

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη και κατασκευή φούρνου για την θερμική κατεργασία μετάλλου προς σφυρηλάτηση



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΕΤΡΟΥΤΣΟΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΣΙΡΩΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ – 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ακόλουθη Πτυχιακή Εργασία δημιουργήθηκε από εμάς, στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδών μας, στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, όπου και εκπονήθηκε. Το επίκεντρο της πτυχιακής είναι η θεωρητική μελέτη προκειμένου να καταλήξουμε στην κατασκευή φούρνου για θερμική επεξεργασία μετάλλου, το κοινό καμίνι.

Αρχικά κάνουμε μια ιστορική αναδρομή στα παλαιότερα χρόνια, μετέπειτα αναφερόμαστε στα διάφορα μεταλλικά και αμέταλλα υλικά ανά τους αιώνες, πώς τα παρήγαγαν και πώς τα επεξεργάζονταν. Στην συνέχεια περνάμε στην σύγχρονη εποχή, νέες τεχνολογίες και κατασκευές. Δίνουμε βάση στην μορφή του καμινιού σήμερα στην βιομηχανία, τα χαρακτηριστικά και τα υλικά του. Αναφέρουμε πληθώρα θερμικών κατεργασιών μετάλλου, αναλύουμε τους τρόπους και εξίσου την κατεργασία της σφυρηλάτησης. Κλείνοντας παρουσιάζουμε την αυτοσχέδια κατασκευή μας, τον τρόπο και τον λόγο κατασκευής της.

Ευχαριστούμε ολόψυχα τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Στέφανο Τσινόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια του και την συνεργασία του μαζί μας. Επίσης τον συμφοιτητή και αδερφό Ιωάννη Τσιρώνη για την βοήθεια που προσέφερε για την ολοκλήρωση της κατασκευής.

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές 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 Φοιτητές

(Όνοματεπώνυμο)

(Όνοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα αναλύσουμε πώς μπορούμε να κατασκευάσουμε και να χρησιμοποιήσουμε έναν φούρνο για την θερμική κατεργασία ενός μεταλλικού ή ενός κεραμικού υλικού. Λόγω των περισσότερων διαφορετικών ειδών, θερμικών κατεργασιών που μπορούν να υποστούν τα μέταλλα, θα επικεντρωθούμε περισσότερο γύρω από τα μεταλλικά υλικά. Μέσα στην εργασία θα αναφέρουμε τον φούρνο και ως καμίνι.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τον τρόπο παραγωγής κάποιων μεταλλικών και αμέταλλων υλικών από τα αρχαία στα πιο πρόσφατα χρόνια. Με λογική σειρά από τις πιο παλιές ως τις πιο σύγχρονες εποχές. Με λίγα λόγια κάνουμε μια ιστορική αναδρομή για τα μεταλλικά και αμέταλλα υλικά. Πώς και γιατί τα επεξεργάζονταν, για ποιο λόγο τα χρησιμοποιούσαν στην κάθε εποχή ανάλογα τα υλικά που είχαν ανακαλύψει. Επίσης επισημαίνουμε και τα καμίνια που χρησιμοποιούσαν για την παραγωγή του κάθε υλικού, τρόπους παραγωγής του και πώς διαφοροποιούνταν με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Ποια ήταν η καύσιμη ύλη τους που αλλάζει όσο περνούν τα χρόνια. Πρώτα χρησιμοποιούσαν σαν καύσιμο το ξύλο, αργότερα το κοκ και σήμερα ηλεκτρικό ρεύμα, προπάνιο και φυσικό αέριο. Άλλη παράμετρος που διαφοροποιείται με το πέρασμα του καιρού και την ανακάλυψη νέων υλικών, παλαιότερα και στην εποχή μας, με την ανάπτυξη της επιστήμης, της τεχνολογίας των υλικών, είναι τα υλικά που καλούμαστε να επεξεργαστούμε θερμικά και η δημιουργία κραμάτων με πιο σύνθετους τρόπους παραγωγής.

Το δεύτερο κεφάλαιο έχει ως στόχο την διερεύνηση των διαφόρων ειδών καμινιών. Εκείνα της βιομηχανίας, αλλά και αυτά που υπάρχουν στο εμπόριο, τα οποία ταξινομούνται από τις εξής παράμετρους: 1) Τον αριθμό των τεμαχίων, που χωράνε στο καμίνι και μπορεί να τα επεξεργαστεί. 2) Το καύσιμο που καίγεται για να εκληφθεί η απαιτούμενη θερμότητα που χρειαζόμαστε για την θερμική επεξεργασία. 3) Το μέρος της φλόγας μέσα στο φούρνο σε σχέση με το τεμάχιο. 4) Τον τρόπο που εισέρχεται και εξέρχεται το τεμάχιο στο καμίνι. Την συνέχεια την έχουμε αφιερώσει σε ένα είδος υλικών τα οποία διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες ακόμα και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά τα υλικά είναι τα πυρίμαχα υλικά που είναι κατά πλειοψηφία ψαθυρά υλικά, δηλαδή έχουν ελάχιστο ποσοστό παραμόρφωσης όταν ασκήσουμε μια δύναμη σε σχέση με κάποιο άλλο μη ψαθυρό υλικό (όλκιμο). Είναι υλικά τα οποία χάρις αυτών μπορούμε να κατασκευάσουμε καμίνια και διάφορες κατασκευές που αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες υπό τάση. Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρουμε διάφορα πυρίμαχα υλικά και τα χαρακτηριστικά τους.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τη θερμική κατεργασία του μετάλλου και των μεταλλικών κραμάτων. Αν όχι όλες, τις περισσότερες θερμικές κατεργασίες μπορεί να τις υποστεί ένα μέταλλο, εφόσον το επιτρέπουν και τα στοιχεία που το συστήνουν, όπως είναι η περιεκτικότητα σε άνθρακα. Επίσης αναφέρουμε γιατί μπορούν να υποστούν τις συγκεκριμένες κατεργασίες και σε ποιες θερμοκρασίες γίνεται η κάθε μία κατεργασία από αυτές. Ακόμα το πως πρέπει να γίνεται η απόψυξη ανάλογα την κάθε περίπτωση μετάλλου και κατεργασίας που εκτελούμε. Σε αυτό το κεφάλαιο προσθέσαμε τις διεργασίες διαμόρφωσης μετάλλων που μπορούν να εκτελεστούν εν θερμώ. Όμως έχουμε δώσει

ιδιαίτερη βαρύτητα στη διεργασία της σφυρηλάτησης, λόγω του ότι είναι το κύριο θέμα τις πτυχιακής μας. Η σφυρηλάτηση χρησιμοποιείται ευρέως ακόμα και σε μικρά μηχανουργεία. Για αυτήν χρειαζόμαστε την σωστή θερμοκρασία, έτσι ώστε να μην έχουμε αστοχία του υλικού κατά την κρούση του σφυριού (έμβολο) στο τεμάχιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξηγούμε την μεθοδολογία κατασκευής του φούρνου προπανίου, πως τον κατασκευάσαμε, τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε να αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες. Ποιος ήταν ο λόγος να χρησιμοποιηθεί θάλαμος κυλινδρικής διατομής και με ποιον τρόπο έγινε ο ψεκασμός του καυσίμου. Ακόμα με ποιο είδος θερμομόνωσης πετύχαμε να έχουμε όσο τον δυνατόν μικρότερες απώλειες. Τελειώνοντας κάνουμε αναφορά σε τυχόν βελτιώσεις και συμπεράσματα που αποκομίσαμε από την διαδικασία κατασκευής.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	8
ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΜΕΤΑΛΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	8
1.2 ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	10
1.2.1 Εδροκεντρωμένη κυβική κρυσταλλική δομή.....	12
1.2.2 Χωροκεντρωμένη κυβική κρυσταλλική μορφή	14
1.2.3 Εξαγωνική κρυσταλλική δομή μέγιστης πυκνότητας	15
1.2.4 Κρυσταλλικά συστήματα	17
1.3 ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΑ	19
1.4 ΜΟΡΦΕΣ ΦΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΥΛΗΣ.....	19
1.5 ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ.....	22
Παλαιολιθική Εποχή και Νεολιθική Εποχή.....	22
1.6 Η ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	26
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	44
ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΚΑΜΙΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ	44
2.1 ΚΑΜΙΝΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	44
2.1.1. Σύμβαση της Βιέννης.....	45
2.1.2 Φούρνος smelting.....	47
2.2 ΦΟΥΡΝΟΙ ΑΝΘΡΑΚΑ - BRIDGMAN.....	49
2.2.1 Φούρνος ανάπτυξης κρυστάλλων με τη μέθοδο Bridgman.....	49
2.2.2 Παραγωγή πολυκρυσταλλικού ηλιακού πυριτίου με Μέθοδο Bridgman	51
2.3 ΦΟΥΡΝΟΙ ΜΕ ΚΟΥΚΟΥΛΑ	52
2.3.1 Ο φούρνος συγκόλλησης σωλήνων V-L.....	52
2.3.2 Φούρνοι με κουκούλα (HBO).....	54
2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ ΦΟΥΡΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	56
2.4.1 Φούρνοι κατασκευασμένοι από βολφράμιο	56
2.4.2 Φούρνοι κατασκευασμένοι από γραφίτη	57
2.4.3 Φούρνοι κατασκευασμένοι με κεραμικές ίνες.....	59

2.5 ΦΟΥΡΝΟΣ ΑΝΟΠΤΗΣΗΣ	60
2.5.1 Κλίβανος ανόπτωσης με στεγανό υποδοχέα κενού.....	60
2.5.2 Φούρνος ανακύκλωσης αέρα.....	62
2.6 ΦΟΥΡΝΟΣ ΚΑΥΣΗΣ	63
2.6.1 Φούρνος πλήρης κάυσης.....	63
2.6.2 Φούρνοι θερμοβαρομετρική ανάλυσης.....	63
2.6.3 Φούρνος με θάλαμο χαλαζιακό υλικό	65
2.6.4 Φούρνος μετάκαυσης.....	65
2.7 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΟΥΡΝΟΙ	67
2.7.1 Φούρνοι θαλάμων γενικής χρήσης	67
2.7.2 Φούρνος μεγάλου θαλάμου.....	68
2.7.3 Κλίβανοι μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας	69
2.7.4 Βιομηχανικοί φούρνοι με $MoSi_2$	71
2.7.5 Φούρνοι καυσαερίων	73
2.7.6 Φούρνος θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας.....	74
2.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΚΛΙΒΑΝΟΙ	76
2.8.1 Κλασικός εργαστηριακός κλίβανος	76
2.8.2 Φούρνος εργαστηρίου γενικής χρήσης.....	77
2.8.3 Φούρνοι γρήγορης θέρμανσης θαλάμου.....	79
2.8.4 Φούρνος φόρτωσης κορυφής	80
2.8.5 Φούρνος υψηλών θερμοκρασιών	81
2.8.6 Φούρνος εργαστηρίου υψηλών θερμοκρασιών	82
2.8.7 Φούρνοι φόρτωσης πυθμένα.....	83
2.9 ΦΟΥΡΝΟΙ ΚΕΝΟΥ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	84
2.9.1 Φούρνος κενού φόρτωσης πυθμένα με στοιχεία μολυβδενίου ή βολφραμίου	84
2.9.2 Φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα.....	86
2.10 ΦΟΥΡΝΟΙ ΣΩΛΗΝΑ.....	88
2.10.1 Φούρνος σωλήνα με σύστημα καυσαερίων υδρογόνου	88
2.10.2 Πιστοποίηση SIL.....	89
2.11 ΠΥΡΙΜΑΧΑ ΥΛΙΚΑ	90
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	97
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥΣ (ΣΦΥΡΗΛΑΤΗΣΗ)97	
3.1 Εισαγωγή.....	97
Ιστορικές πληροφορίες	97

3.1.1 Μεταλλικά υλικά και κράματα	98
3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	104
Τεχνολογικές ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών	105
-Η υψικάμινος αναγωγής.....	106
Ο σφυρήλατος σίδηρος.....	106
Ταξινόμηση των χαλύβων	110
Αλουμίνιο ή αργίλιο.....	112
Χρήσεις του αλουμινίου και των κραμάτων του	113
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	115
3.4 ΟΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ	124
3.5 ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΟΠΤΗΣΗ Ή ΑΝΟΠΤΗΣΗ.	129
ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ	131
Αποτακτική ανόπτηση.	133
3.7 ΒΑΦΗ.	133
3.8 ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ.....	138
3.9 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΚΛΗΡΩΣΗ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ.....	143
B) Ενανθράκωση.	143
4) Θερμικές κατεργασίες μετά την ενανθράκωση.....	146
E) Βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.....	151
3.10 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ.	152
3.11 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΑΛΛΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ.	155
3.12 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	168
3.13 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ «ΣΦΥΡΗΛΑΤΗΣΗ».....	173
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	181
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΜΙΝΙΟΥ	181
4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΙΝΙΟΥ.....	181
4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	190
Βιβλιογραφία.....	191

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το κεφάλαιο αυτό έχει γραφτεί ως μια ιστορική αναδρομή στην μεταλλουργία. Από τότε που άρχισε ο άνθρωπος να έρχεται σε επαφή με το πρώτο μέταλλο, που ήταν ο χαλκός. Από εκείνη την εποχή άρχισε να αναπτύσσεται η μεταλλουργία ως τέχνη και πολύ αργότερα ως επιστήμη. Έχει χωριστεί δε, σε τρεις κλάδους. Εξαγωγική μεταλλουργία, μεταλλογνωσία και φυσική μεταλλουργία. Ενώ θα δούμε και άλλους πιο εξειδικευμένους κλάδους της μεταλλουργίας, όπως είναι η πυρομεταλλουργία, η μεταλλοτεχνία και η χύτευση. Στους εξής κλάδους έτσι και αλλιώς θα αναφερθούμε περισσότερο στα επόμενα κεφάλαια της πτυχιακής. Αναφερόμαστε σύμφωνα με ιστορικά δεδομένα και ανακαλύψεις που έχουν γίνει από αρχαιολόγους σχετικά με το ποιοι λαοί ήρθαν πρώτοι σε επαφή με τα μέταλλα και ποια είδη μετάλλων έγιναν πρώτα γνωστά. Θα πούμε που τα χρησιμοποιούσαν στην καθημερινή τους ζωή, ποια ήταν τα μέσα, η μεταλλογνωσία και η τεχνογνωσία που διέθεταν την κάθε εποχή, έτσι ώστε να μπορούν να επεξεργάζονται διάφορα υλικά και κράματα. Επίσης ότι κατείχαν πληθώρα ειδών επεξεργασίας μεταλλικών υλικών και ποια ήταν η δυνατότητα να είχαν ανακαλύψει τις σωστές αναλογίες ώστε να είχαμε την δημιουργία διαφόρων κραμάτων και καινοτομιών.

Με ποιους τρόπους επιτύγχαναν τις εξορύξεις των μεταλλευμάτων και σε τι μορφή λάμβαναν τα ορυκτά μεταλλεύματα. Ποιο ήταν το μέταλλευμα που λάμβαναν το κάθε υλικό, κάτι που συνεχίζεται και στην εποχή μας, αλλά με άλλες μεθόδους και αποδόσεις. Κάτι εξίσου σημαντικό που θα αναφερθεί είναι, ποια η μεταλλογνωσία και τεχνογνωσία που διέθεταν ώστε να λαμβάνουν από το ορυκτό μέταλλευμα, το υλικό που μπορούσε να μας δώσει. Από τι έπαιρναν την ενέργεια που χρειαζόντουσαν κάθε φορά για να τους δώσει την επιθυμητή θερμοκρασία, ούτως ώστε να λιώσει και στην συνέχεια να γίνει καθίζηση του μεταλλικού υλικού που διεργάζοντουσαν. Για να διαχωριστεί από το υπόλοιπο ορυκτό μέταλλευμα το οποίο είναι και άχρηστο. Αργότερα να συλλεκτεί το υλικό σε ένα φρεάτιο (παλαιότερα) ή μέσω ενός ανοιχτού αγωγού, να οδηγηθεί εκτός του καμινιού (νεότερα καμίνια).

Γίνεται αναφορά και στην κεραμοποιία που παίζει σημαντικό ρόλο από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα. Για τους φούρνους που χρησιμοποιούσαν από εκείνη την εποχή που ανακάλυψαν τον πηλό αλλά και τις μετέπειτα εποχές μέχρι και στις μέρες μας. Τα κεραμικά υλικά έχουν συμβάλει πολύ στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και στην πρόοδο των σύνθετων υλικών. Χωρίς την ανάπτυξη των κεραμικών υλικών δεν θα μπορούσαν να επιτευχθούν τα παραπάνω.

Κάτι άλλο που αναφέρεται και είναι εξαιρετικά σημαντικό σε αυτό το κεφάλαιο, είναι η ιστορία του καμινιού. Πώς λειτουργούσαν και πώς κατασκευάζονταν. Ποια είναι η δουλειά που κάνανε οι καμινιέριδες στα καμίνια, που ήταν κατασκευασμένα για την παραγωγή μετάλλου και αυτά που ήταν κατασκευασμένα για την κεραμοποιία. Ως προς την λειτουργία τους, την συντήρηση και την κατασκευή τους και πώς αυτά άλλαξαν κατά το πέρασμα τον καιρών.



Εικόνα 2: Φρεατώδης κάμινος με πήλινη κτιστή καμινάδα.

Στις εικόνες 1 και 2 απεικονίζεται η φρεατώδης κάμινος. Είναι το αρχαιότερο είδος μεταλλουργικής καμίνου που έχει ανακαλυφθεί και συγκεκριμένα στην τοποθεσία της Ασσυρίας που λειτουργούσαν αυτού του είδους οι κάμινοι μέχρι και το 19 αιώνα .

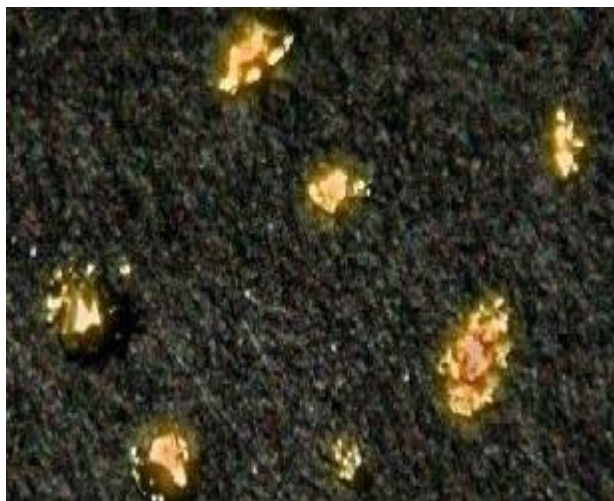
Η φρεατώδης κάμινος ήταν κατασκευασμένη από πηλό και πέτρες και είχε ύψος που κυμαινόταν από 0,50 έως και 2,20 μέτρα απ' ό,τι έχει ανακαλυφθεί. Εκτός από τον κύριο θάλαμο της καμίνου συναντάμε συνήθως και ένα φρεάτιο εκροής, χάρις του οποίου ονομάστηκε και φρεατώδης κάμινος. Πυρώνονταν με κάρβουνα, ξύλα ή και ποάνθραξ που είναι οργανικό καύσιμο, καθώς την γέμιζαν με καύσιμη ύλη και θρυμματισμένο μέταλλευμα που το είχαν εξορύξει. Θερμόνταν από 1000 °C ως 1400 °C με αποτέλεσμα το μέταλλο να αρχίζει να λιώνει και να καθίζεται προς τα κάτω και στην συνέχεια το λιωμένο μέταλλο έρρεε από το φρεάτιο. Σημαντικό είναι να σημειωθεί η εξής λεπτομέρεια. Αν πετύχαιναν το σημείο τήξης του μετάλλου που βρίσκεται στο θρυμματισμένο μέταλλευμα θα καταστρέφονταν το μέταλλο.

Ήταν πολύ σύνηθες να είχαν την χρήση ασκού που ωθούσε τον αέρα μέσα στο πυρωμένο μείγμα. Άλλες κατασκευές εκμεταλλεύονταν την αιολική δύναμη, που ήταν αρκετή για να δυναμώσει την φλόγα. Στο τέλος έμενε η μάζα του μετάλλου σε μορφή σπόγγου και για να την πάρουν έπρεπε να διαφύγουν σε μια καταστρεπτική μέθοδο. Να σπάσουν το καμίνι.!

1.2 ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ



Εικόνα 3: Όσμιο το δεύτερο ακριβότερο μέταλλο στον κόσμο.



Εικόνα 4: Καλιφόρνιο 252, το ακριβότερο μέταλλο στον κόσμο. Είναι τεχνητό μέταλλο και κοστίζει 27 εκατομμύρια δολάρια ανά γραμμάριο.

Τα μεταλλικά υλικά μπορούν να απαρτίζονται από ένα ή περισσότερα μεταλλικά υλικά και ίσως να περιέχουν στη μάζα τους και μερικά αμέταλλα υλικά. Δηλαδή κάποια υλικά που δεν είναι μέταλλα σαν το οξυγόνο, θείο, υδρογόνο, άνθρακα και άλλα. Η δομή που έχουν τα μεταλλικά υλικά είναι η κρυσταλλική δομή και έχει σαν χαρακτηριστικό της, την κανονική επαναλαμβανόμενη και συμμετρική διάταξη των ατόμων μέσα σε αυτή. Τα μεταλλικά υλικά χαρακτηρίζονται από κάποιες πολύ χαρακτηριστικές ιδιότητες. Έχουν υψηλές μηχανικές ιδιότητες, είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού και έχουν την δυνατότητα μορφοποίησής τους. Για τους παραπάνω λόγους τα μεταλλικά υλικά βρίσκουν ευρεία χρήση σε όλους τους τομείς της καθημερινής ζωής του ανθρώπου, όπως στην βιομηχανία, την γεωργία, την ιατρική και την τέχνη, από την εποχή του χαλκού μέχρι και στις μέρες μας.

Παρακάτω παρουσιάζεται περιοδικός πίνακας ο οποίος έχει ως σκοπό την κατηγοριοποίηση των στοιχείων σε μέταλλα, αμέταλλα και μεταλλοειδή. Τα στοιχεία δεν έχουν τοποθετηθεί τυχαία πάνω στον περιοδικό πίνακα, αλλά έχουν ταξινομηθεί κατά αύξοντα ατομικό αριθμό.

Τα περισσότερα στοιχεία του περιοδικού πίνακα είναι μέταλλα και βρίσκονται τοποθετημένα στην κάτω αριστερά μεριά, ενώ τα αμέταλλα είναι στην πάνω δεξιά μεριά. Υπάρχει δε μια διαγώνιος διαχωριστική γραμμή μεταξύ μετάλλων και αμετάλλων που βρίσκονται κάποια

χημικά στοιχεία, τα οποία ονομάζονται μεταλλοειδή και συμπεριφέρονται ως μέταλλα και ως αμέταλλα ανάλογα τις περιπτώσεις.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΩΝ **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΩΝ**

Περίοδοι	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΩΝ										ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΩΝ									
	IA	IIA		IIIB		IVB	VB	VIB	VIIB		IB	IIIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA		
1	1 H 1.00794																2 He 4.00260			
2	3 Li 6.941	4 Be 9.01218											5 B 10.81	6 C 12.011	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.998403	10 Ne 20.179		
3	11 Na 22.98977	12 Mg 24.305											13 Al 26.98154	14 Si 28.0855	15 P 30.97376	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948		
4	19 K 39.0983	20 Ca 40.08	21 Sc 44.9559	22 Ti 47.88	23 V 50.9415	24 Cr 51.996	25 Mn 54.9380	26 Fe 55.847	27 Co 58.9332	28 Ni 58.69	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80		
5	37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.9059	40 Zr 91.22	41 Nb 92.9064	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.9055	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.9045	54 Xe 131.29		
6	55 Cs 132.9054	56 Ba 137.33	57 La* 138.9055	58 Hf 178.49	59 Ta 180.9479	60 W 183.85	61 Re 186.207	62 Os 190.2	63 Ir 192.22	64 Pt 195.08	65 Au 196.9665	66 Hg 200.59	67 Tl 204.383	68 Pb 207.2	69 Bi 208.9804	70 Po (209)	71 At (210)	72 Rn (222)		
7	87 Fr (223)	88 Ra 226.0254	89 Ac** 227.0278	90 † (261)	91 † (262)	92 † (263)	93 †	94 †	95 †	96 †	97 †	98 †	99 †	100 †	101 †	102 †	103 †	104 †		

† Τεχνητό στοιχείο χωρίς επίσημη ονομασία

Λανθανίδες
Ακτινίδες

Μέταλλο

Μεταλλοειδές

Αμέταλλο

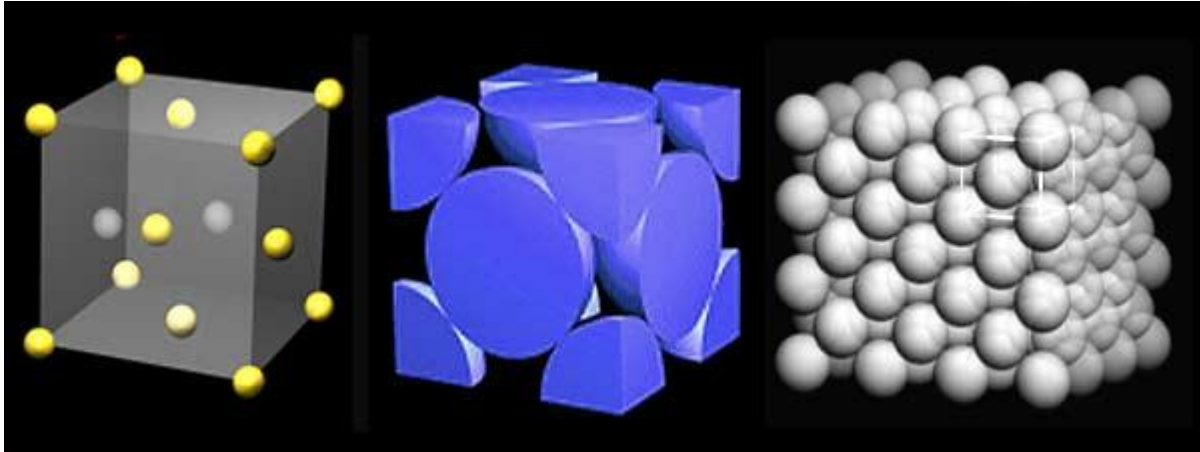
58 Ce 140.12	59 Pr 140.9077	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.9254	66 Dy 162.50	67 Ho 164.9304	68 Er 167.26	69 Tm 168.9342	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967
90 Th 232.0381	91 Pa 231.0359	92 U 238.0289	93 Np 237.0482	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

Σχήμα 1: Περιοδικός πίνακας που ξεχωρίζει για τον τρόπο που παριστάνει τα μέταλλα από τα αμέταλλα και τα μεταλλοειδή.

Ένα στερεό υλικό λέγεται κρυσταλλικό όταν οι δομικές του μονάδες (άτομα, ιόντα, μόρια) είναι τοποθετημένες σε επαναλαμβανόμενη ή σε περιοδική διάταξη, για μεγάλες αποστάσεις ατόμων, όπου αυτό τα δεσμεύει με τις γειτονικές του δομικές μονάδες. Αυτό σημαίνει ότι κατά την στερεοποίηση ενός τηγμένου κρυσταλλικού υλικού οι δομικές μονάδες λαμβάνουν μια επαναλαμβανόμενη διάταξη και στις τρεις διαστάσεις. Από την κρυσταλλική μορφή του κάθε υλικού, το πως είναι τοποθετημένες οι δομικές του μονάδες στο χώρο, μεταβάλλονται οι ιδιότητες του υλικού. Υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη κρυσταλλικών δομών και όλα τα είδη είναι μακράς εμβέλειας τάξης, από τις πιο απλές που συναντώνται στα μέταλλα, ως τις πιο περίπλοκες που είναι στα κεραμικά και πολυμερή.

Τα μέταλλα τα ξεχωρίζουμε σε μικροσκοπικό επίπεδο μέσω των μεταλλικών δεσμών που έχουν μεταξύ των ατόμων τους, τα οποία είναι ανεξέλεγκτης φύσης που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί όσον αφορά την διάταξη των γειτονικών ατόμων και τον αριθμό τους. Σαν συνέπεια τον δύο παραπάνω γεγονότων έχουμε μεγάλο αριθμητικά πλήθος ατόμων στο άμεσο διπλανό περιβάλλον (8 ως 12) και πολύ συρρικνωμένη διάταξη της στοιβαξης των ατόμων στην πλειοψηφία των κρυσταλλικών δομών στα μέταλλα.

Για να περιγράψουμε σχηματικά τα διαφορετικά είδη κρυσταλλικών δομών, χρησιμοποιούμε το μοντέλο ατομικών σφαιρών που παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία σαν ατομικά στερεά σφαιρίδια συγκεκριμένης διαμέτρου και διευσθέτησης στο χώρο.

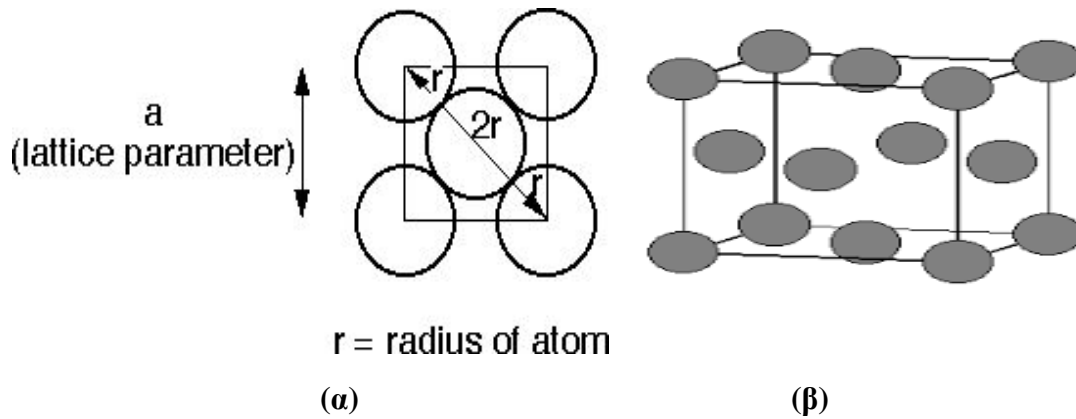


Εικόνα 5: Αναπαράσταση μοναδιαίας κυψελίδας κρυσταλλικού πλέγματος αλουμινίου FCC (εδροκεντρωμένου) με το μοντέλο των σκληρών σφαιρών.

Στα κρυσταλλικά στερεά η διευθέτηση των ατόμων σε αυτά έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός επαναλαμβανόμενου μοτίβου που σχηματίζεται από μικρές ομάδες ατόμων, και κατά αυτό τον τρόπο οι κρυσταλλικές περιοχές μπορούν να περιγραφούν, αν διαιρέσουμε την δομή σε επαναλαμβανόμενες μικρότερες περιοχές που ονομάζονται μοναδιαίες κυψέλες. Οι πιο συχνές μοναδιαίες κυψέλες που συναντάμε στις κρυσταλλικές δομές είναι πρίσματα ή παραλληλεπίπεδα που έχουν τρεις ομάδες παράλληλων εδρών, η μια στο εσωτερικό του συσσωματώματος. Μια μοναδιαία κυψελίδα έχει επιλεγθεί να αντιπροσωπεύει την συμμετρία στην κρυσταλλική δομή ενός στερεού, έτσι ώστε με μετάθεση των ακέραιων αποστάσεων της μοναδιαίας κυψελίδας κατά μήκος κάθε μιας από της ακμές να μπορούν να δημιουργηθούν όλες η θέσεις των ατόμων. Πολύ σημαντικό δομικό μέρος της κρυσταλλικής δομής ενός στερεού και με βάση την γεωμετρία της και την διευθέτηση των ατόμων που βρίσκονται στο εσωτερικό της χώρα, είναι η μοναδιαία κυψελίδα. Σύμφωνα με τα παραπάνω ορίζει την κρυσταλλική δομή του στερεού, και για πιο εύκολη κατανόηση θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε είτε είναι τα πρίσματα είτε τα παραλληλεπίπεδα ότι οι κορυφές τους είναι στο κέντρο των σκληρών σφαιρών (ιοντικών κέντρων), κάτι σημαντικό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι σε μια κρυσταλλική δομή μπορεί να έχουμε περισσότερες από μια μοναδιαίες κυψελίδες όμως σε αυτήν την περίπτωση επιλέγουμε αυτή που έχει την υψηλότερη γεωμετρική συμμετρία.

1.2.1 Εδροκεντρωμένη κυβική κρυσταλλική δομή

Εδροκεντρωμένη κυβική κρυσταλλική δομή έχει αποδειχτεί ότι συναντιέται σε πολλά μέταλλα, δηλαδή η μοναδιαία κυψελίδα που χαρακτηρίζει αυτά τα μέταλλα είναι κυβικής γεωμετρίας. Με άτομα τοποθετημένα στις οκτώ κορυφές του κύβου και στο κέντρο της κάθε έδρας, γι' αυτό έχει πάρει αυτή την ονομασία ως εδροκεντρωμένη κυβική κρυσταλλική δομή.



Σχήμα 2: Κυβικές εδροκεντρωμένες κρυσταλλικές δομές (α) αναπαράσταση της μοναδιαίας κυψελίδας, με μοντέλο σκληρών σφαιρών και των χαρακτηριστικών αποστάσεων της, (β) αναπαράσταση της μοναδιαίας κυψελίδας με μοντέλο μικρών σκληρών σφαιρών.

Στο σχήμα 2 (β), τα κέντρα των ατόμων αναπαρίστανται από μικρές σφαίρες για να έχουμε καλύτερη άποψη για την κατανομή και διάταξη που λαμβάνουν στο κρυσταλλικό πλέγμα, ενώ στο σχήμα 1(α) φαίνονται οι χαρακτηριστικές αποστάσεις που αντιπροσωπεύουν την μοναδιαία κυψελίδα. Για καλύτερη κατανόηση η σκληρές σφαίρες βρίσκονται σε επαφή κατά μήκος της διαγωνίου της έδρας της μοναδιαίας.

Για το υπολογισμό του μήκους της ακμής του κύβου a της μοναδιαίας κυψελίδας, μέσω της ακτίνας του ατόμου δίνεται από τον τύπο:

$$a = \frac{4 \times R}{\sqrt{2}}$$

Οι εδροκεντρωμένες κρυσταλλικές δομές στην κάθε μια μοναδιαία κυψελίδα, έχουν συνολο τέσσερα άτομα, $1/8$ του κάθε ενός ατόμου που βρίσκεται στις οκτώ κορυφές του κύβου της μοναδιαίας κυψελίδας. Ενώ το μισό του κάθε ατόμου στην κάθε μία από τις 6 έδρες του κύβου. **Αριθμός ένταξης** στα μέταλλα εννοούμε τον αριθμό των ατόμων που γειτονεύουν ή εφάπτονται με το ίδιο αριθμό ατόμων στα κυβικά εδροκεντρωμένα, ως αριθμός ένταξης παίρνεται το 12.

Η διάταξη που λαμβάνουν τα άτομα του εδροκεντρωμένου είναι ισοδύναμα, για παράδειγμα αν ένα άτομο από την κορυφή του κύβου το πάρουμε και το βάλουμε στο κέντρο της έδρας δεν αλλάζει τίποτα στην δομή της κυψελίδας.

Ο **συντελεστής ατομικής πλήρωσης** ή εν συντομία από τα αγγλικά αρχικά του **APF**, είναι αυτός ο συντελεστής που αντιπροσωπεύει το κλάσμα πλήρωσης της μοναδιαίας κυψελίδας από της σκληρές σφαίρες. Τα μέταλλα έχουν μεγάλο συντελεστή ατομικής πλήρωσης, για να έχουν μια επιπλέον θωράκιση από το νέφος των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή ατομικής πλήρωσης στα εδροκεντρωμένα είναι 0,74.

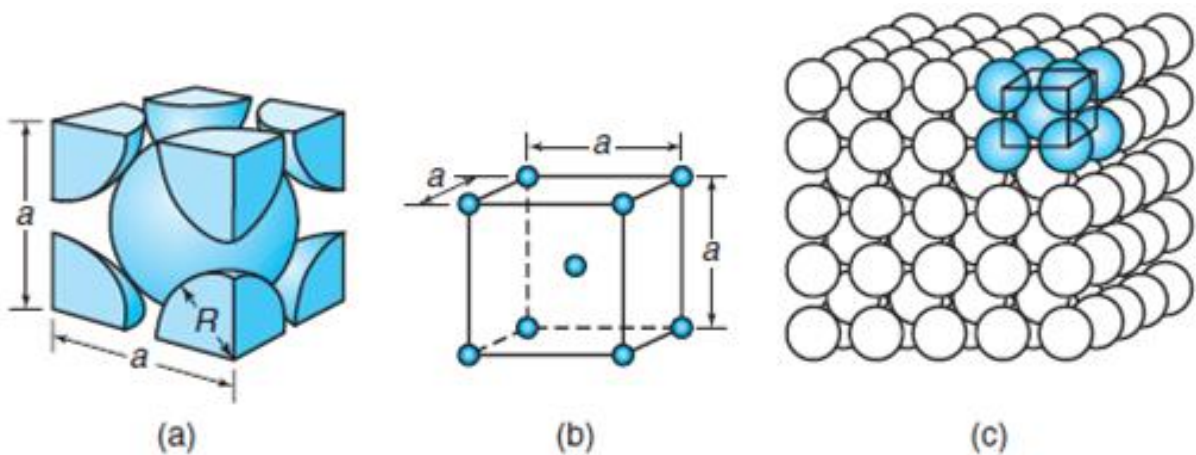
Ο τύπος που δίνει το **συντελεστή ατομικής πλήρωσης** είναι:

$$APF = \frac{\text{Όγκος ατόμων στην μοναδιαία κυψελίδα}}{\text{Όγκο μοναδιαίας κυψελίδας}}$$

$$\Rightarrow APF = \frac{4 \times \frac{4}{3} \times \pi \times \left(\sqrt{2} \times \frac{a}{4}\right)^3}{a^3}$$

1.2.2 Χωροκεντρωμένη κυβική κρυσταλλική μορφή

Η χωροκεντρωμένη κυβική μορφή είναι μια πολύ συνηθισμένη μορφή της μοναδιαίας κυψελίδας που συναντάμε στην κρυσταλλική δομή των μετάλλων, και βρίσκεται σε μέταλλα όπως είναι ο σίδηρος, ταντάλιο, βολφράμιο, χρώμιο, μολυβδαίνιο και η συντομογραφία της είναι BCC και προέρχεται από τα αγγλικά αρχικά των λέξεων body centered cubic. Στην χωροκεντρωμένη κυβική μορφή τα άτομα λαμβάνουν την παρακάτω διάταξη στην μοναδιαία κυψελίδα, ένα άτομο στην κάθε κορυφή και ένα άτομο στο κέντρο της, άρα χωροκεντρωμένη κυβική κρυσταλλική μορφή έχει συνολικά δύο άτομα ένα στο κέντρο και 1/8 στην κάθε μία από της οκτώ κορυφές του κύβου.



Εικόνα 6: Αναπαράσταση μοναδιαίας κυψελίδας κρυσταλλικού πλέγματος BCC (χωροκεντρωμένου), (α) αναπαράσταση με το μοντέλο σκληρών σφαιρών, (β) αναπαράσταση με το μοντέλο μικρών σκληρών σφαιρών, (γ) συνολική εικόνα πολλών μοναδιαίων κυψελίδων μαζί.

Τα άτομα στις κορυφές και στο κέντρο είναι σε επαφή κατά μήκος της διαγωνίου της κυβικής μοναδιαίας κυψελίδας. Για το υπολογισμό του μήκους a του κύβου της μοναδιαίας κυψελίδας μέσω της ακτίνας του ατόμου δίνεται από τον τύπο:

$$a = \frac{4 \times R}{\sqrt{3}}$$

Οι γωνιακές και οι κεντρικές θέσεις που είναι τοποθετημένα τα άτομα είναι ισοδύναμες, ο **αριθμός ένταξης** για την χωροκεντρωμένη μορφή είναι το οκτώ. Κάθε κεντρικό άτομο έχει οκτώ γωνιακούς γείτονες, και ο **συντελεστής ατομικής πλήρωσης** είναι από 0,68 έως 0,74 και έχει μικρότερο συντελεστή ατομικής πλήρωσης (APF) από την εδροκεντρωμένη.

Ο τύπος που δίνει το **συντελεστή ατομικής πλήρωσης** είναι:

$$APF = \frac{\text{Όγκος ατόμων στην μοναδιαία κυψελίδα}}{\text{Όγκο μοναδιαίας κυψελίδας}}$$

$$\Rightarrow APF = \frac{2 \times \frac{4}{3} \times \pi \times \left(\sqrt{3} \times \frac{a}{4}\right)^3}{a^3}$$

1.2.3 Εξαγωνική κρυσταλλική δομή μέγιστης πυκνότητας

Η **εξαγωνική μοναδιαία κυψελίδα** της κρυσταλλικής δομής είναι η τελευταία που θα περιγράψουμε, η συγκεκριμένη μοναδιαία κυψελίδα δεν έχει κυβική συμμετρία.

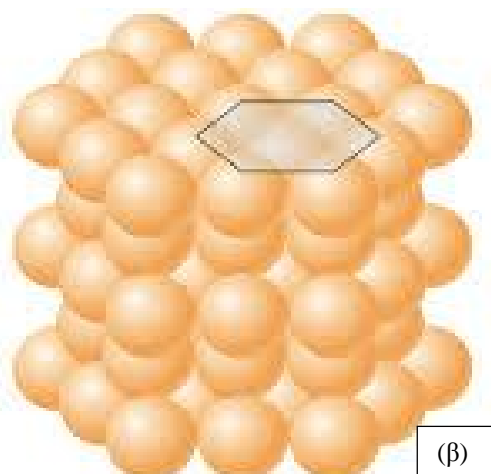
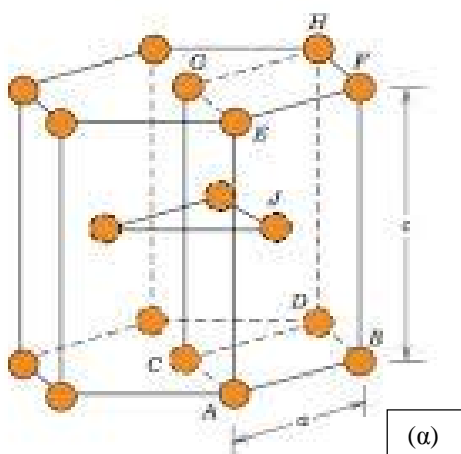
Οι πάνω και οι κάτω πλευρές της μοναδιαίας κυψελίδας περιλαμβάνουν έξι άτομα που σχηματίζουν κανονικά εξάγωνα και στο κέντρο των πλευρών περιλαμβάνεται από ένα άτομο. Άλλο ένα επίπεδο υπάρχει επίσης το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στην πάνω και στην κάτω πλευρά της μοναδιαίας κυψελίδας και αποτελείται από τρία άτομα. Που τα άτομα αυτά του μεσαίου επιπέδου έχουν ως κοντινούς γείτονες τα άτομα της άνω και κάτω μοναδιαίας κυψελίδας. Σε κάθε μοναδιαία εξαγωνική κυψελίδα μέγιστης πυκνότητας έχουμε συνολικά έξι άτομα, τα οποία αποτελούνται από το μισό των δυο κεντρικών ατόμων που βρίσκονται στην άνω και κάτω πλευρά της μοναδιαίας κυψελίδας, από το 1/6 των δώδεκα άνω και κάτω πλευρών της μοναδιαίας κυψελίδας και από τα τρία άτομα του ενδιάμεσου επιπέδου.

Ο **αριθμός ένταξης** και ο **συντελεστής ατομικής πλήρωσης APF (Atomic Packing Factor)** στην εξαγωνική μοναδιαία κυψελίδα μέγιστης πυκνότητας, είναι ίδιοι με τις έδροκεντρωμένης κυβικής κρυσταλλικής δομής **FCC (Face - Centered Cubic)**, όπως είχαμε προαναφέρει ο αριθμός ένταξης είναι ίσος με δώδεκα και ο συντελεστής ατομικής πλήρωσης είναι ίσος με 0,74.

$$a = 2r$$

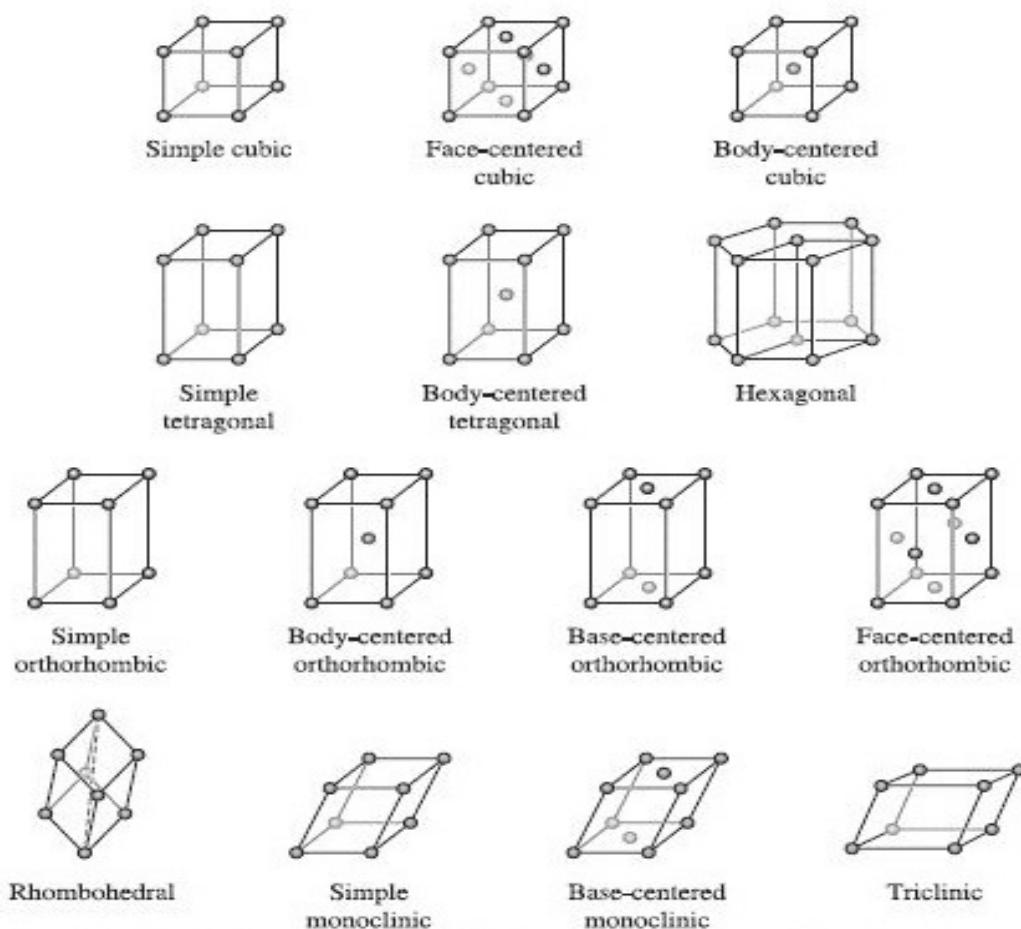
$$APF = \frac{\text{Όγκος ατόμων στην μοναδιαία κυψελίδα}}{\text{Όγκο μοναδιαίας κυψελίδας}}$$

$$\Rightarrow APF = \frac{6 \times \left(\frac{4 \times \pi \times r^3}{3}\right)}{\left(\frac{\sqrt{3}}{4} \times 6 \times 1,633 \times a^3\right)}$$



Εικόνα 7: Αναπαράσταση εξαγωνικής κρυσταλλικής δομής μέγιστης πυκνότητας: (α) αναπαράσταση της μοναδιαίας κυψελίδας με μικρές σκληρές σφαίρες, (β) αναπαράσταση συνόλου μοναδιαίων κυψελίδων.

Στην εικόνα (α) διακρίνουμε κάποιες διαστάσεις, οι πιο σημαντικές από αυτές που τις χρησιμοποιούμε στον υπολογισμό του συντελεστή πλήρωσης είναι η a' και η c' . Όπου a' θεωρείται η μικρότερη και c' η μεγαλύτερη διάσταση της μοναδιαίας κυψελίδας. Ο λόγος c/a παίρνει ως ιδανική τιμή το 1.633, όμως πολλά μέταλλα της εξαγωνικής κρυσταλλικής δομής έχουν απόκλιση από αυτήν τη τιμή.



Σχήμα 3: Παρουσιάζονται επιπλέον είδη κρυσταλλικών δομών, αναπαραστάσεις μοναδιαίων κυψελίδων με μικρές σκληρές σφαίρες. (α) απλή κυβική, (β) εδροκεντρωμένη κυβική, (γ) χωροκεντρωμένη κυβική, (δ) απλή τετραγωνική, (ε) εδροκεντρωμένη τετραγωνική, (στ) χωροκεντρωμένη τετραγωνική, (η) εξαγωνική, (θ) απλή ορθογωνική, (ι) χωροκεντρωμένη ορθογωνική, (κ) μονοενδρικά κεντρωμένο ορθογώνιο, (λ) εδροκεντρωμένη ορθογωνική, (μ) ρομβοεδρικό, (ν) απλό μονοκλινές, (ξ) μονοενδρικά

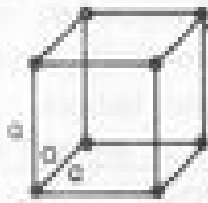
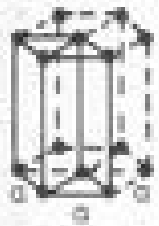


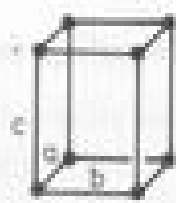
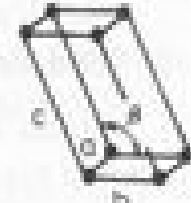

Μέταλλο	κρυσταλλική δομή	ατομική ακτίνα (nm)	μέταλλο	κρυσταλλική δομή	ατομική ακτίνα (nm)
αλουμίνιο	FCC	0,1431	μολυβδαίνιο	BCC	0,1363
Κάδμιο	HCP	0,1490	νικέλιο	FCC	0,1246
Χρώμιο	BCC	0,1249	λευκόχρυσος	FCC	0,1387
Κοβάλτιο	HCP	0,1253	αργυρός	FCC	0,1445
Χαλκός	FCC	0,1278	ταντάλιο	BCC	0,1430
Χρυσός	FCC	0,1442	τιτάνιο	HCP	0,1445
Σίδηρος	BCC	0,1241	βολφράμιο	BCC	0,1371
μόλυβδος	FCC	0,1750	ψευδάργυρος	HCP	0,1332
Βάριο	BCC	0,217	βαρύλλιο	HCP	0,114
Γερμάνιο	FCC	0,122	γάλλιο	ORTH	0,122

Πίνακας 1 : Παρουσιάζεται πίνακας με διάφορα υλικά το είδος της κρυσταλλικής τους δομής και την ατομική τους ακτίνα. FCC = εδροκεντρωμένη κρυσταλλική δομή, BCC = χωροκεντρωμένη κρυσταλλική δομή, HCP = εξαγωνική κρυσταλλική δομή μέγιστης πυκνότητας, ORTH = ορθορομβικό μονοκεντρωμένο.

1.2.4 Κρυσταλλικά συστήματα

Υπάρχουν αρκετά είδη κρυσταλλικών δομών και για αυτό το λόγο είναι προτιμότερο να διαχωρίζουμε διάφορες κατηγορίες σύμφωνα με το γεωμετρικό σχήμα της μοναδιαίας κυψελίδας και με την διεύθυνση των ατόμων. Η ταξινόμηση των κρυσταλλικών συστημάτων στηρίζεται στο γεωμετρικό σχήμα της μοναδιαίας κυψελίδας, χωρίς όμως να λάβουμε υπόψη μας και τις θέσεις των ατόμων στην μοναδιαία κυψελίδα. Και με αυτό τον τρόπο μπορούμε να ορίσουμε ένα σύστημα με τρεις άξονες (x, y, z) σε μια από τις κορυφές της κυψελίδας και ο καθένας από αυτούς τους τρεις άξονες αντιστοιχεί σε μία από τις τρεις ακμές του παραλληλεπίπεδου και σχηματίζουν μια συγκεκριμένη κορυφή.

Για να περιγραφεί γεωμετρικά πλήρως ένα κρυσταλλικό πλέγμα πρέπει να ορίσουμε τις παράμετρος πλέγματος οι οποίες είναι έξι παράμετροι, 1^η, 2^η και η 3^η παράμετρος είναι τα τρία μήκη των ακμών a, b, c και οι 4^η, 5^η και τελευταία η 6^η παράμετρος που είναι η τρεις γωνίες α, β, γ. Όπως διακρίνουμε στο σχήμα 4 παρακάτω μπορούμε να έχουμε επτά διαφορετικούς συνδυασμούς των έξι προαναφερθέντων παραμέτρων α, β, γ, a, b, c γωνιών και πλευρών. Ο καθένας συνδυασμός ανήκει σε ένα διαφορετικό κρυσταλλικό πλέγμα από το οποίο το κυβικό σύστημα έχει το υψηλότερο βαθμό συμμετρίας $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ενώ το χαμηλότερο βαθμό συμμετρίας έχει το τρικλινές $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma$.

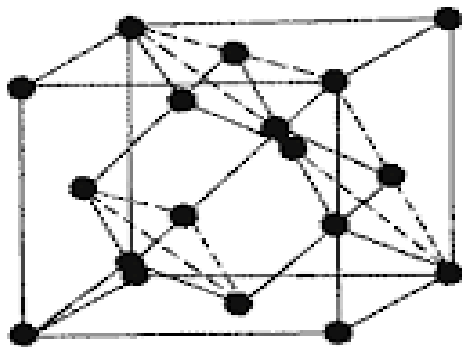
Crystal System	Axial Relationships	Interaxial Angles	Unit Cell Geometry
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rhombohedral	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

Σχήμα 4: Παρουσιάζονται τα επτά κρυσταλλικά συστήματα που μπορεί να έχει μια μοναδιαία κυψελίδα (α) κυβικό κρυσταλλικό σύστημα, (β) εξαγωνικό κρυσταλλικό σύστημα, (γ) τετραγωνικό κρυσταλλικό σύστημα, (δ) ρομβοεδρικό κρυσταλλικό σύστημα, (ε) ορθορομβικό κρυσταλλικό σύστημα, (στ) μονοκλινές κρυσταλλικό σύστημα, (ζ) τρικλινές κρυσταλλικό σύστημα.

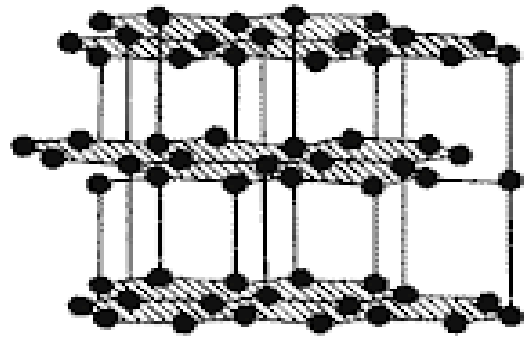
1.3 ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΑ

Πολυμορφισμός ονομάζεται όταν σε κάποια αμέταλλα και μεταλλικά υλικά παρατηρούνται δύο ή και περισσότερες κρυσταλλικές δομές. Ενώ **αλλοτροπία** ονομάζεται όταν παρατηρούνται δύο ή και περισσότερες κρυσταλλικές δομές σε ένα στερεό υλικό. Η κρυσταλλική δομή που θα κυριαρχήσει επηρεάζεται από την θερμοκρασία και την εξωτερική πίεση. Αλλότροπα υλικά είναι το αντιμόνιο, ο σίδηρος, ο κασσίτερος, ο άργυρος, ο χρυσός και ο άνθρακας. Ο άνθρακας όταν βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση ονομάζεται γραφίτης, ενώ ονομάζεται διαμάντι και αποκτά την κρυσταλλική του δομή όταν είναι κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Η διαφοροποίηση αυτή στη δομή προκαλεί τις σημαντικές διαφορές της φυσικής και χημικής συμπεριφοράς των δύο μορφών του άνθρακα. Το διαμάντι είναι εξαιρετικά ανθεκτικό από μηχανική και χημική άποψη· ο γραφίτης είναι μαλακός, αποσαθρώσιμος και παρουσιάζει μεγαλύτερη τάση να αντιδρά συνεχώς.

Το κυριότερο στοιχείο που αντιπροσωπεύει τους ορισμούς παραπάνω είναι ο άνθρακας και στο σχήμα από κάτω παρουσιάζουμε της δύο πιθανές μορφές του.



Διαμάντι



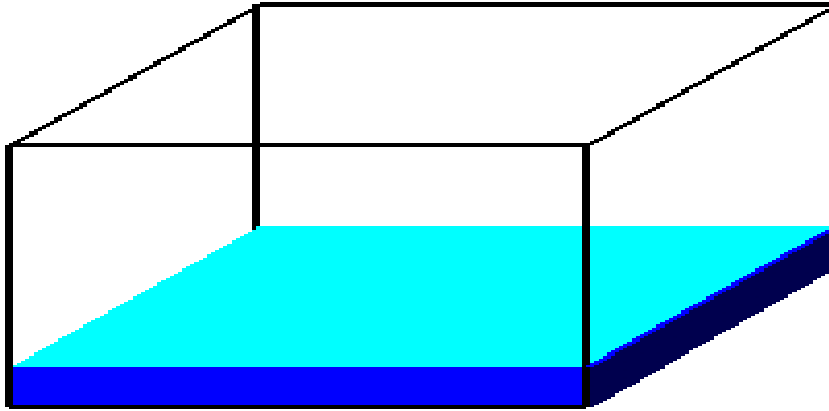
Γραφίτης

Σχήμα 5: Παρουσιάζονται τα κρυσταλλικά πλέγματα του διαμαντιού και του γραφίτη.

1.4 ΜΟΡΦΕΣ ΦΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΥΛΗΣ

Μορφές φάσεων της ύλης ονομάζουμε την κατάσταση της ύλης, δηλαδή σε τι μορφή μπορεί να βρίσκεται η ύλη μας. Στην ζωή μας η μορφές της ύλης που παρατηρούμε γύρω μας είναι τέσσερις: η υγρή, η στερεή, η αέρια, και τελευταία και όχι πολύ γνωστή το πλάσμα. Είναι δυνατόν να υπάρξουν και άλλες καταστάσεις της ύλης αλλά όχι σε αυτό το περιβάλλον που ζούμε, όπως το συμπύκνωμα Bose-Einstein και ο αστέρας νετρονίων, παρακάτω θα περιγράψουν τα τέσσερα είδη της κατάστασης της ύλης.

Υγρή κατάσταση της ύλης: Υπάρχουν δύο διακρίσεις για τα υγρά, τα πραγματικά υγρά και τα ιδανικά υγρά. Ο όγκος παραμένει αμετάβλητος στα υγρά διότι τα θεωρούμε ασυμπίεστα παίρνουν οποιοδήποτε σχήμα, συνήθως του δοχείου στο οποίο περιέχεται το υγρό ενώ τα μόρια, άτομα, ιόντα του υγρού είναι κοντά και κινούνται στο χώρο χωρίς σχεδόν καμία δυσκολία.

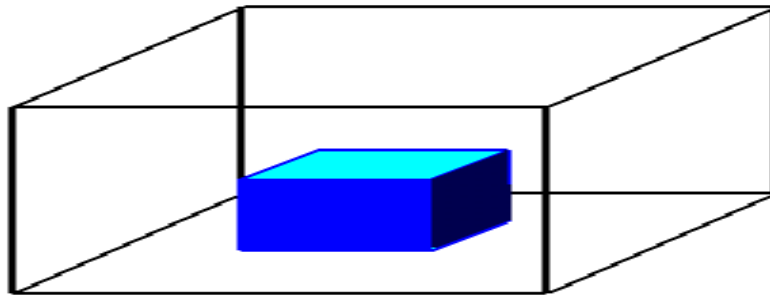


Υγρό

**Σχήμα του δοχείου
Ελεύθερη επιφάνεια
Συγκεκριμένος όγκος**

Σχήμα 6: παρουσιάζεται υγρό μέσα σε ένα δοχείο που πέρνει το σχήμα του δοχείου και με συγκεκριμένο όγκο.

Στερεά κατάσταση της ύλης : Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες για τα στερεά, 1^η κατηγορία τους κρυστάλλους, 2^η κατηγορία τους οιονεί κρυστάλλους, 3^η κατηγορία τα fractal, 4^η κατηγορία τα άμορφα. Τα στερεά έχουν σταθερό όγκο, το σχήμα των στερεών παραμένει το ίδιο δηλαδή είναι αμετάβλητο τα μόρια, τα άτομα, τα ιόντα του στερεού είναι κοντά και σε καθορισμένη θέση μεταξύ τους και δεν κινούνται καθόλου εύκολα μόνο ταλαντεύονται.

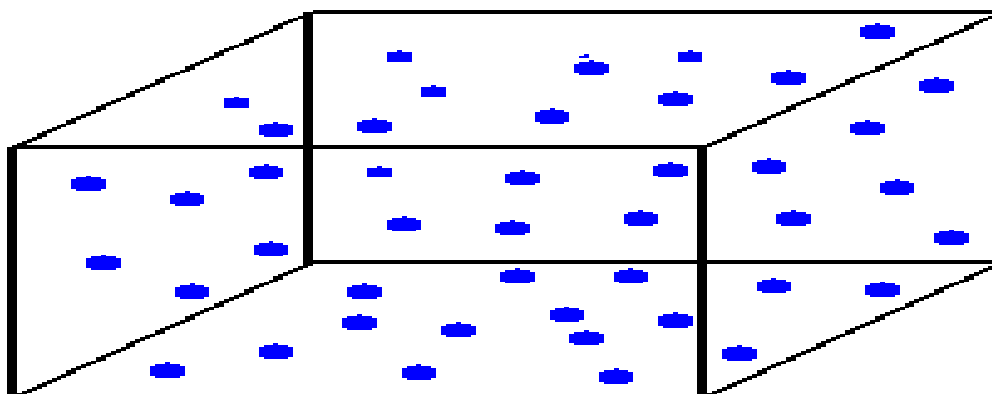


Στερεό

**Συγκεκριμένο σχήμα
Συγκεκριμένος όγκος**

Σχήμα 7: Παρουσιάζεται στερεό υλικό μέσα σε ένα δοχείο το οποίο έχει το δικό του σχήμα και όχι του δοχείου και με συγκεκριμένο όγκο.

Αέρια κατάσταση της ύλης: Ο όγκος είναι μεταβλητός στα αέρια, διότι τα θεωρούμε συμπιεστά, παίρνουν οποιοδήποτε σχήμα, συνήθως του δοχείου στο οποίο περιέχεται το αέριο ενώ τα μόρια, άτομα, ιόντα του υγρού δεν είναι κοντά και κινούνται στο χώρο χωρίς δυσκολία. Άρα είναι σε μη καθορισμένες θέσεις, τα αέρια όπως και τα υγρά διακρίνονται σε πραγματικά και τα ιδανικά αέρια.

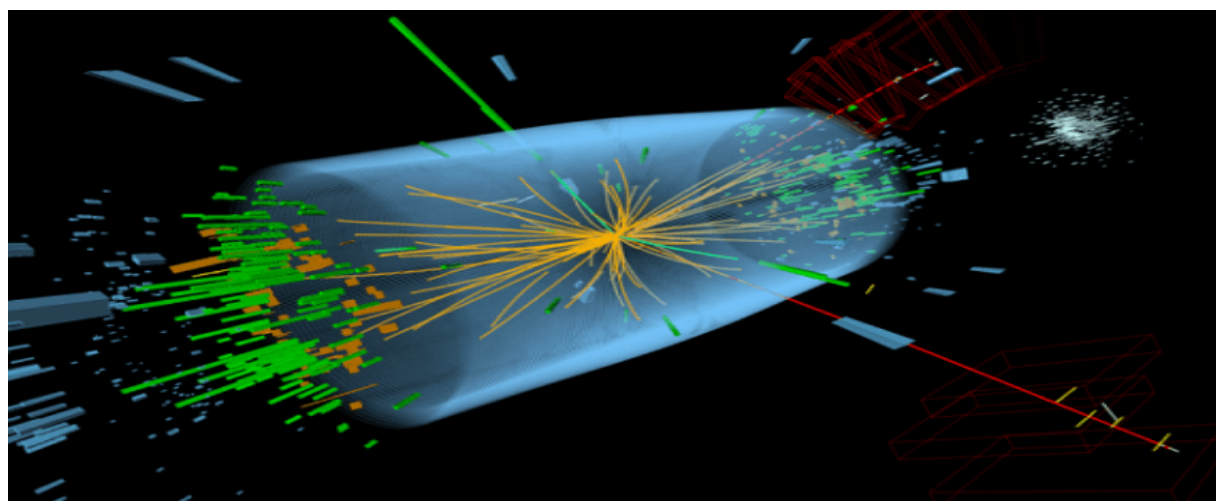


Αέριο

Σχήμα του δοχείου
Όγκος του δοχείου

Σχήμα 8 : Παρουσιάζεται αέριο μέσα σε ένα δοχείο που πέρνει το σχήμα του δοχείου και τον όγκο του δοχείου

Πλάσμα κατάσταση της ύλης: Ο όγκος και το σχήμα είναι μεταβλητός, το πλάσμα έχει μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων και ιόντων αφού από αυτά αποτελείτε το πλάσμα. Εκτός και από ουδέτερα άτομα, το πλάσμα κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό ορατής ύλης στο σύμπαν, μεγαλύτερο του 99 %, επειδή το πλάσμα υπάρχει στον μεσοαστρικό και διαγαλαξιακό χώρο, στην ιονόσφαιρα, στους κεραυνούς, στον ηλιακό άνεμο και σε θερμοπυρηνικούς αντιδραστήρες. Αυτό διότι το ορατό φως από το διάστημα έρχεται από τους αστέρες, οι οποίοι είναι πλάσμα σε θερμοκρασία τέτοια ώστε να ακτινοβολούν ισχυρά σε ορατά μήκη κύματος.



Εικόνα 8: Απεικονίζει ένα πλάσμα κουάρκ - γκλουονίων που παράχθηκε στο Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων, με τη σύγκρουση πρωτονίων με πυρήνες μόλυβδου, σε υψηλές ενέργειες στο εσωτερικό του ανιχνευτή CMS.

1.5 ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ

Παλαιολιθική Εποχή και Νεολιθική Εποχή

Η Λίθινη εποχή διακρίνεται σε Παλαιολιθική εποχή, Μεσολιθική εποχή και Νεολιθική εποχή. Εκείνη την εποχή οι άνθρωποι εκμεταλλευόντουσαν ότι δινόταν άμεσα από τη φύση όπως δέρμα, πέτρα, πηλό, ξύλο.



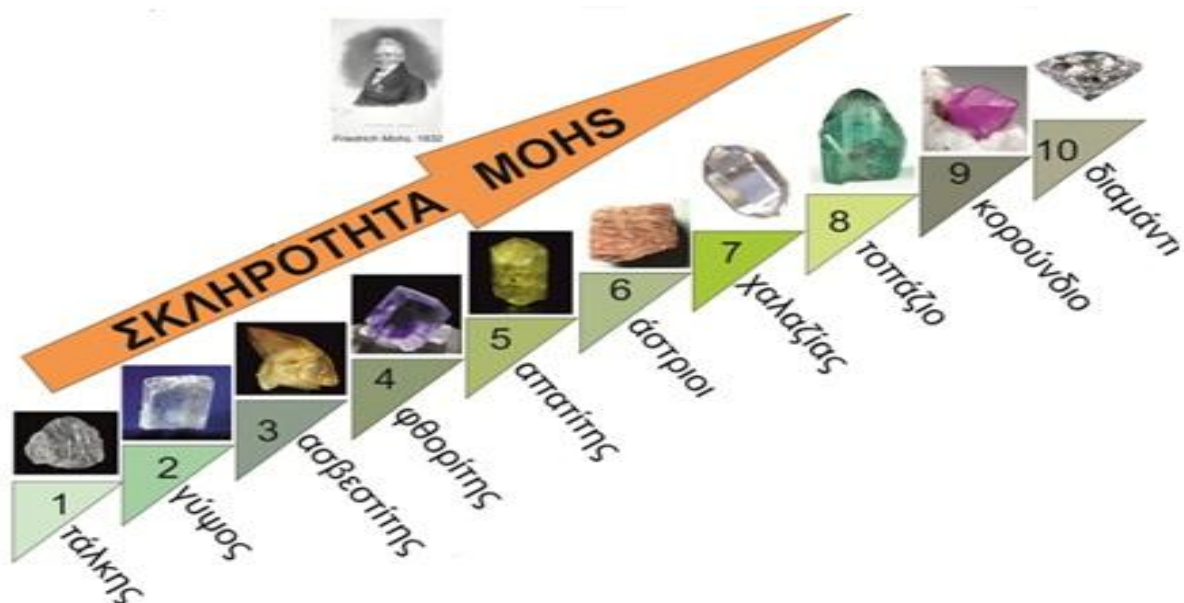
Εικόνα 9: Απεικονίζονται εργαλεία της λίθινης εποχής που τα χρησιμοποιούσαν στην καθημερινή τους ζωή οι άνθρωποι της εποχής. Hatchet head = κεφαλή τσεκουριού, nut grinder = σπάστης ξηρών καρπών, thumb held grinder = εργαλείο για άλεση με το χέρι, scraping tool = εργαλείο απόξεσης, sculpture = εργαλείο γλυπτικής, half-made arrowhead = μισό φτιαγμένη κεφαλή βέλους, cutting tool = εργαλείο κοπής, hammer = σφυρί, broken piece = σπασμένο κομμάτι (αστοχία), knife = μαχαίρι.

Η παλαιολιθική εποχή ξεκίνησε από το 2500000 π.Χ. ως το 10000 π.Χ. και διακρίνεται στην κατώτερη, μέση, και ανώτερη. Και χρονολογικά αντίστοιχα 2500000 -80000 π.Χ. , 80000 – 33000 π.Χ. και 33000 – 10000 π.Χ. και σε αυτή την περίοδο χρησιμοποιήθηκε εκτός από τα παραπάνω και ο οφιδιανός.

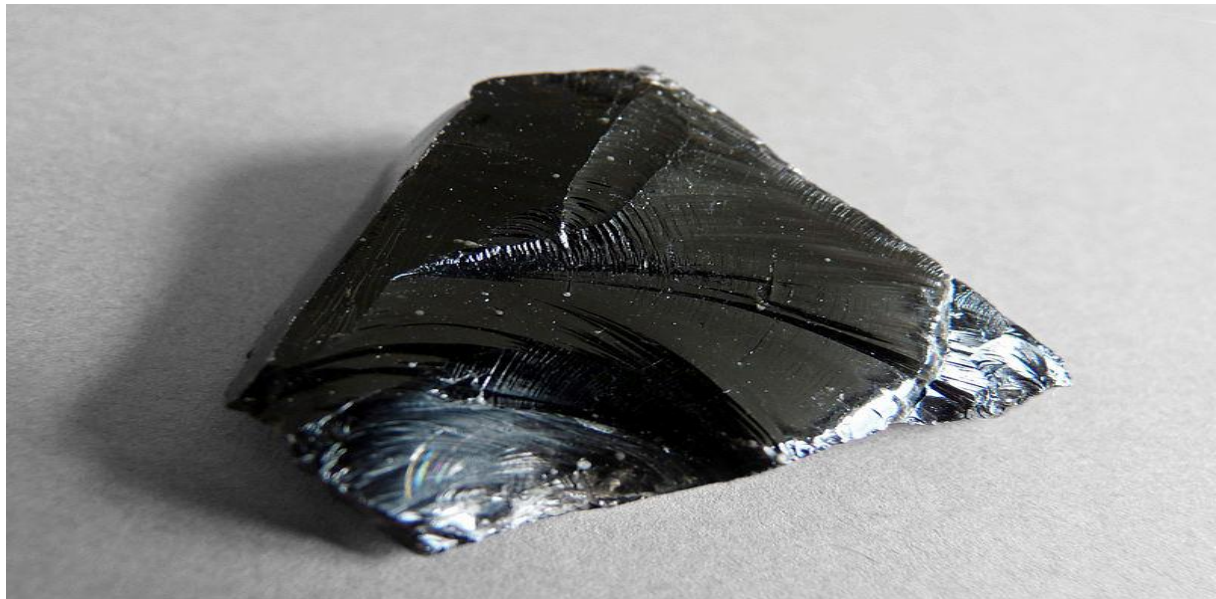
Οψιδιανός είναι υαλώδες πέτρωμα που βρίσκεται σε ηφαιστειογενείς έδαφος και αποτελείται από 70% με 75% διοξείδιο του πυριτίου, οξείδιο του μαγνησίου, μαγνητίτη (ορυκτό του σιδήρου). Είναι αρκετά σκληρός και ανθεκτικός περίπου πέντε με έξι της κλίμακας Mohs παρακάτω παρουσιάζουμε πίνακα με υλικά από το πιο μαλακό ως το πιο σκληρό, σύμφωνα με την κλίμακα Mohs, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την σκληρότητα σε ορυκτά. Ο οψιδιανός χρησιμοποιήθηκε κυρίως στα τέλη της ανώτερης παλαιολιθική εποχής, μεταξύ 33000 – 10000 π.Χ. για κατασκευή λεπίδων με κοφτερές ακμές που τα χρησιμοποιούσαν για ξέστρες, ξυράφια και μαχαίρια.

κλίμακα Mohs	ορυκτά υλικά	rosiwal absolute hardness	vickers (kp/mm ²)	test χαράγματος
1	τάλκης	0,03	2,4	χαράζεται από νύχι
2	γύψος	1,25	36	χαράζεται από νύχι
3	ασβεστίτης	4,5	109	χαράζεται από χάλκινο νόμισμα
4	φθορίτης	5	189	χαράζεται εύκολα με μαχαίρι
5	απατίτης	6,5	536	χαράζεται με μαχαίρι
6	άστριος	37	795	χαράζεται με χάλυβα
7	χαλαζίας	120	1120	χαράζει γυαλί παραθύρου
8	τοπάζιο	175	1427	χαράζει το χαλαζία
9	κορούνδιο	1000	2060	χαράζει το τοπάζιο
10	διαμάντι	140000	10060	χαράζει το κορούνδιο

Πίνακας 2: Παρουσιάζεται πίνακας με διάφορα ορυκτά υλικά που υποδεικνύει την σκληρότητα κάποιων ορυκτών υλικών σύμφωνα με την κλίμακα Mohs, rosiwal και Vickers και αναγράφονται και τα test χαράγματος.



Εικόνα 10: Στην εικόνα φαίνονται τα ορυκτά υλικά που αναφέρονται στο πίνακα 2 με την σκληρότητα τους κατά Mohs και την εικόνα του κάθε ορυκτού υλικού



Εικόνα 11 : Κομμάτι Οηιδιανού, το συγκεκριμένο είναι άμορφο, δεν έχει διαμορφωθεί.

Η Νεολιθική εποχή αρχίζει περίπου το 10000 π.Χ. και ξεκινά πρώτα από την Μεσοποταμία ως την Αίγυπτο και ύστερα επεκτείνεται στην Ευρώπη, Ασία, Αφρική και Αμερική. Στον ελλαδικό χώρο η νεολιθική εποχή άρχισε περίπου στο 6500 π.Χ., στην Νεολιθική εποχή άρχισε η εμφάνιση της κεραμικής και έχουμε ευρεία χρήση των τριπτών λίθινων εργαλείων και ακόμα έχουμε την χρήση απολεπισμένων λίθινων εργαλείων.



Εικόνα 12 : Ο χάρτης που έχει χρωματισμένες της περιοχές που εισήρθανε πρώτες στην νεολιθική εποχή, από την Αίγυπτο ως την Μεσοποταμία.

Οι άνθρωποι που ζούσαν στην Μεσολιθική εποχή είχαν εργαλεία απολεπισμένα και πολλές φορές με λαβή. Ενώ στην Νεολιθική εποχή είχαν λειασμένα λίθινα εργαλεία π.χ. το δρεπάνι και η μυλόπετρα που τους ευκόλυναν την ζωή τους. Οι άνθρωποι της Νεολιθικής εποχής άρχισαν να κατασκευάζουν πήλινα αγγεία και να τα ψήνουν σε καμίνια και έπειτα τα χρησιμοποιούσαν για την αποθήκευση τροφής και για το ψήσιμο της τροφής τους και γύρο στο 4500 με 2000 π.Χ. είχαμε το τέλος της.

Η εποχή του χαλκού ξεκινάει από το 4000 ως το 1000 π.Χ. και έχει ως γνώρισμα την χρήση του χαλκού και των κραμάτων του όπως κασσίτερος και ψευδάργυρος για την κατασκευή διάφορων σκευών και όπλων.



Εικόνα 13: Παρουσιάζονται διάφορα εργαλεία που χρησιμοποιούντουσαν την εποχή του χαλκού, φτιαγμένα απο χαλκό.

Η εποχή του σιδήρου ξεκινάει από το 1300 π.Χ. στην ανατολή και ανατολική μεσόγειο και χρησιμοποιούσαν σίδηρο και κράματα του με την πρόσμιξη με άνθρακα.



Εικόνα 14 : Παρουσιάζονται διάφορα εργαλεία που χρησιμοποιούντουσαν την εποχή του σιδήρου φτιαγμένα από σίδηρο.

Από τα παραπάνω συμπεράνουμε ότι η κάθε εποχή έχει πάρει το όνομα της από το υλικό όπου μπορούσε η ανθρωπότητα να εκμεταλλευτεί, δηλαδή την εποχή του χαλκού ο άνθρωπος εκμεταλλευόταν μόνο το χαλκό και όχι τον σίδηρο.

1.6 Η ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν πολλά ορυκτά πετρώματα που κάνουμε εξόρυξη από το στερεό φλοιό της γης με σκοπό την εκμετάλλευση των διαφόρων ειδών μετάλλων. Που περιέχουν κατά κάποιο μικρό ποσοστό και το κάθε πέτρωμα, παίρνουμε συγκεκριμένο είδος μετάλλου μέσω της εκαμίνευσης.

Πετρώματα που υπάρχουν και είναι εκμεταλλεύσιμα στην Ελλάδα είναι:

Ο **Αιματίτης** είναι χημικό ίζημα και εμφανίζει συγκρυσταλλωμένα μόρια νερού, με κιτρινωπές αποχρώσεις, που αποδίδονται σε δευτερογενείς συσσωματώσεις, όπως μηχανικό ίζημα. Αιματίτες που δεν περιλαμβάνουν συγκρυσταλλωμένα μόρια νερού, η γένεση τους αποδίδεται σε ηφαιστειακή δραστηριότητα. Ο αιματίτης αποτελεί συστατικό πάρα πολλών πετρωμάτων, κυριότερο των οποίων είναι το κοκκινόχρωμα, που οφείλει το χρώμα του ακριβώς στην σκόνη αιματίτη και από το οποίο παίρνουμε το σίδηρο και ο χημικός τύπος είναι Fe_2O_3 , ο οποίος χρησιμοποιείται και ως ημιπολύτιμος λίθος.



Εικόνα 15: Παρουσιάζεται ένα κομμάτι αιματίτη (χημικό ίζημα) από το οποίο το σίδηρο λαμβάνεται.

Έχει χαρακτηριστικά τα εξής:

ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	
Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Μεταλλικό γκρι , κίτρινέρυθρο
Λάμψη	Μεταλλική , γαιώδης
Διαφάνεια	Ολοσχερώς αδιαφανής
Χημική σύσταση	Οξείδιο του τριθενούς σιδήρου Fe_2O_3
Σύστημα κρυσταλλώσεως	Τριγωνικό
Σχισμός	Δεν παρατηρείται
Γραμμή κόνεως	Αιματέρυθρη
Θραύση	Κογχοειδής ή ανώμαλη
Σκληρότητα	5 - 6 (κλίμακα Mohs)
Πυκνότητα	5,25 gr/cm ³ η 5250kg/ m ³

Πίνακας 3: Παρουσιάζεται πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά του ορυκτού αιματίτη.

Ο **Γαληνίτης** είναι ορυκτό από το οποίο παράγουμε τον μόλυβδο και είναι το κυριότερο μέταλλευμα του μόλυβδου στην Ελλάδα με χημικό τύπο PbS, τον βρίσκουμε σε μεγάλη ευρύτητα γεωλογικών περιβαλλόντων, όπως σε υδροθερμικές φλέβες και σε ασβεστολιθικούς δολομιτικούς σχηματισμούς. Μαζί με το μέταλλευμα του γαληνίτη βρίσκουμε και τα εξής μεταλλεύματα με μαρκασίτη, χαλκοπυρίτη, χαλαζία, ασβεστόλιθο, δολομίτη, βαρύτη και ορυκτά του αργύρου . Γαληνίτες με υψηλό ποσοστό σε άργυρο παρουσιάζουν έντονη λεπιοειδή σχισμό με μικρή κάμψη, ενώ με υψηλό ποσοστό σε βισμούθιο παρουσιάζουν οκταγωνικό σχισμό δηλαδή έχει την τάση να σπάει κατά ορισμένες κατευθύνσεις, οι οποίες είναι παράλληλες πάντοτε σε δυνατές κρυσταλλογραφικές έδρες που σχηματίζουν ένα οκτάγωνο.

Έχει χαρακτηριστικά τα εξής :

ΓΑΛΗΝΙΤΗΣ	
Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Μολυβδόφαιο έως μολυβδομέλαν, κίτρινο/κιτρινόφαιο επιφανειακά
Λάμψη	Έντονα μεταλλική, θαμπώνει με την μακρόχρονη έκθεση στον αέρα
Διαφάνεια	Ολοσχερώς αδιαφανής
Χημική σύσταση	PbS
Σύστημα κρυσταλλώσεως	Κυβικός, λιγότερο συχνά οκταεδρική ή κυβοοκταεδρική.
Σχισμός	Τέλειος κατά {001}, ατελής κατά {111}
Γραμμή κόνεως	Γκρίζα, μολυβδόχρους
Θραύση	Κογχοειδής
Σκληρότητα	2,5 (κλίμακα Mohs)
Πυκνότητα	7,4 gr/cm ³ η 7400kg/ m ³
Ανευρίσκεται	Παγκόσμια

Πίνακας 4: Παρουσιάζεται πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά του ορυκτού γαληνίτη.



Εικόνα 16: Παρουσιάζεται ένα κομμάτι γαληνίτη από το οποίο το λαμβάνεται ο

Ο **Γκαιτίτης** ($Fe^{3+}O(OH)$) είναι ένυδρο ορυκτό οξείδιο του σιδήρου είναι αρκετά γνωστό ορυκτό του σιδήρου και προέρχεται από την σταδιακή αποσύνθεση τον πιο πολλών σιδηρομιγών πρωτογενών ορυκτών. Όταν βρίσκεται κάτω από κατάλληλες συνθήκες όπως

υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου σε οξυγόνο, βρίσκεται και ως ίζημα σε ύδατα που έχουν διαλυτές ενώσεις σιδήρου και επιτρέπουν οι συνθήκες να οξυδωθούν, συχνά ο γκαϊτίτης βρίσκεται και σε υδρόθερμες φλέβες. Όταν είναι σε γαιώδης μορφή είναι είτε κρυπτοκρυσταλλική είτε άμορφη και ονομάζεται **λειμωνίτης** ($\text{FeO}(\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$) και τον βρίσκουμε σε υγρά ή ελώδη λιβάδια. Η βασική διαφορά του από τον γκαϊτίτη είναι ότι περιέχει περισσότερο κρυσταλλικό νερό και έχει κίτρινο χρώμα σαν την ώχρα. Επίσης συναντάται και με καστανοκίτρινο χρώμα και είναι γαιώδης και αλαμπής. Αν τον λειμωνίτη τον κρατάμε στο χέρι θα προσέξουμε το χρώμα του, ο γκαϊτίτης και ο λειμωνίτης είναι σημαντικά μεταλλεύματα σιδήρου .

Έχει χαρακτηριστικά τα εξής :

ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ	
Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Κίτρινο, καστανό, καστανέρυθρο, μαύρο
Λάμψη	Μεταλλική, αδαμάντινη και άλλοτε χωρίς λάμψη (αλαμπής) στις γαιώδεις υφές
Διαφάνεια	Αδιαφανής
Χημική σύσταση	$\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$
Σύστημα κρυσταλλώσεως	Ρομβικό
Κρύσταλλοι	Πεπλατυσμένοι ή πρισματικοί, βελονοειδείς, τριχοειδείς
Σχισμός	Τέλειος κατά (010) , καλός (100)
Γραμμή κόνεως	Καστανοκίτρινη, πορτοκαλοκίτρινη
Θραύση	Ανώμαλη
Σκληρότητα	5 - 5,5 (κλίμακα Mohs)
Πυκνότητα	3,3 - 4,3 gr/cm^3 η 3300 - 4300 kg/m^3
Παραλλαγές	Λειμονίτης $\text{FeO}(\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$

Πίνακας 5 : Παρουσιάζεται πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά του ορυκτού γκαϊτίτη.

Ο γκαϊτίτης συναντάται στη Γερμανία, στη Τσεχία, στη Γαλλία, στη Κορνουάλλη της Βρετανίας, στις ΗΠΑ και σε πολλά μέρη του πλανήτη . Στην Ελλάδα βρίσκεται στη Μύκονο, στην παραλία Απηγανιάς της Τήνου, σχεδόν σε όλα τα μεταλλεία Λαυρίου, στο ορυχείο «Μαυρόλακκος» της Θάσου, στις Σέρρες, στη Μαρώνεια της Κομοτηνής, στη Λευκόπετρα της Ξάνθης και στη Λοκρίδα του Νομού Φθιώτιδος, ως συνοδό ορυκτό του βωξίτη στο ορυχείο (νησί).



Εικόνα 17: Παρουσιάζεται ένα κομμάτι λειμωνίτη το οποίο έχει το χρώμα της ώχρας.



Εικόνα 18: Παρουσιάζεται ένα μαύρο κομμάτι γκαιτίτη, εξαιρετικά κρυσταλλωμένο.



Εικόνα 19: Παρουσιάζεται ένα άμορφο κομμάτι γκαιτίτης αρκετά παχουλό και άμορφο. Οι ψεκάσμοι των κρυστάλλων εδώ έχουν μήκος 2 cm.

Ο Βαρύτης είναι θεικό ορυκτό του βαρίου είναι γνωστό και ως **ρόδο της ερήμου** με χημικό τύπο BaSO_4 , έχει υψηλό ειδικό βάρος. Σχηματίζει μια ιδιαίτερη υφή, στην οποία οι

τραπεζοειδείς ή πρισματικοί κρύσταλλοι του ορυκτού είναι τοποθετημένοι ομοκεντρικά, και αυξάνονται σε μέγεθος όσο απομακρύνονται από το κέντρο του ορυκτού βαρύτη. Ο βαρύτης βρίσκεται σε υδροθερμικές φλέβες, με χαμηλές θερμοκρασίες, σε υπολειμματικές αποθέσεις που προέρχονται από διαλυτές ενώσεις βαρυτικού ασβεστόλιθου. Σε αποθέσεις θερμών πηγών, ως δευτερεύον ορυκτό βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων μέσα σε κοιλάτητες και σε υδροθερμικές φλέβες που εμπεριέχουν μεταλλεύματα μολύβδου και άργυρου. Επίσης ανευρίσκουμε ως πρωτεύον συστατικό μαζών γύρω από υποθαλάσσια ηφαίστεια, μαζί με άλλα θειικά ορυκτά.

Ο βαρύτης έχει ευρεία χρήση στην βιομηχανία σε κονιορτοποιημένη μορφή, χρησιμοποιείται σε πολλούς εκπλύσεως γεωτρήσεων πετρελαίου ή αερίων, λόγω αύξησης του ειδικού βάρους του, στη δημιουργία ενώσεων στην υφασματοβιομηχανία, τη χαρτοβιομηχανία, την υαλουργία στη βιομηχανία ελαστικών καθώς και ως αδρανές υλικό στην παραγωγή χρωμάτων.

Ο βαρύτης είναι από το πιο κοινό ορυκτό του βαρίου και από τα πιο γνωστά ορυκτά και συχνά μπερδεύεται με τον σελεστίνη (SrSO_4), ο οποίος έχει πανομοιότυπη κρυσταλλική συμμετρία και σχεδόν ίδιο τύπο κρυστάλλων. Η μακροσκοπική διαφοροποίηση αυτών των δύο ορυκτών είναι πρακτικά αδύνατη και μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την βοήθεια φλόγας λύχνου Bunsen. Την οποία όταν την ρίχνουμε στην φλόγα σε κονιοποιημένο δείγμα, η φλόγα χρωματίζεται πράσινη αν πρόκειται για βαρύτη και κόκκινη αν πρόκειται για σελεστίνη.

Έχει χαρακτηριστικά τα εξής :

ΒΑΡΥΤΗΣ	
Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Άχρωμο, λευκό, κυανό, κόκκινο, κίτρινο, ενίοτε σε ζώνες
Λάμψη	Υαλώδης έως ρητινώδης, ενίοτε μαργαριτώδης
Διαφάνεια	Αδιαφανής
Χημική σύσταση	BaSO_4
Σύστημα κρυσταλλώσεως	Ρομβικό
Κρύσταλλοι	Πρισματικοί, τραπεζοειδείς. Και έχουμε περισσότερες από 70 μορφές
Σχισμός	{001} τέλειος, {010} ατελής
Γραμμή κόνεως	Λευκή
Θραύση	Ανώμαλη
Σκληρότητα	3 - 3,5 (κλίμακα Mohs)
Πυκνότητα	4,5 gr/cm^3 η 4500 kg/m^3

Πίνακας 6: Παρουσιάζεται πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά του ορυκτού του βαρύτη.

Το ορυκτό του βαρύτη είναι ιδιαίτερα άφθονο στην Καστίλλη και Λεόν και την Ανδαλουσία όπως και στη Βεστφαλία. Στην Ελλάδα υπάρχουν σημαντικά αποθέματα στην Μύκονο, Μήλος, Κίμωλος, Τυρός όπου είναι αργυρομιγής και ονομάζεται βαρυτίνη. Μεγάλα

αποθέματα βρίσκονται στην Γερμανία, στην Ρουμανία, την Αγγλία, την Τσεχία, τη Νότια Αφρική, τον Καναδά και στις ΗΠΑ κυρίως στην Καλιφόρνια.



Εικόνα 20: Παρουσιάζεται ένα κομμάτι βαρύτη από το οποίο λαμβάνεται το βάριο. Οι κρύσταλλοι είναι διαυγείς και λαμπερή σαν γυαλί , με αιχμηρές άκρες.

Ο **Τάλκης** είναι πυριτικό ορυκτό του μαγνησίου με χημικό τύπο $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Περιέχει και κάποια ίχνη σιδήρου και ασημιού. Είναι ένα από τα μαλακότερα ορυκτά που υπάρχουν, αναγνωρίζεται εύκολα αφού χαράσσεται με το νύχι και αφήνει λευκή γραμμή όταν συρθεί επάνω σε κάποιο χαρτί και έχει λιπαρή αφή. Οι κρύσταλλοί του είναι φυλλώδεις και κάμπτονται εύκολα, είναι σπάνιοι, δεν έχουν καμία ελαστική παραμόρφωση. Ο Τάλκης έχει μια παραλλαγή και είναι ο στεατίτης.

Τον Τάλκη τον βρίσκουμε σε σχιστόλιθους, ονομασμένοι και ως ταλκικοί σχιστόλιθοι και αποτελεί δευτερογενές ορυκτό μεταμόρφωσης σε χαμηλές θερμοκρασίες των σιδηρούχων και μαγνησιούχων ορυκτών. Περιέχεται σε υπερβασικά πετρώματα, αλλά βρίσκεται και σε πρασινοσχιστόλιθους επιφανειακής μεταμόρφωσης κατά την σερπεντινίωσή τους και σε μεταμόρφωση πυριτικών δολομιτών.

Η κύρια χρήση του Τάλκη είναι η κατασκευή σκευασμάτων στην φαρμακοβιομηχανία και στην βιομηχανία των καλλυντικών, όπου χρησιμοποιείται ως βελτίωση κάποιου χαρακτηριστικού τους χρώση, αφή, οσμή, όψη, γεύση. Επειδή είναι αδρανής από οξέα και υψηλές θερμοκρασίες, δεν παίρνει φωτιά, έχει αρκετά μικρή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, χρησιμοποιείται επίσης στην χαρτοποιία, στην βιομηχανία κεραμικών, ελαστικών, μονωτικών και χρωμάτων.

Δείγματα Τάλκη υψηλής καθαρότητας με εμφάνιση κρυστάλλων ανευρίσκονται στο Αυστριακό Τιρόλο, στην Άνω Αδίγη της Ιταλίας, στην Γαλλία, στην Βαυαρία, στην Νορβηγία, στην Σιβηρία και σε πολλές περιοχές των ΗΠΑ.

Έχει χαρακτηριστικά τα εξής :

ΤΑΛΚΗΣ	
Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Ανοικτό πράσινο, λευκό, αργυρόλευκο. Συχνά ερυθρίζον λόγω ύπαρξης οξειδίων του σιδήρου
Λάμψη	Μαργαριτώδης ή λιπαρά
Διαφάνεια	Αδιαφανής έως ημιδιαφανής οι κρύσταλλοι
Χημική σύσταση	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Σύστημα κρυσταλλώσεως	Μονοκλινές, τρικλινές
Κρύσταλλοι	Σπάνιοι, πινακοειδείς
Σχισμός	Τέλειος κατά (001)
Γραμμή κόνεως	Λευκή
Θραύση	Ανώμαλη ή φυλλοειδής
Σκληρότητα	1 (κλίμακα Mohs)
Πυκνότητα	2,8 gr/cm ³ η 2800 kg/ m ³
Παραλλαγές	Στεατίτης

Πίνακας 7: Ο πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά του Τάλκη.



Εικόνα 21: Παρουσιάζεται ένα κομμάτι Τάλκη από το οποίο λαμβάνεται το μαγνήσιο.

Ο **Πυρολουσίτης** είναι ορυκτό του μαγγανίου περιέχει κυρίως διοξείδιο του μαγγανίου με χημικό τύπο (MnO_2), μπορεί να εμφανιστεί κάτω από ισχυρές οξειδωτικές συνθήκες που υπάρχουν σε μαγγανιούχες υδροθερμικές αποθέσεις. Επίσης μπορεί να εμφανιστεί σε αβαθείς πυθμένες λιμνών και πολλές φορές αποτελεί προϊόν αλλοίωσης στην αρχική σύσταση του μαγγανίτη. Είναι το βασικότερο ορυκτό μέταλλευμα από το οποίο μπορούμε να εξάγουμε το μαγγάνιο, συνήθως με αναγωγή του σε κλιβάνους.

Χρησιμεύει επίσης για την παρασκευή χλωρίου: $4 HCl + MnO_2 \rightarrow MnCl_2 + 2 H_2O + Cl_2$

Τον Πυρολουσίτη τον συναντάμε σε πολλά μέρη ανά τον κόσμο. Οι Βασικοί που παράγουν τον Πυρολουσίτη είναι η Γεωργία και η Ουκρανία. Βρίσκεται όμως και στην Γερμανία, την Ινδία, την Κίνα, τη Νότια Αφρική, τη Βραζιλία, την Αυστραλία, την Γκαμπόν και τις ΗΠΑ. Στην Ελλάδα απαντά στη νήσο Μήλο, στα μεταλλεία Λαυρίου και στα μεταλλεία Κασσάνδρας.

Έχει χαρακτηριστικά τα εξής:

ΠΥΡΟΛΟΥΣΙΤΗΣ	
Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Σιδηρομέλαν, μέλαν, ενίοτε κυανίζον
Λάμψη	Μεταλλική έως θαμπή
Διαφάνεια	Αδιαφανής
Χημική σύσταση	MnO_2
Σύστημα κρυσταλλώσεως	Τετραγωνικό
Κρύσταλλοι	Πρισματικοί, σπάνιοι
Σχισμός	Τέλειος κατά (110)
Γραμμή κόνεως	Μέλαινα, ελαφρώς κυανίζουσα
Θραύση	Ανώμαλη, ενίοτε κογχοειδής
Σκληρότητα	6,5 (κρύσταλλοι) 2 - 6 (συσσωματώματα)(κλίμακα Mohs)
Πυκνότητα	4,4 - 5,1 gr/cm ³ η 4400 - 5100 kg/ m ³
Παραλλαγές	Πολιανίτης

Πίνακας 8: Ο πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά του πυρολουσίτη, βασικό ορυκτό του μαγγανίου.



Εικόνα 22: Παρουσιάζεται ένα κομμάτι πυρολουσίτη, πολύ πλούσιο με εξαιρετικό ασημίορειχάλκινο χρώμα και κρυσταλλικό και στις δύο πλευρές από το οποίο λαμβάνεται το μαγγάνιο.

Ο **βωξίτης** είναι συνδυασμός ορυκτών, με μια λέξη μπορούμε να πούμε ότι είναι πέτρωμα και είναι το κυριότερο μέταλλευμα αργιλίου. Σχηματίζεται από την αποσύνθεση αργιλοπυριτικών πετρωμάτων που είναι κυρίως μαγματογενούς προελεύσεως, και γι' αυτό το λόγο το θεωρούμαι ιζηματογενές πέτρωμα.

Ο βωξίτης είναι πέτρωμα που περιέχει τα εξής χημικά στοιχεία: Υδροξείδια του αργιλίου όπως γκιμπσίτης, $\text{Al}(\text{OH})_3$, διάσπορο $\text{AlO}(\text{OH})$, βαιμίτης $\text{AlO}(\text{OH})$. Υδροξείδια και οξείδια του σιδήρου γκαιτίτης $\text{FeO}(\text{OH})$, αιματίτης Fe_2O_3 και οξείδιο του τιτανίου TiO_2 .

Περιέχονται στον βωξίτη και πυριτικά ορυκτά όπως **καολίνης** και **αλουνίτης** που έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Χρώμα: Κόκκινο ή κίτρινο, κάποιες φορές γκρίζο. Οι διάφοροι χρωματισμοί του βωξίτη οφείλονται στις διαφορετικές περιεκτικότητες που υπάρχουν σε καολίνη και αλουνίτη. Γι' αυτό τον λόγο ο βωξίτης είναι περισσότερο κόκκινος όταν περιέχει περισσότερο αιματίτη, ενώ κίτρινος όταν περιέχει περισσότερο γκαιτίτη. Το γκρίζο χρώμα οφείλεται σε μικρή περιεκτικότητα σε οξείδια σιδήρου.
- Ειδικό βάρος: 2,7 - 3,5 μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε οξείδια του σιδήρου.
- Υφή: Στιφρή, ωλιθική ή πισσολιθική.
- Διαλυτότητα: Αδιάλυτος σε νερό. Διαλύεται σε οξέα ή καυστικά αλκάλια υψηλών συγκεντρώσεων, ανάλογα με τη σύστασή του. Ανθεκτικός σε: Υψηλές θερμοκρασίες.

Οικονομικά εκμεταλλεύσιμος για παραγωγή αλουμίνας, την οποία χρησιμοποιούμε για την παραγωγή μεταλλικού αλουμινίου θεωρείται ο βωξίτης, ο οποίος περιέχει:

1. Περισσότερο από 45-50% Al_2O_3
2. Λιγότερο από 20% Fe_2O_3
3. Μέχρι 5% πυρίτιο (σε διάφορες μορφές)

Υπάρχουν δύο θεωρίες για τη γένεση του βωξίτη. Λατεριτικός βωξίτης: Σχηματίστηκε σε άλλο χώρο από αυτόν που αποτέθηκε, με αποσύνθεση. Στη συνέχεια μεταφέρθηκε και αποτέθηκε σε αλλουβιακή μορφή. Αυτόχθον βωξίτης: Προήλθε από την επιτόπια αποσύνθεση ασβεστόλιθων, τα περισσότερα διαλυτά συστατικά των οποίων απομακρύνθηκαν και επήλθε έτσι εμπλουτισμός των βωξιτικών συστατικών, τα οποία δεν απομακρύνθηκαν, αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη τροπικού κλίματος.

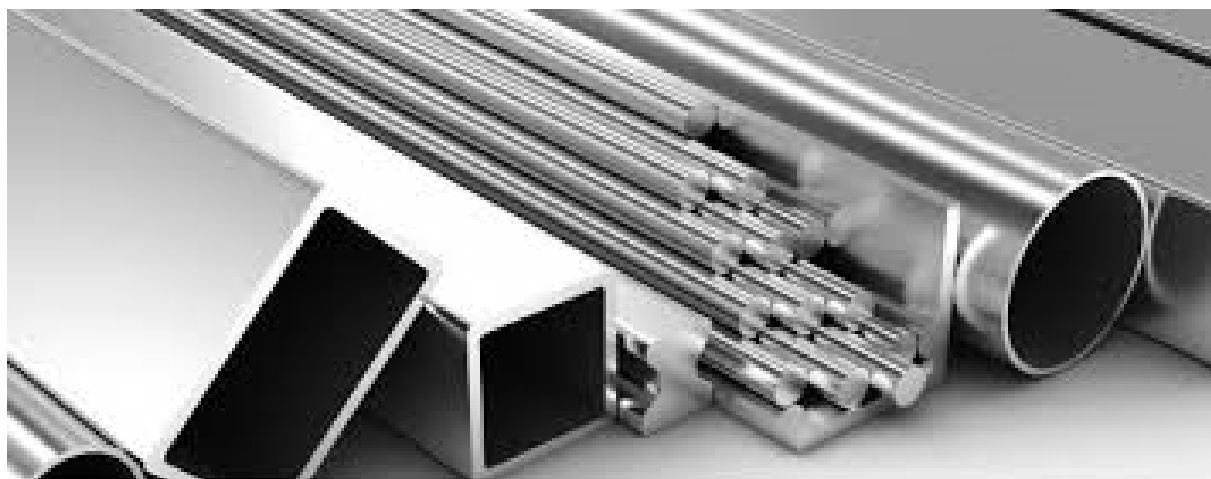
Η εξόρυξη του γίνεται κυρίως με τη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος, καθώς είναι πιο οικονομική και εύκολη όταν οι εμφανίσεις του βωξίτη είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η μεγαλύτερη παραγωγός βωξίτη χώρα στον κόσμο η Αυστραλία, επίσης μεγάλα κοιτάσματα υπάρχουν ακόμα στην Γουινέα, το Βιετνάμ, την Βραζιλία, την Τζαμάικα, την Κίνα και την Ινδία. Στην Ευρώπη τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βρίσκονται στην Ελλάδα, όπου είναι σε μορφή φακών, κοιτών, θυλάκων ή και τυχαίων μη κανονισμένων μαζών μέσα σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Κυρίως στην περιοχή της ζώνης Παρνασσού - Γκιώνας και μικρότερα κοιτάσματα στον Ελικώνα, στη Χαλκιδική, στα νησιά Αμοργό και Σκόπελο, στην περιοχή της Ελευσίνας και στην Εύβοια. Η ελληνική παραγωγή βωξίτη, διατηρείται στα επίπεδα 1,8-2,3 δισεκατομμύρια kg το χρόνο, εξασφαλίζοντας την εγχώρια παραγωγή αλουμινίου ενώ ένα σημαντικό ποσοστό εξάγεται στην διεθνή αγορά για άλλες χρήσεις, πχ. χαλυβουργία, τσιμεντοβιομηχανία, παραγωγή πετροβάμβακα, λειαντικών μέσων.

Η μεταλλουργία του βωξίτη ακολουθεί δυο φάσεις. Μέθοδος Bayer : που έχουμε την Μετατροπή σε υδροξείδιο του αργιλίου. Ο βωξίτης τρίβεται σε μικρά κομμάτια και το βάζουμε σε δοχεία μαζί με πυκνό διάλυμα, Υδροξείδιο του νατρίου NaOH , υπό υψηλή θερμοκρασία περίπου (150°C) και πίεση. Τα ορυκτά του αργιλίου διαλύονται, ενώ απομακρύνονται και απορρίπτονται τα υδροξείδια του σιδήρου με την μορφή κόκκινης λάσπης. Το διάλυμα στη συνέχεια ψύχεται και το καθαρό υδροξείδιο του αργιλίου βυθίζεται. Έπειτα το στερεό υπόλειμμα θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία μετατρέπόμενο έτσι σε αλουμίνα, 4 με 6 τόνοι βωξίτη δίνουν 2 τόνους αλουμίνας με αυτή την μέθοδο.



Εικόνα 23: Παρουσιάζεται στην εικόνα αυτή σκόνη αλουμίνας από την οποία εξάγουμε το αλουμίνιο.

Εξαγωγή αργιλίου με την μέθοδο Hall-Héroult: Η αλουμίνα εισάγεται σε μεγάλες λεκάνες, που είναι ορύγματα στο έδαφος επενδυμένα με μεταλλικές πλάκες που αντέχουν σε διαβρωτικό περιβάλλον και υψηλές θερμοκρασίες. Στην συνέχεια θερμαίνεται μέχρι τήξεως που είναι 1100° C, όμως επειδή η θερμοκρασία τήξεως είναι πολύ υψηλή, προστίθεται περίπου 40% κρυόλιθος (Na₃AlF₆), για να κατεβάσουμε το σημείο τήξεως περίπου στους 850 - 900° C. Στο τήγμα εκτελείται ηλεκτρόλυση με τα τοιχώματα της λεκάνης να είναι η άνοδο και το ηλεκτρόδιο από τον άνθρακα να είναι η κάθοδος. Στο ηλεκτρόδιο αυτό αποτίθενται φθόριο και οξυγόνο, το οξυγόνο καίοντας τον άνθρακα συμβάλλει στη διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας. Το φθόριο συλλέγεται από ειδικές σωληνώσεις στο κάλυμμα της λεκάνης και χρησιμοποιείται εκ νέου. Το παραγόμενο τηγμένο αργίλιο συλλέγεται από τη λεκάνη και υφίσταται εκ νέου εμπλουτισμό με νέα ηλεκτρόλυση. Φθάνοντας να έχουμε καθαρότητα σχεδόν 99%, 2 τόνοι αλουμίνας δίνουν 1 τόνο αλουμινίου. Στη συνέχεια χύνεται σε ειδικά καλούπια και παίρνει μορφή κυλίνδρου ή χελώνας, με τις οποίες διατίθεται στο εμπόριο.



Εικόνα 24: Παρουσιάζονται διάφορα προφίλ καθαρού αλουμινίου, παράγωγο της

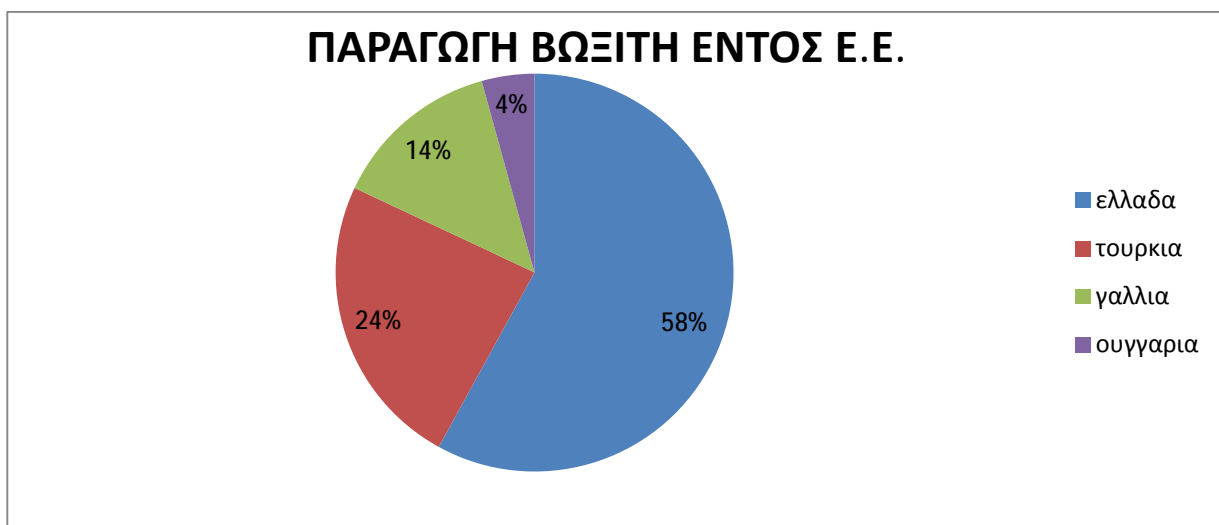
Η κυριότερες χρήσης του βωξίτη είναι:

1. Περίπου το 85% του παραγόμενου βωξίτη χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου.
2. Ως υλικό λείανσης σε υψηλές θερμοκρασίες όταν θερμανθεί ως την τήξη του, παίρνει κρυσταλλική μορφή αποκτώντας υψηλή σκληρότητα, που του δίνει λειαντικές ιδιότητες.
3. Κατασκευή πυρίμαχων υλικών, κατασκευή τσιμέντου ταχείας πήξεως.

Η Ελλάδα μπορεί να είναι η 1^η εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης των 27, με 85% της παραγωγής βωξίτη και 1^η στην Ευρωπαϊκή Ένωση τον 33^ο με 58 % της παραγωγής βωξίτη και 12^η σε όλο τον κόσμο με 1% της παραγωγής βωξίτη, αλλά είναι στην 12^η θέση στη παραγωγή αλουμινίου στην ευρωπαϊκής ένωσης τον 33^ο και 30^η θέση στον κόσμο.



Εικόνα 25: Παρουσιάζεται ένα κομμάτι βωξίτη από όπου λαμβάνεται η αλουμίνα.



Γράφημα 1 : Το γράφημα με την ποσοστιαία παραγωγή βωξίτη εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ο **μαλαχίτης** είναι βασικός ανθρακικός χαλκός, από αυτόν παίρνουμε τον χαλκό, έχει ανοιχτό πράσινο χρώμα και χημικό τύπο $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$. Ο μαλαχίτης μοιάζει με τον ψευδομαλαχίτη ($\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$) πολύ στην μορφή. Τα δυο αυτά ορυκτά μπορούμε να τα ξεχωρίσουμε με αραιό ψυχρό υδροχλωρικό οξύ, αφού ο μαλαχίτης αντιδρά αναβράζοντας, ενώ ο ψευδομαλαχίτης δεν αντιδρά.

Ο μαλαχίτης είναι γνωστός από την αρχαιότητα, ως υλικό διακόσμησης. Λόγω των εναλλαγών των αποχρώσεων και του ζωηρού πράσινου χρώματος του, οι εναλλαγές αυτές είναι πολύ ιδιαίτερες και λόγω αυτών, τον ξεχωρίζουμε εύκολα από άλλα παρόμοιου χρώματος ορυκτά. Τον μαλαχίτη τον χρησιμοποιούμε και στην κοσμηματοποιία, συχνά χρησιμοποιείται με άργυρο και αποκαλείται και ως "ψευδής σμάραγδος". Οι τεχνίτες που έχουν γνώση στην επεξεργασία και διαμόρφωση του, μπορούν όχι να του δώσουν το επιθυμητό σχήμα και να κάνουν της εναλλαγές των ζωνών να ακολουθούν το περίγραμμα του σχήματος. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορούμε να κατασκευάσουμε αντικείμενα όπως σταχτοδοχεία, βάσεις ανθοδοχείων, κοσμηματοθήκες και άλλα αντικείμενα διακόσμησης. Ο μαλαχίτης συναντάτε πάντα στις ζώνες οξείδωσης φλεβών που είναι πλούσιες σε χαλκό ως δευτερεύον ορυκτό του χαλκού.

Έχει χαρακτηριστικά τα εξής :

ΜΑΛΑΧΙΤΗΣ	
Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Πράσινο λαμπερό, πράσινο κυπαρίσσου, μελανοπράσινο, συχνά σε ζώνες
Λάμψη	Αδαμάντινη, υαλώδης. Ενίοτε μεταξώδης (ινώδης μορφή) έως αλαμπής (γεηρός)
Διαφάνεια	Αδιαφανής
Χημική σύσταση	$Cu_2(OH)_2CO_3$
Σύστημα κρυσταλλώσεως	Μονοκλινές
Κρύσταλλοι	Βελονοειδείς ή πρισματικοί, ενίοτε απεστρογγυλεμένοι
Σχισμός	(201) τέλειος αλλά σπάνια ορατός
Γραμμή κόνεως	Ανοικτοπράσινη
Θραύση	Κογχοειδής έως ανώμαλη
Σκληρότητα	3,5 - 4 (κλίμακα Mohs)
Πυκνότητα	4 gr/cm ³ η 4000 kg/ m ³

Πίνακας 9: Στον πίνακα φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του μαλαχίτη που είναι δευτερεύον ορυκτό του χαλκού.

Ο μαλαχίτης βρίσκεται σε πολλά μέρη ανά τον κόσμο, όμως οι πολύτιμες και ημιπολύτιμες παραλλαγές συναντιούνται κυρίως στα Ουράλια όρη, στην Ρωσία που είναι από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα παγκοσμίως, στην περιοχή Τσουμέμπ Ναμίμπια όπου σχημάτιζε τον αποκαλούμενο πράσινο λόφοστο Ζαΐρ, στην Αυστραλία και στην Αριζόνα των ΗΠΑ. Χώρες με μεγάλη παραγωγή μαλαχίτη είναι , η Νότια Αφρική , η Γερμανία, η Ρουμανία, η Χιλή, το Μεξικό. Στην Ελλάδα συναντάτε στα μεταλλεία Λαυρίου.



Εικόνα 26 : Απεικονίζεται ένα εντυπωσιακό κομμάτι μαχαλίτη, όπου λαμβάνεται ο

Στη φύση υπάρχουν διάφορα είδη ορυκτών που σχηματίζονται με διάφορους τρόπους και διακρίνονται σύμφωνα με το τρόπο που σχηματίστηκαν. **Πρωτογενή** ονομάζονται τα ορυκτά που σχηματίστηκαν, α) από την βαθμιαία κρυστάλλωση του μάγματος π.χ. το διαμάντι , β) ο δεύτερος τρόπος είναι ο υδροθερμικός σχηματισμός δηλαδή έχουμε την δράση θερμών διαλυμάτων που επιδρούν σε ένα σώμα πετρώματος. **Δευτερογενή** ονομάζονται τα ορυκτά που σχηματίζονται με την επίδραση των πρωτογενών ορυκτών, με το περιβάλλον τους με σκοπό την οξείδωση τους. Αυτό το οξειδωτικό περιβάλλον μπορεί να είναι το οξυγόνο ή αέρια του αέρα, η υγρασία, τα υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα, η θερμότητα του περιβάλλοντος

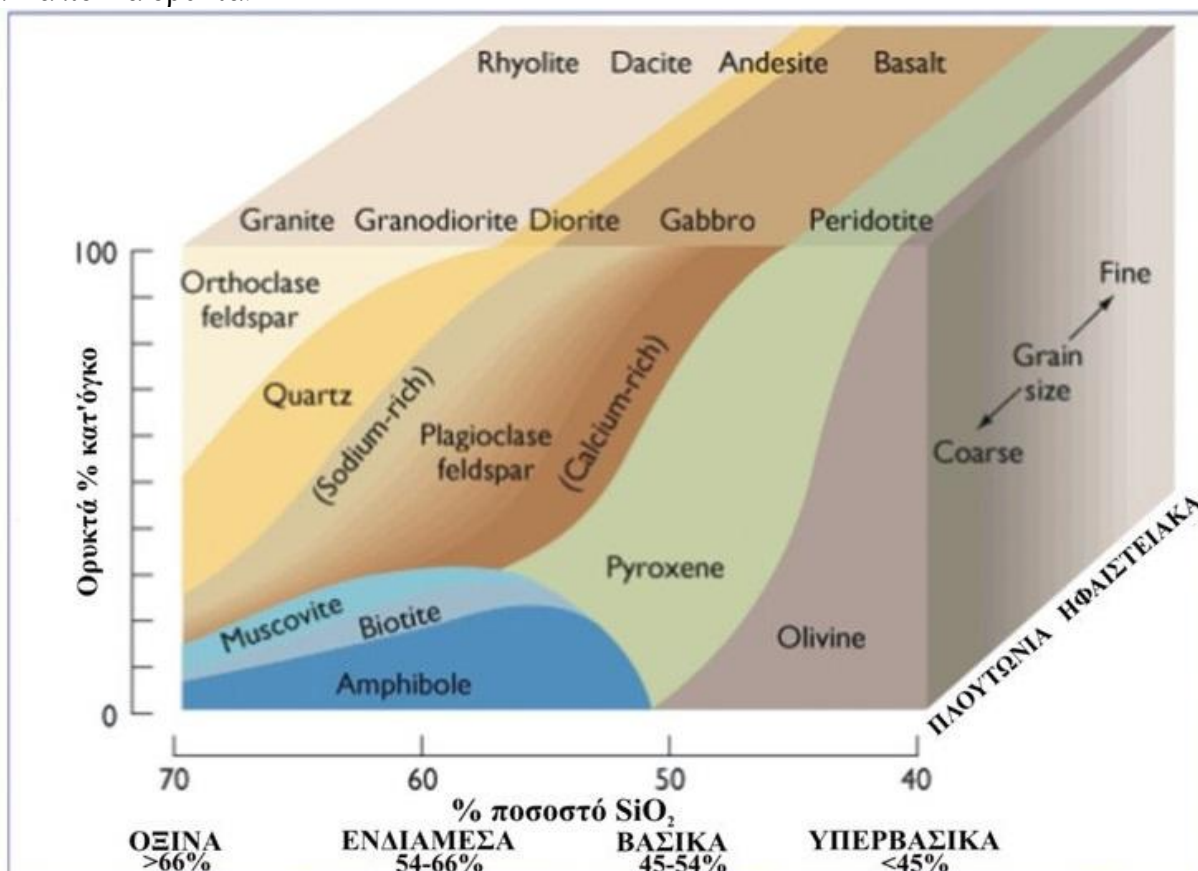


Εικόνα 27 : Στην εικόνα παρουσιάζεται ένα διαμάντι, χαρακτηριστικό πρωτογενές ορυκτό.



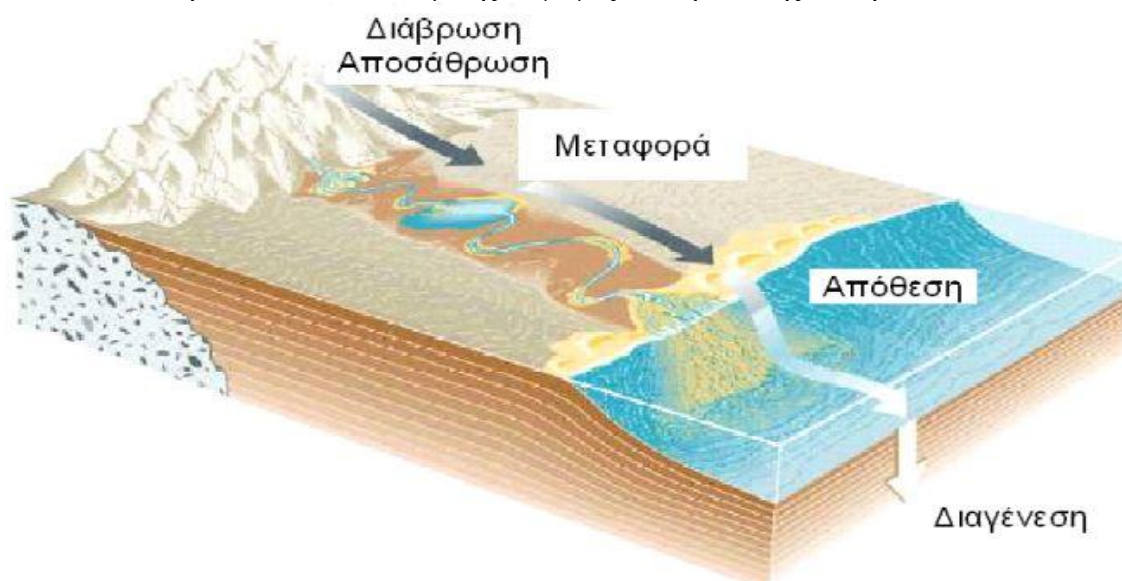
Εικόνα 28 : Ένα κομμάτι αιματίτη χαρακτηριστικό δευτερογενές ορυκτό.

Τα ορυκτά τα οποία σχηματίζονται από το μάγμα που εκφυλίζεται απ'τα ηφαίστεια ονομάζονται **Μαγματογενή ορυκτά** και όταν το μάγμα ψυχτεί και πιεστεί σε μεγάλη πίεση τότε αλλάζει. Κάποια από τα συστατικά του, διαχωρίζονται και έτσι σχηματίζονται τα ορυκτά. Τα ορυκτά αυτά είναι ο πυρόξενος, ο χαλαζίας, οι άστριοι, ο απατίτης, ο βιοτίτης, και άλλα πολλά ορυκτά.



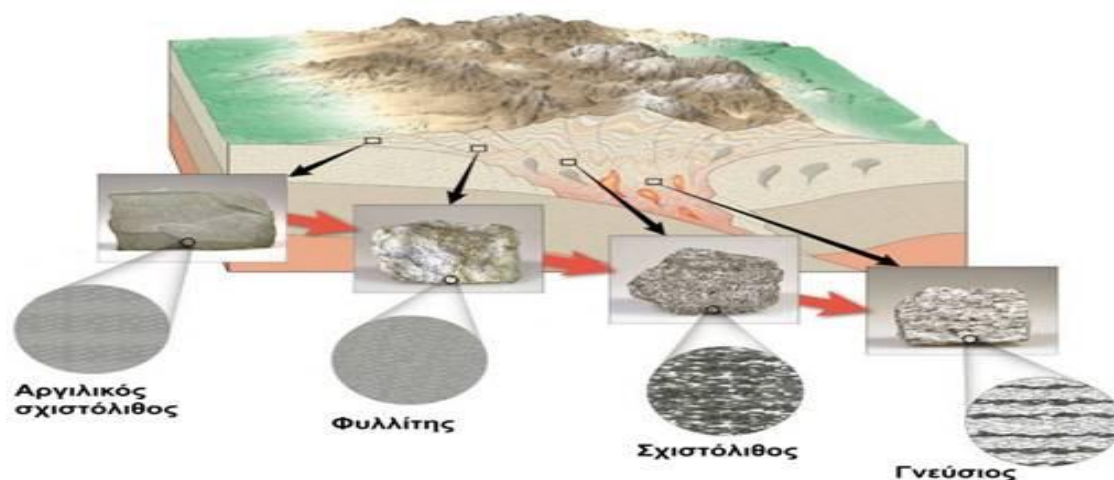
Εικόνα 29 : Γράφημα ταξινόμησης μαγματικών πετρωμάτων. Πηγή: <http://www.geo.auth.gr>

Τα ορυκτά τα οποία σχηματίζονται από διάφορες χημικές ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό ποταμών, λιμνών, θαλασσών. Οι ουσίες αυτές κατακάθονται στον πυθμένα, αποσυνθέτονται βαθμιαία και σχηματίζουν ορυκτά που ονομάζονται **Ιζηματογενή ορυκτά**. Τέτοια ορυκτά είναι ο δολομίτης, ο γύψος, ο ασβεστίτης, το ορυκτό αλάτι κ.λ.π.

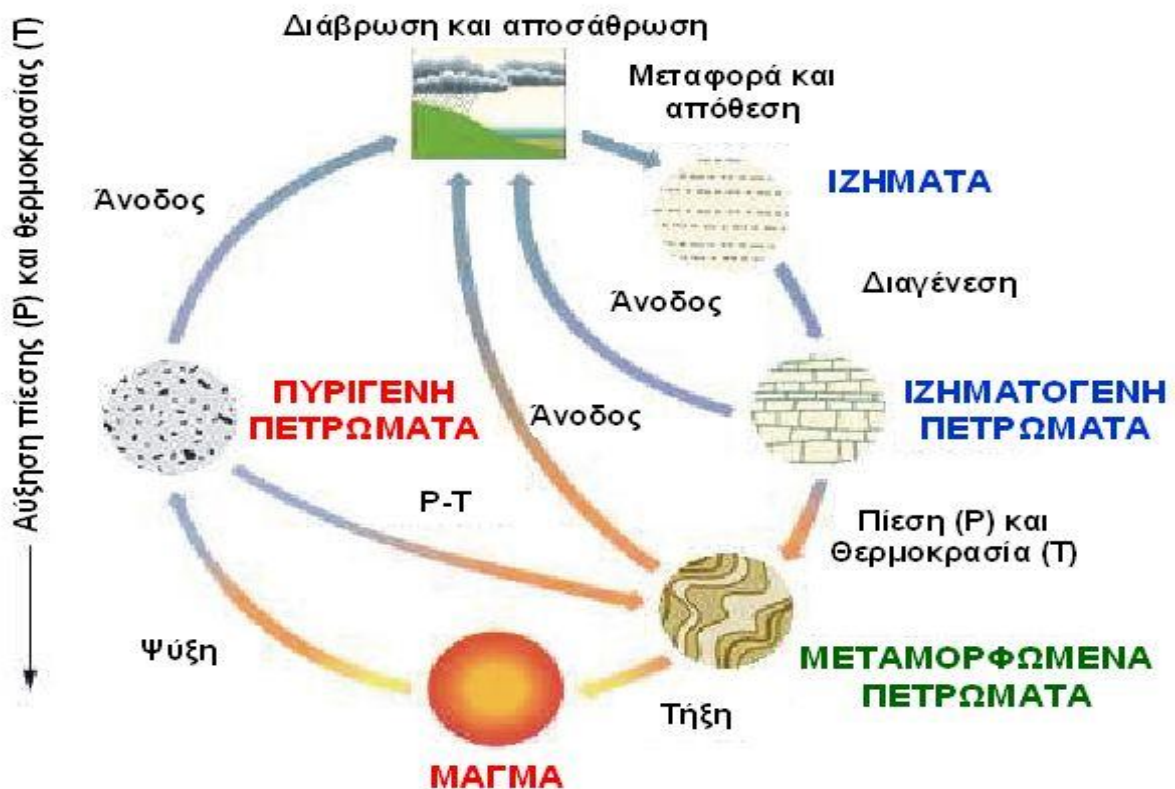


Εικόνα 30: Απεικόνιση του σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα.

Μεταμορφωσιγενή ορυκτά ονομάζονται τα ορυκτά τα οποία σχηματίζονται σε πολύ μεγάλο βάθος, στο τμήμα του στερεού φλοιού της γης. Προέρχονται από ουσίες που υπήρχαν ήδη εκεί, αλλά μεταμορφώθηκαν ή αλλιώς αλλοιώθηκαν από την επίδραση της μεγάλης θερμοκρασίας και της μεγάλης πίεσης των στρωμάτων που υπάρχουν πάνω από αυτά. Εκτός από μερικά ορυκτά που δεν επηρεάζονται από αυτές τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτά τα βάθη, όπως ο χρυσός, η πλατίνα, το διαμάντι, τα περισσότερα με τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και το νερό μετασχηματίζονται από το αρχικό ορυκτό και αλλοιώνονται. Πολλές φορές το μάγμα περνά από διάφορα πετρώματα που περιέχουν ορυκτά και τα μεταμορφώνει, συμβαίνει πιο σπάνια. Κατά συνέπεια είναι φανερό ότι τα ορυκτά παράγονται με μη φυσικούς τρόπους από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος και δεν είναι ουσίες που προϋπάρχουν στο στέρεο φλοιό της γης.



Εικόνα 31: Τα μεταμορφωσιγενή που προήλθαν από μεταμορφώσεις άλλων εξαιτίας της θερμοκρασίας.



Εικόνα 32: Ο κύκλο ζωής των πετρωμάτων.

Μεταλλουργία αποτελείται από ένα σύνολο μεθόδων και διεργασιών, που ακολουθούνται για την εξαγωγή, παρασκευή, διαμόρφωση και κατεργασία των μετάλλων και των κραμάτων τους.

Ο κλάδος της μεταλλουργίας έχει τις εξής κατηγορίες: την **εξαγωγική μεταλλουργία** και την **μεταλλογνωσία** ή **φυσική μεταλλουργία**. Ως πιο εξειδικευμένες κατηγορίες της μεταλλουργίας θεωρούνται τα ακόλουθα επιστημονικά πεδία: **Πυρομεταλλουργία**, **Υδρομεταλλουργία**, **Ηλεκτρομεταλλουργία**, **Μεταλλογνωσία**, **Μεταλλογραφία**, **Χύτευση** και **Μεταλλοτεχνία**, **Συγκολλήσεις**, **Επιμεταλλώσεις** και τέλος **Κονιομεταλλουργία**.

Πυρομεταλλουργία: Είναι ένα από τα επιστημονικά πεδία που ασχολείται η εξαγωγική μεταλλουργία. Την παραγωγή μετάλλων, κραμάτων και καθαρών χημικών ενώσεων με την χρήση υψηλών θερμοκρασιών (π.χ. υψικάμιнос για την παραγωγή χυτοσιδήρου, κ.ά.) από ορυκτά ή άλλες πρώτες ύλες. Το παραγόμενο μέταλλο ή κράμα ή χημική ένωση έχει συνήθως την μορφή τήγματος. Όλα τα σιδηρούχα μέταλλα καθώς και μη σιδηρούχων μετάλλων όπως χυτοσίδηρος, χάλυβας, σιδηροκράματα, ανοξείδωτος χάλυβας, χαλκός, μόλυβδος, κασσίτερος παράγονται με πυρομεταλλουργικές τεχνικές.

Υδρομεταλλουργία: Ένα ακόμα επιστημονικό πεδίο που ασχολείται η εξαγωγική μεταλλουργία, η παραγωγή μετάλλων, κραμάτων και καθαρών χημικών ενώσεων από τα ορυκτά ή άλλες πρώτες ύλες, με την χρήση υδατικών διαλυμάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το μέταλλο, κράμα, χημική ένωση ανακτάται με δύο τρόπους. 1^{ος} τρόπος με ηλεκτρόλυση

και ο 2^{ος} τρόπος με κατακρήμνιση μέσα στο διαλύμα. Υδρομεταλλουργικές διεργασίες χρησιμοποιούνται μόνο για την εξαγωγή μη σιδηρούχων μετάλλων, όπως χαλκός, νικέλιο, κοβάλτιο, μόλυβδος, χρυσός, άργυρος με συνδυασμό σε πυρομεταλλουργικές διεργασίες για την εξαγωγή του αλουμινίου ή του ψευδαργύρου σε κάποιες περιπτώσεις.

Ηλεκτρομεταλλουργία: Η ανάκτηση καθαρών μετάλλων, κραμάτων με ηλεκτρόλυση υδατικών διαλυμάτων. Όπως χαλκός, ψευδάργυρος, χρυσός, ορείχαλκος ή τηγμάτων αλάτων ή οξειδίων, αλουμίνιο και μαγνήσιο.

Μεταλλογνωσία : Το επιστημονικό πεδίο που ασχολείται με την μελέτη και την τροποποίηση των ιδιοτήτων των μετάλλων και των κραμάτων, με διάφορες μεθόδους μικροσκοπίας και μηχανικών δοκιμών.

Μεταλλογραφία: Είναι ένας τομής της μεταλλογνωσίας, η επιστήμη της ετοιμασίας μετάλλων και κραμάτων για παρατήρηση με οπτικό ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Χύτευση και Μεταλλοτεχνία: Είναι η αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων των μετάλλων και των κραμάτων με τήξη , θερμική κατεργασία , μηχανικούς τρόπους ή με συνδυασμό μηχανικής και θερμικής κατεργασίας.

Συγκολλήσεις: Η ανάπτυξη μεθόδων για την συγκόλληση μεταλλικών αντικειμένων με τήξη του κύριου μεταλλικού αντικείμενου. Για παράδειγμα οξυγονοσυγκόλληση ή χωρίς τήξη του μεταλλικού αντικείμενου όπως κασσιτεροκόλληση.

Επιμεταλώσεις: Η επικάλυψη ορισμένων μετάλλων με στρώμα κάποιου άλλου μετάλλου για την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων, προστασία από την διάβρωση ή για λόγους αισθητικούς όπως επιχρύσωση κοσμημάτων.

Κονιομεταλλουργία: Η παραγωγή μεταλλικών αντικειμένων με ακρίβεια, με την πυροσυσσωμάτωση μεταλλικής σκόνη υπό πίεση σε στερεά ή σχεδόν στερεά κατάσταση.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΚΑΜΙΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

2.1 ΚΑΜΙΝΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα καμίνια μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε ανάλογα το μέταλλο που έχουμε να επεξεργαστούμε. Διότι ανάλογα το μέταλλο και η εφαρμογή του μετάλλου στην συνέχεια, πρέπει το καμίνι να τηρεί κάποιες προδιαγραφές, που εξασφαλίζουν την καλή λειτουργία του. Να εξασφαλίζει την μέγιστη ασφάλεια προς τον χρήστη. Επίσης οι προδιαγραφές αυτές να μπορούν να αλλάζουν ανάλογα τον τύπο της εφαρμογής που πρόκειται να καταπονεθεί. Έτσι ώστε να είναι λειτουργικά και να αντέχουν με ασφάλεια ως προς το κομμάτι. Ο έλεγχος του καμινιού και γενικά οι λειτουργίες ασφαλείας, στην αγορά διαφοροποιούνται και από το υλικό που είναι φτιαγμένο. Ακόμα από τις θερμοκρασίες που μπορούν να καταφέρουν να πιάσουν, από τον τρόπο που είναι κατασκευασμένο το καμίνι και τέλος τον τρόπο εισαγωγής των τεμαχίων στο καμίνι.

Οι κάμινοι για επεξεργασία πολύτιμων μετάλλων, λόγω ότι έχουν πολύ μεγάλη αξία πρέπει να πληρούν κάποιες από τις απαιτήσεις που καθορίζονται από τη σύμβαση για τον έλεγχο και τη σήμανση αντικειμένων από πολύτιμα μέταλλα γνωστή και ως 'Σύμβαση για τα πολύτιμα μέταλλα' αλλιώς 'Σύμβαση για τη σήμανση' ή 'Σύμβαση της Βιέννης'.

Στη μέθοδο δοκιμής, δηλαδή σε λειτουργία παρατηρείται ότι από τα πολύτιμα μέταλλα παράγονται επικίνδυνα ατμοί. Γι' αυτό τον λόγο πρέπει να χρησιμοποιούνται μέσα σε ένα κατάλληλο σύστημα διαχείρισης καυσαερίων από το καμίνι. Έτσι πρέπει οι κάμινοι να είναι σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να διαχειρίζονται τους ατμούς, χωρίς να εκθέτουν τον χειριστή και αυτούς που είναι κοντά του σε αυτούς τους κινδύνους. Οι κάμινοι πολύτιμων μετάλλων είναι σχεδιασμένη σε κυπελλοειδή μορφή για να εξασφαλίζεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προστασία από το διαβρωτικό περιβάλλον, το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβη σε συμβατικό καμίνι.

Κάποια τυποποιημένα χαρακτηριστικά που έχουν τα καμίνια πολύτιμων μετάλλων είναι: η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται γύρω στους 1200 °C και σχεδιάζονται για δοκιμή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της κάλυψης σύμφωνα με το πρότυπο ISO11426: 1999. Συνήθως χρησιμοποιείται η τυποποιημένη μέθοδος δοκιμής που πραγματοποιείται από πιστοποιημένα εργαστήρια δοκιμών, επίσης χρησιμοποιείται η μέθοδος ποσοτικής ανάλυσης από τη ροή του αέρα που ελέγχεται από μια ρυθμιζόμενη βαλβίδα και προθερμαίνεται προτού εισέλθει στο θάλαμο εργασίας.

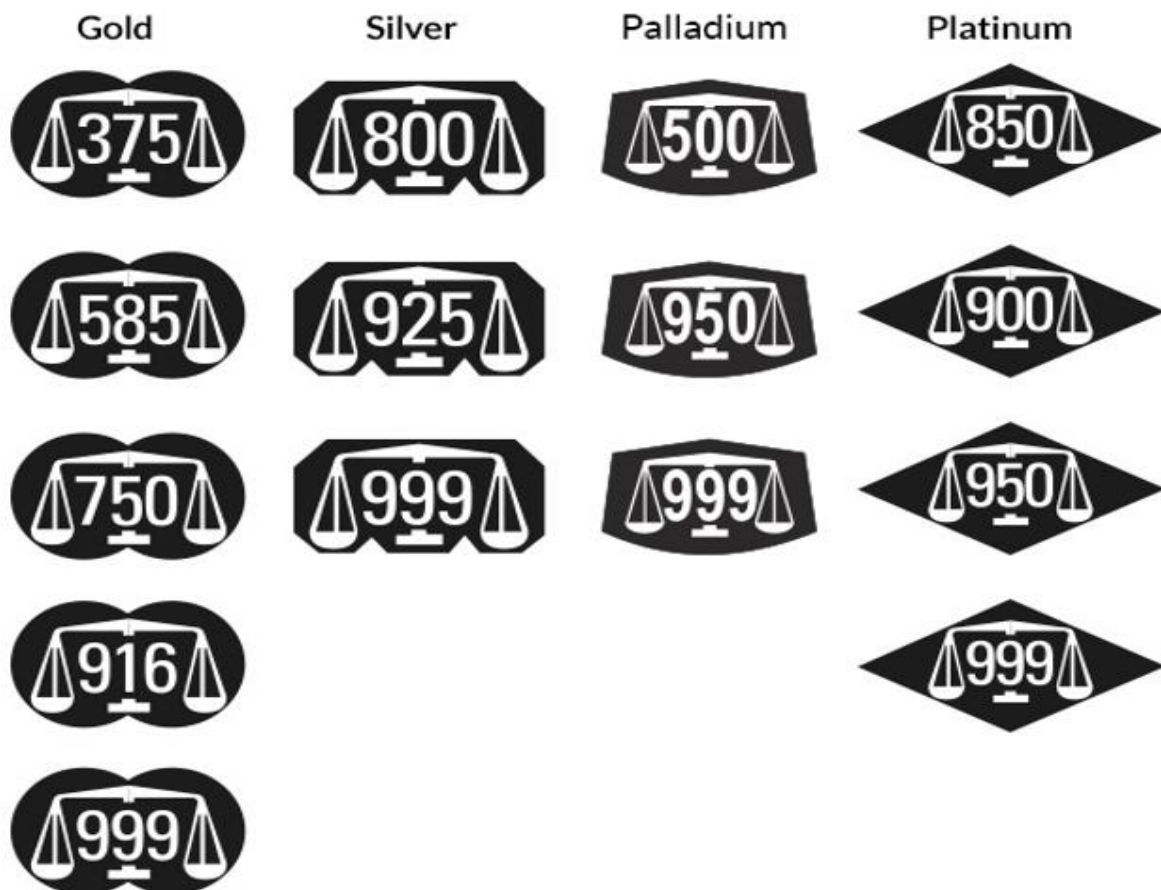
Τα στοιχεία που θερμαίνουν το κυπελλοειδή καμίνι με σκοπό την επεξεργασία πολύτιμων μετάλλων, είναι φτιαγμένα από καρβίδιο του πυριτίου, που μπορεί να είναι τοποθετημένα πάνω και κάτω από τον κυπελλοειδή θάλαμο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζουν ομοιόμορφη θέρμανση των κυπέλλων, έχουν καλή αντοχή σε θερμικό σοκ και προσφέρουν εκτεταμένη διάρκεια ζωής σε υψηλές θερμοκρασίες. Λόγω του διαβρωτικού περιβάλλοντος του, η οροφή και η εστία με επένδυση από καρβίδιο του πυριτίου προστατεύουν τα στοιχεία θέρμανσης και αντιστέκονται στους διαβρωτικούς καπνούς που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κυματισμού. Οι αναθυμιάσεις εξαγονται μέσω μονωμένου αγωγού εξαγωγής. Μπορεί να υπέρχει δοχείο για τη συλλογή συμπυκνωμένου μολύβδου, συνήθως

τοποθετείται με οπή για παρατηρήσεις του υλικού και στοιχείο ελεγκτή για προστασίας από υπέρμετρη θερμοκρασία.

2.1.1. Σύμβαση της Βιέννης

Διεθνής Σύμβαση για τον έλεγχο και την σήμανση αντικειμένων από πολύτιμα μέταλλα, που υπογράφηκε στην Βιέννη το 1972. Σκοπό έχει την ελεύθερη διακίνηση των αντικειμένων αυτών ανάμεσα στις χώρες μέλη χωρίς περαιτέρω έλεγχο, νοουμένου ότι φέρουν την κοινή σφραγίδα ελέγχου (common control mark - CCM). Η Κύπρος έγινε μέλος της Σύμβασης της Βιέννης το 2007 και εκπροσωπείται σε αυτήν με τον Κυπριακό Οργανισμό Σήμανσης. Σήμερα τα μέλη κράτη της Σύμβασης ανέρχονται συνολικά σε 19. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά με κυριότερο την διακίνηση χωρίς περαιτέρω ελέγχους και σήμανση στα αντικείμενα αλλά και την δημιουργία μιας ομοιόμορφης τακτικής και διαχείρισης των προϊόντων αυτών ανάμεσα σε πολλά κράτη. Η σφραγίδα της Σύμβασης αποτελείται από 4 μέρη:

- Κοινή Σφραγίδα Σύμβασης (CCM),



Εικόνα 33: Οι επίσημες Κοινές Σφραγίδες Σύμβασης (CCM) που ορίστηκαν από την σήμανση αντικειμένων για τα πολύτιμα μέταλλα, στην Βιέννη το 1972.

- Σφραγίδα Κατασκευαστή,



Εικόνα 34: Παρουσιάζεται στην εικόνα η Σφραγίδα Κατασκευαστή σε μια πλάκα χρυσού, όπως ορίζει η σήμανση αντικειμένων για τα πολύτιμα μέταλλα της Βιέννης το 1972, για τις 18 χώρες που την έχουν υπογράψει.

• Σφραγίδα Κράτους



Εικόνα 35: Οι Σφραγίδες των Κρατών, των χωρών που υπέγραψαν. Όπως ορίστηκαν από την Σύμβαση της Βιέννης 1972.

Οι χώρες μέλη της Σύμβασης είναι: Αυστρία, Δανία, Ελβετία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ιρλανδία, Ισραήλ, Κύπρος, Λετονία, Λιθουανία, Ουγγαρία, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία, Τσεχία και Φινλανδία.

• Βαθμός ποιότητας,

Silver	Palladium	Gold	Platinum
800	500	375 9ct	850
925 Sterling	950	585 14ct	900
958 Britannia	999	750 18ct	950
999		916 22ct	999
		990	
		999	

Εικόνα 36: Οι Σφραγίδες Βαθμών ποιότητας όπως ορίζει η σήμανση αντικειμένων από πολύτιμα μέταλλα της Βιέννη το 1972.

2.1.2 Φούρνος smelting

Ένα άλλο είδος καμινιού για πολύτιμα μέταλλα και πιο ευρείας κλίμακα. Είναι κάμινος για την τήξη και ονομάζεται φούρνος smelting, με μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 1400 °C. Αυτή η κατηγορία καμινιών είναι ειδικά σχεδιασμένη για την τήξη πολύτιμων μετάλλων.

Κάθε φούρνος τήξης κατασκευάζεται για μεγάλη αντοχή, χαλύβδινο τμήμα βαρέων διαστάσεων και φύλλα χάλυβα με επικάλυψη ψευδαργύρου. Τα θερμαντικά στοιχεία καρβιδίου και πυριτίου περιβάλλουν τις πλευρές του θαλάμου και προστατεύονται από κεραμίδια καρβιδίου του πυριτίου. Η εστία ενός αρκετά καλού καμινιού είναι κατασκευασμένη από πυρίμαχα τούβλα και κεραμίδια καρβιδίου του πυριτίου. Τα καμίνια μπορούν να κατασκευαστούν με έναν ενιαίο θάλαμο η μπορεί να έχουν καμίνες με ξεχωριστά καπάκια. Τα τυποποιημένα χαρακτηριστικά του φούρνου smelting: Πρέπει να είναι ειδικά σχεδιασμένο για την τήξη πολύτιμων μετάλλων, τα καπάκια ανοίγουν με το ζεστό πρόσωπο μακριά από το χρήστη, κάθε καπάκι πρέπει να εξαερίζεται με καμινάδα διαμέτρου περίπου 30 έως 60 mm, τα στοιχεία θέρμανσης είναι συνήθως κατασκευασμένα με καρβίδιο του πυριτίου που προστατεύονται από κεραμίδια του ίδιου υλικού.



(α)



(β)

Εικόνα 37: Καμίνια για τήξη και επεξεργασία πολύτιμων μετάλλων. **α)** Κάμινος για πολύτιμα μέταλλα, **β)** Φούρνος SMELTING.

2.2 ΦΟΥΡΝΟΙ ΑΝΘΡΑΚΑ - BRIDGMAN

Αυτή η συσκευή χρησιμοποιεί τεχνικές καύσης με υποβοήθηση καταλύτη, για να δώσει μια καθαρή και ακριβή προσέγγιση για την εξαγωγή του τριτίου, άνθρακα-14 και του σταθερού τριτίου, π.χ. τριτίου που περιέχεται σε σκυροδέματα, χάλυβες και γραφίτες, καθώς και ελεύθερο στο νερό.

Ένας καταλύτης χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει την πλήρη καύση όλων των προϊόντων θερμικής αποσύνθεσης. Αυτά συλλαμβάνονται για τη δοκιμασία υγρού σπινθηρισμού. Αυτή η τεχνική δίνει μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην πλήρη καύση από τις τεχνικές "υγρής οξείδωσης" και αποφεύγει την έγχρωμη μόλυνση των μέσων σπινθηρισμού.

Καμίνια που εκτελούν τέτοιου είδους εργασίες μπορούν να ελέγχονται από το χειριστή μέσω του υπολογιστή που επιτρέπει την απομακρυσμένη λειτουργία πολλαπλών ή μεμονωμένων μονάδων.

Τυποποιημένα χαρακτηριστικά των καμινιών άνθρακα-14 και του σταθερού τριτίου. Φούρνοι σε μορφή σωλήνα 2 ζωνών, διαμορφωμένοι για τη σύλληψη με καύση οργανικά δεσμευμένου άνθρακα-14 και τριτίου. Μπορούν να έχουν χωρητικότητα δειγμάτων από 5 ως 25 ml και όσο μεγαλύτερη χωρητικότητα έχουμε, τόσο πιο ακριβείς προσδιορισμούς παίρνουμε. Έχουν συγκροτήματα σωλήνων από γυαλί χαλαζία από 3 έως 9 λέμβους καύσης, φυσαλίδες γυάλινων αερίων, παγίδα αερολυμάτων από μοριακό κόσκινο και έξι καταλύτες από σύρμα χαλκού ανάλογα το μέγεθος τους. Μερικά παρέχουν πρωτόκολλα καύσης ειδικά για δείγματα. Προστασία από υπερθέρμανση και στις δύο θερμαινόμενες ζώνες. Επικοινωνίες και έλεγχος μέσω ειδικού λογισμικού και χωρίς πλαστικά ή καουτσούκ στους θαλάμους, στα οποία μπορεί να μεταναστεύσει το τρίτιο.



Εικόνα 38: Απεικόνιση ενός φούρνου άνθρακα - 14 και του σταθερού τριτίου.

2.2.1 Φούρνος ανάπτυξης κρυστάλλων με τη μέθοδο Bridgman.

Φούρνος ανάπτυξης κρυστάλλων με την μέθοδο Bridgman είναι, ένας ειδικός φούρνος με κρυστάλλους σύμφωνα με τη μέθοδο Bridgman. Η μέθοδος Bridgman χρησιμοποιεί ένα προσυνηθισμένο υλικό, το οποίο κινείται αργά μέσα από μια μεταβαλλόμενη θερμοκρασία.

Το λιωμένο υλικό κινείται διαμέσου μιας μεταβαλλόμενης μείωσης της θερμοκρασίας και σχηματίζει ένα μόνο κρύσταλλο. Ο φούρνος ανάπτυξης κρυστάλλων με την μέθοδο

Bridgman είναι ένας φούρνος σωλήνα ο οποίος είναι τοποθετημένος σε μια συσκευή που έχει κατασκευαστεί ειδικά για τη μέθοδο Bridgman. Με σωλήνες τοποθετημένους στη συσκευή έλξης, όπως κάθε φούρνος σωλήνα μπορεί να τοποθετηθεί σε μια συσκευή έλξης.

Το μικρό θερμό μήκος του σωλήνα-θαλάμου του φούρνου είναι ένα πλεονέκτημα, καθώς δημιουργεί μια ιδανική κλίση για τη μέθοδο Bridgman. Η θερμοκρασία μειώνεται προς το κάτω μέρος του κλιβάνου. Η συσκευή έλξης μετακινεί το δείγμα με ρυθμιζόμενη ταχύτητα προς τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Δίπλα στο δείγμα υπάρχει θερμοζεύγος για ακριβή ανάγνωση της θερμοκρασίας του δείγματος. Τόσο το θερμοστοιχείο δείγματος όσο και ο αισθητήρας συνδέονται με τη συσκευή έλξης του πυθμένα. Η κίνηση του δείγματος μπορεί να είναι γρήγορη για φόρτωση και εκφόρτωση ή με ταχύτητα καθοριζόμενη από τον χρήστη για την ανάπτυξη κρυστάλλων.

Ένας κεραμικός σωλήνας περιβάλλει το θερμοστοιχείο του ανιχνευτή και το δείγμα. Στα δύο άκρα του σωλήνα συνδέεται μια φλάντζα με ψύξη με νερό. Στο επάνω μέρος του συστήματος, ο σωλήνας και η φλάντζα είναι σταθεροί. Κάτω από τον σωλήνα συνδέεται ο σωλήνας και η συσκευή έλξης στο κάτω μέρος του κλιβάνου. Ο κορμός επεκτείνεται κατά τη διάρκεια, της προς τα κάτω μετακίνησης του δείγματος. Η λειτουργία της μονάδας μπορεί να επιτευχθεί υπό συνθήκες κενού.

Στην κορυφή, ο σωλήνας συνδέεται με την αντλία κενού. Η βαλβίδα προς τη γραμμή κενού ανοίγει και κλείνει με το χέρι. Η στάθμη κενού ελέγχεται από έναν μετρητή πίεσης. Ένας χειροκίνητος rotameter επιτρέπει τον καθαρισμό του αδρανούς αερίου. Για να μειωθεί η τιμή του οξυγόνου, πριν από την διεργασία κρυσταλλικής ανάπτυξης, εκτελείται επανειλημμένα η εκκένωση και η επαναπρόσληψη με αδρανές αέριο.

Αυτοί οι φούρνοι είναι δυνατόν να συνδεθούν με έναν υπολογιστή για να καταγράψει το σύστημα όλα τα σχετικά δεδομένα της διαδικασίας, σε σχέση με τη θέση του δείγματος και τη θερμοκρασία του θερμοστοιχείου ανιχνευτή. Για να φορτώσετε και να ξεφορτώσετε το δείγμα, θα πρέπει να υπάρχουν ασφαλιστικά και να ανοίγουν μόνο για αυτές τις διαδικασίες. Με αυτή την γρήγορη κίνηση, το δείγμα είναι εύκολα προσβάσιμο.

Η συσκευή έλξης που επιτρέπει την ανάπτυξη κρυστάλλου τύπου Bridgman μπορεί να συνδυαστεί με όλους τους φούρνους σωλήνων μονής και πολλαπλής ζώνης.

Τυποποιημένα χαρακτηριστικά: Φούρνος ανάπτυξης κρυστάλλων με την μέθοδο Bridgman, σε κενό μέχρι τους 1450 °C, σε αδρανή ατμόσφαιρα μέχρι τους 1800 °C με καθορισμένη και ελεγχόμενη ταχύτητα έλξης και λειτουργία επιλογή εγγραφής δεδομένων. Για τη συσκευή έλξης, εφαρμόζονται δύο κινητήρες με διαφορετικούς λόγους μετάδοσης. Για παράδειγμα, η ταχεία κίνηση των δειγμάτων είναι δυνατή με ταχύτητα περίπου 10 mm/s, ενώ η διαδικασία κρυσταλλικής ανάπτυξης Bridgman, η ταχύτητα έλξης είναι μόνο 0.00001 mm/s (10 nm/s).

Όλοι οι σωλήνες σύνδεσης της κατώτερης υδρόψυκτης φλάντζας, εισάγονται σε αλυσίδα έλξης. Το θερμοστοιχείο ελέγχου είναι συνήθως θερμοστοιχείο τύπου B. Συχνά ένα θερμοστοιχείο υπερθέρμανσης είναι προαιρετικό και συνιστάται ιδιαίτερα καθώς η μη επιτηρούμενη λειτουργία πιθανόν, οφείλεται στη μεγάλη χρονική περίοδο που απαιτείται για τη διαδικασία κρυσταλλικής ανάπτυξης. Αν χρειάζονται θερμοκρασίες άνω των 1800 °C για τις διαδικασίες κρυστάλλων Bridgman τότε χρειαζόμαστε ένα αρκετά βελτιωμένο σχεδιασμό.

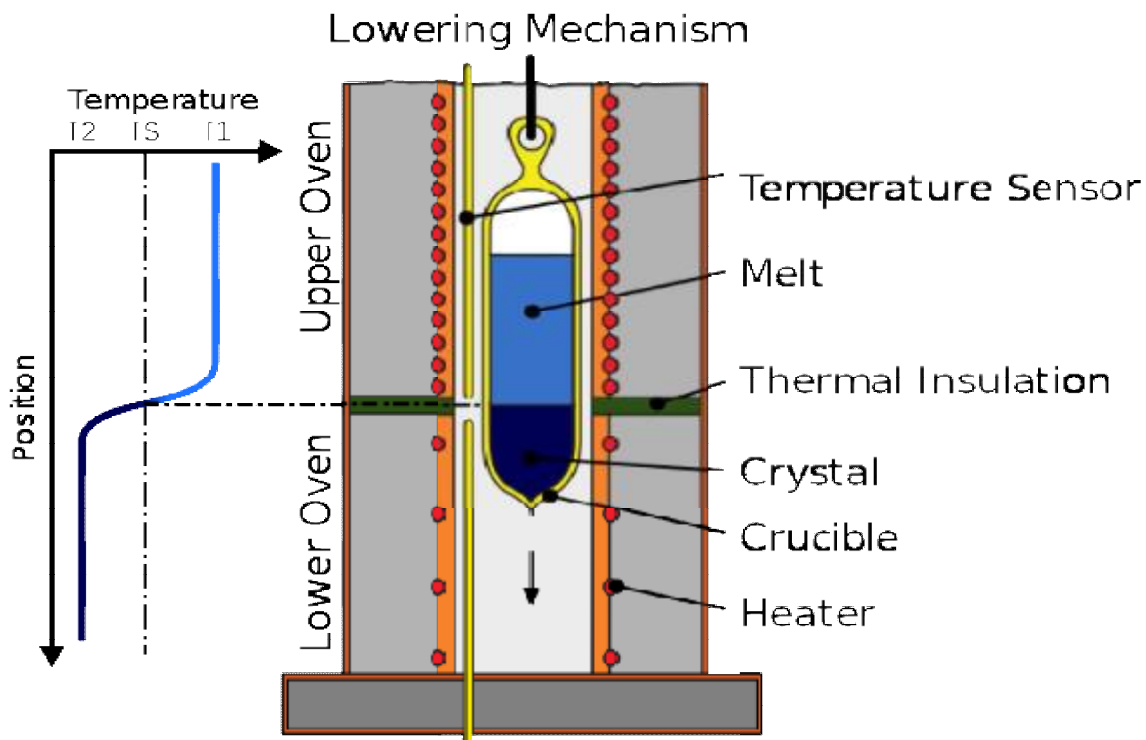
2.2.2 Παραγωγή πολυκρυσταλλικού ηλιακού πυριτίου με Μέθοδο Bridgman

Για την παραγωγή πολυκρυσταλλικού ηλιακού πυριτίου, η μέθοδος Bridgman λιώνει πολυπυρίτιο σε φούρνο υψηλής πίεσης. Ένα χωνευτήριο που περιέχει το καλούπι πυριτίου μετακινείται από το θερμό σε κρύο για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη κρυστάλλων.

Ο Αμερικανός φυσικός Percy Williams Bridgman έχει ένα μεγάλο μερίδιο στην ανάπτυξη των σημερινών κλιβάνων υψηλής πίεσης και συνέβαλε στην κρυσταλλογραφία, όπου επινόησε μια μέθοδο ανάπτυξης μονών κρυστάλλων. Το 1946 έλαβε την ευγενή τιμή για την εφεύρεση μιας συσκευής που παράγει εξαιρετικά υψηλές πιέσεις και για τις ανακαλύψεις του στο πεδίο της φυσικής υψηλής πίεσης.

Ο κλιβανός Bridgman λειτουργεί με τρεις ζώνες θερμοκρασίας. Η ανώτερη ζώνη με θερμοκρασίες πάνω από το σημείο τήξης του πυριτίου. Η κατώτερη ζώνη με θερμοκρασία κάτω από το σημείο τήξης και μια αδιαβατική ζώνη ως διαχωριστικό μεταξύ των δύο. Η αμπούλα που περιέχει το πυρίτιο ανυψώνεται στην ανώτερη ζώνη, μέχρις ότου μόνο το κατώτερο τμήμα του μονοκρυσταλλικού σπόρου να παραμείνει αδρανές στην κατώτερη ζώνη. Αφού σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία, η αμπούλα χαμηλώνει αργά προς την κατώτερη ζώνη για να ξεκινήσει η ανάπτυξη κρυστάλλων από τους σπόρους. Λόγω της κατευθυνόμενης και ελεγχόμενης διαδικασίας ψύξης του χυτού, δημιουργούνται ζώνες ευθυγραμμισμένων κρυσταλλικών πλεγμάτων.

Παρατήρηση : Μόνο το 60% του πολυκρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να μεταποιηθεί σε πλακίδια για φωτοβολταϊκά. Τα υπόλοιπα χάνουν στη διαδικασία πριονίσματος και κοπής.



Εικόνα 39: Η λειτουργία και τα σημαντικότερα μέρη του φούρνου με την μέθοδο Bridgman, που είναι ένας δημοφιλής τρόπος παραγωγής ορισμένων ημιαγωγών.



Εικόνα 40: Στην εικόνα παρουσιάζεται φούρνος που χρησιμοποιεί την διαδικασία κρυσταλλικής ανάπτυξης Bridgman.

2.3 ΦΟΥΡΝΟΙ ΜΕ ΚΟΥΚΟΥΛΑ

2.3.1 Ο φούρνος συγκόλλησης σωλήνων V-L

Ο φούρνος συγκόλλησης σωλήνων V-L είναι κατάλληλος για τη δημιουργία των χαμηλότερων δυνατών πιέσεων λειτουργίας. Λόγω αυτής της δυνατότητας κενού, μπορεί να επιτευχθεί η ατμόσφαιρα αερίου με την υψηλότερη καθαρότητα.

Ο φούρνος συγκόλλησης σωλήνων V-L, είναι ένας κατακόρυφος φούρνος με αυτοματοποιημένους ελέγχους για τη φόρτωση και εκφόρτωση του δείγματος. Επιπλέον ανυψώνοντας και χαμηλώνοντας την εστία του κλιβάνου πάνω από τον ενσωματωμένο σωλήνα χαλαζία που περιέχει το δείγμα. Ο σωλήνας χαλαζία συνδέεται με τον κλιβάνο, έτσι κατά τη φόρτωση του κλιβάνου συγκόλλησης, ο σωλήνας χαλαζία και η εστία κλιβάνου ανεβαίνουν προς τα πάνω για ελεύθερη πρόσβαση στην περιοχή του δείγματος. Μετά το φόρτωμα του δείγματος, ο σωλήνας χαλαζία και η εστία κλιβάνου χαμηλώνονται και ασφαλίζονται στη θέση τους για τη διαδικασία θερμικής επεξεργασίας, όπου επιτυγχάνεται λειτουργία υψηλού κενού. Η εστία κλιβάνου μπορεί επίσης να ανυψωθεί προς τα επάνω και μακριά από τον σωλήνα χαλαζία μετά τη διαδικασία θέρμανσης για γρήγορη ψύξη του δείγματος σε κενό, αέρα ή σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου.

Ο φούρνος συγκόλλησης χρησιμοποιεί στοιχεία σύρματος CrFeAl με διάμετρο από 0,07 έως 9 και μόνωση κεραμικών ινών. Η θερμοκρασία παρακολουθείται και ελέγχεται μέσω θερμοστοιχείων. Η μέγιστη θερμοκρασία περιορίζεται από το σωλήνα χαλαζία και μπορεί να φθάσει τους 1050 °C υπό λειτουργία κενού. Ο σωλήνας χαλαζία είναι κλειστός στο επάνω τμήμα με το τμήμα του κάτω μέρους ανοιχτό όπου τα δείγματα φορτώνονται και τα συστήματα κενού μπορούν να συνδεθούν με μια πολυμερική σφράγιση. Ο χρησιμοποιήσιμος χώρος έχει διάμετρο αρκετά μεγάλη και μπορεί να εκκενωθεί γρήγορα. Επιπλέον, ο σωλήνας χαλαζία παρέχει πολύ καθαρό χώρο λειτουργίας. Τέλος, το V-L προσφέρει δυνατότητες γρήγορης ψύξης και υψηλό βαθμό προσβασιμότητας του χρήστη στον κλίβανο. Υψηλά επίπεδα κενού 5×10^{-6} mbar και καλύτερα είναι εφικτά. Τα αέρια ελέγχονται από διάφορες συσκευές δοσολογίας και ελέγχου. Το κενό παρέχεται από διαφορετικούς σταθμούς άντλησης ανάλογα με τις απαιτήσεις κενού.

Ο φούρνος συγκόλλησης χρησιμοποιείται για τις εφαρμογές: ανόπτηση, χαλκοσυγκόλληση, CIM, απόξεση, απαέρωση, ξήρανση, MIM, πυρόλυση, σβέση, ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων, πυροσυσσωμάτωση, συγκόλληση, εξάχνωση και σύνθεση.

Τυποποιημένα χαρακτηριστικά του φούρνου συγκόλλησης είναι: Η ακριβής καθορισμένη ατμόσφαιρα με την υψηλότερη δυνατή καθαρότητα, το καλύτερο δυνατό κενό σχεδιασμένο για γρήγορη θέρμανση και ψύξη, πρέπει να έχει διαχείριση για εύφλεκτα και τοξικά αέρια, αυτόματη λειτουργία φόρτωσης και ξεφόρτωσης, κινητό αποδέκτη χαλαζία και εγγραφή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας.

Βρίσκεται κάτω από την πλάκα φόρτωσης, ένας σωλήνας καθοδήγησης αερίου είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να είναι 100 ως 300 mm πάνω από την πλάκα γείωσης για να διασφαλιστεί η ροή του αερίου από την κορυφή προς τον πυθμένα του σωλήνα χαλαζία. Η έξοδος αερίου συνδέεται στη φλάντζα κενού. Από αυτή τη φλάντζα κενού, μπορούν να τοποθετηθούν αρκετά θερμοστοιχεία δειγμάτων όπως απαιτείται στον σωλήνα χαλαζία. Ο κλίβανος συγκόλλησης πρέπει να λειτουργεί με ένα πλήρως λειτουργικό σύστημα για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας διεργασίας και των παραμέτρων λειτουργίας.



Εικόνα 41 : Στην εικόνα παρουσιάζεται φούρνος συγκόλλησης σωληνών V-L που ανήκει στην κατηγορία των φούρνων με κουκούλα.

2.3.2 Φούρνοι με κουκούλα (HBO)

Οι μεταλλικοί φούρνοι με κουκούλα παράγουν τις χαμηλότερες εφικτές πιέσεις λειτουργίας. Η ατμόσφαιρα αερίου υψηλής καθαρότητας επιτυγχάνεται λόγω της δυνατότητας κενού. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή επιλέγονται για τις χαμηλότερες πιέσεις ατμών στις υψηλότερες θερμοκρασίες, ώστε να αντέχουν από την θερμοκρασία και το οξειδωτικό περιβάλλον. Η θερμική επεξεργασία μέχρι τις υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να βλάψει τα θερμαντικά στοιχεία ή το μονωτικό υλικό. Οι ασπίδες ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται για την παροχή θερμικής μόνωσης, οι οποίες κατασκευάζονται από το ίδιο υλικό με τα θερμαντικά στοιχεία και δεν χρησιμοποιείται ινώδης θερμομόνωση.

Οι μεταλλικοί φούρνοι με κουκούλα κατασκευάζονται με στοιχεία θέρμανσης από μολυβδαίνιο και ασπίδες ακτινοβολίας, είναι κατάλληλοι για χρήση έως και 1600 ° C. Αυτοί που κατασκευάζονται με στοιχεία θέρμανσης βολφραμίου και ασπίδες ακτινοβολίας είναι κατάλληλοι για χρήση μέχρι 2200 °C.

Τα αέρια αζώτου, αργού και υδρογόνου είναι διαθέσιμα για χρήση σε μικτές ή καθαρές μορφές. Μπορούν να εγκατασταθούν και επιπρόσθετα αέρια. Μπορεί να επιτευχθεί ελαφρά υπερπίεση ή ελεγχόμενη μερική πίεση μεταξύ 10 και 1000 mbar. Σε μερική πίεση παρέχει μια καθορισμένη ροή αερίου μέσω του κλιβάνου.

Λόγω του πλήρως μεταλλικού σχεδιασμού, η τελική στάθμη κενού στο HBO μπορεί να φτάσει στο εύρος των υψηλών κενού και καλύτερη από 5 x 10⁻⁶ mbar. Ανάλογα με τις απαιτήσεις κενού, το κενό παρέχεται από διαφορετικούς σταθμούς άντλησης. Με ενισχυμένο μεταλλικό σχεδιασμό μπορούμε να πετύχουμε υπερ-υψηλό κενό. Τα αέρια πρέπει να ελέγχονται από διαφορετικές συσκευές δοσολογίας και ελέγχου. Η θερμοκρασία σε καθεμία από τις τρεις ζώνες θέρμανσης πρέπει να ελέγχεται ξεχωριστά για να διατηρηθεί η καλύτερη ομοιομορφία.

Οι μεταλλικοί φούρνοι με κουκούλα χρησιμοποιούνται για εφαρμογές: Ανόπτηση, συγκόλληση, ενανθράκωση, χύτευση με κεραμική έγχυση (CIM), απολέπιση, απαέρωση, ξήρανση, σκλήρυνση, χύτευση με έγχυση μετάλλου (MIM), πυρόλυση, σβέση, γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων, πυριτοποίηση, πυροσυσσωμάτωση και τέλος συγκόλληση.

Οι μεταλλικοί φούρνοι με κουκούλα έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά: 1)Ακριβώς καθορισμένη ατμόσφαιρα με την υψηλότερη δυνατή καθαρότητα. 2)Καλύτερο δυνατό κενό. 3)Γρήγορη θέρμανση και ψύξη. 4)Λειτουργία μερικής πίεσης υδρογόνου. 5)Ελεγχόμενες ταχύτητες άντλησης κενού κατάλληλες για σκόνες. 6)Διαχείριση της ασφάλειας για εύφλεκτα και τοξικά αέρια. 7)Αυτοματισμούς. 8)Εγγραφή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας. 9)Σύστημα κενού για λειτουργία πριν από το κενό, λεπτό κενό ή υψηλή πίεση κενού. 10)Παρακολούθηση δεδομένων και εξαγωγή δεδομένων. 11)Εξοπλισμός αερίου αντίδρασης για περισσότερα από ένα αδρανή αέρια. 12)Αντιδραστήρες και καυστήρες μετά την καύση. 13)Σύστημα ψύξης νερού.

Οι τεχνικές τους λεπτομέρειες είναι οι εξής: Να έχει δυνατότητα να επιβλέπει ο χειριστής μέσα στο φούρνο, να έχει είσοδο ή έξοδο αερίου και αντίστοιχα εξαγωγή ή είσοδο αερίου, να έχει μονάδα ανάμιξης, θέση για θερμοστοιχείο, ασπίδες ακτινοβολίας, στοιχεία θέρμανσης και τέλος νερό ψυγμένο στο δοχείο.

Οι μεταλλικοί φούρνοι με κουκούλα είναι κατασκευασμένοι από μεταλλικά υλικά με συνολικά 6 ως 12 ασπίδες ακτινοβολίας. Συνήθως αυτοί οι φούρνοι έχουν τρεις ζώνες θέρμανσης για τη βελτίωση της ομοιομορφίας της θερμοκρασίας σε όλο το μήκος και επίσης για να επιτρέψει την προθέρμανση του εισερχόμενου αερίου, εάν απαιτείται. Οι τρεις ζώνες θέρμανσης αποτελούνται από το μανδύα, τον επάνω και το κάτω θερμαντήρα. Ο θερμαντήρας του μανδύα σχεδιάζεται για να έχει την υψηλότερη μηχανική σταθερότητα. Μπορεί να καθοριστεί ένας προαιρετικός μεταλλικός αποστάτης για την προστασία των στοιχείων θέρμανσης σε περίπτωση εμφάνισης οποιουδήποτε απόρριψης του δείγματος και τη βελτίωση της ομοιομορφίας της θερμοκρασίας.

Για την απομόνωση της θερμότητας σε μεταλλικούς κλιβάνους, χρησιμοποιούνται ασπίδες ακτινοβολίας βολφραμίου ή μολυβδαίνιου. Διαθέτουν ένα δοχείο διπλού τοιχώματος, με νερό ψύξης. Κάθε μία από τις τρεις ζώνες θέρμανσης ελέγχεται μεμονωμένα και προστατεύεται από ένα πρόσθετο θερμοστοιχείο προστασίας από υπερθέρμανση.



Εικόνα 42: Στην εικόνα παρουσιάζεται ένας εξολοκλήρου μεταλλικός φούρνος με κουκούλα που ανήκει στην κατηγορία των φούρνων με κουκούλα.

2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ ΦΟΥΡΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

2.4.1 Φούρνοι κατασκευασμένοι από βολφράμιο

Όταν λέμε μεταλλικοί φούρνοι κατασκευασμένοι από βολφράμιο εννοούμε το υλικό κατασκευής, του θερμαντικού στοιχείου είναι από βολφράμιο. Είναι φούρνοι υψηλής θερμοκρασίας όπως επίσης και οι φούρνοι από μολυβδαίνιο και γραφίτη.

Σε τέτοιου τύπου φούρνους προτιμάτε ο ορθογώνιος σχεδιασμός αλλά και ο στρογγυλός με μπροστινή πόρτα ώστε να επιτρέπει την εύκολη φόρτωση και εκφόρτωση των τεμαχίων και μπορεί να κατασκευαστεί από μικρές μέχρι και μεγάλες διαστάσεις. Φούρνοι με μικρές διαστάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως από εργαστήρια έρευνας και ανάπτυξης. Οι κλίβανοι με μεγάλες διαστάσεις χρησιμοποιούνται κυρίως ως πειραματικά συστήματα παραγωγής ή μεγάλης κλίμακας παραγωγής.

Οι μεταλλικοί φούρνοι κατασκευασμένοι από βολφράμιο ή μολυβδαίνιο επιτρέπουν τη μεγαλύτερη δυνατή καθαρότητα αδρανούς ατμοσφαιρικού αέρα και τελικό επίπεδο κενού στην περιοχή υψηλού κενού συνήθως ως 5×10^{-6} mbar για να υπάρξει μια ιδέα για το τι υποπίεση υπόκειται ο φούρνος. Μπορεί να διαμορφωθεί ένα υπερβολικά υψηλό κενό. Τα κοινά αέρια που χρησιμοποιούνται συνήθως περιλαμβάνουν: Άζωτο, αργό, υδρογόνο ή μείγματα.

Τα στοιχεία θέρμανσης κατασκευάζονται από το ίδιο μεταλλικό υλικό με τη μόνωση όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω. Η μόνωση της θέρμανσης είναι κατασκευασμένη από αρκετές ασπίδες ακτινοβολίας κατασκευασμένες από βολφράμιο ή μολυβδαίνιο σε σχέση με τον επιλεγμένο υλικό του θερμαντικού στοιχείου. Ένας αποστακτήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καθοδήγηση ροής αερίου ή για τη βελτίωση της ομοιομορφίας της θερμοκρασίας. Η μέγιστη θερμοκρασία για το φούρνο κατασκευασμένο από βολφράμιο είναι η $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ και για το φούρνο κατασκευασμένο από μολυβδαίνιο είναι η $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Κάποια παραδείγματα εφαρμογής ατμόσφαιρα χωρίς άνθρακα, χύτευση με έγχυση μετάλλων, επιμετάλλωση, πυροσυσσωμάτωση

Τυποποιημένα χαρακτηριστικά : Οι μεταλλικοί κλίβανοι παρέχουν μια ακριβής ατμόσφαιρα με την υψηλότερη δυνατή καθαρότητα. Οι μεταλλικοί φούρνοι προσφέρουν το καλύτερο δυνατό κενό. Λειτουργία μερικής πίεσης υδρογόνου, εάν είναι απαραίτητο. Ακριβώς ελεγχόμενες ταχύτητες άντλησης κενού κατάλληλες για σκόρες και για υψηλή ποιότητα. Εγγραφή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας.

Μέσα στο θάλαμο, τα στοιχεία θέρμανσης τοποθετούνται στην κάτω, αριστερή, δεξιά και πάνω πλευρά του θαλάμου του κλιβάνου επιτρέποντας τη βελτιωμένη ομοιομορφία της θερμοκρασίας. Για μεγάλους όγκους, ο οπίσθιος τοίχος και το μπροστινό μέρος είναι εξοπλισμένα με στοιχεία θέρμανσης για να διατηρούν εξαιρετική ομοιομορφία θερμοκρασίας.



Εικόνα 43: Στην εικόνα παρουσιάζεται μεταλλικός φούρνος κατασκευασμένος από βολφράμιο.

2.4.2 Φούρνοι κατασκευασμένοι από γραφίτη

Ο φούρνος γραφίτη λειτουργεί με ακατέργαστο λεπτό κενό, προστατευτικά αέρια όπως το άζωτο / αργό και τα αντιδραστικά αέρια όπως το υδρογόνο και το μονοξείδιο του άνθρακα. Ο φούρνος γραφίτη δεν μπορεί να λειτουργήσει σε ατμόσφαιρα οξυγόνου λόγω της μόνωσης γραφίτη. Σε τέτοιου τύπου φούρνους προτιμάτε ο ορθογώνιος σχεδιασμός αλλά και ο στρογγυλός με μπροστινή πόρτα που επιτρέπει την εύκολη φόρτωση και εκφόρτωση των τεμαχίων. Μπορεί να κατασκευαστεί από μικρές μέχρι και μεγάλες διαστάσεις. Φούρνοι με μικρές διαστάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως από εργαστήρια έρευνας και ανάπτυξης. Οι κλίβανοι με μεγάλες διαστάσεις χρησιμοποιούνται κυρίως ως πειραματικά συστήματα παραγωγής ή μεγάλης κλίμακας παραγωγής.

Οι φούρνοι κατασκευασμένοι από γραφίτη έχουν ως υλικό μόνωσης γραφίτη, καθώς και τα θερμαντικά στοιχεία γραφίτη. Με μέγιστες θερμοκρασίες μέχρι και τους 2200 °C, είναι κατάλληλο για εξαιρετικές ανάγκες θερμικής επεξεργασίας σε μεγάλες θερμοκρασίες. Μπορούμε με την προσθήκη ενός γραφίτη που είναι ικανός για καθορισμένη ροή καθοδήγησης αερίου εντός της μονάδας να βελτιώσουμε την ομοιομορφία της θερμοκρασίας σε ± 10 °C εντός του κλιβάνου. Για τις διαδικασίες με ισχυρή απόρριψη ο αποστακτήρα προστατεύει τα θερμαντικά στοιχεία και αυξάνει τη διάρκεια ζωής του κλιβάνου. Οι φούρνοι κατασκευασμένοι από γραφίτη έχουν ως παραδείγματα εφαρμογής: Πυρόλυση, πυριτοποίηση, πυροσυσσωμάτωση, τεχνική κεραμική.

Τα τυποποιημένα χαρακτηριστικά φούρνων κατασκευασμένων από γραφίτη είναι τα εξής: 1) Προσφέρουν τις υψηλότερες δυνατές θερμοκρασίες λειτουργία μερικής πίεσης υδρογόνου, εάν είναι απαραίτητο. 2) Ακριβώς ελεγχόμενες ταχύτητες άντλησης κενού κατάλληλες για σκόρες και για υψηλή ποιότητα. 3) Εγγραφή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας μέσα στο θάλαμο. 4) Τα στοιχεία θέρμανσης τοποθετούνται στην κάτω αριστερή, δεξιά και πάνω πλευρά του θαλάμου του κλιβάνου, επιτρέποντας τη βελτιωμένη ομοιομορφία της

θερμοκρασίας. 5) Για μεγαλύτερους όγκους τεμαχίων ο οπίσθιος τοίχος και το μπροστινό μέρος πρέπει να είναι εξοπλισμένα με στοιχεία θέρμανσης για να διατηρούν εξαιρετική ομοιομορφία θερμοκρασίας.

Οι φούρνοι κατασκευασμένοι από γραφίτη πρέπει να περιβάλλονται από ένα δοχείο με νερό ψύξης για να έχουμε την δυνατότητα επίτευξης πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Όταν οι φούρνοι περιβάλλονται από ένα δοχείο με νερό ψύξης χαρακτηρίζονται και ως συστήματα κλιβάνου ψυχρού τοίχου. Το νερό ψύξης μπορεί να οδηγείται μέσω του δοχείου διπλού τοιχώματος. Όταν περιβάλλονται από ένα δοχείο με νερό ψύξης μπορούν να λειτουργήσουν έως 3000 °C. Για λειτουργία στους 3000 °C, ο κλιβανός πρέπει να σχεδιαστεί με ειδικό πάχος απομόνωσης, βέλτιστη τοποθέτηση των θερμαντικών στοιχείων και πυρόμετρο για τη μέτρηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Το πυρόμετρο μετρά άμεσα την ακτινοβολία θερμότητας με οπτικές μεθόδους μέσω ενός παραθύρου μέσα στον κλιβανό και δεν εισέρχεται απευθείας στον κλιβανό. Αυτή η αρχή μέτρησης λειτουργεί μόνο εάν εκπέμπεται επαρκής ποσότητα ακτινοβολίας. Η απαιτούμενη ακτινοβολία παράγεται μόνο σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 400 °C. Για χαμηλότερες θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται ένα ολισθαίνον θερμοστοιχείο για τον έλεγχο των χαμηλότερων θερμοκρασιών.

Λόγω της αυξανόμενης τάσης ατμών του γραφίτη, η λειτουργία 3000 °C είναι δυνατή μόνο υπό ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου. Επίσης η υψηλή τάση ατμών έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Για ευαίσθητα σε άνθρακα δείγματα, πρέπει να χρησιμοποιείται ένας μεταλλικός κλιβανός υψηλής θερμοκρασίας.



Εικόνα 44 : Στην εικόνα φαίνεται μεταλλικός φούρνος κατασκευασμένος από γραφίτη.

2.4.3 Φούρνοι κατασκευασμένοι με κεραμικές ίνες

Οι φούρνοι θαλάμων κατασκευασμένοι με κεραμικές ίνες, είναι μονωμένοι με κεραμικές ίνες. Ο ορθογώνιος σχεδιασμός με μπροστινή πόρτα επιτρέπει την εύκολη φόρτωση και εκφόρτωση των τεμαχίων από τον φούρνο. Φούρνοι με μικρές διαστάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως από εργαστήρια έρευνας και ανάπτυξης. Οι κλίβανοι με μεγάλες διαστάσεις χρησιμοποιούνται κυρίως ως πειραματικά συστήματα παραγωγής ή μεγάλης κλίμακας παραγωγής. Οι κάμινοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από ένα καθορισμένο μείγμα οξυγόνου ή 100% καθαρό οξυγόνο. Τα στοιχεία θέρμανσης συνήθως είναι κατασκευασμένα από κράμα σιδήρου χρωμίου αλουμινίου (CrFeAl) επιτρέποντας θερμοκρασίες μέχρι 1350 °C ή είναι κατασκευασμένα από διπυρίτιο του μολυβδαινίου (MoSi₂), που επιτρέπουν θερμοκρασίες μέχρι 1800 °C. Είναι δυνατές ατμόσφαιρες αδρανούς αερίου. Ωστόσο, πρέπει να γίνει αποδεκτή η κακή ατμοσφαιρική ποιότητα. Λόγω της πορώδους φύσης της μόνωσης, η λειτουργία σε κενό περιορίζεται σε μια περιοχή χονδρού κενού για μικρές διάρκειες. Οι φούρνοι κατασκευασμένοι από κεραμικές ίνες έχουν ως παραδείγματα εφαρμογής τα ακόλουθα: κεραμική χύτευση με έγχυση (CIM), πυροσυσσωμάτωση στον αέρα.

Τα τυποποιημένα χαρακτηριστικά φούρνων κατασκευασμένων από κεραμικές ίνες είναι: 1) Μπορεί να έχει λειτουργία μερικής πίεσης υδρογόνου, με μερικής πίεσης αέρα ή με 100% οξυγόνο εάν είναι απαραίτητο. 2) Ακριβώς ελεγχόμενες ταχύτητες άντλησης κενού κατάλληλες για σκόνες και για υψηλή ποιότητα. 3) Εγγραφή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας. 4) Μέσα στο θάλαμο, τα στοιχεία θέρμανσης τοποθετούνται στην κάτω αριστερή, δεξιά και πάνω πλευρά του θαλάμου του κλιβάνου, επιτρέποντας τη βελτιωμένη ομοιομορφία της θερμοκρασίας. 5) Για μεγαλύτερους όγκους τεμαχίων, ο οπίσθιος τοίχος και το μπροστινό μέρος πρέπει να είναι εξοπλισμένα με στοιχεία θέρμανσης για να διατηρούν εξαιρετική ομοιομορφία θερμοκρασίας. 6) Οι φούρνοι κατασκευασμένοι από γραφίτη πρέπει να περιβάλλονται από ένα δοχείο με νερό ψύξης για να έχουμε την δυνατότητα επίτευξης πολύ υψηλών θερμοκρασιών. 7) Όταν οι φούρνοι περιβάλλονται από ένα δοχείο με νερό ψύξης χαρακτηρίζονται και ως συστήματα κλιβάνου ψυχρού τοίχου, το νερό ψύξης μπορεί να οδηγείται μέσω του δοχείου διπλού τοιχώματος.



Εικόνα 45: Στην εικόνα παρουσιάζεται μεταλλικός φούρνος κατασκευασμένος από κεραμικές ίνες

2.5 ΦΟΥΡΝΟΣ ΑΝΟΠΤΗΣΗΣ

2.5.1 Κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού

Ο κλίβανος ανόπτησης χαρακτηρίζεται από έναν στεγανό υποδοχέα κενού με εξαιρετικά συμμετρική τοποθέτηση των θερμαντικών στοιχείων. Τα στοιχεία θέρμανσης κατασκευασμένα από κράμα σιδήρου χρωμίου αλουμινίου (CrFeAl), και έχει μόνωση κεραμικών ινών.

Ο κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού είναι συχνά εξοπλισμένος με σύστημα άντλησης κενού για τη μείωση των επιπέδων οξυγόνου, πριν από τη θερμική επεξεργασία. Για να εξασφαλιστούν τα χαμηλότερα επίπεδα μόλυνσης, εμφανίζονται αρκετοί κύκλοι κενού και καθαρισμού με άζωτο για να δημιουργηθεί μια καθαρή ατμόσφαιρα στον αποστακτήρα. Η υποβοηθούμενη από το κενό ανακύκλωση αζώτου είναι πολύ ανώτερη σε σύγκριση με το απλά ρέον άζωτο μέσω του αποστακτήρα καθώς η διαδικασία δημιουργεί μια καθαρή ατμόσφαιρα γρηγορότερα και απαιτεί μικρότερο άζωτο. Αφού μειωθούν τα επίπεδα οξυγόνου, η θερμική επεξεργασία αρχίζει υπό αδρανή ατμόσφαιρα με ελαφρά υπερπίεση.

Η υψηλότερη δυνατή θερμοκρασία του κλιβάνου ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα είναι 1100°C για θερμική επεξεργασία με ατμόσφαιρα. Η εμπρόσθια θύρα του συνήθως κυλινδρικού ή ορθογωνικού αποστακτήρα μπορεί να χρειάζεται να θερμανθεί σε μερικές περιπτώσεις. Στην αερόψυκτη ή υδρόψυκτη πόρτα, το αέριο καθαρίζεται μέσα στο κλιβάνο ανόπτησης και προθερμαίνεται από τις ασπίδες ακτινοβολίας, οι οποίες εισάγονται μπροστά. Ο κλιβάνος ανόπτησης πρέπει να είναι εφοδιασμένος με οπίσθια θύρα για την απομάκρυνση οποιωνδήποτε αέριων παραπροϊόντων που παράγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας για την υγεία του χειριστή.

Ο κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού είναι δυνατόν να λειτουργήσει με το χέρι ή με τη χρήση αυτοματοποιημένου συστήματος. Ο απορροφητήρας συνήθως κατασκευάζεται με κράμα χάλυβα ανθεκτικό στη θερμοκρασία. Ο κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού μπορεί να λειτουργεί με αντιδραστικά αέρια όπως το υδρογόνο, το οποίο αρκεί να έχει εξοπλιστεί με την κατάλληλη τεχνολογία ασφάλειας. Ένα απλό σύστημα ασφαλείας υδρογόνου περιλαμβάνει ένα αυτόματο λειτουργικό σύστημα με δεξαμενή πλημμύρας αζώτου. Αυτό συμβαίνει για ανίχνευση και καθαρισμό του συστήματος σε περίπτωση ανίχνευσης δυσλειτουργιών και για να είμαστε σίγουροι για την σωστή λειτουργία του και την αξιοπιστία του καλό θα ήταν όλες οι συσκευές να έχουν πιστοποίηση SIL2.

Ο κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού μπορεί να έχει ένα συμπαγές σχέδιο εξοικονόμησης χώρου. Ο κλίβανος ανόπτησης μπορεί να εκτελέσει και διαδικασίες αποσκλήρυνσης και επιτρέπει τη διεξαγωγή διαδικασιών καθαρισμού ή πυρόλυσης. Ο κλίβανος ανόπτησης αν εξοπλιστεί με ένα καυστήρα μετά την καύση και την έξοδο θερμού αερίου δεν θα υπάρξει συμπύκνωση για ισχυρές εφαρμογές εξώθησης. Αν ο κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού είναι κατακόρυφος, φορτώνεται κατακόρυφα και συνεπώς παρέχει ένα συμπαγές σχεδιασμό εξοικονόμησης χώρου. Ενώ το οριζόντιο, φορτώνεται οριζόντια τότε εξοικονομούμε χώρο για ευέλικτη χρήση σε διαφορετικές εφαρμογές.

Ο κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού έχει ως παραδείγματα εφαρμογής: Την ανόπτηση, απαέρωση, ξήρανση, λάμψη, σκλήρυνση, πυρόλυση, σκλήρυνση και θερμική αφαίρεση πριν από την πυροσυσσωμάτωση.

Ο κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού έχει τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα παρακάτω: 1)Ακριβώς ελεγχόμενη ατμόσφαιρα με την υψηλότερη δυνατή καθαρότητα. 2)Έναν στεγανοποιημένο αποστακτήρα για το υψηλότερο δυνατό κενό. 3)Λειτουργία μερικής πίεσης υδρογόνου όταν έχουμε και υδρογόνο. 4)Πιστοποιημένη διαχείριση της ασφάλειας για εύφλεκτα και τοξικά αέρια. 5)Εγγραφή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας. 6)Συστήματα κενού με αντλία προ-κενού, αντλία ριζών ή στροβιλομοριακή αντλία, λογισμικά και ελεγκτές υπάρχουν και μπορούμε να προμηθευτούμε από τη Eurotherm 3508, Siemens, iTools, και να έχουν προστασία από υπερθέρμανση. 7)Εξοπλισμός αερίου αντίδρασης για συγκεντρώσεις υδρογόνου μεγαλύτερες από 3% με 6% ανάλογα το σύστημα 8)Ψύκτης σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμη ψύξη με νερό επί τόπου.

Η μέγιστη θερμοκρασία του κλιβάνου ανόπτησης είναι 1100°C. Σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών, η θερμότητα μεταδίδεται μέσω υψηλής μεταφοράς θερμότητας και αγωγιμότητας. Για να εξασφαλιστεί η άριστη ομοιομορφία της θερμοκρασίας, θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ένα σύστημα κυκλοφορίας αερίου μέσω ενός αναπνευστήρα που βρίσκεται στο πίσω μέρος του κλιβάνου, πράγμα που εξασφαλίζει ότι το δείγμα περιβάλλεται συνεχώς από ομοιόμορφο αδρανές αέριο. Το δοκίμιο δείγματος τοποθετείται σε μια οριζόντια βάση φόρτωσης με τα εισερχόμενα αέρια που οδηγούνται πάνω στο δείγμα. Οποιαδήποτε παραγόμενα αέρια υποπροϊόντα εκκενώνονται αμέσως από τον κλίβανο. Ένα θερμοστοιχείο ανιχνευτή τοποθετείται στο πίσω μέρος του κλιβάνου και σε μικρή απόσταση από τα δείγματα. Το θερμοστοιχείο ανιχνευτή χρησιμεύει ως θερμοστοιχείο ελέγχου για τις δύο ζώνες θέρμανσης και ταυτόχρονα παρακολουθεί τη θερμοκρασία απευθείας στο δείγμα. Τα θερμαντικά στοιχεία βρίσκονται έξω από τον αποστακτήρα. Χρησιμοποιείται θερμοστοιχείο υπερ-θερμοκρασίας για λειτουργία χωρίς παρακολούθηση. Άλλοι ανιχνευτές θερμοστοιχείων μπορούν να ενσωματωθούν στον ανιχνευτή μετά από αίτημα.



Εικόνα 46 : Ένας κλίβανος ανόπτησης με στεγανό υποδοχέα κενού.

2.5.2 Φούρνος ανακύκλωσης αέρα

Οι φούρνοι ανακύκλωσης αέρα, έχουν ως μέγιστη θερμοκρασία τους 750 °C. Συνήθως είναι εξοπλισμένοι με ισχυρούς ανεμιστήρες και οριζόντιους οδηγούς αέρα. Αυτοί οι φούρνοι προορίζονται για γρήγορη θέρμανση, με υψηλή θερμική μεταφορά στα περιεχόμενα του θαλάμου και υψηλή ομοιομορφία μέσα στο θάλαμο.

Αυτά τα σχέδια συχνά αποτελούν τη βάση από την οποία κατασκευάζονται προσαρμοσμένοι σχεδιασμένοι θάλαμοι με μη τυποποιημένα μεγέθη ή διαμορφώσεις ελέγχου. Οι φούρνοι ανακύκλωσης αέρα μπορούν συχνά να έχουν πιστοποιήσεις που επιτρέπουν τη θερμική επεξεργασία μέσα στα περιβάλλοντα παραγωγής AMS 2750E Nadcap. Που είναι πρότυπα για τις προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού που ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Καθορίζουν τις ειδικές για τη βιομηχανία απαιτήσεις για θερμική επεξεργασία. Σήμερα, το AMS 2750 E και τα πρότυπα των παραγώγων όπως το AMS 2770 για τη θερμική επεξεργασία του αλουμινίου είναι οι κατευθυντήριες γραμμές για την αεροδιαστημική βιομηχανία.

Οι φούρνοι ανακύκλωσης αέρα έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά: 1)Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 750 °C. 2)Στοιχεία σύρματος που συνήθως βρίσκονται και στις δύο πλευρές του θαλάμου. 3)Ανοξείδωτη επένδυση η κάποια με την ίδια η και μεγαλύτερη αντοχή σε οξειδωτικό περιβάλλον και στην θερμοκρασία. 4)Συνδυασμός μόνωσης χαμηλής θερμικής μάζας, πυρίμαχων πλακών, χρονοδιακόπτη ρύθμισης και επεξεργασίας. 5)Προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων και για μη επιτηρούμενη λειτουργία.

Οι φούρνοι ανακύκλωσης αέρα με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων που μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.



Εικόνα 47: στην εικόνα παρουσιάζεται ένας φούρνος ανακύκλωσης αέρα

2.6 ΦΟΥΡΝΟΣ ΚΑΥΣΗΣ

2.6.1 Φούρνος πλήρης καύσης

Οι φούρνοι πλήρης καύσης έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να παρέχουν τις βέλτιστες συνθήκες στάξης και να εξασφαλίσουν την πλήρη καύση του δείγματος. Έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 1200 °C.

Οι φούρνοι πλήρης καύσης έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά: 1) 1100°C & 1200°C μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας. 2)Οι φούρνοι πλήρης καύσης μπορούν να έχουν σημείο ρύθμισης και χρονομέτρηση διαδικασίας, μπορούν να έχουν σύστημα ραφιών δύο βαθμίδων για διπλασιασμό της χωρητικότητας των τεμαχίων. 3)Με τους δίσκους δειγμάτων και τη λαβή φόρτωσης επιτρέπεται μεγάλος αριθμός τεμαχίων. 4)Ιδανικοί για τη σβέση πλαστικών, άνθρακα και υδρογονανθράκων με προθέρμανση του αέρα προτού εισέλθει στο θάλαμο. 5)Προστασία των στοιχείων από τη συσσώρευση άνθρακα ή τη διαβρωτική ατμόσφαιρα, χρησιμοποιώντας κεραμίδια καρβιδίου του πυριτίου, συνήθως έχουν προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων και για μη επιτηρούμενη λειτουργία.



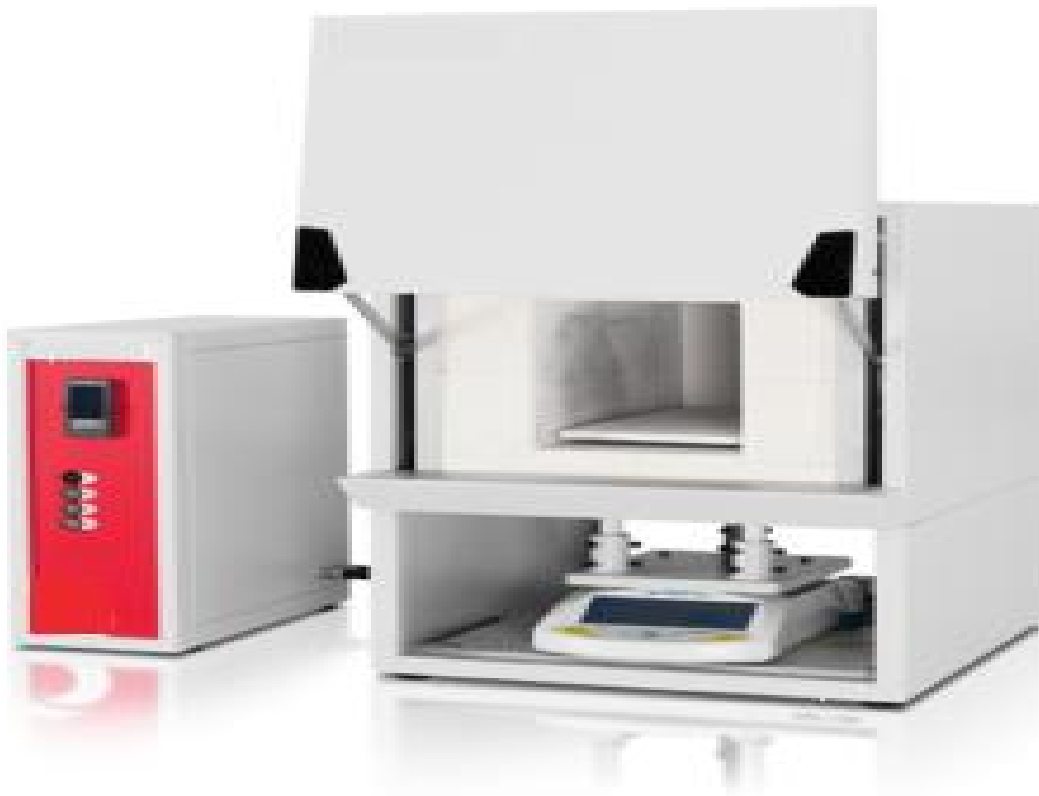
Εικόνα 48: Φούρνος πλήρης καύσης.

2.6.2 Φούρνοι θερμοβαρομετρική ανάλυσης

Οι φούρνοι θερμοβαρομετρικής ανάλυσης, ενσωματώνουν μια ολοκληρωμένη διάταξη μέτρησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απώλειες βάρους σε εφαρμογές ανάφλεξης, όπου η αλλαγή βάρους του δείγματος πρέπει να παρακολουθείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας θέρμανσης.

Οι φούρνοι θερμοβαρομετρικής ανάλυσης, πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με ενσωματωμένο ζυγό και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές απώλειας κατά την ανάφλεξη, η αλλαγή του βάρους του δείγματος παρακολουθείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας θέρμανσης και αυτό απαιτείται, για παράδειγμα, στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε οργανικά υλικά όπως ιζήματα, λάσπη, χώμα και απόβλητα. Μπορούν επίσης να δοκιμαστούν ανόργανα υλικά όπως τσιμέντο, άσβεστος, φρυγμένος βωξίτης και πυρίμαχα.

Οι φούρνοι θερμοβαρομετρικής ανάλυσης πρέπει να έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά. Μπορούν να έχουν σημείο ρύθμισης και χρονομέτρηση διαδικασίας, πρέπει να παρέχουμε προστασία των στοιχείων από τη συσσώρευση άνθρακα ή τη διαβρωτική ατμόσφαιρα, χρησιμοποιώντας ως υλικό των στοιχείων θέρμανσης, κεραμίδια καρβιδίου του πυριτίου. Μέσα στον φούρνο εξασφαλίζουμε μια ισορροπία λειτουργίας ανεξάρτητα από το σύστημα ελέγχου του κλιβάνου, μέσω ενός υπολογιστή έχουμε την παρακολούθηση της ανάγνωσης του ισοζυγίου με ακρίβεια μέτρησις από 0,01 ως 0,001 g και σε συναρτήσε με τον χρόνο μέσω ενός λογισμικού. Οι φούρνοι θερμοβαρομετρικής ανάλυσης με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων που μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες. Καλό θα ήταν να έχουν προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων και για μη επιτηρούμενη λειτουργία.



Εικόνα 49: Φούρνος θερμοβαρομετρικής ανάλυσης.

2.6.3 Φούρνος με θάλαμο χαλαζιακό υλικό

Ο Φούρνος με θάλαμο από χαλαζιακό υλικό χρησιμοποιείται σε ορισμένες τεχνικές ανάλυσης που οι κοινοί θάλαμοι φούρνων μπορεί να επηρεαστούν από σκόνη αλουμίνας ή σίλικα (Al_2O_3 σε SiO_2). Για να αποφευχθεί αυτό, ο θάλαμος του κλιβάνου είναι κατασκευασμένος από χαλαζιακό υλικό, αυτός ο σχεδιασμός προσφέρει επίσης εξαιρετική συγκράτηση επιθετικών και διαβρωτικών ατμών, όπως θειικού, νιτρικού και υδροχλωρικού οξέος, διατηρώντας τα μακριά από τα θερμαντικά στοιχεία. Επιπρόσθετα, εάν έχει καθοριστεί μια προαιρετική είσοδος αερίου, ο εγκλεισμένος σχεδιασμός ελαχιστοποιεί τις διαρροές αερίου από το θάλαμο.

Οι Φούρνοι με θάλαμο από χαλαζιακό υλικό έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα ακόλουθα: 1) Έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 1100 °C. 2) Έχουν θωρακισμένο θάλαμο καμίνου, ιδανικό για αναλύσεις όπου η σκόνη αλουμίνας ή σίλικα (Al_2O_3 σε SiO_2) θα μπορούσαν να μολύνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών. 3) Η επένδυση θαλάμου προσφέρει εξαιρετική συγκράτηση διαβρωτικών και επιθετικών ατμών όπως θειικού, νιτρικού και υδροχλωρικού οξέος (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl). 4) Μπορεί να έχει θέρμανση από 2 έως και 4 όψεις.



Εικόνα 50: Φούρνος με θάλαμο από χαλαζιακό υλικό.

2.6.4 Φούρνος μετάκαυσης

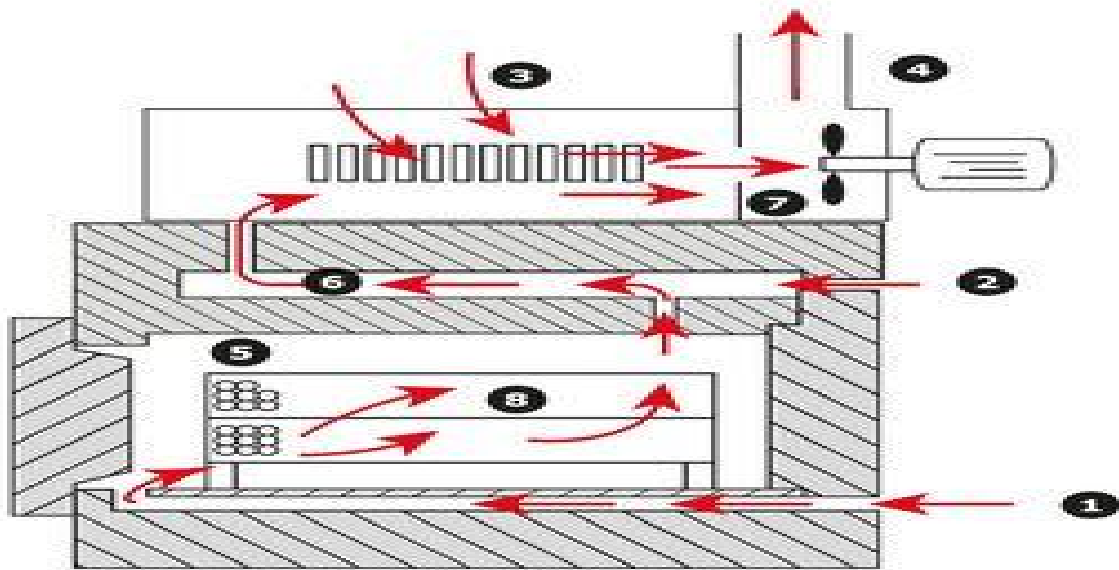
Ο φούρνος μετάκαυσης είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για την αποτέφρωση μεγαλύτερων δειγμάτων ή υλικών όπως η βιομάζα, τα οποία είναι πιθανό να δημιουργήσουν σημαντικές ποσότητες καπνού. Ο κλιβανός περιλαμβάνει ένα μεγάλο κύριο θάλαμο καύσης εξοπλισμένο ως πρότυπο με ένα σετ η δύο σετ δεξαμενών δειγμάτων. Τα καυσαέρια από τον κύριο

θάλαμο επεξεργάζονται μέσω ενός καυστήρα υψηλής θερμοκρασίας που έχει σχεδιαστεί για την περαιτέρω επεξεργασία καπνού.

Οι φούρνοι μετάκαυσης έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: 1)Την Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας στον θάλαμο τέφρας 800 °C. 2)Έχουν μεγάλο όγκο θαλάμου σε σχέση με άλλους φούρνους καύσης και έχει δυνατότητα για καυσαέρια μέχρι 40 gr άνθρακα ανά φόρτωση φορτίου, συνιστάται να έχει ανεξάρτητο έλεγχο θερμοκρασίας μετά την καύση μέχρι 950 °C. 3)Στοιχεία κατασκευασμένα από σύρμα από καρβίδιο πυριτίου. 4)Συνήθως έχουν προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων και για μη επιτηρούμενη λειτουργία. 5)Οι φούρνοι μετάκαυσης με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες. 6)Έχει ροή αέρα στον φούρνο στάξης στην είσοδο αέρα, ο αέρας προθερμαίνεται πριν εισέλθει στο θάλαμο για την πλήρη καύση και στην συνέχεια εισαγάγετε αέρας στο θάλαμο για να ψύχετε το αέριο πριν εισέλθει στον ανεμιστήρα εξαγωγής.



Εικόνα 51: Στην εικόνα παρουσιάζεται ένας φούρνος μετάκαυσης.



Εικόνα 52: Στην εικόνα παρουσιάζεται η ροή αέρα μέσα στον φούρνο μετάκαυσης.

2.7 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΟΥΡΝΟΙ

2.7.1 Φούρνοι θαλάμων γενικής χρήσης

Οι φούρνοι θαλάμων γενικής χρήσης είναι μεγάλοι φούρνοι δαπέδου. Μπορούν να φτάσουν σε θερμοκρασίες 1200 με 1300 °C.

Οι φούρνοι θαλάμων γενικής χρήσης έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά όπως: 1) 1200 °C με 1300 °C περίπου μέγιστη θερμοκρασία. 2) Μπορούμε να έχουμε προστασία από υπερθέρμανση, συνήθως έχουμε ελεύθερα ακτινοβολούμενα σύρματα στις δύο πλευρές του φούρνου και την οροφή. 3) Οι πιο πολλοί φούρνοι θαλάμων γενικής χρήσης έχουν χαμηλή θερμική μόνωση για υψηλή ενεργειακή απόδοση. 4) Ο σχεδιασμός της πόρτας πρέπει να διατηρεί τη θερμαινόμενη επιφάνεια μακριά από τον χρήστη. 5) Πρέπει να έχει σκληρή και ανθεκτική πλάκα που να αντιστέκεται σε βλάβες και να στηρίζει καλύτερα.

Οι φούρνοι θαλάμων γενικής χρήσης με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.

Επιπλέον μπορούμε με αυτό το είδος φούρνων να κάνουμε κατεργασίες με τροποποιημένες ατμόσφαιρες, έως 1100 με 1150°C. Μπορεί να έχει AMS 2750E συμβατά με το Nadcap που είναι πρότυπα για τις προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού, τα οποία ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Ακόμα μπορούν να διατεθούν διάφορες επιλογές διαχείρισης, φόρτωσης και εκφόρτωσης. Σε περίπτωση εισαγωγής αερίου για τροποποιημένες ατμόσφαιρες, αν έχουμε συγκολλημένη επένδυση χαλαζία, παρέχει βελτιωμένη συγκράτηση.



Εικόνα 53: Ο φούρνος θαλάμου γενικής χρήσης.

2.7.2 Φούρνος μεγάλου θαλάμου

Οι φούρνοι μεγάλου θαλάμου έχουν ισχυρή κατασκευή θαλάμου που τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές όπως η θερμική επεξεργασία χαλύβων και κραμάτων, η πυροσυσσωμάτωση κεραμικών και η θερμική επεξεργασία της αεροδιαστημικής. Ο φούρνος μεγάλου θαλάμου είναι ένας κλίβανος βιομηχανικής κλίμακας που βασίζεται σε μια αρθρωτή αρχιτεκτονική σχεδιασμού, η οποία μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορες εφαρμογές. Ο θάλαμος του κλιβάνου συνήθως έχει κυβικό σχήμα.

Οι φούρνοι μεγάλου θαλάμου έχουν πλευρική πόρτα με αρθρωτή πόρτα και σταθερή εστία. Προαιρετικά η εστία μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα φορείο έτσι ώστε να μπορεί να τραβηχτεί έξω από τον κλίβανο σε ένα σύστημα τροχιάς. Αυτή η τεχνική σχεδιασμού της εστίας επιτρέπει επίσης στον κλίβανο να προσαρμόζεται εύκολα σε μια διάταξη κατακόρυφης ανύψωσης, για να παρέχει μια εστία ανελκυστήρα, οπότε η πόρτα θα γίνει μια σταθερή πλευρά του θαλάμου.

Κάτω από τη θέρμανση της εστίας, τα ελεύθερα ακτινοβολούμενα συρμάτινα στοιχεία τοποθετούνται σε τέσσερις πλευρές. Αυτός ο σχεδιασμός παρέχει τη δυνατότητα τριών ζωνών ελέγχου θερμοκρασίας και για εφαρμογές που απαιτούν την καλύτερη δυνατή ομοιομορφία, όπως το AMS 2750E συμβατά με το Nadcap, τα οποία όπως προαναφέραμε είναι πρότυπα για τις προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού, που ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Αυτό μπορεί να συνδυαστεί με έναν προαιρετικό ανεμιστήρα κυκλοφορίας αέρα για καλύτερα αποτελέσματα ομοιομορφίας.

Ο φούρνος μεγάλου θαλάμου χρησιμοποιεί για την κατασκευή του, χαμηλής θερμικής μάζας υλικά μόνωσης, για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης λειτουργίας του φούρνο. Ενώ χρησιμοποιούνται συνήθως ισχυρά πυρίμαχα υλικά όπου απαιτείται μεγάλη αντοχή κάτω

από υψηλές θερμοκρασίες, όπως η περιοχή φόρτωσης της εστίας. Τα πλακίδια καρβιδίου πυριτίου (SiC) τοποθετούνται στην εστία για να παρέχουν μια σκληρή επιφάνεια φθοράς.

Τα τυποποιημένα χαρακτηριστικά των φούρνων μεγάλου θαλάμου είναι τα εξής: 1) Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας γύρω στους 1100 °C, καλό θα ήταν να παρέχεται προστασία από υπερθέρμανση. 2) Ο φούρνος μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της παραγωγής για πρότυπα AMS 2750E, Nadcap που είναι πρότυπα για της προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού που ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Καθορίζουν τις ειδικές για τη βιομηχανία απαιτήσεις για θερμική επεξεργασία. Σήμερα, το AMS 2750 E και τα πρότυπα των παραγώγων όπως το AMS 2770 για τη θερμική επεξεργασία του αλουμινίου είναι οι κατευθυντήριες γραμμές για την αεροδιαστημική βιομηχανία.

Κάτω από τη θέρμανση της εστίας, τα ελεύθερα ακτινοβολούμενα συρμάτινα στοιχεία είναι τοποθετημένα σε τέσσερις πλευρές για εξαιρετική ομοιομορφία θερμοκρασίας και τον έλεγχο της. Η ανθεκτική κατασκευή ενός φούρνου μεγάλου θαλάμου εξασφαλίζει ασφαλή εξωτερική θερμοκρασία με την κατασκευή διπλού τοιχώματος. Επίσης εξασφαλίζει ασφαλή εξωτερική θερμοκρασία και στεγανή εστία καρβιδίου πυριτίου, ασφαλισμένη θυρίδα και ανεμιστήρα κυκλοφορίας.



Εικόνα 54: Φούρνος μεγάλου θαλάμου.

2.7.3 Κλίβανοι μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας

Οι φούρνοι μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας έχουν ισχυρή κατασκευή θαλάμου που τους καθιστά ιδανικούς για εφαρμογές, όπως η θερμική επεξεργασία χαλύβων και κραμάτων, η πυροσυσσωμάτωση κεραμικών και η θερμική επεξεργασία της αεροδιαστημικής.

Οι φούρνοι μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας παρέχουν το θεμέλιο για να μπορεί να προστεθεί ένα ευρύ φάσμα προσαρμοσμένων τροποποιήσεων. Τυπικά παραδείγματα είναι τα πιο εξελιγμένα συστήματα ελέγχου και καταγραφή δεδομένων που απαιτούνται για εφαρμογές όπως η θερμική επεξεργασία AMS 2750E Nadcap. Είναι πρότυπα για της προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού που ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Μπορούμε να τους εξοπλίσουμε έτσι ώστε να χειρίζομαστε βαρύτερα φορτία ή να βοηθούν στη φόρτωση και εκφόρτωση του κλιβάνου ή σε μεγαλύτερα μεγέθη θαλάμων.

Οι φούρνοι μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά: 1) Από 1200 °C ως 1400 °C ως μέγιστες θερμοκρασίες, καλό θα ήταν να είναι εξοπλισμένη με προστασία από υπερθέρμανση. 2) Έχουν εξαιρετική ομοιομορφία και έλεγχος της θερμοκρασίας. 3) Ο φούρνος αυτός έχει ανθεκτική κατασκευή με κοίλο χάλυβα και χάλυβα με επίστρωση ψευδαργύρου και κατασκευή διπλού τοιχώματος που εξασφαλίζει την ασφάλεια χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία. 4) Πρέπει να κατασκευαστεί με χειροκίνητη πόρτα που ανοίγει κάθετα και κρατάει το ζεστό πρόσωπο μακριά από τον χειριστή. 5) Με χαμηλή θερμική μόνωση για υψηλή ενεργειακή απόδοση, στεγανή εστία καρβιδίου πυριτίου. 6) Το εύρος των 1200 °C θερμαίνεται με βαριά στοιχεία καλωδίων στην οροφή και κάτω από την εστία ενώ οι 1400 °C επιτεύχονται από υψηλής ποιότητας στοιχεία καρβιδίου του πυριτίου στην οροφή και κάτω από την εστία ενώ η ασφάλεια κλειδώματος θυρών απομονώνει την τροφοδοσία από τα στοιχεία κάθε φορά που ανοίγει η πόρτα. 7) Η πόρτα μπορεί να κινείται με πνευματική ή ηλεκτρική ενέργεια. 8) Επιπλέον μπορούμε με αυτό το είδος φούρνων να κάνουμε κατεργασίες με τροποποιημένες ατμόσφαιρες έως 1000 με 1050°C μονάδα τηλεχειρισμού. Πρέπει να εξασφαλίζουμε ομοιόμορφη θερμοκρασία μέσα στο χώρο του φούρνου και όταν η θερμοκρασία ελέγχετε με θερμοστοιχείο χρειαζόμαστε βαθμονόμηση του συστήματος μέτρησης από τον ελεγκτή μέσω της γραμμής μέτρησης στο θερμοστοιχείο. Να κάνουμε επιθεωρήσεις της ακρίβειας του συστήματος με δοκιμές που πρέπει να διεξάγονται με συσκευές μέτρησης και αισθητήρες που λειτουργούν ανεξάρτητα από τα όργανα κλιβάνου. Τα συστήματα του φούρνου σε αυτή την περίπτωση μπορεί να είναι οι συσκευές εγγραφής δεδομένων π.χ. συσκευή καταγραφής θερμοκρασίας, καταγραφή δεδομένων, απεικόνιση και διαχείριση χρόνου μέσω του κέντρου ελέγχου.

Οι φούρνοι μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας για θερμική επεξεργασία πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της παραγωγής. Για πρότυπα AMS 2750E Nadcap, που είναι πρότυπα για της προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού που ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Καθορίζουν τις ειδικές για τη βιομηχανία απαιτήσεις για θερμική επεξεργασία. Σήμερα, το AMS 2750 E και τα πρότυπα των παραγώγων όπως το AMS 2770 για τη θερμική επεξεργασία του αλουμινίου είναι οι κατευθυντήριες γραμμές για την αεροδιαστημική βιομηχανία.

Οι φούρνοι μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακού ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες, ανάλογα με τις απαιτήσεις ποιότητας της εργασίας θερμικής επεξεργασίας. Ο πελάτης καθορίζει τον τύπο οργάνων και την τάξη ομοιομορφίας της θερμοκρασίας. Ο τύπος οργάνων περιγράφει τον απαραίτητο συνδυασμό του εφαρμοζόμενου ελέγχου.



Εικόνα 55: Φούρνος μεγάλου θαλάμου υψηλής θερμοκρασίας.

2.7.4 Βιομηχανικοί φούρνοι με MoSi_2

Οι βιομηχανικοί φούρνοι αυτοί έχουν μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας τους $1600\text{ }^\circ\text{C}$ έως $1800\text{ }^\circ\text{C}$ και έχουν στοιχεία κατασκευασμένα από το MoSi_2 , εξού και το ονομά τους.

Η θερμική επεξεργασία με βιομηχανικούς φούρνους τέτοιου είδους, είναι δυνατή μόνο στον αέρα. Μπορεί να παρασχεθεί πρόσθετη τροφοδοσία αερίου, με βαλβίδα χειρός και περιστροφική διάταξη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ελαφρά τροποποίηση της ατμόσφαιρας που θα καταστέλλει μόνο το επίπεδο οξυγόνου καθώς το σύστημα δεν είναι σφραγισμένο. Ως αποτέλεσμα οι βιομηχανικοί φούρνοι αυτοί τους καθιστά ιδανικούς για τη σύντηξη κεραμικών και κεραμικών οξειδίων.

Απαιτείται απόκρυψη πριν από την πυροσυσσώματωση. Το πακέτο εκκένωσης αποτελείται από μια είσοδο για προθερμαινόμενο αέρα, με αρκετές εισόδους αερίου και έναν καυστήρα. Ο προθερμαινόμενος αέρας καθαρίζεται συμμετρικά σε αρκετές εισόδους αερίου στον φούρνο, πράγμα που βελτιώνει την ομοιομορφία της θερμοκρασίας σε χαμηλές θερμοκρασίες και την περιτύλιξη του δείγματος από τον εισερχόμενο αέρα. Όλα τα αέρια υποπροϊόντα που παράγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποξήρανσης καίγονται σε έναν μετακαυστήρα, ο οποίος οδηγείται από αέριο προπάνιο και πεπιεσμένο αέρα. Με την ολοκλήρωση της αφαίρεσης, η θερμοκρασία του φούρνο θα αυξηθεί για να ξεκινήσει η διαδικασία πυροσυσσώματωσης.

Παραδείγματα εφαρμογής του συγκεκριμένου φούρνου είναι τα εξής: Ανόπτηση, χύτευση με κεραμική έγχυση, καθαρισμός, αφαίρεση στον αέρα, απαέρωση, ξήρανση, πυροσυσσώματωση, πυροσυσσώματωση στον αέρα, εξάχνωση, σύνθεση και βαφή.

Οι βιομηχανικοί φούρνοι MoSi_2 , έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: 1) Από 1600°C ως 1800°C μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας. 2) Γενικά μεγάλη χωρητικότητα. 3) Καλό θα ήταν να παρέχεται προστασία από υπερθέρμανση. 4) Υψηλής ποιότητας θερμαντικά στοιχεία μολυβδαίνιο δισιλικόκτονο. 5) Πυρίμαχο εσωτερικό που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ενεργειακά αποδοτική χαμηλή μόνωση θερμικής μάζας. 6) Η απελευθέρωση των αερίων από εντός του θαλάμου στον αέρα θα πρέπει να υφίστανται καθαρισμό. 7) Η τροφοδοσία αερίου με χειροκίνητο ή αυτόματα ρυθμιζόμενο μετρητή ροής. 8) Μπορεί να επιτευχθεί η τροποποίηση της ατμόσφαιρας στο θάλαμο του κλιβάνου, αλλά το οξυγόνο δεν μπορεί να απομακρυνθεί εντελώς επειδή είναι δύσκολο αυτού του είδους φούρνοι να κατασκευαστούν αεροστεγής, η πόρτα πρέπει να διατηρεί τη θερμαινόμενη επιφάνεια μακριά από τον χρήστη.

Οι βιομηχανικοί φούρνοι αυτοί με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένοι με επικοινωνίες.

Τα θερμαντικά στοιχεία σχήματος U, Z, X και διαφόρων άλλων, κατασκευασμένα από διλιλικού μολυβδενίου (MoSi_2), μπορούν να είναι τοποθετημένα σε κάθετη κρεμαστή θέση ή στις 4 πλευρές του φούρνου. Η θερμότητα είναι μονωμένη με πλάκες από κεραμικές ίνες, οι οποίες κατασκευάζονται σε στρώματα με κατάλληλο πάχος για βελτιωμένη ομοιομορφία θερμοκρασίας. Η μέγιστη θερμοκρασία των πλακών επιλέγεται ανάλογα με τη μέγιστη θερμοκρασία του κλιβάνου.

Η ψύξη του νερού δεν απαιτείται, καθώς το συγκεκριμένο μονωτικό υλικό έχει χαμηλή αγωγιμότητα θερμότητας. Σε κάποιο άλλο χαμηλότερης ποιότητας μονωτικό υλικό τότε πρέπει να έχουμε ψύξη του νερού. Το σύστημα ψύχεται εξωτερικά με τη μεταφορά αέρα σε φυσική ροή και περιβάλλεται από τις μεταλλικές πλάκες. Τα θερμαντικά στοιχεία διλιλικού μολυβδενίου (MoSi_2) είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για διαδικασίες υψηλής θερμοκρασίας. Σε υψηλές θερμοκρασίες, το διλιλικό μολυβδένιο δημιουργεί φυσικά ένα προστατευτικό στρώμα οξειδίου. Και έχει εξαιρετική ομοιομορφία θερμοκρασίας και συμπαγή σχεδιασμό.



Εικόνα 56: Βιομηχανικός φούρνος διλιλικού μολυβδενίου MoSi₂.

2.7.5 Φούρνοι καυσαερίων

Οι φούρνοι καυσαερίων έχουν μια αυτόματα λειτουργούμενη κατακόρυφη κουκούλα για θερμική επεξεργασία στον αέρα. Ο σχεδιασμός του κινούμενου καλύμματος επιτρέπει την πρόσβαση σε δείγματα από τρεις πλευρές. Μπορεί να είναι εξοπλισμένο με συρματόσχοινα θέρμανσης κράματος σιδήρου χρωμίου αλουμινίου (CrFeAl) για θερμοκρασίες μέχρι 1300 °C ή με θερμαντικά στοιχεία διλιλικού μολυβδενίου (MoSi₂) για θερμοκρασίες έως 1800 °C.

Όλες οι εφαρμογές στους φούρνους καυσαερίων απαιτούν τη χρήση ενός προαιρετικού μετα-καυστήρα. Ο μετα-καυστήρας μπορεί να οδηγείται από προπάνιο και πεπιεσμένο αέρα για να καίει οποιοδήποτε συνδετικό εξάτμισης.

Οι φούρνοι καυσαερίων συνήθως έχουν ειδικά διαμορφωμένους κλιβάνους έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τις συγκεκριμένες ανάγκες θερμικής επεξεργασίας. Είναι δυνατόν οι φούρνοι καυσαερίων να εξοπλιστούν με ένα σύστημα κυκλοφορίας αερίου για τη βελτίωση της ομοιομορφίας της θερμοκρασίας. Αρκετά θερμοστοιχεία δείγματος μπορούν να εισαχθούν στο θάλαμο του κλιβάνου για να παρακολουθήσουν και να ελέγξουν το προφίλ θερμοκρασίας. Μέσω της χρήσης μιας σειριακής διασύνδεσης, τα δεδομένα των θερμοστοιχείων καταγράφονται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα για αξιολόγηση.

Οι φούρνοι καυσαερίων έχουν παραδείγματα εφαρμογής τα εξής: Ανόπτηση, χύτευση με κεραμική έγχυση, καθαρισμός, αφαίρεση στον αέρα, απαέρωση, ξήρανση, πυροσυσσωμάτωση, πυροσυσσωμάτωση στον αέρα, εξάχνωση, σύνθεση και βαφή.

Οι φούρνοι καυσαερίων έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: 1300 °C με 1800 °C ως μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας. Μπορούν να έχουν μεγάλη χωρητικότητα, για θερμοκρασίες μέχρι 1300 °C έχουμε τα θερμαντικά στοιχεία κράματος σιδήρου χρωμίου αλουμινίου (CrFeAl) και υψηλής ποιότητας θερμαντικά στοιχεία διλιλικού μολυβδαινίου (MoSi₂) για θερμοκρασίες από 1600 °C ως 1800 °C . Πυρίμαχο εσωτερικό που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ενεργειακά αποδοτική χαμηλή μόνωση θερμικής μάζας. Προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας που συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων και για μη επιτηρούμενη λειτουργία. Εισαγωγή αερίου για λειτουργία υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα ακόμη και αν δεν είναι αεροστεγές ο φούρνος.

Οι φούρνοι καυσαερίων με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.



Εικόνα 57: Παρουσιάζεται ένας φούρνος καυσαερίων

2.7.6 Φούρνος θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας

Οι φούρνοι θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας συνήθως είναι εφοδιασμένοι με μεταλλικό αποστακτήρα για την απαραίτητη παροχή θερμαινόμενου όγκου με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα . Οι φούρνοι θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας έχουν επένδυση δαπέδου με ομαλή διάταξη και αρθρωτή πόρτα που είναι αναγκαία .

Οι φούρνοι θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας έχουν μέγιστη θερμοκρασία από 1000 °C έως και 1150 °C και αυτό εξαρτάται από το υλικό απόρριψης που επιλέγουμε να βάλουμε. Οι όγκοι εργασίας των φούρνων θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας είναι σχετικά μεγάλοι σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη.

Οι φούρνοι θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα οξυγόνου έως και 30 ppm ανάλογα με την εφαρμογή. Ιδανικό για κατασκευαστικά εξαρτήματα που παράγουν πρόσθετα απόσβεσης τάσεων. Οι φούρνοι θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας για θερμική επεξεργασία πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της παραγωγής για πρότυπα AMS 2750E Nadcap, τα οποία είναι πρότυπα για τις προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού που ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Καθορίζουν τις ειδικές για τη βιομηχανία απαιτήσεις για θερμική επεξεργασία. Σήμερα, το AMS 2750 E και τα πρότυπα των παραγώγων όπως το AMS 2770 για τη θερμική επεξεργασία του αλουμινίου είναι οι κατευθυντήριες γραμμές για την αεροδιαστημική βιομηχανία.

Οι φούρνοι θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας έχουν παραδείγματα εφαρμογής τα εξής: πυρόλυση, ανακούφιση από την τάση 3D κατασκευασμένων εξαρτημάτων.

Οι φούρνοι θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Μέγιστες θερμοκρασίες που εξαρτώνται από το υλικό απόρριψης όπως είπαμε παραπάνω και πιο συγκεκριμένα για 310 ανοξείδωτο χάλυβα μέγιστη θερμοκρασία έχουμε τους 1000 °C, για 314 ανοξείδωτο χάλυβα μέγιστη θερμοκρασία έχουμε τους 1050 °C, για μέγιστη θερμοκρασία έχουμε τους 1100 °C. Συνήθως χρησιμοποιείται Inconel είναι μια οικογένεια ωστενιτικών υπερκραμάτων με βάση το νικέλιο και το χρώμιο. Τα κράματα Inconel είναι υλικά ανθεκτικά στην οξειδωση-διάβρωση και είναι κατάλληλα για να λειτουργούν σε ακραία περιβάλλοντα που υπόκεινται σε πίεση και θερμότητα. Όταν θερμαίνεται το Inconel σχηματίζει ένα παχύ, σταθερό, παθητικό στρώμα οξειδίου που προστατεύει την επιφάνεια από περαιτέρω επίθεση. Το Inconel διατηρεί τη δύναμη του σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, ελκυστικό για εφαρμογές σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου το αλουμίνιο και ο χάλυβας θα υπέκυπταν σε ερπυσμό εξαιτίας θερμικώς επαγόμενων κενών κρυστάλλων. Η αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία του Inconel αναπτύσσεται με την ενίσχυση του στερεού διαλύματος ή τη σκλήρυνση της βροχής, ανάλογα με το κράμα. Τα κράματα Inconel χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας. Οι κοινές εμπορικές ονομασίες για το Inconel Alloy 625 περιλαμβάνουν: Inconel 625 και Chronin 625. Για μέγιστες θερμοκρασίες έως 1150 °C έχουμε το κράμα HAYNES 230, είναι κράμα νικελίου-χρωμίου-βολφραμίου-μολυβδαινίου που συνδυάζει εξαιρετική αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία, εξαιρετική αντοχή σε οξειδωτικά περιβάλλοντα μέχρι 1149 °C για παρατεταμένες εκθέσεις, περιβάλλον και εξαιρετική μακροχρόνια θερμική σταθερότητα. Είναι εύκολα κατασκευασμένο και διαμορφωμένο και μπορεί να χυτευθεί. Άλλα ελκυστικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν χαμηλότερα χαρακτηριστικά θερμικής διαστολής από τα περισσότερα κράματα υψηλής θερμοκρασίας και έντονη αντοχή στην κοκκοποίηση των κόκκων με παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες.

Επίσης καλό θα ήταν να έχουμε και προστασία από υπερθέρμανση, σύστημα αερίου με μετρητές ροής για άζωτο ή αργό ελεύθερα ακτινοβολούμενα σύρματα στην οροφή και κάτω από την εστία. Χαμηλή θερμική μόνωση για γρήγορη απόκριση και ενεργειακή απόδοση, διπλή αρθρωτή πόρτα που να προστατεύει τον χρήστη από υπερβολική ζέστη και προπάντων να είναι στεγανή. Φτιαγμένη από καουτσούκ σιλικόνης και να είναι ασφαλείας. Έλεγχος θερμοστοιχείων τύπου R ή θερμοστοιχείων τύπου K. Σε αυτούς τους φούρνους μπορούμε να κάνουμε κενό μέχρι και 10^{-2} mbar για ταχύτερη αλλαγή ατμόσφαιρας και αυτό μόνο σε

θερμοκρασία δωματίου αλλά χρειάζεται ένα φίλτρο κενού. Χρειαζόμαστε σύστημα ψύξης με περίπου 5 λίτρα το λεπτό ανα KW και δεν γίνεται να τον εξοπλίσουμε με σύστημα μετάκαυσης για τα βαρέα τεμάχια μπορούμε να εφαρμόσουμε μια φόρτωση καρτσιού.

Οι φούρνοι αυτοί, με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.



Εικόνα 58: Φούρνος θαλάμου τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

2.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΚΛΙΒΑΝΟΙ

2.8.1 Κλασικός εργαστηριακός κλίβανος

Οι κλασικοί εργαστηριακοί κλίβανοι είναι τοποθετημένοι σε πάγκους, σχεδιασμένοι για ελαφριά χρήση και γενική χρήση έως 1100 °C. Αυτοί οι εργαστηριακοί κλίβανοι έχουν μια απλή πόρτα και μία κεραμική καμινάδα πάνω τοποθετημένη. Ο συνδυασμός χαμηλής

θερμικής μόνωσης μάζας και ελεύθερων ακτινοβολούντων καλωδίων, ενσωματωμένων στις πλευρές του θαλάμου παρέχει αποτελεσματική θέρμανση.

Οι κλασικοί εργαστηριακοί φούρνοι έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας ως και τους 1100 °C, μικρός όγκος θαλάμου. Έχουν πόρτα που ανοίγει προς τα κάτω με κενό αέρα για να ελαχιστοποιεί την εξωτερική θερμοκρασία, τοποθετούμε χαμηλή μόνωση θερμικής μάζας και σκληρή κεραμική εστία. Ο φούρνος αερίζεται μέσω κεραμικής καμινάδας τοποθετημένης επάνω, καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων για μη επιτηρούμενη λειτουργία.



Εικόνα 59 : Ένας Κλασικός εργαστηριακός κλίβανος.

2.8.2 Φούρνος εργαστηρίου γενικής χρήσης

Οι φούρνοι εργαστηρίου γενικής χρήσης συνήθως είναι τοποθετημένοι σε πάγκο, έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας έως τους 1300 °C. Η ροή αέρα στους φούρνους ενισχύεται από την προσθήκη οπών εισόδου αέρα στην πόρτα και από μια ψηλή καπνοδόχο που αφαιρεί γρήγορα τους καπνούς από τον κλίβανο.

Οι φούρνοι εργαστηρίου γενικής χρήσης αν τους ενσωματωθεί ένας ζυγός, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές θερμογονιστικής ανάλυσης και απώλειας κατά την ανάφλεξη, όπου η αλλαγή βάρους του δείγματος πρέπει να παρακολουθείται κατά τη διαδικασία θέρμανσης. Αυτό απαιτείται, για παράδειγμα, στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε ανόργανα υλικά σε υλικά όπως τσιμέντο, ασβέστη, φρυγμένο βωξίτη και πυρίμαχα υλικά.

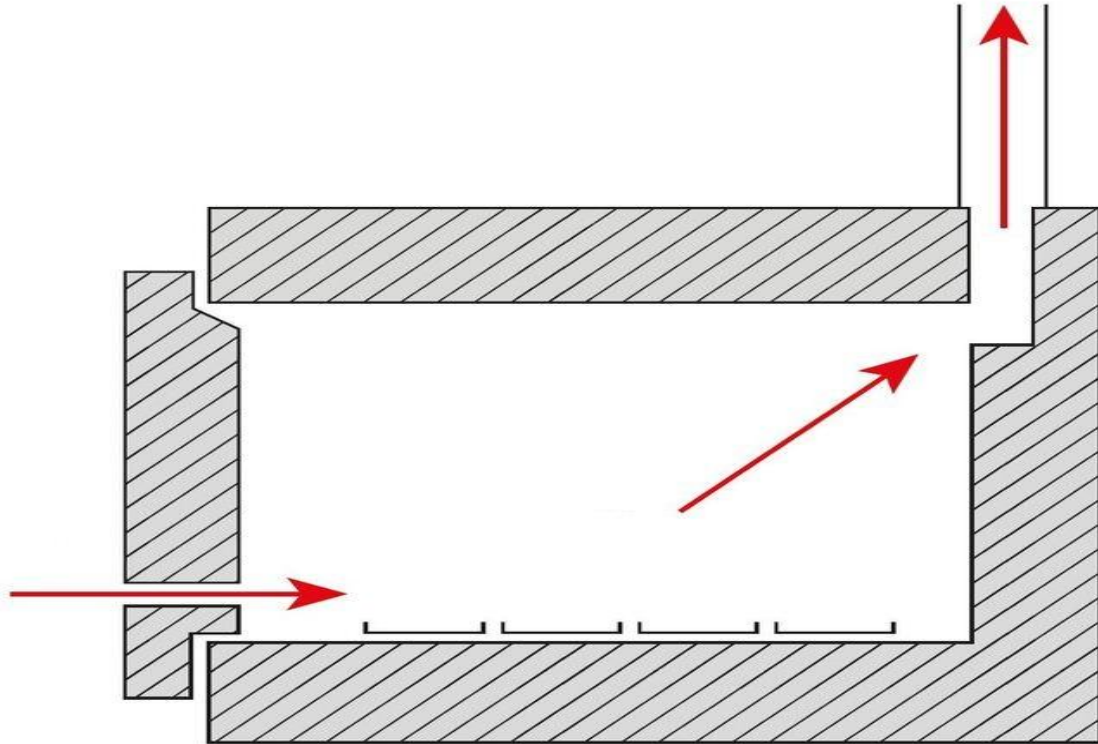
Οι φούρνοι εργαστηρίου γενικής χρήσης έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1100 °C με 1300 °C, οι φούρνοι εργαστηρίου

γενικής χρήσης έχουν μικρό όγκο θαλάμου. Συνήθως σχεδιάζεται με πόρτα παράλληλης δράσης που διατηρεί τη θερμαινόμενη επιφάνεια μακριά από τον χρήστη, ενεργειακά αποδοτική με χαμηλή θερμομονωτική μάζα, ελεύθερα ακτινοβολούμενα σύρματα για βέλτιστη ομοιομορφία. Η εύκολη πρόσβαση σε στοιχεία και χειριστήρια απλοποιεί τη συντήρηση. Οι φούρνοι εργαστηρίου γενικής χρήσης για θερμική επεξεργασία πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της παραγωγής για πρότυπα AMS 2750E Nadcap. Πρότυπα για τις προδιαγραφές αεροδιαστημικού υλικού, που ισχύουν για τη βιομηχανική επεξεργασία από υλικά υψηλής ποιότητας. Καθορίζουν τις ειδικές για τη βιομηχανία απαιτήσεις για θερμική επεξεργασία. Σήμερα, το AMS 2750 E και τα πρότυπα των παραγώγων όπως το AMS 2770 για τη θερμική επεξεργασία του αλουμινίου είναι οι κατευθυντήριες γραμμές για την αεροδιαστημική βιομηχανία. Οι φούρνοι εργαστηρίου γενικής χρήσης μπορούν να εξοπλιστούν, α) με ανεμιστήρα για βελτιωμένη ροή αέρα με ψηλές καπνοδόχους και αεραγωγούς πόρτας για πλήρη καύση, β) με ενσωματωμένο ζυγό που λειτουργεί ανεξάρτητα από το σύστημα ελέγχου του κλιβάνου, το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να μπορεί να παρακολουθήσει την ανάγνωση ζυγοστάθμισης μέσω υπολογιστή και με ανάλυση κοντά στα 0,01 g για λίγα κιλά και 0,1 g και πολλά κιλά. Καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων για μη επιτηρούμενη λειτουργία.

Οι φούρνοι εργαστηρίου γενικής χρήσης με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.



Εικόνα 60: Φούρνος εργαστηρίου γενικής χρήσης



Εικόνα 61 : Στην εικόνα παρουσιάζεται η ροή αέρα μέσα στον φούρνο εργαστηρίου γενικής χρήσης με ανεμιστήρα.

2.8.3 Φούρνοι γρήγορης θέρμανσης θαλάμου

Οι φούρνοι γρήγορης θέρμανσης θαλάμου έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1100 °C με 1200 °C. Τα ελεύθερα ακτινοβολούμενα σύρματα σε συνδυασμό με χαμηλή μόνωση θερμικής μάζας είναι σχεδιασμένα να παρέχουν ταχεία θερμική απόκριση μέσα στο θάλαμο.

Οι φούρνοι γρήγορης θέρμανσης θαλάμου σύρματος έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1100 °C με 1200 °C, έχουν μικρό όγκο θαλάμου και ο σχεδιασμός των φούρνων πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να λαμβάνει ο θάλαμος τους 1000 °C μέσα σε 10 λεπτά και αυτό μπορεί να επιτευχθεί χάρις την ταχεία θερμική απόκριση που έχουν τα ελεύθερα ακτινοβόλα σύρματα και την χαμηλή θερμική μόνωση για υψηλή ενεργειακή απόδοση.

Η πόρτα μπορεί να είναι στο επάνω μέρος και θα διατηρεί τη θερμαινόμενη επιφάνεια μακριά από τον χρήστη ή μια πόρτα παράλληλης δράσης που να έχει μαλακό κλείσιμο και να διατηρεί τη θερμαινόμενη επιφάνεια μακριά από τον χρήστη επίσης. Καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων για μη επιτηρούμενη λειτουργία.

Οι φούρνοι γρήγορης θέρμανσης θαλάμου με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.



Εικόνα 62 : Φούρνος γρήγορης θέρμανσης θαλάμου.

2.8.4 Φούρνος φόρτωσης κορυφής

Οι φούρνοι φόρτωσης κορυφής είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για εφαρμογές που περιλαμβάνουν ψηλούς χωνευτήρες και βαριά συστατικά. Τα στοιχεία θέρμανσης τοποθετούνται και στους τέσσερις τοίχους και ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο ζημιάς από διαρροές και εξασφαλίζουν καλή ομοιομορφία θερμοκρασίας. Αυτοί οι κλίβανοι βρίσκονται στο πάτωμα.

Οι φούρνοι φόρτωσης κορυφής έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1200 °C. Οι φούρνοι φόρτωσης κορυφής έχουν μεσαίο όγκο θαλάμου, στοιχεία ακτινοβολίας σε όλες τις 4 πλευρές του θαλάμου, επάνω πόρτα, γωνιακό πίνακα ελέγχου που θα είναι προστατευμένος αλλά ορατός και θερμοστοιχείο προστατευμένο από κεραμικό μανδύα.

Καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων για μη επιτηρούμενη λειτουργία.

Οι φούρνοι φόρτωσης κορυφής με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και τέλος μπορούν να είναι συνδεδεμένοι με επικοινωνίες.

Αυτοί οι φούρνοι φόρτωσης κορυφής έχουν μεσαίο βαθμό θερμικής απόκρισης, αφού κυμαίνεται μεταξύ 100 έως 130 λεπτά να θερμανθούν στους 1200 °C και αυτός ο χρόνος εξαρτάται από την ισχύ του συστήματος αντιστάσεων του φούρνου φόρτωσης κορυφής. Η ισχύ αυτή κυμαίνεται από 600 έως 6000 W, ανάλογα το μέγεθος του φούρνου και σε μέγιστη ισχύ από 2500 έως 15000 W. Από ότι συμπεραίνουμε η ισχύς ως και δεκαπλασιάζεται ανάλογα με το μέγεθος.



Εικόνα 63: Φούρνος φόρτωσης κορυφής.

2.8.5 Φούρνος υψηλών θερμοκρασιών

Θερμαινόμενοι φούρνοι υψηλών θερμοκρασιών με καρβίδιο του πυριτίου, μπορεί να διαθέτουν τρεις μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας 1400 °C, 1500 °C και 1600 °C. Για να έχουμε γρήγορους ρυθμούς θέρμανσης πρέπει να σχεδιάσουμε τους φούρνους με ισχυρές κατασκευές και τα υψηλής ποιότητας στοιχεία συνήθως φτάνουν στους 1400 °C σε λιγότερο από 40 λεπτά στους φούρνους του εμπορίου. Οι ισχυρές κατασκευές και τα υψηλής ποιότητας στοιχεία έχουν σαν αποτέλεσμα μια μεγάλη αξιόπιστη διάρκεια ζωής.

Οι φούρνοι υψηλών θερμοκρασιών έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα ακόλουθα: Θερμοκρασίες λειτουργίας 1400 °C, 1500 °C και μέγιστη θερμοκρασία λειτουργία τους 1600 °C. Φούρνοι υψηλών θερμοκρασιών έχουν μικρό όγκο θαλάμου και πόρτα παράλληλης δράσης. Θερμαντικά στοιχεία καρβιδίου πυριτίου παρέχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι σε θέση να αντέξουν τις καταπονήσεις σε περιοδικές διακοπόμενες λειτουργίες. Η εστία συνήθως κατασκευάζεται από καρβίδιο του πυριτίου ή από χυτή αλουμίνα, χαμηλή θερμομονωτική μάζα για υψηλή ενεργειακή απόδοση. Καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων για μη επιτηρούμενη λειτουργία. Οι φούρνοι υψηλών θερμοκρασιών με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων. Έπισης μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.

Αυτοί οι φούρνοι υψηλών θερμοκρασιών έχουν χαμηλό βαθμό θερμικής απόκρισης αφού κυμαίνεται μεταξύ 30 έως 38 λεπτά για να θερμανθούν στους 1400 °C, 40 λεπτά να θερμανθούν στους 1500 °C, 40 έως 110 λεπτά να θερμανθούν στους 1600 °C και αυτός ο χρόνος εξαρτάται από την ισχύ του συστήματος αντιστάσεων του. Οι φούρνοι υψηλών θερμοκρασιών που κυμαίνονται από ισχύ διατήρησης από 1900 έως 7000 W, ανάλογα το μέγεθος του φούρνου και σε μέγιστη ισχύ από 4500 έως 16000 W.



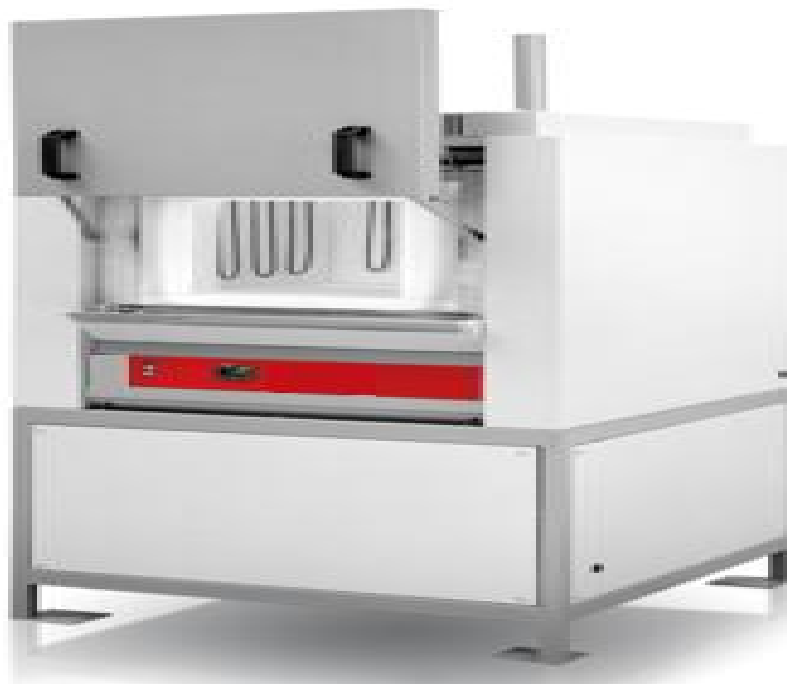
Εικόνα 64: Φούρνος υψηλών θερμοκρασιών.

2.8.6 Φούρνος εργαστηρίου υψηλών θερμοκρασιών

Οι φούρνοι εργαστηρίου υψηλής θερμοκρασίας έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1700 °C με 1800 °C. Μικρών διαστάσεων φούρνοι εργαστηρίου υψηλής θερμοκρασίας τοποθετούνται σε πάγκο και οι μεγάλοι φούρνοι στο πάτωμα. Αυτοί οι φούρνοι μπορούν να προσαρμοστούν για να ικανοποιήσουν συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως την προσθήκη καταλυτικών μετά από καύση για κεραμικές εφαρμογές καύσης συνδετικού υλικού.

Οι φούρνοι εργαστηρίου υψηλής θερμοκρασίας έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1700 °C έως 1800 °C. Έχουν μικρό όγκο θαλάμου, πρέπει να έχουν κατασκευαστεί με υψηλής ποιότητας θερμαντικά στοιχεία από δισιλικοειδές μολυβδένιο. Η πόρτα πρέπει να είναι παράλληλης δράσης και να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρεί τη θερμαινόμενη επιφάνεια μακριά από τον χρήστη. Το εσωτερικό είναι κατασκευασμένο με πυρίμαχο υλικό, που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ενεργειακά αποδοτική χαμηλή μόνωση θερμικής μάζας. Καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και να έχουμε ψύξη με ανεμιστήρες για χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία.

Οι φούρνοι εργαστηρίου υψηλών θερμοκρασιών με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.



Εικόνα 65: Φούρνος εργαστηρίου υψηλών θερμοκρασιών.

2.8.7 Φούρνοι φόρτωσης πυθμένα

Οι φούρνοι φόρτωσης πυθμένα χρησιμοποιούν ηλεκτρική εστία ανελκυστήρα, η οποία, καθώς ανεβαίνει στο θάλαμο του κλιβάνου, ανυψώνει το φορτίο στην θερμαινόμενη ζώνη. Αυτοί οι φούρνοι σχεδιάζονται με εξαγωγικό θάλαμο, παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: Εύκολη φόρτωση δειγμάτων και ομοιόμορφη θέρμανση που επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση στοιχείων στα έξι πλευρικά τοιχώματα του θαλάμου. Οι 1600 °C είναι ιδανικοί για την πυροσυσσωμάτωση πλαισίων ζirkονίας. Τα θερμαντικά στοιχεία καρβιδίου του πυριτίου δεν θα προκαλέσουν αποχρωματισμό του ζirkονίου.

Οι φούρνοι φόρτωσης πυθμένα έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1600 °C με 1800 °C, σχεδιάζονται συνήθως με εξαγωγικό θάλαμο. Φούρνοι φόρτωσης πυθμένα έχουν μικρο όγκο θαλάμου, είναι ιδανικοί για τη σύντηξη κεραμικών υψηλής απόδοσης, τη τήξη γυαλιού σε υψηλή θερμοκρασία ή την εργασία με τροποποιημένες ατμόσφαιρες. Οι γρήγοροι κύκλοι θέρμανσης και ψύξης μπορούν να επιτευχθούν σε αυτούς τους φούρνους με την ανύψωση και τη μείωση της εστίας. Η ηλεκτρικά ενεργοποιημένη εστία ανελκυστήρα προστατεύει τον χειριστή από την ακτινοβολούμενη θερμότητα του θαλάμου. Ο φούρνος πρέπει να έχει ασφαλή σύνδεση, η εξαγωγική σχεδίαση έχει ως αποτέλεσμα την εξαιρετική ομοιομορφία της θερμοκρασίας στο θάλαμο. Καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας.

α) Για τους 1600 °C θα πρέπει να κατασκευαστεί με στοιχεία καρβιδίου του πυριτίου.

β) Για τους 1700 °C και 1800 °C θα πρέπει να κατασκευαστεί με στοιχεία δισιλικοειδές μολυβδένιου.

Οι φούρνοι φόρτωσης πυθμένα με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες, συμβατά χωνευτήρια.

Οι φούρνοι φόρτωσης πυθμένα μπορούν να έχουν τροποποιημένη εστία για την εισαγωγή αερίων σε ανεστραμμένο χωνευτήριο, επίσης μπορούμε να προσαρμόσουμε αναδευτήρα μέσω της στέγης του θαλάμου και της περιστρεφόμενης εστίας. Σωλήνας προστασίας από αλουμίνια ψεκασμού με πλάσμα για την προστασία των θερμαντικών στοιχείων από τη μόλυνση του δείγματος.



Εικόνα 66: Φούρνος φόρτωσης πυθμένα.

2.9 ΦΟΥΡΝΟΙ ΚΕΝΟΥ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ

2.9.1 Φούρνος κενού φόρτωσης πυθμένα με στοιχεία μολυβδενίου ή βολφραμίου

Οι φούρνοι κενού φόρτωσης πυθμένα βασίζονται σε μεταλλικά στοιχεία μόνωσης και θέρμανσης. Οι φούρνοι κενού φόρτωσης αν κατασκευαστούν με στοιχεία θέρμανσης μολυβένιου τότε έχουμε μέγιστη θερμοκρασία τους 1600 °C και χρησιμοποιούν ασπίδες ακτινοβολίας μολυβδαινίου, ενώ με στοιχεία θέρμανσης βολφραμίου έχουμε μέγιστη θερμοκρασία τους 2200 °C και χρησιμοποιούν θωράκιση ακτινοβολίας βολφραμίου. Όταν έχουμε εξολοκλήρου κατασκευάσει από μέταλλο τον φούρνο εξασφαλίζουμε καθαρότερη ατμόσφαιρα και του καλύτερου επιπέδου κενού λειτουργίας.

Ένα ξεκάθαρο πλεονέκτημα είναι η εύκολη φόρτωση και εκφόρτωση των φούρνων φόρτωσης πυθμένα. Μόλις χαθεί η εστία, το δείγμα είναι προσβάσιμο από όλες τις πλευρές χωρίς περιορισμούς. Η φόρτωση του δείγματος είναι εξαιρετικά εύκολη και φιλική προς το χρήστη, ειδικά με ευαίσθητα δείγματα. Επιπροσθέτως, τα θερμοστοιχεία δειγμάτων μπορούν να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένες θέσεις εντός του θαλάμου. Η κίνηση της περιοχής φόρτωσης πρέπει να είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και να οδηγείται από ένα υδραυλικό βραχίονα. Επίσης πρέπει να τον σχεδιάσουμε τον φούρνο με τέτοιον τρόπο ώστε μόλις η

περιοχή φόρτωσης φτάσει στη χαμηλότερη θέση, ο χρήστης να μπορεί να περιστρέψει με μη αυτόματο τρόπο τη πλατφόρμα φόρτωσης προς τα έξω κατά 90°. Τα αέρια αζώτου, αργού και υδρογόνου είναι διαθέσιμα για χρήση είτε ως καθαρό είτε ως ανάμικτο αέριο. Μια μικρή υπερπίεση ή ελεγχόμενη μερική πίεση, για να καθοριστεί μια καθορισμένη ροή αερίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον φούρνο αυτού του είδους αν είναι επιθυμείτο. Διάφορες συσκευές δοσομέτρησης και ελέγχου πρέπει να ελέγχουν όλα τα αέρια. Ανάλογα με τις απαιτήσεις κενού, οι αντλίες κενού διαμορφώνονται ειδικά για την εφαρμογή ή όπως απαιτείται. Η θερμοκρασία ελέγχεται ανεξάρτητα για να επιτευχθεί η καλύτερη ομοιομορφία.

Οι φούρνοι κενού φόρτωσης πυθμένα έχουν παραδείγματα εφαρμογής τα εξής: Ανόπτηση, συγκόλληση, ενανθράκωση, χύτευση με κεραμική έγχυση, αποκόλληση, απαέρωση, ξήρανση, σκλήρυνση, χύτευση με έγχυση μετάλλου, πυρόλυση, σβέση, ταχεία πρότυπα, πυριτοποίηση, πυροσυσσωμάτωση, συγκόλληση, εξάχνωση, σύνθεση, βαφή.

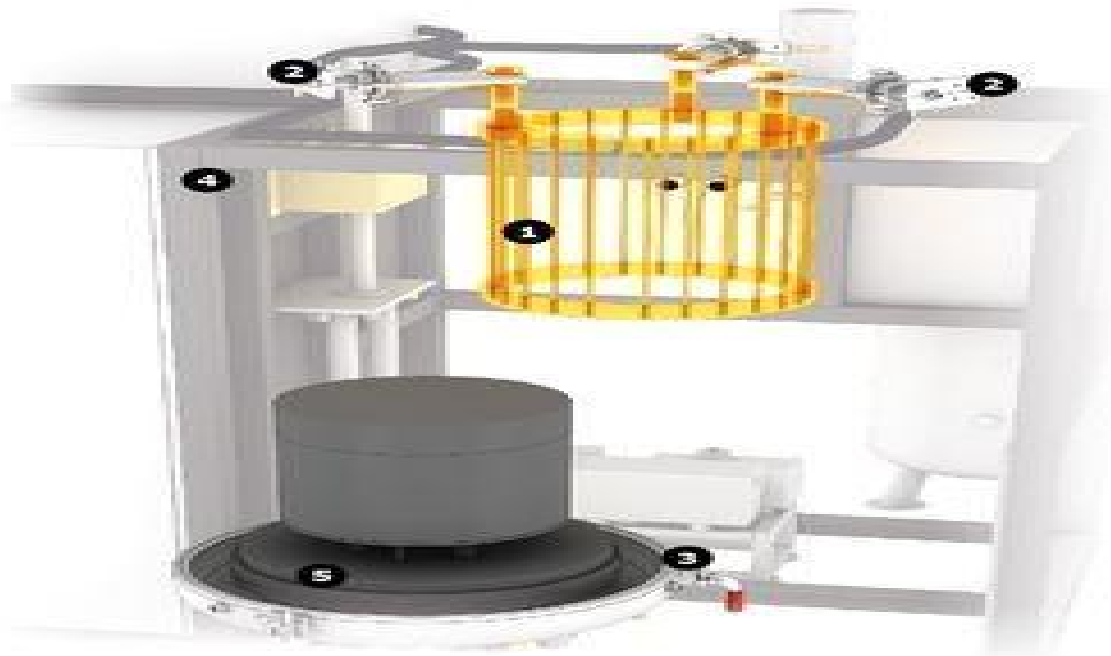
Οι φούρνοι κενού φόρτωσης πυθμένα έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Οι μεταλλικοί φούρνοι παρέχουν ακριβείς ατμόσφαιρες με την υψηλότερη δυνατή καθαρότητα, έχουμε ακριβώς ελεγχόμενες ταχύτητες άντλησης κενού κατάλληλες για χρήση με σκόνες. Μπορούμε σε αυτούς τους φούρνους να έχουμε πλήρως αυτόματη λειτουργία και εξαγωγή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας.

Ο φούρνος κενού φόρτωσης πυθμένα βασισμένος σε μεταλλικά υλικά πρέπει να είναι εφοδιασμένος με μια ζώνη θέρμανσης από βολφράμιο ή μολυβδαίνιο. Οι ασπίδες ακτινοβολίας που παρέχουν τη θερμομόνωση συνήθως είναι κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό με τα θερμαντικά στοιχεία. Στα τυποποιημένα συστήματα χρησιμοποιούνται εννέα ασπίδες ακτινοβολίας που περιβάλλουν τα θερμαντικά στοιχεία. Εάν απαιτείται χαμηλότερη μέγιστη θερμοκρασία, είναι δυνατόν να μειωθεί ο αριθμός των προστατευτικών ασπίδων. Και ο φούρνος αυτός είναι κατάλληλος για διαδικασίες υψηλού κενού. Τόσο το μολυβδαίνιο όσο και το βολφράμιο παρουσιάζουν πολύ χαμηλή πίεση ατμών ακόμη και στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Μόλις επιτευχθεί η μέγιστη θερμοκρασία, τα στοιχεία θέρμανσης είναι πολύ ευαίσθητα.



Εικόνα 67: Φούρνος κενού φόρτωσης πυθμένα.

Ο φούρνος κενού φόρτωσης πυθμένα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με πλήρως αυτοματοποιημένο λογισμικό και αξιόπιστη καταγραφή δεδομένων για μελλοντική αξιολόγηση της διαδικασίας. Όλα τα δεδομένα διεργασίας πρέπει να μετρώνται και να καταγράφονται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Αν εγκατασταθούν αυτοματοποιημένοι έλεγχοι τότε οι μονάδες μεγάλου όγκου είναι κατάλληλη για βιομηχανικές εφαρμογές και παραγωγή μεγάλης κλίμακας.



Εικόνα 68: Στην εικόνα παρουσιάζεται το εσωτερικό ενός φούρνου κενού φόρτωσης πυθμένα και τα κύρια εξαρτήματα του.

Στην εικόνα παραπάνω φαίνονται τα κυριότερα εσωτερικά εξαρτήματα :

1. Θερμαντικά στοιχεία
2. Νερό ψύξης
3. Μηχανισμός κλειδώματος
4. Πλαίσιο
5. Πλάκα τοποθέτησης τεμαχίων

2.9.2 Φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα

Οι φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα έχουν εύρος θερμοκρασιών από 2200 °C έως 3000 °C. Ένα ξεκάθαρο πλεονέκτημα είναι η εύκολη φόρτωση και εκφόρτωση των φούρνων γραφίτη με βάση πυθμένα. Μόλις χαθεί η εστία, το δείγμα είναι προσβάσιμο από όλες τις πλευρές χωρίς περιορισμούς. Η φόρτωση του δείγματος είναι εξαιρετικά εύκολη και φιλική προς το χρήστη, ειδικά με ευαίσθητα δείγματα. Επιπροσθέτως, τα θερμοστοιχεία δειγμάτων μπορούν να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένες θέσεις εντός του θαλάμου. Η κίνηση της περιοχής φόρτωσης συνήθως είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και οδηγείται από ένα υδραυλικό βραχίονα. Μόλις η περιοχή φόρτωσης φτάσει στη χαμηλότερη θέση, περιστρέφεται με μη αυτόματο τρόπο η πλατφόρμα φόρτωσης προς τα έξω κατά 90 °.

Οι φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα μπορούν να εργαστούν με αέρια αζώτου, αργού και υδρογόνου είναι διαθέσιμα για χρήση είτε ως καθαρό είτε ως ανάμικτο αέριο. Μια μικρή υπερπίεση ή ελεγχόμενη μερική πίεση, για να καθοριστεί μια καθορισμένη ροή αερίου,

μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτού του είδους φούρνους. Διάφορες συσκευές δοσομέτρησης και ελέγχου εγκαθίστανται, πρέπει να ελέγχουν όλα τα αέρια. Ανάλογα με τις απαιτήσεις κενού, οι αντλίες κενού διαμορφώνονται ανάλογα την εφαρμογή. Η θερμοκρασία κανονικά ελέγχεται ανεξάρτητα για να επιτευχθεί η καλύτερη ομοιομορφία.

Οι φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα έχουν παραδείγματα εφαρμογής τα εξής: Ανόπτηση, συγκόλληση, ενανθράκωση, χύτευση με κεραμική έγχυση αποκόλληση, απαέρωση, ξήρανση, σκλήρυνση, χύτευση με έγχυση μετάλλου, πυρόλυση, σβέση, γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων, πυριτοποίηση, πυροσυσσωμάτωση, συγκόλληση και εξάχνωση.

Οι φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα εξής: Οι φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα προσφέρουν υψηλές θερμοκρασίες ως και 3000°C, ακριβώς ελεγχόμενες ταχύτητες άντλησης κενού κατάλληλες για χρήση με σκόνες. Μπορούν να λειτουργούν με πλήρως αυτόματη λειτουργία και να έχουμε εξαγωγή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας.

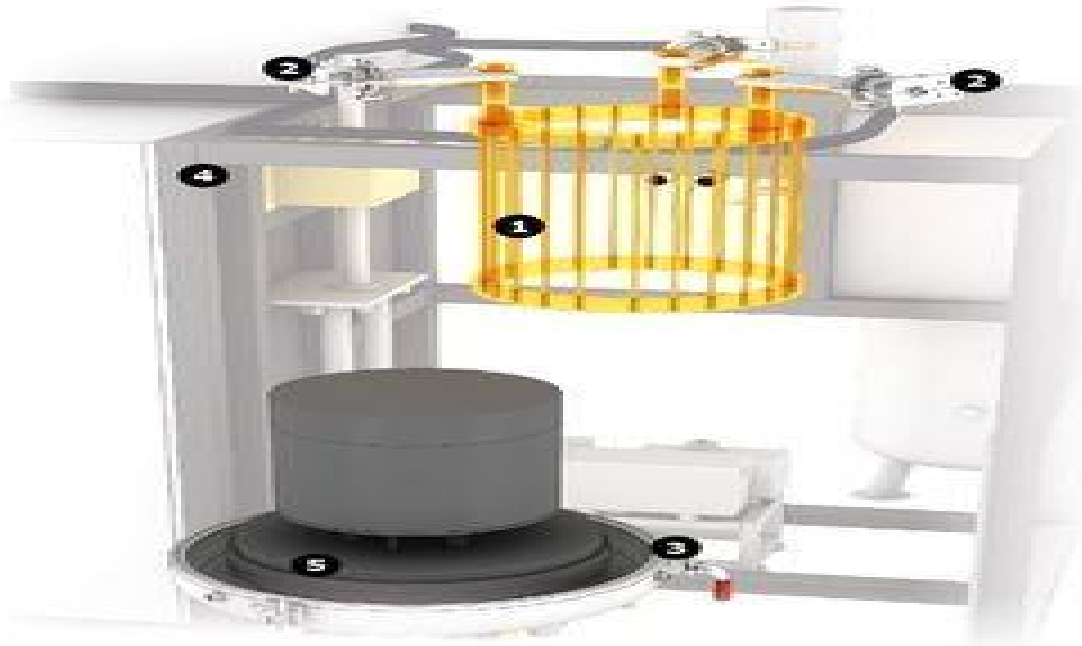
Οι φούρνοι γραφίτη με βάση πυθμένα πρέπει να έχουν μια ζώνη θέρμανσης κατασκευασμένη από γραφίτη. Ο θερμαντήρας μπορεί να είναι ελεγχόμενος από λογισμικό και εφοδιασμένος με ελεγκτή και θερμοστοιχείο που προορίζεται για προστασία από υπερθέρμανση. Ο θερμαντήρας του μανδύα αποτελείται από αρκετές ράβδους γραφίτη διατεταγμένους κατά μήκος της κυλινδρικής ή εξαγωνικής εστίας που είναι ασφαλισμένοι στην κορυφή του θαλάμου. Η μόνωση αυτού του συστήματος μπορεί να αποτελείται από τσιμέντο και από γραφίτη. Το σύστημα ψύξης περιβάλλει τον φούρνο και περιέχει νερό. Για τη φόρτωση και εκφόρτωση του κλιβάνου, οι σφιγκτήρες ασφάλισης μπορούν να λειτουργούν και χειροκίνητα. Οι σωλήνες κενού πρέπει επίσης να συνδέονται και να αποσπώνται χειροκίνητα, όλες οι κινήσεις της εστίας του φούρνου μπορούν να είναι πλήρως αυτοματοποιημένες. Τα αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά του φούρνου γραφίτη με βάση πυθμένα είναι ιδανικά για παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Ο γραφίτης είναι ένα πολύ ευπροσάρμοστο υλικό κατασκευής για φούρνους υψηλής θερμοκρασίας. Ωστόσο, αν το δείγμα είναι ευαίσθητο στον άνθρακα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μεταλλική κάμιнос.



Εικόνα 69: Φούρνος γραφίτη με βάση πυθμένα.

Στην εικόνα παρακάτω φαίνονται τα κυριότερα εσωτερικά εξαρτήματα ενός φούρνου γραφίτη με βάση πυθμένα:

1. Θερμαντικά στοιχεία γραφίτη
2. Νερό ψύξης
3. Μηχανισμός κλειδώματος
4. Πλαίσιο
5. Πλάκα τοποθέτησης τεμαχίων



Εικόνα 70: Στην εικόνα παρουσιάζεται το εσωτερικό ενός φούρνου γραφίτη με βάση πυθμένα.

2.10 ΦΟΥΡΝΟΙ ΣΩΛΗΝΑ

2.10.1 Φούρνος σωλήνα με σύστημα καυσαερίων υδρογόνου

Ο φούρνος σωλήνα με σύστημα καυσαερίων υδρογόνου πρέπει να έχει σχεδιαστεί για να πληρεί όλους τους απαιτούμενους κανονισμούς για τον ασφαλή χειρισμό του αερίου υδρογόνου. Κατ' αρχήν, κάθε φούρνος σωλήνων μπορεί να τροποποιηθεί για να λειτουργήσει με ασφάλεια με το υδρογόνο. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα κεραμικό σωλήνα με νερό και ψύχεται με στεγανές φλάντζες και στα δύο άκρα. Ο φούρνος σωλήνων είναι σε θέση να παρέχει θερμική επεξεργασία έως και 1600°C ακόμη και σε ατμόσφαιρα καθαρού υδρογόνου. Ο κεραμικός σωλήνας πλημμυρίζεται αυτόματα με αδρανές αέριο πριν από την εισαγωγή αερίου υδρογόνου για ασφάλεια. Το αδρανές αέριο παρέχεται από ένα σύστημα δεξαμενής πλημμυρίσματος που γεμίζει με αδρανές αέριο σε υψηλή πίεση. Για να καθαριστεί το απομένον οξυγόνο από το σωλήνα πριν από τη θερμική επεξεργασία, η δεξαμενή πλημμυρών αποφορτίζεται και στη συνέχεια επαναπληρώνεται. Το σύστημα εξαγωγής αερίου είναι συνδεδεμένο με ένα μετά την καύση εξώθηση της καύσης υδρογόνου.

Η είσοδος αερίου στον μετα-καυστήρα θερμαίνεται για να αποφευχθεί ο σχηματισμός συμπυκνώματος στο σύστημα. Ο μετα-καυστήρας οδηγείται από πεπιεσμένο αέρα και αέριο

προπάνιο. Ο μετα-καυστήρας θα καύση υδρογόνο και όλα τα άλλα αέρια παραπροϊόντα που παράγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Όλα τα αέρια πρέπει να ελέγχονται μέσω ενός πλήρως αυτοματοποιημένου ελεγκτή ροής. Σε περίπτωση ανίχνευσης δυσλειτουργίας, το σύστημα πρέπει να μεταφέρεται αμέσως σε ασφαλή κατάσταση. Όλες οι συσκευές κατασκευάζονται για να τηρούν τα πρότυπα SIL2. Ένας αισθητήρας υδρογόνου είναι εγκατεστημένος στην κορυφή του κλιβάνου και σε περίπτωση ανίχνευσης διαρροής υδρογόνου, ο αισθητήρας αποκρίνεται άμεσα. Εάν εντοπιστεί διαρροή υδρογόνου, ο κλιβανός πλημμυρίζεται με αδρανές αέριο και το σύστημα φτάνει σε ασφαλή κατάσταση. Όλοι οι φούρνοι σωλήνων μπορούν να χρησιμεύσουν ως σύστημα βάσης για χρήση με υδρογόνο. Ως εκ τούτου, είναι δυνατοί διάφοροι χρήσιμοι χώροι και θερμοκρασίες. Εάν απαιτείται υδρογόνο σε θερμοκρασία άνω των 1800 °C, θα πρέπει ο φούρνος να κατασκευαστεί με προστασία κρύου τοίχου.

Οι φούρνοι σωλήνα με σύστημα καυσαερίων υδρογόνου έχουν παραδείγματα εφαρμογής τα εξής: Ανόπτηση, χαλκοσυγκόλληση, χύτευση με κεραμική έγχυση, απαέρωση, ξήρανση, σύνδεση, χύτευση με έγχυση μετάλλου, πυρόλυση, σβέση, ταχεία σύντηξη, πυροσυσσωμάτωση, συγκόλληση και εξάχνωση.

Οι φούρνοι σωλήνα με σύστημα καυσαερίων υδρογόνου έχουν τυποποιημένα χαρακτηριστικά τα παρακάτω: Έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 1600°C και με ενισχυμένη προστασία τους 1800°C. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται έως και 100% καθαρότητα σε συστήματα ασφαλείας μετά την καύση και συστήματα δεξαμενής. Όλες οι διατάξεις ασφαλείας για τη λειτουργία του υδρογόνου, μείωση του οξυγόνου με καθαρισμό αδρανούς αερίου, μπορούν να λειτουργούν με πλήρως αυτόματη λειτουργία και να έχουμε εξαγωγή δεδομένων για διαχείριση ποιότητας, και διατίθεται μεγάλη ποικιλία υλικών κατασκευής των σωλήνων όπως ο χαλαζία, κεραμικό, μέταλλο. Για μονάδα άντλησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στροβιλοκινητική αντλία ή αντλίες περιστροφικών πτερυγίων δύο σταδίων. Μετρητής υψηλής πίεσης. Ο σωλήνας εργασίας πρέπει να συνδέεται στο σύστημα κενού μέσω σύνδεσης από ανοξείδωτο χάλυβα. Η πρόσβαση στο σωλήνα εργασίας γίνεται μέσω αφαιρούμενης φλάντζας κενού από ανοξείδωτο χάλυβα, πρέπει να τοποθετούνται ασπίδες ακτινοβολίας και στα δύο άκρα του σωλήνα εργασίας για να διατηρούν την ομοιομορφία χωρίς να μειώνουν τις ταχύτητες της αντλίας. Καλό θα ήταν να έχουμε προστασία από υπέρβαση θερμοκρασίας και συνιστάται για προστασία πολύτιμων περιεχομένων και για μη επιτηρούμενη λειτουργία. Μπορούμε να εγκαταστήσουμε συστήματα συμπλήρωσης αερίου, αυτόματα και ημιαυτόματα συστήματα κενού και έλεγχο για βελτιωμένη ομοιομορφία.

Οι Φούρνοι σωλήνα με σύστημα καυσαερίων υδρογόνου με την κατάλληλη τεχνογνωσία μπορούν να έχουν εξελιγμένους ψηφιακούς ελεγκτές, προγραμματιστές πολλαπλών τομέων και καταγραφικά δεδομένων και μπορούν να είναι συνδεδεμένα με επικοινωνίες.

2.10.2 Πιστοποίηση SIL

Το επίπεδο ακεραιότητας ασφαλείας (SIL) ορίζεται ως ένα σχετικό επίπεδο μείωσης κινδύνου που παρέχεται από μια συνάρτηση ασφάλειας ή για τον προσδιορισμό ενός επιδιωκόμενου επιπέδου μείωσης του κινδύνου. Με απλά λόγια, το SIL είναι μια μέτρηση της απόδοσης που απαιτείται για μια λειτουργία με όργανα ασφαλείας. Οι απαιτήσεις για ένα δεδομένο SIL δεν είναι συνεπείς μεταξύ όλων των προτύπων λειτουργικής ασφάλειας. Στα πρότυπα λειτουργικής ασφάλειας που βασίζονται στο πρότυπο IEC 61508, ορίζονται τέσσερα SILs, με το SIL 4 το πιο αξιόπιστο και το SIL 1 το λιγότερο. Το SIL καθορίζεται βάσει πολλών ποσοτικών παραγόντων σε συνδυασμό με ποιοτικούς παράγοντες.



Εικόνα 71: Φούρνος σωλήνα με σύστημα καυσαερίων υδρογόνου.

2.11 ΠΥΡΙΜΑΧΑ ΥΛΙΚΑ

Πυρίμαχο ονομάζεται κάθε υλικό που έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Υφίσταται δύσκολα αλλοιώσεις από αυτές και μόνο σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες είναι δυνατό να καεί. Υπάρχουν ωστόσο, και πυρίμαχα υλικά, όπως τα κεραμικά, τα οποία είναι άτηκτα. Γι' αυτή τους την εξαιρετικά ωφέλιμη ιδιότητα τα πυρίμαχα υλικά χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες υαλοουργίας, μεταλλουργίας, κατασκευής τσιμέντου, όπου χρειάζεται υψηλή αντοχή στην θερμότητα. Επίσης, από πυρίμαχο υλικό κατασκευάζονται και οι στολές των πυροσβεστών.

Πυροσκοπική αντίσταση ονομάζεται, στα πυρίμαχα υλικά, η θερμοκρασία στην οποία το υλικό αρχίζει να μαλακώνει.

Πυρίμαχα υλικά είναι ο **άργιλος**, ορισμένες ενώσεις του **πυριτίου**, του **αργιλίου** και του **μαγνησίου** κ.ά.

Θερμική αντοχή προσδιορίζει την ικανότητα ενός σώματος να υφίσταται αλληπαλληλες θερμοκρασιακές αλλαγές ή ακόμα και θερμικές τάσης χωρίς αυτό να υφίσταται αλλοιώσεις στη δομή του, ή παραμορφώσεις, ή ρηγματώσεις. Γενικά τα υλικά που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αντοχής χαρακτηρίζονται πυρίμαχα ή πυράντοχα, που μπορεί να αφορούν σκεύη για οικιακή μέχρι και βιομηχανική χρήση. Στη Μεταλλουργία τακτικά ακολουθούνται διάφορες διεργασίες προκειμένου μέταλλα και κράματα να αποκτήσουν υψηλή θερμική αντοχή.

Τα πυρίμαχα υλικά είναι ένα είδος υλικών τα οποία διατηρούν της μηχανικές τους ιδιότητες ακόμα και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες αυτά τα υλικά που είναι κατά πλειοψηφία ψαθυρά υλικά δηλαδή έχουν ελάχιστο ποσοστό παραμόρφωσης όταν ασκήσουμε μια δύναμη σε σχέση με κάποιο άλλο μη ψαθυρό υλικό (όλκιμο) και είναι υλικά τα οποία χάρις αυτών μπορούμε να κατασκευάσουμε καμίνια και διάφορες κατασκευές που αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες υπο ασκούμενο φορτίο. Σε αυτό το κεφάλαιο έχουμε αναφέρει ήδη διάφορα πυρίμαχα υλικά στα παραπάνω αυτού του κεφαλαίου όπου κατασκευάζονταν οι ασπίδες και τα τοιχώματα των φούρνων. Εδώ θα αναφέρουμε κάποια πυρίμαχα υλικά που βρίσκουμε στο εμπόριο και χρησιμοποιούνται στους ερασιτεχνικούς και βιομηχανικούς φούρνους.

Αυτά είναι μερικά από τα πυρίμαχα υλικά του εμπορίου:

Ταινία carbon

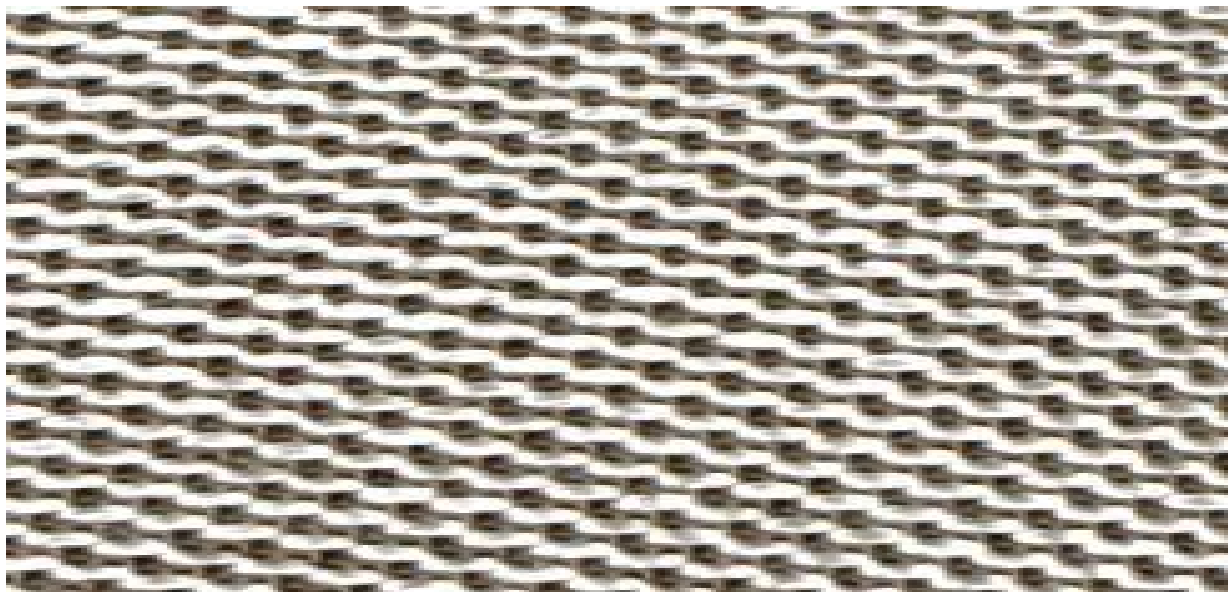
Η ταινία carbon είναι πλεκτή από ίνες PAN (Polyacetylo Nitril) με ειδική θερμική επεξεργασία κατά την διαδικασία παραγωγής. Είναι εύκαμπτη και έχει μεγάλη αντοχή, χρησιμοποιείται για θερμοκρασίες έως τους 450°C.



Εικόνα 72: Πυρίμαχο θερμομονωτικό υλικό με ίνες PAN (Polyacetylo Nitril).

Υφάσματα πυριτικής βάσης

Τα υφάσματα πυριτικής βάσης που βασίζονται σε ίνες πυριτίου για χρήση σε συνεχείς θερμοκρασίες έως 1200°C. Τα υφάσματα πυριτικής βάσης, χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως κατασκευές προστασίας από υψηλές θερμοκρασίες, ανοπτήσεις. Το υλικό στο εμπόριο έχει πάχος από 0,6 ως 1,2 mm. Επίσης μπορεί να είναι ενισχυμένο με συρματίδια χρωμίου για μεγαλύτερη μηχανική αντοχή σε οποιαδήποτε εφαρμογή υψηλών απαιτήσεων και αντοχή στα περισσότερα χημικά εκτός από υδροχλωρικό και φωσφορικό οξύ με πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες.



Εικόνα 73: Πυρίμαχο θερμομονωτικό υλικό υφάσματα πυριτικής βάσης.

Το θερμομονωτικό από **ίνες ασβεστίου πυριτίου** έχει διάμετρο περίπου τον 6 micron. Το κύριο χαρακτηριστικό του υλικού είναι η υψηλή μονωτική του δυνατότητα ακόμα και σε συνεχείς θερμοκρασίες έως 1000°C. Το υλικό θεωρείται το πιο κατάλληλο για την κατασκευή μονωτικών μαξιλαριών με πάχος του υλικού να είναι από 12 ως 25 mm.



Εικόνα 74: Ένα πυρίμαχο θερμομονωτικό υλικό από ίνες ασβεστίου πυριτίου.

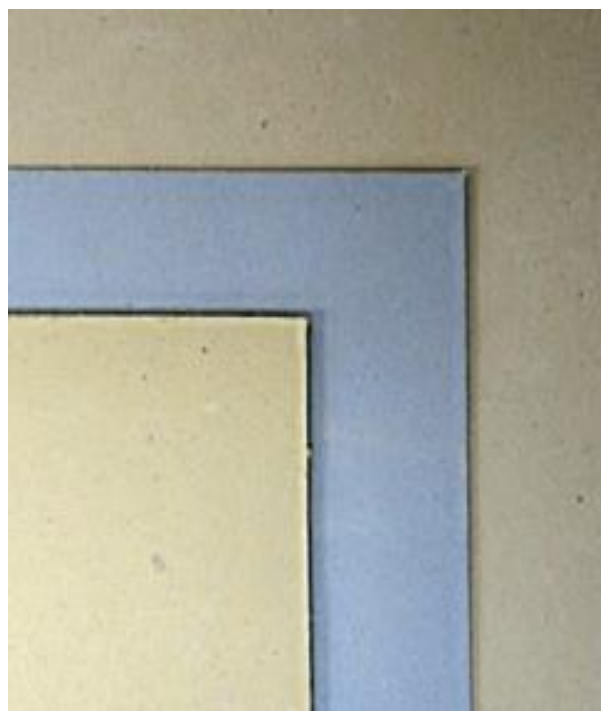
Επίσης στο εμπόριο υπάρχει θερμομονωτικό υλικό που συνίσταται από ίνες πυριτικής βάσης (SiO_2) οι οποίες είναι ανόργανες , μη τοξικές , δεν περιέχουν βαρέα μέταλλα. είναι κατάλληλες για θερμοκρασίες έως $1000\text{ }^\circ\text{C}$. Χρησιμοποιείται σε φούρνους, πόρτες και γενικά στην βιομηχανία επεξεργασίας μετάλλων.



Εικόνα 75 : Στην εικόνα φαίνεται ένα πυρίμαχο θερμομονωτικό υλικό πυριτικής βάσης (SiO_2).

Κεραμικά υλικό

Είναι ένα υλικό που αποτελείται από ίνες αμιάντου και κεραμικού που είναι ελεύθερες για χρήση σε θερμοκρασίες έως $1000\text{ }^\circ\text{C}$ και πάχη από 1,5 έως 13mm. Η βάση των κεραμικών μονωτικών προϊόντων είναι κυρίως κεραμικές ίνες που περιέχουν μικρές ποσότητες οργανικών ινών (20%), οι οποίες αποσυντίθενται μετά τους $200\text{ }^\circ\text{C}$. Οι ίνες είναι ενισχυμένες με ασάλινα συρματίδια, για την στεγάνωση σε υψηλές θερμοκρασίες έως $1100\text{ }^\circ\text{C}$ και θερμοκρασία τήξης $1790\text{ }^\circ\text{C}$. Οι ίνες γυαλιού ($700\text{ }^\circ\text{C}$) έχουν διάμετρο ίνας συνήθως 2 ως 3 micron και πάχος υφάσματος 2 mm ως 3 mm.



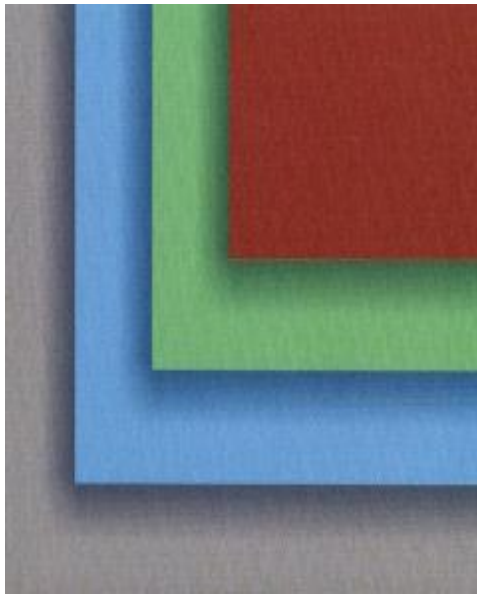
Εικόνα 76: Στην εικόνα αριστερά παρουσιάζεται ένα πυρίμαχο θερμομονωτικό φύλλο από ίνες αμιάντου και κεραμικού ενώ δεξιά παρουσιάζεται θερμομονωτικό ύφασμα από κεραμικές ίνες και ίνες γυαλιού.

Επίσης στην αγορά υπάρχει και το κεραμικό χαρτί . Τα κύρια χαρακτηριστικά του κεραμικού χαρτιού είναι η μεγάλη σταθερότητα του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες (1250°C), μικρό βάρος, αντοχή σε θερμικά φορτία, εύκολο στην χρήση και το κόστος. Το κεραμικό χαρτί αποτελείται από 50% με 54% διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και 46 με 50% Οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3).

Υαλοϋφάσματα

Μια άλλη κατηγορία πυρίμαχων θερμομονωτικών είναι τα **υαλοϋφάσματα** όπου τα απλά υαλοϋφάσματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές από 550°C έως 800°C , υπάρχουν και άλλοι τύποι υαλοϋφασμάτων όπως:

- 1) **Ύφασμα από γυαλί εμποτισμένο με βραδύκαυστη PUR και χρωστικές ύλες αλουμινίου**, έχει ως χαρακτηριστικά: Καμιά θερμική αποδόμηση έως τους 200°C, μέγιστη θερμοκρασία χρήσης έως 500°C και για μικρό χρονικό διάστημα λειτουργίας έως τους 600°C και έχει αυξημένη μηχανική αντοχή από συνεχή θερμοκρασία.
- 2) **Ύφασμα από γυαλί εμποτισμένο με σιλικόνη**, έχει αυξημένη μηχανική αντοχή και ηλεκτρικές ή θερμικές επιρροές. Αντίσταση κατά της οξειδωσης και της UV ακτινοβολίας, στεγανοποίηση και προστασία των εσωτερικών μονωτικών στις κατασκευές.
- 3) **Ύφασμα από γυαλί εμποτισμένο με Teflon** χρώματος γκρι-μαύρο, με μεγάλη αντοχή στα περισσότερα χημικά οξέα και διαλύτες. Εξαιρετικές αντικολλητικές ιδιότητες, χαμηλός συντελεστής τριβής, θερμοκρασία χρήσης έως 260°C. Το υλικό χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία των μονωτικών από την διάβρωση.
- 4) **Υαλούφασμα ενισχυμένο με συρματίδια** χρωμίου για μεγαλύτερη μηχανική αντοχή σε εφελκυσμό 3500 N/cm². Το ύφασμα αυτό χρησιμοποιείται σε διαστολικούς συνδέσμους οχητών μηχανών και οπουδήποτε υπάρχει απαίτηση για υψηλή μηχανική αντοχή και θερμοκρασία έως 500°C.
- 5) **Ύφασμα από γυαλί με ειδική επεξεργασία και από τις δύο όψεις**, που αυξάνει την αντοχή του σε φθορά και ξέφτισμα, ενώ παράλληλα του δίνει την δυνατότητα λειτουργίας σε θερμοκρασίες έως 1000°C. Κατάλληλο για χρήση σε διαστολικούς συνδέσμους και μονωτικά μαξιλάρια υψηλών θερμοκρασιών.
- 6) **Σαλαμίστρα από γυαλί** πλεκτή τετραγωνικής ή κυκλικής διατομής κατάλληλη για θερμοκρασίες έως 550°C, για στεγάνωση σε πόρτες φούρνων, λεβήτων και γενικά οπουδήποτε υπάρχει ανάγκη για στεγάνωση σε υψηλή θερμοκρασία.
- 7) **Πυρίμαχες σωλήνες προστασίας** κατασκευασμένες από ίνες υάλου ή κεραμικές ίνες ή διοξείδιο του πυριτίου, κατάλληλη για προστασία καλωδίων και σωλήνων από υψηλές θερμοκρασίες από 550° C έως 1000° C.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 77 : Στις εικόνες παρουσιάζονται πυρίμαχα θερμομονωτικά υαλοϋφάσματα: (α) Ύφασμα απο γυαλί εμποτισμένα με σιλικόνη , (β) Ύφασμα απο γυαλί εμποτισμένο με Teflon , (γ) Ύφασμα απο γυαλί εμποτισμένο με βραδύκαυση PUR , (δ) Ύφασμα απο γυαλί.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥΣ (ΣΦΥΡΗΛΑΤΗΣΗ)

3.1 Εισαγωγή

Μεταλλουργία είναι η επιστήμη ή τεχνική και ο κλάδος της βιομηχανίας, που έχουν σχέση με την εξαγωγή μετάλλων από μεταλλεύματα.

Στη μεταλλουργία υπάγονται οι εξής διεργασίες για την επεξεργασία των μεταλλευμάτων, που εξορύσσονται από τη γη προκειμένου να υποστούν κατεργασία για την εξαγωγή των μετάλλων. Η παρασκευή κραμάτων, η διαμόρφωση μετάλλων με πίεση και χύτευση. Οι θερμικές επεξεργασίες των μετάλλων και οι επικαλύψεις των μετάλλων για αντιδιαβρωτικούς και άλλους σκοπούς.

Ιστορικές πληροφορίες

Η μεταλλουργία, ως τέχνη εξαγωγής μετάλλων από μεταλλεύματα, εμφανίστηκε από τους αρχαιότετους χρόνους. Το πρώτο μέταλλο που ανακάλυψε ο άνθρωπος ήταν ο χρυσός γύρω στα 3000 χρόνια π.Χ. όπως είχαμε προαναφέρει στο πρώτο κεφάλαιο.

Η κατεργασία και γενικά η ευρύτερη χρήση του σιδήρου αρχίζει το 1200-1500 π.Χ. Η παραγωγή όμως χάλυβα σε μεγάλη έκταση άρχισε μόλις κατά το 1860 μ.Χ. με τις μεθόδους Μπέσσεμερ, Μαρτέν και Τόμας.

Από τα μέσα του 19ου αιώνα αναπτύσσεται γρήγορα η **μεταλλογνωσία** ως επιστήμη.

Μεταλλογνωσία είναι η επιστήμη, που μελετάει τη φύση, τη δομή και τις ιδιότητες των μετάλλων και κραμάτων.

Μεταλλοτεχνία, η αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων των μετάλλων και των κραμάτων με τήξη (χύτευση), θερμική κατεργασία (βαφή), μηχανικούς τρόπους (έλαση, διέλαση, σφυρηλασία, ολκή, κ.λπ.) ή με συνδυασμό μηχανικής και θερμικής κατεργασίας.

Μακροσκοπική δομή των μετάλλων και των κραμάτων τους

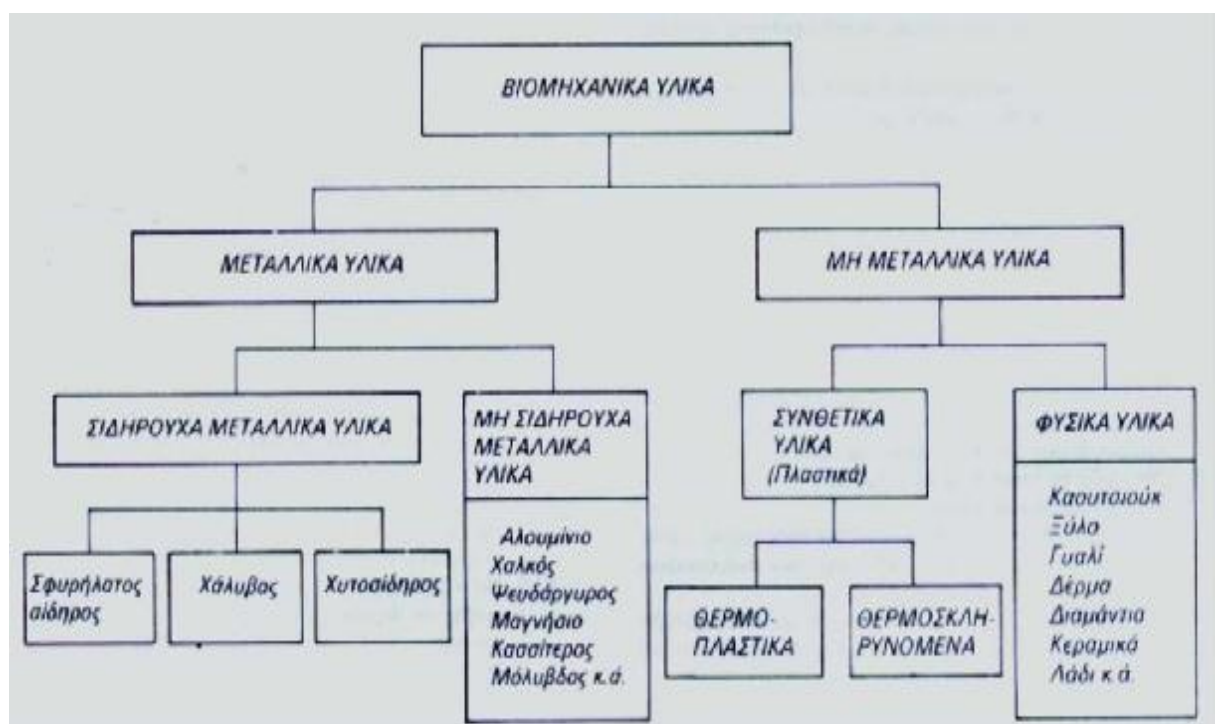
Ένας πολύ σημαντικός τομέας δραστηριοτήτων του Μηχανολόγου-Κατασκευαστή είναι η εκλογή υλικών που θα εξυπηρετούν λειτουργικά και κατασκευαστικά το είδος του μηχανολογικού προϊόντος. Για να είναι σε θέση να εκτελέσει τα καθήκοντα του αυτά, πρέπει να έχει αρκετά καλή γνώση των βιομηχανικών υλικών που προσφέρονται.

Τυποποίηση των βιομηχανικών υλικών

Η εξάρτηση της εξέλιξης της ανθρωπότητας από τη βιομηχανική ανάπτυξη είναι δοσμένη και δεν μπορεί να αμφισβητηθεί από κανένα, παρ' όλα τα αρνητικά στοιχεία που τη συνοδεύουν και που δεν είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Ένας πολύ σπουδαίος παράγοντας που έχει οπωσδήποτε μεγάλη επίδραση στη βιομηχανική ανάπτυξη, είναι η παρασκευή νέων υλικών και η βελτίωση υλικών που βρίσκονται ήδη σε χρήση.

Αυτό οδήγησε στη δημιουργία ενός τεράστιου αριθμού βιομηχανικών υλικών - μεταλλικών και μη από τα οποία ο Μηχανολόγος-Κατασκευαστής καλείται να επιλέξει και να χρησιμοποιήσει το πιο κατάλληλο στην κάθε περίπτωση.

Έπρεπε λοιπόν να δημιουργηθεί κάποιο σύστημα κωδικοποίησης των διαφόρων υλικών με τρόπο που να είναι εύκολη η αναγνώρισή τους. Η αναγκαιότητα κωδικοποίησης ήταν ιδιαίτερα πειστική στην ομάδα των μεταλλικών υλικών και των κραμάτων τους. Αν ένας αναλογιστεί μόνο τον αριθμό κραμάτων χάλυβα που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία εύκολα μπορεί να αναγνωρίσει την αναγκαιότητα τυποποίησης. Για την τυποποίηση λοιπόν των διαφόρων βιομηχανικών υλικών χρησιμοποιούνται κώδικες (αριθμοί και γράμματα), οι οποίοι καθορίζουν τόσο τη χημική σύνθεση όσο και τις μηχανικές ιδιότητές τους. Το έργο της τυποποίησης είναι ευθύνη των Εθνικών Οργανισμών (ή Ιδρυμάτων) Τυποποίησης. Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης, μια μεγάλη προσπάθεια τυποποίησης όλων των βιομηχανικών υλικών. Πληρέστερη εικόνα στον τομέα της τυποποίησης των βιομηχανικών υλικών παρουσιάζουν τα εθνικά ιδρύματα τυποποίησης των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών.



Γράφημα 2: Στο ιστόγραμμα παρουσιάζεται η βασική ταξινόμηση των βιομηχανικών υλικών.

3.1.1 Μεταλλικά υλικά και κράματα. Χωρίς να υποτιμάται η σπουδαιότητα των μη μεταλλικών υλικών θα εξετάσουμε στη συνέχεια μόνο μερικά από τα κύρια μεταλλικά υλικά που χρησιμοποιούνται στη μηχανολογική βιομηχανία.

Τα μεταλλικά υλικά δυνατό να είναι μέταλλα ή μεταλλικά κράματα.

Μέταλλα: Είναι μεταλλικά υλικά με πολύ ψηλό βαθμό καθαρότητας. Οι ακαθαρσίες (ανεπιθύμητες προσμείξεις) που είναι δυνατό να περιέχονται σε ένα μέταλλο, πρέπει να είναι πολύ περιορισμένες.

Η εξαγωγή απόλυτα καθαρών μετάλλων από τα μεταλλεύματα τους είναι δύσκολη και δαπανηρή εργασία. Οι περιπτώσεις χρησιμοποίησης απόλυτα καθαρών μετάλλων είναι μηδαμινές.

Μεταλλικά κράματα: Είναι μεταλλικά υλικά, τα οποία παρασκευάζονται με ανάμειξη δύο ή περισσότερων χημικών στοιχείων, κατά κανόνα σε τηγμένη κατάσταση. Από τα στοιχεία που αποτελούν το κάθε κράμα ένα τουλάχιστο είναι μέταλλο και αποτελεί το κύριο συστατικό του κράματος. Σε αντίθεση με τα καθαρά μέταλλα, τα μεταλλικά κράματα βρίσκουν πολύ πλατιά χρήση. Αυτό οφείλεται στη βελτίωση των μηχανικών και άλλων ιδιοτήτων των βασικών μετάλλων, που επιτυγχάνεται με την κραματοποίηση.

Μέταλλα: Μέταλλο ονομάζεται το στοιχείο, που λαμβάνεται από μεταλλεύματα, αφού προκληθεί μεταλλουργική επεξεργασία και έχει ειδική λάμψη - μεταλλική όπως τη λέμε - και ως επί το πλείστον εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής και πλαστικότητας, όπως θα δούμε αμέσως τώρα.

Αναλυτικότερα, οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των μετάλλων σε στερεά κατάσταση είναι οι εξής (με την προϋπόθεση όμως ότι δεν είναι αποκλειστικές για όλα τα μέταλλα):

- α) Στερεά κατάσταση στη συνηθισμένη θερμοκρασία.
- β) Χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη.
- γ) Αργυράφαιος χρωματισμός εκτός από το χαλκό (ερυθρός-κόκκινος) και το χρυσό (κίτρινος).
- δ) Αδιαφάνεια.
- ε) Σχετικά υψηλό ειδικό βάρος.
- ζ) Υψηλό σημείο τήξεως.
- η) Υψηλή ηλεκτρική θερμική αγωγιμότητα.
- θ) Μεγάλη μηχανική αντοχή.
- ι) Πλαστικότητα, η οποία επιτρέπει τη μηχανική τους μορφοποίηση εν θερμώ ή εν ψυχρώ. Το κάθε ένα δηλαδή από τα μέταλλα είναι σε διαφορετικό βαθμό ελατό. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν με σφυρηλασία ή σε έλαστρα να παίρνουν τη μορφή φύλλων ή ελασμάτων. Είναι επίσης, σε διαφορετικό πάλι βαθμό το καθένα, όλκιμο. Μπορούν δηλαδή σε συρματοποιητικές π.χ. μηχανές να τραβηχθούν και να πάρουν τη μορφή σύρματος.
- κ) Είναι σώματα κρυσταλλικά .
- λ) Παρουσιάζουν ευκολία στο να σχηματίζουν κράματα.
- μ) Μαζί με οξέα σχηματίζουν άλατα, και με τη ρίζα υδροξυλίου σχηματίζουν υδροξείδια.
- ν) Έχουν σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής.

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

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

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

Τα κράματα, ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που περιλαμβάνουν, διακρίνονται σε δυο στοιχεία, τρία στοιχεία κλπ. Τα κράματα δυο στοιχείων τα οποία και θα μελετήσουμε, διακρίνονται σε κράματα μετάλλου-μέταλλου, σε κράματα μετάλλου-μεταλλοειδούς και σε κράματα μετάλλου-αμέταλλου. Τώρα θα δούμε τι συμβαίνει, όταν δυο μέταλλα Α και Β που σχηματίζουν κράμα, αναμιγνύονται σε κατάσταση τήξεως και μετά τα αφήνουμε να στερεοποιηθούν ήρεμα.

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

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

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

β) Τα μέταλλα, που στην κατάσταση τήξεως ήταν τελείως αναμίξιμα, εξακολουθούν να είναι πλήρως ή μερικώς αναμίξιμα και στη στερεά κατάσταση.

Στην πρώτη περίπτωση σχηματίζεται απλά στερεό διάλυμα (θα δώσουμε τον ορισμό παρακάτω), ενώ στη δεύτερη περίπτωση προκύπτει σχηματισμός δυο διαφορετικών στερεών διαλυμάτων.

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

Το στερεό διάλυμα: Στερεό διάλυμα σχηματίζεται, όταν σε διμερές κράμα τα δυο στοιχεία A (κύριο στοιχείο του κράματος) και B, που είναι πλήρως αναμίξιμο στην κατάσταση τήξεως, παραμένουν διαλυμένα το ένα μέσα στα άλλο και μετά τη στερεοποίηση.

Τα στοιχεία που αποτελούν το στερεό διάλυμα δεν μπορούν να διαχωρισθούν ούτε μπορούμε να τα διακρίνουμε ακόμα και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, που έχει μεγάλη διακριτική ικανότητα. Πρέπει να τον τονίσουμε ότι για να σχηματισθεί στερεό διάλυμα, θα πρέπει τα άτομα του ενός στοιχείου B να παίρνουν θέσεις μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του άλλου στοιχείου A. Ανάλογα με τη θέση που καταλαμβάνουν τα άτομα του B μέσα στον κρυσταλλικό ιστό του A διακρίνουμε:

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

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

Στερεό διάλυμα παρεμβολής σχηματίζεται μόνο όταν τα άτομα του στοιχείου B, που προσθέτουμε, έχουν πολύ μικρότερες διαστάσεις από τα άτομα του κυρίως στοιχείου του κράματος A και έτσι μπορούν να διεισδύσουν εύκολα και να πάρουν θέσεις μέσα στα κρυσταλλικά πλέγμα.

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

Για τη βιομηχανική παραγωγή των διαφόρων κραμάτων και για την χρησιμότητά τους στην πράξη, μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε ορισμένα στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά εξαρτώνται από την αναλογία των συστατικών των κραμάτων και είναι τα εξής:

α) Η θερμοκρασία όπου ξεκινάει και τελειώνει η στερεοποίηση.

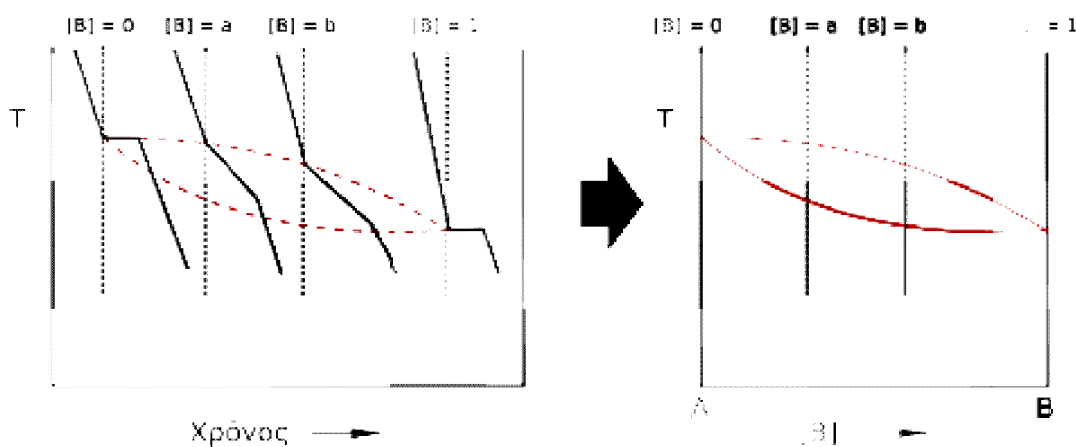
β) Οι μετασχηματισμοί που γίνονται στην κρυσταλλική δομή του κράματος όσο διαρκεί η στερεοποίηση, αλλά και μετά από αυτή. Αυτό μας ενδιαφέρει, γιατί το είδος της κρυσταλλικής δομής του κράματος είναι εκείνο που καθορίζει τις μηχανικές του ιδιότητες. Τα στοιχεία αυτά μας τα δίνει αυτό που ονομάζουμε θερμικό διάγραμμα ισορροπίας του κράματος.

Βασική προϋπόθεση για την κατασκευή αυτού του διαγράμματος είναι ότι το κράμα θα πρέπει να βρίσκεται κάθε φορά σε κατάσταση ισορροπίας των φάσεων. Σε αυτή την περίπτωση, με τη λέξη ισορροπία εννοούμε ότι οποιαδήποτε μεταβολή στην κρυσταλλική δομή του κράματος πρέπει να γίνεται πλήρης, πράγμα που απαιτεί χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι η απόψυξη του κράματος από τη ρευστή του κατάσταση μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος πρέπει να γίνεται με πολύ αργό ρυθμό. Πρέπει να πούμε ότι η γρήγορη απόψυξη του κράματος, όπως συμβαίνει π.χ. στη βαφή του χάλυβα, δεν επιτρέπει ολοκληρωμένους μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική δομή του κράματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκύπτει τελικά διαφορετική κρυσταλλική δομή, από εκείνη που θα προέκυπτε με αργή απόψυξη.

Επίσης στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι αδύνατο να πετύχουμε ισορροπία των φάσεων στο βαμμένο χάλυβα, εκτός αν αυτός αναθερμανθεί και ψυχθεί κατάλληλα (ανόπτηση).

Κατασκευή του θερμικού διαγράμματος ισορροπίας του κράματος: Για κάθε καθαρό μέταλλο ή για κάθε κράμα, είναι δυνατό πειραματικά να κατασκευασθεί η λεγόμενη καμπύλη αποψύξεως αυτού.

Στο διάγραμμα 3.1 φαίνεται η καμπύλη αποψύξεως καθαρού μετάλλου όπου, όπως βλέπουμε, η στερεοποίηση αρχίζει και τελειώνει στην ίδια θερμοκρασία (σημείο τήξεως ή πήξεως του μετάλλου). Στο ίδιο σχήμα παρατηρούμε και την καμπύλη αποψύξεως ενός κράματος, του οποίου η στερεοποίηση γίνεται σε ορισμένη θερμοκρασία, ανάλογα με τη σύνθεσή του και όχι σε σταθερή θερμοκρασία.



Διάγραμμα 1 :Καμπύλη απόψυξης – κράματος απλού ευτηκτικού τύπου.

Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

Στο διάγραμμα 1 επίσης, είναι χαραγμένες οι καμπύλες αποψύξεως αυτών των κραμάτων, των οποίων η περιεκτικότητα σε μέταλλο a αρχίζει να ελαττώνεται από το πρώτο προς το τελευταίο. Αν ενώσουμε τα σημεία a_1, a_2, \dots, a_8 , έχουμε τη γραμμή Ρευστοποίησης, η οποία δείχνει τη θερμοκρασία στην οποία κράμα ορισμένης αναλογίας των συστατικών του A και B αρχίζει να στερεοποιείται. Με τον ίδιο τρόπο από τα σημεία $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_4$ προκύπτει η γραμμή Στερεοποίησης με την οποία προσδιορίζεται η θερμοκρασία στην οποία το κράμα ορισμένης αναλογίας στερεοποιείται εντελώς. Έτσι, η γραμμή Ρευστοποίησης είναι αυτή πάνω από την οποία όλα τα κράματα, που έχουν αναλογίες των συστατικών του A και B και θερμοκρασίες αυτές που σημειώσαμε, βρίσκονται σε υγρή ομοιογενή κατάσταση (τήγμα). Η γραμμή Στερεοποίησης είναι η γραμμή κάτω από την οποία όλα τα κράματα, με τις ίδιες προϋποθέσεις αναλογιών A και B και θερμοκρασιών που αναφέραμε, βρίσκονται σε στερεά κατάσταση. Μεταξύ ρευστής και στερεάς και για τις θερμοκρασίες και αναλογίες που παραθέτουμε, το κράμα αποτελείται από τήγμα και στερεό.

Οι δοκιμασίες των μετάλλων, των κραμάτων και άλλων στερεών υλικών διακρίνονται γενικά σε δυο κατηγορίες:

- α) Στη δοκιμασία με καταστροφή του δοκιμίου (τεμαχίου) ή άμεσες δοκιμασίες.
- β) Στις δοκιμασίες χωρίς καταστροφή του τεμαχίου ή έμμεσες δοκιμασίες.

Οι δοκιμασίες της πρώτης κατηγορίας γίνονται σε δοκίμιο ορισμένου σχήματος και διαστάσεων (τυποποιημένο), όπως π.χ. είναι η δοκιμασία εφελκυσμού. Οι δοκιμασίες της δεύτερης κατηγορίας γίνονται συνήθως σε έτοιμα τεμάχια για να διαπιστωθεί η καταλληλότητά τους, πριν αυτά χρησιμοποιηθούν, όπως π.χ. ο εντοπισμός ρωγμών σε άξονες ή συγκολλημένα τεμάχια κλπ.

Στην κατηγορία των δοκιμασιών με καταστροφή του δοκιμίου ανήκουν βασικά οι μηχανικές δοκιμασίες που έχουν σαν αντικειμενικό σκοπό το προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των μετάλλων. Όπως έχουμε αναφέρει τα μέταλλα εκτός από τις άλλες χαρακτηριστικές τους ιδιότητες έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή και εμφανίζουν πλαστικότητα.

Έτσι, έχουμε τις δοκιμασίες:

- α) Εφελκυσμού και θλίψεως.
- β) Σκληρότητας.

Για τις δοκιμασίες που γίνονται χωρίς καταστροφή του τεμαχίου αναφέρουμε συνοπτικά ότι περιλαμβάνουν τις εξής:

- α) Υδροστατικές δοκιμασίες, όπως μεταλλικών βαρελιών, λεβήτων κλπ.
- β) Μαγνητικές δοκιμασίες, για να εντοπιστούν ρωγμές σε μαγνητικά υλικά πάνω στην επιφάνεια των τεμαχίων ή αμέσως κάτω από αυτή, όπως σε ανθρακούχους χάλυβες ή σε σίδηρο.
- γ) Δοκιμασίες διεισδύσεως ειδικού υγρού, για να εντοπισθούν ρωγμές στην επιφάνεια κυρίως μη μαγνητικών υλικών, όπως είναι το αργίλιο, τα κράματα του χαλκού, ή ωστενικοί χάλυβες και άλλα υλικά.
- δ) Δοκιμασίες εντοπισμού εσωτερικών ελαττωμάτων των τεμαχίων, όπως είναι φυσαλίδες σε χυτά αντικείμενα. Σ' αυτή την περίπτωση δοκιμασιών χρησιμοποιούνται συσκευές υπερήχων, όπως επίσης και μέθοδοι ραδιογραφίας (ακτίνες χ ή γ).

3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα μεταλλικά υλικά διακρίνονται σε:

- Σιδηρούχα μεταλλικά υλικά**
- Μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά.**

(α) Σιδηρούχα μεταλλικά υλικά: Είναι μεταλλικά υλικά, στα οποία το κύριο συστατικό είναι ο σίδηρος. Σιδηρούχα μεταλλικά υλικά είναι:

1. Ο μαλακός ή σφυρήλατος σίδηρος.
2. Οι χυτοσίδηροι.
3. Οι χάλυβες

(β) Μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά: Είναι μεταλλικά υλικά, τα οποία δεν περιέχουν σίδηρο. Στην ομάδα αυτή ανήκουν όλα τα μεταλλικά υλικά που δεν περιλαμβάνονται στην πρώτη ομάδα ταξινόμησης. Από αυτά θα εξετάσουμε τα ακόλουθα:

1. Αλουμίνιο.
2. Χαλκό.
3. Ψευδάργυρο.
4. Μαγνήσιο.
5. Κασσίτερο.
6. Μόλυβδο.
7. Αντιτριβικά υλικά

- Ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών

Οι ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών είναι δυνατό να ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες:

1. Χημικές ιδιότητες.
2. Φυσικές ιδιότητες.
3. Μηχανικές ιδιότητες.
4. Τεχνολογικές ιδιότητες.

Κατά την εκλογή του κατάλληλου υλικού, μεταλλικού ή άλλου για μια μηχανολογική κατασκευή, ο Μηχανολόγος - κατασκευαστής πρέπει απαραίτητα να γνωρίζει λεπτομέρειες για τις χημικές, φυσικές, μηχανικές και τεχνολογικές ιδιότητες όλων των υλικών που προσφέρονται στην αγορά.

Στη συνέχεια γίνεται ειδική αναφορά στις μηχανικές και τις τεχνολογικές ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών.

Μηχανικές ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών: Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όλες οι μηχανολογικές κατασκευές αποτελούνται από πολλά επί μέρους εξαρτήματα, τα στοιχεία μηχανών. Τα στοιχεία αυτά κατασκευάζονται από τα κατάλληλα υλικά (μεταλλικά υλικά κατά κύριο λόγο), ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις λειτουργίας της μηχανολογικής κατασκευής, στην οποία πρόκειται να συναρμολογηθούν.

Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών, που προσφέρονται στην αγορά, αποτελούν τον πιο καθοριστικό παράγοντα στην εκλογή του κατάλληλου υλικού για κάθε κατασκευή.

Οι μηχανικές ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών είναι οι ακόλουθες:

1. Ελαστικότητα (elasticity).
2. Πλαστικότητα (plasticity).
3. Σκληρότητα (hardness).
4. Ελατότητα (malleability).
5. Ολκιμότητα (ductility).
6. Δυσθραυστότητα-ευθραυστότητα
7. Αντοχή

Οι μηχανικές ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών εξετάζονται πιο κάτω.

1. Ελαστικότητα

Ελαστικότητα ενός υλικού είναι η ικανότητά του να επανέρχεται στις αρχικές του διαστάσεις, όταν οι δυνάμεις που προκάλεσαν την αλλαγή των διαστάσεων του αποσυρθούν.

2. Πλαστικότητα

Όταν ένα υλικό φορτίζεται με εξωτερικές δυνάμεις πέραν από το όριο ελαστικότητάς του αλλά όχι μέχρι τη θραύση του, τότε προκαλούνται μόνιμες παραμορφώσεις των διαστάσεων του υλικού.

Η ικανότητα επομένως των υλικών, μεταλλικών και μη, να παραμορφώνονται κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων χωρίς να θραύονται ονομάζεται πλαστικότητα.

3. Σκληρότητα

Σκληρότητα είναι το μέτρο της ικανότητας ενός υλικού, μεταλλικού και μη, να αντέχει στη φθορά και τη διείδυση άλλων υλικών.

4. Ελατότητα

Η ικανότητα των υλικών και ιδιαίτερα των μεταλλικών υλικών να αυξάνουν την επιφάνεια τους με σφυρηλάτηση, πίεση και κυλινδροποίηση χωρίς να ραγίζουν, ονομάζεται ελατότητα.

5. Ολκιμότητα

Όταν ένα υλικό εφελκύεται, με αποτέλεσμα να αυξάνει το μήκος του και ταυτόχρονα να ελαττώνεται το εμβαδό διατομής του χωρίς να ραγίζει, τότε λέγεται ότι το υλικό αυτό είναι όλκιμο.

6. Δυσθραυστότητα-Ευθραυστότητα

Δυσθραυστότητα είναι η ιδιότητα ενός υλικού να δέχεται απότομες φορτίσεις χωρίς να θραύεται.

7. Αντοχή

Είναι ο βαθμός της ικανότητας ενός υλικού, μεταλλικού ή μη, να αντέχει σε εξωτερικές φορτίσεις μέσα στα πλαίσια της ελαστικής συμπεριφοράς του, χωρίς δηλαδή κίνδυνο θραύσης ή μόνιμης παραμόρφωσης των διαστάσεών του.

Τεχνολογικές ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών

Οι τεχνολογικές ιδιότητες των βιομηχανικών υλικών αναφέρονται στη συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα διάφορα μεταλλικά και άλλα υλικά κατά τη διαμόρφωσή τους με τις διάφορες μεθόδους διαμόρφωσης και ειδικά κατά τη χύτευση, τη σφυρηλάτηση, τη συγκόλληση και τις μηχανικές κατεργασίες στις εργαλειομηχανές.

3.2.1 Σιδηρούχα μεταλλικά υλικά

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω, τα σιδηρούχα μεταλλικά υλικά είναι υλικά που έχουν σαν κύριο συστατικό τους το σίδηρο. Είπαμε επίσης πως τα υλικά που ανήκουν στην ομάδα αυτή είναι ο σφυρήλατος σίδηρος, οι χάλυβες και οι χυτοσίδηροι.

Ο **άνθρακας** είναι το δεύτερο συστατικό των σιδηρούχων μεταλλικών υλικών. Σύμφωνα με το ποσοστό περιεκτικότητάς τους σε άνθρακα (%), γίνεται και ο διαχωρισμός τους σε ομάδες.

- Παραγωγή των σιδηρούχων μεταλλικών υλικών.

Όπως όλα τα μέταλλα, έτσι και ο σίδηρος βρίσκεται στη φύση σαν μέταλλευμα (εξαιρέση αποτελούν τα ευγενή μέταλλα, άργυρος, χρυσός και λευκόχρυσος που βρίσκονται και σε καθαρή μορφή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς καμιά άλλη επεξεργασία).

Η εξαγωγή του σιδήρου από τα μεταλλεύματα σιδήρου επιτυγχάνεται με δύο μεθόδους:

1. Μέθοδος στην υψικάμινο αναγωγής.

2. Μέθοδος Krupp-Renn.

Θα εξετάσουμε στη συνέχεια, σε συντομία, τη μέθοδο της υψικάμινου αναγωγής γιατί η μέθοδος Krupp-Renn εφαρμόζεται μόνο σε περιπτώσεις φτωχών μεταλλευμάτων (μεταλλεύματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο).

-Η υψικάμινο αναγωγής

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην υψικάμινο αναγωγής για την εξαγωγή του σιδήρου είναι:

- | | |
|---------------------|---------------|
| 1. Σιδηρομετάλλευμα | 3. Συλλίπασμα |
| 2. Άνθρακας (κόκ) | 4. Αέρας |

Ο άνθρακας εξυπηρετεί τρεις σκοπούς:

1. Παρέχει με την καύση του τη θερμότητα, που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία της υψικάμινου.
2. Είναι το αναγωγικό μέσο για την αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου.
3. Χρησιμεύει στην ενανθράκωση του σιδήρου.

Σκοπός των συλλιπασμάτων είναι η απομάκρυνση των ξένων προσμείξεων (ακαθαρσιών), που περιέχονται στο σιδηρομετάλλευμα. Τα συλλιπάσματα σχηματίζουν χημικές ενώσεις με τις προσμείξεις, οι οποίες τήκονται (λιώνουν) και στη συνέχεια αφαιρούνται.

Ο αέρας είναι απαραίτητος για την καύση του άνθρακα στην υψικάμινο, ενώ ταυτόχρονα παρέχει το απαραίτητο οξυγόνο για το σχηματισμό των χημικών αντιδράσεων.

Ο σφυρήλατος σίδηρος

Ο σφυρήλατος σίδηρος είναι η πιο καθαρή μορφή σιδήρου (99.5% σίδηρος) που διατίθεται στο εμπόριο, και οφείλει την ονομασία του στην ευκολία διαμόρφωσής του με σφυρηλάτηση.

Παράγεται από τον ακατέργαστο σίδηρο με τη μέθοδο της ανάδευσης σε φλογοκάμινο. Ο ακατέργαστος σίδηρος τοποθετείται μαζί με οξείδιο του σιδήρου σε φλογοκάμινο και θερμαίνεται στους 1300°C περίπου, ενώ ταυτόχρονα αναδύεται.

Με τον τρόπο αυτό αφαιρούνται τόσο ο άνθρακας όσο και οι περισσότερες άλλες προσμείξεις που περιέχει ο ακατέργαστος σίδηρος και παραμένει στη φλογοκάμινο ο σφυρήλατος σίδηρος με βαθμό καθαρότητας πάνω από 95%. Αφαιρείται από τη φλογοκάμινο σε κατάσταση πάστας και διαμορφώνεται με κυλινδροποίηση ή σφυρηλάτηση.

Οι πιο σημαντικές ιδιότητες του σφυρήλατου σιδήρου, στις οποίες οφείλονται και οι διάφορες εφαρμογές του, είναι οι ακόλουθες:

1. Μεγάλη σφυρηλατικότητα: Μπορεί να σφυρηλατηθεί σε θερμή ή σε ψυχρή κατάσταση με μεγάλη ευκολία. Μπορεί επίσης να συγκολληθεί με σφυρηλάτηση σε θερμή κατάσταση.

2. Ψηλή δυσθραυστότητα: Παρά τη μικρή αντοχή του στον εφελκυσμό (350 N/mm²) παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντοχή σε απότομες φορτίσεις. Η ιδιότητά του αυτή το κάνει πολύ χρήσιμο στην κατασκευή στοιχείων που πρέπει να αντέχουν σε κρούσεις ή απότομες φορτίσεις.

3. Μεγάλη αντοχή στην οξείδωση: Στην ιδιότητα αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η χρησιμοποίησή του στην αρχιτεκτονική για την κατασκευή διακοσμητικών και άλλων κατασκευών.

4. Καλές μαγνητικές ιδιότητες: Η ικανότητά του να μαγνητίζεται και να απομαγνητίζεται εύκολα καθιστά το σφυρήλατο σίδηρο πολύ χρήσιμο στην κατασκευή πυρήνων ηλεκτρομαγνητών. Το ψηλό όμως κόστος του σε σχέση με το κόστος του μαλακού χάλυβα καθιστά το δεύτερο πολύ πιο ελκυστικό για τέτοιες εφαρμογές. Οι εφαρμογές του σφυρήλατου σιδήρου περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το ψηλό κόστος παραγωγής του σε σχέση με το κόστος παραγωγής του χάλυβα.

Οι πιο διαδομένες χρήσεις του σφυρήλατου σιδήρου είναι:

Κατασκευή γάντζων και αλυσίδων ανυψωτικών μηχανημάτων.

Κατασκευή συνδέσμων για τη σύνδεση των βαγονιών αμαξοστοιχιών.

Διακοσμητικές εργασίες στην αρχιτεκτονική.

Κατασκευή πυρήνων ηλεκτρομαγνητών.

Σιδηρομεταλλεύματα

Όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο, ο άνθρωπος στην αρχή χρησιμοποίησε το σίδηρο των μετεωριτών, μέχρι που κατόρθωσε να το παίρνει μεταλλουργικά, δηλαδή από χημικές ενώσεις του σιδήρου και μετά από μια ορισμένη επεξεργασία.

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

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

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

γ) Ο *λειμωνήτης* και άλλοι *υδροξειδιακοί* τύποι οξειδίων του σιδήρου με χημική σύνθεση, που μεταβάλλεται από $2\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ σε $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ και με περιεκτικότητα σε σίδηρο από 20% έως 55%.

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

ε) ο σιδηροπυρίτης (FeS_2).

Οι σπουδαιότερες περιοχές σιδηρομεταλλευμάτων σ' όλο τον κόσμο είναι οι ακόλουθες:

α) Αμερική: αιματίτης (30% έως 65% σίδηρος).

β) Σοβιετική Ένωση: Αιματίτης (Ουκρανία), Μαγνητίτης (Σιβηρία).

γ) Μεγάλη Βρετανία: Λειμωνίτης και σιδερίτης (20% έως 30% σίδηρος).

δ) Γαλλία: Αιματίτης (26% έως 50% σίδηρος).

ε) Σουηδία: Μαγνητίτης.

στ) Καναδάς: Αιματίτης με υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο.

ζ) Βραζιλία: Αιματίτης.

η) Ινδία: Σιδηρομεταλλεύματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρο.

θ) Βενεζουέλα: Αιματίτης (65% σίδηρος).

Η περιεκτικότητα σε σίδηρο των σιδηρομεταλλευμάτων δεν αποτελεί το μοναδικό κριτήριο της αξίας τους, ενώ η περιεκτικότητα σε φώσφορο αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα, γιατί ο φώσφορος είναι ανεπιθύμητος στα προϊόντα της μεταλλουργίας του σιδήρου. Ακόμα, όπως θα δούμε, ο φωσφόρος δύσκολα αφαιρείται από το χυτοσίδηρο κατά την παρασκευή του χάλυβα.

Τα σιδηρομεταλλεύματα πριν από τη μεταλλουργική τους επεξεργασία (εξαγωγή του μετάλλου από τα μεταλλεύματά) υποβάλλονται στη λεγόμενη *μηχανική προεργασία*, η οποία περιλαμβάνει:

α) Κοσκίνισμα (απομάκρυνση γαιωδών προσμίξεων).

β) Μαγνητικό διαχωρισμό.

γ) Λειοτρίβηση (κονιοποίηση σε ειδικούς τριβείς) και

δ) εμπλουτισμό.

Ο εμπλουτισμός γίνεται με δυο τρόπους:

α) Με *υδρομηχανικό διαχωρισμό*. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη διαφορά ειδικού βάρους μεταξύ μεταλλεύματος και ξένων ουσιών.

β) Με την *επίπλευση*. Κατά τη μέθοδο αυτή, το μέταλλευμα, αφού κονιοποιηθεί και αναμιχθεί με ειδικές κάθε φορά ουσίες, υφίσταται κατεργασία με νερό με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούνται στο μίγμα φυσαλίδες αέρα. Οι φυσαλίδες τότε παρασύρουν στην επιφάνεια του υγρού τις ξένες ύλες. Μ' αυτό τον τρόπο το ένα από τα δυο (ή το μέταλλευμα ή οι ξένες ύλες) επιπλέει και χωρίζεται από το άλλο.

Μετά την προεργασία αυτή ακολουθεί η μεταλλουργική επεξεργασία. Αυτή βασίζεται στην αναγωγή (απόσταση του οξυγόνου) των μεταλλευμάτων, που είναι οξειδία του σιδήρου. Η αναγωγή γίνεται σε ειδικές καμίνους.

Τα θειούχα σιδηρομεταλλεύματα, όπως ο σιδηροπυρίτης, όπως και αυτά που περιέχουν αρσενικό και υγρασία, υποβάλλονται προηγουμένως σε φρύξη για την παρασκευή διοξειδίου του θείου και από αυτό θειικού οξέος, ενώ το οξειδία του σιδήρου που σχηματίζεται, χρησιμεύει μετά για την παραγωγή του σιδήρου.

Η μεταλλουργία του σιδήρου ακολουθεί δυο φάσεις, που είναι οι εξής:

α) Προηγείται η παρασκευή του χυτοσιδήρου από τα σιδηρομεταλλεύματα.

β) Ακολουθεί η επεξεργασία του χυτοσιδήρου, που παρασκευάστηκε κατά την πρώτη φάση. Με την επεξεργασία αυτή παράγονται ο σφυρήλατος σίδηρος και ο χάλυβας.

Ο χάλυβας

Ο χάλυβας παράγεται από τον ακατέργαστο σίδηρο με τις ακόλουθες μεθόδους:

1. Μέθοδος Bessemer

α) Η μέθοδος Μπέσσεμερ.

Χρησιμοποιείται ειδική κάμιнос σε σχήμα αχλαδιού, που λέγεται άπιο (απίδι) του Μπέσσεμερ. Το άπιο Μπέσσεμερ μπορεί να περιστρέφεται από την κατακόρυφη θέση μέχρι την οριζόντια, έτσι ώστε να γεμίζει με ρευστό χυτοσίδηρο και στη συνέχεια να χύνεται ο ρευστός χάλυβας με ευκολία. Η οξείδωση των ξένων προσμίξεων, όπως και στο σφυρήλατο σίδηρο, πετυχαίνεται με το οξυγόνο του αέρα, το οποίο εδώ προσφυσάται από τις τρύπες του πυθμένα μέσα από το ρευστό χυτοσίδηρο.

Πρώτα οξειδώνεται το μαγγάνιο και το πυρίτιο και μετά ο άνθρακας. Κατά τη διάρκεια της εμφυσήσεως του αέρα παρατηρείται ανύψωση της θερμοκρασίας του τήγματος, λόγω της θερμότητας που δημιουργείται από την καύση των ξένων προσμίξεων.

Η εργασία της παρασκευής χάλυβα με αυτή τη μέθοδο διαρκεί 20 έως 25 min. Μετά ο ρευστός χάλυβας αποχύνεται σε κάδους, αφού αναστρέψουμε το άπιο Μπέσσεμερ.

2. Μέθοδος Siemens-Martin

Κατά τη μέθοδο αυτή θερμαίνεται μίγμα από χυτοσίδηρο και απορρίμματα σφυρήλατου σιδήρου ή χάλυβα με λίγο οξείδιο του σιδήρου που το προσθέτουμε στο μίγμα.

Το οξείδιο αυτό του σιδήρου επειδή έχει οξυγόνο, οξειδώνει τον άνθρακα του χυτοσιδήρου και έτσι ελαττώνεται η περιεκτικότητα του προϊόντος σε άνθρακα. Η παρασκευή του χάλυβα γίνεται σε ειδικές επίπεδες φλογοβόλους καμίνους Σήμενς · Μαρτέν.

Η θέρμανση γίνεται με καύσιμα αέρια (από αεριογόνα). Τα αέρια αυτά προθερμαίνονται στους προθερμαντήρες, που είναι κάτω από την κάμινο. Η προθέρμανση των αερίων γίνεται με το ίδιο σύστημα που γίνεται στην υφικάμινο. Με τους προθερμαντήρες αυτούς η θερμοκρασία στην κάμινο φτάνει στους 1700° C. Μια κάμιнос Σήμενς - Μαρτέν παράγει 100 έως 200 τόννους χάλυβα ανά 10 ώρες. Ο χάλυβας που παρασκευάζεται με αυτή τη μέθοδο, είναι ανώτερης ποιότητας από το χάλυβα

που παρασκευάζεται με τη μέθοδο Μπέσσεμερ.

Άλλωστε, η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παρασκευή χάλυβα με τη μέθοδο Σήμενς-Μαρτέν, είναι κυρίως παλιοσιδηρικά. Στην περιοχή Σκαραμαγκά (Αττικής) δυο μεγάλα εργοστάσια παράγουν χάλυβα με τη μέθοδο Σήμενς – Μαρτέν.

3. Ηλεκτρική μέθοδος

Με τη μέθοδο αυτή η παρασκευή χάλυβα γίνεται σε ηλεκτρικές καμίνους που έχουν χωρητικότητα 10 έως 30 τόννους.

Στις καμίνους αυτές η θέρμανση του λευκού χυτοσιδήρου γίνεται με ηλεκτρικό τόξο. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την παρασκευή χαλυβοκραμάτων.

Ταξινόμηση των χάλυβων

Η ταξινόμηση των χάλυβων μπορεί να γίνει με βάση τη χημική τους σύνθεση. Με βάση το κριτήριο αυτό οι χάλυβες ταξινομούνται σε δύο μεγάλες ομάδες:

1. Ανθρακούχοι χάλυβες.
2. Ειδικό χάλυβες (χαλυβοκράματα)

Ανθρακούχοι χάλυβες: Ονομάζονται τα κράματα σιδήρου-άνθρακα, τα οποία περιέχουν άνθρακα σε ποσοστό από 0.1% μέχρι 1.7%. Περιέχουν επίσης σε πολύ χαμηλά ποσοστά στοιχεία όπως το πυρίτιο, το μαγγάνιο, το φωσφόρο και το θείο.

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

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

Ειδικό χάλυβες-χαλυβοκράματα: Ονομάζονται τα κράματα σιδήρου, που εκτός από τον άνθρακα περιέχουν σε υπολογίσιμα ποσοστά, ένα ή περισσότερα από τα στοιχεία νικέλιο, χρώμιο, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, βολφράμιο κ.ά.

Ανάλογα με το βασικό στοιχείο που περιέχουν τα χαλυβοκράματα διακρίνονται σε:

- Νικελιούχους χάλυβες
- Χρωμιούχους χάλυβες
- Χρωμιονικελιούχους χάλυβες
- Μολυβδαινιούχους χάλυβες
- Μαγγανιούχους χάλυβες
- Βολφραμιούχους χάλυβες κ.ά.

Μαλακός χάλυβας

Οι πιο σημαντικές ιδιότητες του μαλακού χάλυβα, στις οποίες οφείλει και την πλατιά χρήση του είναι οι ακόλουθες:

1. Χαμηλό κόστος: Το κόστος-παραγωγής του μαλακού χάλυβα είναι το πιο χαμηλό από όλους τους χάλυβες. Είναι επίσης χαμηλότερο από το κόστος παραγωγής του σφυρήλατου σιδήρου και σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη αντοχή του, έχει αντικαταστήσει σχεδόν πλήρως το σφυρήλατο σίδηρο σε διάφορες εφαρμογές.

2. Μεγάλη πλαστικότητα και ευκολία στη διαμόρφωση σε θερμή κατάσταση. Αυτό επιτρέπει τη διαμόρφωσή του με κυλινδροποίηση και σφυρηλάτηση.

3. Μεγάλη ολκιμότητα και ελατότητα. Αυτές οι δύο ιδιότητες δίνουν στο μαλακό χάλυβα τη δυνατότητα διαμόρφωσής του με κυλινδροποίηση και ολκή-συρματοποίηση σε ψυχρή κατάσταση.

4. Μεγάλη κατεργαστικότητα: Ο μαλακός χάλυβας κατεργάζεται πολύ εύκολα με κοπή σε εργαλειομηχανές με πολύ καλή ποιότητα επιφάνειας.

Μερικές από τις χρήσεις του μαλακού χάλυβα είναι οι ακόλουθες:

- Παραγωγή ράβδων, δοκών, σωλήνων και λαμαρινών με τυποποιημένες διαστάσεις για χρήση στην οικοδομική βιομηχανία και για γενικές κατασκευές. Η παραγωγή αυτών των προϊόντων γίνεται με κυλινδροποίηση σε θερμή κατάσταση και γι' αυτό όλα αυτά τα υλικά έχουν χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα.

- Παραγωγή ράβδων, λαμαρινών και συρμάτων με τυποποιημένες διαστάσεις. Η διαμόρφωση των υλικών αυτών γίνεται με κυλινδροποίηση και ολκή-συρματοποίηση σε ψυχρή κατάσταση. Τα προϊόντα αυτά έχουν χαρακτηριστικό λαμπερό χρώμα και καθαρή επιφάνεια.

- Παραγωγή σφυρήλατων στοιχείων.

- Στοιχεία μηχανών, που διαμορφώνονται με κοπή σε εργαλειομηχανές. Στοιχεία όπως κοχλίες, περικόχλια, πείροι, άξονες κ.ά. κατασκευάζονται από ράβδους μαλακού χάλυβα που διαμορφώνονται κατάλληλα με κοπή σε ειδικές εργαλειομηχανές.

Επειδή ο μαλακός χάλυβας χρησιμοποιείται σε πολύ μεγάλη έκταση για μηχανολογικές κατασκευές και άλλες εγκαταστάσεις σε όλους τους τομείς βιομηχανικής παραγωγής, επικράτησε και η ονομασία **χάλυβας κατασκευών**.

Χυτοσίδηροι

Οι χυτοσίδηροι είναι κράματα σιδήρου-άνθρακα με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 2-5%. Κατά κανόνα όμως στα περισσότερα κράματα ο άνθρακας περιορίζεται στα 3.5%.

Οι εφαρμογές των χυτοσιδήρων είναι πάρα πολλές. Οι πιο σημαντικοί λόγοι για τις εφαρμογές αυτές των χυτοσιδήρων είναι:

1. Χαμηλό κόστος: Η παραγωγή του χυτοσιδήρου γίνεται με ανάτηξη του ακατέργαστου σιδήρου σε καμίνους ανάτηξης (cupola). Με την ανάτηξη αφαιρούνται μερικές ανεπιθύμητες προσμείξεις και ρυθμίζεται η περιεκτικότητα του κράματος σε άνθρακα. Το κόστος παραγωγής χυτοσιδήρου σε σύγκριση με του χάλυβα είναι πολύ πιο χαμηλό.

2. Χυτευτικότητα: Οι χυτοσίδηροι χυτεύονται πολύ εύκολα γιατί έχουν υψηλή ρευστότητα σε κατάσταση τήξης και η θερμοκρασία τήξης τους είναι χαμηλή. Η χυτευτικότητά τους είναι καλύτερη απ' αυτήν του χάλυβα και του αλουμινίου.

3. Κατεργαστικότητα: Όλοι γενικά οι χυτοσίδηροι μπορούν να διαμορφωθούν με κοπή σε εργαλειομηχανές.

4. Αντοχή στη φθορά τριβής: Η υψηλή σκληρότητα που είναι χαρακτηριστικό των χυτοσιδήρων τους προσδίδει αυξημένη αντοχή στη φθορά τριβής. Η ύπαρξη ελεύθερου γραφίτη στους φαιούς χυτοσιδήρους μειώνει το συντελεστή τριβής γιατί ο γραφίτης ενεργεί σαν στερεό λιπαντικό.

5. Απορρόφηση κραδασμών: Η ικανότητα των χυτοσιδήρων να απορροφούν κραδασμούς που προέρχονται από δυναμική φόρτιση, τους κάνει πολύ χρήσιμους στην κατασκευή βάσεων εργαλειομηχανών και άλλων μηχανημάτων.

6. Αντοχή στη θλίψη. Παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντοχή στη θλίψη σε αντίθεση με τη χαμηλή αντοχή τους στον εφελκυσμό.

Τα πιο σοβαρά **μειονεκτήματα** που περιορίζουν τους τομείς εφαρμογής των χυτοσιδήρων είναι:

- i. **Χαμηλή αντοχή εφελκυσμού.**
- ii. **Χαμηλή δυσθραυστότητα.**
- iii. **Χαμηλή πλαστικότητα.**

Έτσι οι χυτοσίδηροι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κατασκευές που καταπονούνται σε εφελκυσμό, κάμψη ή κρούση. Η διαμόρφωση τους με σφυρηλάτηση, κυλινδροποίηση ή οποιαδήποτε μέθοδο διαμόρφωσης, που στηρίζεται στην πλαστική παραμόρφωση, είναι αδύνατη.

Χρήσεις των χυτοσιδήρων.

Μερικές από τις πολλές εφαρμογές των χυτοσιδήρων είναι:

Μηχανές εσωτερικής ή εξωτερικής καύσης (σώματα και κεφαλές κυλίνδρων, χιτώνια, έμβολα), βάσεις ή σώματα μηχανών και εργαλειομηχανών, αγωγοί νερού, εξαρτήματα σωλήνων, κελύφη ηλεκτρικών κινητήρων και κιβωτίων ταχυτήτων, πρισματοειδείς οδηγοί εργαλειομηχανών, έδρανα κ.ά.

3.2.2 Μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά είναι όλα τα μεταλλικά υλικά που δεν περιέχουν σίδηρο. Θα εξετάσουμε στη συνέχεια σε αδρές γραμμές τα πιο σπουδαία και χρήσιμα από αυτά.

Αλουμίνιο ή αργίλιο

Σημείο τήξης	658°C
Αντοχή εφελκυσμού	
- μετά από χύτευση	85-115 N/mm ²
- μετά από ανόπτηση	65 N/mm ²
- μετά από κυλινδροποίηση	125-190 N/mm ²
% Σκληρότητα	23 HB

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα ελαφρότερα μεταλλικά υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Αυτή η ιδιότητά του το κάνει πολύ ελκυστική εκλογή ιδιαίτερα σε εφαρμογές, όπως η αεροναυπηγική, όπου το βάρος είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στην εκλογή του υλικού για την κατασκευή των διαφόρων στοιχείων. Το καθαρό όμως αλουμίνιο έχει πολύ χαμηλή αντοχή εφελκυσμού και σκληρότητα, για να είναι χρήσιμο υλικό στην κατασκευή στοιχείων με κριτήριο την αντοχή γενικά ή την αντοχή στη φθορά τριβής.

Οι πιο σημαντικές **ιδιότητες του αλουμινίου** είναι:

- I. Χαμηλό ειδικό βάρος. Είναι τρεις περίπου φορές ελαφρύτερο από το χάλυβα.
- II. Πολύ καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα.
- III. Καλή αντοχή στην οξείδωση.

IV. Μεγάλη ευκολία διαμόρφωσης με όλους τους γνωστούς τρόπους διαμόρφωσης. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη πλαστικότητα και ελατότητά του, στη χυτευτικότητα του και στο χαμηλό σημείο τήξης του.

Χρήσεις του αλουμινίου και των κραμάτων του

1. Ημικατεργασμένα υλικά: Χάρη στην πλαστικότητα και ελατότητά του προσφέρεται σε όλες τις μορφές τυποποιημένων ημικατεργασμένων υλικών (δοκούς, ράβδους, σωλήνες, σύρματα, λαμαρίνες κ.ά.),

2. Χυτά στοιχεία μηχανών: Η πολύ καλή χυτευτικότητα κάνει το αλουμίνιο και τα κράματά του πολύ χρήσιμα στην κατασκευή χυτών στοιχείων με πολύπλοκη μορφή. Παραδείγματα χυτών στοιχείων από αλουμίνιο είναι: κεφαλές κυλίνδρων μηχανών εσωτερικής καύσης, κελύφη κιβωτίων ταχυτήτων, ηλεκτρικών κινητήρων και αντλιών, εξαρτήματα οικιακών συσκευών κ.ά.

3. Καλώδια: Η μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητά του, το χαμηλό κόστος και βάρος του - σε σύγκριση με το χαλκό - έχει αυξήσει σε μεγάλο βαθμό τη χρησιμοποίηση του αλουμινίου για την κατασκευή καλωδίων.

4. Κατασκευή οικιακών σκευών και δοχείων: Στη μεγάλη πλαστικότητα και στην ελατότητά του σε συνδυασμό με την πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα και τη μη τοξικότητά του οφείλει το αλουμίνιο τη χρήση του για την κατασκευή μαγειρικών σκευών, δοχείων και φύλλων συσκευασίας (aluminium foils) τροφίμων και άλλων προϊόντων.

5. Αεροναυπηγική: Η κατασκευή αεροσκαφών είναι ένας τομέας κατασκευών πολύ ευαίσθητος στο θέμα του βάρους. Μια από τις πρώτες εφαρμογές των κραμάτων του αλουμινίου ήταν στην αεροναυπηγική, που ζητούσε κάποιο κράμα με μεγάλη αντοχή και μικρό βάρος.

Χαλκός.

Σημείο τήξης	1083°C
Αντοχή εφελκυσμού	220 N/mm ²
Αντοχή εφελκυσμού μετά από κυλινδροποίηση μέχρι	360 N/mm ²

Ο χαλκός είναι το πρώτο μεταλλικό υλικό που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος· μαζί με τα κράματά του αποτελεί και σήμερα ένα αρκετά σπουδαίο υλικό. Το ψηλό όμως κόστος του χαλκού έχει περιορίσει σε κάποιο βαθμό τις χρήσεις του. Τη θέση του χαλκού και των κραμάτων του παίρνουν σε αρκετές περιπτώσεις φθηνότερα υλικά, όπως είναι το αλουμίνιο και τα κράματά του και τα συνθετικά υλικά.

Τις πολλές χρήσεις του ο χαλκός οφείλει σε τέσσερις **σημαντικές ιδιότητες** του:

1. Ψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι ο δεύτερος καλύτερος αγωγός ηλεκτρισμού μετά τον άργυρο.
2. Ψηλή θερμική αγωγιμότητα.
3. Καλή αντοχή στην οξείδωση.
4. Μεγάλη ευκολία διαμόρφωσης. Η χύτευση του χαλκού είναι προβληματική (αν όχι αδύνατη) και έτσι στην καθαρή του μορφή δεν χρησιμοποιείται για την κατασκευή χυτών.

Ο καθαρός χαλκός προσφέρεται στο εμπόριο σε μορφή ράβδων, λαμαρινών, σωλήνων και συρμάτων.

Οι πιο **σημαντικές χρήσεις** του χαλκού είναι:

1. Κατασκευή καλωδίων και άλλων στοιχείων για ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές.
2. Χρησιμοποίηση του στην κατασκευή στοιχείων εναλλακτών θερμότητας (θέρμανση ή ψύξη) και οικιακών και άλλων σκευών λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητάς του.
3. Χρησιμοποίησή του για διακοσμητικούς σκοπούς και επιμεταλλώσεις χάρη στην ευχάριστη εμφάνιση και το χρώμα του.

Ένα μεγάλο μέρος του χαλκού, χρησιμοποιείται για την παραγωγή διαφόρων κραμάτων χαλκού. Με την κραματοποίηση του χαλκού επιδιώκονται (και επιτυγχάνονται) δύο ουσιαστικοί στόχοι:

1. Η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του.
2. Η βελτίωση της χυτευτικότητάς του.

Ψευδάργυρος

Σημείο τήξης 419°C

Αντοχή Εφελκυσμού

- μετά από χύτευση 30 N/mm²

- μετά από πίεση 110 N/mm²

Ο ψευδάργυρος έχει λευκό χρώμα και στην καθαρή μορφή του έχει πολύ φτωχές μηχανικές ιδιότητες και πολύ περιορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές.

Η χρησιμότητα του ψευδαργύρου στη βιομηχανία μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό στην εξαιρετικά καλή αντοχή του στην οξείδωση. Ένα μεγάλο ποσοστό του ψευδαργύρου (πέρα από 40%) χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την προστασία σιδηρούχων μεταλλικών υλικών από την οξείδωση (επιψευδαργύρωση ή γαλβάνισμα). Οι άλλοι δύο τομείς πλατιάς χρήσης του ψευδαργύρου είναι στην παραγωγή ορειχάλκων (είναι το δεύτερο κύριο συστατικό των ορειχάλκων μετά το χαλκό) και κραμάτων ψευδαργύρου για χύτευση.

Αντιτριβικά υλικά

Στους διαφόρους μηχανισμούς και άλλα μηχανικά συστήματα, παρατηρείται πάντοτε τριβή που οφείλεται στη σχετική κίνηση μεταξύ των μερών που αποτελούν το μηχανισμό.

Είναι φανερό λοιπόν ότι η μείωση της τριβής μεταξύ κινουμένων μερών, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία των μηχανικών συστημάτων. Για τη μείωση της τριβής προσφέρονται τρεις βασικοί τρόποι, οι οποίοι κατά κανόνα χρησιμοποιούνται συνδυασμένα. Αυτοί οι τρόποι είναι:

Λίπανση της επιφάνειας επαφής των κινουμένων μερών.

Κατεργασία των σημείων συνεργασίας των κινουμένων μερών με πολύ ψηλό βαθμό λειότητας και μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων.

Χρησιμοποίηση τριβέων ολίσθησης (bushes) ή τριβέων κύλισης (ρουλεμάν).

Κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τριβέων ολίσθησης είναι τα ακόλουθα:

1. Λευκά μέταλλα.
2. Κράματα προύντζου.
3. Χυτοσίδηρος.
4. Συνθετικά υλικά (πλαστικά).

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι θερμικές επεξεργασίες είναι επεξεργασίες, στις οποίες υποβάλλονται ορισμένα μεταλλικά κράματα, με σκοπό να αποκτήσουν ορισμένο μέγεθος και συνοχή κόκκων και κατά συνέπεια τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες.

-Ορισμός, σημασία και είδη θερμικών κατεργασιών.

Θερμική κατεργασία μετάλλου, και κυρίως του κράματος, ονομάζουμε συνδυασμό θερμάνσεως και αποψύξεως, ώστε αυτό να αποκτήσει ορισμένη κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκου και επομένως τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε. Γενικά το κράμα θερμαίνεται σε προκαθορισμένη θερμοκρασία, παραμένει στη θερμοκρασία αυτή για ορισμένο κάθε φορά χρονικό διάστημα και ακολουθεί η απόψυξή του με ορισμένη επίσης ταχύτητα.

Στο κομμάτι αυτό θα ασχοληθούμε με τις θερμικές κατεργασίες των χαλύβων. Γιατί οι χάλυβες είναι από τα λίγα εκείνα κράματα της τεχνικής, τα οποία με θερμικές κατεργασίες μπορούν να αποκτήσουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ή και να αλλάξουν μηχανικές ιδιότητες. Αυτό οφείλεται σε μετασχηματισμούς της κρυσταλλικής τους δομής, οι οποίοι γίνονται στη στερεά κατάσταση. Για λόγους απλότητας, θα μελετήσουμε τις βασικές θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων και θα προσθέσουμε επίσης τις γενικές παρατηρήσεις για τις θερμικές κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων. Η εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών των χαλύβων έχει εξαιρετική σημασία. Είναι δυνατό κομμάτι χάλυβα σταθερής χημικής συνθέσεως, μετά από κατάλληλη θερμική κατεργασία ή συνδυασμό θερμικών κατεργασιών, να αποκτήσει διαφορετική κάθε φορά κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκων. Με τις θερμικές κατεργασίες αυτές δεν επενεργούμε ούτε στη μορφή του τεμαχίου ούτε στη χημική του σύνθεση, αλλά μόνο στο είδος της κρυσταλλικής του δομής. Οι μηχανικές ιδιότητες του κράματος εξαρτώνται από το είδος της κρυσταλλικής του δομής και από το μέγεθος των κόκκων του. Επειδή με τις θερμικές κατεργασίες, σύμφωνα με τον ορισμό που δώσαμε, μπορούμε να ρυθμίζουμε αυτά τα δυο, έπεται ότι μπορούμε να πετύχουμε τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε. Έτσι, με την εκτέλεση καταλλήλων θερμικών κατεργασιών, μπορούμε όχι μόνο να αυξήσουμε π.χ. τη σκληρότητα του χάλυβα, αλλά και να βελτιώσουμε την αντοχή, τη δυσθραυστότητα και την πλαστικότητα του. Και σαν παράδειγμα αναφέρουμε τον υποευθηκτοειδή χάλυβα με $\pi(C) = 0,30\%$, που είναι δυνατό να αποκτήσει τις μηχανικές ιδιότητες του παρακάτω πίνακα, που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους για τις θερμικές κατεργασίες αυτού του πίνακα.

Θερμική κατεργασία	Μέγιστη αντοχή σ_B [Nm/mm ²]	Επιμήκυνση θραύσεως, A [%]	Δυσθραυστότητα κατά IZOD* [Nrn/mm ²]	Σκληρότητα Brinell H_B
Εξομάλυνση σε 850°C	520	37,0	160	141
Βαφή στο νερό σε 850°C	1340	1,2	20	394
Βαφή στο νερό σε 850°C με				
α) Επαναφορά σε 200°C	1210	4,3	44	347
β) Επαναφορά σε 400°C	970	15,8	97	272
γ) Επαναφορά σε 600°C	630	34,2	166	194
δ) Επαναφορά σε 800°C	530	36,1	160	141

Οι **βασικές θερμικές** κατεργασίες είναι οι ακόλουθες:

1. Σκλήρυνση – ολική και επιφανειακή σκλήρυνση.
2. Επαναφορά.
3. Ανόπτηση.
4. Εξομαλοποίηση.
5. Γήρανση - φυσική και τεχνητή γήρανση.

1. Σκλήρυνση

Σκλήρυνση είναι η θερμική επεξεργασία, στην οποία υποβάλλονται ορισμένα στοιχεία

Πίνακας 10: Παρουσιάζεται πίνακας με τις μηχανικές ιδιότητες του υποευτηκτοειδή χάλυβα με $\pi(C) = 0,30\%$, στις διάφορες θερμικές κατεργασίες.

~~-Με ομοιομορφή θερμάνση~~ του στοιχείου μηχανής ή εργαλείου σε ορισμένη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή λέγεται θερμοκρασία σκλήρυνσης και εξαρτάται από το ποσοστό περιεκτικότητας σε άνθρακα του κράματος, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο μηχανής ή το εργαλείο.

~~-Απότομη απόψυξη~~ από τη θερμοκρασία σκλήρυνσης.

Στοιχεία μηχανών με επιφάνειες που υποβάλλονται σε τριβές (τριβή κύλισης ή τριβή ολίσθησης), είναι απαραίτητο, εκτός από το ψηλό βαθμό λειότητας των τριβομένων επιφανειών τους, να συνδυάζουν και ψηλό βαθμό σκληρότητας.

Σε ειδικές όμως περιπτώσεις, λόγοι λειτουργικοί επιβάλλουν όπως ορισμένα στοιχεία μηχανών, εκτός από το ψηλό βαθμό λειότητας και σκληρότητας των τριβομένων επιφανειών τους, συνδυάζουν ταυτόχρονα και ψηλό βαθμό δυσθραυστότητας, ώστε να αντέχουν τόσο στη φθορά τριβής όσο, και σε απότομες φορτίσεις χωρίς κίνδυνο θραύσης τους. Τέτοια στοιχεία μηχανών είναι οι στροφαλοφόροι άξονες, οι εκκεντροφόροι άξονες, οι πείροι σύνδεσης των διωστήρων με τα έμβολα κ.ά. Αυτά υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία **επιφανειακής σκλήρυνσης** αντί της θερμικής επεξεργασίας της ολικής σκλήρυνσης που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις στοιχείων όπου η δυσθραυστότητα δεν είναι απαραίτητη ιδιότητα.

Ολική σκλήρυνση (hardening).

Ολική σκλήρυνση είναι η θερμική επεξεργασία που έχει σκοπό την ομοιομορφή αύξηση του βαθμού σκληρότητας ολόκληρης της μεταλλικής μάζας ενός στοιχείου μηχανής ή εργαλείου.

Στην πραγματικότητα, η επίτευξη σταθερού βαθμού σκληρότητας ολόκληρης της μεταλλικής μάζας είναι κατορθωτή μόνο σε ορισμένα κράματα χάλυβα. Αυτό οφείλεται βασικά στο γεγονός ότι δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη και ομοιομορφή απόψυξη ολόκληρης της μεταλλικής μάζας ενός στοιχείου ή εργαλείου.

Επιφανειακή σκλήρυνση

Επιφανειακή σκλήρυνση είναι η θερμική επεξεργασία που έχει σκοπό την ομοιομορφή αύξηση του βαθμού σκληρότητας της επιφάνειας, σε ορισμένο βάθος, ενός στοιχείου μηχανής ή εργαλείου.

Το βάθος σκλήρυνσης στοιχείων μηχανών, που υποβάλλονται σε επιφανειακή σκλήρυνση, κυμαίνεται από 0.1-12mm.

2.Επαναφορά

Η επαναφορά είναι θερμική επεξεργασία, στην οποία υποβάλλεται ένα στοιχείο μηχανής ή εργαλείο από χάλυβα μετά την ολική ή μετά την επιφανειακή σκλήρυνση.

Κατά την επαναφορά το στοιχείο μηχανής ή το εργαλείο θερμαίνεται σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (τη θερμοκρασία επαναφοράς) και στη συνέχεια ψύχεται. Η ταχύτητα απόψυξης στην περίπτωση αυτή δεν έχει καμιά σημασία.

Η επαναφορά του χάλυβα εξυπηρετεί τους ακόλουθους σκοπούς:

1. Απαλλάσσει το χάλυβα από τις ανεπιθύμητες εσωτερικές τάσεις που δημιουργούνται κατά την ολική ή την επιφανειακή σκλήρυνσή του. Οι εσωτερικές τάσεις στο χάλυβα είναι ανεπιθύμητες γιατί τον καθιστούν εύθραυστο.

2. Αυξάνει το βαθμό δυσθραυστότητας του χάλυβα χωρίς να μειώνει δραστικά το ψηλό βαθμό σκληρότητας που έχει αποκτήσει προηγουμένως, με την ολική ή την επιφανειακή σκλήρυνση.

3.Ανόπτηση

Η ανόπτηση για ανακρυστάλλωση.

Η αποτακτική ανόπτηση.

Η ανόπτηση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη.

Η ανόπτηση είναι θερμική επεξεργασία που **εξυπηρετεί τους ακόλουθους σκοπούς:**

1. Αφαίρεση των εσωτερικών τάσεων που δημιουργούνται στους διάφορους χάλυβες κατασκευής στοιχείων μηχανών, εργαλείων και άλλων αντικειμένων.

Οι εσωτερικές αυτές τάσεις δημιουργούνται στους χάλυβες σαν αποτέλεσμα:

Διαφόρων κατεργασιών διαμόρφωσής τους χωρίς κοπή, σε ψυχρή κατάσταση, όπως είναι η σφυρηλάτηση, κυλινδροποίηση, ολική-συρματοποίηση, εξέλαση κ.ά.

2. Βελτίωση της κατεργαστικότητας στοιχείων, μηχανών, εργαλείων και άλλων αντικειμένων από χάλυβα.

Η ανόπτηση των χαλύβων διεξάγεται σε τρία στάδια τα ακόλουθα:

1. Θέρμανση του χάλυβα στη θερμοκρασία ανόπτησης. Η θερμοκρασία ανόπτησης εξαρτάται από το είδος του χάλυβα και κυμαίνεται μεταξύ 750-900°C.

2. Διατήρηση του χάλυβα στη θερμοκρασία ανόπτησης για ορισμένο χρονικό διάστημα.

3. Απόψυξη του χάλυβα με βραδύ ρυθμό. Αυτή γίνεται μέσα στον ίδιο τον κλίβανο όπου θερμαίνεται ο χάλυβας, αφού ο κλίβανος τεθεί εκτός λειτουργίας.

4.Εξομαλοποίηση

Η εξομαλοποίηση είναι θερμική επεξεργασία παρόμοια της ανόπτησης. Διαφέρει από την ανόπτηση μόνο σε ότι αφορά το ρυθμό απόψυξης του χάλυβα (τρίτο στάδιο της ανόπτησης). Η απόψυξη του χάλυβα στην περίπτωση της εξομαλοποίησης, γίνεται με πιο γρήγορο ρυθμό απ' ότι στην περίπτωση της ανόπτησης.

Μετά τη θέρμανσή τους σε κλίβανο, στη θερμοκρασία εξομαλοποίησης, και τη διατήρησή τους για ορισμένο χρονικό διάστημα στη θερμοκρασία αυτή, τα στοιχεία μηχανών ή τα εργαλεία απομακρύνονται από τον κλίβανο και αφήνονται εκτεθειμένα στον ήρεμο αέρα του περιβάλλοντος του εργαστηρίου, μέχρι να αποψυχθούν.

Η εξομαλοποίηση, όπως και η ανόπτηση, έχει σκοπό την αφαίρεση των εσωτερικών τάσεων από το χάλυβα και τη βελτίωση της κατεργαστικότητας του χωρίς όμως δραστική επίδραση στην αντοχή εφελκυσμού του χάλυβα.

5.Γήρανση

Η γήρανση είναι θερμική επεξεργασία που έχει σκοπό τη βελτίωση της σκληρότητας και των άλλων μηχανικών ιδιοτήτων ορισμένων κραμάτων αλουμινίου. Το πιο γνωστό κράμα αλουμινίου που μπορεί να υποβληθεί σε γήρανση είναι το **ντουραλουμίνιο**.

ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΕΣ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

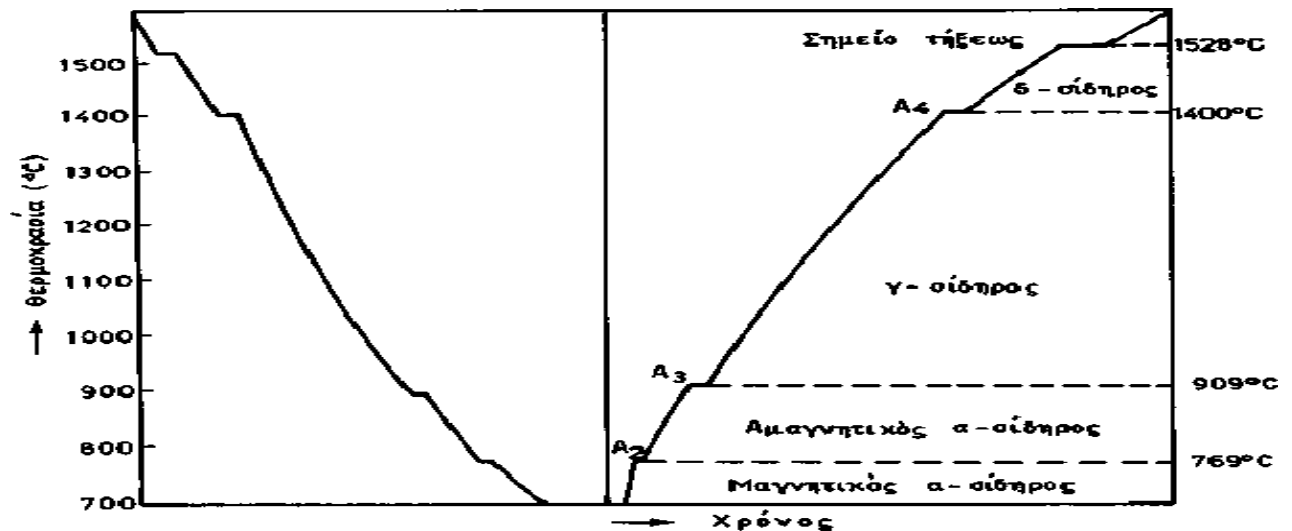
Παρακάτω θα δούμε τις μορφές κρυσταλλικής δομής που παρουσιάζει ο καθαρός σίδηρος κατά τη θέρμανσή του μέχρι την τήξη του, αλλά και κατά την απόψυξή του μέχρι τη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Στον οριζόντιο άξονα τίθεται ο χρόνος θερμάνσεως ή αποψύξεως και στον κάθετο προς αυτόν άξονα η θερμοκρασία σε °C.

Κατά την πύρωση του σιδήρου (η λέξη «θέρμανση» συνηθίζεται να χρησιμοποιείται μέχρι τους 500°C και από εκεί και επάνω ο όρος «πύρωση»), παρατηρούμε ότι, όταν η θερμοκρασία φθάσει στους 769°C, 909°C, 1400°C και 1528°C (σημείο τήξεως του καθαρού σιδήρου), παραμένει για λίγο διάστημα στάσιμη, ύστερα δε εξακολουθεί να ανυψώνεται. Αυτό σημαίνει ότι ο σίδηρος στις θερμοκρασίες αυτές απορροφάει θερμότητα, χωρίς όμως να αυξάνεται η θερμοκρασία του. Επομένως κάποια μεταβολή θα γίνεται μέσα του. Οι θερμοκρασίες των 769°C, 909°C και 1400°C λέγονται **κρίσιμα σημεία** και παριστάνονται με A_2 , A_3 και A_4 αντίστοιχα.

Κατά το χρόνο που η θερμοκρασία παραμένει στάσιμη στα κρίσιμα σημεία A_3 και A_4 παρατηρείται μεταμόρφωση στην κρυσταλλική δομή του σιδήρου. Έτσι, ο καθαρός σίδηρος μέχρι τη θερμοκρασία των 909°C (κρίσιμο σημείο A_3) παρουσιάζεται ως **άλφα σίδηρος**. Έχει **χωροκεντρωμένο κυβικό** κρυσταλλικό πλέγμα. Ο α-σίδηρος μέχρι τους 769°C είναι **μαγνητικός** από τη θερμοκρασία δε αυτή (κρίσιμο σημείο A_2) και μέχρι το κρίσιμο σημείο A_3 γίνεται **αμαγνητικός**. Στη συνέχεια ο α-σίδηρος στους 909°C μετασχηματίζεται σε **γάμμα – σίδηρο**, ο οποίος έχει **εδροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα** και είναι αμαγνητικός.

Ο γ-σίδηρος, όταν θερμανθεί στους 1400°C (κρίσιμο σημείο A_4) μετασχηματίζεται σε δέλτα-σίδηρο, με **χωροκεντρωμένο κυβικό** κρυσταλλικό πλέγμα, δηλαδή όμοιο με το πλέγμα του α-σιδήρου. Στους 1528°C γίνεται η τήξη του καθαρού σιδήρου.

Κατά την απόψυξη του τήγματος καθαρού σιδήρου παρατηρούνται οι ίδιες μεταβολές, με αντίστροφη όμως σειρά, στην κρυσταλλική δομή του και στα ίδια περίπου σημεία A_4 , A_3 , A_2 , όπως συμβαίνει κατά την πύρωσή του. Ο α-σίδηρος δεν διαλύει τον άνθρακα. Ο γ-σίδηρος, ο οποίος τον διαλύει, μπορεί να υπάρξει και στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αν προσθέσουμε σε αυτόν ορισμένα στοιχεία, όπως είναι το νικέλιο και το μαγγάνιο, που έχουν την ιδιότητα να κατεβάζουν τα κρίσιμα σημεία. Από αυτά που είπαμε, συμπεραίνουμε ότι ο σίδηρος υπάρχει σε δυο αλλοτροπικές μορφές, δηλαδή ως α-σίδηρος και ως δ-σίδηρος με χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα και ως γ-σίδηρος με εδροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα.



Διάγραμμα 2: Παρουσιάζονται οι καμπύλες απόψυξης-θέρμανσης καθαρού σιδήρου. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

Θεωρούμε σκόπιμο, στο μέρος αυτό των θερμικών κατεργασιών να συμπεριλάβουμε και τις θερμοτεχνικές κατεργασίες καταλλήλων χαλύβων με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Οι κατεργασίες αυτές είναι η ενανθράκωση και η εναζώτωση, που δίνουν μεγάλη σκληρότητα στην επιφανειακή στιβάδα (ζώνη) των τεμαχίων, ενώ η αντοχή και η δυσθραυστότητα του πυρήνα παραμένουν σε ανεκτά όρια. Αναφέρουμε επίσης και τη φλογοβαφή, καθώς και τη βαφή με ηλεκτρομσγνητική επαγωγή, με τις οποίες πετυχαίνουμε επίσης επιφανειακή σκλήρωση τεμαχίων από χάλυβα, ο οποίος όμως επιδέχεται βαφή.

Επίδραση της ταχύτητας αποψύξεως.

1) Ήρεμη απόψυξη.

Στο διάγραμμα θερμικής ισορροπίας των ανθρακούχων χαλύβων (κραμάτων οιδήρουσεμεντίτη).

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

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

2) Απότομη απόψυξη.

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

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

Ας εξετάσουμε τώρα με περισσότερη λεπτομέρεια, τι συμβαίνει στην κρυσταλλική δομή τον χάλυβα μετά από απότομη απόψυξή του μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Παίρνουμε ένα τεμάχιο ανθρακούχου ευτηκτοειδούς χάλυβα, δηλαδή με $\pi(C) = 0,80\%$, το οποίο πυρώνουμε σε θερμοκρασία

περίπου 50°C πάνω από τους 723°C. Το τεμάχιο παραμένει στη θερμοκρασία αυτή τόσο χρόνο, ώστε να αποκτήσει δομή ωστενίτη. Μετά αποψύχεται απότομα μέσα σε λουτρό ψυχρού νερού ή αλατούχου νερού. Στην περίπτωση αυτή έχουμε, όπως λέμε, τυπική βαφή του χάλυβα. Αποτέλεσμα της απότομης αποψύξεώς του είναι η εμφάνιση στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ενός νέου κρυσταλλικού είδους που ονομάζεται **μαρτενσίτης**. Αυτός είναι εντελώς διαφορετικός από τον περλίτη, ο οποίος σχηματίζεται, όταν η απόψυξη του χάλυβα είναι ήρεμη. Ο μαρτενσίτης αποτελείται από λεπτούς βελονοειδείς κρυσταλλίτες, πολύ σκληρούς και εύθραυστους, που προσανατολίζονται κατά τις πλευρές ισόπλευρου τριγώνου κατά προσέγγιση. Συνοπτικά ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη γίνεται ως εξής:

Όπως γνωρίζουμε, ο ωστενίτης είναι στερεό διάλυμα παρεμβολής άνθρακα σε γ-σίδηρο.

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

Ο περισσευούμενος άνθρακας στρεβλώνει το κρυσταλλικό πλέγμα του φερρίτη και το μετατρέπει από χωροκεντρωμένο κυβικό σε χωροκεντρωμένο τετραγωνικό.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη σοβαρών εσωτερικών τάσεων. Κατά το μετασχηματισμό του ωστενίτη σε μαρτενσίτη αυξάνεται ο όγκος του τεμαχίου. Στο μετασχηματισμό του μαρτενσίτη οφείλεται το ότι ο χάλυβας αποκτάει μεγάλη σκληρότητα, όπως επίσης και υψηλότερη μέγιστη αντοχή σ_B και όριο ελαστικότητας σ_E , που συνοδεύονται όμως από χαμηλή δυσθραυστότητα και από έλλειψη πλαστικότητας.

Αναφέρεται ενδεικτικά, ότι ανθρακούχος χάλυβας με $\pi(C) = 0,80\%$ βαμμένος (μαρτενσίτης) έχει σκληρότητα 940 Vickers, ενώ ανωπτημένος (περλίτης) έχει μόνο 220 Vickers.

3) Απόψυξη με ενδιάμεσες ταχύτητες.

Μέχρι τώρα έχουμε εξετάσει τους μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα στις ακραίες περιπτώσεις, δηλαδή στην ήρεμη και την απότομη απόψυξη. Μας ενδιαφέρει όμως να μελετήσουμε τι συμβαίνει, όταν ο χάλυβας αποψύχεται με ενδιάμεσες ταχύτητες. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται, όπως λέγεται, η **ισόθερμος βαφή**. Με τη βοήθειά της καταρτίζεται νέο διάγραμμα, το **διάγραμμα Χρόνου - θερμοκρασίας - Μετασχηματισμού [διάγραμμα X - Θ - M]**.

Στην απόψυξη με ενδιάμεσες ταχύτητες αποψύξεως προκύπτουν νέα κρυσταλλικά είδη μεταξύ περλίτη και μαρτενσίτη, τα οποία έχουν μεγάλη σημασία στη βιομηχανική χρήση των χαλύβων. Τα νέα αυτά κρυσταλλικά είδη είναι ο **ανώτερος μπαινίτης** και ο **κατώτερος μπαινίτης**.

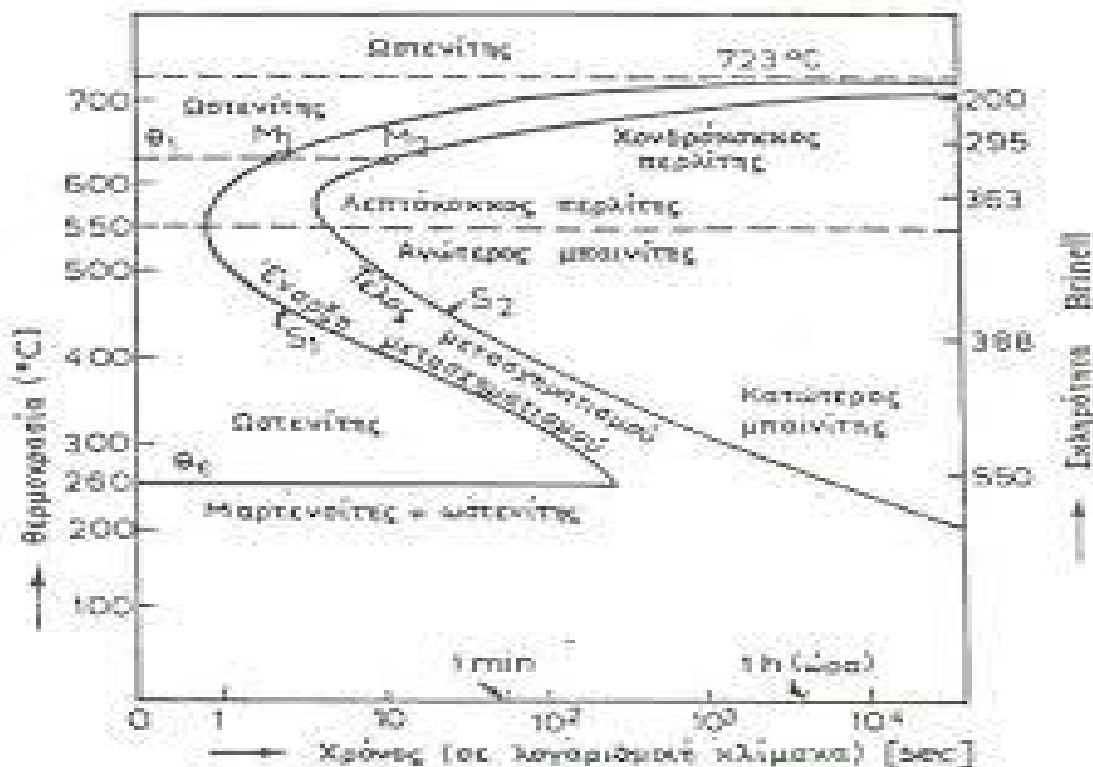
Τονίζουμε πάλι, ότι κάθε είδος κρυσταλλικής δομής του χάλυβα, αλλά και το μέγεθος των κόκκων, σχετίζονται με ορισμένες μηχανικές ιδιότητες.

Ο καλύτερος τρόπος για να αντιληφθούμε την αξία των διαγραμμάτων X-Θ-M είναι να παρακολουθήσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτά καταρτίζονται. Γι' αυτό διαλέγουμε ευτηκτοειδή ανθρακούχο χάλυβα. Κατασκευάζουμε μικρά δοκίμια του χάλυβα αυτού και τα θερμαίνουμε σε θερμοκρασία κατά 50°C περίπου υψηλότερη από το ανώτερο κρίσιμο σημείο (723°C στην περίπτωση αυτή) για μισή περίπου ώρα, ώστε να αποκτήσουν δομή ωστενίτη. Κατόπιν, τα δοκίμια εμβαπτίζονται σε λουτρό αλάτων προκαθορισμένης σταθερής θερμοκρασίας θ_1 , μικρότερης των 723°C, ώστε πολύ γρήγορα να αποκτήσουν τη θερμοκρασία αυτή. Αμέσως μετά, κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα, κάθε δοκίμιο αποψύχεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε κρύο νερό ή αλατούχο νερό. Το δοκίμιο υφίσταται με αυτό τον τρόπο βαφή. Μετράται η σκληρότητα κάθε δοκιμίου και εξετάζεται στο

μεταλλογραφικό μικροσκόπιο η κρυσταλλική δομή του. Έτσι, προσδιορίζεται για κάθε θερμοκρασία θ_1 , το σημείο που αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη και το σημείο που τελειώνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη. Με αυτό τον τρόπο με διαφορετικές θερμοκρασίες θ_1 το σημείο M_1 διαγράφει την καμπύλη S_1 και το σημείο M_2 την καμπύλη S_2 . Σε κάθε σημείο της καμπύλης αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (100% ωστενίτης) και σε κάθε σημείο της καμπύλης S_2 τελειώνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (0% ωστενίτης). Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο παρακάτω, τα διαγράμματα αυτά έχουν μορφή S, για κάθε δε περιεκτικότητα σε άνθρακα του χάλυβα αντιστοιχεί ιδιαίτερο διάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος τίθεται ο χρόνος, σε κλίμακα όμως λογαριθμική. Έτσι, μπορούν να τεθούν πολύ μικροί χρόνοι, όπως δευτερόλεπτα, αλλά και πολύ μεγάλοι, όπως ημέρες ή εβδομάδες. Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος τίθεται η θερμοκρασία.

Από το διάγραμμα X-Θ-M του σχήματος του ευτηκτοειδούς χάλυβα προκύπτουν τα ακόλουθα: Σε θερμοκρασίες θ_1 μεταξύ 550°C περίπου και λίγο κάτω των 723°C σχηματίζεται κατά την ισόθερμη βαφή περλίτης, που γίνεται τόσο περισσότερο λεπτόκοκκος και σκληρότερος, όσο η θερμοκρασία θ_1 είναι χαμηλότερη. Έτσι, σε θερμοκρασία $\theta_1 = 700^\circ\text{C}$ σχηματίζεται χονδρόκοκκος περλίτης με σκληρότητα περίπου 200 Brinell, σε $\theta_1 = 650^\circ\text{C}$ σχηματίζεται περλίτης με κόκκους μεσαίου μεγέθους και σκληρότητα 295 Brinell και σε $\theta_1 = 580^\circ\text{C}$ σχηματίζεται λεπτόκοκκος περλίτης με σκληρότητα 363 Brinell.

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



Διάγραμμα 3: Παραπάνω παρουσιάζεται το διάγραμμα X-Θ-M ευτηκτοειδούς χάλυβα. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

Συνδυασμός των καμπύλων αποψύξεως χάλυβα και του διαγράμματος X-Θ-M. Στην πράξη ο χάλυβας δεν βάφεται με ισόθερμη βαφή, αλλά με συνεχή βαφή. Δηλαδή από τη θερμοκρασία, όπου βρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη, αποψύχεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μέσα σε κατάλληλο υγρό. Το υγρό αυτό αποψύξεως είναι συνήθως νερό, λάδι ή αέρας.

Η ταχύτητα αποψύξεως αυξάνεται κατά τη σειρά των συνηθισμένων μέσων βαφής: αέρας, λάδι, νερό. Σε κάθε μέσο αποψύξεως αντιστοιχεί και ορισμένη καμπύλη αποψύξεως, που μπορεί να παρασταθεί στους ίδιους άξονες, όπως και το διάγραμμα X-Θ-M, δηλαδή στον άξονα του χρόνου και της θερμοκρασίας.

Εδώ υποθέτουμε ότι το διάγραμμα X-Θ-M του χάλυβα, που εξετάζουμε, μπορεί κατά προσέγγιση να χρησιμοποιούμε και για συνθήκες συνεχούς βαφής.

Το διάγραμμα που ακολουθεί, αναφέρεται σε ευτηκτοειδή ανθρακούχο χάλυβα. Οι καμπύλες αποψύξεως (α), (β), (γ), (δ), (ε), (ζ) αντιστοιχούν σε διάφορες ταχύτητες αποψύξεως και μάλιστα συνεχώς αυξανόμενες από την καμπύλη (α) μέχρι την καμπύλη (ε).

Η καμπύλη αποψύξεως (α) παριστάνει απόψυξη με χαμηλή ταχύτητα, όπως συμβαίνει στην απόπτηση του χάλυβα. Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα, ο χάλυβας παραμένει στην κατάσταση του ωστενίτη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από το σημείο 1 και τελειώνει στο σημείο 1'. Το προϊόν του μετασχηματισμού αυτού είναι χονδρόκοκκος περλίτης με χαμηλή σκληρότητα, πράγμα που ήδη έχουμε πει. Επειδή η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων 1 και 1' είναι πολύ μικρή, έπεται ότι πολύ μικρή θα είναι και η διαφορά του μεγέθους των

κόκκων του περλίτη στην έναρξη (σημείο 1) και στο τέλος (σημείο 1') του μετασχηματισμού του ωστενίτη. Κάτω από το σημείο 1' η ταχύτητα αποψύξεως δεν έχει πια καμιά επίδραση στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα. Το τεμάχιο, συνεπώς, μπορεί να αποψυχθεί και με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα χωρίς να παρατηρηθεί καμιά άλλη μεταβολή στη δομή του. Αυτό έχει σημαντική σημασία από άποψη οικονομική, γιατί όσο διαρκεί η ανόπτηση δεν είναι απαραίτητο να παραμένουν τα τεμάχια μέσα στον κλίβανο ανοπτήσεως, μέχρι που να αποψυχθούν εντελώς, αλλά είναι δυνατό μετά το σημείο V να βγούν από τον κλίβανο και να αφεθούν στον ελεύθερο αέρα. Έτσι ο χρόνος της ανοπτήσεως μπορεί να μειωθεί πάρα πολύ.

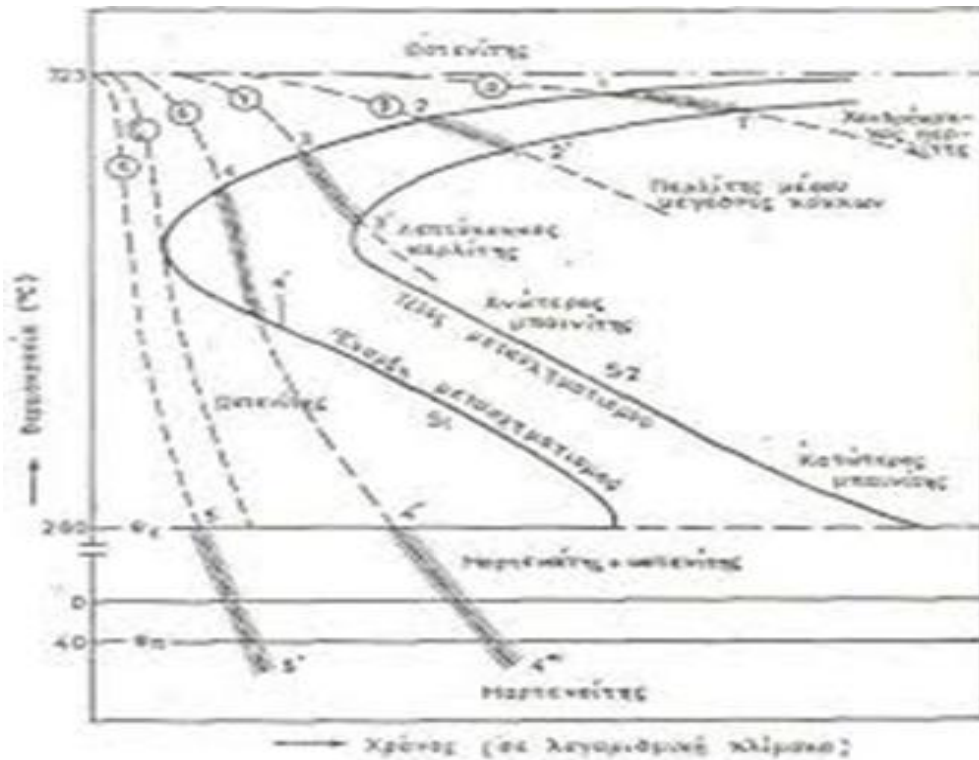
Η καμπύλη (β) αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα αποψύξεως και μπορεί να θεωρηθεί σαν τυπική καμπύλη για τη θερμική κατεργασία της εξομάλυνσεως. Στο διάγραμμα φαίνεται ότι ο ωστενίτης μετασχηματίζεται σε χονδρόκοκκο περλίτη (σημείο 2) και σε περλίτη που έχει μεσαίο μέγεθος κόκκων (σημείο 2'). Επειδή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

Η καμπύλη αποψύξεως (γ) είναι τυπική της βαφής του χάλυβα σε λάδι. η δε κρυσταλλική του δομή θα περιλαμβάνει λεπτόκοκκο περλίτη και περλίτη με κόκκους μεσαίου μεγέθους.

Η καμπύλη (δ) είναι χαρακτηριστική ενδιάμεσης ταχύτητας αποψύξεως. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από το σημείο 4 και τελειώνει, όχι τελείως, στο σημείο 4', όπου ορισμένο ποσοστό ωστενίτη έχει μετασχηματισθεί σε λεπτόκοκκο περλίτη, που περιβάλλεται από τον ωστενίτη που έχει απομείνει. Στο σημείο 4'', αφού προηγουμένως η θερμοκρασία έχει αρκετά μειωθεί, αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αυτού σε μαρτενσίτη, στο σημείο δε 4''' ο ωστενίτης έχει τελείως μετασχηματισθεί σε μαρτενσίτη.

Η καμπύλη (ε) είναι τυπική της βαφής σε μεγάλη ταχύτητα αποψύξεως, όπως συμβαίνει αν χρησιμοποιηθεί σαν μέσο ψύξεως κρύο αλατούχο νερό. Η καμπύλη (ε) δεν τέμνει καθόλου το διάγραμμα X-Θ-M.Ο χάλυβας, σε κατάσταση ωστενίτη, μετασχηματίζεται σε μαρτενσίτη μεταξύ των θερμοκρασιών $\theta_e = 260^\circ\text{C}$ (σημείο 5) και $\theta_\pi = -40^\circ\text{C}$ (σημείο 5'). Κάτω από τη θερμοκρασία θ_π η κρυσταλλική δομή του χάλυβα είναι μαρτενσίτης.

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



Διάγραμμα 4: Παραπάνω παρουσιάζεται το διάγραμμα X-Θ-M ευτηκτοειδούς ανθρακούχου χάλυβα-καμπύλες αποψύξεως. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

3.4 ΟΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε την εκτέλεση των διαφόρων θερμικών κατεργασιών στην πράξη. Θα μας απασχολήσει κυρίως ο τρόπος με τον οποίο εκτελούνται οι θερμικές κατεργασίες και τι πετυχαίνουμε με αυτές.

Πριν όμως αναπτύξουμε αυτό το θέμα, θα αναφέρουμε λίγα λόγια σχετικά με τη μέτρηση της θερμοκρασίας στις διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Γιατί η θερμοκρασία αποτελεί πολύ σοβαρό παράγοντα κατά την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών και επομένως μας ενδιαφέρει να γνωρίσουμε τα κυριότερα όργανα μετρήσεώς της, τις αρχές λειτουργίας τους και τη χρήση τους.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται:

- α) Με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού.
- β) Με θερμόμετρα διαστολής υγρού ή πύεσεως ατμού ή αερίου.
- γ) Με θερμόμετρα ηλεκτρικής αντιστάσεως.
- δ) Με θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα.
- ε) Με πυρόμετρα ακτινοβολίας και
- στ) με χρησιμοποίηση των δεικτών θερμοκρασίας Seger.

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

Μέτρηση της θερμοκρασίας.

1) Θερμομετρικές κλίμακες

Σε πολλές χώρες η κανονική θερμομετρική κλίμακα είναι η εκατοντάβαθμη ή κλίμακα Κελσίου. Όμως στις αγγλοσαξονικές χώρες (Αγγλία, Αμερική) χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικό η θερμομετρική κλίμακα Φαρενάιτ (Fahrenheit).

Οι σχέσεις μετατροπής της θερμοκρασίας από τη μια κλίμακα στην άλλη είναι οι εξής:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$
$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

όπου: $^{\circ}\text{C}$ η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου και $^{\circ}\text{F}$ σε βαθμούς Φαρενάιτ.

2) Μέτρηση της θερμοκρασίας με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού.

Μια από τις πιο απλές μεθόδους εκτίμησης της θερμοκρασίας του χάλυβα είναι αυτή που βασίζεται στην παρατήρηση των διαφόρων χρωματισμών, που παρουσιάζει η επιφάνειά του κατά τη θέρμανσή του.

Οι χρωματισμοί οφείλονται σε οξειδία, τα οποία σχηματίζονται στην επιφάνεια του χάλυβα κατά τη θέρμανσή του σε αντίστοιχες θερμοκρασίες.

Η μέθοδος αυτή μας δίνει χονδρική εκτίμηση της θερμοκρασίας και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πρόσωπο που κάνει την εκτίμηση αυτή.

Με τη μέθοδο αυτή έχουμε σχετικά μεγαλύτερη ακρίβεια για το σίδηρο και τους χάλυβες από 200°C μέχρι 350°C . Η εξέλιξη των χρωματισμών στην περιοχή αυτή θερμοκρασιών είναι η εξής:

- | | | |
|---------------------------------|----|-----------------------|
| • Κίτρινος βαθύς | σε | 220°C |
| • Χρυσοκίτρινος | σε | 245°C |
| • Ερυθροκαστανός | σε | 265°C |
| • Κόκκινος (πορφυρούς) | σε | 275°C |
| • Γαλανός ανοικτός (κυανούς) | σε | 290°C |
| • Γαλανός βαθύς (κυανούς) | σε | 300°C |
| • Γκριζγάλανος(κυανοτεφρόχρους) | σε | 310°C |
| • Γκρι(τεφρόχρους) | σε | 325°C |

Στην περιοχή πιο υψηλών θερμοκρασιών ο χρωματισμός μεταβάλλεται, ως εξής:

- | | | |
|--------------------------------|----|------------------------|
| • Ελαφρά κόκκινος (ερυθρός) | σε | 500°C |
| • Σκοτεινός κόκκινος (ερυθρός) | σε | 700°C |
| • Κόκκινος κερασί (ερυθρός) | σε | 800°C |
| • Κόκκινος ανοικτός (ερυθρός) | σε | 900°C |
| • Κερασί-κόκκινος ανοικτός | σε | 1000°C |
| • Πορτοκαλί | σε | 1100°C |
| • Κίτρινος σκοτεινός | σε | 1150°C |
| • Κίτρινος ανοικτός | σε | 1200°C |
| • Ισχυρά λευκός | σε | 1350°C |
| • Λαμπρός λευκός | σε | 1500°C |

3) Θερμόμετρα διαστολής υγρού. Θερμόμετρα πίεσεως ατμού ή αερίου.

Το θερμόμετρο διαστολής υγρού αποτελείται από φούσκα που τοποθετούμε στο χώρο, του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία και από σωλήνα Β. Ο σωλήνας αυτός στην άκρη του έχει δείκτη ή πένα καταγραφής για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Η φούσκα και ο σωλήνας συνδέονται μεταξύ τους με τριχοειδή (με πολύ μικρή διάμετρο) σωλήνα.

Όλο το σύστημα αυτού του θερμομέτρου γεμίζει με κατάλληλο υγρό ή υδράργυρο. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας στην περιοχή της φούσκας αναγκάζουν το υγρό να διαστέλλεται ή να συστέλλεται, με αποτέλεσμα να διαστέλλεται ή να συστέλλεται ο σωλήνας και αντίστοιχα να μετακινείται ο δείκτης .

Χρησιμοποιούνται τα εξής υγρά ανάλογα με τη θερμοκρασία:

- Υδράργυρος: από -40°C μέχρι 510°C
- Οινόπνευμα: από -80°C μέχρι 71°C
- Πεντάνιο: από -200°C μέχρι 29°C
- Κρεόζωτο: από -7°C μέχρι 204°C

Το θερμόμετρο πίεσεως ατμού έχει την ίδια διάταξη με το θερμόμετρο διαστολής υγρού, με τη διαφορά ότι η φούσκα γεμίζει, όχι τελείως, με κατάλληλο υγρό. Το υγρό που χρησιμοποιείται πρέπει να εξατμίζεται εύκολα. Μεταβολές της θερμοκρασίας της φούσκας προξενούν αντίστοιχες μεταβολές της πίεσεως του ατμού, που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του υγρού της φούσκας. Αυτές οι μεταβολές της πίεσεως μεταφέρονται στο σωλήνα και μετατρέπονται σε μετακινήσεις του δείκτη.

Με το θερμόμετρο πίεσεως ατμού και με κατάλληλη εκλογή του υγρού μπορούμε να μετρήσουμε θερμοκρασίες από -50°C μέχρι 260°C . Τα υγρά που χρησιμοποιούμε σ' αυτή την περίπτωση είναι ο αιθέρας, η αιθυλική αλκοόλη, η γλυκόζη και άλλα.

Το θερμόμετρο πίεσεως αερίου έχει την ίδια διάταξη με τα προηγούμενα με τη διαφορά ότι αντί για υγρό χρησιμοποιείται αέριο, συνήθως άζωτο. Η περιοχή θερμοκρασιών που μετράμε με αυτό το θερμόμετρο είναι από -268°C μέχρι 650°C .

Γενικά τα θερμόμετρα που εξετάσαμε χρησιμοποιούνται κυρίως για μετρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών, όπως είναι λουτρά καθαρισμού, επιμεταλλώσεως, απολιπάνσεως και άλλα. Είναι φτηνά, όμως η ακρίβεια μετρήσεως της θερμοκρασίας δεν είναι πολύ μεγάλη.

4) Θερμόμετρο ηλεκτρικής αντιστάσεως

Η αρχή λειτουργίας των θερμομέτρων αυτών βασίζεται στο φαινόμενο αύξησεως της ηλεκτρικής αντιστάσεως αγωγού με αύξηση της θερμοκρασίας.

Ο αγωγός, με μορφή πηνίου, τοποθετείται μέσα σε προστατευτικό σωληνωτό περίβλημα και οι ακροδέκτες του πηνίου συνδέονται με ένα ωμόμετρο, συνήθως με γέφυρα Γουϊτστον (Wheatstone). Μετά από κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου, οι μεταβολές της αντιστάσεως ανταποκρίνονται σε μεταβολές της θερμοκρασίας.

Έτσι, σε κάθε ένδειξη του ωμομέτρου αντιστοιχεί ορισμένη θερμοκρασία. Το πηνίο κατασκευάζεται από σύρμα χαλκού, νικελίου ή λευκόχρυσου. Τα θερμόμετρα με πηνίο από χαλκό ή νικέλιο χρησιμοποιούνται για μέτρηση θερμοκρασιών από 65°C μέχρι 260°C , ενώ όσα έχουν πηνίο από λευκόχρυσο χρησιμοποιούνται από -212°C μέχρι 540°C .

Τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντιστάσεως παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια, η βιομηχανική τους όμως χρήση είναι περιορισμένη, γιατί είναι εύθραυστα και γι' αυτό πρέπει να παίρνουμε μεγάλες προφυλάξεις.

5) Θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα.

Αυτά χρησιμοποιούνται πολύ στη μεταλλουργία και μεταλλοτεχνία για τη μέτρηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας μέχρι περίπου 1650°C. Το θερμοηλεκτρικό πυρόμετρο αποτελείται από τα εξής μέρη:

α) Το θερμοηλεκτρικό ζεύγος δηλαδή δυο σύρματα διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων που έχουν συγκολληθεί, χωρίς όμως να χρησιμοποιηθεί συγκολλητικό μέσο (θερμή σύνδεση).

β) Την πυρίμαχη μόνωση των συρμάτων του θερμοηλεκτρικού ζεύγους, ώστε τα σύρματα να εφάπτονται μόνο στη θέση της θερμής συνδέσεως.

γ) Το πυρίμαχο κάλυμμα του θερμοηλεκτρικού ζεύγους που το προστατεύει από την οξείδωση και διάβρωση.

δ) Τους συνθετικούς αγωγούς

ε) Κατάλληλο γαλβανόμετρο ή καταγραφικό όργανο, με το οποίο συνδέονται το άκρο του θερμοηλεκτρικού ζεύγους (ψυχρή σύνδεση).

Η αρχή του πυρομέτρου αυτού είναι η εξής:

Ας πούμε ότι δυο σύρματα από διαφορετικά μέταλλα ή κράματα συγκολλούνται μεταξύ τους στα δυο άκρα τους. Αν η μια σύνδεση (θερμή σύνδεση) θερμανθεί σε θερμοκρασία υψηλότερη από την άλλη (ψυχρή σύνδεση), τότε στο κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα, που σχηματίζουν τα σύρματα, αναπτύσσεται ορισμένη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ηλεκτρική τάση). Αν τώρα αποκολληθούν τα σύρματα στη θέση της ψυχρής συνδέσεως και συνδεθούν στα όρια ευαίσθητου γαλβανομέτρου, ικανού να μετρήσει χιλιοστά του βολτ (mV), τότε αυτό θα μετρήσει τη συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη του κυκλώματος, που οφείλεται στη θερμή σύνδεση. Έχει βρεθεί επίσης ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη που μετράται από το γαλβανόμετρο αυξάνεται όσο η θερμοκρασία της θερμής συνδέσεως αυξάνεται.

Για τη σύνδεση του θερμοηλεκτρικού ζεύγους με το όργανο χρησιμοποιούνται συνήθως αγωγοί από χαλκό, γιατί τα σύρματα των περισσοτέρων θερμοηλεκτρικών ζευγών είναι πολύ ακριβά και το όργανο τοποθετείται μακριά από το ζεύγος.

Θερμοηλεκτρικό ζεύγος	Χημική σύνθεση (%)		Περιοχή θερμοκρασίας [C]	Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας ρ_{ci}
Χαλκός-Κοιισταντάν	Καθαρός χαλκός Cu	Κοιισταντάν Cu : 60 NI : 40	-200 έως 300	600
Σίδηρο-Κοιισταντάν	Καθαρός σίδηρος Fe	Κοιισταντάν Cu : 60 MI : 40	-200 έως 750	1000
Χρωμέλ-Αλουμέλ	Χρωμέλ NI : 90 Cr : 10	Αλουμέλ NI : 95 AI: 2 Mn: 3	-200 έως 1200	1350
Λευκόχρυσος, Λευκόχρυσος-ρόδιο	Καθαρός λευκόχρυσος Pt	Λευκόχρυσος - ρόδιο Pt : 90 Rh : 10	0 έως 1450	1700

*Το θερμοηλεκτρικό ζεύγος μπορεί να εκτεθεί στη θερμοκρασία αυτή για μικρό χρονικό διάστημα.

Πίνακας 11: Στον πίνακα παρουσιάζονται τα μέταλλα ή κράματα, που χρησιμοποιούνται συνήθως στα θερμοηλεκτρικά ζεύγη μαζί με τα χαρακτηριστικά τους.

6) Πυρόμετρα ακτινοβολίας

Στην πράξη χρειάζεται συχνά να μετρήσουμε πολύ υψηλές θερμοκρασίες που δεν μπορούν να μετρηθούν με τα συνηθισμένα πυρόμετρα. Επίσης απαιτείται συχνά η μέτρηση θερμοκρασιών διαφόρων επιφανειών στις οποίες δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε τα γνωστά θερμοηλεκτρικά ζεύγη.

Αυτές οι δυσκολίες αντιμετωπίζονται με τη χρησιμοποίηση του πυρομέτρου ακτινοβολίας, το οποίο δεν χρειάζεται να εφάπτεται με τη θερμή επιφάνεια, της οποίας μετράμε τη θερμοκρασία.

Το πυρόμετρο αυτό βασίζεται:

α) Στην αρχή (νόμος Stefan - Boltzmann), ότι η ποσότητα της ενέργειας που ακτινοβολείται από θερμό μελανό σώμα, είναι ανάλογη με την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας του ($T = 273^\circ + ^\circ\text{C}$) και β) στην αρχή του θερμοηλεκτρικού ζεύγους. Τυπικό πυρόμετρο αυτού του είδους είναι το γνωστό πυρόμετρο του Ferry. Είναι ένα είδος τηλεσκοπίου, που δέχεται την ακτινοβολούμενη θερμότητα από τρύπα (οπή) του κλιβάνου και που με τη βοήθεια κοίλου κατόπτρου Κ τη συγκεντρώνει σε θερμοηλεκτρικό ζεύγος. Το θερμοηλεκτρικό ζεύγος βρίσκεται σε επαφή με μικρό φύλλο πλατίνας Φ μαυρισμένο με αιθάλη, ώστε όλη η θερμότητα που ανακλάται από το κοίλο κάτοπτρο να απορροφάται από αυτό.

Η συγκέντρωση της θερμότητας επιτυγχάνεται με κατάλληλη μετακίνηση του κατόπτρου Κ με τη βοήθεια ενός ατέρμονα κοχλία και οδοντωτού τροχού Α. Το θερμοηλεκτρικό ζεύγος συνδέεται με το γαλβανόμετρο Γ και προστατεύεται από την κατευθείαν ακτινοβολούμενη θερμότητα με κατάλληλο «γυαλισμένο» εμπόδιο Ε. Κατά τη χρησιμοποίηση αυτού του πυρομέτρου, το τηλεσκόπιο κατευθύνεται προς την τρύπα (οπή), που υπάρχει στην πόρτα ή στο τοίχωμα του κλιβάνου.

Η εστίαση του κατόπτρου Κ επιτυγχάνεται με τον προσοφθάλμιο φακό Π, που βλέπει στα δυο κάτοπτρα που ανακλούν την εικόνα της τρύπας.

Το κοίλο κάτοπτρο ρυθμίζεται με τον ατέρμονα και οδοντωτό τροχό Α, μέχρι να συμπέσουν τα δυο μισά του ειδώλου (της τρύπας).

7) Δείκτες θερμοκρασίας του Seger.

Αυτοί οι δείκτες είναι τριγωνικές ορθές πυραμίδες από υλικό που τήκονται σε ορισμένη γνωστή για το καθένα θερμοκρασία. Αυτές οι πυραμίδες παραμορφώνονται. Κατασκευάζονται από μίγματα καολίνου, ανθρακικού νατρίου, οξειδίου του σιδήρου και από άλλα.

Η σύνθεση των πυραμίδων επιτρέπει την τήξη τους διαδοχικά ανά 10° , 20° , ή 50°C . Επάνω σε πυρίμαχη πλάκα και σε κατάλληλη θέση (να μπορούμε να παρακολουθήσουμε) μέσα στον κλιβανο τοποθετούμε αριθμό πυραμίδων με σημεία τήξεως κοντινό με τη θερμοκρασία που πρόκειται να μετρήσουμε. Η θερμοκρασία δίνεται από εκείνο το δείκτη (πυραμίδα), που λυγίζει και αγγίζει την πυρίμαχη πλάκα.

3.5 ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΟΠΤΗΣΗ Ή ΑΝΟΠΤΗΣΗ.

Αυτή η θερμική κατεργασία συνίσταται:

α) Στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη (50°C περίπου) από εκείνη που προσδιορίζεται από τη γραμμή NS του παρακάτω διαγράμματος, ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα.

β) Στην παραμονή του χάλυβα σ' αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία και

γ) στην ήρεμη απόψυξή του, συνήθως μέσα στον ίδιο τον κλίβανο ανοπτήσεως. Η απόψυξη συνεχίζεται μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο ανοπτημένος χάλυβας θεωρείται, ότι ανταποκρίνεται προς το χάλυβα φυσιολογικής καταστάσεως, όπως λέμε, δηλαδή όπως τον παίρνουμε με ήρεμη απόψυξη από τη ρευστή του κατάσταση, χωρίς να έχει υποστεί καμιά θερμική ή μηχανική κατεργασία.

Η ανόπτηση έχει σκοπό:

- Να κάνει το χάλυβα μαλακό, ομοιογενή και λεπτόκοκκο.
- Να τον απαλλάξει από τυχόν εσωτερικές τάσεις και
- να βελτιώσει την κατεργαστικότητα του.

Όταν λέμε κατεργαστικότητα μετάλλου ή κράματος, εννοούμε το πόσο εύκολα μπορεί το μέταλλο ή κράμα να υποστεί κατεργασία με κοπή, δηλαδή με τόννευση, πλάνισμα, φραιζάρισμα κλπ.

Όπως είπαμε και παραπάνω, η ανόπτηση δίνει στο χάλυβα την περίπου φυσιολογική του κατάσταση, η οποία έχει αλλάξει εξαιτίας μηχανικών ή θερμικών κατεργασιών ή άλλων λόγων (θερμηλασία, χύτευση, βαφή, υπερθέρμανση κλπ.). Αυτό ισχύει, εφόσον η αλλαγή αυτή δεν πήρε μορφή ατυχήματος, όπως π.χ. συμβαίνει κατά την καύση του χάλυβα, όπως θα δούμε παρακάτω.

Έτσι, ο βαμμένος π.χ. ευτηκτοειδής χάλυβας, που αποκτάει κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη, μπορεί να επανέλθει με ανόπτηση στη φυσιολογική του κρυσταλλική δομή, δηλαδή στη δομή του περλίτη. Επίσης, ο χυτοχάλυβας, που συνήθως γίνεται χονδρόκοκκος, αν χυτευτεί σε καλούπια άμμου, λόγω της μικρής ταχύτητας αποψύξεως γίνεται λεπτόκοκκος και με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες μετά από ανόπτηση.

Η ανόπτηση δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως π.χ. είναι οι ανθρακούχοι χάλυβες εργαλείων. Σ' αυτή την περίπτωση ο ανοπτημένος χάλυβας αποκτάει κόκκους περλίτη, που περιβάλλονται από δίκτυο σκληρού σεμεντίτη, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μικρή δυσθραυστότητα και δυσκολία σε μηχανική κατεργασία με κοπή.

1) Θέρμανση του χάλυβα.

Οι υποευτηκτοειδείς χάλυβες [$\pi(\text{C}) < 0,80\%$] θερμαίνονται 50°C πάνω από τη γραμμή NS, ώστε να αποκτήσουν κρυσταλλική δομή ωστενίτη. Αν π.χ. η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα είναι $0,30\%$, η θερμοκρασία ανοπτήσεως θα είναι περίπου 890°C , ενώ αν είναι $0,60\%$, η θερμοκρασία ανοπτήσεως θα είναι περίπου 830°C . Οι υπερευτηκτοειδείς χάλυβες ($\pi(\text{C}) > 0,80\%$) θα έπρεπε, για να αποκτήσουν δομή ωστενίτη, σύμφωνα με το διάγραμμα, να θερμανθούν κατά 50°C πάνω από τη γραμμή SE.

Οι θερμοκρασίες όμως αυτές είναι πολύ υψηλές και ο χάλυβας γίνεται χονδρόκοκκος, πράγμα που είναι δυσμενές για τις μηχανικές του ιδιότητες. Για αυτό το λόγο η θερμοκρασία ανοπτήσεως αυτών των χάλυβων είναι περίπου κατά 50°C ανώτερη των 723°C (θερμοκρασία ευτηκτοειδούς σημείου), δηλαδή περίπου 770°C . Οι θερμοκρασίες ανοπτήσεως, ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα, φαίνονται παραστατικά στο σχήμα.

Για τους λόγους που είπαμε, η μέτρηση και γενικά ο έλεγχος της θερμοκρασίας κατά την ανόπτηση

πρέπει να γίνεται με την αναγκαία ακρίβεια. Γι' αυτό το σκοπό συνήθως χρησιμοποιούνται τα θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα.

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

α) Απτόμη θέρμανση προκαλεί ταχεία διαστολή της επιφάνειας του τεμαχίου, ιδιαίτερα σε τεμάχια που έχουν μεγάλη διατομή, ενώ ο πυρήνας του τεμαχίου λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας, διαστέλλεται λιγότερο.

Η μεγάλη αυτή διαφορά διαστολής προκαλεί την ανάπτυξη ισχυρών εσωτερικών τάσεων, που μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα τη στρέβλωση του τεμαχίου ή ακόμα και τη θραύση του. Επομένως, πρέπει η ταχύτητα θερμάνσεως να είναι χαμηλή, κυρίως όταν θερμαίνουμε θαμμένα τεμάχια. Σ' αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η προθέρμανση, για να αποφύγουμε στρεβλώσεις και ρωγμές.

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

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

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

- Εμποδίζοντας τις φλόγες να έρχονται σε επαφή με τα τεμάχια.
- Δημιουργώντας ουδέτερη (χωρίς οξυγόνο) ατμόσφαιρα, συνήθως κάτω από πίεση, μέσα στο θάλαμο του κλιβάνου.
- Προστατεύοντας τα τεμάχια με κατάλληλη επιμετάλλωση (π.χ. επιχάλκωση) ή με κατάλληλη συσκευασία μέσα σε πυρίμαχα κιβώτια που έχουν απόβλητα χυτοσιδήρου και χρησιμοποιώντας κλιβάνο λουτρού τηγμένων αλάτων, όπου τα τεμάχια προφυλάσσονται τελείως από την επίδραση της ατμόσφαιρας.

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

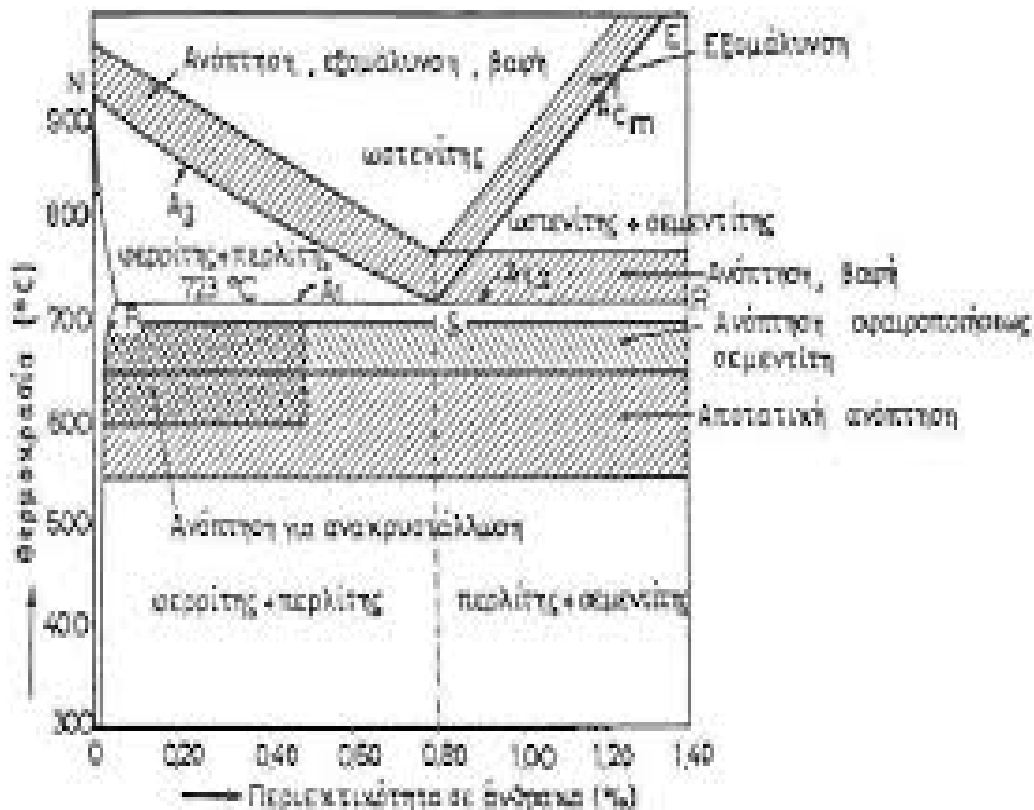
δ) Αν τα τεμάχια που είναι για ανόπτηση θερμανθούν σε θερμοκρασία ανώτερη από τη θερμοκρασία ανοπτήσεως, όπως την έχουμε ορίσει, τότε ο ιστός τους γίνεται χονδρόκοκκος και επομένως εύθραυστος και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο η θερμοκρασία αυτή είναι υψηλότερη και ο χρόνος παραμονής τους σ' αυτή τη θερμοκρασία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

ε) Η θέρμανση τεμαχίων από χάλυβα σε θερμοκρασία πολύ ανώτερη από τη θερμοκρασία ανοπτήσεως, π.χ. σε 130 °C και η παραμονή τους σ' αυτή τη θερμοκρασία για αρκετό χρόνο έχει σαν αποτέλεσμα την καύση του χάλυβα. Στα όρια των κόκκων σχηματίζεται εύθραυστο οξείδιο του σιδήρου. Το μέγεθος των κόκκων αυξάνεται πάρα πολύ και ο χάλυβας γίνεται πολύ εύθραυστος και ακατάλληλος για χρήση.

2) Απόψυξη του χάλυβα.

Τα τεμάχια, μετά την παραμονή τους για ορισμένο χρονικό διάστημα στη θερμοκρασία ανοπτήσεως, αφήνονται να αποψυχθούν πολύ αργά (βραδύτατα) μέσα στην ίδια κάμινο, συνήθως μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Γενικά η ανόπτηση είναι θερμική κατεργασία η οποία χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα για να εκτελεστεί και επομένως και το κόστος της είναι μεγάλο. Η μείωση του χρόνου αποψύξεως μπορεί να συμβεί, αν τα τεμάχια που είναι για ανόπτηση απομακρυνθούν από την κάμινο ανοπτήσεως μετά το σημείο 1' (του διαγράμματος 4) και αφεθούν στον ελεύθερο, ήρεμο αέρα με σκοπό την πλήρη απόψυξή τους.



Διάγραμμα 5: Παρουσιάζεται το διάγραμμα πολλών ειδών ανοπτήσεως, εξομαλύνσεως και βαφής, για ανθρακούχο χάλυβα μεταβαλλόμενης περιεκτικότητας σε άνθρακα. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ

Η **εξομάλυνση** του χάλυβα εκτελείται όπως και η ανόπτηση, με τη διαφορά ότι οι υπερευθηκτοειδείς χάλυβες θερμαίνονται σε θερμοκρασία πάνω από τη γραμμή SE. Η απόψυξή τους γίνεται στον ήρεμο αέρα (όχι σε ρεύμα αέρα), δηλαδή δεν παραμένουν καθόλου στον κλίβανο. Κατά την εξομάλυνση του χάλυβα, η ταχύτητα αποψύξεως είναι μεγαλύτερη από ό,τι κατά την ανόπτηση (καμπύλη (β) του Διαγράμματος 4). Λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας αποψύξεως, ο χάλυβας μετά την εξομάλυνση είναι περισσότερο λεπτόκοκκος.

Είναι χαρακτηριστική η διαφορά του μεγέθους των κόκκων για τις δυο αυτές περιπτώσεις, όπως και η ομοιογένεια του κρυσταλλικού ιστού μετά από εξομάλυνση. Επομένως οι μηχανικές ιδιότητες του

ίδιου ανθρακούχου χάλυβα είναι καλύτερες μετά την εξομάλυνση παρά μετά την ανόπτηση, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

	Περιεκτικότητα σε άνθρακα [%]	Όριο διαρροής σ_A [N/mm ²]	Μέγιστη αντοχή σ_B [N/mm ²]	Επιμήκυνση θραύσεως A [%]	Σκληρότητα Brinell H _B
Μετά από ανόπτηση	0,20	250	415	37	115
	0,60	345	675	23	190
	0,80	385	810	15	220
	1,20	360	720	24	200
Μετά από εξομάλυνση	0,20	315	450	35	120
	0,60	420	770	19	220
	0,60	490	940	13	260
	1.20	700	1080	3	315

Επομένως, η εξομάλυνση σχετικά προς την ανόπτηση, έχει σαν σκοπό:

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

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

Οι θερμοκρασίες εξομαλύνσεως, ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα, είναι οι ίδιες όπως και κατά την ανόπτηση, μέχρι το σημείο S. Στην περιοχή των υπερευθηκτοειδών χάλυβων ακολουθείται η γραμμή SE. Επειδή η θέρμανση των τεμαχίων γίνεται όπως και κατά την ανόπτηση, παίρνονται τα ίδια προφυλακτικά μέτρα. Μερικές φορές την εξομάλυνση ακολουθεί ανόπτηση σε 600°C έως 680°C, για να ελαττωθεί η σκληρότητα κυρίως χάλυβων με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα.

Ανόπτηση σφαιροποίησης σεμεντίτη.

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

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

Με τη θερμική αυτή κατεργασία ο σεμεντίτης παίρνει σφαιροειδή μορφή αντί την

πλακοειδή μορφή που έχει στο συνηθισμένο περλίτη. Το ίδιο συμβαίνει και για το σεμεντίτη που περιβάλλει τους κόκκους του περλίτη.

Η κρυσταλλική αυτή μορφή δίνει στο χάλυβα καλή κατεργαστικότητα και καλή επίσης πλαστικότητα. Τα περισσότερα χαλύβδινα εργαλεία, μετά τη θερμοηλασία, που έχει σαν σκοπό τη διαμόρφωση της επιθυμητής μορφής, υφίστανται ανόπτηση για να γίνει σφαιροποίηση του σεμεντίτη και για να διευκολυνθεί έτσι η κατεργασία τους με κοπή. Το είδος αυτό ανοπτήσεως εφαρμόζεται και σε υποευτηκτοειδείς χάλυβες για την αύξηση της πλαστικότητάς τους, όταν πρόκειται να υποστούν μηχανικές κατεργασίες διαμορφώσεως. Ανόπτηση για ανακρυστάλλωση.

Αυτή η θερμική κατεργασία έχει σαν σκοπό να εξαφανίσει τα αποτελέσματα της σκληρώσεως του χάλυβα συνήθως μετά από ψυξηλασία. Εφαρμόζεται σε χάλυβες με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Εκτελείται σε θερμοκρασία από 600°C μέχρι 700°C, δηλαδή σε ανώτερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως, που για τον καθαρό σίδηρο είναι 480°C περίπου και οπωσδήποτε χαμηλότερη του κατώτερου κρίσιμου σημείου 723°C. Το τεμάχιο θερμαίνεται για αρκετό χρόνο, ώστε όλη του η μάζα να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία, συνεχίζει δε να θερμαίνεται για τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται για να γίνουν οι απαιτούμενες αλλαγές στην κρυσταλλική του δομή.

Αποτακτική ανόπτηση.

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

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

3.7 ΒΑΦΗ.

Η **βαφή** περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

α) Ο χάλυβας (μεσαίας ή υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα) θερμαίνεται σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη (κατά 50°C περίπου) από εκείνη που αντιστοιχεί στη γραμμή NS του διαγράμματος 5 ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα.

β) Στη συνέχεια παραμένει σ' αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα, για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία και

γ) ακολουθεί ταχεία απόψυξη του μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

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

Στα παραπάνω αναπτύξαμε το μηχανισμό της βαφής και είδαμε ότι ο βαμμένος χάλυβας αποκτάει βασικά κρυσταλλική δομή **μαρτενσίτη**. Εδώ θα μας απασχολήσει, με περισσότερη λεπτομέρεια, η εκτέλεση της βαφής των ανθρακούχων χαλύβων.

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

α) Η πύρωση του χάλυβα.

Ο χάλυβας πυρώνεται, για να βαφεί, αφού προηγουμένως ανοπτηθεί, για να αποκτήσει τη φυσιολογική του κατάσταση και για να απαλλαγεί από μηχανικές τάσεις που παραμένουν μετά από άλλες κατεργασίες πριν από τη βαφή. Οι τάσεις αυτές είναι επικίνδυνες κατά τη βαφή και μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και ρωγμές στο τεμάχιο.

Οι υποευτηκτοειδείς χάλυβες με περιεκτικότητα (C) < 0,80% θερμαίνονται κατά 40°C πάνω από το

ανώτερο κρίσιμο σημείο τους (γραμμή NS ή Ag του διαγράμματος 5). Κατά τη βαφή των υπερειθηκτοειδών χαλύβων δεν ακολουθούμε τη γραμμή SE ή του διαγράμματος της θερμικής ισορροπίας. Για όλες τις περιεκτικότητες σε άνθρακα (C) > 0,80%, η θερμοκρασία βαφής είναι σταθερή και ίση περίπου με 763°C (723°C+ 40°C περίπου).

Η θέρμανση πάνω από τη γραμμή SE θα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη με τη γνωστή χειροτέρευση των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα. Άλλο αποτέλεσμα θα ήταν η ανάπτυξη μεγάλων εσωτερικών τάσεων κατά την απόψυξη (ιδιαίτερα σε δραστικά λουτρά βαφής που θα αναφέρομε παρακάτω) και επομένως η στρέβλωση των τεμαχίων ή και η δημιουργία ρωγμών.

Κατά τη θέρμανση του χάλυβα για βαφή παίρνονται παρόμοια προφυλακτικά μέτρα, όπως και κατά την ανόπτηση. Η πύρωση του γίνεται σε κοινές καμίνους φλόγας ή και σε ηλεκτρικές, αντιστάσεως ή επαγωγής.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κάμινοι λουτρών τηγμένων αλάτων.

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

β) Η απόψυξη του χάλυβα.

Σπουδαίος παράγοντας για την εκτέλεση της βαφής είναι η ταχύτητα αποψύξεως του τεμαχίου από τη θερμοκρασία της βαφής (ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη) μέχρι τη θερμοκρασία θ_{π} , όπου ολοκληρώνεται ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη.

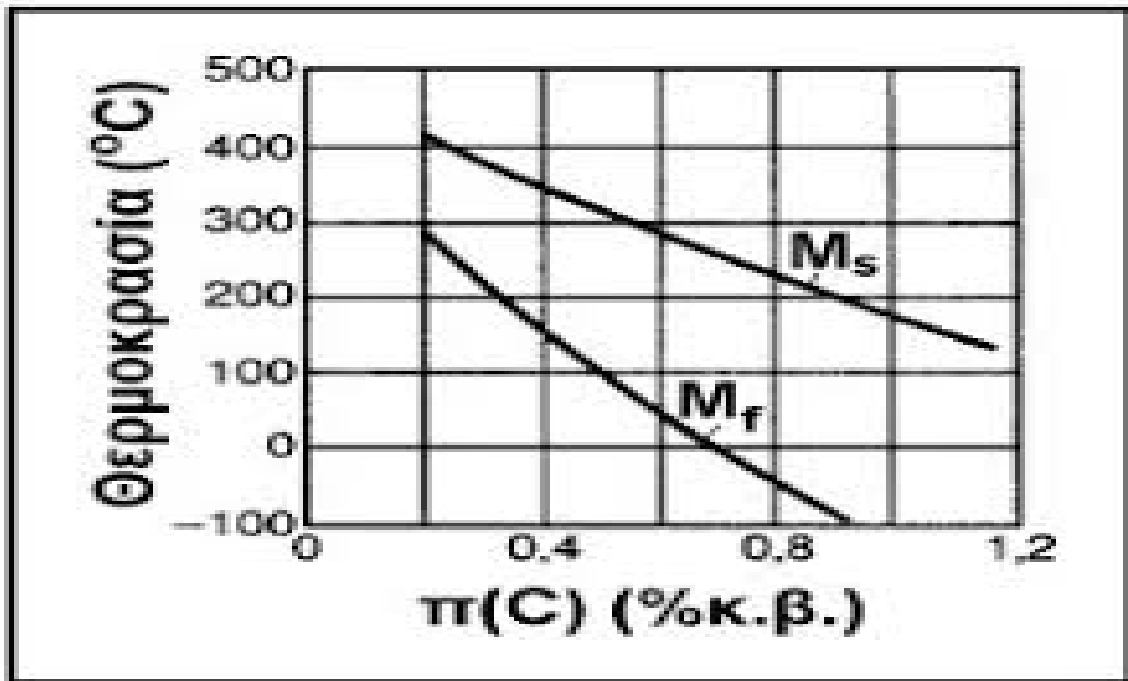
Οι θερμοκρασίες ενάρξεως θ_{ϵ} και τέλους θ_{π} μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσίτη των ανθρακούχων χαλύβων εξαρτώνται από την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα. Ο ευθηκτοειδής ανθρακούχος χάλυβας [$\pi(C) = 0,80\%$] έχει θερμοκρασία $\theta_{\epsilon} = 260^{\circ}\text{C}$ και $\theta_{\pi} = - 40^{\circ}\text{C}$, όπως προκύπτει από το διάγραμμα. Ο ίδιος χάλυβας, όταν αποψυχθεί στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, π.χ. στους 20°C, αποκτάει κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη με ορισμένο ποσοστό ωστενίτη που παραμένει. Αυτός ο ωστενίτης παραμένει γιατί η θερμοκρασία αποψύξεως των 20°C είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία $\theta_{\pi} = - 40^{\circ}\text{C}$ και επομένως ο ωστενίτης δεν μπορεί να μετασχηματισθεί πλήρως σε μαρτενσίτη. Για να έχουμε πλήρη βαφή, πρέπει η ταχύτητα αποψύξεως να ακολουθεί την καμπύλη (ζ). Με μικρότερη ταχύτητα αποψύξεως θα έχουμε μερική βαφή, όπως π.χ. στην περίπτωση της καμπύλης (δ), οπότε σχηματίζεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος εκτός από το μαρτενσίτη και λεπτόκοκκος περλίτης.

Η ταχύτητα αποψύξεως εξαρτάται:

α) Από το ψυκτικό μέσο, δηλαδή από το λουτρό βαφής (φυσικές ιδιότητες και θερμοκρασία), στο οποίο εμβαπτίζεται το τεμάχιο που βάφουμε για να αποψυχθεί.

β) Από το βαθμό αναταράξεως του λουτρού βαφής, δηλαδή από το κατά πόσο το λουτρό βαφής βρίσκεται σε ηρεμία ή αναταράσσεται και

γ) από το μέγεθος της διατομής του τεμαχίου που βάφεται, δηλαδή από το κατά πόσο το τεμάχιο είναι λεπτό ή χοντρό.



Διάγραμμα 6: Σχέση θερμοκρασίας ενάρξεως-τέλος του μετασχηματισμού και περιεκτικότητας σε άνθρακα του ανθρακούχου χάλυβα. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

γ) Λουτρά βαφής

Σαν λουτρά βαφής χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τα επόμενα κατά σειρά δραστηριότητας αρχίζοντας από τα πιο δραστικά. (Δραστηριότητα λουτρού βαφής ονομάζουμε τη δυνατότητα που έχει αυτό να αναπτύξει μεγαλύτερη ή μικρότερη ταχύτητα αποψύξεως σε τεμάχιο ορισμένων διαστάσεων και σχήματος, όπως π.χ. σε κυλινδρικό τεμάχιο με διάμετρο 25 mm και μήκος 10 mm):

- Αλατισμένο νερό (διάλυμα νερού και 10% χλωριούχου νατρίου).
- Νερό.
- Τηγμένα άλατα.
- Διαλύματα νερού - λαδιού.
- Λάδια βαφής και
- Αέρας σε ηρεμία.

Αν εκφράσουμε με τη μονάδα (δηλαδή ως 1,0) τη δραστηριότητα του νερού σαν λουτρό βαφής, όταν βρίσκεται σε ηρεμία και σε θερμοκρασία 20 °C, τότε ο παρακάτω πίνακας μας δίνει τη σχετική δραστηριότητα άλλων λουτρών βαφής και για ορισμένο βαθμό αναταράξεως ως προς αυτό. Το αλατισμένο νερό σε ηρεμία έχει περίπου 7 φορές μεγαλύτερη δραστηριότητα βαφής από το λάδι και 2 φορές από το νερό. Επίσης το νερό, με μεγάλο βαθμό αναταράξεως σαν λουτρό βαφής έχει 4 φορές μεγαλύτερη δραστηριότητα από ότι όταν βρίσκεται σε ηρεμία.

Η θερμοκρασία του λουτρού βαφής έχει σημασία για την καλή εκτέλεση της βαφής. Η θερμοκρασία του στην αρχή πρέπει να είναι χαμηλότερη οπωσδήποτε από τη θερμοκρασία του τέλους του μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσίτη (θ_{π}) για να έχουμε πλήρη βαφή.

Βαθμός αναταράξεως λουτρού	Αλατούχο νερό	Νερό	Λάδι	Αέρας
Σε ηρεμία	2,0	1,0	0,3	0,02
Μέτριος	-	1,30	0,4	-
Μεγάλος	-	2,0	0,8	-
Κατά πολύ μεγαλύτερος	5,0	4,0	1,0	-

Γενικά, με αύξηση της θερμοκρασίας του λουτρού βαφής η ταχύτητα αποψύξεως μειώνεται για το νερό και για το αλατισμένο νερό. Για το λάδι, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα μικρή αύξηση της ταχύτητας αποψύξεως, γιατί το λάδι στην περίπτωση αυτή γίνεται λιγότερο παχύρρευστο.

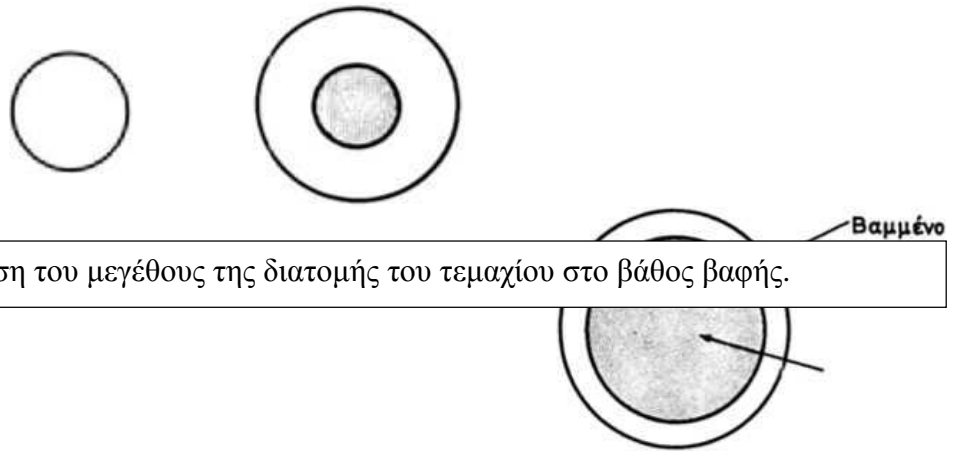
Για να αποφύγουμε την αύξηση της θερμοκρασίας του λουτρού βαφής πρέπει να υπάρχει ο αναγκαίος όγκος του. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις εισάγονται στο λουτρό ψυκτικά στοιχεία για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του. Επίσης, είναι δυνατό να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία του λουτρού σταθερή με κατάλληλη κυκλοφορία του μέσου ψύξεως. Η ταχύτητα αποψύξεως αυξάνεται με ανάδευση του τεμαχίου που πρόκειται να βάψουμε.

δ) Επίδραση του μεγέθους του τεμαχίου.

Γενικά, παρατηρείται ότι κατά τη βαφή η ταχύτητα αποψύξεως ελαττώνεται όσο προχωρούμε από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του τεμαχίου.

Η ελάττωση αυτή της ταχύτητας αποψύξεως είναι τόσο εντονότερη, όσο το τεμάχιο έχει μεγαλύτερη διατομή. Αν λοιπόν βάψουμε ένα τεμάχιο με σχετικά μεγάλη διατομή, τότε θα παρατηρήσουμε ότι, ενώ σε ορισμένο βάθος από την επιφάνειά του αποκτάει ιστό μαρτενσίτη, δηλαδή βάφεται κανονικά, στο υπόλοιπο μέρος της διατομής του πυρήνα αποκτάει ιστό μπαινίτη ή περλίτη, ανάλογα με την ταχύτητα αποψύξεως, δηλαδή δεν βάφεται. Το φαινόμενο αυτό το ονομάζουμε φαινόμενο μάζας. Αυτό το φαινόμενο είναι πιο έντονο στους ανθρακούχους χάλυβες, δηλαδή η σκληρότητα μετά τη βαφή ελαττώνεται γρήγορα, όσο προχωρούμε από την επιφάνεια του τεμαχίου προς τον πυρήνα του. Στην πράξη αυτό μπορούμε να το αποφύγουμε με προσθήκη και άλλου ή άλλων στοιχείων στον ανθρακούχο χάλυβα, οπότε στην περίπτωση αυτή παίρνουμε χαλυβόκραμα. Αυτά τα στοιχεία ελαττώνουν την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως του χαλυβοκράματος και επομένως δίνουν το χρόνο στο τεμάχιο να βαφεί σε όλη του τη μάζα, ακόμα και μέσα σε λάδι που είναι μέτριο μέσον βαφής.

Όπως είναι φυσικό και στην περίπτωση αυτή υπάρχει ένα όριο μεγέθους διατομής του τεμαχίου. Αν υπερβούμε το όριο αυτό, η βαφή δεν θα είναι πλήρης σε όλη τη μάζα του τεμαχίου. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ανθρακούχος χάλυθας με $\pi(C) = 0.45\%$ θαμμένος σε νερό παρουσιάζει σκληρότητα 41 Rockwell C στην επιφάνεια και 29 Rockwell C στον πυρήνα για τεμάχιο με διάμετρο 50 mm, ενώ για τεμάχιο με διάμετρο 100 mm παρουσιάζει αντίστοιχα σκληρότητα 30 και 20 Rockwell C. Από αυτό το παράδειγμα συμπεραίνουμε ότι το τεμάχιο με τη διάμετρο των 100 mm είναι αρκετά μαλακότερο μετά τη βαφή και στην επιφάνειά του και στον πυρήνα του σε σύγκριση με το τεμάχιο των 50 mm.



Εικόνα 78: Επίδραση του μεγέθους της διατομής του τεμαχίου στο βάθος βαφής.

ε) Ατυχήματα κατά τη διάρκεια της βαφής

Έχουμε αναφέρει ότι κατά τη θέρμανση του τεμαχίου που είναι για βαφή, παίρνουμε παρόμοια προφυλαχτικά μέτρα, όπως και κατά την ανόπτηση, για να αποφύγουμε την αχρήστευση των τεμαχίων.

Στα βαφόμενα όμως τεμάχια παρατηρούνται χαρακτηριστικά ατυχήματα, που κυρίως συμβαίνουν κατά την απόψυξη. Πιο συνηθισμένα είναι τα παρακάτω:

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

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

- Σε δραστηριότητα του λουτρού βαφής, μικρότερη από εκείνη που χρειάζεται, όπως π.χ. αν το λουτρό είναι ακάθαρτο και
- σε θέρμανση σε κατώτερη θερμοκρασία από την ορισμένη θερμοκρασία βαφής για κάθε χάλυβα.

Στην περίπτωση αυτή μπορεί η βαφή να είναι εντελώς ανεπαρκής.

Γι' αυτό χρειάζεται σχολαστικός έλεγχος της θερμοκρασίας με κατάλληλο πυρόμετρο.

Και σε περιπτώσεις ανεπαρκούς βαφής απαιτείται επανάληψη της βαφής, με κανονικό όμως τρόπο.

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

Σύμφωνα με ό,τι έχουμε αναφέρει παραπάνω, ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη κατά τη βαφή έχει σαν επακόλουθο την εξόγκωση του τεμαχίου, η οποία δεν είναι ομοιόμορφη λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του πυρήνα, ιδίως σε τεμάχια με μεγάλη διατομή. Επειδή ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται γρήγορα και σε χαμηλή θερμοκρασία (θ_s , θ_p του διαγράμματος του σχήματος 4), ο χάλυβας δεν στρεβλώνεται όσο χρειάζεται και επομένως αναπτύσσονται μεγάλες εσωτερικές μηχανικές τάσεις. Σ' αυτές τις εσωτερικές τάσεις προστίθενται και άλλες που μπορεί να υπήρχαν στο τεμάχιο πριν από τη βαφή, όπως π.χ. μετά από ψυξηλασία, συγκόλληση κλπ. και που η θέρμανση στη θερμοκρασία της βαφής δεν είναι αρκετή να τις εξαλείψει (απαιτείται ανόπτηση του τεμαχίου πριν από τη βαφή). Αν οι εσωτερικές τάσεις είναι υπερβολικές, τότε

προκαλούνται ρωγμές στο τεμάχιο. Αν είναι μικρότερες, τότε παρατηρούνται στρεβλώσεις που αλλάζουν τις διαστάσεις του τεμαχίου. Τεμάχια μεγάλου μήκους, που έχουν στρεβλωθεί, μπορούν να ευθυγραμμισθούν εν ψυχρώ ή εν θερμώ σε ειδικά μηχανήματα.

Για να αποφεύγουμε υπερβολικές τάσεις παίρνουμε τα εξής μέτρα:

- Για κάθε χάλυβα χρησιμοποιούμε το κατάλληλο λουτρό βαφής και ποτέ δραστικότερο, γιατί τότε παρατηρείται μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του πυρήνα του τεμαχίου και επομένως, σύμφωνα με όσα αναπτύξαμε προηγουμένως, δημιουργούνται μεγαλύτερες εσωτερικές τάσεις,
- Διαλέγουμε χαλυβόκραμα με μικρή κρίσιμη ταχύτητα βαφής και εφαρμόζουμε τη λεγόμενη κλιμακωτή βαφή, με την οποία θα ασχοληθούμε αμέσως τώρα.

στ) Η κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή.

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

Το τεμάχιο, μετά τη θέρμανσή του στην κανονική θερμοκρασία βαφής, αποψύχεται απότομα σε λουτρό συνήθως τηγμένου άλατος θερμοκρασίας θ_1 , μεγαλύτερης από τη θερμοκρασία θ_e . Σ' αυτή τη θερμοκρασία το τεμάχιο παραμένει τόσο, ώστε να μην προφτάσει να αρχίσει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (σημείο 1 της καμπύλης S_1).

Μετά αφαιρείται το τεμάχιο από το λουτρό και αφήνεται, για να σχηματισθεί μερτενσίτης, να αποψυχθεί μεταξύ των θερμοκρασιών θ_e και θ_p . Με αυτό το είδος της βαφής το τεμάχιο αποκτάει ομοιόμορφη θερμοκρασία θ_1 , σε κατάσταση όμως ωστενίτη και με αυτό τον τρόπο η επιφάνεια και ο πυρήνας του τεμαχίου μετασχηματίζονται συγχρόνως σε μαρτενσίτη, δηλαδή το τεμάχιο βάφεται ομοιόμορφα.

ζ) Η κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή.

Αυτή η θερμική κατεργασία εκτελείται, όπως και η προηγούμενη, με τη διαφορά ότι το τεμάχιο παραμένει στη θερμοκρασία θ_1 , τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται για να μετασχηματιστεί τελείως ο ωστενίτης σε μπαινίτη ή λεπτόκοκκο περλίτη ανάλογα με τη θερμοκρασία θ_1 . Όπως βλέπουμε, πρόκειται για ισόθερμη βαφή. Η θερμοκρασία θ_1 βρίσκεται συνήθως μεταξύ 450°C και θ_e η οποία εξαρτάται από το είδος του χάλυβα. Η απόψυξη μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος γίνεται σε ήρεμο αέρα.

Η κλιμακωτή μπαινιτική βαφή μας δίνει τη δυνατότητα να πάρουμε χάλυβα με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες που έχει εκείνος που προκύπτει μετά από βαφή και επαναφορά. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η δραστική βαφή του χάλυβα με τα δυσμενή της αποτελέσματα. Εφαρμόζεται με επιτυχία σε τεμάχια με περίπλοκα σχήματα που εύκολα στρεβλώνονται ή αποκτούν ρωγμές κατά τη συνηθισμένη βαφή.

3.8 ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ

Επαναφορά έχουμε, όταν ο χάλυβας μετά από βαφή:

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

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

γ) αποψυχθεί στον ελεύθερο ήρεμο αέρα μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
Σκοπός της επαναφοράς είναι η απόκτηση βελτιωμένων μηχανικών ιδιοτήτων του βαμμένου χάλυβα και η απαλλαγή του από τις σοβαρές εσωτερικές τάσεις που παραμένουν μετά τη βαφή.

A) Μετασχηματισμός του μαρτενσίτη κατά την επαναφορά.

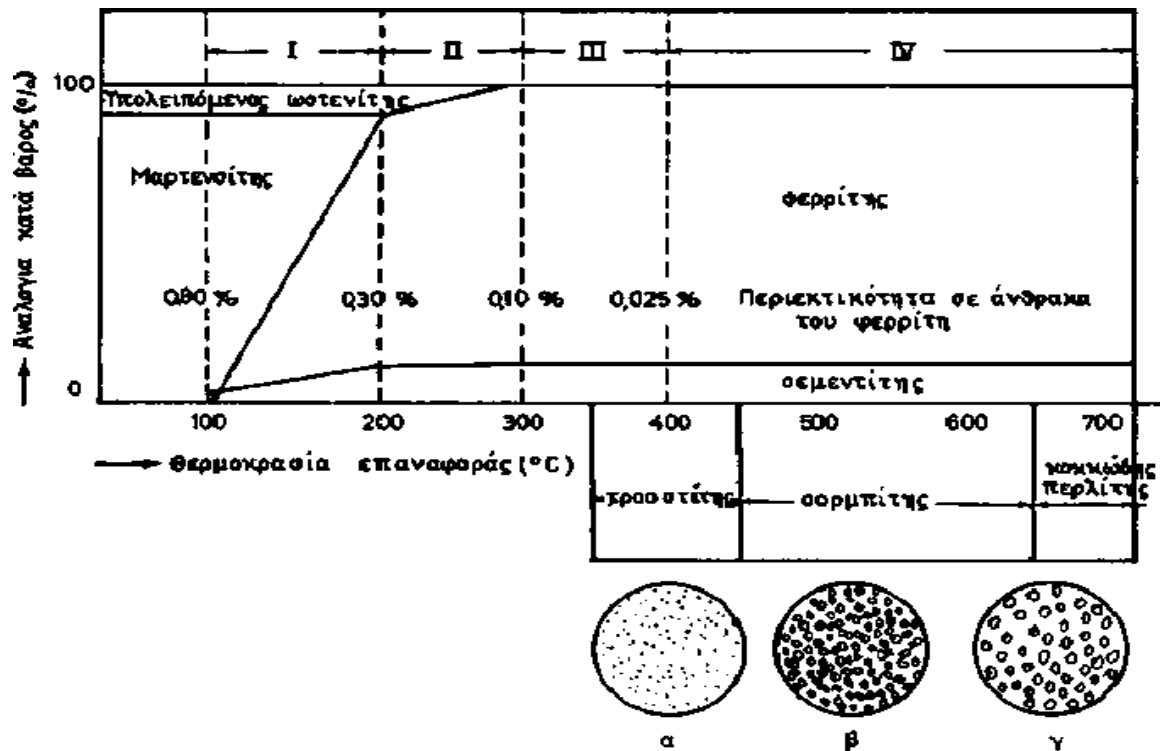
Ο βαμμένος χάλυβας επαναφέρεται για τους εξής λόγους:

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

β) Ο μαρτενσίτης είναι φερρίτης (α-σίδηρος) υπερκορεσμένος σε άνθρακα και ο υπολειπόμενος ωστενίτης, βρίσκονται, όπως λέμε, σε **κατάσταση αστάθειας** στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Επομένως έχουν τάση να επανέλθουν σε **κατάσταση ευστάθειας**, πράγμα που εκδηλώνεται αμέσως μόλις η θερμοκρασία του χάλυβα υψωθεί και πάρει ορισμένες τιμές, όπως θα δούμε παρακάτω.

Έχει παρατηρηθεί, ότι κατά την αναθέρμανση βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα από τη θερμοκρασία των 100°C περίπου μέχρι τους 723°C (κρίσιμο σημείο A₁) γίνονται προοδευτικά τεσσάρων ειδών μετασχηματισμοί στην κρυσταλλική δομή του, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Αποχωρίζονται τα επιπλέον άτομα του άνθρακα που αναγκαστικά παραμένουν στο πλέγμα του μαρτενσίτη.
- Διασπάται ο υπολειπόμενος ωστενίτης,
- Σχηματίζεται σεμεντίτης σε μικροσκοπικά τεμαχίδια και
- συσσωματώνεται ο σεμεντίτης και αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα μετασχηματισμού της κρυσταλλικής δομής βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα κατά την επαναφορά τους. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

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

1) Αναθέρμανση από 100°C μέχρι 200°C. Σχηματίζονται υπομικροσκοπικά τεμαχίδια καρβιδίων (χημική ένωση σιδήρου-άνθρακα) που δεν έχουν ακόμη ακριβώς τη χημική σύνθεση του σεμεντίτη (Fe_3C), και είναι αόρατα με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Τα καρβίδια αυτά σχηματίζονται από τα άτομα του άνθρακα, τα οποία προοδευτικά εξέρχονται από το κρυσταλλικό πλέγμα του μαρτενσίτη, όπου είχαν κλειστεί κατά το σχηματισμό του. Συνεπώς, το πλέγμα του μαρτενσίτη από χωροκεντρωμένο τετραγωνικό τείνει να πάρει τη μορφή του κανονικού πλέγματος του φερρίτη, δηλαδή το χωροκεντρωμένο κυβικό.

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

2) Αναθέρμανση από 200°C μέχρι 300°C. Σ' αυτή την περιοχή θερμοκρασιών με αναθέρμανση του θαμμένου χάλυβα, ο υπολειπόμενος ωστενίτης διασπάται σε φερρίτη, με μεγαλύτερη όμως από την κανονική περιεκτικότητα σε άνθρακα και σε καρβίδιο. Η κρυσταλλική δομή του χάλυβα στους 300°C αποτελείται από φερρίτη, με άνθρακα όμως 0,10% αντί 0,025% του κανονικού και από καρβίδια σε υπομικροσκοπικά ακόμη τεμαχίδια.

3) Αναθέρμανση από 300°C μέχρι 400°C.

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

4) Αναθέρμανση από 400°C μέχρι 723°C.

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

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

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

Ο τροοστίτης έχει μεγαλύτερη δυσθραυστότητα από το μαρσεντίτη, μικρότερη όμως σκληρότητα και αντοχή. Ο σορμπίτης έχει μικρότερη ακόμη αντοχή αν τον συγκρίνουμε με τον τροοστίτη, έχει όμως μεγαλύτερη δυσθραυστότητα.

B) Μεταβολές στις μηχανικές ιδιότητες του βαμμένου χάλυβα μετά από επαναφορά.

Είναι πια γνωστό, ότι ο βαμμένος χάλυβας χαρακτηρίζεται από υψηλή σκληρότητα και από εξαιρετικά χαμηλή δυσθραυστότητα και πλαστικότητα.

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

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

Αξίζει να προσέξουμε επίσης ότι η δυσθραυστότητα δεν φθάνει τη μέγιστη τιμή της στην περιοχή του κρίσιμου σημεία A_1 όπως θα περιμέναμε, αλλά σε χαμηλότερη θερμοκρασία (στους 600°C περίπου στην περίπτωση μας). Αυτό μπορούμε να το αποδώσουμε στο ότι η αύξηση των κόκκων του σεμεντίτη, όπως εξηγήσαμε στα προηγούμενα, έχει ευνοϊκή επίδραση στη δυσθραυστότητα μέχρις ενός σημείου.

Γ) Γενικές παρατηρήσεις και οδηγίες εκτελέσεως της επαναφοράς.

1) Εφαρμογές της βαφής και της επαναφοράς.

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

α) Στα εργαλεία κοπής.

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

β) Στην επιβελτίωση του χάλυβα.

Τα διάφορα στοιχεία μηχανών, που χρησιμοποιούμε στην πράξη, για να επιτελέσουν τον προορισμό

τους πρέπει να έχουν ορισμένες μηχανικές ιδιότητες. Ιδιαίτερα σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται να έχει το τεμάχιο, εκτός από την απαιτούμενη μηχανική αντοχή και ικανοποιητική δυσθραυστότητα, όταν μάλιστα αυτό καταπονείται και σε κρούση. Αυτός ο συνδυασμός μηχανικών ιδιοτήτων επιτυγχάνεται με τη λεγόμενη **επιβελτίωση** του χάλυβα. Η επιβελτίωση είναι σύνθετη θερμική κατεργασία. Συνίσταται από βαφή την οποία ακολουθεί επαναφορά, σε μεγάλη όμως θερμοκρασία, ώστε ο χάλυβας να αποκτήσει κρυσταλλική δομή σορμπίτη.

Παρατηρούμε, ότι για ανθρακούχο χάλυβα με $\pi(C) = 0,45\%$ στην περιοχή θερμοκρασίας επαναφοράς από 500°C μέχρι 700°C περίπου έχουμε αυξημένη δυσθραυστότητα. Σ' αυτή την περιοχή θερμοκρασίας θα πρέπει να γίνει η επιβελτίωση αυτού του χάλυβα.

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

2)Θέρμανση των τεμαχίων σε επαναφορά

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

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

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

Όπως έχουμε διαπιστώσει, η θερμοκρασία επαναφοράς έχει μεγάλη σημασία για το μετασχηματισμό του μαρτενσίτη και επομένως από αυτή εξαρτώνται πολύ οι μηχανικές ιδιότητες που αποκτάει ο χάλυβας μετά την επαναφορά. Συνεπώς, θα πρέπει να δίνεται εξαιρετική σημασία στο να γίνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας με μεγάλη ακρίβεια. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και πυρόμετρα ακτινοβολίας. Μικρότερη ακρίβεια μας δίνει η μέθοδος μετρήσεως της θερμοκρασίας με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού. Αυτή η μέθοδος έχει αναφερθεί παραπάνω και οι χρωματισμοί τους οποίους παίρνει ο ανθρακούχος χάλυβας ή φτωχό χαλυβόκραμα, όταν θερμαίνεται από 220°C μέχρι 325°C .

Πρέπει να επισημάνουμε ότι οι χρωματισμοί αυτοί αντιστοιχούν στις αναφερόμενες θερμοκρασίες κατά τη στιγμή που σχηματίζεται το λεπτό στρώμα οξειδίου και διαρκούν μόνο 2 ή 3 λεπτά. Εάν η παρατήρηση χρωματισμού γίνει μετά από την κατάλληλη στιγμή, τότε ο παρατηρούμενος χρωματισμός θα αντιστοιχεί σε υψηλότερη θερμοκρασία.

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

Σε θερμοκρασία 400°C για	10 h
Σε θερμοκρασία 450°C για	20 min, και
Σε θερμοκρασία 500°C για	2 min.

Εδώ παρατηρούμε ότι η θέρμανση για μικρό χρονικό διάστημα (επί 3 min) παρουσιάζει

δυσκολίες στη μέτρηση αυτού του χρόνου με ακρίβεια. Η παρατεταμένη θέρμανσή του (επί 10 ώρες) είναι ασύμφορη, γιατί το κόστος της κατεργασίας μεγαλώνει. Η καλύτερη λύση είναι η περίπτωση της θερμοκρασίας των 450°C επί 20 min.

3.9 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΚΛΗΡΩΣΗ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

A) Γενικά.

Κατά τη λειτουργία τους πολλά τεμάχια πρέπει να έχουν σκληρή επιφάνεια για να αντέχει στη φθορά και συγχρόνως πρέπει να έχουν πυρήνα με ικανοποιητική μηχανική αντοχή και δυσθραυστότητα. Τυπικό παράδειγμα τέτοιου είδους τεμαχίου είναι ο πείρος, που συνδέει το διωστήρα με το έμβολο στη μηχανή εσωτερικής καύσεως. Κατά τη φάση της αναφλέξεως στον αντίστοιχο κύλινδρο της μηχανής και για μικρό χρονικό διάστημα ο πείρος καταπονείται με φορτίο κρουστικής μορφής. Από αυτό προκύπτει ότι ο πείρος πρέπει να είναι κατασκευασμένος από χάλυβα με μεγάλη δυσθραυστότητα. Συγχρόνως η επιφάνεια του πείρου πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα, για να μην φθείρεται λόγω της τριβής με το έδρανο του διωστήρα. Ο συνδυασμός αντοχής και δυσθραυστότητας του πυρήνα αφ' ενός και σκληρότητας της επιφάνειας αφ' ετέρου, επιτυγχάνεται με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

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

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

β) Την **εναζώτωση**, η οποία είναι θερμοχημική επίσης κατεργασία, κατά την οποία προσθέτουμε στην επιφανειακή στιβάδα του τεμαχίου άζωτο, που σχηματίζει πολύ σκληρές χημικές ενώσεις με το σίδηρο (σιδηρονατρίδιο, Fe₄N). Το τεμάχιο κατασκευάζεται από ειδικό χάλυβα εναζωτώσεως. Μετά την εναζώτωση δεν απαιτούνται θερμικές κατεργασίες.

γ) Την **ενδοκυάνωση**, η οποία είναι θερμοχημική επίσης κατεργασία, κατά την οποία η επιφανειακή στιβάδα του τεμαχίου εμποτίζεται με άνθρακα και άζωτο συγχρόνως. Την ενδοκυάνωση ακολουθεί κατάλληλη βαφή.

δ) Τη **φλογοβαφή** και τη **βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή**. Κατ' αυτές το τεμάχιο από χάλυβα, ο οποίος πρέπει να επιδέχεται βαφή, συνήθως με π(C) ≥ 0,35%, βάφεται επιφανειακά σε ελεγχόμενο βάθος. Όπως είναι επόμενο, οι τρεις πρώτες μέθοδοι αποτελούν θερμοχημικές κατεργασίες, που μεταβάλλουν τη χημική σύνθεση της επιφανειακής στιβάδας των τεμαχίων.

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

B) Ενανθράκωση.

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

1) Στερεά ενανθρακωτικά μέσα.

Τα τεμάχια που είναι για ενανθράκωση τοποθετούνται μαζί με το ενανθρακωτικό μέσον μέσα σε κατάλληλο πυρίμαχο μεταλλικό δοχείο, συνήθως από χάλυβα, που αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα τεμάχια δεν πρέπει να εφάπτονται, αλλά να απέχουν μεταξύ τους 30 έως 50 mm. Το δοχείο μαζί με το περιεχόμενο κλείνεται αεροστεγώς και εισάγεται σε κατάλληλο κλίβανο, συνήθως τύπου μερίδας. Η

θερμοκρασία του κλιβάνου διατηρείται αρχικά στους 700°C. Στη συνέχεια ανυψώνεται μέχρι τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως (910 °C μέχρι 950°C).

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

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

Από το μονοξείδιο του άνθρακα που σχηματίζεται στην υψηλή θερμοκρασία της ενανθρακώσεως και με την παρουσία του σιδήρου αποδεσμεύονται άτομα άνθρακα, σύμφωνα προς τη χημική αντίδραση (1) με σύγχρονη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO_2):



Ο παραγόμενος άνθρακας σε ατομική κατάσταση (χωρίς να έχει ακόμη σχηματιστεί το μόριό του) διεισδύει στο κρυσταλλικό πλέγμα της επιφανειακής στιβάδας του χάλυβα, που βρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη. Στο μεταξύ το ανθρακικό βάριο αντιδρά με άτομα άνθρακα, που προέρχονται από τον ξυλάνθρακα που χρησιμοποιούμε και αποδεσμεύει περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα, όπως φαίνεται στη χημική αντίδραση (2):

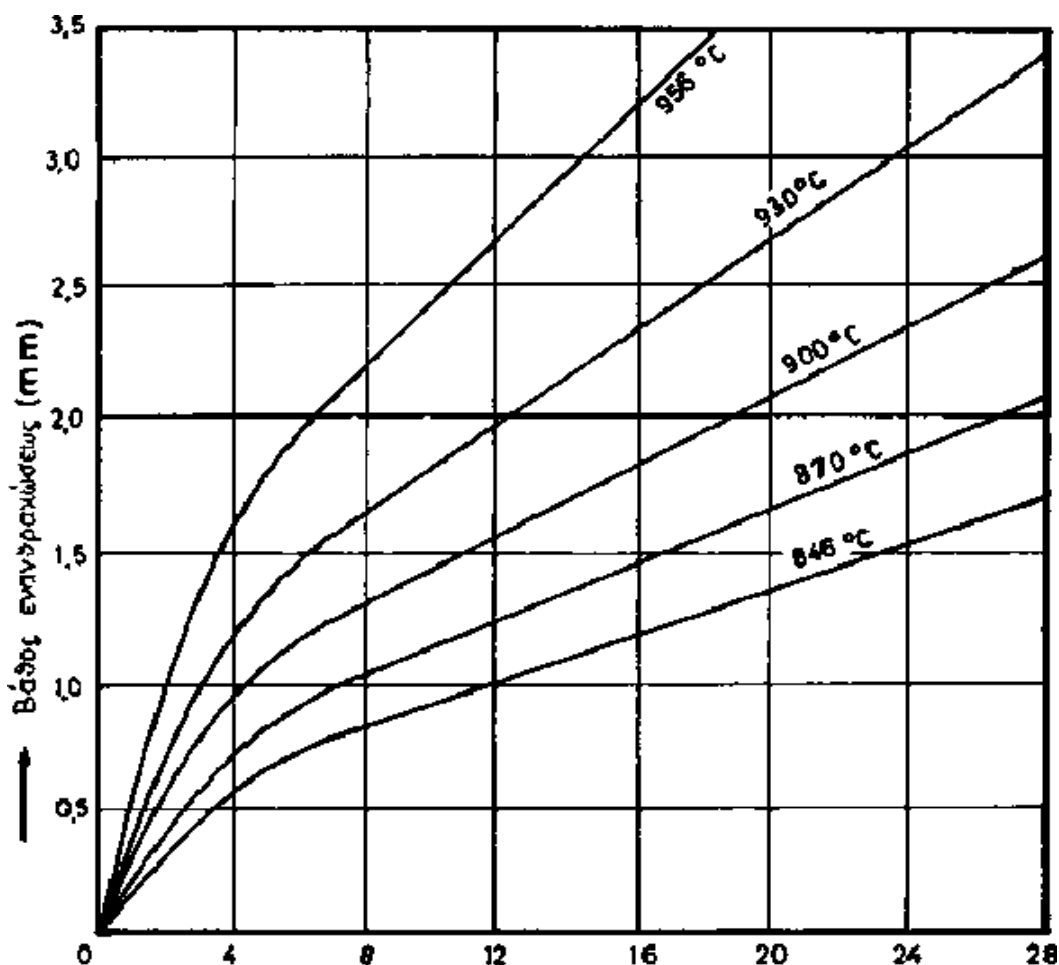


Το ανθρακικό βάριο αναγεννιέται από την αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα και του οξειδίου του βαρίου, που αποδεσμεύονται κατά τις αντιδράσεις (1) και (2) ως εξής



Μετά το τέλος της ενανθρακώσεως τα τεμάχια αποσύρονται από τον κλιβάνο και αφήνονται να αποψυχθούν ήρεμα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή βάζονται, ανάλογα με το είδος των θερμικών κατεργασιών που θα ακολουθήσουν την ενανθράκωση.

Το βάθος ενανθρακώσεως εξαρτάται από τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως και από το χρόνο παραμονής των τεμαχίων σ' αυτή τη θερμοκρασία (χρόνος ενανθρακώσεως), όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Εξαρτάται επίσης και από την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα και από το είδος και την αναλογία των συστατικών του μέσου ενανθρακώσεως.



Διάγραμμα 8: Σχέση μεταξύ βάθους, θερμοκρασίας και χρόνου ενανθρακώσεως. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

2) Υγρά ενανθρακωτικά μέσα.

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

Από τις χημικές αντιδράσεις που γίνονται, αποδεσμεύεται μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο ενεργεί με τον τρόπο που προαναφέραμε. Αποδεσμεύεται επίσης και άζωτο, που σε μικρή έκταση, προδίνει σκληρότητα στην επιφανειακή στιβάδα των τεμαχίων, όπως ακριβώς συμβαίνει κατά την εναζώτωση. Η μέθοδος αυτή επιφανειακής σκληρώσεως αναφέρεται σαν ενδοκυάνωση και ακολουθείται από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες. Τα υγρά μέσα ενανθρακώσεως έχουν σοβαρά πλεονεκτήματα. Επιτρέπουν εύκολο και ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας, επίσης ομοιόμορφη και γρήγορη θέρμανση των τεμαχίων. Έτσι, παίρνουμε ενανθρακωμένα επιφανειακή στιβάδα ομοιόμορφη και με το ίδιο βάθος.

3) Αέρια ενανθρακωτικά μέσα.

Αυτό το είδος ενανθρακώσεως γίνεται σε κλιβάνους αεροστεγείς, τύπου μερίδας ή συνεχούς ροής. Η θερμοκρασία ενανθρακώσεως κυμαίνεται μεταξύ 850°C και 930°C . Στην περίπτωση αυτή

ενανθρακώσεως το ενεργό ενανθρακωτικό μέσο είναι πάλι το μονοξείδιο του άνθρακα που παράγεται σύμφωνα με την αντίδραση (4) από υδρογονάνθρακα, όπως θα δούμε ευθύς αμέσως.

Αυτό (το μονοξείδιο του άνθρακα), διασπάται σε άνθρακα ατομικής καταστάσεως και σε διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με τη χημική αντίδραση (1), όπως την αναπτύξαμε προηγουμένως. Ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη εμποτίζεται σε ορισμένο βάθος από την επιφάνειά του με τον άνθρακα που παράγεται, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με τον υδρογονάνθρακα. Έτσι παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα κατά την αντίδραση:



Το μονοξείδιο του άνθρακα διασπάται σε άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα κοκ.

Τα σπουδαιότερα αέρια μέσα ενανθρακώσεως είναι οι υδρογονάνθρακες μεθάνιο (CH_4) και προπάνιο ($\text{C}_3 \text{H}_8$). Πρέπει να σημειώσουμε, ότι τα αέρια αυτά είναι απαραίτητο να είναι απόλυτα καθαρά, διαφορετικά οι ακαθαρσίες που περιέχουν εναποτίθενται στην επιφάνεια των τεμαχίων και εμποδίζουν την κανονική εκτέλεση της ενανθρακώσεως. Αυτό το είδος ενανθρακώσεως παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα στις περιπτώσεις ενανθρακώσεως μεγάλου αριθμού τεμαχίων, σε μικρό όμως βάθος, γιατί μπορούμε εύκολα να ελέγξουμε το βάθος με μεγάλη ακρίβεια. Συμφέρει δε σε εργατικά, θερμική ενέργεια και χώρο. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα της απ' ευθείας, μετά την ενανθράκωση, βαφής των τεμαχίων (από τον κλίβανο ενανθρακώσεως στο λουτρό βαφής).

4) Θερμικές κατεργασίες μετά την ενανθράκωση.

Αναφέρουμε, ότι η ενανθράκωση τεμαχίου από κατάλληλο χάλυβα, δημιουργεί επιφανειακή στιβάδα πλούσια σε άνθρακα [συνήθως με $\pi(\text{C}) > 0,80\%$], ενώ συγχρόνως ο πυρήνας του τεμαχίου διατηρεί την κανονική του περιεκτικότητα σε άνθρακα [συνήθως $\pi(\text{C}) \leq 0,20\%$]. Η παρατεταμένη θέρμανση του χάλυβα σε κατάσταση ωστενίτη, στην υψηλή θερμοκρασία της ενανθρακώσεως, συντελεί στην αύξηση του μεγέθους των κόκκων του επιφανειακού στρώματος του πυρήνα του τεμαχίου, με συνέπεια την ελάττωση της δυσθραυστότητας. Εμείς όμως ζητάμε στην πράξη, όπως άλλωστε είναι και ο αντικειμενικός σκοπός της ενανθρακώσεως, να είναι το τεμάχιο πολύ σκληρό στην επιφάνειά του και δύσθραυστο στον πυρήνα του.

Αυτό το επιτυγχάνουμε με μια σειρά θερμικών κατεργασιών που εκτελούνται μετά την ενανθράκωση, ως εξής:

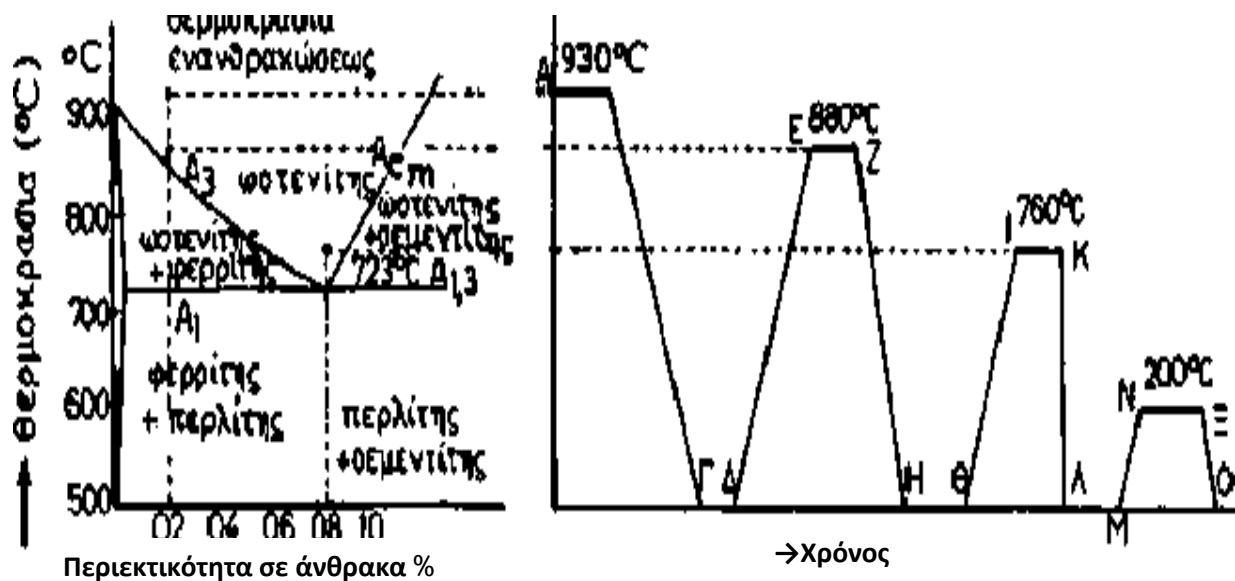
Μετά την ενανθράκωση (γραμμή A-B του διαγράμματος 9), τα τεμάχια αποψύχονται ήρεμα (B-Γ). Για την αύξηση της δυσθραυστότητας του πυρήνα (εκλέπτυνση των κόκκων), τα τεμάχια θερμαίνονται σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη από το ανώτερο κρίσιμο σημείο [για $\pi(\text{C}) = 0,20\%$], π.χ. σε θερμοκρασία 880°C περίπου] κατά τη γραμμή Δ-E. Σ' αυτή τη θερμοκρασία παραμένουν τα τεμάχια για ορισμένο χρόνο (E-Z), όπου ο χονδρόκοκκος ιστός φερρίτη-περλίτη γίνεται λεπτόκοκκος ωστενίτης. Ακολουθεί βαφή ή εξομάλυνση των τεμαχίων (Z-H). Έτσι, επιτυγχάνεται τελικά λεπτόκοκκος πυρήνας των τεμαχίων.

Μετά από αυτή τη θερμική κατεργασία, η επιφανειακή στιβάδα των τεμαχίων εξακολουθεί να έχει χονδρόκοκκο ιστό, λόγω τις θερμάνσεώς τους σε 860°C . Αυτή η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή σε σχέση προς το ανώτερο κρίσιμο σημείο (723°C) για την περιεκτικότητα σε άνθρακα της επιφανειακής στιβάδας [$\pi(\text{C}) > 0,80$]. Για να αποκτήσει η επιφανειακή στιβάδα μεγάλη σκληρότητα και λεπτόκοκκο ιστό, πυρώνουμε τα τεμάχια σε 760°C περίπου (Θ-I). Γι' αυτή τη θερμοκρασία παραμένουν για ορισμένο χρόνο (I-K), όπου ο χονδρόκοκκος ιστός της επιφανειακής στιβάδας μετασχηματίζεται σε λεπτόκοκκο ωστενίτη. Κατόπιν, τα τεμάχια βράφονται (K-Λ) και αποκτούν σκληρή και λεπτόκοκκη (σχετικά δύσθραυστη) επιφανειακή στρώση. Η βαφή αυτή αποτελεί, κατά κάποιον τρόπο, επαναφορά του πυρήνα των τεμαχίων.

Τέλος, για να απαλλαγεί η επιφανειακή στιβάδα από εσωτερικές μηχανικές τάσεις, τα τεμάχια θερμαίνονται σε 200°C περίπου (M-N) και αποψύχονται ήρεμα (Ξ-O). Όλα αυτά που αναφέραμε αποτελούν την ιδανική σειρά θερμικών κατεργασιών που ακολουθούν την ενανθράκωση. Στην πράξη

όμως παρατηρούνται ορισμένες παρεκκλίσεις ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά. Π.χ. είναι δυνατό να βαφούν τεμάχια σε νερό απευθείας μετά από τη θερμοκρασία ενανθράκωσης και κατόπιν να επαναφερθούν σε χαμηλή θερμοκρασία, για να απαλειφθούν οι εσωτερικές τάσεις οι οποίες αναπτύχθηκαν λόγω της βαφής. Αυτό είναι δυνατό να εφαρμοστεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα σε χάλυβες που παρουσιάζουν μικρή αύξηση του μεγέθους των κόκκων στη θερμοκρασία ενανθράκωσης.

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



Διάγραμμα 10: Θερμικές κατεργασίες χάλυβα μετά την ενανθράκωση. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

5) Πρακτικές οδηγίες εκτέλεσης της ενανθράκωσης

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

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

- Το είδος του χάλυβα ενανθράκωσης, δηλαδή αν πρόκειται για ανθρακούχο χάλυβα ή για χαλυβόκραμα.
- Τη θερμοκρασία και το χρόνο ενανθράκωσης.
- Το μέσο ενανθράκωσης, καθώς επίσης και τις αναλογίες των συστατικών του.
- Τις θερμικές κατεργασίες που θα ακολουθήσουν την ενανθράκωση.

γ) Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ανάγκη ένα μέρος ή μέρη της επιφάνειας του τεμαχίου να μην ενανθρακωθούν, να παραμείνουν δηλαδή μαλακά. Τα μέρη αυτά συνήθως επικαλύπτονται ηλεκτρολυτικώς με λεπτό στρώμα χαλκού, πάχους 0,010 ως 0,075 mm, γιατί ο άνθρακας δεν διαλύεται στο χαλκό στη θερμοκρασία ενανθράκωσης.

Παλιότερα, ακόμη όμως και σήμερα, το τμήμα που επιθυμούμε να μην ενανθρακωθεί το

καλύπτουμε με μίγμα πυρίμαχου πηλού, άμμου, αμιάντου και υδρυάλου. Αυτή η μέθοδος είναι απλή, αλλά δεν προφυλάσσει τελείως την επιφάνεια που καλύπτομε από την προσβολή του ενανθρακωτικού αερίου. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά τη θέρμανση του τεμαχίου δημιουργούνται ρωγμές στο προφυλαχτικό στρώμα, μέσα από τις οποίες διεισδύει το ενανθρακωτικό αέριο.

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

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

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

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

Τα κυανιούχα άλατα που χρησιμοποιούνται σε μίγματα υγρών μέσων ενανθρακώσεως είναι εξαιρετικός δηλητηριώδη. Γι' αυτό πρέπει να παίρνουμε κάθε προφύλαξη ώστε να μην βγαίνουν ατμοί από το λουτρό. Πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει σύστημα απαγωγής των ατμών που περιλαμβάνει κατάλληλο ανεμιστήρα, φίλτρο και κυκλώνα με καταιονισμό νερού. Ακόμα, τα κυανιούχα άλατα δεν πρέπει με κανένα τρόπο να έρχονται σε επαφή με ανοικτό τραύμα. Απαγορεύεται αυστηρά η λήψη τροφής από το προσωπικό στο χώρο όπου χρησιμοποιούνται κυανιούχα άλατα. Είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται ελαστικά γάντια, όταν ζυγίζουμε τα κυανιούχα άλατα, όταν τα τοποθετούμε στο λουτρό, όταν εμβαπτίζουμε τα τεμάχια μέσα στο λουτρό και όταν τα μεταφέρουμε για βαφή.

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

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

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

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

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

πολύ μεγάλο, τότε το τεμάχιο είναι άχρηστο.

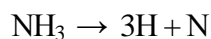
β) Η σκληρότητα που επιτυγχάνουμε είναι χαμηλή. Αυτό οφείλεται στη χρησιμοποίηση φτωχού μέσου ενανθρακώσεως. Μπορούμε να επανορθώσουμε με επανάληψη της ενανθρακώσεως.

γ) Η σκληρότητα του τεμαχίου είναι ανομοιόμορφη, υπάρχουν δηλαδή σκληρές και μαλακές περιοχές στην επιφάνειά του. Βασική αιτία αυτού του ελαττώματος είναι η παρουσία σκουριάς, λίπους, ελαίου ή άλλων ξένων σωμάτων επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου, αποτέλεσμα κακού καθαρισμού πριν από την ενανθράκωση.

Γ) Εναζώτωση

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

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



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

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

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

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναζωτώσεως.

α) Αποφεύγονται οι ρωγμές ή στρέβλωση των τεμαχίων, γιατί δεν χρειάζεται βαφή μετά την εναζώτωση. Τα τεμάχια μπορούν να υποστούν τελική κατεργασία κοπής πριν από την εναζώτωση.

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

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

δ) Η σκληρότητα των εναζωτωμένων τεμαχίων διατηρείται σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες

(μέχρι περίπου 500°C), ενώ των ενανθρακωμένων τεμαχίων αρχίζει να πέφτει από τους 200°C μόνο.

ε) Το κόστος της εναζωτώσεως είναι χαμηλό, αν ο αριθμός των τεμαχίων για εναζωτώση είναι πολύ μεγάλος. Και αυτά, γιατί οι δαπάνες των εγκαταστάσεων εναζωτώσεως είναι μεγαλύτερες από τις δαπάνες για ενανθράκωση. Για το λόγο αυτό η εναζωτώση συμφέρει μόνο αν γίνεται για πολλά τεμάχια.

στ) Το βάθος εναζωτώσεως είναι μικρότερο από το βάθος ενανθράκωσης για τον ίδιο χρόνο θέρμανσης.

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

Δ) Φλογοβαφή.

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

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

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

Επειδή κατά τη φλογοβαφή πρέπει η θέρμανση και η απόψυξη να γίνονται με ορισμένη ταχύτητα, συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα. Τεμάχια που έχουν κυλινδρικό σχήμα τοποθετούνται μεταξύ των κέντρων τόρνου. Ο τόρνος διαμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να φέρει ακροφύσια οξυγόνου και ασετιλίνης για τη θέρμανση του τεμαχίου και ακροφύσιο εκτοξέσεως νερού για την απόψυξή του. Βασικά χρησιμοποιούνται τρία είδη φλογοβαφής. Ο κύριος άξονας του τόρνου περιστρέφεται, ώστε στην επιφάνεια του τεμαχίου που είναι για φλογοβαφή να αναπτυχθεί ταχύτητα περίπου 2 mm ανά sec.

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

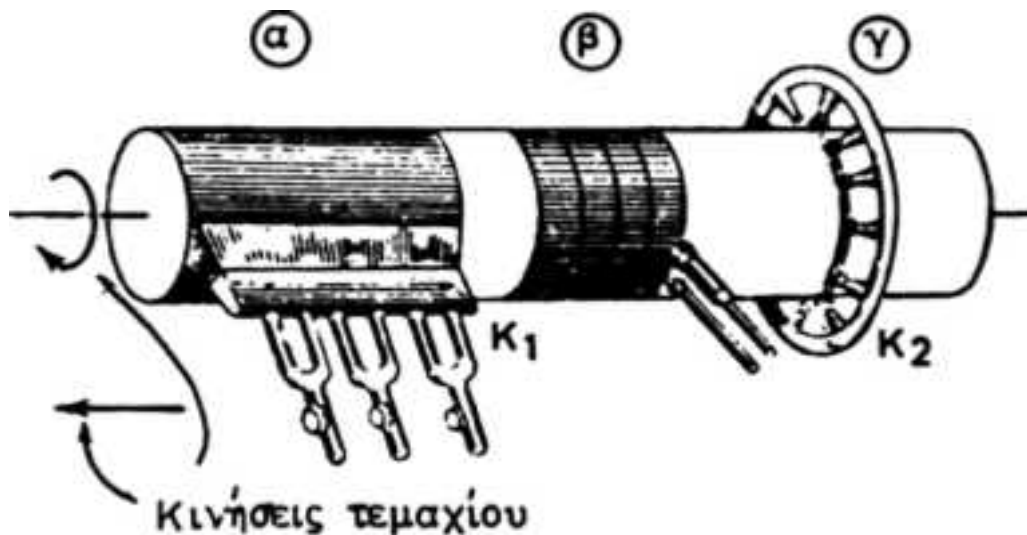
Ολόκληρη η επιφάνεια του τεμαχίου σκληρώνεται σε μια μόνο περιστροφή του άξονα. Σοβαρό μειονέκτημα του είδους αυτού φλογοβαφής είναι η δημιουργία μαλακής λωρίδας που έχει πλάτος αρκετά mm, μεταξύ της λωρίδας που σκληρώνεται πρώτη και εκείνης που σκληρώνεται τελευταία. Αυτά οφείλονται στην επαναφορά.

Το δεύτερο είδος φλογοβαφής περιλαμβάνει θέρμανση και γρήγορη απόψυξη διαδοχικών τμημάτων της επιφάνειας (βαφή κατά ζώνες). Αυτή η φλογοβαφή έχει το μειονέκτημα του σχηματισμού στενής μαλακής ελικοειδούς ζώνης επάνω στο τεμάχιο. Κατά το τρίτο είδος φλογοβαφής, η επιφάνεια που είναι για σκλήρωση θερμαίνεται γρήγορα από κυκλική κεφαλή με πολλά ακροφύσια οξυγόνου-ασετιλίνης, η οποία κινείται κατά μήκος του γρήγορα περιστρεφόμενου άξονα. Υπάρχει παρόμοια κυκλική κεφαλή για την εκτόξευση νερού αποψύξεως. Αυτό το είδος φλογοβαφής δίνει θαμμένη επιφάνεια με σχετικά ομοιόμορφη σκληρότητα.

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

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

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



Εικόνα 79: Παρουσίαση του σχήματος των ειδών φλογοβαφής.

E) Βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

Μπορούμε να πετύχουμε τη θέρμανση του τεμαχίου με σκοπό την επιφανειακή σκλήρωση και με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Τη θέρμανση ακολουθεί, όπως και κατά τη φλογοβαφή, γρήγορη απόψυξη.

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

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

Κυλινδρικά τεμάχια θερμαίνονται, αφού τοποθετηθούν μέσα σε επαγωγικό πηνίο, το οποίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεί το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που χρειάζεται για την ανάπτυξη των δινορρευμάτων, όπως προηγουμένως αναφέραμε.

Περίεργο φαινόμενο στην περίπτωση αυτή είναι η ανομοιόμορφη κατανομή των δινορρευμάτων στη διατομή του τεμαχίου από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του. Μάλιστα, η κατανομή τους είναι τόσο ανομοιόμορφη, όσο η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσεως είναι υψηλότερη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται επιδερμικό, γιατί όπως φαίνεται η ένταση του ρεύματος έχει τη μεγαλύτερη τιμή της επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου. Αυτή η ανομοιομορφία του ρεύματος από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του τεμαχίου, έχει σαν αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη επίσης θέρμανση του τεμαχίου. Και

μάλιστα η θερμοκρασία της επιφανειακής στιβάδας υψώνεται γρήγορα, ενώ ο πυρήνας του τεμαχίου παραμένει ψυχρός ή θερμαίνεται λίγο, λόγω της μεταδόσεως της θερμότητας με αγωγή από την επιφανειακή στιβάδα προς τον πυρήνα. Για την τροφοδότηση των επαγωγικών πηνίων χρησιμοποιούνται γεννήτριες υψηλής συχνότητας (μέχρι περίπου 10.000 c/sec) ή ταλαντωτές με τον απαιτούμενο ενισχυτή ισχύος για υψηλότερες συχνότητες.

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

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

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

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

3.10 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ.

Όλα, όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα περί θερμικών κατεργασιών, αφορούν τους ανθρακούχους χάλυβες. Κατά τις θερμικές όμως κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων, παρατηρούνται ορισμένες διαφορές με τις οποίες θα ασχοληθούμε σ' αυτή την παράγραφο

1)Βαφή χαλυβοκραμάτων.

Για τη βαφή των χαλυβοκραμάτων παρατηρούμε τα εξής;

α) Οι προσθήκες (δηλ. τα ξένα στοιχεία, που προσθέτουμε στον ανθρακούχο χάλυβα, για να σχηματιστεί το χαλυβόκραμα) του χαλυβοκράματος (είδος και περιεκτικότητα), μεταθέτουν προς τα δεξιά το αντίστοιχο διάγραμμα X-Θ-M. Αυτό σημαίνει ότι η κρίσιμη ταχύτητα βαφής ελαττώνεται. Αυτή η μετάθεση του διαγράμματος X-Θ-M είναι μεγαλύτερη όταν αυξηθεί η περιεκτικότητα σε προσθήκες. Περισσότερο μεταφέρονται προς τα δεξιά οι καμπύλες των χαλυβοκραμάτων με προσθήκες που σχηματίζουν καρβίδια. Επομένως, η κρίσιμη ταχύτητα βαφής ελαττώνεται προχωρώντας στις προσθήκες από το Cu, Ni, Si (στοιχεία που δεν σχηματίζουν καρβίδια) προς το Cr, Mo, W, Mn, Ti, V (στοιχεία, που σχηματίζουν καρβίδια).

β) Οι προσθήκες επιδρούν πολύ στη θερμοκρασία ενάρξεως (θ_e) και τέλος (θ_π) μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσίτη κατά τη βαφή. Οι θερμοκρασίες θ_e και θ_π εξαρτώνται και από την

περιεκτικότητα σε άνθρακα.

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

γ) Ορισμένα χαλυβοκράματα, μετά από απόλυση στον ήρεμο αέρα, μπορεί να αποκτήσουν κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη με ανάλογο ποσοστό υπολειπόμενου ωστενίτη, δηλαδή να βαφούν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι προσθήκες μετέθεσαν τόσο πολύ προς τα δεξιά την καμπύλη X-Θ-Μ του χαλυβοκράματος, ώστε η κρίσιμη ταχύτητα βαφής κατέβηκε κάτω από την ταχύτητα αποπύξεως στον ελεύθερο ήρεμο αέρα. Τα χαλυβοκράματα αυτά ονομάζονται **αυτόβαφα** ή **μαρτενσιτικά**.

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

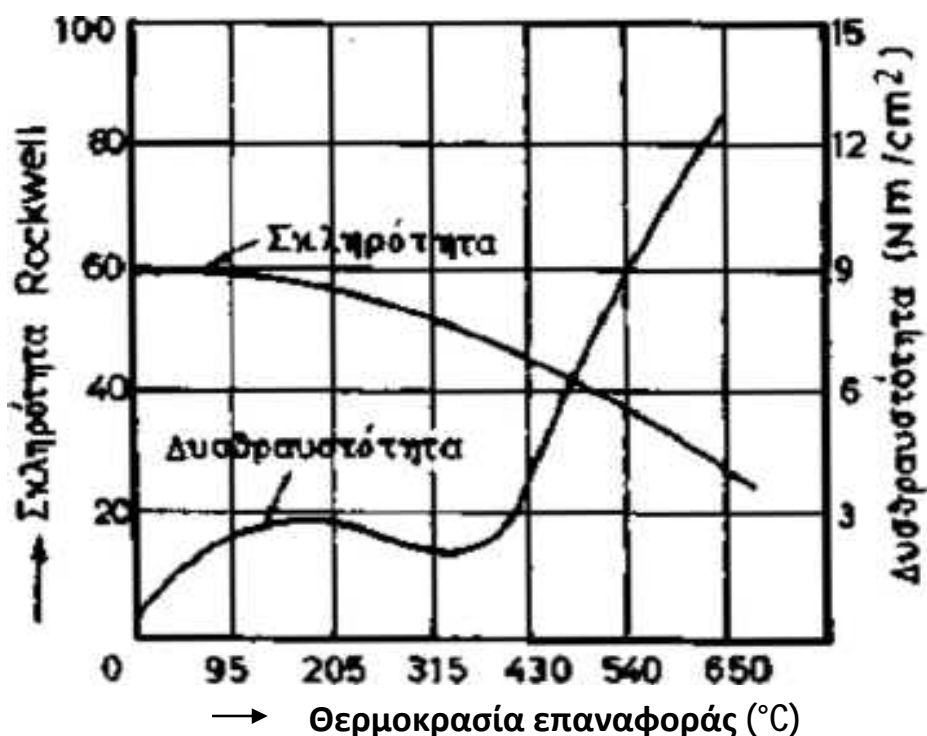
Πίνακας 11: Λουτρά τηγμένων αλάτων και μετάλλων που χρησιμοποιούνται σε θερμικές κατεργασίες.

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

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

2)Επαναφορά χαλυβοκραμάτων.

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



Διάγραμμα 11: Μεταβολή δυσθραυστότητας και σκληρότητας φτωχού χαλυβοκράματος σε συνάρτηση με την θερμοκρασία ανοπτήσεως. Πηγή: Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992

Πρακτική συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι ότι, αν χρειάζεται το χαλυβόκρμα να έχει κυρίως μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε φθορά, τότε η επαναφορά του γίνεται σε θερμοκρασία κάτω από 200°C. Αν χρειάζεται να έχει καλή δυσθραυστότητα, τότε η επαναφορά του γίνεται σε θερμοκρασία πάνω από 400°C ανάλογα.

Σε ορισμένα χαλυβοκράματα, κυρίως μαγγανίου και χρωμίου ή νικελίου και χρωμίου, παρατηρείται το φαινόμενο που ονομάζουμε **ανωμαλία ευθραυστότητας από επαναφορά**. Δηλαδή, το κράμα μετά από βαφή και επαναφορά στην περιοχή θερμοκρασίας από 450°C μέχρι 600°C περίπου και μετά από βραδεία απόψυξη, είναι εύθραυστο στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όμως, η δυσθραυστότητα του χαλυβοκράματος διατηρείται, αν η απόψυξη μετά την ανόπτηση γίνει γρήγορα, π.χ. μέσα σε νερό.

Αν προσθέσουμε λίγο μολυβδένιο (περίπου 0,10%) στο χαλυβόκρμα, αυτή η ανωμαλία περιορίζεται κατά πολύ. Επίσης, σε ορισμένα πλούσια χαλυβοκράματα, όπως είναι οι ταχυχάλυβες, οι οποίοι περιέχουν στοιχεία που σχηματίζουν καρβίδια, παρατηρείται ότι η σκληρότητά τους μετά την επαναφορά δεν ελαττώνεται. Αυτού του είδους οι χάλυβες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής, που πρέπει να διατηρούν τη σκληρότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Γιατί, όπως είναι γνωστό κατά την κοπή των μετάλλων, για να έχουμε καλή απόδοση χρειάζεται μεγάλη ταχύτητα κοπής, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμοκρασίας του εργαλείου.

3.11 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΑΛΛΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ.

α) Το μαγγάνιο και οι μαγγανιούχοι χάλυβες.

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

Αν προστεθεί το μαγγάνιο σε μεγαλύτερες ποσότητες στους ανθρακούχους χάλυβες:

- α) Βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες του χαλυβοκράματος.
- β) Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.
- γ) Κατεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και έτσι κάνει σταθερό τον ωστενίτη και
- δ) σχηματίζει σταθερά καρβίδια.

Οι μαγγανιούχοι χάλυβες έχουν κρυσταλλική δομή περλίτη (περλιτικοί χάλυβες), μαρτενσίτη (μαρτενσιτικοί) ή ωστενίτη (ωστενιτικοί) ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα και μαγγάνιο. Μαγγανιούχος χάλυβας π.χ. με $\pi(C) = 0,40\%$ θα έχει κρυσταλλική δομή περλίτη για $\pi(Mn)=0\%$ ως 3,70%, μαρτενσίτη για $\pi(Mn) = 4,80\%$ ως 9% και ωστενίτη για $\pi(Mn) > 10,50\%$ κατά προσέγγιση. Οι περλιτικοί μαγγανιούχοι χάλυβες, που χρησιμοποιούνται βιομηχανικά, περιέχουν περίπου 1,50% Mn και από 0,20% μέχρι 0,25% C. Για να ελαττωθεί το φαινόμενο μάζας κατά τη βαφή τους προσθέτουμε 0,20% ως 0,55% Mo.

Οι μαρτενσιτικοί μαγγανιούχοι χάλυβες δεν παρουσιάζουν βιομηχανικό ενδιαφέρον.

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

Χημική σύνθεση [%]		Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Κατάσταση χάλυβα	σ_B (N/mm ²)	A [%]	p* [Nm/cm ²]		
0,25	1,50	Μετά από εξομάλυνση	580	20		Βοφή σε λάδι από 860°C. Επαναφορά ανάλογα με τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες.	Χάλυβας κατασκευών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, σχροφαλοφόροι άξονες, διωστήρες.
0,35	1,50	Σε ράβδο διαμέτρου 30 mm	700	27	72	Βαφή σε νερό από 840°C έως 860°C. Επαναφορά σε 550°C.	Χάλυβας κατασκευών. Σε βιομηχανία αυτοκινήτων και για μηχανολογικές χρήσεις γενικά.
		Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C				έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	κατασκευές, όπου δεν επαρκεί ο ανθρακούχος χάλυβας, δεν δικαιολογείται όμως ο ακριβότερος νικελοχρωμιούχος.
1,20	12,5	Μετά από βαφή σε νερό από 1050°C	830	40		Βαφή από 1050°C σε νερό.	Χάλυβας κατασκευών ανοξείδωτος Μηχανήματα εξορύξεως, δόντια εκσκαφέων, τροχοί ερπυστριών ελκυστήρων και γερανών, σιαγόνες θραυστήρων.

* Δοκίμια κατά 1ZOD

Πίνακας 12: Το μαγγάνιο και οι μαγγανιούχοι χάλυβες.

B) Το νικέλιο και οι νικελιούχοι χάλυβες

Το νικέλιο σαν προσθήκη στους ανθρακούχους χάλυβες:

- α) Βελτιώνει τις μηχανικές τους ιδιότητες.
- β) Ελαττώνει την ευτηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα.
- γ) Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.
- δ) Κατεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και επομένως σταθεροποιεί τον ωστενίτη.
- ε) Γραφίτοποιεί το σεμεντίτη και
- στ) περιορίζει την αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη.

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

Ο νικελιούχος χάλυβας με $\pi(C) = 0,50\%$ θα είναι περλιτικός για $\pi(Ni)=0\%$ μέχρι 6% , μαρτενσιτικός για $\pi(Ni)=8\%$ μέχρι 15% και ωστενιτικός για $\pi(Ni) > 20\%$ περίπου. Συνήθως οι περλιτικοί νικελιοχάλυβες περιέχουν μέχρι 5% Ni και άνθρακα από $0,10\%$ μέχρι $0,40\%$. Οι νικελιούχοι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα ($0,10\%$ μέχρι $0,15\%$) είναι κατάλληλοι για ενανθράκωση και επιφανειακή σκλήρωση. Οι νικελιούχοι χάλυβες με άνθρακα από $0,25\%$ μέχρι $0,40\%$ χρησιμοποιούνται, αφού υποστούν **επιβελτίωση** για την κατασκευή τεμαχίων που καταπονούνται σε κόπωση. Οι μαρτενσιτικοί νικελιούχοι χάλυβες και οι μαγγανιούχοι δεν παρουσιάζουν βιομηχανικό ενδιαφέρον. Οι ωστενιτικοί νικελιούχοι χάλυβες είναι αμαγνητικοί. Όταν έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο, παρουσιάζουν αντοχή στη διάβρωση. Όπως θα δούμε παρακάτω, το νικέλιο και το χρώμιο αποτελούν τις βασικές προσθήκες των ανοξειδώτων χαλύβων. Ορισμένοι νικελιούχοι χάλυβες παρουσιάζουν πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής, όπως είναι το Ινβάρ (Invar) με $\pi(Ni) = 36\%$. Άλλοι παρουσιάζουν χαρακτηριστικές μαγνητικές ιδιότητες, όπως το Πέρμαλλου (Permalloy) με $\pi(Ni) = 78,50\%$, το οποίο έχει πολύ μεγάλο συντελεστή μαγνητικής διαπερατότητας.

Γ) Το χρώμιο και οι χρωμιούχοι χάλυβες.

Το χρώμιο σε ανθρακούχο χάλυβα:

- α) Γενικά αυξάνει τη σκληρότητά του και την αντοχή του σε φθορά από τριβή, ιδιαίτερα σε χάλυβες που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, επειδή σχηματίζονται σκληρά καρβίδια.
- β) Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.
- γ) Χαμηλώνει την ευτηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα.
- δ) Σχηματίζει σκληρά καρβίδια.
- ε) Ανεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και κατεβάζει το A_4 , σχηματίζει δηλαδή γ -βρόγχο και έτσι σταθεροποιείται ο φερρίτης.
- στ) Αυξάνει το μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη και τέλος,
- ζ) αυξάνει την αντοχή του χάλυβα στη διάβρωση (αποτελεί κύρια προσθήκη των ανοξειδώτων χαλύβων).

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

Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες, καθώς και τυπικές εφαρμογές των χρωμιούχων χαλύβων φαίνονται στον Πίνακα 14.

Αναφέρουμε χαρακτηριστικά, ότι χρωμιούχοι χάλυβες με $\pi(Cr) = 1,50\%$ και $\pi(V) = 0,20\%$ χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ελατηρίων.

Επίσης από χρωμιούχους χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (1%) και $\pi(Cr)=1,40\%$ κατασκευάζονται ρουλεμάν (ένσφαιροι τριβείς). Το χρώμιο, όταν προστίθεται, σε μεγάλες όμως περιεκτικότητες (πάνω από 13%), προσδίνει στους χάλυβες μεγάλη αντοχή

στη διάβρωση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία λεπτού και συνεκτικού προστατευτικού επιφανειακού στρώματος οξειδίων που εμποδίζει την παραπέρα διάβρωση του χάλυβα. Έτσι έχουμε τους *ανοξειδωτους σιδήρους* $\pi(C) < 0,10(\%)$ και τους *ανοξειδωτους χάλυβες* [$\pi(C)=0,20\%$ μέχρι $0,30\%$].

Χημική σύνθεση (%)			Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Ni	Κατάσταση Χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]		
0,40	1,50	1,00	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 600°C	710	25	96	Βαφή σε λάδι από 850°C. Επαναφορά σε 550°C έως 650°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Χάλυβας κατασκευών. Στροφαλοφόροι άξονες, άξονες μεταδόσεως κινήσεως, διωστήρες. Τεμάχια βιομηχανίας αυτοκινήτων και γενικής μηχανολογίας.
0,30	0,60	3,00	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 600 °C	870	25	110	Βαφή σε λάδι από 840°C. Επαναφορά σε 550°C έως 650°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Όπως παραπάνω Επιπλέον για άξονες αντλιών και στροβίλων.
0,12	0,45	3,00	Μετά από βαφή	790	20	82	Μετά την ενανθράκωση, βαφή πυρήνα από 860°C σε λάδι. Βαφή επιφανειακής στιβάδας από 770°C σε νερό.	Χάλυβας κατασκευών (ενανθρακώσεως). Οδοντωτοί τροχοί, πείροι, εκκεντροφόροι άξονες.
0,12	0,40	5,00	Μετά από βαφή	870	22	72	Μετά την ενανθράκωση, βαφή πυρήνα από 850°C σε λάδι. Βαφή επιφανειακής στιβάδας από 700°C σε νερό.	Χάλυβας κατασκευών (ενανθρακώσεως). Τεμάχια με σκληρή επιφάνεια φορτιζόμενα με μεγάλα φορτία. Οδοντωτοί τροχοί κιβωτίων ταχυτήτων, κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, πείροι, ατέρμονες κοιλίες.

Πίνακας 13: Νικελιούχοι χάλυβες

Χημική σύνθεση [%]	Μηχανικές ιδιότητες		
--------------------	---------------------	--	--

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

Πίνακας 14: Χρωμιούχοι χάλυβες

4) Ο συνδυασμός νικελίου και χρώμιου. Οι νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες.

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

Έτσι, η υψηλή αντοχή, η καλή δυσθραυστότητα και η πλαστικότητα, που δίνει στο χαλυβόκρμα το νικέλιο, συνδυάζονται με τη σκληρότητα, άρα και την αντοχή σε φθορά από τριβή που δίνει το χρώμιο. Εκτός από αυτά, το χρώμιο και το νικέλιο μαζί περιορίζουν κατά πολύ το φαινόμενο μάζας κατά τη βαφή. Έτσι, μπορεί να βαφούν μέχρι την καρδιά τεμάχια που έχουν διάμετρο ακόμη και 500 mm. Επίσης δίνουν γενικά πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, απαραίτητες για τεμάχια που καταπονούνται με υψηλές μηχανικές τάσεις. Έτσι, παρασκευάζεται ολόκληρη σειρά **νικελιοχρωμιούχων χαλύβων**, όπως λέγονται.

Αυτοί οι χάλυβες βρίσκουν εφαρμογές συνήθως σε κατάσταση επιβελτιώσεως και περιέχουν:

Από 1,00% μέχρι 3,50% Ni.

Από 0,25 μέχρι 1,50 Cr και

Από 0,25 μέχρι 0,40% C.

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

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

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

Κατά την επαναφορά ορισμένων από τους νικελιοχρωμιούχους χάλυβες παρατηρείται το φαινόμενο της **ευθραυστότητας από επαναφορά**. Αυτά δηλαδή τα χαλυβοκράματα, σε ορισμένη περιογή θερμοκρασίας επαναφοράς, παρουσιάζουν μειωμένη δυσθραυστότητα.

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

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

Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των νικελιοχρωμιούχων χαλύβων βρίσκονται στον Πίνακα 15.

Ε) Το βολφράμιο και οι βολφραμιούχοι χάλυβες.

Το βολφράμιο, όταν προστίθεται στο χάλυβα σχηματίζει κυρίως σταθερά, πολύ σκληρά και δύσθραυστα καρβίδια. Βαμμένοι βολφραμιούχοι χάλυβες δεν χάνουν τη σκληρότητα και τη μηχανική τους αντοχή ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτή την ιδιότητά τους τη χαρακτηρίζουμε σαν **αντοχή σε επαναφορά**. Γι' αυτό το βολφράμιο, σε μεγάλες περιεκτικότητες, χρησιμοποιείται σαν βασική προσθήκη των χάλυβων εργαλείων, ιδιαίτερα των ταχυχάλυβων. Στον Πίνακα 16 δίνουμε τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τις εφαρμογές των βολφραμιούχων χάλυβων, εκτός των ταχυχάλυβων.

ΣΤ) Το μολυβδαίνιο και οι μολυβδαινούχοι χάλυβες.

Το μολυβδαίνιο, όταν προστίθεται στο χάλυβα:

- α) Σχηματίζει σταθερά και πολύ σκληρά καρβίδια και έτσι αυξάνει τη σκληρότητα του χάλυβα,
- β) Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως,
- γ) Περιορίζει την ευθραυστότητα από επαναφορά,
- δ) Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά. Αυτό αποτελεί τη σπουδαιότερη ιδιότητά του σαν προσθήκη των χάλυβων εργαλείων.

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

[%]				Κατάσταση χάλυβα	σ _B [N/mm ²]	A [%]	p [Nm/cm ²]	Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Ni	Cr						
0,40	0,65	3,50	0,25	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C.	960	23	90	Βαφή σε λάδι από 830°C έως 850°C. Επαναφορά σε 550°C έως 650°C.	Χάλυβας κατασκευών . Αξονες μεταδόσεως κινήσεως,διωστήρες, στροφαλοφόροι άξονες και άλλα.
0,30	0,60	3,00	0,80	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C.	950	23	110	Βαφή σε λάδι από 820°C έως 840°C. Επαναφορά σε 550°C έως 650°C.	Χάλυβας κατασκευών Για τεμάχια που καταπονούνται με μεγάλες τάσεις. Χρήσεις, όπως ο προηγούμενος χάλυβας
0,35	0,80	1,25	0,60	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	950	22	90	Βαφή σε λάδι από 830°C έως 850°C. Επαναφορά σε 180°C έως 220°C ή 550°C έως 650°C.Οι χάλυβες αυτοί υπόκινται σε ευθραυστότητα από επαναφορά από 250°C έως 400°C.	Χάλυβας κατασκευών . Οδοντωτοί τροχοί μικρού και μέσου μεγέθους,πηνία διαφορικού,διωστήρες, στροφαλοφόροι άξονες,βλήτρα (μπουλόνια) και γενικά τεμάχια με κοχλίωση.
0,30	0,45	4,25	1,25	Μετά από βαφή σε αέρα και επαναφορά σε 630°C	1000	21,50	65	Βαφή σε αέρα από 820°C έως 830°C. Επαναφορά σε 180°C έως 200°C για μέγιστη σκληρότητα.Σε 600°C έως 650°C για μέγιστη δυσθραυστότητα. Απόψυξη σε λάδι. Αποφυγή ανοπτήσεως από 250° έως 580°C.	Χάλυβας κατασκευών . Τεμάχια με πολύπλοκη μορφή, των οποίων η βαφή σε λάδι θα προκαλούσε στρεβλώσεις, όπως π.χ. οδοντωτοί τροχοί.
0,10	0,80	8,50	18,00	Μετά από θέρμανση σε 1050°C και απόψυξη σε αέρα	-	-	-	Δεν σκληρώνεται με βάρη παρά μόνο με ψυξηλασία.	Ωστενικός ανοξείδωτος χάλυβας . Κατάλληλος για οικιακές και διάκοσμητικές χρήσεις.
0,10	0,80	12,50	12,50						Ωστενικός ανοξείδωτος χάλυβας .Κατάλληλος για κοίλανση. Επιτραπέζια και μαγειρικά σκεύη.
0,07	0,80	8,50	18,00	2,70 Mo				Όπως στον προηγούμενο χάλυβα.	Ωστενικός ανοξείδωτος χάλυβας . Αντέχει σε διάβρωση,σε θειικό, φωσφορικό οξύ και οργανικά οξέα.

Χρησιμοποιείται επίσης σαν προσθήκη και των πυρίμαχων χάλυβων. Συνήθως χρησιμοποιείται μαζί με το νικέλιο και το χρώμιο. Το μολυβδαίνιο αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε *ερπυσμό** και

βελτιώνει τις μηχανικές του ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Γι'αυτό κατάλληλος μολυβδαινιούχος χάλυβας χρησιμοποιείται σε κατασκευή μερών λεβήτων, αεριοστροβίλων και άλλων συναφών κατασκευών.

Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των μολυβδαινιούχων χάλυβων δίνονται στον Πίνακα 17.

Z) Το βανάδιο και βανοδιούχοι χάλυβες.

Το βανάδιο ως προσθήκη των χάλυβων: α) Σχηματίζει σκληρά και πολύ λεπτά καρβίδια. β) Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά γ) Ευνοεί την ανάπτυξη κόκκων μικρού μεγέθους.

Είδος χάλυβα	Χημική σύνθεση [%]						Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
	C	Si	Cr	Mo	V	W		
Χάλυβας εργαλείων	1,00	-	0,75	-	-	0,40	Βαφή σε λάδι από 790°C.Επαναφορά σε 200°C έως 250°C.	Φρέζες, ελεγκτήρες, μικρές μήτρες πρέσας
Χάλυβας μητρών θερμηλασίας	0,35	1,00	5,00	1,50	0,40	1,35	Προθέρμανση σε 800°C με ταχεία θέρμανση σε 1020°C και απόψυξη σε αέρα. Επαναφορά σε 540° έως 620°C.	Μήτρες διελάσεως κραμάτων χαλκού και αργιλίου.Μήτρες διαμορφώσεως εν θερμώ.

Χημική σύνθεση[%]					Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Mi	Cr	Mo	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]		
0,35	1,60	-	-	0,45	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C.	1100	19	73	Βαφή σε λάδι από 830°C έως 850°C. Επαναφορά σε 550°C έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Χάλυβας κατασκευών. Υποκαθιστά νικελιοχρωμιούχους χάλυβες με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε προσμίξεις.
0,40	0,65	-	1,10	0,30	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C.	1000	18	70	Βαφή σε νερό από 840° έως 860°C. Επαναφορά σε 550°C έως 700°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Χάλυβας κατασκευών. Υποκαθιστά το νικελιούχο χάλυβα με 3% Νί. Στροφαλοφόροι άξονες, διωστήρες και παρόμοια στοιχεία μηχανών.
0,40	0,55	1,50	1,10	0,30	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C.	1070	22	73	Βαφή σε λάδι από 830°C έως 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Χάλυβας κατασκευών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, στροφαλοφόροι άξονες και άλλα ισχυρώς φορτιζόμενα τεμάχια όπου η αντοχή σε κόπωση και κρούσεις είναι επιθυμητές. Μετά από ελαφρή επαναφορά (180° έως 200°C) χρησιμοποιείται για οδοντωτούς τροχούς αυτοκινήτων και εργολειομηχανών.
0,10	0,60	-	0.003 Βόριο	0,50	Μετά από εξομάλυνση σε 950°C και αποτακτική ανόπτηση σε 600°C.	570	16	-	Εξομάλυνση σε 930° έως 980°C. Αποτακτική ανόπτηση σε 590° έως 610°C για 3 ώρες.	Χάλυβας κατασκευών. Αντοχή σε ερπυσμό μέχρι 400°C. Αεροφυλάκια πίεσεως, εναλλάκτες θερμότητας, τεμάχια ατμοπαραγωγών και αεριοστροβίλων.

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

Χημική σύνθεση [%]						Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	Σκληρότητα κατά Vickers		
0,45	0,25	0,60	1,0 5	-	0,15	Μετά από βαφή και επαναφορά.	152	-	-	Χάλυβας κατασκευών. Σύρμα ελατηρίων, κυρίως βαλβίδες.
0,50	-	0,60	1,7 5	-	0,20	Μετά από βαφή και επαναφορά.	-	400	Προθέρμανση σε 700°C. Κατόπιν βαφή από 850°C. Επαναφορά σε 550°C.	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες χυτεύσεως υπό πίεση κραμάτων ψευδαργύρου.
0,3 5	1,00	0,30	5,0	1,50	1,00	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 550°C.	-	600	Προθέρμανση σε 850°C. Ταχεία θέρμανση σε 1000°C. Βαφή στον αέρα. Επαναφορά σε 550° έως 650°C.	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες θερμηλασίας κραμάτων χαλκού, όπου η θερμοκρασία δεν είναι πολύ υψηλή. Μήτρες διελάσεως για κράματα του αργιλίου.Μήτρες για χύτευση αργιλίου υπό πίεση.
1,6	0,20	0,30	13,00	1,00	0,50	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 400°C.	-	700	Προθέρμανση σε 850°C. Ταχεία θέρμανση σε 1000°C.Βαφή σε λάδι ή αέρα. Επαναφορά σε 200°C έως 400°C.	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες κοιλάνσεως. Μήτρες κατασκευής σπειρωμάτων με πίεση.Μήτρες συρματοποιήσεως. Λεπίδες ψαλίδων για σκληρά μέταλλα.

Οι ακαθαρσίες των χαλύβων. Γενικά οι χάλυβες, εκτός από τον άνθρακα και τις προσθήκες που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, περιέχουν και τα εξής στοιχεία στην περιεκτικότητα που παραθέτουμε:

Μαγγάνιο : έως 1,00 %
Πυρίτιο: έως 0,30 %
Φωσφόρο: έως 0,05 %
Θείο: έως 0,05 %
Άζωτο: έως 0,02 %

Αυτά τα στοιχεία παραμένουν στους χάλυβες από την παρασκευή τους και επηρεάζουν τις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες ως εξής: α) Το μαγγάνιο επιδρά κατά τον τρόπο που έχουμε αναφέρει. Η περιεκτικότητά του δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,30% σε ανθρακούχους χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας, γιατί διευκολύνει τη δημιουργία ρωγμών κατά τη βαφή.

β) Έχουμε επίσης περιγράψει την επιρροή του πυριτίου, σαν προσθήκη σε χάλυβες. Εδώ σημειώνουμε ότι σε χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, το πυρίτιο υποβοηθάει στη διάσπαση του σεμεντίτη σε φερρίτη και γραφίτη, πράγμα που χειροτερεύει τις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα. γ) Ο φωσφόρος σχηματίζει μαζί με το σίδηρο την **ψαθυρά** (εύθραυστη) χημική ένωση Fe_3P , η οποία είναι διαλυτή στο χάλυβα. Η χημική αυτή ένωση ευνοεί κάπως την αύξηση της σκληρότητας του χάλυβα, μέχρι όμως 0,05% φωσφόρου. Φώσφορος σε περιεκτικότητα πάνω από 0,05% κάνει το χάλυβα εύθραυστο και επομένως πρέπει να αποφεύγεται.

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

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

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

ε) Το άζωτο της ατμόσφαιρας απορροφάται από τον τηγμένο χάλυβα κατά την παρασκευή του. Το άζωτο μπορεί να σχηματίσει νιτρίδια (Fe_4N) ή και να εισχωρήσει στο κρυσταλλικά πλέγμα του χάλυβα κατά τη στερεοποίηση. Και στις δυο περιπτώσεις, ο χάλυβας γίνεται ψαθυρός και ακατάλληλος για ψυξηλασία μεγάλου βαθμού παραμορφώσεως. Επομένως, ο μαλακός χάλυβας που χρησιμοποιείται για κοίλανση θα πρέπει να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο.

3.12 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Η ΣΚΛΗΡΩΣΗ

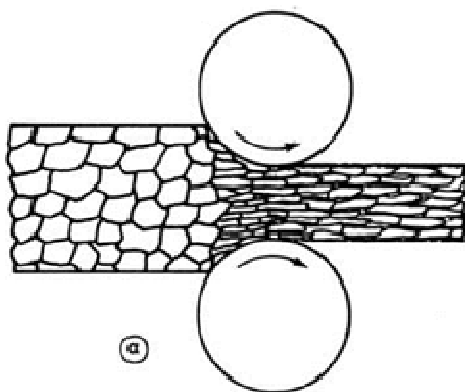
Τα περισσότερα από τα βιομηχανικώς χρησιμοποιούμενα μέταλλα και κράματα υφίστανται πλαστική (μόνιμη) παραμόρφωση κατά τη μορφοποίησή τους σε έτοιμα τεμάχια. Ιδιαίτερα το παθαίνουν κατά την κατεργασία διαμορφώσεως εν ψυχρώ ή ψυξηλασία (σφυρηλασία, ολκή, εξέλαση κλπ.).

Σ' αυτή την περίπτωση, ο κρυσταλλικός ιστός του μετάλλου ή κράματος παραμορφώνεται πλαστικά με επιμήκυνση των κρυσταλλιτών του προς την κατεύθυνση της κατεργασίας.

Η κατάσταση, στην οποία βρίσκεται το μέταλλο ή το κράμα μετά από έντονη πλαστική παραμόρφωση, ονομάζεται σκλήρωση ή κράτυνση. Το μέταλλο ή το κράμα που έχει υποστεί σκλήρωση, αποκτάει:

- α) Μεγαλύτερη σκληρότητα από την αρχική,
- β) Υψηλότερο όριο ελαστικότητας,
- γ) Υψηλότερο όριο θραύσεως.
- δ) Μικρότερη πλαστικότητα, δηλαδή μικρότερη παραμόρφωση θραύσεως και
- ε) μικρότερη δυσθραυστότητα.

Η σκλήρωση οφείλεται στο γεγονός ότι, πρακτικά, η πλαστική παραμόρφωση γίνεται κατά επίπεδα ολισθήσεως όχι ιδανικά, αλλά κάπως στρεβλωμένα. Λόγω της στρεβλώσεως αυτής οι επιφάνειες ολισθήσεως συρρικνώνονται και επομένως παρουσιάζουν αντίσταση στη μετακίνηση των αταξιών.





Εικόνα 80: Μεταβολή του κρυσταλλικού ιστού του μετάλλου κατά την ψυχρηλασία, σχηματική παράσταση και μικρογραφία.

Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ

Θα εξετάσουμε τι συμβαίνει, όταν ένα μέταλλο παραμορφώνεται πλαστικά εν ψυχρώ, δηλαδή στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά το πείραμα του εφελκυσμού ξέρουμε, ότι η παραμόρφωση του δοκιμίου είναι ελαστική ή μόνιμη (πλαστική). Κατά την ελαστική παραμόρφωση παρατηρείται περιορισμένη στρέβλωση του κρυσταλλικού πλέγματος του μετάλλου, χωρίς όμως τα άτομα να μετακινούνται μόνιμα από την κανονική τους θέση. Μόλις αφαιρεθεί η τάση που προκαλεί την παραμόρφωση η στρέβλωση εξαφανίζεται και τα άτομα επανέρχονται στην προηγούμενη θέση τους.

Όταν όμως το μέταλλο φορτιστεί πιο πέρα από το όριο ελαστικότητας, τα άτομα μετακινούνται σε νέες θέσεις και έτσι δημιουργείται πλαστική παραμόρφωση του μετάλλου.

Η πλαστική παραμόρφωση των πολυκρυσταλλικών μετάλλων γίνεται με ολίσθηση στρώματος ατόμων σε σχέση με άλλο στρώμα ατόμων κατά μήκος του λεγόμενου επιπέδου ολισθήσεως μέσα όμως στον ίδιο κόκκο ή κρυσταλλίτη.

Ας φανταστούμε στη θέση κρυσταλλίτη ενός μετάλλου, στήλη από νομίσματα. Αν επιβάλουμε δύναμη παράλληλη με την επιφάνεια επαφής των νομισμάτων, τότε τα νομίσματα θα γλιστρήσουν (θα ολισθήσουν) το ένα επάνω στο άλλο, εφόσον η δύναμη αυτή υπερνικά την τριβή μεταξύ των νομισμάτων. Στην περίπτωση αυτή τα νομίσματα παριστάνουν στρώματα ατόμων του κρυσταλλίτη του μετάλλου και οι επιφάνειες επαφής των νομισμάτων τα επίπεδα ολισθήσεως. Τα αποτελέσματα των ολισθήσεων στα πολυκρυσταλλικά μέταλλα μπορούν να παρατηρηθούν με το μικροσκόπιο. Η κατεύθυνση των επιπέδων ολισθήσεως των κρυσταλλιτών μετά από τη μόνιμη παραμόρφωση δίνεται από τις σχηματιζόμενες βαθμίδες ολισθήσεως, πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου. Οι βαθμίδες ολισθήσεως είναι περίπου παράλληλες στον ίδιο κρυσταλλίτη, αλλά διαφέρουν ως προς την κατεύθυνση από κρυσταλλίτη σε κρυσταλλίτη (έχουν διαφορετικό προσανατολισμό). Έχει παρατηρηθεί με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ότι κάθε ορατή βαθμίδα ολισθήσεως περιλαμβάνει χονδρικά δέκα μικρότερες βαθμίδες που κάθε μια έχει πλάτος 40 ατομικές αποστάσεις και βάθος 400 ατομικές αποστάσεις περίπου.

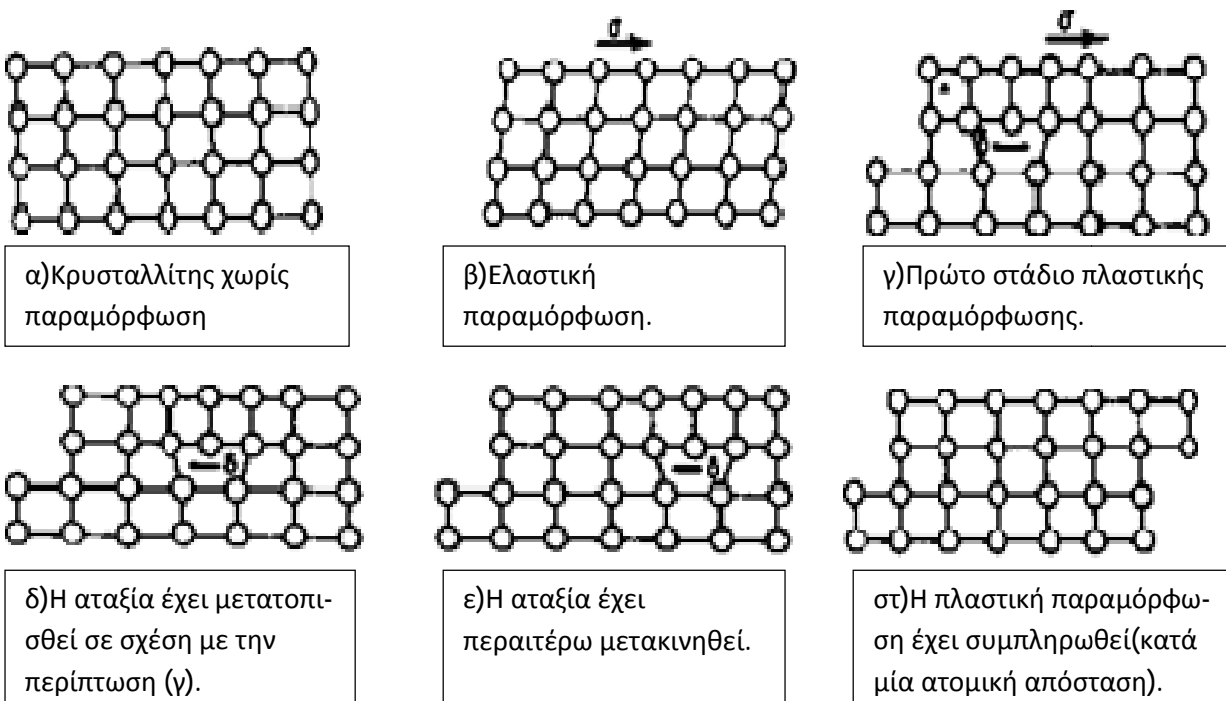
Κατά την πλαστική παραμόρφωση πολυκρυσταλλικού μετάλλου, οι κρυσταλλίτες του δεν χάνουν την προσωπικότητά τους. Παραμορφώνονται ως προς το σχήμα, π.χ. μακραίνουν προς την κατεύθυνση της ελάσεως. Το μέταλλο αποκτά διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες κάθετα ή παράλληλα προς την κοινή κατεύθυνση του κρυσταλλικού ιστού. Επίσης, κάθε κρυσταλλίτης παραμένει με συνεχή κρυσταλλική δομή. Δεν εμφανίζονται δηλαδή νέοι κρυσταλλίτες, ούτε θρυμματίζονται αυτοί που υπάρχουν, εφόσον δεν έχει συμβεί θραύση. Η ολίσθηση των επιπέδων των ατόμων δεν είναι τόσο απλή, όπως την περιγράψαμε. Ενώ η περιγραφή αυτή συμφωνεί με μικροσκοπικές παρατηρήσεις, δεν είναι δυνατό να εξηγήσουμε μ' αυτό τον τρόπο άλλα φαινόμενα, που είναι επακόλουθα της πλαστικής παραμορφώσεως. Η σύγχρονη άποψη για το μηχανισμό της πλαστικής παραμορφώσεως μετάλλου βασίζεται στη θεωρία

των αταξιών και είναι η εξής: (αταξία ονομάζεται οποιαδήποτε ανωμαλία στην κανονικότητα του κρυσταλλικού πλέγματος του μετάλλου).

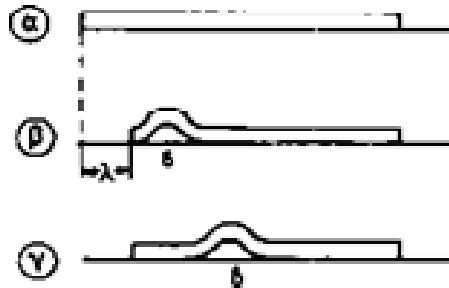


Εικόνα 81: Ο σχηματισμός των βαθμίδων ολισθήσεως πλαστικά παραμορφωμένου μετάλλου. Σχηματική παράσταση της επιφάνειας του δοκιμίου: α) Πριν την πλαστική παραμόρφωση, β) Μετά την πλαστική παραμόρφωση.

Στην εικόνα 81 παρατηρείται το αποτέλεσμα της εφαρμογής μικρής τάσεως σ κατά την κατεύθυνση (φορά) του βέλους. Αν η τάση αυτή σταματήσει, ο κρυσταλλίτης θα επανέλθει στην κανονική του θέση (α). Αν όμως η τάση σ γίνει μεγαλύτερη από το όριο διαρροής, τότε θα συμβεί ολίσθηση (περίπτωση γ), με μετακίνηση των ανωτέρων στρωμάτων ατόμων προς τα δεξιά κατά μια ατομική απόσταση, δηλαδή κατά την απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους δυο γειτονικών ατόμων, χωρίς όμως να συμβεί καμιά αλλαγή στο δεξιό μέρος του κρυσταλλίτη. Εδώ παρατηρούμε ότι το πρώτο στάδιο της πλαστικής παραμορφώσεως (γ) επιδρά επάνω σε λίγα μόνο άτομα κατά μήκος του επιπέδου ολισθήσεως. Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να προκληθεί με πολύ μικρότερη τάση από εκείνη που θα ήταν αναγκαία, αν όλα τα άτομα στο επίπεδο ολισθήσεως έπρεπε συγχρόνως να μετακινηθούν προς τα δεξιά. Στο στάδιο αυτό της πλαστικής παραμορφώσεως έχει δημιουργηθεί σαν επακόλουθο η αταξία (δ). Η αταξία αυτή του κρυσταλλικού πλέγματος μετακινείται προς τα δεξιά (δ), (ε) και στο τελικό στάδιο (στ) έχει επέλθει πλαστική παραμόρφωση κατά μια ατομική απόσταση.



Εικόνα 82: Πλαστική παραμόρφωση κρυσταλλίτη σύμφωνα με τη θεωρία των αταξιών. Η αταξία σημειώνεται με (δ) και με παχιά μικρή γραμμή.



Εικόνα 83: Μετακίνηση της πτυχής (αταξίας) σε απλωμένο πάνω σε δάπεδο τάπητα.

Επομένως, σαν όριο διαρροής, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, μπορεί να θεωρηθεί η τάση που απαιτείται για να μετακινηθεί η αταξία.

Η μετακίνηση της αταξίας, όπως επίσης και η απαιτούμενη αντίστοιχη τάση, μπορούν να εξομοιωθούν με τη μετακίνηση ενός τάπητα, που είναι απλωμένος σε οριζόντιο δάπεδο (εικόνα 83). Όλοι έχουμε παρατηρήσει ότι, αν ο τάπητας είναι μεγάλος και βαρύς, είναι πολύ δύσκολο να μετακινηθεί με έλξη από τη μια του άκρη. Αν όμως σχηματίσουμε στη μια του άκρη μια πτυχή (δ), όπως στο σχήμα, τότε η πτυχή εύκολα μπορεί να μετακινηθεί μέχρι την άλλη άκρη του τάπητα με εφαρμογή μικρής δύναμης και συνεπώς ολόκληρος ο τάπητας μετακινείται κατά μικρή απόσταση λ. Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε, ότι ο τάπητας κατά τη μετακίνηση της πτυχής (δ) δεν έχασε την επαφή του με το δάπεδο. Με τον ίδιο τρόπο ακριβώς μετακινείται η αταξία μέσα σε κρυσταλλίτη, χωρίς να αποχωρίζονται τα άτομα κατά μήκος του επιπέδου ολισθήσεώς τους.

Επειδή κάθε αταξία, που μετακινείται μέσα σ' ένα κρυσταλλίτη, σχετίζεται με μετακίνηση κατά μια ατομική απόσταση μόνο ($0,25 \cdot 10^{-6}$ mm) συμπεραίνεται ότι, για να συμβεί μετακίνηση (μόνιμη παραμόρφωση), την οποία να μπορούμε πρακτικά να την μετρήσουμε, χρειάζεται να μετακινηθεί πολύ μεγάλος αριθμός αταξιών.

ΨΥΧΡΗΛΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΩΝ - ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Ψυχρηλασία ονομάζεται η κατεργασία διαμορφώσεως των μετάλλων ή κραμάτων, που γίνεται στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η ψυχρηλασία έχει σαν αποτέλεσμα τη μορφοποίησή τους σε τεμάχια με μηχανισμό την πλαστική παραμόρφωση.

Οι σπουδαιότερες από τις μηχανικές κατεργασίες διαμορφώσεως με ψυχρηλασία ή και θερμηλασία, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, δίνονται στην εικόνα 84. Σ' αυτό το σχήμα δίνεται και η αρχή πάνω στην οποία βασίζεται κάθε μια κατεργασία. Η ψυχρηλασία στην πράξη γίνεται σε μέταλλα ή κράματα τα οποία προηγουμένως έχουν υποστεί θερμηλασία, όπως π.χ. στην κατασκευή κυπελλοειδών προϊόντων με εξέλαση (εικ. 84) από έλασμα, που έχει διαμορφωθεί εν θερμώ. Συνήθως με την κατεργασία της ψυχρηλασίας παίρνουμε έτοιμα προϊόντα (χωρίς να είναι αναγκαία άλλη παραπέρα κατεργασία) στη βιομηχανική παραγωγή.

Η ψυχρηλασία έχει σαν αποτέλεσμα τη σκλήρωση του μετάλλου ή κράματος. Μετά από ψυχρηλασία, παρατηρούνται αλλαγές στην κρυσταλλική δομή, άρα και στις μηχανικές ιδιότητες του μετάλλου, γιατί αυτό έχει υποστεί σκλήρωση. Τα αποτελέσματα της σκλήρωσεως εξαφανίζονται (το μέταλλο δηλαδή


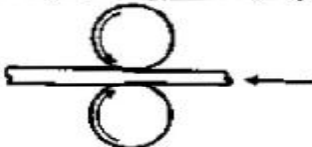
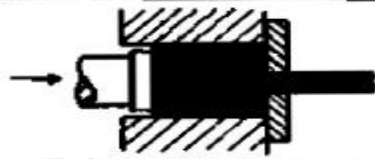
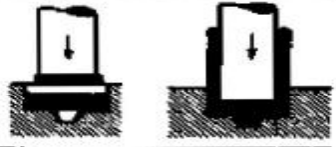
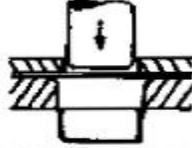
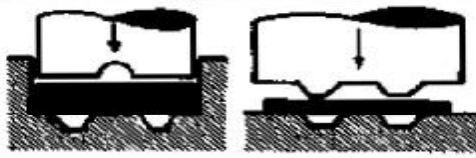


αναλαμβάνει την κανονική κρυσταλλική του δομή και τις κανονικές του μηχανικές ιδιότητες, που είχε πριν από τη σκλήρωση), εάν το θερμάνουμε για ένα ορισμένο χρόνο σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη από τη λεγόμενη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως.

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

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

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

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

Είδος κατεργασίας παραμορφώσεως		Τρόπος εκτελέσεως της κατεργασίας
Σφυρηλασία	Κρουστική Συμπιεστική	
Έλαση		
Διέλαση		
Εξέλαση		
Κοίλανση		
Τύπωση	Ισόπαχη Ανισόπαχη	
Περιώθηση		
Ολκή		

Εικόνα 84: Είδη μηχανικών κατεργασιών διαμορφώσεως των μετάλλων και τρόπος εκτελέσεως τους.

3.13 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ «ΣΦΥΡΗΛΑΤΗΣΗ»

Επεξεργασία με την οποία τα μέταλλα, αφού θερμανθούν σε κατάλληλη θερμοκρασία, υποβάλλονται σε μια σειρά επανειλημμένων κρούσεων για να τους δοθεί η επιθυμητή μορφή. Χρησιμοποιείται συχνά για την κατασκευή πολύπλοκων κομματιών με πολλές προεξοχές και εσοχές, που δίνει μια χονδροειδή εικόνα της τελικής μορφής του κομματιού που πρόκειται να κατασκευαστεί, γι' αυτό και σχεδόν

πάντοτε υποβάλλεται, στη συνέχεια, σε κατεργασία με εργαλειομηχανές. Η θέρμανση του μετάλλου γίνεται συνήθως σε φούρνους που λειτουργούν με πετρέλαιο ή αέριο και η διάρκειά της πρέπει να είναι τόση, ώστε να εξασφαλιστεί η ομοιόμορφη διανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κομματιού. Ειδική φροντίδα έχει καταβληθεί, ώστε η θερμοκρασία θέρμανσης του αντικειμένου που σφυρηλατείται, να μην επιτρέπει την τήξη του μετάλλου, που παραμένει με τη μορφή κολλώδους ουσίας. Το γεγονός περιορίζει την παραμόρφωση που θα μπορούσε να πάθει με τις διαδοχικές κρούσεις. Αλλά η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα όριο και για να μην παρατηρηθεί επικίνδυνη αύξηση των κρυστάλλων του μετάλλου.

Για τους χάλυβες, η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται στους 900 - 950°C, ενώ για τα ελαφρά κράμματα, εκείνα δηλαδή στα οποία υπερέχει το αλουμίνιο, το όριο θέρμανσης είναι στους 450°C. Τα μηχανήματα που εκτελούν την επομένη επεξεργασία κρούσης και διαμόρφωσης ονομάζονται σφύρες και λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα ή και με ατμό. Σε ειδικές περιπτώσεις, η σφυρηλάτηση πραγματοποιείται με προοδευτική πίεση που ασκείται από υδραυλικά ή ατμοκίνητα πιεστήρια (πρέσες). Αν πρόκειται να σφυρηλατήσουμε αποκλειστικά ελαφρά κράμματα, χρησιμοποιούμε αποκλειστικά υδραυλικά πιεστήρια.



Εικόνα 85: Υδραυλική σφύρα.

Κατά την σφυρηλάτηση, η διαδικασία μορφοποίησης του αντικειμένου γίνεται με την βοήθεια καταλλήλων μητρών μέσα στις οποίες σφυρηλατείται ή συμπιέζεται το μέταλλο. Οι μήτρες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

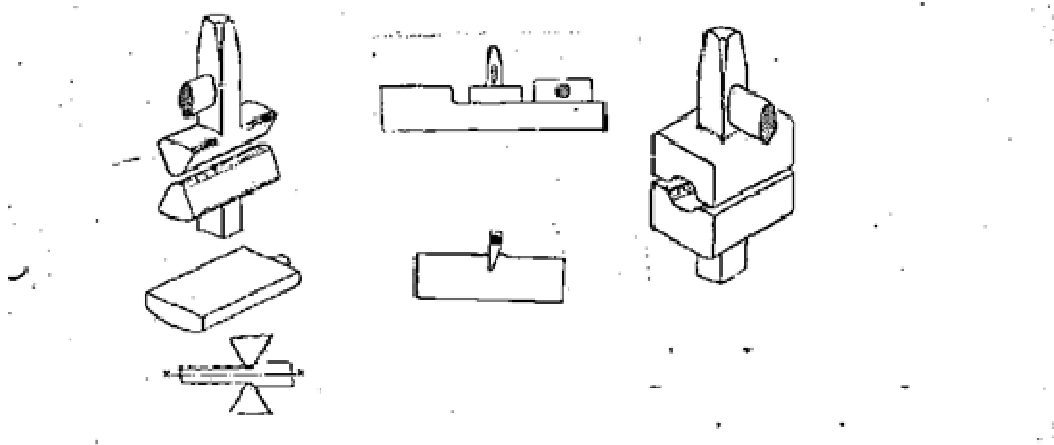
1. Ανοικτές, όπου το μέταλλο με διαδοχικές σφυρηλατήσεις επάνω σε προεξοχές ή εσοχές παίρνει την

κατά προσέγγιση μορφή του.

2. Κλειστές, όπου το μέταλλο σφυρηλατείται μεταξύ δύο κοιλοτήτων που έχουν το ακριβές σχήμα του αντικειμένου.

Η χρησιμοποίηση ανοικτών μητρών έχει το πλεονέκτημα της απλότητας και του χαμηλού κόστους μητρών, η μορφή όμως του αντικειμένου και η ακρίβεια διαστάσεως εξαρτάται από την τέχνη του χειριστή της σφύρας. Για πολύπλοκα αντικείμενα με μεγάλη παραγωγή, ή χρήση κλειστών μητρών είναι απαραίτητη.

Στην εικόνα 86 παρουσιάζονται μερικές ανοικτές μήτρες και οι αντίστοιχες διαμορφώσεις που προκαλούν στο μέταλλο.



Εικόνα 86: Σφυρηλάτηση με ανοιχτή μήτρα.

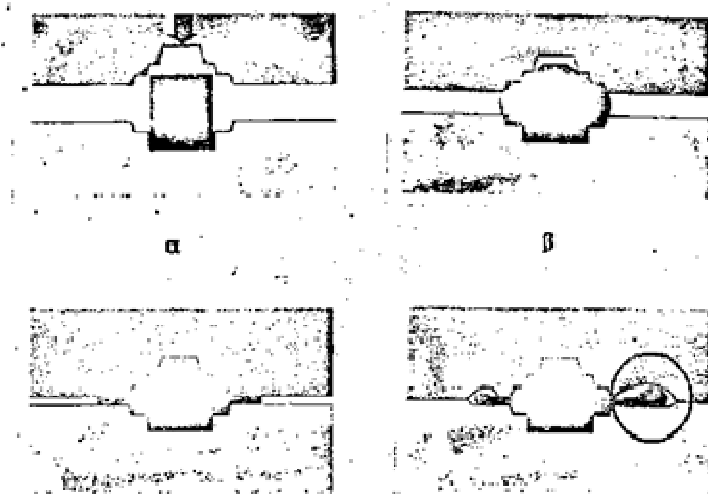
Πηγή:<https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME148/.pdf>

Στην εικόνα 87 παρίστανται οι διαδοχικές παραμορφώσεις που υφίσταται το μέταλλο κατά την διάρκεια της καθόδου της σφύρας. Το μέταλλο υπό την επίδραση των δυνάμεων της σφύρας παραμορφώνεται και διαδοχικά καταλαμβάνει τον χώρο που υπάρχει.

Η ποσότητα του μετάλλου που τοποθετείται στο καλούπι είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την μάζα του αντικειμένου. Για να αποφύγουμε το φαινόμενο να παραμείνει υλικό μεταξύ των επιφανειών της σφύρας συνήθως διαμορφώνεται η μήτρα με μια περιφερειακή κοιλότητα στην οποία συσσωρεύεται το υλικό που περισσεύει.

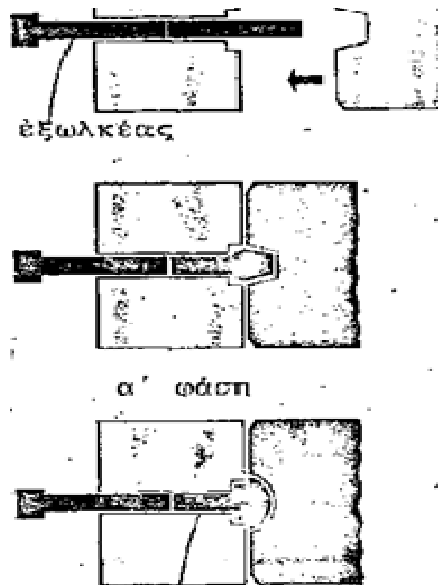
Για την βελτίωση της τελικής μορφής και των διαστάσεων του αντικειμένου, συνήθως επακολουθούν και άλλες δευτερεύουσες κατεργασίες σε κλειστές ή ανοικτές μήτρες. Σε πολλές περιπτώσεις χρειάζονται περισσότερα από ένα κτυπήματα σε διαδοχικές μήτρες για να πάρει το αντικείμενο την τελική του μορφή. Μια τέτοια περίπτωση δείχνει η εικόνα 88, σχετικά με την κατασκευή ήλου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και για την κατασκευή κοχλιών.

Η επεξεργασία των μετάλλων με τη σφυρηλάτηση παρουσιάζει έναντι στη χύτευση, εκτός από το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής του αντικειμένου, και μεγαλύτερη παραγωγικότητα.



Εικόνα 87: Σφυρηλάτηση με κλειστή μήτρα.

Πηγή: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME148/.pdf>



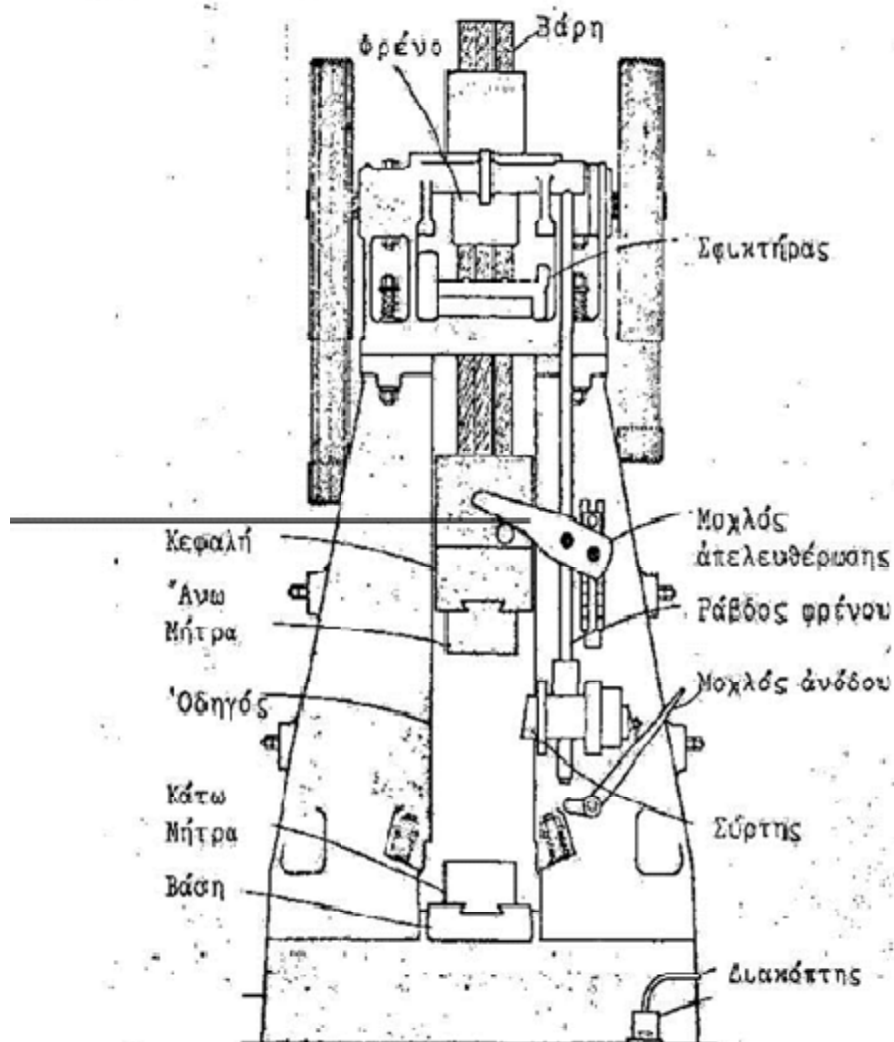
Εικόνα 88: Σφύρα με διαδοχικές παραμορφώσεις.

Πηγή: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME148/.pdf>

Για την δημιουργία των μεγάλων δυνάμεων που απαιτούνται κατά την σφυρηλάτηση χρησιμοποιούνται βασικά δύο τύποι μηχανών, οι σφύρες και οι πρέσες. Η βασική διαφορά των δύο αυτών τύπων είναι η μορφή της, εξασκουμένης δυνάμεως που είναι αντίστοιχα κρουστική η δυναμική.

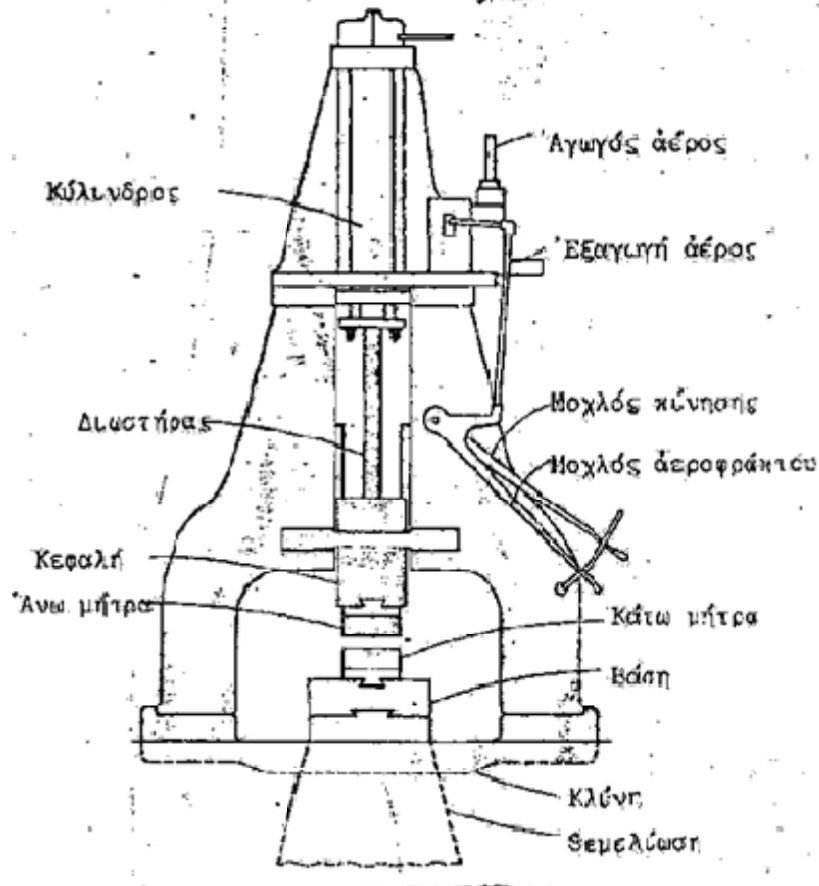
Οι σφύρες διακρίνονται στις σφύρες βαρύτητας που η ενέργεια της κρούσης προέρχεται από την ελεύθερη πτώση της κεφαλής της σφύρας, και τις αερόσφυρες στις οποίες η ενέργεια της κρούσης προέρχεται από συνδυασμό ελεύθερης πτώσης και πεπιεσμένου αέρα ή ατμού. Η δυναμικότητα της σφύρας βαρύτητας εξαρτάται από το ύψος πτώσης που είναι ρυθμιζόμενο.

Η άνοδος της κεφαλής στον τύπο αυτό της σφύρας γίνεται συνήθως με ηλεκτρικό κινητήρα έως το προκαθορισμένο ύψος, όπου και ασφαλίζεται με την βοήθεια ενός σφικτήρα τριβής. Ο τύπος αυτός της σφύρας χρησιμοποιείται συνήθως με κλειστές μήτρες.



Εικόνα 89: Σφύρα βαρύτητας. Πηγή:<https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME148/pdf>

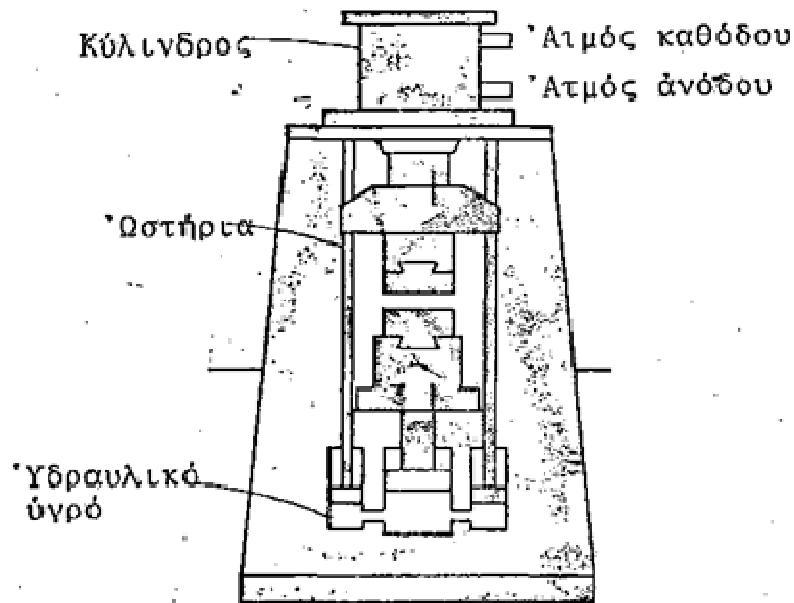
Στον τύπο της αερόσφυρας, η άνοδος και η κάθοδος της κεφαλής γίνεται με την βοήθεια κυλίνδρου στον οποίο διοχετεύεται πεπιεσμένος αέρας ή ατμός. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για ανοικτές μήτρες. Η δυναμικότητα των δύο αυτών τύπων σφυρών συνήθως καθορίζεται από το βάρος της κεφαλής σε kg ή lb), και κυμαίνεται μεταξύ 500 και 10000 lb. Το βάρος βέβαια της κεφαλής είναι πολύ μικρότερο από την πραγματική δύναμη που εξασκείται στο υλικό λόγω της κρούσης.



Εικόνα 90: Αερόσφυρα. Πηγή: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME148/.pdf>

Εκτός από δύο αυτούς βασικούς τύπους σφυρών υπάρχουν και άλλοι τύποι που χρησιμοποιούνται σε μικρότερη κλίμακα σε ειδικές περιπτώσεις.

Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των σφυρών, είναι οι μεγάλες δονήσεις που προκαλούν στην θεμελίωση του εργοστασίου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού δημιουργήθηκε ο τύπος της σφύρας διπλής ενέργειας που φαίνεται στην εικόνα 82. Στον τύπο αυτό σφύρας κινούνται και οι δύο μήτρες σε αντίθετες διευθύνσεις. Η κεφαλή της σφύρας με την άνω μήτρα με την δύναμη που εξασκεί ο άνω κύλινδρος με την ενέργεια του ατμού, και η κάτω μήτρα με την βάση της με την βοήθεια υδραυλικού υγρού. Το όλο σύστημα είναι απόλυτα ζυγισμένο με αποτέλεσμα να μην μεταδίδονται δονήσεις στην θεμελίωση. Ο τύπος αυτός της σφύρας κατασκευάζεται και με οριζόντια διάταξη. Η δυναμικότητα των σφυρών διπλής ενέργειας χαρακτηρίζεται συνήθως από την ενέργεια της κρούσης σε kpm ή ft-lb. Συνήθως οι τιμές αυτές κυμαίνονται μεταξύ 3000 και 70000 ft-lb ή 400 και 10000kpm.



Εικόνα 91: Σφύρα διπλής ενέργειας.

Πηγή: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME148/.pdf>

Ένα από τα σοβαρά προβλήματα στη χρησιμοποίηση των σφυρών για σφυρηλάτηση είναι και το μεγάλο κόστος των μητρών που πρέπει να είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στα κρουστικά φορτία που αναπτύσσονται. Αποτέλεσμα των κρουστικών αυτών φορτίων είναι η ταχεία φθορά των μητρών ιδίως στα σημεία που παρουσιάζουν μικρές ακτίνες καμπυλότητας. Στην σύγχρονη βιομηχανία μεγάλο μέρος των σφυρών έχει αντικατασταθεί από πρέσες, που αντί να σφυρηλατούν το αντικείμενο μέσα στην μήτρα το συμπιέζουν με μεγάλες δυνάμεις, που πολλές φορές φθάνουν τους 70000 τόνους. Οι δυνάμεις αυτές είναι απαραίτητες για την μορφοποίηση αντικειμένων από ειδικά κράματα υψηλής αντοχής που χρησιμοποιούνται στη αεροπορική και διαστημική βιομηχανία. Τα αποτελέσματα της σφυρηλάτησης με πρέσες παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων, μεγάλη μηχανική αντοχή, μικρό κόστος κατασκευής και ελάχιστο χαμένο υλικό. Επίσης, από το εργοστάσιο λείπουν τελείως οι κραδασμοί και ο θόρυβος που συνοδεύει τη λειτουργία των σφυρών, που είναι σε θέση να επηρεάσουν την ακρίβεια των κατεργασιών άλλων γειτονικών μηχανημάτων.

Μετά το 1960, έχει αρχίσει να εφαρμόζεται με σημαντική επιτυχία η μέθοδος σφυρηλάτησης με "Υψηλό Ρυθμό Ενέργειας Σφυρηλάτησης" γνωστή σαν "High Energy Rate Forging". Στη μέθοδο αυτή, η ενέργεια παραμόρφωσης, που γενικά στη σφυρηλάτηση κρούσεως εξαρτάται από την κινητική ενέργεια της-κεφαλής παράγεται κυρίως από τις υψηλές ταχύτητες της κεφαλής.

Έτσι, ενώ στις συνηθισμένες σφύρες η ταχύτητα είναι το πολύ 10 m/s, στις μηχανές HERF η κεφαλή κινείται με 20 m/s. Στις μεγάλες αυτές ταχύτητες η συμπεριφορά του υλικού είναι διαφορετική με αποτέλεσμα την καλή προσαρμογή του υλικού στη μήτρα ακόμη και για υλικά που δεν σφυρηλατούνται με άλλη μέθοδο.

Οι μηχανές HERF κατασκευάζονται σαν μηχανές διπλής ενέργειας. Τα δύο έμβολα κινούνται με πεπιεσμένο αέρα ή με πανίσχυρους γραμμικούς ηλεκτρικούς κινητήρες ή κάτω από την πίεση καυσαερίων με μία διάταξη που μοιάζει με τους κινητήρες εσωτερικής καύσεως διπλής ενέργειας.

Η μέθοδος του Υψηλού Ρυθμού Ενέργειας Σφυρηλάτησης αποτελεί τμήμα των μεθόδων του Υψηλού Ρυθμού Ενέργειας Μορφοποίησης, (High Energy Rate Forming), που έχουν αναπτυχθεί τελευταία για την επίτευξη μεγάλων παραμορφώσεων με σχετικά μικρές και απλές διατάξεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΜΙΝΙΟΥ

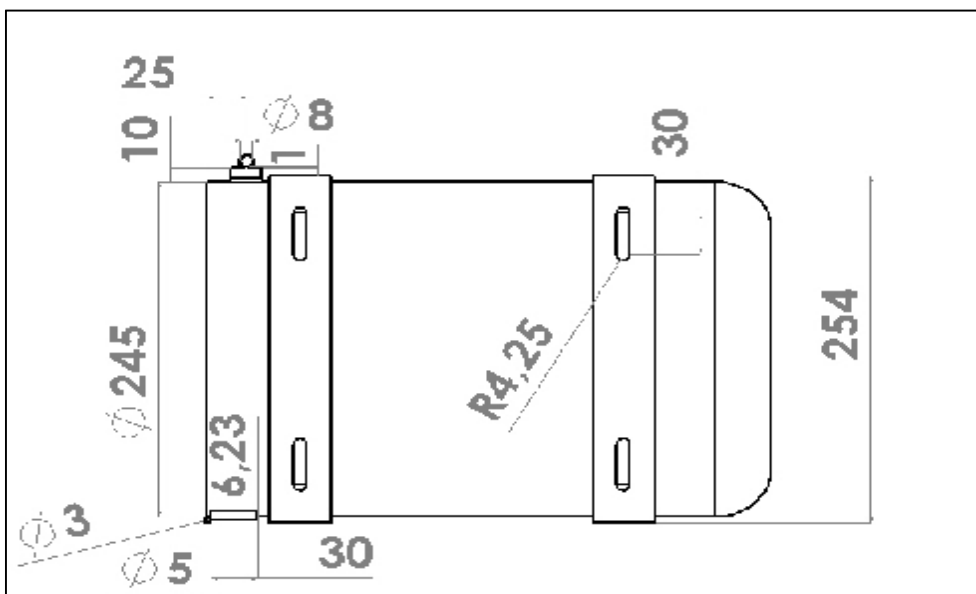
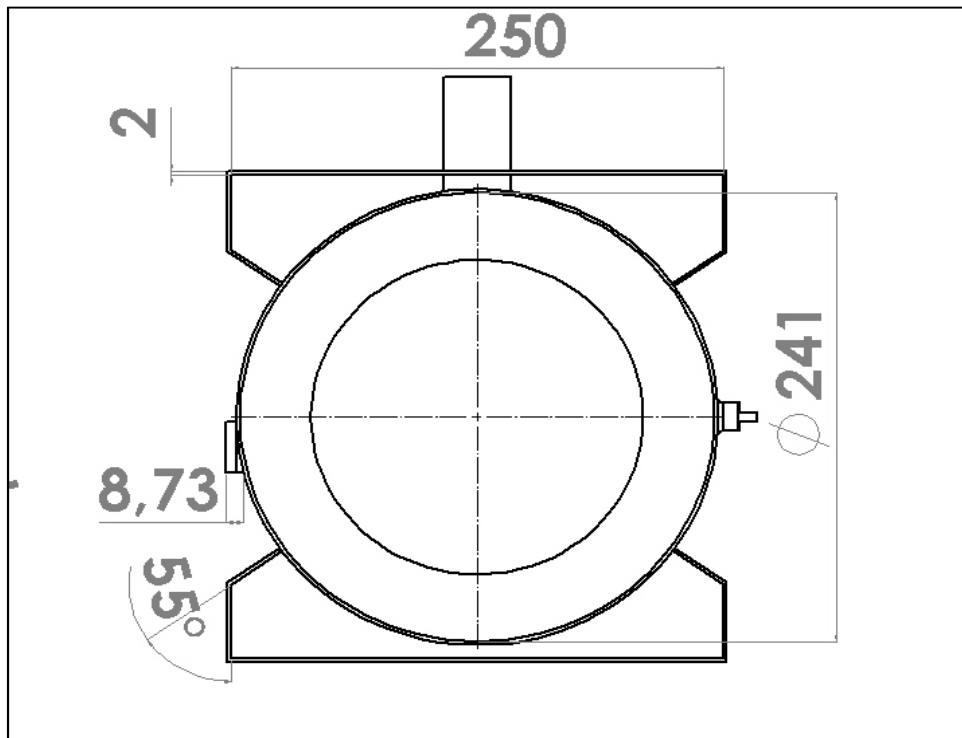
4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΙΝΙΟΥ

Κατά την κατασκευή του καμινιού, μας βοήθησε η γνώση που αποκτήσαμε κατά την διαδικασία ολοκλήρωσης της πτυχιακής μας εργασίας. Την γνώση αυτή προσπαθήσαμε να την εφαρμόσουμε επάνω στην κατασκευή, όμως με όσο το δυνατότερο μικρότερο κόστος. Λόγω των χαμηλών οικονομικών δυνατοτήτων που διαθέταμε.

Επιλέξαμε ως κύριο σώμα του καμινιού ένα παλιό δοχείο διαστολής. Ο λόγος ήταν ότι είχε κυκλική διατομή και θα μας διευκόλυνε στην πορεία, για την καλύτερη κατανομή της φλόγας. Το οποίο το διαμορφώσαμε κατάλληλα ώστε να έχει την μορφή ενός οριζόντιου καμινιού. Αρχίσαμε με μία οπή στο επάνω μέρος του (εικόνα 92), για την είσοδο της φλόγας. Στην πορεία κάναμε μια τομή στο ένα καπάκι του κελύφους ως πορτάκι, με την προσθήκη ενός μεντεσέ (εικόνα 93), για την είσοδο των τεμαχίων προς θερμική επεξεργασία, όπου προσθέσαμε και μεταλλική ασφάλεια για να παραμένει κλειστό κατά την λειτουργία του καμινιού.



Εικόνα 92: Κάτοψη καμινιού, είναι εμφανής η οπή για την είσοδο της φλόγας.



Σχήμα 85: Στην εικόνα φαίνονται η κάτωψη και η πρόσοψη του κυρίως σώματος του καμινιού, με την διαστασιολόγησή τους.



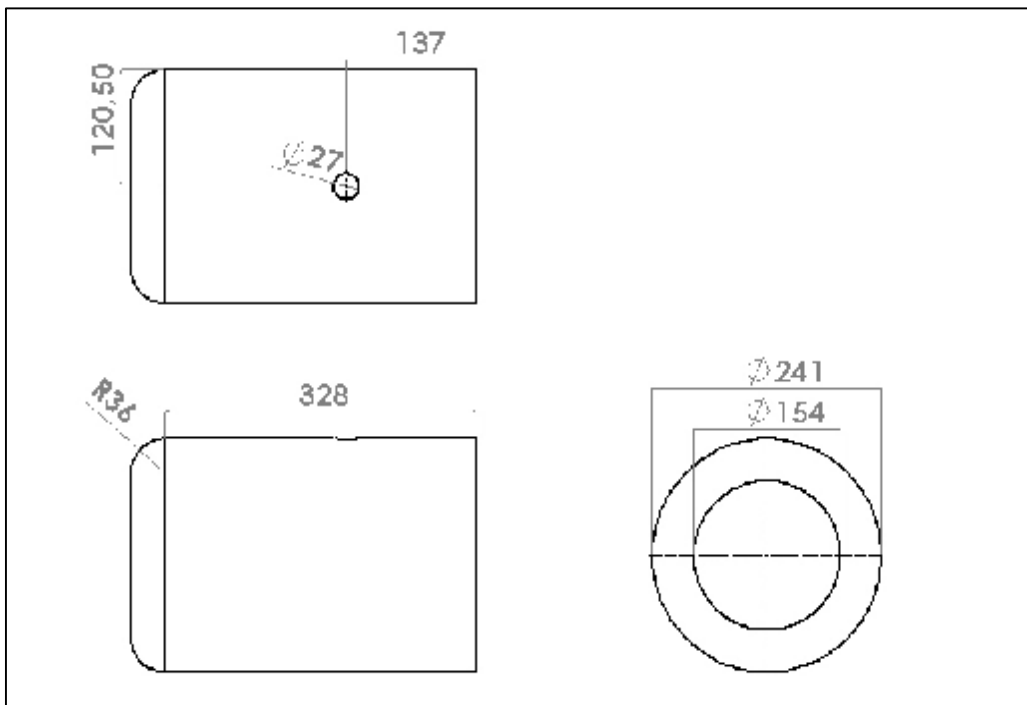
Εικόνα 93: Στην εικόνα παρουσιάζεται η τομή για το πορτάκι εισόδου των τεμαχίων.

Αφού έχουμε ολοκληρώσει το κύριο σώμα του καμινιού, περάσαμε στο επόμενο βήμα που είναι η μόνωση στο εσωτερικό του θαλάμου. Σε αυτό το κομμάτι ήθελε ιδιαίτερη προσοχή διότι υπάρχουν αρκετά υλικά με μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, όμως εμείς έχουμε επαφή με την φλόγα και για μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι θέλαμε κάτι που θα μας καλύπτει και σε αυτήν την περίπτωση. Το μονωτικό υλικό που επιλέξαμε τελικά είναι κεραμοβάμβακας σε στρώσης, γνωστός και ως πυροκουβέρτα. Επιλέξαμε μια μονή στρώση των 50 mm και κάναμε ένα πέρασμα σε όλον το θάλαμο και ξεχωριστά στο πορτάκι, όπως φαίνεται στην εικόνα 95.

ΠΑΧΗ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg /m³)
13	1260	96
25	ή	ή
50	1450	128



Εικόνα 94: Χαρακτηριστικά κουβέρτας κεραμοβάμβακα.



Εικόνα 95: Στην εικόνα φαίνεται η μόνωση του καμινιού με κεραμοβάμβακα στο εσωτερικό του και το σχέδιο της, με τις διαστάσεις.

Επίσης για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μόνωσης και για την διευκόλυνσή μας στην τοποθέτηση των μεταλλικών τεμαχίων, προσθέσαμε πυρότουβλο 30 mm στο κάτω μέρος του καμινιού.



Εικόνα 96: Τοποθέτηση πυρότουβλου στο κάτω μέρος, στο σημείο που εισέρχεται η

Μετά την τοποθέτηση και των απαραίτητων υλικών στο εσωτερικό του θαλάμου, προχωρήσαμε στο επόμενο βήμα, το εξωτερικό του καμινιού. Για βάση κρατήσαμε την ήδη υπάρχουσα, από την αρχική κατασκευή του δοχείου και για σταθερή όμως παράλληλα και ασφαλής τοποθέτηση κατά την λειτουργία του καμινιού κάναμε τρύπες για να βιδώνει, σε κάθε είδους πάγκο, το καμίνι.

Αφού έχουμε ολοκληρώσει τον βασικό κορμό του καμινιού, περνάμε στο επόμενο στάδιο, αυτό που θα δημιουργούμε φλόγα για παραγωγή θερμότητας, πάντα μέσω της καύσης του προπανίου. Σε αυτό το σημείο τα υλικά που επιλέξαμε ήταν τα εξής: χαλύβδινος σωλήνας, μεταλλικό ταφ για τροφοδοσία οξυγόνου, τάπα για το επάνω μέρος του ταφ με οπή που ανοίξαμε για την είσοδο σωλήνα, σωλήνας μικρής διατομής εκτόξευσης προπανίου με μπέκ (από οξυγονοσυγκόληση) στο κάτω μέρος και ενσωματωμένη συστολή στο πάνω, χειροποίητος μεταλλικός ρυθμιστής για την επιθυμητή παροχή οξυγόνου στην οριζόντια οπή του ταφ και τέλος λάστιχο συνδεδεμένο στο ένα άκρο στην συστολή και στο άλλο στην φιάλη προπανίου μέσω ενός ρυθμιστή της ροής.



Μπέκ με σπείρωμα M6, μήκους 28 mm.



Ρυθμιστής προπανίου, για την ένωση του φλόγιστρου προπανίου με την φιάλη.



Μεταλλικό ταφ.



Λάστιχο κατάλληλο για χρήση με προπάνιο.

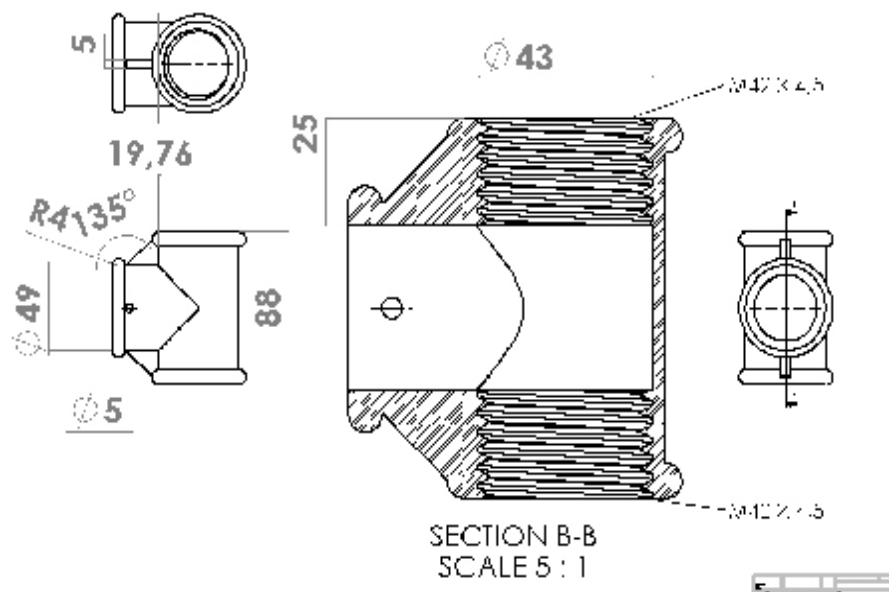
Εικόνα 97: Ενδεικτικά κάποια από τα υλικά που προαναφέραμε για την παραγωγή φλόγας.

Γενικά αποφύγαμε τις συγκολλήσεις στην κατασκευή μας, για την εύκολη αντικατάσταση οποιουδήποτε ανταλλακτικού σε περίπτωση βλάβης ή αστοχίας. Η τελική κατασκευή, μετά την επεξεργασία και την συναρμολόγηση των παραπάνω υλικών, παρατίθεται στην εικόνα 98, όπου φαίνεται τοποθετημένη επάνω στον βασικό κορμό του καμινιού μας.

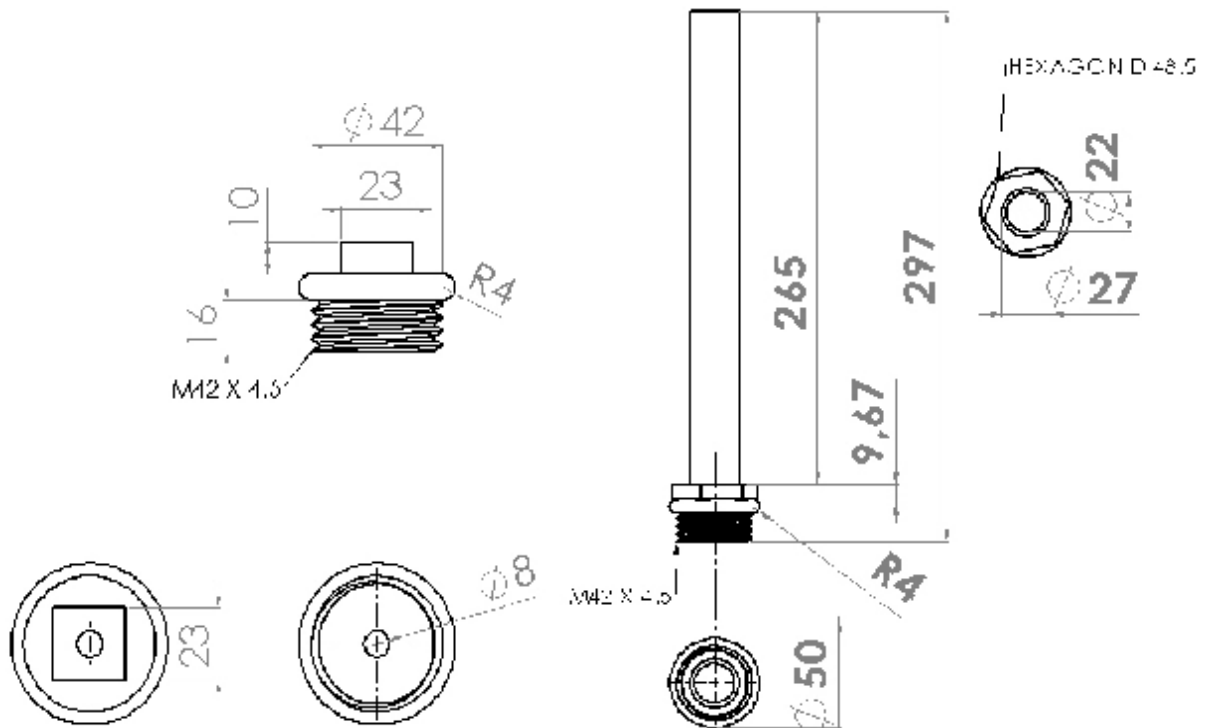


Εικόνα 98: Χειροποίητο μπεκ στα αριστερά συνδεδεμένο με την παροχή προπανίου και η κατασκευή εισαγωγής του οξυγόνου για την καύση, τοποθετημένη στο κεντρικό θάλαμο.

Μετά την ολοκληρωμένη εικόνα της κατασκευής για την καύση, στα παρακάτω σχέδια φαίνετε το κάθε τμήμα αυτής, μεμονομένα και αναλυτικά με τις διαστάσεις τους.



Σχήμα 86: Το ταφ της κατασκευής μας, σε πλάγια όψη, κάτωψη και σε τομή.



Σχήμα 87: Η τάπα με την οπή στο κέντρο για την είσοδο του μπέκ.

Σχήμα 88: Ο κεντρικός μεταλλικός σωλήνας.

Αφού η κατασκευή και η συναρμολόγηση έφτασε στο τέλος της, ελέχθησαν όλα από την αρχή και έτσι περάσαμε στο σημαντικότερο βήμα, να δώσουμε ζωή στο καμίνι και γίνει η πρώτη δοκιμή. Το προπάνιο είχε καθαρή ροή από το μπέκ και όταν το τροφοδοτήσαμε με φλόγα, το καμίνι λειτουργούσε κανονικά. Βασικό βήμα ήταν να επιβεβαιώσουμε ότι μπορούσαμε να φέρουμε το μέταλλο σε κατάσταση διαμόρφωσης μέσω σφυρηλάτησης.



Εικόνα 99: Το καμίνι σε πλήρη λειτουργία με ανοιχτό το πορτάκι, όπου τοποθετείται το υλικό μας για θερμική επεξεργασία.

Επιλέξαμε ένα παλιό δακτύλιο από μεγάλο ρουλεμάν κατασκευασμένο από ανθρακούχο ατσάλι (Carbon Steel), το οποίο το κόψαμε με τον τροχό σε δυο μέρη και τοποθετήσαμε το μίσο στο καμίνι. Αφού το μέταλλο πύρωσε, σφυρηλατήθηκε σε κατάλληλη κατασκευή που αντικατέστησε το αμόνι και ήταν πλήρως επιτυχημένη η κατεργασία του. Όλες οι εργασίες έγιναν με τα κατάλληλα υλικά και εργαλεία, όπως επίσης πάντα με τον απαραίτητο εξοπλισμό ασφαλείας.



Εικόνα 100: Στην εικόνα φαίνεται το μέταλλο κατά την σφυρηλάτηση, που μόλις βγήκε από το αναμένο καμίνι στο βάθος, όπως και ο απαραίτητος εξοπλισμός ασφαλείας του χειριστή.

4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Σίγουρα μετά από αυτήν την κατασκευή και αφού κάναμε μια καλή μελέτη, θα μπορούσαμε να προτείνουμε κάποιες βελτιώσεις αφού είδαμε την λειτουργία του καμινιού. Μια βασική αναβάθμιση που θα κάναμε αν κατασκευάζαμε ξανά το καμίνι θα ήταν η τοποθέτηση δυο μπέκ ψεκασμού προπανίου, αντί για ένα και με μικρή κλίση όχι κάθετα. Θα τα τοποθετούσαμε στην αριστερή ή την δεξιά πλευρά, το ένα δίπλα στο άλλο, με ίση απόσταση μεταξύ τους από τα τοιχώματα.

Η κλίση θα ήταν περίπου 30 μοίρες για να συγκρούετε η φλόγα με το πυρότουβλο και όχι με την πυροκουβέρτα. Αυτό θα γινόταν για καλύτερη κατανομή της θερμότητας στο καμίνι και στο υλικό, αφού θα δημιουργόταν στροβιλισμός της φλόγας.

Μετά από όλα αυτά συμπεραίνουμε ότι η κατασκευή καμινιού είναι πάντα ανάλογη με τα υλικά που θέλουμε να επεξεργαστούμε (μέγεθος),σίγουρα δεν είναι απλή υπόθεση αλλά με έρευνα και προσωπική εργασία βγαίνει ένα καλό αποτέλεσμα. Το οποίο πάντα δέχεται βελτιώσεις για να είναι ακόμα πιο χρήσιμο, όμως ανάλογα με το επίπεδο του χειριστή (επαγγελματίας, ερασιτέχνης). Η τέχνη της σφυρηλάτησης κρατάει ανα τους αιώνες και τον λόγο το είδαμε από μόνοι μας, αφού μπορέσαμε και επεξεργαστήκαμε τόσα διαφορετικά είδη μετάλλου, ένα υλικό το οποίο ήταν και θα είναι πάντα το πιο δύσκολο στην επεξεργασία του.

Βιβλιογραφία

- 1) Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών, William D. Callister, Jr., Εκδόσεις Τζιόλα, 5η Έκδοση, 2004 ISBN: 960-8050-90-1
- 2) Τεχνολογία Μηχανουργικών υλικών του ΠΕΤΡΟΥ .Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ- Βιβλιοθήκη του Ναυτικού - ΑΘΗΝΑ 1992
- 3) ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ - Βατάλης, Αργύρης Σ. Εκδόσεις: Ζήτη - 2007
- 4) <https://e-class.teilar.gr/modules/document/file.php.pdf>
- 5) <https://www.carbolite-gero.com>
- 6) <https://en.wikipedia.org>
- 7) <http://www.hallmarkingconvention.org>
- 8) <http://www.kolleris.gr/thermomonwtika-purimaxa/.html>
- 9) https://en.wikipedia.org/wiki/Bridgman93Stockbarger_technique#/media/File:Bridgman-Stockbarger-Technique.svg
- 10) <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php>