

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΛΥΒΑ



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΓΚΟΛΦΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΚΟΡΔΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην περιγραφή των χαλυβουργικών εγκαταστάσεων παραγωγής χάλυβα.

Αρχικά θα γίνει αναφορά των τμημάτων που αποτελείται μία τέτοια εγκατάσταση και στους τρόπους λειτουργίας τους. Στην συνέχεια θα αναφερθούν οι διάφορες μέθοδοι παραγωγής χάλυβα και θα γίνει λεπτομερή αναφορά στις μεθόδους παραγωγής κοινών και βελτιωμένων χαλύβων υψηλής αντοχής με προσμίξεις άλλων στοιχείων. Επιπλέον θα αναφερθούν οι μέθοδοι παραγωγής ανοξείδωτων χαλύβων και χυτοσιδήρων. Τέλος θα γίνει περιγραφή των μεθόδων σκλήρυνσης των χαλύβων με ενανθράκωση ή εναζώτωση, των μεθόδων ανόπτησης για την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων, αλλά και άλλων ειδών θερμικών κατεργασιών των χαλύβων.

Ευχαριστούμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Γκόλφης Γεώργιος
Κορδάς Ανδρέας

Σεπτέμβριος 2018

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή περιγράφεται μια γενική εγκατάσταση παραγωγής χάλυβα, αναφέρονται τα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται, οι διάφορες μορφές παραγόμενων κοινών ή κραματωμένων χαλύβων και οι διάφορες θερμικές κατεργασίες.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια μικρή ανασκόπηση της συστάσεως του χάλυβα και χρησιμότητα του από την αρχαιότητα έως την σύγχρονη εποχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα διάφορα τμήματα μίας εγκατάστασης παραγωγής χάλυβα όπου γίνεται η αρχική εξαγωγή του πρωτογενή χάλυβα, οι διάφορες προσμίξεις του με άλλα στοιχεία, η χύτευση του σε καλούπια για να αποκτήσει μια συγκεκριμένη μορφή, οι διάφορες τεχνικές έλασης και οι τεχνικές προστασίας του από τις περιβαλλοντικές επιδράσεις.

Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι φάσεις-μικροδομές του χάλυβα αλλά και οι ποιότητες των κοινών-κραματωμένων χαλύβων που υφίστανται λόγω των διαφόρων περιεκτικότητων σε άνθρακα και προσμίξεων με διάφορα στοιχεία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνικές θερμικών κατεργασιών όπου σχετίζονται με την αύξηση ή την μείωση της σκληρότητας και της δυσθραυστότητας του χάλυβα.

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Εργασία είναι ότι, με τον όρο χάλυβα δεν αναφερόμαστε μόνο σε ένα είδος χάλυβα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αλλά σε πολλά είδη χαλύβων που προκύπτουν α) από τις παρεμβάσεις στην σύσταση του αρχικού χάλυβα με προσμίξεις διαφόρων αναλογιών άνθρακα ή άλλων κραματικών στοιχείων και β) από τις διάφορες θερμικές κατεργασίες, συνήθως σε συνεργασία με απότομη ψύξη, που έχει ως σκοπό τον μετασχηματισμό της φάσης και της μικροδομής του χάλυβα. Η διαδικασία παραγωγής χάλυβα γίνεται με μια σειρά εργασιών. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες που θέλουμε να δώσουμε στον χάλυβα, γίνεται και η αντίστοιχη διεργασία παραγωγής. Οι πιο διαδεδομένες εργασίες παραγωγής χάλυβα γίνεται με τη μέθοδο των καλουπιών και με τη μέθοδο θερμικών εργασιών.

Ακόμη από την παραπάνω πτυχιακή εργασία συμπαιράνουμε τον ρόλο και τη σημασία που έχει για την οικονομία μιας χώρας το ποσοστό παραγωγής χάλυβα και γενικότερα τη σημασία που έχει στην παγκόσμια αγορά η παραγωγή χάλυβα. Ο χάλυβας είναι ένα υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πολλών αντικειμένων. Η μικρή ιστορική αναδρομή που γίνεται μας δείχνει και την σημασία του χάλυβα στα αρχαία χρόνια. Ένα γενικότερο συμπέρασμα που μπορούμε να λάβουμε είναι πως παρόλο την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και την εύρεση νέων καινοτόμων υλικών κατασκευής, ο χάλυβας έχει παραμείνει εξίσου σημαντικός όπως ήταν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΧΑΛΥΒΑΣ	
1.1 Γενικά	2
1.2 Ιστορία του χάλυβα	4
1.3 Η χρήση του χάλυβα στην νεότερη εποχή	5
1.3.1 Κυρίαρχες τάσεις στην παγκόσμια αγορά	5
1.3.2 Σημαντικά τεχνολογικά κίνητρα και προκλήσεις	5
1.3.3 Παραγωγή χάλυβα	7
1.3.4 Παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα	8
2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΛΥΒΑ	
2.1 Υψικάμινος	9
2.1.1 Γενικά	9
2.1.2 Λειτουργία	10
2.1.3 Μηχανική διεργασία και χημεία	13
2.2 Στάδιο καθαρισμού I	17
2.2.1 Ηλεκτρική κάμινος τόξου	17
2.2.2 Μέθοδος Bessemer	22
2.2.3 Φούρνος ανοιχτής εστίας	24
2.2.4 Χάλυβας χωνευτηρίου	27
2.2.5 Παραγωγή χάλυβα με χρήση οξυγόνου	29
2.3 Στάδιο καθαρισμού II	32
2.3.1 Κάμινος κάδος-κουτάλα	32
2.3.2 Τεχνολογία απαέρωσης κενού rh	34
2.3.3 Απανθράκωση με οξυγόνο κενού	37
2.3.4 Απανθράκωση με οξυγόνο αργό	39
2.4 Χύτευση	42
2.4.1 Φυσικές ιδιότητες των μεταλλικών υλικών	42
2.4.2 Ιστορία χύτευσης	42
2.4.3 Καθαρισμός των τηγμάτων	44
2.4.4 Κλίβανοι για την τήξη των μεταλλικών υλικών	45
2.4.5 Τεχνολογία της χύτευσης	49
2.4.6 Ποιοτικός έλεγχος χυτών μεταλλικών υλικών	56
2.5 Έλαση	65
2.5.1 Γενικά	65
2.5.2 Τυποποίηση προϊόντων έλασης	65
2.5.3 Εργαλειομηχανές έλασης	66

2.5.4	Θερμή και ψυχρή έλαση.....	67
2.6	Γαλβάνισμα.....	71
2.6.1	Εισαγωγή.....	71
2.6.2	Διαδικασία.....	71
2.6.3	Διάρκεια ζωής.....	73
2.6.4	Προϋποθέσεις επιφανειών χάλυβα για γαλβάνισμα.....	73

3. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΔΟΜΕΣ

3.1	Φάσεις.....	74
3.1.1	Φερρίτης.....	74
3.1.2	Ωστενίτης.....	76
3.1.3	Σεμεντίτης.....	77
3.1.4	Μαρτενσίτης.....	78
3.2	Μικροδομές.....	80
3.2.1	Περλίτης.....	80
3.2.2	Λεδευουρίτης.....	80
3.2.3	Μπαινίτης.....	81

4. ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

4.1	Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες.....	83
4.1.1	Γενικά.....	83
4.1.2	Χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες.....	84
4.1.3	Χάλυβες μετρίου άνθρακα.....	84
4.1.4	Χάλυβες υψηλού άνθρακα.....	85
4.1.5	Χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα.....	85
4.2	Κραματωμένοι χάλυβες.....	85
4.2.1	Γενικά.....	85
4.2.2	Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες.....	86
4.2.2	Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες.....	86
4.3	Ανοξειδωτοι χάλυβες.....	87
4.3.1	Γενικά.....	87
4.3.2	Παραγωγή.....	88
4.3.3	Ποιότητες.....	89
4.4	Χυτοσίδηροι.....	91
4.4.1	Γενικά.....	91
4.4.2	Παραγωγή.....	92
4.4.3	Ποιότητες.....	92

5. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΩΝ

5.1	Γενικά.....	96
5.2	Ανόπτηση.....	97
5.2.1	Ανόπτηση κατεργασίας.....	99
5.2.2	Ανόπτηση εξομάλυνσης.....	100
5.2.3	Πλήρης ανόπτηση.....	100
5.2.4	Ανόπτηση σφαιροποίησης.....	100
5.2.5	Ανόπτηση Χυτοχάλυβα.....	101
5.3	Θερμικές κατεργασίες σκλήρυνσης.....	101
5.3.1	Βαφή.....	101
5.3.2	Μετασχηματισμοί φάσεων κατά την βαφή.....	103
5.3.3	Διαγράμματα χρόνου-θερμοκρασίας μετασχηματισμού (TTT).....	104

5.3.4	Διαγράμματα μετασχηματισμού συνεχούς απόψυξης (CCT)	105
5.3.5	Εμβαιπτότητα.....	106
5.3.6	Κλιμακωτές βαφές.....	108
5.3.7	Αστοχίες κατά την βαφή	109
5.4	Επαναφορά.....	109
5.4.1	Γενικά.....	109
5.4.2	Εισαγωγή	110
5.5	Επιφανειακές βαφές.....	111
5.5.1	Φλογοβαφή	111
5.5.2	Επαγωγική σκλήρυνση	112
5.5.3	Επιφανειακή βαφή με δέσμη laser	113
5.6	Επιφανειακές θερμοχημικές κατεργασίες	114
5.6.1	Ενανθράκωση	114
5.6.2	Εναζώτωση.....	115
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	119
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	120

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια χαλυβουργική εγκατάσταση είναι ένα σύνολο τμημάτων στα οποία τμήματα γίνεται μία σειρά διαφόρων διεργασιών για την παραγωγή του χάλυβα, από το αρχικό στάδιο που είναι το σιδηρομετάλλευμα ή το παλαιοσίδηρο (σκραπ) έως το τελικό στάδιο που είναι ο τελικός χάλυβας κατάλληλα διαμορφωμένος και με τις κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες.

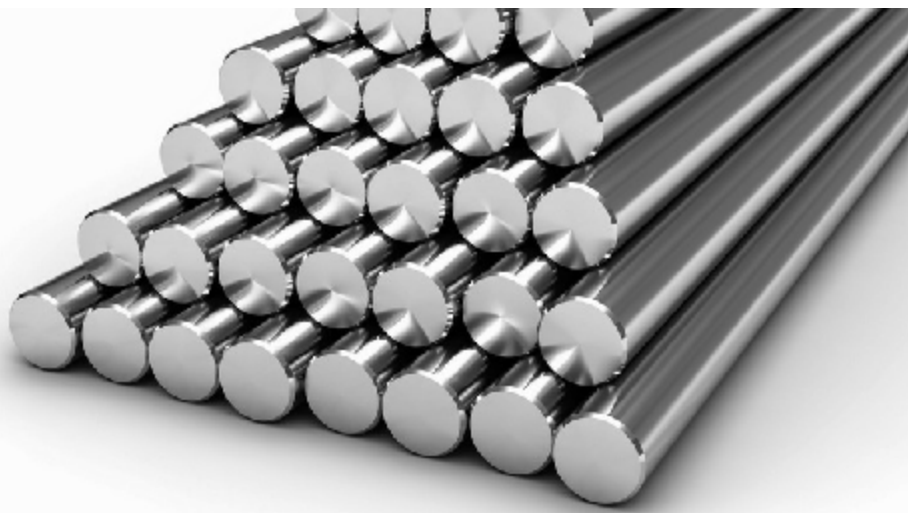
Το αρχικό στάδιο παραγωγής του χάλυβα γίνεται στις υψικαμίνους όπου το σιδηρομετάλλευμα ή το παλαιοσίδηρο τήκεται και στην συνέχεια μετατρέπεται σε ρευστό σίδηρο που ονομάζεται χυτοσίδηρος. Για την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα, ο ρευστός σίδηρος περνάει μέσω ειδικών καμίνων όπου γίνονται διάφορες επεξεργασίες και προσμίξεις για να παραχθεί τελικά ο ρευστός χάλυβας ή ένα κράμα χάλυβα με άλλα υλικά με βάση τις προδιαγραφές που τον θέλουμε.

Έπειτα, ο ρευστός χάλυβας αφού εξαχθεί από τις παραπάνω καμίνους, εισάγεται στα χυτήρια όπου χύνεται σε ειδικά καλούπια συγκεκριμένης διαμόρφωσης με την βοήθεια ειδικών κάδων για την στερεοποίηση του. Αφού έχει γίνει η στερεοποίηση τα δοκίμια του χάλυβα περνούν από τα ελασματοουργεία για να αποκτήσουν την τελική διαμόρφωση τους μέσω της έλασης (θερμή και ψυχρή έλαση) σε ειδικές εργαλειομηχανές που ονομάζονται έλαστρα. Αν επιθυμούμε την αύξηση ή την μείωση της σκληρότητας του χάλυβα μπορούμε να την πραγματοποιήσουμε μέσω των διάφορων θερμικών κατεργασιών (Ανόπτηση, Βαφή, Επαναφορά, Ενανθράκωση, Εναζώτωση, κ.λπ.), όπου εφαρμόζονται σε ειδικούς φούρνους θέρμανσης και στην συνέχεια με την βοήθεια διαφόρων τεχνικών ψύξης. Στην συνέχεια τα τελικά διαμορφωμένα κομμάτια υφίστανται μία γαλβανική επικάλυψη με βασικό συστατικό τον ψευδάργυρο για την αντιμετώπιση διαφόρων περιβαλλοντικών επιδράσεων όπως είναι η διάβρωση σε ειδικές εγκαταστάσεις που ονομάζονται γαλβανιστήρια. Από εδώ και πέρα τα δοκίμια του χάλυβα είναι έτοιμα να εξαχθούν στο εμπόριο.

1. ΧΑΛΥΒΑΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο χάλυβας, με την επιστημονική ορολογία ασάλι, είναι κράμα όπου αποτελείται από σίδηρο και άνθρακα με λιγότερο από 2,06 % κατά βάρος, άνθρακα. Επίσης, περιέχει λιγότερο από 1,0 % μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Χάλυβες υπάρχουν διαφόρων ειδών. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι και οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ. Οι κραματωμένοι χάλυβες είναι ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων. Είναι το ποιοτικό διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Σίγουρα τα εργοστάσια παραγωγής χάλυβα ανήκουν στις βαριές βιομηχανίες και το ασάλι είναι από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά. Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μίας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Αξίζει να αναφέρουμε πως η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα δημιουργήθηκε το 1957 και ήταν μια από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν τότε.



Εικόνα 1.1: Χαλύβδινοι ράβδοι
[\[http://www.peltekis.gr/\]](http://www.peltekis.gr/)

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις μεθόδους:

1. με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
2. με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου και

την μετατροπή σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου

3. με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4 % της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες καθετοποιημένες μεθόδους και το 31,7 % από την ανάτηξη παλαιοσιδήρων και σπογγώδους σιδήρου σε κλιβάνους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (2,9 % για το 2005) προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε καμίνους ανοιχτής εστίας ή άλλες μεθόδους. Στην Ελλάδα όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου 1 εκατομμύρια τόνοι ετησίως), γίνεται από την ανάτηξη παλαιοσιδήρου και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μπετόβεργας.

Οι χάλυβες ανάλογα με την τελική τους χρήση, την κρυσταλλική δομή τους, την χημική τους σύσταση και την περαιτέρω κατεργασία τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

1. Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες, περιέχουν άνθρακα (έως 2,06 %) και μικρό ποσοστό Mn (έως 1,65 %), Pr (έως 0,6 %) και Cu (έως 0,6 %). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλώνται εύκολα. Με βάση το περιεχόμενο άνθρακα οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες: χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες ($C < 0.30$ %), Χάλυβες μετρίου άνθρακα ($0.30 < C < 0.60$ %), Χάλυβες υψηλού άνθρακα ($0.60 \% < C < 1$ %), Χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα ($1 \% < C < 2$ %).
2. Κραματωμένοι χάλυβες, δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι: ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως Cr, Mo, V, Ni κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κατά βάρος, όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7 \% < C < 1,4$ %, $Mn < 0,3$ %), και οι ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξειδωτοί 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.
3. Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους οι χάλυβες διακρίνονται σε: Χάλυβες διαμόρφωσης που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση κ.λπ.) και Χυτοχάλυβες που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λπ. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους. Υπάρχουν διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. όπου σύμφωνα με αυτά γίνεται η ονοματολογία των χαλύβων. Οι κατηγορίες ονομασίας του χάλυβα συνήθως συνδέονται με 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/mm²).

1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Σύμφωνα με τα ευρήματα που έχουν βρεθεί μέχρι σήμερα, όπου δεν είναι και λίγα, φαίνεται πως με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου άρχισαν να παράγουν συστηματικά χάλυβα οι μεταλλουργοί εκείνης της εποχής, εκείνη η εποχή χρονολογείται γύρω στο 1000 π.χ. Όπου τότε ξεκινά η ιστορία του χάλυβα. Ανακαλύψεις έχουν δείξει πως οι Χετταίοι ήδη από το 2300 π.χ. γνώριζαν μια παρόμοια μέθοδο παραγωγής χάλυβα. Κατά τη διάρκεια της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας πολλοί μεσογειακοί λαοί, αλλά και 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»). Περίφημα ήταν τα σφυρήλατα χαλύβδινα δαμασκηνά σπαθιά, που κατασκευάζονταν κατά τον Μεσαίωνα στη Συρία και στην Ιαπωνία. Αν και από την εποχή της Αναγέννησης υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα ανάπτυξης των υψηλών θερμοκρασιών τήξης του χάλυβα, οι πρώτοι χάλυβες σε κάμινο παρήχθησαν το 1740. Μέχρι τότε κατασκευάζονταν μόνο λεπτού πάχους τεμάχια από χάλυβα, όπως ξίφη και εργαλεία, με ενανθράκωση σιδήρου, δηλαδή με τεχνικές διάχυσης του άνθρακα σε τεμάχια σιδήρου. Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα ξεκινάει ουσιαστικά στα μέσα του 19ου αιώνα, με τη δυνατότητα για πρώτη φορά μαζικής παραγωγής χάλυβα υψηλής ποιότητας, όταν το 1856 ο Άγγλος εφευρέτης Henri Bessemer ανακάλυψε πως να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο («μεταλλάκτη») επενδυμένο με πυρίμαχα τούβλα. Την ίδια εποχή εφευρέθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμιнос Siemens-Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Bessemer χρησιμοποιείται σχεδόν μόνο για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου. Η κάμιнос Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και καθόλου φιλική ως προς το περιβάλλον. Μία ακόμη ιστορική αναδρομή που πρέπει να κάνουμε είναι η εξής:

Ο πρώτος που ανακάλυψε ότι το χρώμιο προσθέτει στον χάλυβα αντοχή στην διάβρωση ήταν ο Γάλλος Pierre Berthier το έτος 1821. Εκείνη την εποχή όμως, οι χάλυβες είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα με αποτέλεσμα ο ανοξειδωτός χάλυβας να είναι πολύ εύθραυστος. Το 1872, στους Βρετανούς Wounts και Clark δόθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για κράμα σιδήρου με 30-35 % χρώμιο και 1,5-2 % βολφράμιο, που παρουσιάζει υψηλή αντοχή στην διάβρωση από οξέα. Ωστόσο, η δυσκολία παραγωγής χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (<0,15 %) παρέμενε εμπόδιο στην ανάπτυξη των ανοξειδωτων χαλύβων. Το εμπόδιο αυτό ξεπεράστηκε το 1893, όταν ο Γερμανός Xans Golnstmit ανακάλυψε την αλουμινοθερμική αποξειδωση του χάλυβα. Η ανακάλυψη του Golnstmit έδωσε την δυνατότητα στις χαλυβουργίες να παράγουν στους μεταλλάκτες τους χάλυβα με υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, και κατόπιν να αποξειδώνουν τον τηγμένο χάλυβα με την προσθήκη μεταλλικού αλουμινίου. Στις αρχές του 20ού αιώνα, Γάλλοι, Βρετανοί, Γερμανοί και Αμερικανοί ερευνητές παρασκεύασαν και μελέτησαν πολλά κράματα Fe-Cr-Ni που αντιστοιχούν στις σημερινές ποιότητες AISI-SAE 300 και AISI-SAE 400. Από το 1909, η γερμανική εταιρεία Krupp AG άρχισε να κατασκευάζει πλοία χρησιμοποιώντας χάλυβες που περιείχαν χρώμιο και νικέλιο. Το 1913, ο Βρετανός μεταλλουργός Harri Brearli (1871-1948) ανακάλυψε στο Sefilnt της Αγγλίας τους μαρτενσιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες και πρότεινε την χρήση τους για την παραγωγή μαγειρικών σκευών. Ο Brearli στους

νέους χάλυβες έδωσε το όνομα «rustless», δηλ. «ασκούριαστους». Κάποιο χρονικό διάστημα αργότερα, τους έδωσε το όνομα «stainless», δηλ. «ακηλίδωτους» ή «άσπιλους». Γι' αυτόν τον λόγο, ο Brearli θεωρείται ο εφευρέτης του ανοξειδωτου χάλυβα. Ο διάδοχος του Brearli στο εργαστήριο Braun-Ferth, ο Wuilliam Xatfield παρασκεύασε το 1924 τον ωστενιτικό ανοξειδωτο χάλυβα 18/8 (18 % Cr, 8 % Ni), που έκτοτε παραμένει ο πιο αντιπροσωπευτικός και ο πιο διαδεδομένος ανοξειδωτος χάλυβας.

1.3 Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΗ ΝΕΟΤΕΡΗ ΕΠΟΧΗ

1.3.1 Κυρίαρχες τάσεις στην παγκόσμια αγορά. Η παγκόσμια αγορά χάλυβα έπειτα από το 2000 συνεχώς αυξάνεται, κάτι που υπαγορεύεται από την εκβιομηχάνιση των αναδυόμενων χωρών. Η Ασία έχει την υψηλότερη παραγωγή και ζήτηση σε χάλυβα σε ολόκληρο τον κόσμο. Η Κίνα κάνει την μεγαλύτερη παραγωγή χάλυβα στον κόσμο, με ποσοστό 39 % της παραγωγής ακατέργαστου χάλυβα το 2000, το ποσοστό αυτό έφτασε στο 71 % το 2012. Με αυτή την αύξηση της παραγωγής η Κίνα έγινε ο μεγαλύτερος εξαγωγέας χάλυβα στον κόσμο. Η κινεζική βιομηχανία χάλυβα αντιπροσωπεύει το 50 % σχεδόν της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα. Στις ΗΠΑ η θεαματική άνοδος στην παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου έχει βελτιώσει την ανταγωνιστική θέση της βιομηχανίας των ΗΠΑ όσον αφορά τα κόστη της ενέργειας και είναι ένας από τους κύριους λόγους που προσελκύει νέες επενδύσεις στον χαλυβουργικό τομέα. Έτσι στο μέλλον, ίσως δοθεί στις ΗΠΑ η ικανότητα να γίνουν ένας μεγάλος εξαγωγέας χάλυβα. Επίσης, για ανταγωνιστικούς σκοπούς η Ρωσία, η Ουκρανία και η Τουρκία βελτίωσαν πολύ την ικανότητα παραγωγής τους σε χάλυβα, καθώς και την ικανότητα να εφοδιάζουν την αγορά χάλυβα της Ευρώπης. Αυτό δεν σημαίνει βέβαια πως με την αύξηση παραγωγής χάλυβα σε μια χώρα, θα ανοίξουν και οι αγορές. Τα τελευταία χρόνια λόγω του φόβου της οικονομικής κρίσης, μερικές χώρες όπως η Ινδία και η Βραζιλία προστατεύουν την εγχώρια παραγωγή χάλυβα. Μέτρα όπως κι αυτά εμποδίζουν την ανάπτυξη μιας παγκόσμιας αγοράς χάλυβα που βασίζεται σε ισότιμους όρους ανταγωνισμού. Σε αυτές τις προκλήσεις η χαλυβουργία της ΕΕ κατάφερε να διατηρήσει το επίπεδο των εξαγωγών της. Από το 2010 οι εξαγωγές της ΕΕ αυξάνονται και τα τέσσερα τελευταία χρόνια η ΕΕ είχε εμπορικό πλεόνασμα. Το πλεόνασμα στο εμπόριο χάλυβα για το 2012 ήταν 16,2 εκατομμύρια τόνοι (ή 20 δισ. ευρώ). Η δίκαιη πρόσβαση τόσο σε πρωτογενείς όσο και σε δευτερογενείς πρώτες ύλες, καθώς και στις θαλάσσιες μεταφορές, σε ανταγωνιστικές συνθήκες αγοράς είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη της βιομηχανίας του χάλυβα.

1.3.2 Σημαντικά τεχνολογικά κίνητρα και προκλήσεις. Ο χάλυβας ήταν και θα παραμείνει το βασικό υλικό στην κατασκευή και τη μεταποίηση. Αυτό δεν σημαίνει πως δεν μπορεί να επηρεαστεί η ζήτηση του, λόγω νέων μορφών παραγωγής. Ο συνεργατικός σχεδιασμός και η καινοτομία στις διαδικασίες αναμένεται ότι θα αποτελέσουν βασική κινητήρια δύναμη για τις τάσεις αυτές. Πρόκειται για έναν τομέα όπου η Ευρώπη μπορεί να αναλάβει ηγετικό ρόλο.

Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία, τόσο θα δημιουργούνται καινοτόμα προϊόντα για το χάλυβα και αυτό φαίνεται από τη κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας,

τη μεταφορά της ενέργειας και την οικοδομή. Στη χαλυβουργία δίνεται η δυνατότητα να διαφοροποιούνται από τους ανταγωνιστές τους και να γίνονται πιο ανταγωνιστικοί λόγω της αυξανόμενης προστιθέμενης αξίας των προϊόντων του χάλυβα, συμπεριλαμβανομένων των σωλήνων κάθε είδους. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα και με μια μελέτη του ΟΟΣΑ τα προϊόντα χάλυβα με υψηλή προστιθέμενη αξία εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μικρό ποσοστό της ζήτησης του χάλυβα με έντονο τον ανταγωνισμό σε αυτό το τμήμα της αγοράς.

Επιπλέον, μια τέτοια παραγωγή χάλυβα απαιτεί τη χρήση διαδικασιών έλασης χάλυβα με υψηλό κόστος, καθώς επίσης και μεγάλες επενδύσεις στον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης. Από την πλευρά της παραγωγής, παρόλο που η καινοτομία παραμένει σημαντική για να αναπτύσσονται νέα προϊόντα και αγορές και για να αυξάνεται η αποδοτικότητα, η πρόσβαση στις πρώτες ύλες και οι τιμές τους, καθώς και η ενέργεια πρόκειται, μεταξύ άλλων, να καθορίσουν τις μελλοντικές τάσεις, και για την Ευρώπη που εξαρτάται από τις εισαγωγές οι τάσεις στις τιμές αυτές προβλέπεται να εξακολουθήσουν να αυξάνονται.

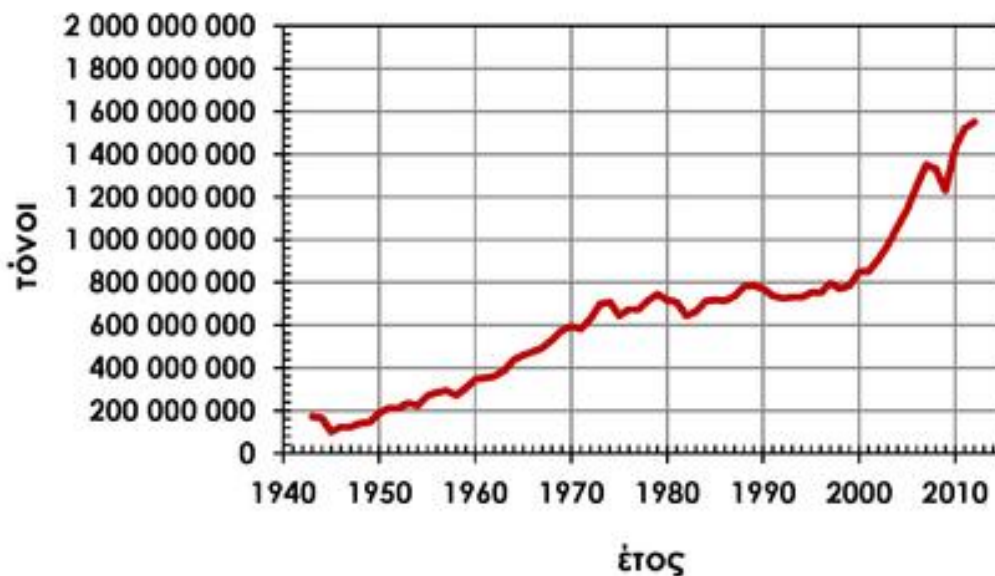
Όσον αφορά τις πρώτες ύλες που είναι αναγκαίες για την παραγωγή χάλυβα, η αντικατάσταση του παρθένου σιδηρομεταλλεύματος από ανακυκλωμένο παλαιοσίδηρο (αύξηση του μεριδίου της καμίνου βολταϊκού τόξου (KBT)) και η αντικατάσταση του άνθρακα οπτανθρακοποίησης από αέριο (γενίκευση της μεθόδου παραγωγής σιδήρου άμεσης αναγωγής (DRI)) θα μπορούσαν να αποδειχθούν τεχνολογικές τάσεις του μέλλοντος με καθοριστική σημασία. Οι πολιτικές για το κλίμα και η αποδοτικότητα των πόρων θα είναι μια ακόμη σημαντική κινητήρια δύναμη για τεχνολογικές αλλαγές. Βραχυπρόθεσμα, η αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένου παλαιοσιδήρου (scrap) και η διάδοση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (BΔΤ) θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη στόχων της πολιτικής για το κλίμα και να αυξήσει τη βιώσιμη χρήση των ανεπαρκών πόρων.

Μια πρόσφατη μελέτη της επιτροπής έδειξε ότι η ενσωμάτωση των ΒΔΤ από σήμερα έως το 2022 θα έχει μόνο μια ελαφρά μείωση της συνολικής άμεσης ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂, αν ληφθεί ως βάση η υπόθεση ότι εφαρμόζονται αυστηροί όροι επενδύσεων (σύντομες περιόδους απόσβεσης). Ωστόσο, σύμφωνα με μια μελέτη περαιτέρω παρακολούθησης, με μεγαλύτερες περιόδους απόσβεσης θα μπορούσε να έχει υψηλότερο δυναμικό μείωσης έως το 2030. Πέρα από αυτό, θα χρειαζόταν έρευνα και επιτυχημένη επίδειξη για την περαιτέρω βελτίωση της ανταγωνιστικότητας ως προς το κόστος των εν λόγω ΒΔΤ. Πρόσθετες βελτιώσεις όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση αναμένονται βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα.

Η τεχνολογία στις μεθόδους παραγωγής χάλυβα έχει αυξηθεί σημαντικά, παρ' όλο τη δυσκολία ανάπτυξης της σε αυτό το κομμάτι, έτσι έχει επιτευχθεί οι βέλτιστες τεχνολογίες να λειτουργούν ήδη κοντά στα θερμοδυναμικά τους όρια. Ακόμη όμως υπάρχουν τομείς στην παραγωγή, στους οποίους η ενέργεια μπορεί να γίνει ακόμη πιο ανθεκτική. Με τη μείωση του κόστους των εισροών, η καλύτερη ενεργειακή απόδοση μπορεί να απαιτήσει υψηλότερες αρχικές επενδύσεις και, ως εκ τούτου, οι πολιτικές θα πρέπει να εκτελεστούν κατά τρόπο που να συνεκτιμά τον αντίκτυπο στην ανταγωνιστικότητα. Κατά συνέπεια, η Επιτροπή θα παρακολουθεί τους τομείς οι οποίοι θεωρείται ότι εκτίθενται σε σημαντικό κίνδυνο διαρροής άνθρακα για να εξασφαλιστεί ότι η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη των τομέων αυτών. Μια επιτυχής επίδειξη καινοτόμων τεχνολογιών για τη μείωση των εκπομπών CO₂, συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανικής δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) είναι ζωτικής σημασίας. Πριν από τη φάση υλοποίησης υπάρχουν δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως είναι οι

μεγάλες δαπάνες, και η ευαισθητοποίηση και η αποδοχή του κοινού, όπως αναφέρεται στην ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με το μέλλον της δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη.

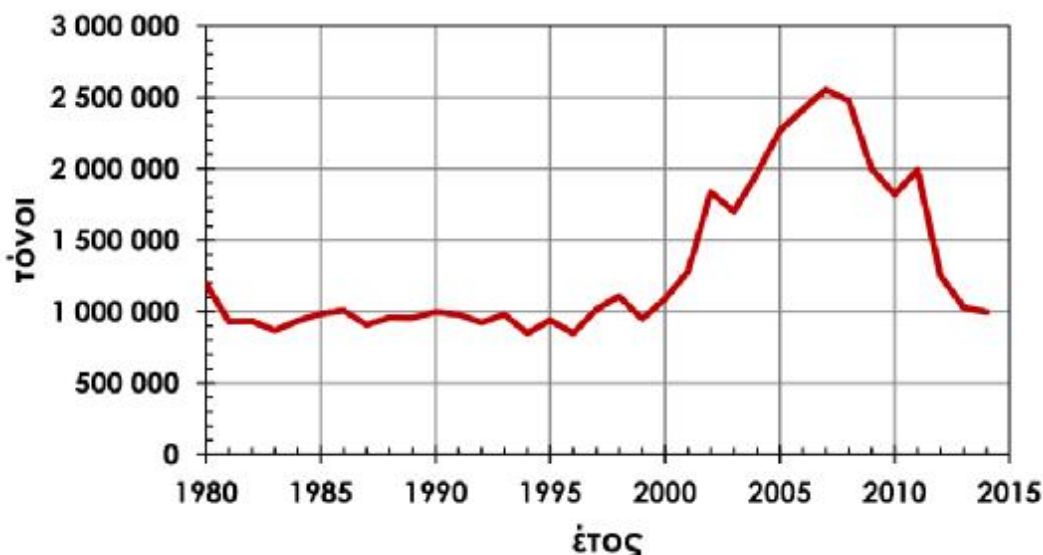
1.3.3 Παραγωγή χάλυβα. Η παγκόσμια χαλυβουργία έχει επί του παρόντος πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα ίση με 542 εκατομμύρια τόνους περίπου. Από αυτό το ποσό, περίπου 200 εκατ. τόνοι βρίσκονται στην Κίνα. Προς το παρόν, η πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα εκτιμάται σε περίπου 80 εκατ. τόνους στην ΕΕ, σε σύγκριση με τη συνολική ικανότητα παραγωγής της ΕΕ, που είναι 217 εκατ. τόνοι. Εάν η ικανότητα παραγωγής χάλυβα είναι στα ίδια επίπεδα μετά το 2014, θα χρειαζόνταν πέντε έως επτά χρόνια ώστε η ζήτηση να φτάσει το επίπεδο της ικανότητας, αν η ζήτηση αυξάνεται με τους σημερινούς ρυθμούς ανάπτυξης.



Εικόνα 1.2: Η παγκόσμια παραγωγή χάλυβα από το 1943 έως το 2012.
[<http://upload.wikimedia.org/>]

Στην ΕΕ, η ζήτηση του χάλυβα εξαρτάται από την οικονομική και δημοσιονομική κατάσταση ορισμένων βασικών κλάδων παραγωγής που χρησιμοποιούν χάλυβα π.χ. οι τομείς των κατασκευών και της αυτοκινητοβιομηχανίας αντιπροσωπεύουν ένα συνδυασμένο μερίδιο ύψους 40% περίπου της ζήτησης χάλυβα. Οι κλάδοι παραγωγής της μηχανολογίας καθώς και του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) αποτελούν επίσης σημαντική κινητήρια δύναμη για την ευημερία της χαλυβουργίας. Η χρηματοπιστωτική κρίση όμως είχε σοβαρές επιπτώσεις σε όλους αυτούς τους κλάδους. Για να διασφαλιστεί η αποκατάσταση των εν λόγω κλάδων, είναι σημαντικό να εφαρμοστούν οι τρέχουσες πρωτοβουλίες της ΕΕ για την υποστήριξη των κλάδων των κατασκευών και της αυτοκινητοβιομηχανίας με σκοπό να αυξηθεί η βιωσιμότητά τους, και η αποδοτικότητα σε σχέση με τους πόρους και την ενέργεια. Μέτρα με μεγαλύτερη έμφαση στην ανάπτυξη θα ενθαρρύνουν την κατανάλωση χάλυβα.

1.3.4 Παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα. Γενικά, η ελληνική βιομηχανία χάλυβα έχει αυξήσει σημαντικά την παραγωγή της τα τελευταία χρόνια και από 1,0 εκατ. τόνους το 1990, ξεπέρασε τα 2,5 εκατ. τόνους το 2007. Ωστόσο, με την οικονομική κρίση που άρχισε το 2009, η ελληνική παραγωγή χάλυβα έπεσε κατακόρυφα και το 2014 ήταν μόνο 1 εκατ. τόνοι.



Εικόνα 1.3: Η Ελληνική παραγωγή χάλυβα από το 1980 έως το 2014
[<http://upload.wikimedia.org/>]

Ελληνική Χαλυβουργία Hellenic Steel Industry S.A. Η πρώτη ελληνική βιομηχανία χάλυβα, που έφερε τον τίτλο «Ελληνική Χαλυβουργία». Το 1951, το εργοστάσιο της Ελληνικής Χαλυβουργίας μετακόμισε στον Ασπρόπυργο Αττικής, όπου λειτουργούσε έως το 2014, ακόμα ως μία από τις δύο μονάδες της «Χαλυβουργίας Ελλάδος» με ετήσια παραγωγική δυναμικότητα 400.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου.

Η δεύτερη ελληνική χαλυβουργία ήταν η «Χαλυβουργική». Η εταιρεία αυτή ξεκίνησε ως βιομηχανία καρφιών το 1932 για να εξελιχθεί σε μικρό χαλυβουργείο επί της οδού Πειραιώς στην Αθήνα το 1938. Το 1953 η εταιρεία έθεσε σε λειτουργία νέες καμίνους ηλεκτρικού τόξου στην Ελευσίνα, που σύντομα μεταβλήθηκαν σε πλήρως καθετοποιημένη σιδηρουργία–χαλυβουργία. Το 1958, η «Χαλυβουργική» απέκτησε κάμινο ανοιχτής εστίας τύπου Siemens-Martin, και το 1963 έθεσε σε λειτουργία την πρώτη υψικάμινο στον ελλαδικό χώρο, καθώς και μεταλλάκτες τύπου LD. Το 1975, η εταιρεία έθεσε σε λειτουργία και δεύτερη υψικάμινο ανεβάζοντας έτσι την παραγωγική της δυναμικότητα σε 2,5 εκατ. τόνους χάλυβα ετησίως. Έκτοτε όμως η εταιρεία άρχισε να φθίνει και το 1981 διέκοψε την λειτουργία των υψικαμίνων. Συνέχισε ωστόσο την παραγωγή πλατέων και επιμήκων προϊόντων με ανάτηξη παλαιοσιδήρων σε καμίνους ηλεκτρικού τόξου. Η εταιρεία συνέχισε να παράγει επιμήκη προϊόντα στην Ελευσίνα, σε σύγχρονες εγκαταστάσεις δυναμικότητας 500.000 τόνων. Εξαιτίας της οικονομικής κρίσης και του υψηλού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, η εταιρεία υπολειπεται από το 2012.

Το 1962, ιδρύθηκε η εταιρεία «Σιδενόρ» για να παράγει προϊόντα χάλυβα, όπως χαλυβδοσωλήνες, λέβητες, κ.λπ. Το 1964, η Σιδενόρ ξεκίνησε την παραγωγή μπετόβεργας και άλλων επιμήκων προϊόντων στην Θεσσαλονίκη, στο εργοστάσιο που για πολλά χρόνια ήταν γνωστό στους Θεσσαλονικείς ως «εργοστάσιο Βιοχαλκό». Το εργοστάσιο αυτό εξακολουθεί να βρίσκεται σε λειτουργία με ετήσια δυναμικότητα 600.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου.

Το 1963 ιδρύθηκε η «Χαλυβουργία Βόλου», η οποία το 1974 μετονομάστηκε σε «Θεσσαλική Χαλυβουργία». Οι εγκαταστάσεις της «Θεσσαλικής Χαλυβουργίας» περιλαμβάνουν χαλυβουργείο στο Βελεστίνο Μαγνησίας ετήσιας δυναμικότητας 700.000 τόνων χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου και ελασματοουργείο στην Βιομηχανική Ζώνη Βόλου. Το 2006, η «Θεσσαλική Χαλυβουργία» εξαγόρασε την «Ελληνική Χαλυβουργία» και ο νέος όμιλος ονομάστηκε «Χαλυβουργία Ελλάδος».

Το 1972, τέθηκε σε λειτουργία την χαλυβουργία «Μεταλλουργική Χάλυψ» στον Αλμυρό Μαγνησίας ετήσιας δυναμικότητας περίπου 600.000 τόνων. Η εταιρεία, που παρήγαγε μόνον επιμήκη προϊόντα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου, βρέθηκε μέσα σε λίγα χρόνια υπερχρεωμένη και το 1991 κήρυξε πτώχευση. Το 1996, η «Σιδενόρ» εξαγόρασε τις εγκαταλειμμένες εγκαταστάσεις της «Μεταλλουργικής Χάλυψ» στον Αλμυρό Μαγνησίας και έκτισε εκεί σύγχρονη χαλυβουργία με ετήσια δυναμικότητα 900.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου. Μέσα στο 2007, ο όμιλος «Σιδενόρ» ανακοίνωσε πως το εργοστάσιο στον Αλμυρό Μαγνησίας, που φέρει την επωνυμία «Σοβέλ» («Sovel»), θα κάνει νέες επενδύσεις για επέκταση της παραγωγικής δυναμικότητας στους 1,2 εκατ. τόνους χάλυβα τον χρόνο.

Ελληνική ΑΕ Χάλυβος. Μία ακόμα εταιρεία που δραστηριοποιούνταν στον χώρο του χάλυβα στην Ελλάδα ήταν η «Ελληνική ΑΕ Χάλυβος» ή «Ανώνυμος Ελληνική Εταιρεία Χάλυβος», πιο γνωστή ως Hellenic Steel. Από το 1964, η Hellenic Steel λειτουργούσε εργοστάσιο στην Θεσσαλονίκη με παραγωγική δυναμικότητα 800.000 τόνους σε πλατέα προϊόντα ψυχρής έλασης, 95.000 τόνους σε επικασσιτερωμένα πλατέα προϊόντα και 135.000 τόνους σε επιψευδαργυρωμένα πλατέα προϊόντα. Η εταιρεία έκλεισε οριστικά τον Μάιο του 2015 λόγω προβλημάτων ρευστότητας και αδυναμίας εξεύρεσης άλλων επενδυτών για να αναλάβουν το εργοστάσιο.

2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΛΥΒΑ

2.1 ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΣ

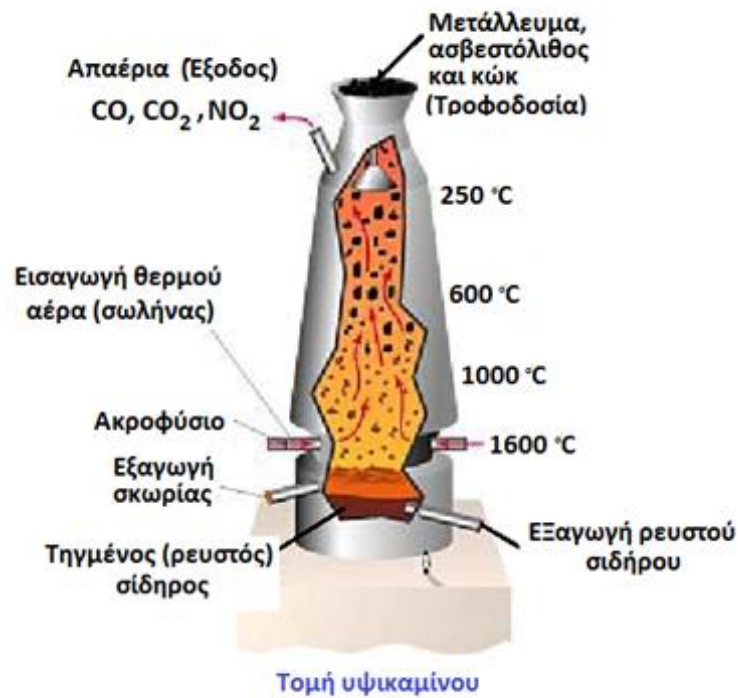
2.1.1 Γενικά. Η υψικάμινος (Blast furnace) ορίζεται ως μία είδος καμίνου, μεταλλουργικού τύπου, που χρησιμοποιείται για την τήξη και την παραγωγή μετάλλων. Τα βασικά μέταλλα που χρησιμοποιούνται από τις υψικάμινους είναι ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο σίδηρος αλλά και ο χυτοσίδηρος όπου στην συνέχεια με περαιτέρω επεξεργασία παράγεται ο χάλυβας. Οι πρώτες υψικάμινοι κατασκευάστηκαν στην Γερμανία κοντά το 1350 μ.Χ. και έπειτα άρχισαν να εμφανίζονται σταδιακά στην Αγγλία περίπου το 15ο αιώνα. Το βασικό αναγωγικό που χρησιμοποιούσαν οι υψικάμινοι για την θέρμανση και την τήξη των μετάλλων ήταν ο

ξυλάνθρακας, αλλά λόγω της χαμηλής απόδοσης του σε σχέση με το μεταλλουργικό κωκ, αντικαταστάθηκε από αυτό στις αρχές του 18ου αιώνα.

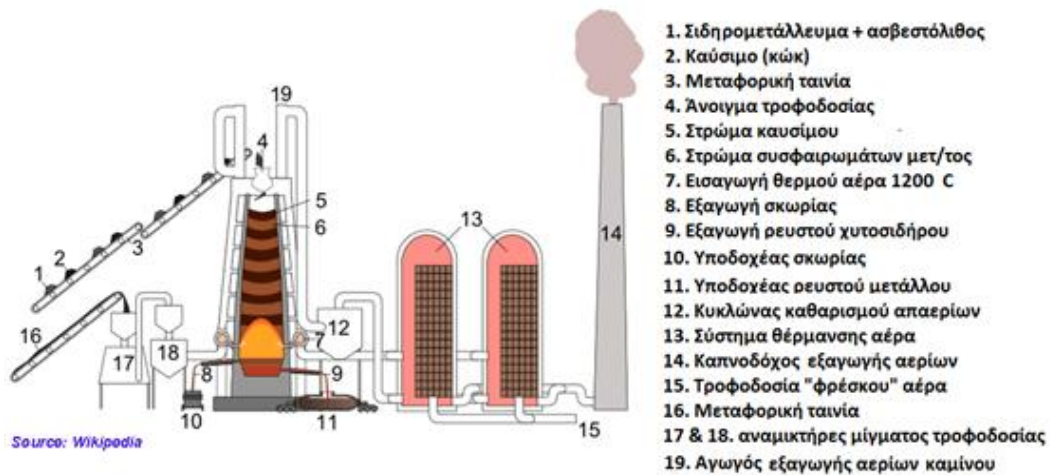
2.1.2 Λειτουργία. Από πλευρά κατασκευής, η υψικάμιнос είναι κυλινδρικής διατομής με διάμετρο 6 m και ύψος που κυμαίνεται από 20 έως 30 m. Επίσης, αποτελείται από ένα μανδύα χαλύβδινου τύπου επενδυμένο εσωτερικά με κατάλληλους πυρίμαχους πλίνθους. Η τροφοδοσία της υψικάμινου πραγματοποιείται από μία είσοδο στην κορυφή της όπου εκεί ρίχνεται το μέταλλευμα, το ανθρακικό ασβέστιο και το κωκ, ενώ παράλληλα από διάφορα ακροφύσια τα οποία είναι τοποθετημένα περιμετρικά στην βάση της, γίνεται η διοχέτευση ξηρού αέρα θερμοκρασίας που φτάνει τους 800 °C περίπου. Λόγω της εισχώρησης του θερμού αέρα, ο άνθρακας καίγεται και μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, από το οποίο προκύπτει απελευθέρωση μεγάλων ποσών θερμότητας, με συνέπεια το θερμό διοξείδιο να έχει μία τάση να ανεβαίνει προς τα πάνω ώστε να έρθει σε επαφή με τον θερμό άνθρακα. Αφού πραγματοποιηθεί αυτή η επαφή γίνεται η διάσπαση σε μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο λειτουργεί ως ένα αναγωγικό μέσο για την αφαίρεση του οξυγόνου από τα διάφορα οξειδία του σιδήρου. Από την συγκεκριμένη αναγωγή αυτή, ο σίδηρος, όπως και το διοξείδιο του άνθρακα που είναι τα παραγόμενα προϊόντα της παραπάνω αντίδρασης, μέσα στην υψικάμινο ο σίδηρος σαν στέρεο προϊόν κατευθύνεται πάντα στο κάτω μέρος της, ενώ τα αέρια σαν το διοξείδιο του άνθρακα εξαιτίας της θερμότητας που έχουν αποκτήσει, έχουν ανοδική πορεία. Ο σίδηρος κατά την διαδρομή του στο κάτω μέρος της υψικάμινου αντιδρά χημικά με τον άνθρακα και ενανθρακώνεται, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο καρβίδια του σιδήρου που ονομάζονται Σεμεντίτης. Ο Σεμεντίτης τήκεται περίπου στους 1100 °C σε σύγκριση με τον καθαρό σίδηρο που τήκεται στους 1500 °C. Ο Σεμεντίτης τήκεται και κατευθύνεται στο κάτω μέρος της υψικάμινου. Εξαιτίας της επαφής του με το πυρωμένο κωκ μέσα στην υψικάμινο, απορροφά και αντιδρά με περισσότερο άνθρακα το οποίο έχει ως συνέπεια, μερικές από τις ξένες προσμίξεις να ανάγονται σε αέρια (τα οποία κατευθύνονται στο άνω μέρος της καμίνου μαζί με άλλα περίσσεια αέρια) και οι περισσότερες από αυτές να αντιδρούν με το συλλίπασμα και να παράγουν σκωρίες. Οι παραγόμενες σκωρίες μέσα στην υψικάμινο, πριν καν καταλήξουν στο κάτω μέρος της, τήκονται και λόγω του χαμηλού τους βάρους σε σχέση με το ρευστό κράμα σιδήρου επιπλέουν πάνω σε αυτό. Στο κάτω μέρος της υψικάμινου υπάρχει ένας οχετός από τον οποίο λαμβάνουμε το βασικό προϊόν, τον ακατέργαστο σίδηρο. Στον οχετό αυτό γίνεται συνεχώς η απομάκρυνση των ρευστών σκωριών, ενώ στο πάνω μέρος της γίνεται η διαφυγή των αερίων με μεγάλη περιεκτικότητα καυσίμων αερίων, τα οποία έπειτα περνούν από κατάλληλους προθερμαντήρες όπου πραγματοποιείται ο καθαρισμός και η καύση τους. Τα πόσα θερμότητας που εκλύονται από την παραπάνω καύση εξυπηρετούν στην προθέρμανση του αέρα που διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων μέσα στην υψικάμινο.

Όσο αναφορά το κύριο παραγόμενο προϊόν της υψικάμινου που είναι ο ακατέργαστος σίδηρος, είναι ένα προϊόν το οποίο αποτελείται από διάφορα στοιχεία εκτός από τον άνθρακα που αγγίζει σε ποσοστά περιεκτικότητας της τάξης του 4-5 %. Επίσης περιέχει διάφορες αναλογίες θείου, μαγγανίου, πυριτίου και φωσφόρου. Ο ακατέργαστος σίδηρος από την στιγμή που εξάγεται από την υψικάμινο είναι κατάλληλος για την παραγωγή σφυρήλατου σιδήρου και χυτοσιδήρου. Ο χυτοσίδηρος που παράγεται από τις υψικάμινους λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε άνθρακα, τον κάνει ακατάλληλο για την κατασκευή εξαρτημάτων, οχημάτων κ.λπ. Γι' αυτό τον λόγο υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία σε ειδικές εγκαταστάσεις

παραγωγής χάλυβα, όπου επιτυγχάνεται η μείωση του ποσοστού σε άνθρακα, κάνοντας τον με αυτόν τον τρόπο κατάλληλο για μεγάλη γκάμα βαριάς κατασκευής.



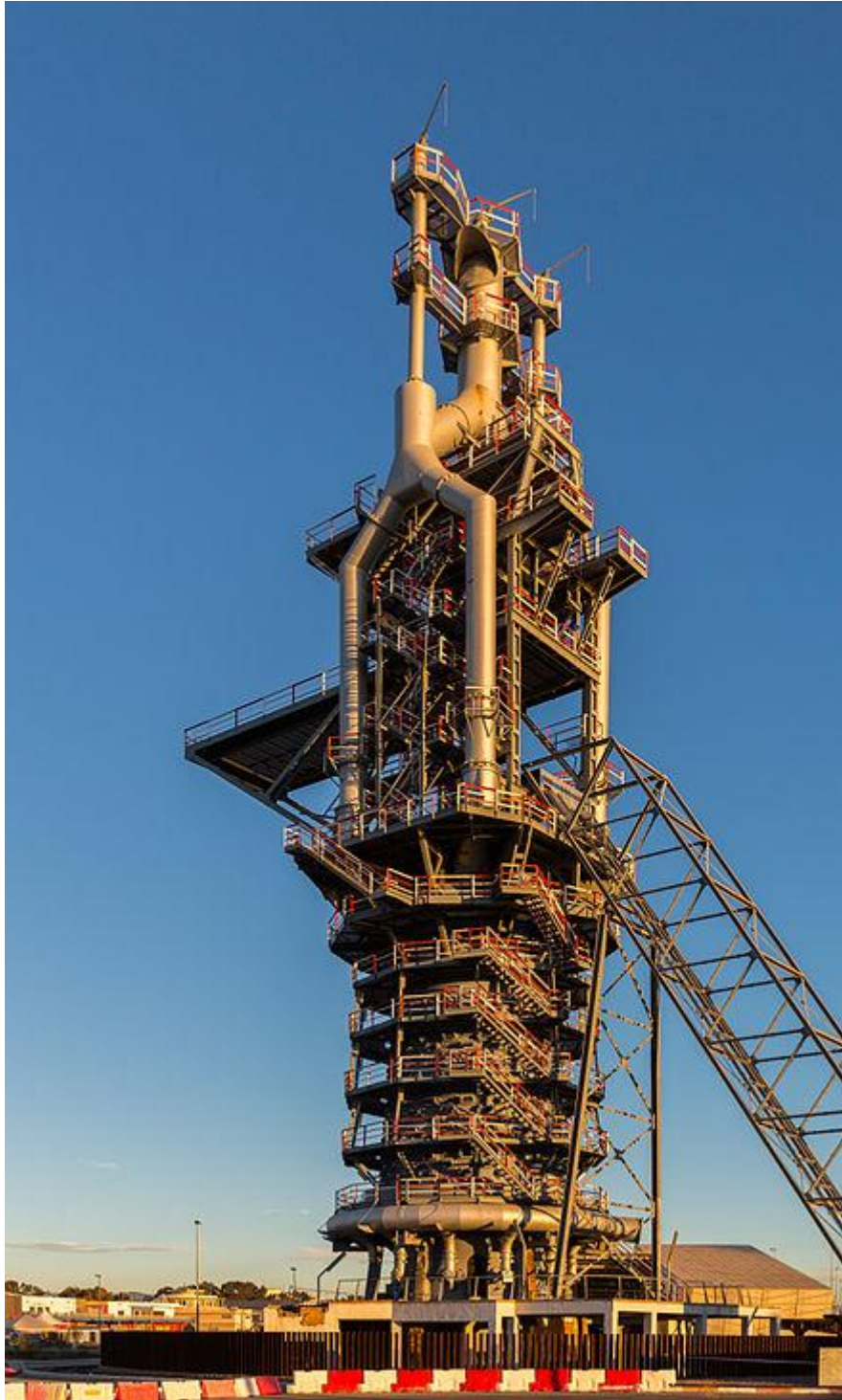
Εικόνα 2.1: Τομή υψικαμίνου
<http://www.orykta.gr/images/>



Εικόνα 2.2: Τμήματα και λειτουργία εγκατάστασης υψικαμίνου
<http://www.orykta.gr/images/>



Εικόνα 2.3: Εγκατάσταση υψικαμίνου
[<https://theperimeteruk.files>]



Εικόνα 2.4: Εγκατάσταση ψικαμίνου
[\[https://upload.wikimedia.org/\]](https://upload.wikimedia.org/)

2.1.3 Μηχανική διεργασία και χημεία. Ο βασικό τρόπος λειτουργίας της ψικαμίνου έχει να κάνει με την χημική αναγωγή ή διαφορετικά οξειδοαναγωγή, όπου τα άτομα των στοιχείων που παίρνουν μέρος σε αυτήν αλλάζουν αριθμό οξείδωσης. Για παράδειγμα, το μονοξείδιο του άνθρακα που τυχαίνει να έχει περισσότερα κοινά

χαρακτηριστικά με το οξειγόνο του σιδηρομεταλλεύματος σε σύγκριση με τον σίδηρο, μειώνει το ποσοστό σιδήρου στην στοιχειακή του μορφή.

Η λειτουργία της υψικάμινου βασίζεται στην μέθοδο ανταλλαγής αντίθετων ρευμάτων και επιπλέον σαν κατασκευή η υψικάμινος λειτουργεί συνεχόμενα για αρκετές χρονικές περιόδους, λόγω της δυσκολίας που υπάρχει στην εκκίνηση και στο σταμάτημα της. Άλλες κάμινοι όπως οι κάμινοι ακμής (bloomeries) και οι αντηχητικοί κάμινοι (reverberatory furnaces), η λειτουργία τους βασίζεται στην άμεση επαφή του σιδηρομεταλλεύματος και του σιδήρου με τα καυσαέρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στο μέταλλευμα να πραγματοποιείται διάχυση του μονοξειδίου του άνθρακα και στο στοιχειακό σίδηρο όπου είναι αναμειγμένο με άνθρακα, η μείωση του οξειδίου του σιδήρου. Επίσης, οι κάμινοι ακμής έχουν το χαρακτηριστικό να λειτουργούν με παρτίδες, αντίθετα με τις υψικάμινους που λειτουργούν συνεχόμενα. Στον χυτοσίδηρο τα μεγάλα ποσά σε περιεκτικότητα σε άνθρακα μειώνουν σε σημαντικό βαθμό το σημείο τήξης του, ακόμα και κάτω από αυτό του καθαρού σιδήρου και του χάλυβα. Στους κάμινους ακμής η τήξη του σιδήρου είναι αδύνατη. Στον χυτοσίδηρο, το διοξείδιο του πυριτίου μειώνεται και αφαιρείται με την βοήθεια του μονοξειδίου του άνθρακα, διότι αντιδρά με το οξείδιο του ασβεστίου και δημιουργεί σκωρία στην επιφάνεια του ρευστού χυτοσιδήρου. Παράλληλα, μόλυνση με θείο προκαλείται από την επαφή του σιδήρου και των καυσαερίων, λόγω της πιθανής ύπαρξης θείου στο καύσιμο και αντιμετωπίζεται με την αντικατάσταση του καύσιμου από το κάρβουνο, το οποίο τυχαίνει να είναι κατάλληλο για την παραγωγή καλύτερης ποιότητας σιδήρου. Για να διέρχονται τα καυσαέρια εύκολα χωρίς δυσκολία θα πρέπει το μέταλλευμα άνθρακα ή οπτάνθρακα και τα διάφορα άλλα αντιδρώντα προϊόντα να βρίσκονται σε μία αρκετά πορώδη κατάσταση. Όμως για να επιτευχθεί αυτό, προϋποθέτει μεγάλο όγκο ξυλάνθρακα ή οπτάνθρακα ώστε να υπάρχει μία διαπερατότητα προς αυτά και για το λόγο αυτό, περίσσεια μικρών σωματιδίων είναι αδύνατον υπαρκτή. Ο οπτάνθρακας είναι ένα υλικό το οποίο απαιτείται να έχει μεγάλη φυσική αντοχή (δηλ. μεγάλη αντοχή έναντι της σύνθλιψης) αλλά παράλληλα να έχει ελάχιστα ποσοστά σε στοιχεία όπως το θείο, τη τέφρα και το φώσφορο, κάτι που μας παραπέμπει στην χρήση του μεταλλουργικού άνθρακα, ο οποίος είναι δυσεύρετος, λόγω της ελάχιστης ποσότητας που υπάρχει.

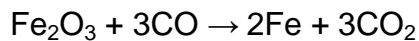


Εικόνα 2.5: Κάμινος ακμής
[<https://upload.wikimedia.org/>]

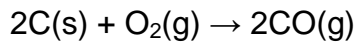


Εικόνα 2.6: Αντηχητική κάμινος
[<http://www.furneng.com.au/>]

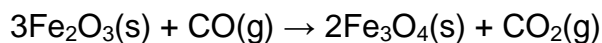
Ο τηγμένος σίδηρος παράγεται από την παρακάτω χημική αντίδραση:



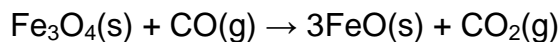
Η αντίδραση αυτή χωρίζεται σε διάφορα στάδια. Ένα από αυτά είναι η παραγωγή του μονοξειδίου του άνθρακα με παρελκόμενο την θερμότητα, το οποίο συμβαίνει λόγω της αντίδρασης του οπτάνθρακα με τον αέρα προθέρμανσης μέσα στον κλίβανο:



Το θερμό μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα στοιχείο κατάλληλο για το σιδηρομετάλλευμα, αφού έχει μεγάλη αναγωγικότητα σε αυτό. Ο τηγμένος σίδηρος μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα παράγονται από την αντίδραση του οξειδίου του σιδήρου με το παραπάνω. Λόγω της διαφορετικής θερμοκρασία που υπάρχει σε ολόκληρη τον κλίβανο είναι εφικτή η μείωση του σιδήρου σε πολλαπλά στάδια. Για παράδειγμα στην κορυφή του κλιβάνου, η θερμοκρασία κυμαίνεται από 200 °C με 700 °C περίπου. Το οξείδιο του σιδήρου μέσα σε αυτά τα όρια θερμοκρασίας μειώνεται με κατά κάποιον τρόπο σε οξείδιο του σιδήρου (II, III), Fe_3O_4 :



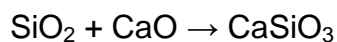
Ο σίδηρος (II, III) μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο σε οξείδιο του σιδήρου (II), όταν στον κλίβανο η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 800 °C (περίπου στους 850 °C):



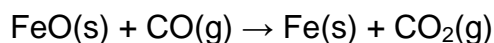
Τα περίσσεια του μονοξειδίου του άνθρακα και του θερμού διοξειδίου του άνθρακα μαζί με το άζωτο του αέρα διαπερνούν τον κλίβανο, κατά την διάρκεια που στην ζώνη αντίδρασης κατευθύνεται καθοδικά το νέο υλικό τροφοδοσίας, το οποίο προθερμαίνεται με την βοήθεια των αντίθετων ρευμάτων. Καθώς γίνεται η προθέρμανση του υλικού, παράλληλα πραγματοποιείται η αποσύνθεση του ανθρακικού ασβεστίου σε οξείδιο του ασβεστίου και σε διοξείδιο του άνθρακα:



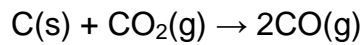
Μία φαιαλιτική σκωρία που στην πραγματικότητα δεν διαφέρει από το πυριτικό ασβέστιο CaSiO_3 , σχηματίζεται καθώς το οξείδιο του ασβεστίου, αντιδρά με διάφορες χημικές όξινες ακαθαρσίες του σιδήρου (συνήθως διοξείδιο του πυριτίου):



Το οξείδιο του σιδήρου μειώνεται περισσότερο στο μέταλλο σιδήρου ενώ κατευθύνεται καθοδικά στην περιοχή υψηλής θερμοκρασίας που φτάνει έως και τους 1150 με 1200 °C περίπου:

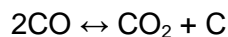


Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από την παραπάνω αντίδραση, λόγω της παρουσίας του οππάνθρακα και αντιδρώντας μαζί του μετατρέπεται ξανά σε μονοξείδιο του άνθρακα:



Η εξαρτώμενη από την θερμοκρασία ισορροπίας που ελέγχει την ατμόσφαιρα αερίου στον κλίβανο ονομάζεται αντίδραση Boudouard:

Η αντίδραση Boudouard έχει σχέση με την αεριοποίηση του διοξειδίου του άνθρακα και είναι άμεσα εξαρτώμενη από την θερμοκρασία ισορροπίας, όπου μέσα στον κλίβανο γίνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας του αερίου:



2.2 ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ I

2.2.1 Ηλεκτρική κάμινος τόξου

2.2.1.1 Γενικά. Η ηλεκτρική κάμινος τόξου (Electric arc furnace) είναι μία είδος καμίνου στην οποία η θέρμανση του υλικού πραγματοποιείται με την βοήθεια ηλεκτρικού τόξου. Οι κάμινοι ηλεκτρικού τόξου διακρίνονται στο εμπόριο από μικρές καμίνους χωρητικότητας που φτάνουν τον έναν τόνο περίπου, μέχρι καμίνους που πλησιάζουν σε χωρητικότητα τους 400 τόνους. Η διαφορά των μικρών καμίνων σε σχέση με των μεγάλων, είναι ότι οι πρώτες είναι κατάλληλες για την παραγωγή χυτοσίδηρων προϊόντων σε χυτήρια ενώ οι δεύτερες βρίσκουν εφαρμογή σε εγκαταστάσεις δευτερογενής παραγωγής χάλυβα. Επίσης, υπάρχουν κάμινοι με χωρητικότητα ελάχιστων γραμμαρίων οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως από οδοντιάτρους και ερευνητικά εργαστήρια λόγω του εύχρηστου μεγέθους τους. Οι ηλεκτρικές κάμινοι τόξου βιομηχανικού επιπέδου έχουν την δυνατότητα να φτάσουν θερμοκρασίες που αγγίζουν τους 1.800 °C, ενώ αυτές που χρησιμοποιούνται σε εργαστηριακές μονάδες όχι μόνο φτάνουν τους 3.000 °C αλλά τους ξεπερνούν.



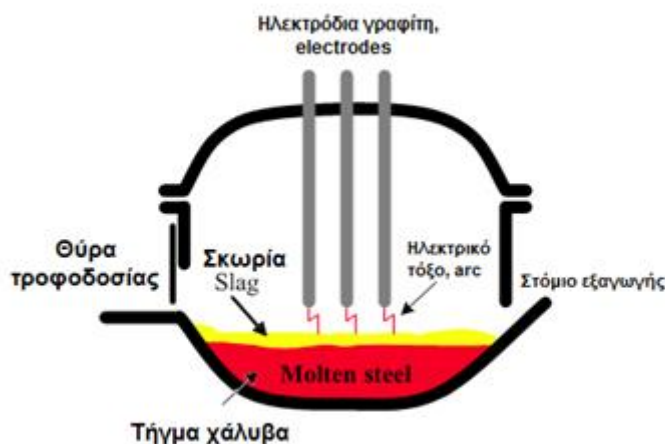
Εικόνα 2.7: Ηλεκτρική κάμινος τόξου
[\[https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/\]](https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/)

2.2.1.2 Λειτουργία. Σε μία τοποθεσία που αποκαλείται σημείο θραύσης, η οποία βρίσκεται κοντά στο κατάστημα τήξης τοποθετείται το θραύσμα μετάλλου ή παλαιοσίδηρο σκραπ, το οποίο έπειτα φορτώνεται σε κατάλληλους κάδους (καλάθια) τα οποία αποτελούνται από πόρτες που αποκαλούνται “clamshells” (κελύφοι αχιβάδας) μίας στήριξης. Καθώς φορτωθεί το υλικό στο καλάθι γίνεται η απευθείας στρώση του για την ομαλή λειτουργία του κλιβάνου και στην συνέχεια γίνεται η τοποθέτηση του τήγματος σε ένα προστατευτικό στρώμα για περισσότερο τεμαχισμό. Έπειτα, το καλάθι με το τήγμα εισέρχεται σε προθερμαντήρα παλαιουσιδήρου, όπου η θέρμανση των θραυσμάτων γίνεται με την χρήση των αερίων από τα καυσαέρια. Μετά τον προθερμαντήρα, το καλάθι παλαιουσιδήρου μεταφέρεται στο κατάστημα τήξης. Στο κατάστημα τήξης πραγματοποιείται η φόρτιση του φούρνου με θραύσματα από το καλάθι, αφού αρχικά απομακρυνθεί η οροφή από τον κλίβανο. Κατά την φόρτιση, λόγω της πτώσης των αρκετών τόνων μετάλλων, απελευθερώνονται μεγάλα ποσά δυνητικής ενέργειας, κάτι το οποίο είναι επικίνδυνο για τους φορείς εκμετάλλευσης της καμίνου. Στον κλίβανο, με την ρίψη των στερεών θραυσμάτων το ρευστό μέταλλο μετατοπίζεται και αρκετά ποσά ρευστού μετάλλου σκορπίζονται προς τα έξω από τον κλίβανο. Πυρκαγιά μπορεί να εκδηλωθεί από την ανάφλεξη της σκόνης και του λίπους των θραυσμάτων όταν ο κλίβανος είναι πολύ ζεστός. Αρκετοί κλίβανοι διπλού κελύφους, έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιείται η φόρτιση των θραυσμάτων στο ένα κέλυφος και στο άλλο, η τήξη και η προθέρμανση τους με αέριο από το ενεργό κέλυφος. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλων ειδών λειτουργίες, όπως για παράδειγμα η συνεχής φόρτωση και προθέρμανση. Στην παραπάνω τα θραύσματα ρίχνονται στην κάμινο με την χρήση ενός μεταφορικού ιμάντα στον οποίο γίνεται η παράλληλη φόρτωση και προθέρμανση των θραυσμάτων πάνω σε αυτόν. Διαφορετικά, η φόρτιση των θραυσμάτων μπορεί να γίνει από έναν κατάλληλο άξονα που είναι τοποθετημένος πάνω στον κλίβανο με την χρήση αερίων.

Αφού πραγματοποιηθεί η φόρτιση των θραυσμάτων, η οροφή πάνω από τον κλίβανο μετατοπίζεται ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της τήξης. Με την δημιουργία τόξου από το κατέβασμα των ηλεκτροδίων ακριβώς πάνω από το θραύσμα και έπειτα, με την τοποθέτηση τους στο πάνω μέρος του κλιβάνου όπου βρίσκεται το στρώμα τεμαχισμού, γίνεται η τήξη. Για την ασφάλεια του κλιβάνου, δηλαδή για την προστασία της οροφής και των τοιχωμάτων του από την εκπομπή της θερμότητας των τόξων, χρησιμοποιούνται χαμηλές τάσεις λειτουργίας. Υψηλές τάσεις λειτουργίας χρησιμοποιούνται όταν στην βάση του κλιβάνου όπου βρίσκεται το βαρύ τήγμα, κατευθυνθούν τα ηλεκτρόδια και τα τόξα είναι επικαλυμμένα με θραύσμα. Στην συνέχεια τα ηλεκτρόδια κατευθύνονται ελάχιστα προς τα πάνω, αυξάνοντας την ισχύ του τήγματος με την επιμήκυνση των τόξων, όπου αυτό εξυπηρετεί στην μείωση του χρόνου έλκυσης υγρού με την δημιουργία ταχύτερης ροής σε ρευστή δεξαμενή. Στο θραύσμα διοχετεύεται οξυγόνο όπου με την βοήθεια πρόσθετης χημικής θερμότητας που παρέχεται από κατάλληλους καυστήρες οξυγόνου εγκατεστημένους στα τοιχώματα, καίγεται ή τεμαχίζει τον χάλυβα. Η τήξη των θραυσμάτων επιταχύνεται και με τις δύο παραπάνω διαδικασίες. Τα υπερηχητικά ακροφύσια είναι κατάλληλα για τους πίδακες οξυγόνου διότι τους δίνουν την δυνατότητα να διεισδύσουν στην αφρίζουσα σκωρία και να φτάσουν στο λουτρό υγρού.

Για την παραγωγή του χάλυβα, βασικό ρόλο παίζει ο σχηματισμός της σκωρίας που βρίσκεται στην επιφάνεια του τήγματος και αποτελείται κυρίως από διάφορα οξειδία μετάλλων. Η σκωρία βοηθάει στην μείωση απώλειας θερμότητας του τήγματος και στην μείωση της διάβρωσης της πυρίμαχης επένδυσης του κλιβάνου. Οι βασικοί τύποι σκωρίας που εμφανίζονται σε έναν φούρνο είναι το οξειδίο του ασβεστίου και το οξειδίο του μαγνησίου, τα οποία είτε βρίσκονται στο θραύσμα κατά την φόρτιση του, είτε διοχετεύονται στον κλίβανο όταν πραγματοποιείται η τήξη του. Επίσης, σημαντικός παράγοντας είναι και ένας άλλος τύπος της σκωρίας, το οξειδίο του σιδήρου το οποίο προκαλείται από την καύση του χάλυβα με το οξυγόνο. Έπειτα, στο στρώμα σκωρίας διοχετεύεται άνθρακας, ο οποίος αντιδρά με το οξειδίο του σιδήρου δημιουργώντας μεταλλικό σίδηρο και το μονοοξειδίο του άνθρακα το οποίο σχηματίζει αφρό της σκωρίας. Αυτός ο αφρός σκωρίας, εξυπηρετεί για την καλύτερη θερμική και ηλεκτρική απόδοση του κλιβάνου, στην σταθερότητα του τόξου αλλά και στην προστασία της οροφής και των τοιχωμάτων του κλιβάνου από την εκπέμπουσα ακτινοβολία των τόξων.

Ηλεκτρική κάμινος τόξου Electric - arc furnace

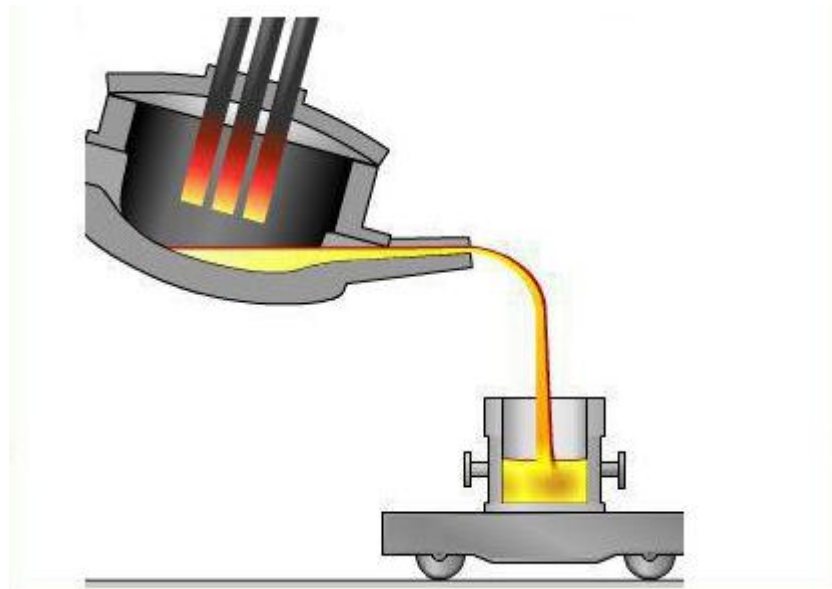


Εικόνα 2.8: Ηλεκτρική κάμινος τόξου
[<http://www.orykta.gr/images/>]

Από την στιγμή που ρευστοποιηθεί εξ' ολοκλήρου το θραύσμα και η επιφάνεια του καλύψει ομοιόμορφα το κάτω μέρος του κλίβανου, σε σημείο ποιο κάτω από τα στόμια, στο αποκαλούμενο λουτρό, μπορεί να γίνει η φόρτιση και η τήξη νέων θραυσμάτων στον ίδιο κλίβανο από διαφορετικό κάδο. Μόλις ρευστοποιηθεί το θραύσμα της δεύτερης φόρτισης, πραγματοποιούνται διάφορες εργασίες διύλισης στις οποίες σκοπός είναι η διόρθωση της χημείας του χάλυβα και η υπερθέρμανση του τήγματος πάνω από τη θερμοκρασία ψύξης του, κατά την προετοιμασία της απόρριψης. Σκωρίες σχηματίζονται, περισσότερο οξυγόνο διοχετεύεται στο λουτρό ώστε να καούν οι διάφορες ακαθαρσίες και παράλληλα γίνεται η απομάκρυνση των οξειδίων τους από την σκωρία. Επειδή, οι παραπάνω ακαθαρσίες όπως το θείο, το πυρίτιο, το αργίλιο, το μαγγάνιο, το φώσφορο και το ασβέστιο έχουν μεγάλη συγγένεια για το οξυγόνο, πρώτα καίγονται και έπειτα γίνεται η απομάκρυνση του άνθρακα. Αντίθετα, τα μέταλλα όπως το νικέλιο και ο χαλκός τα οποία τυχαίνει να μην έχουν τόσο μεγάλη συγγένεια για το οξυγόνο από του σιδήρου, δύσκολα απομακρύνονται με την διαδικασία της οξειδωσης και για αυτό τον λόγο ελέγχονται συστηματικά μέσω της χημείας αποκομιδής. Η σκωρία που βρίσκεται σε όλη την επιφάνεια του τήγματος, αρκετές φορές ξεχειλίζει από τον κλίβανο και μέσω του στόμιου σκωρίας ρίχνεται σε ένα κατάλληλο φρεάτιο σκωρίας. Στην συνέχεια, πραγματοποιούνται διάφοροι έλεγχοι του οξυγόνου και του άνθρακα μέσω της θερμοκρασιακής και χημικής δειγματοληψίας. Με την βοήθεια ειδικών ανιχνευτών οι οποίοι βυθίζονται μέσα στο τήγμα χάλυβα γίνονται οι μετρήσεις των παραπάνω στοιχείων. Για την μέτρηση των υπολοίπων στοιχείων, αρκεί ένα δείγμα στερεοποιημένου χάλυβα, το οποίο με την χρήση ενός φασματόμετρου εκπομπής τόξου γίνονται οι περαιτέρω αναλύσεις.

Αφού γίνουν οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, ο κλίβανος γέρνει προς το στόμιο εξαγωγής και λόγω της κλίσης, ο ρευστός χάλυβας χύνεται σε ειδικό δοχείο ή κουτάλα προθέρμανσης όπου γίνονται διάφορες επεξεργασίες του. Σε καμίνους χάλυβα με απλή περιεκτικότητα άνθρακα, αν εντοπιστεί στο τήγμα σκωρία

τότε γίνεται η απομάκρυνση της, μέσω του στόμιου εξαγωγής πριν καν εγχυθεί στην κουτάλα. Σε καμίνους ιδιαίτερης παραγωγής χάλυβα, επιτρέπεται η έγχυση της σκωρίας μέσα στην κουτάλα, διότι είναι επιθυμητή η ανάκτηση κάποιων πολύτιμων συστατικών κράματος, μέσω περαιτέρω επεξεργασίας στον κλίβανο. Κατά την διαδικασία της έλκυσης, στον ρευστό χάλυβα γίνονται προσθήκες κραματικών συστατικών και στο πάνω μέρος της κουτάλας ρίχνονται μεγάλα ποσά ασβεστίου για την δημιουργία νέας σκωρίας στην επιφάνεια του τήγματος. Αρκετές φορές, αφήνονται υπολείμματα ρευστού χάλυβα και σκωρίας στον κλίβανο, τα οποία εξυπηρετούν στην εύκολη προθέρμανση και τήξη του νέου φορτίου θραυσμάτων. Αφού τελειώσει το άδειασμα του κλιβάνου από το τήγμα, ο κλίβανος περιστρέφεται. Γίνεται ο άμεσος καθαρισμός την στερεοποιημένης σκωρίας από την θύρα σκωρίας και γίνεται έλεγχος για: πιθανή επίδραση των πυρίμαχων υλικών, απρόσμενες διαρροές των υδρόψυκτων εξαρτημάτων, αλλοιώσεις των ηλεκτροδίων και αν χρειαστεί, επιμήκυνση τους και τέλος τοποθετείτε άμμος στο στόμιο εξαγωγής μετά την λήξη της έγχυσης. Κλίβανοι χωρητικότητας 90 τόνων, το χρονικό διάστημα που χρειάζονται για να επιτευχθεί η διαδικασία από την έναρξη λειτουργίας μέχρι την λήξη, υπολογίζεται κοντά στην 1 ώρα.



Εικόνα 2.9: Έγχυση ρευστού χάλυβα στην προθερμασμένη κουτάλα
[<http://slideplayer.gr/2616784/9/images/>]

Για την μεγαλύτερη προστασία και έλεγχο του κλιβάνου, είναι απαραίτητο ο τακτικός καθαρισμός του από το τήγμα χάλυβα και σκωρίας, ώστε να μπορούν να γίνουν οι αναγκαίες επισκευές του, αν χρειαστεί. Επίσης, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος σε ότι αφορά, πιθανές διαρροές των υδρόψυκτων συστημάτων, διότι στα πυρίμαχα υλικά, συνήθως το υλικό κατασκευής τους είναι από πυρωμένα ανθρακικά άλατα, τα οποία αν έρθουν σε επαφή με το νερό, αλλοιώνονται. Αυτό στην συνέχεια θα έχει σαν αποτέλεσμα, λόγω της φθοράς των πυρίμαχων υλικών, να προκαλούνται ρωγμές από τις οποίες θα είναι εύκολη η διείσδυση του ρευστού χάλυβα και της σκωρίας από το κέλυφος του κλιβάνου.

2.2.1.3 Πλεονεκτήματα. Η ηλεκτρική κάμινος τόξου, επιτρέπει την παραγωγή χάλυβα από ατόφιο παλαιοσίδηρο σαν βασική ύλη, κάτι που είναι αρκετά κερδοφόρο σε σύγκριση με το μέταλλευμα, λόγω την μικρής κατανάλωσης ενέργειας που χρειάζεται για να παραχθεί ο χάλυβας. Επίσης, η συγκεκριμένη κάμινος επιτρέπει την παύση και το ξεκίνημα της λειτουργίας της οποιαδήποτε στιγμή, εύκολα και γρήγορα, δίνοντας έτσι την δυνατότητα να διαφοροποιηθεί η παραγωγή ανά πάσα στιγμή, με βάση την ζήτηση. Χρησιμοποιώντας το παλαιοσίδηρο ως βασική πρώτη ύλη, σε περίπτωση διαθεσιμότητας ζεστού μετάλλου το οποίο παράγεται από τις υψικαμίνους ή άμεσα μειωμένου σιδήρου, όταν αυτά βρίσκονται σε χαμηλό κόστος, μπορούν να αντικαταστήσουν ως μέσο τροφοδοσίας της καμίνου, το παλαιοσίδηρο. Παρόλα αυτά, οι κάμινοι ηλεκτρικού τόξου καταναλώνουν τεράστια ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι, που κοστίζει πολλά για μία χαλυβουργική εγκατάσταση.

Τυπικοί ηλεκτρική κάμινοι τόξου είναι κατάλληλοι για την παραγωγή χάλυβα σε μικρούς μύλους, οι οποίοι λόγω του μεγέθους, τους μπορούν να εγκατασταθούν κοντά στις αγορές χαλυβουργικών προϊόντων. Η μικρή απόσταση μεταξύ του μύλου με την αγορά, ευνοεί το κόστος μεταφοράς σε πολύ μεγάλο βαθμό. Αντίθετα, μύλοι τεράστιου μεγέθους, πολύ συχνά τοποθετούνται σε μεγάλη απόσταση από την αγορά, συνήθως σε λιμάνια, με αποτέλεσμα το κόστος να ανεβαίνει κατά πολύ.

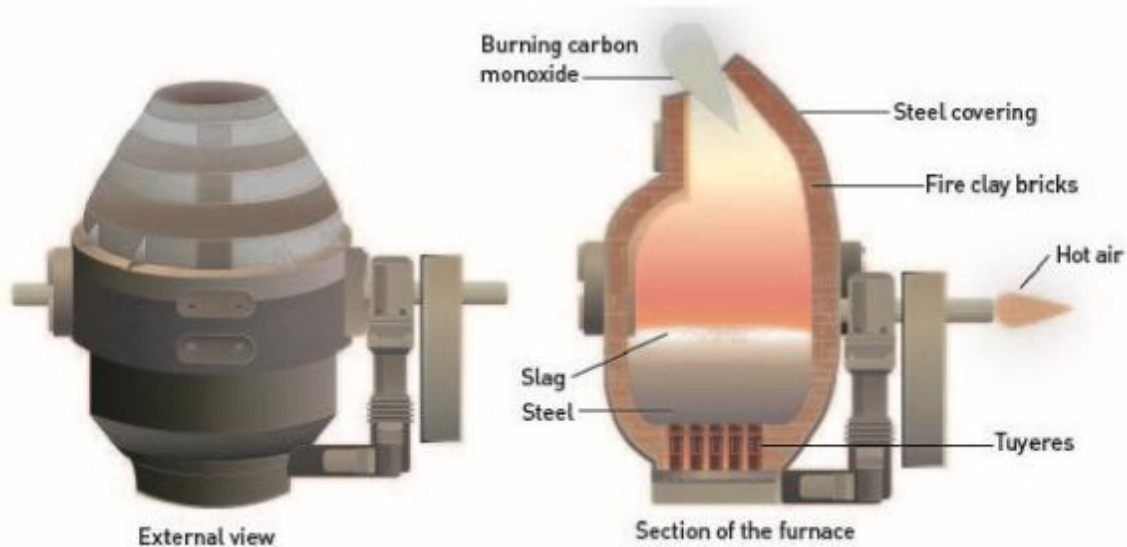
2.2.2 Μέθοδος Bessemer

2.2.2.1 Ιστορία. Η διαδικασία Bessemer, είναι μία μέθοδος παραγωγής χάλυβα από τηγμένο χυτοσίδηρο και είναι η πρώτη που χρησιμοποιήθηκε από την βιομηχανία χάλυβα. Στην διαδικασία αυτή, βασικός παράγοντας είναι η οξειδωση, η οποία πραγματοποιείται με την εισαγωγή αέρα στον τηγμένο χυτοσίδηρο και έχει ως σκοπό τον καθαρισμό του από τις διάφορες ακαθαρσίες. Ένα προνόμιο της οξειδωσης είναι ότι ο σίδηρος διατηρείται σε ρευστή κατάσταση, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας του, η οποία προκύπτει από την οξειδωση. Ο αέρας ως μέσο διεργασίας του χυτοσιδήρου, χρησιμοποιήθηκε αρκετά από τις χώρες της Ανατολικής Ασίας κοντά τον 11ο αιώνα, κυρίως από την τότε κινέζικη βιομηχανία χάλυβα και αργότερα από τους Ιάπωνες. Το 1856, ένας Άγγλος εφευρέτης με το όνομα Henry Bessemer από τον οποίο έλαβε το όνομα του η τωρινή μέθοδος, πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την ανακάλυψη του, παρόλο που υπήρχαν φήμες ότι η μέθοδος αυτή είχε πρώτο ανακαλυφθεί από έναν άλλον εφευρέτη, τον Αμερικάνο William Kelly για τον οποίο δεν υπήρχαν αρκετά στοιχεία για τον ισχυρισμό αυτό. Αργότερα, δύο άλλοι Άγγλοι εφευρέτες ο Percy Gilchrist μαζί με τον ξαδερφό του Sidney Gilchrist Thomas, με βάση την παραπάνω διαδικασία χρησιμοποίησαν επιπλέον μία πυρίμαχη επένδυση, γνωστή ως διαδικασία Gilchrist-thomas.



Εικόνα 2.10: Κάμινος Bessemer
[\[http://s0.geograph.org.uk/\]](http://s0.geograph.org.uk/)

2.2.2.2 *Οξειδωση.* Η εισαγωγή οξυγόνου στο τηγμένο χυτοσίδηρο με την διοχέτευση του αέρα, προκαλεί την οξειδωση του, επιτρέποντας την απομάκρυνση ακαθαρσιών και συγκεκριμένα των στοιχείων όπως το μαγγάνιο, το πυρίτιο και του άνθρακα με την μορφή οξειδίων. Η απομάκρυνση των οξειδίων επιτυγχάνεται, είτε με την μορφή αερίου, είτε με την μορφή σκωρίας. Όταν στην πρώτη ύλη υπάρχουν ελάχιστες ποσότητες φωσφόρου, τότε χρησιμοποιείται επένδυση από πηλό στον μετατροπέα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται, διαδικασία οξέος Bessemer. Αντίθετα, όταν υπάρχουν υψηλές ποσότητες φωσφόρου στην πρώτη ύλη, τότε χρησιμοποιούνται δολομίτης ή και μαγνησίτης, στην αλκαλική μέθοδο ασβεστόλιθου Bessemer. Αυτή, ονομάζεται διαδικασία Gilchrist-Thomas. Στην περίπτωση που επιθυμούμε χάλυβα με συγκεκριμένες ιδιότητες, μπορεί να γίνει η προσθήκη ενός κράματος σιδηρομαγγανίου (spiegeleisen) στο τήγμα χάλυβα, αφού πρώτα απομακρυνθούν οι διάφορες ακαθαρσίες.



Εικόνα 2.11: Τομή καμίνου Bessemer
[\[https://i0.wp.com/makezine.com/\]](https://i0.wp.com/makezine.com/)

2.2.2.3 Διαχείριση της διαδικασίας. Ο επιθυμητός χάλυβας αφού σχηματιστεί, χυτεύεται σε καλούπια με την χρήση κουταλών για να ξεκινήσει η περαιτέρω επεξεργασία του. Παράλληλα, η σχετικά ποιό ελαφριά σκωρία του τήγματος αφήνεται πίσω στον μετατροπέα. Η όλη διαδικασία μετατροπής του χάλυβα διαρκεί περίπου 20 λεπτά και αποκαλείται "Χτύπημα". Μόλις τελειώσει η μετατροπή του, στο τήγμα χάλυβα γίνεται η προσθήκη διαφόρων κραματικών υλικών, σε περιεκτικότητα πάντα με βάση τις προδιαγραφές που το επιθυμούμε. Ο μετατροπέας Bessemer, είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε να μπορεί να επεξεργάζεται μία παρτίδα θερμού μετάλλου την κάθε φορά, μάζας 5 έως και 30 τόνων.

2.2.3 Φούρνος ανοιχτής εστίας

2.2.3.1 Ιστορία. Ο χάλυβας σαν υλικό έχει υψηλό σημείο τήξης. Γι' αυτό τον λόγο είναι δύσκολο να κατασκευαστεί και απλά καύσιμα και κλίβανοι δεν μπορούν να υποστηρίξουν την συγκεκριμένη παραγωγή. Οι φούρνοι ανοιχτής εστίας (Open hearth furnaces) κατασκευάστηκαν για να ξεπεράσουν αυτήν την αδυναμία. Οι φούρνοι ανοιχτής εστίας είναι κλίβανοι, όπου κατά την διάρκεια παραγωγής του επιθυμητού χάλυβα, ο υπολειπόμενος άνθρακας μαζί με τις ακαθαρσίες καίγονται από τον χυτοσίδηρο. Επίσης, δεν πραγματοποιείται η έκθεση του χάλυβα σε υπερβολικό άζωτο, το οποίο θα μπορούσε να έχει άσχημες επιπτώσεις όπως την θραύση του χάλυβα, κάτι που συμβαίνει στην περίπτωση του φούρνου Bessemer. Λόγω αυτού το προτερήματος, οι φούρνοι ανοιχτής εστίας αντικατέστησαν τους φούρνους Bessemer, δίνοντας έτσι την δυνατότητα, του εύκολου ελέγχου της

διαδικασίας και της τήξης και του καθαρισμού μεγάλου όγκου θραυσμάτων σιδήρου και χάλυβα.

Ο φούρνος ανοιχτής εστίας αναπτύχθηκε από τον Γερμανό μηχανικό Carl Wilhelm Siemens και εφαρμόστηκε από τον Γάλλο μηχανικό Pierre-Émile Martin κοντά το 1865. Γι' αυτό τον λόγο, η διαδικασία έλαβε την ονομασία Siemens-Martin. Στις αρχές του 1990 οι φούρνοι ανοιχτής εστίας παύσανε να λειτουργούν και αντικαταστάθηκαν από τους κλίβανους οξυγόνου και τους φούρνους ηλεκτρικού τόξου.



Εικόνα 2.12: Φούρνος ανοιχτής εστίας
[<https://upload.wikimedia.org/>]

2.2.3.2 Διαδικασία. Η διαδικασία με την οποία λειτουργούν οι φούρνοι ανοιχτής εστίας είναι κυρίως με παρτίδες. Πριν καν φορτιστεί ο φούρνος με τα διάφορα θραύσματα, γίνεται έλεγχος για πιθανή δυσλειτουργία και ζημιά του κλιβάνου. Μετά τον έλεγχο, φορτίζεται με θραύσματα ελαφριού τύπου, όπως είναι για παράδειγμα τα απορρίμματα μετάλλων, οι λαμαρίνες κ.α.

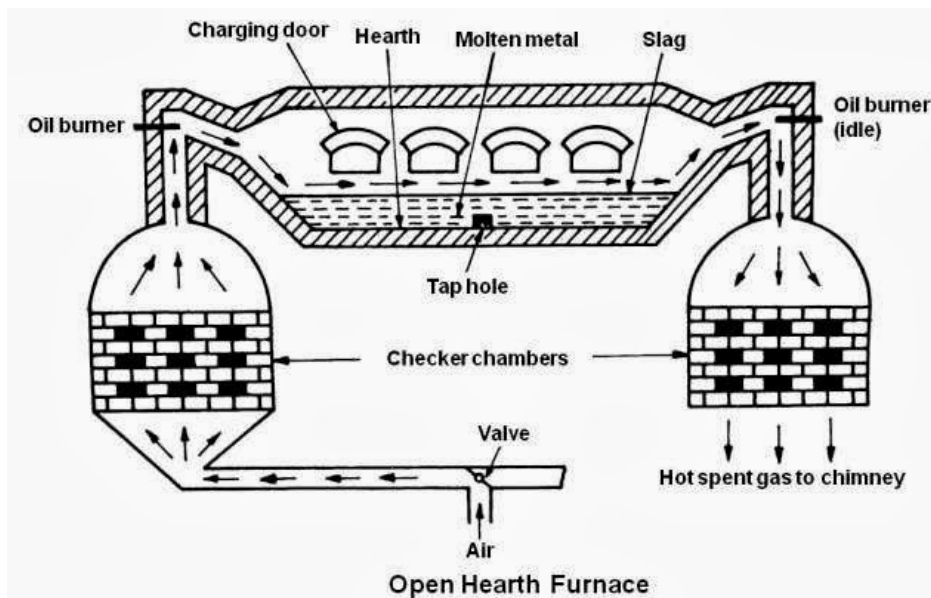
Για την θέρμανση του κλιβάνου χρησιμοποιείται αέριο καύσης. Αφού πραγματοποιηθεί η ρευστοποίηση των θραυσμάτων στον κλίβανο, φορτίζεται

επιπλέον με νέα απορρίμματα βαρέως τύπου, από μεγάλες εγκαταστάσεις, κτιρίων κ.λπ., παράλληλα, με χυτοσίδηρο που παράγεται από τις υψικαμίνους. Όταν ο χάλυβας είναι έτοιμος, γίνεται η προσθήκη ασβεστόλιθου για να σχηματιστεί σκωρία. Το οξυγόνο που βρίσκεται στο οξείδιο του σιδήρου μαζί με τις διάφορες ακαθαρσίες στο χάλυβα, βοηθούν ώστε ο άνθρακας που περισσεύει, να μετατραπεί σε χάλυβα. Σε περίπτωση που απαιτείται περισσότερο οξυγόνο στο τήγμα, προστίθενται σιδηρομετάλλευμα.

Η συγκεκριμένη διαδικασία, λόγω του αρκετού χρόνου που παίρνει για να πραγματοποιηθεί, μας δίνει την δυνατότητα να ελέγχουμε καλύτερα την ποιότητα του χάλυβα, κάτι που στην περίπτωση του μετατροπέα Bessemer δεν είναι εφικτό. Επίσης, μας εξυπηρετεί, ώστε να μην καίγεται ολόκληρος ο άνθρακας, αλλά και να τερματίζεται η διαδικασία οποιαδήποτε ώρα και στιγμή, με βάση τις προδιαγραφές που επιθυμητού χάλυβα. Η διάρκεια της όλης διαδικασίας είναι περίπου 8 με 10 ώρες.

Η έλκυση του ρεύστου χάλυβα στον κλίβανο, γίνεται μέσω μίας οδού στην πλευρά της εστίας, όπου ο ακατέργαστος χάλυβας χύνεται προς τα έξω. Με την πλήρη έλκυση του χάλυβα, γίνεται ο καθαρισμός του από την σκωρία και στην συνέχεια, είτε χυτεύεται σε πλινθώματα, είτε χρησιμοποιείται σε ελασματοουργεία για συνεχή χύτευση.

Στο κλίβανο υπάρχουν οι αναγεννητές, ειδικές καπνοδόχοι κατασκευασμένοι από πυρίμαχα τούβλα, όπου στο εσωτερικός τους περιέχουν περισσότερα τούβλα τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργούν πολλές οδούς, μικρής διατομής. Με αυτόν τον τρόπο, ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας η οποία παράγεται από τα εξερχόμενα απόβλητα, απορροφάται από τα τούβλα και έπειτα ξανά γυρίζει πίσω στα εισερχόμενα αέρια, χαμηλής θερμοκρασίας για καύση.

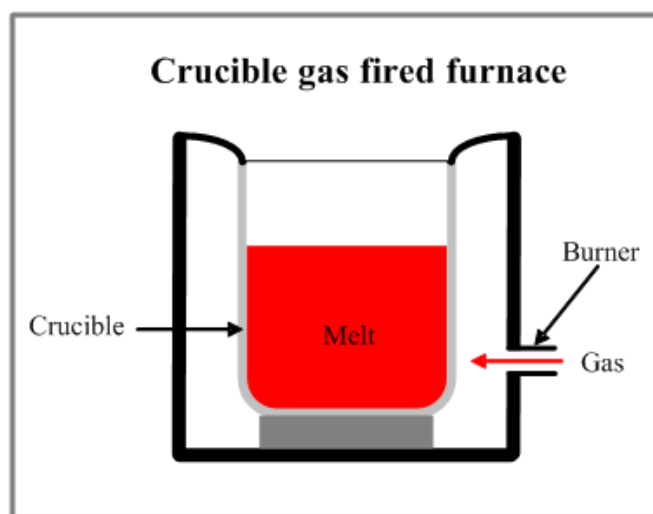


Εικόνα 2.13: Φούρνος ανοιχτής εστίας
[<http://4.bp.blogspot.com/>]

2.2.4 Χάλυβας χωνευτηρίου

2.2.4.1 Ιστορία. Ο χάλυβας χωνευτηρίου (Crucible steel) είναι ένας τύπος χάλυβα, ο οποίος παράγεται σε ειδικό χωνευτήριο με την τήξη του σιδήρου μαζί με διάφορα άλλα μεταλλεύματα. Ο χάλυβας χωνευτηρίου πρώτο εμφανίστηκε στην Νότια και Κεντρική Ασία, περίπου την μεσαιωνική εποχή. Τον 18ο αιώνα στην Αγγλία, ένας εφευρέτης με το όνομα Benjamin Huntsman, ασχολήθηκε με την παραγωγή υψηλής ποιότητας χάλυβα, μέσω εξειδικευμένων τεχνικών. Σε αυτή την διαδικασία, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χάλυβα χωνευτηρίου είναι ο σίδηρος και ο χάλυβας, αντί για τον χυτοσίδηρο. Ο συγκεκριμένος τύπος χάλυβα, τυχάνει να έχει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, όπως μεγαλύτερη αντοχή και σκληρότητα σε σύγκριση με τους προαναφερόμενους χάλυβες.

2.2.4.2 Παραγωγή. Ο Benjamin Huntsman εργαζόταν ως ωρολογοποιός και πειραματιζόταν πάνω στην εύρεση ενός καλύτερου σε ποιότητα χάλυβα για τα ρολόγια του. Το 1740, ξεκίνησε να παράγει χάλυβα με φούρνο καύσης, το οποίο χρησιμοποιούσε ως καύσιμο οπτάνθρακα. Η ανώτερη θερμοκρασία καύσης έφτανε τους 1.600 °C. Η χωρητικότητα του φούρνου ήταν αρκετή ώστε να χωρέσει δώδεκα πήλινα δοχεία, τα οποία μπορούσαν να συγκρατήσουν μέχρι 15 kg σιδήρου το κάθε ένα. Την περίοδο που τα δοχεία ήταν κατασκευασμένα σαν λευκό πυρακτωμένα, θραύσματα χάλυβα, σιδήρου και άνθρακα τοποθετούνταν σε αυτά. Τα παραπάνω θραύσματα παράγονταν με την διαδικασία της τιμεντοποίησης, στην οποία γινόταν παράλληλα ο καθαρισμός των υλικών από τις ακαθαρσίες. Τα δοχεία, αφού είχαν τοποθετηθεί στον φούρνο, χρειαζόταν να παραμείνουν εκεί για περίπου 3 ώρες και έπειτα απομακρύνονταν και η σκωρία μαζί με τον τήγμα χάλυβα κατέληγαν σε καλούπια για την παραγωγή χυτών πλινθωμάτων. Ο πλήρης τηγμένος χάλυβας, κατά την διάρκεια της ψύξης του, παρήγαγε ένα εξαιρετικό υλικό με μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στον εφελκυσμό.



Εικόνα 2.14: Λειτουργία Φούρνου χωνευτηρίου
<http://www.substech.com/>



Εικόνα 2.15: Φούρνος χωνευτηρίου
[<https://ronreil.abana.org/>]



Εικόνα 2.16: Διαδικασία τήξης σιδήρου
[<https://cdn.pixabay.com/>]

Ο Benjamin Huntsman κατοικούσε σε μία πόλη με το όνομα Sheffield. Στο Sheffield, οι εγκαταστάσεις παραγωγής χάλυβα έφταναν ετησίως την παραγωγή των 200 τόνων περίπου. Έπειτα, χρησιμοποιώντας την διαδικασία Huntsman, μετά από 100 χρόνια περίπου, η ετήσια παραγωγή είχε φτάσει κοντά στους 80.000 τόνους. Με

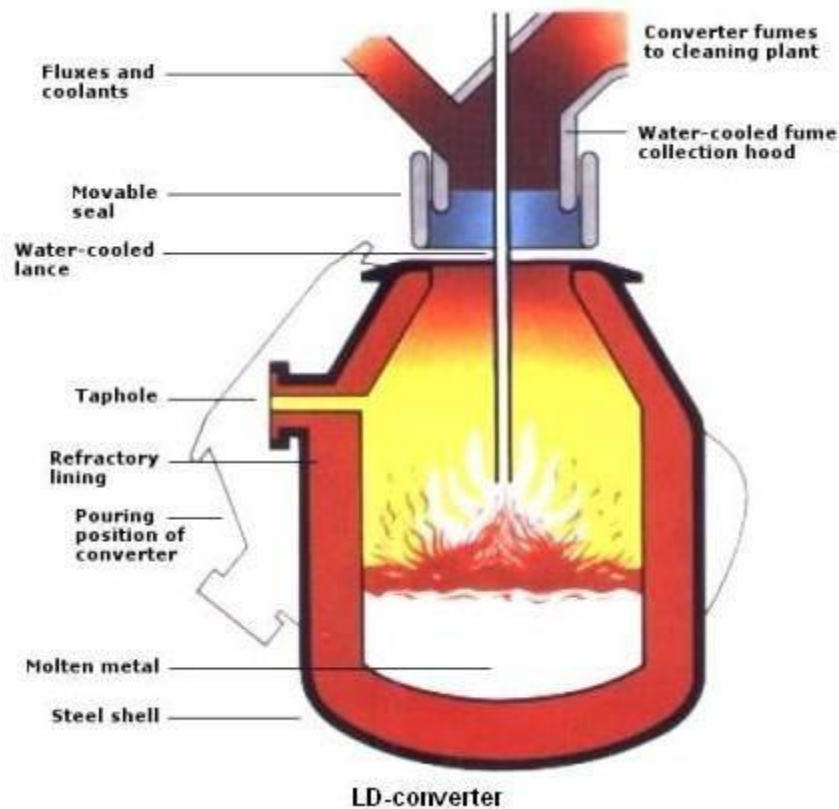
αυτόν τον τρόπο, το Sheffield εξελίχθηκε σε μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές πόλεις, με παραγωγή χάλυβα που κάλυπτε ετησίως την μισή παραγωγή ολόκληρης της Ευρώπης.

Η παραγωγή χάλυβα γινόταν σε εξειδικευμένα εργαστήρια, τα οποία βρίσκονταν σε κτίρια διαφόρων μεγεθών, όπου στα τέλη του 19ου αιώνα, το μέγεθος των κτιρίων αυξήθηκε λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων. Τα εργαστήρια χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο θέρμανσης το αέριο, το οποίο ευνοούσε την καύση πολλών δοχείων παράλληλα, με μεγάλη ευκολία. Επίσης, το κάθε εργαστήριο αποτελούνταν από ένα εξειδικευμένο εξοπλισμό, ελέγχου, αποθήκευσης, ζύγισης και φούρνων ανόπτησης για την προετοιμασία των δοχείων πριν την εισαγωγή τους στο κλίβανο. Με την πρόοδο αυτή, ο χάλυβας αντί να χρησιμοποιείται μόνο για την παραγωγή ελατηρίων ρολογιού, χρησιμοποιήθηκε και σε άλλες εφαρμογές με βάση τις ανάγκες εκείνης της εποχής.

2.2.5 Παραγωγή χάλυβα με χρήση οξυγόνου

2.2.5.1 Ιστορία. Η βασική παραγωγή χάλυβα με οξυγόνο (Basic oxygen steel-making), είναι μία διαδικασία παραγωγής χάλυβα από τηγμένο χυτοσίδηρο. Η αναρρόφηση οξυγόνου που συμβαίνει στον τηγμένο χυτοσίδηρο, επιδρά στην περιεκτικότητα άνθρακα του κράματος, μειώνοντας την, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό χάλυβα χαμηλού άνθρακα. Για την προστασία της επένδυσης του κλιβάνου και την απομάκρυνση ακαθαρσιών, χρησιμοποιούνται ποσότητες καμένου ασβέστη ή δολομίτη τα οποία ανήκουν στις χημικές βάσεις. Γι' αυτό τον λόγο η διαδικασία αναφέρετε σαν βασική.

Το 1948 περίπου, ένας Ελβετός μηχανικός ο Robert Durrer ανακάλυψε αυτήν την μέθοδο ή οποία αργότερα χρησιμοποιήθηκε από την αυστριακή εταιρεία χάλυβα με το όνομα VOEST και ÖAMG. Ύστερα, ένας νέος κλίβανος, παρεμφερής του κλιβάνου Bessemer, ο LD, ο οποίος έλαβε το όνομα του από δύο πόλεις της κεντρικής Αυστραλίας τις Linz και Donawitz, εφάρμοσε την διόγκωση του οξυγόνου αντί της έκρηξης του αέρα όπως συμβαίνει στην περίπτωση Bessemer. Αυτή η διαδικασία ευνόησε την αύξηση της παραγωγής, την μείωση του κόστους, την μείωση της διάρκειας της τήξης και των απαιτήσεων εργασίας σε μεγάλο βαθμό. Η κάμιнос οξυγόνου χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα, με ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα που αγγίζει το 60 % να προέρχεται από αυτήν. Σε αντίθεση με τους κλιβανούς ανοιχτής εστίας που είναι χρονοβόροι, οι σύγχρονοι κλιβανοί πραγματοποιούν την μετατροπή χάλυβα σε μόλις 35 με 40 λεπτά, κάτι που αποφέρει μεγάλη διευκόλυνση και παραγωγικότητα.



Εικόνα 2.17: Μετατροπείας LD
[\[http://www.alpmuhendislik.net/\]](http://www.alpmuhendislik.net/)

2.2.5.2 Διαδικασία. Ο χάλυβας κατασκευάζεται από τηγμένο χυτοσίδηρο, με εμφύσηση οξυγόνου μέσω λάσπης που επικάθεται πάνω στον τηγμένο χυτοσίδηρο, επιτρέποντας έτσι την οξείδωση μέσα στο κλίβανο. Κατά την διάρκεια της εμφύσησης, λόγω των διαφόρων αντιδράσεων οξείδωσης που προκύπτουν, παράγονται ποσά θερμότητας.

Η παραγωγή χάλυβα με οξυγόνο, γίνεται αρχικά με την ρίψη του τηγμένου χυτοσιδήρου από την υψικάμινο, σε δοχείο (κάδο). Στο πάνω μέρος του δοχείου, λίγο ποιά πάνω από το λουτρό όπου βρίσκεται ο τηγμένος χυτοσίδηρος, αιωρείται μία υδατόψυχόμενη λόγχη με σκοπό την εισαγωγή υψηλής ταχύτητας οξυγόνου, πίεσεως που υπολογίζεται περίπου στα 750 με 950 kPa. Πριν την εισαγωγή του τήγματος στον κλίβανο, πραγματοποιείται μία προεπεξεργασία για την μείωση της περιεκτικότητας του σε θείο, πυρίτιο και φώσφορο. Μία λόγχη χαμηλώνει στο λουτρό με σκοπό την αποθείωση του τήγματος και στην συνέχεια γίνεται η προσθήκη εκατοντάδων κιλών μαγνησίου σε μορφή σκόνης, με συνέπεια την μετατροπή των ακαθαρσιών θείου, σε θειούχο μαγνήσιο. Παρόμοιες επεξεργασίες εφαρμόζονται για την αποπυριτιοποίηση και τον αποφωσφορισμό του τήγματος με την χρήση οξειδίου του σιδήρου και ασβέστη σε ρευστή μορφή.

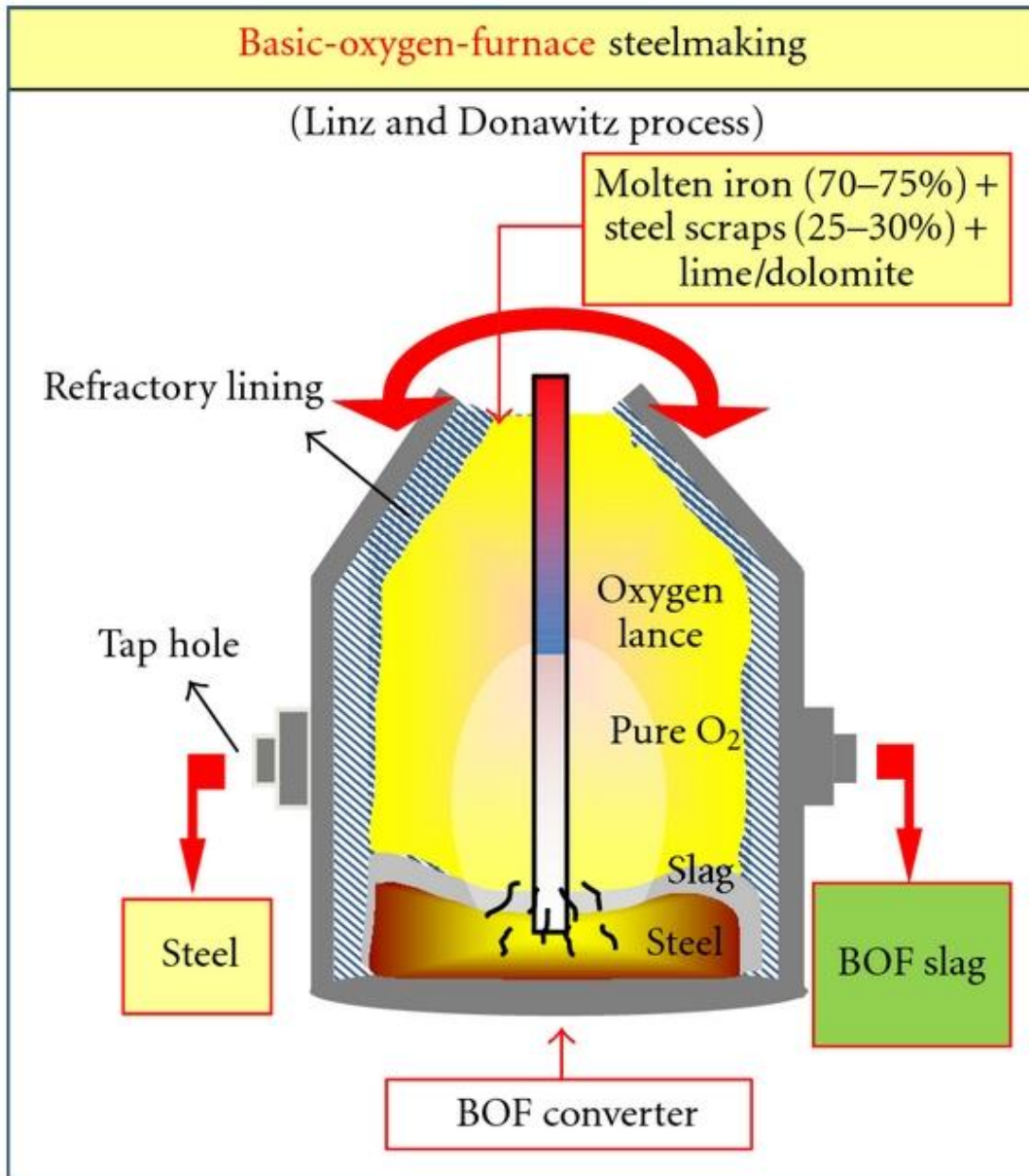
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατά την διάρκεια της διαδικασίας της οξείδωσης παράγεται θερμότητα. Γι' αυτό τον λόγο η διαδικασία παραγωγής χάλυβα με οξυγόνο ανήκει στην κατηγορία των αυτογενών, διότι η απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την τήξη του θραύσματος, παράγεται απευθείας από την οξείδωση. Τα

δοχεία που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία αυτή, έχουν την δυνατότητα ανασήκωσης έως 360° και της στροφής τους προς την πλευρά όπου γίνεται η φόρτωση με θραύσματα χάλυβα και τηγμένου χυτοσιδήρου. Το δοχείο μπορεί να φορτιστεί με θραύσματα μέχρι και 30 % της χωρητικότητας του.

Το δοχείο αφού φορτωθεί, κατευθύνεται κάτω από μία λόγχη, η οποία αποτελείται περίπου από 5 ακροφύσια με σκοπό τον ψεκασμό υψηλής πίεσης του τήγματος με οξυγόνο. Κατά την διάρκεια του ψεκασμού, η θερμοκρασία του κλιβάνου ανεβαίνει φτάνοντας τους 1600 °C και παραπάνω. Αυτό συμβαίνει, λόγω του σχηματισμού του μονοξειδίου και του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν, από την ανάφλεξη του διαλυμένου άνθρακα στο θραύσμα, αντιδρώντας με το οξυγόνο. Έπειτα, τα θραύσματα τήκονται και ταυτόχρονα γίνεται η μείωση του άνθρακα στο τήγμα και ο καθαρισμός του, από τις άχρηστες χημικές ουσίες.

Κατά την διαδικασία παραγωγής χάλυβα, το τήγμα τροφοδοτείται με ασβέστη ή δολομίτη σε ρευστή κατάσταση για να προκληθεί ο σχηματισμός σκωρίας, ώστε να απορροφηθούν οι ανεπιθύμητες ουσίες. Η διαδικασία της εμφύσησης οξυγόνου διαρκεί περίπου 18 με 20 λεπτά, όπου η οξείδωση των θραυσμάτων μαζί με τα διάφορα ρευστά συστατικά στο τήγμα δημιουργούν ένα είδος γαλάκτωμα. Το γαλάκτωμα αυτό ευνοεί την διαδικασία εξευγενισμού που έχει άμεση σχέση με τον καθαρισμό του χάλυβα, από τις άχρηστες προσμίξεις.

Στην συνέχεια, το δοχείο στρέφεται προς την πλευρά απομάκρυνσης της σκωρίας, όπου μέσω μίας οδού χύνεται σε άλλο κλίβανο δοχείο-κουτάλα για περισσότερο εξευγενισμό του μετάλλου. Παράλληλα, πραγματοποιείται και η απομάκρυνση της σκωρίας σε ειδικά δοχεία σκωρίας, η οποία απορρίπτεται. Υλικά κραματοποίησης προσθέτονται στο τήγμα για την απόκτηση περαιτέρω ιδιοτήτων, πάντα με βάση τις προδιαγραφές του τελικού επιθυμητού προϊόντος.



Εικόνα 2.18: Διάγραμμα λειτουργίας φούρνου με χρήση οξυγόνου
[\[https://www.researchgate.net/profile/\]](https://www.researchgate.net/profile/)

2.3 ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ II

2.3.1 Κάμινος κάδος-κουτάλα

2.2.3.1 Γενικά. Ο κάδος-κουτάλα (Ladle furnace) είναι ένα δοχείο το οποίο χρησιμεύει στην μεταφορά και στην έγχυση ρευστού μετάλλου, κυρίως σε εγκαταστάσεις

χυτηρίων. Το μέγεθος του κάδου εξαρτάται πάντα με βάση τις ανάγκες των εγκαταστάσεων παραγωγής χάλυβα. Στο εμπόριο το μέγεθος των κάδων κυμαίνεται από 20 κιλά μέχρι 300 τόνων χωρητικότητας και ίσως λίγο παραπάνω.



Εικόνα 2.19: Φούρνος LD
[\[http://www.angarakresources.com/\]](http://www.angarakresources.com/)

2.3.1.2 Τύποι κάδων. Οι κάδοι-κουτάλες είναι σχεδιασμένοι για χρήση μεγάλης γκάμας εργασιών και για αυτό υπάρχουν αρκετές παραλλαγές των κάδων αυτών. Οι κάδοι διακρίνονται σε:

1. Κάδους χύτευσης. Σκοπός τους είναι η έγχυση ρευστού μετάλλου σε καλούπια για την παραγωγή χυτού.
2. Κάδους μεταφοράς. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την μεταφορά τηγμένου μετάλλου από έναν κλίβανο σε έναν άλλον.
3. Κάδους επεξεργασίας. Όταν απαιτείται η μετατροπή του τηγμένου μετάλλου σε άλλη παραλλαγή του (π.χ. χυτοσίδηρος σε γκρίζο χυτοσίδηρο) γίνεται η προσθήκη περαιτέρω χημικών στοιχείων μέσα στον κάδο αυτό.

Οι κάδοι είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλη πυρίμαχη επένδυση για προστασία του χαλύβδινου δοχείου από την μεταφορά τηγμένων μετάλλων σε υψηλές θερμοκρασίες. Όταν το τηγμένο μέταλλο έρθει σε επαφή με το κέλυφος του κάδου, το τηγμένο μέταλλο θα λιώσει άμεσα χωρίς να δημιουργήσει καμία επιζήμια επίπτωση στο χαλύβδινο δοχείο. Τα πυρίμαχα υλικά επένδυσης, διακρίνονται σε διάφορες μορφές, όπως: πυρίμαχα σκυροδέματα (πλέον δεν χρησιμοποιούνται), πυρίμαχα

τούβλα κ.α. και επιλέγονται με βάση τις απαιτούμενες ανάγκες εργασίας του κάθε χυτηρίου.

Βασικά, οι κάδοι που χρησιμοποιούνται σε χυτήρια, διακρίνονται κυρίως από την ικανότητα εργασίας τους και όχι από το μέγεθος και την χωρητικότητά τους. Οι ποιοί γνωστοί κάδοι είναι οι χειροκίνητοι κάδοι οι οποίοι αναφέρονται και ως λαβές χειρός, λόγω της μεγάλης λαβής που είναι τοποθετημένη σε αυτούς. Η λαβή αυτή εξυπηρετεί στην προστασία του ατόμου, από την μεγάλη θερμότητα που εκπέμπει το τήγμα μετάλλου. Σε κάδους μεγάλου όγκου, η χωρητικότητά τους εξαρτάται κυρίως από την λειτουργία σχεδιασμού των κάδων. Οι κάδοι αυτοί αποκαλούνται και ως κάδοι γερανών, λόγω του μεγάλου μεγέθους τους. Χειροκίνητοι κάδοι μικρού μεγέθους, χρησιμοποιούνται και σαν χωνευτήρια αποτελούμενοι από μηχανισμούς μεταφοράς. Στο μεγαλύτερο εύρος των εγκαταστάσεων χυτηρίων, τα χαλύβδινα δοχεία που είναι εξοπλισμένα με σύστημα ανύψωσης για την δυνατότητα της μεταφοράς τους με εναέριο γερανό ή με μονοαξονικό σύστημα, αναφέρονται και ως χοάνες χυτηρίου. Επιπλέον, αποτελούνται και από ένα μηχανισμό περιστροφής των δοχείων, παρόμοιο με ένα κιβώτιο ταχυτήτων (χειροκίνητο ή αυτόματο) για την ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής τους. Στις χαλυβουργικές εγκαταστάσεις, οι κάδοι μεγάλου μεγέθους μπορούν να μεταφερθούν με την βοήθεια τροχών, οχημάτων και εναέριων γερανών.

Οι κάδοι, συνήθως έχουν την μορφή ενός κάθετου κώνου. Το σχήμα τους εξυπηρετεί στην πρόσθεση περαιτέρω δύναμης και ακαμψίας στο κέλυφος του κάδου. Ένα άλλο προνόμιο των κάδων αυτών, είναι η εύκολη απομάκρυνση της πυρίμαχης επένδυση τους. Άλλα σχήματα των κάδων, είναι και με την μορφή τυμπάνου. Οι κάδοι τύμπανα έχουν το σχήμα ενός οριζόντιου κυλίνδρου το οποίο βρίσκεται στον αέρα και συγκρατείται μεταξύ δύο φορέων. Κάδοι μεγαλύτερης χωρητικότητας που ξεπερνούν τους 100 τόνους, αποκαλούνται και ως κάδοι τορπίλες, λόγω του σχήματός τους. Στις χαλυβουργικές εγκαταστάσεις, οι κάδοι αυτοί χρησιμοποιούνται για την μεταφορά τηγμένου μετάλλου από τις υψικαμίνους σε άλλα τμήματα. Σε μερικούς κάδους διαφορετικού σχήματος, υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς τους μέσω σιδηροδρόμων, αλλά και απλών δρόμων με την βοήθεια κατάλληλων μεταφορικών μέσων.

2.3.2 Τεχνολογία απαέρωσης κενού RH

2.3.2.1 Γενικά. Η τεχνολογία απαέρωση κενού (RH vacuum degassing) είναι διαδικασία δευτερογενής παραγωγής χάλυβα. Αρχικά, η απαέρωση κενού εφαρμόστηκε κυρίως για τον καθαρισμό του τηγμένου χάλυβα από το στοιχείο του υδρογόνου, αλλά αργότερα εφαρμόστηκε και για τον δευτερογενή καθαρισμό του χάλυβα, σε σημαντικό βαθμό. Παρόλο, που υπάρχουν περισσότερες κατασκευές απαέρωσης κενού, οι απαερωτές κενού RH είναι ποιοί γνωστοί και χρησιμοποιούνται σε αρκετές εγκαταστάσεις δευτερογενή παραγωγής. Η βασική λειτουργία αυτής της διαδικασίας για την επεξεργασία του τήγματος, έχει σχέση με τις αντιδράσεις που είναι άμεσα εξαρτημένες από την πίεση μέσα στον απαερωτή RH. Η διαδικασία αυτή εφευρέθηκε για πρώτη φορά, περίπου το 1950 από τις Γερμανικές εταιρίες Ruhrstahl AG και W.C. Heraeus, όπου στην σύγχρονη εποχή έχει γίνει μία σημαντική διαδικασία δευτερογενής παραγωγής χάλυβα, για τις χαλυβουργικές εγκαταστάσεις.

Στην διαδικασία RH, ο χρόνος έλκυσης του ρευστού χάλυβα είναι πολύ μικρός και χωρητικότητά του απαερωτή φτάνει μέχρι και τους 400 τόνους περίπου, κάνοντας

έτσι την διαδικασία αυτή, κατάλληλη για τα περισσότερα χαλυβουργεία στον κόσμο. Ο χάλυβας που παράγεται, ικανοποιεί τις προδιαγραφές της κατηγορίας των υψηλών ποιοτήτων χαλύβων. Για να παραχθεί ένας τέτοιος χάλυβας, θα πρέπει σε ένα θάλαμο κενού, ο ρευστός χάλυβας να κυκλοφορεί μέσα σε αυτό ώσπου με μία μείωση της πίεσης, να πραγματοποιηθεί η αποσύνθεση του στο ελάχιστο μέρος του. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του, τόσο ποιό καλή θα είναι η απαέρωση του. Στην διαδικασία αυτή, είναι απαραίτητο ο εξοπλισμός κατάλληλων απαερωτών κενού για την δυνατή απορρόφηση υψηλών ποσοτήτων ρευστού χάλυβα, σε συνθήκες με υψηλές θερμοκρασίες και αρκετών ποσοτήτων σκόνης.

2.3.2.1 Διαδικασία. Στην διαδικασία αυτή, χρησιμοποιείται ένα δοχείο αντίδρασης κυλινδρικού μεγέθους, με πυρίμαχη επένδυση τούβλων στο πάνω μέρος του και αλουμινίου στο κάτω μέρος του, όπου επίσης στο κάτω μέρος του, στον πυθμένα, είναι συνδεδεμένο ένα ζευγάρι σωλήνων, συνήθως από χαλύβδινο υλικό. Ο ρόλος των χαλύβδινων σωλήνων, είναι να λειτουργούν σαν αναπνευστήρες εισαγωγής και εξαγωγής του ρευστού χάλυβα στο δοχείο. Είναι πυρίμαχα επενδυμένοι με αλουμίνιο στην εσωτερική τους επιφάνεια και στην εξωτερική επιφάνεια μόνο στο κάτω μέρος τους. Ο σωλήνας εισαγωγής αποτελείται από σωλήνες έγχυσης αερίων στο κάτω μέρος του και περιμετρικά του. Στο δοχείο αυτό, γίνεται η ανύψωση του ρευστού χάλυβα διαμέσου του σωλήνα εισαγωγής και στην συνέχεια ρίχνεται σε χαλύβδινο κάδο, αφού πρώτα έχει γίνει απαέρωση του, μέσω του σωλήνα εξαγωγής. Επιπλέον, το δοχείο αποτελείται από έναν αγωγό απομάκρυνσης (εξάτμιση) στο πάνω τμήμα του και παράθυρα για τον οπτικό έλεγχο της αντίδρασης και υποδοχή για την προσθήκη κράματος.

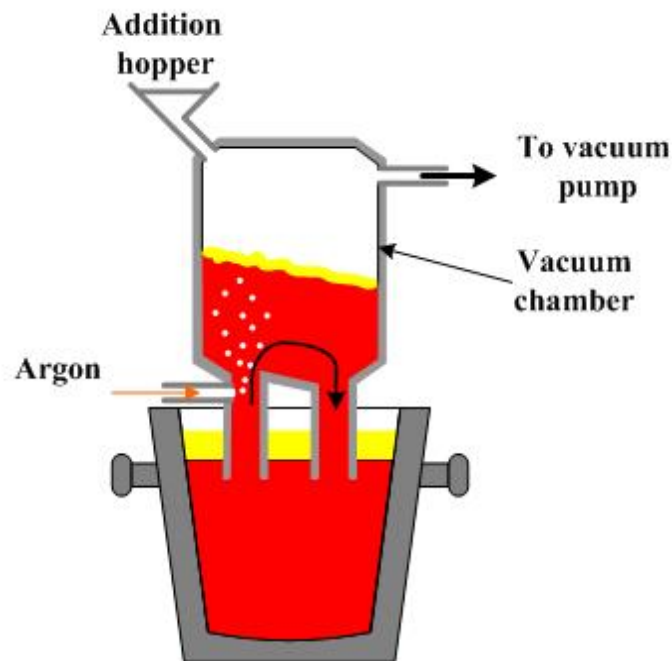
Για να ξεκινήσει η διαδικασία της απαέρωσης θα πρέπει αρχικά στο ρευστό χάλυβα να βυθιστούν οι δύο σωλήνες, εισαγωγής και εξαγωγής. Μόλις οι σωλήνες προσεγγίσουν αρκετά το ρευστό μέταλλο, πριν καν βυθιστούν σε αυτό από τον σωλήνα εισαγωγής, γίνεται η έγχυση αδρανούς αερίου, κυρίως αργού. Το αργό, είναι ένα στοιχείο το οποίο λειτουργεί σαν αέριο ανύψωση, το οποίο βοηθάει στην αύξηση της ταχύτητας του ρευστού χάλυβα στον σωλήνα εισαγωγής. Όταν ο σωλήνας βυθιστεί αρκετά, γίνεται η εκκένωση του δοχείου αντίδρασης με την χρήση κατάλληλου συστήματος αντλίας κενού, το οποίο μέσω της εξάτμισης συνδέεται με το δοχείο.

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας, η ταχύτητα όπου πραγματοποιούνται οι μεταλλουργικές αντιδράσεις, εξαρτάται από τον ρυθμό επανακυκλοφορίας του ρευστού χάλυβα, μεταξύ του δοχείου RH και του κάδου. Η διάμετρος του σωλήνα και ο αριθμός των σωλήνων ανύψωσης όπου αποτελείται, μαζί με το μέγεθος του εξοπλισμού, παίζουν σημαντικό ρόλο στην κυκλοφορία του ρευστού χάλυβα.



Εικόνα 2.20: Απαερωτής RH
[<https://www.eng.nssmc.com/>]

Recirculation degassing unit (RH)



Εικόνα 2.21: Λειτουργία απαέρωσης και διύλιση RH
[<http://www.substech.com/>]

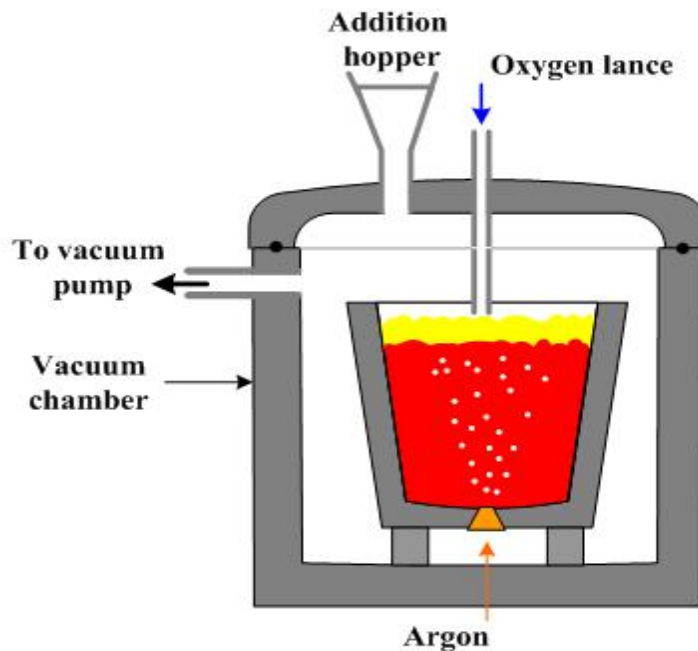
2.3.3 Απανθράκωση με οξυγόνο κενού

2.3.3.1 *Γενικά.* Η απανθράκωση με οξυγόνο κενού (Vacuum oxygen decarburization) είναι διαδικασία παραγωγής ανοξειδωτού χάλυβα, μικρής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Επίσης, είναι εφικτό η παραγωγή χαλύβων και κραμάτων, με υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο, με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και με υψηλή ανάκτηση χρωμίου, χρησιμοποιώντας μικρή κατανάλωση του χημικού στοιχείου αργού, σε ποσότητα περίπου του ενός τόνου. Με τον σχηματισμό του μονοξειδίου του άνθρακα, από το οξυγόνο και τον άνθρακα που υπάρχουν κατά την διαδικασία, επιτυγχάνεται η απομάκρυνση αυτών των δύο. Μαζί με τα δύο παραπάνω, επιτυγχάνεται και η απομάκρυνση του μολύβδου, του υδρογόνου και του ψευδαργύρου. Μέσω της καθίζησης της παραγόμενης σκωρίας, γίνεται η μείωση του θείου στο μέταλλο. Το ρευστό μέταλλο της διαδικασίας, συνήθως εξάγεται με περίσσεια σκωρία, η οποία επιτρέπει την προσθήκη διαφόρων συστατικών κραματοποίησης και ψυκτικών μέσων στο τήγμα, εξαλείφοντας με αυτόν τον τρόπο την δυνατότητα της ανάκτησης αερίου και την εξάλειψη των εγκλεισμάτων.



Εικόνα 2.22: Φούρνος VOD
[<http://www.hc-furnace.com/>]

Vacuum Oxygen Decarburization (VOD)

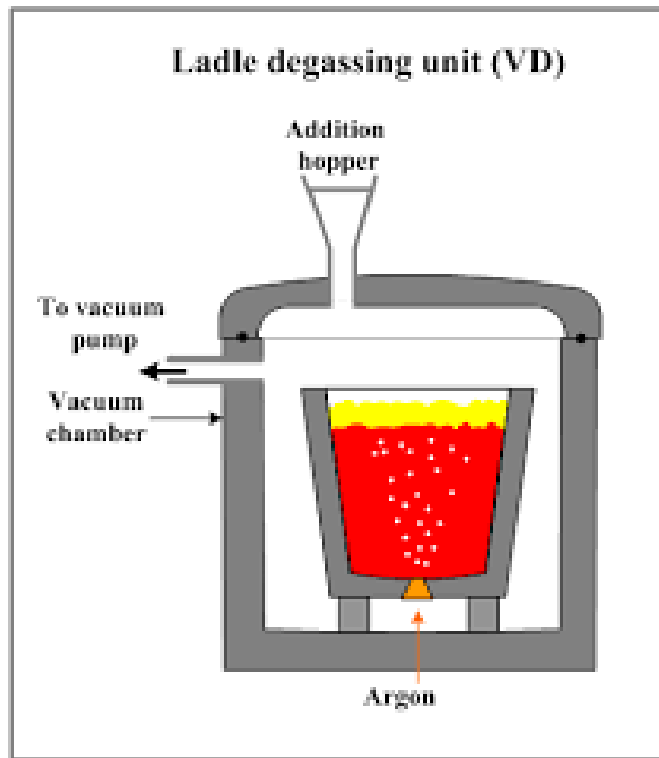


Εικόνα 2.23: Λειτουργία απανθράκωσης οξυγόνου κενού

[<http://www.substech.com/>]

2.3.3.2 *Απαέρωση κενού.* Για ανοξειδωτους και κραματωμένους χάλυβες, στην απαέρωση κενού, με την μείωση ολόκληρης της πίεσεως στο σύστημα με κενό 1 με 2 Mbar, η μερική πίεση του μονοξειδίου του άνθρακα μειώνεται και αυτή επίσης. Η αέρια φάση, επιδρά στην διαδικασία και στις αντιδράσεις κατά την διάρκεια της απαέρωσης κενού του ρευστού μετάλλου, η οποία σχηματίζεται από την αντίδραση της οξειδωσης του άνθρακα με το μονοξείδιο του άνθρακα, από το διαλυμένο υδρογόνο και άζωτο που υπάρχει στο μέταλλο, αλλά και από την εξάτμιση των ακαθαρσιών, κυρίως των μη σιδηρούχων μετάλλων. Στην διαδικασία αυτή, είναι απαραίτητο η απομάκρυνση του υδρογόνου στο ρευστό μέταλλο. Για αυτό τον λόγο, χρησιμοποιείται υδρογόνο αντί για άζωτο, το οποίο έχει μεγαλύτερη κινητικότητα στο ρευστό μέταλλο.

Στην απαέρωση κενού, το αδρανές αέριο (π.χ. ευγενή αέρια, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα, κάτω από ειδικές συνθήκες) παίζει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη του εύκολου χειρισμού της διαδικασίας, με την χρήση κάδων που χρησιμοποιούν ως μέσο έκπλυσης και ανάδευσης το αδρανές αέριο. Με την χρήση σκωρίας και αδρανούς μετάλλου, επιτυγχάνονται διάφορες αντιδράσεις στο τήγμα μετάλλου. Ανάμεσα στην επιφάνεια του ρευστού μετάλλου, της σκωρίας και του κενού, δημιουργούνται τεράστιες επιφανειακές αντιδράσεις, εξαιτίας του στροβιλισμού από την έκπλυση με το αδρανές αέριο. Οι παραπάνω αντιδράσεις ευνοούν την καλύτερη εξάλειψη των εγκλεισμάτων και την απομάκρυνση του υδρογόνου, του οξυγόνου και του άνθρακα, από το μέταλλο.



Εικόνα 2.24: Λειτουργία απαέρωση κενού
[<http://www.altaspecialsteel.com/>]

2.3.4 Απανθράκωση με οξυγόνο αργό

2.3.4.1 *Γενικά.* Στην περίπτωση της απανθράκωσης με οξυγόνο αργό (Argon oxygen decarburization), αναφερόμαστε σε μία διαδικασία ανώτερης επεξεργασίας για την παραγωγή βελτιωμένων μετάλλων, απλών ή κραματωμένων, με βασικό συστατικό το κοβάλτιο. Στην διαδικασία αυτή, είναι δυνατόν η παραγωγή μετάλλων με ενισχυμένες ιδιότητες από φθηνά υλικά, τα οποία τοποθετούνται στο δοχείο της απανθράκωσης μαζί με το ρευστό μέταλλο, το οποίο αρχικά βρισκόταν σε κατάλληλο φούρνο τήξης θραυσμάτων. Παράλληλα, επιτυγχάνεται ο καθαρισμός του τήγματος από τα διαλυμένα αέρια μαζί με τον άνθρακα και το θείο και σχεδόν η πλήρης ανάκτηση των μεταλλικών στοιχείων του επεξεργαζόμενου φορτίου. Οι παραπάνω δυνατότητες, μπορούν να προσφερθούν αποκλειστικά από την διαδικασία της απανθράκωσης με οξυγόνο αργό, σε ένα χυτήριο.

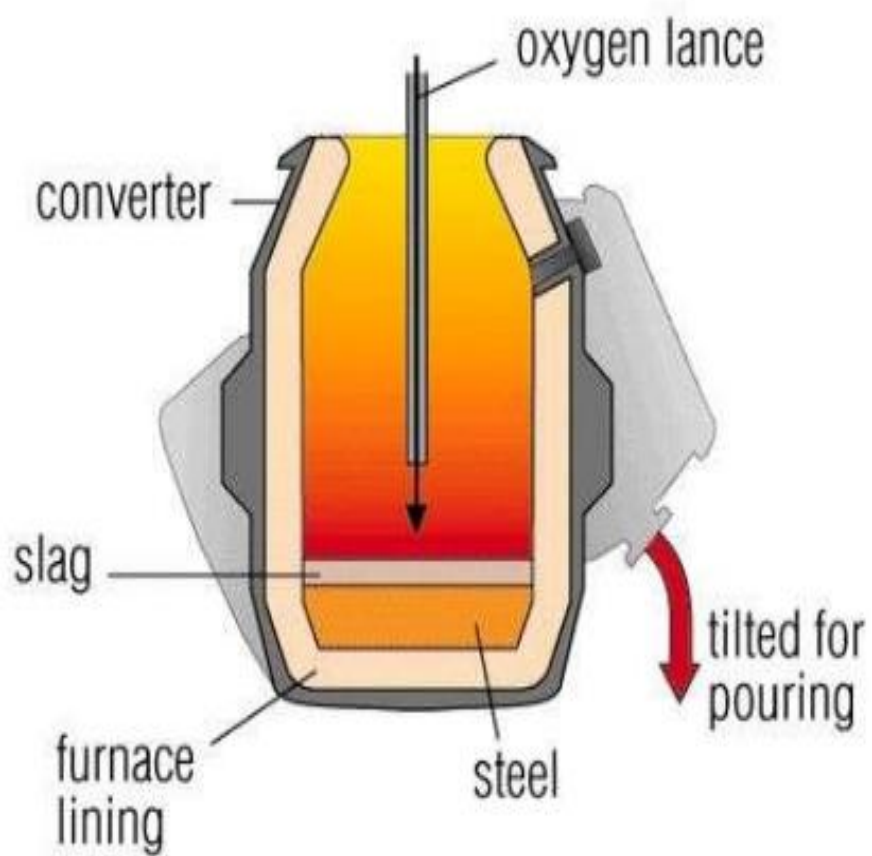
2.3.4.2 *Λειτουργία.* Το δοχείο που χρησιμοποιείται από την διαδικασία, είναι επενδυμένο από χαλύβδινα τούβλα, για την πρόβλεψη πιθανής εισαγωγής οξυγόνου και αδρανούς αερίου, στην κάτω πλευρά του τήγματος. Η εισαγωγή των συγκεκριμένων στοιχείων στο μέταλλο, δημιουργεί σκωρία στην μεταλλική επιφάνεια του τήγματος. Η προσθήκη οξυγόνου-αργού στο τηγμένο μέταλλο, επιτρέπει τον καθαρισμό του από τις διάφορες ακαθαρσίες και την μείωση της περιεκτικότητας του σε άνθρακα, περίπου στο 0,01 % και αρκετά πιά χαμηλά. Για την προσέγγιση της πλήρους ανάκτησης του φορτίου, στο τηγμένο μέταλλο προσθέτονται ποσότητες

αλουμινίου και πυριτίου για την απομάκρυνση των οξειδίων, των χρήσιμων μετάλλων.

Στο λουτρό του τηγμένου μετάλλου, αφού αφαιρεθούν τα άλλα αέρια με την διαδικασία της χημικής αφαίρεσης, κράματα του αζώτου μπορούν να προστεθούν στο τήγμα. Αυτή η προσθήκη είναι σημαντική για την παραγωγή του σύγχρονου διπλού, υπέρ-διπλού και του υπέρ-ωστενιτικού βαθμού. Η διαδικασία της απανθράκωσης με οξυγόνο αργό, είναι πάρα πολύ οικονομική σε ότι αναφορά την προηγούμενη περίπτωση, όταν το άζωτο βρίσκεται σε επιθυμητά ποσοστά. Η συγκόλληση των κραμάτων μπορεί να γίνει πιο εύχρηστη, όταν το ποσοστό του πυριτίου μειωθεί με την ταυτόχρονη μείωση του οξυγόνου στο τηγμένο μέταλλο.



Εικόνα 2.25: Φούρνος AOD
[<https://upload.wikimedia.org/>]



Εικόνα 2.26: Λειτουργία φούρνου AOD
[<https://image.slidesharecdn.com/>]

2.4 ΧΥΤΕΥΣΗ

2.4.1 Φυσικές ιδιότητες των μεταλλικών υλικών. Τα μεταλλικά υλικά τα οποία χυτεύουμε ή τα παίρνουμε ως χυτά αντικείμενα, είναι μέταλλα ή κράματα. Ένα κράμα για να έχει μία ικανοποιητική τήξη και στερεοποίηση ή γενικότερα, διαδικασία χύτευσης, απαιτείται να χαρακτηριστεί από ειδικές ιδιότητες στην ρευστή κατάσταση του. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γίνεται κατανοητή μία σειρά τεχνολογικών παραγόντων, π.χ. οι φυσικές και φυσικόχημικές ιδιότητες των τηγμένων μεταλλικών υλικών, καθώς επίσης, και η αντίδραση αυτών των ρευστών υλικών με το άμεσο περιβάλλον, είτε πρόκειται για το τοίχωμα του καλουπιού, είτε για την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα. Το σημείο τήξης διαφόρων μεταλλικών υλικών δηλώνει τη θερμοκρασία στην οποία το στερεό αλλάζει τη βασική του μορφή, δηλ. την στερεά και τρέπεται στην υγρή φάση (μορφή). Όταν αυξάνουμε τη θερμοκρασία, η πυκνότητα των μεταλλικών υλικών στη στερεά φάση μειώνεται. Στο σημείο τήξης, η πυκνότητα των μεταλλικών υλικών μειώνεται 2-5 %. Τα τηγμένα μεταλλικά υλικά χαρακτηρίζονται από μία ορισμένη τιμή του ιξώδους τους. Όσα έχουν μεγαλύτερο σημείο τήξης έχουν και μεγαλύτερο ιξώδες. Το φαινόμενο της διάχυσης στην υγρή φάση των μεταλλικών υλικών εξαρτάται άμεσα από το συντελεστή διάχυσης τον οποίο εμφανίζουν τα υλικά αυτά στην υγρή φάση. Έχει υπολογισθεί ότι κατά τη διάρκεια της χύτευσης των μεταλλικών υλικών πρέπει να παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της διάχυσης. Αυτή έχει συνήθως μήκος διάχυσης μερικά χιλιοστά. Το σημείο βρασμού ενός μεταλλικού υλικού δεν συνδέεται άμεσα με το σημείο τήξης των υλικών αυτών. Γνωστό είναι ότι το σημείο βρασμού ενός μετάλλου, είναι η θερμοκρασία στην οποία η πίεση των ατμών του μετάλλου προσεγγίζει την ατμοσφαιρική πίεση (105 Pa). Έχει διαπιστωθεί ότι μερικά μέταλλα όπως: ο ψευδάργυρος, ο κασσίτερος και το μαγνήσιο, μειώνονται σε σημαντικές ποσότητες λόγω εξάχνωσης. Αυτή η παρατήρηση οφείλεται μάλλον στο γεγονός ότι τα μέταλλα αυτά έχουν υψηλή πίεση ατμών στο σημείο τήξης. Η θερμική αγωγιμότητα των τηγμένων μεταλλικών υλικών είναι περίπου μισή από αυτή την οποία έχουν στη στέρεα άσση. Ένα χαρακτηριστικό φαινόμενο το οποίο έχει παρατηρηθεί στα τηγμένα μεταλλικά υλικά είναι η έντονη απαγωγή της θερμότητας με μεταφορά και η μικρότερη απαγωγή της θερμότητας με αγωγή.



Εικόνα 2.27: Χύτευση
(<http://1.bp.blogspot.com>)

2.4.2 Ιστορία χύτευσης. Γενικά η χύτευση είναι μία από τις ποιό παλιές μεθόδους διαμόρφωσης που ανακάλυψε ο άνθρωπος. Στη χύτευση, λιωμένο μέταλλο χύνεται σε ένα καλούπι το οποίο συνήθως είναι φτιαγμένο από άμμο ή από μέταλλο και έχει κοιλότητα ενός συγκεκριμένου σχήματος. Το υλικό στη συνέχεια ψύχεται, το καλούπι αφαιρείται και έτσι δημιουργείται το χυτό προϊόν. Η χύτευση πρωτοεμφανίστηκε γύρω στο 3500 π.Χ. στη Μεσοποταμία και χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή χάλκινων εξαρτημάτων, κυρίως επίπεδων, με καλούπια από πέτρα ή ψημένο πηλό. Γύρω στο 2000 π.Χ. η χύτευση εξελίχθηκε περισσότερο. Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν πυρήνες από ψημένο πηλό (αντίστοιχες με τις σημερινές "καρδιές"), για να φτιάχνονται εσωτερικές κοιλότητες μέσα στα χυτά.



Εικόνα 2.28: Αρχαίοι Ελληνικοί κεραμικοί κλίβανοι
(<http://www.archaiologia.gr>)

Η τεχνολογία της χύτευσης εξελίχθηκε στη συνέχεια από τους Κινέζους γύρω στο 1500 π.Χ. Οι Κινέζοι, παρά το γεγονός ότι δεν είχαν χρησιμοποιήσει μέχρι τότε την χύτευση, την υιοθέτησαν και την ανέπτυξαν, ιδιαίτερα στον τομέα του καλουπιού. Η αρχαιολογική σκαπάνη έχει ανακαλύψει καλούπια κατασκευασμένα με ξεχωριστή τέχνη. Οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν διαιρετά καλούπια με πολλά εξαρτήματα που προσδένονταν μεταξύ τους (μέχρι και τριάντα). Εκτός των Κινέζων, ιδιαίτερη τέχνη στη χύτευση παρουσίασαν και οι Ινδοί, που χύτευαν χαλκό και μπρούντζο για εργαλεία, όπλα, σκεύη κ.λπ. Τέλος, η χύτευση του σιδήρου πρωτοεμφανίστηκε γύρω στα 1000 π.Χ., στη Συρία και στην Περσία. Σήμερα, η χύτευση είναι μία από τις σημαντικότερες κατεργασίες μορφοποίησης προϊόντων. Υπάρχουν ειδικές μονάδες για την παραγωγή χυτών αντικειμένων, που ονομάζονται χυτήρια και που παράγουν μεταλλικά προϊόντα, σχεδόν στην τελική τους μορφή. Τα προϊόντα της χύτευσης ποικίλλουν σε υλικά (χρησιμοποιούνται κυρίως μέταλλα), σε πολυπλοκότητα και διαστάσεις. Είναι διαφόρων σχημάτων και βάρους, από λίγα χιλιοστά μέχρι μερικά κλάσματα του γραμμαρίου, όπως είναι τα δοντάκια των φερμουάρ, και καταλήγουν σε μεγέθη που πλησιάζουν τα 10 m και βάρη μερικών τόνων, όπως είναι οι προπέλες των υπερωκεανίων. Τα ποιά γνωστά χρησιμοποιούμενα μεταλλικά υλικά είναι ο χυτοσίδηρος, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, ο μπρούντζος, ο ορείχαλκος, το μαγνήσιο και τα κράματα του ψευδαργύρου. Με τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας, έχουν αναπτυχθεί πολλοί μέθοδοι χύτευσης. Μία κατηγοριοποίηση βασίζεται στο είδος του καλουπιού. Έτσι, η χύτευση διακρίνεται σε: χύτευση με καλούπια μίας χρήσης (δηλ. χύτευση σε άμμο, γύψο, κεραμικό καλούπι κ.λπ.), όπου τα καλούπια αυτού του τύπου της χύτευσης, καταστρέφονται προκειμένου να αποκαλυφθεί το χυτό και σε καλούπια πολλαπλών χρήσεων (δηλ. χύτευση με βαρύτητα, υπό πίεση, φυγοκεντρική χύτευση κ.λπ.), όπου τα καλούπια τέτοιου τύπου χρησιμοποιούν την χύτευση για πολλές συνεχόμενες χυτεύσεις.

2.4.3 Καθαρισμός των τηγμάτων. Τα τηγμένα μεταλλικά υλικά μπορεί να περιέχουν αέρια όπως: το υδρογόνο, το άζωτο, το οξυγόνο κ.λπ., αλλά μπορεί ακόμα να περιέχουν και διάφορες άλλες ουσίες. Οι διάφορες αυτές ουσίες θα πρέπει να αφαιρούνται από τα τηγμένα μέταλλα. Όλη αυτή η διαδικασία (αφαίρεση αυτών των ουσιών) είναι μια διαδικασία πολύ σημαντική. Μη μεταλλικές ουσίες, κυρίως οξείδια, σε τηγμένα μεταλλικά υλικά μπορούν να απομακρυνθούν από αυτά με διάφορες

τεχνικές. Τα οξειδία είναι ποιό ελαφριά από τα μέταλλα, οπότε σαν αποτέλεσμα, να επιπλέουν στην επιφάνεια και έτσι δίνεται η δυνατότητα της απομάκρυνσης τους από το τηγμένο μέταλλο, να είναι πιο εύκολη. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι καθαρισμού του τήγματος από μη μεταλλικές ουσίες, ένας από αυτούς είναι να γίνει κατεργασία του τήγματος με σκωρίες και φλογιστά καλής ποιότητας. Το τηγμένο μέταλλο αναμιγνύεται με σκωρίες, τα σωματίδια των μη μεταλλικών ουσιών προσκολλώνται στα σωματίδια της σκωρίας και απομακρύνονται μαζί με αυτήν. Η ποιό αποδοτική μέθοδος στις μέρες μας, απομάκρυνσης μη μεταλλικών ουσιών από ένα τηγμένο μέταλλο είναι η ακόλουθη: φυσαλίδες αερίου μη διαλυτού. Αυτές διαπερνούν το τήγμα, όπου προσκολλώνται σε αυτές τα σωματίδια των ουσιών και οδηγούνται στην επιφάνεια του τήγματος, οπότε εύκολα απομακρύνονται. Μια άλλη διαδικασία καθαρισμού των τηγμένων μεταλλικών υλικών είναι η απομάκρυνση διαφόρων αερίων διαλυμένων σε αυτά. Πέρα από την περίπτωση του διαλυμένου οξυγόνου στα τήγματα, όλα τα άλλα αέρια μπορούν να απομακρυνθούν με την εφαρμογή χαμηλής πίεσεως σε αυτά. Η διαδικασία της απομάκρυνσης οξυγόνου από τα τήγματα καλείται αποξειδωση. Η πλέον δημοφιλής τεχνική αποξειδωσης είναι η ακόλουθη: ειδικές ουσίες προστίθενται στο τήγμα, οι οποίες αντιδρούν με το οξυγόνο και σχηματίζουν αδιάλυτες ουσίες στο τήγμα, οι οποίες τελικά απομακρύνονται.

2.4.4 Κλίβανοι για την τήξη των μεταλλικών υλικών. Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι κλιβάνων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη τήξη των μεταλλικών υλικών, είναι οι ακόλουθοι:

1. κλίβανος με χωνευτήρι, που είναι στατικός ή στρεφόμενος.
2. κοινός κλίβανος αέρα, που είναι στατικός ή στρεφόμενος.
3. κλίβανος ηλεκτρικού τόξου: άμεσου τόξου, έμμεσου τόξου και ηλεκτρικής αντίστασης.
4. κλίβανος ανοικτής καρδιάς.
5. κλίβανος κούπολα.
6. επαγωγικός κλίβανος.

2.4.4.1 Στερεοποίηση των μεταλλικών υλικών. Ο μηχανισμός και οι διάφορες διαδικασίες της στερεοποίησης των μεταλλικών υλικών είναι αναγκαίο να είναι γνωστοί για τον έλεγχο της κατασκευής χυτών μεταλλικών αντικειμένων. Επίσης, αυτές οι διαδικασίες συνδέονται άμεσα με την τεχνολογία και τη βιομηχανική παραγωγή των χυτηρίων. Η γνώση του τρόπου στερεοποίησης ενός μεταλλικού υλικού, επιτρέπει την κατασκευή χυτών μεταλλικών αντικειμένων με επιθυμητές τεχνολογικές ιδιότητες και χωρίς σοβαρές ατέλειες. Μία από τις πλέον σημαντικές ατέλειες των χυτών μεταλλικών αντικειμένων, είναι η συστολή όγκου, που διαταράσσει την πλήρη συνέχεια του μεταλλικού αντικειμένου. Όταν ένα τηγμένο μεταλλικό υλικό χυθεί σε ένα καλούπι, τότε αρχίζει η διαδικασία της στερεοποίησης. Κατά την διάρκεια της στερεοποίησης, τα χυτά μεταλλικά υλικά αποκτούν συνοχή, χαρακτηριστική μορφολογία, χημική σύσταση και δομή.

2.4.4.2 Στερεοποίηση των μετάλλων. Το σημείο τήξης ή πήξης των μετάλλων, γίνεται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Τα καθαρά μέταλλα τήκονται και στερεοποιούνται σε αυτή την θερμοκρασία. Πάνω από αυτή την θερμοκρασία δηλαδή πάνω από το

σημείο τήξης, το μέταλλο είναι υγρό και σε θερμοκρασίες μικρότερες από το σημείο τήξης, το μεγαλύτερο μέρος του μετάλλου είναι στερεό. Καθ' όλη αυτή τη φάση, όπου το μέταλλο ψύχεται και τελικά στερεοποιείται, οι τιμές της θερμοκρασίας εν συνάρτηση του χρόνου, δημιουργούν μια καμπύλη. Η καμπύλη αυτή ισχύει μόνο για την περίπτωση, όπου η ψύξη του μετάλλου πραγματοποιείται υπό συνθήκες ισορροπίας.

2.4.4.3 Ανάπτυξη ενός καθαρού στερεού. Πειραματικά έχει αποδειχθεί, πως η διεπιφάνεια της υγρής και της στερεής φάσης είναι ουσιαστικά δύο τύπων: η μία είναι τραχεία και διαχεόμενη, όπου συνήθως λαμβάνει χώρα στα μεταλλικά συστήματα. Η άλλη είναι επίπεδη και λεία σε ατομικό επίπεδο αναφοράς και αναφέρεται στα μη μεταλλικά συστήματα. Επειδή, οι δύο αυτές διεπιφάνειες διαφέρουν μεταξύ τους στην ατομική δομή, οι μετακινήσεις αυτών των διεπιφανειών διαφέρουν επίσης μεταξύ τους. Συνεχής ανάπτυξη. Η κίνηση μιας τραχείας διεπιφάνειας στερεού-υγρού μπορεί να μελετηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως η μετακίνηση ενός ορίου κόκκου μεγάλης γωνίας. Έχει παρατηρηθεί ότι η ελεύθερη ενέργεια ενός ατόμου που διαπερνά τη διεπιφάνεια στερεού-υγρού μεταβάλλεται. Το μέγεθος της ενέργειας ενεργοποίησης ΔG δίνεται προσεγγιστικά από την ακόλουθη σχέση: $\Delta G = T_m \cdot L \cdot \Delta T_i$. Όπου L η λανθάνουσα θερμότητα τήξης, ΔT_i είναι η απόψυξη της διεπιφάνειας, T_m είναι η θερμοκρασία τήξης και ουσιαστικά $\Delta G_a = \Delta G$ είναι η απαιτούμενη ενέργεια για τη στερεοποίηση. Οπότε, ο ρυθμός στερεοποίησης δίνεται από τη σχέση της ακόλουθης μορφής: $v = K_i \Delta T_i$. Όπου K_i είναι η ευκινησία της διεπιφάνειας στερεού-υγρού. Θεωρητική ανάπτυξη του θέματος, υποθέτει υψηλές τιμές του K_i για συνήθεις ρυθμούς στερεοποίησης. Από την θερμοδυναμική των μεταλλικών υλικών, είναι γνωστό ότι τα μέταλλα με υψηλές τιμές εντροπίας της τήξης, προτιμούν να αναπτύσσονται σε επίπεδες και λείες επιφάνειες. Η ανάπτυξη αυτή νοείται σαν μετάβαση από την υγρή φάση στη στερεά. Σε αυτή την περίπτωση, η διεπιφάνεια στερεού-υγρού, θεωρείται ότι αναπτύσσεται πλευρικά από τα στερεοποιούμενα άτομα. Αν όμως η διεπιφάνεια στερεού-υγρού περιέχει διάφορα σκαλοπάτια, τότε τα στερεοποιούμενα άτομα προσκολλώνται σε αυτά τα σκαλοπάτια. Η προσκόλληση αυτή έχει υπολογιστεί ότι δεν αυξάνει σημαντικά τη διεπιφανειακή ενέργεια των στερεών ατόμων. Τα σκαλοπάτια της διεπιφάνειας όμως, θεωρούνται ότι δεν είναι θέσεις ισορροπίας, οπότε η ανάπτυξη της στερεής φάσης μπορεί να αναπτυχθεί με έναν από τους ακόλουθους τρόπους: επιφανειακή πυρηνοποίηση ή κοχλιωτή ανάπτυξη.

2.3.4.4 Μορφολογία του αναπτυσσόμενου στερεού. Γενικότερα, οι ακόλουθες παρατηρήσεις μπορούν να λεχθούν σχετικά με την ανάπτυξη των στερεών υλικών κατά τη χύτευση αυτών:

1. Πυρήνες που έχουν ήδη σχηματισθεί πάντα συνεχίζεται η ανάπτυξη.
2. Η ανάπτυξη ελέγχεται άμεσα από τη μεταφορά θερμότητας από τα τηγμένα μεταλλικά υλικά.
3. Επίσης, η ανάπτυξη του στερεού συνδέεται άμεσα με την προτιμώμενη κρυσταλλογραφική διεύθυνση του κρυσταλλικού στερεού μεταλλικού υλικού. Αν ένα μέταλλο στερεοποιηθεί ταχέως, η ανάπτυξή του ακολουθείται από μία δένδριτική μορφή. Με την πάροδο του χρόνου η απομάκρυνση της θερμότητας αυξάνεται, η θερμοκρασία του στερεού μετώπου αυξάνεται και η

κίνηση του μετώπου αυτού (R) επίσης, αυξάνεται. Για τα καθαρά μέταλλα έχει παρατηρηθεί ότι το μέτωπο του στερεού αποκτά διάφορες μορφές. Στην αρχή είναι επίπεδο, αργότερα περιέχει λόφους και κοιλάδες και η μορφολογία του στερεοποιούμενου υλικού καλείται κυτταρική. Όταν αυξηθούν ακόμη οι ταχύτητες κίνησης του στερεού μετώπου τότε αυτό αποκτά μία πολύπλοκη μορφολογία. Τότε η ανάπτυξη καλείται δενδριτική.

2.4.4.5 Στερεοποίηση στερεού διαλύματος. Οι τεχνολογικές ιδιότητες πολλών μετάλλων, βελτιώνονται εάν υποστούν κραματοποίηση. Οι ιδιότητες αυτές είναι οι ακόλουθοι: υψηλότερη μηχανική αντοχή, καλύτερη μηχανική αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, καλύτερη αντίσταση στην τριβή και τη διάβρωση, καλύτερη μεταλλοτεχνική συμπεριφορά κ.λπ. Εάν γίνει μίξη δυο μετάλλων, όπου το ένα μέταλλο να διαλύεται στο κρυσταλλικό πλέγμα του άλλου και αντίστροφα, τότε το αποτέλεσμα όλου αυτού ονομάζεται στερεό διάλυμα. Κατά τη στερεοποίηση, τα στερεά διαλύματα εμφανίζουν διαφορεική μορφή πήξης, που υποστηρίζει την ανάπτυξη του στερεού διαλύματος με μη επίπεδη διεπιφάνεια στερεού-υγρού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της μορφής της καμπύλης ψύξης ενός διμερούς στερεού διαλύματος π.χ. Cu-Ni. Κάθε τυπικό διάγραμμα φάσεων ενός διμερούς στερεού διαλύματος δείχνει δύο διαφορετικές και χαρακτηριστικές φάσεις: μία φάση, που είναι υγρό διάλυμα και μια άλλη φάση που είναι στερεό διάλυμα.

2.4.4.6 Διαφορισμός. Διαφορισμός ονομάζεται το φαινόμενο της μη ομοιογενούς χημικής σύστασης σε ένα χυτό μεταλλικό κράμα. Ο διαφορισμός διακρίνεται σε δύο τύπους: μικροδιαφορισμό και μακροδιαφορισμό. Κατά τον μικροδιαφορισμό, οι μεταβολές της χημικής σύστασης του χυτού κράματος εμφανίζονται σε μικροσκοπική κλίμακα και κυρίως μέσα στα όρια των κόκκων. Ο μικροδιαφορισμός επηρεάζει έμμεσα τις μηχανικές ιδιότητες ενός κράματος. Ουσιαστικά ο μικροδιαφορισμός περιγράφει τη μακροσκοπική μεταβολή της χημικής σύστασης μέσα σε ένα χυτό κράμα. Υπό συνθήκες κανονικού μακροδιαφορισμού, το τελευταίο μέρος του κράματος που στερεοποιήθηκε, είναι και το πλουσιότερο στην ποσότητα του κραματικού στοιχείου. Υπό συνθήκες όμως αντίστροφου μακροδιαφορισμού, το τελευταίο μέρος του κράματος που στερεοποιήθηκε περιέχει και το μικρότερο ποσοστό του κραματικού στοιχείου. Η εμφάνιση του μικροδιαφορισμού μπορεί να μειωθεί δραστικά με θερμική κατεργασία ομογενοποίησης. Το φαινόμενο της διάχυσης είναι πολύ αργή διαδικασία στη στερεή φάση οπότε και η επίδρασή του στο μακροδιαφορισμό καθίσταται μειωμένη. Τέσσερις παράγοντες ευνοούν την εμφάνιση του φαινομένου του μακροδιαφορισμού: 1) συρρίκνωση λόγω στερεοποίησης και θερμικής συστολής, 2) διαφορές στη πυκνότητα ανάμεσα στα κλαδιά των δενδριτών, 3) διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ υγρού και στερεού υλικού και 4) επαγωγικά ρεύματα που επιταχύνονται από την διαφορά πυκνότητας μεταξύ υγρού και στερεού υλικού.

2.4.4.7 Ευτηκτική στερεοποίηση. Κατά την στερεοποίηση ενός διμερούς κράματος ευτηκτικής σύστασης, δύο σταθερές φάσεις σχηματίζονται από το υγρό υλικό: $L \rightarrow \alpha + \beta$. Όταν η χημική σύσταση στο κύριο μέρος ενός κράματος (X_0) απομακρύνεται από την χημική σύσταση της ευτηκτικής ισορροπίας (X_E), τότε η στερεοποίηση αρχίζει σε μία θερμοκρασία κοντά στην T_1 και εμφανίζονται δενδρίτες. Με την

πάροδο του χρόνου, οι δενδρίτες αυξάνουν σε μέγεθος, με αποτέλεσμα το κραματικό στοιχείο να απομακρύνεται στο υγρό υλικό μέχρι η συγκέντρωσή του φθάσει την τιμή ΧΕ. Τότε εμφανίζεται πλήρως η ευτηκτική στερεοποίηση. Οι κορυφές των δενδριτών έχουν θερμοκρασία κοντά στην T1 και το ευτηκτικό μέτωπο, πιθανόν κυτταρικής μορφολογίας, έχει θερμοκρασία κοντά στην TE. Έχει παρατηρηθεί επίσης, ότι η απουσία της διάχυσης στη στερεά φάση, τα κέντρα των δενδριτών, που στερεοποιούνται κοντά στη θερμοκρασία T1, περιέχουν λιγότερο κραματικό στοιχείο από τις εξωτερικές στοιβάδες, που στερεοποιούνται σταδιακά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

2.4.4.8 Περιτηκτική στερεοποίηση. Κατά την διάρκεια της στερεοποίησης ισορροπίας, το στερεό α με χημική σύσταση a και το υγρό με χημική σύσταση c αντιδρούν στην περιτηκτική θερμοκρασία T_p για να δώσουν ένα στερεό β με χημική σύσταση b. Στην πράξη όμως σπάνια αυτός ο μετασχηματισμός πραγματοποιείται πλήρως. Έστω ότι μελετάται η στερεοποίηση ενός κράματος με χημική σύσταση X_0 με μία πεπερασμένη ταχύτητα και με όχι απότομο θερμοκρασιακό διαφορικό. Καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, η πρώτη στερεή φάση που εμφανίζεται είναι η α με χημική σύσταση KX_0 σε μία θερμοκρασία πλησίον της T1. Η φάση αναπτύσσεται κατόπιν με ένα δενδριτικό τρόπο. Αν όμως η διάχυση στους δενδρίτες είναι αργή, τότε το υγρό θα προσεγγίσει το σημείο c και με την περαιτέρω ψύξη του συστήματος, αυτό αντιδρά με το α και παράγει τη φάση β. Όταν δεν εμφανίζεται έντονα το φαινόμενο της διάχυσης στο στερεό, το υγρό θα φθάσει στο σημείο e και θα στερεοποιηθεί σαν ένα β + γ ευτηκτικό στερεό. Η τελική στερεοποιημένη δομή αποτελείται από τη φάση α, με την μορφή δενδριτών γύρω από την οποία υπάρχει η φάση β και νησίδες του ευτηκτικού στερεού β + γ.

2.4.4.9 Άμορφα μεταλλικά υλικά. Για να μπορέσει να επιτευχθεί η παραγωγή μιας μεταλλικής άμορφης δηλ. μη κρυσταλλικής φάσης, πρέπει να γίνεται αυστηρός έλεγχος της υγρής απόψυξης. Για το σχηματισμό άμορφου μεταλλικού υλικού, υπάρχουν διάφορες τεχνικές όπως: εξάχνωση στο κενό, επιφανειακή κατεργασία μεταλλικών υλικών με δέσμη λέιζερ ή ηλεκτρονίων. Η ποιό γνωστή μέθοδος πλέον, η οποία κάνει χρήση της υγρής φάσης ενός μεταλλικού υλικού, είναι αυτή η οποία κάνει χρήση της πτώσης ενός τηγμένου μεταλλικού υλικού σε ένα ταχύτατα περιστρεφόμενο μεταλλικό κύλινδρο.

Η τεχνική παραγωγής μιας άμορφης μεταλλικής λωρίδας έχει ως εξής: το κράμα βρίσκεται σε ένα χωνευτήρι από χαλαζία, και τήκεται σε ένα επαγωγικό φούρνο με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Πάνω από το τηγμένο μεταλλικό υλικό, υπάρχει μία μικρή αποθήκη αδρανούς αερίου. Αυτό το αέριο προσπίπτει στο τηγμένο υλικό και το ωθεί από μία οπή του χωνευτηρίου, στην περιφέρεια ενός ταχύτατα περιστρεφόμενου κυλίνδρου από χαλκό. Από την περιφέρεια αυτού του κυλίνδρου εξέρχεται μία συνεχής και λεπτή λωρίδα στερεού άμορφου υλικού. Για να παραχθεί ένα άμορφο μεταλλικό υλικό, βασισμένο σε κράμα του σιδήρου, ο ρυθμός στερεοποίησης του υλικού αυτού πρέπει να είναι 106 °C/sec. Αυτή η πειραματική συνθήκη έχει σαν αποτέλεσμα τη παραγωγή μίας στερεής λωρίδας πάχους 50 mm και πλάτους 20 cm. Ο δε ρυθμός παραγωγής αυτών των λωρίδων είναι 20-30 m/sec. Με τη χρήση της παραπάνω τεχνικής, άμορφα μεταλλικά υλικά των ακολούθων τύπων έχουν παραχθεί:

1. μέταλλο + μέταλλο π.χ. Ni₆₀Nb₄₀
2. μέταλλο + μεταλλοειδές π.χ. Fe₄₀Ni₄₀B₂₀

Η παρασκευή των καθαρών μεταλλικών στοιχείων για να εμφανισθούν άμορφα είναι πολύ δύσκολη και πολλές φορές αδύνατη. Αυτό συμβαίνει διότι απαιτούν υψηλούς ρυμούς ψύξης και μετά εμφανίζουν μία μικρή θερμική σταθερότητα. Με την χρήση άμορφων μεταλλικών, έχουν παρατηρηθεί πολλές και ενδιαφέρουσες τεχνολογικές. Μία από αυτές, είναι η αντικατάσταση των κλασικών μαγνητικών κραμάτων με άμορφα κράματα στους πυρήνες μετασχηματιστών υψηλής ενέργειας. Επειδή τα άμορφα κράματα δεν εμφανίζουν όρια κόκκων, η αντιδιαβρωτική και αντιοξειδωτική τους ικανότητα, είναι ιδιαίτερα υψηλή. Ο συνδυασμός υψηλής σκληρότητας και αντίστασης στην τριβή, βρίσκει τα άμορφα μεταλλικά υλικά εφαρμοσίμα σε ποικίλες μηχανικές διατάξεις.

2.3.4.10 Παγιδευμένα εγκλείσματα. Κατά την διάρκεια ψύξης ενός υγρού κράματος πριν την στερεοποίηση του κράματος, εμφανίζονται νέες φάσεις. Οι φάσεις αυτές λέγονται και εγκλείσματα. Τα εγκλείσματα αυτά μερικές φορές οφείλονται στην παρουσία αποξειδωτών ή τροποποιητών στο στερεοποιούμενο υγρό κράμα. Στην περίπτωση του χάλυβα, όπου περιέχει βανάδιο και άζωτο, εμφανίζεται ως εγκλείσμα το νιτρίδιο του βαναδίου. $V-N=VN$. Για να είναι δυνατόν, αυτή η νέα φάση, VN, να υπάρχει στο στερεό χάλυβα, εξαρτάται άμεσα από την συγκέντρωση του βαναδίου και αζώτου, ειδικά αν αυτές οι συγκεντρώσεις υπερέχουν του γινομένου της διαλυτότητας για την δημιουργία του νιτρίδιου: $\Lambda=(\% V) (\% N)$, παρόμοια εξίσωση με την τελευταία, όπου λαμβάνονται οι ενεργότητες των δύο στοιχείων, είναι και η ακόλουθη: $\Lambda=\alpha \beta N$. Τα παραπάνω παραδείγματα ισχύουν για τις πειραματικές εκείνες συνθήκες όπου η δημιουργούμενη φάση ή εγκλείσμα είναι σε ισορροπία με το τηγμένο κράμα. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην πράξη των στοιχείων της νέας φάσης απαιτούνται για τη δημιουργία τους. Τώρα θα εξετασθεί το σύστημα FeO-Si. Σε αυτό το σύστημα σχηματίζονται δύο οξειδία. Το πρώτο από αυτά δημιουργείται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση: $Si+2O \rightarrow SiO_2$. Όπου η σταθερά ισορροπίας M δίνεται προσεγγιστικά από την ακόλουθη σχέση: $M=(\% Si) (\% O_2)$. Η δυνατότητα δημιουργίας του οξειδίου του σιδήρου δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση: $Fe+ FeO$. Η δημιουργία των παραπάνω δύο οξειδίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι όμως είναι οι συνθήκες πυρηνοποίησης αυτών των φάσεων καθώς και η ισορροπία των εντός του τηγμένου κράματος.

Τα παραπάνω παραδείγματα δίνουν την περίπτωση δημιουργίας νιτρίδιων και οξειδίων. Υπάρχει και η περίπτωση να παγιδευτούν και άλλα εγκλείσματα σε τηγμένα κράματα, όπως: π.χ. καρβίδια, βορίδια, σουλφίδια. Τέτοιας μορφής εγκλείσματα εμφανίζονται όχι μόνο στα τηγμένα κράματα, αλλά επίσης, κατά την ψύξη και στερεοποίηση των τηγμένων κραμάτων, δηλαδή κατά την δημιουργία του στερεού κράματος.

2.4.5 Τεχνολογία της χύτευσης. Όπως έχει αποδειχθεί, ο άνθρωπος χυτεύει από το 5000 π.χ. για αυτόν τον λόγο και η χύτευση είναι από τις παλαιότερες τεχνικές της εφαρμοσμένης μεταλλογνωσίας. Εκείνη την εποχή η δυνατότητα χύτευσης χυτοσιδήρου και χάλυβα ήταν αρκετά δύσκολο. Στην επίτευξη της επιτυχούς χύτευσης από ότι φαίνεται πρωτοστάτησε η Κίνα γύρω στο 500 μ.χ. Στην χύτευση, ουσιαστικά μπορούμε να δώσουμε σε ένα τηγμένο μεταλλικό υλικό, όποιο σχήμα

επιθυμούμε. Αυτό πραγματοποιείται με την απόχυση υγρού μετάλλου, μέσα από μία οπή, στο καλούπι όπου και το μέταλλο στερεοποιείται. Κατά την διάρκεια της στερεοποίησης του υγρού μετάλλου, αυτό αποκτά το επιθυμητό σχήμα από το προκατασκευασμένο εσωτερικό μέρος του καλουπιού. Τα ειδικά κατασκευασμένα εργαστήρια για την χύτευση των μεταλλικών υλικών, ονομάζονται χυτήρια. Η μελέτη της χύτευσης των μεταλλικών υλικών είναι ένας σημαντικός κλάδος της τεχνολογίας των μετάλλων και αυτό γίνεται φανερό από το γεγονός ότι οι κυριότερες τεχνολογικές ιδιότητες των χυτών μεταλλικών αντικειμένων, εξαρτώνται από την ικανοποιητική ή όχι κατασκευή αυτών.

2.4.5.1 Χύτευση με άμμο. Σχεδόν κάθε μέταλλο μπορεί να χυτευθεί σε ένα καλούπι από την τηγμένη του κατάσταση. Η διαδικασία της χύτευσης απαιτεί ένα μοντέλο, το οποίο έχει το εξωτερικό σχήμα του επιθυμητού αντικειμένου, πολλές φορές την καρδιά, η οποία έχει το εσωτερικό σχήμα του αντικειμένου και ουσιαστικά ένα καλούπι. Μεταξύ του καλουπιού και του τηγμένου μεταλλικού υλικού, μεταδίδεται μία θερμότητα, πάντοτε μεταδίδεται από το τηγμένο μεταλλικό υλικό προς το καλούπι. Για αυτό το λόγο το καλούπι κατασκευάζεται από κατάλληλο υλικό (άμμο, κεραμικό κ.λπ.) για να αντέχει αυτή την μετάδοση θερμότητας. Η ποιό διαδεδομένη μέθοδος χύτευσης, όπου χρησιμοποιείται και ποιό πολύ είναι η μέθοδος χύτευσης με άμμο, όπου απαιτεί την χρήση "πράσινης" άμμου. Η άμμος αυτή είναι ελαφρά υγρή και περιέχει μικρές ποσότητες διαφόρων ουσιών. Η ονομασία της "πράσινη" άμμος, της έχει δοθεί λόγω του υψηλού ποσοστού υγρασίας και σαν αποτέλεσμα αυτού η άμμος να χάνει το κανονικό της χρώμα. Μια άλλη είδους άμμο που χρησιμοποιείται στη χύτευση είναι η στεγνή άμμος. Στη περίπτωση αυτής της άμμου χρησιμοποιείται μία ρητίνη σαν συνδετικό υλικό των κόκκων της άμμου. Με αυτήν την μέθοδο χύτευσης η άμμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφού καθαριστεί προσεκτικά. Στη μέθοδο αυτή της χύτευσης υπάρχουν δύο φάσεις:

1. η κατασκευή του μοντέλου όπου γίνεται πολύ προσεκτικά, στο οποίο θα παρασκευασθεί το χυτό αντικείμενο με την χρήση όμως εξαιρετικής ποιότητας άμμο.
2. η κατασκευή του καλουπιού, το οποίο περιβάλλει το μοντέλο, στο οποίο επίσης χρησιμοποιούμε άμμο και το θέτουμε σε μία κάσα. Όπου η κάσα αυτή συνήθως αποτελείται από δύο μέρη.

Στο γενικό σύστημα της κάσας χύτευσης, μία μεγάλη οπή συνδέει την εσωτερική κοιλότητα του καλουπιού με το έξω περιβάλλον. Αυτή η οπή χρησιμοποιείται για την είσοδο του ρευστού μεταλλικού υλικού στο καλούπι. Υπάρχουν και άλλες οπές, οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές οπές τροφοδοσίας με το ρευστό μεταλλικό υλικό και για την διαφυγή αερίων από το καλούπι στο έξω περιβάλλον. Τα μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούνται στην μέθοδο αυτή, πρέπει επίσης να έχουν προσεκτικά κατασκευασμένο σχήμα, ώστε να απομακρύνονται εύκολα από την άμμο χωρίς να καταστρέφεται το καλούπι. Επίσης, τα μοντέλα πρέπει να έχουν μεγαλύτερο μέγεθος του επιθυμητού χυτού αντικειμένου για να υπάρχει χώρος όταν το μεταλλικό υλικό στερεοποιείται και συστέλλεται. Μετά την απομάκρυνση του μοντέλου, νέο καλούπι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και τότε τηγμένο μεταλλικό υλικό χύνεται στο καλούπι. Πολλές φορές για τη χύτευση μη σιδηρούχων μεταλλικών υλικών χρησιμοποιούνται μόνιμα καλούπια, τα οποία αποτελούνται από "καρδιές". Η άμμος της "καρδιάς" πρέπει να είναι πολύ καθαρή, να

μη περιέχει ασβέστη και να αναμειγνύεται εύκολα με διάφορα λάδια ή ρητίνες. Μετά την κατασκευή των "καρδιών", αυτές σκληραίνονται με θέρμανση. Η άμμος των "καρδιών" για να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά, πρέπει να πληρεί μερικούς όρους: να αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες μετά την ψύξη της, πρέπει να έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, πρέπει τα αέρια, από το στερεοποιούμενο μεταλλικό υλικό, να διαφεύγουν εύκολα από την άμμο. Πρέπει εύκολα να σπάζει, για να απομακρύνεται από την κάσα χύτευσης και να λαμβάνεται εύκολα το τελικό χυτό μεταλλικό αντικείμενο.

2.4.5.2 Χύτευση υπό πίεση. Η χύτευση υπό πίεση κυρίως χρησιμοποιείται για μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά, δηλαδή για κράματα του ψευδαργύρου και του αλουμινίου. Την τεχνική αυτή, την χαρακτηρίζουν: η μεγάλη ακρίβεια, ο έλεγχος των διαστάσεων, η υψηλή παραγωγικότητα και η μικρή επιφανειακή τραχύτητα των χυτών μεταλλικών αντικειμένων. Η τεχνική αυτή έχει και μειονεκτήματα. Τα κύρια από αυτά είναι τα εξής: η μη κατασκευή σιδηρούχων χυτών αντικειμένων, το υψηλό κόστος κατασκευής της μεθόδου και η παρουσία οξειδίων και πόρων στα τελικά προϊόντα. Η τεχνική της χύτευσης, υπό πίεση μπορεί να γίνει πολύ περίπλοκη. Η διαδικασία χύτευσης υπό πίεση, είναι η εξής: το τηγμένο μεταλλικό υλικό αποχύνεται στις κοιλότητες του καλουπιού με πίεση και χωρίς να αφήνει καμία κοιλότητα κενή. Η εφαρμοζόμενη πίεση είναι ο κύριος παράγοντας για την κατασκευή με την τεχνική αυτή διαφόρων μεταλλικών αντικειμένων, από αυτά που έχουν απλό σχήμα. Η κύρια ενέργεια, η οποία λαμβάνει χώρα κατά την διαδικασία αυτής της χύτευσης είναι η απόχυση μιας ορισμένης ποσότητας τηγμένου μεταλλικού υλικού σε ένα θάλαμο και η μεταφορά του ίδιου υλικού από τον θάλαμο στην κοιλότητα του καλουπιού με την εφαρμογή πίεσης.

2.4.5.3 Φυγόκεντρος χύτευση. Κατά την τεχνική της φυγόκεντρης χύτευσης, το τηγμένο μεταλλικό υλικό εισάγεται σε περιστρεφόμενα καλούπια, λόγω φυγόκεντρου δυνάμεως, και ωθείται στα τοιχώματα των καλουπιών αυτών. Το τηγμένο μεταλλικό υλικό στην συνέχεια, χύνεται μέσα στις διάφορες εσοχές και κοιλότητες των καλουπιών. Τα καλούπια μπορεί να περιστρέφονται γύρω από οριζόντιο ή κάθετο άξονα. Το βαρύ μεταλλικό υλικό ωθείται στα τοιχώματα και τις ακραίες θέσεις του καλουπιού, ενώ οι ακαθαρσίες και τα αέρια σαν ελαφρότερα ωθούνται προς το κέντρο και έξω από την κοιλότητα του καλουπιού. Με το τρόπο αυτό, ένα ελαφρό φινίρισμα του τελικού προϊόντος παράγει το επιθυμητό χυτό αντικείμενο. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τη χύτευση όλων σχεδόν των μεταλλικών υλικών, με απλά καθώς, και με πολύπλοκα σχήματα. Το πλείστον των μεταλλικών υλικών, το οποία παράγονται με τη τεχνική αυτή, είναι σωλήνες, κυλινδρικά και κωνικά αντικείμενα και διάφορα άλλα πολύπλοκα σχήματα χυτών αντικειμένων αυτό είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής. Μειονεκτήματα της τεχνικής είναι τα ακόλουθα: το κόστος κατασκευής και λειτουργίας της τεχνικής και ο μικρός ρυθμός παραγωγικότητας χυτών προϊόντων. Οι βασικότεροι τύποι της τεχνικής της φυγόκεντρης χύτευσης είναι οι ακόλουθοι: η πραγματική φυγόκεντρος χύτευση και η φυγοκέντρωση. Στη πρώτη τεχνική χρησιμοποιείται για κάθε ένα χυτό μεταλλικό αντικείμενο ένα καλούπι. Ενώ στην δεύτερη τεχνική ένα καλούπι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πολλών χυτών αντικειμένων. Το εσωτερικό με το εξωτερικό σχήμα των χυτών αντικειμένων διαφέρουν. Το εσωτερικό είναι κυλινδρικό ή κωνικό, ενώ το εξωτερικό μπορεί να είναι τετράγωνο, εξάγωνο ή άλλο συμμετρικό

σχήμα. Με αυτή την τεχνική μπορούμε να παράγουμε μεταλλικά προϊόντα ακανόνιστου σχήματος και μεγέθους. Τα καλούπια που χρησιμοποιούνται στη φυγόκεντρη χύτευση είναι καλούπια από μέταλλο και άμμο. Η άμμος μπορεί να είναι πράσινη ή ξηρή και να περιέχει διάφορες συνδετικές ουσίες. Εάν όμως είναι πράσινη η άμμος, για να αποκτήσει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή κρούσης χρειάζεται ένα ειδικό συνδετικό υλικό. Όταν το χυτευόμενο μεταλλικό υλικό διαβρέχει την επιφάνεια της κοιλότητας του καλουπιού, τότε το καλούπι κατασκευάζεται από γραφίτη. Όταν θέλουμε να χυτεύσουμε μεταλλικά υλικά με μεγάλο όγκο, τότε τα καλούπια πρέπει να είναι μεταλλικά. Λόγω του μετάλλου, τα καλούπια αυτά ψύχονται γρήγορα, όπου σαν αποτέλεσμα έχουμε μικρότερο μέγεθος κόκκων.

2.4.5.4 Μη σιδηρούχα και σιδηρούχα χυτά κράματα. Τώρα θα παρουσιασθεί μία περιληπτική περιγραφή των τεχνολογικών ιδιοτήτων διαφόρων χυτών μεταλλικών υλικών:

α) Μη σιδηρούχα χυτά κράματα:

1. Κράματα με βάση το αλουμίνιο: Τα κράματα αυτά έχουν μία ευρεία περιοχή μηχανικών ιδιοτήτων οι οποίες εξαρτώνται από τους διάφορους μηχανισμούς σκλήρυνσης καθώς και τις διάφορες μορφές θερμικής κατεργασίας. Η ρευστότητα των κραμάτων του αλουμινίου εξαρτάται από τα οξειδία αυτού καθώς, επίσης, και από την ποιότητα και την ποσότητα των κραματικών στοιχείων. Τα χυτά κράματα του αλουμινίου έχουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και συνήθως ικανοποιητική αντίσταση στην διάβρωση. Όμως η αντίσταση των ίδιων κραμάτων σε μερικούς οξείς ή βασικούς ηλεκτρολύτες είναι μικρή και πρόνοια πρέπει να λαμβάνεται ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της γαλβανικής διάβρωσης. Τα ίδια κράματα είναι μη τοξικά, ελαφρά και διαμορφώνονται εύκολα. Εκτός από τα κράματα του αλουμινίου με το πυρίτιο, όλα τα υπόλοιπα κράματα του αλουμινίου έχουν μικρή αντίσταση στην εκτριβή και στην φθορά. Τα κράματα αυτά έχουν εξαιρετική ευχυτότητα.
2. Κράματα με βάση το μαγνήσιο: η μικρότερη πυκνότητα στα χυτά μεταλλικά υλικά εμφανίζεται στα χυτά κράματα του μαγνησίου. Τα κράματα αυτά έχουν καλή αντίσταση στη διάβρωση και ενδιάμεσες τιμές μηχανικών ιδιοτήτων, οι οποίες εξαρτώνται από την διαδικασία της χρησιμοποιηθείς θερμικής κατεργασίας. Αυτά τα μεταλλικά υλικά έχουν καλή έως άριστη ευχυτότητα.
3. Κράματα με βάση το χαλκό: αν και τα κράματα αυτά είναι σχετικά ακριβά, έχουν αξιόλογες τεχνολογικές ιδιότητες, καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, υψηλή αντίσταση στην διάβρωση και έλλειψη τοξικότητας. Οι μηχανικές ιδιότητες και η ρευστότητα των κραμάτων εξαρτώνται από την φύση του κραματικού στοιχείου. Τα κράματα αυτά έχουν μέτρια έως καλή ευχυτότητα.
4. Κράματα με βάση το ψευδάργυρο: αυτά είναι κράματα με χαμηλό σημείο τήξης, αλλά έχουν όμως ικανοποιητική ρευστότητα και αξιόλογες μηχανικές ιδιότητες. Με την τεχνική της χύτευσης υπό πίεση συνήθως παράγονται τα ίδια κράματα. Τα κράματα αυτά έχουν εξαιρετική ευχυτότητα. Κράματα υψηλών θερμοκρασιών: τα κράματα αυτά έχουν μία ευρεία περιοχή τεχνολογικών ιδιοτήτων και απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες (1600°C για τα κράματα τιτανίου) για να υποστούν χύτευση. Πολλές φορές αυτά τα κράματα, π.χ.

τιτανίου, νικελίου, ζirkονίου, εμφανίζουν αξιόλογες τεχνολογικές ιδιότητες. Τα υλικά αυτά έχουν μέτρια ευχυτότητα.

β) Σιδηρούχα χυτά κράματα:

1. Ο χυτοσίδηρος είναι ένα μεταλλικό υλικό όπου αποτελεί την πλειοψηφία των χυτών μεταλλικών υλικών. Ο χυτοσίδηρος έχει ικανοποιητικές τεχνολογικές ιδιότητες, όπως: υψηλή αντίσταση στην φθορά, ικανοποιητική σκληρότητα και κατεργασιμότητα. Τα κράματα αυτά έχουν την δυνατότητα να χυτευτούν σε διάφορα και πολύμορφα σχήματα. Ο χυτοσίδηρος περιλαμβάνει πολλά κράματα. Ωστόσο, έχουν διάφορες μορφές και ονομασίες: φαιός χυτοσίδηρος, όλκιμος σίδηρος, λευκός χυτοσίδηρος και μαλακός σίδηρος. Γενικότερα οι χυτοσίδηροι έχουν καλή ευχυτότητα.
2. Ο χυτοχάλυβας είναι ένα χυτό κράμα όπου χυτεύεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (1650 °C), λόγω αυτού η διαδικασία της χύτευσης απαιτεί ικανές γνώσεις και πείρα. Το κατάλληλο υλικό όπου θα κατασκευαστεί το καλούπι για το χυτό χάλυβα επιλέγεται με αυστηρά κριτήρια και αυτό, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας τήξης. Ιδιαίτερα εμφανίζεται εύκολα η αντίδραση των χαλύβων με το οξυγόνο. Οι χυτοχάλυβες όμως, εμφανίζουν τεχνολογικές ιδιότητες, περισσότερο ισότροπες από τους ίδιους τους χάλυβες, οι οποίοι κατασκευάζονται με μηχανική διαμόρφωση. Οι χυτοχάλυβες επίσης μπορούν να συγκολληθούν, όμως, η τεχνική της συγκόλλησης επηρεάζει την μικροδομή στη ζώνη επίδρασης της θερμότητας και με τον τρόπο αυτό επηρεάζονται η ευλυγισία και η μηχανική αντοχή του βασικού μετάλλου. Εάν όμως, ο συγκολλημένος χυτοχάλυβας υποστεί θερμική κατεργασία, ανακτά τις μηχανικές του ιδιότητες. Τα μεταλλικά υλικά αυτά εμφανίζουν μέτρια ευχυτότητα.
3. Χυτοί ανοξειδωτοί χάλυβες: η χύτευση των ανοξειδωτων χαλύβων ακολουθεί παρόμοια διαδικασία με τη χύτευση των χυτοχαλύβων. Γενικότερα, όμως, οι ανοξειδωτοί χάλυβες έχουν μακρά περιοχή πήξης και υψηλές θερμοκρασίες τήξης. Αναπτύσσουν διάφορες μικροδομές, οι οποίες εξαρτώνται από τη χημική τους σύσταση. Οι χυτοί ανοξειδωτοί χάλυβες υφίστανται εύκολα διάφορες θερμικές κατεργασίες και συγκολλώνται σε ικανοποιητικό βαθμό. Αυτά τα χυτά μεταλλικά υλικά έχουν υψηλή αντίσταση στη διάβρωση και στην θερμότητα. Ανοξειδωτοί χάλυβες με κύριο κραματικό στοιχείο το νικέλιο χρησιμοποιούνται κυρίως σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα και σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι ανοξειδωτοί χάλυβες εμφανίζουν επίσης μέτρια ευχυτότητα.

2.4.5.5 Υπερθέρμανση. Υπερθέρμανση συμβαίνει κατά τη διάρκεια της χύτευσης ενός μεταλλικού υλικού το οποίο θερμαίνεται σε μία θερμοκρασία ποιά πάνω από το σημείο τήξης του. Αυτό γίνεται, ώστε το υλικό να έχει μία αυτό ικανοποιητική ρευστότητα για να καλύψει πλήρως το καλούπι κατά την διάρκεια της στερεοποίησης. Όταν ένα μεταλλικό υλικό υπερθερμαίνεται συμβαίνουν τα εξής:

1. το μέγεθος των κόκκων του μεταλλικού υλικού αυξάνονται.
2. το ποσό των απορροφώμενων αερίων π.χ. υδρογόνο και στην συνέχεια των διαλυόμενων, στο μεταλλικό υλικό αυξάνονται.

Αποτέλεσμα αυτών των φαινομένων είναι να μειώνεται η ποιότητα και ειδικότερα η μηχανική αντοχή του χυτού μεταλλικού υλικού. Για τον λόγο αυτό, ένα μεταλλικό υλικό θα πρέπει να υπερθερμαίνεται κατά τον ελάχιστο δυνατό, ώστε να λαμβάνονται μόνο ωφελήματα από την διαδικασία αυτή.

2.4.5.6 Φλόγιση. Όταν τα μεταλλικά υλικά δεν περιέχουν εγκλείσματα, ρωγμές και πόρους, τότε η χύτευση αυτών των μεταλλικών υλικών γίνεται ποιοτικά εύκολη. Για να θεωρηθεί η ποιότητα ενός χυτού υλικού ικανοποιητική πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθοι λόγοι: το χυτό μεταλλικό υλικό να ικανοποιεί την απαιτούμενη χημική σύσταση, το χυτό μεταλλικό υλικό να περιέχει ελάχιστο ποσοστό αερίων και εγκλεισμάτων και να χρησιμοποιηθεί η σωστή θερμοκρασία για την τήξη του. Όλες αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιηθούν χρησιμοποιώντας τις σωστές τεχνικές και τα σωστά μηχανήματα. Πολλές φορές προστίθεται στο τηγμένο μέταλλο μία στερεά, αέρια ή υγρά ουσία για να διευκολυνθεί η ροή του μετάλλου στο καλούπι και γενικότερα να παραχθεί ικανοποιητικό χυτό αντικείμενο. Η διαδικασία αυτή καλείται φλόγιση και οι προστιθέμενες ουσίες καλούνται φλογιστά.

Με τη προσθήκη φλογιστών στο τηγμένο υλικό γίνεται προσπάθεια να επιτευχθεί ένας ή περισσότεροι σκοποί από τους ακόλουθους:

1. ο έλεγχος των διαλυόμενων αερίων στο τήγμα.
2. ο έλεγχος του ιξώδους του οξειδίου ή των αποβλήτων που επιπλέουν στο τηγμένο μέταλλο.
3. ο καθαρισμός του τηγμένου μεταλλικού υλικού.
4. η απόθεση των φλογιστών στην επιφάνεια των τηγμένων μεταλλικών υλικών ώστε να αποφευχθεί η αντίδραση του τηγμένου μετάλλου με αέρια.

Τα φλογιστά χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. φλογιστά κάλυψης: τα συγκεκριμένα μειώνουν την οξείδωση και εμποδίζουν την αντίδραση του τηγμένου μετάλλου με αέρια της ατμόσφαιρας. Συνήθως, αυτά τα φλογιστά αποτελούνται από μίγματα χλωριδίων και χρησιμοποιούνται σε καλύπτες με ικανοποιητικό κόστος.
2. φλογιστά καθαρισμού: αυτά τα φλογιστά προστίθενται στα τηγμένα μεταλλικά υλικά για να απομακρυνθούν από αυτά διάφορα εγκλείσματα. Το φθόριο, κυρίως, χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του αλουμινίου. Το συγκεκριμένο φλογιστό έχει ικανοποιητικές ιδιότητες γιατί το φθόριο διαβρέχει τα μη μεταλλικά εγκλείσματα και μεταφέρει αυτά στην επιφάνεια του τηγμένου υλικού.
3. φλογιστά απομάκρυνσης αποβλήτων: αυτό το φλογιστό χρησιμοποιείται για την αποφυγή απώλειας μεγάλης ποσότητας τηγμένου υλικού. Αυτά τα φλογιστά αντιδρούν με διάφορα απόβλητα της χύτευσης και συγκρατούν μεταλλικό υλικό ώστε να μην παρασυρθεί μαζί με τα απόβλητα. Η χημική διαδικασία αυτών των φλογιστών στηρίζεται σε εξώθερμες χημικές αντιδράσεις. Επίσης, υπάρχουν τα φλογιστά εξαέρωσης και τα φλογιστά επίδρασης στο μέγεθος των κόκκων του χυτού μεταλλικού υλικού.

2.4.5.7 Ρωγμάτωση. Στο στερεοποιούμενο μεταλλικό υλικό, δημιουργούνται μεγάλες εφελκυστικές ή διατμητικές τάσεις. Λόγω αυτών των τάσεων στο υλικό

δημιουργούνται ρωγμές. Αυτές οι ρωγμές διακρίνονται κατά τη διάρκεια στερεοποίησης ή και μετά την στερεοποίηση. Οι ρωγμές αυτές είναι δύο τύπων.

Εξωτερικές ρωγμές που αρχίζουν από την επιφάνεια του χυτού μεταλλικού υλικού και κινούνται προς το εσωτερικό του. Αυτές οι ρωγμές εμφανίζονται σε επιφανειακά σημεία του υλικού, τα οποία έχουν υψηλή συγκέντρωση μηχανικών τάσεων π.χ. επιφανειακές ανωμαλίες, απότομες γωνίες.

Εσωτερικές ρωγμές, οι οποίες εμφανίζονται σε περιοχές του χυτού υλικού, που στερεοποιήθηκαν τελευταίες. Η κύρια αιτία εμφάνισης αυτών των ρωγμών είναι η ημιτελή πλήρωση του καλουπιού με το χυτό μεταλλικό υλικό.

2.4.5.8 Παραμένουσες μηχανικές τάσεις & απομάκρυνση αυτών. Παραμένουσες μηχανικές τάσεις καλούνται οι τάσεις, οι οποίες εμφανίζονται σε ένα μεταλλικό υλικό χωρίς την παρουσία εξωτερικών δυνάμεων. Αυτές οι τάσεις βρίσκονται σε στατική ισορροπία μέσα στο μεταλλικό υλικό. Η εμφάνιση των παραμενουσών μηχανικών τάσεων σε ένα χυτό μεταλλικό υλικό οφείλεται σε έναν από τους ακόλουθους παράγοντες: στη μετατροπή του υλικού από την υγρή στη στερεή φάση, στην μεταβολή του υλικού από μία στερεή φάση π.χ. ωστενιτική σε μια άλλη στερεή φάση π.χ. μαρτενσιτική, η οποία συνοδεύεται από μεταβολή στον όγκο του υλικού, στην κατακρήμνιση μίας στερεής φάσης στο χυτό υλικό, στην θερμική συστολή του υλικού κατά την στερεοποίηση του. Η επίδραση των παραμενουσών μηχανικών τάσεων στη συμπεριφορά των χυτών μεταλλικών υλικών μπορεί να έχει πολλές και διάφορες συνέπειες: αναπτύσσονται εύκολα ρωγμές, οπότε μειώνεται η μηχανική τους αντοχή, οι διαστάσεις τους καθίστανται ασταθείς, κατά την διάρκεια της χρήσης τους υφίστανται εύκολα οξειδωση, διάβρωση και εργοδιάβρωση, καθώς, επίσης, η ευλυγισία τους μειώνεται δραστικά. Λόγω των παραπάνω συνεπειών των παραμενουσών μηχανικών τάσεων στα χυτά μεταλλικά υλικά αναγκαίο είναι να υποβάλλονται αυτά, μετά τη στερεοποίησή τους, σε μια διαδικασία απομάκρυνσης αυτών των τάσεων. Αυτές οι διαδικασίες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: Μηχανικές και Θερμικές. Οι μηχανικές διαδικασίες είναι: η εκτόξευση χαλύβδινων σφαιριδίων (shot reening) στην επιφάνεια του χυτού μεταλλικού αντικειμένου, ώστε να απομακρυνθούν από αυτό οι εφελκυστικές τάσεις και κατά το δυνατόν να εισαχθούν θλιπτικές τάσεις. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής του αντικειμένου κυρίως στην κόπωση και στην διάβρωση υπό συνθήκες κόπωσης. Η ενδοτράχυνση. Η εισαγωγή του χυτού μεταλλικού υλικού σε μία συσκευή, η οποία επιφέρει ταλαντώσεις στο αντικείμενο αυτό. Έχει παρατηρηθεί ότι 25% των παραμενουσών μηχανικών τάσεων μπορούν να απομακρυνθούν από ένα σιδηρούχο χυτό αντικείμενο με την μέθοδο των ταλαντώσεων. Η μακρόχρονη γήρανση του χυτού μεταλλικού αντικειμένου στην ελεύθερη ατμόσφαιρα.

Οι θερμικές διαδικασίες, συνήθως, χρησιμοποιούνται περισσότερο και είναι ποιοτικά αποδοτικότερες από τις μηχανικές διαδικασίες. Η κυριότερη διαδικασία καλείται ανόπτηση και περιλαμβάνει την θέρμανση του χυτού μεταλλικού αντικειμένου σε μία θερμοκρασία και για ένα συγκεκριμένο χρόνο ώστε να απομακρυνθεί το πλείστον των παραμενουσών μηχανικών τάσεων. Η διαδικασία αυτή δεν πρέπει να επιδρά στην όλη μεταλλουργική συμπεριφορά του χυτού αντικειμένου. Η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται σε αυτή την διεργασία είναι μεταξύ 0,3 και 0,4 του σημείου τήξης του μεταλλικού αντικειμένου. Έχει παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία στην οποία ένα χυτό μεταλλικό αντικείμενο θερμαίνεται είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας για την απομάκρυνση των παραμενουσών μηχανικών τάσεων. Θα πρέπει να λαμβάνεται

υπόψη, ότι η ψύξη του μεταλλικού υλικού θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσα σε φούρνο με αργό και σταθερό ρυθμό.

2.4.6 Ποιοτικός έλεγχος χυτών μεταλλικών υλικών

2.4.6.1 Εισαγωγή. Όπως έχει τονισθεί και σε άλλα σημεία, διάφορες και ποικίλες ατέλειες π.χ. σπές, ρωγμές, κοιλότητες, εμφανίζονται στα χυτά μεταλλικά αντικείμενα. Η γεωμετρία και οι διαστάσεις των χυτών αντικειμένων ελέγχονται με γνωστά και απλά όργανα π.χ. κανόνας, μικρόμετρο, ενώ η μάζα τους ελέγχεται με ακριβή ζύγιση. Οι διάφορες μηχανικές ιδιότητες των ίδιων υλικών π.χ. μηχανική αντοχή, μέτρο ελαστικότητας, σκληρότητα, αντοχή στην κρούση και στην τριβή, καθορίζονται με τη χρήση καταστρεπτικών τεχνικών και οργάνων της Μεταλλογνωσίας. Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των κατασκευαζόμενων χυτών αντικειμένων πραγματοποιείται με την χρήση τεχνικών και οργάνων της Αναλυτικής Χημείας. Οι επιφανειακές και εσωτερικές ατέλειες σε διάφορα μεταλλικά υλικά και ιδιαίτερα στα χυτά, όπου αναλύονται παρακάτω και εντοπίζονται με την χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών.

2.4.6.2 Ραδιογραφία. Οι ακτίνες X και Y χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τον εντοπισμό ατελειών π.χ. κενών, ρωγμών, σε διάφορα χυτά μεταλλικά αντικείμενα. Η συγκεκριμένη μέθοδος, η οποία κάνει χρήση αυτών των ακτίνων, καλείται ραδιογραφία. Η χρήση των ακτίνων γίνεται, για τον λόγο ότι είναι ικανές να διαπεράσουν υλικά, τα οποία είναι μη διαπερατά στο φως. Όταν οι ακτίνες X λειτουργούν με 400 Kv είναι ικανές να ελέγξουν ένα χαλύβδινο χυτό αντικείμενο, το οποίο έχει πάχος 60 mm. Οι ακτίνες γ είναι ικανές να διαπεράσουν ταχύτερα χυτά μεταλλικά αντικείμενα. Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής εξάγονται από το ραδιογράφημα, το οποίο ουσιαστικά είναι ένα φιλμ το οποίο έχει εκτεθεί στην ακτινοβολία των ακτίνων X ή γ, αυτή η ακτινοβολία έχει προηγουμένως διαπεράσει το προς έλεγχο χυτό μεταλλικό αντικείμενο. Σκιές στο ραδιογράφημα αποδεικνύουν την ύπαρξη ατελειών στο χυτό αντικείμενο, διότι η ακτινοβολία διαπερνά μία ατέλεια όπως το κενό, ρωγμή κ.λπ., η οποία έχει μικρότερη πυκνότητα από το περιβάλλοντα χώρο, με μεγαλύτερη ένταση. Αυτό το γεγονός έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση σκιάς στο αρνητικό του φιλμ. Η δοκιμή αυτή, χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον έλεγχο της ποιότητας διαφόρων χυτών μεταλλικών αντικειμένων είναι δε μεγάλης ευαισθησίας και το ραδιογράφημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρκετό χρονικό διάστημα. Σήμερα έχουν κατασκευασθεί και κινητές συσκευές για την λήψη ραδιογραφημάτων. Κατά την χρήση της μεθόδου αυτής, πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη πρόνοια για να αποφευχθεί η διαρροή ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Η ραδιογραφία των ακτίνων Y διαφέρει από την ραδιογραφία των ακτίνων X στα ακόλουθα σημεία: 1) Οι ακτίνες Y χρησιμοποιούνται για παχύτερα χυτά μεταλλικά αντικείμενα, 2) οι ίδιες ακτίνες χρησιμοποιούνται επίσης και για χυτά αντικείμενα μεταβλητού πάχους, 3) οι ακτίνες Y απαιτούν χρονικό διάστημα ωρών για να ληφθούν αποτελέσματα σε αντίθεση με τις ακτίνες X όπου λαμβάνονται αποτελέσματα σε διάστημα λεπτών και 4) σε αντίθεση με τις ακτίνες X, η χρήση της ραδιογραφίας των ακτίνων Y δίνει ταυτόχρονα αποτελέσματα πολλών χυτών μεταλλικών αντικειμένων.

2.4.6.3 Δοκιμή με την χρήση μαγνητικών σωματιδίων. Αυτή η δοκιμή βασίζεται στις μαγνητικές γραμμές ή μαγνητική ροή, οι οποίες αναπτύσσονται μέσα στο προς μελέτη χυτό αντικείμενο. Αυτές οι μαγνητικές γραμμές είναι παράλληλη η μία προς την άλλη, εφόσον το δοκίμιο δεν περιέχει διάφορες ατέλειες. Αν όμως το δοκίμιο περιέχει π.χ. μία επιφανειακή ατέλεια, τότε γύρω από αυτή την ατέλεια δημιουργείται ένα μαγνητικό ζεύγος νοτίου και βορείου πόλου. Αν χρησιμοποιείται μαγνητική σκόνη για τον εντοπισμό μίας ατέλειας, τότε η σκόνη συγκεντρώνεται γύρω από το μαγνητικό ζεύγος δηλ. γύρω από την ατέλεια. Οπότε με τον τρόπο αυτό μπορεί να εντοπιστεί το σημείο στο οποίο έχει δημιουργηθεί η ατέλεια στο χυτό αντικείμενο. Δύο τύποι μαγνητών χρησιμοποιούνται σε αυτή την μέθοδο: ένας μόνιμος μαγνήτης ή ένας ηλεκτρομαγνήτης. Όταν απαιτείτε μεγάλο μαγνητικό πεδίο, τότε χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνήτης. Η μαγνητική σκόνη αποτίθεται πάνω στο δοκίμιο είναι στεγνή ή είναι διασκορπισμένη μέσα σε υγρό διαλύτη. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εντοπίσει όχι μόνο επιφανειακές ατέλειες, αλλά και ατέλειες, οι οποίες είναι κοντά στην επιφάνεια του δοκιμίου τότε αυτές οι ατέλειες δημιουργούν τοπική ανωμαλία στην ομαλή ροή του μαγνητικού πεδίου. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο αντιμετωπίζεται ένα σοβαρό πρόβλημα για τον εντοπισμό των ατελειών. Αυτό το πρόβλημα δημιουργείται από την διεύθυνση που έχουν οι ατέλειες σε σχέση με την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου δηλ. αν είναι κάθετες ή παράλληλες προς αυτό. Αν οι ατέλειες είναι κάθετες προς το μαγνητικό πεδίο ο εντοπισμός τους είναι άμεσος. Ενώ αν οι ατέλειες είναι παράλληλες προς το μαγνητικό πεδίο, ο εντοπισμός τους γίνεται πιο δύσκολος. Για τον λόγο αυτό, στη μέθοδο αυτή απαιτείται να λαμβάνονται μετρήσεις σε διάφορες διευθύνσεις του δοκιμίου προς την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου.

2.4.6.4 Δοκιμή με την χρήση υπερήχων. Μια ελαστική ιδιότητα ενός μετάλλου μπορεί να καθορισθεί σαν η μετατόπιση των ατόμων του μετάλλου, όταν χτυπηθεί αυτό με ένα άλλο αντικείμενο. Μία διαφορετική έννοια από την παραπάνω, είναι η μετάδοση της ενέργειας με την μετατόπιση των ατόμων από την θέση ισορροπίας τους. Με το συγκεκριμένο τρόπο, η ενέργεια μεταδίδεται από το ένα άκρο του μεταλλικού αντικειμένου στο άλλο. Οι μετατοπίσεις αυτές οι οποίες έχουν ελαστική υφή, καλούνται φωτόνια. Άρα οι ελαστικές ιδιότητες καθώς και οι ακουστικές ιδιότητες των μεταλλικών υλικών, μπορούν να καθορισθούν μικροσκοπικά με την χρήση φωτονίων. Κάθε όμως ατέλεια, όπως ρωγμή, κενό κ.λπ. η οποία υπάρχει στο μεταλλικό υλικό διαταράσσει την ομαλή εμφάνιση των φωτονίων δηλ. την ελαστική μετατόπιση των ατόμων από τη θέση ισορροπίας τους. Στο ποιοτικό έλεγχο πολλών υλικών, όπως των χυτών αντικειμένων, χρησιμοποιούνται οι υπέρηχοι. Αυτοί είναι κύματα τα οποία έχουν μεγαλύτερη συχνότητα από 25 KHz και μικρότερη από 25.000 KHz. Αυτά ανήκουν στην ακουστική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Σαν κύματα που είναι οι υπέρηχοι υφίστανται και αυτοί ανάκλαση, απορρόφηση, διάθλαση κ.λπ. σε διάφορα υλικά. Η γέννηση και η κίνηση των υπερήχων μέσω των μεταλλικών υλικών συνοδεύεται από ένα ακουστικό όργανο, το οποίο ονομάζεται μετατροπέας και αυτό το όργανο έχει την ικανότητα να τρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ακουστική. Όταν οι υπέρηχοι διαδίδονται μέσω ενός μεταλλικού αντικειμένου υφίστανται ένα ποσοστό απορρόφησης. Στην δοκιμή αυτή της ποιότητας ενός χυτού μεταλλικού αντικειμένου γίνεται βασική χρήση των υπερήχων. Σε αυτή την μέθοδο, ο μετατροπέας τοποθετείται στην επιφάνεια του προς έλεγχο χυτού αντικειμένου. Ένας συζευκτής, επίσης, χρησιμοποιείται μεταξύ του μετατροπέα και του προς εξέταση αντικειμένου.

Αυτός ο συζευκτής είναι μία ουσία ελαιώδους μορφής. Χρησιμοποιείται για να απομακρύνει τον αέρα από την επιφάνεια του αντικειμένου και με αυτό τον τρόπο να γίνεται ομαλή κίνηση των υπερήχων μεταξύ του μετατροπέα και του χυτού μεταλλικού αντικειμένου. Τρεις τύποι διαφορετικών συστημάτων χρησιμοποιούνται στην μέθοδο αυτή και είναι οι ακόλουθοι.

Το σύστημα ελέγχου το οποίο βασίζεται στους παλμικούς υπερήχους: το συγκεκριμένο σύστημα είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο για τον έλεγχο των χυτών μεταλλικών αντικειμένων και επίσης, βασίζεται στο φαινόμενο των παλμικών υπερήχων. Βάσει του συστήματος αυτού, ένας υπέρηχος γεννάται ο οποίος διέρχεται από τον μετατροπέα και στην συνέχεια από το υλικό. Ο ίδιος υπέρηχος επιστρέφει μέσω του μετατροπέα στην γεννήτρια των υπερήχων και απεικονίζεται στην οθόνη ενός παλμογράφου. Αν υπάρχει κάποια ατέλεια στο χυτό αντικείμενο, τότε αυτή ανακλά τον υπέρηχο, ο οποίος επιστρέφει στην γεννήτρια και απεικονίζεται στην οθόνη του παλμογράφου, με αυτή την διαδικασία εντοπίζονται οι ατέλειες. Το σήμα το οποίο λαμβάνεται στον παλμογράφο από όλο το αντικείμενο, χωρίς ατέλεια, έχει την μορφή α. Αν υπάρχει ατέλεια, τότε το σήμα στο παλμογράφο έχει την μορφή β. Η απόσταση στην οποία υπάρχει η ατέλεια, εξάγεται από την μορφή γ στο παλμογράφο. Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι υπέρηχοι έχουν παλμική μορφή. Όπως γίνεται αντιληπτό το σύστημα αυτό στηρίζεται στην ανακλώμενη ενέργεια από την ατέλεια του χυτού αντικειμένου και την σύλληψη της ενέργειας αυτής από το μετατροπέα. Το επόμενο σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται, είναι βασισμένο στη διάδοση των υπερήχων μέσω του χυτού αντικειμένου. Αυτό το σύστημα απαιτεί τη χρήση δύο μετατροπέων ο ένας στέλνει τα ηχητικά κύματα στο υλικό και ο άλλος τα λαμβάνει, αφού αυτά διαπεράσουν το υλικό. Όπως στο προηγούμενο σύστημα, έτσι και σε αυτό το σύστημα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παλμικοί υπέρηχοι. Σε αυτό το σύστημα, όταν ο μετατροπέας συλλάβει τους διερχόμενους υπερήχους τους στέλνει με την μορφή ηλεκτρικού σήματος στο παλμογράφο. Η ποιότητα του χυτού αντικειμένου έχει την δυνατότητα να εξαχθεί από την απώλεια της ενέργειας μέσα στο χυτό αντικείμενο, καθώς, διέρχονται από αυτό οι υπέρηχοι. Το τελευταίο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιείται, είναι βασισμένο στο φαινόμενο του συντονισμού των υπερήχων. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μετρηθεί το πάχος του αντικειμένου και να εντοπισθούν τυχόν ατέλειες, οι οποίες υπάρχουν μέσα σε αυτό. Στο σύστημα αυτό, σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα, χρησιμοποιούνται συνεχείς υπέρηχοι και όχι παλμικοί. Η συχνότητα των υπερήχων μεταβάλλεται ώστε τα ηχητικά κύματα, τα οποία διέρχονται στο χυτό αντικείμενο, να εμφανισθούν σαν στάσιμα κύματα. Μία μικρή διαφορά στην συχνότητα των στάσιμων υπερήχων λαμβάνεται από το μετατροπέα και αυτή η πληροφορία μεταφέρεται σαν ηλεκτρικό σήμα σε ένα παλμογράφο. Από το σήμα αυτό λαμβάνονται οι αναγκαίες πληροφορίες γύρω από την ποιότητα του χυτού μεταλλικού αντικειμένου. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονισθεί ότι ο μετατροπέας περιέχει βασικά ένα διηλεκτρικό υλικό, το οποίο εμφανίζει το φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού. Σε όλα τα παραπάνω συστήματα χρησιμοποιούνται δύο τρόποι με τους οποίους γίνεται η επαφή του μετατροπέα με το προς εξέταση αντικείμενο. Ο ένας τρόπος είναι αυτός της επαφής, κατά τον οποίο ο μετατροπέας έρχεται σε επαφή με το προς εξέταση αντικείμενο, αφού τεθεί μεταξύ τους ένα υγρό το οποίο καλείται συζευκτής. Ένας δεύτερος τρόπος είναι αυτός κατά τον οποίο ο μετατροπέας και το χυτό αντικείμενο ρίπτονται σε ένα δοχείο όπου περιέχει υγρό. Αυτό το υγρό δρα σαν συζευκτής και είναι συνήθως νερό. Τελειώνοντας θα πρέπει να τονισθεί ότι, οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιούνται επίσης, για τον έλεγχο της ποιότητας μεταλλικών αντικειμένων μετά από διάφορες και πολλές μεταλλογνωστικές διεργασίες π.χ. συγκολλήσεις.

2.4.6.5 Μοντέλα-Ορολογία χύτευσης. Ένα τυπικό καλούπι για χύτευση σε υγρή άμμο (πράσινη), στο οποίο φαίνεται η βασική ορολογία των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στα περισσότερα είδη χύτευσης. Τα καλούπια, όπου είναι και ο σημαντικότερος παράγοντας σε μία χύτευση, τις περισσότερες φορές, αλλά όχι πάντα, είναι διαιρετά και αποτελούνται από δύο μέρη. Εξαιρέση αποτελεί η χύτευση με μοντέλα από κερί ή θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, που εκεί χρησιμοποιείται ένα ολόσωμο καλούπι, καθώς και η χύτευση με μήτρα και γενικά όλες οι χυτεύσεις που επαναχρησιμοποιούν τα καλούπια. Σε αυτές τις χυτεύσεις χρησιμοποιούνται καλούπια ή μήτρες με περισσότερα από δύο μέρη προκειμένου να χυτευθούν πολύπλοκα αντικείμενα. Για να δοθεί στην κοιλότητα του καλουπιού το κατάλληλο σχήμα, ώστε να χυτευθεί το υλικό και να παραχθεί το χυτό, χρησιμοποιούνται τα μοντέλα. Τα μοντέλα ουσιαστικά είναι πιστά αντίγραφα του προϊόντος που πρόκειται να παραχθεί. Συνήθως κατασκευάζονται από ξύλο (λόγω του χαμηλού του κόστους), μέταλλο, γύψο ή συνθετικές ρητίνες. Το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής έχουν τα μεταλλικά μοντέλα και κατασκευάζονται από αλουμίνιο, μπρούντζο, χυτοσίδηρο κ.λπ. Ανάλογα με το υλικό, που πρόκειται να χυτευθεί, πρέπει να υπολογισθεί η συστολή που θα συμβεί στο μέταλλο μετά την απόψυξη. Η συστολή αυτή, που εκτείνεται προς όλες τις κατευθύνσεις, εξαρτάται από το υλικό και από τον όγκο του χυτού και πρέπει να ληφθεί υπόψη στην δημιουργία του μοντέλου, ώστε το τελικό χυτό να είναι στις διαστάσεις που προβλέπονται από το μηχανολογικό σχέδιο. Για αυτόν το λόγο, τα μοντέλα φτιάχνονται λίγο μεγαλύτερα από το χυτό που θέλουμε να παραχθεί. Στις περισσότερες διαδικασίες χύτευσης χρησιμοποιούνται πυρήνες ή καρδιές, που είναι φτιαγμένες από άμμο ή μέταλλο, μέσα στην κοιλότητα του καλουπιού, για να δημιουργήσουν εσωτερικές διαμορφώσεις στο χυτό. Κάθε καλούπι διαθέτει επίσης, ένα σύστημα καναλιών για να κατανεμηθεί το λιωμένο μέταλλο και κατακόρυφους αγωγούς για τροφοδοσία. Για τα κομμάτια που έχουν μεγάλο όγκο, υπάρχουν εντός των καλουπιών ενδιάμεσες αποθήκες υλικού. Ο ρόλος των αποθηκών αυτών είναι πολύ σημαντικός, γιατί στις περιπτώσεις μεγάλων κομματιών δημιουργούνται κενά στο χυτό από την στερεοποίηση των εξωτερικών επιφανειών πριν από το εσωτερικό του χυτού. Με τη χρήση τους, τα σφάλματα στερεοποίησης δημιουργούνται σε αυτές και το χυτό παραμένει χωρίς κενά. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζουν οι ενδιάμεσες αποθήκες, όταν πρόκειται να χυτευθούν πολύ καθαρά μέταλλα, διότι μαζεύονται σε αυτές οι τυχόν ακαθαρσίες, ενώ το χυτό παραμένει καθαρό.

2.4.6.6 Προβλήματα κατά την χύτευση. Τα προβλήματα στην χύτευση, κυρίως σχετίζονται με σφάλματα στην δημιουργία του καλουπιού, στην σχεδίαση του μοντέλου και των καρδιών, στην τοποθέτηση των οχετών εισόδου ή των ενδιάμεσων αποθηκών λιωμένου υλικού, στην διαδικασία της χύτευσης κ.λπ. Τέτοιου είδους σφάλματα δημιουργούν ελαττώματα στα χυτά αντικείμενα, που συνήθως είναι:

1. Ρωγμές που προέρχονται από την συρρίκνωση του υλικού του χυτού λόγω συστολής κατά την απόψυξη.
2. Εγκλείσματα από οξειδία που παραμένουν στο χυτό.
3. Σπηλαιώσεις που οφείλονται στην παρουσία αερίων στο μέταλλο κατά την στερεοποίηση.
4. Ασυνέχειες στο χυτό.

Με μη καταστροφικές μεθόδους γίνεται ο έλεγχος των χυτών. Η ραδιογραφία είναι μία από αυτές τις μεθόδους όπου με την βοήθεια της οποίας ελέγχεται η συνέχεια και η ομοιομορφία του υλικού, του χυτού αντικειμένου. Στην ραδιογραφία, προσπίπτουν ακτίνες Χ στο χυτό, η μεταβολή της έντασης των οποίων καταγράφεται σε φωτογραφικό φιλμ. Οι ατέλειες που μπορούν να διαπιστωθούν, πρέπει να είναι μεγαλύτερες του 2 % του πάχους του ελεγχόμενου χυτού αντικειμένου.

2.4.6.7 Χύτευση σε καλούπια μίας χρήσης. Η πιο παραδοσιακή μέθοδος χύτευσης είναι η χύτευση σε άμμο, η οποία χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες. Ακόμα και σήμερα, μεγάλο ποσοστό της παραγωγής χυτών αντικειμένων πραγματοποιείται με αυτή την μέθοδο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την άμμο (SiO_2) για την δημιουργία του καλουπιού, εκμεταλλευόμενη το μικρό της κόστος και την αντίστασή της στις υψηλές θερμοκρασίες. Συνήθως, αναμειγμένη χρησιμοποιείται η άμμος με διάφορα πρόσθετα που αυξάνουν ακόμα και τις ιδιότητές της. Τέτοιου είδους πρόσθετα είναι η άργιλος που χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό και το νερό. Στη χύτευση με άμμο υπάρχουν κάποια στάδια, για να πραγματοποιηθεί η χύτευση αυτή. Η δημιουργία του μοντέλου είναι η πρώτη εργασία στη χύτευση με άμμο. Το μοντέλο είναι πιστό αντίγραφο του τεμαχίου που πρόκειται να χυτευθεί και φτιάχνεται κυρίως από ξύλο ή μέταλλο, ανάλογα με τον αριθμό των χυτεύσεων που θα γίνουν και το μέγεθος του χυτού. Τα μοντέλα από ξύλο έχουν μικρό κόστος και χρησιμοποιούνται για λίγες χυτεύσεις. Συνήθως από ξύλο καρυδιάς ή βελανιδιάς κατασκευάζονται και γενικότερα από ξύλα που κατεργάζονται εύκολα. Τα μεταλλικά μοντέλα έχουν μεγαλύτερο κόστος και φτιάχνονται από αλουμίνιο, χυτοσίδηρο και μπρούντζο, ενώ μοντέλα φτιάχνονται και από συνθετικές ρητίνες, γύψο κ.λπ. Σε περιπτώσεις όπου το αντικείμενο, που πρόκειται να χυτευθεί έχει εσωτερική κοιλότητα, χρησιμοποιείται η καρδιά, δηλαδή ένας πυρήνας που θα παραμείνει κατά την διάρκεια της χύτευσης μέσα στο καλούπι και θα εξασφαλίσει την διαμόρφωση της κοιλότητας. Οι καρδιές συνήθως είναι κι αυτές από άμμο και φτιάχνονται σε ειδικό, για τον σκοπό αυτό. Η κατασκευή των καρδιών απαιτεί και αυτή ιδιαίτερη προσοχή ως προς τις διαστάσεις και την μορφή και περιλαμβάνει, εκτός από την καρδιά, και τα σημεία στήριξής της στο καλούπι. Σε ένα πλαίσιο καλουπιού μπορεί να τοποθετηθεί το μισό μοντέλο, ο σχετός πλήρωσης και οι ενδιάμεσες αποθήκες υλικού. Οι ενδιάμεσες αποθήκες υλικού εκτός από την αποφυγή δημιουργίας κενών στο χυτό, όπως ήδη αναφέρθηκε, παίζουν εδώ και το ρόλο των εξαεριστικών, για να απάγονται τα αέρια που δημιουργούνται κατά την χύτευση. Όλα τα στάδια απαιτούν λεπτούς χειρισμούς και επιδεξιότητα από τον τεχνίτη που πραγματοποιεί τη χύτευση. Ακόμη περισσότερο, η κατασκευή του μοντέλου απαιτεί μεγάλη επιδεξιότητα μία και πρέπει να έχει προβλεφθεί να απομακρύνεται εύκολα, χωρίς να καταστρέφει το αποτύπωμα στην άμμο, καθώς και η συστολή που θα υποστεί το τεμάχιο μετά την απόψυξή του. Αντίστοιχη επιδεξιότητα απαιτείται και στην κατασκευή των πυρήνων (καρδιών). Έτσι, για μεγάλα κομμάτια χρησιμοποιείται η χονδρόκοκκη άμμος, ενώ λεπτόκοκκη άμμος χρησιμοποιείται για χύτευση μικρών αντικειμένων. Επίσης, η άμμος μπορεί να είναι υγρή (πράσινη) για την χύτευση μικρών αντικειμένων, ενώ για την χύτευση μεγαλύτερων χρησιμοποιείται άμμος αποξηραμένη σε φούρνους. Για την δημιουργία των καλουπιών με άμμο, χυτών ιδιαίτερα μεγάλων διαστάσεων, χρησιμοποιείται ειδική μηχανή τροφοδοσίας της άμμου.

2.4.6.8 Χύτευση κελύφους. Η μέθοδος αυτή πρωτοεμφανίστηκε κατά την διάρκεια του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου. Στην μέθοδο αυτή το υλικό από το οποίο φτιάχνεται το καλούπι είναι λεπτή άμμος και 2,5-4 % θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη. Το μοντέλο είναι μεταλλικό και θερμαίνεται σε θερμοκρασία 175-270 °C. Η διαδικασία της χύτευσης κελύφους ακολουθεί πέντε στάδια που περιγράφονται παρακάτω. Τα στάδια είναι τα εξής:

1. Το μείγμα από την άμμο και την θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη τοποθετείται σε ένα πλαίσιο όπου και σκεπάζεται από πάνω με το θερμό μεταλλικό μοντέλο. Το πλαίσιο αναποδογυρίζεται και η άμμος πέφτει πάνω στο μοντέλο. Η θερμότητα του μοντέλου σκληραίνει τοπικά μία περιοχή πάχους περίπου 3,2 mm από την άμμο και την ρητίνη και δημιουργεί το κέλυφος.
2. Το πλαίσιο στην συνέχεια γυρίζει στην αρχική του θέση, η άμμος πέφτει στην βάση του πλαισίου και το κέλυφος παραμένει με το μοντέλο. Το μοντέλο μαζί με το κέλυφος τοποθετούνται σε φούρνο για μερικά λεπτά, ώστε το κέλυφος να σκληρυνθεί καλύτερα και να λάβει την τελική του μορφή.
3. Το κέλυφος απομακρύνεται από το μοντέλο.
4. Δύο ίδια τμήματα του κελύφους ενώνονται και δημιουργούν το καλούπι.
5. Το καλούπι που δημιουργήθηκε με τον τρόπο αυτό, τοποθετείται σε ένα πλαίσιο με άμμο για υποστήριξη του κελύφους κατά την χύτευση.

Στην μέθοδο αυτή, επιτυγχάνεται ακρίβεια στις διαστάσεις του χυτού είναι μόνο μερικά εκατοστά του χιλιοστού. Αυτό συμβαίνει λόγω της μηδενικής συρρίκνωσης που υφίσταται το κέλυφος.

2.4.6.9 Χύτευση με εξαμιζόμενο μοντέλο. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που γίνεται μικρός αριθμός χυτεύσεων. Στις περιπτώσεις αυτές, το κόστος κατασκευής των μοντέλων γίνεται ιδιαίτερα υψηλό. Έτσι, με την μέθοδο αυτή, κατασκευάζονται μοντέλα από πολυστυρένιο, γύρω από τα οποία τοποθετείται άμμος και δημιουργείται το καλούπι. Το μοντέλο παραμένει μέσα στο καλούπι και όταν έρθει σε επαφή με το λιωμένο μέταλλο εξαμιζείται, δημιουργώντας έτσι την κοιλότητα του καλουπιού. Με την μέθοδο αυτή μπορούν να χυτευθούν αρκετό πολύπλοκα αντικείμενα με μικρό κόστος.

2.4.6.10 Χύτευση σε γύψο. Σε αυτή την μέθοδο χύτευσης, το καλούπι είναι φτιαγμένο από γύψο με πρόσθετα, όπως είναι ίνες αμιάντου, ορυκτό του μαγνησίου και του πυριτίου. Τα υλικά αυτά αναμειγνύονται με νερό και το διάλυμα χύνεται και περιβάλλει το μοντέλο. Όταν το διάλυμα στερεοποιηθεί, απομακρύνεται το μοντέλο και το καλούπι, αφού ξηραίνεται σε θερμοκρασία 200 °C περίπου, είναι έτοιμο για χύτευση. Λόγω του καλουπιού από γύψο, αντέχει μέχρι την θερμοκρασία των 1200 °C. Η μέθοδος της χύτευσης με γύψο χρησιμοποιείται μόνο για χύτευση αλουμινίου, μαγνησίου, ψευδαργύρου και κραμάτων του χαλκού. Η χύτευση με γύψο δίνει πολύ καλή επιφάνεια του χυτού και λόγω της μικρής συρρίκνωσης του καλουπιού δίνει πολύ μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις. Έτσι η μέθοδος αυτή και η μέθοδος χύτευσης με την τεχνική του χαμένου κεριού και της χύτευσης σε κεραμικό καλούπι (που περιγράφονται παρακάτω) είναι γνωστές ως μέθοδοι χύτευσης ακρίβειας.

2.4.6.11 Χύτευση σε κεραμικό καλούπι. Η χύτευση σε κεραμικό καλούπι έχει μικρές διαφορές από την χύτευση σε γύψο. Ουσιαστικά η διαφορά βρίσκεται στα υλικά που χρησιμοποιούνται για το καλούπι. Το αντίστοιχο διάλυμα, που χύνεται γύρω από το μοντέλο για να δημιουργηθεί το καλούπι, είναι από ανθεκτικά υλικά στις υψηλές θερμοκρασίες, όπως το οξειδίο του Αλουμινίου (Al_2O_3), το οξειδίο του πυριτίου (SiO_2) και το ορυκτό ζirkon ($ZrSiO_4$). Τα υλικά αυτά δίνουν τη δυνατότητα χύτευσης μετάλλων και κραμάτων με υψηλό σημείο τήξης, όπως είναι τα σιδηρούχα κράματα. Η μέθοδος αυτή έχει σχετικά μεγάλο κόστος, αλλά δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ποιότητα της επιφάνειας του χυτού και στην ακρίβεια των διαστάσεών του.

2.4.6.12 Χύτευση με την τεχνική χαμένου κεριού. Η χύτευση με την τεχνική του χαμένου κεριού είναι από τις ποιό παλιές μεθόδους χύτευσης που χρησιμοποιήθηκαν. Στην μέθοδο αυτή το μοντέλο κατασκευάζεται από κεριό ή πλαστικό και καταστρέφεται σε κάθε χύτευση. Τα στάδια της μεθόδου είναι:

1. Το μοντέλο φτιάχνεται σε διαιρούμενο καλούπι με έγχυση κεριού ή πλαστικού.
2. Απομάκρυνση του μοντέλου από το καλούπι του.
3. Δημιουργείται το συνολικό μοντέλο της χύτευσης.
4. Το μοντέλο βυθίζεται μερικές φορές σε διάλυμα πυρίμαχων υλικών, όπως είναι η άμμος και συνδετικών υλικών, όπως το πυριτικό αιθύλιο και το πυριτικό νάτριο. Αφού κάθε φορά ξεραίνεται το στρώμα της επικάλυψης, το μοντέλο ξαναβυθίζεται στο διάλυμα, ώστε να αυξηθεί το πάχος της επικάλυψης (3 έως 6 mm).
5. Το μοντέλο βυθίζεται σε στόκο και επικαλύπτεται με αυτόν.
6. Το έτοιμο μοντέλο.
7. Το επικαλυμμένο μοντέλο τοποθετείται σε φούρνο γύρω στους 1100 °C, όπου λιώνει το κεριό ή το πλαστικό και απομένει το έτοιμο καλούπι.
8. Πραγματοποιείται η χύτευση.
9. Το καλούπι καθαρίζεται σπάζοντας την επικάλυψη.
10. Έτοιμα χυτά κομμάτια, αφού αφαιρεθούν οι αγωγοί τροφοδοσίας και η χοάνη πληρώσεως. Με αυτό τον τρόπο κατασκευάζονται σύνθετα κομμάτια που είναι δύσκολο και μη οικονομικό να κατασκευασθούν με άλλη μέθοδο χύτευσης. Τυπικά παραδείγματα είναι: υδραυλικές βάνες, πτερύγια αεριοστροβίλων κ.λπ. Συγκριτικά με άλλες μεθόδους, η μέθοδος με την τεχνική του χαμένου κεριού έχει αρκετά πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα. Αυτοματοποιείται εύκολα, ιδιαίτερα για παραγωγή πολύ μικρών αντικειμένων και έτσι έχει χαμηλό κόστος. Από την άλλη μεριά απαιτεί πολλές διαφορετικές φάσεις για την πραγματοποίησή της και γι' αυτό δεν είναι προτιμότερη από την χύτευση σε άμμο, εκτός από την περίπτωση που τα χυτά κομμάτια πρέπει να έχουν μεγάλη ακρίβεια και καλή τελική επιφάνεια. Ως κανόνας, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους που δίνουν καλή ακρίβεια σε διαστάσεις και ποιότητα επιφάνειας, η χύτευση με την τεχνική του χαμένου κεριού προτιμάται για παραγωγή σύνθετων αντικειμένων σε μικρές διαστάσεις. Αντίθετα, η χύτευση σε κέλυφος προτιμάται για παραγωγή απλών αντικειμένων με μεγάλες όμως διαστάσεις.

2.4.6.13 Χύτευση με καλούπια πολλαπλών χρήσεων. Στην συγκεκριμένη μέθοδο το καλούπι είναι κατασκευασμένο, ανάλογα με το υλικό που θα χυτευθεί, από χυτοσίδηρο, χάλυβα, μπρούντζο ή πυρίμαχα κράματα μετάλλων. Το καλούπι χωρίζεται σε δύο τμήματα και κλείνει με μηχανικό τρόπο. Μετά την εισαγωγή του λιωμένου μετάλλου, το καλούπι ανοίγει και το χυτό απομακρύνεται. Η παροχή του λιωμένου μετάλλου γίνεται με βαρύτητα σε αντίθεση με τη χύτευση σε μήτρα, όπου το λιωμένο μέταλλο αναγκάζεται να εισέλθει στο καλούπι με πίεση. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για μη σιδηρούχα κράματα, όπως: μόλυβδο, ψευδάργυρο, κράματα μαγνησίου, μπρούντζο και χυτοσίδηρο, και έχει πλεονέκτημα την μεγάλη της παραγωγικότητα. Τυπικά παραδείγματα προϊόντων που παράγονται με την συγκεκριμένη μέθοδο είναι: έμβολα μηχανών εσωτερικής καύσης, block κυλίνδρων για συμπιεστές ψυγείων, εξαρτήματα γραφομηχανών από αλουμίνιο κ.λπ. Η χύτευση σε μόνιμο καλούπι γίνεται συνήθως χειροκίνητα, σε άλλες περιπτώσεις όμως γίνεται και με μηχανικό τρόπο. Στην περίπτωση αυτή το καλούπι μεταφέρεται σε διάφορες θέσεις εργασίας για καθαρισμό, τοποθέτηση των καρδιών, κλείσιμο, ψύξη, άνοιγμα και απομάκρυνση του χυτού.

2.4.6.14 Χύτευση με χαμηλή πίεση. Η χύτευση με χαμηλή πίεση διαφέρει από την χύτευση σε μόνιμο καλούπι στην διαδικασία εισόδου του λιωμένου μετάλλου. Το λιωμένο μέταλλο βρίσκεται σε ειδικό δοχείο που θερμαίνεται συνεχώς και αναγκάζεται να εισέλθει στο καλούπι μέσω πίεσης, η οποία παραμένει μέχρι το υλικό να στερεοποιηθεί. Μόλις σταματήσει η πίεση, το χυτό απομακρύνεται, ενώ το παραμένον λιωμένο μέταλλο στον αγωγό επιστρέφει στο δοχείο. Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει μεσαίας τάξης ποιότητα επιφάνειας στο χυτό και διαστατική ακρίβεια. Χρησιμοποιείται για την χύτευση αλουμινίου σε γύψινα καλούπια και χυτοσιδήρου. Παραλλαγή της μεθόδου αυτής είναι η χύτευση σε κενό. Στην μέθοδο αυτή, άμμος συγκρατείται στο καλούπι με την βοήθεια κενού. Τα δύο τμήματα του καλουπιού επικαλύπτονται με λεπτό στρώμα πλαστικού, ώστε να διατηρείται το κενό αυτό. Τα μοντέλα στην μέθοδο αυτή κατασκευάζονται, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους.

2.4.6.15 Χύτευση σε μήτρα. Η χύτευση στη μήτρα μοιάζει με την χύτευση σε μόνιμο καλούπι και σε χαμηλή πίεση. Σε αυτή την μέθοδο ασκείται πίεση στο λιωμένο μέταλλο που βρίσκεται σε ένα δοχείο, ώστε να γεμίσει ταχύτατα την κοιλότητα μίας μήτρας. Οι μήτρες αυτές κατασκευάζονται από χαλυβοκράματα ή ανθρακούχους χάλυβες, ανάλογα του υλικού που πρόκειται να χυτευθεί. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. η μεγάλη της παραγωγικότητα. Η παραγωγή μπορεί να φτάσει τα 1000 κομμάτια την ώρα, ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθος του κομματιού που θα χυτευθεί,
2. μεγάλη διαστατική ακρίβεια και καλή ποιότητα επιφάνειας στα χυτά,
3. χυτά με αυξημένη μηχανική αντοχή και
4. πολύ μικρή συρρίκνωση λόγω συστολής στο χυτό, που οφείλεται στην πίεση που ασκείται κατά τη χύτευση και τη στερεοποίηση.

Η χύτευση σε μήτρα έχει δύο βασικούς τύπους, στη χύτευση, όπου το λιωμένο μέταλλο βρίσκεται σε θερμό θάλαμο μέσα στην μηχανή χύτευσης (που λέγεται χυτόπρεσσα), και στην χύτευση, όπου το λιωμένο μέταλλο λιώνει εκτός της μηχανής χύτευσης και τοποθετείται σε θάλαμο, όπου συμπιέζεται και οδηγείται στην μήτρα. Περιγραφή του ενός τρόπου, το λιωμένο μέταλλο μεταφέρεται στην κοιλότητα του καλουπιού με την βοήθεια πίεσης που ασκείται από ένα έμβολο ή με πίεση από αέρα και μέσω ενός αγωγού σε μορφή "λαιμού χήνας". Η μέθοδος αυτή λέγεται και μέθοδος θερμού θαλάμου. Περιγραφή της άλλης μεθόδου, το λιωμένο μέταλλο μεταφέρεται με δοχείο και χύνεται στο εσωτερικό ενός αγωγού. Στην συνέχεια, με την βοήθεια εμβόλου, το λιωμένο μέταλλο συμπιέζεται και γεμίζει την μήτρα. Η μέθοδος αυτή λέγεται και μέθοδος ψυχρού θαλάμου. Και στις δύο προαναφερόμενες περιπτώσεις, το έτοιμο χυτό απομακρύνεται με κατάλληλους εξολκείς και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

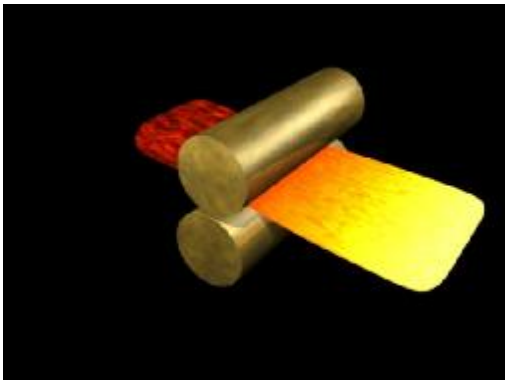
2.4.6.16 Φυγοκεντρική χύτευση. Στην φυγοκεντρική χύτευση χύνεται, με σταθερή παροχή, λιωμένο μέταλλο σε ένα περιστρεφόμενο μεταλλικό καλούπι. Οι φυγόκεντρες δυνάμεις, που αναπτύσσονται με την περιστροφή, οδηγούν το λιωμένο μέταλλο στην εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού. Με αυτή την μέθοδο μπορούν να κατασκευασθούν χυτοσίδηροι σωλήνες μεγάλων διαμέτρων, κύλινδροι και γενικά τεμάχια συμμετρικά εκ περιστροφής. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το χαμηλό κόστος, η καλή ποιότητα του χυτού και η οικονομία στο υλικό, μία και δε χρησιμοποιούνται αγωγοί πληρώσεως, ενδιάμεσες αποθήκες κ.λπ. Η οικονομία που γίνεται στο υλικό φθάνει το 40 %.

2.4.6.17 Χύτευση σφυρηλάτησης. Η χύτευση με σφυρηλάτηση είναι σχετικά νέα μέθοδος χύτευσης και πρώτο εμφανίστηκε στην δεκαετία του '60. Η μέθοδος αυτή μοιάζει με την σφυρηλάτηση, επειδή χρησιμοποιείται μία μήτρα στην οποία μέσα χύνεται το λιωμένο μέταλλο, ένα έμβολο που διαμορφώνει το υλικό με πίεση (όπως στην σφυρηλάτηση) και ένας εξολκείας για να απομακρύνει το χυτό.

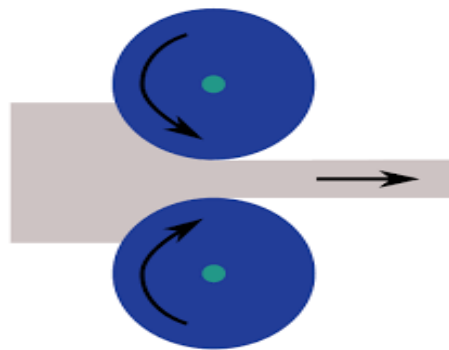
2.4.6.18 Συνεχής χύτευση. Στην συνεχή χύτευση εισέρχεται λιωμένο μέταλλο από το ένα άκρο ενός καλουπιού, όπου είναι ανοικτό και από τις δύο άκρες, ψύχεται απότομα και εξέρχεται στερεοποιημένο από το άλλο άκρο του καλουπιού, έχοντας μία συγκεκριμένη μορφή. Υλικά που χυτεύονται με αυτή την διαδικασία είναι ο χαλκός, ο μπρούντζος, το αλουμίνιο και σε ειδικές περιπτώσεις ο χάλυβας, ο χυτοσίδηρος κ.λπ. Μία τυπική διαδικασία συνεχούς χύτευσης γίνεται ως εξής: το υλικό χύνεται μέσα στο καλούπι ή σε μήτρα από ένα ενδιάμεσο φούρνο. Το πάνω μέρος του καλουπιού ψύχεται με ψεκασμό νερού, ώστε το λιωμένο μέταλλο να ψύχεται και να στερεοποιείται γρήγορα. Το στερεό πλέον μέταλλο απομακρύνεται συνεχώς με την βοήθεια περιστρεφόμενων κυλίνδρων και κόβεται στο μήκος που είναι επιθυμητό. Η διαδικασία ξεκινά με μία αρχική ράβδο στην οποία χύνεται το πρώτο μέταλλο. Η συνεχής χύτευση χρησιμοποιείται για παραγωγή τυποποιημένων ράβδων διαφόρων διατομών, είτε αυτές είναι κοίλες, είτε γεμάτες. Οι διαστάσεις μπορούν να κυμαίνονται από μερικά mm σε διάμετρο, έως περίπου 250 mm, ενώ το μήκος των ράβδων που παράγονται φθάνει τα 6 m. Οι μήτρες ή τα καλούπια που χρησιμοποιούνται είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή γραφίτη, είναι απλά στην κατασκευή τους και οικονομικά.

2.5 ΕΛΑΣΗ

2.5.1 Γενικά. Η έλαση πραγματοποιείται σε ειδικές εγκαταστάσεις που αποκαλούνται ελασματοουργεία και στόχος της είναι η μορφοποίηση των μετάλλων, που έχουν εξαχθεί από τα χυτήρια. Τα ελασματοουργεία αποτελούνται από ειδικές μηχανές οι οποίες απαρτίζονται από ένα ή περισσότερα ζεύγη ράουλων (κυλίνδρων) τα οποία συγκρατούνται από κατάλληλες βάσεις, όπου το μέταλλο διέρχεται μέσω αυτών για την επίτευξη της μείωσης του πάχους του. Η μείωση του πάχους του μεταλλικού υλικού, γίνεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη την επιφάνεια του. Η έλαση με βάση την θερμοκρασία του ελαυνόμενου υλικού διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Η μία είναι η θερμή έλαση, όπου η θερμοκρασία του μετάλλου είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης και η άλλη είναι η ψυχρή έλαση, όπου η θερμοκρασία του μετάλλου είναι μικρότερη από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης. Στην βιομηχανία, η θερμή έλαση είναι η σημαντικότερη από όλες της βιομηχανικές διεργασίες και η ψυχρή έλαση το ίδιο, λόγω της υψηλής χωρητικότητας που προσφέρει σε σύγκριση με τις άλλες ψυχρές διεργασίες. Στα ελασματοουργεία, το ποιοτικό σύννηθες επεξεργαζόμενο υλικό είναι ο χάλυβας. Ο χάλυβας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή δομικών χαλύβων (π.χ. δοκάρια, μεταλλικές γωνίες κ.λπ.), μεταλλικών ράβδων και ραγών.



Εικόνα 2.29: Έλαση μετάλλου
[<data:image/jpeg;base64,/>]



Εικόνα 2.30: Έλαση σχηματικής μορφής
[<https://upload.wikimedia.org/>]

2.5.2 Τυποποίηση προϊόντων έλασης. Κατά την διάρκεια της έλασης, το μεταλλικό υλικό περνάει από διάφορα στάδια, τα ονομαζόμενα πάσα. Το μεταλλικό υλικό που πρόκειται να υποβληθεί σε κατεργασία διαμόρφωσης ονομάζεται προϊόν χύτευσης ή πλίνθωμα, ενώ τα προϊόντα που παράγονται από τα μετέπειτα στάδια διακρίνονται σε επιμήκη (π.χ. μπιγέτες, ράβδοι κ.λπ.) και σε πλατιά (π.χ. ελάσματα, πλάκες κ.λπ.).

Η τυποποίηση έχει ως εξής:

α) Ημι-κατεργασμένα προϊόντα:

- Μπιγέτα πρώτης έλασης με διατομή τετραγωνική και εμβαδόν ίσο ή μεγαλύτερο του 15 cm x 15 cm.
- Μπιγέτα με περαιτέρω μείωση στο πάχος:
 - 1) Μπιγέτα με διατομή τετραγωνική και εμβαδόν ίσο ή μεγαλύτερο του 4 cm x 4 cm.
 - 2) Πλάκα με διατομή τετραγωνική και εμβαδόν ίσο ή μεγαλύτερο του 100 cm², με πλάτος διπλάσιο του πάχους της.

β) Τελικά προϊόντα:

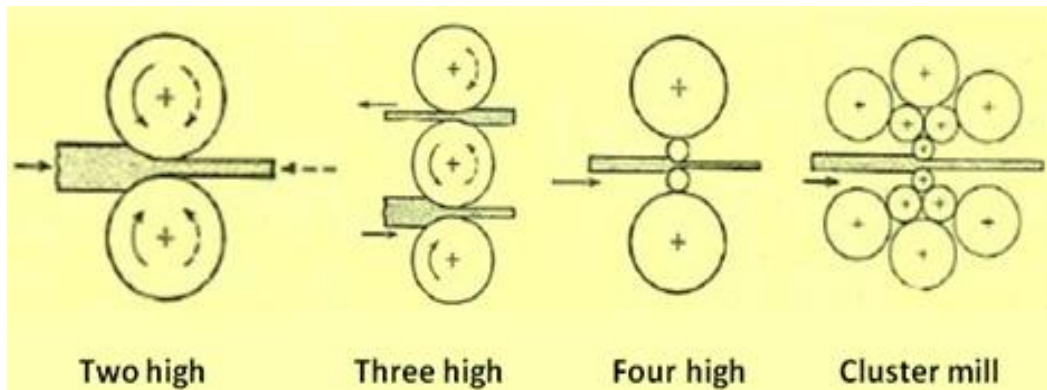
- Επιμήκη προϊόντα από την έλαση μπιγетών (π.χ. μορφοδοκοί, ήλοι με σπείρωμα κ.λπ.)
- Πλατιά προϊόντα από την έλαση πλακών, τα οποία ποικίλουν με βάση το πάχος και πλάτος τους:
 - 1) Ελάσματα με πάχος ίσο ή μεγαλύτερο του 6 mm.
 - 2) Λεπτά ελάσματα με πάχος μεγαλύτερο του 6 mm και πλάτος ίσο ή μεγαλύτερο του 600 mm.
 - 3) Λεπτές λωρίδες με πάχος μεγαλύτερο του 6 mm και πλάτος μεγαλύτερο του 600 mm.

2.5.3 Εργαλειομηχανές έλασης. Σε ένα ελασματοουργείο η εργαλειομηχανή έλασης αποκαλείται έλαστρο. Το έλαστρο απαρτίζεται από ράουλα, των οποίων οι άξονες περιστρέφονται μέσα σε κουζινέτα και όλα αυτά μαζί είναι τοποθετημένα μέσα σε ένα ειδικό κέλυφος. Η κίνηση στα ράουλα μεταδίδεται ανεξάρτητα στο κάθε ένα, από ένα αξονικό σύστημα συνδεδεμένο με τα άκρα των αξόνων, με την χρήση σταυροειδών συνδέσμων. Για να επιτευχθεί η κίνηση στα ράουλα το αξονικό σύστημα παραλαμβάνει ισχύ από ένα σύστημα ηλεκτροκινητήρα/μειωτήρα. Τα ράουλα μοιάζουν με κυλινδρικά τύμπανα από υλικό χάλυβα, με διατομή ομοιόμορφη ή κατάλληλης διατομής, ώστε το τελικό προϊόν να έχει την απαιτούμενη γεωμετρία, καλύπτοντας τις ανάγκες μας. Τα ράουλα που χρησιμοποιούνται για την πλαστική παραμόρφωση είναι εγκαταστημένα το ένα πάνω στο άλλο με την χρήση οριζόντιων αξόνων και παράλληλα κατακόρυφα ράουλα βοηθούν για τον έλεγχο του πλάτους, του τελικού προϊόντος.

Τα έλαστρα, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την εργασία τους και τα υποβαλλόμενα φορτία. Αυτά είναι:

- 1) Έλαστρο με δύο ράουλα (2-high mill). Απλή κατασκευή ελάστρου.
- 2) Έλαστρο με δύο ράουλα και με αναστρεφόμενη κίνηση (2-high reversing mill). Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη μείωση του πάχους του δοκιμίου με την αλλαγή περιστροφής των ραούλων.
- 3) Έλαστρο με τρία ράουλα (3-high mill). Τα πάνω και τα κάτω ράουλα στρέφονται και παράλληλα το μεσαίο ράουλο στρέφεται μέσω της αναπτυσσόμενης τριβής.
- 4) Έλαστρο με τέσσερα ράουλα (4-high mill). Σε δύο ράουλα αντιστήριξης μεγάλης διαμέτρου, γίνεται η στήριξη των μικρότερων σε διάμετρο, ενεργών ραούλων. Με αυτήν την διάταξη, επιτυγχάνεται η ελάττωση του κινδύνου της κάμψης των ραούλων από τα φορτία που αναπτύσσονται κατά την έλαση.

- 5) Έλαστρο τύπου cluster (cluster mill). Μέσω δύο ραούλων αντιστήριξης γίνεται τη στήριξη του κάθε ραούλου, ενώ παράλληλα τα πρώτα στηρίζονται και αυτά από άλλα δύο μεγαλύτερα. Παρόμοιο είναι και το έλαστρο τύπου Sendzimir, το οποίο είναι κατάλληλο για την κατεργασία πολύ λεπτών ελασμάτων.



Εικόνα 2.31: Έλαστρα όλων των παραπάνω ειδών
[\[http://ispatguru.com/\]](http://ispatguru.com/)

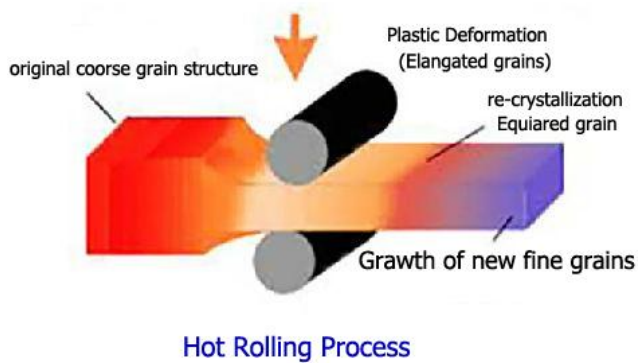
2.5.4 Θερμή και ψυχρή έλαση

2.5.4.1 Θερμή έλαση. Η θερμή έλαση είναι μία διαδικασία, η οποία πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία του υλικού είναι μεγαλύτερη από αυτήν της ανακρυστάλλωσης του. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, οι κόκκοι του υλικού παραμορφώνονται και έπειτα ανακρυσταλλώνονται, ενώ παράλληλα διατηρείται μια ισαξονική μικροδομή με τους κόκκους να εμποδίζουν την σκλήρυνση του υλικού. Τα πρωτογενή υλικά που χρησιμοποιούνται στην θερμή έλαση είναι κυρίως ημιτελή προϊόντα χύτευσης, πλάκες, πρίσματα κ.α. Σε περίπτωση που τα παραπάνω προϊόντα εξαγονται από μία διαδικασία συνεχούς χύτευσης, τότε στέλνονται απευθείας σε εγκαταστάσεις έλασης με την απαιτούμενη θερμοκρασία. Αντίθετα, σε μικρές εγκαταστάσεις όπου οι εργασίες είναι απλές, το υλικό βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου και στην συνέχεια θερμαίνεται ώσπου να αποκτήσει την κατάλληλη θερμοκρασία, για να μπορέσει να υποστεί θερμή έλαση. Η απόκτηση της κατάλληλης θερμοκρασίας του υλικού επιτυγχάνεται σε λουτρό εμποτισμού αερίου ή πετρελαίου για τα μεγάλα τεμάχια εργασίας και με επαγωγική θέρμανση για τα μικρά τεμάχια εργασίας. Η θερμοκρασία του υλικού επιβλέπεται συνεχώς για να επιβεβαιωθεί ότι βρίσκεται πάνω από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης. Αυτή η θερμοκρασία πρέπει να βρίσκεται περίπου στους 50 με 100 °C πάνω από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης. Σε περίπτωση που αυτή μειωθεί κάτω από αυτό το όριο, τότε γίνεται επαναθέρμανση του υλικού πριν την επεξεργασία της θερμής έλασης.

Τα προϊόντα της θερμής έλασης έχουν σχετικά μικρή κατεύθυνση στις μηχανικές τους ιδιότητες και επαγόμενη παραμόρφωση από τις παραμένουσες τάσεις. Αρκετές φορές, τα μη μεταλλικά εγκλείσματα προσδίδουν μία μικρή κατευθυντικότητα και τα προϊόντα πάχους μικρότερο από τα 20 mm έχουν συγκεκριμένες κατευθυντικές ιδιότητες. Όταν η ψύξη του υλικού δεν είναι ομοιόμορφη μπορεί να προκληθούν αρκετές παραμένουσες τάσεις, οι οποίες γίνονται αντιληπτές σε δοκίμια που δεν έχουν ομοιόμορφη διατομή. Σε υψηλές θερμοκρασίες σχηματίζεται ένα οξειδίο το οποίο έχει την μορφή σκωρίας και καλύπτει το τελικό

προϊόν. Η απομάκρυνση της συγκεκριμένης σκωρίας επιτυγχάνεται μέσω της αποσκωρίωσης ή της διαδικασίας ομαλής καθαρής επιφάνεια, από την οποία προκύπτει μία λεία μεταλλική επιφάνεια.

Ο χάλυβας που προέρχεται από την θερμή έλαση σε σύγκριση με αυτόν της ψυχρής έλασης, έχει μεγαλύτερη ανοχή, παρόλα αυτά, είναι δυσμενής η χρήση του στα σιδηρουργεία. Ένα πλεονέκτημα της θερμής έλασης είναι ότι τα προϊόντα της είναι ποιό οικονομικά από τα προϊόντα της ψυχρής έλασης, κάτι που δεν αφορά μόνο τον χάλυβα αλλά και μέταλλα παρόμοια με αυτόν. Γενικώς, η θερμή έλαση είναι μία διαδικασία που λαμβάνει χώρα για την παραγωγή λαμαρινών ή προϊόντων απλών διατομών. Επίσης, τα προϊόντα της θερμής έλασης βρίσκουν εφαρμογή σε πλαίσια φορηγών, τροχούς αυτοκινήτων, σωλήνες, μεταλλικά κτίρια, πόρτες, ράφια, κ.λπ.



Εικόνα 2.32: Διαδικασία θερμής έλασης
[<data:image/jpeg;base64,/>]

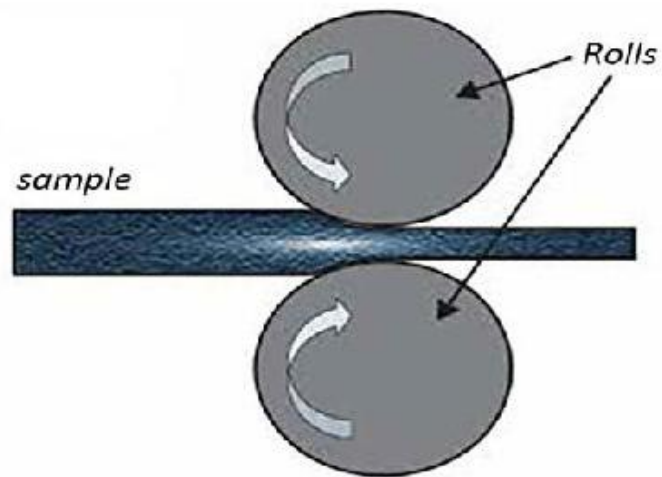


Εικόνα 2.33: Έλαστρο θερμής έλασης
[<http://www.kanabco.com/>]

2.5.4.2 Ψυχρή έλαση. Η ψυχρή έλαση είναι μία διαδικασία, η οποία πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία του υλικού είναι μικρότερη από αυτήν της ανακρυστάλλωσης του. Κατά την ψυχρή έλαση, το μέταλλο αποκτάει μεγαλύτερη αντοχή λόγω της σκλήρυνσής του, που αυξάνεται έως και 20 % αλλά και βελτιωμένο φινίρισμα της επιφάνειάς του. Η ψυχρή έλαση χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή φύλλων, ταινιών, ραβδών κ.λπ. και τα προϊόντα της είναι συνήθως μικρότερου μεγέθους από ότι αυτά της θερμής έλασης. Τα προϊόντα της ψυχρής έλασης λόγω του μεγέθους τους και της μεγάλης αντοχής τους, επεξεργάζονται από έλαστρα τεσσάρων ραούλων ή έλαστρα τύπου cluster. Στην ψυχρή έλαση το πάχος ενός μετάλλου δεν μπορεί να ελατωθεί αρκετά με ένα μόνο πέρασμα, σε αντίθεση με την θερμή έλαση όπου η αφαίρεση του πάχους είναι μεγαλύτερη.

Τα παραγόμενα προϊόντα της ψυχρής έλασης όπως τα φύλλα και οι ταινίες, διακρίνονται με βάση την σκληρότητα τους σε: πλήρως σκληρές, μισό-σκληρές, τέταρτο-σκληρές και δέρμα έλασης ή δερματική διέλευση. Η έλαση με πλήρη σκλήρυνση σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διαδικασίες, δίνει την δυνατότητα περισσότερης ελάττωσης του πάχους ενός τεμαχίου μέχρι και 50 %. Αντίθετα, η έλαση δέρματος προσφέρει μείωση πάχους μόνο 0,5 με 1 %. Η έλαση δέρματος εφαρμόζεται κυρίως για την λείανση επιφανείας, ομοιόμορφη κατανομή πάχους και την αποφυγή της εμφάνισης του φαινομένου σημείου διαρροής. Κατά το φαινόμενο σημείου διαρροής σχηματίζονται στο μέταλλο οι λεγόμενες ζώνες Lüders, οι οποίες έχουν να κάνουν με την πλαστική παραμόρφωση στα μέταλλα, που υφίστανται τάσεις εφελκυσμού. Αυτές κυρίως, εμφανίζονται στους χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και σε ορισμένα κράματα Al-Mg. Με την έλαση δέρματος εμποδίζεται η διαμόρφωση των ζωνών Lüders στο μέταλλο, με την εξάλειψη των εξάρσεων στην επιφάνεια του. Επίσης, για να μην σχηματιστούν οι ζώνες Lüders, χρειάζεται η δημιουργία απαραίτητης πυκνότητας μη στερεωμένης έξαρσης σε κατάλληλες μήτρες φερρίτη. Επιπλέον, η έλαση δέρματος εξυπηρετεί στην διάσπαση των πλεγμάτων, των γαλβανισμένων χαλύβων. Σε περιπτώσεις διαδικασιών ψύχους, όπου είναι απαραίτητη η καλή ολκιμότητα του μετάλλου, το δέρμα έλασης είναι η καταλληλότερη διαδικασία έλασης.

Εκτός των απλών σχημάτων, σχήματα με σχετικά ομοιόμορφη διατομή και με μικρή εγκάρσια διατομή, μπορούν να υποβληθούν ψυχρή έλαση. Οι διαδικασίες ψυχρής έλασης για να εφαρμοστούν, χρειάζεται να γίνει μία σειρά από διάφορες λειτουργίες διαμορφώσεων, συνήθως κατά μήκος των διαστάσεων του μετάλλου όπως για παράδειγμα: αφαίρεση, ημι-αφαίρεση, φινίρισμα και ημι-φινίρισμα. Οι χάλυβες που επεξεργάζονται σε σιδηρουργεία, επιτρέπουν μία ποιά εύκολη επεξεργασία λόγω των χαμηλών ποσοτήτων άνθρακα που είναι εγκλωβισμένα στον χάλυβα, με ένα μόνο μειονέκτημα, την άνοδο του κόστους. Οι χάλυβες ψυχρής έλασης χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μεγάλης γκάμας προϊόντων, όπως: μεταλλικά έπιπλα, οικιακές συσκευές, μαγειρικά είδη, εξαρτήματα οχημάτων, υδραυλικά και ηλεκτρολογικά εξαρτήματα κ.α.



Cold Rolling Process

Εικόνα 2.34: Διαδικασία ψυχρής έλασης
[<http://techminy.com/wp-content/>]



Εικόνα 2.35: Έλαστρο ψυχρής έλασης
[<http://www.digidrives.in/>]

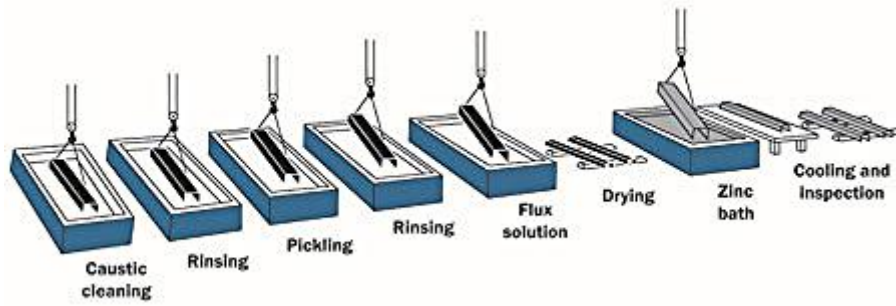
2.6 ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΑ

2.6.1 Εισαγωγή. Το γαλβάνισμα ή θερμό γαλβάνισμα, είναι μία διαδικασία που πραγματοποιείται σε ειδικές εγκαταστάσεις που ονομάζονται γαλβανιστήρια. Το θερμό γαλβάνισμα εξυπηρετεί στην προστασία του χάλυβα ή χυτοσιδήρου από την διάβρωση. Αυτό επιτυγχάνεται με την επικάλυψη του υλικού με ψευδάργυρο σε λουτρό λιωμένου ψευδαργύρου, όπου το μέταλλο βυθίζεται μέσα σε αυτό. Για να είναι αποτελεσματικό το γαλβάνισμα θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις:

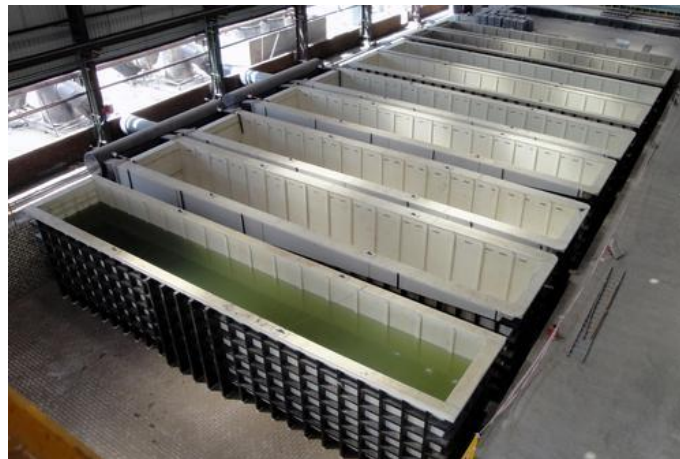
- 1) Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του επεξεργαζόμενου τεμαχίου πρέπει να είναι κατάλληλα για γαλβάνισμα.
- 2) Το υλικό του τεμαχίου το οποίο είναι προς γαλβάνισμα πρέπει να είναι αποδεκτό για αυτήν την διαδικασία.
- 3) Εξοπλισμός κατάλληλων μέσων μεταφοράς για την μετακίνηση υψηλού βάρους τεμαχίων, αλλά και χειρισμού κατά το γαλβάνισμα.
- 4) Μεγάλη προσοχή στην επιφάνεια του υλικού.

Πριν το γαλβάνισμα, θα πρέπει γίνει ένας γρήγορος έλεγχος του τεμαχίου το οποίο πρόκειται να γαλβανιστεί κυρίως από τον κάτοχο του. Πρέπει η κατασκευή του να είναι σωστή και να είναι καθαρό από ακαθαρσίες όπως: μπουγιές, σκωρίες συγκόλλησης, λάδια, γράσα και άλλα ανεπιθύμητα στοιχεία τα οποία εμποδίζουν την καλή ποιότητα γαλβανίσματος. Έπειτα οι γαλβανιστές κάνουν όλες τις επιπλέον απαιτούμενες διαδικασίες για την επίτευξη γαλβανισμένου υλικού.

2.6.2 Διαδικασία. Το γαλβάνισμα πραγματοποιείται σε ειδικό λουτρό λιωμένου ψευδαργύρου, θερμοκρασίας που κυμαίνεται από 430 °C μέχρι 450 °C. Ο ίδιος ο ψευδάργυρος τήκεται περίπου στους 419,5 °C. Υπάρχουν περιπτώσεις γαλβανίσματος όπου η θερμοκρασία του λουτρού απαιτείται να φτάσει τους 550 °C αλλά και να τους ξεπεράσει. Με βάση τα Εθνικά και Ευρωπαϊκά πρότυπα κατά την ανάλυση του μετάλλου στο λουτρό, δεν πρέπει η αναλογία ψευδαργύρου να είναι λιγότερο από 98,5% Zn. Με το γαλβάνισμα, λόγω της αντίδρασης που προκαλείται μεταξύ του ψευδαργύρου του λουτρού και του σιδήρου που εμπεριέχεται στον χάλυβα, στην επιφάνεια του τεμαχίου σχηματίζεται μια επικάλυψη από πολλές στρώσεις κράματος σιδήρου-ψευδαργύρου. Καθώς, τα γαλβανισμένα τεμάχια εξάγονται από το λουτρό λιωμένου ψευδαργύρου, στην επιφάνεια τους παραμένει μία επιπρόσθετη στρώση μετάλλου σχεδόν ίδιας σύστασης με αυτή του ψευδαργύρου του λουτρού. Η διάρκεια του χρόνου βύθισης του χαλύβδινου τεμαχίου στο λουτρό εξαρτάται άμεσα από το βάρος και το πάχος του. Για σίγουρη επιτυχία γαλβανίσματος το τεμάχιο πρέπει να μείνει στο λουτρό, ώσπου η θερμοκρασία του να φτάσει να είναι ίδια με αυτή του λουτρού.



Εικόνα 2.36: Διαδικασία θερμού γαλβανισμού
[\[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/\]](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/)



Εικόνα 2.37: Εγκατάσταση θερμού γαλβανισμού
[\[http://3.imimg.com/\]](http://3.imimg.com/)



Εικόνα 2.38: Γαλβάνισμα μετάλλου
[\[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/\]](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/)

2.6.3 Διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής μίας γαλβανισμένης επιφάνειας εξαρτάται κυρίως, από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και το πάχος της επικάλυψης. Το γαλβάνισμα μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορες διαδικασίες επικάλυψης ψευδαργύρου, αλλά μόνο το θερμό γαλβάνισμα προσφέρει μία ομοιόμορφη σε όλο το πάχος και σκληρή μεταλλουργική επικάλυψη ψευδαργύρου στο μέταλλο. Οι συγκεκριμένες στρώσεις κράματος σε αρκετές περιπτώσεις επικαλύπτονται από στρώσεις καθαρού ψευδαργύρου, οι οποίες προσδίδουν μία γυαλιστερή ασημένια επιφάνεια. Ανάλογα με την διαδικασία γαλβανίσματος, ποικίλουν τα πάχη επικάλυψης ψευδαργύρου και η διάρκεια ζωής της γαλβανισμένης επιφάνειας. Κατά το γαλβάνισμα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή ώστε τα τμήματα της κατασκευής από χάλυβα να αποκτήσουν όλα την ίδια επικάλυψη και προστασία, διότι μία αποτυχία της επικάλυψης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα, πρόωρη συντήρηση των τμημάτων αυτών.

2.6.4 Προϋποθέσεις επιφανειών χάλυβα για γαλβάνισμα

2.6.4.1 Γενικά. Η χημική σύσταση μαζί με την κατάσταση του χάλυβα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την δομή και το πάχος της επικάλυψης ψευδαργύρου, από τα οποία εξαρτάται η επιτυχία και η καλή ποιότητα θερμού γαλβανίσματος. Η καλή προετοιμασία των εξαρτημάτων της κατασκευής χάλυβα μπορεί να μας δώσει καλύτερα αποτελέσματα γαλβανίσματος. Για ένα αποτελεσματικό γαλβάνισμα απαιτείται η επιφάνεια του χάλυβα να είναι όσο περισσότερο γίνεται καθαρή. Συνήθως, στις επιφάνειες του χάλυβα βρίσκονται διάφορες βλαβερές ακαθαρσίες όπως: μιάσματα/μόλυνση ή χημικά στοιχεία διάβρωσης. Η μόλυνση προκαλείται κυρίως, από υλικά όπως: γράσα, λάδια, σαπούνια, σκόνη, προηγούμενες επικαλύψεις και υπολείμματα διαφόρων συστατικών. Τα στοιχεία διάβρωσης στα οποία εμπεριέχονται η σκωρία και το λεγόμενο πουρί, είναι παράγωγα της οξειδωσης των επιφανειών του χάλυβα. Πριν το θερμό γαλβάνισμα, γίνεται μία επεξεργασία καθαρισμού του χάλυβα από τα παραπάνω με την χρήση διαλύματος υδροχλωρικού οξέος. Επίσης, διάφορες ατέλειες όπως γρατσουνιές ή ραβδώσεις στην επιφάνεια του χάλυβα μπορεί να φαίνονται περισσότερο σε σχέση με πριν, μετά το γαλβάνισμα. Αυτό μπορεί να συμβεί διότι η επικάλυψη ψευδαργύρου αντιδρά αρκετές φορές με τις περιοχές αυτές των ατελειών.

2.6.4.2 Γαλβάνισμα κοινών μετάλλων και χυτοσιδήρου. Σε θερμό γαλβάνισμα μπορούν να υποβληθούν όλα τα κοινά μέταλλα και τα χυτοσίδηρα. Μέταλλα με ιδιαίτερα συστατικά πυριτίου, κατά την αντίδραση σιδήρου-ψευδαργύρου που γίνεται στην διαδικασία του γαλβανίσματος, δημιουργούν μεγαλύτερες επικαλύψεις σε σχέση με το κανονικό. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της επικάλυψης τόσο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έχει η γαλβανισμένη επιφάνεια και προστασία από την διάβρωση. Παράλληλα, η πολύ παχιά επικάλυψη προκαλεί μία μικρή μείωση στην συνοχή και ίσως αποκόλληση τμημάτων από το μέταλλο. Στο θερμό γαλβάνισμα σημαντικό ρόλο στην αντίδραση σιδήρου-ψευδαργύρου παίζει η περιεκτικότητα του χάλυβα σε πυρίτιο. Έχει παρατηρηθεί ότι, όταν ο χάλυβας έχει περιεκτικότητα πυριτίου σε επίπεδα 0,05 %-0,13 % ή μεγαλύτερα του 0,20 %-0,25 %, προκαλεί αύξηση των

στρώσεων επικάλυψης. Επίσης, ιδιαίτερα στους χάλυβες με ορισμένη περιεκτικότητα πυριτίου η γαλβανισμένη επικάλυψη συνήθως έχει ένα έντονο βαθύ ή σκούρο γκρι χρώμα σε ολόκληρη την επιφάνεια του τεμαχίου ή μέρος αυτής. Μία τέτοια επικάλυψη προσφέρει αρκετή πρόσφυση και το σκούρο γκρι χρώμα της επικάλυψη δεν προκαλεί καμία αρνητική επίπτωση στην προστασία έναντι της διάβρωσης. Αν ο χάλυβας έχει περιεκτικότητα πυριτίου σε επίπεδα 0,12 %-0,30 % ή μικρότερα της τάξης του 0,035 % και κάτω, τότε μπορούμε να αποφύγουμε μία τέτοια αντίδραση. Οι στρώσεις επικάλυψης σιδήρου-ψευδαργύρου που προκαλούνται με βάση την σύσταση του επεξεργαζόμενου χάλυβα δεν έχουν καμία άμεση σχέση με τις παραμέτρους γαλβανίσματος. Ο χάλυβας που επιλέγεται να γαλβανιστεί εν θερμό θα πρέπει να είναι κατάλληλος για μία τέτοια επεξεργασία. Για αυτόν τον λόγο όταν ζητείται χάλυβα για κατασκευή όπου πρόκειται στην συνέχεια να γαλβανιστεί εν θερμό πάντα θα πρέπει να αναφέρεται αυτή η σημαντική πληροφορία.

3. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΔΟΜΕΣ

3.1 ΦΑΣΕΙΣ

3.1.1 Φερρίτης. Το κύριο συστατικό του φερρίτη είναι ο σίδηρος, ουσιαστικά ο φερρίτης είναι μια στερεά φάση καθαρού σιδήρου ή ένα στερεό διάλυμα. Ο φερρίτης κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρομένο κυβικό σύστημα. Ο φερρίτης είναι η βασική φάση στους κοινούς χάλυβες και χυτοσίδηρους.

Ο φερρίτης και ο καθαρός σίδηρος έχουν κοινές ιδιότητες. Η ολκιμότητα του φερρίτη είναι μεγάλη και η εφελκυστική του αντοχή είναι περίπου 280 Μpa. Η σκληρότητα βρίσκεται στα 80 με 100 HB (Brinell). Έχει καλές μαγνητικές ιδιότητες και μπορεί να αποκτήσει μόνιμη μαγνήτιση (σιδηρομαγνητικός) για θερμοκρασία χαμηλότερη από τους 770 °C.

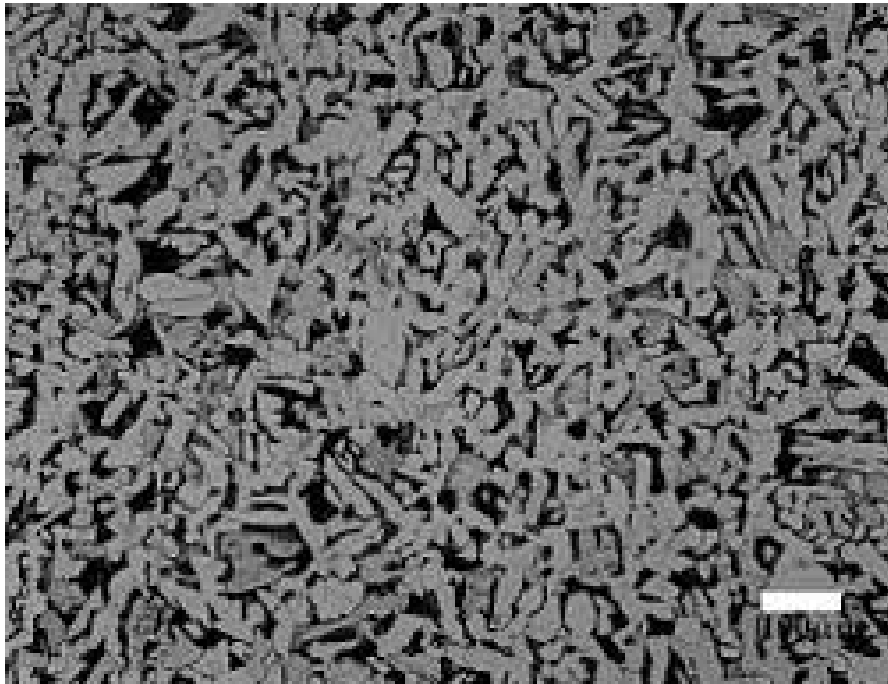
Ο φερρίτης ή αλλιώς α-fe έχει σταθερή θερμοκρασία έως 910 °C. Στους 723 °C έχει μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα, 0.021 % κ.β. και όταν η θερμοκρασία του είναι θερμοκρασία δωματίου η περιεκτικότητά του μειώνεται σε 0.006 % κ.β. Ο χωροκεντρομένος κυβικός φερρίτης μετατρέπεται σε εδροκεντρωμένο κυβικό ωστενίτη (γ-fe), σε θερμοκρασίες από 910 °C έως 1390 °C. Όταν φτάσει πάνω από τους 1390 °C έως το σημείο τήξης του σιδήρου (1539) °C ο ωστενίτης μετατρέπεται σε χωροκεντρομένο κυβικό φερρίτη (δ-fe) για να διακρίνεται από το φερρίτη χαμηλών θερμοκρασιών. Η μέγιστη περιεκτικότητά του δ-fe σε άνθρακα αγγίζει το 0,09% στους 1493 °C.

Η διαλυτότητα του άνθρακα ως προς τον φερρίτη είναι πολύ περιορισμένη, γιατί στο χωροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα του τα άτομα του άνθρακα αποκτούν θέσεις παρεμβολής, δηλαδή παρεμβάλλονται μεταξύ στα διατεταγμένα άτομα του σιδήρου και λόγω του μεγάλου όγκου τους, προκαλούν έντονες τοπικές τάσεις. Εκτός από τον άνθρακα, ο φερρίτης μπορεί να περιέχει και ελάχιστες ποσότητες χρώμιου, νικέλιου, πυριτίου και φώσφορου.

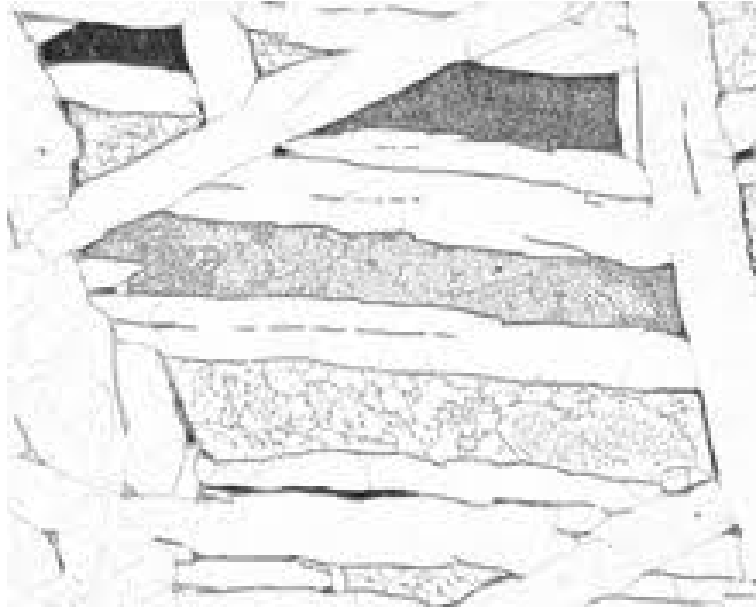
Το κύριο συστατικό στους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες, είναι ο φερρίτης. Όταν οι κοινοί ανθρακούχοι χάλυβες, έρθουν σε συνθήκες που πλησιάζουν τη

θερμοδυναμική τους ισορροπία (π.χ. ανοπτημένοι χάλυβες) και όταν η περιεκτικότητα του άνθρακα είναι μικρότερη από 0,76 % κ.β. (ευτυκτοειδής σύσταση στο μετασταθές διάγραμμα φάσεων Fe-C), τότε ο φερρίτης δημιουργεί ξεχωριστούς κόκκους (κρυστάλλους) και συνυπάρχει μαζί με τη φάση του σεμενίτη στην πλακοειδή (λαμελοειδή) δομή του περλίτη. Όταν η περιεκτικότητα του άνθρακα είναι ίση ή μεγαλύτερη από 0,76 % κ.β., τότε ο φερρίτης υπάρχει μόνο στην φάση του περλίτη.

Από την απότομη ψύξη (βαφή) των χάλυβων προκύπτουν μετασταθείς δομές στο φερρίτη. Όταν ο χάλυβας ψυχθεί απότομα από τη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης σε λίγο χαμηλότερη θερμοκρασία, δημιουργείται μια νέα δομή όπου ονομάζεται Widmanstätten (Βιντμανστάτεν). Κάτω από αυτές τις συνθήκες, δημιουργείται φερρίτης ο οποίος έχει σχήμα μεγάλων σφηνών που διασταυρώνονται, καθώς, αναπτύσσεται κατά μήκος ορισμένων κρυσταλλογραφικών επιπέδων. Επίσης, ο φερρίτης είναι το βασικό συστατικό του μετασταθούς μπαινίτη, ο οποίος προκαλείται όταν ο ρυθμός ψύξης είναι κατά κάποιον τρόπο μεγαλύτερος, ώστε να αποφευχθεί η δομή Widmanstätten. Ο μαρτενσίτης είναι δύσκολο να σχηματιστεί όταν η τελική θερμοκρασία ψύξης δεν είναι αρκετά χαμηλή.



Εικόνα 3.1: Κόκκοι φερρίτη (με ανοιχτό γκρίζο χρώμα) και περλιτικές δομές (σκοτεινό γκρίζο έως μαύρο χρώμα)
[\[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/\]](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/)



Εικόνα 3.2: Φερριτική δομή Widmanstätten
[<https://upload.wikimedia.org/>]

3.1.2 Ωστενίτης. Ο ωστενίτης ή διαφορετικά γ -Fe είναι μια αλλοτροπική μορφή του σιδήρου η οποία κρυσταλλώνεται στο εδροκεντρωμένο κυβικό σύστημα. Στην περίπτωση του καθαρού σιδήρου ο ωστενίτης είναι μόνιμος από τους 912 έως τους 1394 °C. Όταν ο σίδηρος δεν είναι καθαρός 100 % αλλά περιέχει ένα ποσοστό κραματικών στοιχείων, τότε η θερμοκρασιακή ζώνη σταθερότητας του ωστενίτη αυξάνεται ή ελατώνεται.

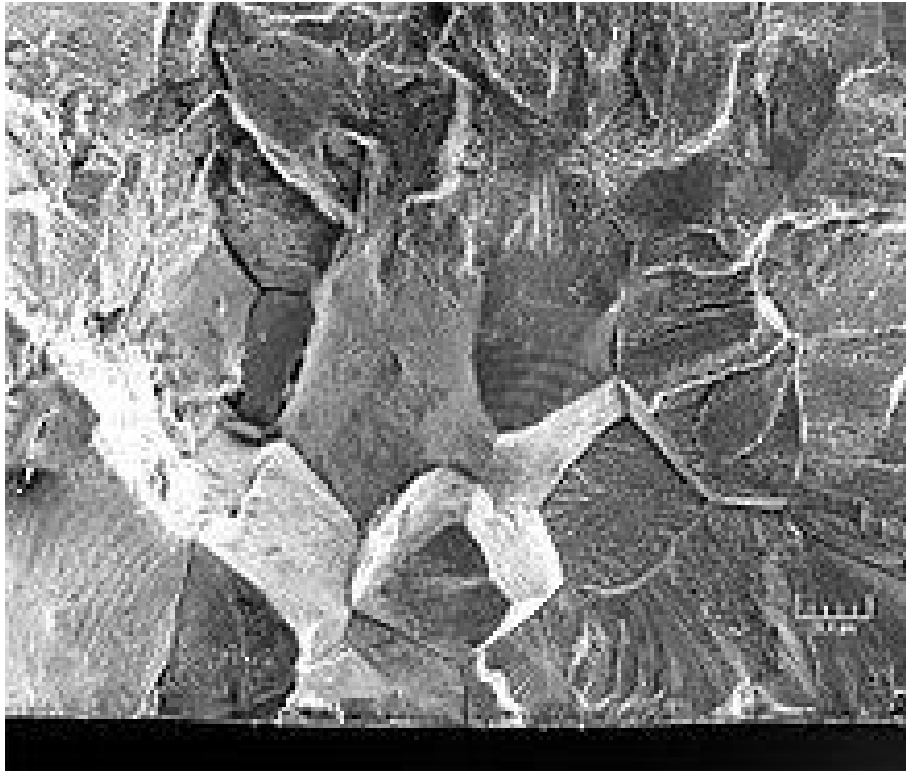
Η συγκεκριμένη φάση του ωστενίτη πήρε την ονομασία της από τον Βρετανό πρωτοπόρο της μικροσκοπίας Χένρυ Κλίφτον Σόρμπυ προς τιμή του συμπατριώτη του, μεταλλουργού Γουίλλιαμ Τσάντλερ Ρόμπερτς-Ωστεν, ο οποίος εφηύρε το πρώτο διάγραμμα φάσεων Fe-C το 1897. Ο ωστενίτης έχει αρκετά καλή ολκιμότητα και η σκληρότητά του υπολογίζεται στους 250 με 300 HB (Brinell). Για θερμοκρασίες ελάχιστες από 912 °C, ο γ -Fe μετατρέπεται σε χωροκεντρωμένο φερρίτη ή διαφορετικά α -Fe. Επίσης, για θερμοκρασίες υψηλότερες από 1394 °C, μετατρέπεται σε χωροκεντρωμένο δ -Fe, που ονομάζεται επίσης, φερρίτης. Σε αντίθεση με τον φερρίτη, ο ωστενίτης έχει ελάχιστες μαγνητικές ιδιότητες (παραμαγνητικός).

Στους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες, η θερμοκρασιακή ζώνη σταθερότητας του ωστενίτη εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως υποδεικνύει και το διάγραμμα φάσεων Fe-C. Η περιεκτικότητα του ωστενίτη σε άνθρακα φτάνει και 2,1 % κ.β. στους 1153 °C. Στους κραματωμένους χάλυβες, η σταθερότητα του ωστενίτη ευνοείται από την παρουσία ορισμένων στοιχείων, όπως το κοβάλτιο, το μαγγάνιο και το νικέλιο, που αποκαλούνται γάμαφερογόνα. Για παράδειγμα ο ανοξειδωτός χάλυβας «18/8» (18 % κ.β. Cr, 8 % κ.β. Ni) είναι ωστενιτικός ακόμα και σε θερμοκρασία δωματίου. Κάποια άλλα στοιχεία, όπως το μολυβδαίνιο, το πυρίτιο και το χρώμιο, περιορίζουν την σταθερότητα του ωστενίτη σε μεγάλο βαθμό.

Με την ψύξη του ωστενίτη, και σε σχέση με τον ρυθμό ψύξης και την περιεκτικότητά του σε άνθρακα, προκύπτουν διάφορες φάσεις και δομές. Με αργούς

ρυθμούς ψύξης, σχηματίζονται διάφορες φάσεις όπως φερρίτης και σεμεντίτη αλλά και μικροδομή σαν τον περλίτης, όπως προβλέπεται από το διάγραμμα φάσεων Fe-C. Με σχετικά υψηλό ρυθμό ψύξης, σχηματίζεται ο μπαινίτης, ενώ για αρκετά υψηλούς ρυθμούς ψύξης (βαφή), σχηματίζεται ο μαρτενσίτης.

Ο ωστενίτης μπορεί να υπάρχει σε χάλυβες ή χυτοσιδήρους ακόμα και μετά από τις διαδικασίες της βαφής και της επαναφορά. Ο υπολειπόμενος ωστενίτης έχει την μορφή λεπτών στρωμάτων στον χώρο μεταξύ στους επιμήκεις κόκκους του μαρτενσίτη ή του μπαινίτη. Ο υπολειπόμενος ωστενίτης μετατρέπεται σε σεμεντίτη, που μπορεί εύκολα να προκαλέσει αρκετές εσωτερικές ρωγματώσεις και να κάνει το κράμα περισσότερο εύθρυπτο.



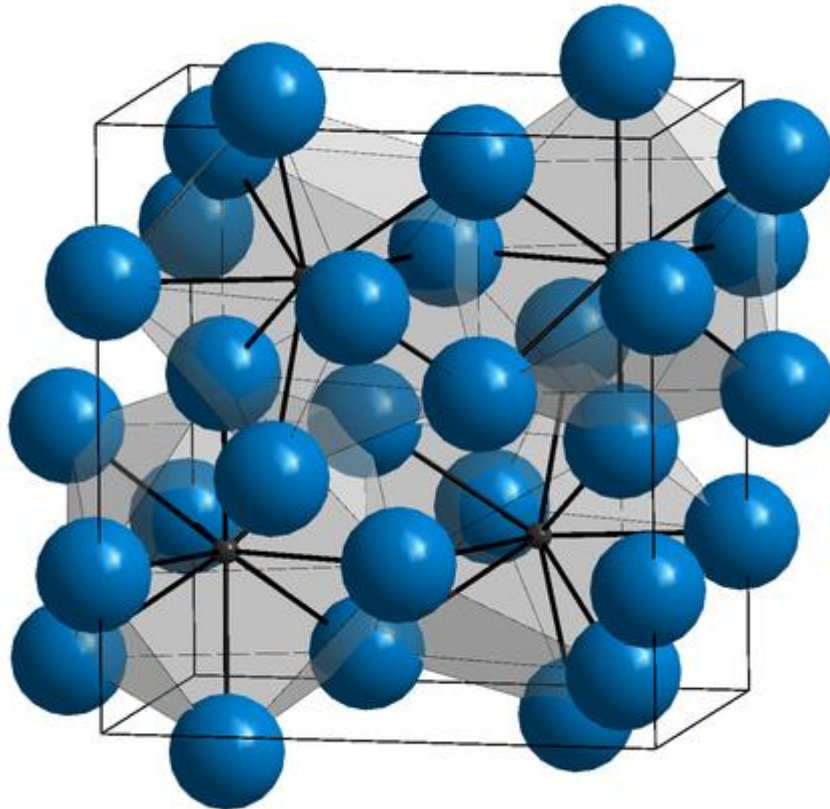
Εικόνα 3.3: Ο ωστενίτης σχηματίζει ευμεγέθεις κρυστάλλους (κόκκους) που παρατηρούνται εύκολα στο μικροσκόπιο
[<https://upload.wikimedia.org/>]

3.1.3 Σεμεντίτης. Ο σεμεντίτης είναι μια φάση η οποία ορίζεται ως μία διμεταλλική ένωση του σιδήρου σε σχέση με τον άνθρακα (καρβίδιο) με χημικό τύπο Fe_3C , σύσταση 93,31 % κ.β. Fe και 6,69 % κ.β. C. Αφορά μία σκληρή και εύθραυστη στερεά φάση με εξαιρετική σημασία στην μεταλλογνωσία του χάλυβα. Η κρυστάλλωση του σεμεντίτη γίνεται στο ορθορομβικό σύστημα και η σκληρότητά του υπολογίζεται έως τα 800 HB (Brinell).

Στους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες υποευτηκτοειδούς σύστασης ($C < 0,77$ % κ.β.), ο σεμεντίτης παρουσιάζεται στην δομή του περλίτη με την μορφή γκρίζων φύλλων («λαμέλες»), μεταβαλλόμενα με λευκά φύλλα φερρίτη. Σε χάλυβες υπερευτηκτοειδούς σύστασης εμφανίζεται στον περλίτη αλλά σχηματίζει και ανεξάρτητους λευκούς φυλλοειδείς κόκκους (κρυστάλλους).

Σε χάλυβες οι οποίοι έχουν υποστεί μια θερμική κατεργασία για παράδειγμα βαφή, ο σεμεντίτης παρουσιάζεται επίσης στην δομή του μπαινίτη, είτε με την μορφή μικρών λεπτών λωρίδων στα όρια των κόκκων του φερρίτη (ανώτερος μπαινίτης), είτε με την μορφή βελονοειδών κατακρημνισμάτων μέσα στους κόκκους του φερρίτη (κατώτερος μπαινίτης). Επίσης, ο σεμεντίτης είναι ένα από τα κύρια συστατικά των χυτοσιδήρων.

Ο σεμεντίτης εμφανίζεται στην φύση ειδικά σε μετεωρίτες ως ένα γκρίζο μεταλλικό ορυκτό με το όνομα κοενίτης (Cohenite) και με σύνθεση $(\text{Fe, Ni, CO})_3\text{C}$.



Εικόνα 3.4: Ορθορομβικό σύστημα σεμεντίτη
[<http://upload.wikimedia.org/>]

3.1.4 Μαρτενσίτης. Ο μαρτενσίτης είναι μία μετασταθής φάση που σχηματίζεται όταν ένας χάλυβας θερμανθεί σε πολύ υψηλή θερμοκρασία, ώστε να δημιουργηθεί ωστενίτης ($\gamma\text{-Fe}$), και παράλληλα υποστεί απότομη ψύξη. Ο μαρτενσίτης πήρε το όνομά του από τον Γερμανό μεταλλουργό Άντολφ Μάρτενς (1850-1914), που ήταν πρώτος που παρατήρησε την δομή του μαρτενσίτη στο μικροσκόπιο.

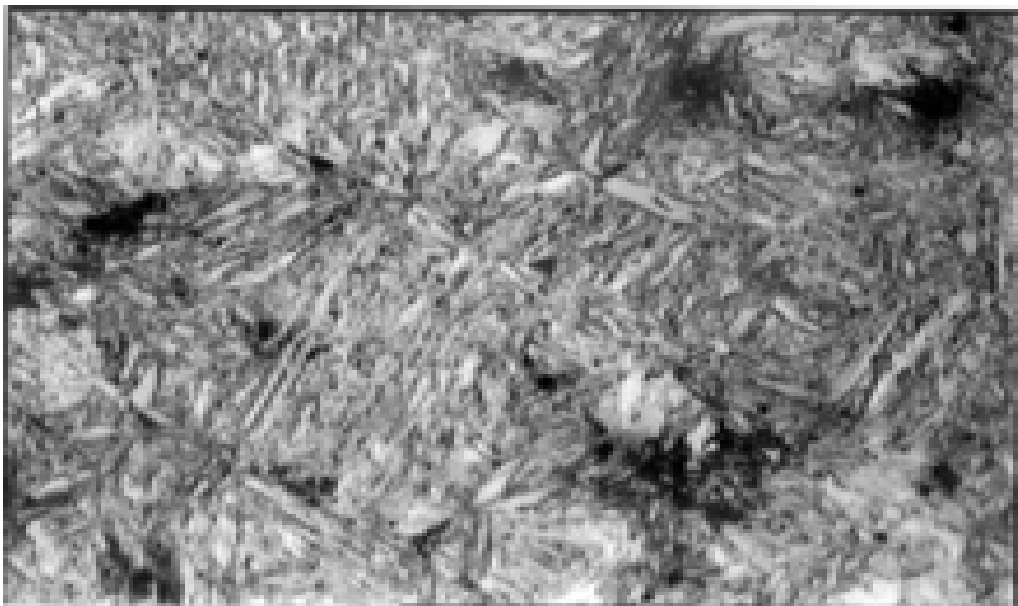
Η δομή του μαρτενσίτη έχει βελονοειδής μορφή. Σε χάλυβες που περιέχουν λιγότερο από 0,4 % κ.β. C, ο μαρτενσίτης έχει την μορφή λωρίδων, ενώ σε χάλυβες που περιέχουν περισσότερο από 0,6 % κ.β. C, ο μαρτενσίτης έχει την μορφή λεπτών πλακιδίων. Σε χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,4 και 0,6 % κ.β., εμφανίζονται φακοειδείς λωρίδες και λεπτά πλακίδια. Επίσης, στο μαρτενσίτης εμφανίζεται εσωτερική δομή που χαρακτηρίζεται από διδυμίες και έντονη παρουσία διαταραχών (κρυσταλλικών ατελειών).

Η βαφή του χάλυβα, που γίνεται με την απότομη ψύξη του χάλυβα, προκαλεί τον μαρτενσιτικό μετατοπιστικό μετασχηματισμό, όπου τα άτομα του άνθρακα δεν προλαβαίνουν να μετατοπιστούν από τις οκταεδρικές θέσεις του ωστενιτικού πλέγματος. Το πλέγμα μετασχηματίζεται από κυβικό εδροκεντρωμένο (γ -Fe) σε τετραγωνικό χωροκεντρωμένο, όπου στο κέντρο του βρίσκεται ο άνθρακας.

Η συμμετοχή του άνθρακα σε οκταεδρικές θέσεις παρεμβολής, δημιουργεί ασύμμετρη παραμόρφωση στο κρυσταλλικό πλέγμα. Οι λωρίδες και τα πλακίδια του μαρτενσίτη, έχουν πολύ μικρό μέγεθος σε σχέση με τους μητρικούς κόκκους του ωστενίτη, με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της σκληρότητας του χάλυβα. Επίσης, τα νέα όρια στην μικροδομή του μαρτενσίτη εμποδίζουν την μετατόπιση των διαταραχών και συνδράμουν με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί αποτελεσματικά η αύξηση της σκληρότητας του χάλυβα.

Κατά την διαδικασία της βαφή του χάλυβα προκαλούνται συχνά μικρές παραμορφώσεις και μικρορωγματώσεις λόγω της συσσώρευσης τοπικών τάσεων. Ο βαμμένος χάλυβας γίνεται ψαθυρός από τον περιεχόμενο μαρτενσίτη, και αυτό μπορεί να μετατρέψει το υλικό σε ακατάλληλο για πολλές εφαρμογές. Λόγω αυτού, η κατεργασία της βαφής συνήθως ακολουθείται από επαναφορά σε θερμοκρασίες 150-650 °C, ώστε ο χάλυβας να αποκτήσει και πάλι την ολκιμότητα του με ελάχιστη μείωση της σκληρότητάς του.

Παρεμφερείς μαρτενσιτικοί μετασχηματισμοί εμφανίζονται και σε άλλα κράματα όπως (π.χ. Cu-Zn, Cu-Sn, Ti-Mo, Au-Cu, κ.ά.), αλλά δεν ακολουθούνται από αύξηση της σκληρότητας του υλικού. Επίσης, ο μαρτενσιτικός μετασχηματισμός έχει μεγάλη σημασία για τα κράματα μνήμης σχήματος (Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, Fe-Mn-Si, Ni-Ti, κ.ά.).



Εικόνα 3.5: Φακοειδείς λωρίδες («βελόνες») μαρτενσίτη χάλυβα μετά από βαφή

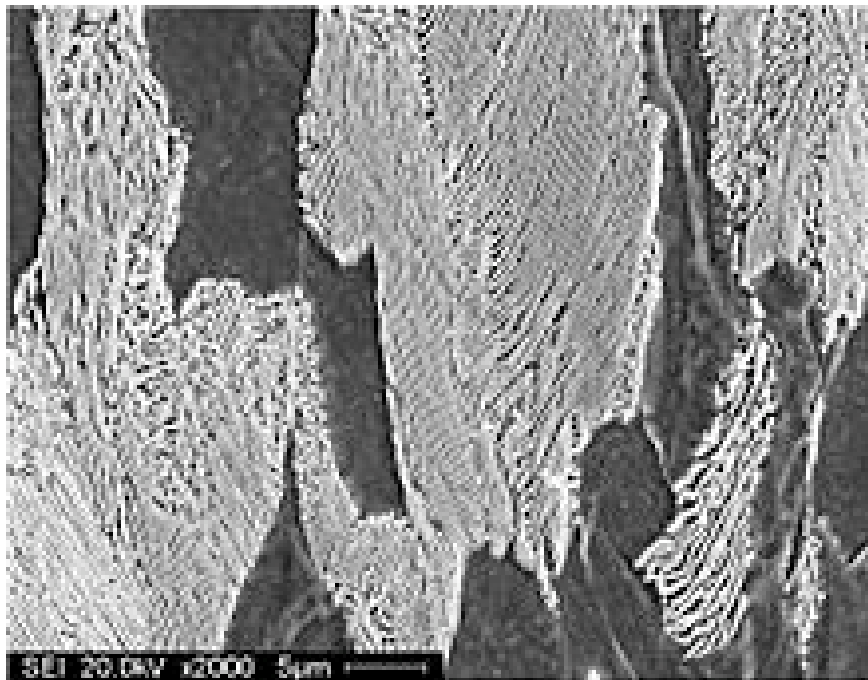
[<https://upload.wikimedia.org/>]

3.2 ΜΙΚΡΟΔΟΜΕΣ

3.2.1 Περλίτης. Ο περλίτης φέρεται ως ένα άμορφο ηφαιστειακό γυαλί με αρκετά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Μπορεί να βρεθεί στη φύση και έχει μία ασυνήθιστη ικανότητα να διογκώνεται σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες.

Όταν πλησιάζει τους 650-900 °C ο περλίτης, μαλακώνει (λόγω ότι είναι γυαλί) και το νερό το οποίο είναι εγκλωβισμένο στην δομή του, διαφεύγει και αυτό προκαλεί τη διόγκωση του υλικού από 7 μέχρι και 15 φορές. Ο διογκωμένος περλίτης έχει εκτυφλωτικό λευκό χρώμα, λόγω της ανακλαστικότητας των εγκλωβισμένων φυσαλίδων. Η φαινόμενη πυκνότητα του αδιόγκωτου περλίτη ορίζεται περίπου στα 1100 kg/m³ (1.1 g/cm³). Αναλόγως η φαινόμενη πυκνότητα του διογκωμένου περλίτη είναι ενδιάμεσα των τιμών 30-150 kg/m³ (0.03-0.15 g/cm³).

Εξαιτίας της χαμηλής φαινόμενης πυκνότητας του διογκωμένου περλίτη, έχουν αυξηθεί οι εμπορικές εφαρμογές του. Στα οικοδομικά υλικά χρησιμοποιείται συνήθως σε μονωτικά υλικά, ελαφροβαρή κονιάματα, θερμοηχομονωτικές πλάκες οροφής και ως βοηθητικό υλικό φίλτρων. Στις αγροτικές εφαρμογές βοηθάει τα φυτοχώματα να γίνονται πιο χαλαρά, διευκολύνοντας έτσι την είσοδο του αέρα, ενώ παράλληλα έχει αρκετά καλή κατακράτηση του νερού. Είναι κατάλληλο μέσο για υδροπονικές καλλιέργειες. Επίσης, ο περλίτης βρίσκει εφαρμογή σε κρυογενικές μονώσεις και σε χυτήρια.



Εικόνα 3.6: Μικροδομή περλίτη
[<https://upload.wikimedia.org/>]

3.2.2 Λεδεβουρίτης. Ο λεδεβουρίτης είναι μία μικρογραφική ευτηκτική δομή που εμφανίζεται στους χυτοσιδήρους, δηλαδή στα κράματα σιδήρου-άνθρακα που

περιέχουν 2,06 έως 6,67 % κ.β. C. Η δομή αυτή πήρε το όνομα της από τον Γερμανό μεταλλουργό Καρλ Χέινριχ Άντολφ Λέντεμπουργκ (1837–1906), όπου ήταν ο πρώτος ο οποίος την παρατήρησε το 1882.

Ο λεδεβουρίτης περιέχει 4,3 % κ.β. C. Δημιουργείται στους 1147 °C, εφόσον το τήγμα σιδήρου–άνθρακα κρυσταλλώνεται και παράγει ωστενίτη (γ -Fe) και σεμεντίτη (Fe_3C). Η δομή αυτή ονομάζεται λεδεβουρίτης I. Όταν η θερμοκρασία του κράματος μειωθεί κάτω από τους 723 °C, ο ωστενίτης παράγει περλίτη, δηλαδή ένα φυλλοειδές ή λαμελοειδές μείγμα φερρίτη α -Fe και σεμεντίτη. Η δομή που παράγεται σε θερμοκρασία μικρότερη από τους 723 °C ονομάζεται λεδεβουρίτης II. Σε περίπτωση που η ταχύτητα ψύξης του κράματος είναι πολύ υψηλή, τότε από τον λεδεβουρίτη I παράγεται μπαινίτης και μαρτενσίτης.

Η δομή του λεδεβουρίτη παρουσιάζεται σαν δενδριτική. Σε υποευθηκτικούς λευκούς χυτοσιδήρους, δηλαδή σε χυτοσιδήρους που περιέχουν σεμεντίτη (Fe_3C) και ελάχιστο από 4,3 % κ.β. C, ο λεδεβουρίτης II είναι φτιαγμένος από δενδρίτες σεμεντίτη που έχουν δημιουργηθεί μέσα σε προηγούμενους κόκκους ωστενίτη. Σε υπερευθηκτικούς λευκούς χυτοσιδήρους, δηλαδή σε χυτοσιδήρους που περιέχουν σεμεντίτη (Fe_3C) και περισσότερο από 4,3 % κ.β. C. Ο λεδεβουρίτης II αποτελείται συγκεκριμένα από ράβδους περλίτη που έχουν παραχθεί κάθετα σε πλάκες πρωτογενούς σεμεντίτη, ενώ οι ράβδοι του περλίτη περικλείονται από μάζα δευτερογενούς σεμεντίτη. Αυτές οι διάφορες δομές του λεδεβουρίτη δεν εμφανίζονται σε φαιούς χυτοσιδήρους φυλλοειδούς ή σφαιροειδούς γραφίτη.

Η παρουσία πυριτίου (Si) ελαττώνει την περιεκτικότητα σε C του ευθηκτικού σημείου, σύμφωνα με τον εμπειρικό κανόνα:

$$(\% \text{ κ.β. C}) + 0,11 \times (\% \text{ κ.β. Si}) = 4,3 \% \text{ κ.β.}$$

Για παράδειγμα, σε χυτοσίδηρο με 4 % κ.β. Si, το ευθηκτικό σημείο περιέχει 3,76 % κ.β. C. Όμως, η παρουσία του πυριτίου σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 0,5 % κ.β. περίπου, ευνοεί τον σχηματισμό γραφίτη, οπότε ο χυτοσίδηρος μετατρέπεται σε φαιό. Με την προσθήκη τελουρίου (Te) σε ποσοστό 0,05 % κ.β. εμποδίζεται η δημιουργία του γραφίτη ακόμα και σε χυτοσιδήρους με 2 % κ.β. Si.

3.2.3 Μπαινίτης

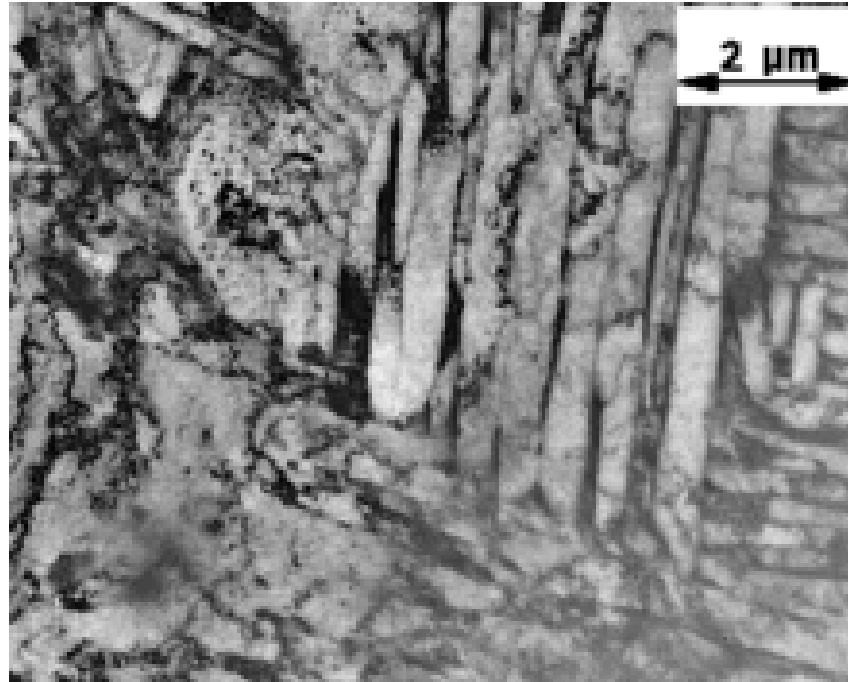
3.2.3.1 Γενικά. Ο μπαινίτης είναι μια μικρογραφική δομή του χάλυβα, που παράγεται όταν ο χάλυβας θερμανθεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ωστενιτοποίησης και ύστερα ψυχθεί σε τελική θερμοκρασία μικρότερη από την θερμοκρασία δημιουργίας του περλίτη. Δηλαδή μικρότερη σχεδόν από 550 °C και μεγαλύτερη από την θερμοκρασία της έναρξης δημιουργίας του μαρτενσίτη M_s περίπου 250 °C. Η δομή του μπαινίτη, που αποτελείται από φερρίτη και σεμεντίτη ανακαλύφθηκε την δεκαετία του 1930 από τον Αμερικανό μεταλλουργό Έντγκαρ Μπαιν και τον μαθητή του Ντάβενपोर्ट (E. S. Davenport).

Κατά την απότομη ψύξη του χάλυβα, ο ωστενίτης μετατρέπεται μετατοπιστικά δίνοντας πλακίδια ή λωρίδες φερρίτη προσανατολισμένες προς μία κατεύθυνση, όπως γίνεται και κατά τον μαρτενσιτικό μετασχηματισμό. Ωστόσο, λόγω της σχετικά μεγάλης θερμοκρασίας του, σε διαφορά με ό,τι συμβαίνει κατά τον μαρτενσιτικό μετασχηματισμό, ο άνθρακας προλαβαίνει να διαφύγει από το πλέγμα του ωστενίτη και παράγει σεμεντίτη (Fe_3C).

Για θερμοκρασίες 400-550 °C, ο σεμεντίτης παράγεται ανάμεσα στις προσανατολισμένες λωρίδες του φερρίτη, οπότε κατά κάποιον τρόπο γίνεται αναφορά για ανώτερο μπαινίτη. Για θερμοκρασίες 250-400 °C, ο άνθρακας παράγει βελόνες σεμεντίτη μεγέθους περίπου 0,5 μm, μέσα στις προσανατολισμένες λωρίδες του φερρίτη, οπότε αναφερόμαστε για κατώτερο μπαινίτη.

Η θερμοκρασία έναρξης δημιουργία του μπαινίτη (B_s) εξαρτάται από την συμμετοχή άλλων κραματικών στοιχείων και υπολογίζεται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$B_s(^{\circ}\text{C})=830-270(\%C)-90(\%Mn)-7(\%Ni)-70(\%Cr)-83(\%Mo).$$



Εικόνα 3.7: Μπαινιτική μικροδομή
[<https://upload.wikimedia.org/>]

3.2.3.2 Μπαινιτικοί χάλυβες. Ο μπαινίτης εμφανίζεται πολύ συχνά κατά την βαφή των χαλύβων. Ο ρυθμός ψύξης στο εσωτερικό των διαφόρων προϊόντων χάλυβα (ράβδοι, πλάκες, φύλλα, κ.λπ.) είναι πιο μικρός σε σχέση με τον ρυθμό ψύξης στο εξωτερικό. Οπότε, σε περίπτωση που ο χάλυβας έχει μεγάλο στο εξωτερικό των βαμμένων αντικειμένων παράγεται μαρτενσίτης, αλλά στο εσωτερικό μπορεί να παραχθεί μπαινίτης.

Η σκληρότητα του μπαινίτη υπολογίζεται κοντά στα 400 HB (Brinell). Με λίγα λόγια ο μπαινίτης είναι αρκετά ποιό σκληρός από τον περλίτη, τον φερρίτη και τον ωστενίτη, αλλά ελάχιστα σκληρός από τον μαρτενσίτη και τον σεμεντίτη. Ωστόσο, υπάρχουν και χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και με 0,5 % κ.β. μολυβδαίνιο και ίχνη βορίου (~0,003 % κ.β.) που δημιουργούν πολύ εύκολα μπαινίτη για μεγάλης γκάμας τιμών ρυθμού ψύξης. Οι χάλυβες αυτοί ονομάζονται μπαινιτικοί. Οι μπαινιτικοί χάλυβες με 0,2 % κ.β. C εμφανίζουν μεγάλη εφελκυστική αντοχή που υπολογίζεται από 600 μέχρι 1200 MPa. Μάλιστα όσο ποιό μικρή είναι η θερμοκρασία B_s , τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του μπαινιτικού χάλυβα. Ωστόσο, η αύξηση της αντοχής συνοδεύεται από απώλεια ολκιμότητας.

Οι μπαινιτικοί χάλυβες συνήθως δεν χρειάζονται επιπλέον θερμική κατεργασία για βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Σε αντίθεση με τους μαρτενσιτικούς χάλυβες, είναι αρκετά εύκολα συγκολλησιμοι. Οι μπαινιτικοί χάλυβες χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές κυρίως, στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι σύγχρονοι νανομπαινιτικοί χάλυβες εμφανίζουν μεγάλο ενδιαφέρον, αφού η εφελκυστική αντοχή τους αγγίζει τα 2500 MPa και είναι αρκετά όλκιμοι.

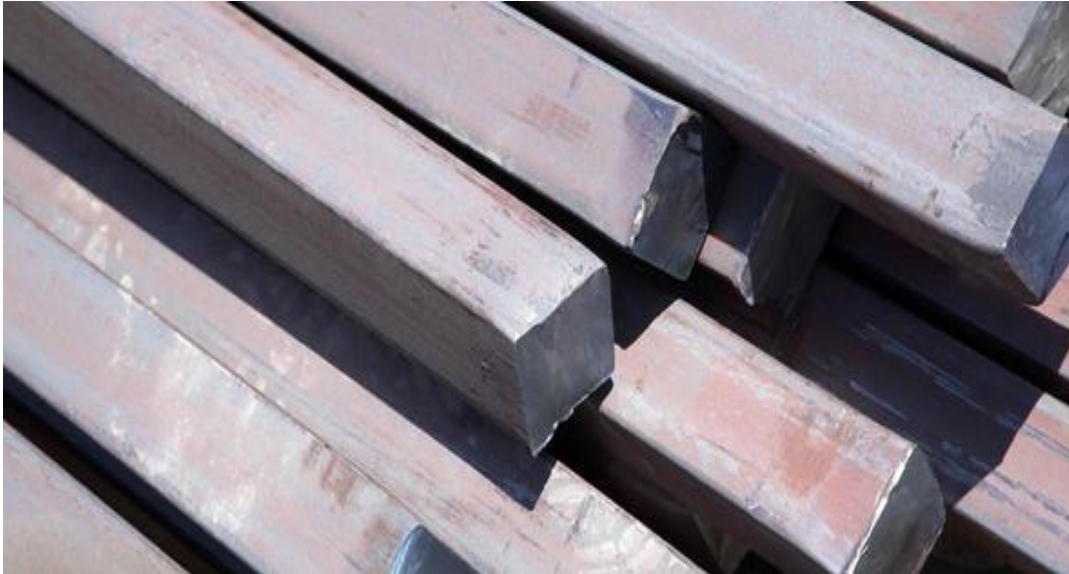
4. ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

4.1 ΚΟΙΝΟΙ Ή ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

4.1.1 Γενικά. Οι κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες είναι χάλυβες όπου η περιεκτικότητα τους σε άνθρακα αγγίζει έως τα 2,06 % του συνολικού βάρους τους. Παράγονται σε καμίνους ηλεκτρικού τόξου με την τήξη παλαιοσιδήρου και σπογγώδη σιδήρου. Με βάση κάποιες προϋποθέσεις που έχει ορίσει το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Σιδήρου και Χάλυβα (AISI), ένας χάλυβας θεωρείται ανθρακούχος όταν:

1. Ο χάλυβας δεν περιέχει στοιχεία όπως: χρώμιο, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, νικέλιο, τιτάνιο, βολφράμιο ή άλλα στοιχεία τα οποία τον καθορίζουν ως κραματωμένο.
2. Τα ποσοστά του επιτρεπόμενου ελάχιστου χαλκού στον χάλυβα δεν υπερβαίνουν το 0,38-0,40 %.
3. Στον χάλυβα η μέγιστη περιεκτικότητα των παρακάτω στοιχείων δεν υπερβαίνει για το μαγγάνιο 1,65 %, το πυρίτιο 0,60 % και το χαλκό 0,60 % του συνολικού βάρους του.
4. Σε αρκετές περιπτώσεις η ονομασία “ανθρακούχος χάλυβας” χρησιμοποιείται και για τους μη ανοξειδωτους χάλυβες. Για αυτόν τον λόγο ο ανθρακούχος χάλυβας ενδέχεται να περιέχει διάφορα κράματα χάλυβα.

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε άνθρακα στον χάλυβα τον κάνει σκληρότερο και ισχυρότερο μέσω της θερμικής επεξεργασίας, αλλά παράλληλα, μειώνει την ολκιμότητα και την ικανότητα της συγκολλησιμότητάς του. Επίσης, όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε άνθρακα τόσο μειώνεται το σημείο τήξης του χάλυβα.



Εικόνα 4.1: Τεμάχια ανθρακούχων χαλύβων
[<http://www.onealsteel.com/>]

4.1.2 Χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες. Οι χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες, είναι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Χρησιμοποιούνται σε αρκετές εφαρμογές λόγω του χαμηλού κόστους τους, αλλά και των ιδιοτήτων που προσφέρουν με ένα μικρό μειονέκτημα την μικρή αντοχή σε εφελκυσμό. Η περιεκτικότητα των συγκεκριμένων χαλύβων σε άνθρακα κυμαίνεται από 0,05-0,29 %, κάτι που τους κάνει αρκετά εύπλαστους και όλκιμους. Στους μαλακούς χάλυβες με την μέθοδο της κοκκοποίησης, η επιφάνεια τους μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερη σκληρότητα.

Οι χάλυβες χαμηλού άνθρακα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη ποσότητα χάλυβα, όπως γίνεται με τους δομικούς χάλυβες. Οι μαλακοί χάλυβες έχουν πυκνότητα περίπου 7850 kg / m^3 και συντελεστή Young κοντά στα 200 GPa.

Στους χάλυβες χαμηλού άνθρακα το σημείο απόδοσης μπορεί να φτάσει σε σημείο εξάντλησης. Κάθε υλικό αποτελείται από δύο σημεία απόδοσης. Το ένα σημείο απόδοσης είναι το ανώτερο σημείο και το δεύτερο το κατώτερο, όπου το πρώτο είναι μεγαλύτερο από το δεύτερο. Αν ο συντελεστής απόδοσης ξεπεράσει το ανώτερο σημείο τότε υπάρχει μεγάλη μείωση της απόδοσης. Όταν ένας χάλυβας χαμηλού άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ του ανωτέρου και κατωτέρου σημείου απόδοσης, τότε στην επιφάνεια του υλικού δημιουργούνται ζώνες Lüder. Εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα οι παραπάνω χάλυβες ψύχονται εύκολα και είναι ποιο εύχρηστοι σε σύγκριση με τους άλλους τύπους χαλύβων.

4.1.3 Χάλυβες μέτριου άνθρακα. Οι χάλυβες μέτριου άνθρακα έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα που κυμαίνεται από 0,30-0,59 %. Οι συγκεκριμένοι χάλυβες συνήθως αναμειγνύονται με άλλα στοιχεία όπως το μολυβδαίνιο, το νικέλιο και το χρώμιο, για την παραγωγή κραματωμένων προϊόντων, με μεγάλη ανθεκτικότητα και μεγάλη αντοχή στην φθορά. Οι μέτριοι χάλυβες χρησιμοποιούνται κυρίως, σε εφαρμογές υψηλής αντοχής και σκληρότητας, όπως για την παραγωγή γραναζιών, αξόνων και άλλων ειδών εξαρτημάτων. Ο ποιο γνωστός τύπος μέτριου άνθρακα είναι ο AISI

1045, ο οποίος αν θερμανθεί σε θερμοκρασία 800-850 °C και έπειτα, ψυχθεί με αέρα μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερη σκληρότητα.

4.1.4 Χάλυβες υψηλού άνθρακα. Οι χάλυβες υψηλού άνθρακα έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα που κυμαίνεται από 0,60-0,99 %. Λόγω του υψηλού ποσοστού σε άνθρακα μπορούν εύκολα να υποβληθούν σε θερμικές κατεργασίες. Τα ιχνοστοιχεία διαφόρων άλλων στοιχείων επιδρούν σε σημαντικό βαθμό στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, τα ιχνοστοιχεία θείου μετατρέπουν τον χάλυβα σε εύθραυστο και εύθρυπτο. Οι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο κοντά στο 0,05 % έχουν σημείο τήξης περίπου 1.400-1.540 °C. Το μαγγάνιο χρησιμοποιείται κυρίως, στους χάλυβες χαμηλού άνθρακα για την αύξηση της σκληρότητας τους.

4.1.5 Χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα. Οι χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα που κυμαίνεται από 1,00-2,06 %. Οι συγκεκριμένοι χάλυβες έχουν καλές δομικές ιδιότητες όσο αναφορά σε εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία όταν επεξεργάζονται για την παραγωγή λεπτών κόκκων φερρίτη με λεπτά σφαιροειδή καρβίδια. Οι χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα μπορούν να αποκτήσουν καλύτερη ελαστικότητα εφελκυσμού και μεγαλύτερη αντοχή, όταν επεξεργάζονται για αύξηση της ολκιμότητας σε θερμοκρασία δωματίου. Σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες μπορούν να αποκτήσουν υπέρ-πλαστικότητα. Επίσης, οι χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα μπορούν να σκληρύνουν με υψηλή πυκνότητα συμπίεσης. Τέλος, μπορούν να παρουσιάσουν αρκετά μεγάλες αντοχές που φτάνουν έως τα 5000 MPa στην περίπτωση των ελαστικών καλωδίων, όταν αποκτούν συρματοειδή μορφή.

4.2 ΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

4.2.1 Γενικά. Οι κραματωμένοι χάλυβες είναι χάλυβες οι οποίοι έχουν υποστεί κραματοποίηση με την χρήση άλλων στοιχείων σε ποσοστά που κυμαίνονται από 1,0-50 % κατά βάρος, για την αύξηση και βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Οι κραματωμένοι χάλυβες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες με βάση το ποσοστό κραματοποίησης. Η μία είναι η ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες και η δεύτερη είναι η ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες. Συνήθως, κράμα χάλυβα αποκαλούνται οι ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες.

Κάθε χάλυβας μπορεί να οριστεί ως κράμα. Παρόλα αυτά, δεν αποκαλούνται όλοι χάλυβες κραματωμένοι. Για παράδειγμα, ένας απλός τύπος κράμα χάλυβα είναι η πρόσμιξη σιδήρου με άνθρακα σε ποσοστό από 0,1-1,00 %. Ωστόσο, η φράση κράμα χάλυβα είναι ένας ορισμός που χρησιμοποιείται κυρίως, σε χάλυβες με πρόσμιξη άλλων στοιχείων εκτός από τον άνθρακα. Τα ποιά κοινά κράματα περιλαμβάνουν στοιχεία όπως: μαγγάνιο, νικέλιο, χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, πυρίτιο και βόριο. Τα λιγότερο κοινά κράματα περιλαμβάνουν στοιχεία όπως: αλουμίνιο, κοβάλτιο, χαλκό, δημήτριο, νιόβιο, τιτάνιο, βολφράμιο, κασσίτερο, ψευδάργυρο, μόλυβδο και ζirkόνιο.

Σε σύγκριση με τους ανθρακούχους χάλυβες, οι παραπάνω έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες όπως: αντοχή, σκληρότητα, ανθεκτικότητα, αντοχή στην φθορά και στην διάβρωση. Κάποιες από τις παραπάνω για να αποκτηθούν ίσως απαιτείται η χρήση θερμικής κατεργασίας του υλικού.

Αρκετά κράματα λόγω των υψηλών μηχανικών ιδιοτήτων τους, χρησιμοποιούνται σε πολύ απαιτητικές εφαρμογές όπως είναι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, τα διαστημικά οχήματα κ.α. Επίσης, μερικά κράματα χάλυβα έχουν καλές σιδηρομαγνητικές ιδιότητες λόγω του σιδήρου στο κράμα, τα οποία είναι κατάλληλα για εφαρμογές κυρίως, στον ηλεκτρολογικό τομέα, όπως στους μετασχηματιστές και στους ηλεκτροκινητήρες.



Εικόνα 4.2: Τεμάχια κραματωμένων χάλυβων
[\[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/\]](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/)

4.2.2 Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες. Οι ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες σε σύγκριση με τους μαλακούς χάλυβες και τους ανθρακούχους χάλυβες. Έχουν καλύτερες αναλογίες αντοχής σε βάρος, με αποτέλεσμα να μειώνουν το περιττό βάρος σε κατασκευές, όπως στα πλαίσια οχημάτων, σε αμαξοστοιχίες, σε βαριές κατασκευές κ.λπ. Οι κραματωμένοι χάλυβες και ιδιαίτερα οι χάλυβες με προσθήκες νικελίου εμφανίζουν καλύτερη συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τους ανθρακούχους χάλυβες που παρουσιάζουν μία ευθραυστότητα. Ένα σοβαρό μειονέκτημα των χάλυβων είναι ότι υποφέρουν σε μεγάλες θερμοκρασίες οι οποίες επιδρούν αρνητικά στην αντοχή τους και η μόνη λύση αντιμετώπισης, είναι οι προσθήκες χρωμίου ή μολυβδαινίου στους χάλυβες.

4.2.3 Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες. Οι ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες είναι χάλυβες με ποσοστά κραμάτων που ξεπερνά την τάξη του 10 % κατά βάρος και λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων που προσφέρουν κατατάσσονται στην κατηγορία των εξειδικευμένων χάλυβων. Για αυτό τον λόγο, έχουν υψηλό κόστος αγοράς. Ένα παράδειγμα ενός ισχυρά κραματωμένου χάλυβα είναι ο ωστενιτικός χάλυβας μαγγανίου. Ο συγκεκριμένος χάλυβας περιέχει υψηλά ποσοστά άνθρακα και

μαγγανίου, τα οποία τον ευνοούν προσφέροντας του καλύτερη ανθεκτικότητα και την ικανότητα να σκληρύνεται κατά την διάρκεια που υποβάλλεται σε ψυχρή διεργασία. Στους ισχυρά κραματωμένους χάλυβες ανήκουν και οι ανοξειδωτοι χάλυβες, οι οποίοι είναι χάλυβες υψηλής κραμάτωσης με περιεκτικότητα χρωμίου από 10 % και άνω. Τα υψηλά ποσοστά χρωμίου δίνουν την ικανότητα στους συγκεκριμένους χάλυβες να έχουν καλή αντίσταση έναντι της διάβρωσης. Στα μηχανουργία, οι χάλυβες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο κοπής και διαμόρφωσης. Αυτός ο τύπος χαλύβων ονομάζονται εργαλειοχάλυβες και χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή εργαλείων διαμόρφωσης-κοπής, διατρητικών εργαλείων (τρυπάνια), μητρών σχηματισμού-εξώθησης κ.λπ. Αρκετές φορές, με βάση τις ιδιότητες τους και την χρήση τους οι εργαλειοχάλυβες αναφέρονται ως υδατοσκληρυντές, αεριοσκληρυντές, ελαιοσκληρυντές, ισχυροί εργαλειοχάλυβες κατεργασίας και ανθεκτικοί χάλυβες σε κραδασμούς. Όσο περισσότερα ποσοστά κραμάτωσης περιέχει ένας χάλυβας, τόσο απαιτητική γίνεται η καλή φροντίδα και πρακτική του σε περιπτώσεις διαφόρων τεχνικών συγκόλλησης χαλύβων υψηλής κραματοποίησης.

4.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

4.3.1 Γενικά. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι χάλυβες οι οποίοι εκτός από σίδηρο και άνθρακα, περιλαμβάνουν ελάχιστα ποσοστά περιεκτικότητας σε χρώμιο κοντά στο 10 % κατά βάρος. Με το χρώμιο στο χάλυβα αυξάνεται η προστασία του από την οξείδωση και την διάβρωση μέσω ενός μικροσκοπικού στρώματος που δημιουργείται λόγω του χρωμίου. Το στρώμα αυτό είναι τριοξειδιο του χρωμίου και έχει πάχος σχεδόν 10 με 100 nm. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες δεν είναι απαραίτητο να περιλαμβάνουν μόνο χρώμιο αλλά μπορούν να περιλαμβάνουν και άλλα χημικά στοιχεία όπως νικέλιο, μαγγάνιο, μολυβδαίνιο, πυρίτιο κ.λπ.

Η παραγωγή των ανοξειδωτων χαλύβων πραγματοποιείται σε κάμινους ηλεκτρικού τόξου με την τήξη παλαιοσιδήρου ή διαφόρων σιδηροκραμάτων, όπως το σιδηρομαγγάνιο, το σιδηροχρώμιο, το σιδηρομολυβδαίνιο, το σιδηρονικέλιο κ.α. Η χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων γίνεται σε μεγάλη έκταση, κυρίως, όπου απαιτείται καλή προστασία και αντοχή στην διάβρωση. Μερικές εφαρμογές των συγκεκριμένων χαλύβων είναι σε μαγειρικά σκεύη (κατσαρόλες, τηγάνια, δοχεία, πιρούνια, μαχαίρια κ.α.), σε εξοπλισμό οικιακής χρήσης (ηλεκτρικές κουζίνες, ψυγεία, πάγκους μαγειρικής, τραπέζια κ.α.), σε αισθητικές εφαρμογές κτιρίων (κάγκελα, κουφώματα κ.α.) και σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες έχουν καλύτερη αντοχή στην διάβρωση και καλύτερες μηχανικές αντοχές σε σχέση με τους ανθρακούχους χάλυβες. Παρόλα αυτά είναι δύσκολο να κατεργαστούν εξαιτίας της υψηλής σκληρότητας τους και έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα σε σύγκριση με τους ανθρακούχους χάλυβες.



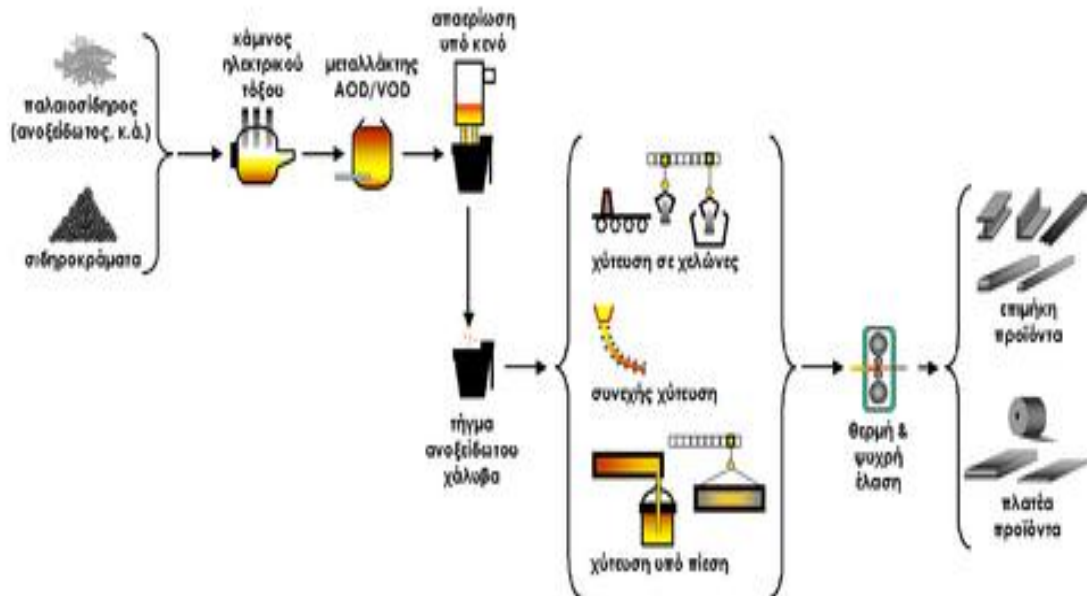
Εικόνα 4.3: Δοκίμια ανοξειδωτων χαλύβων
[\[http://www.theometalscrap.gr/\]](http://www.theometalscrap.gr/)

4.3.2 Παραγωγή. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, παράγονται σε καμίνοους ηλεκτρικού τόξου με βασική πρώτη ύλη το παλαιοσίδηρο ή τα σιδηροκράματα. Η τελική επιθυμητή ποιότητα των ανοξειδωτων χαλύβων εξαρτάται άμεσα από την αναλογία των πρώτων υλών. Συνήθως, ένα μέρος του φορτίου της πρώτης ύλης σε ποσοστό περίπου 60 % είναι ανακυκλωμένος παλαιοσίδηρος, κυρίως ανοξειδωτος αλλά και κοινός.

Αφού ο ρευστός χάλυβας είναι έτοιμος, μεταφέρεται από την κάμινο ηλεκτρικού τόξου σε μεταλλάκτη απανθράκωσης με οξυγόνο αργό (AOD), για τον καθαρισμό του από τον περιεχόμενο άνθρακα. Η προσθήκη οξυγόνου-αργού στο τηγμένο μέταλλο, επιτρέπει τον καθαρισμό του από της διάφορες ακαθαρσίες και την μείωση της περιεκτικότητας του σε άνθρακα, από 1,5 % σε 0,01 % περίπου και αρκετά ποιο χαμηλά. Επίσης, αντί για μεταλλάκτη AOD, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεταλλάκτης απανθράκωσης με οξυγόνο κενού (VOD).

Με την χρήση των παραπάνω, επιτρέπεται ο καθαρισμός του ρευστού χάλυβα από τα υπολειπόμενα αέρια. Μετά τον καθαρισμό, γίνεται η ρίψη του ρευστού χάλυβα σε καλούπια για την παραγωγή πλινθωμάτων, δοκών (μπιγιέτες ή κορμοί, κυλινδρικής ή τετραγωνικής διατομής) και πλατιών πρισμάτων (πλακών ή “σλαμπ”). Η έλαση των πλινθωμάτων και των μπιγιετών, πραγματοποιείται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο συμβαίνει και με τους ανθρακούχους χάλυβες, για την παραγωγή πλαταίων και επιμήκων προϊόντων, είτε με θερμή έλαση, είτε με ψυχρή έλαση.

Προϊόντα σαν τα φύλλα ανοξειδωτου χάλυβα, συνήθως για να έχουν μία μαλακότητα, υφίστανται σε θερμική κατεργασία ανόπτησης και στην συνέχεια καθαρίζονται σε λουτρό οξέος, το οποίο ευνοεί την εύκολη και γρήγορη δημιουργία του λεπτού στρώματος τριοξειδίου του χρωμίου, για την αύξηση της αντοχής του χάλυβα στην διάβρωση.



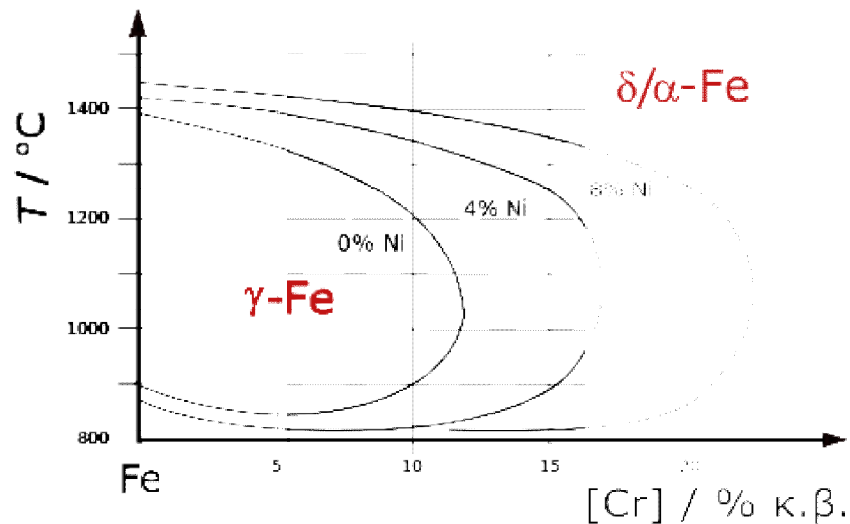
Εικόνα 4.4: Διαδικασία παραγωγής χάλυβα
[\[https://upload.wikimedia.org/\]](https://upload.wikimedia.org/)

4.3.3 Ποιότητες

4.3.3.1 Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες. Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες είναι χάλυβες, όπου η κυρία φάση τους είναι ο ωστενίτης ($\gamma\text{-Fe}$). Αποτελούνται από μικρά ποσοστά άνθρακα περίπου από 0,08 % και κάτω, αλλά υπάρχουν και αυτοί που περιέχουν έως και 0,15 %. Επίσης, περιέχουν τουλάχιστον 16-18 % χρώμιο. Με την προσθήκη του νικελίου και του μαγγανίου στον ωστενίτη γίνεται η σταθεροποίηση του, επιτρέποντας έτσι η φάση του να αποκτάει μια σταθερότητα για μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, από το σημείο τήξης του κράματος έως τους 0 °C και κάτω. Μία ιδιαιτερότητα του ωστενίτη είναι ότι δεν είναι μαγνητικός, με αποτέλεσμα οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες να μην είναι ούτε αυτοί μαγνητικοί. Ένα μειονέκτημα των παραπάνω είναι ότι δεν επιδέχονται καμία είδους θερμική επεξεργασία.

Οι ποιοί κοινοί ή γνωστοί ανοξείδωτοι χάλυβες είναι ο 18/8 με περιεκτικότητα χρωμίου 18 % και νικελίου 8 %, αλλά και ο 18/10 με περιεκτικότητα χρωμίου 18 % και νικελίου 10 %. Ένας ανοξείδωτος χάλυβας όσο ποιοί υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο έχει, τόσο περισσότερο αυξάνεται η αντοχή του στην διάβρωση. Επιπλέον, μικρά ποσοστά μολυβδαινίου της τάξης του 2 %, δίνουν ακόμα περισσότερη αντοχή στην διάβρωση. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες με ποσοστά άνθρακα μικρότερα από το 0,03 % έχουν την δυνατότητα μίας εύκολης συγκόλλησης.

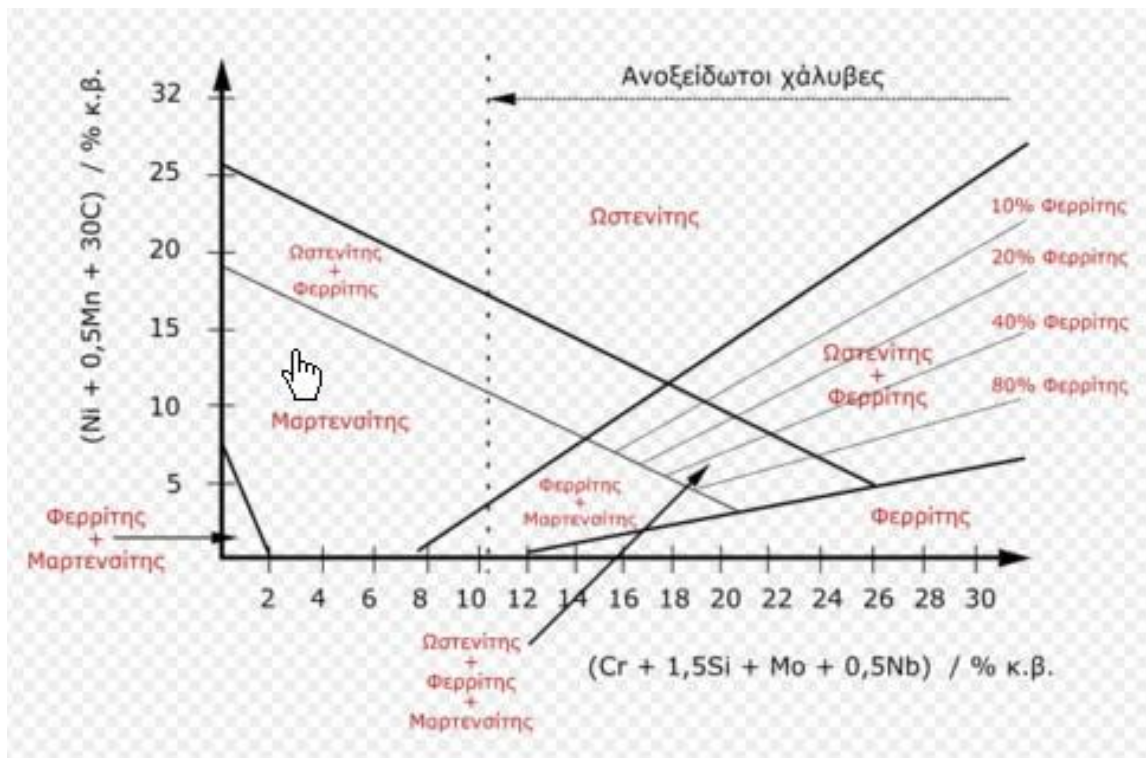
Εκτός από τους παραπάνω, υπάρχουν και οι μαγγανιούχοι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες, οι οποίοι είναι λιγότερο ανθεκτικοί και περιέχουν χαμηλά ποσοστά περιεκτικότητας χρωμίου, μαγγανίου και νικελίου. Άλλοι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι και οι υπερωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες με υψηλά ποσοστά περιεκτικότητας νικελίου και μολυβδαινίου που ξεπερνούν το 20 % και 6 % αντίστοιχα, για μεγαλύτερη αντοχή στην διάβρωση. Ένας υπερωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας, μπορεί να περιέχει και χαμηλά ποσοστά χαλκού περίπου 1-2 % για υψηλή αντοχή σε όξινα αναγωγικά περιβάλλοντα, όπως είναι το θειικό οξύ.



Εικόνα 4.5: Η προσθήκη νικελίου αυξάνει την σταθερότητα του ωστενίτη, όπως φαίνεται στο διάγραμμα φάσης Fe-Cr. [<https://upload.wikimedia.org/>]

4.3.3.2 Φερριτικοί και μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες. Οι φερριτικοί και οι μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες είναι χάλυβες, όπου η κύρια φάση τους είναι ο φερρίτης (α -Fe) ή ο μαρτενσίτης, ο οποίος προκύπτει από την απότομη ψύξη του ωστενίτη. Οι συγκεκριμένοι ανοξειδωτοί χάλυβες αποτελούνται από υψηλά ποσοστά χρωμίου περίπου 10-27 % και ελάχιστο νικέλιο λιγότερο του 2 % ή καθόλου, αλλά και μολυβδαίνιο ή τιτάνιο.

Οι φερριτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες αν υποβληθούν σε θερμική κατεργασία βαφής με απότομη ψύξη, μετατρέπονται απευθείας σε μαρτενσιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες οι οποίοι τυχαίνει να είναι ποιο μαλακοί με εύκολη κατεργασιμότητα από ότι οι ωστενιτικοί. Η σκλήρυνση και η κατακρήμνιση, είναι και αυτές διαθέσιμες στους μαρτενσιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες. Ένας απλός μαρτενσιτικός ανοξειδωτος χάλυβας αποτελείται από χρώμιο 12-17 %, μολυβδαίνιο 0,2-1 %, νικέλιο λιγότερο του 2,5 % και άνθρακα 0,1-1,2 %.



Εικόνα 4.6: Η κατάταξη ακατέργαστων ανοξειδωτων χάλυβων κατά Schäßfler. [\[https://upload.wikimedia.org/\]](https://upload.wikimedia.org/)

4.3.3.3 Διφασικοί ανοξειδωτοι χάλυβες. Οι διφασικοί ανοξειδωτοι χάλυβες είναι χάλυβες κράμα ωστενίτη-φερρίτη με αναλογία που κυμαίνεται από 50/50 έως 40/60 και για αυτόν τον λόγο αποκαλούνται και ως ωστενοφερριτικοί ή ανοξειδωτοι χάλυβες διπλής φάσης. Ένας απλός διφασικός ανοξειδωτος χάλυβας περιλαμβάνει χρώμιο 20-28 %, μολυβδαίνιο λιγότερο από 5 % και ελάχιστο νικέλιο. Οι συγκεκριμένοι χάλυβες έχουν καλή αντοχή στην διάβρωση όπως έχουν και οι ωστενιτικοί, αλλά ένα πλεονέκτημα των διφασικών σε σύγκριση με τους ωστενιτικούς είναι ότι έχουν μεγαλύτερη μαλακότητα.

4.4 ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

4.4.1 Γενικά. Οι χυτοσίδηροι γνωστοί και ως μαντέμι είναι κράματα σιδήρου, άνθρακα και πυριτίου. Η περιεκτικότητα του άνθρακα ξεπερνάει τα 2,1 % κ.β. και φτάνει έως τα 4-4,5 % κ.β. Η περιεκτικότητα του πυριτίου κυμαίνεται από 0,5-3 %. Οι χυτοσίδηροι έχουν καλή αντοχή στην τριβή και στην διάβρωση, αλλά σε σύγκριση με τον χάλυβα είναι εύθραυστοι.



Εικόνα 4.7: Δοκίμια χυτοσιδήρου
[http://www.svarca.ru/foto_stati/]

4.4.2 Παραγωγή. Η παραγωγή του χυτοσιδήρου και συγκεκριμένα του πρωτογενή χυτοσιδήρου, γίνεται με την αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο. Μετά την τήξη στην υψικάμινο ο ρευστός χυτοσίδηρος χύνεται σε ειδικά καλούπια για την μορφοποίηση του και στην συνέχεια παράγονται τα πλινθώματα (τα ονομαζόμενα “χελώνες”), τα οποία πρόκειται να υποβληθούν σε έλαση ή σφυρηλάτηση για την απόκτηση των οριστικών ιδιοτήτων και σχημάτων. Επίσης, είναι δυνατόν η παραγωγή διαφόρων ποιοτήτων χυτοσιδήρου με την ανάτηξη του πρωτογενή χυτοσιδήρου και την προσθήκη διαφόρων κραματικών στοιχείων. Αυτοί οι εξειδικευμένοι χυτοσίδηροι προορίζονται για εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων. Οι δευτερογενείς χυτοσίδηροι συνήθως διακρίνονται σε φαιούς ή γκρίζους και λευκούς χυτοσίδηρους, ανάλογα με το χρώμα της επιφάνειας που παρουσιάζουν και την μορφή του άνθρακα που περιέχουν.

4.4.3 Ποιότητες

4.4.3.1 Φαιός ή γκρίζος χυτοσίδηρος. Ο φαιός ή γκρίζος χυτοσίδηρος, έλαβε την ονομασία του λόγω της γκρίζας επιφάνειας θραύσης που παρουσιάζει. Η βασική παραγωγή του γκρίζου χυτοσιδήρου, γίνεται με την ανάτηξη πρωτογενούς χυτοσιδήρου και την προσθήκη πυριτίου. Η περιεκτικότητα του σε άνθρακα κυμαίνεται από 3-4 % και πυριτίου από 1-3 %. Σημαντικός παράγοντας για τον σχηματισμό του γκρίζου χυτοσιδήρου είναι η ταχύτητα ψύξης του τήγματος, η οποία απαιτείται να είναι σχετικά μικρή. Η προσθήκη πυριτίου μαζί με την αργή ψύξη του τήγματος διευκολύνουν το σχηματισμό γραφίτη το οποίο είναι σταθερή φάση στο διάγραμμα Fe-C. Επίσης, το χημικό στοιχείο δημήτριο βοηθάει και αυτό στον σχηματισμό γραφίτη. Η συνηθέστερη μορφή του γραφίτη είναι φύλλα περλίτη και εναλλασσόμενα φύλλα φερρίτη-σεμεντίτη. Ο γραφίτης ονομάζεται και ως αυτολιπαινόμενος χυτοσίδηρος διότι κατά την θραύση του, τρίβεται και

χρησιμοποιείται σαν στερεό λιπαντικό. Το πυρίτιο και το φώσφορο μειώνουν το σημείο τήξης του χυτοσιδήρου.

Ο σχηματισμός γραφίτη μετατρέπει τον χυτοσίδηρο σε ποιό εύθραυστο, αλλά παράλληλα δίνει υψηλή αντοχή στην τριβή και στην θλίψη, καλή αντοχή σε θερμική κόπωση, καλή αντοχή στην διάβρωση, καλή θερμική αγωγιμότητα, καλή λιπαντικότητα και αποτελεσματικότητα στην απόσβεση κραδασμών. Οι γκρίζοι χυτοσίδηροι χρησιμοποιούνται κυρίως στην κατασκευή μαγειρικών σκευών, κυλίνδρων και εμβόλων ΜΕΚ, εδράνων, περιβλημάτων μηχανών, φρένων κ.λπ.



Εικόνα 4.8: Εξαρτήματα από φαιό χυτοσίδηρο
[https://www.kipp.com/xs_db/]

4.4.3.2 Όλκιμος χυτοσίδηρος. Οι όλκιμοι χυτοσίδηροι ή χυτοσίδηροι σφαιροειδούς γραφίτη, προέρχονται από τους φαιούς χυτοσιδήρους με την προσθήκη του μαγνησίου στο τήγμα πρωτογενούς χυτοσιδήρου. Το μαγνήσιο στον χυτοσίδηρο, εμποδίζει τον σχηματισμό των φύλλων γραφίτη και σχηματίζει σφαιρίδια όπου παράγεται ο σφαιροειδής γραφίτης. Ο σφαιροειδής γραφίτης δίνει στον χυτοσίδηρο εξαιρετική κατεργασιμότητα, υψηλή μηχανική αντοχή που ξεπερνάει τα 400 MPa, καλή αντοχή σε φθορά λόγω τριβής, υψηλή αντοχή στην διάβρωση και υψηλή αντοχή σε κρουστική και εναλλασσόμενη φόρτιση. Οι όλκιμοι χυτοσίδηροι βρίσκουν εφαρμογή σε κατασκευή κυλίνδρων, οδοντωτών τροχών, αξόνων, πιεστηρίων, αντλιών, αγωγών αποχετεύσεων και γενικά στην κατασκευή εξαρτημάτων που καταπονούνται σε κρούση ή εναλλασσόμενα φορτία. Η σύσταση ενός απλού όλκιμου χυτοσιδήρου συνεπάγεται με 3,3 % άνθρακα, 2,5 % πυρίτιο, 0,3 % μαγγάνιο και 0,04-0,1 % μαγνήσιο. Οι κραματωμένοι όλκιμοι χυτοσίδηροι αποτελούνται από κραματικά στοιχεία όπως το πυρίτιο, το νικέλιο, το χρώμιο, το αλουμίνιο και το μολυβδαίνιο, σε υψηλά ποσοστά περιεκτικότητας. Αν οι όλκιμοι χυτοσίδηροι υποβληθούν σε θερμική κατεργασία τότε παράγονται χυτοσίδηροι που διακρίνονται με βάση την κύρια φάση τους (φερριτικοί, φερριτοπερλιτικοί, μαρτενσιτικοί, ωστενιτικοί κ.λπ.).



Εικόνα 4.9: Δοκίμια όλκιμου χυτοσιδήρου
[<http://www.reliance-foundry.com/>]

4.4.3.3 Λευκός χυτοσίδηρος. Ο λευκός χυτοσίδηρος έλαβε την ονομασία του από την χαρακτηριστική λευκή επιφάνεια θραύσης του. Η παραγωγή του λευκού χυτοσιδήρου γίνεται με την ανάτξη του πρωτογενούς χυτοσιδήρου και την απότομη ψύξη του τήγματος. Με την απότομη ψύξη του τήγματος πραγματοποιείται ο σχηματισμός μετασταθούς σεμεντίτη στα όρια των κόκκων περλίτη. Ο παραπάνω μετασχηματισμός διευκολύνεται και με την προσθήκη του χρωμίου στο τήγμα.

Ο λευκός χυτοσίδηρος είναι πολύ ψαθυρός εξαιτίας του σεμεντίτη, ο οποίος σπάει πολύ εύκολα, αλλά σε σχέση με τον φαιό χυτοσίδηρο είναι ποιό σκληρός. Εφαρμογές που απαιτείται σχετικά σκληρό, με υψηλή αντοχή στην τριβή και φθινό υλικό, συνιστάται ο λευκός χυτοσίδηρος. Τέτοιες εφαρμογές είναι: στην κατασκευή ορισμένων τύπων ραούλων έλασης και μητρών ολκής και διέλασης, εξαρτημάτων για αντλίες, τμημάτων θραυστήρων και μύλων, χιτωνίων και σφαιρών τριβείων, αλλά το μέγιστο μέρος της παραγωγής λευκού χυτοσιδήρου χρησιμοποιείται για την παραγωγή μαλακού χυτοσιδήρου. Οι κραματωμένοι λευκοί χυτοσίδηροι με χρώμιο είναι κατάλληλοι για την χύτευση μεγάλων διαστάσεων αντικειμένων.

Σε αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων που απαιτείται μεγάλων διαστάσεων καλούπια, παρουσιάζεται μία δυσκολία στην απότομη ψύξη του πρωτογενούς τήγματος που προορίζεται για την παραγωγή λευκού χυτοσιδήρου. Για αυτό τον λόγο, τυχαίνει αρκετές φορές το τελικό προϊόν χυτοσιδήρου να αποτελείται από σκληρή επιφάνεια λευκού χυτοσιδήρου και από μαλακό φαιό χυτοσίδηρο στο εσωτερικό του.



Εικόνα 4.10: Δοκίμια λευκού χυτοσιδήρου
[<https://4.imimg.com/data4/>]

4.4.3.4 Ελατός ή μαλακτός χυτοσίδηρος. Ο ελατός ή μαλακτός χυτοσίδηρος παράγεται από τον λευκό χυτοσίδηρο, ο οποίος έχει υποβληθεί σε θερμική κατεργασία ανόπτησης, σε θερμοκρασία περίπου 900-940 °C για διάρκεια από 3 έως 20 ώρες, με αποτέλεσμα η φάση του σεμεντίτη να διασπάται και να δημιουργείται γραφίτης. Κατά την δημιουργία του γραφίτη σχηματίζονται σφαιρίδια, μικρότερα σε διάσταση και ποιο διάσπαρτα από τα σφαιρίδια του όλκιμου χυτοσιδήρου. Ο συγκεκριμένος χυτοσίδηρος παρουσιάζει καλή ανθεκτικότητα και καλή ελατότητα. Επίσης, να σημειωθεί ότι με κατάλληλη απόψυξη είναι δυνατόν η παραγωγή ελατού χυτοσιδήρου σε μορφή φερρίτη, περλίτη ή μαρτενσίτη. Ο μαλακτός χυτοσίδηρος βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις παραγωγής μικρών χυτών αντικειμένων όπως για την κατασκευή εξαρτημάτων οχημάτων ή αγροτικών μηχανημάτων, αγώνων νερού, ακτίνων τροχών, μοχλών και σκελετών ποδηλάτων και μοτοσυκλετών, κ.λπ.



Εικόνα 4.11: Εξάρτημα μαλακού χυτοσιδήρου
[\[https://alexnid.com/wp-content/\]](https://alexnid.com/wp-content/)

5. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΩΝ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ήταν γνωστό από τα αρχαία χρόνια η σκλήρυνση εργαλείων και σπαθιών, με τη διαδικασία της θερμικής κατεργασίας της βαφής, η οποία εφαρμοζόταν σε σιδηρουργεία της Αθήνας. Οι λεπίδες των περίτρανων Δαμασκηνών Σπαθιών αποκτούσαν μεγάλη σκληρότητα και παράλληλα μεγάλη δυσθραυστότητα λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών θερμικών κατεργασιών βαφής και επαναφοράς (αναθέρμανσης), που χρησιμοποιούσαν οι τεχνίτες της εποχής εκείνης. Οι διαδικασίες αυτές σκλήρυνσης παραμένουν ακόμα και σήμερα ανεπιβεβαίωτες. Εκείνη την εποχή, οι θερμικές κατεργασίες αποτελούσαν ένα βασικό τομέα τεχνολογικής προόδου, παρόλο που οι μηχανισμοί σκλήρυνσης και εξασθένησης (μείωσης της σκληρότητας) ήταν άγνωστοι.

Την τωρινή εποχή, οι θερμικές κατεργασίες των μετάλλων αποτελούν ένα από τα κυριότερα στάδια παραγωγής στη βαριά βιομηχανία και συγκεκριμένα στην κατασκευαστική βιομηχανία χάλυβα. Η θερμική κατεργασία ορίζεται ως μία διεργασία, κατά την οποία το επεξεργαζόμενο τεμάχιο υποβάλλεται σε ένα ιδιαίτερο θερμικό κύκλο με τα ακόλουθα στάδια:

1. θέρμανση από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στην επιθυμητή θερμοκρασία,
2. παραμονή στην συγκεκριμένη θερμοκρασία για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα,
3. ψύξη μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα παραπάνω στάδια (1)-(3) αποτελούν την βασική διαδικασία μίας οποιασδήποτε θερμικής κατεργασίας.

Οι κύριες παράμετροι, οι οποίες διαφοροποιούν ανάμεσα τους τις θερμικές κατεργασίες, είναι:

- ∅ Η θερμοκρασία
- ∅ Ο χρόνος παραμονής στην εν λόγω θερμοκρασία
- ∅ Ο ρυθμός απόψυξης

Το μέσο ή περιβάλλον θέρμανσης (π.χ. αέρας, τηγμένα άλατα), το μέσο απόψυξης (π.χ. νερό, λάδι, αλατόνερο), αλλά και η μάζα του επεξεργαζόμενου υλικού, είναι τα κύρια στοιχεία των θερμικών κατεργασιών, διότι επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τις βασικές τους παραμέτρους. Οι ποιό σημαντικές οικογένειες θερμικών κατεργασιών χαλύβων είναι οι παρακάτω:

- § Ανόπτηση
- § Βαφή
- § Επαναφορά

Με λίγα λόγια η ανόπτηση, που εφαρμόζεται στους χάλυβες, έχει βασικό στόχο τη μείωση της σκληρότητας των εσωτερικών τάσεων, την αύξηση της πλαστικότητας και της κατεργασιμότητας, αλλά και την ομογενοποίηση της χημικής σύστασης χυτών, κυρίως, τεμαχίων. Αντίθετα, η βαφή των χαλύβων έχει στόχο την αύξηση της σκληρότητας τους και η επαναφορά, η οποία εφαρμόζεται ύστερα από τη βαφή, έχει ως στόχο την ανάκτηση της δυσθραυστότητας μέσω ελάχιστης μείωσης της σκληρότητας.

5.2 ΑΝΟΠΤΗΣΗ

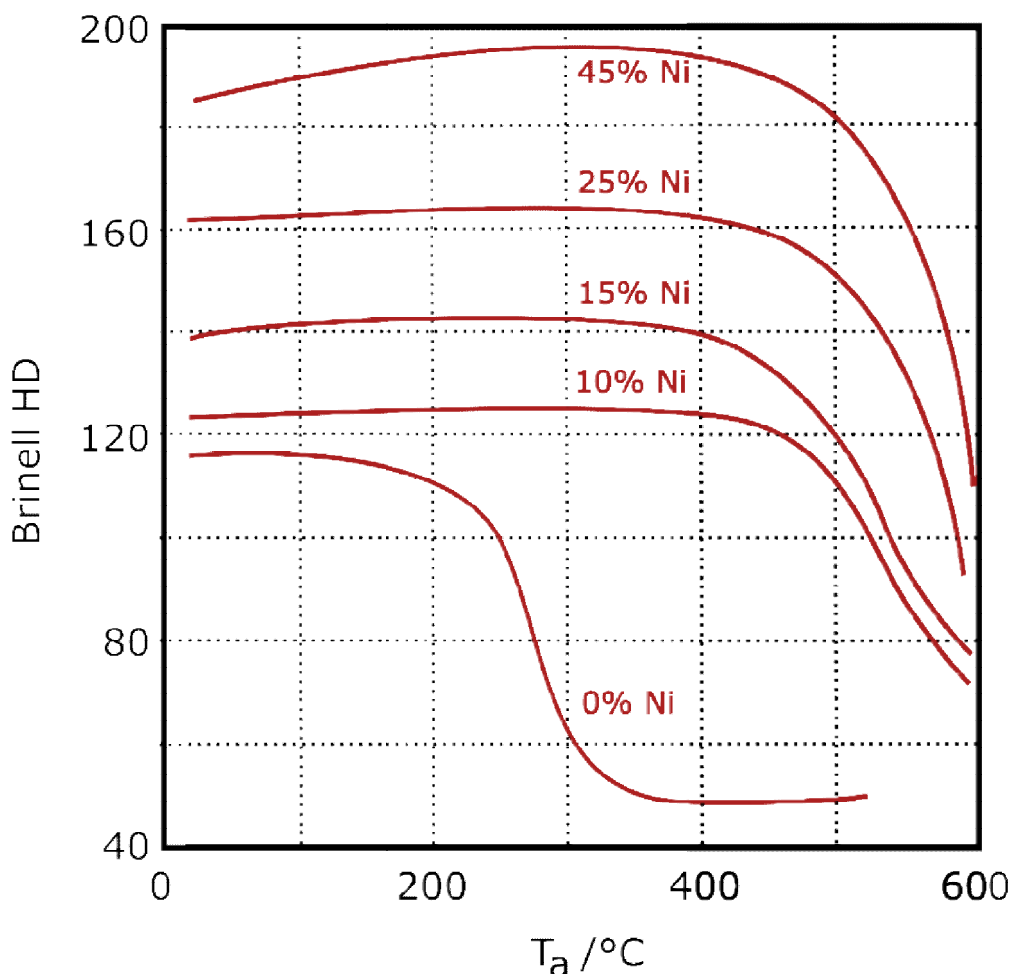
Στην μεταλλουργία ανόπτηση ονομάζεται η θερμική κατεργασία στην οποία υφίσταται ένα μεταλλικό υλικό ή κράμα, που έχει υποστεί κάποια κατεργασία όπως σφυρηλάτηση ή ενδοτράχυνση, προκειμένου στη συνέχεια υποβαλλόμενο σε ψύξη να βελτιωθεί η ευκαμψία του και να μετατραπεί σε λιγότερο εύθρυπτο.

Η χρήση της είναι πολύ κοινή σε διαδικασίες παραγωγής οι οποίες προϋποθέτουν εκτεταμένη πλαστική παραμόρφωση, για να επιτρέψει μια παράταση της παραμόρφωσης, χωρίς να επέλθει θραύση ή να χρειαστεί υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης κατεργασίας είναι πιθανόν να συμβεί αποκατάσταση και ανακρυστάλλωση. Συνήθως, είναι αναγκαία η απόκτηση λεπτοκρυσταλλικής δομής και συνεπώς, η θερμική διεργασία τερματίζεται αμέσως, πριν επέλθει σημαντική ανάπτυξη του μεγέθους των κόκκων. Η επιφανειακή οξείδωση αποφεύγεται ή μειώνεται, εάν η θερμοκρασία της ανόπτησης παραμείνει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, (υψηλότερα όμως από την θερμοκρασίας

ανακρυστάλλωσης), ή εάν η διεργασία πραγματοποιηθεί σε μη οξειδωτική ατμόσφαιρα.

Κατά την διάρκεια της ανόπτησης, το υλικό θερμαίνεται μέσα σε ειδικό κλίβανο, ο οποίος ονομάζεται κλίβανος ανόπτησης, σε θερμοκρασία (500–850 °C) για ορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια ψύχεται σταδιακά για αρκετές ώρες, σε θερμοκρασία δωματίου, έτσι ώστε να εξαλειφθούν οι υπολειπόμενες εσωτερικές τάσεις που προκάλεσε η ενδοτράχυνση. Συνήθως, η ανόπτηση γίνεται σε υλικά όπως: το αλουμίνιο, σε προϊόντα και παραγωγής γυαλιού και ιδιαίτερα στη χαλυβουργία.

Συνήθως η ανόπτηση γίνεται σε μεταλλικά υλικά ή κράματα που έχουν υποστεί ψυχρή έλαση και περιλαμβάνει τρία στάδια:



Εικόνα 5.1: Η επίδραση της θερμοκρασίας ανόπτησης (T_a), στην σκληρότητα των κραμάτων χαλκονικελίου με διαφορετικές περιεκτικότητες σε νικέλιο.

[<https://upload.wikimedia.org/>]

1. Αποκατάσταση: Στο στάδιο αυτό, το υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου ίση με $0,3T_m$, όπου T_m είναι η θερμοκρασία τήξης του υλικού. Με την θέρμανση του υλικού, επιτυγχάνεται αναδιοργάνωση και αποδέσμευση των

κρυσταλλικών διαταραχών όπως, οι ατέλειες που προκλήθηκαν από την ενδοτράχυνση. Η πυκνότητα των διαταραχών ελαττώνεται λίγο, με αποτέλεσμα την ελάχιστη μείωση της σκληρότητας και την ελάχιστη βελτίωση της ολκιμότητας του υλικού.

2. Ανακρυστάλλωση: Στο στάδιο αυτό, το υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από $0,4T_m$. Η υψηλότερη θέρμανση ευνοεί τον σχηματισμό νέων κόκκων (δηλ. κρυστάλλων) που έχουν πολύ λίγες διαταραχές και η μικροδομή του υλικού γίνεται πιο σφαιρική. Επιπλέον, η πυκνότητα των διαταραχών ελαττώνεται δραστικά περίπου από $10^{15}/m^2$ στις $10^{10}/m^2$.
3. Ανάπτυξη των κρυστάλλων: Στο στάδιο αυτό, η αύξηση του μεγέθους των κόκκων (κρυστάλλων), επιτυγχάνεται με διατήρηση του υλικού στην θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι κόκκοι που αναπτύσσονται στο στάδιο της ανακρυστάλλωσης αρχίζουν να μεγαλώνουν, καθώς, σε αυτούς ενσωματώνονται οι μικροί κόκκοι που τους περιβάλλουν. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται σημαντικά η σκληρότητα του υλικού, αλλά και η αντοχή του.

Η ανόπτηση πραγματοποιείται συνήθως, σε ατμόσφαιρα αναγωγικού αερίου (H_2 , CO , κ.ά.) για να μην οξειδωθεί η επιφάνεια του μεταλλικού υλικού. Βασικό ρόλο στην ανόπτηση παίζει η διάχυση των ατόμων στην στερεά κατάσταση. Με την διαδικασία της ανόπτησης ένα μεταλλικό υλικό, χάνει ένα μεγάλο μέρος της σκληρότητας του, που απέκτησε με την ενδοτράχυνση και μετατρέπεται σε ποιο αγώγιμο υλικό στον ηλεκτρισμό. Τέλος, η πυκνότητα του υλικού αυξάνεται με την εξάλειψη των κρυσταλλικών ατελειών.

Η ανόπτηση διακρίνεται ως εξής:

1. Ανόπτηση κατεργασίας
2. Ανόπτηση εξομάλυνσης
3. Πλήρης ανόπτηση
4. Ανόπτηση σφαιροποίησης
5. Ανόπτηση χυτοχάλυβα

5.2.1 Ανόπτηση κατεργασίας. Η ανόπτηση κατεργασίας, επίσης, αποκαλούμενη ενδιάμεση ανόπτηση, υποκριτική ανόπτηση ή ανόπτηση κατά την διάρκεια της διαδικασίας, είναι ένας κύκλος θερμικής επεξεργασίας ο οποίος αποκαθιστά μέρος της ολκιμότητας σε ένα προϊόν που έχει κατεργαστεί εν ψυχρώ, ώστε να μπορεί να κατεργαστεί ψυχρά περαιτέρω χωρίς να σπάσει.

Το εύρος θερμοκρασίας για την ανόπτηση κατεργασίας κυμαίνεται από $260\text{ }^\circ\text{C}$ ($500\text{ }^\circ\text{F}$) έως $760\text{ }^\circ\text{C}$ ($1400\text{ }^\circ\text{F}$), ανάλογα με το εν λόγω κράμα. Αυτή η διαδικασία είναι κατάλληλη κυρίως, για χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Το υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία ακριβώς κάτω από την κατώτερη κρίσιμη θερμοκρασία του χάλυβα. Ο χάλυβας ψυχρής επεξεργασίας τείνει συνήθως, να έχει αυξημένη σκληρότητα και μειωμένη ολκιμότητα, καθιστώντας δύσκολη την εργασία. Η ανόπτηση κατεργασίας τείνει να βελτιώσει αυτά τα χαρακτηριστικά. Αυτό πραγματοποιείται κυρίως, σε χάλυβα ψυχρής έλασης, όπως το συρματοσχοινο, κ.λπ.

5.2.2 Ανόπτηση εξομάλυνσης. Η εξομάλυνση είναι μία διαδικασία ανόπτησης που εφαρμόζεται στα κράματα σιδήρου για να δώσει στο υλικό μία ομοιόμορφη λεπτή δομή και να την καταστήσει λιγότερο εύθραυστη. Συμπεριλαμβάνει τη θέρμανση του χάλυβα στους 20-50 °C ,πάνω από το ανώτερο κρίσιμο σημείο του (δηλ. 920-950 °C), εμποτίζοντας το για μία σύντομη περίοδο σε αυτή την θερμοκρασία και στην συνέχεια τον αφήνουμε να κρυώσει στον αέρα. Η θέρμανση του χάλυβα ακριβώς πάνω από το ανώτερο κρίσιμο σημείο του δημιουργεί ωστενιτικούς κόκκους (πολύ μικρότεροι από τους προηγούμενους φερριτικούς κόκκους), οι οποίοι κατά την διάρκεια της ψύξης σχηματίζουν νέους φερριτικούς κόκκους με ένα περαιτέρω εκκαθαρισμένο μέγεθος κόκκων. Η διαδικασία παράγει ένα σκληρότερο, ποιό εύπλαστο υλικό και εξαλείφει τους κιονοειδής κόκκους και τον δενδριτικό διαχωρισμό που συμβαίνει μερικές φορές κατά την διάρκεια της χύτευσης. Η εξομάλυνση βελτιώνει την μηχανική ικανότητα ενός εξαρτήματος και παρέχει σταθερότητα διαστάσεων, εάν υποβληθεί σε περαιτέρω διαδικασίες θερμικής επεξεργασίας.

5.2.3 Πλήρης ανόπτηση. Μία πλήρης ανόπτηση συνήθως, οδηγεί στην δεύτερη ποιό όλκιμη κατάσταση, που ένα μέταλλο μπορεί να θεωρηθεί κράμα μετάλλου. Σκοπός του είναι, να δημιουργήσει μία ομοιόμορφη και σταθερή μικροδομή που μοιάζει περισσότερο με την μικροδομή ισορροπίας της φάσης του μεταλλικού διαγράμματος, επιτρέποντας έτσι στο μέταλλο να αποκτήσει σχετικά χαμηλά επίπεδα σκληρότητας, αντοχή διαρροής και τελικής αντοχής, με υψηλή πλαστικότητα και ανθεκτικότητα. Για να εκτελεστεί μία πλήρη ανόπτηση στον χάλυβα, ο χάλυβας θερμαίνεται ελαφρά πάνω από την ωστενιτική θερμοκρασία (δηλ. πάνω από τους 900 °C) και διατηρείται για αρκετό χρόνο για να επιτρέψει στο υλικό να σχηματίσει πλήρως δομή ωστενίτη ή ωστενίτη-σεμεντίτη. Το υλικό στην συνέχεια αφήνεται να ψυχθεί πολύ αργά, έτσι ώστε να ληφθεί η μικροδομή ισορροπίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό σημαίνει ότι, το υλικό αφήνεται να ψυχθεί (ο κλίβανος είναι απενεργοποιημένος και ο χάλυβας αφήνεται να κρυώσει μέσα), αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις ψύχεται με αέρα. Ο ρυθμός ψύξης του χάλυβα πρέπει να είναι αρκετά αργός ώστε να μην αφήνει τον ωστενίτη να μετασχηματίζεται σε μπαϊνίτη ή μαρτενσίτη, αλλά μάλλον να μετασχηματίζεται εντελώς σε περλίτη και φερρίτη ή σε σεμεντίτη. Αυτό σημαίνει ότι οι χάλυβες που είναι πολύ σκληρυντικοί (δηλ. Τείνουν να σχηματίζουν μαρτενσίτη κάτω από μετρίως χαμηλές ταχύτητες ψύξης), πρέπει να ψύχονται σε κλίβανο. Οι λεπτομέρειες της διαδικασίας εξαρτώνται από τον τύπο του μετάλλου και το ακριβές κράμα που εμπλέκεται. Σε κάθε περίπτωση, το αποτέλεσμα είναι ένα ποιό όλκιμο υλικό, αλλά χαμηλότερης αντοχής σε διαρροή και χαμηλότερης αντοχής σε εφελκυσμό. Αυτή η διαδικασία, ονομάζεται επίσης, ανόπτηση LP (lamellar perlite, ελασματοποιημένου περλίτη), όπου χρησιμοποιείται στη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα σε αντίθεση με την ανόπτηση κατεργασίας, η οποία δεν προσδιορίζει μία μικροδομή και έχει μόνο στόχο να μαλακώσει το υλικό. Συχνά το προς κατεργασία υλικό υφίσταται ανόπτηση και στην συνέχεια υποβάλλεται σε περαιτέρω θερμική επεξεργασία για να επιτευχθούν οι τελικές επιθυμητές ιδιότητες.

5.2.4 Ανόπτηση σφαιροποίησης. Περιλαμβάνει τη θέρμανση του χάλυβα, κατά περίπου (650-700 °C), για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συνήθως 25 ώρες. Κύριος στόχος της ανόπτησης αυτής είναι, η σφαιροποίηση του σεμεντίτη.

5.2.5 Ανόπτηση χυτοχάλυβα. Η ανόπτηση χυτοχάλυβα πραγματοποιείται με τη χύτευση σε τύπο από άμμο. Λόγω της χρονοβόρας απόψυξης που ακολουθεί, η δομή του χάλυβα (συνήθως, με αρχική περιεκτικότητα κοντά στο 0,35 % C), αφού στερεοποιηθεί, αποτελείται από χονδρούς κόκκους περλίτη και βελονοειδή φερρίτη (τόσο στα όρια των κόκκων του περλίτη, όσο και κατά μήκος συγκεκριμένων κρυσταλλογραφικών επιπέδων), ως γνωστή, δομή Widmanstätten. Παρόμοια δομή έχει παρατηρηθεί στους μετεωρίτες και για αυτό τον λόγο έχει πάρει το όνομά της από εκεί. Η δομή αυτή παρουσιάζει αρκετά ελαττώματα, εξαιτίας της ψαθυρότητας που παρουσιάζει, η οποία οφείλεται στους προσανατολισμένους βελονοειδείς φερριτικούς κρυστάλλους. Η αναίρεση της παραπάνω μικροδομής πραγματοποιείται με κατάλληλη ανόπτηση. Η ανόπτηση αυτή περιλαμβάνει τη θέρμανση του τεμαχίου σε θερμοκρασία μεταξύ 40-50 °C, ποιά πάνω από το κρίσιμο σημείο του (δηλ. 940-950 °C) και παραμονή για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ακολουθούμενη από ψύξη μέσα στο φούρνο. Με την ανόπτηση σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την άνω κρίσιμη θερμοκρασία επιτυγχάνεται η διαλυτοποίηση του φερρίτη στον ωστενίτη και η παραγωγή λεπτών κυττάρων ωστενίτη, που έπειτα από την ψύξη μετατρέπονται σε ανεξάρτητους κόκκους περλίτη και φερρίτη.

5.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ

5.3.1 Βαφή

5.3.1.1 Γενικά. Στην επιστήμη των υλικών, η βαφή είναι η ταχεία ψύξη ενός τεμαχίου προς απόκτηση συγκεκριμένων ιδιοτήτων υλικού. Ένας τύπος θερμικής επεξεργασίας, η βαφή, εμποδίζει την εμφάνιση ανεπιθύμητων διαδικασιών χαμηλής θερμοκρασίας, όπως μετασχηματισμοί φάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται μειώνοντας το χρονικό διάστημα, κατά το οποίο αυτές οι ανεπιθύμητες αντιδράσεις είναι θερμοδυναμικά ευνοϊκές και κινητικά προσβάσιμες. Για παράδειγμα, η βαφή μπορεί να μειώσει το μέγεθος των κρυσταλλικών κόκκων τόσο των μεταλλικών όσο και των πλαστικών υλικών, αυξάνοντας την σκληρότητα τους.

Στη μεταλλουργία, η βαφή χρησιμοποιείται συνηθέστερα για την σκλήρυνση του χάλυβα με την εισαγωγή μαρτενσίτη, οπότε ο χάλυβας πρέπει να ψύχεται ταχέως μέσω του ευτηκτοειδούς σημείου του, η θερμοκρασία στην οποία ο ωστενίτης καθίσταται ασταθής. Στον χάλυβα που είναι κράμα με μέταλλα όπως, το νικέλιο και το μαγγάνιο, η θερμοκρασία του ευτηκτοειδούς, γίνεται πολύ μικρότερη, αλλά τα κινητικά εμπόδια για τον μετασχηματισμό φάσης παραμένουν τα ίδια. Αυτό επιτρέπει να ξεκινήσει η βαφή σε χαμηλότερη θερμοκρασία, καθιστώντας τη διαδικασία πολύ ποιά εύκολη. Στον χάλυβα υψηλής ταχύτητας έχει επίσης, προστεθεί βολφράμιο, το οποίο χρησιμεύει για την αύξηση των κινητικών φραγμών και δίνει την ψευδαίσθηση ότι το υλικό έχει κρυώσει ποιά γρήγορα από ότι πραγματικά έχει. Ακόμη και η ψύξη αυτών των κραμάτων αργά στον αέρα έχει τα περισσότερα από τα επιθυμητά αποτελέσματα της βαφής. Εξαιρετικά γρήγορη ψύξη, μπορεί να αποτρέψει το σχηματισμό όλων των κρυσταλλικών δομών, όπως το άμορφο μέταλλο ή το

"μεταλλικό γυαλί". Εάν το ποσοστό του άνθρακα είναι μικρότερο από 0,4 %, η βαφή δεν είναι δυνατή.



Εικόνα 5.2: Βαφή μετάλλου
[<https://i.ytimg.com/vi/akjUmyHco3s/hqdefault.jpg>]

5.3.1.2 Διαδικασία. Η διαδικασία της βαφής είναι μία πρόοδος, αρχίζοντας με τη θέρμανση του δείγματος. Τα περισσότερα υλικά θερμαίνονται μεταξύ 815 και 900 °C (1.500 έως 1.650 °F), με ιδιαίτερη προσοχή στη διατήρηση της θερμοκρασίας σε όλο το ενιαίο τεμάχιο εργασίας. Η ελαχιστοποίηση της ανομοιόμορφης θέρμανσης και της υπερθέρμανσης, είναι το κλειδί για την απόδοση των επιθυμητών ιδιοτήτων του υλικού.

Το δεύτερο βήμα της διαδικασίας βαφής είναι ο εμποτισμός. Τα τεμάχια εργασίας μπορούν να εμποτιστούν στον αέρα (φούρνος αέρα), σε λουτρό υγρού ή σε κενό. Η συνιστώμενη χρονική κατανομή σε λουτρά άλατους ή μολύβδου, είναι έως και 6 λεπτά. Οι χρόνοι εμποτισμού μπορεί να κυμανθούν λίγο ψηλότερα μέσα σε ένα κενό. Όπως και στο στάδιο της θέρμανσης, είναι σημαντικό η θερμοκρασία σε όλο το δείγμα να παραμείνει όσο το δυνατόν ποιο ομοιόμορφη κατά την διάρκεια του εμποτισμού.

Μόλις το κομμάτι της εργασίας τελειώσει, μεταφέρεται στο στάδιο της ψύξης. Κατά την διάρκεια αυτού του σταδίου, το τμήμα είναι βυθισμένο σε κάποιο είδος υγρού βαφής. Διαφορετικά ρευστά βαφής, μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στα τελικά χαρακτηριστικά ενός βαμμένου τμήματος. Το νερό, είναι ένα από τα ποιο αποδοτικά μέσα βαφής, όπου η μέγιστη σκληρότητα είναι επιθυμητή, αλλά υπάρχει μία μικρή πιθανότητα να προκαλέσει παραμόρφωση και μικροσκοπική ρωγμή. Η σκληρότητα μπορεί να μειωθεί, χρησιμοποιώντας συχνά, πετρελαιοειδή. Αυτά τα υγρά με βάση το πετρέλαιο, συχνά, οξειδώνουν και σχηματίζουν μία λάσπη κατά την διάρκεια της βαφής, η οποία συνεπώς μειώνει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Η ταχύτητα βαφής (ταχύτητα ψύξης) του πετρελαίου είναι πολύ μικρότερη από το νερό. Οι ενδιαμέσοι ρυθμοί μεταξύ ύδατος και ελαίου μπορούν να

ληφθούν με έναν προοριζόμενο για τον σκοπό αυτό παράγοντα βαφής, μία ουσία με αντίστροφη διαλυτότητα, που εναποτίθεται επί του αντικειμένου για να επιβραδύνει τον ρυθμό ψύξης.

Η βαφή μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας αδρανή αέρια, όπως άζωτο και ευγενή αέρια. Το άζωτο, χρησιμοποιείται συνήθως, σε μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση που κυμαίνεται έως 20 bar απόλυτη. Χρησιμοποιείται επίσης, ήλιο επειδή η θερμική του ικανότητα είναι μεγαλύτερη από το άζωτο. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργόν. Ωστόσο, η πυκνότητά του απαιτεί σημαντικά περισσότερη ενέργεια για να κινηθεί και η θερμική του ικανότητα είναι μικρότερη από τις εναλλακτικές. Για να ελαχιστοποιηθεί η παραμόρφωση στο τεμάχιο εργασίας, τα μακρά κυλινδρικά τεμάχια εργασίας βάφονται κατακόρυφα, τα πλατιά κομμάτια εργασίας βάφονται στο άκρο και τα παχιά τμήματα πρέπει πρώτα να περάσουν από το λουτρό. Για την αποφυγή φυσαλίδων ατμού το λουτρό αναδεύεται.

Συχνά, μετά από την βαφή, ένα κράμα σιδήρου ή χάλυβα θα είναι υπερβολικά σκληρό και εύθραυστο λόγω της υπερβολικής ποσότητας του μερτενσίτη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μια άλλη τεχνική θερμικής επεξεργασίας γνωστή ως επαναφορά, πραγματοποιείται στο βαμμένο υλικό προκειμένου να αυξηθεί η ανθεκτικότητα των κραμάτων με βάση το σίδηρο. Η επαναφορά πραγματοποιείται συνήθως μετά από σκλήρυνση, για να μειωθεί η ποσότητα της πλεονάζουσας σκληρότητας γίνεται με θέρμανση του μετάλλου σε κάποια θερμοκρασία κάτω από το κρίσιμο σημείο για ορισμένο χρονικό διάστημα, επιτρέποντάς του στη συνέχεια να κρυώσει στον αέρα.

5.3.2 Μετασχηματισμοί φάσεων κατά την βαφή

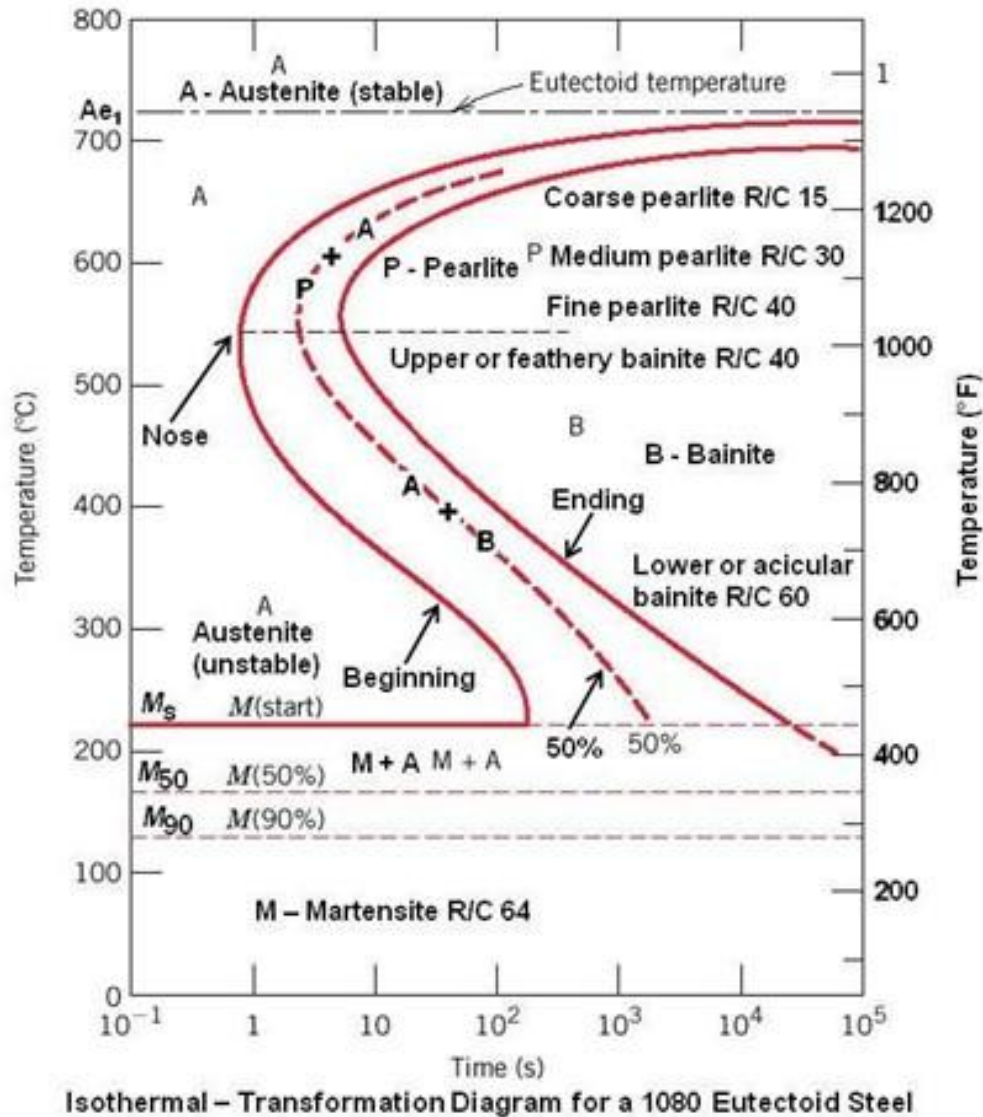
5.3.2.1 Ωστενιτοποίηση. Προκειμένου να λάβει χώρα οποιοσδήποτε μετασχηματισμός, η μικροδομή του μετάλλου πρέπει να είναι δομή ωστενίτη. Τα ακριβή όρια της περιοχής φάσης ωστενίτη εξαρτώνται από τη χημεία του κράματος που υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες ωστενιτισμού είναι τυπικά μεταξύ 912 και 1394 °C (1674 έως 2541 °F). Ο χρόνος που αφιερώνεται σε αυτή την θερμοκρασία θα ποικίλει ανάλογα με τις ιδιότητες του κράματος και της διεργασίας για ένα τμήμα που έχει σκληρυνθεί. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν η ωστενιτοποίηση είναι αρκετά μεγάλη ώστε να παράγει μία πλήρως ωστενιτική μεταλλική μικροδομή, με συνεπή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Στους χάλυβες, αυτό μπορεί να διαρκέσει μόνο λίγα λεπτά μετά την επίτευξη της ωστενιτικής θερμοκρασίας σε όλο το τμήμα του τμήματος, αλλά στους χυτοσίδηρους χρειάζεται περισσότερος χρόνος. Αυτό οφείλεται στο ότι ο άνθρακας πρέπει να διαχέεται από τον γραφίτη μέχρι να φθάσει τη συγκέντρωση ισορροπίας, που υπαγορεύεται από την θερμοκρασία και το διάγραμμα φάσης. Αυτό το βήμα μπορεί να γίνει σε πολλούς τύπους κλιβάνων, σε λουτρό άλατος υψηλής θερμοκρασίας, μέσω άμεσης φλόγας ή επαγωγικής θέρμανσης. Υπάρχουν πολυάριθμες ευρεσιτεχνίες για συγκεκριμένες μεθόδους και παραλλαγές.

5.3.2.2 Απόψυξη. Στην απόψυξη η μετατροπή που επιτυγχάνεται είναι αυτή του ωστενίτη. Σε περίπτωση γρήγορης απόψυξης, όπως είναι η βαφής, ο ωστενίτης μετασχηματίζεται σε μία σκληρή και εύθραυστη φάση γνωστή ως μαρτενσίτης, η οποία κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό χωροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα.

Η ανάπτυξη του μαρτενσίτη γίνεται σχεδόν ραγδαία μεταξύ (10^{-6} - 10^{-7} s) μέσα στους κόκκους του ωστενίτη, με τη μορφή πλακών ή βελόνων. Ο μαρτενσίτης έχει σκληρότητα αρκετά μεγάλη κοντά στα 500 με 1000 HV, αφενός λόγω της ανάπτυξης έντονων εσωτερικών τάσεων και αταξιών κατά την απότομη ψύξη και αφετέρου του κορεσμού της κρυσταλλικής δομής του σε άνθρακα. Γι' αυτό τον λόγο έμπρακτα δεν επιτυγχάνεται η σκλήρυνση μέσω βαφής σε χάλυβες με ποσοστό σε άνθρακα ελάχιστο από 0,2 %. Ο σχηματισμός της φάσης μαρτενσίτη αρχίζει με την ψύξη του υλικού κάτω από μία χαρακτηριστική θερμοκρασία που αποκαλείται θερμοκρασία έναρξης Ms. Ωστόσο, για να μετασχηματιστεί όμως κατά 100 % ο ωστενίτης σε μαρτενσίτη, πρέπει η ψύξη να παραμείνει μέχρι την θερμοκρασία τέλους Mf ($M_s < M_f$). Τα σημεία Ms, Mf εξαρτώνται αποκλειστικά από την χημική σύσταση του χάλυβα, δηλαδή χάλυβες με αρκετά μεγάλο ποσοστό σε άνθρακα (άνω του 0.7 %) ή και ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες μπορεί να εμφανίσουν $M_f < 0$. Σε περίπτωση που η ψύξη σταματήσει σε θερμοκρασία μεταξύ των σημείων Ms, Mf, τότε η δομή του υλικού που θα παραχθεί θα αποτελείται από μαρτενσίτη και υπολειπόμενο ωστενίτη.

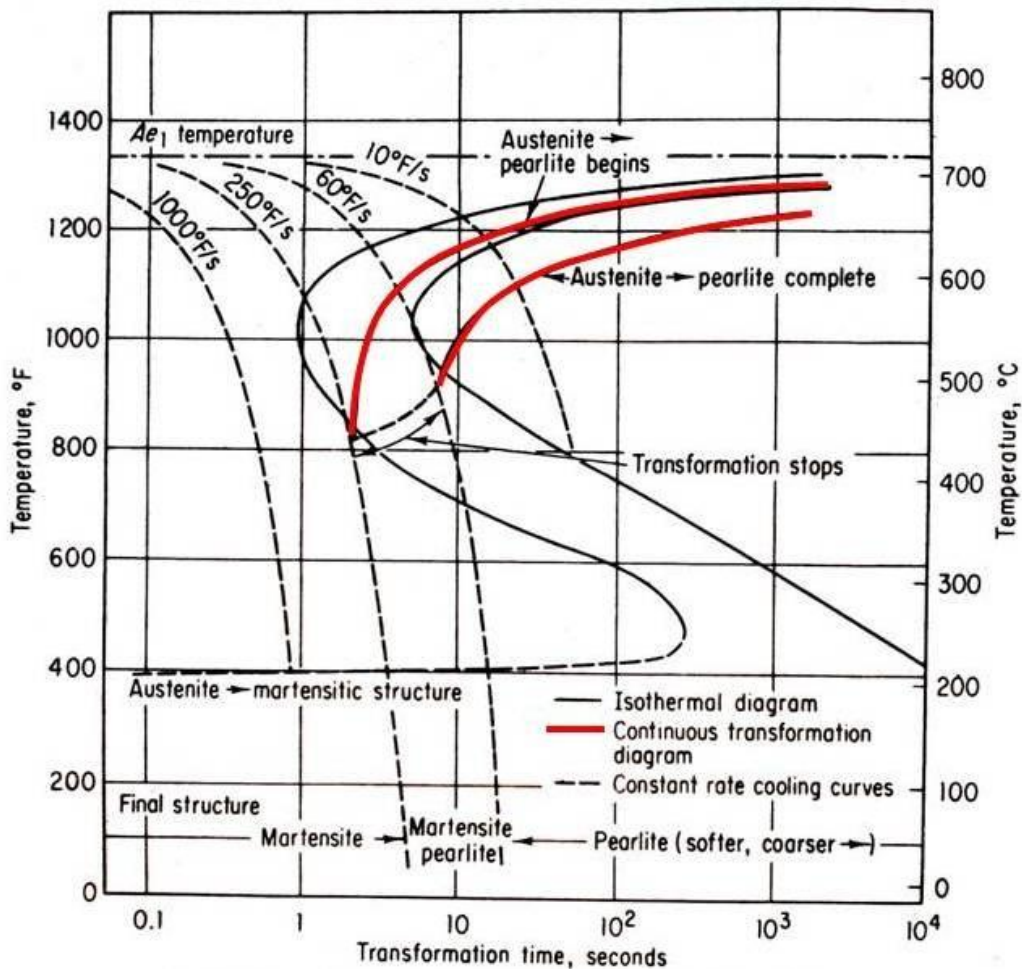
Μία μέτρια ταχύτητα απόψυξης έχει σαν αποτέλεσμα της δημιουργίας μίας δομής, η οποία αποτελείται από φερρίτη και σεμεντίτη, η οποία δείχνει μορφολογικά με τον περλίτη και με τον μαρτενσίτη. Η συγκεκριμένη ενδιάμεση δομή των δύο παραπάνω, ονομάζεται μπαινίτης. Ο μπαινίτης έχει ελάχιστη σκληρότητα (350-550 HV) από το μαρτενσίτη και εμφανίζει μεγαλύτερη πλαστικότητα. Ο μπαινίτης και ο μαρτενσίτης, είναι δομές εκτός ισορροπίας και δεν χαρακτηρίζονται από τα διαγράμματα φάσεων. Αργές αποψύξεις έχουν σαν αποτέλεσμα την μετατροπή του ωστενίτη σε περλίτη, γεγονός το οποίο προβλέπεται από το διάγραμμα φάσεων Fe-C (ευτηκτοειδής μετασχηματισμός).

5.3.3 Διαγράμματα χρόνου-θερμοκρασίας μετασχηματισμού (TTT). Τα διαγράμματα ισοθερμοκρασιακού μετασχηματισμού, γνωστά ως μετασχηματισμοί χρόνου-θερμοκρασίας ή σε συντομία TTT (time-temperature-transformations) είναι διαγράμματα θερμοκρασίας συναρτήσει χρόνου συνήθως σε λογαριθμική κλίμακα. Είναι εξυπηρετικά διαγράμματα τα οποία ευνοούν την κατανόηση της κινητικής του μετασχηματισμού ενός κράματος, το οποίο αποψύχεται με σταθερή θερμοκρασία. Όσο αναφορά τους χάλυβες, τα παραπάνω διαγράμματα υποδεικνύουν τον μετασχηματισμό του ωστενίτη σε άλλες φάσεις, κάτι που μας δίνει την δυνατότητα να καθορίσουμε τη σχέση μεταξύ θερμικής κατεργασίας και ανάπτυξης συγκεκριμένης μικροδομής. Τα διαγράμματα (TTT) δημιουργούνται από μετρήσεις του ποσοστού (%) μετασχηματισμού από την μία φάση σε μια άλλη φάση (π.χ. του ωστενίτη σε περλίτη) συναρτήσει του λογαρίθμου του χρόνου (διάγραμμα τύπου-S).



Εικόνα 5.3: Διάγραμμα TTT ευτηκτοειδούς χάλυβα
<http://player.slideplayer.gr/18/6231985/data/images/img5.jpg>

5.3.4 Διαγράμματα μετασχηματισμού συνεχούς απόψυξης (CCT). Για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους σε βιομηχανίες κατεργασίας, οι μετασχηματισμοί των κραμάτων και ιδιαίτερα των χαλύβων, επιτυγχάνονται με την βοήθεια συνεχούς απόψυξης περισσότερο ή λιγότερο ταχείας. Κατά την συνεχή απόψυξη ενός χαλύβδινου τεμαχίου οι μετασχηματισμοί δομής από την θερμοκρασία ωστενιτοποίησης στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, είναι δυνατό να καταγραφούν βάσει μετρήσεων διαστολομετρίας, για μεγάλη γκάμα ταχυτήτων απόψυξης. Τα σημεία έναρξης και τέλους των διάφορων μετασχηματισμών, όπως επίσης το ποσοστό του μετασχηματισθέντος ωστενίτη, για κάθε κατηγορία χάλυβα συσσωρεύονται σε ένα διάγραμμα, το οποίο ονομάζεται συνεχές διάγραμμα CCT (Continuous Cooling Transformation). Τα παραπάνω διαγράμματα εξυπηρετούν για την επιλογή της ταχύτητας απόψυξης, σε μία θερμική κατεργασία, έτσι ώστε το μέταλλο να αποκτήσει την επιθυμητή τελική δομή.



Continuous Cooling-Transformation (C-T) Diagram

(Derived from the isothermal-transformation diagram for a plain-carbon eutectoid steel)

Εικόνα 5.4: Διάγραμμα CCT ευτηκτοειδούς χάλυβα

[<http://practicalmaintenance.net/wp-content/>]

5.3.5 Εμβαπτότητα. Η εμβαπτότητα ενός μεταλλικού κράματος, είναι το βάθος μέχρι το οποίο σκληρύνεται ένα υλικό μετά από μία διαδικασία θερμικής επεξεργασίας. Η μονάδα εμβαπτότητας είναι ανάλογη με το μήκος. Είναι μία ένδειξη για το πόσο βαθιά μέσα στο υλικό, μπορεί να επιτευχθεί μια ορισμένη σκληρότητα. Δεν πρέπει να συγχέεται με τη σκληρότητα, η οποία αποτελεί μέτρο της αντίστασης του δείγματος στην εσοχή ή το ξύσιμο. Είναι μία σημαντική ιδιότητα για την συγκόλληση, καθώς είναι αντιστρόφως ανάλογη της συγκολλητικότητας, δηλαδή της ευκολίας συγκόλλησης ενός υλικού.

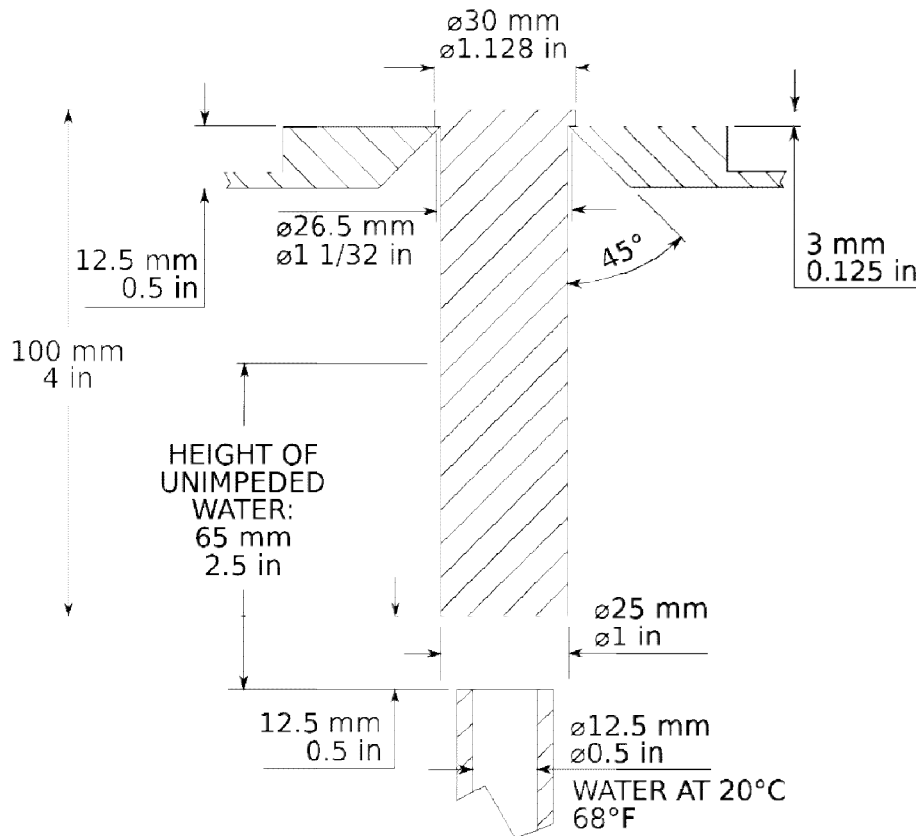
Όταν βαφεί ένα χαλύβδινο τεμάχιο, η περιοχή που έρχεται σε επαφή με το νερό ψύχεται αμέσως και η θερμοκρασία εξαντλείται με το μέσο βαφής. Ωστόσο, τα εσωτερικά βάθη του υλικού δεν κρύνουν τόσο γρήγορα και σε τεμάχια εργασίας που είναι μεγάλα, ο ρυθμός ψύξης μπορεί να είναι αρκετά αργός ώστε να επιτρέπει στον ωστενίτη, να μετασχηματιστεί πλήρως σε μια δομή διαφορετική από τον μαρτενσίτη ή τον μπαινίτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ένα έργο που δεν έχει την ίδια κρυσταλλική δομή σε ολόκληρη τη δομή του. Με ένα μαλακότερο πυρήνα και

σκληρότερο "κέλυφος". Ο μαλακότερος πυρήνας είναι ένας συνδυασμός φερρίτη και σεμεντίτη, όπως ο περλίτης.

Η εμβαπτότητα των κραμάτων σιδήρου, δηλαδή των χαλύβων, είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα, με άλλων στοιχείων κράματος και του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη. Η σχετική σημασία των διαφόρων στοιχείων κράματος υπολογίζεται με την εύρεση της ισοδύναμης περιεκτικότητας σε άνθρακα του υλικού. Το υγρό που χρησιμοποιείται για την βαφή του υλικού επηρεάζει τον ρυθμό ψύξης, λόγω των μεταβαλλόμενων θερμικών αγωγιμοτήτων και συγκεκριμένων θερμοτήτων. Ουσίες, όπως η άλμη και το νερό, ψύχονται πολύ ποιο γρήγορα από το πετρέλαιο ή τον αέρα. Επιπλέον, αν το ρευστό αναδεύεται, η ψύξη γίνεται ακόμη ποιο γρήγορα. Η γεωμετρία του εξαρτήματος, επηρεάζει επίσης, τον ρυθμό ψύξης (δηλ. δύο δείγματα ίσου όγκου, το ένα με την μεγαλύτερη επιφάνεια θα κρυώσει γρηγορότερα).

Η εβαπτότητα του σιδηρούχου κράματος μετράται με την δοκιμή Jominy: μία μεταλλική ράβδος στρογγυλού τυπικού μεγέθους μετασχηματίζεται σε 100 % ωστενίτη μέσω θερμικής επεξεργασίας και έπειτα βάφεται στο ένα άκρο με νερό σε θερμοκρασία δωματίου. Ο ρυθμός ψύξης θα είναι υψηλότερος στο τέλος της βαφής και θα μειωθεί καθώς η απόσταση από το τέλος αυξάνεται. Μετά την ψύξη, η επίπεδη επιφάνεια γειώνεται στο δοκιμαστικό τεμάχιο και η εβαπτότητα της στη συνέχεια βρίσκεται με την μέτρηση της σκληρότητας κατά μήκος της ράβδου. Όσο μακρύτερα από το κατεστραμμένο άκρο που εκτείνεται η σκληρότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η εβαπτότητα. Αυτές οι πληροφορίες σχεδιάζονται σε γράφημα εβαπτότητας.

Η δοκιμή τελικής βαφής Jominy επινοήθηκε από τους Walter E. Jominy (1893-1976) και AL Boegehold, μεταλλουργοί στο τμήμα Ερευνητικών Εργασιών της General Motors Corp., το 1937. Για την πρωτοποριακή του εργασία στη θερμική επεξεργασία, ο Jominy που αναγνωρίστηκε από την Αμερικανική Εταιρεία για τα Μέταλλα (ASM) με το Albert Sauveur Achievement Award το 1944. Ο Jominy υπηρέτησε ως πρόεδρος της ASM το 1951.



Εικόνα 5.5: Διαστασιολόγηση δοκιμή Jominy
<https://upload.wikimedia.org/>

5.3.6 Κλιμακωτές βαφές. Κλιμακωτή βαφή ονομάζεται μια θερμική κατεργασία κατά την οποία η απόψυξη δεν είναι συνεχής, αλλά περιλαμβάνει ένα στάδιο παραμονής σε μία ενδιάμεση θερμοκρασία, συνήθως μέσα σε λουτρό τηγμένου άλατος (ενδιάμεσα της θερμοκρασίας ωστενιτοποίησης και της θερμοκρασίας έναρξης Ms).

Οι κλιμακωτές βαφές εφαρμόζονται ευρύτατα σε βιομηχανίες επεξεργασίας χάλυβα και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις, που το κατεργαζόμενο τεμάχιο είναι μεγάλων διαστάσεων ή έχει πολύπλοκη γεωμετρία. Γι' αυτό τον λόγο, η χρήση της κλιμακωτής βαφής απαιτείτε για τους εξής λόγους:

- I. Μείωση των εσωτερικών τάσεων
- II. Μείωση της ανομοιογένειας που συμβαίνει λόγω του φαινομένου της μάζας.

Τα είδη κλιμακωτής βαφής είναι τα παρακάτω:

(α) Κλιμακωτή μαρτενιτική βαφή

Η συγκεκριμένη απόψυξη πραγματοποιείται με ένα στάδιο παραμονής σε μία ενδιάμεση θερμοκρασία χρονικού διαστήματος μερικών δευτερόλεπτων, έτσι ώστε να μην ξεκινήσει η μετατροπή του ωστενίτη σε περλίτη. Ύστερα, με την λήξη της ψύξης η δομή που λαμβάνεται είναι μαρτενσίτης.

(β) Κλιμακωτή μπαινιτομαρτενσιτική βαφή

Στην απόψυξη αυτή, το ενδιάμεσο στάδιο διαρκεί μερικά λεπτά, ώστε ένα μέρος του ωστενίτη να μετασχηματιστεί σε μπαινίτη. Στην συνέχεια πραγματοποιείται απότομη ψύξη, μετά την λήξη της οποίας λαμβάνεται μείγμα μπαινίτη-μαρτενσίτη. Η βαφή αυτή είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις που το υλικό προυποθέτει να έχει μεγάλη σκληρότητα και δυσθραυστότητα.

(γ) Κλιμακωτή μπαινιτική βαφή

Στην απόψυξη αυτή το ενδιάμεσο στάδιο διαρκεί μερικές ώρες, ώστε ο ωστενίτης να μετασχηματιστεί ολόκληρος σε μπαινίτη. Η βαφή αυτή είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις που το κατεργαζόμενο τεμάχιο καταπονείται κυρίως σε κρουστικές ή και εναλλασσόμενες φορτίσεις και πρέπει να έχει μεγάλη δυσθραυστότητα και αντοχή σε κόπωση.

5.3.7 Αστοχίες κατά την βαφή. Αφορά τις βασικές ρωγμές και στρεβλώσεις οι οποίες παρουσιάζονται λόγω της ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων κατά την διάρκεια της βαφής. Οι εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται μπορεί να προέρχονται τους εξής λόγους:

- I. Στην απότομη ψύξη (θερμικές τάσεις)
- II. Στην αύξηση όγκου (εξόγκωση) που συνοδεύει το μαρτενσιτικό μετασχηματισμό
- III. Στην ανομοιογενή θέρμανση-ψύξη που παρατηρείται σε τεμάχια μεγάλων ιδίως διαστάσεων.
- IV. Σε ελλειπή σχεδιασμό του προς βαφή αντικειμένου (π.χ. οι απότομες γωνίες μπορούν να οδηγήσουν σε συγκέντρωση τάσεων).
- V. Σε σφάλματα θερμικών κατεργασιών. Μεγαλύτερη θερμοκρασία ή και χρόνος παραμονής κατά την ωστενιτοποίηση, μπορούν να οδηγήσουν σε ψαθυροποίηση. Η κακή επιλογή του μέσου απόψυξης (π.χ. νερό αντί για αέρα ή για λάδι) μπορεί, επίσης, να οδηγήσει σε ρωγματώσεις.

5.4 ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ

5.4.1 Γενικά. Η επαναφορά είναι μία διαδικασία θερμικής επεξεργασίας, η οποία χρησιμοποιείται για να αυξήσει την ανθεκτικότητα των κραμάτων με βάση το σίδηρο. Η επαναφορά πραγματοποιείται συνήθως, μετά από σκλήρυνση, για να μειωθεί το μέρος της πλεονάζουσας σκληρότητας και γίνεται με θέρμανση του μετάλλου σε κάποια θερμοκρασία κάτω από το κρίσιμο σημείο για ορισμένο χρονικό διάστημα, επιτρέποντάς του στην συνέχεια, να κρυώσει στον αέρα. Η ακριβής θερμοκρασία καθορίζει την ποσότητα σκληρότητας που αφαιρείται και εξαρτάται τόσο από την ειδική σύνθεση του κράματος όσο και από τις επιθυμητές ιδιότητες στο τελικό προϊόν. Για παράδειγμα, πολύ σκληρά εργαλεία συχνά μετριάζονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ οι πηγές θερμαίνονται σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες.

5.4.2 Εισαγωγή. Η επαναφορά είναι μία τεχνική θερμικής επεξεργασίας που εφαρμόζεται σε κράματα σιδήρου, όπως, χάλυβα ή χυτοσιδήρου, για να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αντοχή, μειώνοντας την σκληρότητα του κράματος. Η μείωση της σκληρότητας συνήθως, συνοδεύεται από την αύξηση της ολκιμότητας, μειώνοντας έτσι την ευθραυστότητα του μετάλλου. Η επαναφορά γίνεται συνήθως μετά από την βαφή, η οποία είναι η ταχεία ψύξη του μετάλλου. για την απόκτηση μίας ποιό σκληρή κατάσταση. Η επαναφορά επιτυγχάνεται με ελεγχόμενη θέρμανση του βαμμένου τεμαχίου σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 900 °C (δηλ. χαμηλότερη της κρίσιμης θερμοκρασίας του). Αυτή ονομάζεται επίσης, χαμηλότερη θερμοκρασία μετασχηματισμού ή χαμηλότερη συγκράτηση. Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζουν να συνδυάζονται οι κρυσταλλικές φάσεις του κράματος, που ονομάζονται φερρίτη και σεμεντίτη, σχηματίζουν ένα μονοφασικό στερεό διάλυμα που αναφέρεται ως ωστενίτης. Η θέρμανση πάνω από αυτή τη θερμοκρασία αποφεύγεται, έτσι ώστε να μην καταστραφεί η πολύ σκληρή, εξουδετερωμένη μικροδομή, που ονομάζεται μαρτενσίτης.

Ο ακριβής έλεγχος του χρόνου και της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της διαδικασίας της επαναφοράς, είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη της επιθυμητής ισορροπίας των φυσικών ιδιοτήτων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες επαναφοράς μπορούν να ελαφρύνουν μόνο τις εσωτερικές καταπονήσεις, μειώνοντας την ευθραυστότητα διατηρώντας παράλληλα την πλειονότητα της σκληρότητας. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες επαναφοράς τείνουν να παράγουν μεγαλύτερη μείωση της σκληρότητας, θυσιάζοντας κάποια αντοχή σε ελάττωση και αντοχή σε εφελκυσμό για αύξηση της ελαστικότητας και της πλαστικότητας. Ωστόσο, σε ορισμένους χάλυβες χαμηλής κραματοποίησης, που περιέχουν άλλα στοιχεία όπως το χρώμιο και το μολυβδαίνιο, η επαναφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει αύξηση της σκληρότητας, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες η σκληρότητα θα μειωθεί. Πολλοί χάλυβες με υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων κράματος, συμπεριφέρονται σαν κράματα σκλήρυνσης καθίζησης, τα οποία παράγουν τα αντίθετα αποτελέσματα κάτω από τις συνθήκες που απαντώνται στην βαφή και την επαναφορά, και αναφέρονται ως χάλυβες μαρτενγγήρανσης.

Στους χάλυβες άνθρακα, η επαναφορά μεταβάλλει το μέγεθος και την κατανομή των καρβιδίων στον μαρτενσίτη, σχηματίζοντας μία μικροδομή που ονομάζεται "επαναφερόμενος μαρτενσίτης". Η επαναφορά πραγματοποιείται επίσης, σε κανονικοποιημένους χάλυβες και χυτά σίδερα, για την αύξηση της ολκιμότητας, της επεξεργασίας και της αντοχής στην κρούση. Ο χάλυβας όπου συνήθως, επαναφέρεται ομοιόμορφα, ονομάζεται "μέσω σκλήρυνσης", και παράγει σχεδόν ομοιόμορφη σκληρότητα, αλλά μερικές φορές, θερμαίνεται ανομοιόμορφα, αποκαλούμενος "διαφορική σκλήρυνση", παράγοντας μία διακύμανση στη σκληρότητα.

5.5 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΒΑΦΕΣ

5.5.1 Φλογοβαφή

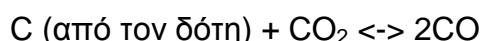
5.5.1.1 Γενικά. Η φλογοβαφή είναι μία διαδικασία σκλήρυνσης του εμβαδού επιφανείας ενός μεταλλικού αντικειμένου, ενώ επιτρέπει στο μέταλλο να παραμείνει μαλακό, σχηματίζοντας έτσι ένα λεπτό στρώμα από σκληρότερο μέταλλο (που ονομάζεται θήκη) στην επιφάνεια. Για σίδηρο ή χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, που έχει κακή έως καθόλου σκληρότητα από μόνο του, η φλογοβαφή περιλαμβάνει την επιπλέον έγχυση του άνθρακα στην επιφανειακή στιβάδα.

Η φλογοβαφή γίνεται συνήθως, αφού το τμήμα έχει διαμορφωθεί στο τελικό του σχήμα, αλλά μπορεί επίσης, να γίνει για να αυξηθεί το περιεχόμενο του στοιχείου σκλήρυνσης σε ράβδους, που θα χρησιμοποιηθούν σε συγκόλληση με μοτίβο ή παρόμοια διαδικασία. Ο όρος "σκλήρυνση προσώπου" χρησιμοποιείται επίσης για να περιγράψει αυτή την τεχνική, όταν συζητιέται για σύγχρονη θωράκιση.

Επειδή, το σκληρυνόμενο μέταλλο είναι συνήθως ποιό εύθραυστο από το μαλακότερο μέταλλο, το μέσο σκλήρυνσης (δηλαδή, η σκλήρυνση του μετάλλου ομοιόμορφα σε όλο το κομμάτι) δεν είναι πάντα μία κατάλληλη επιλογή για χρήσεις όπου το μεταλλικό τμήμα υπόκειται σε συγκεκριμένες καταπονήσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η σκλήρυνση μπορεί να παρέχει ένα τμήμα που δεν θα σπάσει (λόγω του μαλακού πυρήνα που μπορεί να απορροφήσει τάσεις χωρίς ρωγμές), αλλά παρέχει επίσης, επαρκή αντίσταση στην φθορά στην επιφάνεια.

5.5.1.2 Χημεία. Ο ίδιος ο άνθρακας είναι στερεός στις θερμοκρασίες φλογοβαφής και έτσι είναι ακίνητος. Η μεταφορά στην επιφάνεια του χάλυβα, γίνεται με το αέριο του μονοξειδίου του άνθρακα, το οποίο δημιουργήθηκε από την διάσπαση της χημικής ένωσης ενανθράκωσης και το οξυγόνου που ήταν συσκευασμένο σε σφραγισμένο κιβώτιο. Αυτό γίνεται με καθαρό άνθρακα, αλλά πολύ αργά για να είναι εφικτή. Παρόλο που απαιτείται οξυγόνο για αυτή τη διαδικασία, ανακυκλώνεται μέσω του κύκλου του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και έτσι μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα σε σφραγισμένο κουτί. Η σφράγιση είναι απαραίτητη για να σταματήσει το CO, είτε να διαρρεύσει, είτε να οξειδωθεί σε CO₂, με περίσσεια εξωτερικού αέρα.

Η προσθήκη ενός εύκολα αποσυντιθέμενου ανθρακικού "ενεργοποιητή" όπως, ανθρακικού βαρίου διασπάται προς BaO + CO₂ και αυτό ενθαρρύνει την αντίδραση.



Αυξάνοντας τη συνολική αφθονία του CO και τη δραστικότητα της ένωσης ενανθράκωσης. Είναι μια κοινή πλάνη της γνώσης ότι η φλόγοβαφή έγινε με οστό, αλλά αυτό είναι παραπλανητικό. Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε οστό, ο κύριος δωρητής άνθρακα ήταν η σπλή και το κέρατο. Τα οστά περιέχουν ορισμένα ανθρακικά, αλλά κυρίως φωσφορικό ασβέστιο (ως υδροξυαπατίτης). Αυτό δεν έχει το ευεργετικό αποτέλεσμα της ενθάρρυνσης της παραγωγής CO και μπορεί επίσης, να εισάγει φώσφορο ως ακαθαρσία στο κράμα χάλυβα.

5.5.1.3 Σύγχρονη μέθοδος. Οι χάλυβες άνθρακα και οι κραματωμένοι είναι κατάλληλοι για φλογοβαφή. Τυπικά, χρησιμοποιούνται ήπιοι χάλυβες, με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, συνήθως, μικρότερη από 0,3 %. Αυτοί οι ήπιοι χάλυβες δεν είναι συνήθως, σκληρυνόμενοι λόγω της χαμηλής ποσότητας άνθρακα, για αυτό τον λόγο, η επιφάνεια του χάλυβα είναι χημικά αλλοιωμένη για να αυξηθεί η σκληρότητα. Ο χάλυβας που έχει περάσει από φλογοβαφή, σχηματίζεται διά της διάχυσης του άνθρακα (ενανθράκωση), του αζώτου (εναζώτωση) και του βορίου (βορίωση) στην εξωτερική στρώση του χάλυβα σε υψηλή θερμοκρασία και στη συνέχεια θερμική κατεργασία του επιφανειακού στρώματος στην επιθυμητή σκληρότητα.

Ο όρος φλογοβαφή προέρχεται από τις πρακτικές λεπτομέρειες της ίδιας της διεργασίας ενανθράκωση, η οποία είναι ουσιαστικά η ίδια με την αρχαία διαδικασία. Το χαλύβδινο τεμάχιο εργασίας τοποθετείται μέσα σε μια σφιχτή θήκη με φλογοβαφή χημικής ένωσης βάση του άνθρακα. Αυτό είναι συλλογικά γνωστό ως, πακέτο ενανθράκωσης. Το πακέτο τοποθετείται μέσα σε ένα ζεστό φούρνο για ένα μεταβλητό χρονικό διάστημα. Ο χρόνος και η θερμοκρασία καθορίζουν πόσο βαθιά στην επιφάνεια εκτείνεται η σκλήρυνση. Ωστόσο, το βάθος της σκλήρυνσης περιορίζεται τελικά από την αδυναμία του άνθρακα να διαχέεται βαθιά σε στερεό χάλυβα και ένα τυπικό βάθος επιφανειακής σκλήρυνσης με αυτή την μέθοδο είναι μέχρι 1,5 mm. Άλλες τεχνικές χρησιμοποιούνται επίσης, στη σύγχρονη ενανθράκωση, όπως η θέρμανση ατμόσφαιρα πλούσια σε άνθρακα. Τα μικρά αντικείμενα μπορούν να υποστούν φλογοβαφή με επαναλαμβανόμενη θέρμανση με πύρωση και βαφή σε ένα μέσο πλούσιο σε άνθρακα, όπως τα εμπορικά προϊόντα Kasenit / Casenite ή Cherry Red. Τα παλαιότερα σκευάσματα αυτών των ενώσεων περιέχουν δυνητικά τοξικές κυανιούχες ενώσεις, ενώ οι πιο πρόσφατοι τύποι όπως το Cherry Red δεν το κάνουν.

5.5.2 Επαγωγική σκλήρυνση

5.5.2.1 Γενικά. Η επαγωγική σκλήρυνση είναι μια μορφή θερμικής επεξεργασίας στην οποία ένα μεταλλικό τμήμα θερμαίνεται με επαγωγική θέρμανση και στην συνέχεια βάζεται. Το βαμμένο μέταλλο υφίσταται ένα μαρτενσιτικό μετασχηματισμό, αυξάνοντας την σκληρότητα και την ευθραυστότητα του τμήματος. Η επαγωγική σκλήρυνση χρησιμοποιείται για την επιλεκτική σκλήρυνση των περιοχών ενός τμήματος ή ενός συγκροτήματος χωρίς να επηρεάζει τις ιδιότητες του τμήματος στο σύνολό του.

5.5.2.2 Διαδικασία. Η επαγωγική θέρμανση είναι μία διαδικασία θέρμανσης χωρίς επαφή, η οποία χρησιμοποιεί την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής για να παράγει θερμότητα μέσα στο επιφανειακό στρώμα ενός τεμαχίου. Τοποθετώντας ένα αγώγιμο υλικό σε ένα ισχυρό εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, μπορεί να γίνει ηλεκτρικό ρεύμα ώστε να ρέει μέσα στο υλικό δημιουργώντας έτσι θερμότητα εξαιτίας των απωλειών του $I^2 \times R$ στο υλικό. Σε μαγνητικά υλικά, παράγεται περαιτέρω θερμότητα κάτω από το σημείο curie λόγω απώλειας υστέρησης. Το ρεύμα που παράγεται ρέει κυρίως, στο επιφανειακό στρώμα. Το βάρος αυτού του στρώματος,

υπαγορεύεται από την συχνότητα του εναλλασσόμενου πεδίου, την πυκνότητα ισχύος της επιφάνειας, την διαπερατότητα του υλικού, τον χρόνο θερμότητας και την διάμετρο της ράβδου ή του πάχους του υλικού. Με την εξουδετέρωση αυτής της θερμαινόμενης στιβάδας σε νερό, λάδι ή βαφή με βάση το πολυμερές, το επιφανειακό στρώμα μεταβάλλεται για να σχηματίσει μια μαρτενιτική δομή η οποία είναι ποιό σκληρή από το βασικό μέταλλο. (Σημείο Κιρί (Curie point), είναι η θερμοκρασία στην οποία συγκεκριμένα υλικά χάνουν τις μόνιμες μαγνητικές τους ιδιότητες, για να αντικατασταθούν από επαγόμενο μαγνητισμό).

5.5.3 Επιφανειακή βαφή με δέσμη Laser. Η σκλήρυνση με λέιζερ είναι διαδικασία επιφανειακής σκλήρυνσης. Χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε σιδηρούχα υλικά κατάλληλα για σκλήρυνση, συμπεριλαμβανομένων χάλυβες και χυτοσίδηρο με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη από 0,2 %. Για να σκληρύνει το τεμάχιο εργασίας, η ακτίνα λέιζερ θερμαίνει συνήθως, το εξωτερικό στρώμα ακριβώς κάτω από την θερμοκρασία τήξης (περίπου 900 έως 1400 °C). Μόλις επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, η ακτίνα λέιζερ αρχίζει να κινείται. Καθώς, κινείται η ακτίνα λέιζερ, θερμαίνει συνεχώς την επιφάνεια κατά την κατεύθυνση της επεξεργασίας. Η υψηλή θερμοκρασία αναγκάζει τα άτομα σιδήρου να αλλάξουν τη θέση τους μέσα στο μεταλλικό πλέγμα (ωστενοποίηση). Μόλις η ακτίνα λέιζερ απομακρυνθεί, η θερμή στρώση ψύχεται πολύ γρήγορα από το περιβάλλον υλικό, με μία διαδικασία γνωστή ως αυτοβαφή. Η γρήγορη ψύξη εμποδίζει το μεταλλικό πλέγμα να επιστρέψει στην αρχική δομή του, παράγοντας μαρτενσίτη. Ο μαρτενσίτης είναι μία πολύ σκληρή μεταλλική δομή. Ο μετασχηματισμός σε μαρτενσίτη αποδίδει μεγαλύτερη σκληρότητα.

Η ακτίνα λέιζερ σκληραίνει το εξωτερικό στρώμα ή το περίβλημα του τεμαχίου. Το βάθος σκλήρυνσης του εξωτερικού στρώματος είναι τυπικά από 0,1 έως 1,5 mm. Σε ορισμένα υλικά, μπορεί να είναι 2,5 mm ή περισσότερο. Το μεγαλύτερο βάθος σκλήρυνσης, απαιτεί μεγαλύτερο όγκο περιβάλλοντος υλικού ώστε να διασφαλίζεται ότι η θερμότητα διαλύεται γρήγορα και η ζώνη σκλήρυνσης ψύχεται αρκετά γρήγορα.

Σχετικά χαμηλές πυκνότητες ισχύος, απαιτούνται για σκλήρυνση. Ταυτόχρονα, η διαδικασία σκλήρυνσης περιλαμβάνει την επεξεργασία εκτεταμένων περιοχών της επιφάνειας του τεμαχίου προς κατεργασία. Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο η δέσμη λέιζερ διαμορφώνεται έτσι ώστε να ακτινοβολεί μία περιοχή που είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Η ακτινοβολούμενη περιοχή είναι συνήθως, ορθογώνια. Οι οπτικές σαρώσεις χρησιμοποιούνται επίσης, για τη σκλήρυνση. Χρησιμοποιούνται για την κίνηση μίας δέσμης λέιζερ με στρογγυλή εστίαση εμπρός και πίσω πολύ γρήγορα, δημιουργώντας μία γραμμή στο τεμάχιο εργασίας με πυκνότητα ισχύος που είναι σχεδόν ομοιόμορφη. Αυτή η μέθοδος καθιστά δυνατή την παραγωγή σκληρυνόμενων διαδρομών πλάτους έως και 60 mm.

5.6 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

5.6.1 Ενανθράκωση

5.6.1.1 Γενικά. Η ενανθράκωση είναι μία διαδικασία θερμικής επεξεργασίας στην οποία ο σίδηρος ή ο χάλυβας απορροφά τον άνθρακα ενώ το μέταλλο θερμαίνεται παρουσία ενός υλικού που φέρει άνθρακα, όπως, άνθρακα ή μονοξείδιο του άνθρακα. Η πρόθεση είναι να κάνει το μέταλλο σκληρότερο. Ανάλογα με το χρόνο και τη θερμοκρασία, η επηρεαζόμενη περιοχή μπορεί να ποικίλει σε περιεκτικότητα σε άνθρακα. Οι μεγαλύτεροι χρόνοι ξήρανσης και οι υψηλότερες θερμοκρασίες συνήθως αυξάνουν το βάθος της διάχυσης του άνθρακα. Όταν ο σίδηρος ή ο χάλυβας ψύχεται ταχέως με βαφή, η υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα στην εξωτερική επιφάνεια καθίσταται σκληρή, λόγω του μετασχηματισμού από ωστενίτη σε μαρτενσίτη, ενώ ο πυρήνας παραμένει μαλακός και ανθεκτικός ως μικροδομή φερρίτη και / ή περλίτη.

Αυτή η διαδικασία κατασκευής μπορεί να χαρακτηριστεί από τα ακόλουθα βασικά σημεία. Εφαρμόζεται σε τεμάχια χαμηλών εκπομπών άνθρακα και τα τεμάχια εργασίας βρίσκονται σε επαφή με αέριο υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, υγρό ή στερεό. Στην συνέχεια παράγει μια σκληρή επιφάνεια εργασίας όπου οι πυρήνες των τεμαχίων εργασίας διατηρούν σε μεγάλο βαθμό την αντοχή και την ολκιμότητα τους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παράγει βάθη σκληρότητας έως και 0,25 in (6,4 mm). Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμεύει ως αποκατάσταση για την ανεπιθύμητη ενανθράκωση που συνέβη νωρίτερα σε μια διαδικασία παρασκευής.

5.6.1.2 Μέθοδος. Η ενανθράκωση χάλυβα περιλαμβάνει θερμική επεξεργασία της μεταλλικής επιφάνειας με χρήση άνθρακα. Η ενανθράκωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της επιφανειακής σκληρότητας του χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Η πρώιμη ενανθράκωση χρησιμοποιούσε μία άμεση εφαρμογή ενεργού άνθρακα γύρω από το δείγμα που υποβάλλονταν σε επεξεργασία (αρχικά αναφέρεται ως σκλήρυνση των περιπτώσεων), αλλά οι σύγχρονες τεχνικές χρησιμοποιούν αέρια που φέρουν άνθρακα ή πλάσματα (όπως διοξείδιο του άνθρακα ή μεθάνιο). Η διαδικασία, εξαρτάται κυρίως, από την σύνθεση του αερίου περιβάλλοντος και την θερμοκρασία του κλιβάνου, η οποία πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά, καθώς, η θερμότητα μπορεί επίσης, να προσκρούσει στην μικροδομή του υπόλοιπου υλικού. Για εφαρμογές όπου είναι επιθυμητός μεγάλος έλεγχος της σύνθεσης αερίου, η ενανθράκωση μπορεί να λάβει χώρα υπό πολύ χαμηλές πιέσεις σε θάλαμο κενού.

Η ενανθράκωση πλάσματος χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την βελτίωση των επιφανειακών χαρακτηριστικών (όπως φθορά, αντοχή στη διάβρωση, σκληρότητα, φέρουσα ικανότητα, πέραν των μεταβλητών που βασίζονται στην ποιότητα) διαφόρων μετάλλων, ιδίως ανοξείδωτων χαλύβων. Η διαδικασία είναι φιλική προς το περιβάλλον (σε σύγκριση με την αεριώδη ή στερεή ενανθράκωση). Παρέχει επίσης, ομοιόμορφη επεξεργασία συστατικών με πολύπλοκη γεωμετρία (το

πλάσμα μπορεί να εισχωρήσει σε τρύπες και σφιχτά κενά), καθιστώντας το πολύ ευέλικτο από την άποψη της επεξεργασίας συστατικών.

Η διαδικασία της ενανθράκωσης, λειτουργεί μέσω της διάχυσης ατόμων άνθρακα στα επιφανειακά στρώματα ενός μετάλλου. Δεδομένου ότι τα μέταλλα αποτελούνται από άτομα συνδεδεμένα στενά σε ένα μεταλλικό κρυσταλλικό πλέγμα, τα άτομα άνθρακα διαχέονται στην κρυσταλλική δομή του μετάλλου και είτε παραμένουν σε διάλυμα (διαλυμένα εντός της μεταλλικής κρυσταλλικής μήτρας, αυτό συμβαίνει κανονικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες), είτε αντιδρούν με στοιχεία στο μέταλλο ξενιστή για σχηματισμό καρβιδίων (κανονικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες, λόγω της μεγαλύτερης κινητικότητας των ατόμων του μεταλλικού ξενιστή). Εάν ο άνθρακας παραμείνει σε στερεό διάλυμα, τότε ο χάλυβας υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία για να σκληρύνει. Και οι δύο αυτοί μηχανισμοί ενισχύουν την επιφάνεια του μετάλλου, ο πρώτος σχηματίζοντας περλίτη ή μαρτενσίτη, και οι τελευταίοι μέσω του σχηματισμού καρβιδίων. Και τα δύο αυτά υλικά είναι σκληρά και αντιστέκονται στην τριβή. Το αέριο ενανθράκωσης χρησιμοποιείται κανονικά σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 900 και 950 °C.

Στην οξυακετυλενική συγκόλληση, μία φλόγα ενανθράκωσης, αποτελείται από μία μικρή ποσότητα οξυγόνου, η οποία παράγει φλόγα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Συχνά χρησιμοποιείται για την ανόπτηση μετάλλου, καθιστώντας το ποιό εύπλαστο και εύκαμπτο κατά την διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης.

Ένας κύριος στόχος κατά την παραγωγή ενανθρακωμένων τεμαχίων, είναι η εξασφάλιση μέγιστης επαφής μεταξύ της επιφάνειας του τεμαχίου και των πλούσιων σε άνθρακα στοιχείων. Στην ενανθράκωση αερίων και υγρών, τα τεμάχια εργασίας υποστηρίζονται συχνά, σε καλάθια πλέγματος ή αιωρούνται με σύρμα. Στην διαδικασία ενανθράκωση, το τεμάχιο εργασίας και ο άνθρακας περικλείονται σε ένα δοχείο για να εξασφαλίζεται ότι η επαφή διατηρείται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια. Τα δοχεία περισυλλογής ενανθράκωσης είναι συνήθως, κατασκευασμένα από ανθρακούχο χάλυβα επικαλυμμένα με αλουμίνιο ή κράμα αλουμινίου-κράματος ανθεκτικά στην θερμότητα και σφραγισμένα σε όλα τα ανοίγματα με πυρίμαχο πηλό.

5.6.2 Εναζώτωση

5.6.2.1 Γενικά. Η εναζώτωση είναι μία διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που διαχέει το άζωτο στην επιφάνεια ενός μετάλλου για να δημιουργήσει μια περίπτωση σκληρυνόμενης επιφάνειας. Αυτές οι διεργασίες χρησιμοποιούνται συχνότερα σε χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, χαμηλού κράματος. Χρησιμοποιούνται επίσης, σε χάλυβες μέσης και υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, τιτάνιο, αλουμίνιο και μολυβδαίνιο. Το 2015 χρησιμοποιήθηκε εναζώτωση για την δημιουργία μοναδικής μικροδομής διπλής όψης (μαρτενσίτη-ωστενίτη, ωστενίτη-φερρίτη), που είναι γνωστό ότι σχετίζεται με έντονα ενισχυμένες μηχανικές ιδιότητες.

Τυπικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τα γρανάζια, τους στροφαλοφόρους άξονες, τους εκκεντροφόρους, τους ολισθητήρες των έκκεντρων, τα εξαρτήματα βαλβίδων, τις βίδες εξωθητήρων, τα εργαλεία χύτευσης με μήτρα, τις σφυρηλατημένες μήτρες, τις μήτρες εξώθησης, τα εξαρτήματα πυροβόλων όπλων, τα μπεκ και τα πλαστικά εργαλεία.

5.6.2.2 Αέρια εναζώτωση. Στην αέρια εναζώτωση ο δότης είναι ένα πλούσιο στοιχείο αέριο αζώτου, συνήθως, αμμωνία (NH₃), και για αυτόν τον λόγο είναι μερικές φορές γνωστή ως εναζώτωση αμμωνίας. Όταν η αμμωνία έρχεται σε επαφή με το θερμαινόμενο τεμάχιο εργασίας, διασπάται σε άζωτο και υδρογόνο. Το άζωτο στη συνέχεια διαχέεται στην επιφάνεια του υλικού δημιουργώντας ένα στρώμα νιτριδίου. Αυτή η διαδικασία υπήρξε για σχεδόν έναν αιώνα, αν και μόνο τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξε μία συγκεντρωμένη προσπάθεια να διερευνηθεί το κομμάτι της θερμοδυναμικής και της κινητικής που εμπλέκονται. Οι πρόσφατες εξελίξεις οδήγησαν σε μία διαδικασία που μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια. Το πάχος και η σύνθεση φάσης των προκύπτοντων στρωμάτων ενανθράκωσης μπορούν να επιλεγούν και η διαδικασία να βελτιστοποιηθεί για τις συγκεκριμένες ιδιότητες που απαιτούνται.

Τα πλεονεκτήματα της αέριας εναζώτωσης έναντι των άλλων παραλλαγών είναι:

- Ακριβής έλεγχος του χημικού δυναμικού του αζώτου στην ατμόσφαιρα εναζώτωσης με τον έλεγχο του ρυθμού ροής του αζώτου και του οξυγόνου.
- Ολόκληρο το αποτέλεσμα της εναζώτωσης (μπορεί να είναι μειονέκτημα σε ορισμένες περιπτώσεις, σε σύγκριση με την εναζώτωση πλάσματος).
- Μεγάλα μεγέθη παρτίδας. Ο περιοριστικός παράγοντας είναι το μέγεθος του κλιβάνου και η ροή του αερίου.
- Με τους σύγχρονους υπολογιστές και τον έλεγχο της ατμόσφαιρα τα αποτελέσματα της εναζώτωσης μπορούν να ελέγχονται στενά.
- Σχετικά χαμηλό κόστος εξοπλισμού ειδικά σε σχέση με το πλάσμα.

Τα μειονεκτήματα της αέριας εναζώτωσης είναι:

- Η κινητική της αντίδρασης επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την κατάσταση της επιφάνειας, μία ελαιώδης επιφάνεια ή μια μολυσμένη με κοπτικά υγρά θα αποδώσει ανεπαρκή αποτελέσματα.
- Η ενεργοποίηση επιφανείας απαιτείται μερικές φορές για την κατεργασία χαλύβων με υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο και συγκρίνετε η επιμετάλλωση κατά την διάρκεια της εναζώτωση πλάσματος.
- Η αμμωνία ως μέσο εναζώτωσης αν και δεν είναι ιδιαίτερα τοξική, μπορεί να είναι επιβλαβής όταν εισπνέεται σε μεγάλες ποσότητες. Επίσης, πρέπει να θερμαίνετε με την παρουσία οξυγόνου για να μειωθεί ο κίνδυνος έκρηξης.

5.6.2.3 Εναζώτωση με λουτρό άλατος. Στην εναζώτωση με λουτρό άλατος το μέσο χορήγησης αζώτου είναι αλάτι, που περιέχει αλάτι αζώτου όπως το κυανιούχο αλάτι. Τα χρησιμοποιούμενα άλατα δίνουν επίσης, άνθρακα στην επιφάνεια του κατεργαζόμενου τεμαχίου, καθιστώντας το λουτρό άλατος ένα μέσο διαδικασίας αζώτου-ενανθράκωσης. Η χρησιμοποιούμενη θερμοκρασία που είναι χαρακτηριστική για όλες τις διεργασίες αζώτου-ενανθράκωσης, υπολογίζεται στους 550-570 °C. Τα πλεονεκτήματα της εναζώτωσης του αλατιού είναι ότι επιτυγχάνει μεγαλύτερη διάχυση την ίδια χρονική περίοδο σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.

Τα πλεονεκτήματα της εναζώτωσης άλατος είναι:

- Γρήγορος χρόνος επεξεργασίας συνήθως της τάξης των 4 ωρών για να επιτευχθεί
- Απλή λειτουργία. Θερμαίνονται το αλάτι και τα τεμάχια σε μία ορισμένη θερμοκρασία και έπειτα, βυθίζονται μέχρι την διάρκειά ανάδυσης.

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Τα χρησιμοποιούμενα άλατα είναι ιδιαίτερα τοξικά. Η απόρριψη αλάτων ελέγχεται από αυστηρούς περιβαλλοντικούς νόμους στις δυτικές χώρες και έχει αυξήσει το κόστος που συνεπάγεται η χρήση λουτρών αλατιού. Αυτός είναι ένας από τους ποιά σημαντικούς λόγους για τους οποίους η διαδικασία έπαψε να είναι ευνοϊκή τις τελευταίες δεκαετίες.
- Δεδομένου ότι το άζωτο καθορίζεται από το αλάτι, είναι δυνατή μόνο ένας τύπος διεργασίας.

5.6.2.4 Εναζώτωση πλάσματος. Η εναζώτωση πλάσματος, είναι γνωστή και ως εναζώτωση ιόντων, εναζώτωση ιόντων πλάσματος ή εναζώτωση με εκτόνωση, είναι μια βιομηχανική επεξεργασία σκλήρυνσης επιφανειών για μεταλλικά υλικά.

Σε εναζώτωση πλάσματος, η αντιδραστικότητα των μέσων εναζώτωσης δεν οφείλεται στη θερμοκρασία αλλά στην ιονισμένη κατάσταση του αερίου. Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται έντονα ηλεκτρικά πεδία για την παραγωγή ιονισμένων μορίων του αερίου γύρω από την επιφάνεια που πρόκειται να εναζωτωθεί. Ένα τέτοιο πολύ ενεργό αέριο με ιονισμένα μόρια ονομάζεται πλάσμα. Το αέριο που χρησιμοποιείται για εναζώτωση πλάσματος είναι συνήθως καθαρό άζωτο, καθώς, δεν απαιτείται αυθόρμητη αποσύνθεση (όπως στην περίπτωση της εναζώτωση αερίου με αμμωνία). Υπάρχουν τα ζεστά πλάσμα που χαρακτηρίζονται από πίδακες πλάσματος που χρησιμοποιούνται για κοπή, συγκόλληση, επένδυση ή ψεκασμό μετάλλων. Υπάρχουν επίσης, τα ψυχρά πλάσμα, που παράγονται συνήθως μέσα στους θαλάμους κενού, σε καθεστώτα χαμηλής πίεσης.

Συνήθως, οι χάλυβες υφίστανται ευεργετική επεξεργασία με εναζώτωση πλάσματος. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τον στενό έλεγχο της εναζωτώμενης μικροδομής, επιτρέποντας έτσι την εναζώτωση με ή χωρίς σχηματισμό σύνθετου στρώματος. Όχι μόνο βελτιώνεται η απόδοση των μεταλλικών εξαρτημάτων, αλλά αυξάνεται και η διάρκεια ζωής εργασίας, καθώς, και το όριο παραμόρφωσης και η αντοχή στην κόπωση των κατεργασμένων μετάλλων. Για παράδειγμα, οι μηχανικές ιδιότητες του ωστενιτικού ανοξειδωτού χάλυβα όπως η αντοχή στη φθορά μπορούν να αυξηθούν σημαντικά και η σκληρότητα επιφανείας των εργαλείων χάλυβα μπορεί να διπλασιαστεί.

Ένα τμήμα με εναζωτώμενο πλάσμα είναι συνήθως έτοιμο για χρήση. Απαιτεί μηχανική κατεργασία ή στίλβωση ή άλλες μετά-εναζωτώδεις εργασίες. Έτσι, η διαδικασία είναι φιλική προς το χρήστη, εξοικονομεί ενέργεια αφού λειτουργεί ταχύτερα και προκαλεί μικρή ή και καθόλου παραμόρφωση.

Αυτή η διαδικασία επινοήθηκε από τον Δρ. Bernhardt Berghaus της Γερμανίας, ο οποίος αργότερα εγκαταστάθηκε στη Ζυρίχη για να ξεφύγει από τη δίωξη των Ναζί. Μετά το θάνατό του στα τέλη της δεκαετίας του 1960 η διαδικασία αποκτήθηκε από τον όμιλο Klockner και διαδόθηκε παγκοσμίως.

Η εναζώτωση πλάσματος συσχετίζεται συχνά με τη διαδικασία φυσικής εναπόθεσης ατμών (PVD) και με την ονομασία Duplex Treatment, με αυξημένα οφέλη. Πολλοί χρήστες προτιμούν να έχουν ένα στάδιο οξειδωσης πλάσματος συνδυασμένο στην τελευταία φάση της επεξεργασίας για να παράγουν ένα ομαλό στρώμα ακτίνων οξυγόνου που είναι ανθεκτικό σε φθορά και διάβρωση.

Εφόσον τα ιόντα αζώτου διατίθενται με ιονισμό, διαφορετικά από το λουτρό αερίου ή αλατιού, η απόδοση εναζώτωση πλάσματος δεν εξαρτάται από την θερμοκρασία. Επομένως, η εναζώτωση πλάσματος μπορεί να εκτελεστεί σε ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών, από 260 °C έως πάνω από 600 °C. Παραδείγματος χάριν, σε μέτριες θερμοκρασίες (όπως στους 420 °C), οι ανοξειδωτοι χάλυβες μπορούν να εναζωτωθούν χωρίς το σχηματισμό ιζήματος νιτριδίου του χρωμίου και συνεπώς, να διατηρηθούν οι ιδιότητες αντοχής στη διάβρωση.

Στις διεργασίες εναζώτωσης πλάσματος, το αέριο άζωτο (N_2) είναι συνήθως, το αέριο που μεταφέρει το άζωτο. Χρησιμοποιούνται επίσης, άλλα αέρια όπως, το υδρογόνο (H_2) ή το αργό (Ar). Πράγματι, το αργό και το υδρογόνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν πριν από την διαδικασία εναζώτωσης, κατά την διάρκεια της θέρμανσης των τμημάτων για να καθαριστούν οι επιφάνειες που πρόκειται να εναζωτωθούν. Αυτή η διαδικασία καθαρισμού αφαιρεί αποτελεσματικά το στρώμα οξειδίου από επιφάνειες και μπορεί να απομακρύνει λεπτά στρώματα διαλυτών που θα μπορούσαν να παραμείνουν. Αυτό βοηθά επίσης τη θερμική σταθερότητα του πλάσματος, καθώς, η θερμότητα που προστίθεται από το πλάσμα είναι ήδη παρούσα κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης και επομένως μόλις επιτευχθεί η θερμοκρασία της διαδικασίας η πραγματική εναζώτωση αρχίζει με μικρές αλλαγές της θέρμανσης. Για τη διαδικασία εναζώτωσης προστίθενται επίσης, αέριο υδρογόνου για να κρατήσει την επιφάνεια καθαρή από οξείδια. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί αναλύοντας την επιφάνεια του τμήματος υπό εναζώτωση.

Συμπεράσματα: Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Εργασία είναι ότι, με τον όρο χάλυβα δεν αναφερόμαστε μόνο σε ένα είδος χάλυβα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αλλά σε πολλά είδη χαλύβων που προκύπτουν α) από τις παρεμβάσεις στην σύσταση του αρχικού χάλυβα με προσμίξεις διαφόρων αναλογιών άνθρακα ή άλλων κραματικών στοιχείων και β) από τις διάφορες θερμικές κατεργασίες, συνήθως σε συνεργασία με απότομη ψύξη, που έχει ως σκοπό τον μετασχηματισμό της φάσης και της μικροδομής του χάλυβα. Η διαδικασία παραγωγής χάλυβα γίνεται με μια σειρά εργασιών. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες που θέλουμε να δώσουμε στον χάλυβα, γίνεται και η αντίστοιχη διεργασία παραγωγής. Οι πιο διαδεδομένες εργασίες παραγωγής χάλυβα γίνεται με τη μέθοδο των καλουπιών και με τη μέθοδο θερμικών εργασιών.

Ακόμη από την παραπάνω πτυχιακή εργασία συμπαιρνούμε τον ρόλο και τη σημασία που έχει για την οικονομία μιας χώρας το ποσοστό παραγωγής χάλυβα και γενικότερα τη σημασία που έχει στην παγκόσμια αγορά η παραγωγή χάλυβα. Ο χάλυβας είναι ένα υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πολλών αντικειμένων. Η μικρή ιστορική αναδρομή που γίνεται μας δείχνει και την σημασία του χάλυβα στα αρχαία χρόνια. Ένα γενικότερο συμπέρασμα που μπορούμε να λάβουμε είναι πως παρόλο την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και την εύρεση νέων καινοτόμων υλικών κατασκευής, ο χάλυβας έχει παραμείνει εξίσου σημαντικός όπως ήταν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ^(*)

1. Ζευγώλης Ν. Εμμανουήλ, Μεταλλουργία Σιδήρου. Θεωρία & Τεχνολογία, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, 2015
2. Bawa, H. S., Materials and metallurgy / H. S. Bawa., New Delhi , Tata McGraw-Hill, 1986.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. <https://www.google.gr/search?q=wikipedia&rlz>
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Austempering#Austenitizing>
3. <https://www.indiamart.com/poojamachines/vod-vd-process.html>
4. <http://blog.misumiusa.com/the-difference-between-carbon-steels/>
5. <http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/YLIKA/SHMEIWSEIS/5%20THERMIKES>