκυσμό, το όριο ελαστικότητας, η δυσθραυστότητα και η σκληρότητα. Επίσης βελτιώνεται και η αντοχή σε κόπωση, φθορά και διάβρωση. Ο ανθρακούχος χάλυβας π.χ. που είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα, είναι ανθεκτικότερος από το σίδηρο και μάλιστα μπορεί να γίνει ακόμα πιο ανθεκτικός με κατάλληλες θερμικές κατεργασίες.

Τα καθαρά μέταλλα τα χρησιμοποιούμε μόνο σε περιπτώσεις που μας ενδιαφέρουν οι ιδιαίτερες ιδιότητες τους, όπως είναι π.χ. η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού και αργιλίου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ηλεκτρικών αγωγών.

Τα κράματα ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που περιλαμβάνουν, διακρίνονται σε **διμερή** (δύο στοιχεία), **τριμερή** (τρία στοιχεία) κτλ. Τα διμερή κράματα, διακρίνονται σε κράματα **μετάλλου-μετάλλου**, σε κράματα **μετάλλου-μεταλλοειδούς** και σε κράματα **μετάλλου-αμέταλλου**.

Θα δούμε τώρα τι συμβαίνει, όταν δύο μέταλλα Α και Β που σχηματίζουν κράμα, αναμιγνύονται σε κατάσταση τήξεως και μετά τα αφήνουμε να στερεοποιηθούν ήρεμα.

Πρώτα απ' όλα πρέπει να παραδεχθούμε ότι η ανάμειξη των δύο μετάλλων σε κατάσταση τήξεως είναι πλήρης και επομένως το τήγμα σε όλη του τη μάζα και σε κάθε αναλογία είναι ομοιογενές.

Κατά τη στερεοποίηση του κράματος μπορούν να παρουσιασθούν οι εξής περιπτώσεις:

α) Τα μέταλλα, που αποτελούν το κράμα και που στη κατάσταση τήξεως ήταν τελείως αναμίξιμα, γίνονται πλήρως μη αναμίξιμα στη στερεά κατάσταση και επομένως παρουσιάζονται στο στερεοποιημένο κράμα ως απλά, ξεχωριστά στοιχεία (Α και Β) και διατηρούν την προσωπικότητά τους. Σε αυτή τη περίπτωση σχηματίζεται απλό στερεό διάλυμα.

β) Τα μέταλλα που στην κατάσταση τήξεως ήταν τελείως αναμίξιμα εξακολουθούν να είναι πλήρως ή μερικώς αναμίξιμα και στη στερεά κατάσταση. Σε αυτή τη περίπτωση σχηματίζονται δύο διαφορετικά στερεά διαλύματα.

γ) Καθώς η στερεοποίηση του κράματος προχωρεί, τα δύο μέταλλα αντιδρούν χημικά και σχηματίζουν μεσομεταλλικές ενώσεις που αποτελούν ιδιαίτερο κρυσταλλικό είδος στην κρυσταλλική δομή του κράματος.

3.1. Το στερεό διάλυμα

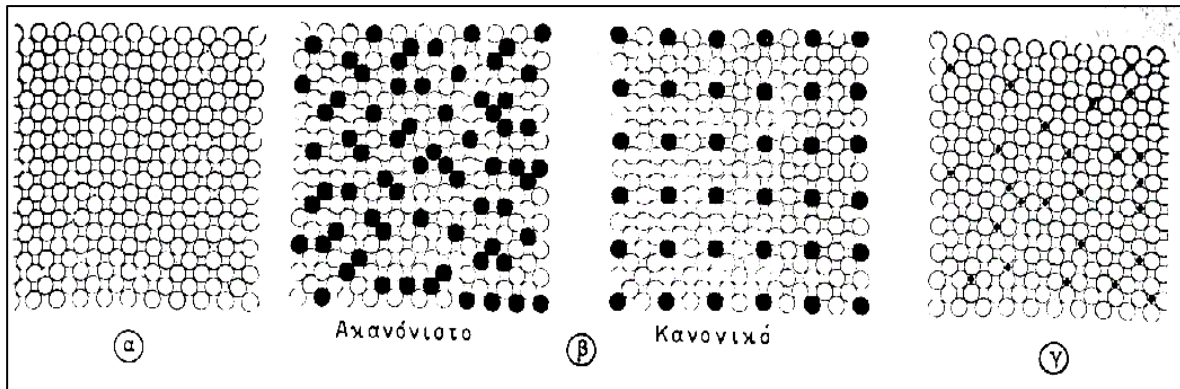
Στερεό διάλυμα σχηματίζεται, όταν σε διμερές κράμα τα δύο στοιχεία Α (κύριο στοιχείο του κράματος) και Β που είναι πλήρως αναμίξιμο στη κατάσταση τήξεως, παραμένουν διαλυμένα το ένα μέσα στο άλλο και μετά τη στερεοποίηση.

Τα στοιχεία που αποτελούν το στερεό διάλυμα δεν μπορούν να διαχωριστούν ούτε μπορούμε να τα διακρίνουμε ακόμα και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, που έχει μεγάλη διακριτική ικανότητα. Πρέπει να τονίσουμε ότι για να σχηματισθεί στερεό διάλυμα, θα πρέπει τα άτομα του ενός στοιχείου Β να παίρνουν θέσεις μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του άλλου στοιχείου Α.

Ανάλογα με τη θέση που καταλαμβάνουν τα άτομα του Β μέσα στο κρυσταλλικό ιστό του Α διακρίνουμε:

α) Το στερεό διάλυμα αντικαταστάσεως, κατά το οποίο τα άτομα του στοιχείου Β (μετάλλου) αντικαθιστούν ακανόνιστα και πιο σπάνια κανονικά μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, άτομα του στοιχείου Α (μετάλλου). Ο χαλκός και το νικέλιο π.χ. σχηματίζουν στερεό διάλυμα αντικαταστάσεως.

β) Το στερεό διάλυμα παρεμβολής, κατά το οποίο τα άτομα του στοιχείου Β (συνήθως αμέταλλα) παίρνουν θέσεις ακανόνιστα και σπανιότερα κανονικά μεταξύ των ατόμων του Α (μετάλλου), μέσα στο κρυσταλλικό του πλέγμα.



Σχ.3.1

Σχηματική παράσταση καθαρού μετάλλου και στερεού διαλύματος: α) Καθαρό μέταλλο (Α). β) Στερεό διάλυμα αντικαταστάσεως. γ) Στερεό διάλυμα παρεμβολής.

Στερεό διάλυμα παρεμβολής σχηματίζεται μόνο όταν τα άτομα του στοιχείου Β, που προσθέτουμε, έχουν πολύ μικρότερες διαστάσεις από τα άτομα του κυρίως στοιχείου του κράματος Α και έτσι μπορούν να διεισδύσουν εύκολα και να πάρουν θέσεις μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα.

Τυπικό στερεό διάλυμα παρεμβολής είναι του σιδήρου και του άνθρακα, που αποτελεί συστατικό των χαλύβων. Το στερεό αυτό διάλυμα, όπως θα δούμε, ανάλογα με τη θερμοκρασία σχηματισμού του, παίρνει την ονομασία **φερρίτης** ή **ωστενίτης**.

3.2. Ψυχρηλασία των μετάλλων και κραμάτων-Ανακρυστάλλωση

Ψυχρηλασία ονομάζεται η κατεργασία διαμορφώσεως των μετάλλων ή κραμάτων, που γίνεται στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η ψυχρηλασία έχει σαν αποτέλεσμα τη μορφοποίηση τους σε τεμάχια με μηχανισμό την πλαστική παραμόρφωση. Συνήθως με την κατεργασία της ψυχρηλασίας παίρνουμε έτοιμα προϊόντα (χωρίς να είναι αναγκαία άλλη παραπέρα κατεργασία) στη βιομηχανική παραγωγή.

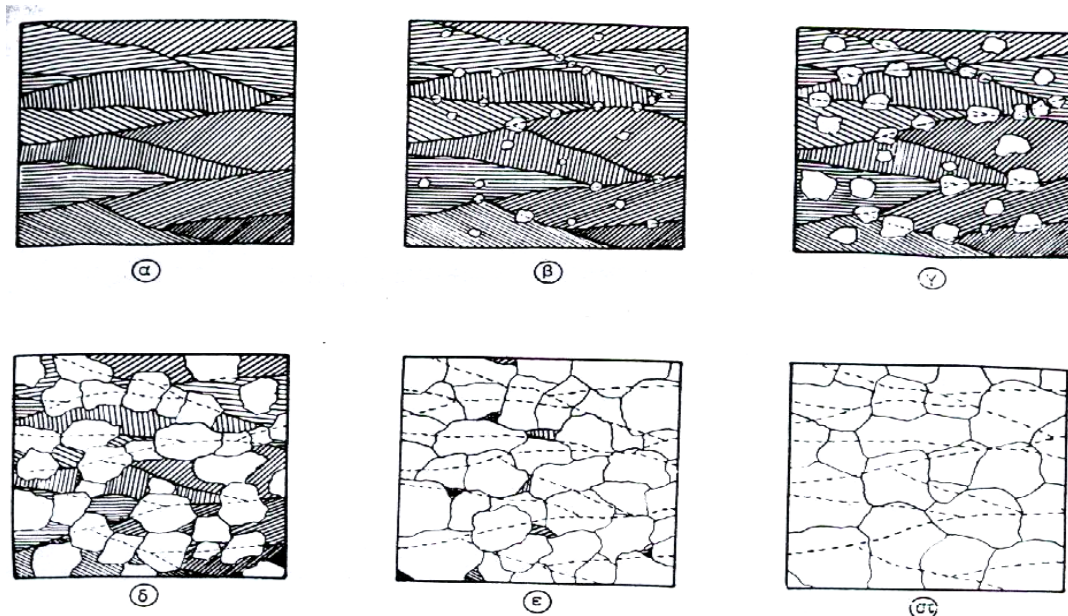
Η ψυχρηλασία, έχει σαν αποτέλεσμα τη σκλήρωση του μετάλλου ή κράματος. Μετά από ψυχρηλασία, παρατηρούνται αλλαγές στην κρυσταλλική δομή, άρα και στις μηχανικές ιδιότητες του μετάλλου, γιατί αυτό έχει υποστεί σκλήρωση. Τα αποτελέσματα της σκλήρωσης εξαφανίζονται (το μέταλλο δηλαδή αναλαμβάνει την κανονική κρυσταλλική του δομή και τις κανονικές του μηχανικές ιδιότητες που είχε πριν από τη σκλήρωση), εάν το θερμάνουμε για ένα ορισμένο χρόνο σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη από τη λεγόμενη θερμοκρασία **ανακρυστάλλωσης**.

Η θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως είναι χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο ή κράμα. Η θερμική αυτή κατεργασία ονομάζεται **ανόπτηση για ανακρυστάλλωση** ή απλά ανακρυστάλλωση. Ο μηχανισμός της ανακρυστάλλωσης είναι ο εξής:

Όσο διαρκεί η θέρμανση του σκληρώμενου μετάλλου σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από εκείνη της ανακρυσταλλώσεως, αρχίζουν να δημιουργούνται φύτρα. Τα φύτρα αυτά στη συνέχεια αναπτύσσονται, σε νέους κρυσταλλίτες. Τα φύτρα δημιουργούνται κυρίως στα όρια των κόκκων και σε θέσεις αταξιών μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Οι νέοι κρυσταλλίτες είναι εντελώς ανεξάρτητοι από τους παλαιούς, αποκτούν δε νέα διαφορετικά όρια.

Τα στάδια ανακρυστάλλωσης σκληρώμενου μετάλλου φαίνονται σχηματικά στο σχήμα. Οι νέοι κρυσταλλίτες όπως παρατηρούμε είναι περίπου ισοαξονικοί, δηλαδή δεν παρουσιάζουν επιμήκυνση προς μια κατεύθυνση, όπως συνέβαινε πριν από την ανακρυστάλλωση. Η θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως, δεν είναι απόλυτα ορισμένη για κάθε μέταλλο, εξαρτάται δε από το βαθμό σκληρώσεως, την οποία αυτό έχει υποστεί.

Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι χαμηλότερη, όσο ο βαθμός σκληρώσεως μεγαλώνει. Επίσης το μέταλλο μετά από ανακρυστάλλωση γίνεται λεπτόκοκκο, αν έχει σκληρωθεί σε μεγάλο βαθμό.



Σχ.3.2.

Σχηματική παράσταση των σχεδίων ανακρυστάλλωσης: α) Κρυσταλλίτες του μετάλλου σε κατάσταση σκληρώσεως. β) Η ανακρυστάλλωση αρχίζει με δημιουργία φύτρων. γ), δ), ε) Εξελεγκτική πορεία αναπτύξεως των νέων κρυσταλλιτών. στ) Τέλος της ανακρυστάλλωσης.

3.3. Ανθρακούχοι χάλυβες

Όπως έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα, οι ανθρακούχοι χάλυβες είναι κράματα σιδήρου και άνθρακα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2%, πρακτικά όμως από 0,01% έως περίπου 1,5%.

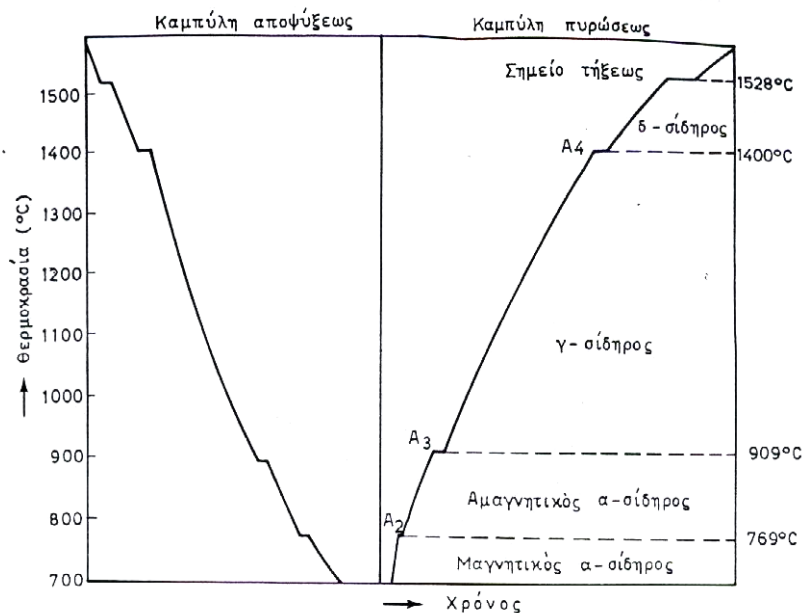
Οι ανθρακούχοι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, περιέχουν συνήθως εκτός από άνθρακα και αρκετή αναλογία μαγγανίου, που παραμένει στο κράμα και μετά από την καύση ξένων προσμίξεων κατά τη παρασκευή του χάλυβα. Περιέχουν επίσης, σε μικρή αναλογία, πυρίτιο, θείο και φώσφορο.

3.4. Αλλοτροπίες του σιδήρου

Ορισμένα μέταλλα απαντούν σε περισσότερες από μια κρυσταλλικές δομές. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο ονομάζεται **αλλοτροπία**, εξαρτάται συνήθως από την θερμοκρασία. Τυπικά παραδείγματα αλλοτροπικών μετάλλων είναι ο σίδηρος, ο κασσίτερος, το τιτάνιο κ.α.

Κατά την πύρωση του σιδήρου παρατηρούμε ότι, όταν η θερμοκρασία φθάσει στους 769°C, 909°C, 1400°C και 1528°C (σημείο τήξεως του καθαρού σιδήρου), παραμένει για λίγο διάστημα στάσιμη, ύστερα δε εξακολουθεί να ανυψώνεται. Αυτό σημαίνει ότι ο σίδηρος στις θερμοκρασίες αυτές απορροφάει θερμότητα, χωρίς όμως να αυξάνεται η θερμοκρασία του. Αυτό συμπεραίνει ότι κάποια μεταβολή γίνεται μέσα του.

Οι θερμοκρασίες των 769°C, 909°C και 1400°C λέγονται **κρίσιμα σημεία**. Ο σίδηρος μέχρι τους 769°C είναι μαγνητικός, δεν διαλύει τον άνθρακα και λέγεται (α-σίδηρος). Από τους 769°C μέχρι τους 909°C ο (α-σίδηρος) αλλάζει και γίνεται αμαγνητικός χωρίς να αλλάζει η κρυσταλλική δομή του. Κατά το χρόνο που η θερμοκρασία παραμένει στάσιμη στα κρίσιμα σημεία A_3 και A_4 (του σχήματος) παρατηρείται μεταμόρφωση στην κρυσταλλική δομή του σιδήρου και από χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα μετασχηματίζεται σε εδροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα. Από (α-σίδηρος) λέγεται (γ-σίδηρος), διαλύει τον άνθρακα και κατεργάζεται μηχανικά. Ο (γ-σίδηρος) μπορεί να υπάρξει και στη συνηθισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος, αν προσθέσουμε σ' αυτόν ορισμένα στοιχεία όπως είναι το νικέλιο και το μαγγάνιο, που έχουν την ιδιότητα να κατεβάζουν τα κρίσιμα σημεία. Ο (γ-σίδηρος) όταν θερμανθεί στους 1400°C (κρίσιμο σημείο A_4) μετασχηματίζεται σε (δ-σίδηρος) και αποκτά πάλι χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα, δηλαδή όμοιο με το πλέγμα του (α-σιδήρου). Στους 1528°C γίνεται η τήξη του καθαρού σιδήρου.



Σχ.3.3.

Καμπύλη πυρώσεως και αποψύξεως του καθαρού σιδήρου

3.5. Μελέτη του διμερούς συστήματος Fe-C

Τα κράματα του σιδήρου και άνθρακα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες: τους χάλυβες και τους χυτοσίδηρους. Ως χάλυβες ορίζονται τα κράματα με περιεκτικότητα έως 2% C. Ως χυτοσίδηροι τα κράματα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερα του 2%. Η διαφορά του χάλυβα από το χυτοσίδηρο είναι ότι ο μεν χάλυβας διαμορφώνεται και χυτεύεται ενώ ο δε χυτοσίδηρος χρησιμοποιείται μόνο ως υλικό χύτευσης.

Αφού είδαμε προηγουμένως τις αλλοτροπικές μορφές, τις οποίες ο σίδηρος κατά την πύρωση και την απόψυξη του, μπορούμε να μελετήσουμε τώρα το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου-άνθρακα. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι ο άνθρακας στους χάλυβες δεν βρίσκεται ελεύθερος (με μορφή γραφίτη), αλλά σχηματίζει με το σίδηρο μια χημική ένωση (καρβίδιο), την οποία ονομάζουμε **σεμεντίτη** (Fe_3C). Ο σεμεντίτης έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα 6,67%.

Στο σχήμα δίνεται ολόκληρο το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη, δηλαδή από τον καθαρό σίδηρο $\pi(C)=0,00\%$ μέχρι το σεμεντίτη $\pi(C)=6,67\%$. Τα δύο στοιχεία του κράματος είναι τελείως αναμίξιμα στην υγρή κατάσταση και εν μέρει αναμίξιμα στη στερεά κατάσταση.

Παρόλο ότι το διάγραμμα αυτό φαίνεται πολύπλοκο, βασικά έχουμε να κάνουμε με δύο στερεά διαλύματα, τον **ωστενίτη** και το **φερρίτη** και με τον **σεμεντίτη** (καρβίδιο).

- Ο ωστενίτης είναι στερεό διάλυμα παρεμβολής, σχηματίζεται όταν στο κρυσταλλικό πλέγμα του (γ-σιδήρου) διαλυθεί άνθρακας. Ο άνθρακας διαλύεται σε αναλογία περίπου μέχρι 2% στη θερμοκρασία των 1130 °C. Στην αναλογία αυτή άνθρακα έχουμε κορεσμένο ωστενίτη. Ο ωστενίτης είναι αμαγνητικός, έχει σχετικά υψηλή αντοχή και σκληρότητα, μέτρια πλαστικότητα και εξαιρετικά μεγάλη δυσθραυστότητα.

- Ο φερρίτης είναι επίσης στερεό διάλυμα παρεμβολής και σχηματίζεται όταν ο άνθρακας διαλυθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα του (α-σιδήρου). Στην περίπτωση αυτή ο άνθρακας διαλύεται σε πολύ μικρή αναλογία. Φθάνει κατά μέγιστο τα 0,03% σε θερμοκρασία 723 °C (κορεσμένος φερρίτης). Ο φερρίτης είναι μαγνητικός μέχρι τη θερμοκρασία 769 °C. Είναι το μαλακότερο σώμα που εμφανίζεται στο διάγραμμα φάσεως του συστήματος σιδήρου-άνθρακα. Έχει μικρή αντοχή και μεγάλη πλαστικότητα. Στις πρακτικές εφαρμογές θεωρείται ότι έχει τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες με το καθαρό σίδηρο.

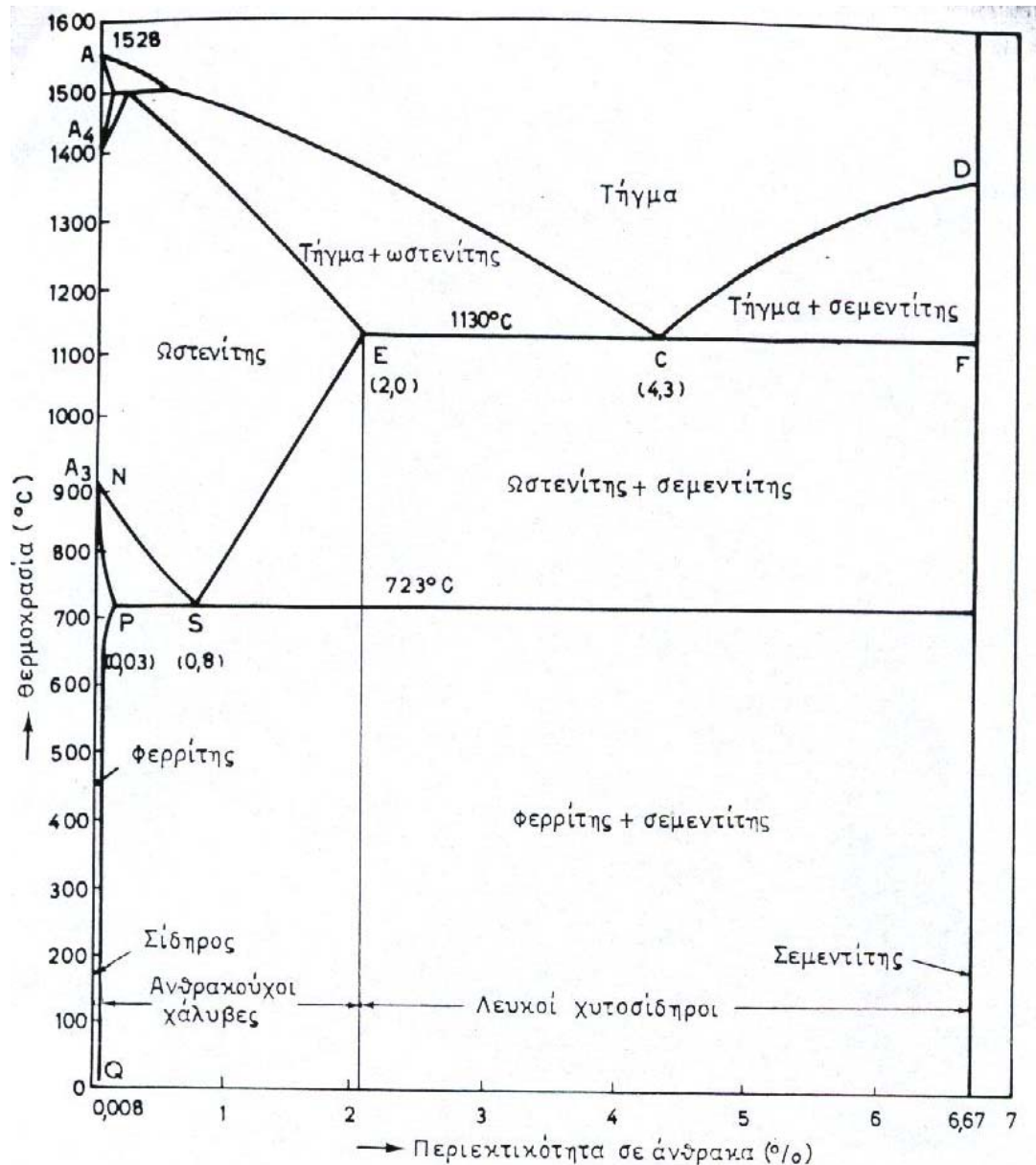
- Ο σεμεντίτης όπως είδαμε είναι διαμεταλλική ένωση παρεμβολής του τύπου Fe₃C. Περιέχει άνθρακα σε ποσοστό 6,67% και κρυσταλλώνεται στο ορθορομβικό σύστημα. Είναι σώμα πολύ σκληρό και πολύ εύθραυστο με χαμηλή αντοχή στον εφελκυσμό, αλλά σημαντική αντοχή στη θλίψη.

Η γραμμή του liquidus είναι η ACD και η γραμμή του solidus είναι η AECFD. Αυτό ισχύει αν λάβουμε υπόψη μας τις λεπτομέρειες που υπάρχουν στο επάνω αριστερό μέρος του διαγράμματος, οι οποίες και το κάνουν περίπλοκο. Η γραμμή του solidus αρχίζει από τη θερμοκρασία τήξεως του καθαρού σιδήρου (1528°C) και ακολουθεί το σχηματισμό του ωστενίτη μέχρι τον κορεσμό του σε άνθρακα σε αναλογία περίπου 2% και σε θερμοκρασία 1130°C (σημείο E του διαγράμματος). Από εκεί και πέρα η γραμμή του solidus παραμένει ευθεία μέχρι τον καθαρό σεμεντίτη. Έτσι η στερεοποίηση τελειώνει για τα μέν κράματα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2% στο διάστημα θερμοκρασιών από 1528°C έως 1130°C, για τα δε υπόλοιπα κράματα στη σταθερή θερμοκρασία των 1130°C.

Στο σημείο C του διαγράμματος, που αντιστοιχεί σε αναλογία άνθρακα 4,3% και βέβαια πάντα στη σταθερή θερμοκρασία 1130°C, η αρχή και το τέλος της στερεοποίησης συμπίπτουν. Παρατηρούμε επίσης ότι η θερμοκρασία αυτή (1130°C) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία τήξεως που συναντάμε στα κράματα σιδήρου-σεμεντίτη. Το σημείο C είναι το σημείο της **ευτηκτικής αναλογίας** και το κράμα με αναλογία σε άνθρακα 4,3% είναι το **ευτηκτικό κράμα**. Το ευτηκτικό κράμα στην περίπτωση αυτή ονομάζε-

ται **λεδεμβουρίτης**, και σχηματίζεται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ κορεσμένου ωστενίτη $\pi(C)=2\%$ και σεμεντίτη.

Το σημείο S του διαγράμματος, που αντιστοιχεί σε αναλογία άνθρακα περίπου 0,80% και σε θερμοκρασία 723°C, είναι το λεγόμενο σημείο **ευτηκτοειδούς αναλογίας** και το σχετικό κράμα είναι το **ευτηκτοειδές κράμα**. Το ευτηκτοειδές κράμα ονομάζεται **περλίτης** και σχηματίζεται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ φερρίτη και σεμεντίτη.



Σχ.3.4.
Το πλήρες θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου – σεμεντίτη.

Αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα του σχήματος θα διακρίνουμε γενικά τις εξής κατηγορίες κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη, αφού λάβουμε υπόψη μας τα σημεία E και C του διαγράμματος:

- α) $\pi(C) < 2,0\%$: Χάλυβες (πρακτικά μέχρι 1,5,%)
- β) $2,0\% < \pi(C) < 4,3\%$: Υποευτηκτικά κράματα
- γ) $\pi(C) = 4,3\%$: Ευτηκτικό κράμα (λεδεμβουρίτης)
- δ) $\pi(C) > 4,3\%$: Υπερευτηκτικά κράματα

Τα κράματα σιδήρου-σεμεντίτη με περιεκτικότητα σε άνθρακα πάνω από 2% αποτελούν τους λεγόμενους **λευκούς χυτοσιδήρους**. Οι χυτοσίδηροι αυτοί ονομάζονται έτσι, γιατί η επιφάνεια θραύσεως τους φαίνεται λευκή. Πρέπει να πούμε επίσης ότι εκτός από τους λευκούς χυτοσιδήρους, έχουμε και τους λεγόμενους **φαιούς χυτοσιδήρους**, στους οποίους η επιφάνεια θραύσεως παρουσιάζεται φαιά. Οι χυτοσίδηροι αυτοί ανήκουν στα κράματα σιδήρου-γραφίτη, σε αυτά τα κράματα ο άνθρακας βρίσκεται ελεύθερος και όχι σε χημική ένωση ως σεμεντίτης.

3.6. Η περιοχή των ανθρακούχων χαλύβων

Για τις πρακτικές εφαρμογές μας ενδιαφέρει πιο πολύ το τμήμα του πλήρους θερμικού διαγράμματος ισορροπίας, που περιλαμβάνει τους χάλυβες, δηλαδή από $\pi(C)=0,0\%$ μέχρι $\pi(C)=2,0\%$.

Αυτό το τμήμα του διαγράμματος το χρησιμοποιούμε και στις θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων. Για τους λόγους αυτούς θα μελετήσουμε παρακάτω με περισσότερες λεπτομέρειες το τμήμα αυτό που δίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στο σημείο S του διαγράμματος σχηματίζεται το ευτηκτοειδές κράμα, που ονομάζεται περλίτης. Με βάση το σημείο αυτό οι ανθρακούχοι χάλυβες χωρίζονται σε:

- α) Υποευτηκτοειδείς με $\pi(C) < 0,80\%$
- β) Ευτηκτοειδείς με $\pi(C) = 0,80\%$
- γ) Υπερευτηκτοειδείς με $0,80\% < \pi(C) < 2,0\%$

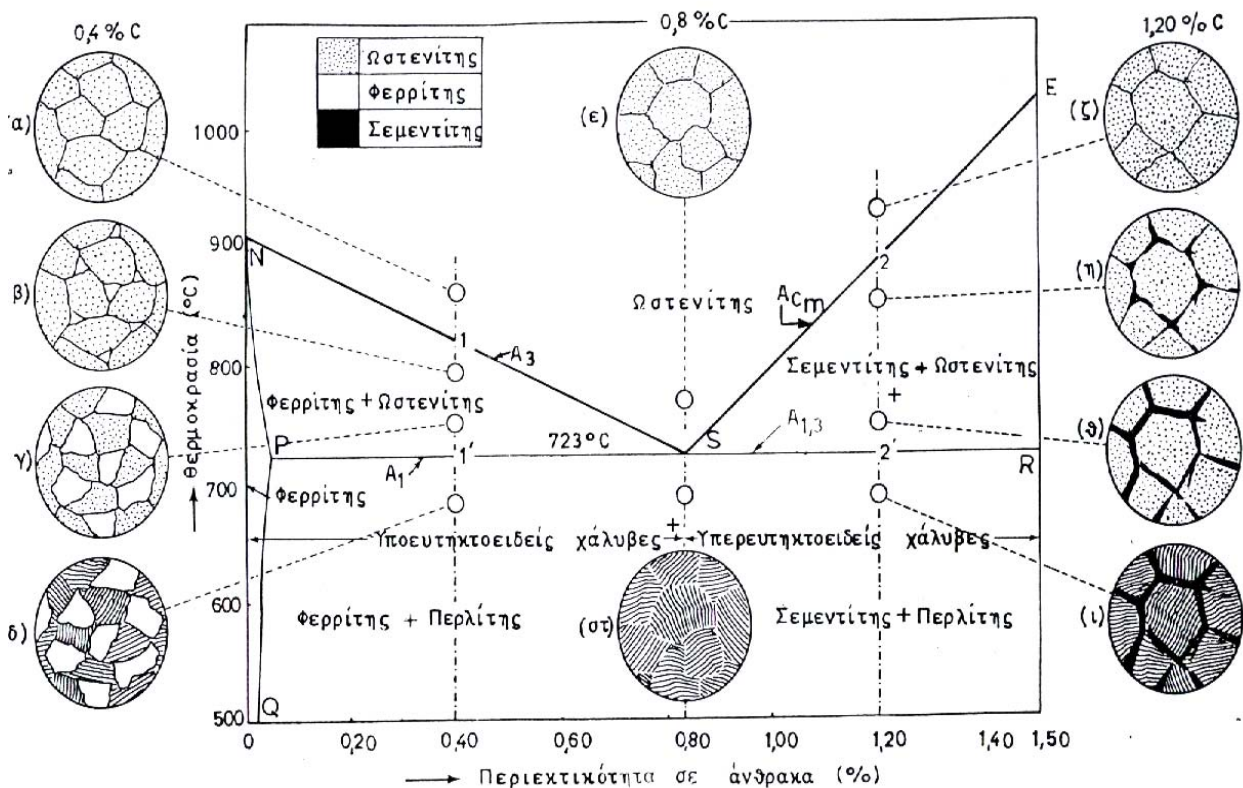
Στην αριστερή άκρη του διαγράμματος βρίσκεται η περιοχή του φερρίτη. Κάθε σημείο της περιοχής αυτής αντιστοιχεί σε ορισμένη θερμοκρασία και περιεκτικότητα του κράματος σε άνθρακα, όπου ο άνθρακας μπορεί να διαλυθεί τελείως μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του α-σιδήρου και να σχηματίσει το στερεό διάλυμα του φερρίτη.

Κάθε σημείο δεξιά από τη γραμμή PO του διαγράμματος δείχνει ότι ο φερρίτης είναι πιο κορεσμένος σε άνθρακα και επομένως ο υπόλοιπος άνθρακας του κράματος θα πρέπει να υπάρχει σ' αυτό ως σεμεντίτης. Η σημασία της κλίσεως της γραμμής PO είναι ότι,

ενώ ο άνθρακας διαλύεται μέσα στον α-σιδηρο στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά ποσοστό περίπου 0,008%, στους 723°C διαλύεται κατά 0,03%.

Για να αναληφθούμε την πορεία της στερεοποίησης, αλλά και τις μεταβολές που γίνονται στην κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύβων, θα μελετήσουμε το διάγραμμα του σχήματος 3.5 για τρεις αντιπροσωπευτικούς χάλυβες.

Οι χάλυβες θερμαίνονται, για να μετασχηματίσουν σε ωστενίτη και κατόπιν αφήνονται να ψυχθούν ήρεμα μέχρι τη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.



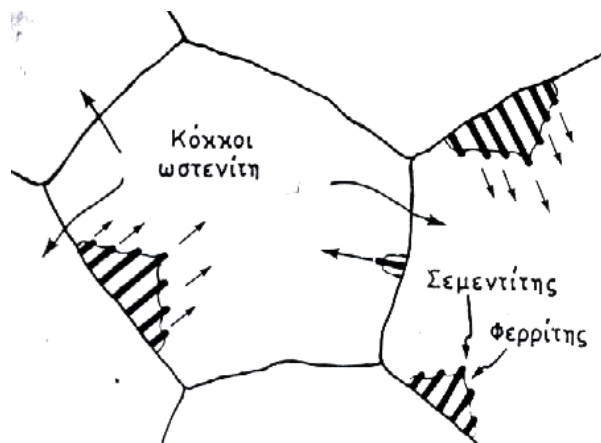
Σχ.3.5.

Το τμήμα του πλήρους θερμοκί διαγράμματος των κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη, που αφορά τους ανθρακούχους χάλυβες. A_3 : Γραμμή ανώτερων κρίσιμων σημείων στην περιοχή των υποευτηκτοιδών χαλύβων. A_1 : Γραμμή κατώτερων κρίσιμων σημείων στην περιοχή των υποευτηκτοιδών χαλύβων. A_{cm} : Γραμμή ανώτερων κρίσιμων σημείων στην περιοχή των υπερευτηκτοιδών χαλύβων. $A'_{1,3}$: Γραμμή κατώτερων κρίσιμων σημείων στην περιοχή των υπερευτηκτοιδών χαλύβων.

1) Χάλυβες με $\pi(C) = 0,40\%$ (υποευτηκτοειδής)

Ο χάλυβας αυτός όταν πυρωθεί σε θερμοκρασία ανώτερη του σημείου 1 (ανωτέρου κρίσιμου σημείου) μετασχηματίζεται εντελώς σε ωστενίτη [σχήμα 3.5 περίπτωση (α)]. Όταν ενώ ψύχεται, αποκτήσει θερμοκρασία λίγο κατώτερη από εκείνη του σημείου 1, το κρυσταλλικό του πλέγμα αρχίζει να μετασχηματίζεται από εδροκεντρωμένο κυβικό σε χωροκεντρωμένο κυβικό με τον αποχωρισμό ορισμένων κρυστάλλων α-σιδήρου από τον ωστενίτη. Οι κρύσταλλοι αυτοί κρατούν ορισμένο ποσοστό άνθρακα και παρουσιάζονται ως κρύσταλλοι φερρίτη [σχήμα 3.5 περίπτωση (β)]. Καθώς συνεχίζεται η πτώση της θερμοκρασίας του κράματος, οι κρύσταλλοι του φερρίτη αυξάνονται σε μέγεθος [σχήμα 3.5 περίπτωση (γ)] σε βάρος όμως του ωστενίτη. Επομένως αφού ο φερρίτης έχει μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα, ο ωστενίτης που απομένει γίνεται πλουσιότερος σε άνθρακα.

Έτσι όταν κατά τη ψύξη ο χάλυβας φτάσει στη θερμοκρασία των 723°C (σημείο 1', κατώτερο κρίσιμο σημείο), θα αποτελείται από κορεσμένο φερρίτη, δηλαδή με 0,03% σε άνθρακα, και από ωστενίτη με 0,80% σε άνθρακα (η σύνθεση του ωστενίτη καθορίζεται από το σημείο S του διαγράμματος). Ο ωστενίτης δεν μπορεί να δεσμεύσει άνθρακα πάνω από 0,80% και συνεπώς καθώς η θερμοκρασία πέφτει, οι κόκκοι του ωστενίτη διασπώνται. Ο άνθρακας που περισσεύει καθώς αποχωρίζεται, σχηματίζει με το σίδηρο σεμεντίτη. Πυρήνες σεμεντίτη σχηματίζονται τυχαία στα όρια των κόκκων του ωστενίτη (σχ.3.6).



Σχ.3.6.

Μηχανισμός μετασχηματισμού του ωστενίτη σε περλίτη.

Από του πυρήνες αυτούς αναπτύσσονται πλακοειδείς κρυσταλλίτες σεμεντίτη. Η αφαίρεση του άνθρακα για να σχηματιστεί ωστενίτης, έχει σαν αποτέλεσμα ο ωστενίτης που τον περιβάλλει να γίνει φτωχότερος σε άνθρακα.

Ο ωστενίτης γίνεται τόσο φτωχός σε άνθρακα, ώστε να σχηματίζονται πλακοειδείς κρυσταλλίτες φερρίτη και από τις δυο πλευρές του κρυσταλλίτη του σεμεντίτη που έχει πια σχηματιστεί.

Μ' αυτόν το τρόπο αναπτύσσονται πλακοειδείς κρυσταλλίτες από φερρίτη και σεμεντίτη εναλλάξ, οι οποίοι και αποτελούν τον περλίτη. Ο σχηματισμός του περλίτη συνεχίζεται μέχρι που να καταναλωθεί ο ωστενίτης που υπάρχει. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα του περλίτη είναι ακριβώς 0,80%.

Οποιοσδήποτε υποευτηκτοειδής χάλυβας θα έχει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κρυσταλλική δομή που θα αποτελείται από κόκκους φερρίτη και από κόκκους περλίτη [σχ.3.5 περίπτωση (δ)]. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από ορισμένη θερμοκρασία, που προσδιορίζεται από τη γραμμή NS του διαγράμματος για ορισμένη αναλογία σε άνθρακα και τελειώνει στη θερμοκρασία των 723°C (γραμμή PS). Οι αναλογίες του φερρίτη και του περλίτη στο χάλυβα καθορίζονται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα. Όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα, αυξάνεται και η αναλογία του περλίτη.

2)Χάλυβας με π(C)=0,80% (ευτηκτοειδής)

Ο χάλυβας αυτός διατηρείται σαν ωστενίτης [σχ.3.5 περίπτωση (ε)] μέχρι τη θερμοκρασία των 723°C (ευτηκτοειδές σημείο S). Ο μετασχηματισμός του σε περλίτη αρχίζει και τελειώνει στη θερμοκρασία αυτή. Αφού ο χάλυβας που εξετάζεται στη περίπτωση αυτή περιέχει 0,80% άνθρακα, είναι επόμενο ότι στο σύνολο του θα έχει κρυσταλλική δομή περλίτη [σχ.3.5. περίπτωση (στ)].

3)Χάλυβας με π(C)=1,20% (υπερευτηκτοειδής)

Ο χάλυβας αυτός θα αρχίσει να μετασχηματίζεται από την κατάσταση του ωστενίτη [σχ.3.5 περίπτωση (ζ)], όταν η θερμοκρασία του πέσει κάτω από το σημείο 2 του διαγράμματος. Εφόσον ο άνθρακας είναι περισσότερος από την ευτηκτοειδή αναλογία (0,80%), αρχίζει να αποχωρίζεται πρώτος, όχι όμως σαν καθαρός άνθρακας, αλλά σαν **πρωτογενής σεμεντίτης**. Πρωτογενής σεμεντίτης είναι εκείνος που σχηματίζεται πρώτος, δηλαδή πριν γίνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη που απομένει σε περλίτη (φερρίτη+σεμεντίτη). Η μορφή του σεμεντίτη αυτού είναι βελονοειδής, και επικάθεται αυτός στα όρια των κόκκων του ωστενίτη [σχ.3.5 περίπτωση (η)]. Συνέπεια αυτού είναι να γίνεται ο ωστενίτης προοδευ-

τικά φτωχότερος σε άνθρακα [σχ.3.5 περίπτωση (θ)] και όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 723°C (σημείο 2'), τότε ο ωστενίτης θα περιέχει 0,80% άνθρακα. Ο ωστενίτης αυτός θα μετασχηματιστεί, κατά τα γνωστά, ολόκληρος σε περλίτη. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κάθε υπερευνηκτοειδής χάλυβας θα έχει στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κρυσταλλική δομή από κόκκους σεμεντίτη και περλίτη [σχ.3.5 περίπτωση (ι)]. Επειδή ο περλίτης περιέχει σταθερά 0,80% άνθρακα, έπεται ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του χάλυβα σε άνθρακα, συνεπάγεται ανάλογη αύξηση του πρωτογενή σεμεντίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

Εισαγωγή

Θερμική κατεργασία μετάλλου ή κράματος ονομάζεται κάθε συνδυασμός θέρμανσης και απόψυξης που οδηγεί σε μεταβολή της κρυσταλλικής δομής ή και των φάσεων, με αποτέλεσμα την βελτίωση των μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων του υλικού.

Το αποτέλεσμα μιας θερμικής κατεργασίας καθορίζεται από δύο σημαντικές παραμέτρους:

- Το χρόνο παραμονής σε δεδομένη θερμοκρασία
 - Την ταχύτητα διέλευσης από την αρχική στην τελική θερμοκρασία
- Οι δύο αυτές παράμετροι καθορίζουν κυρίως τις μηχανικές ιδιότητες του τεμαχίου.

Με τις θερμικές κατεργασίες δεν ασκείται, γενικά, επίδραση ούτε στη μορφή (διαστάσεις) ούτε στη χημική σύσταση ενός μεταλλικού τεμαχίου αλλά μόνο στην κρυσταλλική δομή ή στο μέγεθος των κόκκων ή και στα δύο.

4.1. Θερμικές κατεργασίες χαλύβων

Οι θερμικές κατεργασίες των χαλύβων έχουν εξαιρετική σημασία. Είναι δυνατό, τεμάχιο χάλυβα σταθερής χημικής σύνθεσης μετά από την κατάλληλη θερμική κατεργασία ή συνδυασμό θερμικών κατεργασιών να αποκτήσει διαφορετική κάθε φορά κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκων. Για το λόγο αυτό οι χάλυβες είναι από τα λίγα εκείνα κράματα της τεχνικής τα οποία μπορούν να αποκτήσουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ή ακόμη και να τις αλλάξουν. Οι θερμικές κατεργασίες των χαλύβων χωρίζονται:

- Στις θερμικές κατεργασίες εντός της μάζας
- Στις επιφανειακές κατεργασίες

4.2. Θερμικές κατεργασίες εντός της μάζας

Οι θερμικές κατεργασίες εντός της μάζας των χαλύβων οδηγούν, κυρίως στην σκλήρωση τους, σε ελάττωση ή ολική απαλοιφή των μηχανικών τάσεων και σε ρύθμιση του μεγέθους των κόκκων και των μηχανικών ή άλλων ιδιοτήτων τους.

Οι θερμικές κατεργασίες που εφαρμόζονται στους χάλυβες εντός της μάζας τους είναι:

- Η Ανόπτηση
- Η Βαφή
- Η Επαναφορά

4.2.1. Ανόπτηση

Οι χάλυβες υποβάλλονται σε πολλών ειδών ανοπτήσεις προκειμένου να βελτιώσουμε τις ιδιότητες τους ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιείται.

4.2.1.1. Ανόπτηση κατεργασίας

Η ανόπτηση κατεργασίας είναι μια θερμική κατεργασία, στην οποία υποβάλλεται το μέταλλο προκειμένου να αναιρεθούν οι επιπτώσεις της ψυχρής κατεργασίας το οποίο έχει υποστεί σκλήρυνση με ενδοτράχυνση.

Εφαρμόζεται ώστε να είναι δυνατή η συνέχιση της πλαστικής παραμόρφωσης του υλικού, χωρίς να επέλθει η θραύση του. Κατά την διάρκεια αυτής της κατεργασίας, είναι δυνατόν να συμβούν αποκατάσταση και ανακρυστάλλωση.

Η οξειδωση αποφεύγεται εάν η θερμοκρασία της ανόπτησης παραμείνει σε χαμηλά επίπεδα, υψηλότερα όμως της θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης.

Γενικά αυτή η κατεργασία επιτρέπει την απόκτηση λεπτοκρυσταλλικής δομής, εφόσον σταματήσει εγκαίρως, προτού, δηλαδή συμβεί σημαντική αύξηση του μεγέθους των κόκκων.

4.2.1.2. Πλήρης ανόπτηση

Εφαρμόζεται στους χάλυβες χαμηλής έως μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα, οι οποίοι πρόκειται να υποστούν πλαστική παραμόρφωση κατά την διάρκεια κατεργασιών μορφοποίησης ή κοπής.

Η πλήρης ανόπτηση είναι χρονοβόρα διαδικασία αλλά χρησιμοποιείται προκειμένου:

α) Ο χάλυβας να αποκτήσει καλή κατεργασιμότητα, που να επιτρέπει τη συνέχιση της κατεργασίας διαμόρφωσης ή κοπής.

β) Οι χυτοχάλυβες να αποκτήσουν ομοιογενή μικροδομή και να βελτιωθεί η αντοχή τους και ιδιαίτερα να αυξηθεί η δυσθραυστότητα τους.

γ) Να εξαλειφτούν οι εσωτερικές μηχανικές τάσεις, μετά από εν θερμώ μηχανική κατεργασία του χάλυβα ή μετά από συγκόλληση

δ) Να αυξηθεί το μέγεθος των ωστενιτικών κόκκων, με σκοπό τη διευκόλυνση της μαρτενσιτικής βαφής.

4.2.1.3. Ανόπτηση ανακρυστάλλωσης

Σε αυτήν την περίπτωση ο χάλυβας θερμαίνεται σε θερμοκρασία υψηλότερη της θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης γύρω στους (500-700°C). Εφαρμόζεται στους «εν ψυχρώ» παραμορφωμένους χάλυβες, προκειμένου να εξαλειφτεί ο ιστός της ενδοτράχυνσης (π.χ. σε λαμαρίνες μετά από ψυχρή έλαση) και γίνει δυνατή η περαιτέρω κατεργασία μορφοποίησης.

4.2.1.4. Ανόπτηση αποκατάστασης

Η ανόπτηση αποκατάστασης χρησιμοποιείται για τους ίδιους λόγους που χρησιμοποιείται και ανόπτηση ανακρυστάλλωσης, αλλά η θερμοκρασία γίνεται γύρω στους (450-600°C), χαμηλότερη από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του χάλυβα.

4.2.1.5. Αποτατική ανόπτηση

Σε αυτήν την περίπτωση το κράμα θερμαίνεται σε θερμοκρασία γύρω στους 400-500°C και στη συνέχεια γίνεται αργή απόψυξη. Εξαιτίας της βραδείας μεταβολής των θερμοκρασιών πραγματοποιείται μείωση ή τέλεια εξάλειψη των εσωτερικών μηχανικών τάσεων οι οποίες είχαν συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής κατεργασίας και παραγωγής των χαλύβων.

4.2.1.6. Ανόπτηση σφαιροποίησης

Η ανόπτηση για σφαιροποίηση σεμεντίτη εφαρμόζεται στους χάλυβες μεγάλων διαστάσεων που κατά τη πήξη το κέντρο τους ψύχεται βραδύτατα σε σχέση με την επιφάνεια. Έτσι στην επιφάνεια έχουμε ζώνες πλακοειδή περλιτή (ένωση φερρίτη και σεμεντίτη) ενώ στο κέντρο έχουμε περλίτη με σφαιροποιημένο σεμεντίτη. Για να σφαιροποιήσουμε το σεμεντίτη σε όλη του τη μάζα θερμαίνουμε το χάλυβα σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη της ευτηκτοειδούς θερμοκρασίας, περίπου στους 700°C και στην συνέχεια αποψύχεται αργά μέσα στο φούρνο για πολλές ώρες (έως και 25 ώρες). Με την κατεργασία αυτή σφαιροποιείται ο σεμεντίτης χωρίς να υποστεί μετασχηματισμό φάσης, ο χάλυβας γίνεται μαλακότερος και ολκιμότερος και βελτιώνει έτσι την κατεργασιμότητα του.

4.2.2. Βαφή

Γενικά

Η λογική της βαφής γεννήθηκε πολλά χρόνια πριν όταν ο τεχνίτης έπαιρνε το χάλυβα σε κάποια μορφή εργαλείου το πυράκτωνε χωρίς έλεγχο θερμοκρασίας και στη συνέχεια το βάφτιζε σε κάποιο υγρό. Με τον τρόπο αυτό κατεργαζόταν το υλικό και αποκτούσε κάποια σκληρότητα. Το πρόβλημα ήταν ότι δε μπορούσαν να προβλέψουν τα ατυχήματα όπως το σπάσιμο ή το ράγισμα και να τα ερμηνεύσουν. Σήμερα το στάδιο της επιστήμης έχει ανέβει αρκετά ώστε ο τεχνίτης να γνωρίζει εκ των προτέρων τα αποτελέσματα μιας βαφής χάλυβα.

Εισαγωγή

Η βαφή περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- ο χάλυβας θερμαίνεται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα
- στη συνέχεια παραμένει σ' αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία
- και τέλος ακολουθεί ταχεία απόψυξη του μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Με την απότομη απόψυξη του χάλυβα θα παρουσιαστούν νέα μικροκρυσταλλογραφικά είδη με άλλο σχήμα, μέγεθος και κατανομή. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα. Αυτό το νέο κρυσταλλικό είδος που εμφανίζεται λέγεται **μαρτενσίτης**.

Ο μαρτενσίτης είναι φερρίτης υπερκορεσμένος σε άνθρακα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, που βρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας.

Στο μετασχηματισμό του μαρτενσίτη οφείλεται το ότι ο χάλυβας αποκτάει μεγάλη σκληρότητα, όπως επίσης και υψηλότερη μέγιστη αντοχή σ_B και όριο ελαστικότητας σ_E , που συνοδεύονται όμως από χαμηλή δυσθραυστότητα και από έλλειψη πλαστικότητας.

Γενικά για να βαφεί ο χάλυβας πρέπει η περιεκτικότητα του σε άνθρακα να είναι μεγαλύτερη από 0,30%. Χάλυβες με μικρότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα χρησιμοποιούνται σε κατάσταση ανοπτήσεως ή εξομαλύνσεως και δεν βάφονται.

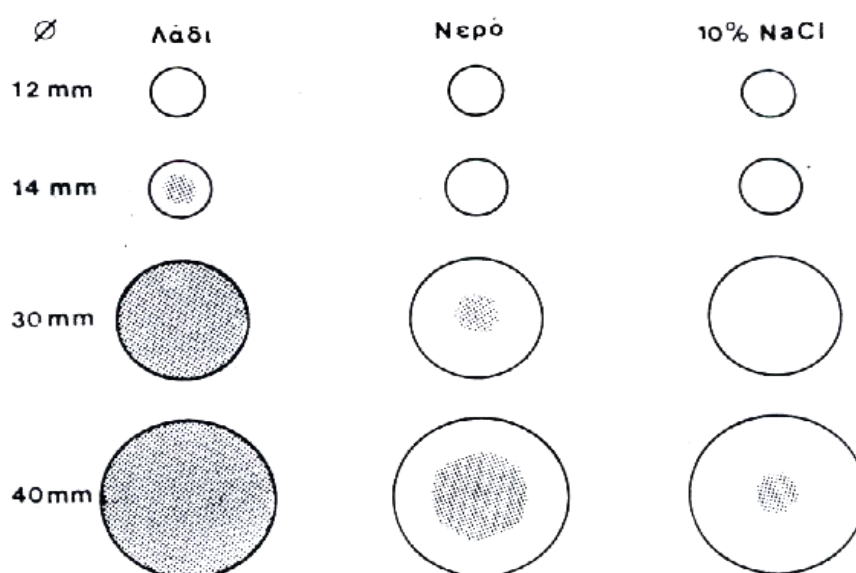
4.2.2.1. Λουτρά βαφής

Όπως είπαμε η βαφή επιτυγχάνεται με την εμβάπτιση του χάλυβα σε κατάλληλο λουτρό, ορισμένης θερμοκρασίας το οποίο συ-

νήθως αναδεύεται ισχυρά. Τα πιο συνηθισμένα λουτρά βαφής κατά σειρά ελαττωμένης δραστηριότητας είναι τα ακόλουθα:

- 1.Υδατικό διάλυμα καυστικής σόδας (5%)
- 2.Αλατούχο νερό (υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου, 5-20%)
- 3.Νερό (θερμό ή κρύο)
- 4.Τήγματα αλάτων (κυρίως χλωριούχου νατρίου)
- 5.Ορυκτέλαια
- 6.Ζωϊκά και φυτικά έλαια

Η επιλογή του λουτρού βαφής εξαρτάται πολύ από το μέγεθος και τη διατομή του τεμαχίου του χάλυβα. Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα δίνει συγκριτικά αποτελέσματα διαφόρων υγρών που χρησιμοποιήθηκαν για την ψύξη χάλυβα, σε συνάρτηση με τη διάμετρο.



Σχ.4.1.

Συγκριτικά αποτελέσματα ψύξης κραματοποιημένου χάλυβα (σύσταση 0,25% C, 0,6% Mn, 0,2% Ni και 0,2% Mo) διαφόρων διαμέτρων σε διαφορά υγρά. Οι λευκές περιοχές παριστάνουν μαρτενσίτη.

4.2.2.2. Προθέρμανση

Το τεμάχιο του χάλυβα που θα κατεργαστεί με βαφή χρειάζεται πρώτα να προθερμανθεί, για το λόγο αυτό τοποθετείται σε κλίβανο θερμού αέρα με θερμοκρασία 600°C. Η προθέρμανση βοηθά το υλικό στην σταδιακή άνοδο θερμοκρασίας βαφής, διότι η απότομη αλλαγή θερμοκρασίας από την θερμοκρασία περιβάλλοντος στη

θερμοκρασία βαφής μπορούν να προκαλέσουν παραμορφώσεις ακόμη και ρωγμές στο τεμάχιο.

4.2.2.3. Θερμοκρασία βαφής

Με την προθέρμανση ο χάλυβας μεταφέρεται στο κλίβανο βαφής. Η θερμοκρασία βαφής καθορίζεται από τις προδιαγραφές ποιότητας και βαφής του υλικού των εργοστασίων. Ο χρόνος παραμονής στη θερμοκρασία βαφής εξαρτάται από τον όγκο της μάζας και την ιδιομορφία του. Σε όλους τους τύπους κλιβάνων πρέπει να υπάρχει το πυρόμετρο με το θερμοστοιχείο του, ώστε να δείχνει τη θερμοκρασία του κλιβάνου.

4.2.2.4. Μέθοδοι βαφής

Στην πράξη, για την ταχεία απόψυξη των χαλύβων (βαφή) και την κατασκευή των κατάλληλων διαγραμμάτων μετασχηματισμού ακολουθούνται δύο μέθοδοι:

1.Ισοθερμη βαφή TTT: Ο χάλυβας πυρακτώνεται και στη συνέχεια αποψύχεται σε θερμό λουτρό, σε θερμοκρασία αναλόγως της επιθυμητής δομής του μετάλλου.

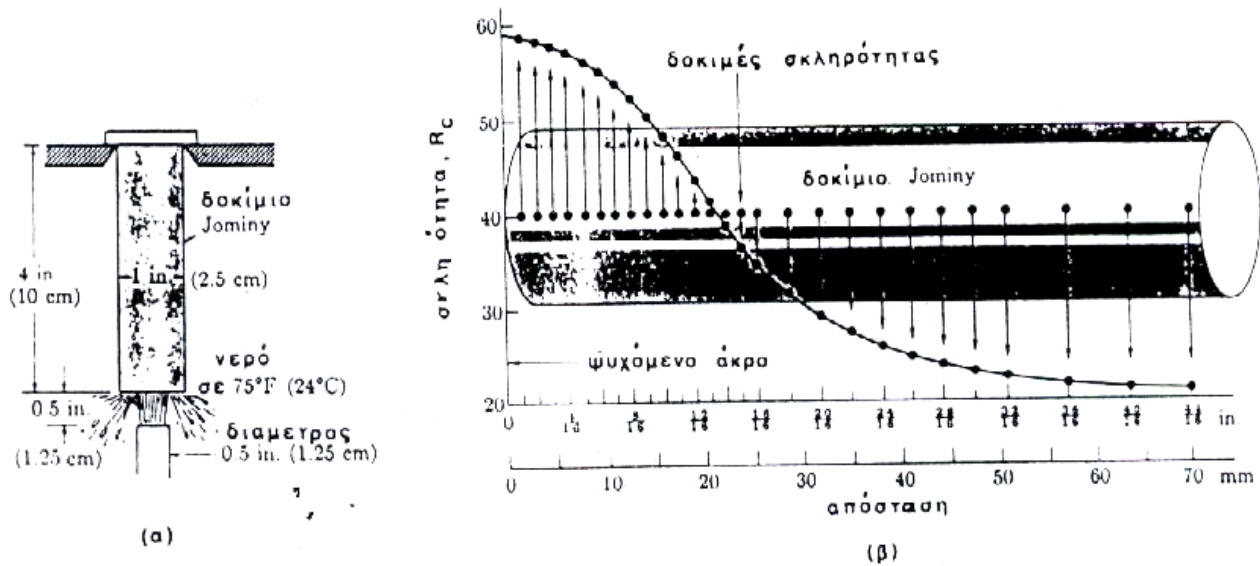
2.Συνεχης βαφή CCT: Στην πράξη ο χάλυβας δεν βάφεται με ισόθερμη βαφή αλλά με συνεχή. Δηλαδή ο χάλυβας αφού πυρακτωθεί στην επιθυμητή θερμοκρασία, αποψύχεται στη θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε κατάλληλο υγρό.

4.2.3. Εμβαπτότητα του χάλυβα

Από αυτά που αναφέραμε μέχρι τώρα ότι το βάθος της σκλήρυνσης και εν μέρει και ο βαθμός σκληρότητας ενός χάλυβα εξαρτώνται κυρίως από την ταχύτητα ψύξης. Γι αυτό υπάρχει ο όρος εμβαπτότητα ή ικανότητα σκλήρυνσης ο οποίος εκφράζει το βάθος σκλήρυνσης που παίρνει το μέταλλο από την επιφάνεια προς το κέντρο της μάζας του, σε συνάρτηση με την ταχύτητα ψύξης του.

Η εμβαπτότητα προσδιορίζεται πειραματικά, με την δοκιμή Jominy (έλεγχος του ψυχρού άκρου). Η βασική ιδέα είναι να δημιουργήσουμε στο δοκίμιο μια σειρά από προσδιοριζόμενες ταχύτητες ψύξης. Κατόπιν μετρώντας τη σκληρότητα κατά μήκος του δοκιμίου μπορούμε να συσχετίσουμε τις δύο έννοιες. Το δοκίμιο που έχει κυλινδρική μορφή, θερμαίνεται ώστε να σχηματιστεί ωστενίτης και στη συνέχεια μεταφέρεται στην υποδοχή διάταξης [σχ.4.2 (α)], όπου η μια του άκρη ψύχεται από φλέβα νερού, ή άλλου ψυκτικού υγρού, με προκαθορισμένες συνθήκες (απόσταση, πίεση φλέβας,

διάμετρο και θερμοκρασία). Ύστερα από δέκα λεπτά το δοκίμιο απομακρύνεται και χαράσσονται δυο διαμετρικές επίπεδες επιφάνειες σε βάθος 0,375mm (0,015"). Αρχίζοντας από το ψυχρό άκρο, μετριέται η σκληρότητα κάθε 0,158cm (1/16") και γίνεται η γραφική παράσταση της μεταβολής της με την απόσταση [σχ.4.2 (β)].

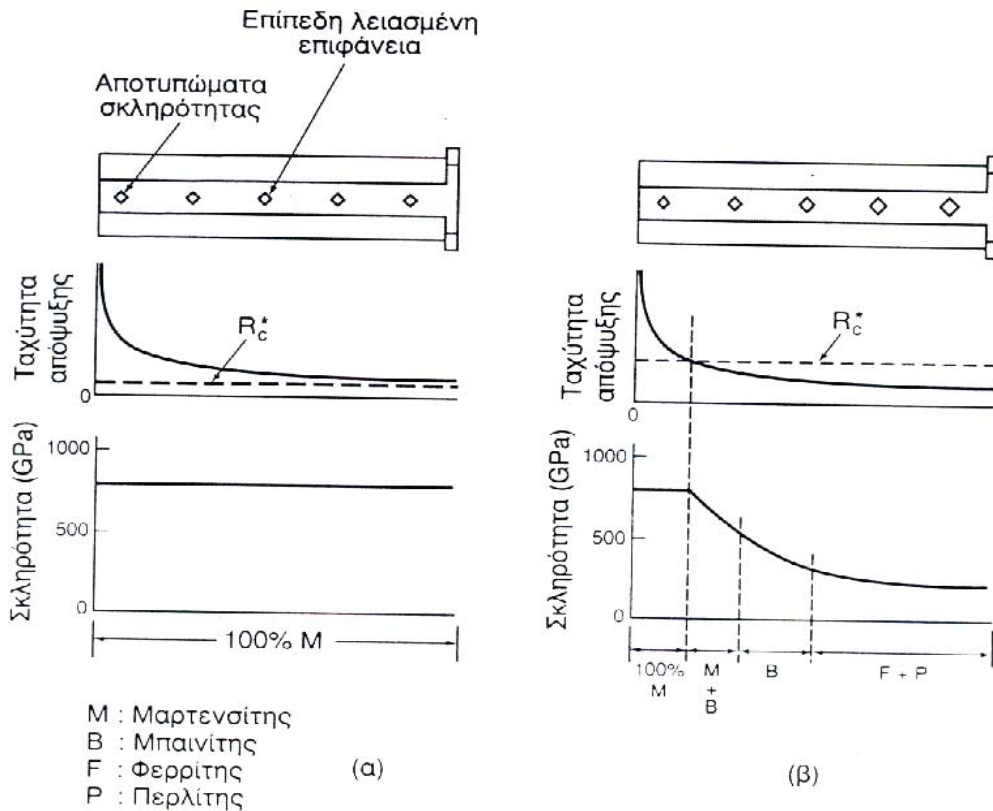


Σχ.4.2.

Έλεγχος της εμβαπτότητας του χάλυβα με τη μέθοδο ελέγχου του ψυχρού άκρου. α) Σχηματική διάταξη της μεθόδου με τις τυποποιημένες διαστάσεις. β) Τυπική καμπύλη μεταβολής της σκληρότητας κατά μήκος του δοκιμίου.

Ένας χάλυβας υψηλής εμβαπτότητας παρουσιάζει σταθερή τιμή, υψηλής σκληρότητας, σε όλο το μήκος του δοκιμίου (σχ.4.3), διότι η ταχύτητα απόψυξης, ακόμη και στο μη ψυχόμενο άκρο του δοκιμίου, είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης ταχύτητας απόψυξης (R_c). Σε όλο το δοκίμιο συνεπώς, έχουμε πλήρη μετασχηματισμό του ωστενίτη σε μαρτενσίτη.

Διαφορετικά αποτελέσματα έχουμε για ένα χάλυβα μέτριας εμβαπτότητας (σχ.4.3). Η ταχύτητα απόψυξης παραμένει μεγαλύτερη της κρίσιμης ταχύτητας απόψυξης, μόνο λίγα εκατοστά μακρύτερα της ψυχόμενης επιφάνειας. Μόλις η ταχύτητα απόψυξης γίνει μικρότερη της κρίσιμης ταχύτητας απόψυξης, ο ωστενίτης του χάλυβα αρχίζει να μετασχηματίζεται σε μπαινίτη, ενώ κοντά στο απέναντι από το ψυχόμενο άκρο, εμφανίζεται η φερριτοπερλιτική δομή, η δε σκληρότητα ελαττώνεται συνεχώς.



Σχ.4.3.

(α) Δοκιμή Jominy ενός χάλυβα υψηλής εμβαπτότητας. (β) Δοκιμή Jominy για ένα χάλυβα μέτριας εμβαπτότητας.

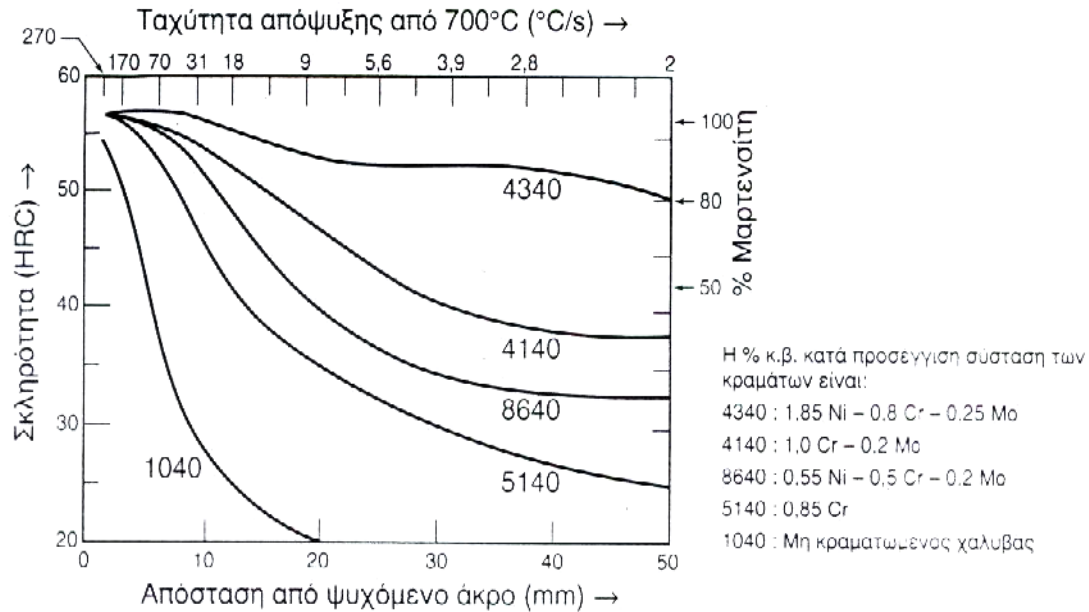
Ως **βάθος βαφής**, κατά τη δοκιμή Jominy, ορίζεται η απόσταση από το ψυχόμενο άκρο του δοκιμίου, στην οποία ο ωστενίτης έχει μετασχηματιστεί σε μαρτενσίτη κατά 50%. Το βάθος βαφής αντιστοιχεί περίπου, στο σημείο καμπής της καμπύλης εμβαπτότητας (σχ.4.3).

Ένας χάλυβας έχει καλή εμβαπτότητα, όταν, μετά τη βαφή, εμφανίζει μεγάλο βάθος βαφής.

Για δεδομένο χάλυβα, η εμβαπτότητα και το βάθος βαφής εξαρτώνται από τη μάζα του χαλύβδινου αντικειμένου και από τη δραστηριότητα του λουτρού.

Για τεχνικούς λόγους, είναι επιθυμητό η σκληρότητα να σχετίζεται με την ταχύτητα απόψυξης και όχι με την απόσταση από το ψυχόμενο άκρο του δοκιμίου.

Στο (σχ.4.4) παρουσιάζονται οι καμπύλες εμβαπτότητας για πέντε διαφορετικές ποιότητες χαλύβων, καθένας από τους οποίους περιέχει 0,4%κ.β.ανθρακα.

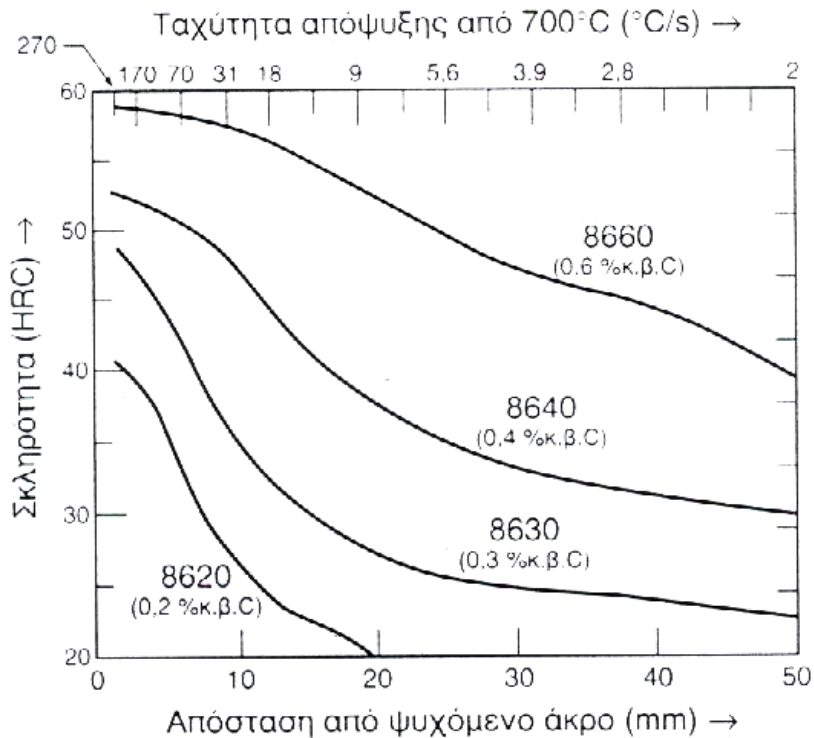


Σχ.4.4.

Καμπύλες εμβαπτότητας για πέντε διαφορετικές ποιότητες χαλύβων, καθένας από τους οποίους περιέχει 0,4% κ.β. άνθρακα.

Από αυτό το σχήμα (4.4) γίνεται φανερό ότι η εμβαπτότητα του μη κραματωμένου χάλυβα 1040 είναι χαμηλή, ενώ των υπολοίπων τεσσάρων αυξάνεται προοδευτικά. Από την μελέτη της αποκτώμενης μικροδομής συναρτήσεως της ταχύτητας απόψυξης, γίνεται επίσης φανερό ότι όταν η ταχύτητα απόψυξης είναι $\sim 270^\circ\text{C}/\text{sec}$, σχηματίζεται 100% μαρτενσίτης και στα πέντε κράματα. Η ανομοιογένεια της συμπεριφοράς εμβαπτότητας αυτών των πέντε χαλύβων ερμηνεύεται από την παρουσία των στοιχείων κραμάτωσης Ni, Cr και Mo, τα οποία επιβραδύνουν τις αντιδράσεις ωστενίτη-περλίτη/μπαινίτη, γεγονός το οποίο ευνοεί το σχηματισμό περισσότερο μαρτενσίτη, για δεδομένη ταχύτητα απόψυξης και κατ' επέκταση, την απόκτηση μεγαλύτερης σκληρότητας.

Στο (σχ.4.5) παρουσιάζονται οι καμπύλες εμβαπτότητας τεσσάρων χαλύβων της σειράς 8600, με διαφορετικό ποσοστό περιεχομένου άνθρακα.



Σχ.4.5.

Καμπύλες εμβαπτότητας για τέσσερις σειρές χαλύβων του τύπου 8600 με διαφορετικό ποσοστό περιεχομένου άνθρακα.

Από τη μελέτη του σχήματος αυτού (4.5), προκύπτει, το συμπέρασμα ότι η σκληρότητα σε οποιαδήποτε θέση μέτρησης της δοκιμής Jominy είναι ανάλογη της %κ.β. περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Ο έλεγχος εμβαπτότητας έχει μεγάλη πρακτική σημασία, διότι έτσι μπορούμε να επιλέξουμε υλικά (χάλυβες) που να έχουν ανθεκτικότητα καταπόνησης στην επιφάνεια και ολκιμότητα στο κέντρο. Πολλά είδη εργαλείων έχουν ανάγκη αυτής της σπουδαίας ιδιότητας όπως λ.χ. άξονες, μήτρες πίεσης και διαμόρφωσης, ακραξόνια κ.α.

4.2.4. Επαναφορά

Επαναφορά έχουμε, όταν ο χάλυβας μετά από βαφή:

α) Αναθερμανθεί σε ορισμένη κάθε φορά θερμοκρασία (θερμοκρασία επαναφοράς) χαμηλότερη οπωσδήποτε του κατώτερου κρίσιμου σημείου, δηλαδή των 723°C και ανώτερη συνήθως της θερμοκρασίας έναρξης σχηματισμού του μαρτενσίτη.

β) Παραμένει στη θερμοκρασία αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία

γ) Αποψυχθεί στον ελεύθερο ήρεμο αέρα μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Σκοπός της επαναφοράς είναι η απόκτηση βελτιωμένων μηχανικών ιδιοτήτων του βαμμένου χάλυβα και η απαλλαγή του από τις σοβαρές εσωτερικές τάσεις που παραμένουν μετά τη βαφή.

Μετασχηματισμός του μαρτενσίτη κατά την επαναφορά

Ο βαμμένος χάλυβας επαναφέρεται για τους εξής λόγους:

α) Όπως γνωρίζουμε, ο χάλυβας μετά από τη βαφή αποκτάει κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη με ανάλογα μικρό ποσοστό υπολειπόμενου ωστενίτη. Σ' αυτή την κατάσταση ο χάλυβας είναι πολύ σκληρός με υψηλές τιμές της μέγιστης αντοχής. Έχει σημαντική πλαστικότητα και απαράδεκτη δυσθραυστότητα. Επίσης οι εσωτερικές τάσεις, που παραμένουν, είναι υψηλές. Σ' αυτήν την κατάσταση επομένως ο χάλυβας είναι ακατάλληλος για βιομηχανική χρήση εκτός από περιπτώσεις όπου απαιτείται μόνο εξαιρετική σκληρότητα του τεμαχίου.

β) Ο μαρτενσίτης ο οποίος είναι φερρίτης υπερκορεσμένος σε άνθρακα και υπολειπόμενος ωστενίτης βρίσκονται, όπως λέμε, σε κατάσταση αστάθειας στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Επομένως έχουν την τάση να επανέλθουν σε κατάσταση ευστάθειας, πράγμα που εκδηλώνεται αμέσως μόλις η θερμοκρασία του χάλυβα υψωθεί και πάρει ορισμένες τιμές. Έχει παρατηρηθεί, ότι κατά την αναθέρμανση βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα από την θερμοκρασία των 100°C περίπου μέχρι τους 723°C , γίνονται προοδευτικά τεσσάρων ειδών μετασχηματισμοί στην κρυσταλλική δομή του, οι οποίοι είναι οι εξής:

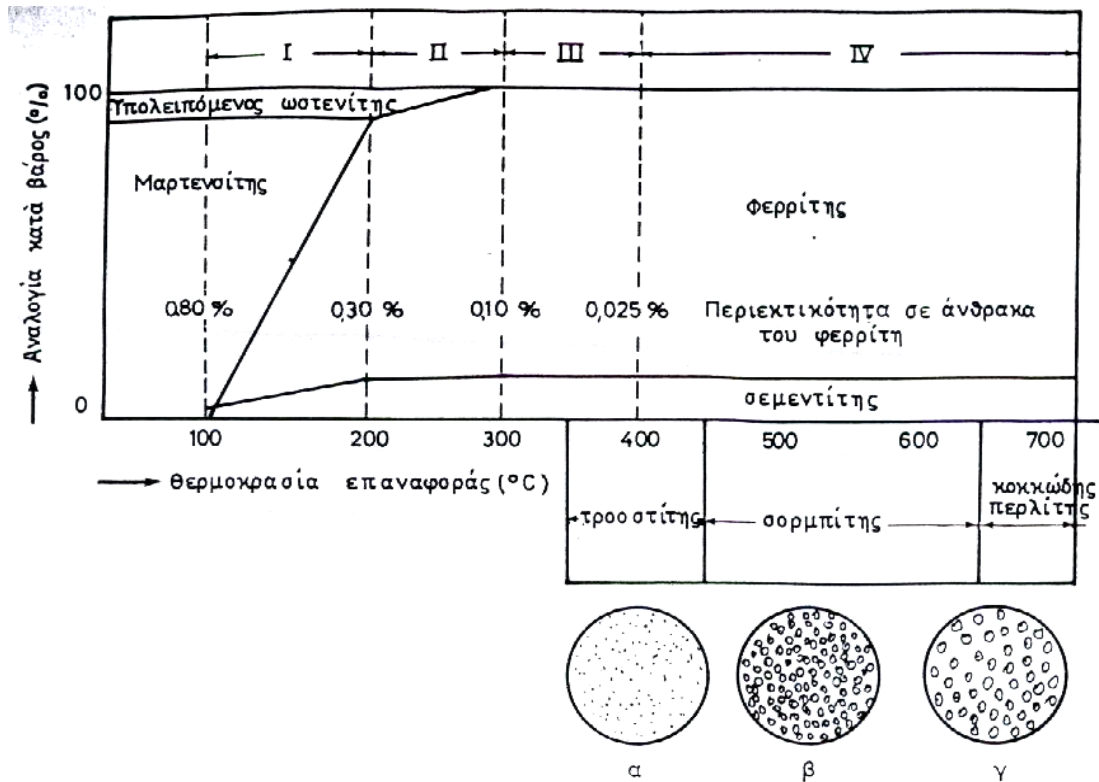
— Αποχωρίζονται τα επιπλέον άτομα του άνθρακα που αναγκαστικά παραμένουν στο πλέγμα του μαρτενσίτη

— Διασπάται ο υπολειπόμενος ωστενίτης

— Σχηματίζεται σεμεντίτης σε μικροσκοπικά τεμαχίδια

— Συσσωματώνεται ο σεμεντίτης και αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων

Στάδια αναθέρμανσης:



Σχ.4.6.

Διάγραμμα μετασχηματισμού της κρυσταλλικής δομής βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα κατά την επαναφορά του. Η κρυσταλλική δομή του τροοσίτη, σορμπίτη και κοκκώδους περλίτη φαίνεται σχηματικά στους κύκλους (α), (β) και (γ) αντίστοιχα.

1) Αναθέρμανση από 100°C μέχρι 200°C

Ο χάλυβας στους 200°C αποτελείται από φερρίτη, ο οποίος διατηρεί ακόμη στο πλέγμα του άνθρακα παραπάνω από το κανονικό (0,30% αντί 0,025%), από υπομικροσκοπικά τεμάχια καρβιδίων και από τον υπολειπόμενο ωστενίτη. Συνεπώς σ' αυτό το στάδιο δεν παρατηρείται αισθητή μεταβολή του μαρτενσίτη.

2) Αναθέρμανση από 200°C μέχρι 300°C

Σ' αυτό το στάδιο ο υπολειπόμενος ωστενίτης διασπάται σε φερρίτη, με μεγαλύτερη όμως από την κανονική περιεκτικότητα σε άνθρακα και σε καρβίδιο. Η κρυσταλλική δομή του χάλυβα στους 300°C αποτελείται από φερρίτη με άνθρακα όμως 0,10% αντί για 0,025%, του κανονικού και από καρβίδια σε υπομικροσκοπικά ακόμη τεμάχια.

3) Αναθέρμανση από 300°C μέχρι 400°C

Ο σεμεντίτης που άρχιζε να σχηματίζεται από το πρώτο στάδιο σ' αυτήν την περιοχή θερμοκρασιών τα καρβίδια σχηματίζουν εντατικά σεμεντίτη. Στους 400°C περίπου ο φερρίτης αποκτάει το κανονικό του κρυσταλλικό πλέγμα. Από τους 350°C η κρυσταλλική δομή του χάλυβα ονομάζεται **τροοσίτης**.

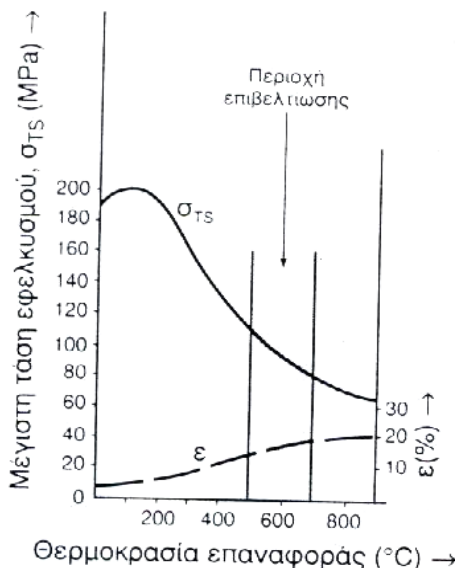
4) Αναθέρμανση από 400°C μέχρι 723°C

Ο σεμεντίτης συσσωματώνεται και συνεπώς αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων του. Στους 500°C περίπου τα τεμαχίδια του σεμεντίτη γίνονται ορατά με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Στους 700°C περίπου ο χάλυβας αποκτάει κρυσταλλική δομή κοκκώδους περλίτη, δηλαδή με το σεμεντίτη υπό μορφή σφαιριδίων. Από τους 450°C η κρυσταλλική δομή του χάλυβα ονομάζεται **σορμπίτης**.

Ο τροοσίτης έχει μεγαλύτερη δυσθραυστότητα από τον μαρτενσίτη αλλά μικρότερη σκληρότητα και αντοχή.

Ο σορμπίτης έχει ακόμα μεγαλύτερη δυσθραυστότητα από τον τροοσίτη αλλά μικρότερη σκληρότητα και αντοχή.

Στο σχήμα(4.7) δίνεται μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων κοινού χάλυβα, συναρτήσεως της θερμοκρασίας επαναφοράς. Αξίζει να προσέξουμε ότι η δυσθραυστότητα δεν αυξάνεται πάντα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό μπορούμε να το αποδώσουμε στο ότι η αύξηση των κόκκων του σεμεντίτη έχει ευνοϊκή επίδραση στη δυσθραυστότητα μέχρι ενός σημείου. Αύξηση του μεγέθους των κόκκων πέρα από το σημείο αυτό δηλαδή με παραπέρα αύξηση της θερμοκρασίας, προξενεί πτώση της δυσθραυστότητας. Η περιοχή όπου σημειώνεται σημαντική αύξηση της δυσθραυστότητας ορίζεται ως **περιοχή επιβελίωσης**.



Σχ.4.7.

Μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων κοινού χάλυβα με 0,45% κ.β. άνθρακα, συναρτήσεως της θερμοκρασίας.

Κραματωμένοι χάλυβες κατά την επαναφορά

Η διερεύνηση που έγινε ως τώρα αφορούσε την περίπτωση των κοινών χαλύβων και ισχύει, κατά προσέγγιση και για τους ελαφρά κραματωμένους χάλυβες. Ενδιαφέρον, ωστόσο παρουσιάζει η συμπεριφορά ισχυρά κραματωμένων χαλύβων κατά την επαναφορά:

—Ορισμένοι κραματωμένοι χάλυβες διατηρούν, κατά την επαναφορά την υψηλή τους σκληρότητα, η ιδιότητα αυτή καλείται **αντοχή σε επαναφορά**. Για παράδειγμα, οι χρωμιούχοι χάλυβες διατηρούν την υψηλή τους σκληρότητα ως τους 500°C ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες η ελάττωση της τιμής τους είναι μικρότερη από αυτή των κοινών χαλύβων. Γενικά, χάλυβες που περιέχουν καρβιδιογόνα στοιχεία* όπως λ.χ. το Mn-Gr-Mo-W-V-Ti-Cb, εμφανίζουν υψηλή αντοχή σε επαναφορά, διατηρούν τη σκληρότητα τους, ενώ ταυτόχρονα γίνονται ολκιμότεροι. Αυτό οφείλεται στην κατακρήμνιση καρβιδίων κατά την επαναφορά.

—Ορισμένοι κραματωμένοι χάλυβες, κυρίως οι μαγγανιούχοι, μετά από βαφή, επαναφορά και βραδεία απόψυξη, καθίστανται εύθραυστοι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η συμπεριφορά αυτή καλείται **ανωμαλία ευθραυστότητας από επαναφορά**. Το φαινόμενο συνδέεται με την κατακρήμνυση λόγω γήρανσης και δεν εμφανίζεται, όταν την επαναφορά ακολουθεί ταχύτατη απόψυξη. Κατά την βραδεία απόψυξη, κατακρημνίζονται καρβίδια και νιτρίδια των κραματικών στοιχείων, τα οποία είναι διαλυμένα σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 430°C. Με την ταχεία απόψυξη, τα καρβίδια διατηρούνται εν διαλύσει και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η ένταση του φαινομένου ελαττώνεται, επίσης με προσθήκη στο χάλυβα 0,10%κ.β. Mo.

—Ορισμένοι κραματωμένοι χάλυβες, με καρβιδιογόνα στοιχεία (W, Mo, V) θερμαινόμενοι, δε χάνουν τη σκληρότητα τους παρά μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε θερμοκρασίες της τάξης των 600°C, αντί για σεμεντίτη έχουμε σχηματισμό καρβιδίων (π.χ. W₂C), τα οποία είναι πολύ σκληρά, σταθερά και δε σφαιροποιούνται. Οι χάλυβες αυτοί καλούνται **ταχυχάλυβες** και χρησιμοποιούνται για εργαλεία ταχείας κοπής, στα οποία οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές. Οι ταχυχάλυβες βράφονται από υψηλή θερμοκρασία και επαναφέρονται σε θερμοκρασία ανώτερης της θερμοκρασίας εργασίας τους.

* το καρβίδιο είναι χημική ένωση ενός μετάλλου με αμέταλλο π.χ. (Fe-C) ή (Fe-N).

4.3. Επιφανειακές κατεργασίες χαλύβων

Εισαγωγή

Κατά τη λειτουργία τους πολλά τεμάχια πρέπει να έχουν σκληρή επιφάνεια για να αντέχουν στη φθορά και συγχρόνως πρέπει να έχουν πυρήνα με ικανοποιητική μηχανική αντοχή και δυσθραυστότητα. Τυπικό παράδειγμα τέτοιου είδους τεμαχίου είναι ο πείρος, που συνδέει το διωστήρα με το εμβολο στη μηχανή εσωτερικής καύσης. Κατά τη φάση της ανάφλεξης στον αντίστοιχο κύλινδρο της μηχανής και για μικρό χρονικό διάστημα ο πείρος καταπονείται με φορτίο κρουστικής μορφής. Από αυτό προκύπτει ότι ο πείρος πρέπει να είναι κατασκευασμένος από χάλυβα με μεγάλη δυσθραυστότητα. Συγχρόνως η επιφάνεια του πείρου πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα, για να μην φθείρεται λόγω της τριβής με το έδρανο του διωστήρα. Ο συνδυασμός αυτός αντοχής και δυσθραυστότητας του πυρήνα και ταυτόχρονα σκληρότητα της επιφάνειας επιτυγχάνεται με τις επιφανειακές κατεργασίες χαλύβων.

Στο σύνολο των θερμικών κατεργασιών των χαλύβων, οι επιφανειακές τους κατεργασίες είναι βαρύνουσας σημασίας. Ενώ το 1975, οι επιφανειακές κατεργασίες αποτελούσαν το 10% των θερμικών κατεργασιών των χαλύβων, το 2000, το ποσοστό αυτό προβλέπεται να φτάσει το 40%.

Τεχνικές επιφανειακής σκλήρυνσης

Οι τεχνικές επιφανειακής σκλήρυνσης των χαλύβων χωρίζονται στις δυο εξής κατηγορίες:

- 1) Στις θερμικές:
 - α) Φλογοβαφή
 - β) Επαγωγική επιφανειακή θέρμανση
 - γ) Με δέσμες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας

- 2) Θερμοχημικές (εμποτισμοί):
 - α) Ενανθράκωση
 - β) Εναζώτωση
 - γ) Ενανθρακαζώτωση
 - δ) Εμφύτευση ιόντων

4.3.1. Θερμικές τεχνικές

Οι τεχνικές επιφανειακής σκλήρυνσης (βαφής) των χαλύβων συνίσταται στη θέρμανση επιφανειακών, μόνο, στρωμάτων του υλικού, ενώ η «καρδιά» του υλικού παραμένει ψυχρή.

Το βάθος βαφής εξαρτάται από τις συνθήκες της κατεργασίας και τη χημική σύσταση του χάλυβα και επιλέγεται σύμφωνα με τις

χρήσεις που πρόκειται να έχει το υλικό. Χάλυβες με ποσοστό άνθρακα περίπου 0,4% μετά την κατεργασία της βαφής εμφανίζουν πολύ καλή επιφανειακή σκληρότητα και χαμηλό ποσοστό υπολειπομένου ωστενίτη.

4.3.1.1. Φλογοβαφή

Κατά τη φλογοβαφή, ο χάλυβας θερμαίνεται επιφανειακά με τη βοήθεια φλόγας δαυλού (μίγμα καυσίμου αερίου και οξυγόνου), που κινείται ταχέως πάνω στην κατεργαζόμενη επιφάνεια, η οποία ψύχεται αμέσως με εκτόξευση ψυκτικού υγρού. Για να επιτευχτεί ομαλή και ομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται σύστημα μικρών, πολυάριθμων δαυλών, παρά ένας δαυλός που παρέχει φλόγα μεγάλης ισχύος. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται, συνήθως για τη βαφή εξαρτημάτων μεγάλων διαστάσεων ή και πολύπλοκης γεωμετρίας και μικρού αριθμού παραγωγής (π.χ. γρανάζια). Μειονεκτήματα της φλογοβαφής είναι η αναπόφευκτη υπερθέρμανση της επιφανειακής στιβάδας και η δυσκολία ρυθμίσεως του βάθους βαφής με ακρίβεια.

4.3.1.2. Επαγωγική επιφανειακή θέρμανση

Κατά την επαγωγική επιφανειακή θέρμανση, ο χάλυβας τοποθετείται στο εσωτερικό σπειροειδούς μαγνήτη, οι σπείρες του οποίου διαρρέονται από ρεύμα υψηλής συχνότητας. Το ισχυρό μαγνητικό πεδίο προκαλεί τη δημιουργία, στο χάλυβα, επιφανειακών ρευμάτων Foucault, τα οποία θερμαίνουν το μέταλλο, μέσω του φαινομένου Joule. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται, συνήθως, για εξαρτήματα μικρών διαστάσεων ή και απλής γεωμετρίας, μεγάλου αριθμού παραγωγής (π.χ. οδοντωτοί άξονες κιβωτίου ταχυτήτων στα αυτοκίνητα).

4.3.1.3. Δέσμες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας

Την τελευταία εικοσαετία, αναπτύχθηκαν οι τεχνικές βομβαρδισμού με δέσμες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας (δέσμη ηλεκτρονίων, ιόντων ή laser). Μέσω ειδικών συστημάτων εστίασης, παρέχεται η δυνατότητα εστίασης της δέσμης, υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, σε πολύ μικρές επιφάνειες ($\geq 100\mu\text{m}^2$). Η ψύξη της επιφάνειας του υλικού είναι ταχεία και εξασφαλίζεται με αγωγή της θερμότητας, διαμέσου του κύριου όγκου του υλικού. Η δέσμη ηλεκτρονίων και ιόντων εκπέμπεται υπό κενό και απορροφάται εύκολα από τη μεταλλική επιφάνεια. Αντιθέτως η δέσμη laser δεν απαιτεί

την εφαρμογή κενού, αλλά ανακλάται εύκολα από ανοιχτόχρωμες και λείες επιφάνειες. Προκειμένου να αυξηθεί η απορροφητική ικανότητα της επιφάνειας, καθίσταται απαραίτητη η κατάλληλη προετοιμασία της (επικάλυψη με γραφίτη, αμμοβολή), πριν ακτινοβοληθεί με τη δέσμη laser. Σε σχέση με τις συμβατικές τεχνικές επιφανειακής βαφής, η χρήση δεσμών υψηλής ενεργειακής πυκνότητας επιτρέπει την τοπική κατεργασία επιφανειακών στρωμάτων μικρού πάχους (από 0,1 έως 3mm).

4.3.2. Θερμοχημικές τεχνικές-εμποτισμοί

Οι εμποτισμοί είναι κατεργασίες που επιφέρουν βελτίωση των ιδιοτήτων της επιφάνειας του μετάλλου με διάχυση εντός αυτού ατόμων άλλου στοιχείου, μετάλλου ή αμέταλλου. Κατά τον εμποτισμό το μέταλλο διατηρείται σε στερεά κατάσταση. Επειδή οι εμποτισμοί πραγματοποιούνται σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες για αυτό το λόγο χαρακτηρίζονται ως θερμοχημικές επιφανειακές κατεργασίες.

4.3.2.1. Ενανθράκωση

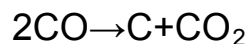
Η ενανθράκωση βασίζεται στην αρχή, σύμφωνα προς την οποία ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη εμποτίζεται επιφανειακά από άτομα άνθρακα σε θερμοκρασία 900°C μέχρι 950°C συνήθως. Αποτέλεσμα αυτής της εμποτίσεως του χάλυβα με άνθρακα είναι η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα της επιφανειακής του στιβάδας, να του δώσει δηλαδή τη δυνατότητα στη βαφή να αποκτήσει στην επιφάνεια μεγάλη σκληρότητα και στον πυρήνα του να διατηρήσει την φυσική του κατάσταση αντοχής.

Τα τεμάχια που είναι για ενανθράκωση τοποθετούνται μαζί με το ενανθρακωτικό μέσο, μέσα σε κατάλληλο πυρίμαχο μεταλλικό δοχείο, συνήθως από χάλυβα που αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Το δοχείο στη συνέχεια κλείνεται αεροστεγώς και εισάγεται σε κατάλληλο κλίβανο. Η θερμοκρασία του κλιβάνου διατηρείται αρχικά στους 700°C και στη συνέχεια ανυψώνεται μέχρι τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως (900°C μέχρι 950°C). Σ' αυτή την θερμοκρασία τα τεμάχια παραμένουν για ορισμένο χρονικό διάστημα, που εξαρτάται από το βάθος ενανθρακώσεως που θέλουμε να πετύχουμε.

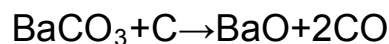
Η ενανθράκωση όπως αναφέραμε επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κάποιου **ενανθρακωτικού μέσου ή ουσίας** όπως λέμε, το οποίο μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο.

Ενανθράκωση με στερεό ενανθρακωτικό μέσο

Σαν στερεό ενανθρακωτικό μέσο χρησιμοποιείται συνήθως μίγμα σε σκόνη που αποτελείται από 60% ως 90% ξυλάνθρακα και από 40% ως 10% ανθρακικό βάριο (BaCO_3) αντίστοιχα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ανθρακικό νάτριο (NaCO_3) αντί ανθρακικό βάριο. Το μίγμα αυτό στη θερμοκρασία της ενανθρακώσεως αποδίδει μονοξείδιο του άνθρακα που αποτελεί και το πραγματικό ενανθρακωτικό μέσο. Από το μονοξείδιο του άνθρακα που σχηματίζεται αποδεσμεύονται άτομα άνθρακα και συγχρόνως παράγεται διοξείδιο του άνθρακα.



Ο παραγόμενος άνθρακας σε ατομική κατάσταση (χωρίς να έχει ακόμη σχηματιστεί το μόριο του) διεισδύει στο κρυσταλλικό πλέγμα της επιφανειακής στιβάδας του χάλυβα, που βρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη. Στο μεταξύ το ανθρακικό βάριο αντιδρά με άτομα άνθρακα που προέρχονται από τον ξυλάνθρακα που χρησιμοποιούμε και αποδεσμεύει περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα.



Μετά το τέλος της ενανθράκωσης τα τεμάχια αποσύρονται από τον κλίβανο και αφήνονται να αποψυχτούν ήρεμα στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή βάζονται, ανάλογα με το είδος των θερμικών κατεργασιών που θα ακολουθήσουν την ενανθράκωση.

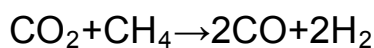
Το βάθος ενανθρακώσεως εξαρτάται από τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως και από το χρόνο παραμονής των ταμαχιών σ' αυτή τη θερμοκρασία. Εξαρτάται επίσης και από την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα και από το είδος και την αναλογία των συστατικών του μέσου ενανθρακώσεως.

Η ενανθράκωση με στερεά ενανθρακωτικά μέσα παρουσιάζει το σοβαρό μειονέκτημα ότι το συνολικό κόστος εκτελέσεως της είναι υψηλό συγκριτικά με την ενανθράκωση που γίνεται με αέρια μέσα. Και αυτό το κόστος οφείλεται κυρίως στο μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτείται και την ακριβή σε χρήμα συσκευασία και αποσυσκευασία των ταμαχιών που πρόκειται να ενανθρακωθούν. Μειονεκτεί επιπλέον και στο ότι τα τεμάχια δύσκολα μπορούν να βαφούν αμέσως μετά την ενανθράκωση.

Ενανθράκωση με αέριο ενανθρακωτικό μέσο

Τα σπουδαιότερα αέρια μέσα ενανθρακώσεως είναι οι υδρογονάνθρακες μεθάνιο (CH_4) και προπάνιο (C_3H_8). Πρέπει να ση-

μειώσουμε, ότι τα αέρια αυτά είναι απαραίτητο να είναι απόλυτα καθαρά, διαφορετικά οι ακαθαρσίες που περιέχουν εναποτίθενται στην επιφάνεια των τεμαχίων και εμποδίζουν την κανονική εκτέλεση της ενανθρακώσεως. Σε αυτήν την περίπτωση τοποθετούμε το είδος ενανθρακώσεως σε αεροστεγείς κλιβάνους και στη συνέχεια διαβιβάζουμε το αέριο μίγμα. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση το ενεργό ενανθρακωτικό μέσο είναι το μονοξείδιο του άνθρακα που παράγεται με την αντίδραση από υδρογονάνθρακα. Αυτό το μονοξείδιο του άνθρακα, διασπάται σε άνθρακα ατομικής κατάστασης και σε διοξείδιο του άνθρακα ($2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$), όπως και πριν με το στερεό μέσο. Ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη εμποτίζεται σε ορισμένο βάθος από την επιφάνεια του με τον άνθρακα που παράγεται, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με τον υδρογονάνθρακα.



Έτσι παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα το οποίο διασπάται πάλι σε άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα κ.ο.κ.

Αυτό το είδος ενανθρακώσεως παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα στις περιπτώσεις ενανθρακώσεως μεγάλου αριθμού τεμαχίων, σε μικρό όμως βάθος, γιατί μπορούμε εύκολα να ελέγξουμε το βάθος με μεγάλη ακρίβεια. Συμφέρει επίσης σε χώρο αλλά και σε θερμική ενέργεια διότι χρειάζεται σχεδόν ο μισός χρόνος θέρμανσης σε σχέση με την στερεά ενανθράκωση. Ακόμη δίνεται η δυνατότητα της απ' ευθείας, μετά την ενανθράκωση, βαφής των τεμαχίων (από τον κλίβανο ενανθρακώσεως στο λουτρό βαφής).

Ενανθράκωση με υγρά ενανθρακωτικά μέσα

Η ενανθράκωση των τεμαχίων στην περίπτωση αυτή γίνεται μέσα σε λουτρό τηγμένων αλάτων στη θερμοκρασία της ενανθρακώσεως. Το μίγμα αλάτων, που χρησιμοποιείται συνήθως αποτελείται από 20% ως 50% κυανιούχο νάτριο (NaCN), από ανθρακικό νάτριο 40% και από χλωριούχο νάτριο (NaCl_2) ή χλωριούχο βάριο (BaCl_2). Τα τεμάχια για ενανθράκωση τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλο καλάθι από συρμάτινο πλέγμα και βαφτίζονται μέσα στο λουτρό για ορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο εξαρτάται από το βάθος ενανθρακώσεως που επιθυμούμε.

Από τις χημικές αντιδράσεις που γίνονται, αποδεσμεύεται μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο ενεργεί με τον τρόπο που προαναφέραμε. Αποδεσμεύεται επίσης και άζωτο, που σε μικρή έκταση, προσδίνει σκληρότητα στην επιφανειακή στιβάδα των τεμαχίων, όπως ακριβώς συμβαίνει κατά την εναζώτωση. Η μέθοδος αυτή

επιφανειακής σκλήρωσης αναφέρεται σαν **ενδοκυάνωση** και ακολουθείται από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες.

Τα υγρά μέσα ενανθρακώσεως έχουν σοβαρά πλεονεκτήματα. Επιτρέπουν εύκολο και ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας, επίσης ομοιόμορφη και γρήγορη θέρμανση των τεμαχίων. Έτσι παίρνουμε ενανθρακωμένα επιφανειακή στιβάδα ομοιόμορφη και με το ίδιο βάθος.

Θερμικές κατεργασίες μετά την ενανθράκωση

Αναφέρουμε, ότι η ενανθράκωση τεμαχίου από κατάλληλο χάλυβα δημιουργεί επιφανειακή στιβάδα πλούσια σε άνθρακα [συνήθως με $\pi(C) > 80\%$] ενώ συγχρόνως ο πυρήνας του τεμαχίου διατηρεί την κανονική του περιεκτικότητα σε άνθρακα [συνήθως $\pi(C) \leq 0,20\%$]. Η παρατεταμένη θέρμανση του χάλυβα σε κατάσταση ωστενίτη, στην υψηλή θερμοκρασία της ενανθράκωσης, συντελεί στην αύξηση του μεγέθους των κόκκων του επιφανειακού στρώματος του πυρήνα του τεμαχίου, με συνέπεια την ελάττωση της δυσθραυστότητας. Εμείς όμως ζητάμε στην πράξη, όπως άλλωστε είναι και ο αντικειμενικός σκοπός της ενανθράκωσης, να είναι το τεμάχιο πολύ σκληρό στην επιφάνεια του και δυσθραυστό στο πυρήνα του. Αυτό το επιτυγχάνουμε με μια σειρά θερμικών κατεργασιών που εκτελούνται μετά την ενανθράκωση ως εξής:

- Μετά την ενανθράκωση, τα τεμάχια αποψύχονται ήρεμα
- Στη συνέχεια θερμαίνονται σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη από το ανώτερο κρίσιμο σημείο π.χ. σε 880°C και παραμένουν τα τεμάχια για ορισμένο χρόνο, όπου ο χονδρόκοκκος ιστός φερρίτη-περλίτη γίνεται λεπτόκοκκος ωστενίτης.
- Ακολουθεί βαφή ή εξομάλυνση των τεμαχίων και έτσι επιτυγχάνεται τελικά λεπτόκοκκος πυρήνας των τεμαχίων.

Μετά από αυτή τη θερμική κατεργασία, η επιφανειακή στιβάδα των τεμαχίων εξακολουθεί να έχει χονδρόκοκκο ιστό, λόγω της θέρμανσης τους σε 880°C . Αυτή η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή σε σχέση προς το ανώτερο κρίσιμο σημείο (723°C) για την περιεκτικότητα σε άνθρακα της επιφανειακής στιβάδας [$\pi(C) > 0,80$]. Γι αυτό το λόγο:

- πυρώνουμε τα τεμάχια σε 760°C περίπου και παραμένουν σ' αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρόνο, όπου ο χονδρόκοκκος ιστός της επιφανειακής στιβάδας μετασχηματίζεται σε λεπτόκοκκο ωστενίτη
- κατόπιν, τα τεμάχια βράφονται και αποκτούν σκληρή και λεπτόκοκκη (σχετικά δυσθραυστή) επιφανειακή στρώση

—τέλος για να απαλλαγεί η επιφανειακή στιβάδα από εσωτερικές μηχανικές τάσεις, τα τεμάχια θερμαίνονται σε 200°C περίπου και αποψύχονται ήρεμα.

Όλα αυτά που αναφέραμε αποτελούν την ιδανική σειρά θερμικών κατεργασιών που ακολουθούν την ενανθράκωση. Στην πράξη όμως παρατηρούνται ορισμένες παρεκλίσεις ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά. Π.χ. είναι δυνατό να βαφούν τεμάχια σε νερό απευθείας μετά από τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως και κατόπιν να επαναφερθούν σε χαμηλή θερμοκρασία, για να απαλειφτούν οι εσωτερικές τάσεις οι οποίες αναπτύχθηκαν λόγω της βαφής. Αυτό είναι δυνατό να εφαρμοστεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα σε χάλυβες που παρουσιάζουν μικρή αύξηση του μεγέθους των κόκκων στη θερμοκρασία ενανθρακώσεως.

Σε περιπτώσεις που χρειάζεται μεγάλη δυσθραυστότητα του πυρήνα, τα τεμάχια αποψύχονται ήρεμα από τη θερμοκρασία της ενανθρακώσεως. Κατόπιν θερμαίνονται σε 760°C και βάφονται σε νερό. Αυτή η βαφή αφήνει τον πυρήνα αρκετά μαλακό και δύσθραυστο, ενώ σκληραίνει την επιφανειακή στιβάδα, η οποία γίνεται λεπτόκοκκη, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της κατεργασίας (760°C). Τα πλεονεκτήματα του τρόπου αυτού θερμικής κατεργασίας ενανθρακωμένων τεμαχίων είναι ότι ο συνολικός χρόνος κατεργασιών περιορίζεται σημαντικά. Επίσης αποφεύγονται μέχρι ένα ορισμένο βαθμό, η οξειδωση, η απανθράκωση και η στρέβλωση των τεμαχίων.

Πρακτικές οδηγίες εκτελέσεως της ενανθράκωσης

α) Ανεξάρτητα του μέσου ενανθρακώσεως που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, τα τεμάχια για ενανθράκωση πρέπει να καθαρίζονται τελείως από τυχόν σκουριά, λίπος, λαδί κτλ.

β) Για να επιτύχει η ενανθράκωση, αφού πάρουμε υπόψη τον τρόπο και τις συνθήκες λειτουργίας των τεμαχίων, πρέπει να καθορίσουμε με ακρίβεια τα εξής:

—το είδος του χάλυβα ενανθρακώσεως, δηλαδή αν πρόκειται για ανθρακούχο χάλυβα ή για χαλυβοκράματα

—τη θερμοκρασία και το χρόνο ενανθρακώσεως

—το μέσο ενανθρακώσεως, καθώς επίσης και τις αναλογίες των συστατικών του.

—τις θερμικές κατεργασίες που θα ακολουθήσουν την ενανθράκωση

γ) Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ανάγκη ένα μέρος ή μέρη της επιφάνειας του τεμαχίου να μην ενανθρακωθούν, να παραμείνουν δηλαδή μαλακά. Τα μέρη αυτά συνήθως επικαλύπτονται ηλεκτρο-

λυτικώς με λεπτό στρώμα χαλκού, πάχους 0,010 ως 0,075mm, γιατί ο άνθρακας δεν διαλύεται στο χαλκό στη θερμοκρασία ενανθρακώσεως.

Παλιότερα, ακόμη όμως και σήμερα, το τμήμα που επιθυμούμε να μην ενανθρακωθεί το καλύπτουμε με μίγμα πυρίμαχου πηλού, άμμου, αμιάντου και υδρύαλου. Αυτή η μέθοδος είναι απλή, αλλά δεν προφυλάσσει τελείως την επιφάνεια που καλύπτουμε από την προσβολή του ενανθρακωτικού αερίου. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά τη θέρμανση του τεμαχίου δημιουργούνται ρωγμές στο προφυλακτικό στρώμα, μέσα από τις όποιες διεισδύει το ενανθρακωτικό αέριο.

Κατά την ενανθράκωση με στερεά μέσα ενανθρακώσεως, ο έλεγχος του βάθους γίνεται πρακτικά ως εξής:

Στο κιβώτιο ενανθρακώσεως ανοίγονται 2 ως 3 τρύπες. Από τις τρύπες αυτές εισάγονται στο κιβώτιο αντίστοιχες δοκιμαστικές ράβδοι με διάμετρο 5 ως 6mm και μήκος 200 ως 300mm, οι όποιες αποτελούνται από τον ίδιο χάλυβα, όπως και τα τεμάχια που είναι για ενανθράκωση.

Οι ράβδοι αυτές τοποθετούνται έτσι ώστε το μεγαλύτερο μήκος τους να βρίσκεται μέσα στο κιβώτιο, ενώ τα άκρα τους έξω από αυτό.

Με αυτόν το τρόπο μπορούν να αποσύρονται χωρίς να είναι ανάγκη να ανοίξουμε το κιβώτιο. Όταν περάσει ο καθορισμένος χρόνος ενανθρακώσεως, αποσύρουμε μια δοκιμαστική ράβδο, τη βάζουμε σε νερό και κατόπιν την σπάζουμε. Η επιφάνεια θραύσεως της ράβδου δείχνει καθαρά το βάθος της ενανθρακωμένης στιβάδας του τεμαχίου. Το βάθος αυτής της στιβάδας μετράται φυσικά με μικρή ακρίβεια. Αν το βάθος αυτό ανταποκρίνεται προς αυτό που ζητάμε, τότε η ενανθράκωση θεωρείται τελειωμένη. Αν το βάθος ενανθρακώσεως είναι μικρότερο, τότε η κατεργασία συνεχίζεται και μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα αποσύρεται η δεύτερη δοκιμαστική ράβδος, για να γίνει έλεγχος του βάθους ενανθρακώσεως.

Για να γίνει η ενανθράκωση μέσα σε υγρό μέσο ενανθράκωσης, δηλαδή σε λουτρό τηγμένων αλάτων, τα τεμάχια προθερμαίνονται σε 600°C ως 700°C. Μετά εμβαπτίζονται στο λουτρό που έχει θερμοκρασία ανώτερη από την καθορισμένη θερμοκρασία ενανθρακώσεως. Αυτή η ανύψωση θερμοκρασίας είναι τόση, όση χρειάζεται ώστε τα τεμάχια με το που θερμαίνονται να αποκτήσουν τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως. Τα τεμάχια παραμένουν στο λουτρό μέχρι να αποκτήσουν το βάθος ενανθρακώσεως που θέλουμε.

Τα κυανιούχα άλατα που χρησιμοποιούνται σε μίγματα υγρών μέσων ενανθρακώσεως είναι εξαιρετικώς δηλητηριώδη. Γι αυτό πρέπει να παίρνουμε κάθε προφύλαξη ώστε να μην βγαίνουν ατμοί από το λουτρό. Πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει σύστημα απαγωγής των ατμών που περιλαμβάνει κατάλληλο ανεμιστήρα, φίλτρο και κυκλώνα με νερό. Ακόμα τα κυανιούχα άλατα δεν πρέπει με κανένα τρόπο να έρχονται σε επαφή με ανοιχτό τραύμα. Απαγορεύεται αυστηρά η λήψη τροφής από το προσωπικό στο χώρο όπου χρησιμοποιούνται κυανιούχα άλατα.

Είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται ελαστικά γάντια, όταν ζυγίζουμε τα κυανιούχα άλατα, όταν τα τοποθετούμε στο λουτρό, όταν εμβαπτίζουμε τα τεμάχια μέσα στο λουτρό και όταν τα μεταφέρουμε για βαφή.

Για να αποφύγουμε την εκτόξευση τηγμένων αλάτων πρέπει οι τσιμπίδες, τα τεμάχια και κάθε τι που έρχεται σε επαφή με τα άλατα, να είναι απόλυτα στεγνά.

Μετά το τέλος της εργασίας ή στο διάλειμμα για φαγητό, το προσωπικό πρέπει να πλένει τα χέρια του πολύ καλά με σαπούνι. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται τσιμπίδες που είχαν χρησιμοποιηθεί προηγουμένως σε άλλο είδος λουτρού, όπως π.χ. σε λουτρό επαναφοράς και αντίστροφα, γιατί αυτό μπορεί να προκαλέσει έκρηξη στο λουτρό.

Μετά τη βαφή τα τεμάχια πρέπει οπωσδήποτε να υποστούν **εξουδετέρωση** και πολύ καλό πλύσιμο. Με την εξουδετέρωση τα τεμάχια γίνονται μη δηλητηριώδη. Η εξουδετέρωση γίνεται μέσα σε δοχεία που περιέχουν διάλυση 3% ως 5% θειικού σιδήρου σε νερό και κρατάει 5 ως 10min. Το πλύσιμο γίνεται σε ζεστό νερό 60°C ως 80°C για 5min περίπου.

Ελαττώματα ενανθράκωσης

Κατά την εκτέλεση της ενανθράκωσης εμφανίζονται ορισμένα ελαττώματα στα τεμάχια. Τα κυριότερα είναι τα εξής:

α) Το βάθος ενανθράκωσης δεν είναι εκείνο που προβλέπεται. Αυτό οφείλεται σε λάθος προσδιορισμό και μέτρηση του χρόνου ενανθράκωσης. Αν το βάθος ενανθράκωσης είναι μικρό, το ελάττωμα αυτό μπορεί να διορθωθεί με την επανάληψη της ενανθράκωσης. Αν όμως το βάθος είναι πολύ μεγάλο, τότε το τεμάχιο είναι άχρηστο.

β) Η σκληρότητα που επιτυγχάνουμε είναι χαμηλή. Αυτό οφείλεται στη χρησιμοποίηση φτωχού μέσου ενανθρακώσεως. Μπορούμε να επανορθώσουμε με επανάληψη της ενανθράκωσης.

γ) Η σκληρότητα του τεμαχίου είναι ανομοιόμορφη, υπάρχουν δηλαδή σκληρές και μαλακές περιοχές στην επιφάνεια του. Βασική

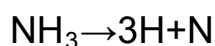
αιτία του ελαττώματος είναι η παρουσία σκουριάς, λίπους, ελαίου ή άλλων ξένων σωμάτων επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου αποτελεσμα κακού καθαρισμού πριν από την ενανθράκωση.

4.3.2.2. Εναζώτωση

Η εναζώτωση μοιάζει με την ενανθράκωση στο ότι ο χάλυβας θερμαίνεται για μεγάλο διάστημα μέσα σε κάποιο **σκληρωτικό μέσο**. Η διαφορά συνίσταται στο ότι, ενώ κατά την ενανθράκωση το μέσον αυτό είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (από το οποίο παίρνουμε τον άνθρακα όπως αναλύσαμε), κατά την εναζώτωση είναι το άζωτο N. Εναζώτωση υφίστανται χάλυβες με ειδική σύνθεση γιατί η σκλήρωση που επιτυγχάνεται μετά την εναζώτωση, εξαρτάται από το σχηματισμό σκληρών ενώσεων του αζώτου με το αργίλιο, το χρώμιο και το βανάδιο.

Η εναζώτωση εκτελείται ως εξής:

Τα τεμάχια παραμένουν σε θερμοκρασία 500°C ως 540°C (θερμοκρασία εναζωτώσεως) για μεγάλο χρόνο, συνήθως για 40 ως 100 ώρες, μέσα σε αεροστεγή θάλαμο κατάλληλου κλιβάνου, στον οποίο διοχετεύεται αμμωνία (NH₃, αέριο). Ο χρόνος παραμονής των τεμαχίων στη θερμοκρασία εναζωτώσεως εξαρτάται από το επιθυμητό βάθος εναζωτώσεως. Το άζωτο που απαιτείται για την εναζώτωση λαμβάνεται από την αμμωνία κατά την χημική αντίδραση:



Ένα μέρος του αζώτου που παράγεται, σε ατομική κατάσταση, διεισδύει στην επιφάνεια του χάλυβα και σχηματίζει το πολύ σκληρό σιδηρονιτρίδιο (Fe₄N), καθώς επίσης και σκληρές χημικές ενώσεις με το αργίλιο, χρώμιο και βανάδιο των χαλύβων εναζωτώσεως.

Γενικά παρατηρούμε ότι η εναζώτωση είναι πολύ αργό φαινόμενο. Κατά προσέγγιση πρέπει να θεωρηθεί ότι χρειάζονται 10 ώρες ανά 0,01mm βάθους εναζωτώσεως. Συνήθως το βάθος εναζωτώσεως δεν υπερβαίνει το 0,05mm.

Δεν χρειάζεται καμιά θερμική κατεργασία μετά την εναζώτωση. Πριν από την εναζώτωση οι χάλυβες υφίστανται τις θερμικές κατεργασίες που χρειάζονται. Είναι απαραίτητο να γίνει μια ανόπτηση για την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων από μηχανικές κατεργασίες και μετά να επακολουθήσει βαφή και επαναφορά έτσι ώστε να δοθεί η απαραίτητη σκληρότητα και στον πυρήνα, ο οποίος διατηρεί την αντοχή του και μετά την εναζώτωση, άλλωστε

αυτό είναι το πλεονέκτημα των ειδικών υλικών χαλύβων που χρησιμοποιούμε.

Η εναζώτωση εφαρμόζεται ιδιαίτερα σε μικρά πολύμορφα αντικείμενα μεγάλης ακρίβειας όπως λ.χ. καλύμματα κυλίνδρων και χιτώνια μηχανών DIESEL, άξονες τόνων, μηχανές λείανσης που δουλεύουν με ταχύτητα άνω των 2000r.p.m., ρουλεμάν, γρανάζια, άξονες έκκεντρων, βίδες, πύροι, καλούπια, μήτρες για profils αλουμινίου κ.α.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναζωτώσεως

- Αποφεύγονται οι ρωγμές ή στρέβλωση των τεμαχίων, γιατί δεν χρειάζεται βαφή μετά την εναζώτωση. Τα τεμάχια μπορούν να υποστούν τελική κατεργασία κοπής πριν από την εναζώτωση
- Η σκληρότητα της επιφάνειας του εναζωτωμένου χάλυβα που επιτυγχάνεται είναι πολύ μεγάλη και κυμαίνεται από 1000-1100 H Vickers. Γενικά η σκληρότητα στην επιφάνεια εξαρτάται από το σχηματισμό ειδικών νιτροδίων. Υλικά με αλουμίνιο (που είναι το στοιχείο με τη μεγαλύτερη χημική συγγένεια προς το άζωτο) δείχνουν σε ελέγχους με χαμηλά φορτία (λόγω της λεπτής επιφάνειας σκληρότητας και η μέτρηση γίνεται κατά Vickers με μικρό φορτίο) την μεγαλύτερη επιφανειακή σκληρότητα. Στους κραματωμένους χάλυβες με χρώμιο βολφράμιο και βανάδιο η αύξηση της σκληρότητας είναι μικρότερη.

Η αντοχή των τεμαχίων σε διάβρωση είναι αρκετά καλή όταν η εναζωτωμένη επιφάνεια αφήνεται όπως είναι, π.χ. χωρίς να σιλιβωθεί. Επίσης και η αντοχή τους σε κόπωση είναι αρκετά καλή. Τα εναζωτωμένα εξαρτήματα αρκετές φορές υποβάλλονται σε επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις. Απεδείχθη όμως ότι η αδυναμία κόπωσης δεν ξεκινά από την εναζωτομένη επιφάνεια του μετάλλου (εξωτερική επιφάνεια), αλλά από το σημείο επαφής εναζωτομένης στιβάδας και μη εναζωτομένης μάζας του υλικού. Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που οδηγούν σε συγκεντρώσεις τάσεων, όπως εγκοπές σπειρώματα και χαράγματα από κατεργασία τόνου, ρεκτιφιέ κ.α. έχουν μικρότερη επίδραση στα εναζωτωμένα υλικά παρά σ' αυτά που δεν έχουν εναζωτωθεί.

- Έχουν καλή αντίσταση στις φθορές από τριβές. Αποδείχθει ότι ένα πλήθος εξαρτημάτων με εναζωτομένη επιφάνεια και κάτω από συνθήκες ελαττωματικής λίπανσης και με σοβαρή αύξηση θερμοκρασίας σημείωσε μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Η σκληρότητα των εναζωτωμένων τεμαχίων διατηρείται σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες (μέχρι περίπου 500°C), ενώ των ενανθρακωμένων τεμαχίων αρχίζει να πέφτει από τους 200°C μόνο.

Αυτή η διατήρηση της σκληρότητας κάνει τα υλικά να έχουν μεγάλη αξία, για πολλές εφαρμογές και ειδικά εκεί όπου η λίπανση μπορεί να είναι ελαττωματική.

- Οι δαπάνες των εγκαταστάσεων εναζωτώσεως είναι μεγαλύτερες από τις δαπάνες για ενανθράκωση. Για το λόγο αυτό η εναζώτωση συμφέρει μόνο αν γίνεται για πολλά τεμάχια.
- Το βάθος εναζωτώσεως είναι μικρότερο από το βάθος ενανθράκωσης για τον ίδιο χρόνο θέρμανσης. Γενικά ο χρόνος κατεργασίας, η σύσταση του χάλυβα και η ποιότητα του λουτρού εναζωτώσεως επηρεάζουν σοβαρά το βάθος και την ποιότητα της εναζωτώσεως.
- Υπερθέρμανση εναζωτωμένου τεμαχίου έχει σαν συνέπεια την καταστροφή της σκληρής επιφανειακής του στιβάδας τελείως. Επομένως χρειάζεται επανάληψη της εναζωτώσεως. Σε παρόμοια περίπτωση ενανθρακωμένου τεμαχίου μόνο κατάλληλη θερμική κατεργασία και όχι νέα ενανθράκωση. Σ' αυτή την περίπτωση που ο χάλυβας χρειάζεται ξανά εναζώτωση, χρησιμοποιούμε ένα λουτρό από μίγμα 50% χρωμιούχο νάτριο και 50% χλωριούχο κάλιο με θερμοκρασία 815°C περίπου. Το εξάρτημα εμβαπτίζεται στο ανωτέρω λουτρό με παραμονή αναλόγως του όγκου του, το λουτρό προκαλεί αποσύνθεση των νιτριδίων και επαναφέρει κατά το δυνατό το εξάρτημα στη προτέρα του φυσική κατάσταση. Η επαναζώτωση πρέπει να τονίσουμε ότι δεν παρέχει την αρχική του σκληρότητα.

Εναζώτωση ανοξειδωτου χάλυβα

Σημαντική προσοχή έχει δοθεί στην εναζώτωση του ανοξειδωτου χάλυβα και ειδικά στον χάλυβα ωστενιτικού τύπου. Επειδή το προστατευτικό film του οξειδίου, που υπάρχει στην επιφάνεια του ανοξειδωτου χάλυβα εμποδίζει την εναζώτωση, αυτό το film θα πρέπει να απομακρυνθεί με τον καθαρισμό της επιφάνειας του με οξύ ή θα πρέπει να αναμιχτεί με δραστικό υδρογόνο ή άλλο κατάλληλο αναγωγικό παράγοντα προς της εναζωτώσεως. Ένας ωστενιτικός χάλυβας χρησιμοποιείται ευρέως στις βαλβίδες εξόδου των μηχανών των αεροπλάνων διότι οι κορμοί των βαλβίδων μπορούν να εναζωτωθούν.

4.3.2.3. Ενανθρακαζώτωση

Με την ενανθρακαζώτωση επιτυγχάνεται ταυτόχρονη ενανθράκωση και εναζώτωση επιφανειακών στρωμάτων των χαλύβων, με διαβίβαση αερίου μίγματος NH_3 και CO . Προκειμένου να διαλυθεί ο

άνθρακας στον ωστενίτη, η κατεργασία πραγματοποιείται στους 750-900°C και εν συνεχεία, ο χάλυβας αποψύχεται (βάφεται) σε ισχυρό ρεύμα αέρα.

4.3.2.4. Εμφύτευση ιόντων

Η τεχνική εμφύτευσης ιόντων αποτελεί, όπως και οι κλασικοί εμπλοτισμοί, μέθοδο εμπλουτισμού επιφανειακού στρώματος μετάλλου, σε κάποιο στοιχείο. Με την τεχνική αυτή, είναι δυνατή η εμφύτευση ιόντων οποιουδήποτε στοιχείου (N, Cr, Mo, Ti, B, C, κτλ.) σε οποιοδήποτε μεταλλικό ή κεραμικό υλικό. Το βάθος εμφύτευσης είναι της τάξης των μερικών μμ. Ιόντα του στοιχείου εμπλοτισμού διεισδύουν εντός του υλικού-στόχου και προσδίδουν την ενέργεια τους σε αυτό, μέσω συγκρούσεων με τα άτομα του υλικού. Τα εμφυτευόμενα ιόντα τροποποιούν τη δομή του υλικού, δημιουργώντας διαταραχές και νέες φάσεις, γεγονός που προκαλεί σημαντική σκλήρυνση της κατεργασμένης ζώνης και εμφάνιση θλιπτικών τάσεων, λόγω διαστολής.

Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου:

- Η τεχνική βρίσκει εφαρμογή για διαφόρους συνδυασμούς ιόντων-υλικού (στόχου). Η περιορισμένη διαλυτότητα και οι χαμηλές ταχύτητες διάχυσης, που επηρεάζουν στους κλασικούς εμπλοτισμούς, δε θέτουν εμπόδια στην τεχνική αυτή, αφού τα εμφυτευόμενα ιόντα επιταχύνονται ισχυρά, πριν εισαχθούν στο υλικό.
- Πρόκειται για κατεργασία χαμηλών θερμοκρασιών, κατά την οποία δεν επηρεάζονται οι ιδιότητες του κύριου όγκου του υλικού, ούτε και η τοπογραφία της επιφάνειάς του.
- Πρόκειται για «καθαρή» κατεργασία, που εκτελείται σε κενό.
- Η τεχνική έχει υψηλή παραγωγικότητα και αναπαραγωγιμότητα.

Τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

- Μικρή διεισδυτική ικανότητα των ιόντων, και άρα μικρό βάθος κατεργασίας.
- Σχετικά ακριβός εξοπλισμός και κόστος λειτουργίας.

4.4. Κλίβανοι θερμικών κατεργασιών

Για την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών που αναφέραμε, χρησιμοποιούνται κλίβανοι διαφόρων ειδών, ονομάζονται **κλίβανοι**

θερμικών κατεργασιών. Αυτοί οι κλίβανοι κατατάσσονται με βάση τα εξής κριτήρια :

1) Με βάση τον τρόπο χρήσεως

Με βάση τον τρόπο χρήσεως τους οι κλίβανοι θερμικών κατεργασιών διακρίνονται σε **κλιβάνους ανοπτήσεως, βαφής, επαναφοράς** και **ενανθράκωσης**. Υπάρχουν και **γενικής χρήσεως** κλίβανοι. Αυτοί οι κλίβανοι είναι κατάλληλοι για περισσότερες από μια θερμικές κατεργασίες. Έτσι ο κλίβανος τύπου παρτίδας, ο οποίος χρησιμοποιείται παρά πολύ στη πράξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανόπτηση, επαναφορά και ενανθράκωση, καθώς επίσης και για θέρμανση ταμαχιών, που είναι για βαφή ή εξομάλυνση.

2) Με βάση τον τρόπο λειτουργίας

Οι κλίβανοι θερμικών κατεργασιών σύμφωνα με αυτό το κριτήριο διακρίνονται σε :

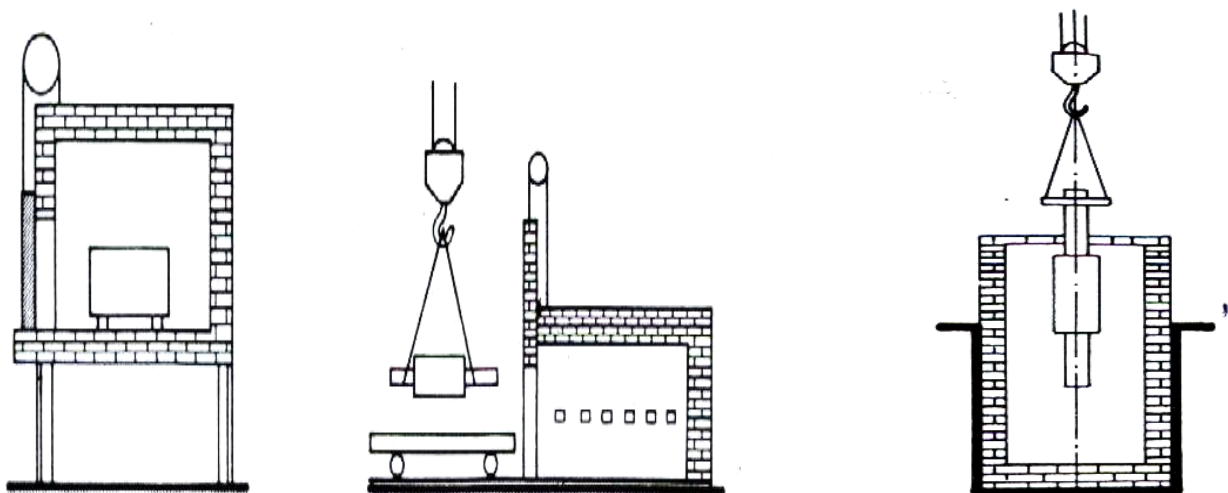
α) Κλιβάνους τύπου παρτίδας και

β) Κλιβάνους τύπου συνεχούς ροής (εργασίας).

Το πρώτο είδος κλιβάνου λειτουργεί ως εξής : Ο κλίβανος τροφοδοτείται με ορισμένο αριθμό ταμαχιών (παρτίδα), τα οποία θερμαίνονται σε ορισμένη θερμοκρασία, παραμένουν για ορισμένο χρόνο σ' αυτή τη θερμοκρασία και ύστερα υπόκεινται σε ορισμένη θερμική κατεργασία. Παραμένουν π.χ. στον κλίβανο για να αποψυχθούν μέχρι να φθάσουν στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή αποσύρονται από τον κλίβανο για να υποστούν βαφή ή εξομάλυνση και έπεται η θερμική κατεργασία της επόμενης παρτίδας. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι κάθε παρτίδα που εισάγεται στον κλίβανο συνήθως διαφέρει από την άλλη παρτίδα κατά το μέγεθος, το βάρος, το είδος του χάλυβα, αλλά και κατά το είδος της θερμικής κατεργασίας που απαιτείται.

Χαρακτηριστικό αυτών των κλιβάνων, στους οποίους εκτελείται ποικιλία θερμικών κατεργασιών, όπου υπάρχουν πολλοί κλίβανοι

αυτού του είδους, είναι οικονομικότερο να χρησιμοποιούνται ορισμένοι κλίβανοι για ανόπτηση, άλλοι για βαφή ή εξομάλυνση κ.λ.π.



Σχ.4.8.

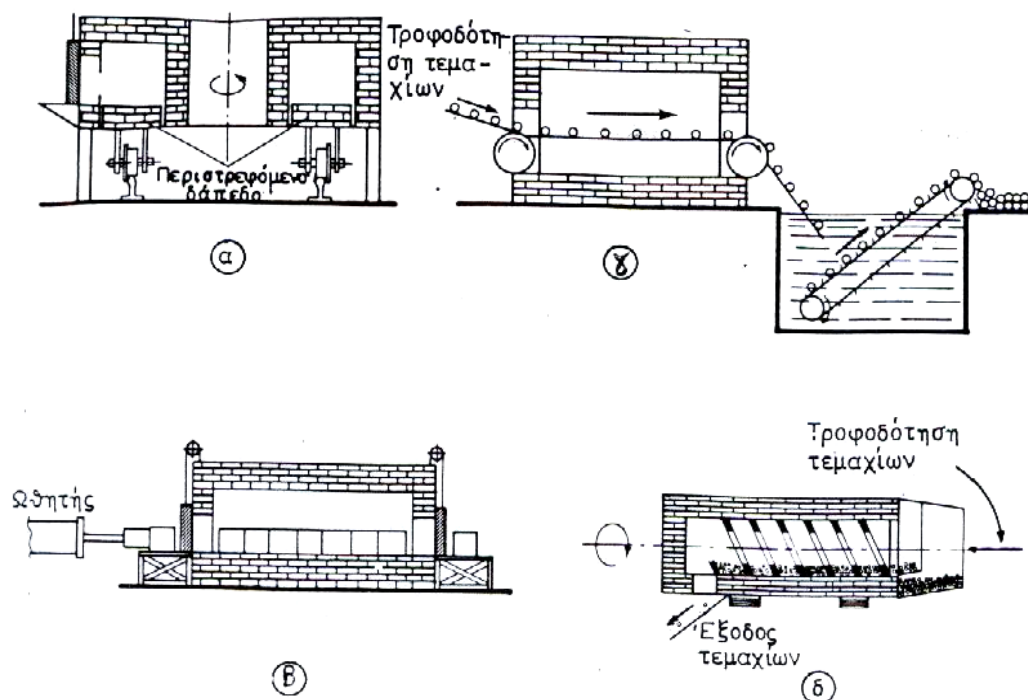
Σχηματική απεικόνιση κλιβάνων θερμικών κατεργασιών τύπου παρτίδας

Οι κλίβανοι **συνεχούς ροής** λειτουργούν πάντα κάτω από συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται δηλαδή πάντα για την θέρμανση τεμαχιών του ίδιου είδους, τα οποία υπόκεινται στην ίδια θερμική κατεργασία π.χ. ανόπτηση, βαφή, ή επαναφορά. Οι κλίβανοι αυτοί επομένως είναι αυστηρά εξειδικευμένοι. Είναι τυπικοί εργοστασίων μαζικής παραγωγής. Κατά τη λειτουργία τους τα τεμάχια εισάγονται από τη μια πλευρά και εξάγονται από την απέναντι μετακινούμενα μέσω του κλιβάνου με μηχανικά μέσα.

Οι κλίβανοι συνεχούς ροής περιλαμβάνουν :

- α) Τους κλιβάνους **περιστρεφόμενου δαπέδου** που στρέφονται αργά γύρω από κατακόρυφο άξονα.
- β) Τους κλιβάνους **ωθήσεως** όπου τα τεμάχια για θερμική κατεργασία ωθούνται, δια μέσου του θαλάμου του κλιβάνου με ειδικό υδραυλικό μηχανισμό.
- γ) Τους κλιβάνους **μεταφορικής ταινίας** στους οποίους η ταινία μετακινείται συνέχεια με πολύ χαμηλή ταχύτητα, κατασκευάζεται δε συνήθως χυτή από πυρίμαχο χάλυβα που αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες.

δ) Τους **περιστροφικούς** κλιβάνους που στρέφονται με μικρή ταχύτητα γύρω από οριζόντιο άξονα. Τα τεμάχια διέρχονται από το θάλαμο του κλιβάνου με τη βοήθεια κοχλιωτής μεταφορικής ταινίας.



Σχ.4.9.

Κλιβανοί θερμικών κατεργασιών συνεχούς ροής : α) Κλιβανοί περιστρεφόμενου δαπέδου. β) Κλιβανός ωθήσεως. γ) Κλιβανός μεταφορικής ταινίας. δ) Περιστροφικός κλιβανός.

3) Με βάση την πηγή της παρερχομένης θερμότητας

Οι κλιβανοί θερμικών κατεργασιών διακρίνονται, ως εξής, ως προς το είδος της πηγής της παρερχομένης θερμότητας :

α) Σε κλιβάνους **στερεού, υγρού ή αέριου καυσίμου**. Στα σύγχρονα τμήματα θερμικών κατεργασιών οι κλιβανοί στερεού καυσίμου έχουν σχεδόν εγκαταλειφθεί. Μειονεκτούν στο ότι η σχεδίαση και η κατασκευή τους είναι πολύπλοκη, ο έλεγχος της θερμοκρασίας τους είναι πολύ δύσκολος και δεν προσφέρονται για αυτοματισμό. Οι κλιβανοί αέριου καυσίμου η θερμότητα μεταδίδε-

ται από τα θερμά αέρια με ακτινοβολία και κατευθείαν με αγωγή προς τα θερμαινόμενα τεμάχια.

β) **Σε ηλεκτρικούς κλιβάνους** που είναι πολύ απλή η σχεδίαση του, γιατί δεν έχουν θάλαμο καύσεως, καπναγωγούς ούτε καπνοδόχο η θερμοκρασία μετράτε εύκολα και με ακρίβεια. Ο έλεγχος της γίνεται εύκολα και με ακρίβεια με την εφαρμογή συστημάτων αυτοματισμού. Στους ηλεκτρικούς κλιβάνους με μεταλλικά θερμαντικά στοιχεία, η μετάδοση της θερμότητας στα τεμάχια γίνεται με ακτινοβολία. Επομένως οι ηλεκτρικοί κλιβάνοι θερμαίνονται κάπως αργότερα σε σχέση με τους κλιβάνους καυσίμου. Επίσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες η θέρμανση των ταμαχιών είναι ανομοιόμορφη. Για να αποφύγουμε αυτά τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών κλιβάνων χρησιμοποιούμε ανεμιστήρες για την κυκλοφορία του θερμού αέρα στο θάλαμο του κλιβάνου.

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης των ηλεκτρικών κλιβάνων είναι πολύ ψηλός, γιατί δεν έχουμε απώλειες θερμότητας, όπως π.χ. με τα εξερχόμενα καυσαέρια στους κλιβάνους καυσίμου. Είναι χαρακτηριστικό το παράδειγμα, ότι ο θερμικός βαθμός απόδοσης ηλεκτρικού κλιβάνου τύπου παρτίδας για βαφή και εξομάλυνση κυμαίνεται από 65% μέχρι 75%, ενώ ο θερμικός βαθμός απόδοσης αντιστοιχίου κλιβάνου καυσίμου κυμαίνεται από 15% μέχρι 20% μόνο. Επίσης ο θερμικός βαθμός απόδοσης κλιβάνων συνεχούς ροής κυμαίνεται από 70% μέχρι 80% για ηλεκτρικούς κλιβάνους, ενώ για κλιβάνους καυσίμου από 15% μέχρι 25%.

4) Με βάση το είδος του μέσου εκτελέσεως θερμικής κατεργασίας

Κατά τη διάρκεια της θερμικής κατεργασίας είναι δυνατόν ανάλογα με την περίπτωση να χρειάζεται ορισμένο μέσο για να γίνει αυτή. Τα μέσα αυτά είναι :

A) Ατμοσφαιρικός αέρας

B) Προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου

Γ) Ειδική ατμόσφαιρα αερίου (όπως π.χ. κατά την ενανθράκωση με αέρια μέσα ή την εναζωτωση)

Δ) Λουτρά τηγμένων αλάτων

E) Λουτρά ορυκτελαίων (λουτρά επαναφοράς) και

Στ) Σκόνη, όπως κατά την ενανθράκωση με στερεά μέσα.

Για θέρμανση των τεμαχιών μέσα σε προστατευτική ατμόσφαιρα ή για ενανθράκωση, εναζώτωση ή ενδοκυάνωση χρησιμοποιείται κλίβανος χωνευτηρίου, τύπου κώδωνα. Το σοβαρό μειονέκτημα αυτών των κλιβάνων είναι η μικρή διάρκεια ζώνης του χωνευτηρίου.

Λουτρά τηγμένων αλάτων

Έχουμε αναφέρει, ότι για τη θέρμανση των τεμαχιών για να γίνει επαναφορά, βαφή ή ενανθράκωση με υγρά μέσα ενανθράκωσης, χρησιμοποιούνται λουτρά τηγμένων αλάτων.

Αυτά τα λουτρά έχουν τα εξής πλεονεκτήματα :

- Προστατεύουν το μέταλλο από την οξειδωση
- Ελλατώνει κατά πολύ την παραμόρφωση, διότι το αντικείμενο (μέταλλο) βυθίζεται στο λουτρό και παραμένει θερμαινόμενο τόση ώρα χρειάζεται αιωρούμενο με γάντζους ή με διοσυσκευές έτσι ώστε να αποφεύγονται οι λιγισμοί και τα χτυπήματα.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος απανθράκωσης του υλικού. Επειδή τα άλατα που χρησιμοποιούνται είναι εμπλουτισμένα με μικρή ποσότητα άνθρακα, ώστε να διατηρείται η απαραίτητη ισορροπία.
- Έχουμε ομογένεια θέρμανσης διότι η θερμοκρασία του λουτρού είναι σχεδόν σε όλη του τη μάζα η ίδια με μικρές αποκλίσεις. Τα άλατα που χρησιμοποιούνται δίδονται από κατασκευαστές Οίκου εξωτερικού με αυστηρές προδιαγραφές τήρησης κανόνων ανάμιξης των αλάτων και υγιεινής προστασίας του προσωπικού.

Στον πίνακα(1) που ακολουθεί δίνονται τα άλατα και τα μίγματα αλάτων, καθώς και τα μέταλλα που συνήθως χρησιμοποιούνται σαν λουτρά. Παρέχονται επίσης και ορισμένα χρήσιμα στοιχεία για την πράξη. Για την επαναφορά εργαλείων μεταχειριζόμαστε και λουτρά λαδιού, που θεωρούνται κατάλληλα μέχρι τη θερμοκρασία των 300°C. Αυτά τα λουτρά παρουσιάζουν ευκολία στη μέτρηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Δεν απαιτούν δοχεία από πυρίμαχο υλικό, αλλά από χυτοσίδηρο ή κοινό χάλυβα.

ΠΙΝΑΚΑΣ(1)

Λουτρά τηγμένων αλάτων και μετάλλων που χρησιμοποιούνται σε θερμικές κατεργασίες.

Σκοπός του λουτρού τηγμένων αλάτων	Άλατα ή μίγματα αλάτων		Θερμοκρασία [°C]	
	Όνομασία	Βάρος [%]	Σημείο τήξεως	Περιοχή λειτουργίας
Επαναφορά ελατηρίων και μικρών τεμαχίων	Νιτρικό νάτριο	55	218	230-550
	Νιτρικό κάλιο	45		
	Νιτρικό νάτριο	45	317	325-600
	Νιτρικό κάλιο	55	337	350-600
Θέρμανση ανθρακούχων χαλύβων και πτωχών χα- λυβοκραματων για βαφή	Χλωριούχο νάτριο	35	620	650-900
	Ασβεστοποιημένο νά- τριο	65		
	Χλωριούχο νάτριο	22	654	675-900
	Χλωριούχο βάριο	78		
Θέρμανση πλούσιων χα- λυβοκραματων για βαφή	Χλωριούχο νάτριο	100	810	850-1100
Θέρμανση ταχυχαλύβων για βαφή	Χλωριούχο βάριο	100	960	1100-1350
Αλκαλικά λουτρά για επαναφορά	Καυστική σόδα	100	332	350-700
	Καυστική ποτάσσα	100	360	400-650
	Καυστική σόδα	37	159	180-350
Καυστική ποτάσσα	63			
Λουτρά μολύβδου- κασσίτερου για επανα- φορά	Μόλυβδος	45	200	220-500
	Κασσίτερος	55		
	Μόλυβδος	70	250	225-500
Κασσίτερος	30			
	Μόλυβδος	88	300	325-550
	Κασσίτερος	12		

4.5. Γενικά περί των χαλυβοκραματων

Οι ανθρακούχοι χάλυβες, με τους οποίους ασχοληθήκαμε, παρουσιάζουν σοβαρά μειονεκτήματα σε σχέση με τις απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνικής. Τα σπουδαιότερα από τα μειονεκτήματα αυτά είναι τα εξής :

α) Η μέγιστη αντοχή αυτών των χαλύβων σε συνδυασμό και με ικανοποιητική δυσθραυστότητα και πλαστικότητα θεωρείται χαμηλή.

β) Κατά τη βαφή τους παρατηρείται έντονο το φαινόμενο **μάζας**. Δηλαδή, τεμάχια με μεγάλη διατομή δεν μπορούν να βαφούν ομοιόμορφα σε όλη την έκταση της διατομής τους, έστω και στο δραστικότερο λουτρό βαφής. Επίσης από τη μεγάλη ταχύτητα αποψύξεως που απαιτείται για βαφή των ανθρακούχων χαλύβων, δημιουργούνται στα τεμάχια στρεβλώσεις, ρωγμές ή και τα δυο.

γ) Παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή στην οξείδωση και στη διάβρωση, ακόμη και στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η αντοχή τους αυτή μικραίνει με αύξηση της θερμοκρασίας.

δ) Μετά την επαναφορά, η σκληρότητα τους πέφτει απότομα με αύξηση της θερμοκρασίας επαναφοράς. Αυτό αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα των εργαλείων κοπής, όπου είναι απαραίτητη η σκληρότητα και σε υψηλές θερμοκρασίες.

ε) Με τους ανθρακούχους χάλυβες δεν μπορούμε να πετύχουμε ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες που είναι αναγκαίες σε εφαρμογές στον ηλεκτρισμό, μαγνητισμό ή αλλού, όπως π.χ. πολύ μικρό, σχεδόν μηδενικό, συντελεστή διαστολής.

Τα **χαλυβοκράματα** ή **ειδικοί χάλυβες** έχουν αναπτυχθεί ακριβώς για να καλύψουν τα σοβαρά μειονεκτήματα των ανθρακούχων χαλύβων.

Τα χαλυβοκράματα είναι κράματα σιδηρού και άνθρακα στα οποία προσθέτονται ένα ή περισσότερα ξένα στοιχεία, τα οποία ονομάζουμε **προσθήκες**. Σ' αυτές τις προσθήκες οφείλονται οι βελτιωμένες ή και εντελώς νέες ιδιότητες των χαλυβοκραμάτων, τις

οποίες δεν έχουν οι ανθρακούχοι χάλυβες. Έτσι μικρές ποσότητες π.χ. νικελίου Ni και χρωμίου Cr, βελτιώνουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες ανθρακούχου χάλυβα, ενώ μεγαλύτερες ποσότητες αυτών των στοιχείων μας δίνουν ανοξειδωτο χάλυβα.

Οι πιο συνηθισμένες προσθήκες είναι :

α) Το μαγγάνιο(Mn), το νικέλιο(Ni), το χρώμιο(Cr) και το πυρίτιο(Si), τα οποία ονομάζουμε **κύριες προσθήκες**.

β) Το μολυβδαίνιο(Mo), το βολφράμιο(W), το βανάδιο(V), το κοβάλτιο(Co) και το αργίλιο(Al), τα οποία καλούμε **δευτερεύουσες προσθήκες**.

4.6. Θερμικές κατεργασίες χαλυβοκραμάτων

Όλα, όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα περί θερμικών κατεργασιών αφορούν τους ανθρακούχους χάλυβες. Κατά τις θερμικές κατεργασίες όμως των χαλυβοκραμάτων παρατηρούνται ορισμένες διαφορές με τις οποίες θα αναφέρουμε παρακάτω.

1) Βαφή χαλυβοκραμάτων

Για την βαφή χαλυβοκραμάτων παρατηρούμε τα εξής :

α) Οι προσθήκες (δηλ. τα ξένα στοιχεία, που προσθέτουμε στον ανθρακούχο χάλυβα, για να σχηματιστεί το χαλυβοκράμα) του χαλυβοκράματος ελαττώνουν την κρίσιμη ταχύτητα βαφής. Μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζουν τα χαλυβοκράματα με προσθήκες που σχηματίζουν καρβίδια. Επομένως η κρίσιμη ταχύτητα βαφής ελαττώνεται προχωρώντας στις προσθήκες από το Cu, Ni, Si (στοιχεία που δεν σχηματίζουν καρβίδια) προς το Cr, Mo, W, Mn, Ti, V (στοιχεία που σχηματίζουν καρβίδια).

β) Οι προσθήκες επιδρούν πολύ στην θερμοκρασία έναρξης και τέλος μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσίτη κατά τη βαφή. Οι θερμοκρασίες αυτές εξαρτώνται και από την περιεκτικότητα σε άνθρακα όπως έχουμε αναφέρει.

Σε ορισμένα χαλυβοκράματα, η θερμοκρασία έναρξης συμβαίνει να είναι κατώτερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Εδώ το χαλυβοκράμα και μετά τη βαφή θα έχει κρυσταλλική δομή ωστενίτη. Αυτά τα χαλυβοκράματα ονομάζονται **ωστενιτικά**.

γ) Ορισμένα χαλυβοκράματα, μέσα από απόψυξη στον ήρεμο αέρα, μπορεί να αποκτήσουν κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη με ανάλογο ποσοστό υπολειπόμενου ωστενίτη, δηλαδή να βαφούν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι προσθήκες κατέβασαν την κρίσιμη ταχύτητα βαφής κάτω από την ταχύτητα αποψύξεως στον ελεύθερο ήρεμο αέρα. Τα χαλυβοκράματα αυτά ονομάζονται **αυτόβαφα** ή **μαρτενσιτικά**.

δ) Η σκληρότητα που πετυχαίνετε μετά από βαφή, εξαρτάται λίγο και από τις προσθήκες, αποφασιστικός όμως παράγοντας είναι η περιεκτικότητα του χαλυβοκράματος σε άνθρακα. Όσο η περιεκτικότητα αυτή είναι μεγαλύτερη τόσο το χαλυβοκράμα αποκτάει μεγαλύτερη σκληρότητα μετά τη βαφή.

ε) Οι προσθήκες στο χάλυβα έχουν επίδραση και στο μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη και επομένως του μαρτενσίτη μετά τη βαφή, του περλίτη-φερρίτη μετά την ανόπτηση κ.λ.π. Οι προσθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη λεπτόκοκκου κρυσταλλικού ιστού είναι εκείνες που σχηματίζουν καρβίδια δηλαδή το Cr, Mo, M, V, Mn, Ti.

2) Επαναφορά χαλυβοκραμάτων

Γνωρίζουμε, ότι κατά την επαναφορά των ανθρακούχων χαλύβων η δυσθραυστότητα αυξάνεται συνεχώς, αν αυξάνεται και η θερμοκρασία όπτησης μέχρι περίπου τους 600°C και κατόπιν αρχίζει να ελαττώνεται. Σε ορισμένα χαλυβοκράματα δεν συμβαίνει αυτό, αλλά παρατηρείται σοβαρή πτώση δυσθραυστότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες επαναφοράς, όπως από 200°C μέχρι 400°C για φτωχό χαλυβοκράμα.

Πρακτική συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι ότι, αν χρειάζεται το χαλυβοκράμα να έχει κυρίως μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε φθορά, τότε η επαναφορά του γίνεται σε θερμοκρασία κάτω από

200°C. Αν χρειάζεται να έχει καλή δυσθραυστότητα, τότε η επαναφορά του γίνεται σε θερμοκρασία πάνω από 400°C ανάλογα.

Σε ορισμένα χαλυβοκράματα, κυρίως μαγγανίου και χρωμίου ή νικελίου και χρωμίου, παρατηρείται το φαινόμενο που ονομάζουμε **ανωμαλία ευθραυστότητας από επαναφορά**. Δηλαδή το κράμα μετά από βαφή και επαναφορά στην περιοχή θερμοκρασίας από 450°C μέχρι 600°C περίπου και μετά από βραδεία απόψυξη, είναι εύθραυστο στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Όμως η δυσθραυστότητα του χαλυβοκράματος διατηρείται, αν η απόψυξη μετά την ανόπτηση γίνει γρήγορα π.χ. μέσα σε νερό. Αν προσθέσουμε λίγο Mo (περίπου 0,10%) στο χαλυβοκράμα, αυτή η ανωμαλία περιορίζεται κατά πολύ.

Επίσης σε ορισμένα πλούσια χαλυβοκράματα, όπως είναι οι ταχυχάλυβες, οι οποίοι περιέχουν στοιχεία που σχηματίζουν καρβίδια, παρατηρείται ότι η σκληρότητα τους μετά την επαναφορά δεν ελαττώνεται. Αυτού του είδους οι χάλυβες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής, που πρέπει να διατηρούν τη σκληρότητα τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Γιατί όπως είναι γνωστό κατά την κοπή των μετάλλων, για να έχουμε καλή απόδοση χρειάζεται μεγάλη ταχύτητα κοπής, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμοκρασίας του εργαλείου.

4.7. Ατυχήματα θερμικών κατεργασιών

Κατά την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών παρουσιάζονται δυσάρεστα φαινόμενα που έχουν άμεσες επιπτώσεις στην ποιότητα και τις ιδιότητες του λαμβανομένου μετάλλου. Τα ατυχήματα αυτά μπορεί να προκαλούνται είτε κατά τη θέρμανση είτε κατά την απόψυξη. Τα συνηθέστερα ατυχήματα από τη θέρμανση είναι η οξειδωση, η υπερθέρμανση και η καύση.

Οξειδωση

Η οξειδωση ή αλλιώς ξηρή διάβρωση των μετάλλων είναι μια δράση των μετάλλων αυτών με τα αέρια που τα περιβάλλουν. Πρόκειται για μια δράση οξειδωσης, με ταυτόχρονο σχηματισμό στην επιφάνεια του μετάλλου, ενός προϊόντος, το οποίο προκαλεί απώλεια υλικού και υποβάθμιση ιδιοτήτων, σε σχέση με το αρχικό

υλικό. Ο τύπος αυτός της διάβρωσης εμπεριέχει κινδύνους για τη συνοχή μιας κατασκευής, κυρίως σε θερμοκρασίες σαφώς μεγαλύτερες της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το οξυγόνο του αέρα ενώνεται με άτομα του μετάλλου, προς σχηματισμό οξειδίων.

Η οξείδωση αποτρέπει με τους εξής τρόπους :

- Αν καλύψουμε το μέταλλο από τις φλόγες ή τις ακτινοβολίες των αντιστάσεων με αρκετά μέσα που διαθέτει το εμπόριο.
- Αποφεύγοντας οξειδωτική ατμόσφαιρα στην κάμινο
- Χρησιμοποιώντας καμίνους κλειστών χώρων που προφυλάσσουν τα τεμάχια από την επίδραση του αέρα.
- Η καλύτερη αποτελεσματική μέθοδος προφύλαξης από την οξείδωση είναι όταν χρησιμοποιούμε θερμό λουτρό άλατος για την θέρμανση.

Υπερθέρμανση

Η θερμοκρασία βαφής και ανόπτησης ορίζεται βάσει προδιαγραφής του υλικού. Η υπερθέρμανση παρουσιάζεται, όταν κατά τη θέρμανση υπερβούμε αυτή τη θερμοκρασία, τότε το μέταλλο αλλοιώνεται, οι κόκκοι του μετάλλου αυξάνουν σε μέγεθος και έτσι γίνεται εύθραυστο. Η υπερθέρμανση ελαττώνει τις μηχανικές του ιδιότητες. Η υπερθέρμανση εξαφανίζεται με την ανόπτηση.

Καύση

Εάν η θερμοκρασία διατηρηθεί σε υψηλά επίπεδα με παρατεταμένο χρόνο τότε το μέταλλο χάνει τελείως τις μηχανικές του ιδιότητες η δομή του καταστρέφεται και το μέταλλο σπάζει πολύ εύκολα, δεν έχει καμιά αντοχή. Όταν δε η καύση είναι έντονη τότε με γυμνό μάτι είναι εύκολο να δούμε το μέγεθος της καταστροφής του υλικού. Η καύση είναι ανεπανόρθωτο κακό, καθιστά εντελώς άχρηστο το υλικό και προξενεί μεγάλους κινδύνους για εξαρτήματα που πρέπει να έχουν κάποια αντοχή βάσει μελέτης.

Τα ατυχήματα που αναπτύσσονται κατά την απόψυξη (βαφή) είναι η ανομοιογένεια, η ανεπαρκής βαφή, οι ρωγμές και οι στρεβλώσεις και τέλος οι παραμορφώσεις.

Ανομοιογένεια

Αυτή συμβαίνει όταν η θερμοκρασία στο χώρο του κλιβάνου θερμαίνει το αντικείμενο ανομοιόμορφα ή και όταν η ψύξη δεν είναι ίδια σε όλα τα σημεία του μετάλλου. Την τάση προς ανομοιογένεια έχουν οι χάλυβες εργαλείων, οι χάλυβες χυτηρίου και αυτοί που έχουν διαμορφωθεί. Το φαινόμενο της ανομοιογένειας εμφανίζεται περισσότερο σε τεμάχια με ανομοιόμορφη διατομή, διότι έχουν διαφορετικό ρυθμό απόψυξης. Θεραπεία για να ελαττώσουμε κατά το δυνατό στο ελάχιστο την ανομοιογένεια υπάρχει όταν εφαρμόσουμε την κλασματική βαφή. Θέρμανση σε λουτρό άλατος και απόψυξη ομοίως σε λουτρό σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτού. Να μη λησμονούμε την ανόπτηση, η οποία πρέπει να γίνεται προ της βαφής, με σκοπό να εξαλείψουμε τις υπάρχουσες τάσεις εξαιτίας πολλών παραγόντων ώστε το υλικό να έχει τελείως ηρεμήσει για να δεχθεί την θερμική κατεργασία.

Ανεπαρκής βαφή

Το τεμάχιο σ' αυτή τη περίπτωση δεν αποκτάει τη σκληρότητα που πρέπει να αποκτήσει μετά από τη βαφή. Η ανεπαρκής βαφή ελέγχεται με μέτρηση της σκληρότητας του. Η ανεπαρκής βαφή οφείλεται κυρίως σε δυο αιτία :

- 1) Σε δραστηριότητα του λουτρού βαφής, μικρότερη από εκείνη που χρειάζεται, όπως π.χ. αν το λουτρό είναι ακάθατο.
- 2) Σε θέρμανση σε κατώτερη θερμοκρασία από την ορισμένη θερμοκρασία βαφής για κάθε χάλυβα. Στην περίπτωση αυτή μπορεί η βαφή να είναι εντελώς ανεπαρκής.

Γι' αυτό χρειάζεται σχολαστικός έλεγχος της θερμοκρασίας με κατάλληλο πυρόμετρο. Και σε περιπτώσεις ανεπαρκούς βαφής απαιτείται επανάληψη της βαφής, με κανονικό όμως τρόπο.

Ρωγμές και στρεβλώσεις

Είναι ρήγματα που σχηματίζονται κατά την απόψυξη, συνήθως είναι ορατές στην επιφάνεια αλλά πολλές φορές είναι εσωτερικές και δε φθάνουν μέχρι την επιφάνεια. Οφείλονται σε μηχανικές εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται στο τεμάχιο κατά τη βαφή ως εξής:

Σύμφωνα με ό τι έχουμε αναφέρει, ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη κατά τη βαφή έχει σαν επακόλουθο την εξόγκωση του τεμαχίου, η οποία δεν είναι ομοιόμορφη λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επιφανείας και του πυρήνα, ιδίως σε τεμάχια με μεγάλη διατομή. Επειδή ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται γρήγορα και σε χαμηλή θερμοκρασία, ο χάλυβας δεν στρεβλώνεται όσο χρειάζεται και επομένως αναπτύσσονται μεγάλες εσωτερικές μηχανικές τάσεις. Σ' αυτές τις εσωτερικές τάσεις προστίθενται και άλλες που μπορεί να υπήρχαν στο τεμάχιο πριν από τη βαφή, όπως π.χ. μετά από ψυξηλασία, συγκόλληση κ.λ.π. και που η θέρμανση στη θερμοκρασία της βαφής δεν είναι αρκετή να τις εξαλείψει (απαιτείται ανόπτηση του τεμαχίου πριν από τη βαφή). Αν οι εσωτερικές τάσεις είναι υπερβολικές, τότε προκαλούνται ρωγμές στο τεμάχιο. Αν είναι μικρότερες, τότε παρατηρούνται στρεβλώσεις που αλλάζουν τις διαστάσεις του τεμαχίου. Τεμάχια μεγάλου μήκους που έχουν στρεβλωθεί, μπορούν να ευθυγραμμισθούν εν ψυχρώ ή εν θερμώ σε ειδικά μηχανήματα.

Για να αποφεύγουμε υπερβολικές τάσεις παίρνουμε τα εξής μέτρα :

- Για κάθε χάλυβα χρησιμοποιούμε το κατάλληλο λουτρό βαφής και ποτέ δραστικότερο γιατί τότε παρατηρείται μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφανείας και του πυρήνα του τεμαχίου και επομένως δημιουργούνται μεγαλύτερες εσωτερικές τάσεις.
- Διαλέγουμε χαλυβογράμα με μικρή κρίσιμη ταχύτητα βαφής.
- Εφαρμόζουμε τη λεγόμενη κλασματική βαφή (απόψυξη σε λουτρό άλατος σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή).

Παραμορφώσεις

Οι παραμορφώσεις κατά τη βαφή είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Προέρχονται από τις προφυλάξεις που λαμβάνονται κατά τη βαφή. Είναι ιδιαίτερα επικύνδινες για μεγάλα τεμάχια με μικρή διάμετρο

και λεπτές επιφάνειες ή τεμάχια πολύπλοκου σχήματος. Η μόνη λύση για να ελαττώσουμε κατά το δυνατό αυτό το φαινόμενο είναι όπως είπαμε η απαραίτητη σε χρόνο ανόπτηση για να εξαλείψουμε τις υπάρχουσες εσωτερικές τάσεις και η σωστή τοποθέτηση του τεμαχίου με ιδιοσυσκευή εντός του λουτρού βαφής.

Συμπέρασμα :

Για την όσο το δυνατόν ελάττωση των ατυχημάτων εφαρμόζουμε μια σειρά από μεθόδους θερμικής κατεργασίας οι οποίες είναι οι εξής :

- 1) Ανόπτηση, για την εξάλειψη τυχόν εσωτερικών τάσεων του υλικού.
- 2) Προθέρμανση προ της βαφής.
- 3) Θέρμανση σε λουτρό άλατος και με θερμοκρασία βαφής σύμφωνα μ' αυτή που ορίζουν οι προδιαγραφές.
- 4) Σωστή τοποθέτηση εμβάπτισης στο λουτρό βαφής με ιδιοσυσκευή.
- 5) Απόψυξη σε λουτρό άλατος σε θερμοκρασία κατάλληλη και παραμονή του τεμαχίου σ' αυτή, ανάλογα με τις προδιαγραφές του προμηθευτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1.** «Μαθητική εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΙΑ». Αθήνα 1990
- 2.** «Μεθοδολογία Εκπόνησης Πτυχιακών Εργασιών». Νικολάου Β. Μαντά και Αναστασίου Σ. Ντάνου Σύγχρονη Εκδοτική. Αθήνα 1993
- 3.** «Εισαγωγή στην επιστήμη των υλικών» (σημειώσεις) Ν. Σ. Παπασαραντοπούλου Καθηγήτριας Τ.Ε.Ι. ΣΕΡΡΩΝ 2002
- 4.** «Τεχνολογία των υλικών» (σημειώσεις) Ν.Σ. Παπασαραντοπούλου Καθηγήτριας Τ.Ε.Ι. ΣΕΡΡΩΝ 2002
- 5.** «Θερμικές κατεργασίες μετάλλων» Ιωάννου Κ. Σουρέλη Εκδόσεις ΙΩΝ 1997
- 6.** «Τεχνολογία των κατεργασιών των υλικών : Μεταλλικά τεχνικά υλικά» Αθανασίου Γ. Μάμαλη Καθηγητού Ε.Μ. Πολυτεχνείου Αθήνα 1997
- 7.** «Επιστήμη και Τεχνολογία των μεταλλικών υλικών» Γιάννης Δ. Χρυσουλάκης Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. Δημήτρης Ι. Παντελής Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. Αθήνα 1996
- 8.** «Βασικές κατεργασίες μετάλλων» Γ.Ι. Παρίκου Μακεδονικές Εκδόσεις 1994
- 9.** «Μέταλλα και άλλα υλικά» Γιάννη Γ. Αντωνοπούλου Καθηγητής Α.Π.Θ. Εκδόσεις Επιστημονικών βιβλίων και περιοδικών Θεσ/νίκη 1991
- 10.** «Μεταλλουργία» Πέτρος Γ. Πετρόπουλος Καθηγητής Α.Π.Θ. Ίδρυμα Ευγενίδου Αθήνα 1954