

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Νιζάμης

ΘΕΜΑ

ΜΕΤΑΛΛΟΓΝΩΣΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ
ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΟΥ ΣΟΦΙΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΑΓΡΙΑΝΙΔΗΣ ΠΑΥΛΟΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Παράγραφος	Σελίδα
1.1 Ιδιότητες μετάλλων	1
1.2 Η κρυσταλλική δομή των μετάλλων	1
1.3 Σχηματισμός κρυσταλλικής δομής κατά την απόψυξη μετάλλου	3
1.4 Κράματα	4
1.4.1 Ομογενή και ετερογενή κράματα	5
1.4.2 Είδη κραμάτων	5
1.4.3 Βασικά εμπορικά κράματα	5
1.5 Διαγράμματα φάσεων κραμάτων	6
1.6 Θερμική κατεργασία	8
1.6.1 Βασικές διεργασίες θερμικής κατεργασίας	8
1.7 Θερμικός κύκλος	8
1.8 Συνηθέστερα μεταλλικά υλικά στα οποία εφαρμόζονται θερμικές διεργασίες	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° : ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΑ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ , ΧΑΛΥΒΕΣ , ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

2.1 Οι αλλοτροπικές μορφές του καθαρού σιδήρου	11
2.2 Σιδηρομεταλλεύματα	12
2.3 Χυτοσίδηρος	12
2.3.1 Παραγωγή χυτοσιδήρου	12
2.3.2 Ιδιότητες του χυτοσιδήρου	15
2.3.3 Φαίος χυτοσίδηρος	15
2.3.4 Όλκιμος χυτοσίδηρος η χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη	16
2.3.5 Λευκοί χυτοσίδηροι	16
2.3.6 Ελατοί η μαλακοί χυτοσίδηροι	17
2.3.7 Ειδικοί χυτοσίδηροι με προσθήκες μετάλλων	17
2.4 Χάλυβας	18
2.4.1 Ιστορία του χάλυβα	18
2.4.2 Η παραγωγή του χάλυβα	19
2.4.3 Ταξινόμηση τύπων χάλυβα	19
2.5 Το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου - άνθρακα και οι μικροδομές του	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΑ

3.1 Σημασία των θερμικών κατεργασιών του χάλυβα	26
3.2 Μέτρηση θερμοκρασιών και όργανα μέτρησης	26
3.3 Ταξινόμηση των θερμικών κατεργασιών	27
3.4 Πλήρης ανόπτηση χάλυβα	28
3.5 Εξομάλυνση του χάλυβα	36
3.6 Ανόπτηση σφαιροποίησης σεμεντίτη	37

3.7 Ανόπτηση για ανακρυστάλλωση	37
3.8 Αποτατική ανόπτηση	38
3.9 Βαφή	39
3.9.1 Ατυχήματα κατά τη διάρκεια της βαφής	41
3.9.2 Η κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή	42
3.9.3 Η κλιμακωτή μπαινιτική βαφή	42
3.10 Επαναφορά (αναθέρμανση)	43
3.10.1 Γενικές παρατηρήσεις και οδηγίες εκτελέσεως της επαναφοράς	47
3.11 Ενανθράκωση και ενδοκυάνωση	49
3.11.1 Στερεά ενανθρακωτικά μέσα	49
3.11.2 Υγρά ενανθρακωτικά μέσα (Ενδοκυάνωση)	51
3.11.3 Αέρια ενανθρακωτικό μέσα	52
3.11.4 Θερμικές κατεργασίες μετά την ενανθράκωση (διεργασία τροποποίησης του πυρήνα του τεμαχίου)	52
3.11.5 Πρακτικές οδηγίες εκτελέσεως της ενανθρακώσεως	54
3.12 Εναζώτωση	56
3.12.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναζωτώσεως	57
3.13 Φλογοβαφή	57
3.14 Βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή	59
3.15 Τα μειονεκτήματα των ανθρακούχων χαλύβων	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ

4.1 Γενικά για τα χαλυβοκράματα	62
4.2 Επίδραση των προσθηκών. Είδη χαλυβοκραμάτων	62
4.2.1 Το μαγγάνιο και οι μαγγανιούχοι χάλυβες	63
4.2.2 Το νικέλιο και οι νικελιούχοι χάλυβες	65
4.2.3 Το χρώμιο και οι χρωμιούχοι χάλυβες	66
4.2.3.1 Νανοκρυσταλλικές επικαλύψεις με θερμικό ψεκασμό	68
4.2.4 Οι νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες	69
4.2.4.1 Παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα	70
4.2.4.2 Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες	71
4.2.4.3 Φερριτικοί και μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες	72
4.2.4.4 Διφασικοί ανοξειδωτοι χάλυβες	72
4.2.5 Το βολφράμιο και οι βολφραμιούχοι χάλυβες	73
4.2.6 Μολυβδαίνιο και οι μολυβδαινιούχοι χάλυβες	73
4.2.7 Το βανάδιο και βαναδιούχοι χάλυβες	74
4.2.8 Το πυρίτιο και οι πυριτούχοι χάλυβες	75
4.2.9 Οι ταχυχάλυβες	76
4.2.10 Οδηγίες για τις θερμικές κατεργασίες των ταχυχάλυβων (χαλύβων εργαλείων)	77
4.2.11 Ανθρακούχοι υποευθηκτοειδείς χάλυβες κατασκευών	78
4.2.12 Οι ακαθαρσίες των χαλύβων	79

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

5.1 Ο χαλκός	81
5.1.1 Τα κράματα του χαλκού	82
5.1.2 Οι ορείχαλκοι	83
5.1.3 Τα κρατερώματα ή μπρούντζοι	83
5.1.4 Κράματα χαλκού - αργιλίου (ή χαλκοαργίλιο)	84
5.1.5 Κράματα χαλκού - νικελίου (χαλκονικέλιο)	84
5.1.6 Αντιτριβικά κράματα με βάση το χαλκό	85
5.2 Το αργίλιο (Αλουμίνιο)	85
5.2.1 Τα κράματα του αργιλίου και οι θερμικές τους κατεργασίες	88
5.2.1.1 Μαλακτά κράματα αργιλίου	89
5.2.1.2 Χυτευτικά κράματα αργιλίου	92
5.2.2 Ανόπτηση των κραμάτων του αλουμινίου	92
5.3 Μαγνήσιο και τα κράματά του	93
5.3.1 Το μαγνήσιο	93
5.3.2 Τα κράματα του μαγνησίου	93
5.4 Ο ψευδάργυρος και τα κράματά του	95
5.4.1 Ο ψευδάργυρος	95
5.4.2 Τα κράματα του ψευδαργύρου	95
5.5 Ο μόλυβδος και τα κράματά του	96
5.5.1 Ο μόλυβδος	96
5.5.2 Τα κράματα του μολύβδου	96
5.6 Το νικέλιο και τα κράματά του	97
5.6.1 Το νικέλιο	97
5.6.2 Τα κράματα του νικελίου	98
Βιβλιογραφία	101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα μέταλλα είναι στοιχεία , που λαμβάνονται από μεταλλεύματα μετά από μεταλλουργική επεξεργασία.

Γενικότερα μερικές χαρακτηριστικές ιδιότητες των περισσοτέρων στερεών μετάλλων είναι :

- 1) Στερεά κατάσταση στη συνηθισμένη θερμοκρασία.
- 2) Χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη.
- 3) Αργυρόφαιος χρωματισμός εκτός από το χαλκό (ερυθρός - κόκκινος) και το χρυσό (κίτρινος),
- 4) Αδιαφάνεια.
- 5) Σχετικά υψηλό ειδικό βάρος.
- 6) Υψηλό σημείο τήξεως.
- 7) Υψηλή ηλεκτρική θερμική αγωγιμότητα.
- 8) Μεγάλη μηχανική αντοχή.
- 9) Πλαστικότητα, η οποία επιτρέπει τη μηχανική τους μορφοποίηση εν θερμώ ή εν ψυχρώ. Το κάθε ένα δηλαδή από τα μέταλλα είναι σε διαφορετικό βαθμό *ελατό*. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν με σφυρηλασία ή σε έλαστρα να παίρνουν τη μορφή φύλλων ή ελασμάτων. Είναι επίσης, σε διαφορετικό πάλι βαθμό το καθένα, *όλκιμα*. Μπορούν δηλαδή σε συρματοποιητικές π.χ. μηχανές να τραβηχθούν (ελκυσθούν) και να πάρουν τη μορφή σύρματος.
- 10) Είναι σώματα κρυσταλλικά .
- 11) Παρουσιάζουν ευκολία στο να σχηματίζουν κράματα.

1.2 Η ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Η κρυσταλλική δομή των μετάλλων, έχει μεγάλη σημασία για τη μελέτη τους.

- 1) 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 οποίες δεν έχουν καμιά σχέση με τις θέσεις των γειτονικών τους ατόμων.

Στα *κρυσταλλικά* όμως σώματα τα άτομα (ή καλύτερα τα θετικά ιόντα για τα μέταλλα) διατάσσονται στο χώρο έτσι, ώστε να ακολουθούν ορισμένη κανονική γεωμετρική μορφή. Η διάταξη αυτή των ατόμων των κρυσταλλικών σωμάτων δεν είναι η ίδια, αλλά ποικίλλει 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 σε δύο απλά και με μεγάλη συμμετρία κρυσταλλικά πλέγματα (Βλ. σχ.1) που είναι τα εξής:

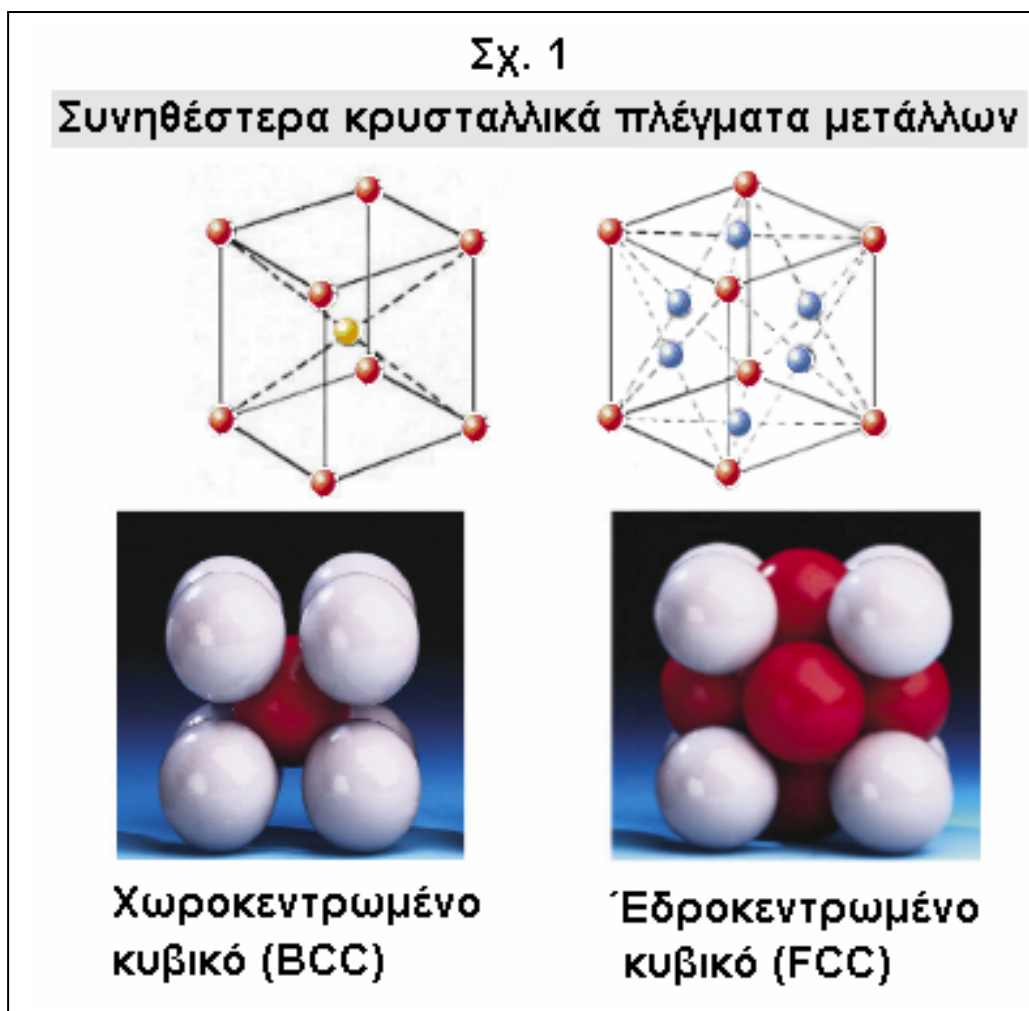
α) Το *χωροκεντρωμένο κυβικό* (BCC). Στο πλέγμα αυτό τα κέντρα βάρους των ατόμων (σφαιρών) καταλαμβάνουν τις κορυφές και το γεωμετρικό κέντρο του στοιχειώδους κύβου του πλέγματος.

Τέτοια κρυσταλλική δομή υπάρχει για παράδειγμα στον α – σίδηρο , δ – σίδηρο κ.α.

β) Το ενδοκεντρωμένο κυβικό (FCC). Στο πλέγμα αυτό τα κέντρα βάρους των ατόμων καταλαμβάνουν τις κορυφές και τα γεωμετρικά κέντρα των εδρών του στοιχειώδους κύβου του πλέγματος.

Τέτοια κρυσταλλική δομή υπάρχει για παράδειγμα στον γ – σίδηρο , στο αργίλιο , τον χαλκό κ.α.

Πολλά στοιχειώδη κύτταρα αποτελούν το πλέγμα.



Παρατήρηση :

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.

1.3 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΨΥΞΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥ

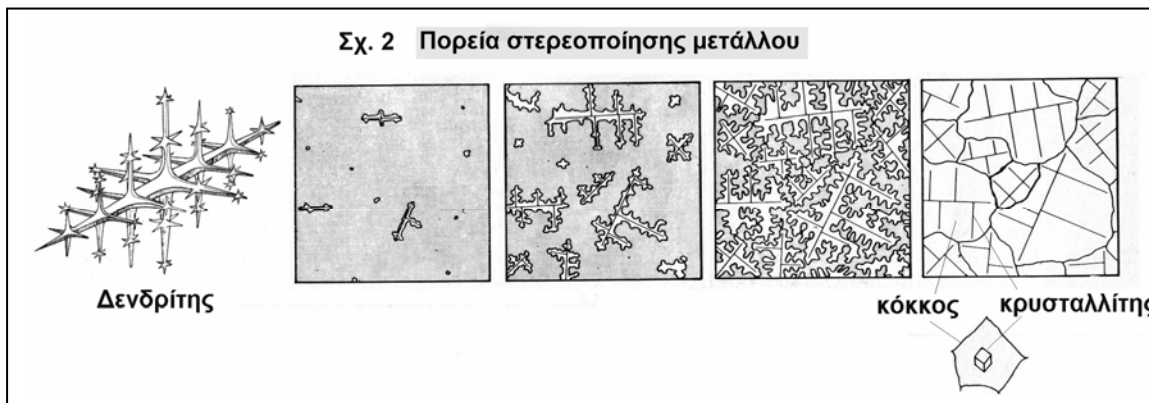
Όταν ένα καθαρό μέταλλο βρίσκεται στην υγρή του φάση (τήγμα) και αποψύχεται, τότε αρχίζει να στερεοποιείται και αρχίζει ο σχηματισμός της κρυσταλλικής του δομής.

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 δε μετά, αφού συνεχίζουμε την απόψυξη, 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 άλλα 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 (βλ. σχ. 2).

Οι κλάδοι των δενδριτών συνεχίζουν να αναπτύσσονται, ώσπου να καταληφθεί ο



χώρος μεταξύ τους από στερεοποιημένο μέταλλο.

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 θέσεις επαφής των κλάδων διαφορετικών δενδριτών εμποδίζεται η περαιτέρω ανάπτυξη. Ο τρόπος αυτός της δημιουργίας των κρυστάλλων κατά τη 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 (μονοκρύσταλλος), 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 ακαθαρσίες, όπως είναι το θειάφι, ο φωσφόρος και άλλες. Οι ακαθαρσίες αυτές καταλαμβάνουν τα όρια των κόκκων, γιατί έχουν την τάση να παραμένουν στο

μέταλλο, που στερεοποιείται τελευταίο. Η παρουσία των ακαθαρσιών επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του μετάλλου. Επειδή είναι διαφορετικός ο προσανατολισμός των ατόμων του μετάλλου σε κάθε κόκκο, είναι φανερό ότι τα άτομα του δεν διατάσσονται στα όρια των κόκκων σύμφωνα με το κανονικό πλέγμα του μετάλλου.

Συνεπώς οι κόκκοι θα πρέπει να έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες από εκείνες που έχουν τα όρια των κόκκων.

Έχει διαπιστωθεί ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες τα όρια των κόκκων έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τους κόκκους, ενώ συμβαίνει το αντίθετο σε υψηλές θερμοκρασίες. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε ότι ο *λεπτόκοκκος κρυσταλλικός ιστός έχει μεγαλύτερη αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες*, γιατί παρουσιάζει εκτεταμένα όρια κόκκων. Αντίθετα ο *χονδροκόκκος έχει μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλότερες θερμοκρασίες*. Τελικά, το μέγεθος των κόκκων έχει μεγάλη σημασία, όπως θα δούμε, κατά τη διάρκεια των μηχανικών και θερμικών κατεργασιών των μετάλλων και κραμάτων.

Στην πράξη η ταχύτητα αποψύξεως του τήγματος (δηλ. ο αριθμός των βαθμών πτώσεως της θερμοκρασίας στη μονάδα του χρόνου) είναι τόσο υψηλή, ώστε αυτό αποκτά συνήθως μέσα σε λίγο χρόνο θερμοκρασία κατώτερη από το σημείο τήξεως, προτού αρχίσει η στερεοποίηση (υπόψυξη του τήγματος). Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται πολλά φύτρα και μάλιστα τόσο περισσότερα, όσο η υπόψυξη είναι μεγαλύτερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτόκοκκου κρυσταλλικού ιστού, γιατί η ανάπτυξη κάθε δενδρίτη περιορίζεται από την ανάπτυξη των γειτονικών του δενδριτών και έτσι ελαττώνεται το μέγεθος των κόκκων .

1.4 ΚΡΑΜΑΤΑ

Κράμα θεωρείται το ομογενές μείγμα δύο ή περισσότερων χημικών στοιχείων , από τα οποία τουλάχιστον ένα (αυτό που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία) είναι μέταλλο.

Τα κράματα παρασκευάζονται με διάφορους τρόπους (τήξη των μετάλλων, ηλεκτρόλυση , αναγωγές κ.α)

Τα κράματα έχουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με το κύριο μέταλλο , όπως αντοχή σε εφελκυσμό , όριο ελαστικότητας , δυθραυστότητα , σκληρότητα αντοχή σε κόπωση , φθορά και διάβρωση.

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό κράμα , είναι το μείγμα σιδήρου – άνθρακα (χάλυβας , χυτοσίδηρος) , το οποίο είναι ανθεκτικότερο από το σίδηρο και μάλιστα μπορεί να γίνει πιο ανθεκτικό με κατάλληλη θερμική κατεργασία.

Άλλο παράδειγμα , στο οποίο φαίνεται η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του κράματος σε σχέση με το κύριο μέταλλο είναι το κρατέρωμα ή μπρούντζος (κράμα χαλκού με κασσίτερο) .

Τα άτομα του στοιχείου που είναι σε μικρότερη αναλογία , διεισδύουν στο κρυσταλλικό πλέγμα του μετάλλου και παίρνουν ακανόνιστες ή και κάποιες φορές κανονικές θέσεις στο συνολικό κρυσταλλικό πλέγμα.

1.4.1 Ομοιογενή και ετερογενή κράματα :

Μετά τη ψύξη του τήγματος των μετάλλων το παραγόμενο πλέον στερεό "κράμα" μπορεί να είναι «ομοιογενές» ή «ετερογενές».

Όταν το κράμα είναι «ομοιογενές» τούτο μπορεί να είναι:

Στερεό διάλυμα: Σ' αυτή τη περίπτωση σχηματίζονται μικτοί κρύσταλλοι με την παρεμβολή ατόμων του ενός μετάλλου στα διάκενα του κρυσταλλικού πλέγματος του άλλου μετάλλου, ή και με την υποκατάσταση ορισμένων ατόμων του ενός μετάλλου με άτομα του άλλου.

Διαμεταλλική ένωση: Σ' αυτή τη περίπτωση σχηματίζονται κρύσταλλοι χημικών ενώσεων που σχηματίζουν μεταξύ τους τα μέταλλα. Στις ενώσεις αυτές τα μέταλλα δεν ακολουθούν τους συνήθεις νόμους σθένους.

Στερεή διαμεταλλική ένωση: Είναι ο συνδυασμός των δύο προηγουμένων όταν διαπιστώνεται περίσσεια του ενός εκ των συνιστώντων στο κράμα μετάλλων.

Όταν όμως το κράμα είναι «ετερογενές» τότε παρουσιάζει χωριστές φάσεις που μπορεί να είναι:

α) Από καθαρά μέταλλα.

β) Από μία ή περισσότερες διαμεταλλικές ενώσεις

γ) Από διαλύματα μετάλλων ή ενώσεων αυτών εντός μετάλλων.

1.4.2 Είδη κραμάτων :

Εκτός από την παραπάνω διάκριση των κραμάτων σε «ομοιογενή» ή «ετερογενή», αυτά χαρακτηρίζονται επίσης και ανάλογα με τον αριθμό των μετάλλων που τα συνθέτουν σε «διμερή», «τριμερή» ή «πολυμερή».

Άλλη διάκριση είναι τα «ευτηκτικά» (που χαρακτηρίζονται εκείνα στα οποία η αναλογία των μετάλλων που τα συνθέτουν είναι τέτοια ώστε να παρουσιάζουν το χαμηλότερο δυνατό σημείο τήξης, από κάθε άλλη αναλογία) καθώς και τα «υπερελαφρά κράματα» (που είναι κράματα μαγνησίου με αργίλιο, ψευδάργυρο και άλλα μέταλλα). Ειδικότερα, τα κράματα του υδραργύρου ονομάζονται *αμαλγάματα*.

Ευτηκτικό κράμα , θεωρείται το κράμα κατάλληλης αναλογίας των συστατικών που έχει το χαμηλότερο χαρακτηριστικό σημείο τήξης , από τις γειτονικές αναλογίες των συστατικών .

Ευτηκτοειδές κράμα , θεωρείται το κράμα κατάλληλης αναλογίας των συστατικών που έχει το χαμηλότερο χαρακτηριστικό σημείο μετασχηματισμού της στερεής δομής , από τις γειτονικές αναλογίες των συστατικών .

1.4.3 Βασικά εμπορικά κράματα :

Τα κυριότερα βασικά εμπορικά κράματα (και τα μέταλλα με τα οποία παράγονται αυτά σήμερα) είναι τα:

1) *Άλνικο* : αλουμίνιο + νικέλιο + κοβάλτιο και σίδηρος.

2) *Ανοξειδωτος χάλυβας ή χρωμιούχος χάλυβας* : σίδηρος + χρώμιο + άνθρακας.

- 3) Αντιπριβικό κράμα μπάμπιτ : κασσίτερος + χαλκός +αντιμόνιο.
- 4) Βρετανικό μέταλλο πιούτερ : κασσίτερος + μόλυβδος.
- 5) Ίνβαρ : σίδηρος + νικέλιο.
- 6) Ιριδόσμιο ή Οσμιρίδιο : όσμιο + ιρίδιο.
- 7) Καλάι : κασσίτερος + μόλυβδος, διαφορετικό από το βρετανικό πιούτερ.
- 8) Κονσταντάνη : χαλκός + νικέλιο.
- 9) Κράμα στέρλιγκ : άργυρος + χαλκός.
- 10) Κράμα του Γουντ : βισμούθιο + μόλυβδος + κασσίτερος + κάδμιο.
- 11) Κρατέρωμα ή μπρούντζος : χαλκός + κασσίτερος.
- 12) Μαγνάλιο ή μαγνησιαργίλιο : αλουμίνιο + μαγνήσιο.
- 13) Μέταλλο πυροβόλων : χαλκός + κασσίτερος + ψευδάργυρος.
- 14) Μονέλ : νικέλιο + χαλκός.
- 15) Νεάργυρος : χαλκός + ψευδάργυρος + νικέλιο.
- 16) Νιχρόμ : νικέλιο + χρώμιο.
- 17) Ντουραλουμίνιο : αλουμίνιο + χαλκός + μαγνήσιο.
- 18) Ορείχαλκος : χαλκός + ψευδάργυρος, ίσως το αρχαιότερο κράμα μετά το κρατέρωμα.
- 19) Περμαλόι : νικέλιο + σίδηρος + λανθάνιο.
- 20) Πυροφόρο κράμα ή σιδηροδημήτριο : σίδηρος + δημήτριο.
- 21) Χαλκονικέλιο ή «κουπρονίκελ» : χαλκός + νικέλιο.
- 22) Χάλυβας και χυτοσίδηρος : σίδηρος + άνθρακας.
- 23) Ψευδόχαλκος ή «χρυσόχαλκος» : χαλκός + ψευδάργυρος +κασσίτερος.

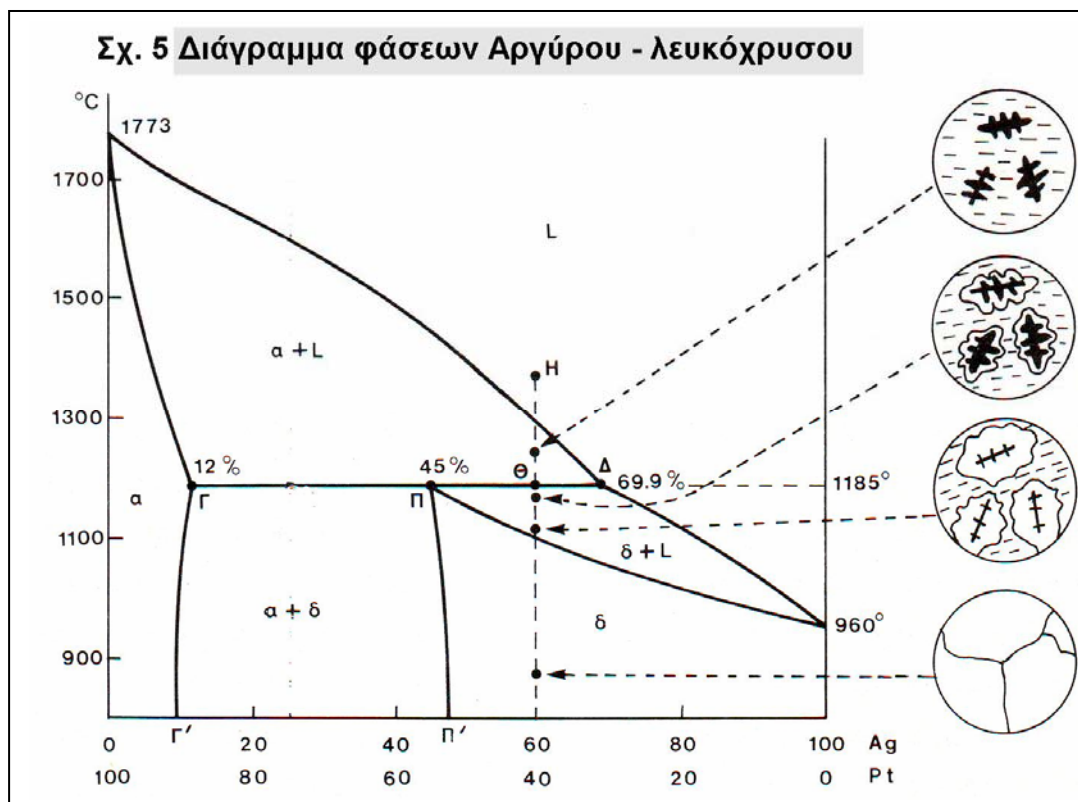
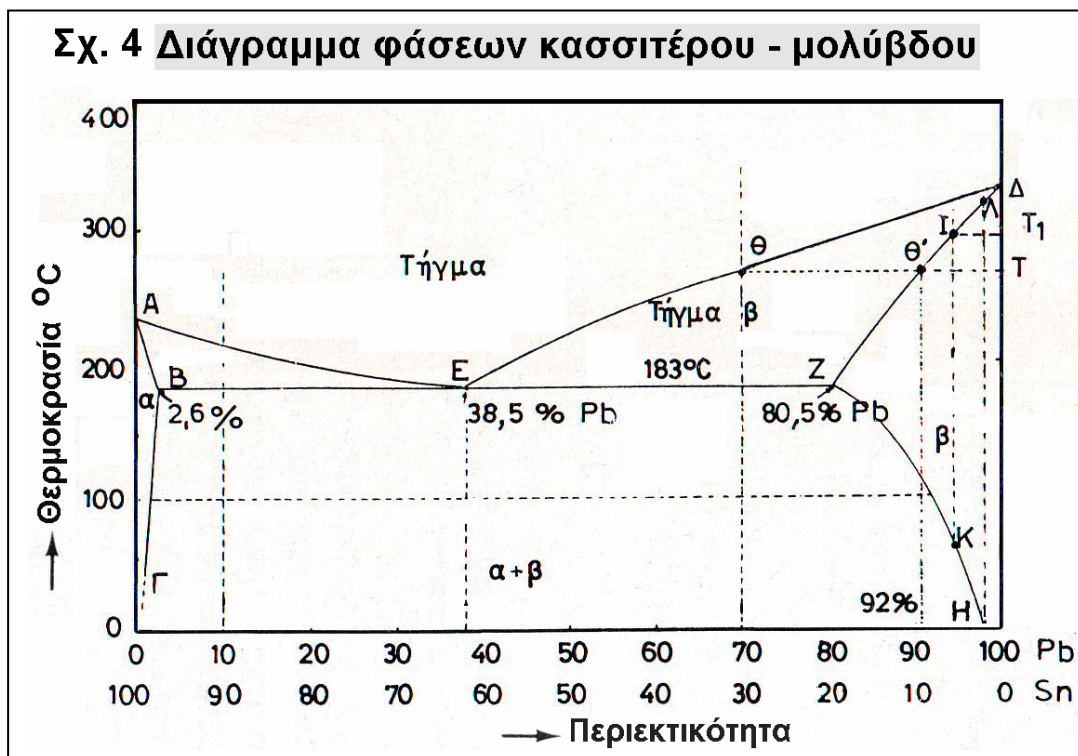
1.5 ΔΙΑΓΡΑΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ

Γενικά όταν θερμάνουμε ένα μεταλλικό υλικό (κράμα) σε υψηλή θερμοκρασία και στην συνέχεια αποψύξουμε αργά αυτό στην θερμοκρασία περιβάλλοντος , το υλικό περνάει για κάθε θερμοκρασία από ένα αριθμό φάσεων σε ισορροπία που περιγράφεται από το *διάγραμμα των φάσεων του υλικού* , (διάγραμμα θερμοκρασίας – περιεκτικότητας).

Σε αυτή την διεργασία η μικροσκοπική δομή των φάσεων του υλικού , η οποία επηρεάζει άμεσα τις μηχανικές ιδιότητες του, εξαρτάται κατά πολύ από την ταχύτητα απόψυξης .

Την μικροσκοπική δομή των κόκκων των φάσεων μπορούμε να την παρατηρήσουμε σε ένα οπτικό μεταλλογραφικό μικροσκόπιο , αφού πρώτα λειάνουμε το μεταλλικό υλικό και το επεξεργαστούμε με κατάλληλα αντιδραστήρια .

Στα σχήματα 4 και 5, που ακολουθούν δείχνονται τα διαγράμματα φάσεων , κασσιτέρου μολύβδου και σιδήρου – άνθρακα ,



1.6 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Θερμική κατεργασία είναι σύνολο διεργασιών που περιλαμβάνει το συνδυασμό θέρμανσης και απόψυξη μεταλλικού προϊόντος (μέταλλο ή κράμα του) σε στερεά κατάσταση και σε καθορισμένες θερμοκρασιακές και χρονικές συνθήκες. Κατά την θερμική αυτή κατεργασία έχουμε αλλαγή των φάσεων ή της μικρογραφικής κρυσταλλικής δομής του υλικού ή και των δύο, με σκοπό την εξασφάλιση συγκεκριμένων αναγκαίων και επιθυμητών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του προϊόντος.

Στις θερμικές κατεργασίες των μεταλλικών υλικών, επενεργούμε μόνο στο είδος της κρυσταλλικής δομής του υλικού και στο μέγεθος των κόκκων του, δηλαδή στους παράγοντες που καθορίζουν τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

1.6.1 Βασικές διεργασίες θερμικής κατεργασίας :

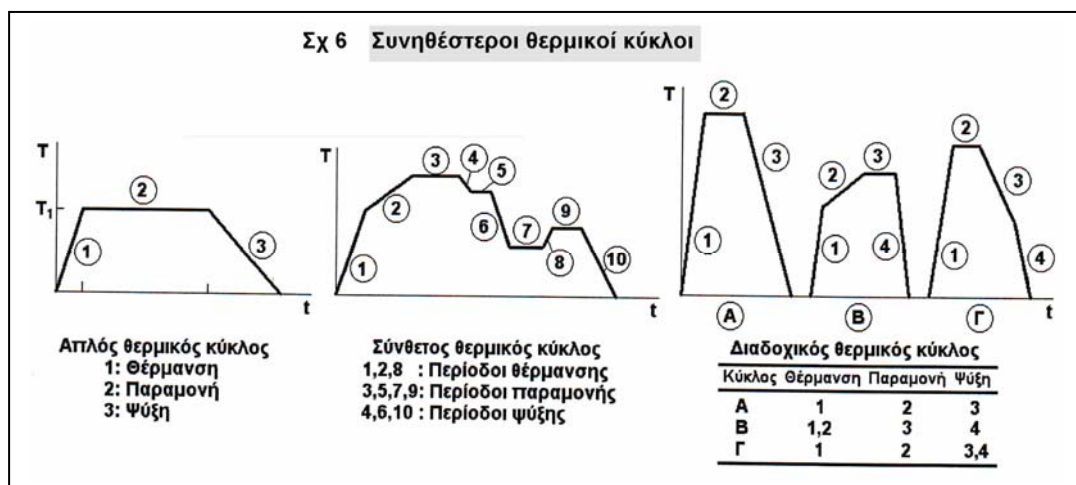
Σε μια θερμική κατεργασία συνήθως συναντάμε τις ακόλουθες διεργασίες:

- **Θέρμανση** σε μια υψηλή θερμοκρασία για χρονικό διάστημα αναγκαίο προς απόκτηση σταθερής δομής.
- **Ψύξη** μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή μέχρι μια ενδιάμεση θερμοκρασία με βύθιση σε κάποιο λουτρό βαφής.
- **Παραμονή** σε ενδιάμεση θερμοκρασία για σχετικά ικανό χρονικό διάστημα.

1.7 ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Θερμικός κύκλος μιας θερμικής κατεργασίας είναι το διάγραμμα θερμοκρασίας (T) - χρόνου (t) που αποτυπώνει/περιγράφει όλες τις χαρακτηριστικές διεργασίες αυτής.

Στο Σχ. 6, παρουσιάζονται χαρακτηριστικοί τύποι θερμικών κύκλων που εφαρμόζονται στην πράξη.



1.8 ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΕΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Αν και οι ανάγκες της ανθρωπότητας σε μεταλλικά προϊόντα καθημερινά αυξάνονται και γι' αυτό τον λόγο διεξάγονται έρευνες με θερμικές κατεργασίες σε πολλά στοιχεία μετάλλων , τα συνηθέστερα και μέχρι στιγμής τα σπουδαιότερα μεταλλικά υλικά στα οποία εφαρμόζονται οι θερμικές διεργασίες , αφορούν τις εξής περιπτώσεις :

1) *Σιδηρούχα μεταλλικά υλικά :*

- α) Χάλυβες
- β) Χυτοσίδηροι

2) *Μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά :*

- α) Αργίλιο και τα κράματά του
- β) Χαλκός και τα κράματά του
- γ) Μαγνήσιο και τα κράματά του
- δ) Νικέλιο και τα κράματά του
- ε) Ψευδάργυρος και τα κράματά του
- στ) Τιτάνιο και τα κράματά του

Ανάλογα με το είδος του μεταλλικού υλικού και τις ιδιότητες που θέλουμε να του προσδώσουμε , εμφανίζονται επί μέρους ειδικές τεχνικές στην θερμική του κατεργασία , όμως σε γενικές αρχές , οι τεχνικές των θερμικών κατεργασιών των σιδηρούχων υλικών αποτελούν την βάση στην οποία στηρίζονται και οι θερμικές κατεργασίες των υπολοίπων μεταλλικών υλικών .

Θα αναπτύξουμε τις βασικότερες θερμικές διεργασίες , χρησιμοποιώντας σαν πεδίο εφαρμογής τις θερμικές διεργασίες κατεργασίας των σιδηρούχων υλικών και συγκεκριμένα του χάλυβα και των χυτοσιδήρων . Στην συνέχεια θα αναπτύξουμε και τις θερμικές διεργασίες μη σιδηρούχων υλικών .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα κυριότερα μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά είναι :

- α) Ο χαλκός και τα κράματά του
- β) Το αργίλο και τα κράματά του
- γ) Το μαγνήσιο
- δ) Το νικέλιο
- ε) Το τιτάνιο
- στ) Ο κασσίτερος
- ζ) Ο μόλυβδος
- η) Ο ψευδάργυρος

5.1 Ο ΧΑΛΚΟΣ

Τα πλεονεκτήματα του χαλκού, εξαιτίας των οποίων έχει μεγάλη βιομηχανική χρήση, είναι τα εξής:

α) Η υψηλή του ηλεκτρική αγωγιμότητα, που τον καθιστά κατάλληλο υλικό για ηλεκτρικούς αγωγούς και άλλες κατασκευές της βιομηχανίας του ηλεκτρισμού. Ο χαλκός είναι, μετά τον άργυρο, το πιο αγωγίμο μέταλλο .

β) Η εύκολη διαμόρφωση του. Είναι πλαστικός και διαμορφώνεται εύκολα τόσο εν ψυχρώ όσο και εν θερμώ. Ιδιαίτερα διαμορφώνεται εύκολα με κοίλανση.

Ο χαλκός, μετά από ψυξηλασία υφίσταται ισχυρή σκλήρωση, η οποία εξαφανίζεται με ανόπτηση για ανακρυστάλλωση .

γ) Η καλή του αντοχή σε διάβρωση

δ) η καλή του σχετικά μηχανική αντοχή.

Ακόμη ο χαλκός είναι αμαγνητικός, έχει ευχάριστο χρωματισμό, συγκολλάται εύκολα και μπορεί να επιμεταλλωθεί (π.χ. να επινικελωθεί ή να επιχρωμιωθεί).

Ο τηγμένος χαλκός απορροφάει αέρια, που σχηματίζουν στη μάζα του φυσαλίδες κατά τη στερεοποίηση. Γι' αυτό ο καθαρός χαλκός είναι ακατάλληλος για χυτά τεμάχια.

Έχει ειδικό βάρος $8,90 \text{ g/cm}^3$, σημείο τήξεως 1083°C και ειδική αντίσταση $0,0175 \ \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ και χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη βιομηχανία του ηλεκτρισμού. Επίσης χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία (σωλήνες ατμού, αερίων, λαδιού κλπ.), γιατί αντέχει στη διάβρωση.

Τυπικές μηχανικές ιδιότητες του χαλκού είναι οι εξής:

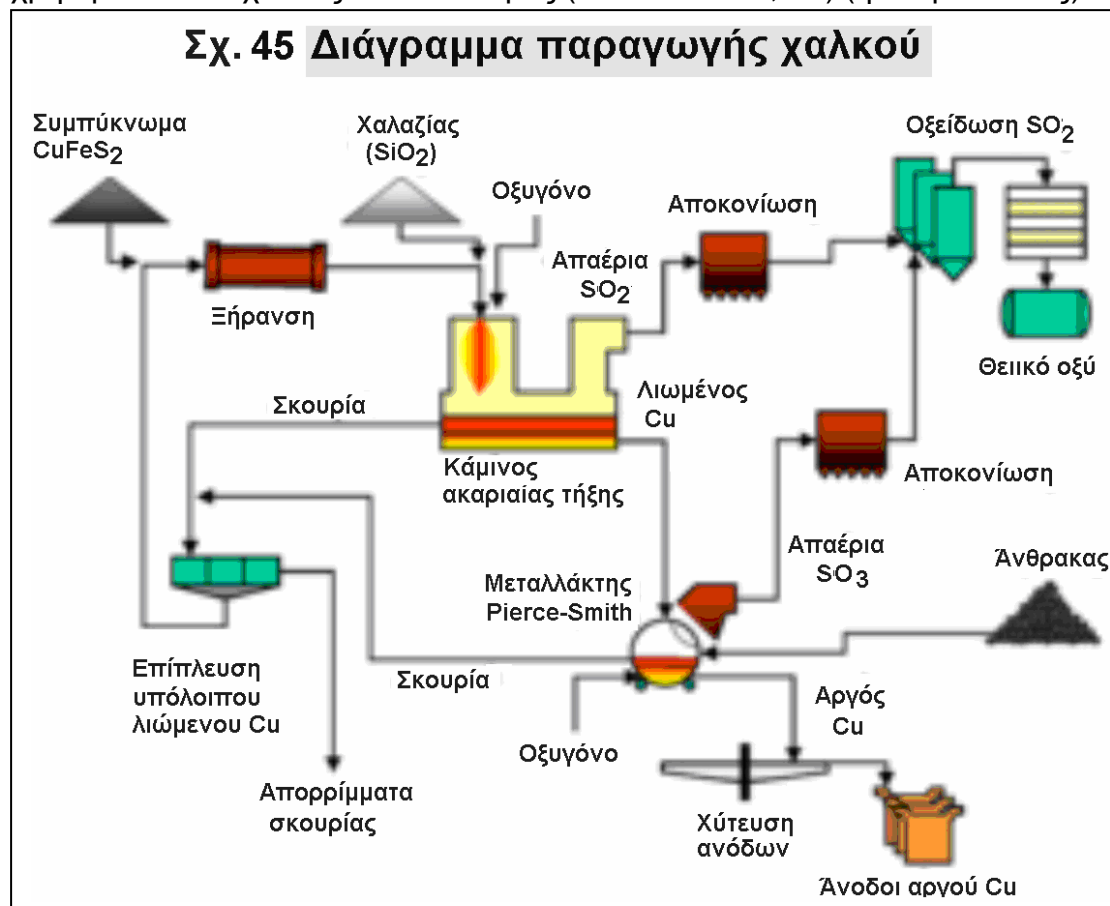
$\sigma_B = 220 \text{ N/mm}^2$, $A = 55\%$ και σκληρότητα 45 Brinell

Σχ.44 Χαλκός



Αν υπάρχουν έστω και ίχνη ακαθαρσιών, ελαττώνεται κατά πολύ η ηλεκτρική του αγωγιμότητα. Οι ακαθαρσίες με τα πιο δυσμενή αποτελέσματα είναι κατά σειρά ο φωσφόρος, το πυρίτιο, ο σίδηρος, το αρσενικό, το αργίλιο και το νικέλιο.

Περιεκτικότητα π.χ. μόνο 0,04% φωσφόρου ελαττώνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού κατά 25%. Γι' αυτό για ηλεκτρικούς αγωγούς χρησιμοποιείται χαλκός πολύ καθαρός (πάνω από 99,9%) (ηλεκτρολυτικός).



Στο εμπόριο υπάρχουν διάφορες ποιότητες χαλκού με βάση την καθαρότητα του.

Αν προσθέσουμε στο χαλκό 0,60% περίπου σελήνιο, βελτιώνεται η κατεργαστικότητα του, χωρίς να κατεβαίνει πολύ η ηλεκτρική του αγωγιμότητα. Επίσης, προσθήκη περίπου 0,30% αρσενικού βελτιώνει την αντοχή του στη διάβρωση.

5.1.1 Τα κράματα του χαλκού

Τα κράματα του χαλκού, που χρησιμοποιούνται ευρύτερα στη βιομηχανία, περιλαμβάνουν:

- α) Τους ορείχαλκους,
- β) Τα κρατερώματα και
- γ) Το χαλκοαργίλιο,
- δ) Το χαλκονικέλιο και άλλα.

Τα κράματα του χαλκού που υφίστανται κατεργασίες διαμορφώσεως τα ονομάζομε *μαλακτά* ενώ εκείνα που χυτεύονται τα ονομάζομε *χυτευτικά*.

5.1.2 Οι ορείχαλκοι

Οι ορείχαλκοι είναι κράματα χαλκού και ψευδαργύρου (μέχρι 68% Ζη). Γενικά διατηρούν τις καλές ιδιότητες του χαλκού και κοστίζουν φθηνότερα, γιατί ο ψευδάργυρος έχει χαμηλότερη εμπορική αξία. Οι ορείχαλκοι με περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο από 5% μέχρι 39% έχουν καλή πλαστικότητα εν ψυχρώ, με περιεκτικότητα από 46% μέχρι 51% έχουν καλή πλαστικότητα εν θερμώ, ενώ ορείχαλκοι με ψευδάργυρο από 51% μέχρι 68% είναι εύθραστοι.

Η ικανότητα των ορειχάλκων για πλαστική διαμόρφωση είναι μέγιστη με περιεκτικότητα 30% Ζη, ενώ η μηχανική τους αντοχή με 43% Ζη. Ο καλύτερος συνδυασμός πλαστικότητας και μηχανικής αντοχής επιτυγχάνεται με 40% Ζη περίπου.

Με μικρές ποσότητες προσθηκών μπορεί να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες των ορειχάλκων, καθώς και η αντοχή τους σε διάβρωση. Έτσι ο κασσίτερος (μέχρι 1 %) και το νικέλιο αυξάνουν την αντοχή των ορειχάλκων σε διάβρωση, ο σίδηρος εκλεπτύνει τους κόκκους των χυτών, το μαγγάνιο (μέχρι 2%) βελτιώνει τη μηχανική τους αντοχή και το αργίλιο μεγαλώνει τη μηχανική αντοχή και την αντοχή τους σε διάβρωση. Προσθήκη μολύβδου 2% ως 3% σε ορείχαλκο με 40% Ζη περίπου μας δίνει ορείχαλκο ελεύθερης κοπής με καλή κατεργαστικότητα. Σ' αυτή την περίπτωση, εξαιτίας της παρουσίας του μολύβδου, το απόβλιττο θρυμματίζεται και η κοπή είναι εύκολη και με μικρή φθορά του εργαλείου. Οι ορείχαλκοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν μαλακοί και σαν χυτευτικοί.

Σαν χυτευτικοί χρησιμοποιούνται εκείνοι, οι οποίοι περιέχουν 40% περίπου ψευδάργυρο, συνήθως με τις προσθήκες που αναφέραμε.

Στοιχεία σχετικά με τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τις βιομηχανικές χρήσεις των κυριοτέρων ορειχάλκων του εμπορίου δίνουμε στον Πίνακα 11.

5.1.3 Τα κρατερώματα ή μπρούντζοι.

Κρατερώματα ονομάζομε τα κράματα χαλκού που έχουν σαν κύρια πρόσμιξη τον κασσίτερο (Sn). Είναι αρχαιότατα κράματα (κεφ. 1) και χρησιμοποιούνται και σήμερα.

Τα κρατερώματα με περιεκτικότητα από 4% μέχρι 9% Sn χρησιμοποιούνται σαν μαλακτά και με περιεκτικότητα από 9% μέχρι 20% Sn σαν χυτευτικά.

Κρατερώματα με κασσίτερο πάνω από 20% παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα και γι' αυτό δύσκολα μπορούν να κατεργαστούν με κοπή.

Τα κρατερώματα έχουν καλή μηχανική αντοχή, αντοχή στη φθορά από τριβή, αντοχή στη διάβρωση από νερό και από την ατμόσφαιρα. Επίσης συγκολλώνται εύκολα.

Πολλά από τα κρατερώματα περιέχουν μικρές ποσότητες φωσφόρου, που απομένει, συνήθως μέχρι 0,05%, ο οποίος χρησιμοποιείται σαν αποξειδωτικό για την εύκολη και ικανοποιητική χύτευση του κράματος. Τα κρατερώματα αυτά δεν πρέπει να συγχέονται με τα λεγόμενα φωσφορούχα κρατερώματα ή φωσφορούχους μπρούντζους, όπου ο φωσφόρος, σε περιεκτικότητα από 0,10% μέχρι 1,00% αποτελεί προσθήκη. Ο φωσφόρος όχι μόνο μεγαλώνει τη

μηχανική αντοχή του κρατερώματος, αλλά και βελτιώνει την αντοχή του σε διάβρωση.

Τα κρατερώματα μπορεί να περιέχουν και ψευδάργυρο. Αν προστεθεί ψευδάργυρος περίπου μέχρι 2% σε κρατερώματα με 3% Sn, δίνει μαλακό κρατέρωμα που χρησιμοποιείται στην κατασκευή νομισμάτων.

Το χυτευτικό κρατέρωμα με περιεκτικότητα 10% Sn και 2% Zn είναι γνωστό σαν μέταλλο πυροβόλων, έχει δε μεγάλη αντοχή στη διάβρωση.

Όπως στους ορείχαλκους, έτσι και στα κρατερώματα, αν προστεθεί μόλυβδος μέχρι 2% περίπου, βελτιώνει την κατεργαστικότητά τους. Επίσης, αν προστεθεί μόλυβδος σε μεγαλύτερη όμως ποσότητα, καθιστά το κρατέρωμα κατάλληλο για έδρανα που εργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες, λόγω της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας που τους προσδίνει.

Τα χυτευτικά κρατερώματα χρησιμοποιούνται βασικά στην κατασκευή εδρών ολισθήσεως, συνήθως μεγάλων πιέσεων.

5.1.4 Κράματα χαλκού - αργιλίου (ή χαλκοαργίλιο)

Η παρουσία του αργιλίου σχηματίζει αόρατο επιφανειακό προστατευτικό στρώμα οξειδίων, και έτσι το χαλκοαργίλιο παρουσιάζει πολύ καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική οξείδωση σε ελαφρά υψηλές θερμοκρασίες, επίσης και στη διάβρωση από θαλάσσιο νερό. Δύσκολα χυτεύεται και συγκολλάται, ακριβώς εξαιτίας του εύκολου σχηματισμού οξειδίων. Χαλκοαργίλιο με περιεκτικότητα από 4% μέχρι 7% Al κατεργάζεται εν ψυχρώ. Έχει ωραίο χρυσοκίτρινο χρώμα και χρησιμοποιείται συνήθως σε διακοσμήσεις, απομιμήσεις κοσμημάτων, καθώς και σε αυλούς συμπυκνωτών. Μπορεί να περιέχει και μέχρι 5% νικέλιο, που βελτιώνει ακόμη περισσότερο την αντοχή του σε διάβρωση. Χαλκοαργίλιο με περιεκτικότητα 8% μέχρι 10% Al κατεργάζεται εν θερμώ. Μπορεί να υποστεί βαφή (από 900°C) και επαναφορά (σε 500°C), όπως και ο χάλυβας. Επίσης μπορεί να περιέχει μέχρι 5% σίδηρο και νικέλιο. Χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία, ιδιαίτερα για τεμάχια που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες και γενικά, όπου χρειάζονται σφυρήλατα τεμάχια με αντοχή στη διάβρωση.

Χαλκοαργίλιο με περιεκτικότητα 9,50% μέχρι 12% Al και με σίδηρο και νικέλιο μέχρι 5% χυτεύεται σε άμμο ή με πίεση. Χρησιμοποιείται πολύ στη ναυπηγική βιομηχανία για έλικες, αντλίες, άξονες αντλιών, βλήτρα και άλλα. Επίσης χρησιμοποιείται για έδρες βαλβίδων και σώματα αναφλεκτήρων μηχανών εσωτερικής καύσεως και για έδρανα που καταπονούνται με μεγάλα φορτία.

Ενδεικτικά αναφέρουμε τις μηχανικές ιδιότητες κατεργαζόμενου εν θερμώ χαλκοαργιλίου με $\pi(\text{Cu}) = 80\%$, $\pi(\text{Al}) = 10\%$, $\pi(\text{Fe}) = 5\%$ και $\pi(\text{Ni}) = 5\%$.

Το χαλκοαργίλιο μετά από σφυρηλασία αποκτάει:

$\sigma_B = 740 \text{ N/mm}^2$, $A = 20\%$ και σκληρότητα 215 Brinell

5.1.5 Κράματα χαλκού - νικελίου (χαλκονικέλιο)

Ο χαλκός και το νικέλιο σχηματίζουν σε όλες τις αναλογίες στερεό διάλυμα μιας φάσεως και γι' αυτό παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε διάβρωση. Έχουν επίσης καλή πλαστικότητα και μπορούν να διαμορφωθούν εν ψυχρώ και εν θερμώ με σφυρηλασία, έλαση, τύπωση και κοίλανση. Παρακάτω αναφέρουμε αντιπροσωπευτικά κράματα χαλκού - νικελίου:

α) $\pi(\text{Cu}) = 75\%$, $\pi(\text{Ni}) = 25\%$. Χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή νομισμάτων.

β) $\pi(\text{Cu}) = 70\%$, $\pi(\text{Ni}) = 30\%$. Χρησιμοποιείται για αυλούς συμπυκνωτών και ψυγείων και όπου χρειάζεται καλή αντοχή στη διάβρωση.

γ) $\pi(\text{Cu}) = 60\%$, $\pi(\text{Ni}) = 40\%$, το λεγόμενο *κονσταντάν*. Βρίσκει εφαρμογές σε ηλεκτρικές αντιστάσεις και θερμοηλεκτρικά ζεύγη

δ) $\pi(\text{Cu}) = 29\%$, $\pi(\text{Ni}) = 68\%$, $\pi(\text{Fe}) = 1,25\%$ και $\pi(\text{Mn}) = 1,25\%$, που συνδυάζει καλές μηχανικές ιδιότητες με εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση. Χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία.

5.1.6 Αντιτριβικά κράματα με βάση το χαλκό

Σαν αντιτριβικά επίσης κράματα χρησιμοποιούνται κρατερώματα με 10% μέχρι 15% μόλυβδο ή και κράματα χαλκού - μόλυβδου με 25% μέχρι 30% μόλυβδο. Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε φθορά από τριβή και υψηλή επίσης θερμική αγωγιμότητα. Έχουν εφαρμογή σε έδρανα βάσεως στροφαλοφόρων αξόνων μηχανών αυτοκινήτων και πετρελαιομηχανών.

Επίσης, κρατέρωμα με 2,50% Sn, 1,50% Fe και 1,20% Cr είναι κατάλληλο σε περιπτώσεις λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες με δυσμενείς συνθήκες φθοράς (π.χ. ως αντιτριβικό μέταλλο για οδηγούς βαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσεως, έδρανα οδοντωτού τροχού - ατέρμονα κοχλία καταπονούμενα με μεγάλες πιέσεις κ.ά.).

Εξαιτίας του χαμηλού τους κόστους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένες περιπτώσεις και οι ορείχαλκοι σαν αντιτριβικά μέταλλα ή και σαν χιτώνια, κυρίως τριβέων από κρατερώματα. Χρησιμοποιείται συνήθως ο ορείχαλκος με 60% Cu και 40% Zn με προσθήκη μέχρι 1% Al, Fe και Mg.

Τέλος, για μικρά έδρανα και δακτυλίδια, συνήθως τυποποιημένα, βρίσκουν εφαρμογή πορώδη κράματα χαλκού - κασσιτέρου, που παράγονται με μεθόδους της κωνιομεταλλουργίας.

Γενικά τα κράματα με βάση τον χαλκό έχουν ερυθρωπό χρώμα.

5.2 ΤΟ ΑΡΓΙΛΙΟ (ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ)

Το αργίλιο είναι το πιο διαδεδομένο στοιχείο του στερεού φλοιού της γης μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο.

Σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή του αργιλίου χρησιμοποιείται ο *βωξίτης* (ένυδρο οξείδιο του αργιλίου με προσμίξεις οξειδίου του σιδήρου). Αυτός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φυσική κατάσταση, επειδή περιέχει πολλές προσμίξεις, όπως Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , αλλά υποβάλλεται σε προεργασία καθάρ-σεως. Μετά από χημική καθάρση παραμένει το καθαρό οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), κοινώς αλουμίνα, το οποίο και υφίσταται παραπέρα επεξεργασία.

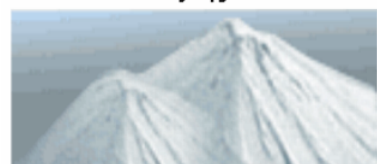
Σχ.46 Αργίλιο (Αλουμίνιο)



Σχ.47 Βωξίτης - Αλουμίνα



Βωξίτης



Αλουμίνα

Από την αλουμίνα το αργίλιο εξάγεται με ηλεκτρόλυση. Αυτή η μέθοδος είναι η μόνη που χρησιμοποιείται βιομηχανικά σήμερα για την παραγωγή του αργιλίου.

Η μεταλλουργία του βωξίτη ακολουθεί δυο φάσεις:

1^η Φάση :

Μετατροπή σε υδροξείδιο του αργιλίου (μέθοδος *Bayer*): Ο βωξίτης λειοτριβείται και εισάγεται σε δοχεία μαζί με πυκνό διάλυμα καυστικού νατρίου υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία περίπου 150° C. Τα ορυκτά του αργιλίου διαλυτοποιούνται, ενώ απομακρύνονται και απορρίπτονται τα υπό μορφή ερυθράς λάσπης υδροξείδια του σιδήρου. Το διάλυμα στη συνέχεια ψύχεται και το καθαρό υδροξείδιο του αργιλίου καταβυθίζεται. Το στερεό υπόλειμμα θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία μετατρέπόμενο έτσι σε οξείδιο του αργιλίου Al_2O_3 (αλουμίνα).

Σχ.48 Πρωτόχυτη αλουμίνα



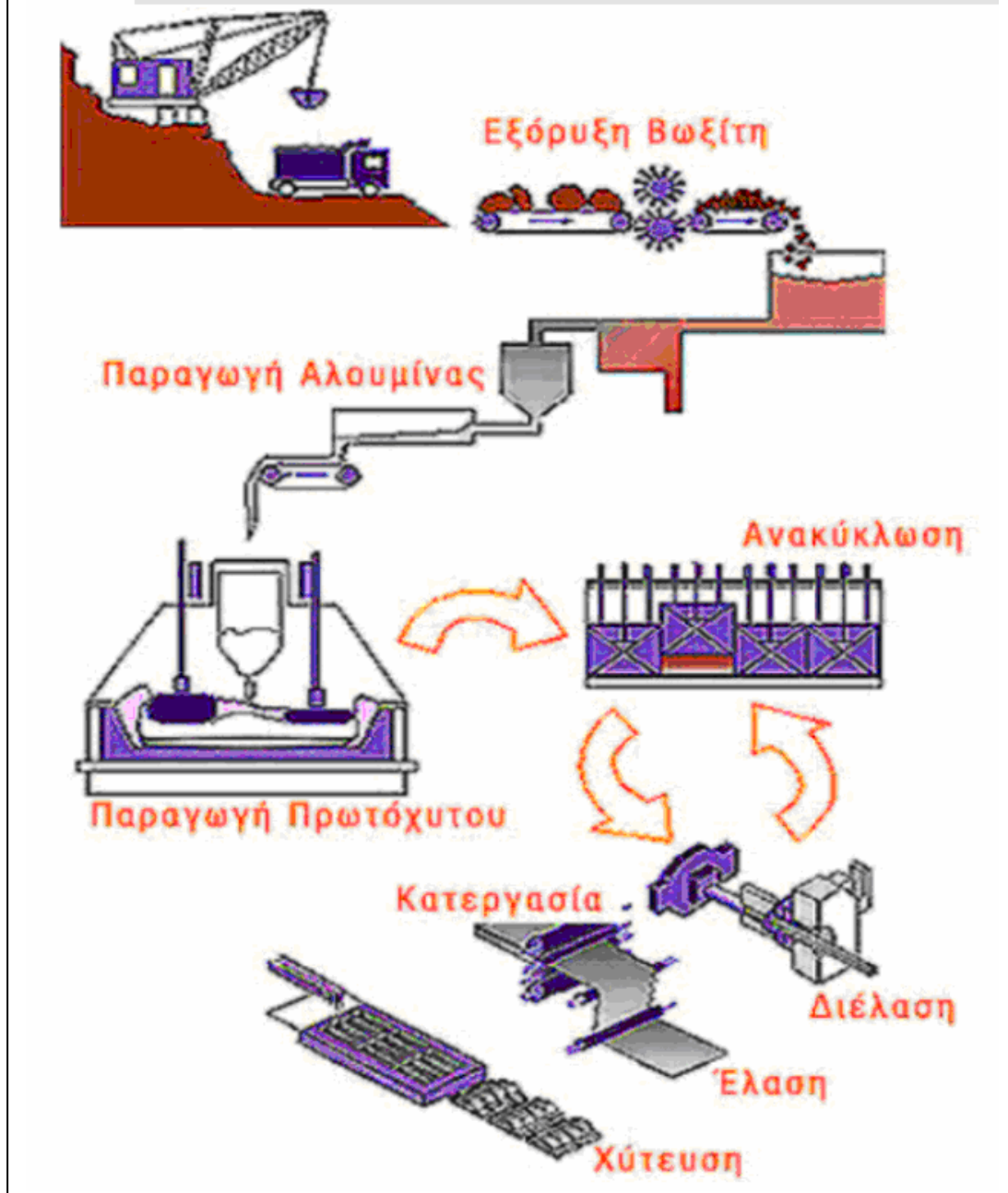
2^η Φάση :

Εξαγωγή αργιλίου (μέθοδος *Hall-Héroult*): Η αλουμίνα εισάγεται σε μεγάλες λεκάνες. Αυτές είναι ορύγματα στο έδαφος επενδεδυμένα με υψηλής ανθεκτικότητας σε διάβρωση και υψηλές θερμοκρασίες μεταλλικές πλάκες. Εκεί θερμαίνεται μέχρι τήξεως.

Για να γίνει η ηλεκτρόλυση, η αλουμίνα πρέπει να βρίσκεται σε κατάσταση τήξεως. Επειδή όμως το σημείο τήξεως του αλουμινίου είναι πολύ υψηλό (2050°C), προσθέτουμε 40% κρυολίθο [$Na_3 (AlF_6)$] και έτσι αυτό κατεβαίνει στους 900°C ως 1000°C. Το μίγμα τηγμένης αλουμίνας και κρυολίθου ηλεκτρολύεται μέσα σε κάμινο. Σαν κάθοδος χρησιμοποιείται ο ενισχυμένος με γραφίτη πυθμένας και τα εσωτερικά τοιχώματα της καμίνου και σαν άνοδος χρησιμοποιείται άνθρακας σε ράβδους. Το αργίλιο παίρνεται από την κάθοδο, ενώ από την άνοδο εκλύεται οξυγόνο κι φθόριο που κατακαίει τον άνθρακα της ανόδου.

Το παραγόμενο πρωτόχυτο αργίλιο είναι σε ρευστή μορφή (τηγμένο), συλλέγεται από τη λεκάνη και υφίσταται εκ νέου εμπλουτισμό με νέα ηλεκτρόλυση, φθάνοντας σε καθαρότητα το 99%. Στη συνέχεια χύνεται σε ειδικά καλούπια και παίρνει μορφή κυλίνδρου ή "χελώνας", με τις οποίες διατίθεται στο εμπόριο.

Σχ.49 Διεργασίες παραγωγής πρωτόχυτης αλουμίνας



Για την παραγωγή 1 kg αργιλίου απαιτούνται περίπου 2 kg αλουμίνιας, 1 kg άνθρακα και 20 kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως βλέπουμε, για την παραγωγή του αργιλίου καταναλώνονται μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Γι' αυτό η βιομηχανία παραγωγής του αργιλίου ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτροβόρων χημικών βιομηχανιών.

Το αργίλιο (και τα κράματα του) χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη βιομηχανία, γιατί έχει τις εξής εξαιρετικά χρήσιμες ιδιότητες:

- α) Είναι ελαφρό.
- β) Έχει καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα,
- γ) Έχει καλή αντοχή σε διάβρωση,
- δ) Έχει καλή κατεργαστικότητα.
- ε) Δεν είναι τοξικό
- στ) Είναι αμαγνητικό.

Σαν σοβαρά μειονεκτήματα του αργιλίου μπορούν να θεωρηθούν η μικρή μηχανική του αντοχή και το χαμηλό του σημείο τήξεως (660°C).

Η καθαρότητα του αργιλίου είναι κατά μέσο όρο 99,50%, μπορεί όμως να φτάσει και τα 99,99% με κατάλληλη επεξεργασία. Έχει ειδικό βάρος 2,70% g/cm³, δηλαδή πολύ χαμηλότερο από το ειδικό βάρος του σιδήρου (7,80 g/cm³). Η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση είναι 0,029 Ω mm²/m. Παρουσιάζει σχετική ηλεκτρική αγωγιμότητα 63% ενώ του χαλκού είναι 98% .

Η παρουσία ακαθαρσιών ελαττώνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του αργιλίου. Εξαιτίας της μεγάλης του ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείται για την κατασκευή ηλεκτρικών αγωγών (καλωδίων), τα οποία όμως ενισχύονται συνήθως με χαλύβδινη ψυχή, για να αποκτήσουν ικανοποιητική μηχανική αντοχή.

Το αργίλιο έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα (πέντε περίπου φορές μεγαλύτερη από αυτή του μαλακού χάλυβα) και γι' αυτό χρησιμοποιείται για αυλούς ψυγείων, θερμαντικά σώματα και άλλα.

Όταν το αργίλιο εκτεθεί στην ατμόσφαιρα, σχηματίζεται στην επιφάνεια του πολύ λεπτή, διαφανής, συνεχής και συνεκτική στιβάδα οξειδίου του αργιλίου, που προφυλάσσει το μέταλλο από μεγαλύτερη οξειδωση. Έτσι, το αργίλιο παρουσιάζει καλή αντοχή σε διάβρωση στον αέρα και το καθαρό νερό, όχι όμως και στο θαλάσσιο νερό. Αυτή η ιδιότητα κάνει το αργίλιο κατάλληλο για εφαρμογές στη χημική βιομηχανία, στη βιομηχανία τροφίμων (σ' αυτή την περίπτωση παίζει ρόλο το ότι το αργίλιο δεν είναι τοξικό), καθώς επίσης και για μαγειρικά σκεύη. Το εμπορικά καθαρό αργίλιο είναι μαλακό και χαμηλής μηχανικής αντοχής. Παρουσιάζει όμως μεγάλη πλαστικότητα και έτσι μπορεί να αποκτήσει και πολύ μικρό πάχος (μέχρι και 0,01 mm) μετά από εξέλαση.

Παρακάτω δίνουμε τυπικές μηχανικές ιδιότητες αργιλίου καθαρότητας 99,50% σε κατάσταση ανοπτήσεως:

$\sigma_B = 75$ μέχρι 90 N/mm², $A = 31$ % μέχρι 42 % και σκληρότητα 20 μέχρι 27 Brinell

Εξαιτίας της χαμηλής του μηχανικής αντοχής και σκληρότητας, το αργίλιο είναι ακατάλληλο για πολλές βιομηχανικές χρήσεις, αν και έχει τα άλλα σοβαρά πλεονεκτήματα που αναφέραμε.

Σχ.50 Θερμή έλαση αλουμινίου



Οι μηχανικές του όμως ιδιότητες μπορούν να βελτιωθούν είτε με σκλήρωση μετά από ψυχρηλασία είτε με πρόσθεση ξένων στοιχείων, τα οποία με σειρά σπουδαιότητας είναι ο χαλκός, το πυρίτιο, το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, το μαγγάνιο, το νικέλιο και το χρώμιο. Έτσι προκύπτουν τα διάφορα κράματα του αργιλίου, με τα οποία θα ασχοληθούμε ευθύς αμέσως. Αναφέρομε επίσης ότι ορισμένα κράματα του αργιλίου μπορούν να υποστούν και θερμικές κατεργασίες για βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους.

5.2.1 Τα κράματα του αργιλίου και οι θερμικές τους κατεργασίες

Τα κράματα του αργιλίου περιλαμβάνουν:

- 1) Τα μαλακτά κράματα.
 - Αυτά που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες.
 - Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες.
- 2) Τα χυτευτικά κράματα.
 - Αυτά που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες.
 - Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

5.2.1.1 Μαλακτά κράματα αργιλίου

1) Αυτά που δεν υφίστανται Θερμικές κατεργασίες

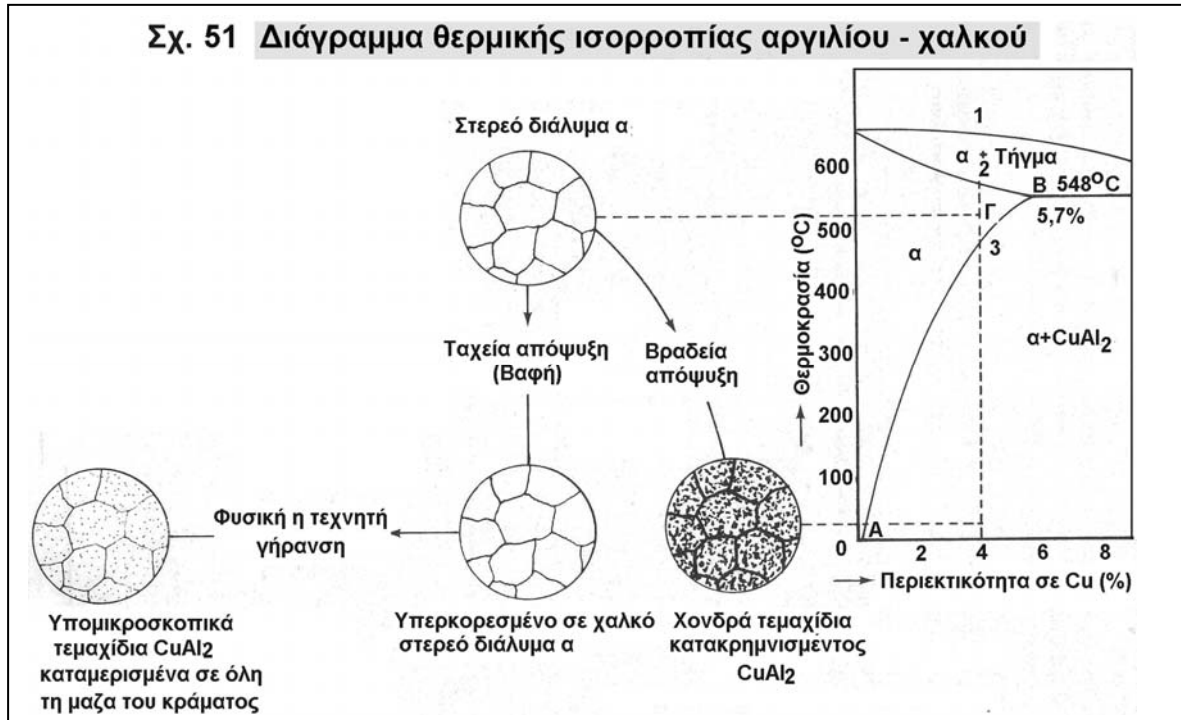
Τα κυριότερα κράματα αυτής της ομάδας είναι εκείνα που περιέχουν μέχρι 1,50% Μη περίπου και εκείνα που περιέχουν από 2% μέχρι 7,50% Mg. Σκληρύνονται με ψυχρηλασία. Γενικά έχουν καλή αντοχή στη διάβρωση. Τα κράματα που περιέχουν μαγνήσιο αντέχουν ιδιαίτερα στο θαλάσσιο νερό, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία. Στον Πίνακα 11 αναφέρομε στοιχεία τυπικών κραμάτων του αργιλίου.

2) Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες

Τα κράματα αυτά αποκτούν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες με τη θερμική διεργασία που λέγεται **θερμική σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως»**. Σ' αυτή την περίπτωση οι σπουδαιότερες προσθήκες είναι ο χαλκός, το μαγνήσιο, το πυρίτιο και ο ψευδάργυρος.

Παρακάτω θα μελετήσομε αυτό το φαινόμενο για κράμα αργιλίου - χαλκού με 4% χαλκό, που αποτελεί και τη βάση των κραμάτων της σειράς του γνωστού ντουραλουμινίου.

Στο σχήμα 51 δίνουμε το φτωχό σε χαλκό τμήμα του διαγράμματος θερμικής ισορροπίας αργιλίου - χαλκού.



Στο διάγραμμα θερμικής ισορροπίας παρατηρούμε ότι στη θερμοκρασία του δωματίου διαλύεται περίπου 0,20% (σημείο A) χαλκός στο κρυσταλλικό πλέγμα του αργιλίου, για να σχηματιστεί το στερεό διάλυμα α . Με αύξηση της θερμοκρασίας διαλύεται περισσότερος χαλκός, φθάνει δε σε ένα μέγιστο σημείο 5,70% (σημείο B). Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε κράμα αργιλίου - χαλκού με 4% χαλκό, που αποψύχεται ήρεμα από την κατάσταση της υγρής του φάσεως. Από το σημείο (1) του διαγράμματος αρχίζει ο σχηματισμός φύτρων και ύστερα δενδριτών (του στερεού διαλύματος α και η στερεοποίηση του κράματος σταματάει στο σημείο (2), όπου η κρυσταλλική του δομή αποτελείται από κρυσταλλίτες (κόκκους) α .

Στο σημείο (3), το στερεό διάλυμα έχει κορεσθεί τελείως με χαλκό.

Με μεγαλύτερη πτώση της θερμοκρασίας, μέχρι τη θερμοκρασία του δωματίου, η περιεκτικότητα σε χαλκό του στερεού διαλύματος γίνεται μικρότερη όπως φαίνεται και από τη γραμμή AB του σχήματος 43. Ο χαλκός που περισσεύει αντιδρά με το αργίλιο και σχηματίζει τη μεσομεταλλική ένωση CuAl_2 . Έτσι, χοντρά τεμαχίδια της μεσομεταλλικής αυτής ενώσεως αρχίζουν να κατακρημνίζονται στα σύνορα των κόκκων, αλλά και μέσα στους κόκκους του κράματος. Στη θερμοκρασία του δωματίου η κρυσταλλική δομή του κράματος αποτελείται από στερεό διάλυμα α και χοντρά τεμαχίδια της μεσομεταλλικής ενώσεως CuAl_2 .

Σ' αυτή την κατάσταση το κράμα, εξαιτίας ακριβώς των χοντρών τεμαχιδίων του CuAl_2 , παρουσιάζει μικρή μηχανική αντοχή και είναι εύθραυστο.

Οι μηχανικές ιδιότητες του κράματος αυτού, μετά από ήρεμη απόψυξη από την υγρή κατάσταση του, όπως είπαμε, μπορούν να βελτιωθούν με την εξής θερμική κατεργασία :

α) Θερμαίνουμε ήρεμα το κράμα σε καθορισμένη θερμοκρασία, π.χ. σε 530°C (σημείο Γ, για κράμα με 4% Cu), ώστε να γίνει τελείως στερεό διάλυμα.

β) Το αποψύχομε απότομα μέχρι τη θερμοκρασία του δωματίου. Η ταχεία αυτή απόψυξη (βαφή) εμποδίζει την κατακρήμνιση του χαλκού σαν CuAl_2 . Έτσι παίρνουμε στη θερμοκρασία του δωματίου υπερκορεσμένο στερεό διάλυμα, δηλαδή με 4% χαλκό αντί 0,20%.

Σ' αυτή την κατάσταση το κράμα είναι κάπως ανθεκτικότερο και σκληρότερο, γιατί υπάρχει περισσότερος χαλκός διαλυμένος στο αργίλιο. Επίσης είναι και περισσότερο δύσθραυστο, γιατί δεν υπάρχουν τώρα τα εύθραυστα τεμαχίδια του CuAl_2 .

γ) Αν το κράμα, όπως είναι, παραμείνει στη θερμοκρασία του δωματίου για αρκετό χρόνο, τότε αρχίζει να σκληρώνεται, δηλαδή να αποκτάει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και σκληρότητα, με ελάττωση όμως της δυσθραυστότητας. Αυτή η σκλήρωση γίνεται μέγιστη μετά χρονικό διάστημα περίπου έξι ημερών. Αυτή η σκλήρωση οφείλεται στο ότι πολύ - πολύ μικρά (υπομικροσκοπικά) τμηματίδια της μεσομεταλλικής ενώσεως CuAl_2 κατακρημνίζονται με την πάροδο του χρόνου, γιατί το υπερκορεσμένο στερεό διάλυμα α, όπως λαμβάνεται μετά από απότομη απόψυξη, βρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας. Αυτά τα υπομικροσκοπικά τεμαχίδια, όταν καταμεριστούν σε όλη τη μάζα του κράματος, αποτελούν εμπόδια στη μετακίνηση των αταξιών. Έχουμε όμως αναφέρει ότι η πλαστική παραμόρφωση των μετάλλων συντελείται με μετακινήσεις απειραρίθμων αταξιών. Επομένως, στην περίπτωση που εξετάζουμε, παρατηρείται ελάττωση της πλαστικότητας του κράματος και από αυτό και η σκλήρωση του. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **θερμική σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά φυσικής γηράνσεως»**.

Όμως, αν το βαμμένο κράμα αναθερμανθεί σε θερμοκρασία 150°C μέχρι 170°C για 10 περίπου ώρες και αποψυχθεί ήρεμα, υφίσταται επίσης σκλήρωση. Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε **θερμική σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά τεχνητής γηράνσεως»**.

Το κυριότερο μαλακτό κράμα, από εκείνα που υφίστανται θερμικές κατεργασίες, είναι το *ντουραλουμίνιο*. Όπως παρατηρούμε, εκτός από το χαλκό, περιέχει μαγνήσιο και πυρίτιο, τα οποία με το να σχηματίζουν τη μεσομεταλλική ένωση Mg_2Si υποβοηθούν στη σκλήρωση του «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως». Άλλα κράματα αυτού του είδους αναγράφονται επίσης στον Πίνακα 11.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11 Κράματα Αργιλίου

Χημική σύνθεση (%)							Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Fe	Άλλα στοιχεία	Κατάσταση κράματος	σ_B (N/mm ²)	A (%)		
0,1	0,60	-	-	1,00-1,50	-	0,20 Ti	Μαλακό σκληρωμένο	110 210	34 4		Μαλακό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Δοχεία τροφίμων, καλύμματα φιαλών, μαγειρικά σκεύη, ελασμάτα οροφής
0,1	0,60	2,80-4,00	-	0,60	0,50	0,15 Ti 0,25 Cr	Μαλακό σκληρωμένο	220 300	18 8		Μαλακό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Εφαρμογές στη ναυπηγική βιομηχανία
3,5-4,70	0,20-0,70	0,40-1,20	-	0,40-1,00	0,70	-	Μετά απο θερμική κατεργασία	410	10	Θέρμανση σε 480°C Βαφή Φυσική γήρανση για 4 μέρες	Μαλακό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες ονομαζόμενο ντουραλουμίνιο Αεροναυπηγικές κατασκευές
0,7-1,30	10,50-13,00	0,80-1,50	-	0,20	0,60	0,70-1,30 Ni	Μετά απο θερμική κατεργασία	380	4	Θέρμανση σε 490°C Βαφή Φυσική γήρανση σε 130°C για 6h	Μαλακό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Κομμάτια εργαζόμενα σε υψηλές θερμοκρασίες (έμβολα μηχανών κεφαλές κυλινδρών)
1,00-2,70	0,50	2,00-3,00	5,00-7,50	0,30	0,50	0,30 Ti	Μετά απο θερμική κατεργασία	660	11	Θέρμανση σε 465°C Βαφή Φυσική γήρανση σε 120°C για 24h	Μαλακό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Αεροναυπηγικές εφαρμογές . Πολύ ανθεκτικό
-	-	5,00	-	0,5	-	-	Χυτεμένο σε άμμο	170	5		Χυτευτικό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Κατάλληλο για χύτευση σε άμμο και βαρύτητα Καλή αντοχή στην διάβρωση σε θαλασσινό νερό
-	11,50	-	-	-	-	-	Χυτεμένο σε άμμο	170 220	7 4		Χυτευτικό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Κατάλληλο για χύτευση σε άμμο και βαρύτητα Μεγάλου μεγέθους χυτά , κιβώτια ταχυτήτων, θερμαντικά σώματα
4,00	0,30	1,50	-	-	-	2,00 Ni 0,2 Ti	Μετά απο θερμική κατεργασία	290	-	Θέρμανση σε 510°C . Βαφή σε βραστό νερό για 2 h Φυσική γήρανση για 5 μέρες	Χυτευτικό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Για έμβολα και κεφαλές κυλινδρών υδρόψυκτων και αερόψυκτων μηχανών
0,90	12,00	1,20	-	-	-	2,50 Ni	Μετά απο θερμική κατεργασία	320	0	Θέρμανση σε 520°C Βαφή σε λάδι Τεχνητή γήρανση σε 165 -185 °C επι 6-12h	Χυτευτικό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες Έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής . Για έμβολα μηχανών

5.2.1.2 Χυτευτικά κράματα αργιλίου

1) Αυτά που δεν υφίστανται Θερμικές κατεργασίες.

Τα σπουδαιότερα από αυτά τα κράματα περιέχουν 10% μέχρι 12% πυρίτιο και είναι κατάλληλα για χύτευση σε άμμο, καθώς επίσης και για χύτευση με βαρύτητα ή κάτω από πίεση. Από το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων αργιλίου - πυριτίου προκύπτει ότι αυτά τα κράματα είναι περίπου ευτηκτικής αναλογίας.

Οι μηχανικές τους ιδιότητες βελτιώνονται, αν κατά τη χύτευση προστεθεί στο τήγμα 0,05% περίπου νάτριο. Και αυτό συμβαίνει γιατί το νάτριο, όταν προστεθεί, λεπτταίνει τους κόκκους της ευτηκτικής κρυσταλλικής δομής.

Σπουδαία σημασία έχουν επίσης και τα κράματα αργιλίου - μαγνησίου - μαγγανίου, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση, ιδιαίτερα δε στο θαλάσσιο νερό. Είναι κατάλληλα για χύτευση σε άμμο και χύτευση με βαρύτητα.

Τυπικά χυτευτικά κράματα, που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες, δίνονται στον Πίνακα 11.

2) Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

Πολλά από αυτά τα κράματα περιέχουν βασικά 4% χαλκό, ενώ άλλα περιέχουν και περίπου 2% νικέλιο. Άλλος τύπος τέτοιου χυτευτικού κράματος είναι εκείνος που περιέχει 12% ή 5% πυρίτιο με προσθήκες χαλκού, μαγνησίου και νικελίου ή μαγνησίου και μαγγανίου.

Η θερμική τους κατεργασία είναι παρόμοια με εκείνη των μαλακών κραμάτων.

Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες και οι βιομηχανικές χρήσεις τυπικών κραμάτων αυτού του είδους αναγράφονται στον Πίνακα 11.

5.2.2 Ανόπτηση των κραμάτων του αλουμινίου

Οι θερμικές κατεργασίες του αλουμινίου έχουν σκοπό είτε να αυξήσουν την μηχανική αντοχή (τεχνητή γήρανση), είτε και να ελαττώσουν την μηχανική αντοχή (ανόπτηση), ώστε να διευκολυνθεί η μορφοποίηση. Για να είναι αποτελεσματική μια θερμική κατεργασία, σχεδιάζεται έτσι, ώστε να μετασχηματίσει τη δομή που δημιουργείται από τα κραματοποιά στοιχεία, (π.χ. χαλκός, μαγνήσιο, πυρίτιο, ψευδάργυρος) τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους προς σχηματισμό διμεταλλικών ενώσεων.

Τα θερμοσκληρυνόμενα κράματα που δεν έχουν υποστεί διεργασίες θερμοσκλήρυνσης (π.χ. τεχνητή γήρανση), μπορούν να ανοπτηθούν με θέρμανση στους 360 ± 10 °C για μια ώρα και κατόπιν ψύξη με αέρα. Η αργή ψύξη δεν είναι αποτελεσματική, εντούτοις η γρήγορη ψύξη μπορεί να οδηγήσει σε μερική σκλήρυνση λόγω γήρανσης. Σε πολλές περιπτώσεις η ανόπτηση είναι αποτελεσματική για κράματα που έχουν υποστεί θερμοσκλήρυνση, αλλά για την ολοκλήρωση της ανόπτησης πρέπει να θερμανθούν σε 400 - 425 °C για μια ώρα. Σ' αυτή την περίπτωση, ο ρυθμός ψύξης πρέπει να είναι περίπου 15 °C ανά ώρα, μέχρι τους 300 °C. Κάτω απ' αυτή τη θερμοκρασία ο ρυθμός ψύξης δεν παίζει ρόλο.

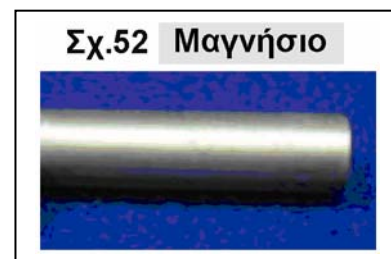
5.3 ΜΑΓΝΗΣΙΟ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

5.3.1 Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο είναι μέταλλο πολύ ελαφρό. Έχει ειδικό βάρος $1,74 \text{ g/cm}^3$, όταν είναι 99,80% καθαρό, ενώ το αργίλιο έχει 2,70 και ο χάλυβας 7,50. Τήκεται στους 650°C.

Αποκτάει σημαντική πλαστικότητα σε 300°C μέχρι 500°C, ιδιαίτερα όταν περιέχει ζιρκόνιο (Zr) και επομένως δεν διαμορφώνεται εν ψυχρώ. Έχει μεγάλη συγγένεια με το οξυγόνο, όταν δε θερμανθεί στον αέρα σε 800°C καίγεται με εκτυφλωτική λάμψη. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται για την παραγωγή φωτός κατά τη λήψη φωτογραφιών (φλας).

Το καθαρό μαγνήσιο έχει πολύ χαμηλές μηχανικές ιδιότητες και γι' αυτό είναι ακατάλληλο για κατασκευές. Επίσης παρουσιάζει ασήμαντη αντοχή στη διάβρωση. Οι μηχανικές του όμως ιδιότητες



βελτιώνονται με προσθήκες και έπειτα με ψυχρηλασία ή κατάλληλη θερμική κατεργασία. Επίσης, με προσθήκες μπορεί να βελτιωθεί σχετικά και η αντοχή του σε διάβρωση. Οι κύριες προσθήκες, τόσο για τα μαλακά, όσο και για τα χυτευτικά κράματα του μαγνησίου είναι το αργίλιο, ο ψευδάργυρος, το ζirkόνιο και το μαγγάνιο.

Πρέπει εδώ να σημειώσουμε, ότι η χύτευση των κραμάτων του μαγνησίου παρουσιάζει δυσκολίες γιατί το κράμα διατρέχει τον κίνδυνο να αναφλέγει, όταν μάλιστα υπερθερμανθεί. Γι' αυτό παίρνονται ειδικά προστατευτικά μέτρα κατά τη χύτευση.

5.3.2 Τα κράματα του μαγνησίου.

Εδώ αναφέρουμε συνηθισμένα κράματα του μαγνησίου.

1) Κράματα μαγνησίου - αργιλίου - ψευδαργύρου - μαγγανίου (Mg - Al - Zn - Mn).

Περιέχουν κυρίως 3% μέχρι 10% αργίλιο και μικρότερες ποσότητες ψευδαργύρου (μέχρι 1%) και μαγγανίου (περίπου 0,30%). Το αργίλιο αυξάνει τη μηχανική αντοχή και τη σκληρότητα του κράματος, ενώ ο ψευδάργυρος αυξάνει την αντοχή του σε διάβρωση σε θαλάσσιο περιβάλλον. Το μαγγάνιο αυξάνει επίσης την αντοχή του κράματος σε διάβρωση και το κάνει εύκολα συγκολλητό.

Τα κράματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σαν μαλακτά είτε σαν χυτευτικά. Τα μαλακτά κράματα σκληρώνονται με διαμόρφωση εν ψυχρώ, ενώ τα χυτευτικά υφίστανται σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως», όπως ορισμένα κράματα του αργιλίου .

Σαν τυπικά κράματα Mg - Al - Zn - Mn αναφέρουμε τα επόμενα:

- Μαλακτά κράμα.

$\pi(\text{Al}) = 6\%$, $\pi(\text{Zn}) = 1\%$, $\pi(\text{Mn}) = 0,30\%$ Μετά διέλαση, το κράμα αποκτάει: $\sigma_B = 300 \text{ N/mm}^2$ και $A = 10\%$

- Χυτευτικά κράμα.

$\pi(\text{Al}) = 8\%$, $\pi(\text{Zn}) = 0,70\%$, $\pi(\text{Mn}) = 0,30\%$

Μετά από θερμική κατεργασία (θέρμανση σε 410°C , βαφή και τεχνητή γήρανση σε 190°C (επί 10 ώρες), το κράμα αποκτάει:

$\sigma_B = 220 \text{ N/mm}^2$ και $A = 2\%$

2) Κράματα μαγνησίου - μαγγανίου (Mg - Mn)

Περιέχουν περίπου 1,50% μαγγάνιο, παρουσιάζουν καλή αντοχή σε διάβρωση και συγκολλώνται εύκολα.

3) Κράματα μαγνησίου - ψευδαργύρου - ζirkονίου (Mg - Zn - Zr)

Το ζirkόνιο εκλεπτύνει τους κόκκους του κράματος και επομένως βελτιώνει τις μηχανικές του ιδιότητες.

Τα κράματα αυτού του είδους μπορεί να χρησιμοποιηθούν τόσο σαν μαλακτά, όσο και σαν χυτευτικά. Τα χυτευτικά μπορούν να υποστούν θερμική σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά

γηράνσεως». Προσθήκη και θορίου (Th) περίπου 3% αυξάνει την αντοχή του κράματος σε ερπυσμό.

Παρακάτω δίνουμε τυπικά κράματα Mg - Zn - Zr.

- Μαλακτά κράματα :

$\pi(\text{Zn}) = 3\%$, $n(\text{Zr}) = 0,70\%$ Μετά από διέλαση παρουσιάζει:
 $\sigma_B = 320 \text{ N/mm}^2$ και $A = 8\%$

- Χυτευτικά κράματα :

$\pi(\text{Zn}) = 4,50\%$, $n(\text{Zr}) = 0,70\%$

Μετά από θερμική κατεργασία (τεχνητή γήρανση σε 170°C επί 12 ώρες χωρίς προηγούμενη βαφή), αποκτάει:

$\sigma_B = 270 \text{ N/mm}^2$ και $A = 9\%$

Τα κράματα του μαγνησίου εξαιτίας του μικρού ειδικού βάρους και των καλών μηχανικών τους ιδιοτήτων, χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική για χυτά και σφυρήλατα εξαρτήματα (σώματα κινητήρων, πυξίδες λιπάνσεως συστήματα προσγειώσεως και άλλα), καθώς επίσης και για αποθήκες καυσίμων. Επίσης και για μορφοποιημένα τεμάχια του σκελετού των αεροσκαφών. Στη βιομηχανία των αυτοκινήτων βρίσκουν εφαρμογές σε κιβώτια ταχυτήτων καλύμματα συμπλέκτη και παρεμφερή εξαρτήματα. Τέλος, χρησιμοποιούνται για μεταλλικά καθίσματα, γραφομηχανές, φωτογραφικές μηχανές και άλλα.

5.4 Ο ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

5.4.1 Ο ψευδάργυρος

Είναι μέταλλο λευκού χρώματος. Έχει ειδικό βάρος $7,14 \text{ g/cm}^3$ και σημείο τήξεως $419,40^\circ\text{C}$. Στη συνηθισμένη θερμοκρασία είναι εύθραυστος. Όταν θερμανθεί στους 100°C μέχρι 150°C αποκτάει πλαστικότητα. Δεν οξειδώνεται στον αέρα ούτε στο νερό και επομένως, εξαιτίας αυτής του της ιδιότητας, χρησιμοποιείται για την επιψευδαργύρωση ελασμάτων (λαμαρινών) χάλυβα, τα οποία σ' αυτή την περίπτωση ονομάζονται γαλβανισμένα.

Μετά από χύτευση ο ψευδάργυρος παρουσιάζει:

$\sigma_B = 60 \text{ N/mm}^2$ μόνο, ενώ μετά από ψυξηλασία αποκτάει
 $\sigma_B = 220 \text{ N/mm}^2$



5.4.2 Τα κράματα του ψευδαργύρου

Τα κράματα του ψευδαργύρου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στη βιομηχανία, κυρίως σαν χυτά εξαρτήματα μετά από χύτευση κάτω από πίεση.

Βασικά περιέχουν περίπου 4% αργίλιο, που προσδίδει στο κράμα καλύτερες μηχανικές ιδιότητες και ευκολία χυτεύσεως. Επίσης μπορεί να περιέχουν και χαλκό (μέχρι 2,50%), που διευκολύνει τη χύτευση του κράματος και του δίνει καλή κατεργαστικότητα.

Παρακάτω δίνουμε συνηθισμένα κράματα ψευδαργύρου:

α) $\pi(\text{Al}) = 4\%$, $n(\text{Mg}) = 0,04\%$.

Παρουσιάζει: $\sigma_B = 290 \text{ N/mm}^2$ και $A = 13\%$

β) $\pi(\text{Al}) = 4\%$, $n(\text{Mg}) = 0,04\%$ και $n(\text{Cu}) = 1,00\%$.

Παρουσιάζει: $\sigma_B = 340 \text{ N/mm}^2$ και $A = 8,50\%$

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι αυτά τα κράματα, μετά τη χύτευση, υφίστανται μικρή συστολή, που συμπληρώνεται συνήθως μέσα σε πέντε περίπου εβδομάδες. Αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να ελαττωθεί με θέρμανση του κράματος. Έτσι, θέρμανση σε 100°C το περιορίζει σε 6 ώρες, ενώ θέρμανση σε 150°C σε 3 ώρες.

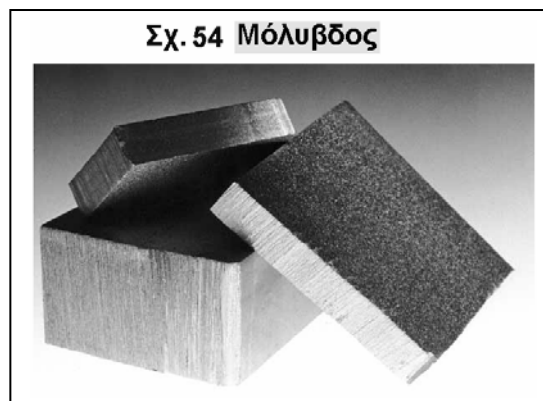
Πρέπει να τονίσουμε ότι, αν υπάρχουν έστω και ελάχιστες ποσότητες κασσιτέρου (πάνω από 0,001%), μολύβδου (πάνω από 0,003%) και καδμίου (πάνω από 0,003%) είναι καταστρεπτικές για το κράμα.

5.5 Ο ΜΟΛΥΒΔΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

5.5.1 Ο μόλυβδος

Ο μόλυβδος έχει χρώμα φαιό (γκρίζο). Το ειδικό του βάρος είναι $11,34 \text{ g/cm}^3$. Έχει σημείο τήξεως 327°C και γι' αυτό είναι πολύ εύτηκτο μέταλλο. Έχει εξαιρετική πλαστικότητα και επομένως διαμορφώνεται εύκολα. Η μηχανική του αντοχή είναι πολύ μικρή, χαρακτηρίζεται όμως από σημαντική αντοχή σε διάβρωση.

Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται πολύ για την κατασκευή σχαρών πλακών συσσωρευτών, σωλήνων νερού, ελασμάτων στεγανοποίησης οροφής, βολίδων φυσιγγίων φορητών όπλων και για την επένδυση των υπογείων καλωδίων. Χρησιμοποιείται επίσης στη χημική βιομηχανία και αποθήκευση και μεταφορά διαβρωτικών υγρών, όπως π.χ. στη βιομηχανία του θειικού οξέος. Τέλος, ο μόλυβδος έχει εφαρμογή στην προστασία από την ακτινοβολία X και γ (ατομική ενέργεια, ιατρική).



5.5.2 Τα κράματα του μολύβδου.

1) Κράματα μολύβδου - αντιμονίου (Pb-Sb)

Κράματα μολύβδου με 7% μέχρι 12% αντιμόνιο χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σχαρών πλακών συσσωρευτών.

Για την αύξηση της αντοχής των μολυβένιων περιβλημάτων των υπογείων καλωδίων και των επενδύσεων δοχείων και δεξαμενών της χημικής βιομηχανίας διαβρωτικών υγρών προστίθεται λίγο αντιμόνιο.

2) Κράματα μολύβδου - κασσιτέρου (Pb-Sn)

Προσθήκη 20% μέχρι 50% κασσιτέρου στο μόλυβδο μας δίνει κράματα χαμηλού σημείου τήξεως, τις γνωστές μας κολλήσεις, που χρησιμοποιούνται πολύ. Συνιστάται σαν το καλύτερο και οικονομικότερο κράμα κολλήσεως. Εκείνο που περιέχει 35% κασσίτερο.

3) Κράματα μολύβδου - αντιμονίου - κασσιτέρου (Pb - Sb - Sn) ή τυπογραφικά κράματα.

Χαρακτηρίζονται από χαμηλό σημείο τήξεως, εύκολη και καλή χύτευση (αποδίδονται τελείως όλες οι λεπτομέρειες των τυπογραφικών στοιχείων) και καλή αντοχή σε φθορά.

Παρακάτω αναφέρομε αντιπροσωπευτικά τυπογραφικά κράματα:

10% μέχρι 13% Sb και 2% μέχρι 4% Sn για λινότυπια 14% μέχρι 19% Sb και 7% μέχρι 10% Sn για μονοτυπια 14% μέχρι 17% Sb και 3% μέχρι 10% Sn για στερεοτυπια.

4) Λευκά αντιτριβικά κράματα με βάση το μόλυβδο

Τα κράματα αυτά περιέχουν 10% μέχρι 15% κασσίτερο, 6% μέχρι 65% μόλυβδο και 1,50% μέχρι 3% χαλκό.

Χρησιμοποιούνται για πιο ήπιες συνθήκες φορτίσεως από ό,τι τα λευκά μέταλλα με βάση τον κασσίτερο.

Σαν τυπικά τέτοια αντιτριβικά κράματα αναφέρομε τα εξής με:

- 11% Sb, 6% Pb, 3% Cu. Γενικής χρήσεως, για έδρανα που φορτίζονται με υψηλά φορτία.

-10% Sb, 28,50% Pb, 1,50% Cu. Χρησιμοποιείται για έδρανα ατμαμαξών μηχανών εσωτερικής καύσεως, γεννητριών και ηλεκτρικών κινητήρων.

-10% Sb, 48,50% Pb, 1,50% Cu. Για τροχούς τραίνων με μέση φόρτιση.

-15% Sb, 63,50% Pb, 1,50% Cu. Εφαρμόζεται σε χαμηλότερα φορτία σε σύγκριση με τα προηγούμενα.

5.6 ΤΟ ΝΙΚΕΛΙΟ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

5.6.1 Το νικέλιο

Είναι μέταλλο λευκό προς το φαιό (γκρίζο) και σκληρό, αλλά ελατό. Έχει ειδικό βάρος $8,90 \text{ g/cm}^3$ και σημείο τήξεως 145°C . Στον αέρα παραμένει σταθερό, δηλαδή δεν οξειδώνεται. Γι' αυτό



χρησιμοποιείται για επικάλυψη μεταλλικών επιφανειών. Αυτή η

εργασία γίνεται ηλεκτρολυτικά και ονομάζεται επινικέλωση. Πριν από την επινικέλωση σιδηρών ή χαλύβδινων επιφανειών απαιτείται επιχάλκωση των τεμαχίων. Το νικέλιο που χρησιμοποιείται στο εμπόριο έχει καθαρότητα περίπου 99,50% και περιέχει ελάχιστες ποσότητες χαλκού, σιδήρου, μαγγανίου, άνθρακα και θείου.

Το νικέλιο παρουσιάζει καλό συνδυασμό μηχανικών ιδιοτήτων και αντοχή σε διάβρωση.

Σαν τυπικές μηχανικές ιδιότητες του νικελίου με μορφή ελασμάτων αναφέρομε τις εξής:

Μετά από ψυχρηλασία και ανόπτηση: $\sigma_B = 350$ μέχρι 570 N/mm^2 , $A = 35\%$ μέχρι 50% και σκληρότητα από 90 μέχρι 120 Brinell.

Μετά ψυχρηλασία (σκληρωμένο): $\sigma_B = 640$ μέχρι 700 N/mm^2 , $A = 8\%$ μέχρι 12% και σκληρότητα από 180 έως 210 Brinell.

Το νικέλιο χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη χημική βιομηχανία, εξαιτίας της αντοχής του σε διάβρωση, ιδιαίτερα για τα αλκάλια. Επίσης, στη βιομηχανία των τροφίμων, γιατί δεν παρουσιάζει τοξικότητα. Το νικέλιο σαν προσθήκη βρίσκει εφαρμογή στους νικελιούχους χάλυβες, στους νικελιοχρωμιούχους χάλυβες, σε ορισμένα μη σιδηρούχα κράματα, καθώς και στα πολύ χρήσιμα κράματα του, με τα οποία θα ασχοληθούμε τώρα αμέσως.

5.6.2 Τα κράματα του νικελίου

1) Κράματα νικελίου - χαλκού (Ni - Cu) ή Μονέλ (monel)

Περιέχουν χονδρικά 2/3 νικελίου και 1/3 χαλκού και μικρές ποσότητες μαγγανίου, σιδήρου, πυριτίου και άνθρακα. Εμφανίζουν καλή αντοχή σε διάβρωση στο νερό, στην άλμη, στα αλκάλια, στον υπέρθερμο ατμό και σε άλλα.

Οι καλές του μηχανικές ιδιότητες διατηρούνται και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τυπικό κράμα νικελίου - χαλκού είναι το επόμενο με: 67% Ni, 30% Cu, 1% Mn, 1,40% Fe, 0,11% Si και 0,15% C, που έχει τις εξής μηχανικές ιδιότητες:

- Έλασμα ανοπτημένο: $\sigma_B = 500 \text{ N/mm}^2$, $A = 36\%$, $\rho = 220 \text{ Nm/cm}^2$ και σκληρότητα 120 Brinell.

- Έλασμα σκληρωμένο: $\sigma_B = 720 \text{ N/mm}^2$, $A = 20\%$, $\rho = 170 \text{ Nm/cm}^2$ και σκληρότητα 185 Brinell.

Το Μονέλ χρησιμοποιείται σαν μαλακτό και σαν χυτευτικό κράμα.

Βρίσκει εφαρμογές σε άξονες και πτερωτές αντλιών, βελόνες ακροφυσίων υδροστροβίλων, καθώς και σε πτερύγια στροβίλων. Προσθήκη 2% μέχρι 4% αργιλίου δίνει στο Μονέλ βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες μετά από θερμική κατεργασία. Το κράμα σ' αυτή την περίπτωση σκληρώνεται «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως», ενώ διατηρεί τις καλές του αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Είναι γνωστό σαν Μονέλ Κ. Βάφεται από 950°C μέχρι 1100°C και μετά υφίσταται τεχνητή γήρανση σε 590°C επί 16 περίπου ώρες.

Παρακάτω αναφέρομε μεσαίες μηχανικές ιδιότητες του Μονέλ Κ μετά από ψυξηλασία και θερμική κατεργασία:

$\sigma_B = 960$ μέχρι 1180 N/mm^2 , $A = 30\%$ μέχρι 15% και σκληρότητα 280 μέχρι 340 Brinell

Χρησιμοποιείται για άξονες ελίκων πλοίων, όργανα πίεσεως και άλλα.

2) Πυρίμαχα κράματα με βάση το νικέλιο και το χρώμιο.

α) Το Ινκονέλ (inconel) περιέχει εκτός από νικέλιο: 14% Cr και 6% Fe. Συνδυάζει εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση και καλές μηχανικές ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη χημική βιομηχανία (μηχανήματα επεξεργασίας τροφίμων) για σωλήνες καυσαερίων αεριοστροβίλων, προστατευτικά καλύμματα θερμοηλεκτρικών ζευγών, θερμαντικών στοιχείων ηλεκτρικών θερμαστρών και κλιβάνων κλπ.

β) Το κράμα Χαστελλού (hastelloy C) περιέχει: 35% Ni, 15% Cr, 17% Mo, 5% W και 5% Fe και παρουσιάζει αντοχή σε νιτρικό και φωσφορικό οξύ, όπως επίσης και σε οξειδωτική ατμόσφαιρα μέχρι 1000°C . Το Χαστελλού Χ με: 47% Ni, 22% Cr, 18% Fe, 9% Mo και 1 % W διατηρεί καλή μηχανική αντοχή, καθώς και αντοχή σε διάβρωση μέχρι 1200°C .

Γι' αυτό, χρησιμοποιείται για τμήματα και εξαρτήματα κλιβάνων και μηχανών αεριοθήσεως (τζετ).

γ) Η σειρά των κραμάτων Νιμόνικ (nimonic), που συνέβαλαν πολύ στην κατασκευή των μηχανών αεριοθήσεως, περιλαμβάνει κράματα κατά κύριο λόγο νικελίου - χρωμίου με καλή αντοχή σε ερπυσμό, σε κόπωση και σε διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες, χάρη σε προσμίξεις τιτανίου, αργιλίου, κοβαλτίου ζirkονίου, σιδήρου και άνθρακα.

Το Νιμόνικ 75 λοιπόν περιέχει:

20% Cr, 0,20% μέχρι 0,60% Ti, 2,50% Fe και 0,10% C Αποτελεί βασικό κράμα για την κατασκευή φλογοσωλήνων αεριοστροβίλων

Το Νιμόνικ 80 Α περιέχει:

20% Cr, 2,20 Ti, 1,50 Fe, 1,40 Al και 0,05% C

Χρησιμοποιείται για την κατασκευή δίσκων και πτερυγίων αεριοστροβίλων. Υφίσταται σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως» μετά από βαφή με αέρα από 1080°C και τεχνητή γήρανση επί 16 ώρες σε 700°C και απόψυξη . αέρα.

Το Νιμόνικ 90 περιέχει:

20% Cr, 2,50% Ti, 1,50% Fe, 1,40% Al, 18% Co και 0,06% C
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι θερμοκρασία 870°C.

Το νεότερο Νιμόνικ 115 περιέχει:

15% Cr, 4% Ti, 0,50% Fe, 5% Al, 15% Co και 0,10% C

Παρουσιάζει τις πιο βελτιωμένες ιδιότητες της σειράς των κραμάτων Νιμόνικ υψηλές θερμοκρασίες.

Τα κράματα ηλεκτρικών αντιστάσεων έχουν την τυπική χημική σύνθεση: % Ni και 20% Cr. Συνδυάζουν υψηλή ηλεκτρική αντίσταση και αντοχή στη άρθρωση σε θερμοκρασίες λειτουργίας από 1150°C μέχρι 1250°C. Επίσης αναφέρουμε εδώ και το κράμα: 65% Ni, 15% Cr και 20% Fe, που χρησιμοποιείται στις ηλεκτρικές αντιστάσεις σε θερμοκρασίες λειτουργίας μέχρι 950°C.

δ) Άλλα κράματα Νικελίου

Τα κράματα του Νικελίου είναι πολυάριθμα αν και δεν κατασκευάζονται σε ποσότητες. Έκαστο εξ αυτών βρίσκει ευρεία εφαρμογή λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων τους. Πολλά εξ αυτών περιέχουν μικρές ποσότητες πυριτίου, μαγγανίου, άνθρακος και θείου. Των περισσοτέρων το όνομα προέρχεται από τα στοιχεία που τα συγκροτούν. Σημαντικότερα κράματα Νικελίου είναι:

Χρωμιονικέλιο (Ni+Cr)

Περμαλλού (Ni+Fe)

Nichrome (Ni+Fe+Cr) διάφορο του "ινκονέλ". Χρησιμοποιείται στα σύρματα αντιστάσεων.

Χιμπερνίκ (Ni+Fe), διάφορο του "περμαλλού".

Κοσταντάν (Ni+Cu). Έχει υψηλή ηλεκτρική ανθεκτικότητα.

Ινβάρ (Ni+Fe), διάφορο των "περμαλλού" και "χιμπερνίκ". Έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής και χρησιμοποιείται στα πρότυπα μέτρων και σταθμών ως και στους διμεταλλικούς θερμοστάτες.

Έλινβαρ . Χρησιμοποιείται στη κατασκευή ελατηρίων ρολογιών και οργάνων ακριβείας.

Θερμοανθεκτικό Ni (Ni+Fe+Cr), διάφορο των "ινκονέλ" και "Nichrome".

Χαλκονικέλιο (Ni+Cu), διάφορο του "Κοσταντάν" και τέλος το

Νικέλιο κερμάτων ή "νικέλινα κέρματα" (Ni+Cu).

Άλλα επίσης κράματα νικελίου είναι ο ορείχαλκος με νικέλιο και ο αλπακάς ή νεάργυρος. Επίσης κράμα νικελίου και αργύρου χρησιμοποιείται στην επιμετάλλωση που δίνει επικαλύμματα ανώτερα του αργύρου. Το γνωστό κράμα "μονέλ" λαμβάνεται από τα ορυκτά που περιέχουν θειούχο χαλκό και θειούχο νικέλιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΑ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (ΧΑΛΥΒΕΣ , ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ)

2.1 ΟΙ ΑΛΟΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΚΑΘΑΡΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

Οι αλλοτροπικές μορφές του καθαρού σιδήρου , δηλαδή οι διαφορετικές δομές τις κρυσταλλικής του δομής , εξαρτώνται από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται ο σίδηρος .

Οι αλλαγές στις αλλοτροπικές μορφές του καθαρού σιδήρου που ενδιαφέρουν στις θερμικές κατεργασίες του χάλυβα , μπορούν να παρατηρηθούν κατά την πύρωση του μέχρι το σημείο τήξης του (1528°C) και είναι οι εξής :

α) *Αλλοτροπική μορφή α – σιδήρου :*

Ο καθαρός σίδηρος βρίσκεται στην αλλοτροπική του μορφή α - σιδήρου , στην θερμοκρασιακή περιοχή από 700°C έως 909°C .

Πιο συγκεκριμένα , μέχρι την θερμοκρασία των 769°C (κρίσιμο σημείο A_2) , ο σίδηρος έχει την αλλοτροπική μορφή α , στο χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα (BCC) και είναι μαγνητικός.

Μετά το κρίσιμο σημείο A_2 , μέχρι την θερμοκρασία 909°C (κρίσιμο σημείο A_3) ο α - σίδηρος γίνεται αμαγνητικός .

Ο α – σίδηρος δεν διαλύει τον άνθρακα.

β) *Αλλοτροπική μορφή γ – σιδήρου :*

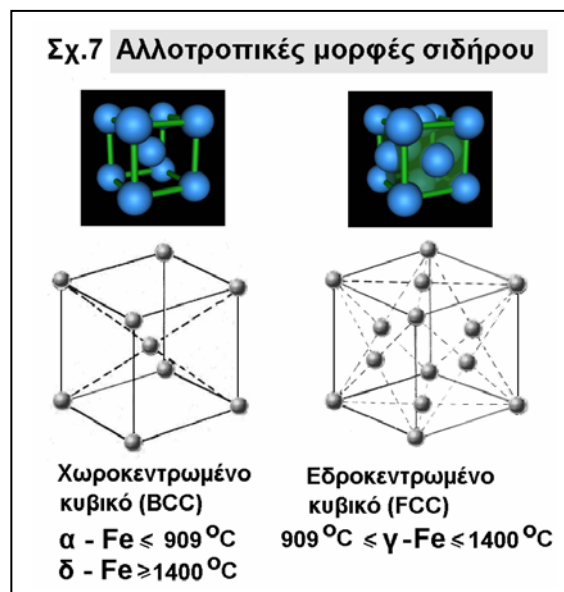
Αμέσως μετά το κρίσιμο σημείο A_3 , ο α – σίδηρος μετασχηματίζεται στην αλλοτροπική του μορφή γ – σιδήρου και η κρυσταλλική δομή του πλέγματος του γίνεται εδροκεντρωμένο κυβικό (FCC) και είναι αμαγνητικός.

Ο γ – σίδηρος μπορεί να διαλύσει τον άνθρακα . Πρέπει να τονιστεί ότι ο γ – σίδηρος μπορεί να υπάρξει στην θερμοκρασία περιβάλλοντος , όταν σε αυτό προστεθούν μικρές ποσότητες Ni ή Mn , που κατεβάζουν τα κρίσιμα σημεία.

γ) *Αλλοτροπική μορφή δ – σιδήρου*

Στη θερμοκρασία των 1400°C (κρίσιμο σημείο A_4) , ο σίδηρος παίρνει την αλλοτροπική του μορφή δ – σιδήρου , στο χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα (BCC) και είναι αμαγνητικός.

Στην θερμοκρασία των 1528°C , ο στερεός σίδηρος τήκεται και περνάει στην υγρή κατάσταση.



2.2 ΣΙΔΗΡΟΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ

Τα σπουδαιότερα σιδηρομεταλλεύματα από τα οποία εξάγεται σήμερα ο σίδηρος, είναι τα εξής:

α) Ο **μαγνητίτης** (Fe_3O_4), ο οποίος περιέχει 72,4% σίδηρο, αν είναι καθαρός.

β) Ο **αιματίτης** (Fe_2O_3), που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των σιδηρομεταλλευμάτων σ' όλο τον κόσμο και έχει χρώμα κόκκινο (ερυθρό), καφέ ή μαύρο και περιέχει σίδηρο από 40% έως 65%.

γ) Ο **λειμωνίτης** και άλλοι **υδροξειδιακοί** τύποι οξειδίων του σιδήρου με χημική σύνθεση, που μεταβάλλεται από $2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ σε $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ και με περιεκτικότητα σε σίδηρο από 20% έως 55%.

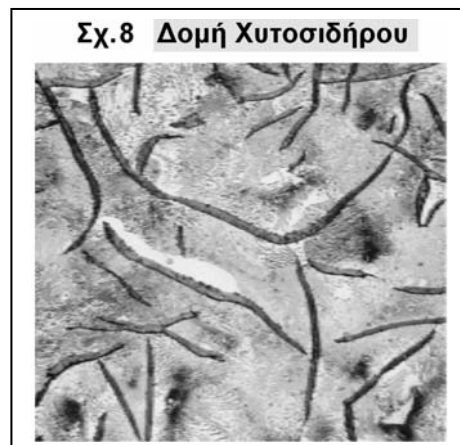
δ) Ο **σιδηρίτης** (FeCO_3) ή άλλοι τύποι ανθρακικών οξειδίων του σιδήρου με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και

ε) ο **σιδηροπυρίτης** (FeS_2).

2.3 ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ

Ο **χυτοσίδηρος** (κοινώς **μαντέμι**) είναι κράμα σιδήρου άνθρακα με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 2% έως 6,67 % κ.β. Πρακτικά η περιεκτικότητα σε άνθρακα του χυτοσιδήρου είναι από 2,5% έως περίπου 4% κ.β.

Στην πραγματικότητα με τον όρο «χυτοσίδηρος» εννοείται μία οικογένεια κραμάτων τα οποία εκτός από άνθρακα, μπορεί να περιέχουν και άλλα στοιχεία όπως πυρίτιο, κ.λπ. Οι χυτοσίδηροι είναι εύθραυστοι σε σύγκριση με τον χάλυβα, αλλά παρουσιάζουν πιο καλή αντίσταση στην τριβή και την διάβρωση.



2.3.1 Παραγωγή Χυτοσιδήρου

Γενικά στην μεταλλουργία του σιδήρου προηγείται η παραγωγή του χυτοσιδήρου από τα σιδηρομεταλλεύματα και μετά ακολουθεί η επεξεργασία του χυτοσιδήρου για την παραγωγή σφυρήλατου σιδήρου και χάλυβα.

Ο πρωτογενής χυτοσίδηρος παράγεται με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο και χύνεται στην μορφή μικρών πλινθωμάτων, που αποκαλούνται «χελώνες» (αγγλ., pig iron). Με την ανάτηξη πρωτογενούς χυτοσιδήρου και την προσθήκη κραματικών στοιχείων παράγονται διάφορες ποιότητες χυτοσιδήρου που προορίζονται για διαφορετικές χρήσεις.

Οι δευτερογενείς χυτοσίδηροι διακρίνονται συνήθως σε φαιούς (γκρίζους) και λευκούς, ανάλογα με το χρώμα που παρουσιάζουν οι επιφάνειες θραύσης τους και ανάλογα με την μορφή του άνθρακα που περιέχουν.

Για την παρασκευή του χυτοσιδήρου χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι:

1) Η μέθοδος της υψικαμίνου

2) Η μέθοδος για φτωχά σιδηρομεταλλεύματα που λέγεται μέθοδος Κρουπ -Ρεν.

Θα παρουσιάσουμε την παρασκευή του χυτοσιδήρου με την **μέθοδο της υψικαμίνου**. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή για την παρασκευή του χυτοσιδήρου χρησιμοποιούνται

κατακόρυφες κυλινδρικές κάμινοι (καμίνια), που έχουν διάμετρο 7 έως 8 m και ύψος 30 m περίπου. Τα καμίνια αυτά ονομάζονται **υψικάμινοι**.

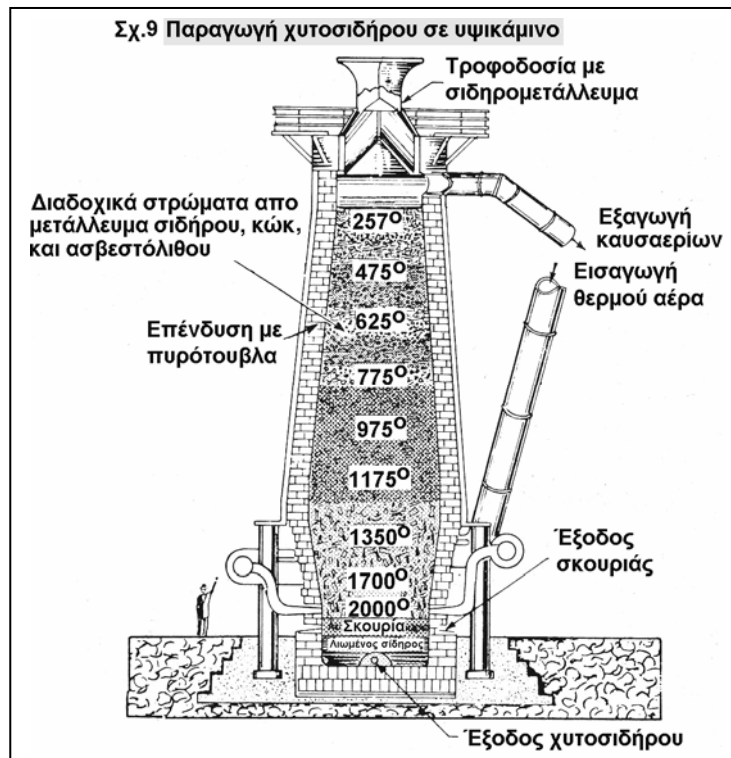
Οι υψικάμινοι αποτελούνται από χαλύβδινο μανδύα, που εσωτερικά είναι επενδυμένος με πυρίμαχες πλίνθους.

Από το στόμιο τροφοδοτήσεως της υψικαμίνου εισάγονται σε εναλλασσόμενα στρώματα τα μεταλλεύματα, άνθρακας (μεταλλουργικό κωκ) και συλλιπάσματα.

Ο άνθρακας χρειάζεται για τη θέρμανση της υψικαμίνου, για την αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου και για την ενανθράκωση του σιδήρου. Το μεταλλουργικό κωκ χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή, γιατί παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες συγκριτικά με τον απλό άνθρακα. Τα συλλιπάσματα είναι απαραίτητα για τον εξής λόγο: Όπως γνωρίζουμε, τα μεταλλεύματα περιέχουν ξένες προσμίξεις, που πρέπει να αποχωριστούν από το σίδηρο. Τα συλλιπάσματα λοιπόν κατά την επεξεργασία του μεταλλεύματος στην υψικάμινο σχηματίζουν ενώσεις με αυτές τις προσμίξεις. Οι ενώσεις αυτές είναι οι σκουριές (σκωρία). Οι σκουριές, που σχηματίζονται, τήκονται εύκολα και έτσι αποχωρίζονται από το σίδηρο, που παράγεται. Το είδος των συλλιπασμάτων που χρησιμοποιούνται στις υψικαμίνους, εξαρτάται από το είδος των ξένων προσμίξεων που περιέχουν τα σιδηρομεταλλεύματα. Έτσι, π.χ. όταν τα μεταλλεύματα έχουν ασβεστολιθικές προσμίξεις, τα συλλιπάσματα είναι πυριτικές ενώσεις αογιλίου. Αντίθετα, όταν οι προσμίξεις είναι πυριτικές, τα συλλιπάσματα είναι ασβεστολιθικά. Και στις δυο περιπτώσεις οι ενώσεις που σχηματίζονται (οι σκουριές), είναι πυριτικές και αργλικές ενώσεις ασβεστίου.

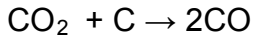
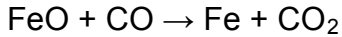
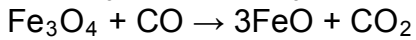
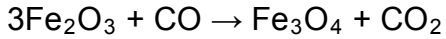
Ας δούμε τώρα τις διάφορες διαδικασίες, που λαμβάνουν χώρα στην υψικάμινο.

Από το κάτω μέρος της εισέρχεται ο αέρας, ο οποίος είναι τελείως ξερός γιατί τον έχουμε περάσει από Silicagel, που απορροφάει τους υδρατμούς. Ο αέρας της καύσεως προθερμαίνεται σε θερμοκρασία 800°C περίπου. Με τον αέρα αυτό καίγεται ο άνθρακας (κωκ), που βρίσκεται στο κάτω μέρος της υψικαμίνου και έτσι σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα, ενώ ο άνθρακας που βρίσκεται ψηλότερα, διαπυρώνεται. Το διοξείδιο αυτό ανεβαίνει λίγο ψηλότερα μέσα στην υψικάμινο. Εκεί ανάγεται από το διάπυρο άνθρακα και σχηματίζει μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το μονοξείδιο του άνθρακα, που σχηματίζεται, ανεβαίνει στην

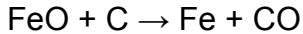


επόμενη ζώνη της υψικάμινου που λέγεται ζώνη αναγωγής. Εκεί ανάγει τα διάφορα οξειδία του σιδήρου (Fe_2O_3 , FeO , Fe_3O_4).

Συνοπτικά οι διάφορες χημικές αντιδράσεις, που γίνονται μέσα στην υψικάμινο από πάνω προς τα κάτω, δηλαδή με αύξηση της θερμοκρασίας της, είναι οι εξής:



Μικρές ποσότητες FeO , που διαφεύγουν την αναγωγή, ανάγονται στη μεσαία - την κάτω ζώνη της καμίνου από το C κατά την αντίδραση:



Η αναγωγή γίνεται σε θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σιδήρου με αποτέλεσμα τη στερεοποίηση του σιδήρου που παράγεται.

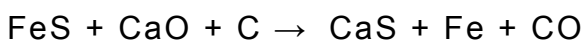
Ο σίδηρος αυτός κατεβαίνει σε χαμηλότερη ζώνη της υψικάμινου και εκεί παίρνει άνθρακα, δηλαδή σχηματίζει κράμα με άνθρακα.

Το κράμα αυτό του σιδήρου - άνθρακα (χυτοσίδηρος) είναι πιο εύτηκτο από τον καθαρό σίδηρο, δηλαδή τήκεται στους 1300°C περίπου. Έτσι, ρευστό πια το κράμα συγκεντρώνεται στο κατώτερο μέρος της υψικάμινου, ενώ στην επιφάνεια του επιπλέουν οι σκουριές, λιωμένες και αυτές και τελικά απομακρύνονται από το ειδικό στόμιο της υψικάμινου.

Ο σίδηρος έχει μεγάλη χημική συγγένεια με το θείο και σχηματίζει με αυτό θειούχο σίδηρο (FeS).

Το μεταλλουργικό κωκ, που χρησιμοποιούμε στις υψικάμινους, περιέχει από 0,5% έως 2,0% S , συνήθως σε θειούχους ενώσεις και οργανικό θείο.

Αυτό το θείο στη θερμοκρασία της καμίνου είναι πτητικό και ενώνεται με το μέν σίδηρο και δίνει FeS μετά δε του CaC και δίνει CaS . Έτσι, ο θειούχος σίδηρος που σχηματίζεται όταν αρχίσει να τήκεται κατεβαίνει μέσω της σκουριάς, η οποία κρατάει το περισσότερο μέρος του θείου σύμφωνα με τη σχέση:



Ο ρευστός χυτοσίδηρος χύνεται στο κατώτερο στόμιο της καμίνου ή σε βαρέλια (κάδους), για να τον μεταφέρουν σε εγκαταστάσεις παραγωγής χάλυβα, ή σε καλούπια (τύπους), όπου αποψύχεται και στερεοποιείται σε χελώνες (πλινθώματα).

Ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατούσε στο κατώτερο μέρος της υψικάμινου και σύμφωνα με την ταχύτητα αποψύξεως του χυτοσιδήρου, παίρνουμε λευκό χυτοσίδηρο ή φαιό χυτοσίδηρο.

Από το επάνω μέρος της υψικάμινου βγαίνει το μίγμα των αερίων σε θερμοκρασία περίπου 400°C , που περιέχει κυρίως άζωτο και μονοξείδιο του άνθρακα (έως 24%). Επομένως αυτό το μίγμα είναι καύσιμο, γι αυτό και το εκμεταλλευόμαστε. Αρκετό μέρος από αυτό χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα της καύσεως, που εισάγεται στην υψικάμινο με θερμοκρασία 800°C περίπου.

Η προθέρμανση του αέρα της καύσεως γίνεται με τους λεγόμενους προθερμαντήρες. Οι προθερμαντήρες είναι ψηλοί πύργοι, όσο περίπου και η υψικάμινος.

2.3.2 Ιδιότητες του Χυτοσιδήρου

Η περιεκτικότητα του χυτοσιδήρου σε άνθρακα μπορεί να φτάσει και το 6,67% (σημείο δημιουργίας καθαρού σεμεντίτη: Fe_3C), αλλά σπανίως ξεπερνά το 4,3% (ευτηκτικό σημείο του διαγράμματος φάσεων Fe–C). Εκτός από άνθρακα, οι κοινοί χυτοσίδηροι περιέχουν πυρίτιο (1–3%) και μαγγάνιο (~0,5%), ενώ υπάρχουν και ισχυρά κραματωμένοι χυτοσίδηροι με υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο (4–20%) και χρώμιο (~3%).

Γενικά, οι χυτοσίδηροι παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά :

- α) χαμηλό κόστος παραγωγής,
- β) χαμηλό σημείο τήξης (1140–1200°C),
- γ) ευκολία χύτευσης σε συγκεκριμένες διαστάσεις,
- δ) ευκολία μηχανουργικής κατεργασίας,
- ε) σχετικά καλή αντίσταση στην μηχανική φθορά και την διάβρωση,
- στ) υψηλή ικανότητα απορρόφησης κραδασμών, και
- ζ) σχετικά καλή μηχανική αντοχή (108–340 MPa).

2.3.3 Φαίος χυτοσίδηρος

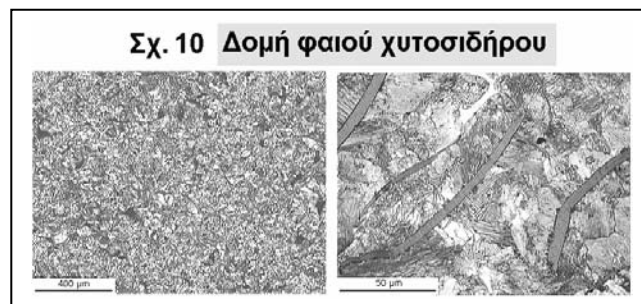
Ο φαίος ή γκριζός χυτοσίδηρος (αγγλ., grey cast iron) παράγεται με την ανάτηξη πρωτογενούς χυτοσιδήρου, την προσθήκη πυριτίου και την αργή ψύξη του τήγματος. Στους φαίους χυτοσιδήρους ο σεμεντίτης διασπάται και έτσι ελευθερώνεται γραφίτης.

Η προσθήκη πυριτίου και η αργή ψύξη του τήγματος ευνοούν τον σχηματισμό γραφίτη, που είναι και η πλέον σταθερή φάση.

Ο φαίος χυτοσίδηρος αποτελεί ιδανικό υλικό για μερικά μαγειρικά σκεύη , κρουούς πυροσβεστικής κ.α.

Ένα άλλο κραματικό στοιχείο που ευνοεί τον σχηματισμό γραφίτη είναι το δημήτριο. Ο γραφίτης παίρνει την μορφή φύλλων μεταξύ των κόκκων του ευτηκτοειδούς περλίτη [εναλλασσόμενα φύλλα ή «λαμέλες» φερρίτη ($\alpha\text{-Fe}$) – σεμεντίτη (Fe_3C)]. Επιπλέον, το πυρίτιο και ο φώσφορος ταπεινώνουν το σημείο τήξης του χυτοσιδήρου και γι' αυτό συνυπολογίζονται στο λεγόμενο περιεχόμενο *ισοδύναμου άνθρακα*.

Ο γραφίτης κάνει τον χυτοσίδηρο πιο εύθραυστο, αλλά ταυτοχρόνως αυξάνει την ευκολία μηχανικής κατεργασίας (δρα ως λιπαντικό), την αντίσταση στην διάβρωση και την ικανότητα απορρόφησης κραδασμών. Οι φαίιοι χυτοσίδηροι παρουσιάζουν επίσης υψηλή θερμική αγωγιμότητα και γι' αυτό χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σκευών κουζίνας και φρένων.



2.3.4 Όλκιμος χυτοσίδηρος ή χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη

Μια ειδική κατηγορία φαιού χυτοσιδήρου είναι ο *όλκιμος χυτοσίδηρος ή χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη* (αγγλ., ductile cast iron ή nodular iron), ο οποίος παράγεται με την προσθήκη μαγνησίου (στην μορφή σιδηρομαγνησίου) σε τήγμα πρωτογενούς χυτοσιδήρου. Το μαγνήσιο εμποδίζει την ανάπτυξη των φύλλων γραφίτη ο οποίος με την παρουσία του μαγνησίου σχηματίζει σφαιρίδια. Ο σφαιροειδής γραφίτης προσδίδει στον χυτοσίδηρο πιο υψηλή μηχανική αντοχή (> 400 MPa) και πιο υψηλή αντοχή στην διάβρωση. Από το χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη, είναι δυνατόν να παραχθούν χυτά μεγάλου πάχους. Γι' αυτό οι όλκιμοι χυτοσίδηροι χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών: σωληνώσεις αποχετεύσεων, εξαρτήματα μηχανών, εξαρτήματα ανεμογεννητριών, κ.λπ.

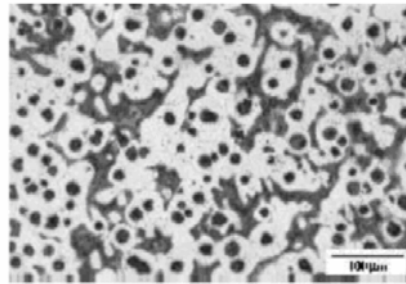
Ένας τυπικός όλκιμος χυτοσίδηρος περιέχει περίπου 3,3% C, 2,5% Si, 0,3% Mn και 0,03–0,05% Mg.

Εκτός από τους απλούς όλκιμους χυτοσιδήρους, υπάρχουν και οι *κραματωμένοι όλκιμοι χυτοσίδηροι*, που περιέχουν υψηλά ποσοστά άλλων κραματικών στοιχείων όπως Ni, Cr, κ.ά.

Οι κραματωμένοι όλκιμοι χυτοσίδηροι υπόκεινται σε θερμική κατεργασία και διακρίνονται ανάλογα με την κύρια φάση τους (ωστενιτικοί, μπαινιτικοί, κ.λπ.).

Ορισμένοι κραματωμένοι όλκιμοι χυτοσίδηροι παρουσιάζουν πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή που φτάνει και τα 1600 MPa (π.χ. ωστενιτικός όλκιμος χυτοσίδηρος ASTM A897 Grade 1600/1300).

Σχ.11 Δομή όλκιμου χυτοσιδήρου (σφαιροειδούς γραφίτη)



2.3.5 Λευκοί χυτοσίδηροι

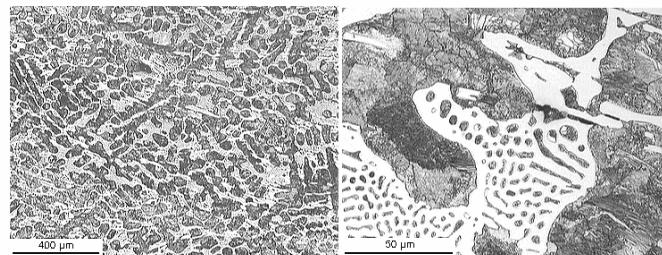
Ο *λευκός χυτοσίδηρος* (αγγλ., white cast iron) παράγεται με την ανάπτυξη πρωτογενούς χυτοσιδήρου και την γρήγορη ψύξη του τήγματος. Η ταχεία ψύξη του τήγματος προκαλεί τον σχηματισμό μετασταθούς σεμεντίτη (Fe_3C) στα όρια των κόκκων περλίτη. Η προσθήκη χρωμίου ευνοεί επίσης τον σχηματισμό μετασταθούς σεμεντίτη.

Ο σεμεντίτης, που είναι λευκός, σπάζει εύκολα και γι' αυτό ο λευκός χυτοσίδηρος είναι πολύ ψαθυρός. Ωστόσο, εξαιτίας του σεμεντίτη, ο λευκός χυτοσίδηρος είναι πιο σκληρός σε σύγκριση με τον φαιό χυτοσίδηρο.

Ο λευκός χυτοσίδηρος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν φθινό και σκληρό υλικό, όπως π.χ. στην κατασκευή εξαρτημάτων για αντλίες, στην κατασκευή σφαιρών για σφαιρόμυλους λειοτρίβησης υλικών, κ.λπ.

Λευκοί χυτοσίδηροι κραματωμένοι με χρώμιο χρησιμοποιούνται για την χύτευση αντικειμένων πολύ μεγάλων διαστάσεων, όπως π.χ. γιγαντιαίες προπέλες βάρους 10 τόνων.

Σχ.12 Δομή λευκού χυτοσιδήρου



Η ταχεία ψύξη τήγματος πρωτογενούς χυτοσιδήρου είναι δύσκολη όταν το καλούπι έχει μεγάλες διαστάσεις. Έτσι, συμβαίνει ορισμένα αντικείμενα φτιαγμένα από χυτοσίδηρο να έχουν σκληρή επιφάνεια από λευκό χυτοσίδηρο και εσωτερικό από πιο μαλακό φαιό χυτοσίδηρο.

2.3.6 Ελατοί η μαλακοί χυτοσίδηροι

Μια ειδική κατηγορία λευκού χυτοσιδήρου είναι ο *ελατός* ή *μαλακτός* χυτοσίδηρος (αγγλ., malleable iron), ο οποίος παράγεται με ανόπτηση κοινού λευκού χυτοσιδήρου στους 900°C. Κατά την διάρκεια της ανόπτησης, ο σεμεντίτης διασπάται σε γραφίτη, που σχηματίζει ροζέτες - σφαιρίδια γραφίτη. Σε σύγκριση με τους όλκιμους χυτοσιδήρους, τα σφαιρίδια γραφίτη στον ελατό χυτοσίδηρο είναι πιο μικρά και πιο διάσπαρτα. Ο ελατός χυτοσίδηρος βρίσκει εφαρμογές στην παραγωγή μικρών χυτών αντικειμένων, (πυξίδες διαφορικών, τύμπανα πέδησης, εξαρτήματα υδραυλικών εγκαταστάσεων κ.α.).

2.3.7 Ειδικό χυτοσίδηρο με προσθήκες μετάλλων

Οι ειδικοί χυτοσίδηροι είναι κοινόχυτοσίδηροι, στους οποίους προσθέτουμε στοιχεία (προσθήκες) με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών και άλλων ιδιοτήτων τους.

Η επίδραση των προσθηκών στην κρυσταλλική δομή και τις ιδιότητες των χυτοσιδήρων είναι, τις περισσότερες φορές, ίδια με εκείνη που έχουν οι προσθήκες στους χάλυβες. Έτσι χρησιμοποιούνται προσθήκες για να βελτιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες του χυτοσιδήρου, να λεπτύνουν τους κόκκους, να αυξήσουν τη σκληρότητα ή και να δώσουν, αν χρειαστεί, μαρτενσίτη ή και ωστενίτη στη θερμοκρασία δωματίου. Πρέπει να τονίσουμε ότι ο γραφίτης θα πρέπει να κατανέμεται ομοιογενώς στη μάζα του χυτοσιδήρου και να βρίσκεται με μορφή, όσο γίνεται, λεπτότερων τεμαχιδίων. Συνηθισμένες προσθήκες που χρησιμοποιούνται είναι το νικέλιο, το χρώμιο, το μολυβδαίνιο και ο χαλκός.

α) *Το νικέλιο*, όπως είναι γνωστό, υποβοηθάει το σχηματισμό γραφίτη, λιγότερο όμως από το πυρίτιο. Ελαττώνει επίσης το μέγεθος των κόκκων. Ιδιαίτερα, αν το νικέλιο προστεθεί σε τεμάχια των οποίων η διατομή μεταβάλλεται, εμποδίζει το σχηματισμό χοντρών κόκκων στις διατομές μεγάλου πάχους, όπως επίσης και το σχηματισμό λευκού χυτοσιδήρου στις λεπτές διατομές, εξαιτίας της τάσεως που έχει να γραφίτοποιεί το σεμεντίτη.

β) *Το χρώμιο* σχηματίζει σκληρότερα και σταθερότερα καρβίδια από το σεμεντίτη. Λόγω αυτών των καρβιδίων αυξάνεται η σκληρότητα του χυτοσιδήρου και επομένως και η αντοχή του στη φθορά από τριβή.

Όπως και στα χαλυβοκράματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε προσθήκες, έτσι και στους χυτοσιδήρους ο συνδυασμός νικελίου και χρωμίου δίνει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα.

γ) *Το μολυβδαίνιο* σχηματίζει και αυτό, όπως και το χρώμιο, σκληρά καρβίδια και επομένως συντελεί στην αύξηση της σκληρότητας, ιδιαίτερα στα χοντρά τεμάχια. Κάνει ακόμη περισσότερο ομοιογενή την κρυσταλλική δομή των χυτοσιδήρων. Προσθήκη 0,50% περίπου μολυβδαίνιου βελτιώνει σχετικά τη δυσθραυστότητα.

δ) Το βανάδιο καθιστά το χυτοσίδηρο περισσότερο ανθεκτικό στη θερμοκρασία (πυρίμαχο), γιατί τα καρβίδια που σχηματίζονται δεν διασπώνται και σε αρκετά υψηλές ακόμη θερμοκρασίες.

ε) Ο χαλκός βελτιώνει την αντοχή του χυτοσιδήρου στη διάβρωση.

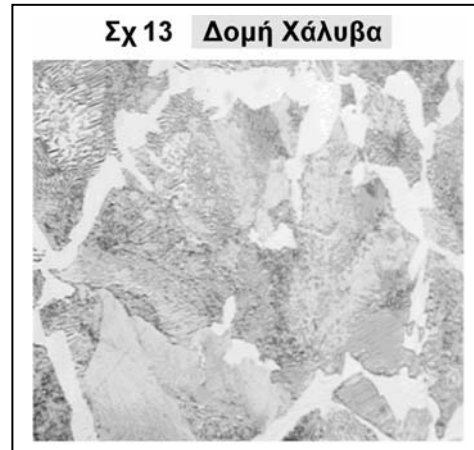
2.4 ΧΑΛΥΒΑΣ

Ο **χάλυβα** (κοινώς **ασάλι**) είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2% κ.β . Πρακτικά η περιεκτικότητα σε άνθρακα του χάλυβα είναι από 0,01% έως περίπου 1,5% κ.β. Στους χάλυβες υπάρχουν και σε μικρότερα ποσοστά μαγγάνιο , πυρίτιο , φώσφορος , θείο και οξυγόνο.

Παρατήρηση :

Διευκρινίζουμε ότι ο άνθρακας στους χάλυβες , δεν βρίσκεται με την ελεύθερη μορφή του (γραφίτης) , αλλά με την μορφή χημικής ένωσης καρβιδίου , που ονομάζεται **σεμεντίτης** (Fe_3C).

Ο σεμεντίτης έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα ίση με 6,67% κ.β .

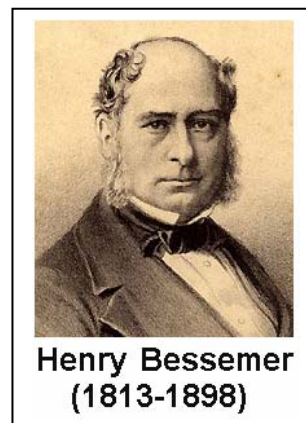


2.4.1 Ιστορία του χάλυβα

Η ιστορία του χάλυβα ξεκινά γύρω στο 1000 π.Χ., όταν μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συστηματικά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου .Τα χαλύβδινα σπαθιά της εποχής εκείνης χρησιμοποίησαν οι Έλληνες Δωριείς και κυριάρχησαν έναντι των ορείχαλκων όπλων των Μυκηνών στην Πελοπόννησο . Επίσης και άλλοι λαοί όπως οι Ινδοί, οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες γνώριζαν την τέχνη της παραγωγής σπογγώδους σιδήρου και χάλυβα, καθώς και την τέχνη της σκλήρυνσης του χάλυβα με θέρμανση και απότομη ψύξη («βαφή»).

Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα αρχίζει στα μέσα του 19ου αιώνα, όταν ο άγγλος εφευρέτης Χένρυ Μπέσσεμερ (Henry Bessemer), ανακάλυψε πως να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο («μεταλλάκτη») επενδυμένο με βασικά πυρίμαχα τούβλα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμιнос Siemens-Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Μπέσσεμερ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου.

Η κάμιнос Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργόβρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον.



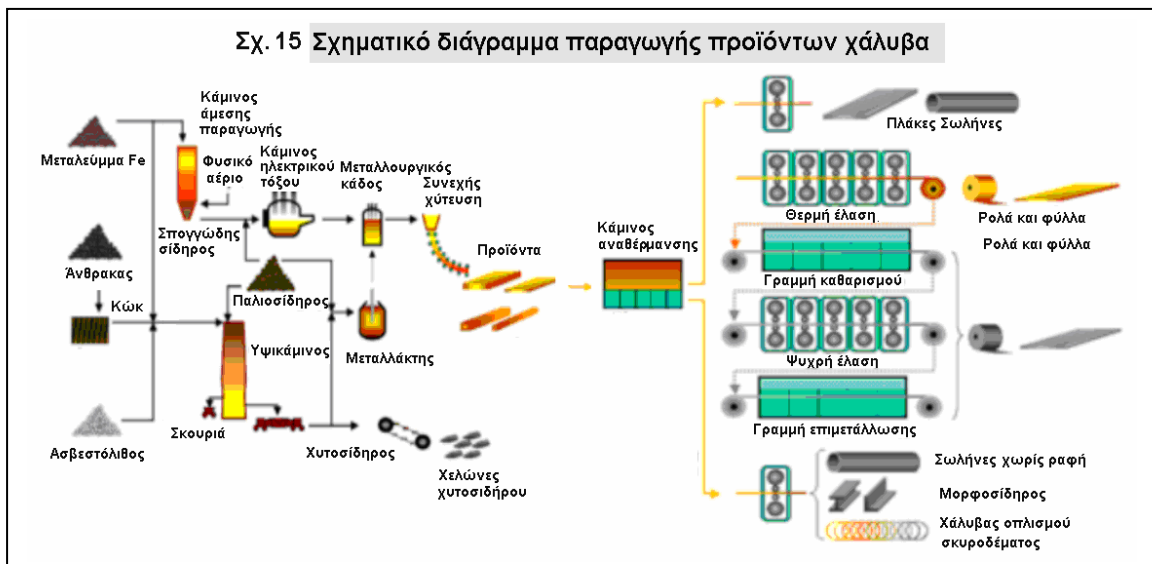
2.4.2 Η παραγωγή του χάλυβα

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους :

1^η μέθοδος : με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.

2^η μέθοδος : με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (αγγλ., Direct Reduced Iron ή DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.

3^η μέθοδος : με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).



2.4.3 Ταξινόμηση τύπων χάλυβα

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (αγγλ. grades) ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την παραπαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή και την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

α) *Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες* (αγγλ. carbon steels). Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%).

Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα.

Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- i) χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (αγγλ. mild steels· $C < 0,30\%$),
- ii) χάλυβες μέτριου άνθρακα (αγγλ. medium carbon steels· $0,30\% < C < 0,60\%$),
- iii) χάλυβες υψηλού άνθρακα (αγγλ. high carbon steels· $0,60\% < C < 1,00\%$)
- iv) χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (αγγλ. ultra-high carbon steels· $1,00\% < C < 2,00\%$)^[3].

β) κραματωμένοι χάλυβες (αγγλ. alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι:

- i) οι ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$), και οι
- ii) ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες ($Cr > 10,5\%$), οι ταχυχάλυβες ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$), κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

α) χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.).

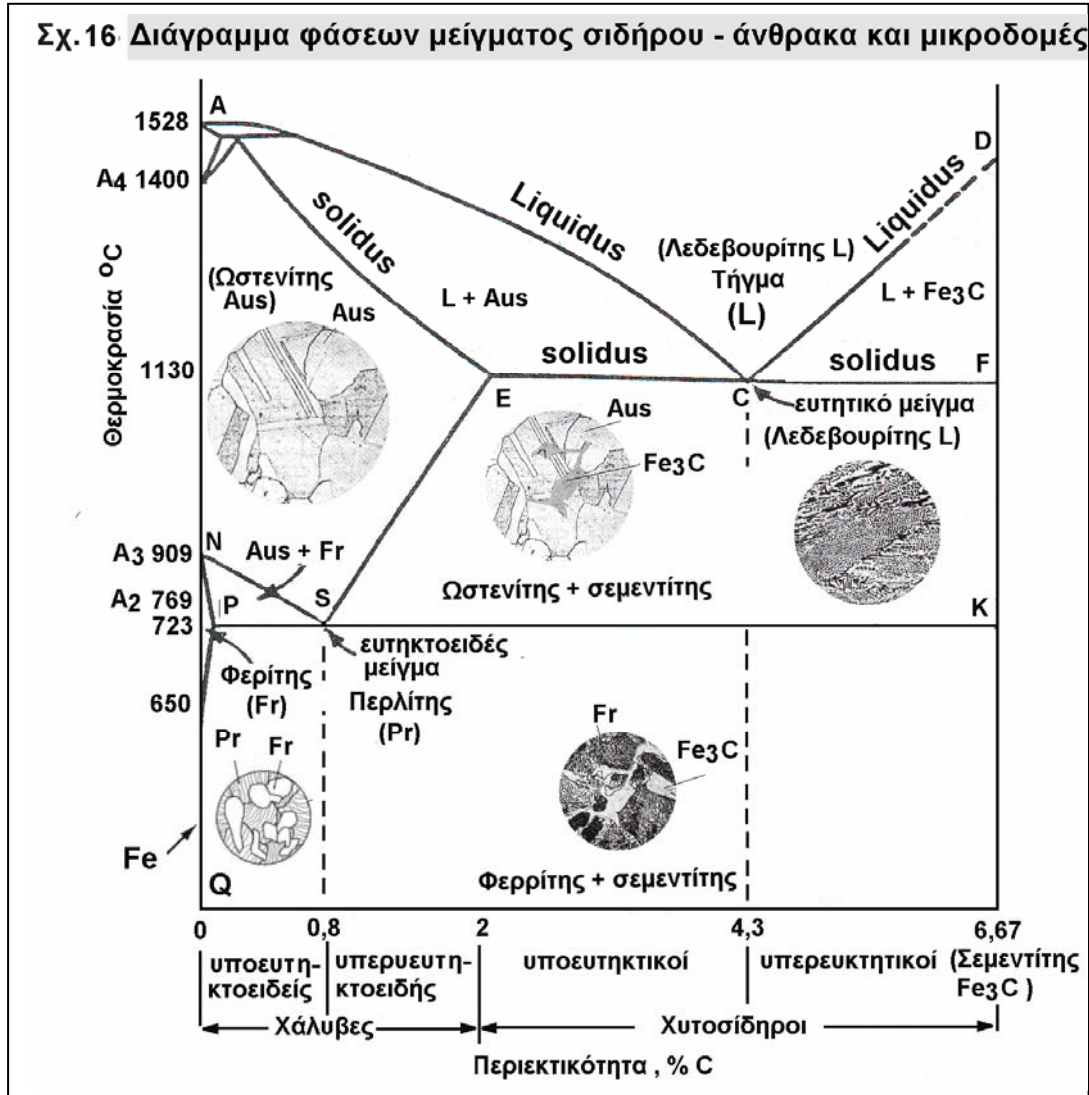
β) χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

γ) Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λπ. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους.

Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm^2).

2.5 Το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου - άνθρακα και οι μικροδομές του

Στο σχήμα 16 που ακολουθεί δείχνεται το χαρακτηριστικό διαγράμματα φάσεων του κράματος σιδήρου – άνθρακα μαζί με μερικές μικροδομές του και τις ονομασίες τους.



Στο σχήμα 16 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 δυο 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 ασχοληθούμε με δυο στερεά διαλύματα, δηλαδή τον ωστενίτη και το φερρίτη και με το σεμεντίτη (καρβίδιο). Όπως έχουμε πει, 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. 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 των 769°C. Στις πρακτικές εφαρμογές ο φερρίτης θεωρείται ότι έχει τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες με τον καθαρό σίδηρο. Ο σεμεντίτης, όπως είδαμε, είναι χημική ένωση και σχηματίζεται όταν η περιεκτικότητα του κράματος σε άνθρακα είναι μεγαλύτερη από την περιεκτικότητα κορεσμού του φερρίτη (πάνω από 0,03%). Είναι πολύ σκληρός (η σκληρότητα του υπερβαίνει τους 700 βαθμούς Brinell) και πολύ εύθραυστος.

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 του κορεσμού του σε άνθρακα σε αναλογία 2% περίπου 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 μεν τα κράματα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2% στο διάστημα θερμοκρασιών από 1528°C έως 1130°C, για δε τα 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 ονομάζεται λεδεμβουρίτης, σχηματίζεται δε 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, σχηματίζεται δε από πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ φερρίτη και σεμεντίτη, όπως θα δούμε παρακάτω. Αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα του σχήματος 17 θα διακρίνομε γενικά τις εξής κατηγορίες κραμάτων σιδήρου - σεμεντίτη, αφού λάβουμε υπόψη μας τα σημεία E και C του διαγράμματος:

α) $n(C) < 2,0\%$: Χάλυβες (πρακτικά μέχρι 1,5%).

β) $2,0 < n(C) < 4,3\%$: Υποευτηκτικά κράματα.

γ) $n(C) = 4,3\%$: Ευτηκτικό κράμα (λεδεμβουρίτης).

δ) $n(C) > 4,3\%$: Υπερευτηκτικά κράματα.

Κάθε σημείο δεξιά από τη γραμμή ΡΟ του διαγράμματος δείχνει ότι ο φερρίτης είναι πια κορεσμένος σε άνθρακα και επομένως ο υπόλοιπος άνθρακας του κράματος θα πρέπει να υπάρχει σ' αυτό ως σεμεντίτης. Η σημασία της κλίσεως της γραμμής ΡΟ είναι ότι, ενώ ο άνθρακας διαλύεται μέσα στον α-σίδηρο στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά ποσοστό περίπου 0,008%, στους 723°C διαλύεται κατά 0,03%.

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

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

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

Ο χάλυβας αυτός όταν πυρωθεί σε θερμοκρασία ανώτερη του σημείου 1 (ανώτερου κρίσιμου σημείου) μετασχηματίζεται εντελώς σε ωστενίτη.

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. Καθώς συνεχίζεται η πτώση της θερμοκρασίας του κράματος, οι κρύσταλλοι του φερρίτη αυξάνονται σε μέγεθος 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 την ψύξη ο χάλυβας φθάσει στη θερμοκρασία των 723°0 (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 μαζί με το σίδηρο σεμεντίτη. Πυρήνες σεμεντίτη σχηματίζονται τυχαία στα όρια των κόκκων του ωστενίτη. Από τους πυρήνες αυτούς αναπτύσσονται πλακοειδείς κρυσταλλίτες σεμεντίτη.

Η αφαίρεση του άνθρακα για να σχηματισθεί 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 σχηματισθεί.

Μ' αυτό τον 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. 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 του σε άνθρακα. Όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα, αυξάνεται και η αναλογία του περλίτη.

2) Χάλυβας με $\pi(C) = 0,80\%$ (ευτηκτοειδής)

Ο χάλυβας αυτός διατηρείται σαν ωστενίτης μέχρι τη θερμοκρασία των 723°C (ευτηκτοειδές σημείο S).

Ο μετασχηματισμός του σε περλίτη αρχίζει και τελειώνει στη θερμοκρασία αυτή. Αφού ο άνθρακας που εξετάζεται στην περίπτωση αυτή περιέχει 0,80% άνθρακα, είναι επόμενο ότι στο σύνολο του θα έχει κρυσταλλική δομή περλίτη.

3) Χάλυβας με $\pi(C) = 7,20\%$ (υπερευτηκτοειδής)

Ο χάλυβας αυτός θα αρχίσει να μετασχηματίζεται από την κατάσταση του ωστενίτη, 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.

Η μορφή του σεμεντίτη αυτού είναι βελονοειδής, επικάθεται δε αυτός στα όρια των κόκκων του ωστενίτη. Συνέπεια αυτού είναι να γίνεται ο ωστενίτης προοδευτικά φτωχότερος σε άνθρακα και όταν η θερμοκρασία φθάσει τους 723°C (σημείο 2'), τότε ο ωστενίτης θα περιέχει 0,80% άνθρακα. Ο ωστενίτης αυτός θα μετασχηματισθεί, κατά τα γνωστά, ολόκληρος σε περλίτη. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κάθε υπερευτηκτοειδής χάλυβας θα έχει στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κρυσταλλική δομή από κόκκους σεμεντίτη και περλίτη. Επειδή ο περλίτης περιέχει σταθερά 0,80% άνθρακα, έπεται ότι αύξηση της περιεκτικότητας του χάλυβα σε άνθρακα, συνεπάγεται ανάλογα αύξηση του πρωτογενή σεμεντίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΑ

3.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Οι χάλυβες είναι από τα λίγα εκείνα κράματα της τεχνικής, τα οποία με θερμικές κατεργασίες μπορούν να αποκτήσουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ή και να αλλάξουν μηχανικές ιδιότητες. Αυτό οφείλεται σε μετασχηματισμούς της κρυσταλλικής τους δομής, οι οποίοι γίνονται στη στερεά κατάσταση. Η εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών των χαλύβων έχει εξαιρετική σημασία. Είναι δυνατό τεμάχιο (κομμάτι) χάλυβα σταθερής χημικής συνθέσεως, μετά από κατάλληλη θερμική κατεργασία ή συνδυασμό θερμικών κατεργασιών, να αποκτήσει διαφορετική κάθε φορά κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκων. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε, ότι με τις θερμικές κατεργασίες δεν επενεργούμε ούτε στη μορφή του τεμαχίου ούτε στη χημική του σύνθεση, αλλά μόνο στο είδος της κρυσταλλικής του δομής. Οι μηχανικές ιδιότητες του κράματος εξαρτώνται από το είδος της κρυσταλλικής του δομής και από το μέγεθος των κόκκων του. Επειδή με τις θερμικές κατεργασίες, σύμφωνα με τον ορισμό που δώσαμε, μπορούμε να ρυθμίζουμε αυτά τα δυο, έπεται ότι μπορούμε να πετύχουμε τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε. Έτσι, με την εκτέλεση καταλλήλων θερμικών κατεργασιών, μπορούμε όχι μόνο να αυξήσουμε π.χ. τη σκληρότητα του χάλυβα, αλλά και να βελτιώσουμε την αντοχή, τη δυσθραυστότητα και την πλαστικότητα του.

Κατά την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών εξαιρετική σημασία έχουν οι επόμενοι παράγοντες, που συμβάλλουν στην τελική μορφή της κρυσταλλικής δομής του χάλυβα:

- α) Η ανώτατη θερμοκρασία στην οποία θερμαίνεται το τεμάχιο.
- β) Ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου σ' αυτή τη θερμοκρασία.
- γ) Η ταχύτητα αποψύξεως του τεμαχίου, που καθορίζεται από το μέσον που χρησιμοποιούμε (λουτρό) για να το ψύξουμε.
Το τεμάχιο π.χ. αποψύχεται γρηγορότερα, αν βαφτιστεί σε νερό μετά από τη θέρμανση του, παρά αν βαφτιστεί σε λάδι ή αφεθεί να αποψυχθεί σε ήρεμο αέρα.

3. 2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η θερμοκρασία αποτελεί πολύ σοβαρό παράγοντα κατά την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών .

Γενικά, για τη μέτρηση θερμοκρασιών κάτω από 500°C χρησιμοποιούνται τα *θερμόμετρα* , ενώ για τη μέτρηση θερμοκρασιών πάνω από 500°C χρησιμοποιούνται τα *πυρόμετρα*,

Η μέτρηση της θερμοκρασίας στα θερμικές διεργασίες των μετάλλων γίνεται:

- α) Με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού.
- β) Με θερμόμετρα διαστολής υγρού ή πίεσεως ατμού ή αερίου.
- γ) Με θερμόμετρα ηλεκτρικής αντιστάσεως.
- δ) Με θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα.
- ε) Με πυρόμετρα ακτινοβολίας

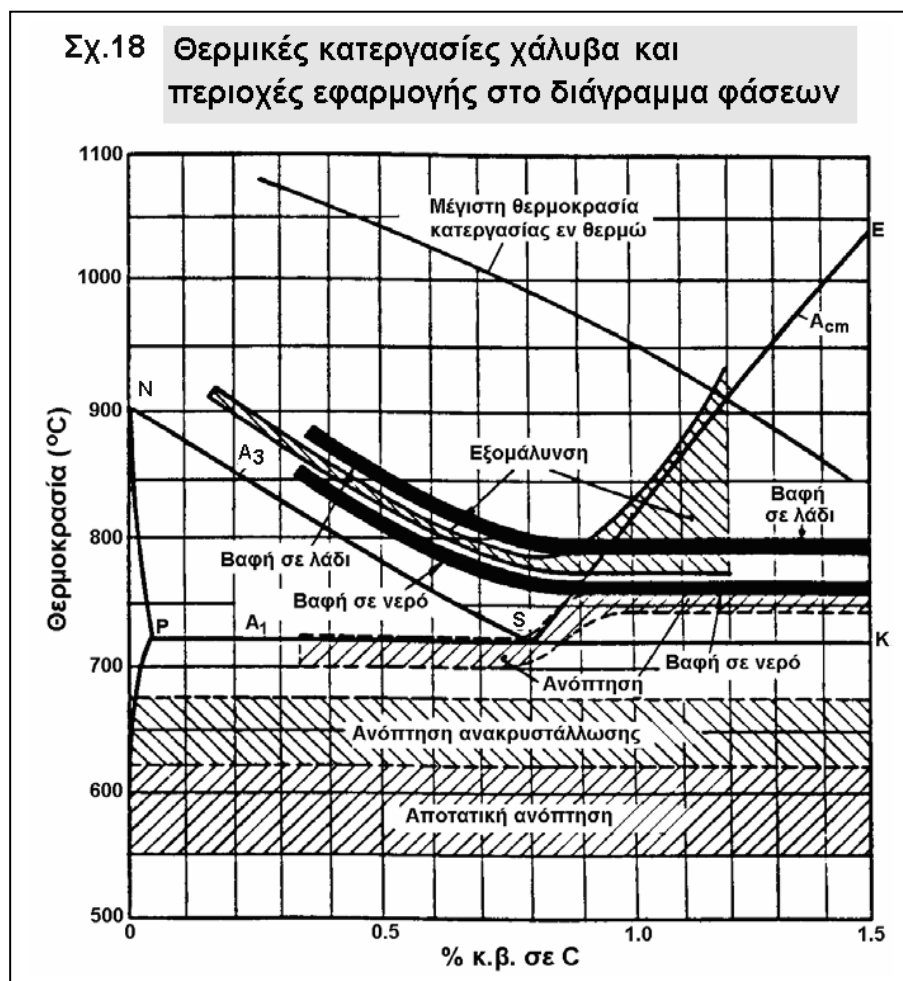
στ) με χρησιμοποίηση των δεικτών θερμοκρασίας Seger.

3. 3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Οι σπουδαιότερες θερμικές κατεργασίες, που χρησιμοποιούμε, είναι οι εξής:

- 1) Η πλήρης ανόπτηση ή απλά ανόπτηση.
- 2) Η εξομάλυνση.
- 3) Η ανόπτηση για ανακρυστάλλωση.
- 4) Η αποτατική ανόπτηση.
- 5) Η ανόπτηση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη.
- 6) Η βαφή
- 7) Η επαναφορά (η αναθέρμανση)
- 8) Η ενανθράκωση
- 9) Η κυάνωση
- 10) Η εναζώτωση
- 11) Η φλογοβαφή
- 12) Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Στο σχήμα 18 δείχνονται οι περιοχές των θερμοκρασιών διαφόρων ειδών θερμικών κατεργασιών του χάλυβα.



3. 4 ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΟΠΤΗΣΗ ΧΑΛΥΒΑ

Η πλήρης ανόπτηση του χάλυβα περιλαμβάνει αρχικά *θέρμανση* του χάλυβα σε ειδικό κλίβανο ανόπτησης ,μέχρι να αποκτήσει την δομή ωστενίτη , *παραμονή* σε κατάλληλη θερμοκρασία , ώστε να επέλθει ομοιογενοποίηση στην θερμοκρασία και στην δομή και στην συνέχεια *απόψυξη* μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος .



Η θερμική κατεργασία της πλήρους ανόπτησης του χάλυβα έχει σαν σκοπό :

- α) να κάνει τον χάλυβα μαλακό , ομοιογενή και λεπτόκοκκο
- β) να τον απαλλάξει από τυχόν εσωτερικές τάσεις
- γ) να βελτιώσει την κατεργαστικότητα του (στην τόνευση, πλάνισμα η φραιζάρισμα) .

Οι θερμικές κατεργασίες που υφίσταται ο χάλυβας κατά την πλήρη ανόπτηση , εξαρτώνται κυρίως από δύο παράγοντες :

1^{ος}) από το ποσοστό του άνθρακα σε αυτόν , (αν το ποσοστό του άνθρακα είναι μικρότερο από 0,8 % , τότε ο χάλυβας ονομάζεται *υποευκτητικός* , αν το ποσοστό του άνθρακα είναι μεγαλύτερο από 0,8% ο χάλυβας ονομάζεται *υπερευκτητικός* και αν το ποσοστό του άνθρακα είναι 0,8% , τότε ο χάλυβας ονομάζεται *ευκτητικός*)

2^{ος}) από το αν η απόψυξη που συνοδεύει την αρχική θέρμανση του χάλυβα είναι ταχεία η αργή η ενδιάμεση.

Η ταχύτητα απόψυξης του ωστενίτη , επηρεάζει τον μετασχηματισμό της κρυσταλλικής δομής , όπως δείχνουμε στο σχήμα 18 που ακολουθεί.



Έτσι διακρίνουμε τις εξής θερμικές κατεργασίες ανόπτησης του χάλυβα :

1^η Κατεργασία ανόπτησης : Πλήρης ανόπτηση υποευκτητικού χάλυβα με αρχική θέρμανση (μέχρι μετατροπής του σε ωστενίτη) και στην συνέχεια αργή ψύξη .

2^η Κατεργασία ανόπτησης: Πλήρης ανόπτηση υποευκτητικού χάλυβα με αρχική θέρμανση (μέχρι μετατροπής του σε ωστενίτη) και στην συνέχεια γρήγορη ψύξη.

3^η Κατεργασία : ανόπτησης Πλήρης ανόπτηση υπereυκτητικού χάλυβα με αρχική θέρμανση (μέχρι μετατροπής του σε ωστενίτη) και στην συνέχεια ενδιάμεση ταχύτητα ψύξης .

1^η ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΟΠΤΗΣΗΣ: Πλήρης ανόπτηση υποευκτητικού χάλυβα με αρχική θέρμανση και αργή ψύξη

Κατά την διαδικασία αυτή ο χάλυβας (μείγμα σιδήρου – άνθρακα), αρχικά θερμαίνεται σε ειδικό κλίβανο μέχρι να σχηματιστεί ωστενίτης , αυτό , όπως φαίνεται και από το διάγραμμα των φάσεων σιδήρου – άνθρακα , πραγματοποιείται στην θερμοκρασιακή περιοχή μεταξύ 910°C και 1400°C , συνήθως ανώτερη κατά 50°C από την ανώτερη κρίσιμη θερμοκρασία , η οποία εξαρτάται από την αναλογία του μείγματος σιδήρου - άνθρακα.

Ο χρόνος θέρμανσης είναι της τάξης 1 – 4 ώρες , συνήθως τόσο ώστε μετά την μετατροπή του περλίτη και του φερρίτη σε λεπτούς κόκκους ωστενίτη να μην αυξηθούν υπερβολικά οι κόκκοι αυτοί.

Για παράδειγμα αν υποβληθεί σε ανόπτηση χονδρόκοκος υποευκτηκτοειδής χάλυβας περιεκτικότητας 0,2 % σε άνθρακα , μετά τους 723°C , αρχίζει ο περλίτης να μετατρέπεται σε μικροσκοπικούς κρυστάλλους ωστενίτη , ενώ παρεμένουν οι σχετικά μεγάλοι κρυσταλλίτες του πρωτοευτηκτοειδούς φερρίτη. Στην θερμοκρασία όμως πάνω από 910°C , ο φερρίτης μετατρέπεται πλήρως σε ωστενίτη.

Στην συνέχεια ακολουθεί η αργή ψύξη του χάλυβα .

Ο μετασχηματισμός που υφίσταται ο χάλυβας στην διεργασία αυτή ονομάζεται περλιτικός **μετασχηματισμός** . Στην διεργασία αυτή έχουμε έντονο το φαινόμενο της διάχυσης του άνθρακα .

Στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σχηματίζεται φερρίτης και περλίτης, μόνο περλίτης, ή περλίτης και σεμεντίτης ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα. Αυτό όμως είναι αποτέλεσμα βραδύτατης αποψύξεως του κράματος (ωστενίτη) από θερμοκρασίες υψηλότερες του ανώτερου κρίσιμου σημείου. Η απόψυξη αυτή είναι γνωστή σαν *απόψυξη κάτω από συνθήκες ισορροπίας των φάσεων*.

Η ταχύτητα αποψύξεως στην περίπτωση αυτή είναι τόσο μικρή, ώστε να δοθεί στο κράμα η ευκαιρία και ο χρόνος που απαιτείται να αποκτήσει την κρυσταλλική του δομή με τρόπο πλήρη και φυσιολογικό. Έτσι **παίρνουμε το μαλακότερο χάλυβα και στην πιο ευσταθή του κατάσταση**.

2^η ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΟΠΤΗΣΗΣ: Πλήρης ανόπτηση υποευκτητικού χάλυβα με αρχική θέρμανση και γρήγορη ψύξη

Αν η απόψυξη του χάλυβα, που βρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη, γίνει απότομα (με μεγάλη ταχύτητα) και μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τότε η τελική κρυσταλλική δομή του δε θα προκύψει μετά από φυσιολογική εξέλιξη.

Γενικά θα παρουσιαστούν νέα μικροκρυσταλλογραφικά είδη με άλλο σχήμα, μέγεθος και κατανομή. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα.

Ας εξετάσουμε τώρα με περισσότερη λεπτομέρεια, τι συμβαίνει στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα μετά από απότομη απόψυξη του μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Παίρνουμε τεμάχιο ανθρακούχου ευτηκτοειδούς χάλυβα, δηλαδή με $\pi(C) = 0,80\%$, το οποίο πυρώνουμε σε θερμοκρασία περίπου 50°C πάνω από τους 723°C . Το τεμάχιο παραμένει στη θερμοκρασία αυτή τόσο χρόνο, ώστε να αποκτήσει δομή ωστενίτη. Μετά αποψύχεται απότομα μέσα σε λουτρό ψυχρού νερού ή αλατούχου νερού. Στην περίπτωση αυτή έχουμε, όπως λέμε, τυπική βαφή του χάλυβα. Αποτέλεσμα της απότομης αποψύξεώς του είναι η εμφάνιση στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ενός νέου κρυσταλλικού είδους που ονομάζεται **μαρτενσίτης**. Αυτός είναι εντελώς διαφορετικός από τον περλίτη, ο οποίος σχηματίζεται, όταν η απόψυξη του χάλυβα είναι ήρεμη. Ο μαρτενσίτης αποτελείται από λεπτούς βελονοειδείς κρυσταλλίτες, πολύ σκληρούς και εύθραυστους, που προσανατολίζονται κατά τις πλευρές ισόπλευρου τριγώνου κατά προσέγγιση. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 19.



Συνοπτικά ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη γίνεται ως εξής: Ο ωστενίτης είναι στερεό διάλυμα παρεμβολής άνθρακα σε γ -σίδηρο. Κατά την απόψυξη ο γ -σίδηρος μετασχηματίζεται σε α -σίδηρο, αλλά όμως, επειδή η απόψυξη έγινε απότομα, ο άνθρακας που βρίσκεται στο πλέγμα του γ -σιδήρου, δεν μπορεί να εγκαταλείψει το πλέγμα του α -σιδήρου, αν και δεν διαλύεται σε αυτό. Επομένως, αναγκαστικά ο άνθρακας παραμένει κλεισμένος στον α -σίδηρο (φερρίτη). Ο μαρτενσίτης επομένως είναι φερρίτης υπερκορεσμένος σε άνθρακα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, που βρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι ο άνθρακας, που είναι κλεισμένος στο φερρίτη, μπορεί να φθάσει και μέχρι $1,50\%$, ενώ με την ήρεμη απόψυξη του χάλυβα δεν υπερβαίνει τα $0,025\%$.

Ο περισσευούμενος άνθρακας στρεβλώνει το κρυσταλλικό πλέγμα του φερρίτη και το μετατρέπει από χωροκεντρωμένο κυβικό σε χωροκεντρωμένο τετραγωνικό (η διάσταση β του πλέγματος γίνεται μεγαλύτερη).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη σοβαρών εσωτερικών τάσεων. Κατά το μετασχηματισμό του ωστενίτη σε μαρτενσίτη αυξάνεται ο όγκος του τεμαχίου. 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 δυσθραυστοτητα και από έλλειψη πλαστικότητας**.

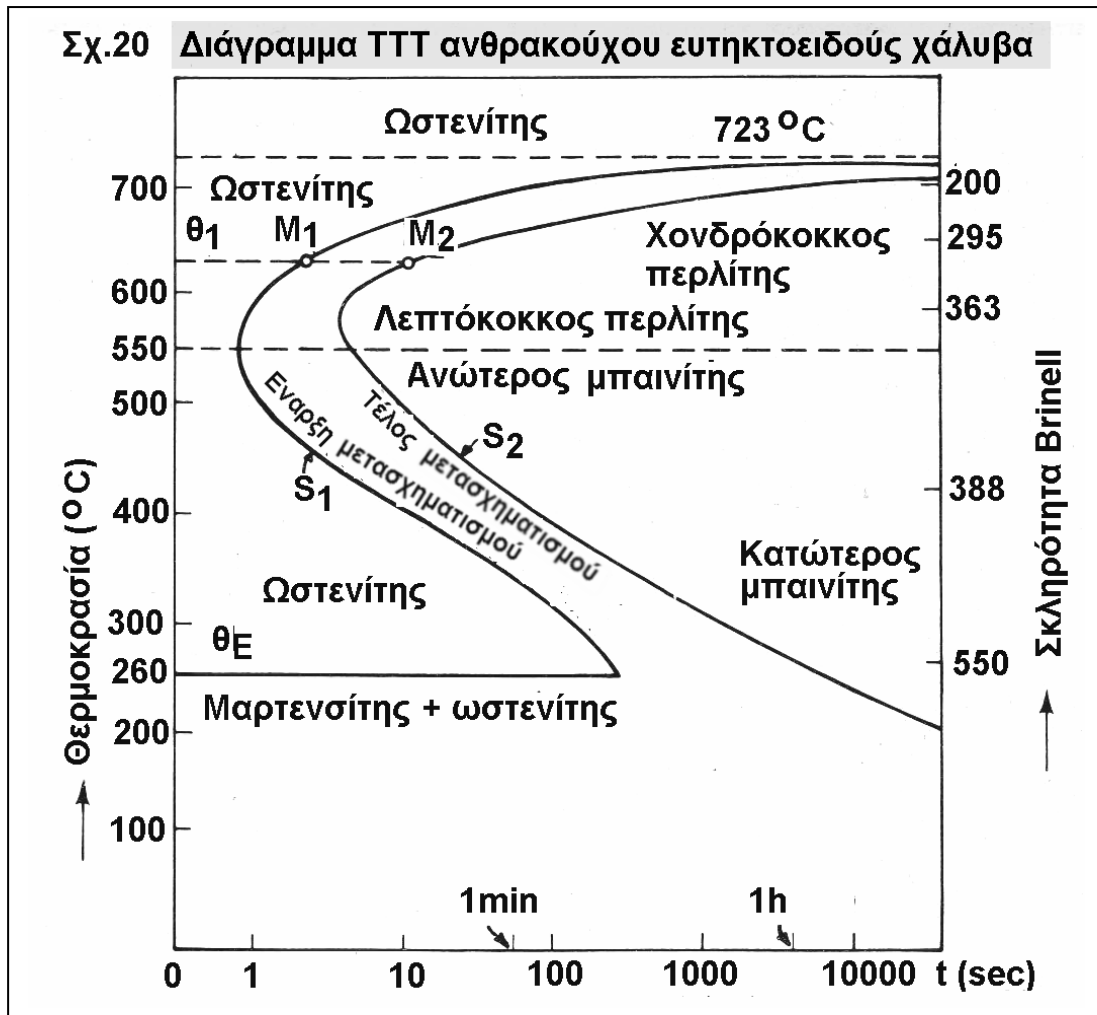
3^η ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΟΠΤΗΣΗΣ: Πλήρης ανόπτηση υπερευκτητικού χάλυβα με αρχική θέρμανση και ενδιάμεση ταχύτητα ψύξης

Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται, όπως λέγεται, η *ισόθερμος βαφή*. Με τη βοήθεια της καταρτίζεται νέο διάγραμμα, το **διάγραμμα Χρόνου - Θερμοκρασίας - Μετασχηματισμού (διάγραμμα TTT)**. Στο διάγραμμα θερμικής ισορροπίας του χάλυβα που μελετήσαμε, δεν υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου σε ορισμένη θερμοκρασία, ούτε η ταχύτητα αποψύξεώς του.

Στην απόψυξη με ενδιάμεσες ταχύτητες αποψύξεως προκύπτουν νέα κρυσταλλικά είδη μεταξύ περλίτη και μαρτενσίτη, τα οποία έχουν μεγάλη σημασία στη βιομηχανική χρήση των χαλύβων.

Τα νέα αυτά κρυσταλλικά είδη είναι ο *ανώτερος μπαινίτης* και ο *κατώτερος μπαινίτης*.

Ας παρακολουθήσουμε τον τρόπο με τον οποίο καταρτίζεται ένα διάγραμμα TTT, στην περίπτωση ευτηκτοειδή ανθρακούχο χάλυβα. Κατασκευάζουμε μικρά δοκίμια του χάλυβα αυτού και τα θερμαίνουμε (πυρώνουμε) σε θερμοκρασία κατά 50°C περίπου υψηλότερη από το ανώτερο κρίσιμο σημείο (723°C στην περίπτωση αυτή) για μισή περίπου ώρα, ώστε να αποκτήσουν δομή ωστενίτη. Κατόπιν, τα δοκίμια εμβαπτίζονται σε λουτρό αλάτων προκαθορισμένης σταθερής θερμοκρασίας θ_1 , μικρότερης των 723°C , ώστε πολύ γρήγορα να αποκτήσουν τη θερμοκρασία αυτή. Αμέσως μετά, κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα, κάθε δοκίμιο αποψύχεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε κρύο νερό ή αλατούχο νερό. Το δοκίμιο υφίσταται με αυτό τον τρόπο *βαφή*. Μετράται η σκληρότητα κάθε δοκίμιου και εξετάζεται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο η κρυσταλλική δομή του. Έτσι, προσδιορίζεται για κάθε θερμοκρασία θ_1 το σημείο που αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (σημείο M_1) και το σημείο που τελειώνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (σημείο M_2), όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 20. Με αυτό τον τρόπο με διαφορετικές θερμοκρασίες θ_1 το σημείο διαγράφει την καμπύλη S_1 και το σημείο M_2 την καμπύλη S_2 . Σε κάθε σημείο της καμπύλης S_1 αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (100% ωστενίτης) και σε κάθε σημείο της καμπύλης S_2 τελειώνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (0% ωστενίτης). Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο σχήμα 20, τα διαγράμματα αυτά έχουν μορφή S, για κάθε δε περιεκτικότητα σε άνθρακα του χάλυβα αντιστοιχεί ιδιαίτερο διάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος τίθεται ο χρόνος, σε κλίμακα όμως λογαριθμική. Έτσι, μπορούν να τεθούν πολύ μικροί χρόνοι, όπως δευτερόλεπτα, αλλά και πολύ μεγάλοι, όπως ημέρες ή εβδομάδες. Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος τίθεται η θερμοκρασία.



Από το διάγραμμα TTT του σχήματος 20 του ευτηκτοειδούς χάλυβα προκύπτουν τα ακόλουθα:

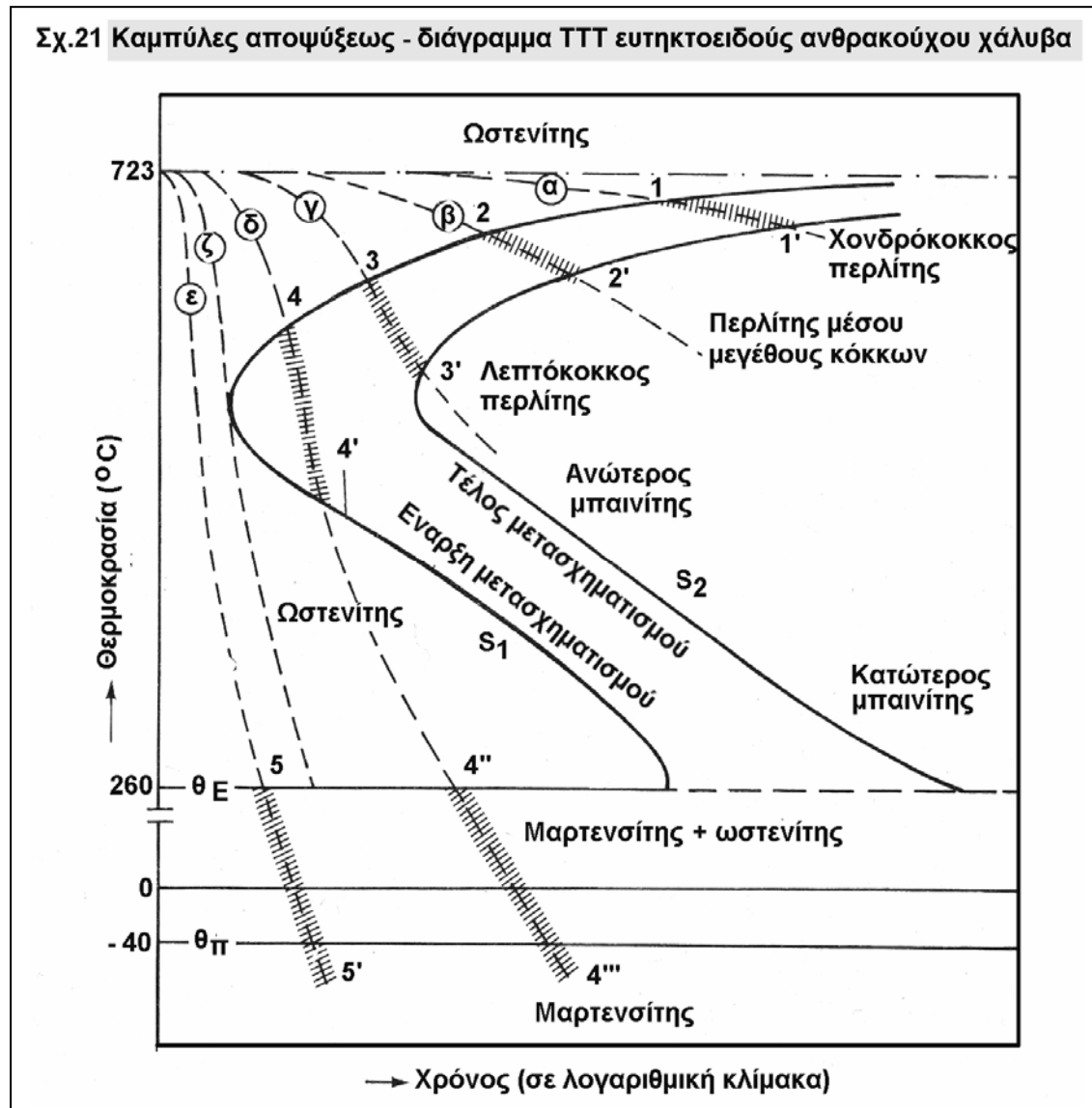
Σε θερμοκρασίες θ , μεταξύ 550°C περίπου και λίγο κάτω των 723°C σχηματίζεται κατά την ισόθερμη βαφή περλίτης, που γίνεται τόσο περισσότερο λεπτόκοκκος και σκληρότερος, όσο η θερμοκρασία θ_1 είναι χαμηλότερη. Έτσι, σε θερμοκρασία $\theta_1 = 700^{\circ}\text{C}$ σχηματίζεται χονδρόκοκκος περλίτης με σκληρότητα περίπου 200 Brinell, σε $\theta_1 = 650^{\circ}\text{C}$ σχηματίζεται περλίτης με κόκκους μεσαίου μεγέθους και σκληρότητα 295 Brinell και σε $\theta_1 = 580^{\circ}\text{C}$ σχηματίζεται λεπτόκοκκος περλίτης με σκληρότητα 363 Brinell.

Σε θερμοκρασία μεταξύ λίγο κάτω από 550°C και πάνω από 260°C (θερμοκρασία θ_E ενάρξεως σχηματισμού του μαρτενσίτη για τον ευτηκτοειδή χάλυβα) σχηματίζεται νέο κρυσταλλικό είδος, ο *μπαινίτης*. Αποτελείται από πλάκες φερρίτη και σεμεντίτη, όπως και ο περλίτης, με τη διαφορά όμως ότι οι κρυσταλλίτες του φερρίτη και σεμεντίτη έχουν πολύ μικρές διαστάσεις και δεν διακρίνονται καλά στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Ο μπαινίτης για θερμοκρασίες όχι πολύ κάτω από 550°C ονομάζεται *ανώτερος μπαινίτης*, με σκληρότητα περίπου 390 Brinell για $\theta_1 = 420^{\circ}\text{C}$, ενώ για θερμοκρασία κοντά στους 260°C ονομάζεται *κατώτερος μπαινίτης* με σκληρότητα 550 Brinell σε $\theta_1 = 270^{\circ}\text{C}$.

Στην πράξη ο χάλυβας δεν βάφεται με ισόθερμη βαφή, αλλά με *συνεχή βαφή*. Δηλαδή από τη θερμοκρασία, όπου βρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη,

αποψύχεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μέσα σε κατάλληλο υγρό. Το υγρό αυτό αποψύξεως είναι συνήθως νερό, λάδι ή αέρας.

Η ταχύτητα αποψύξεως αυξάνεται κατά τη σειρά των συνηθισμένων μέσων βαφής: αέρας, λάδι, νερό. Σε κάθε μέσο αποψύξεως αντιστοιχεί και ορισμένη καμπύλη αποψύξεως, που μπορεί να παρασταθεί στους ίδιους άξονες, όπως και το διάγραμμα TTT, δηλαδή στον άξονα του χρόνου και της θερμοκρασίας (σχ. 21). Εδώ υποθέτουμε ότι το διάγραμμα TTT του χάλυβα, που εξετάζουμε, μπορεί κατά προσέγγιση να χρησιμοποιούμε και για συνθήκες συνεχούς βαφής.



Ας παρακολουθήσουμε τα διαγράμματα του σχήματος 21, τα οποία επίσης αναφέρονται σε ευτηκτοειδή ανθρακούχο χάλυβα. Οι καμπύλες αποψύξεως (α), (θ), (γ), (δ), (ε), (ζ) αντιστοιχούν σε διάφορες ταχύτητες αποψύξεως και μάλιστα συνεχώς αυξανόμενες από την καμπύλη (α) μέχρι την καμπύλη (ε).

Η καμπύλη αποψύξεως (α) παριστάνει απόψυξη με χαμηλή ταχύτητα, όπως συμβαίνει στην ανόπτηση του χάλυβα. Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα, ο χάλυβας παραμένει στην κατάσταση του ωστενίτη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από το σημείο 1 και τελειώνει στο σημείο 1'. Το προϊόν του μετασχηματισμού αυτού είναι χονδρόκοκκος

περλίτης με χαμηλή σκληρότητα, πράγμα που ήδη έχουμε πει. Επειδή η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων 1 και 1' είναι πολύ μικρή, έπεται ότι πολύ μικρή θα είναι και η διαφορά του μεγέθους των κόκκων του περλίτη στην έναρξη (σημείο 1) και στο τέλος (σημείο 1') του μετασχηματισμού του ωστενίτη. Κάτω από το σημείο 1' η ταχύτητα αποψύξεως δεν έχει πια καμιά επίδραση στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα. Το τεμάχιο, συνεπώς, μπορεί να αποψυχθεί και με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα χωρίς να παρατηρηθεί καμιά άλλη μεταβολή στη δομή του. Αυτό έχει σημαντική σημασία από άποψη οικονομική, γιατί όσο διαρκεί η ανόπτηση δεν είναι απαραίτητο να παραμένουν τα τεμάχια μέσα στον κλίβανο ανοπτήσεως, μέχρι που να αποψυχθούν εντελώς, αλλά είναι δυνατό μετά το σημείο 1' να βγουν από τον κλίβανο και να αφεθούν στον ελεύθερο αέρα. Έτσι ο χρόνος της ανοπτήσεως μπορεί να μειωθεί πάρα πολύ.

Η καμπύλη (β) αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα αποψύξεως και μπορεί να θεωρηθεί σαν τυπική καμπύλη για τη θερμική κατεργασία της εξομαλύνσεως. Στο διάγραμμα φαίνεται ότι ο ωστενίτης μετασχηματίζεται σε χονδρόκοκκο περλίτη (σημείο 2) και σε περλίτη που έχει μεσαίο μέγεθος κόκκων (σημείο 2'). Επειδή η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων 2 και 2' είναι μεγαλύτερη από όσο είναι στην ανόπτηση, ο χάλυβας μετά από εξομάλυνση παρουσιάζει κρυσταλλική δομή κάπως ανομοιόμορφη, με μικρότερο όμως ποσοστό χονδρόκοκκου περλίτη.

Η καμπύλη αποψύξεως (γ) είναι τυπική της βαφής του χάλυβα σε λάδι, η δε κρυσταλλική του δομή θα περιλαμβάνει λεπτόκοκκο περλίτη και περλίτη με κόκκους μεσαίου μεγέθους. Η καμπύλη (δ) είναι χαρακτηριστική ενδιάμεσης ταχύτητας αποψύξεως. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από το σημείο 4 και τελειώνει, όχι τελείως, στο σημείο 4', όπου ορισμένο ποσοστό ωστενίτη έχει μετασχηματισθεί σε λεπτόκοκκο περλίτη, που περιβάλλεται από τον ωστενίτη που έχει απομείνει. Στο σημείο 4" (θερμοκρασία θ_E), αφού προηγουμένως η θερμοκρασία έχει αρκετά μειωθεί, αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αυτού σε μαρτενσίτη, στο σημείο δε 4''' (θερμοκρασία θ_{π}) ο ωστενίτης έχει τελείως μετασχηματισθεί σε μαρτενσίτη.

Η καμπύλη (ε) είναι τυπική της βαφής σε μεγάλη ταχύτητα αποψύξεως, όπως συμβαίνει αν χρησιμοποιηθεί σαν μέσο ψύξεως κρύο αλατούχο νερό. Η καμπύλη (ε) δεν τέμνει καθόλου το διάγραμμα TTT. Ο χάλυβας, σε κατάσταση ωστενίτη, μετασχηματίζεται σε μαρτενσίτη μεταξύ των θερμοκρασιών

$\theta_E = 260^{\circ}\text{C}$ (σημείο 5) και $\theta_{\pi} = -40^{\circ}\text{C}$ (σημείο 5'). Κάτω από τη θερμοκρασία θ_{π} η κρυσταλλική δομή του χάλυβα είναι μαρτενσίτης.

Η καμπύλη (ζ) εφάπτεται στη μύτη του διαγράμματος TTT και μας καθορίζει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως, όπως την ονομάζουμε. Δηλαδή οποιαδήποτε ταχύτητα αποψύξεως ίση ή μεγαλύτερη από αυτή μας δίνει μαρτενσίτη.

Κατά τη θέρμανση του χάλυβα για ανόπτηση πρέπει να γνωρίζουμε τα εξής:

α) Απότομη θέρμανση προκαλεί ταχεία διαστολή της επιφάνειας του τεμαχίου, ιδιαίτερα σε τεμάχια που έχουν μεγάλη διατομή, ενώ ο πυρήνας του τεμαχίου λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας, διαστέλλεται λιγότερο. Η μεγάλη αυτή διαφορά διαστολής προκαλεί την ανάπτυξη ισχυρών εσωτερικών τάσεων, που μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα τη στρέβλωση του τεμαχίου ή ακόμα και τη θραύση του. Επομένως, πρέπει η ταχύτητα θερμάνσεως να είναι χαμηλή, κυρίως όταν θερμαίνουμε θαμμένα τεμάχια. Σ' αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η προθέρμανση, για να αποφύγουμε στρεβλώσεις και ρωγμές.

β) Ο χρόνος θερμάνσεως πρέπει να είναι τόσος, όσος χρειάζεται για να αποκτήσει το τεμάχιο ομοιόμορφη θερμοκρασία σε όλη του τη μάζα, καθώς επίσης και κρυσταλλική δομή ωστενίτη.

Τεμάχια με μικρή διατομή χρειάζεται να θερμανθούν μέχρι τη θερμοκρασία ανοπτήσεως μόνο μερικά λεπτά, ενώ τεμάχια με μεγάλη διατομή συνήθως θερμαίνονται και για ώρες. Υπολογίζεται ότι αρκούν 25 ως 30 min για κάθε 10 mm πάχους διατομής.

γ) Κατά τη θέρμανση τεμαχίων από χάλυβα σε υψηλή θερμοκρασία στον ατμοσφαιρικό αέρα, η επιφάνεια τους οξειδώνεται (σχηματίζεται σκουριά) γρήγορα με άσχημα αποτελέσματα για την μετέπειτα χρήση τους. Την οξειδωση μπορούμε να την αποφύγομε:

Εμποδίζοντας τις φλόγες να έρχονται σε επαφή με τα τεμάχια.

Δημιουργώντας ουδέτερη (χωρίς οξυγόνο) ατμόσφαιρα, συνήθως κάτω από πίεση, μέσα στο θάλαμο του κλιβάνου.

Προστατεύοντας τα τεμάχια με κατάλληλη επιμετάλλωση (π.χ. επιχάλκωση) ή με κατάλληλη συσκευασία μέσα σε πυρίμαχα κιβώτια που έχουν απόθλιπτα χυτοσιδήρου και χρησιμοποιώντας κλίβανο λουτρού τηγμένων αλάτων, όπου τα τεμάχια προφυλάσσονται τελείως από την επίδραση της ατμόσφαιρας.

Κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμάνσεως, ο άνθρακας της επιφανειακής στιβάδας των τεμαχίων μπορεί να καεί είτε τελείως είτε μερικώς και σε ορισμένο βάθος. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι ο χάλυβας εξανθρακώνεται. Για να αποφύγομε την εξανθρακωση του χάλυβα παίρνομε ανάλογα μέτρα, όπως αυτά για να αποφύγομε την οξειδωση. Η οξειδωση και η εξανθρακωση γίνονται συγχρόνως. Αν η ταχύτητα οξειδώσεως είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα εξανθρακώσεως, τότε σχηματίζεται επιφανειακά λεπτό στρώμα οξειδίου του σιδήρου και κάτω από αυτό ο χάλυβας έχει την κανονική του σύνθεση. Αν συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή αν η ταχύτητα εξανθρακώσεως είναι μεγαλύτερη, τότε ο χάλυβας χάνει επιφανειακά τον άνθρακα του και μένει σαν φερρίτης.

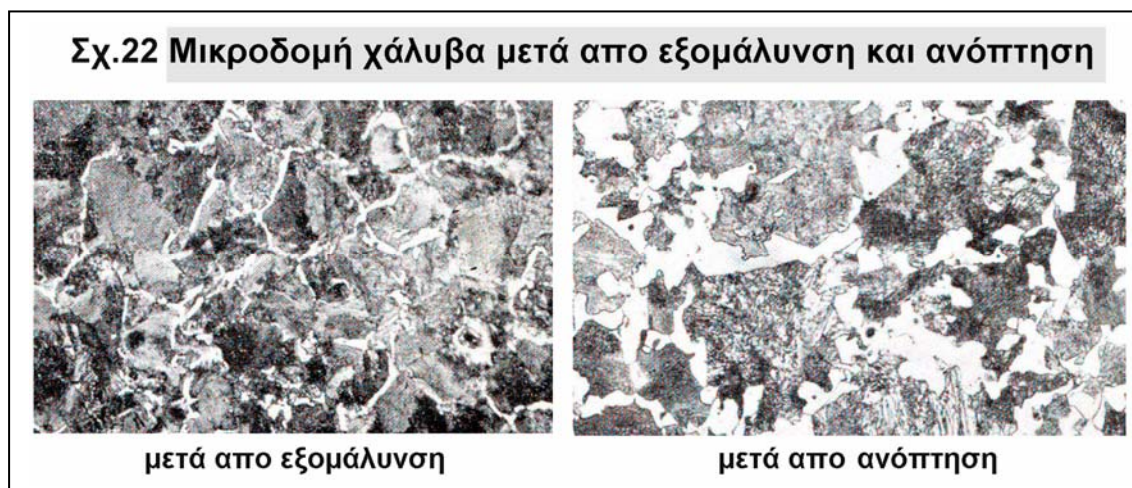
δ) Αν τα τεμάχια που είναι για ανόπτηση θερμανθούν σε θερμοκρασία ανώτερη από τη θερμοκρασία ανοπτήσεως, όπως την έχουμε ορίσει, τότε ο ιστός τους γίνεται χονδρόκοκκος και επομένως εύθραυστος και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο η θερμοκρασία αυτή είναι υψηλότερη και ο χρόνος παραμονής τους σ' αυτή τη θερμοκρασία μεγαλύτερος. Τότε λέμε ότι ο χάλυβας υπερθερμαίνεται. Τα αποτελέσματα της υπερθερμάνσεως εξαφανίζονται με τη θερμική κατεργασία της αναγεννήσεως των κόκκων. Κατά την αναγέννηση αυτή, ο χάλυβας που έχει υπερθερμανθεί, υφίσταται βαφή και μετά ανόπτηση μια ή περισσότερες φορές ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων του.

ε) Η θέρμανση τεμαχίων από χάλυβα σε θερμοκρασία πολύ ανώτερη από τη θερμοκρασία ανοπτήσεως, π.χ. σε 1300°C και η παραμονή τους σ' αυτή τη θερμοκρασία για αρκετό χρόνο έχει σαν αποτέλεσμα την καύση του χάλυβα. Στα όρια των κόκκων σχηματίζεται εύθραυστο οξείδιο του σιδήρου. Το μέγεθος των κόκκων αυξάνεται πάρα πολύ και ο χάλυβας γίνεται πολύ εύθραυστος και ακατάλληλος για χρήση.

3. 5 ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΧΑΛΥΒΑ

Η εξομάλυνση του χάλυβα εκτελείται όπως και η ανόπτηση, με τη διαφορά ότι οι υπερευθηκτοειδείς χάλυβες θερμαίνονται σε θερμοκρασία πάνω από τη γραμμή SE ή A_c (βλ. σχ. 16). Η απόψυξη τους γίνεται στον ήρεμο αέρα (όχι σε ρεύμα αέρα), δηλαδή δεν παραμένουν καθόλου στον κλίβανο. Κατά την εξομάλυνση του χάλυβα, η ταχύτητα αποψύξεως είναι μεγαλύτερη από ό,τι κατά την ανόπτηση [καμπύλη (β) του σχήματος 21]. Λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας αποψύξεως, ο χάλυβας μετά την εξομάλυνση είναι περισσότερο λεπτόκοκκος.

Στο σχήμα 22 δίνονται μικροφωτογραφίες του ίδιου ανθρακούχου χάλυβα με $\pi(C) = 0,60\%$ μετά από ανόπτηση και εξομάλυνση. Είναι χαρακτηριστική η διαφορά του μεγέθους των κόκκων για τις δυο αυτές περιπτώσεις, όπως και η ομοιογένεια του κρυσταλλικού ιστού μετά από εξομάλυνση. Επομένως οι μηχανικές ιδιότητες του ίδιου ανθρακούχου χάλυβα είναι καλύτερες μετά την εξομάλυνση παρά μετά την ανόπτηση.



Κατά συνέπεια, η εξομάλυνση σχετικά προς την ανόπτηση, έχει σαν σκοπό:

- α) Να ελαττώσει το μέγεθος των κόκκων του χάλυβα,
- β) Να κάνει το χάλυβα περισσότερο ομοιογενή,
- γ) Να βελτιώσει τις μηχανικές του ιδιότητες.
- δ) Να βελτιώσει την κατεργαστικότητα των χαλύβων, που έχουν ιδίως χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα .
- ε) Να αφαιρέσει τυχόν παραμένουσες εσωτερικές τάσεις.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε τεμάχια που έχουν υποστεί θερμηλασία πριν από τη μηχανική τους κατεργασία, καθώς επίσης και σε χυτοχαλύβδινα ή υπερθερμαθέντα τεμάχια.

Οι θερμοκρασίες εξομαλύνσεως, ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα, είναι οι ίδιες όπως και κατά την ανόπτηση, μέχρι το σημείο S. Στην περιοχή των υπερευθηκτοειδών χαλύβων ακολουθείται η γραμμή SE.

Επειδή η θέρμανση των τεμαχίων γίνεται όπως και κατά την ανόπτηση, παίρνονται τα ίδια προφυλακτικά μέτρα. Μερικές φορές την εξομάλυνση ακολουθεί ανόπτηση σε 600°C έως 680°C , για να ελαττωθεί η σκληρότητα κυρίως χαλύβων με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα.

3. 6 ΑΝΟΠΤΗΣΗ ΣΦΑΙΡΟΠΟΙΗΣΕΩΣ ΣΕΜΕΝΤΙΤΗ

Κατά την ανάπτυξη της ανοπτήσεως αναφέραμε ότι αυτή δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τους χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, λόγω της παρουσίας σεμεντίτη (σκληρού και εύθραυστου) γύρω από τους κόκκους. Οι χάλυβες αυτοί υφίστανται κατεργασία δύσκολα. Προς βελτίωση της κατεργαστικότητάς τους χρησιμοποιείται η θερμική κατεργασία που ονομάζομε ανόπτηση σφαιροποίησης σεμεντίτη.

Η κατεργασία συνίσταται σε παρατεταμένη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία λίγο κάτω των 723°C (κατώτερο κρίσιμο σημείο), συνήθως μεταξύ 650°C και 700°C . Την πύρωση ακολουθεί ήρεμη απόψυξη.

Με τη θερμική αυτή κατεργασία ο σεμεντίτης παίρνει σφαιροειδή μορφή αντί την πλακοειδή μορφή που έχει στο συνηθισμένο περλίτη. Το ίδιο συμβαίνει και για το σεμεντίτη που περιβάλλει τους κόκκους του περλίτη.

Η κρυσταλλική αυτή μορφή δίνει στο χάλυβα καλή κατεργαστικότητα και καλή επίσης πλαστικότητα. Τα περισσότερα χαλύβδινα εργαλεία, μετά τη θερμηλασία, που έχει σαν σκοπό τη διαμόρφωση της επιθυμητής μορφής, υφίστανται ανόπτηση για να γίνει σφαιροποίηση του σεμεντίτη και για να διευκολυνθεί έτσι η κατεργασία τους με κοπή.

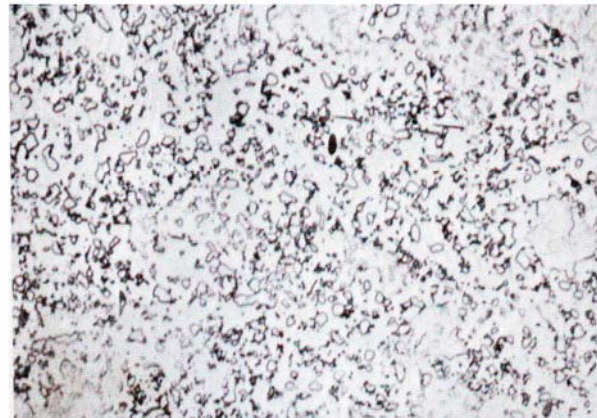
Το είδος αυτό ανοπτήσεως εφαρμόζεται και σε υποευτηκτοειδείς χάλυβες για την αύξηση της πλαστικότητάς τους, όταν πρόκειται να υποστούν μηχανικές κατεργασίες διαμορφώσεως.

Κάποιες φορές εφαρμόζεται και η **ταλαντευτική ανόπτηση** για την σφαιροποίηση του σεμεντίτη. Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο γίνεται περιοδικά μεταβαλλόμενη θέρμανση στην περιοχή $A_{c1} - 50^{\circ}\text{C}$ και $A_{c1} + 50^{\circ}\text{C}$.

3. 7 ΑΝΟΠΤΗΣΗ ΓΙΑ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Αυτή η θερμική κατεργασία έχει σαν σκοπό να εξαφανίσει τα αποτελέσματα της σκληρώσεως του χάλυβα συνήθως μετά από ψυχρηλασία. Εφαρμόζεται σε χάλυβες με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Εκτελείται σε θερμοκρασία από 600°C μέχρι 700°C , δηλαδή σε ανώτερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως, που για τον καθάρο σίδηρο είναι 480°C περίπου και οπωσδήποτε χαμηλότερη του κατώτερου κρίσιμου σημείου (723°C , γραμμή PS).

Σχ.23 Μικροδομή χάλυβα μετά απο ανόπτηση σφαιροποίησης σεμεντίτη



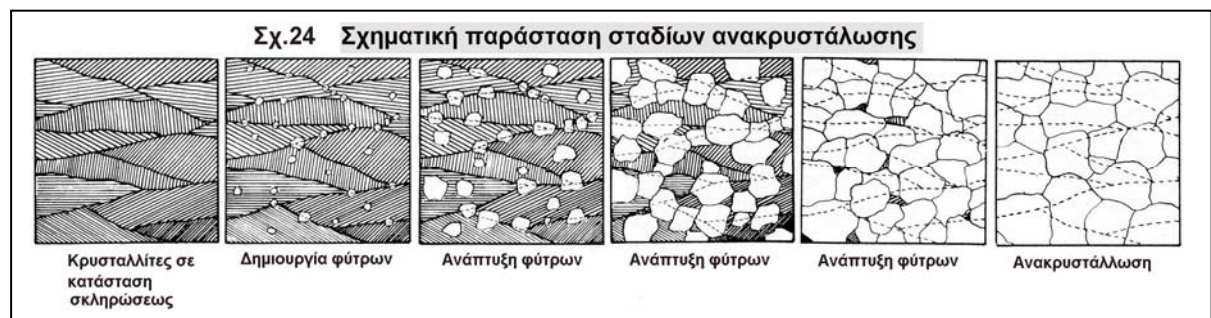
Το τεμάχιο θερμαίνεται για αρκετό χρόνο, ώστε όλη του η μάζα να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία, συνεχίζει δε να θερμαίνεται για τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται για να γίνουν οι απαιτούμενες αλλαγές στην κρυσταλλική του δομή.

Τα αποτελέσματα της σκληρώσεως 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 ανακρυστάλλωσης 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 σκληρωμένου μετάλλου σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από εκείνη της ανακρυστάλλωσης, αρχίζουν να δημιουργούνται φύτρα. Τα φύτρα αυτά στη συνέχεια αναπτύσσονται, όπως έχομε αναφέρει 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 σκληρωμένου μετάλλου φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 24.



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

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

3.8 ΑΠΟΤΑΚΤΙΚΗ ΑΝΟΠΤΗΣΗ

Η αποτακτική ανόπτηση χάλυβα συνίσταται σε παρατεταμένη θέρμανση του σε θερμοκρασία μεταξύ 550°C και 650°C και βραδεία απόψυξη μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Σκοπός αυτής της θερμικής κατεργασίας είναι η εξάλειψη των εσωτερικών μηχανικών τάσεων που παραμένουν μετά από ψυχρηλασία, από έντονη κατεργασία με κοπή (π.χ. τórνευση με μεγάλο βάθος κοπής και μεγάλη πρόωση) και γενικά από κατεργασίες που δημιουργούν διαφορά θερμοκρασίας στο τεμάχιο, όπως μετά από συγκόλληση, χύτευση και θερμηλασία.

3.9 ΒΑΦΗ

Η βαφή περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1^ο στάδιο βαφής : Ο χάλυβας (μεσαίας ή υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα) θερμαίνεται (πυρώνεται) σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη (κατά 50°C περίπου) από εκείνη που αντιστοιχεί στη γραμμή NS ή A₃ ή SR ή A_{1,3} του σχήματος 17, ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα.

Ο χάλυβας πυρώνεται, για να βαφεί, αφού προηγουμένως ανοπτηθεί, για να αποκτήσει τη φυσιολογική του κατάσταση και για να απαλλαγεί από μηχανικές τάσεις που παραμένουν μετά από άλλες κατεργασίες πριν από τη βαφή.

Τάσεις αυτές είναι επικίνδυνες κατά τη βαφή και μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και ρωγμές στο τεμάχιο.

Οι υποευτηκτοειδείς χάλυβες [$\pi(C) < 0,80\%$] θερμαίνονται κατά 40°C πάνω από το ανώτερο κρίσιμο σημείο τους (γραμμή NS ή A₃ του διαγράμματος του σχήματος 16). Κατά τη βαφή των υπερευτηκτοειδών χαλύβων δεν ακολουθούμε τη γραμμή SE ή A_{cm} του διαγράμματος της θερμικής ισορροπίας. Για όλες τις περιεκτικότητες σε άνθρακα $\pi(C) = 0,80\%$, η θερμοκρασία βαφής είναι σταθερή και ίση περίπου με 760°C (723°C + 40°C περίπου).

Η θέρμανση πάνω από τη γραμμή SE θα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη με τη γνωστή χειροτέρευση των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα. Άλλο αποτέλεσμα θα ήταν η ανάπτυξη μεγάλων εσωτερικών τάσεων κατά την απόψυξη (ιδιαίτερα σε δραστικά λουτρά βαφής) και επομένως η στρέβλωση των τεμαχίων ή και η δημιουργία ρωγμών. Κατά τη θέρμανση του χάλυβα για βαφή παίρνονται παρόμοια προφυλακτικά μέτρα, όπως και κατά την ανόπτηση. Η πύρωση του γίνεται σε κοινές καμίνους φλόγας ή και σε ηλεκτρικές, αντιστάσεως ή επαγωγής.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κάμινοι λουτρών τηγμένων αλάτων.

Όταν ο χάλυβας εκτεθεί σε οξειδωτική ατμόσφαιρα κατά την πύρωση του σε κλίβανο, σχηματίζεται στην επιφάνεια του στρώμα από σκουριά. Αυτό το στρώμα της σκουριάς είναι θερμομονωτικό και επομένως κατά την απόψυξη του τεμαχίου ελαττώνει το ρυθμό ροής της θερμότητας από το τεμάχιο προς το λουτρό βαφής. Έτσι, μπορεί να ελαττωθεί η ταχύτητα αποψύξεως κάτω από την κρίσιμη τιμή και το τεμάχιο να μην βαφεί κανονικά. Η δημιουργία σκουριάς αποφεύγεται με τους τρόπους που έχουμε αναφέρει και για την ανόπτηση.

2^ο στάδιο βαφής : Στη συνέχεια παραμένει σ' αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα, για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία.

3^ο στάδιο βαφής : ακολουθεί ταχεία απόψυξη του μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Σπουδαίος παράγοντας για την εκτέλεση της βαφής είναι η ταχύτητα αποψύξεως του τεμαχίου από τη θερμοκρασία της βαφής

(ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη) μέχρι τη θερμοκρασία θ_{π} , όπου ολοκληρώνεται ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσιτη.

Οι θερμοκρασίες ενάρξεως θ_E και τέλους θ_{π} μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσιτη των ανθρακούχων χαλύβων εξαρτώνται από την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, όπως φαίνεται στο σχήμα 25.

Ο ευτηκτοειδής ανθρακούχος χάλυβας [$\pi(C) = 0,80\%$] έχει θερμοκρασία

$\theta_E = 260^\circ\text{C}$ και $\theta_{\Pi} = -40^\circ\text{C}$, όπως προκύπτει από το διάγραμμα του οχήματος 25. Ο ίδιος χάλυβας, όταν αποψυχθεί στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, π.χ. στους 20°C , αποκτάει κρυσταλλική δομή μαρτενσιτη με ορισμένο ποσοστό ωστενίτη που παραμένει. Αυτός ο ωστενίτης παραμένει γιατί η θερμοκρασία αποψύξεως των 20°C είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία $\theta_{\Pi} = -40^\circ\text{C}$ και επομένως ο ωστενίτης δεν μπορεί να μετασχηματιστεί πλήρως σε μαρσενίτη. Για να έχουμε πλήρη βαφή, πρέπει η ταχύτητα αποψύξεως να ακολουθεί την καμπύλη (ζ) του σχήματος 21 (καμπύλη κρίσιμης βαφής) ή να βρίσκεται προς τ' αριστερά της, όπως π.χ η καμπύλη (ϵ).

Με μικρότερη ταχύτητα αποψύξεως θα έχουμε μερική βαφή, όπως π.χ στην περίπτωση της καμπύλης (δ), οπότε σχηματίζεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, εκτός από το μαρσενίτη και λεπτόκοκκος περλίτης.

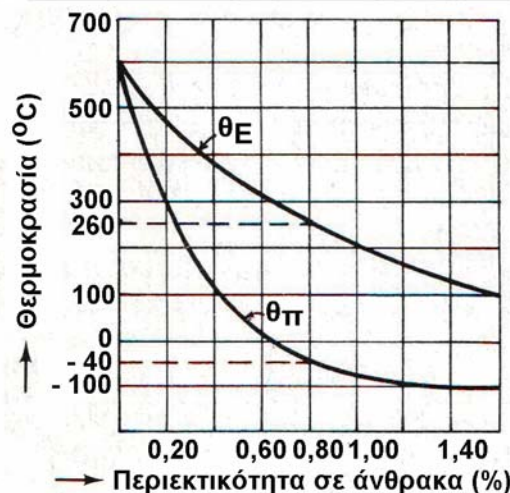
Η ταχύτητα αποψύξεως εξαρτάται:

α) Από το ψυκτικό μέσο, δηλαδή από το λουτρό βαφής (φυσικές ιδιότητες και θερμοκρασία), στο οποίο εμβαπτίζεται το τεμάχιο που βάφομε για να αποψυχθεί. Η θερμοκρασία του λουτρού βαφής έχει σημασία για την καλή εκτέλεση της βαφής. Η θερμοκρασία του στην αρχή πρέπει να είναι χαμηλότερη οπωσδήποτε από τη θερμοκρασία του τέλους του μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσιτη (θ_{Π}) για να έχουμε πλήρη βαφή.

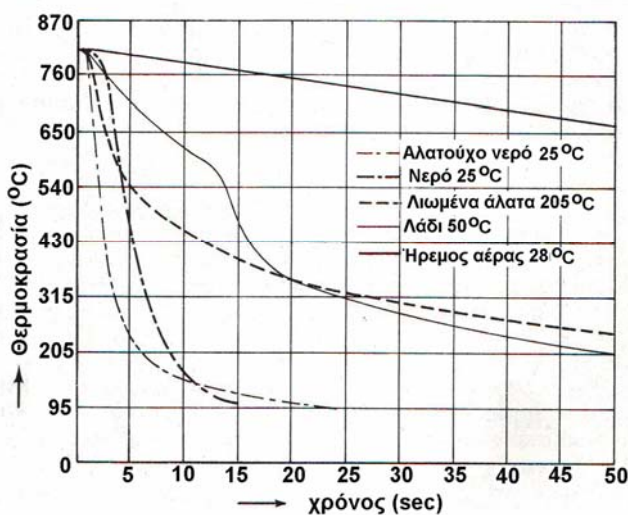
Η ταχύτητα αποψύξεως μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του λουτρού βαφής.

β) Από το βαθμό αναταράξεως του λουτρού βαφής, δηλαδή από το κατά πόσο το λουτρό βαφής βρίσκεται σε ηρεμία ή αναταράσσεται. Γενικά η ταχύτητα αποψύξεως αυξάνεται με ανάδευση του τεμαχίου που πρόκειται να βάψουμε.

Σχ.25 Σχέση μεταξύ θερμοκρασιών θ_E και θ_{Π} και περιεκτικότητας σε άνθρακα χαλύβων



Σχ. 26 Καμπύλες απόψυξης χάλυβα σε διάφορα λουτρά βαφής



γ) Από το μέγεθος της διατομής του τεμαχίου που βάφεται, δηλαδή από το κατά πόσο το τεμάχιο είναι λεπτό ή χοντρό. Όσο αυξάνεται το μέγεθος του τεμαχίου, τόσο εντονότερη είναι η ταχύτητα απόψυξης, γεγονός που οδηγεί σε μικρότερο ποσοστό βαφής (σχηματισμού μαρτενσίτη), δηλαδή μείωσης της σκληρότητας του τεμαχίου.

Η βαφή δίνει στο χάλυβα χαρακτηριστικά υψηλή σκληρότητα και χαμηλή δυσθραυστότητα.

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 κα. Δεν βάφονται.

3.9.1 Ατυχήματα κατά τη διάρκεια της βαφής

Κατά τη θέρμανση του τεμαχίου που είναι για βαφή, παίρνουμε κάποια προφυλακτικά μέτρα, όπως και κατά την ανόπτηση, για να αποφύγουμε την αχρήστευση των τεμαχίων. Στα βαφόμενα όμως τεμάχια παρατηρούνται χαρακτηριστικά ατυχήματα, που κυρίως συμβαίνουν κατά την απόψυξη. Πιο συνηθισμένα είναι τα παρακάτω:

1) Ανομοιογένεια του τεμαχίου, η οποία ελέγχεται με μέτρηση της σκληρότητας σε διάφορες θέσεις της επιφάνειάς του. Η ανομοιογένεια οφείλεται σε ανομοιόμορφη θέρμανση ή ανομοιόμορφη απόψυξη ή και στα δυο μαζί. Μπορεί να εξαλειφθεί μόνο με νέα κανονική θέρμανση και βαφή.

2) Ανεπαρκής βαφή, οπότε το τεμάχιο δεν αποκτάει τη σκληρότητα που πρέπει να αποκτήσει μετά από τη βαφή. Η ανεπαρκής βαφή ελέγχεται με μέτρηση της σκληρότητας του. Οφείλεται δε κυρίως σε δυο αίτια:

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

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

3) Ρωγμές και στρεβλώσεις. Οφείλονται σε μηχανικές εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται στο τεμάχιο κατά τη βαφή, ως εξής:

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 επιφάνειας 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 κλπ.) 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 επιφάνειας και του πυρήνα του τεμαχίου και επομένως, σύμφωνα με όσα αναπτύξαμε προηγουμένως, δημιουργούνται μεγαλύτερες εσωτερικές τάσεις. Διαλέγουμε χαλυβόκραμα με μικρή κρίσιμη ταχύτητα βαφής και εφαρμόζουμε τη λεγόμενη κλιμακωτή βαφή.

3.9.2 Η κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή

Για να αποφύγουμε υπερβολικές τάσεις από βαφή και τα δυσμενή τους επακόλουθα χρησιμοποιούμε τον επόμενο τρόπο βαφής:

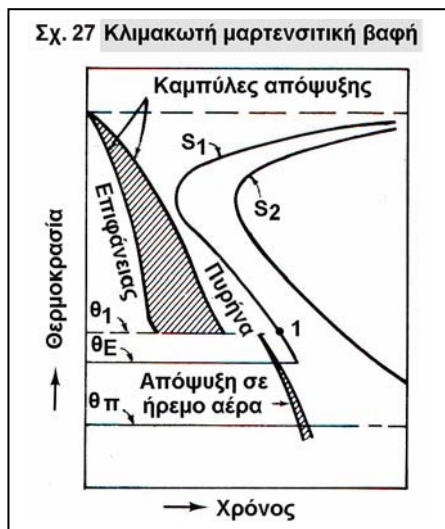
Το τεμάχιο, μετά τη θέρμανση του στην κανονική θερμοκρασία βαφής, αποψύχεται απότομα σε λουτρό συνήθως τηγμένου άλατος θερμοκρασίας θ_1 μεγαλύτερης από τη θερμοκρασία θ_E . Σ' αυτή τη θερμοκρασία το τεμάχιο παραμένει τόσο, ώστε να μην προφτάσει να αρχίσει

ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (σημείο 1 της καμπύλης S_1).

Μετά αφαιρείται το τεμάχιο από το λουτρό και αφήνεται, για να σχηματισθεί μαρτενσίτης, να αποψυχθεί μεταξύ των θερμοκρασιών θ_E και θ_{π} .

Με αυτό το είδος της βαφής το τεμάχιο αποκτάει ομοιόμορφη θερμοκρασία θ_1 , σε κατάσταση όμως ωστενίτη και με αυτό τον τρόπο η επιφάνεια και ο πυρήνας του τεμαχίου μετασχηματίζονται συγχρόνως σε μαρτενσιτη, δηλαδή το τεμάχιο βάφεται ομοιόμορφα.

Σχ. 27 Κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή

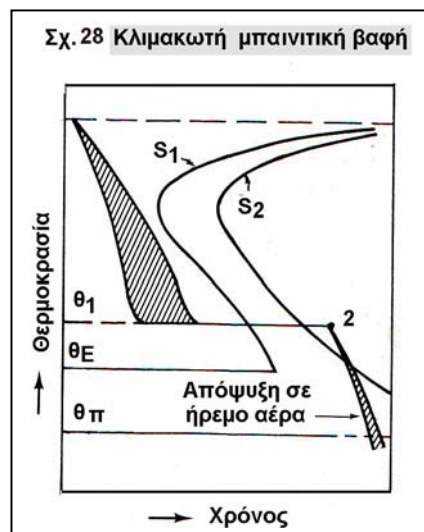


3.9.3 Η κλιμακωτή μπαινιτική βαφή

Αυτή η θερμική κατεργασία εκτελείται, όπως και η προηγούμενη, με τη διαφορά ότι το τεμάχιο παραμένει στη θερμοκρασία θ_1 , τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται για να μετασχηματιστεί τελείως ο ωστενίτης σε μπαινίτη ή λεπτόκοκκο περλίτη ανάλογα με τη θερμοκρασία θ_1 (σημείο 2, πέρα από την καμπύλη S_2 του σχήματος 28). Πρόκειται για ισόθερμη βαφή. Η θερμοκρασία θ , βρίσκεται συνήθως μεταξύ 450°C και θ_E , η οποία εξαρτάται από το είδος του χάλυβα. Η απόψυξη μέχρι θερμοκρασία του περιβάλλοντος γίνεται σε ήρεμο αέρα.

Η κλιμακωτή μπαινιτική βαφή μας δίνει τη δυνατότητα να πάρουμε χάλυβα με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες που έχει εκείνος που προκύπτει μετά από βαφή και

Σχ. 28 Κλιμακωτή μπαινιτική βαφή



επαναφορά . Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η δραστική βαφή του χάλυβα με τα δυσμενή αποτελέσματα. Εφαρμόζεται με επιτυχία σε τεμάχια με περίπλοκα σχήματα που εύκολα στρεβλώνονται ή αποκτούν ρωγμές κατά τη συνηθισμένη βαφή.

3.10 ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ (ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ)

Επαναφορά (αναθέρμανση) έχουμε, όταν ο χάλυβας μετά από βαφή:

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

B) Παραμείνει στη θερμοκρασία αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα, για να απηκτίσει 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 .

Ο βαμμένος χάλυβας επαναφέρεται για τους εξής λόγους:

α) 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 ασήμαντη πλαστικότητα και απaráδεκτη δυσθραυστότητα. Επίσης οι εσωτερικές τάσεις, που παραμένουν, είναι υψηλές. Σ' αυτή 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 (α-σίδηρος) υπερκορεσμένος σε άνθρακα και ο υπολειπόμενος ωστενίτης βρίσκονται, όπως λέμε, σε κατάσταση αστάθειας στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Επομένως έχουν τάση να επανέλθουν σε κατάσταση ευστάθειας, πράγμα που εκδηλώνεται αμέσως μόλις η θερμοκρασία του χάλυβα υψωθεί και πάρει ορισμένες τιμές, όπως θα δούμε παρακάτω. Έχει παρατηρηθεί, ότι κατά την αναθέρμανση βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα από τη θερμοκρασία των 100°C περίπου μέχρι τους 723°C (κρίσιμο σημείο A_1) γίνονται προοδευτικά τεσσάρων ειδών μετασχηματισμοί στην κρυσταλλική δομή του, οι οποίοι είναι οι εξής:

i) Αποχωρίζονται τα επιπλέον άτομα του άνθρακα που αναγκαστικά παραμένουν στο πλέγμα του μαρτενσιτη.

ii) Διασπάται ο υπολειπόμενος ωστενίτης.

iii) Σχηματίζεται σεμεντίτης σε μικροσκοπικά τεμαχίδια και

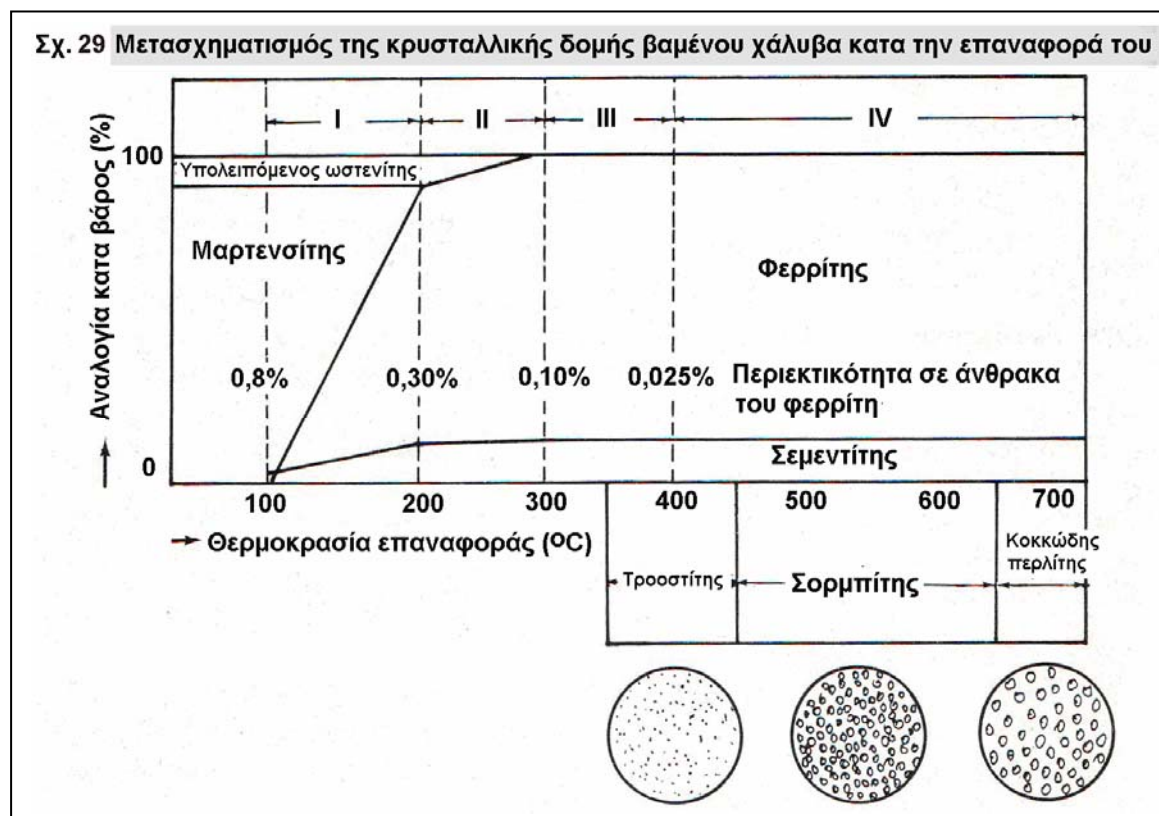
iv) Συσσωματώνεται ο σεμεντίτης και αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων.

Και πράγματι, κατά την αναθέρμανση του χάλυβα παρατηρούμε προοδευτικά τα ακόλουθα:

1) Αναθέρμανση από 100°C μέχρι 200°C (περιοχή I σχήματος 28)

Σχηματίζονται υπομικροσκοπικά τεμαχίδια καρβιδίων (χημική ένωση σιδήρου-άνθρακα) που δεν έχουν ακόμη ακριβώς τη χημική σύνθεση του σεμεντίτη (Fe_3C), και είναι άορατα με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Τα καρβίδια αυτά σχηματίζονται από τα άτομα του άνθρακα, τα οποία προοδευτικά εξέρχονται από το κρυσταλλικό πλέγμα του μαρτενσίτη, όπου είχαν κλειστεί κατά το σχηματισμό του. Συνεπώς, το πλέγμα του μαρτενσίτη από χωροκεντρωμένο τετραγωνικό, τείνει να πάρει τη μορφή του κανονικού πλέγματος του φερρίτη, δηλαδή το χωροκεντρωμένο κυβικό.

Ο χάλυβας στους 200°C αποτελείται από φερρίτη, ο οποίος διατηρεί άκαμτο πλέγμα του άνθρακα παραπάνω από το κανονικό (0,30% αντί 0,025%), από υπομικροσκοπικά τεμαχίδια καρβιδίων και από τον υπολειπόμενο ωστενίτη. Εδώ πρέπει να τονίσουμε, ότι ο πρώτος αυτός μετασχηματισμός που πραγματοποιείται εντατικά στην περιοχή αναθέρμανσης από 100°C έως 200°C, συνεχίζεται και στις περιοχές II (200°C έως 300°C) και III (300°C έως 400°C) του διαγράμματος του σχήματος 29, αλλά ελαττώνεται η ένταση και σταματάει στους 400°C περίπου, όπου ο φερρίτης χάνει τελείως τον επί πλέον άνθρακα και αποκτάει το κανονικό του κρυσταλλικό πλέγμα. Στους 200°C, έχει απαλλαγεί εν μέρει από τις παραμένουσες εσωτερικές τάσεις.



2) Αναθέρμανση από 200 °C μέχρι 300 °C (περιοχή II σχήματος 29)

Σ' αυτήν την περιοχή θερμοκρασιών με αναθέρμανση του βαμμένου χάλυβα, 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 0,025% του κανονικού και από καρβίδια σε υπομικροσκοπικά ακόμη τεμαχίδια.

3) Αναθέρμανση από 300°C μέχρι 400°C (περιοχή III, σχήματος 29)

Σ' αυτήν την περιοχή θερμοκρασιών τα καρβίδια σχηματίζουν εντατικά σεμεντίτη . Σεμεντίτης σχηματίζεται εν μέρει και στις περιοχές I και II. Τα τεμαχίδια του σχηματιζόμενου σεμεντίτη αποκτούν μεγαλύτερο μέγεθος. Στους 400°C περίπου ο φερρίτης αποκτάει το κανονικό του κρυσταλλικό πλέγμα.

4) αναθέρμανση από 400°C μέχρι 723°C (περιοχή IV, σχήματος 29)

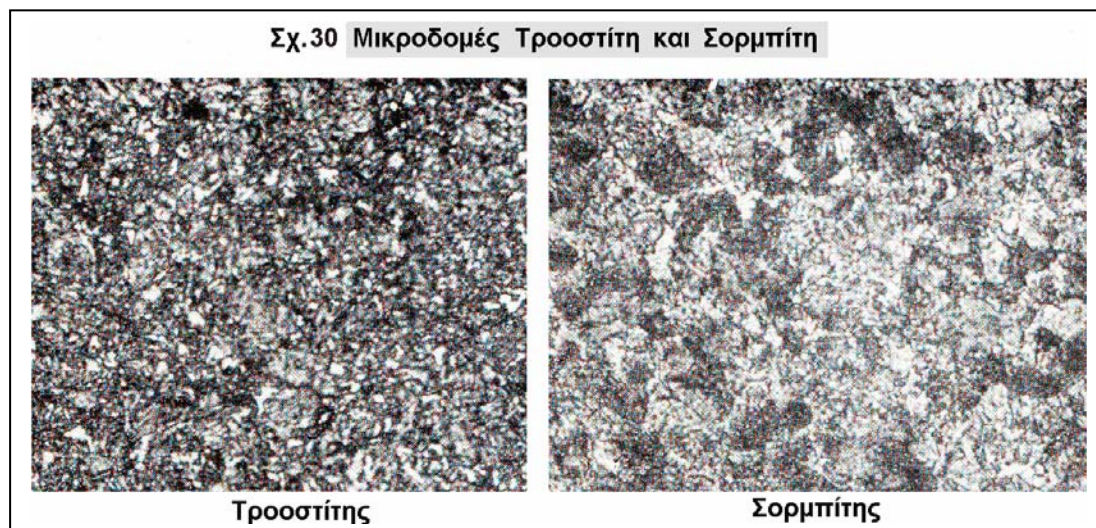
Ο σεμεντίτης συσσωματώνεται και συνεπώς αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων του. Στους 500°C περίπου τα τεμαχίδια του σεμεντίτη γίνονται ορατά το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.

Όταν η θερμοκρασία επαναφοράς φθάσει στους 700°C περίπου, τότε ο χάλυβας αποκτάει κρυσταλλική δομή κοκκώδους περλίτη, δηλαδή με το σεμεντίτη υπό μορφή σφαιριδίων.

Η κρυσταλλική δομή βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα μετά από επαναφορά από 350°C έως 450°C ονομάζεται **τροοσίτης**, ενώ μετά από επαναφορά από 60°C έως 650°C ονομάζεται **σορμπίτης**.

Ο τροοσίτης έχει μεγαλύτερη δυσθραυστότητα από το μαρσεντίτη, μικρότερη όμως σκληρότητα και αντοχή. Ο σορμπίτης έχει μικρότερη ακόμη αντοχή αν τον συγκρίνομε με τον τροοσίτη, έχει όμως μεγαλύτερη δυσθραυστότητα .

Στο σχήμα 30 εικονίζεται η κρυσταλλική δομή ανθρακούχου χάλυβα με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,60% μετά από επαναφορά σε διάφορες θερμοκρασίες.



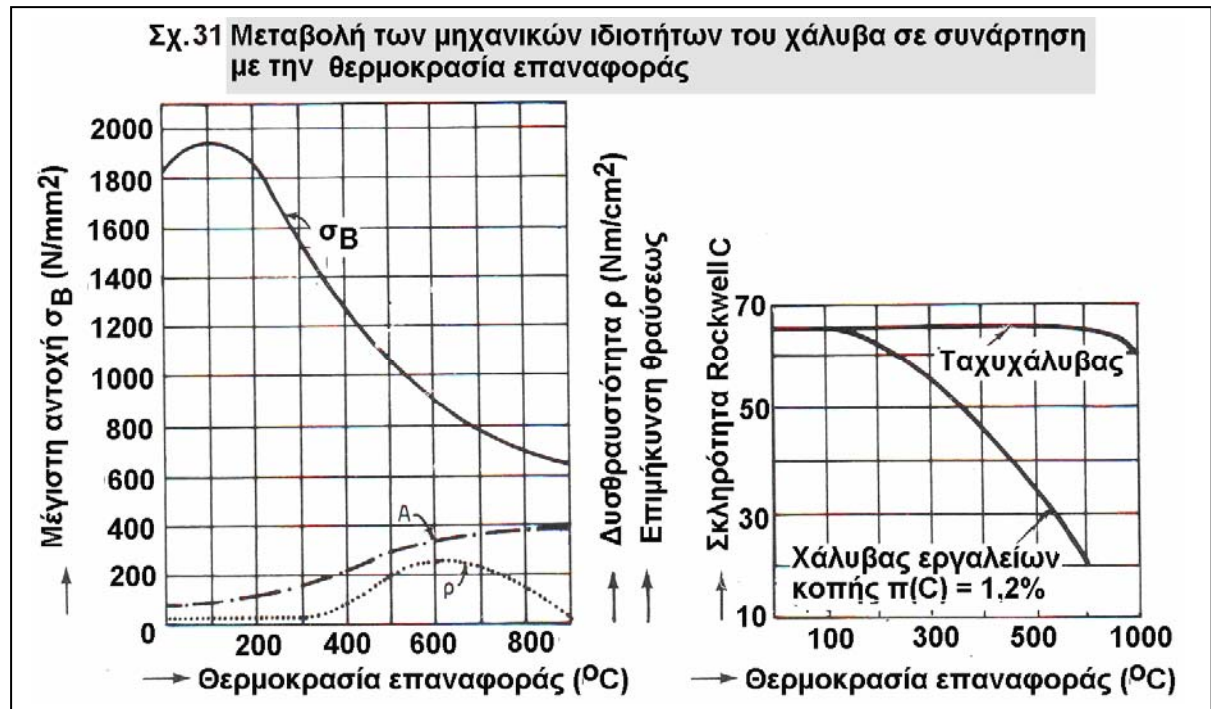
Παρατήρηση :

Ο τροοσίτης και ο σωρβίτης έχουν πάψει πλέον να ονομάζονται έτσι και είναι γνωστοί πλέον σαν **αναθερμανθέντες μαρσεντίτες** .

Ο βαμμένος χάλυβας χαρακτηρίζεται από υψηλή σκληρότητα και από εξαιρετικά χαμηλή δυσθραυστότητα και πλαστικότητα.

Μετά την επαναφορά, οι μηχανικές ιδιότητες του βαμμένου χάλυβα μεταβάλλονται σημαντικά. Γενικά, μπορούμε να πούμε, ότι η σκληρότητα και η αντοχή του σε εφελκυσμό ελαττώνονται, ενώ η πλαστικότητα και η δυσθραυστότητα του αυξάνουν.

Στο σχήμα 31 φαίνεται πώς μεταβάλλονται οι μηχανικές ιδιότητες ανθρακούχων χαλύβων σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία επαναφοράς.



Το όριο θραύσεως λαμβάνει μέγιστη τιμή σε θερμοκρασία περίπου 100°C για το χάλυβα που εξετάζουμε και ύστερα αρχίζει προοδευτικά να ελαττώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας επαναφοράς. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι με την αναθέρμανση του χάλυβα, έστω και στη χαμηλή θερμοκρασία των 100°C, απαλείφονται ισχυρές εσωτερικές τάσεις, οι οποίες εξασκούν δυσμενή επίδραση στο όριο θραύσεως του χάλυβα.

Πρέπει να προσέξουμε επίσης ότι η δυσθραυστότητα δεν φθάνει τη μέγιστη τιμή της στην περιοχή του κρίσιμου σημεία όπως θα περιμέναμε, αλλά σε χαμηλότερη θερμοκρασία (στους 600°C περίπου στην περίπτωση μας). 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 σκληρότητα για τον ανθρακούχο χάλυβα με π(C) = 1,20% μέχρι 250°C μεταβάλλεται ελαφρά. Μετά από τη θερμοκρασία αυτή ελαττώνεται δραστικά η σκληρότητα, ενώ αυξάνεται η θερμοκρασία επαναφοράς.

3.10.1 Γενικές παρατηρήσεις και οδηγίες εκτέλεσης της επαναφοράς

1) Εφαρμογές της βαφής και της επαναφοράς.

Η βαφή, όταν ακολουθείται από επαναφορά, βρίσκει εφαρμογή στην πράξη σε δυο περιπτώσεις κυρίως:

α) Στα εργαλεία κοπής

Όπως γνωρίζουμε, τα εργαλεία κοπής πρέπει να έχουν πολύ μεγάλη σκληρότητα, σε συνδυασμό όμως και με παραδεκτή δυσθραυστοτητα. Αυτό το πετυχαίνουμε με ελαφρά επαναφορά. Έτσι, κοπτικά εργαλεία από ανθρακούχο χάλυβα επαναφέρονται σε 160°C έως 200°C, όταν δεν υπόκεινται σε κρούσεις, και σε 200°C έως 300°C, όταν κατά τη λειτουργία τους καταπονούνται σε κρούσεις, όπως π.χ. είναι οι μήτρες (καλούπια), οι σιγείς (ζουμπάδες) και άλλα.

β) Στην επιβελτίωση του χάλυβα

Τα διάφορα στοιχεία μηχανών, που χρησιμοποιούμε στην πράξη, για να επιτελέσουν τον προορισμό τους πρέπει να έχουν ορισμένες μηχανικές ιδιότητες. Ιδιαίτερα σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται να έχει το τεμάχιο, εκτός από την απαιτούμενη μηχανική αντοχή και ικανοποιητική δυσθραυστοτητα, όταν μάλιστα αυτό καταπονείται και σε κρούση. Αυτός ο συνδυασμός μηχανικών ιδιοτήτων επιτυγχάνεται με τη λεγόμενη επιβελτίωση του χάλυβα.

Η επιβελτίωση είναι σύνθετη θερμική κατεργασία. Συνίσταται από βαφή, την οποία ακολουθεί επαναφορά, σε μεγάλη όμως θερμοκρασία, ώστε ο χάλυβας να αποκτήσει κρυσταλλική δομή σορμπίτη.

Στο σχήμα 30 παρατηρούμε, ότι για ανθρακούχο χάλυβα με π(C) = 0,45% στην περιοχή θερμοκρασίας επαναφοράς από 500°C μέχρι 700°C περίπου έχουμε αυξημένη δυσθραυστοτητα. Σ' αυτή την περιοχή θερμοκρασίας θα πρέπει να γίνει η επιβελτίωση αυτού του χάλυβα.

Η επιβελτίωση εφαρμόζεται στους ανθρακούχους χάλυβες, περισσότερο όμως στα χαλυβοκράματα.

2) Θέρμανση των τεμαχίων για επαναφορά

Η επαναφορά εκτελείται συνήθως σε κλιβάνους τύπου παρτίδας με δυο τρόπους:

1^{ος} τρόπος :

Κατά τον πρώτο τρόπο τα τεμάχια βυθίζονται μέσα σε ελαιόλουτρα ή αλατόλουτρα (λουτρά από τηγμένα άλατα). Τα ελαιόλουτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατώτερη περιοχή θερμοκρασιών (μέχρι περίπου 250°C), ενώ τα αλατόλουτρα στην ανώτερη περιοχή θερμοκρασιών ανοπτήσεως. Γενικά, τα λουτρά (ελαίου ή αλάτων) παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της ομοιόμορφης μεταδόσεως της θερμότητας σε τεμάχια που είναι για επαναφορά. Επίσης τα λουτρά έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, με αποτέλεσμα γρήγορη θέρμανση των τεμαχίων.

2^{ος} τρόπος :

Κατά το δεύτερο τρόπο, τα τεμάχια, που είναι για ανόπτηση, τοποθετούνται σε κλίβανο επαναφοράς με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα με τη χρησιμοποίηση καταλλήλων ανεμιστήρων. Ο αέρας θερμαίνεται συνήθως με ηλεκτρικό τρόπο και διέρχεται μέσα από ειδικά κάνιστρα, στα οποία τοποθετούνται τα τεμάχια. Και αυτός ο τρόπος θερμάνσεως δίνει ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στον κλίβανο, χρησιμοποιείται δε μέχρι τους 650°C περίπου. Η θερμοκρασία του κλιβάνου μπορεί εύκολα να μεταβληθεί, αλλά και να ελέγχεται με θερμοστάτη.

Όπως έχουμε διαπιστώσει, η θερμοκρασία επαναφοράς έχει μεγάλη σημασία για το μετασχηματισμό του μαρτενσίτη και επομένως από αυτή εξαρτώνται πολύ οι μηχανικές ιδιότητες που αποκτάει ο χάλυβας μετά την επαναφορά. Συνεπώς, θα πρέπει να δίνεται εξαιρετική σημασία στο να γίνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας με μεγάλη ακρίβεια. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και πυρόμετρα ακτινοβολίας. Μικρότερη ακρίβεια μας δίνει η μέθοδος μετρήσεως της θερμοκρασίας με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού.

Σημαντική επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα μετά την επαναφορά ασκεί και ο χρόνος παραμονής του στη θερμοκρασία επαναφοράς. Γενικά μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι είναι δυνατό να πετύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα είτε με θέρμανση του τεμαχίου για λιγότερο χρόνο σε υψηλότερη θερμοκρασία επαναφοράς είτε με θέρμανση του τεμαχίου για περισσότερο χρόνο σε χαμηλότερη θερμοκρασία επαναφοράς. Για να πετύχουμε π.χ. σε ανθρακούχο χάλυβα με π(C) = 0,80% σκληρότητα 45 Rockwell C, θα πρέπει να τον επαναφέρουμε:

Σε θερμοκρασία 400°C για 10 h

Σε θερμοκρασία 450°C για 20 min

Σε θερμοκρασία 500°C για 2 min.

Εδώ παρατηρούμε ότι η θέρμανση για μικρό χρονικό διάστημα (επί 3 min) παρουσιάζει δυσκολίες στη μέτρηση αυτού του χρόνου με ακρίβεια. Η παρατεταμένη θέρμανση του (επί 10 h) είναι ασύμφορη, γιατί το κόστος της κατεργασίας μεγαλώνει.

Η καλύτερη λύση είναι η περίπτωση της θερμοκρασίας των 450°C επί 20 min.

3.11 ΕΝΑΘΡΑΚΩΣΗ ΚΑΙ ΕΝΔΟΚΥΑΝΩΣΗ

Η ενανθράκωση είναι θερμοχημική κατεργασία, κατά την οποία - επιφανειακή στιβάδα φτωχού σε άνθρακα χάλυβα (κάτω από 0,20%) εμποτίζεται με άτομα άνθρακα.

Κατά την κατεργασία αυτή ακολουθεί συνδυασμός θερμικών κατεργασιών για τη σκλήρωση της επιφανειακής στιβάδας του τεμαχίου και την εκλέπτυνση των κόκκων της επιφάνειας και του πυρήνα του (αύξηση της δυσθραυστότητας).

Η κατεργασία αυτή μεταβάλλει τη χημική σύνθεση της επιφανειακής στιβάδας των τεμαχίων.

Η ενανθράκωση βασίζεται στην αρχή, σύμφωνα προς την οποία ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη εμποτίζεται επιφανειακά από άτομα άνθρακα σε θερμοκρασία από 910°C μέχρι 950°C συνήθως. Αποτέλεσμα αυτής της εμποτίσεως του χάλυβα με άνθρακα είναι η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα της επιφανειακής του στιβάδας. Η μεγάλη σκληρότητα είναι αποτέλεσμα κατάλληλης βαφής μετά την εμπότιση. Η ενανθράκωση επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κάποιου ενανθρακωτικού μέσου ή ουσίας όπως λέμε, το οποίο μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο. Παρακάτω θα περιγράψουμε τον τρόπο κατά τον οποίο γίνεται η ενανθράκωση, ανάλογα με το ενανθρακωτικό μέσον που χρησιμοποιούμε.

3.11.1 Στερεά ενανθρακωτικά μέσα

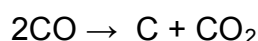
Τα τεμάχια που είναι για ενανθράκωση τοποθετούνται μαζί με το ενανθρακωτικό μέσον μέσα σε κατάλληλο πυρίμαχο μεταλλικό δοχείο, συνήθως από χάλυβα, που αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα τεμάχια δεν πρέπει να εφάπτονται, αλλά να απέχουν μεταξύ τους 30 έως 50 mm.

Το δοχείο μαζί με το περιεχόμενο κλείνεται αεροστεγώς και εισάγεται σε κατάλληλο κλίβανο, συνήθως τύπου μερίδας. Η θερμοκρασία του κλιβάνου διατηρείται αρχικά στους 700°C. Στη συνέχεια ανυψώνεται μέχρι τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως (910°C μέχρι 950°C).

Σ' αυτή τη θερμοκρασία τα τεμάχια παραμένουν για ορισμένο χρονικό διάστημα, που εξαρτάται από το βάθος ενανθρακώσεως που θέλουμε να πετύχουμε.

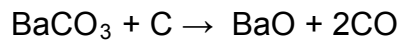
Σαν στερεό ενανθρακωτικό μέσο χρησιμοποιείται συνήθως μίγμα σε σκόνη που αποτελείται από 60% ως 90% ξυλάνθρακα και από 40% ως 10% ανθρακικό βάριο (BaCO₃) αντίστοιχα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ανθρακικό νάτριο (Na₂CO₃) αντί ανθρακικό βάριο. Το μίγμα αυτό στη θερμοκρασία της ενανθρακώσεως αποδίδει μονοξείδιο του άνθρακα (CO), που αποτελεί και το πραγματικό ενανθρακωτικό μέσο.

Από το μονοξείδιο του άνθρακα που σχηματίζεται στην υψηλή θερμοκρασία της ενανθρακώσεως και με την παρουσία του σιδήρου αποδεδεμεύονται άτομα άνθρακα, σύμφωνα προς τη χημική αντίδραση :

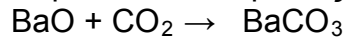


Ο παραγόμενος άνθρακας σε ατομική κατάσταση (χωρίς να έχει ακόμη σχηματιστεί το μόριό του) διεισδύει στο κρυσταλλικό πλέγμα της επιφανειακής

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, όπως φαίνεται στη χημική αντίδραση :

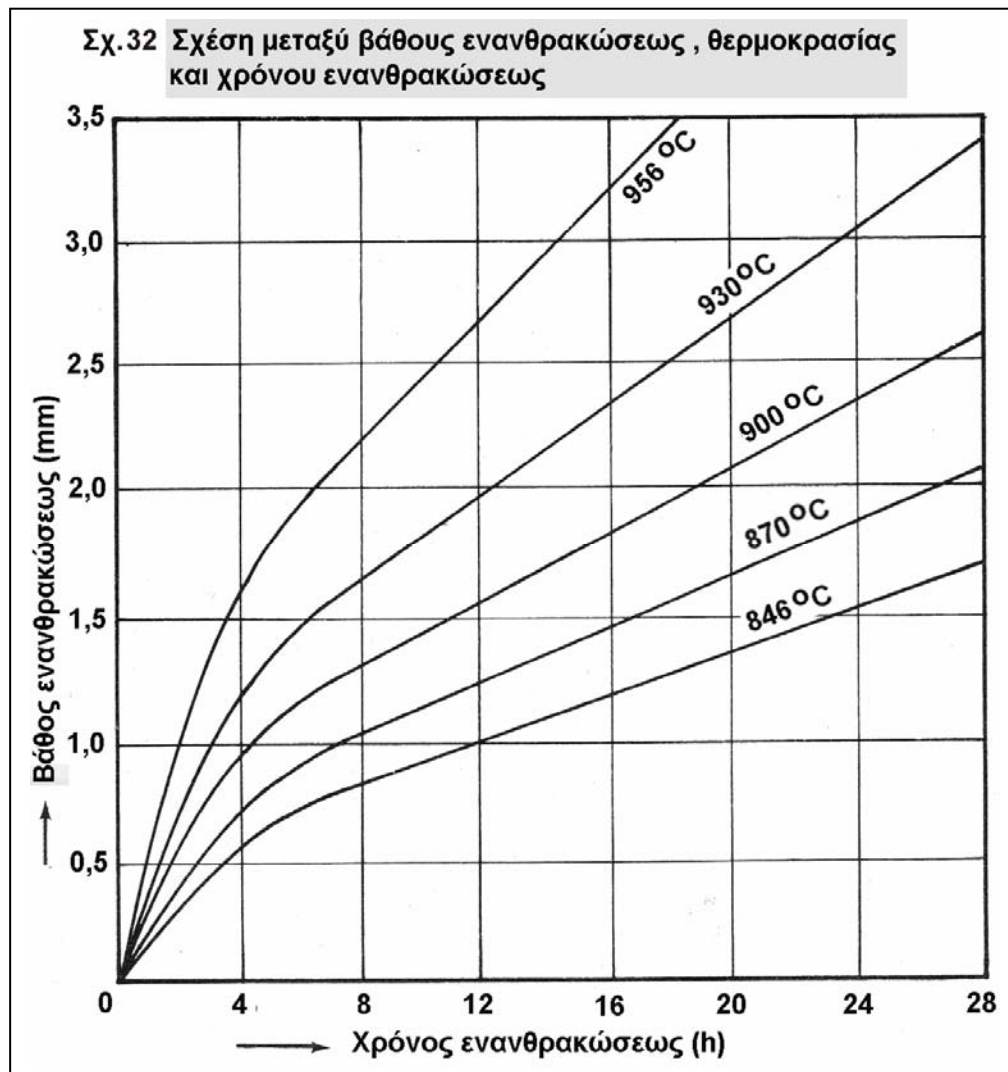


Το ανθρακικό βάριο αναγεννιέται από την αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα και τοι οξειδίου του βαρίου, που αποδεσμεύονται κατά τις παραπάνω αντιδράσεις ως εξής:



Μετά το τέλος της ενανθρακώσεως τα τεμάχια αποσύρονται από τον κλίβανο και αφήνονται να αποψυχθούν ήρεμα στη 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 τον χρόνο παραμονής των τεμαχίων σ' αυτή τη θερμοκρασία (χρόνος ενανθρακώσεως), όπως φαίνεται στο σχήμα 32. Εξαρτάται επίσης και από την περιεκτικότητα του χάλυβα α άνθρακα και από το είδος και την αναλογία των συστατικών του μέσου ενανθρακώσεως.



Από το σχήμα 32 συμπεραίνουμε ότι το βάθος ενανθρακώσεως αυξάνεται με αύξηση του χρόνου και της θερμοκρασίας ενανθρακώσεως. Έτσι, σε χρόνο ενανθρακώσεως 8 ωρών π.χ. αντιστοιχεί βάθος ενανθρακώσεως 1,05 mm σε θερμοκρασία 870°C, ενώ σε θερμοκρασία 930°C αντιστοιχεί βάθος ενανθρακώσεως 1,70 mm. Επίσης, σε θερμοκρασία ενανθρακώσεως 900°C π.χ. και σε χρόνο ενανθρακώσεως 5 ωρών αντιστοιχεί βάθος ενανθρακώσεως 1,10 mm, ενώ σε χρόνο ενανθρακώσεως 15 ωρών και για την ίδια θερμοκρασία αντιστοιχεί βάθος 1,75 mm. Αξίζει να παρατηρήσουμε επίσης το γεγονός, ότι η περιεκτικότητα σε άνθρακα της επιφανειακής στιβάδας του ενανθρακωμένου τεμαχίου ελαττώνεται από την επιφάνεια του προς τον πυρήνα. Προφανώς μπορεί να έχουμε διαδοχικά από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του τεμαχίου κρυσταλλική δομή υπερευθηκτοειδούς χάλυβα (περλίτη + σεμεντίτη), ευθηκτοειδούς χάλυβα (περλίτη) και υποευθηκτοειδούς (φερρίτη + περλίτη), μέχρις ότου φθάσουμε στην κανονική κρυσταλλική δομή του χάλυβα μετά την ενανθρακωμένη επιφανειακή στιβάδα.

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 τεμαχίων που πρόκειται να ενανθρακωθούν. Μειονεκτεί επί πλέον και στο ότι τα τεμάχια δύσκολα μπορούν να βαφούν αμέσως μετά την ενανθράκωση.

3.11.2 Υγρά ενανθρακωτικά μέσα (Ενδοκυάνωση)

Η ενανθράκωση των τεμαχίων στην περίπτωση αυτή γίνεται μέσα σε λουτρό τηγμένων αλάτων στη θερμοκρασία της ενανθρακώσεως. Η μέθοδος αυτή επιφανειακής σκληρώσεως αναφέρεται σαν **ενδοκυάνωση** και ακολουθείται από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες.

Το μίγμα αλάτων, που χρησιμοποιείται συνήθως, αποτελείται από 20% ως 50% κυανιούχο νάτριο (NaCN), από ανθρακικό νάτριο μέχρι 40% και από χλωριούχο νάτριο (NaCl₂) ή χλωριούχο βάριο (BaCl₂). 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 μονοξειδίο 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 χημική αντίδραση απελευθέρωσης του CO, με την μέθοδο της ενδοκυάνωσης είναι :

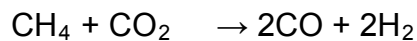


Τα υγρά μέσα ενανθρακώσεως έχουν σοβαρά πλεονεκτήματα. Επιτρέπουν εύκολο και ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας" επίσης ομοιόμορφη και γρήγορη θέρμανση των τεμαχίων. Έτσι, παίρνουμε ενανθρακωμένη επιφανειακή στιβάδα ομοιόμορφη και με το ίδιο βάθος.

3.11.3 Αέρια ενανθρακωτικό μέσα

Αυτό το είδος ενανθρακώσεως γίνεται σε κλιβάνους αεροστεγείς, τύπου μερίδας ή συνεχούς ροής. Η θερμοκρασία ενανθρακώσεως κυμαίνεται μεταξύ 850°C και 930°C. Στην περίπτωση αυτή ενανθρακώσεως το ενεργό ενανθρακωτικό μέσο είναι πάλι το μονοξειδίο του άνθρακα που παράγεται με αντίδραση από υδρογονάνθρακα (μεθάνιο CH₄, η προπάνιο CH₃CH₂CH₃). Ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη εμποτίζεται σε ορισμένο βάθος από την επιφάνεια του με τον άνθρακα που παράγεται, ενώ το διοξειδίο του άνθρακα αντιδρά με τον υδρογονάνθρακα. Το μονοξειδίο του άνθρακα διασπάται σε άνθρακα και διοξειδίο του άνθρακα κ.ο.κ.

Για παράδειγμα η χημική εξίσωση παραγωγής του CO από το μεθάνιο είναι :



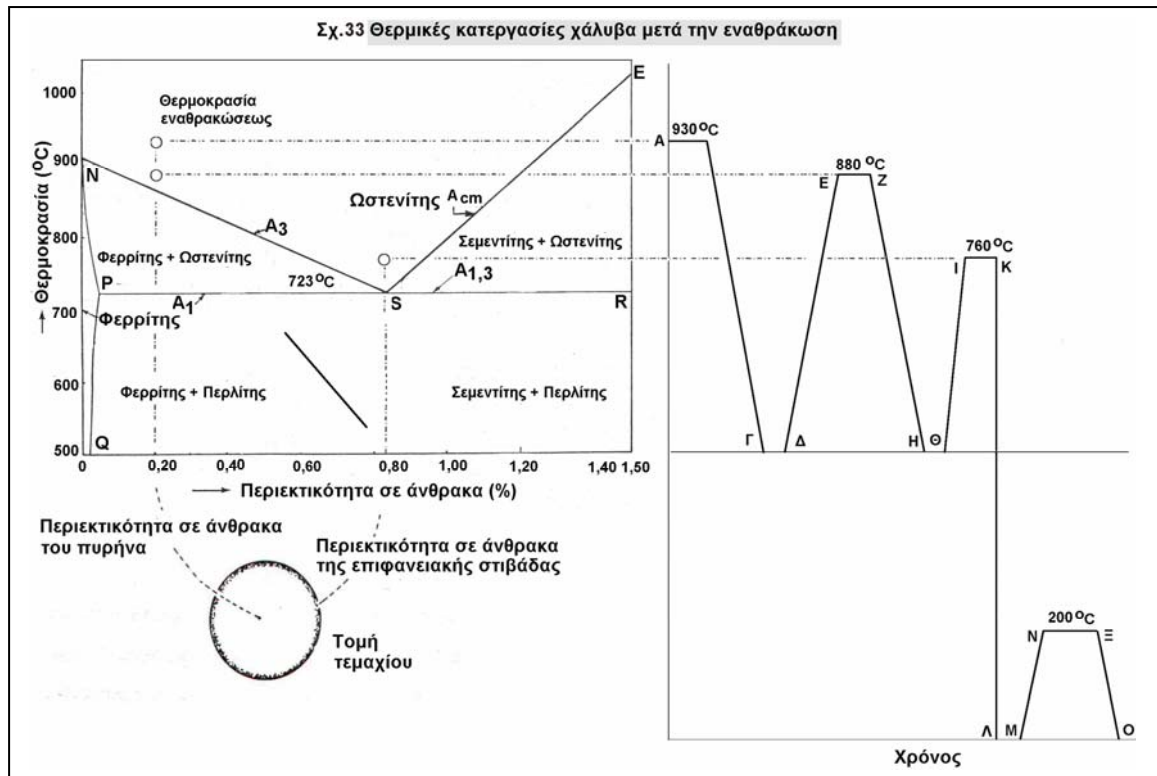
Πρέπει να σημειώσουμε, ότι τα αέρια αυτά είναι απαραίτητο να είναι απόλυτα καθαρά, διαφορετικά οι ακαθαρσίες που περιέχουν εναποτίθενται στην επιφάνεια των τεμαχίων και εμποδίζουν την κανονική εκτέλεση της ενανθρακώσεως. Αυτό το είδος ενανθρακώσεως παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα στις περιπτώσεις ενανθρακώσεως μεγάλου αριθμού τεμαχίων, σε μικρό όμως βάθος, γιατί μπορούμε εύκολα να ελέγξουμε το βάθος με μεγάλη ακρίβεια. Συμφέρει δε σε εργατικά, θερμική ενέργεια και χώρο. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα της απ' ευθείας, μετά την ενανθράκωση, βαφής των τεμαχίων (από τον κλίβανο ενανθρακώσεως στο λουτρό βαφής).

3.11.4 Θερμικές κατεργασίες μετά την ενανθράκωση (διεργασία τροποποίησης του πυρήνα του τεμαχίου)

Αναφέραμε, ότι η ενανθράκωση τεμαχίου από κατάλληλο χάλυβα, δημιουργεί επιφανειακή στιβάδα πλούσια σε άνθρακα [συνήθως με π(C) > 0,80%], ενώ συγχρόνως ο πυρήνας του τεμαχίου διατηρεί την κανονική του περιεκτικότητα σε άνθρακα [συνήθως π(C) ≤ 0,20%]. Η παρατεταμένη θέρμανση του χάλυβα σε κατάσταση ωστενίτη, στην υψηλή θερμοκρασία της ενανθρακώσεως, 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 ενανθρακώσεως, να είναι το τεμάχιο πολύ σκληρό στην επιφάνεια του και δύσθραυστο στον πυρήνα του. Αυτό το επιτυγχάνουμε με μια σειρά θερμικών κατεργασιών που εκτελούνται μετά την ενανθράκωση, ως εξής:

Μετά την ενανθράκωση (γραμμή A-B του σχ. 33), τα τεμάχια αποψύχονται ήρεμα (B-Γ). Για την αύξηση της δυσθραυστότητας του πυρήνα (εκλέπτυνση των κόκκων), τα τεμάχια θερμαίνονται σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη από το ανώτερο κρίσιμο σημείο A₃ του διαγράμματος θερμικής ισορροπίας σχήματος 17 [για π(C) = 0,20%], π.χ. σε θερμοκρασία 880°C περίπου κατά τη γραμμή Δ-E. Σ' αυτή τη θερμοκρασία παραμένουν τα τεμάχια για ορισμένο χρόνο (E-Z), όπου ο χονδρόκοκκος ιστός φερρίτη-περλίτη γίνεται λεπτόκοκκος ωστενίτης. Ακολουθεί βαφή ή εξομάλυνση των τεμαχίων (Z-H). 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 θερμάνσεως 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 [$\pi(\text{C}) > 0,80$]. Για να αποκτήσει η επιφανειακή στιβάδα μεγάλη σκληρότητα και λεπτόκοκκο ιστό, πυρώναμε τα τεμάχια σε 760°C περίπου (Θ-Ι). Σ' αυτή τη θερμοκρασία παραμένουν για ορισμένο χρόνο (Ι-Κ), όπου ο χονδρόκοκκος ιστός της επιφανειακής στιβάδας μετασχηματίζεται σε λεπτόκοκκο ωστενίτη. Κατόπιν, τα τεμάχια βάφονται (Κ-Λ) και αποκτούν σκληρή και λεπτόκοκκη (σχετικά δύσθραυστη) επιφανειακή στρώση. Η βαφή αυτή αποτελεί, κατά κάποιο τρόπο, επαναφορά του πυρήνα των τεμαχίων.

Τέλος, για να απαλλαγεί η επιφανειακή στιβάδα από εσωτερικές μηχανικές τάσεις, τα τεμάχια θερμαίνονται σε 200°C περίπου (Μ-Ν) και αποψύχονται ήρεμα (Ξ - Ο). Όλα αυτά που αναφέραμε αποτελούν την ιδανική σειρά θερμικών κατεργασιών που ακολουθούν την εναθράκωση.

Στην πράξη όμως παρατηρούνται ορισμένες παρεκκλίσεις ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά. Π.χ. είναι δυνατό να βαφούν τεμάχια σε νερό απευθείας μετά από τη θερμοκρασία εναθρακώσεως και κατόπιν να επαναφερθούν σε χαμηλή θερμοκρασία, για να απαλειφθούν 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 εναθρακώσεως.

Σε περιπτώσεις που χρειάζεται μεγάλη δύσθραυστότητα του πυρήνα, τα τεμάχια αποψύχονται ήρεμα από τη θερμοκρασία της εναθρακώσεως. 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 φανερά.

Ο συνολικός χρόνος θερμικών κατεργασιών περιορίζεται σημαντικά. Επίσης αποφεύγονται μέχρι ένα ορισμένο βαθμό, η οξειδωση, η απανθράκωση και η στρέβλωση των τεμαχίων.

3.11.5 Πρακτικές οδηγίες εκτελέσεως της ενανθρακώσεως

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

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

i) Το είδος του χάλυβα ενανθρακώσεως, δηλαδή αν πρόκειται για ανθρακούχο χάλυβα ή για χαλυβόκραμα.

ii) Τη θερμοκρασία και το χρόνο ενανθρακώσεως.

iii) Το μέσο ενανθρακώσεως, καθώς επίσης και τις αναλογίες των συστατικών του.

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

Παλιότερα, ακόμη όμως και σήμερα, το τμήμα που επιθυμούμε να μην ενανθρακωθεί το καλύπτομε με μίγμα πυρίμαχου πηλού, άμμου, αμιάντου και υδρυσάλου. Αυτή η μέθοδος είναι-απλή, αλλά δεν προφυλάσσει τελείως την επιφάνεια που καλύπτομε από την προσβολή του ενανθρακωτικού αερίου. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά τη θέρμανση του τεμαχίου δημιουργούνται ρωγμές στο προφυλακτικό στρώμα, μέσα από τις οποίες 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 εισάγοντα στο κιβώτιο αντίστοιχες δοκιμαστικές ράβδοι με διάμετρο 5 ως 6 mm και μήκος 200 ως 301 mm, οι οποίες αποτελούνται από τον ίδιο χάλυβα, όπως και τα τεμάχια που είναι γιο ενανθράκωση.

Οι ράβδοι αυτές τοποθετούνται έτσι ώστε το μεγαλύτερο μήκος τους να βρίσκεται μέσα στ: κιβώτιο, ενώ τα άκρα τους έξω από αυτό. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να αποσύρονται χωρίς να είναι ανάγκη να ανοίξομε το κιβώτιο. Όταν περάσει ο καθορισμένος χρόνος ενανθρακώσεως, αποσύρομε μια δοκιμαστική ράβδο, τη βάφομε σε νερό και κατόπιν την σπάζομε .

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 μέσον ενανθρακώσεως, 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 θέλομε.

Τα κυανιούχα άλατα που χρησιμοποιούνται σε μίγματα υγρών μέσων ενανθρακώσεως είναι εξαιρετικώς δηλητηριώδη. Γι' αυτό πρέπει να παίρνομε 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 καταιονισμό νερού. Ακόμα, τα κυανιούχα άλατα δεν πρέπει με κανένα τρόπο να έρχονται σε επαφή με ανοικτό τραύμα. Απαγορεύεται αυστηρά η λήψη τροφής από το προσωπικό στο χώρο όπου χρησιμοποιούνται κυανιούχα άλατα.

Είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται ελαστικά γάντια, όταν ζυγίζομε τα κυανιούχα άλατα, όταν τα τοποθετούμε στο λουτρό, όταν εμβαπτίζομε τα τεμάχια μέσα στο λουτρό και όταν τα μεταφέρομε για βαφή.

Για να αποφύγομε 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 10 min. Το πλύσιμο γίνεται σε ζεστό νερό 60°C ως 80°C για 5 περίπου min.

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

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

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

γ) Η σκληρότητα του τεμαχίου είναι ανομοιόμορφη, υπάρχουν δηλαδή σκληρές και μαλακές περιοχές στην επιφάνεια του. Βασική αιτία αυτού του ελαττώματος είναι η παρουσία σκουριάς, λίπους, ελαίου ή άλλων ξένων

σωμάτων επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου, αποτέλεσμα κακού καθαρισμού πριν από την ενανθράκωση.

3.12 ΕΝΑΖΩΤΩΣΗ

Η εναζώτωση είναι θερμοχημική επίσης κατεργασία, κατά την οποία προσθέτουμε στην επιφανειακή στιβάδα του τεμαχίου άζωτο, που σχηματίζει πολύ σκληρές χημικές ενώσεις με το σίδηρο (σιδηρονατρίδιο, Fe₄N).

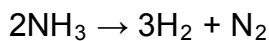
Το τεμάχιο κατασκευάζεται από ειδικό χάλυβα εναζωτώσεως. Μετά την εναζώτωση δεν απαιτούνται θερμικές κατεργασίες.

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 μονοξειδίο 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 τη χημική αντίδραση:



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

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

Δεν χρειάζεται καμιά θερμική κατεργασία μετά την εναζώτωση. Πριν από την εναζώτωση οι χάλυβες υφίστανται τις θερμικές κατεργασίες που χρειάζονται, ώστε ο πυρήνας των τεμαχίων να αποκτήσει τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε (συνήθως ο χάλυβας πρέπει να αποκτήσει δομή σορμπίτη με επιβελτίωση). Επί πλέον εκτελούνται και οι μηχανικές κατεργασίες που απαιτούνται, ώστε να δοθούν οι τελικές διαστάσεις στο τεμάχιο. Αποφεύγεται, όσο είναι δυνατό, η λείανση (ρεκτιφίρισμα) των τεμαχίων μετά την εναζώτωση. Αν όμως είναι αναγκαίο να γίνει λείανση, το βάθος της δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0,05 mm, για να μην ελαττωθεί η σκληρή επιφανειακή στιβάδα του τεμαχίου.

3.12.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναζωτώσεως

α) 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.

β) Επιτυγχάνεται πολύ μεγάλη σκληρότητα (μέχρι και 1150 Vickers) σε ορισμένους χάλυβες εναζωτώσεως.

γ) Η αντοχή των τεμαχίων σε διάβρωση είναι αρκετά καλή, όταν η εναζωτωμένη επιφάνεια αφήνεται όπως είναι, π.χ. χωρίς να στιλβωθεί. Επίσης και η αντοχή τους σε κόπωση είναι αρκετά καλή.

δ) 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.

ε) Το κόστος της εναζωτώσεως είναι χαμηλό, αν ο αριθμός των τεμαχίων για εναζώτωση είναι πολύ μεγάλος. Και αυτό, γιατί 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.

στ) Το βάθος εναζωτώσεως είναι μικρότερο από το βάθος ενανθρακώσεως για τον ίδιο χρόνο θερμάνσεως.

ζ) Υπερθέρμανση εναζωτωμένου τεμαχίου έχει σαν συνέπεια την καταστροφή της σκληρής επιφανειακής του στιβάδας τελείως. Επομένως χρειάζεται επανάληψη της εναζωτώσεως. Σε παρόμοια περίπτωση ενανθρακωμένου τεμαχίου εφαρμόζεται μόνο κατάλληλη θερμική κατεργασία και όχι νέα ενανθράκωση.

Η κατεργασία αυτή μεταβάλλει τη χημική σύνθεση της επιφανειακής στιβάδας των τεμαχίων.

3.13 ΦΛΟΓΟΒΑΦΗ

Κατ' αυτές το τεμάχιο από χάλυβα, ο οποίος πρέπει να επιδέχεται βαφή, συνήθως με $n(C) \approx 0,35\%$, βάφεται επιφανειακά σε ελεγχόμενο βάθος.

Αυτή η μέθοδος επιφανειακής σκληρώσεως συνίσταται σε γρήγορη θέρμανση του επιφανειακού στρώματος των τεμαχίων σε θερμοκρασία υψηλότερη του ανώτερου κρίσιμου σημείου (A_3), συνήθως με ουδέτερη φλόγα οξυγόνου-ασετυλίνης. Η θέρμανση ακολουθείται από γρήγορη (ταχεία) απόψυξη (βαφή) με εκτόξευση νερού.

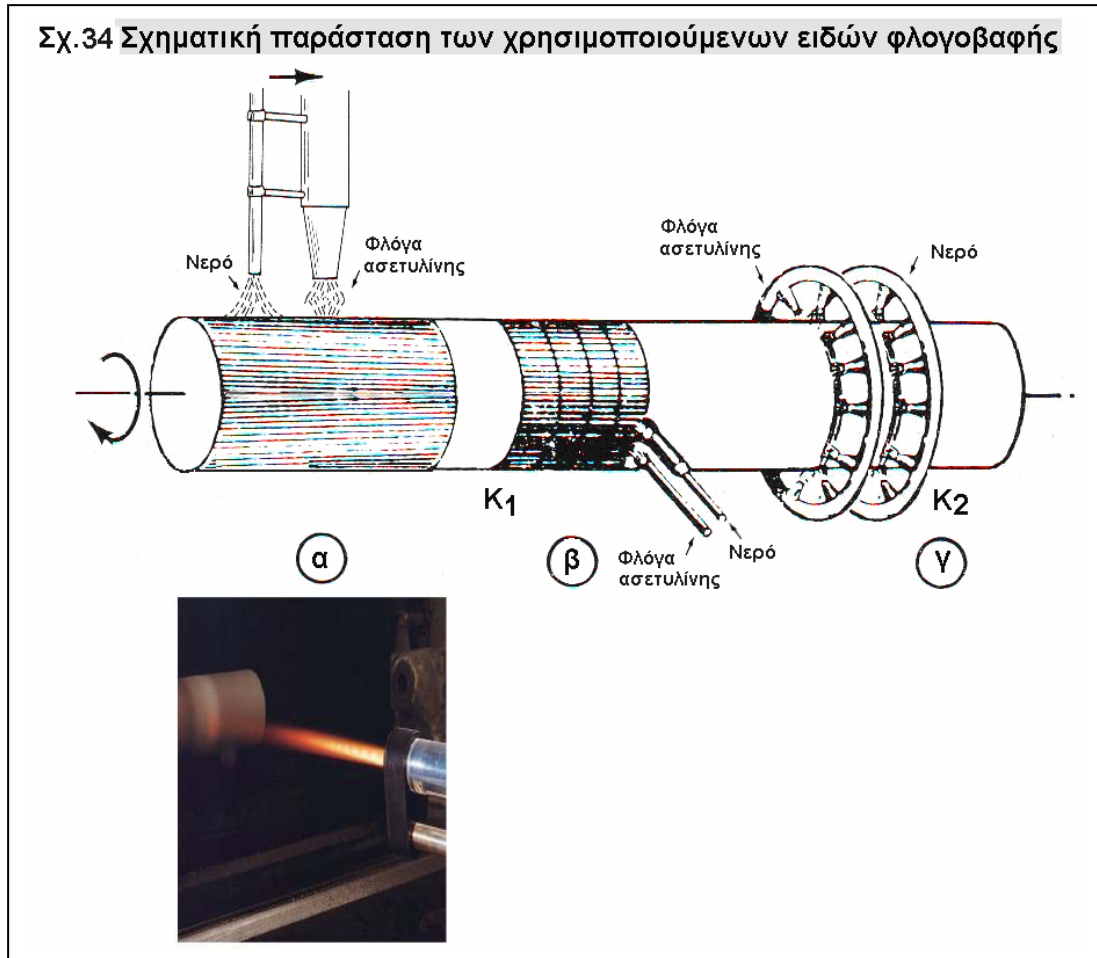
Έτσι, μετά τη φλογοβαφή, το τεμάχιο διατηρεί τη χημική του σύνθεση στην επιφάνεια και τον πυρήνα του. Σκληραίνεται μόνο η επιφάνεια με τοπική βαφή.

Τα τεμάχια που πρόκειται να υποστούν φλογοβαφή κατασκευάζονται από ανθρακούχο χάλυβα ή από χαλυβόκραμα, με περιεκτικότητα όμως σε άνθρακα ανώτερη από 0,35% για να μπορούν να βαφούν.

Επειδή κατά τη φλογοβαφή πρέπει η θέρμανση και η απόψυξη να γίνονται με ορισμένη ταχύτητα, συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα. Τεμαχία που έχουν κυλινδρικό σχήμα τοποθετούνται μεταξύ των κέντρων τόννου.

Ο τόννος διαμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να φέρει ακροφύσια οξυγόνου και ασετυλίνης για τη θέρμανση του τεμαχίου και ακροφύσιο εκτοξεύσεως νερού για την απόψυξη του.

Βασικά χρησιμοποιούνται τρία είδη φλογοβαφής (σχ. 34).



1^ο είδος φλογοβαφής :

Κατά το πρώτο είδος [σχ. 34 (α)], ο κύριος άξονας του τόννου περιστρέφεται, ώστε στην επιφάνεια του τεμαχίου που είναι για φλογοβαφή να αναπτυχθεί ταχύτητα περίπου 2 mm ανά sec.

Η επιφάνεια θερμαίνεται με φλόγα οξυγόνου και ασετυλίνης από κεφαλή K₁, που, διαμορφώνεται έτσι, ώστε να καλύπτει ολόκληρο το μήκος της επιφάνειας που πρόκειται να υποστεί φλογοβαφή.

Ολόκληρη η επιφάνεια του τεμαχίου σκληρώνεται σε μια μόνο περιστροφή του άξονα. Σοβαρό μειονέκτημα του είδους αυτού φλογοβαφής είναι η δημιουργία μαλακής λωρίδας που έχει πλάτος αρκετά mm, μεταξύ της λωρίδας που σκληρώνεται πρώτη και εκείνης που σκληρώνεται τελευταία. Αυτό οφείλεται στην επαναφορά .

2^ο είδος φλογοβαφής :

Το δεύτερο είδος φλογοβαφής [σχ. 34 (β)] περιλαμβάνει θέρμανση και γρήγορη απόψυξη διαδοχικών τμημάτων της επιφάνειας (βαφή κατά ζώνες). Αυτή η φλογοβαφή έχει το μειονέκτημα του σχηματισμού στενής μαλακής ελικοειδούς ζώνης επάνω στο τεμάχιο.

3^ο είδος φλογοβαφής :

Κατά το τρίτο είδος φλογοβαφής [σχ 34 (γ)], η επιφάνεια που είναι για σκλήρωση θερμαίνεται γρήγορα από κυκλική κεφαλή K_2 με πολλά ακροφύσια οξυγόνου-ασετυλίνης, η οποία κινείται κατά μήκος του γρήγορα περιστρεφόμενου άξονα. Υπάρχει παρόμοια κυκλική κεφαλή για την εκτόξευση νερού αποψύξεως. Αυτό το είδος φλογοβαφής δίνει βαμμένη επιφάνεια με σχετικά ομοιόμορφη σκληρότητα.

Γενικά το βάθος της βαμμένης επιφανειακής στιβάδας κυμαίνεται από 5 μέχρι 10 mm.

Η φλογοβαφή, εκτός του ότι είναι απλή, μπορεί να εφαρμοσθεί και σε ογκώδη σφυρήλατα ή χυτοχαλύβδινα τεμάχια που είναι δύσκολο ή αδύνατο να βαφούν με άλλο τρόπο. Γι' αυτό το λόγο και εφαρμόζεται πολύ στη βιομηχανία μηχανημάτων.

Μειονεκτήματα της φλογοβαφής είναι η αναπόφευκτη υπερθέρμανση της επιφανειακής στιβάδας και η δυσκολία ρυθμίσεως του βάθους βαφής με ακρίβεια. Πριν από τη φλογοβαφή τα τεμάχια πρέπει να υποστούν τις θερμικές κατεργασίες που χρειάζονται, για να αποκτήσουν τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε. Συνήθως εκτελείται εξομάλυνση .

3.14 ΒΑΦΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

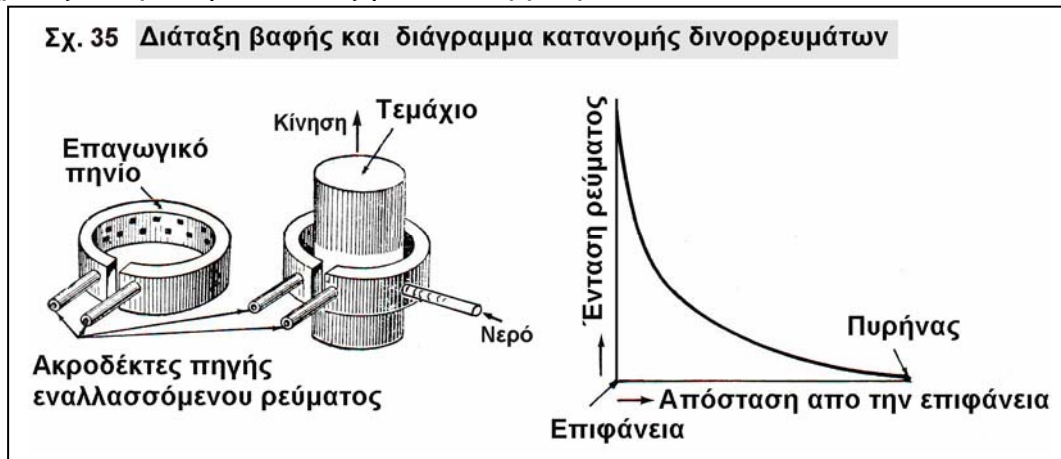
Και με την μέθοδο αυτή μπορούμε να πετύχομε τη θέρμανση του τεμαχίου με σκοπό την επιφανειακή. Τη θέρμανση ακολουθεί, όπως και κατά τη φλογοβαφή, γρήγορη απόψυξη.

Μ' αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνουμε υψηλή ποιότητα του βαμμένου μέρους του τεμαχίου. Επίσης σοβαρό πλεονέκτημα αυτής της κατεργασίας είναι ο αυτοματισμός, δηλαδή η παραγωγή μεγάλου αριθμού τεμαχίων χωρίς κινήσεις με το χέρι.

Η θέρμανση με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή βασίζεται στη γνωστή αρχή: Αν μεταλλικό τεμάχιο, συνήθως μεγάλου πάχους, τοποθετηθεί μέσα σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, τότε προκαλούνται στη μάζα του τεμαχίου δινορρεύματα (ρεύματα που έχουν μορφή δίνης). Αποτέλεσμα της δημιουργίας των δινορρευμάτων είναι η αντίστοιχη ανάπτυξη θερμότητας (νόμος του Joule της Ηλεκτροτεχνίας) και από αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας του τεμαχίου.

Κυλινδρικά τεμάχια θερμαίνονται, αφού τοποθετηθούν μέσα σε επαγωγικό πηνίο (σχ 35), το οποίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεί το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που χρειάζεται για την ανάπτυξη των δινορρευμάτων .



Στην περίπτωση αυτή είναι η ανομοιόμορφη κατανομή των δινορρευμάτων στη διατομή του τεμαχίου από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του [σχ. 356]. Μάλιστα, η κατανομή τους είναι τόσο ανομοιόμορφη, όσο η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσεως είναι υψηλότερη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *επιδερμικό*, γιατί όπως φαίνεται η ένταση του ρεύματος έχει τη μεγαλύτερη τιμή της επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου. Αυτή η ανομοιομορφία του ρεύματος από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του τεμαχίου, έχει σαν αποτέλεσμα την, ανομοιόμορφη επίσης θέρμανση του τεμαχίου. Και μάλιστα η θερμοκρασία της επιφανειακής στιβάδας υψώνεται γρήγορα, ενώ ο πυρήνας του τεμαχίου παραμένει ψυχρός ή θερμαίνεται λίγο, λόγω της μεταδόσεως της θερμότητας με αγωγή από την επιφανειακή στιβάδα προς τον πυρήνα.

Με την μέθοδο δεν αλλάζει η χημική σύνθεση της επιφανειακής στιβάδας των τεμαχίων, αλλά απλά αυτά βάφονται σε ελεγχόμενο βάθος.

Για την τροφοδότηση των επαγωγικών πηνίων χρησιμοποιούνται γεννήτριες υψηλής συχνότητας (μέχρι περίπου 10.000 c/sec) ή ταλαντωτές με τον απαιτούμενο ενισχυτή ισχύος για υψηλότερες συχνότητες.

Οι πιο κατάλληλες συχνότητες σε σχέση πάντα με το βάθος που επιθυμούμε και το οποίο είναι ανάλογο με τη χρήση του τεμαχίου, είναι οι παρακάτω:

Βάθος επιφανειακής στιβάδας (mm)	Συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος (c/sec)
1,0	60.000
1,5	25.000
2,0	15.000
3,0	7.000
4,0	4.000
6,0	1.500
10,0	500

Βάθος βαφής 1,50 ως 2,00 mm χρησιμοποιείται για τεμάχια που χρειάζεται να αντέχουν στη φθορά, 4,00 ως 8,00 mm για τεμάχια που πρέπει να αντέχουν σε σύνθλιψη και 10 mm και πάνω για κύλιστρα ελάστρων.

Η επιφανειακή βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή δύσκολα εφαρμόζεται σε τεμάχια με πολύπλοκο σχήμα. Σε απλά όμως τεμάχια και για μαζική παραγωγή, χρησιμοποιείται με ικανοποιητικά αποτελέσματα από απόψεως κόστους και ποιότητας. Σήμερα εφαρμόζεται πολύ για την επιφανειακή σκλήρωση οδοντωτών τροχών, εκκεντροφόρων αξόνων, έκκεντρων, ολισθητήρων εργαλείο μηχανών, κεφαλών σιδηροτροχιών, χιτωνίων κυλίνδρων πετρελαιομηχανών, κυλίστρων και άλλων.

Το βάθος σκλήρυνσης που δημιουργείται κατά την ταχεία ψύξη ενός χάλυβα σε συνάρτηση με την ταχύτητα της ψύξης, ελέγχεται με την μέθοδο ελέγχου του ψυχρού άκρου (έλεγχος *Jominy*).

3.15 ΤΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

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 χάλυβων 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 τη βαφή των ανθρακούχων χάλυβων, δημιουργούνται στα τεμάχια στρεβλώσεις, ρωγμές ή και τα δύο.

γ) Παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή στην οξειδωση και στη διάβρωση, ακόμα 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 πετύχομε ορισμένα χαρακτηριστικές ιδιότητες που είναι αναγκαίες σε εφαρμογές στον ηλεκτρισμό, μαγνητισμό ή αλλού, όπως π.χ. πολύ μικρό, σχεδόν μηδενικό, συντελεστή διαστολής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΑ

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

Τα χαλυβοκράματα είναι κράματα σιδήρου και άνθρακα στα οποία προστίθενται 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 π.χ. ποσότητες 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 ομάζουμε κύριες προσθήκες

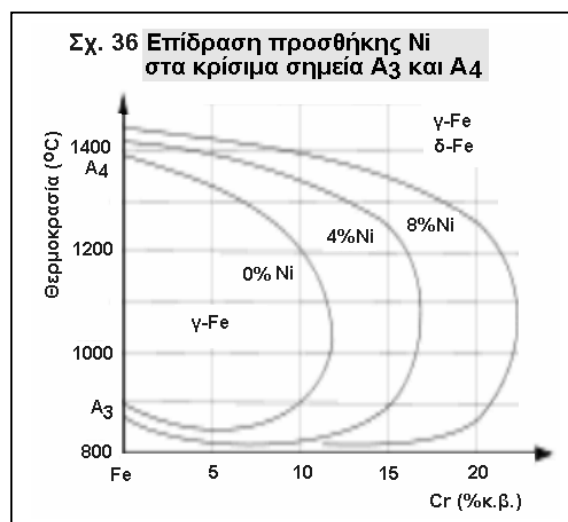
β) το μολυβδαίνιο, Mo, το βολφράμιο, W, το βανάδιο, V, το κοβάλτιο, Co, και το αργίλιο, Al, τα οποία καλούμε δευτερεύουσες προσθήκες.

4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΩΝ . ΕΙΔΗ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ

Η επίδραση των προσθηκών άλλων μετάλλων στους χάλυβες επηρεάζει σημαντικά στις μηχανικές και άλλες ιδιότητες των χαλυβοκραμάτων, καθώς επίσης και την κρυσταλλική τους δομή. Μερικές από τις επιδράσεις αυτές είναι :

α) Με τις προσθήκες προσδίνεται μεγαλύτερη αντοχή στο χαλυβόκρμα. Μερικές προσθήκες, όπως είναι το Ni , Mn και το Co κατεβάζουν το κρίσιμο σημείο A₃ . (Βλ. σχήμα 36) .

Έτσι, όταν τα στοιχεία αυτά προστεθούν σε ανθρακούχο χάλυβα, σταθεροποιούν τον ωστενίτη και αυξάνουν την περιοχή θερμοκρασιών, στις οποίες ο ωστενίτης μπορεί να βρίσκεται σε κατάσταση ευστάθειας, δηλαδή να μη διασπάται. Όπως θα δούμε παρακάτω, μπορεί με κατάλληλες προσθήκες να έχουμε ευσταθή ωστενίτη και στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.



β) Άλλες προσθήκες , όπως είναι το Cr , W , V , Mo και Si κατεβάζουν το κρίσιμο σημείο A₄ και ανεβάζουν το A₃.

γ) Τα στοιχεία Cr , W , V , Mo , Ti και Mn όταν προστεθούν σε ανθρακούχο χάλυβα σχηματίζουν σταθερά καρβίδια πολύ σκληρότερα από τον σεμενίτη .

δ) Προσθήκες όπως το Ni , Si και Al γραφίτοποιούν τον σεμεντίτη , γεγονός που χειροτερεύει τις μηχανικές ιδιότητες του χαλυβοκράματος.

ε) Οι προσθήκες μετατοπίζουν προς τα αριστερά το σημείο ευκτηκτοειδούς αναλογίας S του θερμικού διαγράμματος ισορροπίας των φάσεων (βλ. σχήμα 16).

στ) Οι προσθήκες ελαττώνουν την κρίσιμη ταχύτητα απόψυξης και αυξάνουν την ικανότητα του χαλυβοκράματος σε βαφή.

ζ) Οι προσθήκες Cr , Si και Al επίσης βελτιώνουν σημαντικά την αντοχή σε διάβρωση

η) Οι προσθήκες Cr και Si αυξάνουν το μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη , όμως η προσθήκη Ni , μειώνει το μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη βελτιώνοντας την δυσθραυστότητα του χαλυβοκράματος.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι επιδράσεις των προσθηκών στις διάφορες ιδιότητες των χαλύβων συνοπτικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Επίδραση των προσθηκών στις διάφορες ιδιότητες των χαλύβων									
Ιδιότητες των χαλύβων	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	Si	Al	Co
1. Διαλυτότητα στο φερρίτη	3%	10%	απεριόριστη	33%	37,50%	απεριόριστη	18,50%	36%	75%
2. Διαλυτότητα στον ωστενίτη	απεριόριστη	απεριόριστη	12,80%	6%	3%	1%	2%	1,10%	
3. Τάση σχηματισμού καρβιδίων	+	- γραφίτοποιεί	++	+++	++	++++	-	- γραφίτοποιεί	+ γραφίτοποιεί
4. Μηχανικές ιδιότητες	βελτίωση	βελτίωση			βελτίωση				
5. Σταθεροποίηση ωστενίτη	NAI	NAI							
6. Σταθεροποίηση φερρίτη			NAI				NAI		
7. Ελάττωση κρίσιμης ταχύτητας απόψυξης	NAI	NAI	NAI		NAI		NAI		
8. Ελάττωση ευτηκτοειδούς περιεκτικότητας σε άνθρακα		NAI	NAI				NAI		
9. Μέγεθος κόκκων		ελάττωση	αύξηση			ελάττωση		ελάττωση	
10. Αύξηση αντοχής σε φθορά από τριβή			NAI	NAI	NAI	NAI			
11. Αντοχή σε διάβρωση			αύξηση						
12. Αύξηση αντοχής σε επαναφορά			NAI	NAI	NAI	NAI			NAI
13. Ευθραυστότητα από επαναφορά					Περιορισμός				

Θα αναπτύξουμε πιο ειδικά κάποιες προσθήκες μετάλλων στον χάλυβα.

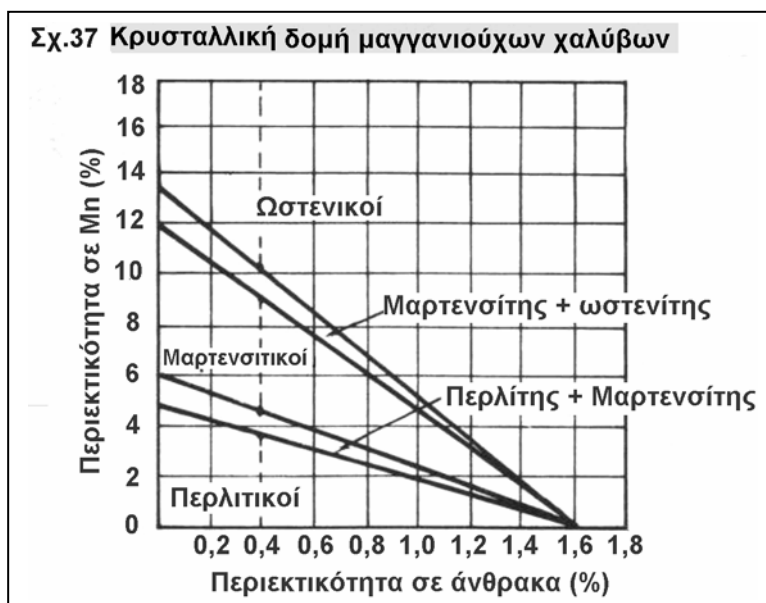
4.2.1 Το μαγγάνιο και οι μαγγανιούχοι χάλυβες

Το μαγγάνιο περιέχεται μέχρι 1 % περίπου σε όλους τους χάλυβες. Αυτό είναι συνέπεια των μεθόδων παρασκευής του χάλυβα, όπου το μαγγάνιο χρησιμοποιείται σαν αποξειδωτικό.

Αν προστεθεί το μαγγάνιο σε μεγαλύτερες ποσότητες στους ανθρακούχους χάλυβες:

- α) Βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες του χαλυβοκράματος.
- β) Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.
- γ) Κατεβάζει το κρίσιμο σημείο A3 και έτσι κάνει σταθερό τον ωστενίτη
- δ) σχηματίζει σταθερά καρβίδια.

Οι μαγγανιούχοι χάλυβες έχουν κρυσταλλική δομή περλίτη (περλιτικοί χάλυβες), μαρτενσίτη (μαρτενσιτικοί) ή ωστενίτη (ωστενιτικοί) ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα και μαγγάνιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 37.



Μαγγανιούχος χάλυβας π.χ. με $\pi(C) = 0,40\%$ θα έχει κρυσταλλική δομή περλίτη για $\pi(Mn) = 0\%$ ως $3,70\%$, μαρτενσίτη για $\pi(Mn) = 4,80\%$ ως 9% και ωστενίτη για $\pi(Mn) > 10,50\%$ κατά προσέγγιση.

Οι περλιτικοί μαγγανιούχοι χάλυβες, που χρησιμοποιούνται βιομηχανικά, περιέχουν περίπου $1,50\%$ Mn και από $0,20\%$ μέχρι $0,25\%$ C. Για να ελαττωθεί το φαινόμενο μάζας κατά τη βαφή τους προσθέτομε $0,20\%$ ως $0,55\%$ Mo (μολυβδαίνιο).

Οι μαρτενσιτικοί μαγγανιούχοι χάλυβες δεν παρουσιάζουν βιομηχανικό ενδιαφέρον.

Πρέπει να σημειώσουμε, ότι ο μόνος ωστενιτικός μαγγανιούχος χάλυβας που μας ενδιαφέρει, είναι ο γνωστός ως χάλυβας Hadfield (Χάντφηντ) με περιεκτικότητα $1,20\%$ C και $12,50\%$ Mn που παρασκευάστηκε το 1882. Αυτός ο χάλυβας παρουσιάζει πολύ μεγάλη δυσθραυστότητα και αποκτάει εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής σε φθορά από κρούση κατά τη χρήση του. Η επιφάνεια του δηλαδή συνεχώς σκληρύνεται, όπως π.χ. κατά τη χρησιμοποίηση του σε χαλκοθραυστήρες με το κτύπημα των λίθων. Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες, καθώς και οι βιομηχανικές χρήσεις των κυριοτέρων μαγγανιούχων χαλύβων αναγράφονται στον Πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 Μαγνησιούχοι χάλυβες							
Χημική σύνθεση [%]		Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	ρ^* [Nm/cm ²]		
0,25	1,50	Μετά από εξομάλυνση	580	20	–	Βαφή σε λάδι από 860°C. Επαναφορά ανάλογα με τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες	Χάλυβας κατασκευών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, στροφαλοφόροι άξονες, διωστήρες
0,35	1,50	Σε ράβδο διαμέτρου 30 mm	700	27	72	Βαφή σε νερό από 840°C έως 860°C. Επαναφορά σε 550°	Χάλυβας κατασκευών. Σε βιομηχανία αυτοκινήτων και για μηχανολογικές γενικά
		Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C				έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	κατασκευές, όπου δεν επαρκεί ο ανθρακούχος χάλυβας, δεν δικαιολογείται όμως ο ακριβότερος νικελιοχρωμιούχος
1,20	12,50	Μετά από βαφή σε νερό από 1050°C	830	40	–	Βαφή από 1050°C σε νερό	Χάλυβας κατασκευών ανοξείδωτος. Μηχανήματα εξορύξεως, δόντια εκσκαφών, τροχοί ερπυστριών ελκυστήρων και γερανών, σιαγόνες θραυστήρων

4.2.2 Το νικέλιο και οι νικελιούχοι χάλυβες

Το νικέλιο σαν προσθήκη στους ανθρακούχους χάλυβες:

- α) Βελτιώνει τις μηχανικές τους ιδιότητες.
- β) Ελαττώνει την ευηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα.
- γ) Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.
- δ) Κατεβάζει το κρίσιμο σημείο A3 και επομένως σταθεροποιεί τον ωστενίτη.
- ε) Γραφίτοποιεί το σεμεντίτη

στ) περιορίζει την αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη.

Οι νικελιούχοι χάλυβες διακρίνονται σε περλιτικούς, μαρτενσιτικούς ή ωστενιτικούς. Το είδος αυτό της κρυσταλλικής τους δομής εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα και νικέλιο όπως φαίνεται στο σχήμα 38.



Από το σχήμα αυτό προκύπτει, ότι ο νικελιούχος χάλυβας με $\pi(C) = 0,50\%$ θα είναι περλιτικός για $\pi(Ni) = 0\%$ μέχρι 6% , μαρτενσιτικός για $\pi(Ni) = 8\%$ μέχρι 15% και ωστενιτικός για $\pi(Ni) > 20\%$ περίπου.

Συνήθως οι περλιτικοί νικελιοχάλυβες περιέχουν μέχρι 5% Ni και άνθρακα από $0,10\%$ μέχρι $0,40\%$. Οι νικελιούχοι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα ($0,10\%$ μέχρι $0,15\%$) είναι κατάλληλοι για ενανθράκωση και επιφανειακή σκλήρωση. Οι νικελιούχοι χάλυβες με άνθρακα από $0,25\%$ μέχρι $0,40\%$ χρησιμοποιούνται, αφού υποστούν επιβελτίωση για την κατασκευή τεμαχίων που καταπονούνται σε κόπωση

όπως είναι οι στροφαλοφόροι άξονες, οι διωστήρες και άλλα στοιχεία μηχανών, ωστενιτικοί νικελιούχοι χάλυβες και οι μαγγανιούχοι δεν παρουσιάζουν βιομηχανικό ενδιαφέρον.

Οι ωστενικοί νικελιούχοι χάλυβες είναι αμαγνητικοί. Όταν έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο, παρουσιάζουν αντοχή στη διάβρωση. Το νικέλιο και το χρώμιο αποτελούν τις βασικές προσθήκες των ανοξειδωτων χαλύβων. Ορισμένοι νικελιούχοι χάλυβες παρουσιάζουν πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής, όπως είναι το Ινβάρ (Invar) με π(Νί) = 36%.

Άλλοι παρουσιάζουν χαρακτηριστικές μαγνητικές ιδιότητες, όπως το Πέρμαλλου (Permalloy) με $\mu = 78,50\%$, το οποίο έχει πολύ μεγάλο συντελεστή μαγνητικής διαπερατότητας σε ασθενή μαγνητικά πεδία. Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των πιο βασικών νικελιούχων χαλύβων δίνονται στον Πίνακα 3.

Χημική σύνθεση [%]			Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Ni	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	ρ [Nπ/cm ²]		
0,40	1,50	1,00	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 600°C	710	25	96	Βαφή σε λάδι από 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Στροφαλοφόροι άξονες, άξονες μεταδόσεως κινήσεως, διωστήρες. Τεμάχια βιομηχανίας αυτοκινήτων και γενικής μηχανολογίας
0,30	0,60	3,00	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 600°C	870	25	110	Βαφή σε λάδι από 840°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Όπως παραπάνω. Επί πλέον για άξονες αντλιών και στροβίλων
0,12	0,45	3,00	Μετά από θαφή	790	20	82	Μετά την ενανθράκωση, θαφή πυρήνα από 860°C σε λάδι. Βαφή επιφανειακής στιβάδας από 770°C σε νερό	Χάλυβας κατασκευών (ενανθράκωσης). Οδοντωτοί τροχοί, πείροι, εκκεντροφόροι άξονες
0,12	0,40	5,00	Μετά από θαφή	870	22	72	Μετά την ενανθράκωση, θαφή πυρήνα από 850°C σε λάδι. Βαφή επιφανειακής στιβάδας από 760°C σε νερό	Χάλυβας κατασκευών (ενανθράκωσης). Τεμάχια με σκληρή επιφάνεια φορτιζόμενα με μεγάλα φορτία. Οδοντωτοί τροχοί κιβωτίων ταχυτήτων, κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, πείροι, ατέρμονες κοχλίες

4.2.3 Το χρώμιο και οι χρωμιούχοι χάλυβες

Η προσθήκη χρωμίου σε ανθρακούχο χάλυβα:

α) Γενικά αυξάνει τη σκληρότητα του και την αντοχή του σε φθορά από τριβή, ιδιαίτερα σε χάλυβες που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, επειδή σχηματίζονται σκληρά καρβίδια

β) Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως

γ) Χαμηλώνει την ευτηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα

δ) Σχηματίζει σκληρά καρβίδια

ε) Ανεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και κατεβάζει το A_4 , σχηματίζει δηλαδή γ - βρόγχο και έτσι σταθεροποιείται ο φερρίτης.

Σχ.39 Χρώμιο



Σχ.40 Λουτρό επιχρωμίωσης



στ) Αυξάνει το μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη και τέλος,

ζ) αυξάνει την αντοχή του χάλυβα στη διάβρωση (αποτελεί κύρια προσθήκη των ανοξειδωτων χαλύβων).

Οι χρωμιούχοι χάλυβες έχουν κρυσταλλική δομή φερρίτη-περλίτη για περιεκτικότητα σε χρώμιο μικρότερη από 7%. Επίσης έχουν πλατιά όρια μεταβολής της περιεκτικότητας σε άνθρακα και χρώμιο όταν είναι μαρτενσιτικοί. Τέλος, όταν έχουν $\pi(C) > 13\%$ και χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, είναι φερριτικοί χάλυβες.

Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες, καθώς και τυπικές εφαρμογές των χρωμιούχων χαλύβων φαίνονται στον Πίνακα 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 Χρωμιούχοι χάλυβες								
Χημική σύνθεση [%]			Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Cr	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	Σκληρότητα κατά Brinell		
0,60	0,65	0,65	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 200°C	-	-	700	Βαφή σε λάδι από 800° έως 850°C. Επαναφορά για εργαλεία ψυχρηλασίας σε 200° έως 300°C και για εργαλεία θερμηλασίας σε 400° έως 600°C	Χάλυβας εργαλείων. Γενικά για εργαλεία σιδηρουργού και λεθτοποιοού
0,45	0,90	1,00	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 650°C. Ράβδος, διαμέτρου 30 mm	980	20	-	Βαφή σε λάδι από 860°C. Επαναφορά σε 550° έως 700°C	Χάλυβας κατασκευών. Στοιχεία αγροτικών μηχανών και εργαλειομηχανών. Λεπίδες και δόντια εκσκαφών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, διωστήρες, θραχίονες (μπάρες) συστήματος οδηγήσεως οχημάτων
1,00	0,45	1,40	Μετά από θαφή	-	-	850	Βαφή σε λάδι από 810°C. Επαναφορά σε 150°C	Χάλυβας κατασκευών. Ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν). Έκκεντρα.
0,04	0,45	14,00	Μετά από ανόπτηση	50	31	-	Δεν βόφετα. Σκληρύνεται μόνο για ψυχρηλασία	Ανοξειδωτος σίδηρος. Οικιακά σκεύη (ιδιαίτερα πειρούνια και μαχαίρια)
0,22	0,50	13,00	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 700°C	75	26	220	Βαφή σε λάδι, νερό ή αέρα από 950°C έως 1000°C. Επαναφορά σε 500° έως 750°C	Ανοξειδωτος χάλυβας κατασκευών. Βαλβίδες και εξαρτήματα αντλιών
2,10	-	12,50	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 200°C	-	-	850	Βαφή σε λάδι από 960° έως 990°C. Επαναφορά σε 150° έως 400°C	Χάλυβας εργαλείων. Στιγείς (ζουμπάδες), μήτρες, λεπίδες ψαλίδων. Μήτρες κονιομεταλλουργίας, μήτρες κατασκευής σπειρωμάτων με συμπίεση

Αναφέρομε χαρακτηριστικά, ότι χρωμιούχοι χάλυβες με $\pi(C) = 1,50\%$ και $\pi(V) = 0,20\%$ χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ελατηρίων. Επίσης από χρωμιούχους χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (1%) και $\pi(Cr) = 1,40\%$ κατασκευάζονται ρουλεμάν. Το χρώμιο, όταν προστίθεται, σε μεγάλες όμως περιεκτικότητες (πάνω από 13%), προσδίνει στους χάλυβες μεγάλη αντοχή στη διάβρωση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία λεπτού και συνεκτικού προστατευτικού επιφανειακού στρώματος οξειδίων που εμποδίζει την παραπέρα διάβρωση του χάλυβα. Έτσι έχουμε τους ανοξειδωτους σιδήρους $\pi(C) < 0,10(\%)$ και τους ανοξειδωτους χάλυβες [$\mu\epsilon \pi(C) = 0,20\%$ μέχρι $0,30\%$].

4.2.3.1 Νανοκρυσταλλικές επικαλύψεις με θερμικό ψεκασμό

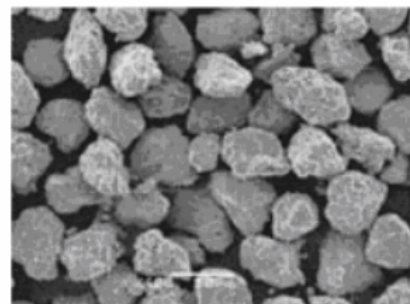
Τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται και η τεχνολογία θερμικού ψεκασμού επικάλυψης με νανοκρυσταλλικές δομές που προσφέρουν βελτιωμένες μηχανικές και οπτικές ιδιότητες στις επικαλύψεις (π.χ. επιφανειακή σκληρότητα, αντοχή σε φθορά, κ.λπ.). Συγκεκριμένα, οι τεχνικές θερμικού ψεκασμού (ψεκασμός με πλάσμα, με φλόγα, με τόξο, με φλόγα υψηλής ταχύτητας-HVOF) βασίζονται στην τροφοδοσία του υλικού της επικάλυψης, υπό μορφή σύρματος ή πούδρας, σε πίδακα θερμότητας (φλόγα ή πλάσμα) υψηλής κινητικής και θερμικής ενέργειας. Όταν τα σωματίδια του υλικού, τηγμένα ολικά ή μόνο στην εξωτερική στοιβάδα, προσπίπτουν στην ψυχρή επιφάνεια που προορίζεται για επικάλυψη, το τηγμένο υλικό στερεοποιείται ακαριαία δημιουργώντας ένα στρώμα παρόμοιας χημικής σύνθεσης με το υλικό ψεκασμού. Η θερμότητα που δέχεται το υλικό κατά τον ψεκασμό, αλλά και κατά την απόθεση στο υπόστρωμα μέχρι την πλήρη ανάπτυξη και απόψυξη της επικάλυψης, ενεργοποιεί τη μετατροπή της θερμοδυναμικά μετασταθούς νανοκρυσταλλικής δομής προς μία θερμοδυναμικά σταθερότερη δομή μεγαλύτερης κοκκομετρίας. Αποτέλεσμα είναι η μεγέθυνση των νανοκρυστάλλων, η οποία μπορεί να συνοδεύεται και από μετασχηματισμό των αρχικών φάσεων. Η πρόκληση για την εφαρμογή των τεχνικών θερμικού ψεκασμού είναι, λοιπόν, η ρύθμιση των συνθηκών ψεκασμού ώστε να μην επηρεάζεται η νανοδομή των ψεκαζόμενων σωματιδίων και να διατηρείται στην παραγόμενη επικάλυψη.

Στο σχήμα 40 δείχνεται ο θάλαμος θερμικού ψεκασμού με πλάσμα νανοκρυσταλλικής σκόνης χρωμιομαγγανιούχου χάλυβα, που παράγεται με τεχνικές άλεσης. Το μέσο μέγεθος σωματιδίων είναι 40 μm, ενώ, σύμφωνα με αναλυτικές τεχνικές μετρήσεις (περίθλαση ακτίνων Χ, ηλεκτρονική μικροσκοπία), το μέσο μέγεθος των κρυστάλλων που τα αποτελούν ανέρχεται σε 12nm. Κατά τον ψεκασμό, η θερμοκρασία του πλάσματος υπερβαίνει τους 5000°C, ωστόσο διατηρείται η νανοκρυσταλλική δομή της επικάλυψης, με μέσο μέγεθος κρυστάλλων 16nm.

Η δημιουργία της νανοκρυσταλλικής επικάλυψης είναι εφικτή χάρις, αφενός, στον περιορισμό της ενθαλπίας του πλάσματος, μέσω της ρύθμισης της αναλογίας των αερίων (Ar, H₂) και της ενέργειας του ηλεκτρικού τόξου που παράγουν, και, αφετέρου, στη θέση τροφοδοσίας της σκόνης στο πλάσμα.

Πρόσθετα πειράματα απέδειξαν επίσης πως η παραγωγή νανοκρυσταλλικών επικαλύψεων είναι εφικτή με τη χρήση νανοκρυσταλλικών κόνεων και άλλων υλικών όπως το καρβίδιο του βολφραμίου (WC) και η αλουμίνα (Al₂O₃).

Σχ.41 Κόκκοι νανοκρυσταλλικού χρωμιομαγγανιούχου χάλυβα



Σχ.42 Θάλαμος θερμικού ψεκασμού νανοκρυστάλλων



4.2.4 Οι νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες

Συχνά, σαν προσθήκες στους ανθρακούχους χάλυβες χρησιμοποιείται το νικέλιο μαζί με το χρώμιο. Σ' αυτή την περίπτωση διατηρούνται οι ευνοϊκές ιδιότητες των δυο προσθηκών, ενώ εξουδετερώνονται τα μειονεκτήματα της μιας, όταν αυτή χρησιμοποιείται χωριστά, από την παρουσία της άλλης. Παρατηρούμε π.χ. ότι η γρήγορη αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη, η οποία οφείλεται στο χρώμιο εξουδετερώνεται από το νικέλιο που έχει τάση ελαττώσεως του μεγέθους των κόκκων. Αντίστροφα, η τάση που έχει το νικέλιο να γραφίτοποιεί το σεμεντίτη αντισταθμίζεται από την ιδιότητα που έχει το χρώμιο να τον σταθεροποιεί και να σχηματίζει σκληρά καρβίδια.

Έτσι, η υψηλή αντοχή, η καλή δυσθραυστότητα και η πλαστικότητα, που δίνει στο χαλυβόκραμα το νικέλιο, συνδυάζονται με τη σκληρότητα, άρα και την αντοχή σε φθορά από τριβή που δίνει το χρώμιο. Εκτός από αυτά, το χρώμιο και το νικέλιο μαζί περιορίζουν κατά πολύ το φαινόμενο μάζας κατά την βαφή. Έτσι, μπορεί να βαφούν μέχρι την καρδιά τεμάχια που έχουν διάμετρο ακόμη και 500 mm. Επίσης δίνουν γενικά πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες απαραίτητες για τεμάχια που καταπονούνται με υψηλές μηχανικές τάσεις. Έτσι, παρασκευάζεται ολόκληρη σειρά νικελιοχρωμιούχων χαλύβων, όπως λέγονται. Αυτοί οι χάλυβες βρίσκουν εφαρμογές συνήθως σε κατάσταση επιβελτιώσεως και περιέχουν: Από 1,00% μέχρι 3,50% Ni, από 0,25 μέχρι 1,50 Cr και από 0,25 μέχρι 0,40% C.

Από τη χημική τους σύνθεση παρατηρούμε ότι περιέχουν κατά πολύ περισσότερο νικέλιο παρά χρώμιο.

Σε περίπτωση που οι νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σαν χάλυβες ενανθρακώσεως, η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα είναι χαμηλή και κυμαίνεται από 0,07% μέχρι 0,20%

Η πλήρης θερμική κατεργασία των χαλύβων επιβελτιώσεως περιλαμβάνει από βαφή μέσα σε λάδι, από 820°C μέχρι 850°C και επαναφορά σε 550 °C 650 °C.

Κατά την επαναφορά ορισμένων από τους νικελιοχρωμιούχους χάλυβες παρατηρείται το φαινόμενο της *ευθραυστότητας από επαναφορά*.

Αυτά δηλαδή τα χαλυβοκράματα, σε ορισμένη περιοχή θερμοκρασίας επαναφοράς, παρουσιάζουν μειωμένη δυσθραυστότητα.

Για να αποφύγουμε αυτό το δυσάρεστο γεγονός, η επαναφορά των χρωμιούχων χαλύβων γίνεται από 550°C ως 560°C, ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε, με γρήγορη όμως απόψυξη.

Προσθήκη 0,30% μέχρι 0,50% μολυβδαινίου στους νικελιούχους χάλυβες περιορίζει κατά πολύ το φαινόμενο αυτό της ευθραυστότητας από επαναφορά. Οι χάλυβες που αναφέραμε ανήκουν στην κατηγορία των χρωμιούχων χαλύβων χαμηλής περιεκτικότητας σε προσθήκες. Υπάρχουν όμως και οι ωστενιτικοί νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες (*ανοξείδωτοι χάλυβες*) με βάση τυπικό χάλυβα 18-8, δηλαδή με $\pi(\text{Ni}) = 18\%$ και $\pi(\text{Cr}) = 8\%$.

Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των νικελιοχρωμιούχων χαλύβων βρίσκονται στον Πίνακα 5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 Σύσταση και ιδιότητες νικελιοχρωμιούχων χαλύβων									
Χημική σύνθεση [%]				Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Ni	Cr	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]		
0,40	0,65	3,50	0,25	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	960	23	90	Βαφή σε λάδι από 830° σε 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C	Χάλυβας κατασκευών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, διωστήρες, στροφαλοφόροι άξονες και άλλα
0,30	0,60	3,00	0,80	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	950	23	110	Βαφή σε λάδι από 820° έως 840°C. Επαναφορά από 550° έως 650°C	Χάλυβας κατασκευών. Για τεμάχια που καταπονούνται με μεγάλες τάσεις. Χρήσεις, όπως ο προηγούμενος χάλυβας
0,35	0,80	1,25	0,60	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	950	22	90	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 180° έως 220°C ή σε 550° έως 650°C. Οι χάλυβες αυτοί υπόκεινται σε ευθραυστότητα από επαναφορά από 250° έως 400°C	Χάλυβας κατασκευών. Οδοντωτοί τροχοί μικρού και μέσου μεγέθους, πηνία διαφορικού, διωστήρες, στροφαλοφόροι άξονες, θλήτρα (μπουλόνια) και γενικά τεμάχια με κοχλίωση
0,30	0,45	4,25	1,25	Μετά από θαφή σε αέρα και επαναφορά σε 630°C	1000	21,50	65	Βαφή σε αέρα από 820° έως 830°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C για μέγιστη σκληρότητα. Σε 600° έως 650°C για μέγιστη δυσθραυστότητα. Απόψυξη σε λάδι. Αποφυγή ανοπτήσεως από 250° έως 580°C	Χάλυβας κατασκευών. Τεμάχια με πολύπλοκη μορφή, των οποίων η θαφή σε λάδι θα προκαλούσε στρεβλώσεις, όπως π.χ. οδοντωτοί τροχοί
0,10	0,80	8,50	18,00	Μετά από θερμ. σε 1050°C και απόψυξη σε αέρα	-	-	-	Δεν σκληρώνεται με θέρμη παρά μόνο με ψυχρηλασία	Ψατενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας. Κατάλληλος για οικιακές και διακοσμητικές χρήσεις
0,10	0,80	12,50	12,50						Ψατενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας. Κατάλληλος για κοίλανση. Επιτραπέζια και μαγειρικά σκεύη
0,07	0,80	8,50	18,00 2,70 Mo						Ψατενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας. Αντέχει σε διάθρωση σε θειικό, φωσφορ. οξύ και οργανικά οξέα

4.2.4.1 Παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα

Ο ανοξείδωτος χάλυβας παράγεται σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου παρόμοιο μ' αυτόν που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κοινού χάλυβα από παλαιοσίδηρο και σπογγώδη σίδηρο. Στην περίπτωση του ανοξείδωτου χάλυβα, οι πρώτες ύλες είναι παλαιοσίδηρος και σιδηροκράματα, όπως σιδηροχρώμιο και σιδηρονικέλιο. Η αναλογία των πρώτων υλών εξαρτάται από την επιθυμητή τελική ποιότητα του ανοξείδωτου χάλυβα, αλλά, σε γενικές γραμμές, περίπου το 60% του φορτίου της καμίνου είναι ανακυκλωμένος παλαιοσίδηρος — κυρίως ανοξείδωτος, αλλά και κοινός.

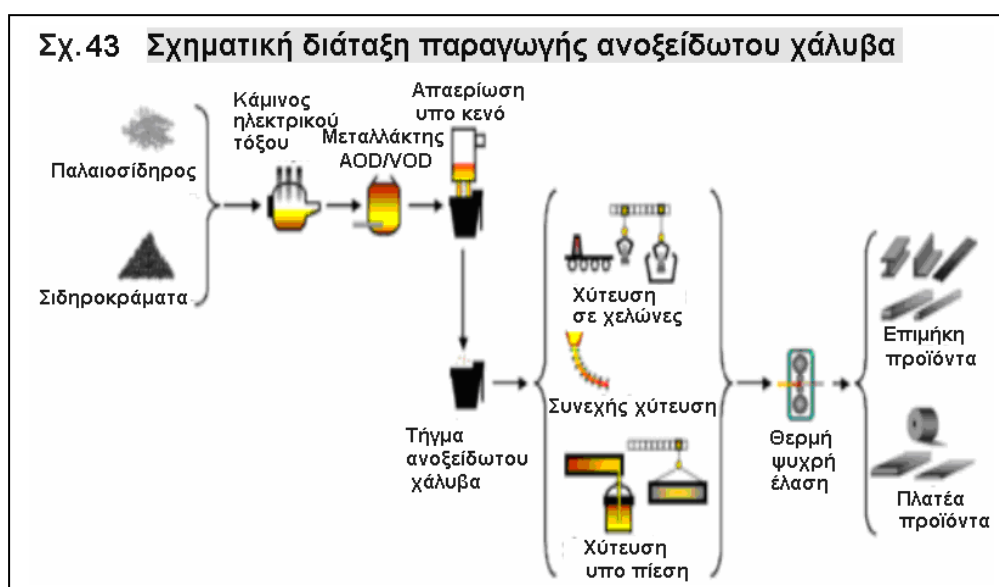
Το υγρό μέταλλο από την ηλεκτρική κάμινο μεταφέρεται σε μεταλλάκτη AOD («Argon Oxygen Decarbonization») για την απομάκρυνση του περιεχόμενου άνθρακα με εμφύσηση οξυγόνου και αργού. Κατά την απανθράκωση, το αέριο μίγμα που εμψυσάται γίνεται όλο και πιο πλούσιο σε αργό, και έτσι η περιεκτικότητα του υγρού μετάλλου μειώνεται από 1,5% σε ποσοστό έως και 0,015% κ.β. Η απανθράκωση του τήγματος μπορεί να γίνει και σε μεταλλάκτη VOD («Vacuum Oxygen Decarbonization») με εμφύσηση οξυγόνου υπό συνθήκες κενού.

Μετά τον μεταλλάκτη AOD/VOD, το υγρό μέταλλο καθαρίζεται υπό κενό για να απομακρυνθούν τα υπολειπόμενα αέρια. Κατόπιν χύνεται σε καλούπια για να παραχθούν πλινθώματα («χελώνες»), ή χύνεται κατά συνεχή τρόπο σε δοκούς («μπιγιέτες»), ή χύνεται σε πλάκες («σλαμπ») υπό πίεση. Η έλαση των

πλινθωμάτων και των δοκών γίνεται εν θερμώ ή εν ψυχρώ, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του κοινού χάλυβα, για την παραγωγή πλατέων και επιμήκων προϊόντων.

Τα φύλλα ανοξειδωτου χάλυβα συνήθως υποβάλλονται σε θερμική κατεργασία («ανόπτηση») για να γίνουν πιο μαλακά, και σε καθαρισμό μέσα σε λουτρό οξέος για να καθαριστούν και να δημιουργηθεί πιο γρήγορα το λεπτό στρώμα Cr_2O_3 που προστατεύει τον χάλυβα από την διάβρωση.

Η διάταξη παραγωγής ανοξειδωτου χάλυβα δείχνεται στο σχήμα 43.



4.2.4.2 Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Πρόκειται για ανοξειδωτους χάλυβες με κύρια φάση τον ωστενίτη ($\gamma\text{-Fe}$). Περιέχουν πολύ λίγο άνθρακα (συνήθως $< 0,08\%$ C, αλλά μερικοί περιέχουν έως $0,15\%$ C) και τουλάχιστον 16% Cr. Ο ωστενίτης σταθεροποιείται με την προσθήκη Ni ή και Mn, και παραμένει η σταθερή φάση σε όλο το θερμοκρασιακό εύρος από το σημείο τήξης του κράματος έως πολύ κάτω από το 0°C . Επειδή ο ωστενίτης δεν είναι μαγνητικός (δεν είναι «φερρομαγνητικός»), οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι δεν είναι μαγνητικοί. Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία.

Οι πιο κοινοί ανοξειδωτοι χάλυβες είναι ο 18/8 (18% Cr, 8% Ni) και ο 18/10 (18% Cr, 10% Ni), που ανήκουν στην σειρά 300, σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα AISI-SAE. Στους ανοξειδωτους χάλυβες AISI-SAE 304 (ISO A2), όσο πιο υψηλή είναι η περιεκτικότητα σε νικέλιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή σε διάβρωση. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες AISI-SAE 316 (ISO A4) παρουσιάζουν ακόμα πιο υψηλή αντοχή στην διάβρωση, επειδή και μολυβδαίνιο σε περιεκτικότητα μέχρι 2% . Οι ανοξειδωτοι χάλυβες AISI-SAE 304L και AISI-SAE 316L περιέχουν πολύ λίγο άνθρακα ($< 0,03\%$), για να συγκολλούνται πιο εύκολα.

Εκτός από τους κοινούς ωστενιτικούς χάλυβες, υπάρχουν και οι λιγότερο ανθεκτικοί *μαγγανιούχοι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες* της σειρά ANSI 200, οι οποίοι περιέχουν Cr και Mn, καθώς και Ni σε σχετικά μικρή περιεκτικότητα. Υπάρχουν επίσης και οι *υπερωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες* με πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε Ni ($> 20\%$) και Mo ($> 6\%$), για υψηλή αντοχή στην διάβρωση από οξέα, χλώριο και

χλωριούχα διαλύματα. Ο χάλυβας AISI-SAE 904L (UNS N08904) είναι υπερωστενιτικός ανοξειδωτός (19–23% Cr, 23–28% Ni, 4–5% Mo) και περιέχει 1–2% χαλκό για υψηλή αντοχή σε όξινα αναγωγικά περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα το θειικό οξύ.

4.2.4.3 Φερριτικοί και μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες

Πρόκειται για ανοξειδωτούς χάλυβες με κύρια φάση τον φερρίτη (α -Fe) ή τον μαρτενσίτη (μετασταθής φάση που προκύπτει με απότομη ψύξη του ωστενίτη). Περιέχουν 10,5–27% χρώμιο, αλλά ελάχιστο ή καθόλου νικέλιο (< 2%). Περιέχουν ωστόσο μολυβδαίνιο ή και τιτάνιο.

Οι φερριτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες μετασχηματίζονται σε μαρτενσιτικούς με κατάλληλη θερμική κατεργασία («βαφή» με απότομη ψύξη). Οι μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες είναι πιο μαλακοί σε σύγκριση με τους αντίστοιχους ωστενιτικούς, και συνεπώς είναι πιο κατάλληλοι για μηχανουργικές κατεργασίες. Επίσης, οι μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες μπορούν να υποστούν σκλήρυνση με κατακρήμνιση. Ένας τυπικός μαρτενσιτικός ανοξειδωτός χάλυβας περιέχει 12–14% Cr, 0,2–1% Mo, < 2,5% Ni και 0,1–1,2% C.

Οι φερριτικοί και οι μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες ανήκουν στην σειρά AISI-SAE 400, αλλά οι μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες που έχουν υποστεί σκλήρυνση με κατακρήμνιση ανήκουν στην σειρά AISI-SAE 600. Ο πλέον γνωστός ανοξειδωτός χάλυβας που έχει υποστεί σκλήρυνση με κατακρήμνιση είναι ο χάλυβας 17/4PH (AISI-SAE 630), που περιέχει 15–17,5% Cr και 3–5% Ni.

4.2.4.4 Διφασικοί ανοξειδωτοί χάλυβες

Οι διφασικοί ή *ωστενοφερριτικοί* ανοξειδωτοί χάλυβες ή *ανοξειδωτοί χάλυβες διπλής φάσης (duplex)* περιέχουν ωστενίτη και φερρίτη σε αναλογία που κυμαίνεται από 50:50 έως 40:60. Συνήθως περιέχουν 19–28% Cr, < 5% Mo και λίγο Ni. Παρουσιάζουν εξίσου καλή αντοχή στην διάβρωση με τους ωστενιτικούς ανοξειδωτούς χάλυβες, αλλά είναι πιο μαλακοί. Ο πιο κοινός ανοξειδωτός χάλυβας διπλής φάσης είναι ο AISI-SAE 2205 (UNS S31803/S32205).

4.2.5 Το βολφράμιο και οι βολφραμιούχοι χάλυβες

Το βολφράμιο, όταν προστίθεται στο χάλυβα σχηματίζει κυρίως σταθερά, πολύ σκληρά και δύσθραυστα καρβίδια. Βαμμένοι βολφραμιούχοι χάλυβες δεν τη σκληρότητα και τη μηχανική τους αντοχή ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτή την ιδιότητα τους τη χαρακτηρίζουμε σαν αντοχή σε επαναφορά. Γι' αυτό το βολφράμιο, σε μεγάλες περιεκτικότητες, χρησιμοποιείται σαν βασική προσθήκη των χαλύβων εργαλείων, ιδιαίτερα των ταχυχαλύβων. Στον Πίνακα 6 δίνονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τις ιδιότητες των βολφραμιούχων χαλύβων, εκτός των ταχυχαλύβων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 Σύνσταση και ιδιότητες βολφραμιούχων χαλύβων (εκτός από ταχυχάλυβες)

Είδος χάλυβα	Χημική σύνθεση [%]						Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
	C	Si	Cr	Mo	V	W		
Χάλυβας εργαλείων	1,00	–	0,75	–	–	0,40	Βαφή σε λάδι από 790°C. Επαναφορά σε 200° έως 250°C	Φραιζες, ηλεκτήρες, μικρές μήτρες πρέσας
Χάλυβας μητρών θερμηλασίας	0,35	1,00	5,00	1,50	0,40	1,35	Προθέρμανση σε 800°C με ταχεία θέρμανση σε 1020°C και απόψυξη σε αέρα. Επαναφορά σε 540° έως 620°C	Μήτρες διελάσεως κραμάτων χαλκού και αργιλίου. Μήτρες διαμορφώσεως εν θερμώ
Χάλυβας αντοχής σε κρούσεις για εργαλεία θερμηλασίας και ψυχρηλασίας	0,50	0,60	1,10	–	–	2,25	Βαφή σε λάδι από 880° έως 920°C. Επαναφορά σε 200° έως 300°C για εργαλεία ψυχρηλασίας. Επαναφορά σε 400° έως 600°C για εργαλεία θερμηλασίας	Γενικά εργαλεία κατασκευαστή λεβήτων. Στιγείς (ζουμπάδες), μήτρες, λεπίδες ψαλίδων, μήτρες αποκοπής Μήτρες σχηματισμού κεφαλών εν θερμώ. Άλλες μήτρες θερμηλασίας
Χάλυβας μητρών θερμηλασίας	0,30	0,15	2,85	–	0,35	10,00	Προθέρμανση σε 850°C με ταχεία θέρμανση σε 1150° έως 1200°C. Απόψυξη σε λάδι ή σε αέρα για μικρά τεμάχια. Επαναφορά σε 600° έως 700°C	Μήτρες παραμορφώσεως εν θερμώ θλιπτήρων, περικοχλίων, καρφιών και παρεμφερών στοιχείων μηχανών, όπου τα εργαλεία εργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες Μήτρες διελάσεως κραμάτων χαλκού. Μήτρες χυτεύσεως υπό πίεση κραμάτων χαλκού και αργιλίου

4.2.6 Μολυβδαίνιο και οι μολυβδαινιούχοι χάλυβες

Το μολυβδαίνιο, όταν προστίθεται στο χάλυβα:

α) Σχηματίζει σταθερά και πολύ σκληρά καρβίδια και έτσι αυξάνει τη σκληρότητα του χάλυβα.

β) Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.

γ) Περιορίζει την ευθραυστότητα από επαναφορά.

δ) Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά. Αυτό αποτελεί τη σπουδαιότερη ιδιότητα του σαν προσθήκη των χαλύβων εργαλείων.

Το μολυβδαίνιο σε περιεκτικότητα μέχρι περίπου 0,80% χρησιμοποιείται σαν προσθήκη σε χάλυβες κατασκευών, σε υψηλότερες όμως περιεκτικότητες (μέχρι και 9%) σε χάλυβες εργαλείων.

Χρησιμοποιείται επίσης σαν προσθήκη και των πυρίμαχων χαλύβων. Συνήθως χρησιμοποιείται μαζί με το νικέλιο και το χρώμιο.

Το μολυβδαίνιο αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε ερπυσμό (φαινόμενο της βαθμιαίας, βραδείας και συνεχούς επιμηκύνσεως των μετάλλων ή κραμάτων, όταν φορτίζονται από σταθερό φορτίο, ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες, π.χ οι βαλβίδες

της κεφαλής των μηχανών εσωτερικής καύσης) και βελτιώνει τις μηχανικές του ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό κατάλληλος μολυβδαινιούχος χάλυβας χρησιμοποιείται σε κατασκευή μερών λεβήτων, αεριοστροβίλων και άλλων συναφών κατασκευών.

Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των μολυβδαινιούχων χάλυβων δίνονται στον 7.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 Σύσταση και ιδιότητες μολυβδαινιούχων χάλυβων										
Χημική σύνθεση [%]					Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Ni	Cr	Mo	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]		
0,35	1,60	-	-	0,45	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	1100	19	73	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Υποκαθιστά νικελιοχρωμιούχους χάλυβες με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε προσμίξεις
0,40	0,65	-	1,10	0,30	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	1000	18	70	Βαφή σε νερό από 840° έως 860°C. Επαναφορά σε 550° έως 700°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Υποκαθιστά το νικελιούχο χάλυβα με 3% Ni. Στροφαλοφόροι άξονες, διωστήρες και παρόμοια στοιχεία μηχανών
0,40	0,55	1,50	1,10	0,30	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	1070	22	73	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, στροφαλοφόροι άξονες και άλλα ισχυρώς φορτιζόμενα τεμάχια όπου η αντοχή σε κόπωση και κρούσεις είναι επιθυμητές. Μετά από ελαφρή επαναφορά (180° έως 200°C) χρησιμοποιείται για οδοντωτούς τροχούς αυτοκινήτων και εργαλειομηχανών.
0,10	0,60	-	0,003B (Βόριο)	0,50	Μετά από εξομάλυνση σε 950°C και αποτακτική ανόπτηση σε 600°C	570	16	-	Εξομάλυνση σε 930° έως 980°C. Αποτακτική ανόπτηση σε 590° έως 610°C για 3 ώρες	Χάλυβας κατασκευών. Αντοχή σε ερπυσμό μέχρι 400°C. Αεροφυλάκια πίεσεως, εναλλάκτες θερμότητας, τεμάχια ατμοπαραγωγών και αεριοστροβίλων

4.2.7 Το βανάδιο και βαναδιούχοι χάλυβες

Το βανάδιο ως προσθήκη των χάλυβων:

- α) Σχηματίζει σκληρά και πολύ λεπτά καρβίδια.
- β) Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά
- γ) Ευνοεί την ανάπτυξη κόκκων μικρού μεγέθους

Το βανάδιο χρησιμοποιείται σαν προσθήκη των ταχυχάλυβων (από 0,80% μέχρι 5%), άλλων χάλυβων εργαλείων (0,20% μέχρι 1,00%), καθώς επίσης και ορισμένων χάλυβων κατασκευών (από 0,15% μέχρι 0,25%), κυρίως μαζί με χρώμιο.

Το βανάδιο επειδή ευνοεί την εκλέπτυνση των κόκκων χρησιμοποιείται, σε μικρή όμως περιεκτικότητα, σε χυτοχάλυβδινα τεμάχια.

Εφαρμογές των βαναδιούχων χάλυβων, καθώς επίσης και χαρακτηριστικά τους στοιχεία δίνονται στον Πίνακα 8.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8 Σύσταση και ιδιότητες βαναδιούχων χαλύβων										
Χημική σύνθεση [%]						Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	Σκληρότητα κατά Vickers		
0,45	0,25	0,60	1,05	–	0,15	Μετά από βαφή και επαναφορά	152	–	–	Χάλυβας κατασκευών. Σύρμα ελατηρίων, κυρίως θαλάσσιες
0,50	–	0,60	1,75	–	0,20	Μετά από βαφή και επαναφορά	–	400	Προθέρμανση σε 700°C. Κατόπιν βαφή από 850°C. Επαναφορά σε 550°C	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες χυτεύσεως υπό πίεση κραμάτων ψευδαργύρου.
0,35	1,00	0,30	5,00	1,50	1,00	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 550°C	–	600	Προθέρμανση σε 850°C. Ταχεία θέρμανση σε 1000°C. Βαφή στον αέρα. Επαναφορά σε 550°C έως 650°C	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες θερμολασίας κραμάτων χαλκού, όπου η θερμοκρασία δεν είναι πολύ υψηλή. Μήτρες διελάσεως για κράματα του αργιλίου. Μήτρες για χύτευση αργιλίου υπό πίεση
1,60	0,20	0,30	13,00	1,00	0,50	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 400°C	–	700	Προθέρμανση σε 850°C. Ταχεία θέρμανση σε 1000°C. Βαφή σε λάδι ή αέρα. Επαναφορά σε 200°C έως 400°C	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες κοιλάνσεως. Μήτρες κατασκευής σπειρωμάτων με πίεση. Μήτρες συμματοποίησης. Λεπίδες ψαλίδων για σκληρά μέταλλα

4.2.8 Το πυρίτιο και οι πυριτούχοι χάλυβες

Το πυρίτιο, όπως και το μαγγάνιο, το συναντάμε σε όλους τους χάλυβες, γιατί χρησιμοποιείται σαν φτηνό αποξειδωτικό κατά την παρασκευή τους.

Η περιεκτικότητα του φθάνει τα 0,20 έως 0,30%.

Το πυρίτιο, όταν προστεθεί σε ανθρακούχο χάλυβα :

α) Γραφιοποιεί το σεμεντίτη.

β) Ανεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και κατεβάζει το A_4 και έτσι σχηματίζει γ -βρόγχο, όπως και το χρώμιο,

γ) Χαμηλώνει την ευτηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα

δ) Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα βαφής.

Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται τέσσερα είδη πυριτιούχων χαλύβων:

1) Ο χάλυβας με $\pi(C) = 0,07\%$ και $\pi(Si) = 4\%$ παρουσιάζει μαγνητικές και ηλεκτρικές ιδιότητες και γι' αυτό χρησιμοποιείται στην κατασκευή ελασμάτων πυρήνων μετασχηματιστών και μαγνητικών πόλων γεννητριών και ηλεκτροκινητήρων.

2) Ο χάλυβας με $\pi(C) = 0,50\%$ ως $0,70\%$, $\pi(Si) = 1,50\%$ ως $2,00\%$ και $\pi(Mn) = 0,60\%$ ως $1,00\%$ παρουσιάζει υψηλή αντοχή, δυσθραυστότητα και καλή πλαστικότητα. Γι' αυτό χρησιμοποιείται στην κατασκευή ελατηρίων.

3) Ο χάλυβας με $\pi(C) = 1,50\%$, $\pi(Si) = 1,50\%$ και $\pi(Cr) = 3,60\%$, λόγω των καλών του μηχανικών ιδιοτήτων, αλλά και της καλής του αντοχής σε φθορά, χρησιμοποιείται για εργαλεία κατεργασίας πετρωμάτων.

4) Τέλος, το πυρίτιο αποτελεί δευτερεύουσα προσθήκη στους χάλυβες κατασκευής βαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσεως. Εδώ αναφέρομε ως τυπικό το χάλυβα με $\pi(\text{Cr}) = 8\%$ και $\pi(\text{Si}) = 3,50$.

4.2.9 Οι ταχυχάλυβες

Οι ταχυχάλυβες χρησιμοποιούνται κυρίως σαν χάλυβες εργαλείων κοπής των μετάλλων. Χρησιμοποιούνται όμως και για μήτρες διελάσεως και μήτρες κοπής. Από τα χαλύβδινα εργαλεία, έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό προσθηκών. Συνήθως έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε βολφράμιο ή μολυβδαίνιο και κοβάλτιο. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα κυμαίνεται από 0,70% μέχρι και 1,50%. Η χημική σύνθεση των ταχυχαλύβων συντελεί ώστε να αποκτούν μεγάλη σκληρότητα και επομένως αντοχή σε φθορά, μεγάλη αντοχή σε επαναφορά και παραδεκτή σχετικά δυσθραυστότητα. Βάφονται συνήθως στον αέρα, σε λάδι, ή σε λουτρό αλάτων.

Οι ταχυχάλυβες ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες:

α) *Ταχυχάλυβες με βάση το βολφράμιο, με προσθήκες βανάδιο και κοβάλτιο.* Τυπικός χάλυβας αυτής της κατηγορίας είναι ο γνωστός ταχυχάλυβας 18-4-1 (18% W, 4% Cr, 1% V και 0,75% C)

β) *Ταχυχάλυβες με βάση το μολυβδαίνιο, με προσθήκες βολφραμίου, βαναδίου και κοβαλτίου, όπως είναι οι εξής ταχυχάλυβες:*

$\pi(\text{O}) = 1,30\%$, $\pi(\text{Cr}) = 4\%$, $\pi(\text{V}) = 4\%$, $\pi(\text{W}) = 5,50\%$, $\pi(\text{Mo}) = 4,50\%$ ή
 $\pi(\text{C}) = 0,90\%$, $\pi(\text{Cr}) = 4\%$, $\pi(\text{V}) = 2\%$, $\pi(\text{W}) = 2\%$, $\pi(\text{Mo}) = 8\%$ και $\pi(\text{Co}) = 8\%$

Χονδρικά μπορούμε να πούμε ότι οι ταχυχάλυβες με βάση το βολφράμιο είναι περίπου ισοδύναμοι με εκείνους που έχουν βάση το μολυβδαίνιο. Οι δεύτεροι έχουν μεγαλύτερη δυσθραυστότητα. Το κοβάλτιο, σαν προσθήκη αυξάνει την αντοχή του ταχυχάλυβα σε επαναφορά.

Στον Πίνακα 9 αναγράφονται στοιχεία σχετικά με τη χημική σύνθεση, τις θερμικές κατεργασίες και τις βιομηχανικές χρήσεις συνηθισμένων ταχυχαλύβων και των δυο κατηγοριών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9 Χαρακτηριστικά ,θερμικές κατεργασίες και χρήσεις ταχυχάλυβων

Τύπος ταχυχάλυβα	Χημική σύνθεση [%]						Θερμικές κατεργασίες	Σκληρότητα κατά Vickers	Βιομηχανικές χρήσεις
	C	Cr	W	V	Mo	Co			
14% βολφραμίου	0,65	4,00	14,00	0,80	-	-	Βαφή σε ρεύμα αέρα ή λάδι από 1250° έως 1300°C. Διπλή επαναφορά σε 565°C επί μια ώρα	800 – 660	Γενικές μηχανουργικές εργασίες ελαφράς μορφής
18% βολφραμίου (18 - 4 - 1)	0,75	4,20	18,20	1,20	-	-	Όπως παραπάνω, βαφή από 1290° έως 1340°C και διπλή επαναφορά	800 – 890	Εργαλεία τόννου, πλάνης, φραιζες, εργαλεία κοπής οδοντωτών τροχών σε γρναζοκόπτες, Γλύφανα, ελικοτομίδες, τρυπάνια, δίσκοι αποκοπής, δίσκοι και ταινίες μεταλλοπριόνων και άλλα
22% βολφραμίου	0,78	4,50	21,50	1,40	0,50	-	Όπως παραπάνω, βαφή από 1280° έως 1320°C και διπλή επαναφορά	830 – 950	Μεγάλο μεγέθους φραιζες και κοπείς γρναζοκόπτη, εργαλεία αυτόματου τόννου, εργαλεία μορφής ακρίβειας. Ανώτερος σε ποιότητα του ταχυχάλυβα 18.4.1
12% κοβαλτίου - 21% βολφραμίου	0,80	4,75	21,50	1,50	0,50	12	Όπως παραπάνω, βαφή από 1300° έως 1320°C και διπλή επαναφορά	900 – 950	Όπως ο ταχυχάλυβας 18.4.1, αλλά για πολύ σκληρά τεμάχια. Παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντοχή σε επαναφορά και μεγάλη δυσθραυστότητα
12% βολφραμίου - 5% θαναδίου	1,50	4,50	12,50	5,00	-	5,00	Όπως παραπάνω, βαφή από 1230° έως 1300°C και διπλή επαναφορά	900 – 1000	Εξαιρετικά σκληρός και δύσθραυστος και με εξαιρετική επίσης αντοχή σε επαναφορά. Εργαλεία μεγάλης ακρίβειας, ως και εργαλεία τελικής κατεργασίας (τόρνευση, φραιζάρισμα, πλάνισμα κλπ.). Κατεργασία χαλυβοκραμάτων αεριοστροβίλων
18% βολφραμίου - 5% θαναδίου	1,50	5,00	17,50	5,00	0,50	8,75	Όπως παραπάνω, βαφή σε 1250°C και διπλή επαναφορά	900 – 990	Εργαλεία κοπής για κατεργασία πολύ σκληρών υλικών
5% μολυβδαινίου	0,80	4,25	6,50	1,90	5,00	-	Όπως παραπάνω, βαφή σε 1250°C και διπλή επαναφορά	850 – 900	Χονδρικά ισοδύναμος με τον ταχυχάλυβα 18.4.1 με μεγαλύτερη όμως δυσθραυστότητα. Τρυπάνια, γλύφανα, ελικοτομίδες (κολαούζα), φραιζες
9% μολυβδαινίου - 8% κοβαλτίου	0,90	3,75	1,65	1,10	9,50	8,25	Όπως παραπάνω, αλλά τριπλή επαναφορά σε 530°C για μια ώρα	830 – 935	Παρόμοιος με τον ταχυχάλυβα 12% κοβαλτίου - 21% βολφραμίου

4.2.10 Οδηγίες για τις θερμικές κατεργασίες των ταχυχάλυβων (χαλύβων εργαλείων)

Η κανονική εκτέλεση των απαραίτητων θερμικών κατεργασιών των διαφόρων εργαλείων αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιτυχίας τους στις εφαρμογές και γι' αυτό χρειάζεται πολύ προσοχή.

Παρακάτω δίνουμε ορισμένες γενικές οδηγίες:

α) Απότομη θέρμανση μπορεί να δημιουργήσει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας στη μάζα τους, πράγμα που μπορεί να έχει σαν επακόλουθο ρωγμές και στρεβλώσεις. Αυτό αποφεύγεται με ήρεμη αρχικά προθέρμανση των εργαλείων και στη συνέχεια ταχύτερη θέρμανση στην κανονική

θερμοκρασία βαφής. Μερικοί προτιμούν να θερμαίνουν κλίβανο και εργαλεία ταυτόχρονα.

β) Ο χρόνος παραμονής των εργαλείων στη θερμοκρασία βαφής πρέπει να είναι τόσοσ, όσος χρειάζεται για να αποκτήσουν ομοιόμορφη θερμοκρασία σε όλη τους τη μάζα.

γ) Πρέπει να αποφεύγεται η υπερθέρμανση, γιατί μπορεί να προκαλέσει ρωγμές κατά τη βαφή ή και αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη, με συνέπεια την ελάττωση της δυσθραυστότητας.

δ) Πρέπει να παίρνομε σοβαρά μέτρα αποφυγής της εξανθρακώσεως των εργαλείων πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της σκληρότητας στις θέσεις εξανθρακώσεως. Ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην εξανθράκωση είναι οι ταχυχάλυβες με βάση το μολυβδαίνιο.

ε) Συνιστάται να γίνεται η επαναφορά αμέσως μετά τη βαφή, ώστε να ελαττωθεί στο ελάχιστο ο κίνδυνος δημιουργίας ρωγμών ή στρεβλώσεων, λόγω των εσωτερικών τάσεων που δημιουργούνται στα τεμάχια από τη βαφή.

στ) Οι ταχυχάλυβες έχουν την ιδιότητα να αποκτούν μεγαλύτερη σκληρότητα μετά από επαναφορά και όχι μετά από τη βαφή και πριν από την επαναφορά, όπως συμβαίνει με τους άλλους χάλυβες που βάφονται . Η βαφή των ταχυχαλύβων γίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, δηλαδή στους 1200°C μέχρι 1300°C ανάλογα με τον τύπο του ταχυχάλυβα.

Πυρώνομε συνήθως τον ταχυχάλυβα σε ηλεκτρική κάμινο, που έχει ρυθμιζόμενη ατμόσφαιρα, μέχρι περίπου 900°C. Συνεχίζομε την πύρωση μέχρι τη θερμοκρασία της βαφής σε κάμινο τηγμένων αλάτων .Μετά τη βαφή γίνεται μέσα σε λουτρό τηγμένων αλάτων ή μολύβδου θερμοκρασίας περίπου 550°C. Μόλις ο χάλυβας πάρει τη θερμοκρασία του λουτρού, αφήνεται να αποψυχθεί στον αέρα.

Μετά τη βαφή του ταχυχάλυβα παραμένει σημαντική ποσότητα ωστενίτη. Ο μετασχηματισμός του υπολειπόμενου αυτού ωστενίτη σε μαρτενσίτη γίνεται με επαναφορά. Συνήθως γίνεται διπλή επαναφορά με τέτοιο τρόπο, ώστε να μετασχηματισθεί όσο το δυνατόν περισσότερος ωστενίτης σε μαρτενσίτη και έτσι ο ταχυχάλυβας να αποκτήσει μεγαλύτερη σκληρότητα.

4.2.11 Ανθρακούχοι υποευθηκτοειδείς χάλυβες κατασκευών

Οι ανθρακούχοι υποευθηκτοειδείς χάλυβες κατασκευών χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και στα στοιχεία μηχανών . Στον πίνακα 10 δίνονται οι μηχανικές ιδιότητες , οι θερμικές κατεργασίες και οι χρήσεις τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 Μηχανικές ιδιότητες, θερμικές κατεργασίες και χρήσεις ανθρακούχων χαλύβων

Χημική σύνθεση [%] C Mn	Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [Nm/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]		
0,15 0,50	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 200°C	520	20	150	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 900°C. Ενανθράκωση σε 950°C. Βαφή σε 880°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C και απόψυξη στον αέρα	0,05 έως 0,15% C: Αλυσίδες, καρφιά, κοχλίες και άλλα στοιχεία μηχανών, σωλήνες με ραφή, ταινίες, σίδηρος μπετόν, διάφορες μεταλλικές κατασκευές. Τεμάχια που πρόκειται να ενανθρακωθούν
0,22 0,80	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 550°C	670	16	90	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 900°C. Βαφή σε νερό από 875° έως 880°C. Επαναφορά σε 400° έως 700°C και απόψυξη στον αέρα	0,15 έως 0,30% C: Κοχλίες, οδοντωτοί τροχοί, πείροι, άξονες, χάλυβες ελεύθερης κοπής σφυρήλατα τεμάχια
0,35 0,50	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 550°C	900	10	60	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 840°C. Βαφή σε νερό από 825° έως 850°C. Επαναφορά σε 400° έως 650°C και απόψυξη στον αέρα	0,30 έως 0,40% C: Διωστήρες, άξονες, άγκιστρα γερανών, σωλήνες χωρίς ραφή, σφυρήλατα τεμάχια
0,45 0,50	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 550°C	950	8	35	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 840°C. Βαφή σε λάδι από 840° έως 845°C. Επαναφορά σε 300° έως 365°C και απόψυξη στον αέρα	0,40 έως 0,50% C: Στροφαλοφόροι άξονες, άξονες μεταδόσεως κινήσεως, οδοντωτοί τροχοί, ζάντες, τεμάχια υφιστάμενα θερμικές κατεργασίες.
0,60 0,80	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 550°C	1020	6	30	Εξομάλυνση ή επαναφορά σε 800°C. Βαφή σε λάδι από 825° έως 850°C	0,50 έως 0,60% C: Τροχοί αμαξοστοιχιών, σιδηροτροχιές, ελατήρια, συρματοόχινα, τμήματα όπλων

4.2.12 Οι ακαθαρσίες των χαλύβων

Γενικά οι χάλυβες, εκτός από τον άνθρακα και τις προσθήκες που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, περιέχουν και τα εξής στοιχεία στην περιεκτικότητα που παραθέτομε:

Μαγγάνιο : έως 1,0%

Πυρίτιο : έως 0,3%

Φώσφορο : έως 0,05%

Θείο : έως 0,05%

Άζωτο : έως 0,02%

Αυτά τα στοιχεία παραμένουν στους χάλυβες από την παρασκευή τους και επηρεάζουν τις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες ως εξής:

α) Το μαγγάνιο επιδρά κατά τον τρόπο που έχουμε αναφέρει. Η περιεκτικότητα του δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,30% σε ανθρακούχους χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας, γιατί διευκολύνει τη δημιουργία ρωγμών κατά τη βαφή.

β) Έχουμε επίσης περιγράψει την επιρροή του πυριτίου, σαν προσθήκη σε χάλυβες. Εδώ σημειώνουμε ότι σε χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, το πυρίτιο υποβοηθεί στη διάσπαση του σεμεντίτη σε φερρίτη και γραφίτη, πράγμα που χειροτερεύει τις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα.

γ) Ο φωσφόρος σχηματίζει μαζί με το σίδηρο την *ψαθυρά* (εύθραυστη) χημική ένωση Fe_3P , η οποία είναι διαλυτή στο χάλυβα. Η χημική αυτή ένωση ευνοεί κάπως την αύξηση της σκληρότητας του χάλυβα, μέχρι όμως 0,05% φωσφόρου. Φωσφόρος σε περιεκτικότητα πάνω από 0,05% κάνει το χάλυβα εύθραυστο και επομένως πρέπει να αποφεύγεται.

δ) Το θείο είναι η ακαθαρσία των χαλύβων που έχει τα χειρότερα αποτελέσματα. Σχηματίζει με το σίδηρο την ψαθυρά επίσης χημική ένωση FeS , η οποία λόγω του χαμηλού της σημείου τήξεως συσσωρεύεται συνήθως στα όρια των κόκκων του ωστενίτη κατά τη στερεοποίηση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ακαταλληλότητα του χάλυβα για ψυξηλασία.

Πρακτικά, είναι ασύμφορη η μείωση της περιεκτικότητας σε θείο κάτω από 0,05%.

Το θείο, όταν προστίθεται μέχρι και 0,25%, ασκεί ευεργετική επίδραση στους χάλυβες *ελεύθερης κοπής* ή *χάλυβες αυτομάτων*, στους οποίους προστίθεται όμως και αυξημένος φωσφόρος και μαγγάνιο μέχρι 1,50%. Έτσι βελτιώνεται η κατεργαστικότητα αυτών των χαλύβων.

ε) Το άζωτο της ατμόσφαιρας απορροφάται από τον τηγμένο χάλυβα κατά την παρασκευή του. Το άζωτο μπορεί να σχηματίσει νιτρίδια (Fe_4N) ή και να εισχωρήσει στο κρυσταλλικό πλέγμα του χάλυβα κατά τη στερεοποίηση (στερεό διάλυμα παρεμβολής). Και στις δυο περιπτώσεις, ο χάλυβας γίνεται ψαθυρός και ακατάλληλος για ψυξηλασία μεγάλου βαθμού παραμορφώσεως.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Τεχνολογία Υλικών , Παύλος Αγριανίδης Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Ε.Ι Σερρών
- 2) Τεχνολογία Υλικών , Ν.Σ.Παπασαραντοπούλου Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι Σερρών
- 3) Μεταλλογνωσία , Α, Β , Γ Τόμοι , Κ. Κονοφάγου ,Καθηγητού Ε.Μ.Π. (Αθήνα 1967)
- 4) Μεταλλουργία , Πέτρου Πετρόπουλου , Καθηγητού Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Ευγενίδιο Ιδρυμα , Αθήνα 1997)
- 5) Μεταλλογνωσία , Γιάννη Γ. Αντωνοπούλου (University Studio Press)
- 6) Μεταλλογνωσία και θερμικές κατεργασίες μετάλλων Σουρέλης Ιωάννης (Εκδόσεις Ιών 1997)
- 7) Μεταλλογνωσία Α.Δ. Παπαργύρη , (Εκδόσεις Ζήτη)
- 8) www.wikipedia.org/wiki/Χάλυβας
- 9) www.sfrang.com/historia
- 10) www.messer.gr/Products/Metallurgy1
- 11) www.courseware.mech.ntua.gr/ml26012/mathimata/Thermikes%20katergasies%20xalivon
- 12) www.alunet.gr/detail.asp?news_id=392&category=Aluminium_Alloys
- 13) www.almaco.gr/alouminio.
- 14) www.diocles.civil.duth.gr/links/home/museum/mater/metal/steel
- 15) www.wikipedia.gr/μ/ε/τ/Μεταλλουργία
- 16) www.wikipedia.org/wiki/Βαφή
- 17) www.tsiotassteel.com/alph
- 18) www.ntua.gr/temp_announce/170/parousiaseis170/files170/SYNEDRIA%
- 19) www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6