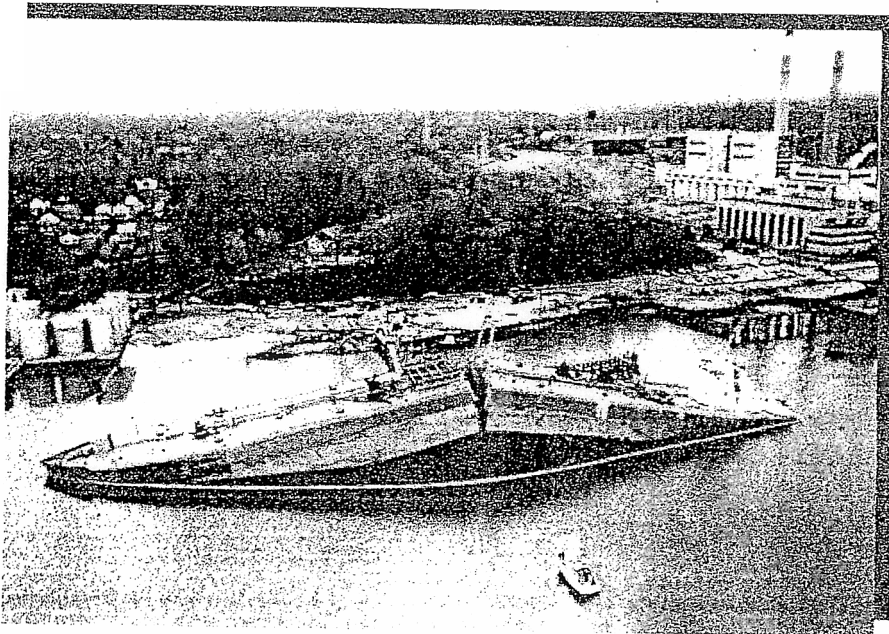


ΥΕΝ/ΚΕΣΕΝ
Δ/ΝΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ



ΜΗΝΑ ΝΕΡΣΙΣΓΙΑΝ
Δρ. ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΜΠ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΚΕΣΕΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ


ΑΘΗΝΑ 2005

Πρόλογος

Οι σημειώσεις αυτές καλύπτουν τη διδακτέα ύλη του μαθήματος της Τεχνολογίας Υλικών, όπως αυτή αναφέρεται στο αναλυτικό πρόγραμμα του ΥΕΝ για το ΚΕΣΕΝ Μηχανικών.

Σκοπός των σημειώσεων αυτών είναι να παρουσιασθούν οι βασικές θεμελιώσεις της Τεχνολογίας Υλικών σε ένα επίπεδο κατάλληλο για τους σπουδαστές του ΚΕΣΕΝ. Για να πετύχω αυτό το σκοπό, προσπάθησα να χρησιμοποιήσω απλή ορολογία, να ορίσω και να εξηγήσω τους στοιχειώδεις όρους. Η παρουσίαση της ύλης γίνεται σε μια λογική σειρά, από την απλούστερη μέχρι την πιο σύνθετη. Τα θέματα αντιμετωπίζονται με λεπτομέρεια και οι σπουδαστές μπορούν να τα κατανοήσουν πλήρως, χωρίς να πρέπει να επικαλεσθούν άλλες πηγές.

Θεωρώ καθήκον μου να τονίσω ότι δέχομαι κάθε καλόπιστη υπόδειξη σχετικά με την εργασία αυτή.



Αθήνα 2005

Μηνάς Νερσισιγιάν

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Κεφ. 1 Μεταλλικά Υλικά-Κρυσταλλική Δομή των Μετάλλων. 1

1-1 Εισαγωγή..... 1

1-2 Μεταλλικός Δεσμός..... 1

1-3 Κρυσταλλική Δομή των Μετάλλων..... 2

1-4 Στερεοποίηση των Μετάλλων..... 6

1-5 Όρια Κόκκων-Μεγέθυνση Κόκκων..... 8

1-6 Ατέλειες Κρυσταλλικής Δομής..... 9

1-7 Αλλοτροπικοί Μετασχηματισμοί..... 9

1-8 Στερεά Διαλύματα-Μεσομεταλλικές Ενώσεις..... 10

Κεφ. 2 Κράματα..... 11

2-1 Εισαγωγή..... 11

2-2 Συστήματα Διμερών Κραμάτων..... 11

2-3 Διάγραμμα Ισορροπίας Φάσεων Διμερών Κραμάτων..... 12

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΜΕΡΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΜΕΙΜΙΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ..... 13

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΜΕΡΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΜΕΙΜΙΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡ ΦΑΣΗ, ΑΛΛΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΝΑΜΕΙΜΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΦΑΣΗ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕ ΕΥΤΗΚΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ)..... 15

2-4 Μισοβολή Μηχανικών Ιδιοτήτων στα Κράματα..... 18

Κεφ. 3 Το Σύστημα Σιδήρου-Άνθρακα..... 20

3-1 Εισαγωγή..... 20

3-2 Παρασκευή Χυτοσίδηρου και Χάλυβα..... 20

3-3 Θερμικό Διάγραμμα Ισορροπίας Fe-C..... 21

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ..... 21

3-4 Περιοχή Ανθρακούχων Χάλυβων..... 23

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ..... 25

3-5 Χυτοσίδηρος..... 26

ΛΕΥΚΟΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ - ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ..... 26

ΦΑΙΟΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ - ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ..... 28

Το χυτότητα ατμοψύξης βελ. 7-8

Διαφορά άξοντος - κρυσταλλικού

Κρυσταλλώδη βελ. 6

Μεταγενετική βελ. βελ. 69-70

Διαφορές δόπισης - δακίης

Διαφορές δακίης - επιφανειακής δακίης

Διαφορά πλήρη ανεπίτητη - επιφανειακή βελ. 63

Ποιος έχει μεγαλύτερο κείρο σκελετικής χυτοχάλυβας ή χυτοσίδηρος?

Κεφ. 4 Μηχανικές Ιδιότητες Μετάλλων και Μέθοδοι Ελέγχου	29
4-1 Εισαγωγή.....	29
4-2 Καταστροφικές Μέθοδοι Ελέγχου.....	30
ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ.....	30
ΔΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ.....	37
ΔΟΚΙΜΗ ΚΡΟΥΣΗΣ (ΔΟΚΙΜΗ ΔΥΣΦΟΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑΣ).....	39
ΔΟΚΙΜΗ ΚΟΠΣΗΣ.....	41
→ ΔΟΚΙΜΗ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	46
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ.....	50
ΔΟΚΙΜΗ Καταστροφικές Μέθοδοι Ελέγχου.....	51
4-3 Μη Καταστροφικές Μέθοδοι Ελέγχου.....	51
ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΦΟΡΙΖΟΝΤΑ-ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑ ΥΓΡΑ.....	51
ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ.....	52
ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ Χ.....	52
ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	53

Κεφ. 5 Πλαστική Παραμόρφωση Μετάλλων-Ανακρυστάλλωση

.....	54
5-1 Εισαγωγή.....	54
5-2 Παραμένουσες Τάσεις.....	54
5-3 Ενδοτόλωση.....	55
5-4 Ανακρυστάλλωση-Ανόπτηση Ανακρυστάλλωσης.....	56
5-5 Ανόπτηση Αποκατάστασης.....	58
5-6 Ανακρυστάλλωση-Πλαστική Παραμόρφωση «Εν Θερμώ».....	59

Κεφ. 6 Θερμικές Κατεργασίες Ανθρακούχων Χαλύβων

6-1 Εισαγωγή.....	60
6-2 Κρίσιμες Θερμοκρασίες Θέρμανσης των Χαλύβων.....	61
6-3 Πλήρης Ανόπτηση ή Ανόπτηση.....	63
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	63
6-4 Ανόπτηση για Εξομάλυνση ή Εξομάλυνση.....	65
6-5 Ανόπτηση για Ανακρυστάλλωση.....	66
6-6 Αποαττική Ανόπτηση.....	66
6-7 Αποαττική Ανόπτηση.....	67
6-8 Ανόπτηση για Σφαιροποίηση του Σεμεντίτη.....	67
6-9 Βαφή.....	68
ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	71
ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΦΗΣ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΤΤ ΚΑΙ CCT.....	71
ΜΕΣΑ ΒΑΦΗΣ-ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΣΩΝ ΒΑΦΗΣ.....	77

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	78
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΑΖΑΣ-ΕΜΒΑΛΙΠΤΟΤΗΤΑ.....	79
6-10 Επαναφορά.....	80
ΕΠΙΒΕΛΤΙΩΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ.....	81
6-11 Κλιμακωτή Βαφή.....	81
ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΗ ΒΑΦΗ.....	82
ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΜΠΑΙΝΙΤΙΚΗ ΒΑΦΗ.....	83
ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΜΠΑΙΝΙΤΟΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΗ ΒΑΦΗ.....	83
6-12 Εμφανεσιακή Σκλήρυνση Χαλύβων.....	85
ΘΕΡΜΟΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ.....	85
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ.....	86

Κεφ. 7 Κραματοποιημένοι Χαλύβες

.....	88
7-1 Εισαγωγή.....	88
7-2 Επεξεργασία των Στοιχείων Προσθήκης.....	88
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Fe-C.....	88
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΤΤ ΚΑΙ CCT.....	90
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΠΛΑΝΟΦΟΡΑ.....	91
Κεφ. 8 Βιομηχανικά Μέταλλα και Κράματα	92

8-1 Εισαγωγή.....	92
8-2 Ο Χάλκος και τα Κράματά του.....	92
ΟΡΕΙΧΑΛΚΟΙ.....	92
ΜΠΡΟΥΝΤΙΖΟΙ.....	93
ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΑΛΚΟΥ-ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.....	93
ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΑΛΚΟΥ-ΝΙΚΕΛΙΟΥ.....	93
8-3 Το Αλουμίνιο και τα Κράματά του.....	94
ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ.....	94
ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ.....	94
8-4 Αντιτριβικά Κράματα ή Κράματα Εδράνων Ολοθρήσης.....	95
ΑΝΤΙΤΡΙΒΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΧΑΛΚΟ.....	95
ΛΕΥΚΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	96
Κεφ. 9 Μη Μεταλλικά Υλικά	97

9-1 Εισαγωγή.....	97
9-2 Χημική Σύνθεση και Παραγωγή.....	97
9-3 Τεχνολογική Κατάταξη-Ιδιότητες-Εφαρμογές.....	98
ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ.....	98
ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΤΙΚΑ.....	100
ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΗ.....	102
9-4 Σύνθετα Υλικά.....	102
Κεφ. 10 Συγκολλήσεις.....	104
10-1 Εισαγωγή.....	104
10-2 Συγκόλληση με Οξυγόνο-Ασετυλίνη.....	106
10-3 Συγκόλληση με Ηλεκτρικό Τόξο.....	107
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ.....	108
10-4 Ηλεκτροσυγκόλληση με Αέριο.....	110
ΤΗΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥ.....	112
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ ΤΟΞΟ ΑΕΡΙΟΥ.....	112
10-5 Παραμορφώσεις Εξαιτίας Συγκόλλησης.....	113
10-6 Αποτυχημένη Συγκόλληση.....	114
10-7 Πλεονεκτήματα Προθέρμανσης και Ελεγχόμενης Ψύξης κατά την Συγκόλληση των Κραμάτων Fe-C.....	115
Βιβλιογραφία.....	117

Κεφάλαιο Πρώτο

Μεταλλικά Υλικά - Κρυσταλλική Δομή των Μετάλλων

1-1 Εισαγωγή

Τα *μεταλλικά υλικά* είναι ανόργανες ουσίες αποτελούμενες από ένα ή περισσότερα μεταλλικά στοιχεία, που είναι δυνατόν να περιέχουν και προσμίξεις αμετάλλων. Τα μεταλλικά στοιχεία, τα οποία συναντάμε συχνότερα στις εφαρμογές είναι τα Fe, Cu, Al, Ni, Ti κλπ. Τα συννηθέστερα μη μεταλλικά στοιχεία είναι τα C, N, O και S.

Ο κύριος ορισμός των μετάλλων σχετίζεται με τις φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες των *μεταλλικών σωμάτων* σε στερεά κατάσταση. Έτσι τα μεταλλικά σώματα ή τα σώματα που έχουν *μεταλλικό χαρακτήρα*, παρουσιάζουν ομοιότητα επί τη βάση των περισσότερων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους, όπως είναι το υψηλό ειδικό βάρος, η αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης με τη θερμοκρασία, η μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μεταλλική λάμψη, η υψηλή μηχανική αντοχή και η πλαστικότητα κλπ.

Οι ιδιότητες αυτές, οι οποίες προσδίδουν στα μεταλλικά υλικά μεταλλικό χαρακτήρα, οφείλονται στην ηλεκτρονική διαμόρφωση των ατόμων τους και στην ιδιαιτερότητα των δεσμών, που αναπτύσσονται μεταξύ τους, δηλαδή στο μεταλλικό δεσμό.

1-2 Μεταλλικός Δεσμός

Στα μέταλλα τα ηλεκτρόνια σθένους (ηλεκτρόνια εξωτερικής στιβάδας) των ατόμων δεν έχουν συγκεκριμένες θέσεις αλλά σχηματίζουν ένα ηλεκτρονικό «νέφος» από ελεύθερα περιφερόμενα ηλεκτρόνια, που μετακινούνται εύκολα από άτομο σε άτομο μέσα στη μεταλλική κρυσταλλική δομή και κατά κάποιο τρόπο είναι όλα κοινό «κτήμα» όλων των ατόμων. Η απομάκρυνση όμως των ηλεκτρονίων από τα άτομα συνεπάγεται τη μετατροπή τους σε θετικά ιόντα.

Με αυτό τον τρόπο, εμφανίζονται δυνάμεις *ελξης* μεταξύ του ηλεκτρονικού νέφους, που είναι αρνητικά φορτισμένο και των θετικών ιόντων και απωστικές δυνάμεις μεταξύ των θετικών ιόντων και μεταξύ των ηλεκτρονίων του νέφους. Οι ελκτικές δυνάμεις συγκρατούν το σμήνος των ιόντων, εξασφαλίζοντας τη συνοχή των ιόντων και τη σταθερότητα της κρυσταλλικής δομής. Το σύνολο αυτών των δυνάμεων αποτελεί το μεταλλικό δεσμό.

Επίσης το νέφος των ηλεκτρονίων είναι αυτό που ωθεί τα ιόντα σε όσο το δυνατόν μικρότερο χώρο προκαλώντας μια κανονική διάταξη των ιόντων. Τα δε ιόντα είναι δυνατόν να ολισθήσουν σε άλλα γειτονικά στρώματα ιόντων όταν επιδράσουν επάνω τους εξωτερικές δυνάμεις. Όλα αυτά εξηγούν την πλαστικότητα και την καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα των μετάλλων.

NA

2

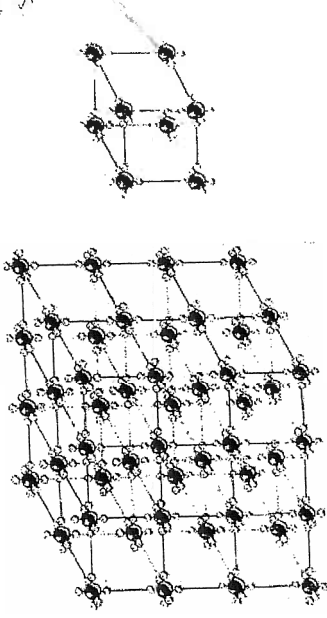
1-3 Κρυσταλλική Δομή των Μετάλλων

Τα στερεά σώματα διακρίνονται γενικά σε δύο είδη, τα *άμορφα* και *κρυσταλλικά*. Στα άμορφα σώματα, όπως το γυαλί, τα άτομα διατάσσονται με τρόπο ακανόνιστο και παίρνουν θέσεις, οι οποίες δεν έχουν καμιά σχέση με τις θέσεις των γειτονικών τους ατόμων. Στα κρυσταλλικά όμως σώματα, όπως τα μέταλλα, υπάρχει μια ύπαρξη περιοδικότητας στην τοποθέτηση των ατόμων και επομένως μια κανονική *τάξη* στη δομή τους που οδηγεί σε μια κανονική γεωμετρική μορφή.

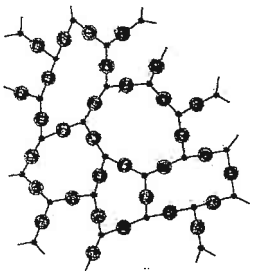
Ως *κρυσταλλική δομή* ορίζεται μια *διάταξη των ατόμων* στο χώρο η οποία παρουσιάζει περιοδικότητα στις τρεις διαστάσεις. *Στοιχειώδες κύτταρο* ονομάζεται το μικρότερο σύνολο ατόμων, η διάταξη των οποίων επαναλαμβάνεται κατά τρεις διαστάσεις δημιουργεί την κρυσταλλική δομή.

Το τμήμα της στερεάς ύλης που σε όλη του την έκταση έχει την ίδια συνεχή κρυσταλλική δομή ονομάζεται *κρύσταλλος* ή *κρυσταλλίτης* ή *κόκκος*.

Σε έναν κόκκο Super SOS



Σχ. 1-1 Κρυσταλλική Δομή και Στοιχειώδες Κύτταρο Κρυσταλλικής Δομής

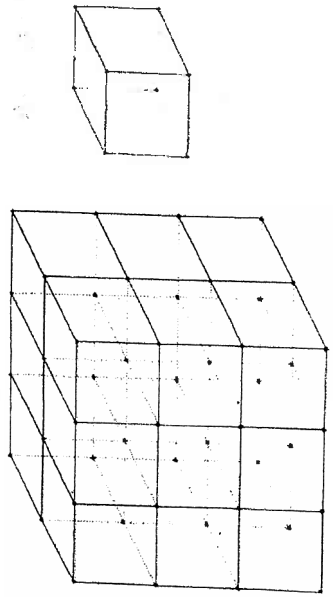


Σχ. 1-2 Άμορφη Δομή

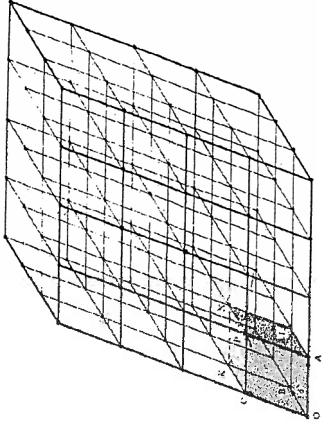
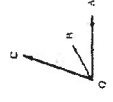
ΝΑ

3

Αναφέραμε ότι το νέφος των ηλεκτρονίων είναι αυτό που αθροί τα μεταλλικά ιόντα σε όσο το δυνατόν μικρότερο χώρο προκαλώντας μια κανονική διάταξη των ιόντων. Αν συνδέσει κανείς τα κέντρα των ιόντων με νοητές ευθείες, τότε οι γραμμές που συνδέουν τα κέντρα αυτά στο χώρο σχηματίζουν ένα πλέγμα το οποίο ονομάζεται κρυσταλλικό πλέγμα. Η πιο μικρή μονάδα αυτού του κρυσταλλικού πλέγματος αποτελεί το στοιχειώδες κύτταρο ή κυψελίδα.

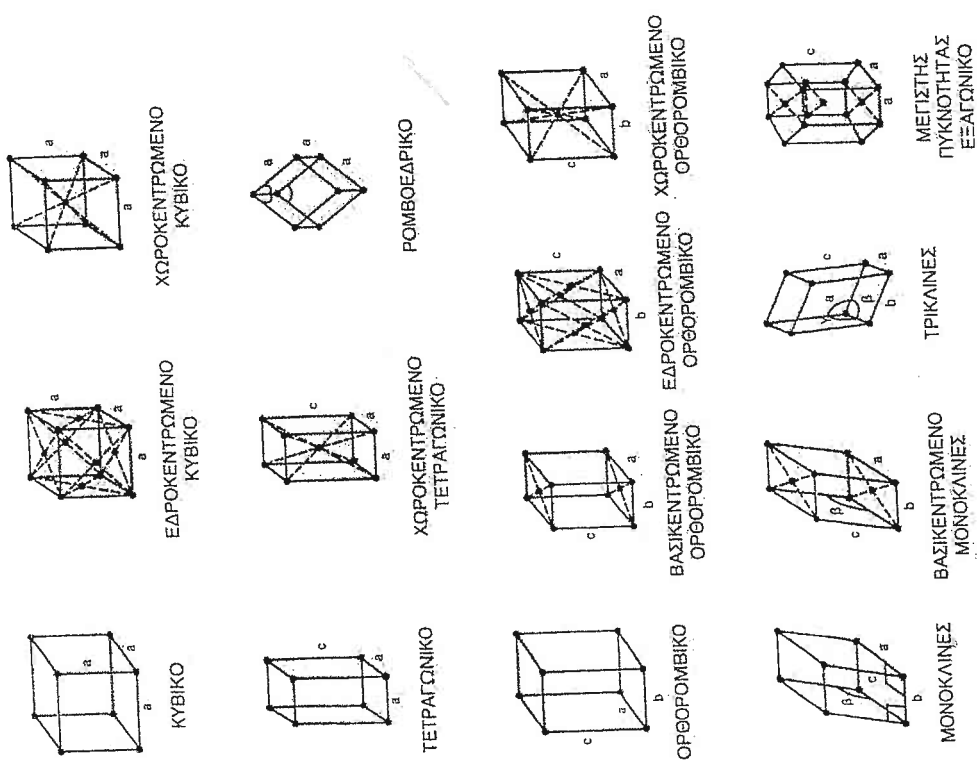


Σχ. 1-3 Κρυσταλλικό Πλέγμα της Κρυσταλλικής Δομής του Σχ. 1-1

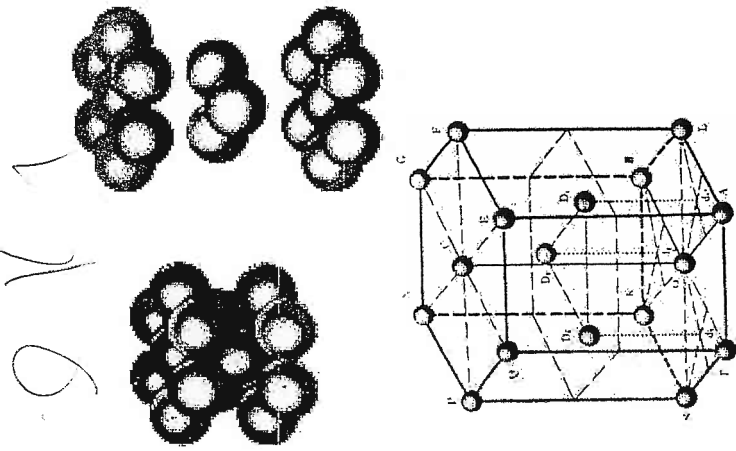


Σχ. 1-4 Τριδιάστατη Διάταξη Κρυσταλλικού Πλέγματος και Κυψελίδα του Κρυσταλλικού Πλέγματος

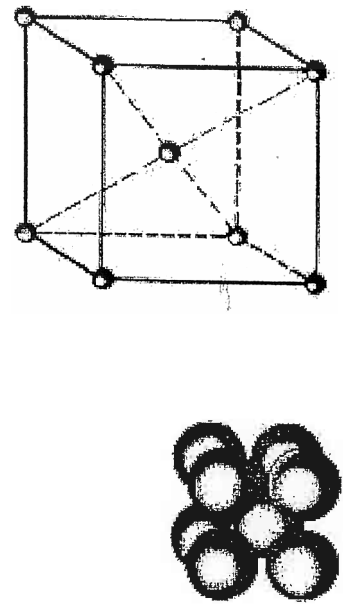
Τα ιόντα των διαφόρων μετάλλων μπορούν να διαταχθούν κατά διάφορα γεωμετρικά σχήματα, που εξαρτώνται από το είδος των μετάλλων και την θερμοκρασία. Το 1848 ο A. Bravais, αφού διερεύνησε γεωμετρικά τα δυνατά είδη πλεγμάτων, τα οποία είναι δυνατόν να προκύψουν βάσει του παραπάνω ορισμού, τα κατέταξε σε 14 είδη, τα οποία διανέμονται σε 7 κρυσταλλικά συστήματα.



Σχ. 1-5α Τα Δεκατέσσερα Είδη Κρυσταλλικών Πλεγμάτων



Σχ. 1-5β Ομίλος Ατόμων και Στοιχειώδες Κύτταρο Μεγίστης Πυκνότητας Εξαγωνικού

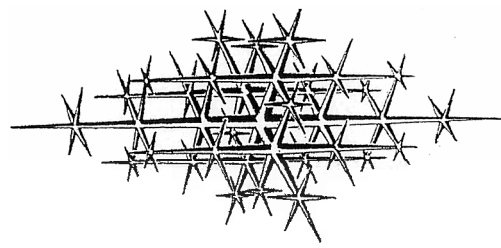


Σχ. 1-5γ Ομίλος Ατόμων και Στοιχειώδες Κύτταρο Χωροκεντρωμένου Τετραγωνικού

1-4 Στερεοποίηση των Μετάλλων

Η μετάβαση του μετάλλου από την υγρή κατάσταση στη στερεή κατάσταση λέγεται κρυστάλλωση. Η κρυστάλλωση γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά γίνεται σχηματισμός «πυρήνων» και ακολουθεί το στάδιο, που λέγεται ανάπτυξη κρυστάλλων.

Όταν αρχίσει το τήγμα να αποψύχεται και αποκτήσει ορισμένη θερμοκρασία, που είναι χαρακτηριστική για κάθε καθαρό μέταλλο (σημείο πήξης ή τήξης), τότε αρχίζει η στερεοποίηση του. Οι μικροσκοπικοί κρυσταλλοί που σχηματίζονται στο πρώτο στάδιο της πήξης των μετάλλων, λέγονται *φύτρα* ή *κέντρα κρυστάλλωσης*. Στα αρχικά φύτρα τοποθετούνται νέα άτομα του μετάλλου, με τρόπο που καθορίζεται από το είδος του κρυσταλλικού πλέγματος. Έτσι σχηματίζονται οι κρυσταλλοί που λέγονται *δενδρίτες*.

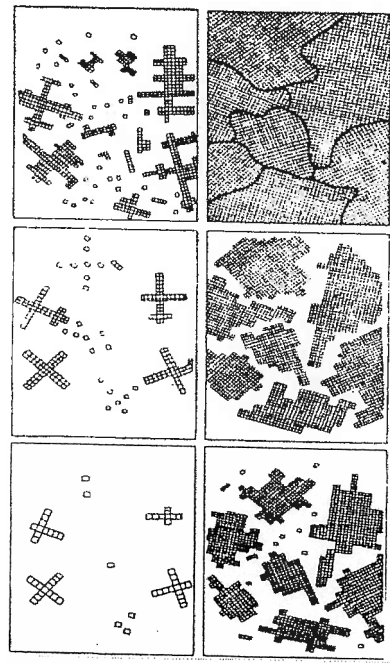


Σχ. 1-6 Μορφή Δενδρίτη

Οι κλάδοι των δενδριτών με την προσθήκη νέων ατόμων, αναπτύσσονται μέχρι που η ανάπτυξη τους να εμποδίζεται από την παράλληλη ανάπτυξη κρυστάλλων-δενδριτών. Τελικά στερεοποιείται και το τήγμα που είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στους δενδρίτες.

Οι εξωτερικοί κλάδοι των δενδριτών κατά την ανάπτυξη τους εφάπτονται με κλάδους άλλων γειτονικών δενδριτών, που έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα από άλλα φύτρα. Έτσι στις θέσεις επαφής των κλάδων διαφορετικών δενδριτών εμποδίζεται η ανάπτυξη. Όταν στερεοποιηθεί όλο το μέταλλο, αποτελείται μια

από κόκκους ή κρυσταλλίτες και όχι από ένα συνεχή μονοκρυστάλλο. Τα μέταλλα τα οποία στερεοποιούνται με αυτό τον τρόπο λέγονται πολυκρυσταλλικά.



Σχ. 1-7 Σχηματική Παράσταση της Πήξης Μετάλλου

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΚΚΩ

Η μέση διάμετρος των κόκκων, που επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες, εξαρτάται από τα παρακάτω δύο μεγέθη που παρατηρούνται κατά την διάρκεια της ψύξης:

- Από την μέση ταχύτητα ανάπτυξης του κάθε κρυστάλλου κατά την διάρκεια της ψύξης
- Από τον υπάρχοντα αριθμό των φύτρων, κατά μέσο όρο, ανά μονάδα χρόνου κατά την διάρκεια της ψύξης

Είναι φανερό ότι η τελική μέση διάμετρος των κόκκων αυξάνεται όσο αυξάνεται η μέσης ταχύτητα ανάπτυξης των κόκκων και ελαττώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των φύτρων (γιατί η ανάπτυξη κάθε δενδρίτη περιορίζεται από την ανάπτυξη των γειτονικών του δενδριτών).

Από την μεταβολή της μέσης ταχύτητας ανάπτυξης του κάθε κρυστάλλου και από τον αριθμό των φύτρων συναρτήσει του βαθμού απόψυξης (ο αριθμός των βαθμών πτώσης της θερμοκρασίας στη μονάδα του χρόνου) προκύπτει ότι:

Όταν έχουμε μεγάλο βαθμό απόψυξης, δηλαδή γρήγορη πύξη, το μέταλλο που λαμβάνεται είναι λεπτόκοκκο

SUPER
SOS

505

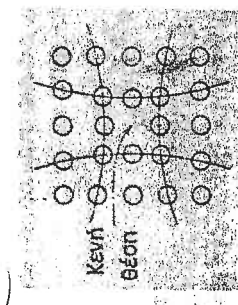
ΥΑΛΟ ΔΙΑΒΑΡΩΜΑ

αποφύγομε το φαινόμενο της μεγέθυνσης των κόκκων και κατά συνέπεια και την ελάττωση της μηχανικής αντοχής.

1-6 Ατέλειες της Κρυσταλλικής Δομής

Οι μεταλλικοί κρύσταλλοι δεν είναι ποτέ τέλειοι. Περιέχουν διαφόρων ειδών ατέλειες ή ανωμαλίες της κρυσταλλικής δομής, οι οποίες επηρεάζουν πολλές ιδιότητες των υλικών κατασκευής.

Μια από τις ατέλειες της κρυσταλλικής δομής είναι η ύπαρξη κενών θέσεων δηλαδή σε πλεγματικές θέσεις να εκλείπουν τα άτομα που έπρεπε να τις καταλάβουν. Η ατέλεια αυτή φαίνεται στο Σχ.1-8. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η παραμόρφωση των πλεγματικών επιπέδων, που προκαλεί η τάση των γειτονικών προς τη κενή θέση ατόμων να πλησιάσουν μεταξύ τους.



Σχ. 1-8 Ατέλειες Δομής

Μια άλλη ατέλεια είναι η παρεμβολή. Η ατέλεια της παρεμβολής περιλαμβάνει ύπαρξη ατόμου ανάμεσα στα πλεγματικά επίπεδα. Δηλαδή, σε θέσεις που δεν προβλέπονται από την κανονική κρυσταλλική δομή. Η παρεμβολή ατόμου ανάμεσα στα πλεγματικά επίπεδα προκαλεί, όπως φαίνεται στο Σχ.1-8 άπωση στα γειτονικά άτομα με συνέπεια την παραμόρφωση του πλέγματος.

Αν και η πλήρης περιγραφή όλων των ατελειών ξεφεύγει του σκοπού αυτών των σημειώσεων πρέπει να αναφερθεί ότι με τις ατέλειες δομής είναι δυνατόν να εξηγηθεί γιατί οι τιμές ορισμένων μεγεθών, που αναφέρονται σε μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων και που μετριούνται στην πράξη είναι κατά πολύ μικρότερες από τις τιμές, που υπολογίζονται θεωρητικά.

1-7 Αλλοτροπικοί Μετασχηματισμοί

Οι αλλοτροπικοί μετασχηματισμοί των μεταλλικών υλικών είναι μετασχηματισμοί στερεών φάσεων που οδηγούν στη αλλαγή της κρυσταλλικής

8) Όταν έχουμε μικρό βαθμό απόφυξης, δηλαδή αργή πήξη, το μέταλλο που λαμβάνεται είναι χονδρόκοκκο

Τα παραπάνω συμπεράσματα έχουν μεγάλη πρακτική σημασία επειδή το μέγεθος των κόκκων έχει μεγάλη επίδραση στις ιδιότητες του μετάλλου. Συγκεκριμένα είναι αποδεδειγμένο ότι η μηχανική αντοχή ενός μετάλλου (π.χ. το όριο θραύσης) είναι μεγαλύτερη για το λεπτόκοκκο μέταλλο παρά για το χονδρόκοκκο. Αντίστροφα λίγος και με μεγάλο μέγεθος κόκκοι κάνουν το μέταλλο να έχει μικρή μηχανική αντοχή. Στις χυτές σε βιομηχανική κλίμακα, όπου το τήγμα είναι σε επαφή με ψυχρά τοιχώματα του καλουπιού, υπάρχει μια βαθμιαία διαφορά θερμοκρασίας μέσα στο υγρό. Ψύχετε δηλαδή με μεγαλύτερη ταχύτητα το υλικό που είναι σε επαφή με τα τοιχώματα. Το υλικό στο κέντρο του καλουπιού ψύχεται με πιο αργό ρυθμό. Έτσι το μέταλλο στις εξωτερικές του στρώσεις θα είναι λεπτόκοκκο, ενώ το εσωτερικό υλικό, που στερεοποιήθηκε με αργή απόφυξη, θα είναι χονδρόκοκκο με όλες τις συνέπειες που αυτό μπορεί να έχει.

1-5 Όρια Κόκκων - Μεγέθυνση Κόκκων

Οι εμφανείς επιφάνειες των δύο κρυσταλλικών αποτελούν τα όρια των κόκκων. Όταν η θερμοκρασία του μετάλλου είναι αρκετά υψηλότερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος προκαλεί κινητικότητα των ατόμων και όπως οι μεγάλες σταγόνες απορροφούν τις μικρές, με όμοιο τρόπο οι μεγαλύτεροι κόκκοι απορροφούν τους μικρότερους κόκκους. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μετακίνηση των ορίων των κόκκων και η μεγέθυνση τους. Το φαινόμενο της μεγέθυνσης των κόκκων, που θα το δούμε στις θερμικές καταγραφές, είναι εντονότερο:

2) Σε λεπτόκοκκο μέταλλο S-O-S

3) Όταν η θερμοκρασία πλησιάζει το σημείο πήξης του μετάλλου

Επειδή είναι διαφορετικός ο προσανατολισμός των ατόμων του μετάλλου σε κάθε κόκκο, είναι φανερό ότι τα άτομα του δεν διατάσσονται στα όρια των κόκκων σύμφωνα με το κανονικό πλέγμα του μετάλλου με συνέπεια οι κόκκοι να έχουν διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες που έχουν τα όρια των κόκκων. Τα μέταλλα δεν είναι συνήθως απόλυτα καθαρά αλλά περιέχουν διάφορες προσμίξεις που μένουν με το μέταλλο που στερεοποιείται τελευταίο, με συνέπεια να στερεοποιούνται στα όρια των κόκκων. Τα άτομα των προσμίξεων που συγκεντρώνονται στα όρια των κόκκων, εκτός από το ότι επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες των μετάλλων, καταπολεμούν το φαινόμενο της μεγέθυνσης των κόκκων π.χ. με προσθήκη λίγης ποσότητας Al στους χάλυβες

ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ είναι οι μετασχηματισμοί που οδηγούν κατά τον μετασχηματισμό στερεών φάσεων αλληλοκρυσταλλικής δομής. Συγκεκριμένα μερικά μέταλλα, στη στερεή τους κατάσταση έχουν διάφορες κρυσταλλικές δομές, σταθερές ή κάθε μια σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασιών. Οι δομές ξεχωρίζουν από την διαφορετική διάταξη των ατόμων στο κρυσταλλικό κύτταρο και από τις διαστάσεις των επιπέδων του κρυσταλλικού πλέγματος. Ο αλλοτροπικός μετασχηματισμός πραγματοποιείται με τη διάχυση και μετάθεση των ατόμων από τα πλεγματικά επίπεδα της μιας δομής στα πλεγματικά επίπεδα της άλλης.

Οι αλλοτροπικές μορφές ενός μετάλλου έχουν διαφορετικές φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες.

Διάφορες αλλοτροπικές μορφές έχουν π.χ. ο σίδηρος, το τιτάνιο, ο κασίτερος, ο άνθρακας. Ειδικότερα στις δύο αλλοτροπικές μορφές του στερεού άνθρακα, στον αδάμαντα και στον γραφίτη, οι διαφοροποιήσεις στις ιδιότητες είναι ολοφάνερές.

1-8 Στερεά Διαλύματα - Μεσομεταλλικές Ενώσεις

Στερεό διάλυμα σχηματίζεται όταν αναμιχθούμε δύο στοιχεία, Α και Β, στην γρήγη κατάσταση και εξακολουθούν να παραμένουν διαλυμένα το ένα μέσα στο άλλο και μετά τη στερεοποίηση τους. Ανάλογα με τη θέση που καταλαμβάνουν τα άτομα του Α μέσα στον κρυσταλλικό πλέγμα του Β διακρίνουμε το:

- Στερεό Διάλυμα Αντικατάστασης, κατά το οποίο τα άτομα του στοιχείου Α αντικαθιστούν, ακανόνιστα και πιο σπάνια κανονικά, μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, τα άτομα του στοιχείου Β

- Στερεό Διάλυμα Παραμβολής, κατά το οποίο τα άτομα του στοιχείου Α παίρνουν θέσεις ακανόνιστα και πιο σπάνια κανονικά, μεταξύ των ατόμων του Β, μέσα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα

Κατά την στερεοποίηση του στερεού διαλύματος, συχνά τα δύο μέταλλα μπορούν να αντιδράσουν χημικώς μεταξύ τους και να σχηματίσουν χημικές ενώσεις που δεν έχουν μεταλλικό χαρακτήρα και ονομάζονται μεσομεταλλικές ενώσεις.

Το στερεό διάλυμα και η μεσομεταλλική ένωση έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Η μεσομεταλλική ένωση έχει μικρή αντοχή, μεγάλη σκληρότητα και είναι πολύ εύθραυστη, ενώ το στερεό διάλυμα έχει μεγάλη αντοχή και δυσθραυστότητα.

Τα στερεά διαλύματα είναι τα κράματα, που θα εξετάσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο Δεύτερο ?

Κράματα

2-1 Εισαγωγή ?

Κράμα ονομάζεται ύλη με μεταλλικές ιδιότητες, η οποία σχηματίζεται με ανάμιξη δύο ή περισσότερων χημικών στοιχείων, από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο. Τα κράματα διακρίνονται από τον αριθμό των χημικών στοιχείων, σε διμερή, τριμερή, τετραμερή κλπ. και σχηματίζονται με τον μηχανισμό της αντικατάστασης ή της παρεμβολής.

Τα κράματα αποτελούν την κύρια ύλη των μεταλλικών κατασκευών, γιατί με την κρυσταλλοποίηση βελτιώνονται οι μηχανικές ιδιότητες του κυρίου μετάλλου, όπως είναι η αντοχή σε εφελκυσμό, το όριο ελαστικότητας, η δυσθραυστότητα και η σκληρότητα. Επίσης βελτιώνεται και η αντοχή σε κόπωση, φθορά και διάβρωση.

2-2 Συστήματα Διμερών Κραμάτων

Τα διμερή κράματα διακρίνονται σε κράματα μετάλλου-μέταλλου, σε κράματα μετάλλου και επαμφοτερίζοντα στοιχεία και σε κράματα μετάλλου και αμέταλλου.

Έστω ένα διμερές κράμα από τα χημικά στοιχεία Α και Β που καθορίζουν το είδος του, από τα οποία το ένα, σύμφωνα με τον ορισμό, είναι μέταλλο. Σημειώνουμε αυτό ως Α+Β.

Ένα κράμα Α+Β καθορίζεται επίσης και από την σύσταση του δηλαδή από την περιεκτικότητα επί τοις εκατό κατά βάρος (% β/β) στα στοιχεία Α και Β. Θα παραστήσουμε με $X_B\%$ την περιεκτικότητα επί τοις εκατό σε βάρος του στοιχείου Β. Η αντίστοιχη περιεκτικότητα του στοιχείου Α είναι $Y_A\% = 100 - X_B\%$.

Ένα διμερές κράμα εμφανίζει, ανάλογα με το είδος του σε διάφορες περιοχές μία, δύο ή τρεις φάσεις οι οποίες μπορεί να είναι γνρές ή στερεές. Οι περιοχές γνρών θερμοκρασιών στις οποίες τα μέταλλα βρίσκονται σε αέρια φάση δεν θα μελετηθούν διότι δεν έχουν καμία πρακτική σημασία.

Ο όρος φάση, στην γλώσσα της δομής των υλικών, αναφέρεται σε μια ομοιογενή περιοχή της ύλης, όπου τόσο η χημική σύσταση, όσο και η κρυσταλλική δομή, κατά συνέπεια και οι ιδιότητες, διατηρούνται ίδιες σε όλη της την έκταση. Αποτελεί τμήμα ενός συστήματος, έχει καθορισμένα όρια και διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα τμήματα του συστήματος από μια επιφάνεια.

Όταν τα μεγέθη και οι ηλεκτρικές κατανομές των ατόμων δύο στοιχείων, που απαρτίζουν το κράμα, παρουσιάζουν αρκετή ομοιότητα είναι δυνατή η απεριόριστη ανάμιξη τους στη στερεά φάση με σχηματισμό μιας ομοιογενούς φάσης, ακριβώς όπως συμβαίνει και στο τήγμα τους, που αποτελεί ένα ενιαίο

ΝΑΙ ΜΟΝΟ ΚΑΙ ΑΥΤΕ

υγρό διάλυμα. Στην περίπτωση αυτή τα συστατικά του κράματος Α και Β παρουσιάζουν *πλήρη αναμιξιμότητα* σε όλες τις αναλογίες τόσο στην υγρή όσο και στην στερεά φάση π.χ. το σύστημα των κραμάτων Cu-Ni.

Όταν τα μεγέθη των ατόμων δύο στοιχείων, που απαρτίζουν το κράμα, δεν έχουν ομοιότητα είναι δυνατόν να υπάρχει *πλήρη αναμιξιμότητα* στην υγρή φάση και *καμιά δυνατότητα πλήρους αναμιξιμότητας των στοιχείων* στη στερεά φάση, με συνέπεια τα συστατικά του κράματος να στερεοποιούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο σε χωριστές φάσεις. Στην περίπτωση αυτή τα συστατικά του κράματος Α και Β παρουσιάζουν *καμία αναμιξιμότητα* στην στερεά φάση και *πλήρη αναμιξιμότητα* σε όλες τις αναλογίες στην υγρή φάση π.χ. το σύστημα των κραμάτων Cd-Bi.

Επίσης είναι δυνατόν τα συστατικά του κράματος Α και Β παρουσιάζουν *πλήρη αναμιξιμότητα* σε όλες τις αναλογίες στην υγρή φάση, αλλά *περιορισμένη αναμιξιμότητα* στη στερεά φάση π.χ. το σύστημα των κραμάτων Sn-Pb ή *μερική αναμιξιμότητα* σε ορισμένες αναλογίες και στη στερεά και στην υγρή φάση π.χ. το σύστημα των κραμάτων Cu-Pb.

2-3 Διαγράμματα Ισορροπίας Φάσεων Διμερών Κραμάτων

Τα κράματα εξετάζονται από την άποψη της ισορροπίας των φάσεων, που πραγματοποιείται με διάχυση των ατόμων σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση και απαιτεί πάντοτε αρκετό χρόνο. Οι περιοχές των φάσεων διαχωρίζονται μεταξύ τους με τις καμπύλες ισορροπίας. Το σύνολο του διαγράμματος, σε συντεταγμένες θερμοκρασίας-επί τοις εκατό κατά βάρος σύστασης, με τις καμπύλες ισορροπίας των φάσεων και με τις περιοχές μεταξύ των φάσεων που βρίσκονται σε ισορροπία λέγεται *διάγραμμα ισορροπίας των φάσεων του κράματος* ή πιο απλά *διάγραμμα των κραμάτων*. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα αυτά έχει επικρατήσει να ονομάζουμε τις στερεές φάσεις με το ελληνικό αλφάβητο (π.χ. α, β, γ, δ), πηγαίνοντας από τα αριστερά προς τα δεξιά.

Από τα διαγράμματα ισορροπίας των φάσεων, που καθορίζονται με πειραματικές μεθόδους, είναι δυνατό:

- Για δεδομένο κράμα, δηλαδή για κράμα που είναι γνωστή η σύστασή του, να γνωρίζουμε σε οποιαδήποτε θερμοκρασία από πόσες και τι είδους φάσεις αποτελείται και ποια είναι η σύστασή και το βάρος των φάσεων αυτών
- Για δεδομένο κράμα να παρακαλοηθίσουμε τον μετασχηματισμό των φάσεων εάν αυτό θεριμανθεί από την θερμοκρασία περιβάλλοντος σε κάποια μεγαλύτερη θερμοκρασία. Δηλαδή, τον αριθμό των φάσεων και τη θερμοκρασία στην οποία οι διαφορετικές φάσεις αρχίζουν να τήκονται κατά την θέρμανση αυτή. Επίσης τον μετασχηματισμό των φάσεων μπορούμε να μελετήσουμε και στην περίπτωση της απόψυξης

Κατά την απόψυξη δεδομένου κράματος να καταλάβουμε πως εμφανίζονται οι κρυσταλλίτες των διαφόρων φάσεων από την άποψη διαστάσεων, διασποράς, σχήματος και προσανατολισμού

- Να παρακολοθηθίσουμε τι συμβαίνει στις φάσεις ενός κράματος όταν για δεδομένη θερμοκρασία μεταβάλλουμε την σύστασή του

- Να γνωρίζουμε τη διαλυτότητα, σε συνθήκες ισορροπίας, σε στερεή κατάσταση ενός στοιχείου ή ένωσης στο άλλο

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΜΕΡΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΜΙΞΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ

Στο Σχ.2-1 δίνεται το διάγραμμα ισορροπίας των φάσεων του διμερούς κράματος Cu-Ni πλήρους αναμιξιμότητας στην στερεά και στην υγρή κατάσταση. Ο οριζόντιος άξονας δείχνει τις περιεκτικότητες (% β/β) των κραμάτων του συστήματος χαλκού-νικελίου (η περιεκτικότητα του Cu αυξάνει από τα δεξιά προς τα αριστερά και η περιεκτικότητα του Ni αυξάνει αντίστροφα από τα αριστερά προς τα δεξιά) και ο κατακόρυφος άξονας δείχνει τις θερμοκρασίες, στην ίδια κλίμακα με το αριστερό μέρος του σχήματος. Παρατηρούμε ότι το επίπεδο χωρίζεται σε τρεις περιοχές. Εκείνη όπου το κράμα σχηματίζει ένα στερεό διάλυμα (α), εκείνη όπου σχηματίζει ένα ενιαίο τήγμα (L) και ανάμεσα τους εκείνη όπου συνυπάρχουν μια υγρή και μια στερεή φάση (α+L). Η καμπύλη που ορίζει την έναρξη της πύξης του τήγματος ή το τέλος της πύξης του στερεού διαλύματος ονομάζεται γραμμή *liquidus* και η καμπύλη που ορίζει, το τέλος της πύξης του τήγματος ή την έναρξη της τήξης του στερεού διαλύματος ονομάζεται γραμμή *solidus* π.χ. η στερεοποίηση του κράματος 60% Ni - 40% Cu πραγματοποιείται μεταξύ των θερμοκρασιών 1350 και 1280 °C καθώς στις θερμοκρασίες αυτές, πάνω από την γραμμή *liquidus* και κάτω από την γραμμή *solidus* υπάρχουν η υγρή φάση (L) και η στερεά φάση (α) αντίστοιχα.

Επίτω ότι παίρνουμε το σημείο Α στην περιοχή της στερεάς φάσης (α). Φέρνοντας κάθετες στους άξονες συντεταγμένων, βρίσκουμε ότι σημείο αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 1040 °C και η χημική του σύσταση είναι 75% νικέλι και 25% χαλκός. Επειδή είμαστε κάτω από τη *solidus*, έχουμε μόνο τη στερεά φάση (α). Όλες οι κρυσταλλίτες της στερεάς φάσης (α) έχουν την ίδια χημική σύσταση και το βάρος της είναι ίσο με το συνολικό βάρος του κράματος.

Το ίδιο ισχύει για το σημείο Β, όπου επίσης έχουμε μια υγρή φάση, την (L), με χημική σύσταση 56% Ni και 44% Cu και το ίδιο ισχύει για όλα τα σημεία των διαγραμμάτων φάσεων τα οποία βρίσκονται σε περιοχή μιας φάσης.

Ας εξετάσουμε τώρα το κράμα στο σημείο Γ που βρίσκεται μέσα στην περιοχή όπου συνυπάρχουν οι φάσεις (α) και (L). Οι συντεταγμένες του σημείου είναι

1200 °C και 27% Ni - 73% Cu. Η σύσταση αυτή όμως είναι ο μέσος όρος της υγρής και της στερεάς φάσης, χωρίς να ανήκει σε καμιά από τις δύο. Το ίδιο ισχύει και σε όλη την περιοχή (α+L) δηλαδή, σε όλες τις θέσεις που περιλαμβάνονται από τις γραμμές liquidus και solidus.

Για να βρούμε ποια είναι η σύσταση της κάθε μιας φάσης χωριστά, φέρνουμε από το Γ μια παράλληλη στον άξονα της σύστασης. Η τομή της με τη solidus, στο σημείο Δ, δίνει τη σύσταση της φάσης (α) και η τομή της Ε με τη liquidus στο σημείο Ε τη σύσταση της φάσης (L). Επομένως η σύσταση (% β/β) των φάσεων του μίγματος είναι:

$$\text{Φάση (α): } 38\% \text{ Ni} - 62\% \text{ Cu}$$

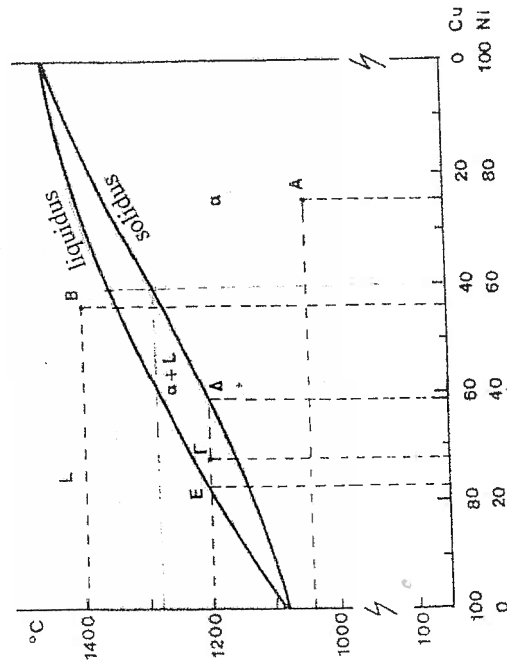
$$\text{Φάση (L): } 22\% \text{ Ni} - 78\% \text{ Cu}$$

Οι αναλογίες των βαρών των δύο φάσεων (α) και (L) βρίσκονται σύμφωνα με τον κανόνα του μοχλού. Αν υποθέσουμε πως έχουμε συνολικά 100 gr του μίγματος, σύμφωνα με τον κανόνα του μοχλού προκύπτει ότι:

$$\frac{\text{βάρους της φάσης (α)}}{\text{βάρους της φάσης (L)}} = \frac{\text{ΕΓ}}{\text{ΕΔ}} = \frac{6}{18} = 33,3 \text{ gr}$$

$$\frac{\text{βάρους της φάσης (L)}}{\text{βάρους της φάσης (L)}} = \frac{\text{ΓΔ}}{\text{ΕΔ}} = \frac{12}{18} = 66,7 \text{ gr}$$

όπου, ΕΓ= 6 mm, ΓΔ=12 mm και ΕΔ=18 mm



Σχ. 2-1 Διάγραμμα Φάσεων του Κράματος Cu-Ni

Επειδή το συνολικό βάρος είναι 100 gr, οι αριθμοί αυτοί εκφράζουν ταυτόχρονα και τη σύσταση % β/β του μίγματος. Δηλαδή στους 1200 °C ένα κράμα 27% Ni - 73% Cu αποτελείται κατά 33,3% από τη στερεά φάση (α), με σύσταση 38% Ni - 62% Cu, και κατά 66,7% από την υγρή φάση (L), με σύσταση 22% Ni - 78% Cu. Επίσης επαληθεύεται ότι το βάρος του χαλκού και στις δύο φάσεις είναι: 33,3 0,62 + 66,7 0,78 = 73 gr

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να έχει γίνει αντιληπτό ότι, κατά την πορεία της προοδευτικής ψύξης και πύξης του κράματος, οι συστάσεις των δύο φάσεων, της στερεάς (που αυξάνεται ποσοτικά) και της υγρής (που αντίστοιχα εξαντλείται), μεταβάλλονται συνεχώς, μέχρι να σχηματισθεί ένα ομοιογενές στερεό με την ίδια προφανώς σύσταση όπως το αρχικό τήγμα. Η αλλαγή αυτή γίνεται με διάχυση ατόμων από την υγρή στη στερεά φάση κατά την διάρκεια της ψύξης, που πρέπει να γίνεται με αρκετά βραδύ ρυθμό. Διαφορετικά, το στερεό που θα σχηματισθεί τελικά θα είναι ανομοιογενές και θα αποτελείται από φάσεις διαφορετικών συστάσεων, καθώς τα άτομα των συστατικών του θα έχουν παγώσει στη δομή που είχαν κατά τη στιγμή της στερεοποίησης τους.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΜΕΡΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΜΙΞΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΥΓΡΗ ΦΑΣΗ, ΑΛΛΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΝΑΜΙΞΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΦΑΣΗ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕ ΕΥΤΗΚΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ)

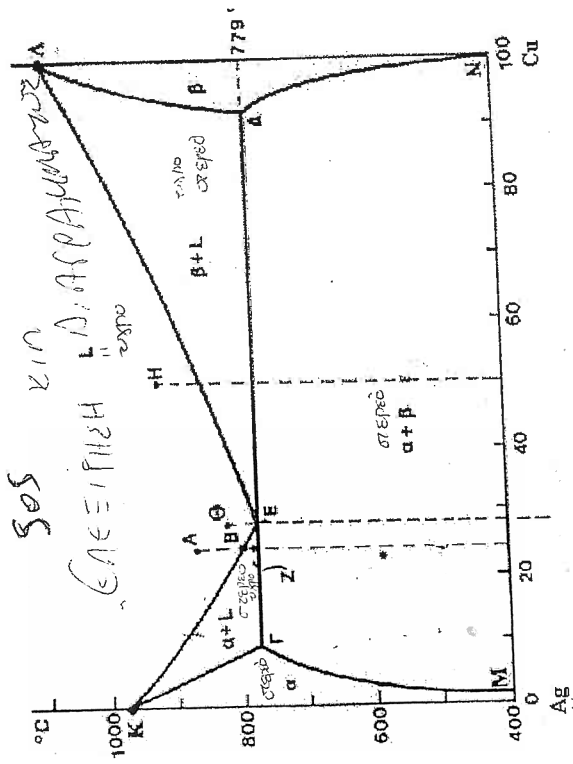
Στα διαγράμματα της περίπτωσης αυτής δεν παρατηρείται σχηματισμός στερεών διαλυμάτων σε όλες τις αναλογίες. Αντίθετα υπάρχει πάντοτε ένα σημείο με θερμοκρασία τήξης χαμηλότερη από τα δύο κύρια συστατικά του κράματος. Το σημείο αυτό ονομάζεται *ευτηκτικό σημείο* και η αντίστοιχη σύσταση *ευτηκτική σύσταση*. Μερικά από τα κράματα που παρουσιάζουν ευτηκτικό σημείο είναι τα Ag-Cu, Pb-Sn, Cd-Zn, Pb-Sb, Al-Si και Cr-Ni.

Στο Σχ.2-2 δίνεται το διάγραμμα φάσεων του κράματος αργύρου χαλκού (Ag-Cu). Η ευτηκτική σύσταση είναι 28,1% Cu - 71,9% Ag και η ευτηκτική θερμοκρασία 779,4 °C. Το σημείο τήξης του Ag είναι η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο σημείο Κ και σημείο τήξης του Cu είναι η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο σημείο Λ. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούνται επίσης δύο περιοχές, αριστερά και δεξιά, μερικής αναμειξιμότητας. Η πρώτη περιοχή (α), αντιστοιχεί σε στερεά διαλύματα του Cu μέσα σε Ag μέχρι τη μέγιστη περιεκτικότητα του σημείου Γ (8,8% Cu), η δε δεύτερη περιοχή (β), σε στερεά διαλύματα Ag μέσα σε Cu μέχρι τη μέγιστη περιεκτικότητα του σημείου Δ (8% Ag). Οι καμπύλες ΜΓ και ΝΔ, που οριοθετούν τα ακραία στερεά κατάσταση των δύο μετάλλων, ονομάζονται γραμμές *solvus* (διαλυτότητας). Ακόμη η καμπύλη ΚΕΛ αποτελεί την γραμμή liquidus και η καμπύλη ΚΓΕΔΔ την γραμμή solidus.

Εάν ψύξουμε ένα κράμα Cu-Ag που βρίσκεται σε υγρή φάση με την ευτηκτική σύσταση (28,1% Cu - 71,9% Ag) στο σημείο Θ, σε θερμοκρασία ελάχιστα

κάτω από την ευθηκτική θερμοκρασία (779,4 °C) θα πραγματοποιηθεί η στερεοποίηση του στις στερεές φάσεις (α) και (β) με την μορφή ευθηκτικού κράματος, που είναι πλακοειδής κρυσταλλίνες εναλλάξ στερεού διαλύματος της φάσης (α) και της φάσης (β). Η σύσταση της φάσης (α), στην ευθηκτική θερμοκρασία, θα είναι του σημείου Γ (8,8% Cu) και η σύσταση της φάσης (β) του σημείου Δ (92% Cu). Οι αναλογίες των βαρών των δύο αυτών φάσεων ακολουθούν τον κανόνα του μοχλού. Εάν η ψύξη προχωρήσει ήρεμα μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι συστάσεις των φάσεων (α) και (β) μεταβάλλονται κατά μήκος των γραμμών solvus (διαλυτότητας). Για τον προσδιορισμό των βαρών των δύο αυτών φάσεων, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, εφαρμόζεται ο κανόνας του μοχλού.

Έστω τώρα το κράμα 24% Cu - 76% Ag με σύσταση μικρότερη της ευθηκτικής που βρίσκεται στην υγρή φάση, στο σημείο Α. Καθώς ψύχεται φθάνει στο σημείο Β όπου μπαίνει σε περιοχή με δύο φάσεις, την ακραία στερεά φάση (α) και την υγρή (L). Εάν η ψύξη προχωρήσει ήρεμα, οι συστάσεις των φάσεων (α) και (L) μεταβάλλονται κατά μήκος των καμπυλών ισορροπίας του διαγράμματος, που περικλείουν την περιοχή (α+L). Οι αναλογίες των βαρών των φάσεων (α) και (L) ακολουθούν τον κανόνα του μοχλού. Στο σημείο Ζ ελάχιστο πάνω από την ευθηκτική θερμοκρασία (779,4 °C) η υγρή φάση θεωρείται ότι έχει την ευθηκτική σύσταση (28,1% Cu), ενώ η φάση (α) έχει την σύσταση, περίπου, του σημείου Γ (8,8% Cu). Οι κρυστάλλοι αυτοί ονομάζονται *προενηκτικοί κρυστάλλοι (α)*.



Σχ. 2-2 Διάγραμμα Φάσεων του Κράματος Ag-Cu

Μείωση της θερμοκρασίας ελάχιστα κάτω από την ευθηκτική θερμοκρασία (779,4 °C) οδηγεί στη στερεοποίηση της υγρής φάσης με την ευθηκτική σύσταση στις στερεές φάσεις (α) και (β), με την χαρακτηριστική μορφή του ευθηκτικού κράματος (πλακοειδής κρυσταλλίνες) και με τις συστάσεις των σημείων Γ (8,8% Cu) και Δ (92% Cu) αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι σε θερμοκρασία λίγο μικρότερη της ευθηκτικής η φάση (α), με τη σύσταση του σημείου Γ, αποτελείται από ένα μέρος των προενηκτικών κρυστάλλων και από ένα μέρος, που προέρχεται από την ψύξη του ευθηκτικού υγρού. Εάν η ψύξη προχωρήσει ήρεμα μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος οι συστάσεις των φάσεων (α) και (β) μεταβάλλονται κατά μήκος των γραμμών solvus (διαλυτότητας). Για τον προσδιορισμό των βαρών των δύο αυτών φάσεων, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, εφαρμόζεται ο κανόνας του μοχλού. Επίσης από τις γραμμές solvus (διαλυτότητας) προκύπτει ότι κατά την διάρκεια της ψύξης μειώνεται η διαλυτότητα του χαλκού στον άργυρο με συνέπεια ο χαλκός να αρχίσει να διαχέεται από την (α) φάση στην ήδη υπάρχουσα (β) φάση.

Κατά την απόψυξη ενός κράματος, με σύσταση μεγαλύτερης της ευθηκτικής, π.χ. του κράματος 50% Cu - 50% Ag στο σημείο Η, οι διαδοχικές αλλαγές είναι ανάλογες με την προηγούμενη περίπτωση, με τη διαφορά ότι τώρα έχουμε την (β) φάση, δηλαδή την φάση που είναι πλούσια σε χαλκό, ως ακραία στερεά φάση. Συγκεκριμένα σε θερμοκρασία ελάχιστα πάνω από την ευθηκτική (779,4 °C) η υγρή φάση θεωρείται ότι έχει την ευθηκτική σύσταση (28,1% Cu), ενώ η φάση (β) έχει την σύσταση, περίπου, του σημείου Δ (92% Cu). Οι κρυστάλλοι αυτοί ονομάζονται *προενηκτικοί κρυστάλλοι (β)*. Μείωση της θερμοκρασίας ελάχιστα κάτω από την ευθηκτική θερμοκρασία (779,4 °C) οδηγεί στη στερεοποίηση της υγρής φάσης με την ευθηκτική σύσταση στις στερεές φάσεις (α) και (β) με την χαρακτηριστική μορφή του ευθηκτικού κράματος (πλακοειδής κρυσταλλίνες) και με τις συστάσεις των σημείων Γ (8,8% Cu) και Δ (92% Cu) αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι σε θερμοκρασία λίγο μικρότερη της ευθηκτικής η φάση (β), με τη σύσταση του σημείου Δ, αποτελείται από ένα μέρος των προενηκτικών κρυστάλλων και από ένα μέρος, που προέρχεται από την ψύξη του ευθηκτικού υγρού. Εάν η ψύξη προχωρήσει ήρεμα μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι συστάσεις των φάσεων (α) και (β) μεταβάλλονται κατά μήκος των γραμμών solvus (διαλυτότητας). Για τον προσδιορισμό των βαρών των δύο αυτών φάσεων, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, εφαρμόζεται ο κανόνας του μοχλού.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ψύξη ενός κράματος με σύσταση εκτός του διαστήματος ΓΕΔ. Έστω ένα κράμα με σύσταση μικρότερη από 8,8% σε χαλκό (μριστερά του σημείου Γ). Το κράμα αυτό καθώς ψύχεται μπαίνει σε περιοχή με δύο φάσεις, την ακραία στερεά φάση (α) και την υγρή (L). Στη συνέχεια η υγρή φάση (L) εξαφανίζεται και έχουμε αποκλειστικά τη στερεά φάση (α) και σε κάποια στιγμή εμφανίζεται και η στερεά φάση (β). Οι συστάσεις των παρατηρούμενων φάσεων στις διαφορετικές περιοχές (α+L και α+β) μεταβάλλονται κατά μήκος των καμπυλών ισορροπίας του διαγράμματος, που

περικλείουν τις περιοχές αυτές. Για τον προσδιορισμό των βαρών των φάσεων στις διφασικές περιοχές (α+L και α+β), σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, εφαρμόζεται ο κανόνας του μοχλού.

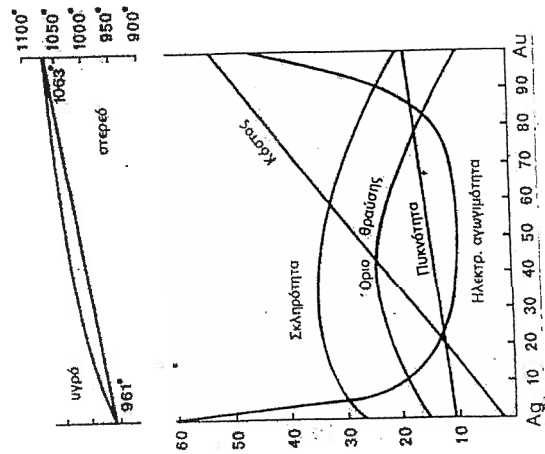
Κατά την απόλυξη ενός κράματος, με σύσταση μεγαλύτερη από 92% σε χαλκό (δεξιά του σημείου Δ) οι διαδοχικές αλλαγές είναι ανάλογες με την προηγούμενη περίπτωση, με τη διαφορά ότι τώρα έχουμε την (β) ως ακραία στερεά φάση.

2-4 Μεταβολή Μηχανικών Ιδιοτήτων στα Κράματα

Οι ιδιότητες των κραμάτων είναι συνήθως ομαλές συναρτήσεις της σύστασης και των ιδιοτήτων τους. Όπως βλέπουμε όμως στο παράδειγμα των κραμάτων Au-Ag του Σχ.2-3, οι τιμές των διαφόρων ιδιοτήτων των κραμάτων δεν περιορίζονται αναγκαστικά ανάμεσα στις ακραίες τιμές των ιδιοτήτων των συστατικών τους. Μπορούν δηλαδή τα κράματα να έχουν π.χ. μεγαλύτερη σκληρότητα ή μηχανική αντοχή από τα συστατικά τους. Στις πρακτικές εφαρμογές γίνεται μεγάλη αξιοποίηση αυτής της δυνατότητας που δίνει η κραματοποίηση των μετάλλων. Από τα διαγράμματα σαν του Σχ.2-3 οδηγηθήκαμε σε ποιες περιοχές συστάσεων θα αναζητήσουμε τα κράματα με τις μεγαλύτερες μηχανικές, ηλεκτρικές ή θερμικές ιδιότητες που μας ενδιαφέρουν.

Ανάλογες ομαλές καμπύλες ακολουθούν οι μεταβολές των ιδιοτήτων όλων των κραμάτων που σχηματίζουν στερεά διαλύματα. Επίσης ομαλή είναι συνήθως η καμπύλη που εκφράζει το κόστος των κραμάτων σε συνάρτηση με τη σύστασή τους, αφού είναι άμεση συνέπεια του κόστους των συστατικών τους. Στο παράδειγμα των κραμάτων Au-Ag η καμπύλη του κόστους είναι γραμμική συνάρτηση της σύστασής τους.

Παρατηρώντας τις διάφορες τιμές στο διάγραμμα του Σχ.2-3 διαπιστώνουμε ότι η τάση της μεταβολής των ιδιοτήτων των κραμάτων δεν συμπίπτει πάντα με τη μεταβολή της σύστασης ή του κόστους τους. Δηλαδή όσο πλουσιότερο σε χρυσό και επομένως όσο ακριβότερο είναι ένα κράμα χρυσού-αργύρου, δεν σημαίνει ότι θα έχει π.χ. και ανάλογα βελτιωμένες ιδιότητες (σκληρότητα, αντοχή σε θραύση). Είναι λοιπόν εντελώς παράλογο να αξιολογείται ένα υλικό, για οποιαδήποτε χρήση, με μοναδικό κριτήριο το κόστος του. Η σωστή επιλογή τεχνικοοικονομική μελέτη που δεν θα πρέπει να παραβλέπει κανένα ενδεχόμενο σημαντικό παράγοντα, όπως είναι η δυσκολία της τελικής κατεργασίας και διαμόρφωσης του υλικού (κοπή, συγκόλληση κλπ.) και η δυνατότητα ανεύρεσής του στην αγορά.



Σχ. 2-3 Διάγραμμα Φάσεων του Κράματος Ag-Au και Μεταβολή των Ιδιοτήτων σε Συνάρτηση της Σύστασης

Κεφάλαιο Τρίτο

Το Σύστημα Σιδήρου - Άνθρακα

3-1 Εισαγωγή

Ο σίδηρος (Fe) είναι από τα περισσότερο γνωστά μέταλλα. Ο άνθρακας (C) είναι το φθινότερο και αποτελεσματικότερο στοιχείο κραμάτωσης του σιδήρου προκειμένου να επιτύχουμε την σκλήρυνση του.

Τα κράματα σιδήρου-άνθρακα είτε με την ονομασία χάλυβες (steel), περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2% β/β) είτε με την ονομασία χυτοσίδηροι (cast iron, περιεκτικότητα σε άνθρακα πάνω 2% β/β) χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Οι χάλυβες του εμπορίου συνήθως έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 1,2% β/β και οι χυτοσίδηροι από 2,5% μέχρι 4,5% β/β. Οι χάλυβες διαιρούνται σε δύο βασικές κατηγορίες:

Τους μη κραματοποιημένους ή κοινούς ή ανθρακώδους χάλυβες (unalloyed ή carbon steel), όπου οι ξένες προσμίξεις που υπάρχουν είναι σε πολύ μικρές ποσότητες και αυτό εξαιτίας της μεθόδου παραγωγής ή της καθαρότητας των αρχικών υλικών

Τους κραματοποιημένους χάλυβες (alloyed steel), όπου εκτός από τον άνθρακα υπάρχουν ένα ή περισσότερα είδη προσμίξεων που προστέθηκαν για να βελτιώσουν κάποια ιδιότητα

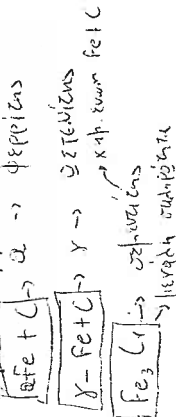
Τα βασικά είδη χυτοσιδήρου, που παρασκευάζονται πρωτογενώς είναι :

- Ο λευκός χυτοσίδηρος, όπου η μικροδομή τους περιλαμβάνει ως κύριο συστατικό τη χημική ένωση Fe₃C σε μορφή κυρίως δενδρική
- Ο φαιός χυτοσίδηρος, όπου η μικροδομή τους περιλαμβάνει ως κύριο συστατικό το γραφίτη σε μορφή κυρίως φυλλιδίων

3-2 Παρασκευή Χυτοσιδήρου και Χάλυβα

Ο σίδηρος που είναι αναγκαίος για την παρασκευή των κραμάτων Fe-C παράγεται από την μεταλλουργική επεξεργασία των σιδηρομεταλλευμάτων. Τα σιδηρομεταλλεύματα είναι χημικές ενώσεις του σιδήρου (Fe₃O₄, Fe₂O₃ κλπ.) των οποίων η αναγωγή (αφαίρεση οξυγόνου), που γίνεται σε κάμινους οδηγεί στην παραγωγή του σιδήρου.

Η μεταλλουργία του σιδήρου ακολουθεί δύο φάσεις:



Παρασκευή του χυτοσιδήρου από τα σιδηρομεταλλεύματα (με την προσθήκη και άνθρακα)

Επεξεργασία του χυτοσιδήρου, που παρασκευάστηκε κατά την πρώτη φάση για την παράσκευή χάλυβα (με αφαίρεση άνθρακα)

3-3 Θερμικό Διάγραμμα Ισορροπίας Fe-C

Τα κράματα Fe-C ανήκουν στην κατηγορία του κράματος Ag-Cu που αναφέραμε στο Κεφ.2 δηλαδή, τα δύο στοιχεία του κράματος παρουσιάζουν πλήρη αναμειξιμότητα σε όλες τις αναλογίες στην υγρή φάση, αλλά περιορισμένη αναμειξιμότητα στη στερεά φάση.

Στο Σχ.3-1 δίνεται ολόκληρο το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου-άνθρακα. Το διάγραμμα ξεκινάει από τον καθαρό σίδηρο (0% C) και σταματάει στην περιεκτικότητα 6,67% σε άνθρακα όπου σχηματίζεται η μεσομεταλλική ένωση Fe₃C που ονομάζεται σεμεντίτης. Συνήθως αναφέρεται και ως διάγραμμα Fe-Fe₃C, επειδή σε 6,67% αντιστοιχεί το καρβίδιο Fe₃C.

Το σημείο C είναι το ευθηκτικό σημείο (που αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα σε άνθρακα 4,3% και θερμοκρασία 1130 °C), καθώς στο σημείο αυτό, σε σταθερή θερμοκρασία, η υγρή φάση (L) διασπάται σε δύο στερεές φάσεις (γ + Fe₃C).

Το σημείο S του διαγράμματος (που αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8% και θερμοκρασία 723°C) είναι το ευθηκτοειδές σημείο του διαγράμματος, καθώς στο σημείο αυτό η στερεή φάση (γ) διασπάται, σε σταθερή θερμοκρασία, σε δύο στερεές φάσεις (α + Fe₃C). Για τον λόγο αυτό ο χάλυβας με άνθρακα 0,8% στη μεταλλουργία είναι γνωστός ως ευθηκτοειδής χάλυβας.

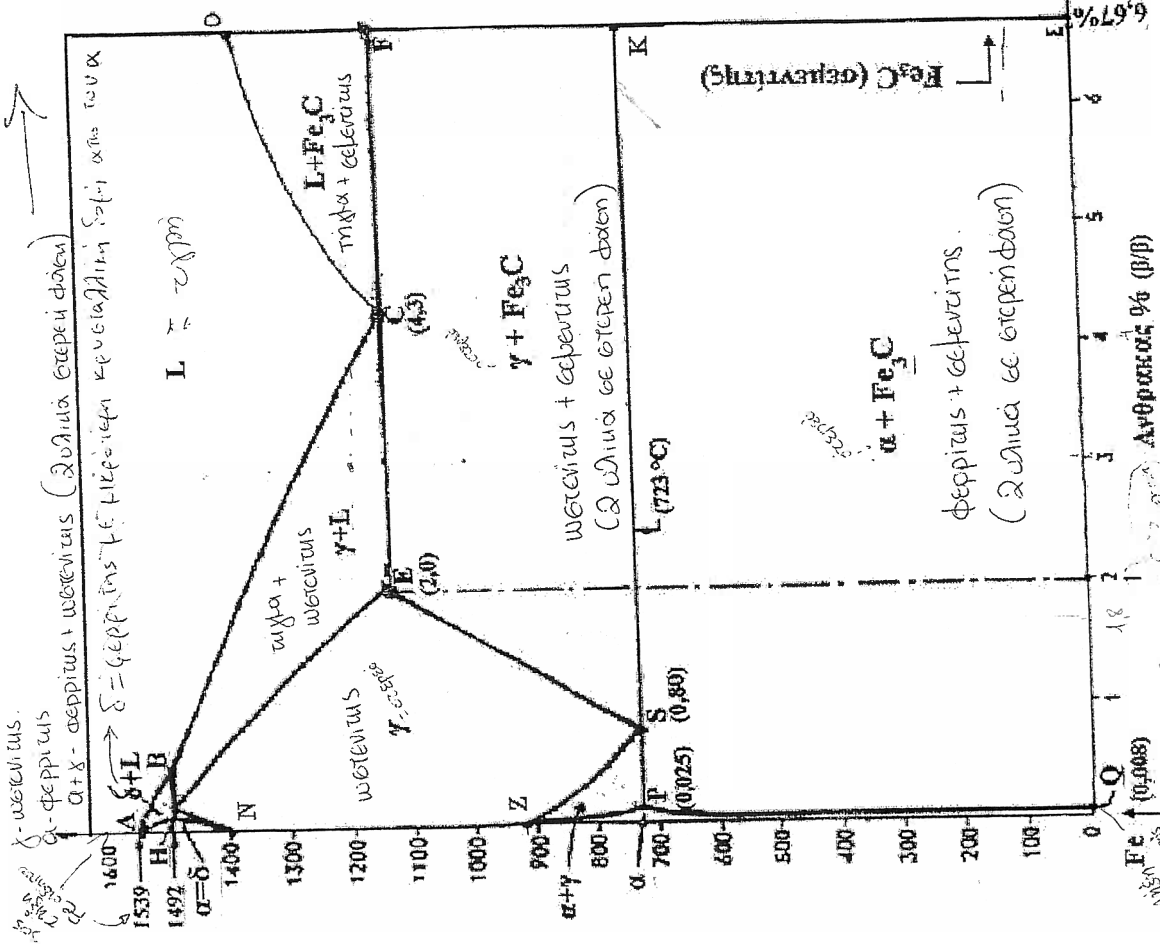
ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ

Αναχωνη ΜΑΙ ΚΠ

Είναι γνωστό ότι ο σίδηρος παρουσιάζει τρεις αλλοτροπικές μορφές τον α, γ και δ σίδηρο (α-Fe, γ-Fe και δ-Fe αντιστοιχεί). Κάθε μια από αυτές τις μορφές είναι σταθερή σε διαφορετική θερμοκρασία. Ο α-Fe με χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα έχει σιδηρομαγνητική συμπεριφορά στη θερμοκρασία δωματίου, η οποία εξασθενεί όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και τελικά μηδενίζεται στους 769 °C, τη θερμοκρασία Curie. Στη συνέχεια ο α-Fe στους 909 °C μετασχηματίζεται σε γ-Fe ο οποίος έχει ενδοκεντρωμένο κυβικό πλέγμα και είναι αμαγνητικός. Ο γ-Fe, όταν θερμανθεί στους 1400 °C μετασχηματίζεται σε δ-Fe, ο οποίος έχει χωροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα, δηλαδή όμοιο με το πλέγμα του α-Fe (εξαιτίας της ψηλότερης θερμοκρασίας, ο δ-Fe έχει μεγαλύτερη κυψέλιδα από τον α-Fe) και είναι αμαγνητικός. Στους 1539 °C γίνεται η τήξη του καθαρού σιδήρου.

Οι αλλοτροπικές αυτές μορφές του σιδήρου σχηματίζουν δύο στερεά διαλύματα πύρριμης με τον άνθρακα. Οι α-Fe και δ-Fe σχηματίζουν το φερρίτη (φάση α του διαγράμματος) με ανώτερο ποσοστό άνθρακα 0,025% στους 723 °C.





Σχ. 3-1 Το Διάγραμμα Ισορροπίας Φάσεων Fe-Fe₃C

Ο γ-Fe σχηματίζει τον *ωστενίτη* (φάση γ του διαγράμματος) με μεγαλύτερο ποσοστό άνθρακα, που φθάνει το 2% στους 1130°C. Το τμήμα του διαγράμματος φάσεων που χρησιμοποιούμε σταματάει, όπως αναφέραμε, στην περιεκτικότητα 6,67% C, όπου σχηματίζεται η μεσομεταλλική ένωση ο σεμεντίτης (Fe₃C), που έχει ορθορομβικό πλέγμα.

3-4 Περιοχή Ανθρακούχων Χάλυβων

Η πλήρης και αναλυτική περιγραφή του διαγράμματος Fe-C ξεφεύγει από το σκοπό των σημειώσεων αυτών. Επειδή όμως για πρακτικές εφαρμογές μιας ενδιαφέρει πιο πολύ το τμήμα που περιλαμβάνει τους ανθρακούχους χάλυβες, στη συνέχεια θα αναπτύξουμε το τμήμα αυτό με περισσότερες λεπτομέρειες.

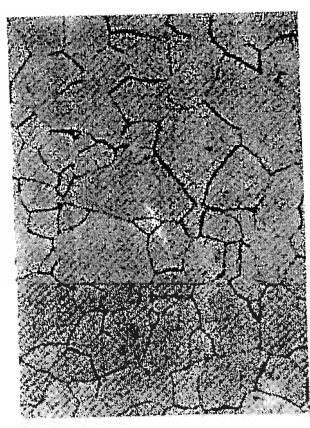
- Χάλυβας με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8%

Αν απονύξουμε το χάλυβα με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8%, σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τους 723 °C θα βρίσκεται στην μονοφασική περιοχή του *ωστενίτη*. Στους 723 °C ο *ωστενίτης* διασπάται σε *φερρίτη* και *σεμεντίτη*. Οι κόκκοι, αυτοί που αποφελούνται από εναλλασσόμενες πλάκες *φερρίτου* και *σεμεντίτου*, με την σύσταση των σημείων P (0,025%) και K (6,67%) αντίστοιχα, σχηματίζουν τον *περλίτη*. Δηλαδή ο *περλίτης* είναι μια σύνθετη δομή εναλλασσόμενων πλακών *φερρίτη* και *σεμεντίτη*, που παράγεται όταν αποψύχεται ο *ωστενίτης* που περιέχει 0,8% άνθρακα κάτω από τους 723°C.

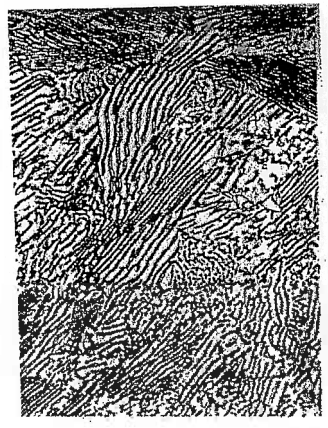
Εάν η ψύξη προχωρήσει ήρεμα ο χάλυβας, με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8%, θα έχει στην θερμοκρασία *περιβάλλοντος* κρυσταλλική δομή που θα αποτελείται από κόκκους *περλίτη* (*φερρίτη* και *σεμεντίτη*). Η σύσταση του *ωστενίτη* καθώς η θερμοκρασία μειώνεται θα παραμείνει αμετάβλητη, ενώ εκείνη του *φερρίτη* θα μεταβάλλεται ακολουθώντας την καμπύλη solvus (διαλυτότητας) QP του Σχ.3-1. Οι αναλογίες βαρών των φάσεων του χάλυβα καθορίζονται, σύμφωνα με τον κανόνα του μοχλού, από την περιεκτικότητα του σε άνθρακα.

- Χάλυβας με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,025% μέχρι 0,8%

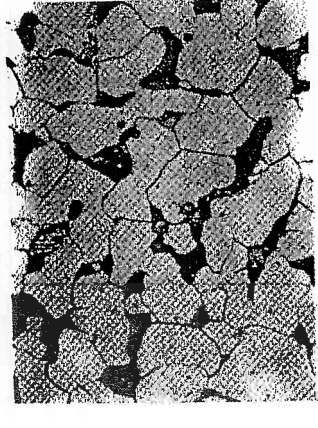
Κατά την αργή ψύξη ενός χάλυβα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,025% και 0,8%, ο *ωστενίτης* αρχίζει να μετασχηματίζεται (βλ. Σχ.3-1) σε *φερρίτη* μόλις το κράμα εισέλθει στη διαφασική περιοχή (α+γ). Οι συστάσεις του *φερρίτη* και του *ωστενίτη* μεταβάλλονται κατά μήκος των καμπυλών *ισορροπίας* του διαγράμματος ZP και ZS αντίστοιχα, που περικλείουν την περιοχή (α+γ). Στους 723°C ο *ωστενίτης* που παραμένει έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8% και μετασχηματίζεται σε *περλίτη* ενώ συγχρόνως παραμένει ο *φερρίτης* που είχε σχηματισθεί προηγουμένως (πριν από τους 723°C).



Φερριτής



Περλίτης



Φερριτής-Περλίτης



Ωστενίτης

Εάν η ψύξη προχωρήσει ήρεμα οποιοσδήποτε χάλυβας με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,025% μέχρι 0,8%, θα έχει στην θερμοκρασία περιβάλλοντος κρυσταλλική δομή που θα αποτελείται από φερρίτη και περλίτη. Η σύσταση του σεμενίτη καθώς η θερμοκρασία μειώνεται θα παραμείνει αμετάβλητη, ενώ εκείνη του φερρίτη θα μεταβάλλεται ακολουθώντας την καμπύλη solvus (διαλυτότητας) QP του Σχ.3-1.

Οι αναλογίες βαρών των φάσεων του χάλυβα καθορίζονται, σύμφωνα με τον κανόνα του μοχλού, από την περιεκτικότητα του σε άνθρακα.

— Χάλυβας με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,8% μέχρι 2%

Ανάλογες μεταβολές εμφανίζονται και κατά την απόψυξη ενός χάλυβα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,8% και 2%. Συγκεκριμένα, κατά την αργή ψύξη ενός χάλυβα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,8% και 1,2%, ο ωστενίτης αρχίζει να μετασχηματίζεται σε σεμενίτη μόλις το κράμα εισέλθει στη διφασική περιοχή (γ+Fe₃C). Η σύσταση του σεμενίτη καθώς η θερμοκρασία μειώνεται θα παραμείνει αμετάβλητη, ενώ εκείνη του ωστενίτη μεταβάλλεται ακολουθώντας την καμπύλη ισορροπίας SE (βλ. Σχ.3-1). Στους 723 °C ο ωστενίτης που παραμένει έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8% και μετασχηματίζεται σε περλίτη ενώ συγχρόνως παραμένει ο σεμενίτης που είχε σχηματιστεί προηγουμένως (πριν από τους 723 °C).

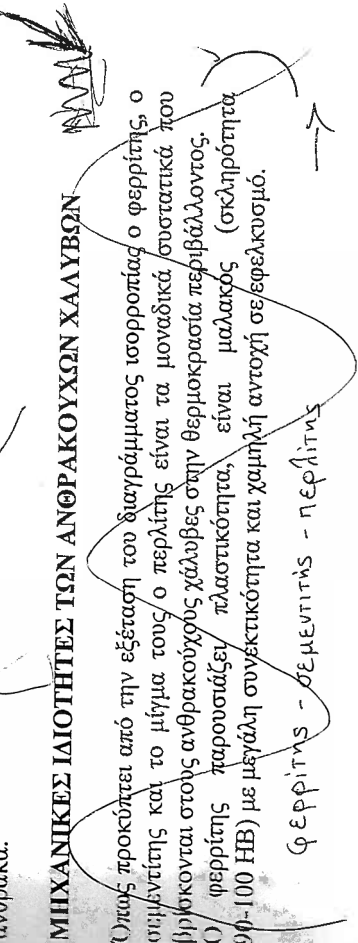
Εάν η ψύξη προχωρήσει ήρεμα οποιοσδήποτε χάλυβας με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,8% μέχρι 2,0%, θα έχει στην θερμοκρασία περιβάλλοντος κρυσταλλική δομή που θα αποτελείται περλίτη και σεμενίτη. Η σύσταση του σεμενίτη καθώς η θερμοκρασία μειώνεται θα παραμείνει αμετάβλητη, ενώ εκείνη του φερρίτη θα μεταβάλλεται ακολουθώντας την καμπύλη solvus (διαλυτότητας) QP του Σχ.3-1.

Οι αναλογίες βαρών των φάσεων του χάλυβα καθορίζονται, σύμφωνα με τον κανόνα του μοχλού, από την περιεκτικότητα του σε άνθρακα. Στους χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,8% μέχρι 2% η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα οδηγεί στην ανάλογη αύξηση του σεμενίτη που σχηματίζεται πριν από τους 723 °C, επειδή ο περλίτης περιέχει σταθερά 0,8% άνθρακα.

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

Υπόκειται από την εξέταση του διαγράμματος ισορροπίας ο φερριτής, ο σεμενίτης και το μίγμα τους ο περλίτης είναι τα μοναδικά συστατικά που βήσκονται στους ανθρακούχους χάλυβες στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο φερριτής παρουσιάζει πλαστικότητα, είναι μαλακός (σκληρότητα 90-100 HB) με μεγάλη συνέκτικότητα και χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό.

Φερριτής - σεμενίτης - περλίτης



Ο σεμεντίτης ως ιοντική ένωση είναι σκληρός (σκληρότητα 700 HB) και ψαθρός και κατά συνέπεια μεταβάλλει (συναρτίζει) της περιεκτικότητας σε άνθρακα) σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων.

Ο περλίτης, που αποτελείται από λεπτές λουρίδες φερρίτη και σεμεντίτη είναι σχετικά σκληρός. Επομένως οι ιδιότητες του τελικού χάλυβα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την αναλογία αυτών των συστατικών. Οι χάλυβες με μικρή (0,006-0,25) περιεκτικότητα σε άνθρακα έχουν περισσότερο φερρίτη, είναι μαλακοί και όλκιμοι και είναι γνωστοί ως μαλακοί χάλυβες (mild steels). Όσο αυξάνεται το ποσοστό του άνθρακα, αυξάνει η σκληρότητα και η αντοχή σε σφελκυσμό και ο χάλυβας γίνεται λιγότερος-όλκιμος.

3-5 Χυτοσίδηρος

Οι χυτοσίδηροι είναι κράματα Fe-C που έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα πάνω 2% β/β. Ο άνθρακας στον χυτοσίδηρο μπορεί να υπάρχει:

- Με τη μορφή της χημικής ένωσης με τον σίδηρο, δηλαδή ως σεμεντίτης
- Με την μορφή ελεύθερου άνθρακα, ως γραφίτης, ο οποίος προκύπτει μετά από διάσπαση του σεμεντίτη, αν υπάρξουν ευνοϊκές συνθήκες για αυτή τη διάσπαση π.χ. η παρουσία πυρίτιου
- Με τη μορφή κράματος με τον σίδηρο ως φερρίτης

Αν ο άνθρακας, που περιέχεται, σχηματίζει μαζί με τον σίδηρο σεμεντίτη, τότε ο χυτοσίδηρος είναι σκληρός και κατά τη θρύση, η επιφάνεια θραύσης του είναι λευκή. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε το λευκό χυτοσίδηρο. Αν ο άνθρακας περιέχεται ελεύθερος, σαν γραφίτης, ο χυτοσίδηρος είναι σχετικά μαλακός και η επιφάνεια θραύσης του είναι φαιά. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε το φαιό χυτοσίδηρο.

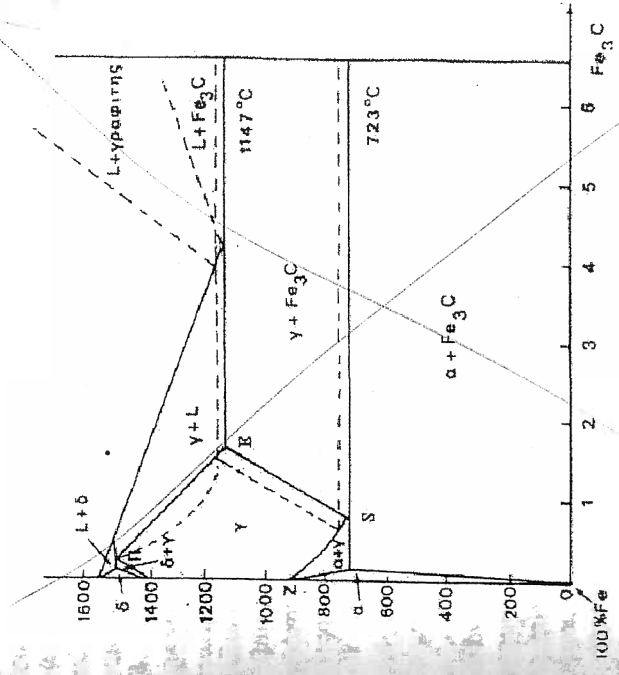
ΛΕΥΚΟΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ - ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι λευκοί χυτοσίδηροι σχηματίζονται όταν ο περισσότερος άνθρακας του τηγμένου χυτοσιδήρου, κατά τη στερεοποίηση, σχηματίζει σεμεντίτη, αντί για γραφίτη. Τον σχηματισμό του σεμεντίτη ευνοεί η απότομη ψύξη και η παρουσία θείου. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα φάσεων Fe-Fe₃C του Σχ.3-3 η δομή του λευκού χυτοσιδήρου περιέχει μεγάλα ποσά σεμεντίτη σε περλιτική μήτρα. Εξαιτίας του σεμεντίτη, οι χυτοσίδηροι αυτοί έχουν εξαιρετική αντοχή σε φθορά από τριβή, υψηλή σκληρότητα (400-550 HB), είναι όμως ψαθροί και

έχουν κακή καταρασσιμότητα. Το όριο θραύσης τους κυμαίνεται από 250 μέχρι 500 MPa. Η αντοχή τους σε τριβή βελτιώνεται ακόμη περισσότερο με την προσθήκη Cr, Ni και Mo.

Εάν ο λευκός χυτοσίδηρος με 2,5%-3,5% άνθρακα και 0,5-1% πυρίτιο θερμανθεί μεταξύ 800 και 900 °C και για αρκετό διάστημα (μέχρι 6 ημέρες) και στη συνέχεια ψυχθεί αργά παράγεται ο σφαιρηλάτος ή μαλακός χυτοσίδηρος. Ο σφαιρηλάτος ή μαλακός χυτοσίδηρος διαφέρει από τον λευκό και από τον φαιό χυτοσίδηρο, είναι ελατός (μέχρι και 15% μέγιστη διατομής), όλκιμος (μέχρι επίσης 15%) και παρουσιάζει σημαντική συνεκτικότητα.

Οι κύριες χρήσεις των λευκών χυτοσιδήρων συνδέονται με την καλή τους συμπεριφορά σε τριβή, π.χ. για την κατασκευή κυλίνδρων ελάστρων και τιμημάτων θραυστήρων. Επίσης μεγάλες ποσότητες λευκών χυτοσιδήρων χρησιμοποιούνται για χύτευση αντικειμένων, για τα οποία χρειάζεται μεγάλη αντοχή στη φθορά από τριβή.



Σχ. 3-3 Διάγραμμα Ισορροπίας Φάσεων Fe-C Κανονικές Γραμμές Σύστημα Fe-Fe₃C Διακοπτόμενες Γραμμές Σύστημα Fe-γραφίτη

ΦΑΙΟΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ - ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι φαιοί χυτοσίδηροι λαμβάνονται, μετά από θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες, όταν η στερεοποίηση είναι αργή. Ο σχηματισμός των φαιών χυτοσίδων οφείλεται στην αποβολή γραφίτη από την διάσπαση του σεμεντίτη. Η αποβολή του γραφίτη ευνοείται από την παρουσία πυριτίου (από 1% μέχρι 2,5% β/β) και κατά την παραμονή του σε υψηλή θερμοκρασία, για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Οι διακοπτόμενες γραμμές στο διάγραμμα του Σχ.3-3 αντιστοιχούν στο διάγραμμα ισορροπίας φάσεων Fe-γραφίτη. Οι βασικές διαφορές είναι ότι:

- Μικραίνει η περιοχή σταθερότητας του οστενίτη
- Η καμπύλη liquidus στο ευτηκτικό σημείο έχει μεγαλύτερη κλίση

Οι φαιοί χυτοσίδηροι στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος έχουν κρυσταλλική δομή, συνήθως περλίτη, με χονδρά φυλλίδια γραφίτη. Μετά από μια βραδύτατη απόψυξη είναι δυνατό να έχουμε στη θερμοκρασία περιβάλλοντος φερρίτη αντί περλίτη. Έτσι έχουμε τους περιλιτικούς και τους φερριτικούς φαιούς χυτοσίδηρους. Ο φαιός χυτοσίδηρος έχει ψαθυρή συμπεριφορά, εμφανίζει όμως, καλύτερη κατεργασιμότητα με εργαλεία κοπής, από το λευκό χυτοσίδηρο χωρίς ωστόσο να είναι δυνατές και οι κατεργασίες διαμόρφωσης του. Η καλύτερη κατεργασιμότητα οφείλεται στη παρουσία των μαλακών φάσεων του γραφίτη και του περλίτη.

Οι μηχανικές του ιδιότητες του φαιού χυτοσίδηρου είναι κατώτερες από αυτές του χάλυβα. Έχει μικρό όριο θραύσης και χαμηλή αντοχή σε κρούση. Η χαμηλή του δυσθραυστότητα οφείλεται στην ύπαρξη των φυλλιδίων γραφίτη. Ωστόσο, παρουσιάζει υψηλή ικανότητα απόσβεσης δονήσεων και καλή θερμική αγωγιμότητα. Η προσθήκη Cr, Ni και Mo βελτιώνει τις μηχανικές του ιδιότητες. Επίσης σε σχέση με τον χάλυβα, ο φαιός χυτοσίδηρος έχει χαμηλότερο σημείο τήξης και κατά τη στερεοποίηση του παρατηρείται μικρή συστολή, εξαιτίας της διόγκωσης του γραφίτη. Επειδή τα φυλλίδια του γραφίτη έχουν οξείς άκρες, συγκεντρώνουν μεγάλες τάσεις στα σημεία αυτά και έτσι βοηθούν το σχηματισμό ρωγμών, κάνοντας το χυτοσίδηρο ασθενή και ψαθυρό. Η μετατροπή των φυλλιδίων του γραφίτη σε σφαιρίδια γίνεται με την προσθήκη μαγνησίου (10-20% β/β) με τη μορφή κρέματος με νικέλιο. Οι χυτοσίδηροι που παράγονται με αυτό τον τρόπο λέγονται σφαιρικοί χυτοσίδηροι.

Οι φαιοί χυτοσίδηροι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αγωγών ύδατος, κυλίνδρων και εμβόλων, εδράνων εργαλειομηχανών κλπ.

Κεφάλαιο Τέταρτο

Μηχανικές Ιδιότητες Μετάλλων και Μέθοδοι Ελέγχου

4-1 Εισαγωγή

Όταν μιλάμε για μηχανικές ιδιότητες στο μυαλό μας έρχεται η γενική έννοια «αντοχή» ως η σπουδαιότερη ιδιότητα που πρέπει να παρουσιάζει ένα μεταλλικό υλικό όταν υποβάλλεται σε κάθε είδους τάσεις. Η γενική αυτή έννοια αντιπροσωπεύει ένα μέτρο των δυνάμεων που χρειάζεται να εφαρμοσθούν στο υλικό ώστε να υπερνικηθούν οι εσωτερικές δυνάμεις μεταξύ των ατόμων ή των μορίων που το κρατάνε συνεχώς. Στον ευρύτερο ήμιο χώρο που χρησιμοποιούνται τα υλικά, υπάρχουν διάφορες μηχανικές ιδιότητες που χρειάζονται ανάλογα με την περίπτωση. Μερικές φορές χρειάζεται ένα υλικό να μπορεί να υποστεί εύκολα μόνιμη παραμόρφωση, άλλουμε επομένως ένα υλικό που να είναι όλιγο, να μπορεί δηλαδή να επιμηκυνθεί εύκολα, και ελαστό, να μπορεί δηλαδή να συμπιεστεί και να ελαφθεί εύκολα. Εκτός από τις ιδιότητες που αναφέραμε, άλλες βασικές μηχανικές ιδιότητες είναι η πλαστικότητα ή ελαστικότητα, η σκληρότητα, η κόπωση κλπ.

Ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών είναι μια σπουδαία αποστολή του ελέγχου των υλικών. Ο έλεγχος των υλικών έχει κύρια τις παρακάτω τρεις αποστολές:

- Προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, όπως π.χ. αντοχή, σκληρότητα, για να γίνουν γνωστές οι δυνατότητες χρησιμοποίησής των υλικών.
- Έλεγχος των έτοιμων ή χρησιμοποιημένων εξαρτημάτων προκειμένου να παρεμποδισθεί η χρησιμοποίηση αντικειμένων με βλάβες όπως π.χ. ρωγμές, κενά
- Έλεγχος των υλικών μετά από θραύση προκειμένου να εξακριβωθούν τα αίτια της θραύσης και την αιτιολογία, μελλοντικά, όμοιων βλαβών

Οι μέθοδοι ελέγχου των υλικών διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

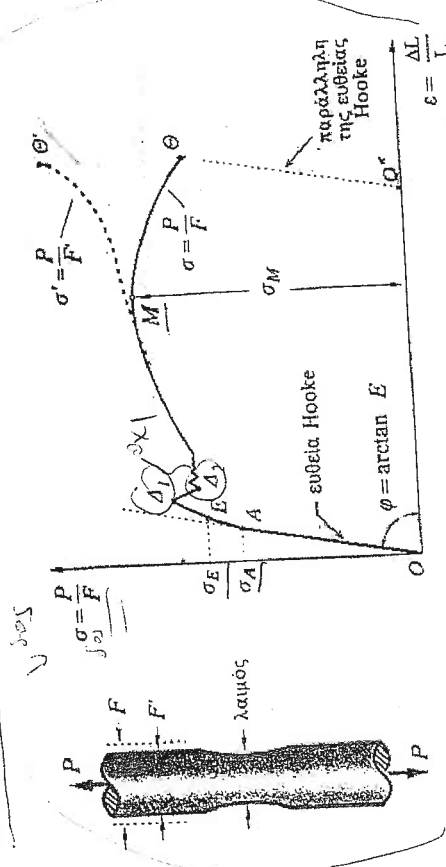
Καταστροφικές Μέθοδοι. Είναι οι μέθοδοι εκείνες στις οποίες είναι αναγκαίο, για το χαρακτηρισμό του υλικού, η απόσπαση από αυτό δείγματος καθορισμένων διαστάσεων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι δοκιμασίες εφελκυσμού και θλίψης, σκληρότητας, κόπωσης κλπ.

ΝΑΗ ΚΗ SOS

και παριστάνεται ως σ_A . Στην περιοχή OA ισχύει ο νόμος του Hooke και η εξίσωση της ευθείας δίνεται από την σχέση:

$\sigma = \epsilon E$

Η κλίση της OA ορίζεται με το μέτρο ελαστικότητας E το οποίο είναι σταθερό για κάθε υλικό και λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές όσο το υλικό είναι λιγότερο παραμορφώσιμο. Εάν αφαιρεθεί το φορτίο, και εφόσον αυτό δεν έχει υπερβεί την τιμή που αντιστοιχεί στο σημείο A του διαγράμματος το δοκίμιο επανέρχεται στην πριν από την φόρτιση κατάσταση του, ως προς τις διαστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι στο ευθύγραμμο τμήμα του διαγράμματος OA έχουμε ελαστική παραμόρφωση, δηλαδή ότι δεν παρατηρείται καμία μόνιμη παραμόρφωση του δοκιμίου. Πέρα από το σημείο A ενώ η σχέση τάσης-παραμόρφωσης δεν συνεχίζει να είναι γραμμική το υλικό εξασκοιλονθεί μέχρι ενός σημείου E να συμπεριφέρεται ελαστικά, δηλαδή αν αποφορτιστεί επανέρχεται στις αρχικές του διαστάσεις. Η περιοχή AE χαρακτηρίζεται σαν περιοχή μη γραμμικής παραμόρφωσης του υλικού και η τάση σ_E που αντιστοιχεί στο σημείο E λέγεται όριο ελαστικότητας.



Σχ. 4-2 Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων σε Εφελκυσμό για το Χάλυβα

Μ = ΟΡΙΟ ΑΝΤΟΧΗΣ.
 Μ-Θ = ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ.
 ΜΕΤΑ ΤΟ Ε ΠΑΥΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΕΛΑΣΤΙΚΟ

Πέρα από το σημείο E το υλικό δεν είναι πλέον ελαστικό καθώς μετά την αποφόρτιση της ράβδου εμφανίζονται μόνιμες παραμορφώσεις. Εάν συνεχίσουμε την φόρτιση φθάνουμε σε μια χαρακτηριστική τιμή του φορτίου

NAI

(ΡΑ), στην οποία εμφανίζεται μια σημαντική παραμόρφωση χωρίς την αντίστοιχη σημαντική αύξηση της τάσης. Έτσι στην περιοχή $E\Delta_1\Delta_2$ το δοκίμιο είναι δυνατόν να αξιόσει την επιμήκυνση του δέκα ως δεκαπέντε φορές περισσότερο από την φόρτιση που αντιστοιχούσε στο όριο ελαστικότητας. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διαρροή του υλικού και η τάση σ_A στην οποία συμβαίνει αυτό ονομάζεται όριο διαρροής. Πολλές φορές σε διάφορους τύπους χαλβίων, κατά το πέρασμα από την ελαστική στην πλαστική περιοχή, παρουσιάζεται μια ασυνέχεια του σημείου διαρροής και εμφανίζονται ένα ανώτερο και ένα κατώτερο όριο διαρροής.

Μετά το όριο διαρροής, η αύξηση της τάσης εφελκυσμού συνοδεύεται από έντονη αύξηση της πλαστικής παραμόρφωσης σε όλο το μήκος του δοκιμίου ομοιόμορφα. Από το σημείο M του διαγράμματος και πέρα το δοκίμιο παρουσιάζει λαιμό, δηλαδή παρατηρείται μια ορατή ελάττωση της διατομής στο μέσον του δοκιμίου. Η μέγιστη τάση σ_M που αντιστοιχεί στο σημείο M χαρακτηρίζεται ως όριο αντοχής ή ως μέγιστη αντοχή ή ως όριο θραύσης. Πέρα από το σημείο M παρατηρείται μια πτώση της τάσης ενώ η παραμόρφωση εξακολουθεί να αυξάνει μέχρι του σημείου Θ όπου το υλικό σκιάει απότομα. Η τάση σ_θ που αντιστοιχεί στο σημείο Θ ονομάζεται τάση θραύσης σε εφελκυσμό του υλικού.

Παρατηρήσεις

Σύμφωνα με το σύστημα μονάδων SI, οι μονάδες των δύο μεγεθών πρέπει να είναι N/m^2 για την τάση και m για την επιμήκυνση. Όμως από πρακτική πλευρά, αυτά τα νούμερα θα ήταν μερικές φορές «ακατανόητα» καθώς η τάση που εφαρμόζουμε σε ατσάλινα σύρματα καθημερινής χρήσης θα έπρεπε να εκφραστεί ανά m^2 ή τι νόημα θα είχε αν κάποιος έλεγε ότι ένα σύρμα χαλκού επιμηκύνθηκε κατά 0,005 m. Έτσι χρησιμοποιούμε ως μονάδα τάσης το N/mm^2 και στην παραμόρφωση την ανηγμένη τιμή της, δηλαδή το λόγο της επιμήκυνσης προς το αρχικό μήκος εκφρασμένο σε %.

NAI

Η πτώση της τάσης και της καμπύλης στο τμήμα MΘ είναι φαινομενική και δεν σημαίνει ότι η αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό ελαττώθηκε (αντίθετα αυξάνεται, γιατί το δοκίμιο υφίσταται σκλήρωση). Η πτώση αυτή εξηγείται από το ότι η τάση εφελκυσμού υπολογίζεται με βάση την αρχική διατομή του δοκιμίου (συμβατική τάση) και όχι με βάση την ελάχιστη διατομή, εξαιτίας της δημιουργίας του λαιμού. Εάν λάβουμε υπόψη το σχηματισμό του λαιμού και την αντίστοιχη μείωση της διατομής προκύπτει η πραγματική τάση $\sigma' = P/F'$. Η πραγματική τάση φαίνεται στην καμπύλη που παριστάνεται με διακεκομμένη γραμμή στο Σχ.4-2. Με την παρατήρηση της διακεκομμένης γραμμής, που είναι η αόζουσα, αποφεύγουμε και το περιττό σύμπερασμα που μπορεί να βγάλει κανείς από τις καμπύλες

τάσης-παραμόρφωσης, ότι δηλαδή ένα υλικό μπορεί να έχει μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό τη σ_m αλλά η θραύση να γίνεται σε μια μικρότερη τιμή τάσης, τη σ_b .

Η ελαστικότητα παραμόρφωση της θραύσης A (%), που χαρακτηρίζει την ελαστικότητα του υλικού, προσδιορίζεται πρακτικά από το διάγραμμα εφελκυσμού, αν φέρουμε την ευθεία σ_0 παράλληλη προς την ΑΟ. Αποδεικνύεται ότι έχουμε περίπου A (%) = $00 \cdot 100$.

δ. Επειδή κατά το πείραμα του εφελκυσμού η μάζα παραμένει σταθερή, είναι φανερό πως όταν αυξάνεται το μήκος θα πρέπει να μειώνεται η διατομή (σε όλες τις διευθύνσεις που είναι κάθετες στη διεύθυνση της τάσης). Ανεξάρτητα από το σχήμα της διατομής, αν b_0 είναι μια οποιαδήποτε αρχική εγκάρσια διάσταση (π.χ. διάμετρος κύκλου, πλευρά τετραγώνου κλπ.) και b η τελική εγκάρσια διάσταση μετά την παραμόρφωση, τότε ορίζεται η ανισομενία (ή ειδική) εγκάρσια παραμόρφωση ϵ_q από το λόγο:

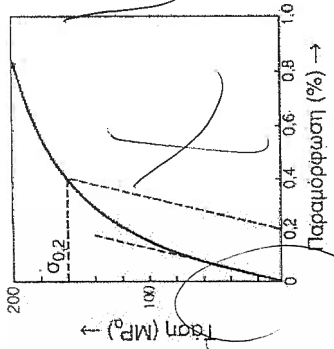
$$\epsilon_q = \frac{b - b_0}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0}$$

Καλείται λόγος του Poisson μ ή και συντελεστής εγκάρσιας παραμόρφωσης ο λόγος:

$$\mu = - \frac{\epsilon_q}{\epsilon}$$

Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω σχέση δικαιολογείται από το ότι τα μεγέθη ϵ και ϵ_q είναι πάντοτε ετερόσημα, διότι όταν αυξάνει η μια διάσταση συγχρόνως ελαττώνεται η άλλη.

ε. Στην περίπτωση που δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί η έναρξη της διαρροής επειδή η μετάβαση από την ελαστική στην πλαστική περιοχή πραγματοποιείται προοδευτικά χωρίς έκδηλα χαρακτηριστικά σημεία, όπως συμβαίνει στο αλουμίνιο και σε άλλα κράματα, ορίζεται το συμβατικό όριο διαρροής $\sigma_{0,2\%}$. Το συμβατικό όριο διαρροής υπολογίζεται από το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων αν από το σημείο του άξονα των παραμορφώσεων που αντιστοιχεί στην καταπόνηση που επιφέρει μόνιμη παραμόρφωση $0,2\%$ ($\epsilon=0,002$) φέρουμε μια ευθεία παράλληλη προς το αρχικό ευθύγραμμο τμήμα του διαγράμματος. Η τεταγμένη του σημείου τομής της ευθείας αυτής με την καμπύλη ορίζει το συμβατικό όριο διαρροής (βλ. Σχ. 4-3).

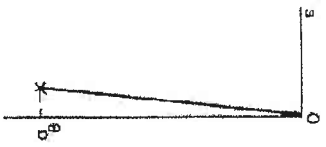


Σχ. 4-3 Προσδιορισμός του Συμβατικού Ορίου Διαρροής για Παραμόρφωση 0,2% ενός Κράματος Αλουμινίου

Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων Ψαθυρών Υλικών

Τα ψαθυρά υλικά εμφανίζουν πολύ μικρές ελαστικές και καθόλου πλαστικές παραμορφώσεις μέχρι τη θραύση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο χυτοσίδηρος, το σφαιρόδεμα, το γυαλί κλπ.

Στο Σχ. 4-4 δίνεται το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για τον χυτοσίδηρο. Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα δεν υπάρχει πλαστική περιοχή και η θραύση επέρχεται ύστερα από ένα μικρό ποσοστό ελαστικής παραμόρφωσης. Σε αυτή την περίπτωση όλα τα όρια συμπίπτουν σε ένα.



Σχ. 4-4 Χαρακτηριστική Συμπεριφορά σε Εφελκυσμό Ψαθυρού Υλικού

Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αντοχή σε Εφέλκυσμό

Γενικά τα κράματα είναι ισχυρότερα αλλά λιγότερο όλκιμα από τα μέταλλα. Το όριο ελαστικότητας ενός μετάλλου αυξάνεται με την κραματοποίηση, αλλά δεν υπάρχει κανόνας για το μέτρο ελαστικότητας. Επίσης στα κράματα παρουσιάζονται διαφορές ανάλογα με τη σύσταση και τη δομή.

Οι βασικοί παράγοντες, που επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο και τα κράματα και τα μέταλλα, είναι το μέγεθος κρυσταλλινών (κόκκων), η θερμοκρασία, οι προσμίξεις, η προηγούμενη κατεργασία του υλικού και ακόμη η ταχύτητα με την οποία γίνεται η φόρτιση.

Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, στις πιο πολλές περιπτώσεις τα πολικρυσταλλικά μέταλλα είναι πιο ισχυρά από τους μονοκρυστάλλινους, τόσο περισσότερο όσο μικρότεροι είναι οι κρυσταλλίτες, (βλ. Κεφ.1). Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες τα πράγματα μερικές φορές αντιστρέφονται.

Η αντοχή σε εφέλκυσμό, το όριο ελαστικότητας ελαττώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Και φυσικά η επιμήκυνση, γενικά, αυξάνεται με την αύξηση της. Στις χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από τους 0 °C) μερικά μέταλλα, όπως ο χαλκός, το αλουμίνιο, το νικέλιο και τα κράματα τους διατηρούν την πλαστικότητα τους με ταυτόχρονη αύξηση της αντοχής τους σε εφέλκυσμό, αλλά ο σίδηρος, οι χάλυβες τη χάνουν.

Το μέτρο ελαστικότητας ελαττώνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας. Η μείωση του E αυξανόμενης της θερμοκρασίας εξηγείται εν μέρει από την θερμική διαστολή, η οποία επιτρέπει μεγαλύτερη παραμόρφωση για δεδομένη καταπόνηση άρα χαμηλότερη τιμή E.

Πίνακας 4-1

Σχέση μεταξύ E και Σημείου Τήξης

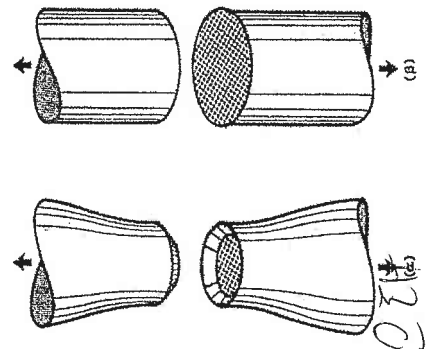
Μέταλλο	E(Mpa)	T (°C)
W	345000	3410
Fe	205000	1538
Cu	110000	1084
Al	70000	660
Pb	14000	327
Na	<7000	98

Στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται τιμές μέτρου ελαστικότητας E για διάφορα μέταλλα σε σχέση με το σημείο τήξης τους. Παρατηρείται ότι υπάρχει στενή σχέση μεταξύ τους. Αυτό αναμένεται από το γεγονός ότι τα μέταλλα με

ισχυρό δισμό απαιτούν όχι μόνο μεγαλύτερη καταπόνηση προκειμένου να έχουν με την επιθυμητή παραμόρφωση, αλλά, επίσης, και υψηλότερη θερμοκρασία αναγκαία για την καταστροφή του κρυσταλλικού πλέγματος κατά την τήξη.

• Όλκιμη και Ψαθυρή Θραύση

Όπως αναφέρθηκε η εφαρμογή τάσης σε ένα οποιοδήποτε μέταλλο προκαλεί αρχικά ελαστική και στη συνέχεια, αν η τάση που εφαρμόζεται αυξάνεται, μικρή ή μεγάλη πλαστική παραμόρφωση. Στο τέλος της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης σημειώνεται, με τη διακοπή της συνέχειας του υλικού, η θραύση. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες, η ψαθυρή θραύση όταν πρακτικά προηγείται μόνο ελαστική παραμόρφωση και η όλκιμη θραύση εφόσον προηγείται και πλαστική παραμόρφωση, με παράλληλο σχηματισμό της σπιννοψής. Οι επιφάνειες που σχηματίζονται από τη θραύση έχουν χαρακτηριστική λάμψη στη ψαθυρή, ενώ είναι θαμπές στην όλκιμη. Οι πράξεις από τους οποίους εξαρτάται το είδος της θραύσης είναι το υλικό (είδος κρυσταλλικού πλέγματος), η θερμοκρασία και η ταχύτητα με την οποία εφαρμόζεται το φορτίο.



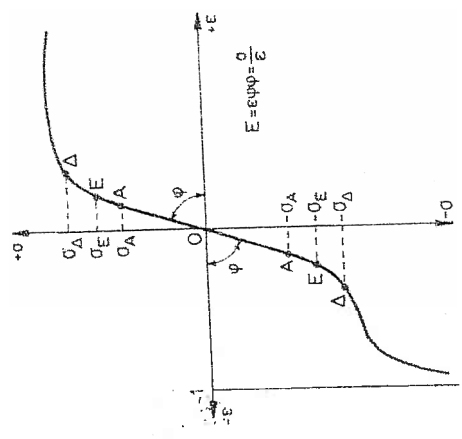
Σχ. 4-5 (α) Όλκιμη Θραύση, (β) Ψαθυρή θραύση

ΛΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ

Η δοκιμή της θλίψης εφαρμόζεται κατά κανόνα σε υλικά τα οποία καταπονούνται στην πρόξη σε θλιπτικά φορτία. Πρόκειται για ψαθυρά υλικά, όπως ο χυτοσίδηρος, το σκυρόδεμα κλπ. Η δοκιμή της θλίψης είναι επίσης

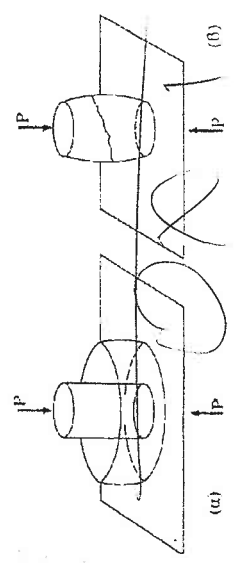
μεγάλης σπουδαιότητας γιατί προσφέρεται για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των ψαθυρών κυρίως υλικών, επειδή τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μικρές παραμορφώσεις στον εφελκυσμό. Στη δοκιμή σε θλίψη, το δοκίμιο υποβάλλεται σε θλιπτική φόρτιση, η οποία αυξάνεται αργά και συνεχώς, μέχρι το δοκίμιο να εμφανίσει ρωγμές ή θραύση. Γενικά χρησιμοποιούνται κυλινδρικά δοκίμια στα οποία ο λόγος του ύψους του δοκιμίου προς την αρχική διάμετρο του να έχει την τιμή περίπου τρία. Οι θλιπτικές τάσεις προκαλούν μια βράχυνση του δοκιμίου στην οποία αντιστοιχεί μια θλιπτική παραμόρφωση. Η σχέση ανάμεσα στα δύο αυτά μεγέθη για την περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων είναι ακριβώς η ίδια όπως και στην περίπτωση που θα εφαρμόζονταν στο υλικό εφελκυστικές τάσεις οπότε και το μέτρο ελαστικότητας παραμένει συνήθως το ίδιο.

Έτσι το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που παίρνουμε όταν το δοκίμιο καταπονείται σε θλίψη (βλ. Σχ.4-6) έχει την ίδια μορφή με τις αντίστοιχο σε εφελκυσμό, μόνο που δεν υπάρχει το κομμάτι που είναι ύστερα από τη σμ. Και αυτό διότι όταν η θλιπτική δύναμη παραμορφώνει το δοκίμιο, δεν εμφανίζεται λαμμός, η διατομή αυξάνεται συνέχεια και το πάχος μπορεί θεωρητικά να γίνεται οσοδήποτε μικρό, χωρίς όμως να παρατηρείται θραύση με τη φυσική σημασία του όρου. Το θλιπτικό όριο ελαστικότητας βρίσκεται ως απόλυτη τιμή, πολύ κοντά στο αντίστοιχο εφελκυστικό όριο. Αντίθετα, το υλικό μια σημαντική υψηλότερη τιμή σε σχέση με το αντίστοιχο εφελκυστικό όριο διαρροής.



Σχ. 4-6 Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων σε Θλίψη για το Χάλυβα.

Ανάλογα με το υλικό, η μορφή του δοκιμίου στο τέλος της δοκιμής είναι διαφορετική. Τα ψαθυρά υλικά θραύονται, χωρίς να υπάρξει ουσιαστική παραμόρφωση, σε πολλά κομμάτια. Το όριο θραύσης (για θλίψη) βρίσκεται κατά κανόνα τόσο κοντά στο όριο διαρροής, ώστε να καθίσταται αδύνατη η διάκριση ανάμεσα τους. Για τα περισσότερα ψαθυρά υλικά θεωρούμε λοιπόν ότι το όριο διαρροής και το όριο θραύσης ταυτίζονται. Τα δάκτυα υλικά συνθλιβονται χωρίς το σχηματισμό ρωγμών και επιφανειών θραύσης λαμβάνοντας τελικά τη μορφή λεπτότατων δίσκων και παρουσιάζουν φυσικό όριο διαρροής. Το όριο θραύσης (για θλίψη) ενός δάκτυου υλικού, ορίζεται συμβατικά ότι, είναι η τιμή της τάσης εκείνης που προκαλεί παραμόρφωση (πυρήχυνση) του ύψους του δοκιμίου κατά 30% του αρχικού μήκους.



Σχ. 4-7 Παραμόρφωση σε Θλίψη ενός (α) Όγκιου Υλικού και ενός (β) Ψαθυρού Υλικού

ΔΟΚΙΜΗ ΚΡΟΥΣΗΣ (ΔΟΚΙΜΗ ΔΥΣΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑΣ)

Η δοκιμή κρούσης, παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τη συμπεριφορά ενός υλικού, τις περισσότερες φορές πρόκειται για κάποιο τύπο χάλυβα ή χυτοσίδηρου, σε ειδικές συνθήκες καταπόνησης, κάτω από τις οποίες συνυπάρχει η διαδικασία θραύσης του υλικού. Οι συνθήκες αυτές είναι ο χρονικός περιορισμός της διαδικασίας επιβολής των παραμορφώσεων (κρουστικό φορτίο) και ο τοπικός περιορισμός της περιοχής που παραμορφώνεται με την ύπαρξη μιας αρχικής εγκοπής στο δοκίμιο. Κάτω από τις συνθήκες αυτές μεταβάλλεται σημαντικά η συμπεριφορά των υλικών, τόσο σε ότι αφορά την αντοχή τους όσο και σε ότι αφορά τον τρόπο θραύσης τους (ακόμα και δάκτυα υλικά, υπό συνθήκες στατικών καταπονήσεων, συμπεριφέρονται ως ψαθυρά υπό κρουστικά φορτία).

Το χαρακτηριστικό μέγεθος, με βάση το οποίο μελετάμε τη συμπεριφορά των υλικών κάτω από κρουστικά φορτία, είναι η ενέργεια που απορροφά το υλικό μέχρι την θραύση του κατά τη διάρκεια του πειράματος κρούσης. Όπως είναι προφανές το μέγεθος αυτό μπορεί να μας χρησιμεύσει για τη

σύγκριση της συμπεριφοράς των υλικών υπό κρουστικά φορτία μόνο όταν έχουν τυποποιηθεί πλήρως οι συνθήκες του πειράματος (διαστάσεις δοκιμίου, θέση, σχήμα και μέγεθος εγκοπής, τρόπος στήριξης, ταχύτητα και μέγεθος κρουστικού φορτίου).

Με βάση την τυποποίηση αυτή των συνθηκών της δοκιμής κρούσης ο έλεγχος της δυσθραυστότητας πραγματοποιείται σε διάταξη Charpy συνθηθέτερα, ή σε διάταξη Izod όπου το δοκίμιο το κτυπάει μια βαριά σφήρα, που κινείται σαν εκκρεμές. Το δοκίμιο στη δοκιμή Charpy στήριζεται και στα δύο άκρα και η πρόσκρουση της σφήρας γίνεται στην απέναντι από την εγκοπή έδρα. Στη διάταξη Izod το δοκίμιο στήριζεται στη μια του άκρη «πρόβολος», και η κρούση γίνεται στο άκρο του προβόλου, από την πλευρά της εγκοπής.

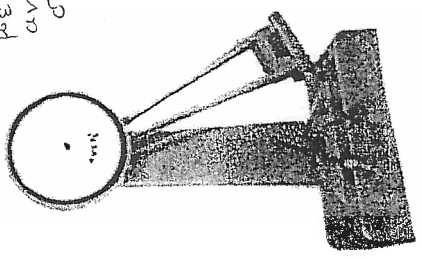
Το απαιτούμενο για τη θραύση του δοκιμίου έργο ανά μονάδα διατομής του δοκιμίου λαμβάνεται σαν μέτρο της αντοχής του υλικού σε κρούση και αποτελεί το μέτρο της δυσθραυστότητας του.

Το έργο που καταναλώνεται για τη θραύση του δοκιμίου, προσδιορίζεται από τις θέσεις που παίρνει η σφήρα (εκκρεμές) πριν και μετά τη θραύση του δοκιμίου με τη βοήθεια της πειραματικής διάταξης.

ΔΟΚΙΜΙΟ

ΜΕΤΡΟ ΕΙΝΑΙ ΕΡΓΟ
ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΡΟΥΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

11 ΑΡΔΙ
ΜΕΤΡΟ
Δυσθραυστότητα



Σχ. 4-8 Μηχανή Δοκιμασίας σε Κρούση

• Εξάρτηση της Δυσθραυστότητας από τη Θερμοκρασία

Οι δοκιμές κρούσης έχουν ιδιαίτερη σημασία για υλικά που χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες διαφορετικές από αυτές του

ΕΔΩ ΕΙΝΑΙ ΝΟΤΕ ΑΝΑΙ ΣΕΑΝ ΤΟ ΚΤΕΝΗΣ!!!

περιβάλλοντος. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τους χάλυβες ψηλής αντοχής ή τους ειδικούς χάλυβες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή διαφόρων τμημάτων των μηχανών εσωτερικής καύσης.

Οι δοκιμές κρούσης σε ψηλές θερμοκρασίες, ανάλογες με τις θερμοκρασίες μηχανίας αυτών των υλικών, μας επιτρέπουν να αντιληφθούμε τη συμπεριφορά τους και τον τρόπο παραμόρφωσης τους σε αυτές τις συνθήκες, ώστε να αποκλείσουμε την περίπτωση απρόβλεπτων καταστροφών.

Γενικά, σε χαμηλές θερμοκρασίες, πολύ μικρότερες της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, η θραύση των μετάλλων και των κραμάτων πραγματοποιείται με υγρό τρόπο (απορρόφηση μικρής ποσότητας ενέργειας), ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες, η θραύση συμβαίνει με ολκίμιο τρόπο (απορρόφηση μεγάλη ποσότητας ενέργειας).

Για κάθε μέταλλο υπάρχει μια χαρακτηριστική θερμοκρασία ή καλύτερα μια θηριοκρασική περιοχή, μετάβασης από την ψαθυρή στην όλκιμη συμπεριφορά.

Γενικά ο χάλυβας που είναι το ευρύτερο χρησιμοποιούμενο κράμα κατασκευών είναι εξαιρετικά «ευαίσθητο» στη θερμοκρασία. Ένας χάλυβας με άριστη συμπεριφορά στην Ελλάδα μπορεί να οδηγηθεί σε ακαριαία ατοχία στη Νορβηγία.

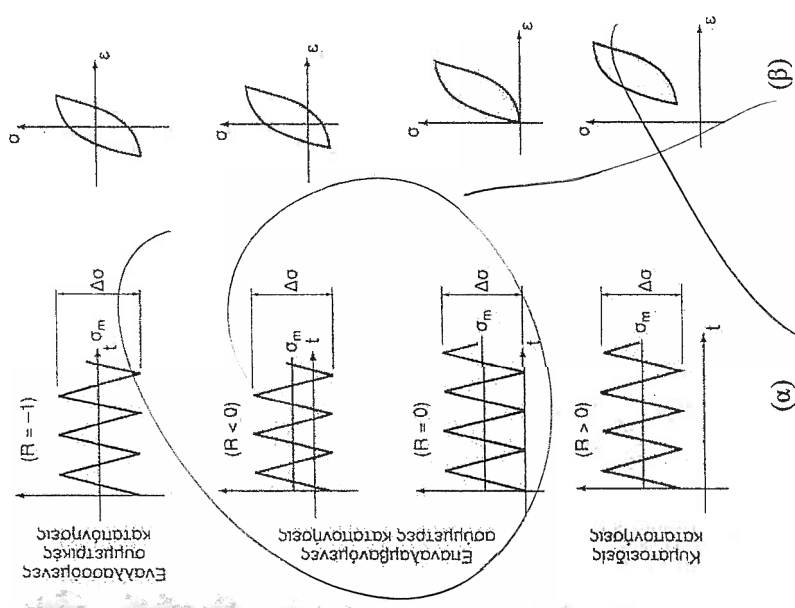
ΛΟΚΙΜΗ ΚΟΠΩΣΗΣ

Μέχρι τώρα μελετήθηκαν οι περιπτώσεις συμπεριφοράς των μετάλλων και των κραμάτων, όταν αυτά υποβάλλονται σε στατικά φορτία, δηλαδή σε φορτία που έχουν σταθερή τιμή ή σε φορτία αυξανόμενα κατά τρόπο μονότονο.

Εάν όμως ένα μεταλλικό εξάρτημα ή δοκίμιο υποβληθεί σε εναλλασσόμενες περιόδους και συνεχείς καταπονήσεις, είναι δυνατόν να οδηγηθεί σε θραύση για τιμές τάσεων κατά πολύ μικρότερες της αντοχής του σε εφελκυσμό ή ακόμη και του ορίου διαρροής του. Η θραύση τότε επέρχεται χωρίς προηγουμένη παραμόρφωση, παρουσιάζοντας χαρακτηριστική όψη σε δύο ζώνες.

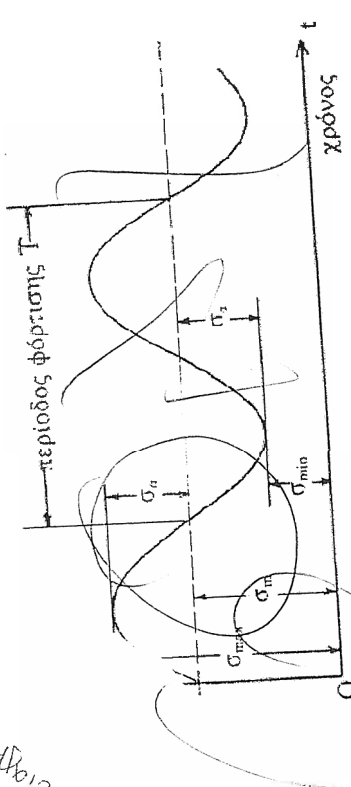
Τα επαναλαμβανόμενα ή εναλλασσόμενα φορτία και οι αντίστοιχες τάσεις ονομάζονται φορτία και τάσεις κόπωσης και το συνολικό φαινόμενο της μειβολής των μηχανικών ιδιοτήτων και της ατοχίας των υλικών υπό την πρόσβαση εναλλασσόμενων τάσεων καλείται κόπωση.

Η ακριβής μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών υπό φορτία και τάσεις κόπωσης γίνεται δυνατή για την περίπτωση που οι επαναλαμβανόμενες τάσεις μεταβάλλονται περιοδικά με τον χρόνο, έχουν δηλαδή τη μορφή που παρουσιάζεται στο Σχ.4-9.



Σχ. 4-10 (α) Καμπύλες Καταπόνησης - Χρόνου, (β) Καμπύλες Καταπόνησης-Παραμόρφωσης

Η δοκιμασία σε κόπωση γίνεται σε ειδικά όργανα και εφαρμόζεται κυκλική κόπωση καθώς υπολογίζεται ότι ένα μεγάλο ποσοστό των καταστροφών των μηχανικών κατασκευών (αεροπλάνα, πλοία, αυτοκίνητα) οφείλονται σε κυκλική κόπωση. Ως κύκλο ορίζουμε τη διαδοχική εφαρμογή μιας τάσης εφελκυσμού και μιας ίσης τάσης συμπίεσης. Μια σειρά δοκιμών αποτελείται από δέκα περίπου δοκίμια του ίδιου υλικού. Τα δοκίμια που υποβάλλονται σε κυκλική φόρτιση, με ορισμένη τιμή μέσης



Σχ. 4-9 Τάσεις Κόπωσης

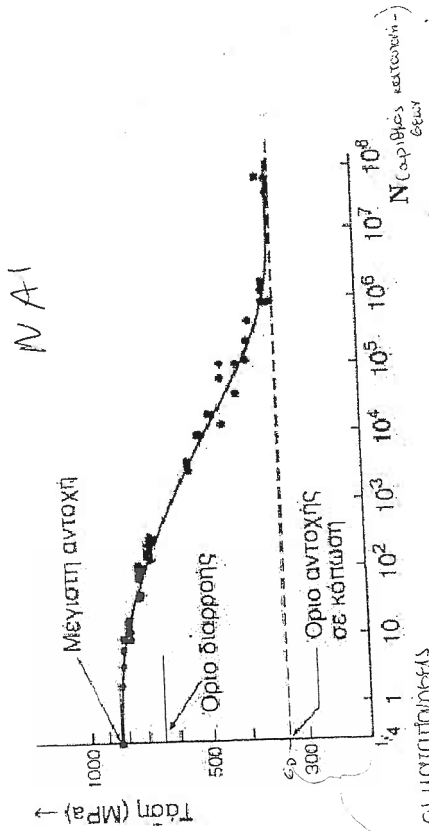
Οι τάσεις, εφελκυστικές-θλιπτικές, μεταβάλλονται στην περίπτωση αυτή περιοδικά, εναλλασσόμενες ανάμεσα στη μέγιστη τιμή σ_{max} και στην ελάχιστη σ_{min} . Οι ακραίες τιμές των τάσεων προκύπτουν από μια μέση τιμή τάσης σ_m στη οποία προσθαφαιρείται σύμφωνα με ένα περιοδικό νόμο η τάση σ_a . Η σ_m καλείται μέση τάση και η σ_a εύρος της εναλλασσόμενης τάσης. Ειδικότερα τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δοκιμών κόπωσης είναι:

- Η μέγιστη σ_{max} και η ελάχιστη σ_{min} τάση
- Το εύρος της τάσης: $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$
- Η μέση τιμή της τάσης: $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$
- Ο λόγος των τάσεων: $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$
- Η μεταβολή της τάσης: $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ ($\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a$ και $\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a$)

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά μεγέθη των επιβαλλόμενων φορτίων, όπως φαίνονται στο Σχ.4-10, οι δοκιμές κόπωσης διακρίνονται σε:

- α. Εναλλασσόμενες συμμετρικές, όταν $\sigma_m = 0$ και $R = -1$
- β. Ασύμμετρες εναλλασσόμενες, όταν $\sigma_m = \sigma_a$ και $R = 0$
- γ. Κυματοειδής, όταν $\sigma_m > \sigma_a$ και $0 < R < 1$

τάσης, συνήθως $\sigma_m = 0$ και για ορισμένη επίσης τιμή της σ_{max} δίνουν καμπύλες τις μορφής $\sigma_a = f(N)$ ή $\sigma_a = f(\log N)$.
 Μια τέτοια καμπύλη ονομάζεται καμπύλη S-N (Stress-Number of cycles) ή καμπύλη του Wohler. Το N παριστάνει τον αριθμό των εναλλαγών που απαιτούνται για τη θραύση του δοκίμιου σε δεδομένη τιμή της τάσης.



Όταν όλες οι απαιτήσεις ληφθούν υπ όψιν (ώστε από ζώνη σπασίματος σε ζώνη αντοχής) τότε θα αποτελείται ένα σύνολο δοκιμών ανεξάρτητα. Στο Σχ.4-11 δίνεται η γραφική παράσταση της καμπύλης $\sigma_a = f(N)$. Όπως προκύπτει από το Σχ.4-11 σε μια καμπύλη αντοχής σε κόπωση, που στην αρχή είναι πτωτική και στη συνέχεια γίνεται οριζόντια, διακρίνονται τρεις ζώνες:

- α. Ζώνη ολιγοκυκλικής κόπωσης, κατά την οποία η διάρκεια ζωής του δοκίμιου είναι σύντομη ($N < 10^2$ κύκλοι). Πριν τη θραύση το δοκίμιο υπόκειται σε σημαντική πλαστική παραμόρφωση.
- β. Ζώνη κόπωσης ή περιορισμένης αντοχής. Η θραύση επέρχεται μετά από έναν αριθμό κύκλων, που αυξάνεται καθώς η επιβαλλόμενη τάση ελαττώνεται ($10^2 < N < 10^6$ κύκλοι).
- γ. Ζώνη ατεριόριστης αντοχής ή ζώνη ασφαλείας. Η θραύση αποκλείεται να συμβεί, υπό το καθεστώς μικρών καταπονήσεων ακόμη και έπειτα από μεγάλο αριθμό κύκλων ($N > 10^6$ κύκλοι).

Η τιμή της τάσης που αντιστοιχεί στον οριζόντιο τμήμα της καμπύλης ονομάζεται όριο κόπωσης ή δυναμική αντοχή του υλικού σ_D και αποτελεί το σημαντικότερο μέγεθος που προσδιορίζεται από τη δοκιμή κόπωσης και που

αναφέρεται στην ασφαλή λειτουργία ενός υλικού. Είναι φανερό ότι όταν το υλικό φραγιστεί:

- 1) Μια εναλλασσόμενη τάση η οποία βρίσκεται κάτω από τη δυναμική αντοχή σ_D, τότε θα αντέξει και σε άπειρο πλήθος εναλλαγών φορτίου
- 2) Μια εναλλασσόμενη τάση, μεγαλύτερη της δυναμικής αντοχής σ_D, τότε θα σπάσει σύμφωνα με τον αριθμό των εναλλαγών N

Επιπλέον, βέβαια δεν μπορούν να εκτελεστούν πειράματα άπειρης διάρκειας, το όριο κόπωσης ορίζεται σε αναφορά με ένα ιδιαίτερο υψηλό (πεπρασμένο) αριθμό εναλλαγών μετά την ολοκλήρωση των οποίων δεν παρατηρείται αστοχία του υλικού. Ο αριθμός αυτός ορίζεται από τις Γερμανικές προδιαγραφές ως $N = 100 \cdot 10^6$ εναλλαγές για το αλουμίνιο, και $N = 10 \cdot 10^6$ εναλλαγές για το χάλυβα.

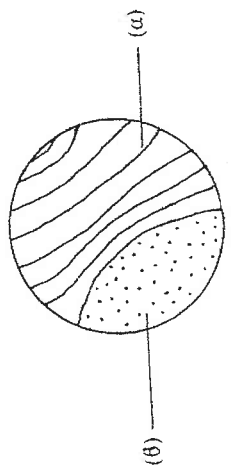
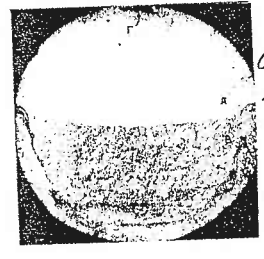
Το όριο αντοχής σε κόπωση δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί για όλα τα υλικά όπως π.χ. στους ωστενιτικούς χάλυβες και τα περισσότερα μη σιδηρούχα κράματα. Για τα υλικά αυτά ορίζεται ένα όριο κόπωσης για δεδομένο αριθμό κύκλων. Συνήθως προσδιορίζεται, συμβατικά, ένα όριο κόπωσης που αντιστοιχεί σε $10^6, 10^7$ ή 10^8 κύκλους.

Η συμπεριφορά των διαφόρων υλικών κάτω από συνθήκες κυκλικής κόπωσης εξαρτάται από ένα σωρό παράγοντες, όπως ο τρόπος παραμόρφωσης, το πλάτος της παραμόρφωσης, η μέση τιμή της τάσης, το είδος της κρουσταλλικής δομής (προσανατολισμός και μέγεθος κρυσταλλιδίων), η συχνότητα των κυκλικών μεταβολών, η προηγούμενη κτηριακία, η κατάσταση της επιφανείας, η θερμοκρασία, το διαβρωτικό περιβάλλον κλπ. Επειδή είναι φανερό πως είναι αδύνατο κάθε προστάθεια να πάρει όλους αυτούς τους παράγοντες υπόψη σήμερα η έρευνα στρέφεται στο να μελετήσει την επίδραση ορισμένων παραγόντων, υποθέτοντας πως μπορούν να απομονωθούν από τους υπόλοιπους.

• **Επιφάνεια Θραύσης**

- 1) Η επιφάνεια θραύσης ενός δοκίμιου, που υποβλήθηκε σε κόπωση υποβάλλεται από δύο εύκολα διακρινόμενες περιοχές, όπως φαίνεται στο Σχ.4-12.
- Μικροβύθια έτσι στην πράξη να αναγνωρισουμε κατά πόσο η αστοχία ενός υλικού συντελέστηκε από τάσεις κόπωσης ή από κάποια απρόβλεπτη αύξηση (πάρμα από το όριο θραύσης) της μέσης τάσης.
- Η περιμύχλη (α) της επιφανείας θραύσης (βλ. Σχ.4-12) είναι λεία, εξαιρετικά λεπτοκοκκική και γυαλιστερή. Πρόκειται για την περιοχή της θραύσης κόπωσης καθαυτή. Σύνχνα στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται οι γραμμές

(ραβδώσεις) κόπωσης σαν αποτέλεσμα του προσωρινού σταματήματος της καταπόνησης σε κόπωση (όταν η μηχανή, τα στοιχεία της οποίας καταπονούνται σε κόπωση, βρίσκονται σε στάση). Η λεία εμφάνιση της οφείλεται στην τριβή μεταξύ των επιφανειών του τεμαχίου που διαφωρίζονται προοδευτικά.
 Η περιοχή (β) προκύπτει από την ακραία θραύση του «υπόλοιπου» τμήματος της καταπονούμενης διατομής, μετά την επέκταση της ρωγμής εξαιτίας κόπωσης μέχρι ένα κρίσιμο «σημείο». Είναι επομένως τραχεία, χονδροκόκοι, με έντονα σημιάδια πλαστικής παραμόρφωσης.



Σχ. 4-12 Επιφάνεια Θραύσης εξαιτίας Κόπωσης

ΔΟΚΙΜΗ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

Ός σκληρότητα ορίζεται η αντίσταση που προβάλλει ένα μεταλλικό υλικό όταν μέσα σε αυτό διεισδύει ένα άλλο σκληρότερο σώμα (δισιδυτής). Η σκληρότητα ενός υλικού εξαρτάται από τη φύση του, τη συνοχή του, όπως και από τη μορφή του κρυσταλλικού πλέγματος του.
 Η δοκιμή σκληρότητας είναι μεγάλης σπουδαιότητας, γιατί εκτός από τον προσδιορισμό της σκληρότητας, σε ελατά μέταλλα και κράματα παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού και της αντοχής σε εφελκυσμό.

Έγουν αναγνωχθεί διάφορες μέθοδοι σκληρομέτρησης από τις οποίες οι βασικότερες είναι: η μέθοδος Brinell, η μέθοδος Vickers και η μέθοδος Rockwell.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι προσδιορισμού της σκληρότητας χρησιμοποιούν ένα κατάλληλο δισιδυτή, από διαμάντι ή χάλυβα υψηλής αντοχής, ο οποίος κατά την σκληρομέτρηση, με την εφαρμογή σταθερού φορτίου, πιέζει την επιφάνεια του υλικού, παραμορφώνεται ελαστικά ενώ δημιουργεί στο ελεγχόμενο υλικό πλαστικές παραμορφώσεις. Το πηλίκο του φορτίου, που

⇒ Πίεση πέδου ελαστική παραμόρφωση



χρησιμοποιήθηκε προς την παραμόρφωση που προκάλεσε μας δίνει ένα μέτρο σκληρότητας.

Ελεγχος Σκληρότητας κατά Brinell

Στη μέθοδο αυτή ως δεισδυτής χρησιμοποιείται σφαίρα διαμέτρου D κατασκευασμένη από χάλυβα υψηλής αντοχής (βαμμένος χάλυβας). Η σφαίρα πιέζεται ομοιά και κάθετα με φορτίο P στην επιφάνεια του δοκιμίου, που πρόκειται να ελεγχθεί, και μετρείται σε μικροσκόπιο η διάμετρος του αποτυπώματος d που παράχθηκε από την σφαίρα. Η διάρκεια της δεισδυσης είναι 15 ή 30 δευτερόλεπτα.

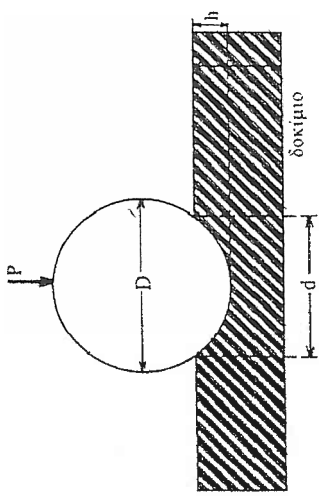
Η τιμή της σκληρότητας υπολογίζεται από το φορτίο P και την επιφάνεια του αποτυπώματος σύμφωνα με την σχέση:

$$HB = \frac{0,102 \text{ Δύναμη Δοκιμής}}{\text{Επιφάνεια Αποτυπώματος}}$$

Η τιμή της σκληρότητας κατά Brinell δίνεται συμβολικά. Ο συμβολισμός αποτιλείται από την τιμή της σκληρότητας, τα χαρακτηριστικά γράμματα HB και τις συνθήκες δοκιμής. Σε κάθε σκληρομέτρηση κατά Brinell επειδή έχουμε διάφορους συνδυασμούς δεισδυτών, φορτίων και χρόνων, που πλησιάζουν το αποτέλεσμα, πρέπει μαζί με τον αριθμό της σκληρότητας να αναφέρονται και οι συνθήκες σκληρομέτρησης με τη μορφή:

228 HB 2,5/187,5/30

που σημαίνει ότι η σκληρότητα κατά Brinell είναι 250 kp/mm² και η δοκιμή έγινε με διάμετρο σφαιρας 2,5 mm, φορτίο 187,5 kp και χρόνο 30 sec.



Σχ. 4-13 Δεισδυτής και Σχηματική Εμφάνιση Αποτυπώματος με τη Μέθοδο Brinell

48

~~XXXXXX~~
OXI

Η μέθοδος Brinell είναι ακριβής και απαιτεί πολύ καλή μηχανική λείανση του δοκιμίου για να γίνει δυνατή η μικροσκοπική εξέταση του αποτυπώματος. Προσφέρεται για υλικά με μικρότερη σκληρότητα από την σκληρότητα του διεσδυτή. Επίσης προσφέρεται και για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό του ελεγχόμενου υλικού.

• Έλεγχος Σκληρότητας κατά Vickers

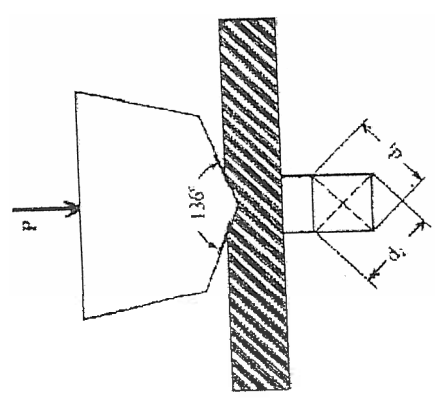
Στη μέθοδο αυτή ως διεσδυτής χρησιμοποιείται η κορυφή μιας πυραμίδας από διαμάντι (το σκληρότερο των υλικών). Ο διεσδυτής πιέζεται ομαλά και κάθετα με φορτίο P στην επιφάνεια του δοκιμίου, που πρόκειται να ελεγχθεί, και μετριέται σε μικροσκόπιο η διαγώνιος του αποτυπώματος d που παράχθηκε από το διεσδυτή. Η διάρκεια της διεσδυσης είναι 15 ή 30 δευτερόλεπτα.

Η τιμή της σκληρότητας υπολογίζεται από το φορτίο P και την διαγώνιο του αποτυπώματος σύμφωνα με την σχέση:

$$HV = \frac{1,854 \text{ Δύναμη Δοκιμής}}{d^2}$$

~~XXXXXX~~
OXI

Η τιμή της σκληρότητας κατά Vickers δίνεται συμβολικά. Ο συμβολισμός αποτελείται από την τιμή της σκληρότητας, τα χαρακτηριστικά γράμματα HV και τις συνθήκες δοκιμής. Σε κάθε σκληρομέτρηση κατά Vickers επειδή έχουμε διάφορους συνδυασμούς φορτίων και χρόνων, που επηρεάζουν το αποτέλεσμα, πρέπει μαζί με τον αριθμό της σκληρότητας να αναφέρονται και



Σχ. 4-14 Διεσδυτής και Σχηματική Εμφάνιση Αποτυπώματος με την Μέθοδο Vickers

49

~~XXXXXX~~
OXI

Ο συνήθικος σκληρομέτρησης με τη μορφή:

210 HV 50/30

που σημαίνει ότι η σκληρότητα κατά Vickers είναι 210 kp/mm² και η δοκιμή έγινε με φορτίο 50 kp και χρόνο 30 sec.

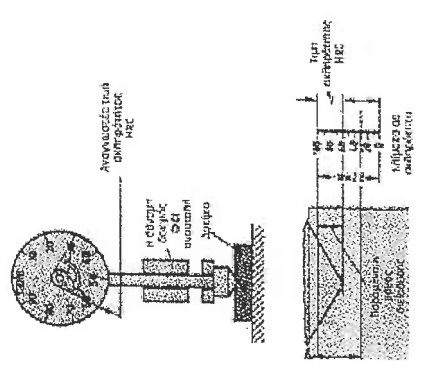
Η μέθοδος Vickers είναι ακριβής και απαιτεί πολύ καλή μηχανική λείανση του δοκιμίου για να γίνει δυνατή η μικροσκοπική εξέταση του αποτυπώματος. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό ακριβέστερη σκληρότητας πολύ χαμηλής μέχρι πολύ υψηλής και για πολύ μικρά και πολύ λεπτά δοκίμια, επειδή χρησιμοποιεί διεσδυτή από διαμάντι που δημιουργεί μικρές ουλές.

• Έλεγχος Σκληρότητας κατά Rockwell

Στη μέθοδο αυτή ως διεσδυτής χρησιμοποιείται ένας κώνος από διαμάντι για σκληρά υλικά (μέθοδος HRC) ή μια χαλύβδινη σφαίρα για μαλακά υλικά (μέθοδος HRB).

Ο διεσδυτής πιέζεται ομαλά και κάθετα με φορτίο P στην επιφάνεια του δοκιμίου που πρόκειται να ελεγχθεί για 30 δευτερόλεπτα.

Στη προηγούμενες μεθόδους προσδιορισμού της σκληρότητας, απαιτείται διόρφωση του δοκιμίου και πρέπει να γίνουν διάφορες μετρήσεις ακριβείας στο μικροσκόπιο για τον προσδιορισμό του αριθμού της αντιστοιχίας σκληρότητας. Με τη μέθοδο Rockwell αφρονται τα μηχανήματα αυτά καθώς δεν μετριέται η διάμετρος ή η διαγώνιος του



Σχ. 4-15 Μέτρηση Σκληρότητας με την Μέθοδο Rockwell

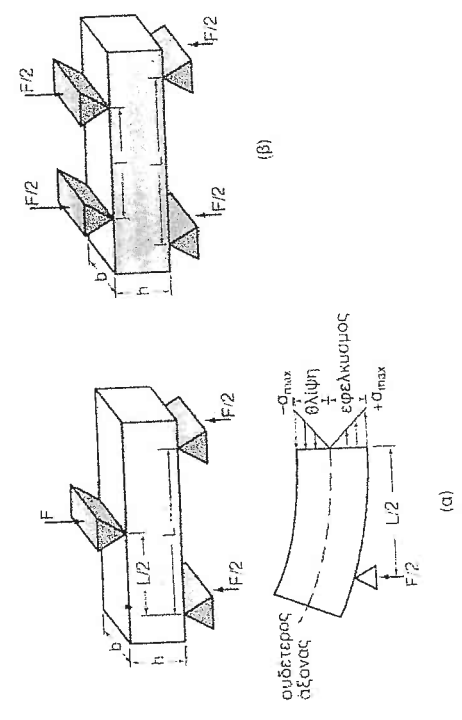
αποτομιάματος αλλά το βάθος του, το οποίο μετατρέπεται σε σκληρότητα και διαβιβάζεται κατευθείαν στις διάφορες κλίμακες, που υπάρχουν στα όργανα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αυτό. Η τιμή της σκληρότητας κατά Rockwell δίνεται συμβολικά. Ο συμβολισμός αποτελείται από την τιμή της σκληρότητας και το χαρακτηριστικό της μεθόδου που εφαρμόσθηκε π.χ.

56 HRC ή 35 HRB

Η μέθοδος Rockwell είναι ταχεία, παρέχει απευθείας την σκληρότητα χωρίς υπολογισμούς, δεν απαιτείται λείανση της ελεγχόμενης επιφάνειας και προσφέρεται για οποιαδήποτε σκληρότητα αφού μπορεί να χρησιμοποιήσει και διεισδυτή από διαμάντι.

ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ

Στο Σχ.4-16 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη για δοκιμή κάμψης τριών (α) και τεσσάρων (β) σημείων. Το τμήμα του δοκιμίου επάνω από τον άξονα της κάμψης βρίσκεται σε κατάσταση θλίψης, ενώ κάτω από αυτόν σε κατάσταση εφελκυσμού.



Σχ. 4-16 Σχηματική Παράσταση της Δοκιμής Κάμψης (α) Τριών Σημείων, (β) Τεσσάρων Σημείων

Η μέγιστη τιμή καταπόνησης, στις εξωτερικές επιφάνειες ενός δοκιμίου τετραγωνικής διατομής, δίνεται σε απόλυτη τιμή από τη σχέση:

51

$$|\sigma_{\max}| = \frac{3}{2} \left(\frac{FL}{bh^2} \right), \text{ για κάμψη τριών σημείων}$$

$$|\sigma'_{\max}| = \frac{3}{2} \left(\frac{F(L-l)}{bh^2} \right), \text{ για κάμψη τεσσάρων σημείων}$$

όπου F το επιβαλλόμενο φορτίο στο κέντρο του δοκιμίου, L και l οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων στήριξης και h το ύψος του δοκιμίου.

4.3 Μη Καταστροφικές Μέθοδοι Ελέγχου

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΦΟΘΟΡΙΖΟΝΤΑ-ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑ ΥΓΡΑ

Η μηχανική αυτή απηρξίζεται στη χρήση κατάλληλων υγρών, τα οποία χημικητηρίζονται από μεγάλη διεισδυτική ικανότητα εξαιτίας της υψηλής τιμής της επιφανειακής τους τάσης. Ένα λεπτό σχετικό στρώμα του υγρού αυτού αποτίθεται, σε πρώτο στάδιο, στην επιφάνεια του υλικού και παραμένει μέχρις ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος ώστε να παραγματοποιηθεί η διείσδυση. Έπειτα ακολουθεί η έκπλυση της επιφάνειας από το υγρό που έχει απομείνει. Στη συνέχεια προστίθεται κατάλληλη σκόνη, γνωστή ως εμφανιστής, που δρα σαν "σφουγγάρι" τριβόντας το υγρό έξω από την επιφανειακή ατέλεια και μεγεθύνοντας το ίχνος της ατέλειας πάνω στην επιφάνεια. Όταν το υγρό είναι φθορίζον, εκκρίνεται ορατό φως εκτιθέμενο σε υπεριώδη ακτινοβολία, (κάτω από κατάλληλες λυχνίες), που επιτρέπει τον προσδιορισμό των ελαττωμάτων. Είναι μια αρκετά ευαίσθητη μέθοδος για τον εντοπισμό των επιφανειακών ατελειών (π.χ. ρωγμές, πόροι) σε διάφορα υλικά μαγνητικά και μη. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση επιφανειακών ελαττωμάτων χυτών και συγκολλητών κατασκευών, καθώς επίσης και έπειτα από επιφανειακές κτεργασίες και κατεργασίες κοπής, όπως π.χ. μετά από λείανση, φρεζάρισμα κ.λπ.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

Η χρήση των ηχητικών κυμάτων επιτρέπει τον προσδιορισμό των ελαττωμάτων εντός των υλικών. Έτσι, για παράδειγμα, το κύττιμα της επιφάνειας ενός μετάλλου με ένα σφυρί, δημιουργεί κατάλληλους ήχους, των οποίων η έκταση και η συχνότητα εξαρτώνται από τα εσωτερικά ελαττώματα του υλικού (ασυνέχειες, ρωγμές, πόροι). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό εσωτερικών ατελειών, ρωγμών, πόρων, εγκλεισμάτων αλλά και επιφανειακών αστοχιών επιστρώματος/υποστρώματος.

~~XXXXXX~~

Οι σύγχρονες μέθοδοι NDT με υπερήχους, χρησιμοποιούν ηχητικά κύματα συχνότητας από 1 έως 5 MHz. Η μέθοδος είναι γρήγορη και πολύ αξιόπιστη για τον εντοπισμό εσωτερικών ατελειών κυρίως σε χυτές και συγκολλητές κατασκευές. Τα υπερηχητικά κύματα προέρχονται κυρίως από μια διάταξη πιεζοκρυστάλλων, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή, στη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντίστροφα. Όταν ένα εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο εφαρμοσθεί σε ένα τέτοιο υλικό, ο πιεζοκρυστάλλος διατείνεται κατά το πρώτο μισό της περιόδου του ρεύματος, και συστέλλεται κατά το άλλο μισό. Η διαδικασία της μηχανικής δόνησης (διαστολή-συστολή) του πιεζοκρυστάλλου, γίνεται με συχνότητα ίδια με αυτήν του ρεύματος, δημιουργώντας έτσι ένα ηχητικό κύμα. Συνεπώς, με την αλλαγή της συχνότητας του ρεύματος αλλάζει και η συχνότητα των εκπαισόμενων ηχητικών κύματος. Για τη δημιουργία τέτοιων ηχητικών κυμάτων χρησιμοποιούνται πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς από χάλκινα. Για την καλή επαφή μεταξύ της κεφαλής εκπομπής υπερήχων και του υλικού, παρεμβάλλεται φιλμ ελαίου, ενώ τα μικρά δοκίμια εμβαπτίζονται σε κατάλληλα λουτρά νερού, λαδιού ή γλυκερίνης. Κατά την εκπομπή υπερήχων μέσα στο προς εξέταση ασυνέχεια, (όπως ανακλάται κατά ένα ποσοστό όταν συναντά εσωτερικές ασυνέχειες, όπως π.χ. ρωγμές, πόρους) και έτσι το ηχητικό κύμα που φθάνει στο δέκτη και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, έχει χαμηλότερη ένταση με το κυματομορφή εξόδου από τον παλμογράφο που είναι συνδεδεμένος με το μετατροπέα-δέκτη δίνει την ένταση του σήματος σε συνάρτηση με το χρόνο. Για σταθερή ταχύτητα του κύματος μέσα στο υλικό, είναι δυνατόν να εντοπισθεί η θέση της ασυνέχειας.

✓ **ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ X** NAI

Η ραδιογραφία είναι η μέθοδος ελέγχου των υλικών με τη βοήθεια κάποιων πηγής ακτίνων-X ή ακτίνων-γ, οι οποίες εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα και έτσι επιτρέπουν την εξέταση υλικών μεγάλου σχετικά πάχους. Οι ακτίνες γ προέρχονται είτε από μια φυσική ραδιενεργή πηγή, όπως είναι αυτή του ⁶⁰Co. Η ακτινολογία γ έχει μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα από τις ακτίνες-X, αλλά η μικρότερη ευαισθησία της περιορίζει κάπως τις εφαρμογές της. Οι ακτίνες-X συγκρατημένου μήκους κύματος, παράγονται από μια κατάλληλη πηγή που περιέχει νήμα W (κάθodos) και κατάλληλο στόχο (άνοδος). Η διάταξη της δοκιμής των ακτίνων-X περιβάλλεται από τοίχωμα Pb για αποφυγή διάδοσης των ακτίνων-X στο περιβάλλον. Η ραδιοφωτογραφία είναι μια εικόνα, που προέρχεται από την πρόσπτωση των εξερχόμενων από το δοκίμιο ακτίνων-X, πάνω σε ένα φωτοευαίσθητο

53 Δ, ΑΒΑΞΝΑ

NAI

φιλμ που βρίσκεται ακριβώς πίσω από το εξεταζόμενο δοκίμιο. Οι περιοχές του δοκίμιου μεγαλύτερης πυκνότητας, απορροφούν εντονότερα τις ακτίνες X και επομένως η εξερχόμενη ακτινοβολία θα σκιαάζει λιγότερο την επιφάνεια του φιλμ σε σχέση με τις περιοχές μικρότερης πυκνότητας (π.χ. ρωγμές, πόροι, εγκλεισμάτα). Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον ποιοτικό έλεγχο χυτών, σφρημάτων και συγκολλητών κατασκευών, αλλά και για τη μέτρηση των μεταβολών του πάχους ορισμένων υλικών, καθώς επίσης και σε μελέτες διάρθρωσης.

✓ **ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ** NAI

Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ασυνεχειών (π.χ. ρωγμές, πόροι, μη μεταλλικά εγκλεισμάτα, κλπ.). Η μέθοδος μπορεί να βοηθήσει στη διάγνωση επιφανειακών ατελειών, που δεν διακρίνονται με γυμνό μάτι, καθώς και ατελειών σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια, μετά από θερμικές κατεργασίες ή συγκολλήσεις.

Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων πραγματοποιείται με διαφόρους τρόπους. Έτσι, μπορεί το υλικό που εξετάζεται αρχικά να μαγνητίζεται και κατόπιν να καλύπτεται επιφανειακά με λεπτή σκόνη σιδήρου (ασυνεχής τεχνική), ή μπορεί η μαγνήτιση και η απόθεση της μαγνητικής σκόνης, να γίνονται ταυτόχρονα (συνεχής τεχνική). Επίσης, η απόθεση της σκόνης, μπορεί να γίνει είτε με κατάλληλο βούρτσισμα, είτε με εμβάπτιση του υλικού σε αιωρήματα της σκόνης. Η πρόσφυση των σωματιδίων πάνω στο δοκίμιο γίνεται εντονότερη στις επιφανειακές ανωμαλίες και έτσι μπορούν αυτές να εντοπισθούν από το μαγνητικό φέσμα του υλικού. Μια παραλλαγή της μεθόδου αυτής είναι εκείνη που χρησιμοποιεί μαγνητικά και ταυτόχρονα φθοριστικά σωματίδια, που αποκαλύπτουν τη θέση και τη γεωμετρία των ατελειών του υλικού στο σκοτάδι ή κάτω από κατάλληλες λαχνίες υπερύφους ακτινοβολίας.

Οι επιφανειακές ατέλειες προκαλούν "διαρροή" και συγκέντρωση του μαγνητικού πεδίου, δημιουργώντας τοπικούς βόρειους και νότιους πόλους και έλκοντας τοπικά τα σωματίδια της σκόνης. Οι ατέλειες που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια προκαλούν μικρότερη έλξη ενώ αυτές που βρίσκονται σε μεγάλο σχετικά βάθος δεν μπορούν να ανιχνευθούν στα πλαίσια της παραπάνω μεθόδου.

Η μαγνήτιση του υλικού που εξετάζεται είναι είτε διαμήκης, μετακινώντας ένα ημίο, βήμα προς βήμα, κατά μήκος του άξονα του υλικού που παίζει το ρόλο του πυρήνα, είτε περιφερειακή, εφοδιάζοντας με ρεύμα το υλικό που εξετάζεται.

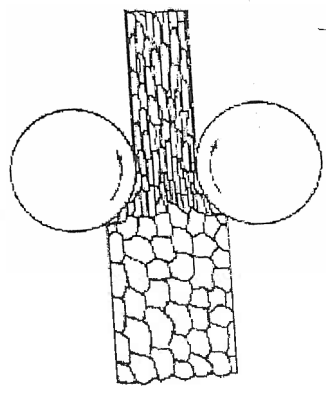
NAI SOS SOS

Πλαστική Παραμόρφωση Μετάλλων - Ανακρυστάλλωση

5-1 Εισαγωγή

Εάν πραγματοποιήσουμε πλαστική παραμόρφωση ενός μετάλλου «εν ψυχρώ» (π.χ. με σφυρηλασία, με έλαση, με εξέλαση, με κοίλανση κλπ.) στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι κόκκοι του μετάλλου παραμορφώνονται πλαστικά με επιμήκυνση κατά την διεύθυνση της κατεργασίας (βλ. Σχ.5-1).

Οι κόκκοι διλατών.



Σχ. 5-1 Παραμόρφωση των Κόκκων κατά την Πλαστική Παραμόρφωση

Η μηχανική αυτή κατεργασία προκαλεί το φαινόμενο της «σκληρίνυσης», το οποίο στην περίπτωση αυτή ονομάζεται «ενδοτράχυνση». Το μέταλλο που έχει υποστεί ενδοτράχυνση αποικτάει:

- ① Μεγαλύτερη Σκληρότητα
- ② Μεγαλύτερο Όριο Ελαστικότητας
- ③ Μικρότερη Πλαστικότητα
- ④ Μικρότερη Δυσθραυστότητα
- ⑤ Παραμένουσες Τάσεις

5-2 Παραμένουσες Τάσεις

Ως παραμένουσες τάσεις ορίζονται οι αυτοσφροσκοπούμενες τάσεις που υπάρχουν σε ένα υλικό ή σε μια κατασκευή, όταν απουσιάζουν οι εξωτερικές δυνάμεις και ροπές. Παραμένουσες τάσεις στις μεταλλικές κατασκευές

δημιουργούνται σε διάφορα στάδια κατεργασίας των υλικών π.χ. κατά τη διάρκεια της μορφοποίησης, κατά την επιφανειακή μηχανική κατεργασία, κατά τη θερμική κατεργασία και σε συγκολλήσεις.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι παραμένουσες τάσεις αναπτύσσονται είτε εξαιτίας κακής κατεργασίας, είτε εξαιτίας ανομοιομορφίας κατανομής μη ελαστικών, μόνιμων παραμορφώσεων. Σήμερα, είναι γενικά αποδεκτό ότι στην πράξη δε μπορεί να υπάρξει υλικό ή κατασκευή χωρίς παραμένουσες τάσεις.

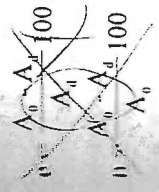
5.3 Ενδοτράχυνση

Υλικός αναφέραμε, κατά την πλαστική παραμόρφωση του μετάλλου, π.χ. με έλαση, οι κόκκοι του υλικού, ενώ διατηρούν συνεχή κρυσταλλική δομή, περιμορφώνονται, επιμηκώνονται κατά τη διεύθυνση της έλασης και προκαλούν την σκληρίνυση.

Η παραμόρφωση των κόκκων συνίσταται στην ολίσθηση ολόκληρων κρυσταλλικών επιπέδων. Οι κόκκοι, που έχουν επιμηκυνθεί κατά κοινή διεύθυνση σχηματίζουν «ιστό». Στους παραμορφωμένους κόκκους παραμένει αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια, η οποία εκδηλώνεται με την εμφάνιση εσωτερικών μηχανικών τάσεων (παραμένουσες τάσεις). Επίσης επειδή η παραμόρφωση του υλικού κατά την ενδοτράχυνση δεν είναι ομοιογενής μετά την εν ψυχρώ κατεργασία, τα διάφορα τμήματα του μετάλλου τείνουν να επανέλθουν μερικώς στον αρχικό τους σχήμα, αλλά κατά διαφορετικά ποσοστά. Αναπτύσσονται, έτσι και μεταξύ των κόκκων που ανήκουν στα διάφορα τμήματα εσωτερικές μηχανικές τάσεις.

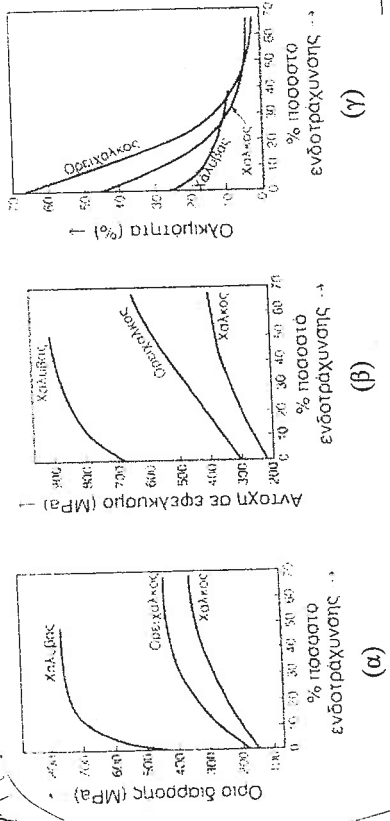
Μπορούμε λοιπόν να ορίσουμε την ενδοτράχυνση ως εν ψυχρώ, πλαστική παραμόρφωση του υλικού, που οφείλεται στην ανάπτυξη εσωτερικών μηχανικών τάσεων, οφειλομένων στην δημιουργία ιστού, από ανομοιογενώς παραμορφωμένους κόκκους.

Ο βαθμός της εν ψυχρώ πλαστικής παραμόρφωσης εκφράζεται ως % ποσοστό της ψυχρής κατεργασίας. Στην Ερώτη, χρησιμοποιείται ο όρος βαθμός ενδοτράχυνσης (θ), και στις ΗΠΑ, ο όρος συντελεστής ελάττωσης διατομής (μ), οι οποίοι ορίζονται, αντίστοιχα από τις σχέσεις:



όπου, A_0 η διατομή του υλικού πριν την παραμόρφωση και A_1 η διατομή του υλικού μετά την παραμόρφωση.

Τα σχήματα 5-2 α, β και γ παρουσιάζουν, αντίστοιχα, τη μεταβολή του ορίου διαρροής, της μέγιστης αντοχής σε εφελκυσμό και της ολκιστότητας (ως % της επιμήκυνσης) συναρτήσει του % ποσοστού της ενδοτράχυνσης για χάλυβα, ορείχαλκο και χαλκό.



Σχ. 5-2 Μεταβολή (α) του Ορίου Διαρροής, (β) της Μέγιστης Αντοχής και (γ) της Ολκιστότητας, συναρτήσει του % ποσοστού Ενδοτράχυνσης για τον Χάλυβα, Ορείχαλκο και καθαρό Χαλκό

Εάν μετά από την πλαστική παραμόρφωση εν ψυχρώ θεριάνουμε το μέταλλο σε μια σταθερή θερμοκρασία, για ένα χρονικό διάστημα, τα φαινόμενα που θα παρατηρήσουμε θα είναι διαφορετικά αν η θερμοκρασία αυτή είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη μιας χαρακτηριστικής θερμοκρασίας του μέταλλου που ονομάζεται θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης.

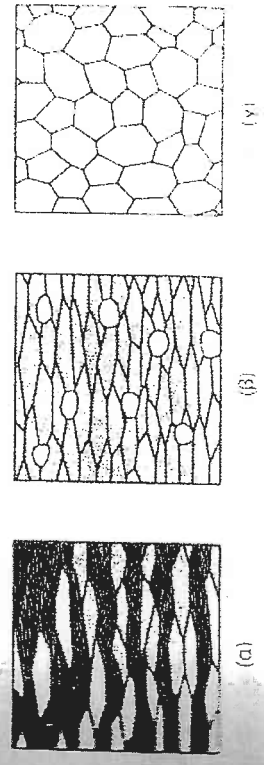
5-4 Ανακρυστάλλωση-Ανόπτηση Ανακρυστάλλωσης

Η ανόπτηση ανακρυστάλλωσης πραγματοποιείται μετά από πλαστική παραμόρφωση (ενδοτράχυνση) σε θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από τη λεγόμενη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης. Κατά την διάρκεια της θέρμανσης, εμφανίζονται αρχικά μικροσκοπικοί κρυστάλλοι «φύτρα» διαφορετικού προσανατολισμού, κυρίως στα όρια των κόκκων, τα οποία αναπτύσσονται μέχρις ότου ολοκληρωθεί ο αρχικός ιστός του μέταλλου, να αντικατασταθεί από ένα νέο, αποτελούμενο από μη κοινά προσανατολισμένους και απαρμόρφωτους κόκκους, της ίδιας περίπου διαμέτρου. Η ανόπτηση ανακρυστάλλωσης περατώνεται τη στιγμή της «συνάντησης» των ορίων των κόκκων του νέου ιστού.

ΣΟΣ

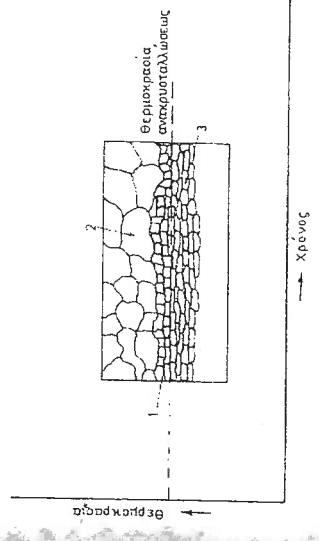
ΝΑΙ ΚΑΙ

Όταν υλειώσει η θέρμανση και το μέταλλο απογίνει ήρεμα στον αέρα, από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι νέοι κρυσταλλίτες, που δημιουργήθηκαν κατά την θέρμανση, είναι εντελώς ανεξάρτητοι από τους παλαιούς και απαλλαγμένοι από τις εσωτερικές τάσεις και την «ενδεσφραφή». Το μέταλλο είναι λεπτόκοκκο και έχει τις παλαιές του μηχανικές ιδιότητες δηλαδή, η ανόπτηση ανακρυστάλλωσης προκαλεί την πλήρη επαναφορά των διαφόρων ιδιοτήτων του μέταλλου, που είχαν αλλάξει εξαιτίας της ενδοτράχυνσης, στις κανονικές τους τιμές.



Σχ. 5-3 Σχηματική Αναπαράσταση της Ανακρυστάλλωσης (α) Κρυσταλλίτες του Μετάλλου σε Κατάσταση Σκλήρυνσης, (β) Σχηματισμός Φύτρων νέων Κόκκων (γ) Νέοι Κόκκοι μετά από Ανόπτηση Ανακρυστάλλωσης

Αντίθετα όταν η ανακρυστάλλωση τελειώσει σε θερμοκρασία αρκετά μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης το μέταλλο είναι χυρόκοκκο και έχει όλα τα μειονεκτήματα της δομής αυτής από την άποψη των μηχανικών ιδιοτήτων όπως φαίνεται στο Σχ.5-4.



Σχ. 5-4 Επίδραση της Θερμοκρασίας Ανακρυστάλλωσης στην Κρυσταλλική Δομή

ΜΟΝΟ ΑΣΤΟ ΤΩΝ ΣΕΛΙΔΩΝ

Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο ή κράμα. Ως θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης ορίζεται η θερμοκρασία εκείνη στην οποία η διεργασία συμπληρώνεται σε μια ώρα. Όμως πρέπει να αναφέρουμε ότι ο ορισμός έχει ακόμα ως παράμετρο και το ποσοστό της πλαστικής παραμόρφωσης (ενδοτράχυνσης).
 Η ανακρυστάλλωση διεπεται από τους παρακάτω νόμους:

- Η ανακρυστάλλωση δεν συμβαίνει παρά μετά από κάποια προηγηθείσα ελάχιστη παραμόρφωση (ενδοτράχυνση), η οποία καλείται κρίσιμη παραμόρφωση

Όσο μικρότερη είναι η παραμόρφωση, τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης

Για την ίδια παραμόρφωση, η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι τόσο χαμηλότερη, όσο ο χρόνος της ανόπτησης ανακρυστάλλωσης είναι μεγαλύτερος

Το μέγεθος των κόκκων μετά την ανακρυστάλλωση μειώνεται, με την αύξηση του ποσοστού παραμόρφωσης, ή τη μείωση της θερμοκρασίας

Όσο μεγαλύτερο είναι το αρχικό μέγεθος των κόκκων, τόσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη παραμόρφωση για την επίτευξη της ανακρυστάλλωσης, σε δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου

Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι τόσο χαμηλότερη, όσο η καθαρότητα του μετάλλου είναι μεγαλύτερη. Και αυτό διότι τα άτομα των προσμίξεων βρίσκονται στα όρια των κόκκων, τα οποία αποτελούν τους τόπους εμφάνισης των φύτερων κρυστάλλωσης, παρεμποδίζοντας έτσι το σχηματισμό νέων κόκκων. Διαφορετικές προσμίξεις προκαλούν διαφορετικές μεταβολές θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης. Τα στοιχεία κραμάτωσης, προκαλούν σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης. Ενώ για καθαρά μέταλλα, η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι ~0,3 της θερμοκρασίας τήξης, για μερικά ανακρυστάλλωσις είναι ~0,7 της θερμοκρασίας τήξης και το ~0,7 της θερμοκρασίας τήξης.

5-5 Ανόπτηση Αποκατάστασης

Η ανόπτηση αποκατάστασης πραγματοποιείται μετά από πλαστική παραμόρφωση (ενδοτράχυνση) σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης.

Κατά την ανόπτηση αποκατάστασης, ορισμένες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων που είχαν αλλάξει με την ενδοτράχυνση «αποκαθίστανται» σχεδόν στις αρχικές του τιμές/ χωρίς όμως να γίνει καμιά ουσιαστική αλλαγή στην κρυσταλλική δομή του μετάλλου.
 Πάντως, ο βαθμός αποκατάστασης των διαφόρων ιδιοτήτων, σε δεδομένη θερμοκρασία εξαρτάται από:

Τη διάρκεια παραμονής στη δεδομένη θερμοκρασία

Την έκταση της προηγηθείσας πλαστικής παραμόρφωσης

Το αρχικό μέγεθος των κόκκων
 όσο πιο μικρό θερμοκρασία τόσο

Η ταχύτητα της αποκατάστασης είναι άξουσα συναρτήσεως της θερμοκρασίας, και μειώνεται συνεχώς συναρτήσεως του χρόνου.

Η θερμική καταργασία που εφαρμόζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, χαμηλότερες της ανόπτησης αποκατάστασης, προκειμένου να εξαλείψει τις παραμένοντες τάσεις που προκλήθηκαν από προηγούμενες καταργασίες, όπως για παράδειγμα οι καταργασίες πλαστικής παραμόρφωσης, οι συγκολλησεις κλπ. ονομάζεται αποστατική ανόπτηση.

Στην αποστατική ανόπτηση και γενικότερα στις θερμικές καταργασίες θα αναφερθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

6 Ανακρυστάλλωση-Πλαστική Παραμόρφωση «Εν Θερμώ»

Μέχρι τώρα εξετάσαμε την πλαστική παραμόρφωση ενός μεταλλικού υλικού «εν ψυχρώ» δηλαδή, την πλαστική παραμόρφωση του σε θερμοκρασίες του περιβάλλοντος και ακριβέστερα σε θερμοκρασίες μικρότερες από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης.

Στην περίπτωση που η πλαστική παραμόρφωση ενός μετάλλου ή κράματος πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του, δηλαδή «εν θερμώ», η ενδοτράχυνση που δημιουργείται εξαλείφεται σχεδόν συγχρόνως εξαιτίας της ανόπτησης ανακρυστάλλωσης, που γίνεται σχεδόν ταυτόχρονα με την πλαστική παραμόρφωση. Με αυτόν τον τρόπο το μέταλλο διατηρείται μαλακό τόσο κατά την μηχανική καταργασία όσο και μετά από αυτήν και η πλαστική παραμόρφωση μπορεί να συνεχισθεί με πολύ μεγάλη ελάττωση της διατομής. Αντίθετα όταν η καταργασία γίνεται «εν ψυχρώ» εμφανίζεται ενδοτράχυνση.

Θερμικές Κατεργασίες Ανθρακούχων Χαλύβων

6-1 Εισαγωγή

Θερμική κατεργασία ενός μετάλλου ή ενός κράματος, ονομάζουμε συνδυασμό θέρμανσης και απόψυξης, 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.

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 στους μετασχηματισμούς της κρυσταλλικής δομής του σιδήρου (α-Fe, γ-Fe), οι οποίοι γίνονται στη στερεά κατάσταση.

Η εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών των ανθρακούχων χάλυβων έχει εξαιρετική σημασία. Είναι δυνατό ένα τεμάχιο χάλυβα με σταθερή σύσταση, μετά από κατάλληλη θερμική κατεργασία ή συνδυασμό θερμικών κατεργασιών, να αποκτήσει διαφορετική κάθε φορά κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκων. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι, με τις θερμικές κατεργασίες δε μεταβάλλουμε ούτε τη μορφή του τεμαχίου ούτε τη σύστασή του, αλλά μόνο στο είδος της κρυσταλλικής του δομής.

Όπως αναφέραμε αλλά όπως θα δούμε και στη συνέχεια, οι μηχανικές ιδιότητες των χάλυβων εξαρτώνται από το είδος της κρυσταλλικής τους δομής και από το μέγεθος των κόκκων τους. Επειδή με τις θερμικές κατεργασίες μπορούμε να ρυθμίσουμε αυτά τα δύο, συνεπάγεται ότι μπορούμε να πετύχουμε τις βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε. Στο κεφάλαιο των Μηχανικών Ιδιοτήτων είδαμε ότι η αύξηση της μέγιστης αντοχής και του ορίου ελαστικότητας συνοδεύεται από μια ελάττωση της δυσβραυστότητας και της ολκιμότητας. Είναι κατά συνέπεια αναγκαίο, να βρεθεί ένας αποδεκτός συνδυασμός των τιμών των ιδιοτήτων αυτών, εάν θέλουμε να βελτιώσουμε τις μηχανικές ιδιότητες των χάλυβων με την εφαρμογή των θερμικών κατεργασιών.

Κατά την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών οι παράγοντες, που συμβάλλουν στην τελική μορφή της κρυσταλλικής δομής ενός χάλυβα είναι: $A_{\text{πυ}}$, $\tau_{\text{πυ}}$ θα εξετασθεί ο χρόνος.

(-) Η ανώτατη θερμοκρασία στην οποία θερμαίνεται ο χάλυβας

(-) Ο χρόνος παραμονής του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία

Η ταχύτητα απόψυξης του χάλυβα δηλαδή, την ταχύτητα διέλευσης από την αρχική θερμοκρασία στην τελική θερμοκρασία, που καθορίζεται από το μέσον που χρησιμοποιούμε για την ψύξη του

Οι σπουδαιότερες θερμικές κατεργασίες, που χρησιμοποιούμε, εντός της μιάζας των χάλυβων, με σκοπό την αποτελεσματική βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων, είναι οι εξής:

- Πλήρης Ανόπτηση ή Ανόπτηση
- Ανόπτηση για Εξομάλυνση ή Εξομάλυνση
- Ανόπτηση για Ανακρυστάλλωση
- Ανόπτηση Αποκατάστασης
- Αποτατική Ανόπτηση
- Ανόπτηση για Σφαιροποίηση του Σεμεντίτη
- Βαφή
- Κλιμακωτή Βαφή
- Παναφορά μετά από Βαφή

Εκτός από τα παραπάνω είδη ανόπτησης, ανάλογα με τις κατεργασίες που έχουν προηγηθεί μπορεί να εφαρμοσθούν και άλλα είδη ανόπτησης, τα οποία εξαρτώνται από τις μικροδομίες των κατεργασμένων χάλυβων και τις επιθυμητές μηχανικές ή άλλες ιδιότητες, που επιβάλλονται από συγκεκριμένες μηχανολογικές εφαρμογές.

Επισης, στις θερμικές κατεργασίες συμπεριλαμβάνονται και οι επιφανειακές κατεργασίες κατάλληλων χάλυβων με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Οι κατεργασίες αυτές είναι η ενανθράκωση, η εναζώτωση και η φλογοβαφή, που δίνουν μεγάλη σκληρότητα στην επιφανειακή στιβάδα.

6-2 Κρίσιμες Θερμοκρασίες Θέρμανσης των Χαλύβων

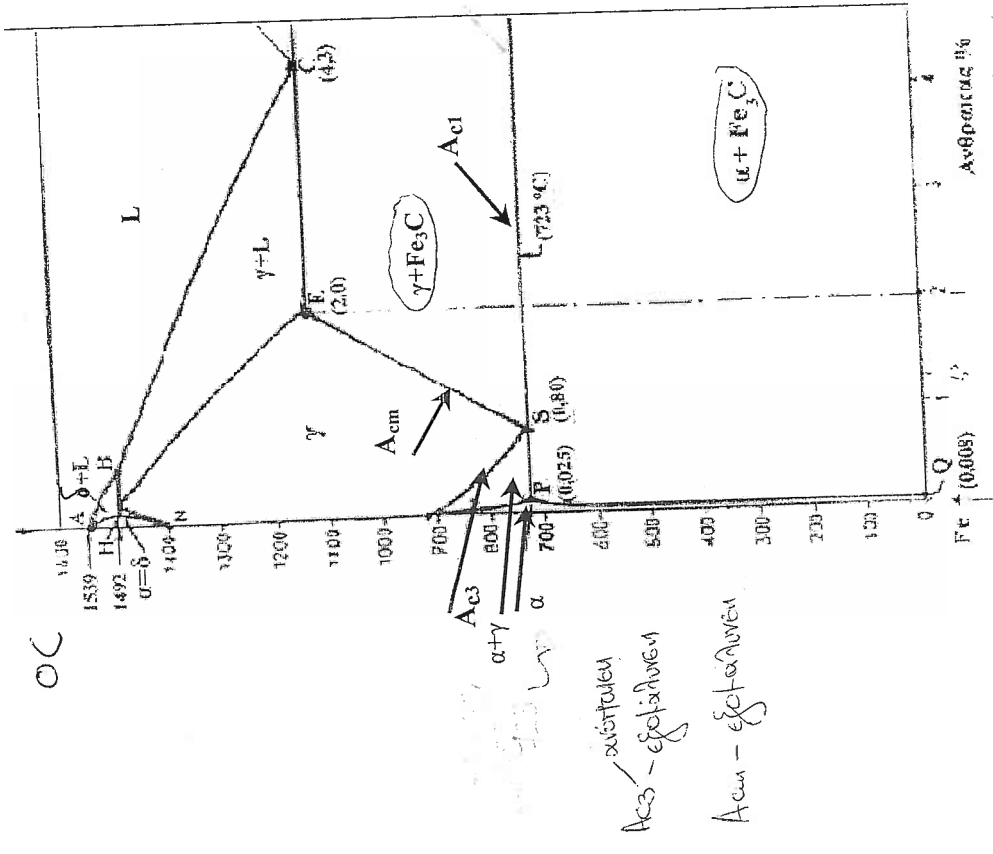
(1) χάλυβες υποβάλλονται σε πολλών ειδών θερμικές κατεργασίες προκειμένου να βελτιώσουμε τις ιδιότητες τους.

Πο Σχ.6-1, φαίνεται μέρος του διαγράμματος ισορροπίας των φάσεων Fe-Fe₃C (περιοχή ανθρακούχων χάλυβων) και σε αυτό παρουσιάζονται οι καμπύλες των κρίσιμων θερμοκρασιών θέρμανσης (A_{c1} , A_{c2} και A_{cm}), που είναι αναγκαίες για τον υπολογισμό των θερμοκρασιών θέρμανσης των ανθρακούχων χάλυβων, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, στις θερμικές κατεργασίες ανόπτησης, εξομάλυνσης και βαφής.

Η οριζόντια γραμμή του Σχ.6-1, η καμπύλη A_{c1} οριοθετεί τη χαμηλότερη κρίσιμη θερμοκρασία (723 °C), κάτω από την οποία, σε κατάσταση ισορροπίας όλος ο ωστενίτης έχει μετασχηματισθεί σε φερρίτη και ~~μαρτυρίδα~~

(2) θερμικός A_{c3} και A_{cm} παριστάνουν τα όρια της υψηλότερης κρίσιμης

θερμοκρασίας για τους χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μικρότερη ή μεγαλύτερη από 0,8% αντίστοιχα, επάνω από την οποία υπάρχει μόνο η οστενιτική φάση.



Σχ. 6-1 Περιοχή των Χαλύβων, του Διαγράμματος Ισορροπίας των Φάσεων Fe-Fe₃C. Κομπόλες των Κρίσιμων Θερμοκρασιών Θέρμανσης των Ανθρακούχων Χαλύβων (Ac₁, Ac₃ και A_{cm})

6-3 Πλήρης Ανόπτηση ή Ανόπτηση

Η ανόπτηση έχει σκοπό να επαναφέρει τον χάλυβα στην περίπου φυσιολογική του κατάσταση, η οποία έχει αλλάξει εξαιτίας μηχανικών ή θερμικών καταργασιών (πλαστική παραμόρφωση, βαφή κλπ.) ή άλλων λόγων (χρύτευση, υπερθέρμανση, συγκόλληση κλπ.) Εφαρμόζεται στους χάλυβες χαμηλής μέχρι μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα. Η ανόπτηση συνίσταται:

- Στην θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία υψηλότερη κατά 50 °C από την κρίσιμη θερμοκρασία Ac₃ ή Ac₁ ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα. Ο λόγος είναι να γίνει γ.
- Στην παραμονή του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία και να ολοκληρωθεί η ωστενιτοποίηση του.
- Στην ήρεμη απόψυξη του μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος, συνήθως μέσα στον κλίβανο θέρμανσης, του οποίου η ταχύτητα απόψυξης είναι περίπου 20 °C/ώρα.

Η ανόπτηση δίνει στο χάλυβα τη φυσιολογική του κατάσταση υπό τον όρο κατά την διάρκεια των μηχανικών ή θερμικών καταργασιών να μην έχει συμβεί κανένα σπάγμα, όπως θα αναφέρουμε παρακάτω. Έτσι μπορούμε σε ένα χάλυβα να βελτιώσουμε την καταργασιμότητα του ή να τον απαλλάξουμε από τις τυχόν εσωτερικές τάσεις και με αυτόν τον τρόπο, να τον επαναφέρουμε στη φυσιολογική του κατάσταση δηλαδή, όπως τον παίρνουμε με ήρεμη απόψυξη από τη ρευστή του κατάσταση. Ο χάλυβας με την απόκτηση της καλής καταργασιμότητας είναι δυνατό να υποβληθεί, στη συνέχεια σε καταργασίες διαμόρφωσης ή κοπής. Επίσης με την ανόπτηση μπορούμε να ομοιογενοποιήσουμε την μικροδομή των χυτοχάλυβων και να βελτιώσουμε τις μηχανικές τους ιδιότητες και ιδιαίτερα να αυξήσουμε την δυσθραυστότητα τους. Συγκεκριμένα, στους χυτοχάλυβες, επειδή η βραδεία απόψυξη στο κέντρο δίνει χονδροκοκκοί μικροδομή, μειωμένων μηχανικών ιδιοτήτων, ενώ η σχετική ταχεία πύξη στην επιφάνεια δίνει λεπτοκοκκοί μικροδομή, με την ανόπτηση πετυχαίνουμε την ομοιογενοποίηση της κρυσταλλικής δομής, που βελτιώνει την μηχανική αντοχή και αυξάνει την δυσθραυστότητα.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

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

65
 ΝΑΙ ΚΝ
 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΥΟΠΤΗΣΗΣ
 Η απότομη θέρμανση προκαλεί ταχεία διαστολή της επιφάνειας του τεμαχίου, ιδιαίτερα σε τεμάχια που έχουν μεγάλη διατομή, ενώ ο πυρήνας του τεμαχίου εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας, διαστέλλεται λιγότερο. Η μεγάλη αυτή διαφορά διαστολής, προκαλεί την ανάπτυξη ισχυρών εσωτερικών τάσεων, που μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τη στρέβλωση του τεμαχίου ή ακόμα και τη θραύση του. Επομένως, πρέπει η ταχύτητα θέρμανσης να είναι χαμηλή, κυρίως όταν θερμαίνουμε τεμάχια μετά από μαρτυνητική βραφή (βλ. 6-9). Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η προθέρμανση για να αποφύγουμε τις στρεβλώσεις και τις ρωγμές.

Ο χρόνος θέρμανσης πρέπει να είναι τόσοσ, όσοσ χρειάζεται για να αποκτήσει το τεμάχιο του χάλυβα ομοιόμορφη θερμοκρασία σε όλη του τη μάζα, καθώς επίσης και κρυσταλλική δομή οστενίτη. Τεμάχια με μικρή διατομή χρειάζονται να θερμανθούν μέχρι τη θερμοκρασία ανόπτησης μόνο μερικά λεπτά, ενώ τεμάχια με μεγάλη διατομή συνήθως θερμαίνονται για αρκετές ώρες. Υπολογίζεται ότι αρκούν 25-30 min για κάθε 10 mm πάχους διατομής.

Κατά τη θέρμανση τεμαχίων από χάλυβα σε υψηλή θερμοκρασία στον ατμοσφαιρικό αέρα, η επιφάνειά τους οξειδώνεται (σχηματίζεται σκουριά) γρήγορα με άσχημα αποτελέσματα για τη 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
- Χρησιμοποιώντας κλιβανο λουτρού τηγμένων αλάτων, όπου τα τεμάχια προφυλάσσονται τελείως από την επίδραση της ατμόσφαιρας

Κατά τη θέρμανση των τεμαχίων από χάλυβα σε υψηλή θερμοκρασία στον ατμοσφαιρικό αέρα, 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 του. 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 ως φερρίτης.

Αν τα τεμάχια που είναι για ανόπτηση θερμανθούν σε θερμοκρασία ανώτερη από τη θερμοκρασία ανόπτησης, όπως την έχουμε ορίσει, τότε ο ιστός τους γίνεται χονδροκόκκος και επομένως εύθραυστος και μάλλον τόσο περισσότερο, όσο η θερμοκρασία αυτή είναι υψηλότερη και ο χρόνος παραμονής τους σε αυτή τη θερμοκρασία μεγαλύτερος. Τότε λέμε ότι ο χάλυβας υπερθερμαίνεται. Τα αποτελέσματα της υπερθέρμανσης εξοφανίζονται με τη θερμική κατεργασία της αναγεννήσεως των κόκκων.

Η θέρμανση τεμαχίων από χάλυβα σε θερμοκρασία πολύ ανώτερη από τη θερμοκρασία ανόπτησης, π.χ. στους 1300°C και η παραμονή τους σε 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.

6-4 Ανόπτηση για Εξομάλυνση ή Εξομάλυνση Χ (ΚΕΤΟΣ) (CENUS)

Ο κύριος σκοπός της εξομάλυνσης είναι να δημιουργηθεί μια ομοιόμορφη φερριτοπεριλυτική δομή από μικρούς κρυσταλλίτες σε ένα χάλυβα, που για κάποιο λόγο έχει γίνει χονδροκόκκος, με σκοπό να αυξηθεί η σκληρότητα και να βελτιωθούν οι μηχανικές του ιδιότητες. Επίσης αφαιρεί από τον χάλυβα και τις παραμένουσες εσωτερικές τάσεις. Η εξομάλυνση συνίσταται:

Στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία υψηλότερη κατά 50 °C από την κρίσιμη θερμοκρασία A_{c3} ή A_{cm} , ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα. Κατά την θέρμανση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι τεχνικές παρατηρήσεις, που αναφέρθηκαν στην θερμική κατεργασία της ανόπτησης, για την αποφυγή ατυχημάτων

Στην παραμονή του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία

Στην ήρεμη αργή απόψυξη του μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος, έξω από τον κλιβανο, στον αέρα

Κατά την εξομάλυνση οι χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μικρότερη από 0,8% μετατρέπονται σε λεπτόκοκκο οστενίτη, που με την σείρα του, κατά την ψύξη, δημιουργεί λεπτόκοκκοι κρυσταλλική δομή που αποτελείται

από φερρίτη και περλίτη με λεπτές λουρίδες. Στους χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη από 0,8% η εξομάλυνση δημιουργεί λεπτόκοκκοι κρυσταλλική δομή με καλύτερη διασπορά του σεμεντίτη.

Η κύρια βιομηχανική εφαρμογή της εξομάλυνσης είναι η εκλέπτυνση των κόκκων αντικειμένων από γυτοχάλυβα, ή από τυχόν υπερθερμαινθέντα χάλυβα, από χάλυβα, δηλαδή ο οποίος κατά το στάδιο της ωστενιτοποίησης, υπέστη υπερβολική αύξηση του μεγέθους των ωστενιτικών κόκκων, εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας.

N/A 1/1

6-5 Ανόπτιση για Ανακρυστάλλωση

Η ανόπτιση ανακρυστάλλωσης εφαρμόζεται στους «εν ψυχρώ» παραμορφωμένους χάλυβες, προκειμένου να εξαλειφθεί η δομή της ενδοτρέχουσας (βλ. Κεφ. 5) και να καταστεί δυνατή η περαιτέρω καταργασία μορφοποίησής τους.

Η ανόπτιση ανακρυστάλλωσης συνίσταται:

- Στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία λίγο ανώτερη από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του, εντός της φερριτικής περιοχής, στους 600-700 °C
- Στην παραμονή του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία για όσο χρόνο απαιτείται για να γίνουν οι αλλαγές που απαιτούνται στην κρυσταλλική του δομή
- Στην ήρεμη απόψυξη του, μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος, στον αέρα

6-6 Ανόπτιση Αποκατάστασης

Η ανόπτιση αποκατάστασης εφαρμόζεται, όπως και η ανόπτιση ανακρυστάλλωσης στους «εν ψυχρώ» παραμορφωμένους χάλυβες, προκειμένου να εξαλειφθούν μερικές οι επιπτώσεις της ενδοτρέχουσας στις μηχανικές τους ιδιότητες και οι σωτερικές τάσεις και με τον τρόπο αυτό να καταστεί δυνατή η περαιτέρω καταργασία μορφοποίησής τους. Η ανόπτιση αποκατάστασης εκτελείται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του χάλυβα, στους 450-600 °C.

6-7 Αποστατική Ανόπτιση

Η αποστατική ανόπτιση εφαρμόζεται για την μείωση ή τέλεια εξάλειψη των εσωτερικών μηχανικών τάσεων που έχουν συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια

των μηχανικών καταργασιών π.χ. πλαστική παραμόρφωση, τόνρευση με μεγάλο βάθος κοπής, συγκόλληση, χύτευση κλπ.
Η αποστατική ανόπτιση συνίσταται:

- Στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία, εντός της φερριτικής περιοχής, στους 580-650 °C
- Στην παραμονή του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία
- Στην ήρεμη απόψυξη του, μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος, στον αέρα

6-8 Ανόπτιση για Σφαιροποίηση του Σεμεντίτη

Η ανόπτιση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη εφαρμόζεται στους χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα προκειμένου να βελτιωθεί η καταργασιμότητα τους. Με την θερμική αυτή καταργασία ο πλακοειδής σεμεντίτης μετατρέπεται σε σφαιροειδή (κόκκους). Η κρυσταλλική αυτή δομή δίνει στο χάλυβα καλή καταργασιμότητα και καλή επίσης πλαστικότητα και διευκολύνει την μηχανική τους καταργασία με κοπή.

Η ανόπτιση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη συνίσταται:

- Στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία, εντός της φερριτικής περιοχής, στους 650-700 °C
- Στην παραμονή του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία για αρκετό χρονικό διάστημα (2-3 ώρες)
- Στην ήρεμη απόψυξη του, μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος, μέσα στον κλίβανο θέρμανσης

6-9 Βαφή

Η βαφή είναι μια θερμική καταργασία που πραγματοποιείται με ταχύτατη απόψυξη. Με την θερμική αυτή καταργασία οι χάλυβες γίνονται σκληροί και ανθεκτικοί σε φθορά.

Η βαφή συνίσταται:

Στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία υψηλότερη κατά 50 °C από την κρίσιμη θερμοκρασία A_{c3} ή A_{c1}, ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα. Κατά την θέρμανση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι

ΒΑΦΗ

τεχνικές παρατηρήσεις, που αναφέρθηκαν στην θερμική καταγραφή της ανόπτησης για την αποφυγή ατυχημάτων

- Στην παραμονή του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία και να ολοκληρωθεί η ωστενιτοποίηση του
- Στη γρήγορη απόψυξη του μέσα σε λουτρό π.χ. νερό, λάδι

Κατά τις προηγούμενες θερμικές καταγραφές οι διεργασίες απόψυξης ήταν με πολύ αργούς ρυθμούς και έτσι επέτρεπαν να σχηματίζονται οι φάσεις ισορροπίας (φερρίτης και σεμεντιτίς) όπως αυτές προβλέπονται από το διάγραμμα ισορροπίας των φάσεων Fe-Fe₃C. Στην γρήγορη ψύξη δεν υπάρχει αυτός ο χρόνος μια και το υλικό περνάει πολύ γρήγορα από τις ενδιάμεσες θερμοκρασίες. Έτσι, αν ψύξουμε τον ωστενίτη πάρα πολύ γρήγορα, το προϊόν που θα πάρουμε δε θα έχει καμία σχέση με τις φάσεις ισορροπίας που συναντήσαμε μέχρι τώρα. Η νέα φάση που σχηματίζεται από την γρήγορη απόψυξη ονομάζεται μαρτενσίτης.
 Av ↓ λιγότερο ωστενίτης → φερρίτης
 Av ↓ λιγότερα γ-Fe → μαρτενσίτης

MARTENSITΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Ο μαρτενσιτικός μετασχηματισμός εκδηλώνεται κατά την απόψυξη του ωστενίτη, με την πρακτικά ακαριαία και έντονη εμφάνιση της νέας μαρτενσιτικής φάσης, από μια θερμοκρασία και κάτω, που ονομάζεται θερμοκρασία έναρξης του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού, Ms (martensite start). Η μαρτενσιτική φάση σχηματίζεται αμέσως μόλις αποκτηθεί αυτή η θερμοκρασία και προκειμένου να συνεχισθεί ο μετασχηματισμός θα πρέπει να ελαττωθεί ξανά η θερμοκρασία. Το ποσοστό του μετασχηματισμού είναι συνάρτηση της μείωσης της θερμοκρασίας και ολοκληρώνεται στην θερμοκρασία που ονομάζεται θερμοκρασία τέλους του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού, Mf (martensite finish).

Ο σχηματισμός του μαρτενίτη οφείλεται στο ότι κατά την απότομη απόψυξη όταν ο ωστενίτης (γ-Fe+C) μετασχηματίζεται σε φερρίτη (α-Fe+C), ο άνθρακας που βρίσκεται στο πλέγμα του ωστενίτη αν και θέλει να εγκαταλείψει το πλέγμα του φερρίτη, αφού δεν έχει την απαιτούμενη διαλυτότητα (μέγιστη διαλυτότητα του άνθρακα στον α-Fe 0,025%), δεν μπορεί και αναγκαστικά παραμένει κλεισμένος μέσα στον φερρίτη. Ο πλεόν ανθρακας στρεβλώνει το κρυσταλλικό πλέγμα του φερρίτη (χωροκεντρωμένο κυβικό) και δημιουργεί το κρυσταλλικό πλέγμα του μαρτενίτη (χωροκεντρωμένο τετραγωνικό). Ταυτόχρονα, επειδή οι διαστάσεις του κρυσταλλικού πλέγματος του μαρτενίτη είναι μεγαλύτερες, η

NAI KN

στρέβλωση του κρυσταλλικού πλέγματος του φερρίτη δημιουργεί εσωτερικές τάσεις και αυξάνει τον όγκο του τεμαχίου.
 Ο μαρτενσιτικός χάλυβας έχει μεγάλη σκληρότητα, όπως επίσης και υψηλότερη μέγιστη αντοχή και όριο ελαστικότητας αλλά παρουσιάζει χαμηλή δυσθραυστότητα και έλλειψη πλαστικότητας.

Αναγκαίες Συνθήκες Μαρτενσιτικού Μετασχηματισμού SPS

Για να πραγματοποιηθεί η μαρτενσιτική βαφή των χάλυβων πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω δύο συνθήκες:

Super SPS

- Η ταχύτητα απόψυξης του λουτρού βαφής V να είναι μεγαλύτερη μιας κρίσιμης ταχύτητας Vc που είναι χαρακτηριστική για κάθε χάλυβα ($V > Vc$)
- Η θερμοκρασία του λουτρού βαφής T_{ΛΒ} πρέπει να είναι χαμηλότερη της θερμοκρασίας έναρξης του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού Ms, η οποία είναι επίσης χαρακτηριστική για κάθε χάλυβα ($T_{ΛΒ} < M_s$)

Εφόσον πληρούνται οι παραπάνω συνθήκες, θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι:

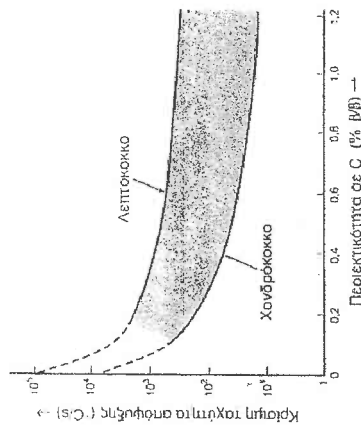
- Το ποσοστό του μαρτενίτη (μ) που παράγεται κατά την βαφή είναι φθίνουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας T_{ΛΒ}, εφόσον βέβαια ικανοποιείται η συνθήκη $V > Vc$
- Όταν η θερμοκρασία T_{ΛΒ} πάρει την τιμή M_s (T_{ΛΒ}=M_s), δεν παρατηρείται μετασχηματισμός σε μαρτενίτη (μ=0)
- Όταν η θερμοκρασία T_{ΛΒ} είναι ίση ή χαμηλότερη της θερμοκρασίας του τέλους του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού M_f, παρατηρείται πλήρης μαρτενσιτικός μετασχηματισμός (μ=100%)

Η κρίσιμη ταχύτητα απόψυξης των χάλυβων Vc εξαρτάται από την περιεκτικότητα τους σε άνθρακα. Όσο περισσότερος άνθρακας περιέχεται σε ένα χάλυβα, τόσο η κρίσιμη ταχύτητα απόψυξης μειώνεται.

Επίσης, η ταχύτητα του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού είναι ανάλογη του αριθμού των πυρήνων του μαρτενίτη, που σχηματίζονται στη μονάδα της επιφάνειας ανά δευτερόλεπτο. Δεδομένου ότι τα όρια των κόκκων αποτελούν ευνοϊκές θέσεις πυρηνοποίησης, ένας λεπτόκοκκος χάλυβας θα πρέπει να παράγει περισσότερους πυρήνες από ένα χονδροκόκκο. Επομένως, ο λεπτόκοκκος χάλυβας μετασχηματίζεται ταχύτερα από ένα χονδροκόκκο και,

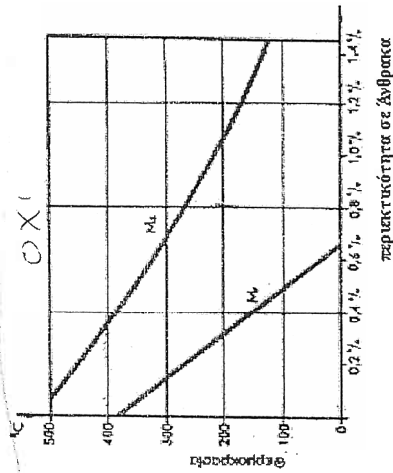
NAI KN

κατά συνέπεια έχει μεγαλύτερη τιμή κρίσιμης ταχύτητας απόψυξης V_c . Στο Σχ.6-2 δίνεται η εξάρτηση της κρίσιμης ταχύτητας απόψυξης V_c από τη σύσταση και από το μέγεθος των κόκκων των ανθρακούχων χαλύβων.



Σχ. 6-2 Επίδραση της Περιεκτικότητας σε Άνθρακα και του Μεγέθους των Κόκκων, στην Κρίσιμη Ταχύτητα Απόψυξης των Ανθρακούχων Χαλύβων

Όπως, η κρίσιμη ταχύτητα απόψυξης V_c και οι θερμοκρασίες M_s και M_f των χαλύβων εξαρτώνται από την περιεκτικότητα τους σε άνθρακα. Όσο περισσότερος άνθρακας περιέχεται σε ένα χάλυβα, τόσο οι θερμοκρασίες M_s και M_f μειώνονται. Στο Σχ.6-3 δίνεται η εξάρτηση των θερμοκρασιών M_s και M_f από τη σύσταση του χάλυβα.



Σχ. 6-3 Θερμοκρασίες M_s και M_f των Ανθρακούχων Χαλύβων σε συνάρτηση της Περιεκτικότητας σε Άνθρακα

Όπως προκύπτει από το Σχ.6-3 ο χάλυβας με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8% έχει $M_s=270$ °C και M_f κάτω από τους 0 °C. Επομένως ο χάλυβας αυτός, όπως και οι χάλυβες που περιέχουν άνθρακα πάνω από 0,65%, όταν υποβάλλεται σε μαρτενιτικό μετασχηματισμό σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τους 0 °C π.χ. στους 10 °C αποκτά κρυσταλλική δομή μαρτενίτη με ορισμένο ποσοστό ωστενίτη που παραμένει. Αυτός ο ωστενίτης παραμένει διότι η θερμοκρασία απόψυξης των 10 °C είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία M_f .

ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΦΗΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ TTT ΚΑΙ CCT

Οι μέθοδοι βαφής κατά βάση είναι δύο:

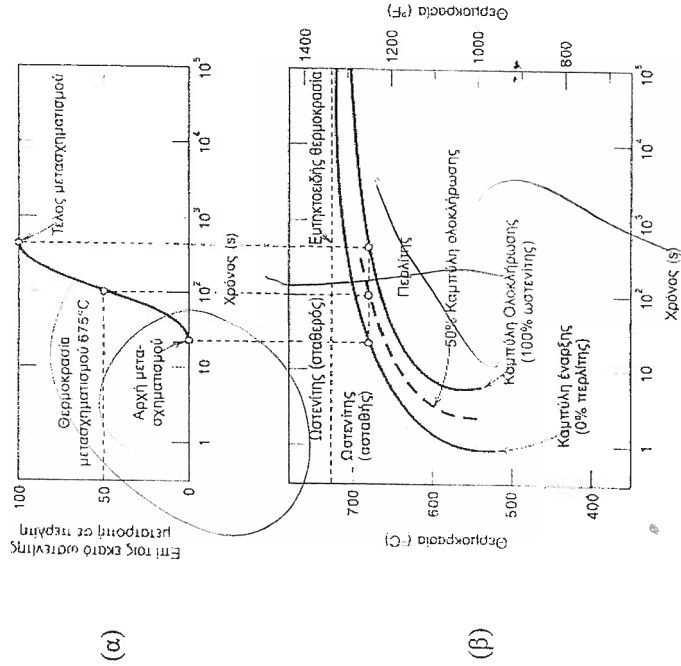
- Ισόθερμη Βαφή (TTT). Στην ισόθερμη βαφή ο χάλυβας θερμαίνεται και στη συνέχεια αποψύχεται σε θερμό λουτρό του οποίου η θερμοκρασία είναι ανάλογη της επιθυμητής κρυσταλλικής δομής του χάλυβα (άρα και της σκληρότητας)
- Συνεχής Βαφή (CCT). Στην συνεχή βαφή ο χάλυβας θερμαίνεται και στη συνέχεια αποψύχεται σε λουτρό με χαμηλή θερμοκρασία (νερό, λάδι κλπ.). Στην ισόθερμη βαφή έχουμε μικρότερη ταχύτητα απόψυξης, ενώ στη δευτέρα μεγαλύτερη. Αυτό έχει σαν συνέπεια την δημιουργία διαφορετικής κρυσταλλικής δομής.

• Διάγραμμα TTT

Απαραίτητο βοήθημα για τη θερμική κατεργασία βαφής είναι οι καμπύλες TTT που δίνουν το ποσοστό του ισοθερμοκρασιακού μετασχηματισμού της δομής σε συνάρτηση με το χρόνο και τη θερμοκρασία (Time Temperature Transformation, TTT). Για κάθε περιεκτικότητα σε άνθρακα του χάλυβα αντιστοιχεί ένα ιδιαίτερο διάγραμμα TTT. Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος τίθεται η θερμοκρασία και στον οριζόντιο άξονα ο χρόνος, σε κλίμακα όμως λογαριθμική. Έτσι, μπροστά να τεθούν πολύ μικροί χρόνοι, όπως δευτερόλεπτα, αλλά και πολύ μεγάλοι, όπως ημέρες ή εβδομάδες.

Για να κάνουμε το διάγραμμα του ισοθερμίου μετασχηματισμού για τον ευθηκτοειδή χάλυβα (περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,8%) παίρνουμε μικρά τεμάχια του χάλυβα αυτού και τα θερμαίνουμε σε θερμοκρασία κατά 50 °C περίπου υψηλότερη από την ανώτερη κρίσιμη θερμοκρασία $A_{c1}=723$ °C, για μισή περίπου ώρα, ώστε να αποκτήσουν δομή ωστενίτη. Αμέσως μετά, τα δοκίμια εμβαπτίζονται σε λουτρό αλάτων προκαθορισμένης σταθερής θερμοκρασίας T, μικρότερης των 723 °C. Ο απαιτούμενος χρόνος για την

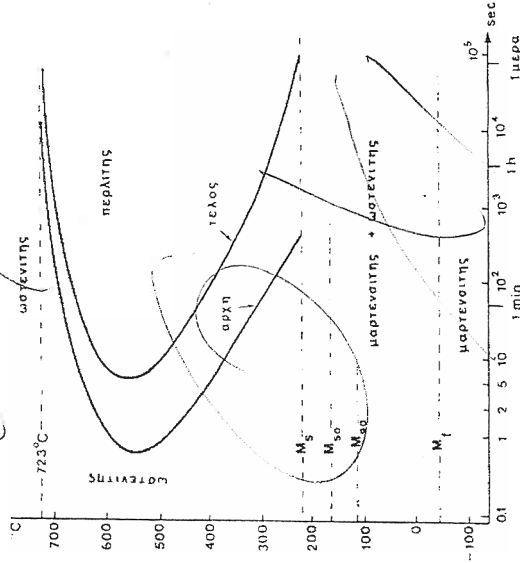
έναρξη και το τέλος του μετασχηματισμού, εξαρτάται από τη θερμοκρασία T. Στη συνέχεια προκειμένου να μελετηθεί ο ρυθμός μετασχηματισμού του ωστενίτη σε περλίτη ($\alpha + Fe_3C$), σε ορισμένα χρονικά διαστήματα λαμβάνονται τεμάχια και υποβλάσσονται σε μικρογραφική εξέταση. Η αναπλάσταση τόσο της χρονικής όσο και της θερμοκρασιακής εξάρτησης του μετασχηματισμού του ωστενίτη σε περλίτη φαίνεται στο Σχ.6-4. Σχεδιάζονται δύο καμπύλες, από τις οποίες η μια παριστάνει το χρόνο που απαιτείται για την έναρξη του μετασχηματισμού σε κάθε θερμοκρασία και η δεύτερη αναφέρεται στην τέλος του μετασχηματισμού. Η καμπύλη που συμβολίζεται με διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο 50% της ολοκλήρωσης του μετασχηματισμού. Οι καμπύλες έναρξης και τέλος του μετασχηματισμού σχηματίζονται από μια σειρά γραφικών παραστάσεων του % μετασχηματισμού συναρτήσει του λογαρίθμου του χρόνου σε διάφορες θερμοκρασίες (καμπύλες τύπου S), που λαμβάνονται από την μικρογραφική εξέταση των τεμαχίων.



Σχ. 6-4 Κατασκευή ενός Διαγράμματος TTT. Οι καμπύλες TTT στο (β) προκύπτουν από δεδομένα διαφόρων καμπυλών τύπου S που δίνονται στο (α)

Από το διάγραμμα TTT για τον ευθηκτοειδή χάλυβα (0,8% C), που δίνεται σε πλήρη μορφή στο Σχ.6-5, προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Η θερμοκρασία των 723 °C είναι η θερμοκρασία A_{C1} , πάνω από την οποία ο χάλυβας είναι καθαρός ωστενίτης. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ο ωστενίτης δεν είναι πια σταθερός και η απόσπαση των δύο καμπυλών μας δίνει το χρονικό διάστημα που χρειάζεται να μεσολαβήσει από τότε που θα αρχίσει μέχρι τότε που θα τελειώσει η μετατροπή του σε περλίτη ($\alpha + Fe_3C$), αν τον φέρουμε από τους 723 °C στην αντίστοιχη θερμοκρασία T.



Σχ. 6-5 Καμπύλες TTT για Χάλυβα με 0,8 %C

- Στους 555 °C και τα δύο μεγέθη έχουν την ελάχιστη τους τιμή και έχουμε τη μύτη της καμπύλης. Όλοι οι μετασχηματισμοί μεταξύ 723 και 550 °C δημιουργούν χονδροκοκκο περλίτη κοντά στους 723 °C και λεπτόκοκκο κοντά στους 550 °C. Μεταξύ 550 και 220 °C οι μετασχηματισμοί γίνονται πιο αργά και κοντά στους 550 °C σχηματίζονται βρομικροσκοπικοί κρυσταλλίτες ενώ κοντά στους 220 °C οι κρυσταλλίτες μοιάζουν με μαρτενίτη. Ο κρυσταλλική μορφή του φερρίτη και του σεμενίτη στην περιοχή θερμοκρασιών 550-220 °C ονομάζεται μπανίτης. Ο μπανίτης είναι σκληρότερος και ανθεκτικότερος από τον χονδροκοκκο περλίτη.
- Οι οριζόντιες γραμμές στο κάτω μέρος του διαγράμματος δεν είναι συστατικά μέρος των καμπυλών TTT, αλλά δείχνουν τη θερμοκρασία M_s.

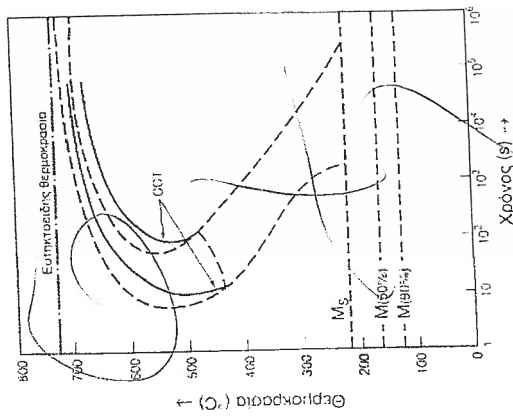
που αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη και τη θερμοκρασία M_f που τελειώνει. Η τελευταία αυτή είναι -40°C και επομένως ο εντηκτοειδής χάλυβας, που υποβάλλεται σε μαρτενιτικό μετασχηματισμό στη θερμοκρασία περιβάλλοντος διατηρεί και ένα μέρος ωστενίτη.

- Οι ευθείες M_{50} , M_{90} δείχνουν το % ποσοστό μαρτενίτη, που έχει σχηματισθεί μέχρι τις αντίστοιχες θερμοκρασίες.

• **Διάγραμμα CCT**

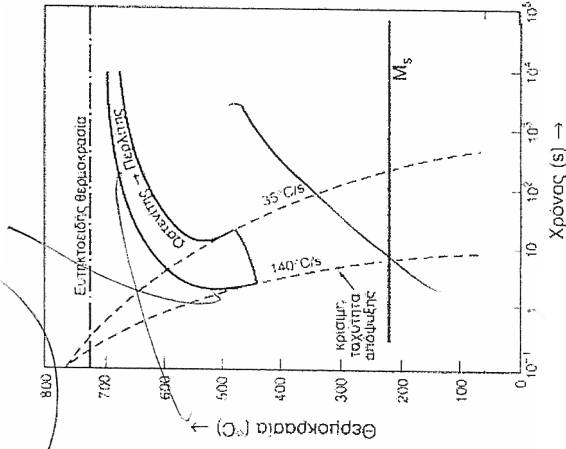
Στην πράξη, για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους, οι μετασχηματισμοί των χάλυβων γίνονται κατά τη διάρκεια μιας συνεχούς απόψυξης περισσότερο ή λιγότερο ταχείας. Η καμπύλη TTT είναι αξιόπιστες και ισχύουν με ακρίβεια, μόνο για τις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν, δηλαδή σε συνθήκες ισοθερμοκρασιακές (ισόθερμη βαφή). Για τη συνεχή απόψυξη χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα συνεχούς βαφής τα οποία καλούνται διαγράμματα CCT (*Continuous Cooling Transformation, CCT*).

Τα διαγράμματα CCT λαμβάνονται με τροποποίηση των διαγραμμάτων TTT, όπως φαίνεται στο Σχ.6-6. Σε συνθήκες συνεχούς ψύξης, ο απαιτούμενος χρόνος προκειμένου να αρχίσει να πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός καθώς και εκείνος του τέλους του μετασχηματισμού, επιμηκώνονται. Κατά συνέπεια, οι καμπύλες CCT μετατοπίζονται προς μεγαλύτερους χρόνους και χαμηλότερες θερμοκρασίες.



Σχ. 6-6 Διαγράμματα TTT και CCT για Χάλυβα με 0,8% C

Στα διαγράμματα CCT με την τοποθέτηση των πραγματικών διαδοχικών θερμοκρασιών σε διάφορους χρόνους σχηματίζονται οι καμπύλες συνεχούς απόψυξης. Σε κάθε διάγραμμα CCT υπάρχει μια καμπύλη συνεχούς απόψυξης η οποία παριστά την κρίσιμη ταχύτητα βαφής V_c και αντιστοιχεί στην ελάχιστη ταχύτητα βαφής, η οποία είναι απαραίτητη προκειμένου να παραχθεί πλήρης μαρτενιτικός μετασχηματισμός (100% μαρτενίτης). Αυτή η καμπύλη απόψυξης διέρχεται μόλις δίπλα και χωρίς να τέμνει την καμπύλη του διαγράμματος CCT, που οριζοθετεί την αρχή του μετασχηματισμού του περλίτη, όπως φαίνεται στο Σχ.6-7.

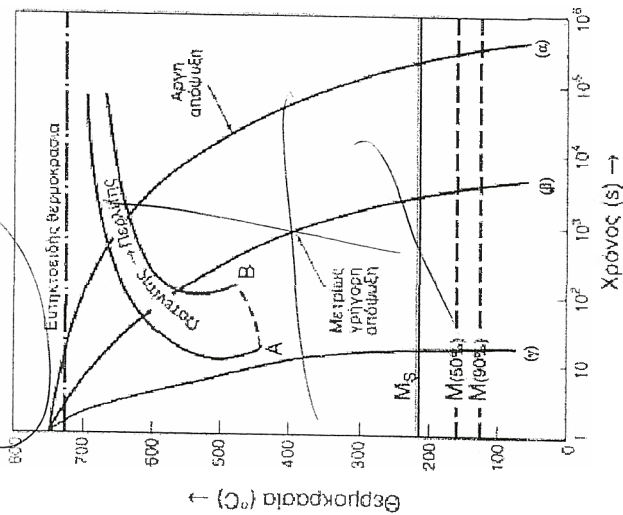


Σχ. 6-7 Κρίσιμη Ταχύτητα Απόψυξης σε Διάγραμμα CCT για Χάλυβα με 0,8% C

Στο Σχ.6-8 έχουν χαραχθεί τρεις καμπύλες απόψυξης (α), (β) και (γ) που αντιστοιχούν σε διαφορετικές ταχύτητες απόψυξης και μάλιστα συνεχώς αυξανόμενες από την καμπύλη (α) μέχρι την καμπύλη (γ).

Στις καμπύλες απόψυξης (α) και (β) ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε περλίτη αρχίζει μετά από κάποιο χρόνο, ο οποίος αντιστοιχεί στην τομή των καμπυλών απόψυξης με την καμπύλη που οριοθετεί την αρχή του μετασχηματισμού και τελειώνει, όταν οι ίδιες καμπύλες απόψυξης τμήσουν την καμπύλη του τέλους του μετασχηματισμού. Οι μικροδομές των λαμβανόμενων προϊόντων για τη αργή απόψυξη, καμπύλη (α), και την

μετρίως γρήγορη απόψυξη, καμπύλη (β), είναι χονδροκόκκος και λεπτοκόκκος περιλίτης, αντίστοιχα. Η περιοχή η οποία αναπαριστάται το μετασχηματισμό ωστενίτη σε περιλίτη τελειώνει αμέσως κάτω από τη "μύτη", όπως φαίνεται από την καμπύλη ΑΒ του Σχ. 6-8.



Σχ. 6-8 Καμπύλες Απόψυξης - Διάγραμμα CCT για Χάλυβα με 0,8% C

Σε οποιαδήποτε καμπύλη απόψυξης, η οποία συναντά την ΑΒ, ο μετασχηματισμός σταματά στο σημείο τομής με την ΑΒ. Με συνεχή απόψυξη, ο εναπομένον ωστενίτης θα αρχίσει να μετασχηματίζεται σε μαρτενίτη, όταν η καμπύλη απόψυξης συναντήσει την ευθεία Ms. Η καμπύλη απόψυξης (γ) είναι τριπλή της βαφής με μεγάλη ταχύτητα απόψυξης αφού δεν τέμνει καθόλου τις καμπύλες που οριοθετούν την αρχή και το τέλος του μετασχηματισμού. Ο χάλυβας μέχρι την θερμοκρασία Ms είναι σε κατάσταση του ωστενίτη και καθώς η θερμοκρασία μειώνεται κάτω Ms, ο ωστενίτης μετασχηματίζεται σε μαρτενίτη και τελικά ο χάλυβας στη θερμοκρασία δωματίου αποτελείται από μαρτενίτη και ωστενίτη.

ΜΕΣΑ ΒΑΦΗΣ - ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΣΩΝ ΒΑΦΗΣ

Μέσα βαφής ονομάζονται τα διάφορα λουτρά στα οποία γίνεται η βαφή. Η αποτελεσματικότητα, από την άποψη της ταχύτητας απόψυξης, για δεδομένο μέσο βαφής δίνεται από έναν αριθμητικό συντελεστή, οποίος καλείται δραστικότητα του μέσου βαφής. Ο συντελεστής αυτός είναι αξούσα συνάρτηση της ταχύτητας απόψυξης, η οποία επιτυγχάνεται με το δεδομένο μέσο βαφής, και έχει χαρακτηριστική τιμή για κάθε ένα από αυτά.

Η τιμή του συντελεστή δραστηριότητας εξαρτάται εάν η απόψυξη συνοδεύεται ή όχι από ανάδευση του μέσου βαφής. Η δραστηριότητα του νερού θερμοκρασίας 20 °C, σε ηρεμία, ισούται με τη (1). Ο συντελεστής δραστηριότητας για το νερό αυξάνεται με την προσθήκη αλάτων και ελαττώνεται με την προσθήκη γλυκερίνης ή σαπουνιού. Ο συντελεστής δραστηριότητας παίρνει, πρακτικά, τη μέγιστη τιμή του (5), για υδατικό διάλυμα αλάτος (15% NaCl).

Από την άποψη της ταχύτητας, η σειρά φθίνουσας δραστηριότητας των ψυκτικών μέσων είναι: αλατούχο υδατικό διάλυμα, νερό, τήγματα ή υγρά άλατα, διαλύματα λαδιών, καθαρά λάδια, αέρας (βλ. Πίνακα 6-1).

Είναι φανερό ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού μέσου, τόσο ελαττώνεται η ταχύτητα της ψύξης της επιφάνειας του χάλυβα, δεδομένου ότι το υγρό βρίσκεται σε πλησιέστερα του σημείου εξάτμισης του, ώρα έχει ανάγκη μικρότερου ποσού θερμότητας για να σχηματισθεί ατμός.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1

Τιμές Δραστηριότητας διαφόρων Ψυκτικών Μέσων Χάλυβων κάτω από διάφορες συνθήκες

ΜΕΣΟ ΒΑΦΗΣ	ΣΕ ΗΡΕΜΙΑ	ΜΕΤΡΙΑ ΑΝΑΔΕΥΣΗ	ΙΣΧΥΡΗ ΑΝΑΔΕΥΣΗ	ΙΣΧΥΡΟΤΑΤΗ ΑΝΑΔΕΥΣΗ
Αέρας	0,02	-	-	-
Λάδι	0,30	0,40	0,80	1,00
Νερό	1,00	1,30	2,00	4,00
Υδρ. Διάλ. Αλάτ.	2,00	-	-	5,00

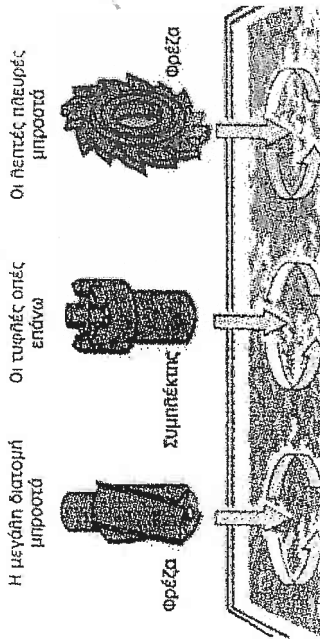
Στην περίπτωση των λαδιών, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τους αυτά γίνονται περισσότερο λεπτόρρευτα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός απαγωγής θερμότητας, εξαιτίας αγωγής και κατά συνέπεια αυξάνεται και η δραστηριότητα τους ως ψυκτικά μέσα. Για να αποφύγουμε την αύξηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου πρέπει να εξασφαλίσουμε ανάλογα με το μέγεθος του τεμαχίου τον αναγκαίο όγκο του. Επίσης είναι δυνατό να

77
NW

διατηρήσουμε τη θερμοκρασία του λουτρού σταθερή με κατάλληλη κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου.

Τέλος, η ταχύτητα ανόδου της επιδρά θετικά στην ταχύτητα απόψυξης επειδή καταστρέφει το σχηματιζόμενο στρώμα ατμών στην επιφάνεια του χάλυβα. Κατά την απόψυξη μεγάλη σημασία έχει ο τρόπος με τον οποίο εμβαπτίζονται τα τεμάχια του χάλυβα στο ψυκτικό μέσο καθώς και οι κινήσεις που ακολουθούν με σκοπό την αποφυγή ανομοιόμορφης ψύξης και παραμορφώσεων. Συγκεκριμένα:

- Τεμάχια με διαφορετικές διατομές πρέπει να εμβαπτίζονται με τη μεγαλύτερη διατομή μπροστά.
- Τεμάχια με τυφλές οπές πρέπει να εμβαπτίζονται με το άνοιγμα προς τα άνω για να μπορούν οι φουσαλίδες να απομακρυνθούν προς τα άνω
- Τεμάχια με ανεπτυγμένες επιφάνειες πρέπει να εμβαπτίζονται με την λεπτή πλευρά μπροστά.



Σχ. 6-9 Ορθή Εμβάπτιση κατά την Απόψυξη

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΟΥ ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Όπως προαναφέραμε ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη κατά τη βαφή έχει ως αποτέλεσμα την εξόγκωση του τεμαχίου, η οποία δεν είναι ομοιόμορφη εξαιτίας της διαφορετικής θερμοκρασίας μεταξύ της επιφανείας και του πυρήνα ειδικότερα σε τεμάχια με μεγάλη διατομή. Επειδή ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται γρήγορα και σε χαμηλή θερμοκρασία, ο χάλυβας δεν στρεβλώνεται όσο χρειάζεται και επομένως αναπτύσσονται

ΜΑΡΤΕΝΣΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

μεγάλες εσωτερικές μηχανικές τάσεις, οι οποίες αν είναι υπερβολικές και με την προσθήκη των μηχανικών τάσεων εξαιτίας της συστολής, από την μείωση της θερμοκρασίας, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε ρωγμές. Για να αποφεύγουμε τις υπερβολικές τάσεις παίρνουμε τα εξής μέτρα:

Πριν την βαφή κάνουμε ανόπτηση προκειμένου να αποφύγουμε την αύξηση των εσωτερικών τάσεων εξαιτίας της στρέβλωσης με την προσθήκη και άλλων τάσεων, που μπορεί να υπάρχουν στο τεμάχιο πριν την βαφή εξαιτίας μηχανικών καταργασιών π.χ. πλαστική παραμόρφωση, συγκόλληση

+ Για κάθε χάλυβα χρησιμοποιούμε το κατάλληλο λουτρό βαφής και ποτέ δραστικότερο γιατί τότε παρατηρείται μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφανείας και του πυρήνα του τεμαχίου και επομένως δημιουργούνται μεγαλύτερες εσωτερικές τάσεις

- Χρησιμοποιούμε ειδικούς χάλυβες (βλ.Κεφ.7)
- Εφαρμόζουμε τη λεγόμενη κλιμακωτή βαφή (βλ.6-11)

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΑΖΑΣ - ΕΜΒΑΠΤΙΟΤΗΤΑ

Όταν σκληρομετρήσουμε μια χαλύβδινη ράβδο, με σχετικά μεγάλη διατομή, μετά από βαφή στην επιφάνεια της τομής της, αρχίζοντας από την άκρη της περιφέρειας, προς κέντρο θα παρατηρήσουμε ότι η σκληρότητα μειώνεται από τη περιφέρεια προς το κέντρο. Το φαινόμενο αυτό το ονομάζουμε φαινόμενο μάζας. Η μείωση της σκληρότητας γίνεται διότι ενώ κοντά στη περιφέρεια έχουμε πλήρη μαρτενσιτικό μετασχηματισμό, στο κέντρο αντίθετα ο μαρτενσιτικός μετασχηματισμός είναι ατελής, εξαιτίας της μειωμένης ταχύτητας απόψυξης.

Εμβαπτότητα ονομάζουμε το βάθος βαφής του μετάλλου δηλαδή, την σκληρότητα που παίρνει το μέταλλο από την επιφάνεια προς το κέντρο της μάζας του και λέμε ότι το μέταλλο έχει καλή εμβαπτότητα όταν μετά την βαφή εμφανίζει μεγάλο βάθος βαφής.

Η εμβαπτότητα εξαρτάται από το είδος του χάλυβα και είναι μεγαλύτερη για χάλυβα μικρής κρίσιμης ταχύτητας Vc.

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

Για τους κραματοποιημένους χάλυβες η εμβαπτότητα είναι μεγαλύτερη από τους κοινούς χάλυβες, εξαιτίας της μετατόπισης των καμπυλών στα διαγράμματα ITT (βλ.Κεφ.7).

6-10 Επαναφορά

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

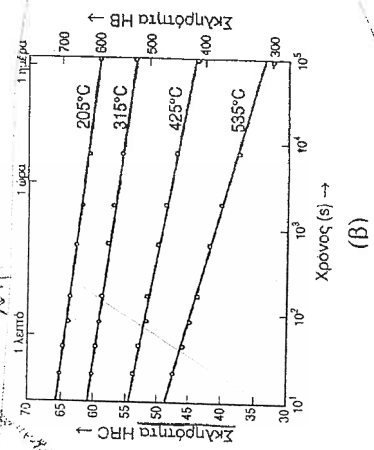
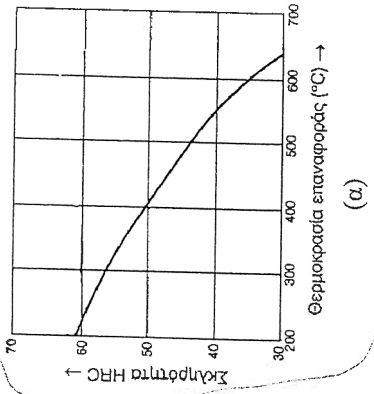
Η επαναφορά συνίσταται:

- (+) Στη θέρμανση του χάλυβα σε ορισμένη κάθε φορά θερμοκρασία (θερμοκρασία επαναφοράς), χαμηλότερη οπωσδήποτε της κρίσιμης θερμοκρασίας A_{c1} , δηλαδή των $723^{\circ}C$ και ανώτερη συνήθως της θερμοκρασίας έναρξης του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού M_s
- (+) Στην παραμονή του χάλυβα σε αυτή τη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία και για να εξαλειφθεί ο μαρτενσιτικής μερικώς στην κατάσταση ισορροπίας
- (+) Στην ήρεμη αργή απόψυξη του μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος, έξω από τον κλίβανο, στον αέρα.

Ο βαμμένος χάλυβας παρουσιάζει υψηλό όριο θραύσης, υψηλό όριο ελαστικότητας και μεγάλη σκληρότητα αλλά συγχρόνως πολύ μικρή πλαστικότητα και δυσθραυστότητα. Επίσης εξαιτίας της βαφής οι εσωτερικές τάσεις, που παραμένουν είναι υψηλές και τον καθιστούν εύθραστο. Κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί, εκτός από τις περιπτώσεις όπου απαιτείται μόνο εξαιρετική σκληρότητα του τεμαχίου. Μετά την επαναφορά οι μηχανικές ιδιότητες του βαμμένου χάλυβα μεταβάλλονται σημαντικά. Γενικά μπορούμε να πούμε, ότι η σκληρότητα και η αντοχή σε σφελκυσμό ελαττώνονται, ενώ η πλαστικότητα και η δυσθραυστότητα αυξάνουν. Επίσης εξαφανίζονται και οι εσωτερικές τάσεις.

Η μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων οφείλεται στο ότι ο μαρτενσιτής αλλά και ο υπολειπόμενος οστενίτης, που είναι φάσεις εκτός ισορροπίας, έχουν την τάση να επανέλθουν προς την κατάσταση της ισορροπίας. Για τον λόγο αυτό με την αναθέρμανση του βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα, στην θερμοκρασία επαναφοράς τα επιπλέον άτομα του άνθρακα, που αναγκαστικά παραμένουν στο πλέγμα του μαρτενσιτη, εξέρχονται από το κρυσταλλικό πλέγμα του μαρτενσιτη και ο μαρτενσιτής εξελίσσεται μερικώς στην κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή προς φερριτη και καρβίδια του σιδήρου (σεμενίτης, Fe_3C_2). Η δομή αυτή καλείται μαρτενσιτής από επαναφορά. Επίσης διασπάται και ο υπολειπόμενος οστενίτης και προοδευτικά σχηματίζονται φερριτης και καρβίδια του σιδήρου. Σε όλη την διάρκεια αυτών των αλλαγών η σκληρότητα μεταβάλλεται σύμφωνα με τις καμπύλες του Σχ.6-10 (α) και (β). Όπως προκύπτει από το Σχ.6-10, η θερμοκρασία και

ο χρόνος επαναφοράς έχουν μεγάλη σημασία για το μετασχηματισμό του μαρτενσιτη και επομένως από αυτούς εξαρτώνται πολύ οι μηχανικές ιδιότητες που αποκτάει ο χάλυβας μετά την επαναφορά. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να δίνεται εξαιρετική σημασία τόσο στην επιλογή όσο και στον έλεγχο τους.



Σχ. 6-10 Μεταβολή της Σκληρότητας κατά την Επαναφορά για Χάλυβα με 0,8% C, μετά από Βαφή σε Νερό (α) Επίδραση της Θερμοκρασίας (διάρκεια επαναφοράς 1 ώρα), (β) Σε Συνάρτηση του Χρόνου Επαναφοράς για Διάφορες Θερμοκρασίες

• Επιβελτίωση Χάλυβων

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 των μηχανικών ιδιοτήτων επιτυγχάνεται με τη λεγόμενη επιβελτίωση του χάλυβα. Η επιβελτίωση είναι μια σύνθετη θερμική κατεργασία. Συνίσταται από βαφή την οποία ακολουθεί επαναφορά, σε μεγάλη όμως θερμοκρασία.

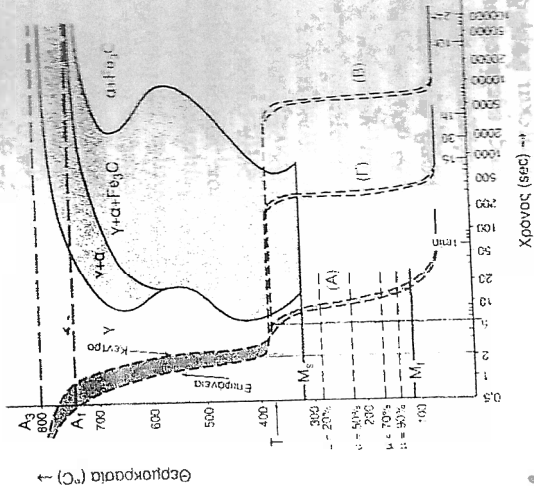
6-11 Κλιμακωτή Βαφή

Η διαδικασία βαφής που περιγράφηκε μέχρι τώρα αφορούσε τη βαφή, σε ένα στάδιο. Στην πράξη, όμως, η βαφή των χάλυβων, για να αποφύγουμε τις υπερβολικές μηχανικές τάσεις, συνήθως πραγματοποιείται σε περισσότερα στάδια και τότε αναφερόμαστε σε κλιμακωτή βαφή.

Ανάλογα με την τελική κρυσταλλική δομή που δημιουργείται διακρίνουμε την *κλιμακωτή μαρτενιτική*, την *κλιμακωτή μπαινιτική* και την *κλιμακωτή μπαινιτομαρτενιτική βαφή*.

ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΗ ΒΑΦΗ

Η *κλιμακωτή μαρτενιτική βαφή*, από τη θερμοκρασία ωστενιτικοποίησης στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, γίνεται σε δύο στάδια (Σχ. 6-11, καμπύλη Α). Αρχικά ο χάλυβας αποψύχεται σε θερμοκρασία Γ, λίγο ανώτερη της Ms όπου παραμένει για μερικά δευτερόλεπτα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται λουτρό πηγμένων αλάτων, θερμοκρασίας Τ. Στη συνέχεια στο δεύτερο στάδιο, ο χάλυβας εμβαπτίζεται σε ψυχρό λουτρό και αφήνεται για να σχηματιστεί μαρτενσίτης μεταξύ των θερμοκρασιών M₃ και M₁. Ο χάλυβας, με την παραμονή του στη θερμοκρασία Γ, αποκτά ομοιόμορφη θερμοκρασία Τ σε κατάσταση ωστενίτη. Έτσι, κατά το δεύτερο στάδιο, αναπτύσσονται λιγότερες τάσεις στο υλικό, το οποίο καθίσταται λιγότερο εύθραστο και, κατά συνέπεια, μειώνονται οι πιθανότητες ρηγιάνωσης του. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε αντικείμενα μικρών διαστάσεων, όπως κοπτικά εργαλεία, οδοντωτοί τροχοί κλπ.



Σχ. 6-11 Κλιμακωτές Βαφές σε Διάγραμμα ΤΥΤ.
Καμπύλη (Α): Κλιμακωτή Μαρτενιτική Βαφή, Καμπύλη (Β): Κλιμακωτή Μπαινιτική Βαφή και Καμπύλη (Γ): Κλιμακωτή Μπαινιτομαρτενιτική Βαφή

ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΜΠΑΙΝΙΤΙΚΗ ΒΑΦΗ

Κατά την *κλιμακωτή μπαινιτική βαφή*, όπως και προηγουμένως, ο ωστενιτωποιημένος χάλυβας αποψύχεται σε δύο στάδια. Η παραμονή του στην ενδιάμεση θερμοκρασία Γ, είναι πολύ μεγαλύτερη, (της τάξης των ωρών) έτσι ώστε να έχουμε πλήρη μετασχηματισμό του ωστενίτη σε μπαινίτη (Σχ.6-11, καμπύλη Β). Πρόκειται ουσιαστικά για ισόθερμη βαφή μεταξύ των θερμοκρασιών 450 °C και M₃.

Η τεχνική αυτή, σε πολλές περιπτώσεις, μπορεί να αντικαταστήσει τη μαρτενιτική βαφή και την επαναφορά. Ο μπαινίτης δίνει στο χάλυβα υψηλό όριο διαρροής και θραύσης, καλή δυσθραυστότητα και υψηλή αντοχή σε κόπωση. Συνήθως, μετά την κλιμακωτή μπαινιτική βαφή ακολουθεί ελαφρά θέρμανση του χάλυβα, που αντιστοιχεί σε σύντομη επαναφορά.

Τα μειονεκτήματα της κατεργασίας αυτής είναι ότι απαιτούνται ειδικά λουτρά πηγμένων αλάτων και ότι μπορεί να βρει εφαρμογή σε περιορισμένα είδη χυλίων. Εφαρμόζεται σε τεμάχια με περίπλοκα σχήματα, που εύκολα στρεβλώνονται ή αποκτούν ρωγμές κατά τη συνηθισμένη βαφή.

ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΜΠΑΙΝΙΤΟΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΗ ΒΑΦΗ

Η *κλιμακωτή μπαινιτομαρτενιτική βαφή* πρόκειται για μια ενδιάμεση κατάσταση των δύο προηγουμένων ειδών βαφής, επίσης, δύο σταδίων. Ο χρόνος παραμονής του χάλυβα στην ενδιάμεση θερμοκρασία Γ είναι της τάξης των μερικών λεπτών (Σχ.6-11, καμπύλη Γ). Σε πρώτη φάση, ο ωστενίτης μετασχηματίζεται μερικώς σε μπαινίτη και, στη συνέχεια, ο υπολειπόμενος ωστενίτης μετασχηματίζεται σε μαρτενσίτη. Το σχετικό πόσοστό μπαινίτη και μαρτενσίτη, στην τελική δομή, εξαρτάται από το χρόνο παραμονής του χάλυβα στην ενδιάμεση θερμοκρασία Γ.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΒΑΦΗΣ

Κλείνοντας την θερμική κατεργασία της βαφής ως επαναλάβουμε με την βεβαιότητα του Σχ.6-12 και του Σχ.6-13, σε συντομία τα κύρια σημεία της. Συγκεκριμένα:

- Στο Σχ.6-12 δίνονται οι δυνατοί μετασχηματισμοί του χάλυβα με 0,8% C κατά την απόψυξη του ωστενίτη
- Στο Σχ.6-13 φαίνονται, σε διάγραμμα CCT, οι δυνατοί μετασχηματισμοί του χάλυβα με 0,8% C κατά την απόψυξη του ωστενίτη

6-12 Επιφανειακή Σκλήρυνση Χαλύβων

Πολλά βασικά εξαρτήματα ορισμένων κατασκευών, όπως π.χ. οδοντωτοί τροχοί, στροφαλοφόροι άξονες και οι υποδοχές τους, βαλβίδες κτλ., πρέπει να έχουν ταυτόχρονα ιδιότητες που φαίνονται δύσκολα να αποκτηθούν. Πρέπει π.χ. στην επιφάνεια να είναι σκληρή, για να μη φθείρονται εύκολα και στον πυρήνα να παρουσιάζουν ικανοποιητική μηχανική αντοχή και ductility. Οι συνδυασμοί αυτοί των μηχανικών ιδιοτήτων επιτυγχάνονται με την επιφανειακή σκλήρυνση. Η επιφανειακή σκλήρυνση ενός χάλυβα μπορεί να γίνει με κατεργασία:

- Θερμοχημική (Εμποτισμοί)
- Θερμική (Φλογαβαφή)

ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ

- **Ενανθράκωση** CO CO_2 C CH_4 C_2H_2 C_2H_4 C_2H_6 C_3H_8 C_4H_{10} C_5H_{12} C_6H_{14} C_7H_{16} C_8H_{18} C_9H_{20} $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$ $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ $\text{C}_{13}\text{H}_{28}$ $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$ $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$ $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ $\text{C}_{19}\text{H}_{40}$ $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ $\text{C}_{21}\text{H}_{44}$ $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ $\text{C}_{23}\text{H}_{48}$ $\text{C}_{24}\text{H}_{50}$ $\text{C}_{25}\text{H}_{52}$ $\text{C}_{26}\text{H}_{54}$ $\text{C}_{27}\text{H}_{56}$ $\text{C}_{28}\text{H}_{58}$ $\text{C}_{29}\text{H}_{60}$ $\text{C}_{30}\text{H}_{62}$ $\text{C}_{31}\text{H}_{64}$ $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$ $\text{C}_{33}\text{H}_{68}$ $\text{C}_{34}\text{H}_{70}$ $\text{C}_{35}\text{H}_{72}$ $\text{C}_{36}\text{H}_{74}$ $\text{C}_{37}\text{H}_{76}$ $\text{C}_{38}\text{H}_{78}$ $\text{C}_{39}\text{H}_{80}$ $\text{C}_{40}\text{H}_{82}$ $\text{C}_{41}\text{H}_{84}$ $\text{C}_{42}\text{H}_{86}$ $\text{C}_{43}\text{H}_{88}$ $\text{C}_{44}\text{H}_{90}$ $\text{C}_{45}\text{H}_{92}$ $\text{C}_{46}\text{H}_{94}$ $\text{C}_{47}\text{H}_{96}$ $\text{C}_{48}\text{H}_{98}$ $\text{C}_{49}\text{H}_{100}$ $\text{C}_{50}\text{H}_{102}$ $\text{C}_{51}\text{H}_{104}$ $\text{C}_{52}\text{H}_{106}$ $\text{C}_{53}\text{H}_{108}$ $\text{C}_{54}\text{H}_{110}$ $\text{C}_{55}\text{H}_{112}$ $\text{C}_{56}\text{H}_{114}$ $\text{C}_{57}\text{H}_{116}$ $\text{C}_{58}\text{H}_{118}$ $\text{C}_{59}\text{H}_{120}$ $\text{C}_{60}\text{H}_{122}$ $\text{C}_{61}\text{H}_{124}$ $\text{C}_{62}\text{H}_{126}$ $\text{C}_{63}\text{H}_{128}$ $\text{C}_{64}\text{H}_{130}$ $\text{C}_{65}\text{H}_{132}$ $\text{C}_{66}\text{H}_{134}$ $\text{C}_{67}\text{H}_{136}$ $\text{C}_{68}\text{H}_{138}$ $\text{C}_{69}\text{H}_{140}$ $\text{C}_{70}\text{H}_{142}$ $\text{C}_{71}\text{H}_{144}$ $\text{C}_{72}\text{H}_{146}$ $\text{C}_{73}\text{H}_{148}$ $\text{C}_{74}\text{H}_{150}$ $\text{C}_{75}\text{H}_{152}$ $\text{C}_{76}\text{H}_{154}$ $\text{C}_{77}\text{H}_{156}$ $\text{C}_{78}\text{H}_{158}$ $\text{C}_{79}\text{H}_{160}$ $\text{C}_{80}\text{H}_{162}$ $\text{C}_{81}\text{H}_{164}$ $\text{C}_{82}\text{H}_{166}$ $\text{C}_{83}\text{H}_{168}$ $\text{C}_{84}\text{H}_{170}$ $\text{C}_{85}\text{H}_{172}$ $\text{C}_{86}\text{H}_{174}$ $\text{C}_{87}\text{H}_{176}$ $\text{C}_{88}\text{H}_{178}$ $\text{C}_{89}\text{H}_{180}$ $\text{C}_{90}\text{H}_{182}$ $\text{C}_{91}\text{H}_{184}$ $\text{C}_{92}\text{H}_{186}$ $\text{C}_{93}\text{H}_{188}$ $\text{C}_{94}\text{H}_{190}$ $\text{C}_{95}\text{H}_{192}$ $\text{C}_{96}\text{H}_{194}$ $\text{C}_{97}\text{H}_{196}$ $\text{C}_{98}\text{H}_{198}$ $\text{C}_{99}\text{H}_{200}$ $\text{C}_{100}\text{H}_{202}$

Η ενανθράκωση είναι μια θερμοχημική κατεργασία κατά την οποία παίρνουμε ένα χάλυβα με μικρό ποσοστό άνθρακα (0,25%), που έχει μεγάλη ductility και εμποτίζουμε την επιφάνεια του με άνθρακα. Ο εμπότισμός γίνεται με διάχυση. Για τον λόγο αυτό κατά την ενανθράκωση ο χάλυβας θερμαίνεται σε μια ατμόσφαιρα πλούσια σε άνθρακα, από κάψιμο π.χ. κωκ ή ξύλου, γύρω στους 900-950 °C (πάνω από την A_{c3}) ώστε να μετατραπεί σε οστενίτη, όπου η διάχυση του άνθρακα είναι ευκολότερη. Η διάρκεια της θέρμανσης εξαρτάται από το πάχος που θέλουμε να έχει το επιφανειακό στρώμα με την πρόσθετη σκληρότητα. Ο άνθρακας που χρειάζεται προέρχεται από τη διάσπαση του CO όταν έρχεται σε επαφή με το ζεστό χάλυβα, σύμφωνα με την εξίσωση:



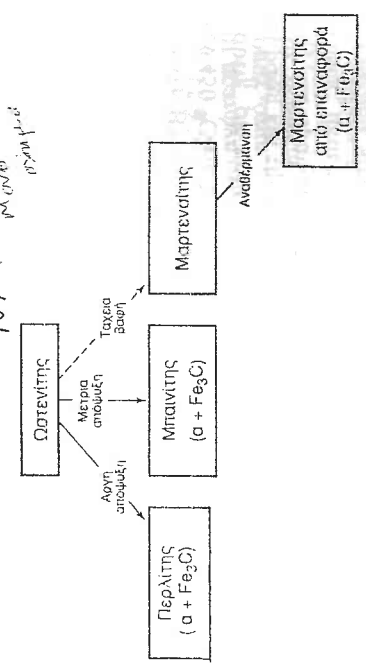
Στη συνέχεια ο χάλυβας από μια θερμοκρασία γύρω στους 750 °C υποβάλλεται σε ταχεία ψύξη, οπότε η εξωτερική επιφάνεια γίνεται σκληρή ενώ το εσωτερικό, με το λιγότερο άνθρακα, μένει μαλακό αλλά με μεγάλη ductility.

- **Εναζώτωση** NH_3 N_2 CO CO_2 C CH_4 C_2H_2 C_2H_4 C_2H_6 C_3H_8 C_4H_{10} C_5H_{12} C_6H_{14} C_7H_{16} C_8H_{18} C_9H_{20} $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$ $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ $\text{C}_{13}\text{H}_{28}$ $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$ $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$ $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ $\text{C}_{19}\text{H}_{40}$ $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ $\text{C}_{21}\text{H}_{44}$ $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ $\text{C}_{23}\text{H}_{48}$ $\text{C}_{24}\text{H}_{50}$ $\text{C}_{25}\text{H}_{52}$ $\text{C}_{26}\text{H}_{54}$ $\text{C}_{27}\text{H}_{56}$ $\text{C}_{28}\text{H}_{58}$ $\text{C}_{29}\text{H}_{60}$ $\text{C}_{30}\text{H}_{62}$ $\text{C}_{31}\text{H}_{64}$ $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$ $\text{C}_{33}\text{H}_{68}$ $\text{C}_{34}\text{H}_{70}$ $\text{C}_{35}\text{H}_{72}$ $\text{C}_{36}\text{H}_{74}$ $\text{C}_{37}\text{H}_{76}$ $\text{C}_{38}\text{H}_{78}$ $\text{C}_{39}\text{H}_{80}$ $\text{C}_{40}\text{H}_{82}$ $\text{C}_{41}\text{H}_{84}$ $\text{C}_{42}\text{H}_{86}$ $\text{C}_{43}\text{H}_{88}$ $\text{C}_{44}\text{H}_{90}$ $\text{C}_{45}\text{H}_{92}$ $\text{C}_{46}\text{H}_{94}$ $\text{C}_{47}\text{H}_{96}$ $\text{C}_{48}\text{H}_{98}$ $\text{C}_{49}\text{H}_{100}$ $\text{C}_{50}\text{H}_{102}$ $\text{C}_{51}\text{H}_{104}$ $\text{C}_{52}\text{H}_{106}$ $\text{C}_{53}\text{H}_{108}$ $\text{C}_{54}\text{H}_{110}$ $\text{C}_{55}\text{H}_{112}$ $\text{C}_{56}\text{H}_{114}$ $\text{C}_{57}\text{H}_{116}$ $\text{C}_{58}\text{H}_{118}$ $\text{C}_{59}\text{H}_{120}$ $\text{C}_{60}\text{H}_{122}$ $\text{C}_{61}\text{H}_{124}$ $\text{C}_{62}\text{H}_{126}$ $\text{C}_{63}\text{H}_{128}$ $\text{C}_{64}\text{H}_{130}$ $\text{C}_{65}\text{H}_{132}$ $\text{C}_{66}\text{H}_{134}$ $\text{C}_{67}\text{H}_{136}$ $\text{C}_{68}\text{H}_{138}$ $\text{C}_{69}\text{H}_{140}$ $\text{C}_{70}\text{H}_{142}$ $\text{C}_{71}\text{H}_{144}$ $\text{C}_{72}\text{H}_{146}$ $\text{C}_{73}\text{H}_{148}$ $\text{C}_{74}\text{H}_{150}$ $\text{C}_{75}\text{H}_{152}$ $\text{C}_{76}\text{H}_{154}$ $\text{C}_{77}\text{H}_{156}$ $\text{C}_{78}\text{H}_{158}$ $\text{C}_{79}\text{H}_{160}$ $\text{C}_{80}\text{H}_{162}$ $\text{C}_{81}\text{H}_{164}$ $\text{C}_{82}\text{H}_{166}$ $\text{C}_{83}\text{H}_{168}$ $\text{C}_{84}\text{H}_{170}$ $\text{C}_{85}\text{H}_{172}$ $\text{C}_{86}\text{H}_{174}$ $\text{C}_{87}\text{H}_{176}$ $\text{C}_{88}\text{H}_{178}$ $\text{C}_{89}\text{H}_{180}$ $\text{C}_{90}\text{H}_{182}$ $\text{C}_{91}\text{H}_{184}$ $\text{C}_{92}\text{H}_{186}$ $\text{C}_{93}\text{H}_{188}$ $\text{C}_{94}\text{H}_{190}$ $\text{C}_{95}\text{H}_{192}$ $\text{C}_{96}\text{H}_{194}$ $\text{C}_{97}\text{H}_{196}$ $\text{C}_{98}\text{H}_{198}$ $\text{C}_{99}\text{H}_{200}$ $\text{C}_{100}\text{H}_{202}$

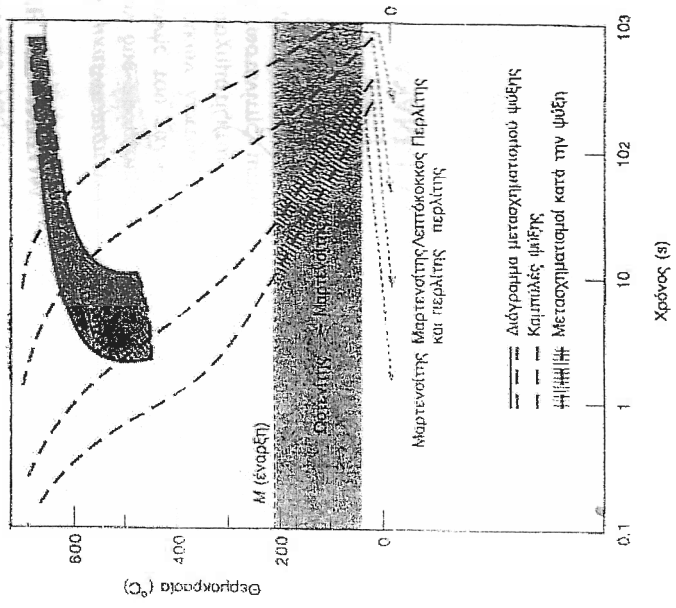
Η εναζώτωση είναι επίσης μια θερμοχημική κατεργασία κατά την οποία προσθέτουμε στην επιφανειακή στιβάδα του χάλυβα άζωτο, που σχηματίζει με διάφορα στοιχεία ενώσεις που ονομάζονται νιτρίδια.

ΒΑΦΗ

NAI



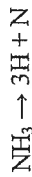
Σχ. 6-12 Οι Δυνατοί Μετασχηματισμοί του Χάλυβα με 0,8% C κατά την Απόψυξη του Ωστενίτη



Σχ. 6-13 Διάγραμμα CCT. Δυνατοί Μετασχηματισμοί για ένα Χάλυβα με 0,8% C κατά την Απόψυξη του Ωστενίτη

Κατά την εναζώτωση ο χάλυβας πρέπει να είναι ειδικής κατασκευής και να περιέχει πρόσμιξη που να σχηματίζει σκληρό νιρίδιο το οποίο κατακρημνίζεται στη συνέχεια κοντά στην επιφάνεια, όπως π.χ. αλουμίνιο, άζωτο, μολυβδαίνιο, βανάδιο κτλ. δεδομένου ότι το νιρίδιο του σιδήρου διαχέεται στο εσωτερικό.

Η εναζώτωση πραγματοποιείται με θέρμανση του χάλυβα στους 500-550 °C για μερικές ώρες σε ατμόσφαιρα αμμωνίας. Το απαραίτητο ατομικό άζωτο προέρχεται από τη διάσπαση της αμμωνίας σύμφωνα με την εξίσωση:

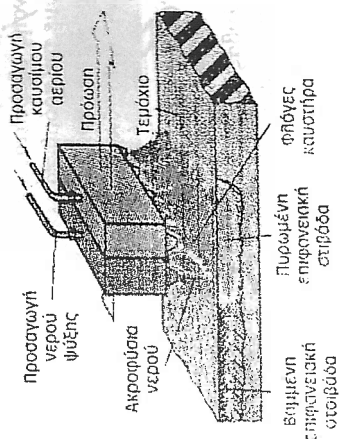


Στη συνέχεια το ατομικό άζωτο διαχέεται στο κρυσταλλικό πλέγμα και σχηματίζει τα νιρίδια που σκληραίνουν την επιφάνεια με την κατακρημνισή τους.

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ

• Φλογοβαφή ΝΑΗ

Η φλογοβαφή συνίσταται σε γρήγορη θέρμανση του επιφανειακού στρώματος των χάλυβα σε θερμοκρασία υψηλότερη από την A_{c3} συνήθως με ουδέτερη φλόγα οξυγόνου-ασετίνης. Η θέρμανση ακολουθείται από γρήγορη απόψυξη με εκτόξευση ψυκτικού υγρού π.χ. νερό, όπως φαίνεται στο Σχ.6-14.



Σχ. 6-14 Φλογοβαφή

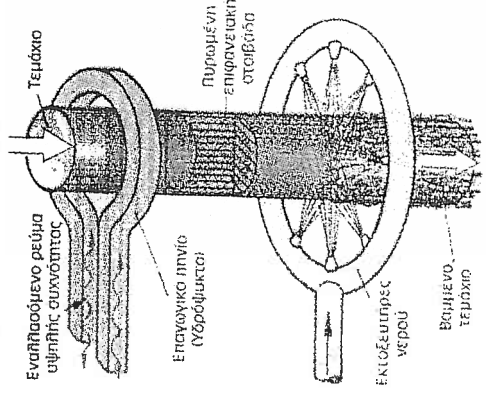
Έτσι, μετά τη φλογοβαφή, το τεμάχιο διατηρεί τη χημική του σύνθεση στην επιφάνεια και στον πυρήνα του. Σκληρύνεται μόνο η επιφάνεια με τοπική

βαφή. Τα τεμάχια που πρόκειται να υποστούν φλογοβαφή κατασκευάζονται από ανθρακούχο χάλυβα ή από ειδικούς χάλυβες, με περιεκτικότητα όμως σε άνθρακα μεγαλύτερη από 0,35% για να μπορούν να βαφούν. Πολλές φορές η φλογοβαφή ακολουθείται από επαναφορά σε θερμοκρασία 180-200 °C. Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται συνήθως για τη βαφή εξαρτημάτων μεγάλων διαστάσεων ή και πολύπλοκης γεωμετρίας.

Επειδή κατά τη φλογοβαφή πρέπει η θέρμανση και η απόψυξη να γίνονται με ορισμένη ταχύτητα, συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα των οποίων το σύστημα ψύξης κινείται με ταχύτητα 0,1-0,4 m/min.

• Βαφή με Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή ΝΑΗ

Κατά την βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, ο χάλυβας τοποθετείται στο εσωτερικό σπειροειδούς μαγνήτη, οι σπείρες του οποίου διαχέονται από ρεύμα υψηλής συχνότητας, όπως φαίνεται στο Σχ.6-15. Το ισχυρό μαγνητικό πεδίο προκαλεί τη δημιουργία στο χάλυβα, επιφανειακών ρευμάτων, τα οποία θερμαίνουν το χάλυβα, μέσω του φαινομένου Joule. Η μέθοδος αυτή, που κατά τα άλλα είναι όμοια με τη φλογοβαφή χρησιμοποιείται, συνήθως, για εξαρτήματα μικρών διαστάσεων ή και απλής γεωμετρίας.



Σχ. 6-15 Βαφή με Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

Κεφάλαιο Έβδομο

Κραματοποιημένοι Χαλύβες

7-1 Εισαγωγή

Οι ανθρακούχοι χάλυβες παρουσιάζουν σοβαρά μειονεκτήματα σε σχέση με της απαιτήσεις της τεχνικής. Τα σπουδαιότερα μειονεκτήματα αυτά είναι τα εξής:

- Χαμηλή αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις
- Μειωμένη αντοχή στη διάβρωση, που μικραίνει με την αύξηση της θερμοκρασίας
- Μικρή εμβραπτότητα και μεγάλη ταχύτητα ψύξης κατά τη βαφή

Οι *κραματοποιημένοι χάλυβες ή ειδικοί χάλυβες*, που έχουν αναπτυχθεί για να καλύψουν τα μειονεκτήματα των ανθρακούχων χαλύβων, είναι κράματα σιδήρου άνθρακα στα οποία προσθέτονται ένα ή περισσότερα ξένα στοιχεία τα οποία τα ονομάζουμε *προσθήκες*.

Η επίδραση των στοιχείων προσθήκης στη μικροδομή αλλά και σε πολλές ιδιότητες των χαλύβων είναι πολύ σημαντική. Σε αυτές τις προσθήκες οφείλονται οι βελτιωμένες ή και εντελώς νέες ιδιότητες των κραματοποιημένων χαλύβων που δεν έχουν οι ανθρακούχοι χάλυβες. Στην πράξη οι κυριότερες προσθήκες είναι τα στοιχεία Mn, Ni, Cr και Si. Δευτερεύουσες προσθήκες είναι τα στοιχεία Mo, W, V, Co, Ti και Al.

7-2 Επίδραση των Στοιχείων Προσθήκης

Στον Πίνακα 7-1 φαίνεται η επίδραση των στοιχείων προσθήκης στις ιδιότητες των χαλύβων. Παρακάτω θα αναφέρουμε την επίδραση που ασκούν οι προσθήκες στη σταθεροποίηση των διαφόρων φάσεων του διαγράμματος ισορροπίας, στην εμβραπτότητα και στην επαναφορά.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Fe-C

Η προσθήκη μαγγανίου, νικελίου και κοβαλτίου επιφέρει διεύρυνση της περιοχής σταθερότητας του ωστενίτη, ελαττώνοντας τις θερμοκρασίες μετασχηματισμών A_{c1} και A_{c3} , όπως φαίνεται στο Σχ.7-1α. Επίσης ελατώνεται και το ποσοστό του άνθρακα στο ευθηκτοειδές σημείο.

Μάλιστα η υψηλή περιεκτικότητα νικελίου ($Ni > 20\%$ β/β) ή μαγγανίου ($Mn > 10\%$ β/β) έχει ως αποτέλεσμα να σταθεροποιεί τον ωστενίτη, μια

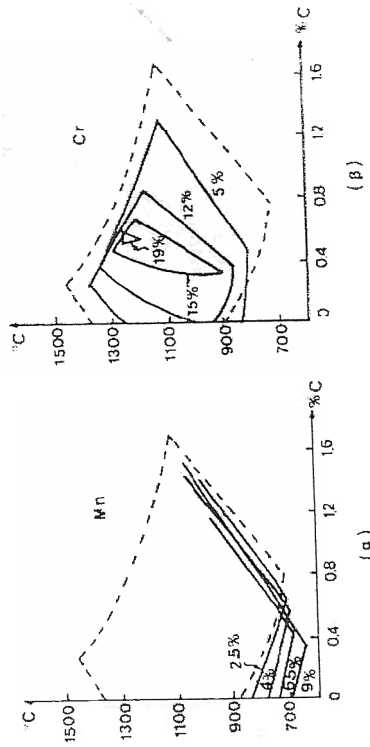
ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1

Επίδραση των Στοιχείων Προσθήκης στις Ιδιότητες των Χαλύβων

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ - ΚΥΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
Ni	Προκαλεί σημαντική αύξηση της εμβραπτότητας, αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και παρεμποδίζει την ανακρυστάλλωση. Προστίθεται, επίσης, για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής σε διάβρωση. Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβραπτότητας, πολύ μικρή αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και μεγάλη μείωση των θερμοκρασιών M_s και M_f .
Cr	Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβραπτότητας, μικρή αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και μεγάλη βελτίωση της αντοχής σε διάβρωση.
Si	Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβραπτότητας και αύξηση της σκληρότητας. Δίνει φερριτικούς χάλυβες, με μεγάλους κόκκους για ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται, επίσης, για βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής σε διάβρωση.
Mo	Προκαλεί μεγάλη αύξηση της εμβραπτότητας, αύξηση της σκληρότητας και της δυσθραυστότητας και παρεμποδίζει τη γήρανση. Προστίθεται για αύξηση της αντοχής σε επαναφορά, σε φθορά και διάβρωση και για βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων.
W	Προκαλεί μεγάλη αύξηση της εμβραπτότητας, αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και σε μηχανική φθορά.
V	Προκαλεί πολύ μεγάλη αύξηση της εμβραπτότητας. Προστίθεται για βελτίωση της αντοχής σε επαναφορά και σε μηχανική φθορά.
Al	Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβραπτότητας και παρεμποδίζει τη μεγέθυνση των κόκκων.
Ti	Προκαλεί μεγάλη αύξηση της εμβραπτότητας, μικρή αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και παρεμποδίζει τη γήρανση.
Co	Προκαλεί μείωση της εμβραπτότητας και μεταβάλλει προς τα δεξιά τις καμπύλες TTT.

Βοηθά στη διατήρηση της σκληρότητας.

φάση κανονική υψηλής θερμοκρασίας, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι χάλυβες αυτοί ονομάζονται ωστενιτικοί χάλυβες (*austenitic steels*). Αντίθετα, άλλα στοιχεία όπως το χρώμιο, το μολυβδαίνιο, το βανάδιο και το πυρίτιο συρρικνώνουν την περιοχή σταθερότητας του ωστενίτη, αυξάνοντας τις θερμοκρασίες μετασχηματισμών A_{c1} και A_{c3} , όπως φαίνεται Σχ.7-1β. Στην περίπτωση αυτή ελαττώνεται και πάλι το ποσοστό του άνθρακα στο ευηκταειδές σημείο. Αυτό σημαίνει ότι αυτοί οι κραματοποιημένοι χάλυβες θα έχουν δομή περλίτη, ακόμη και όταν περιέχουν άνθρακα κάτω από 0,8%. Τα στοιχεία Cr, W, V, Mo, Ti και Mn όταν προστεθούν σε άνθρακούχους χάλυβες σχηματίζουν σταθερά καρβίδια και μάλιστα πολύ σκληρότερα του σεμενίτη. Όμως, άλλες προσθήκες όπως το Ni, Si και το Al γραφιστοποιούν το σεμενίτη. Η προσθήκη προσμίξεων στον καθαρό χάλυβα έχει επίσης ως αποτέλεσμα να κατεβάσει την θερμοκρασία Curie του κράματος.



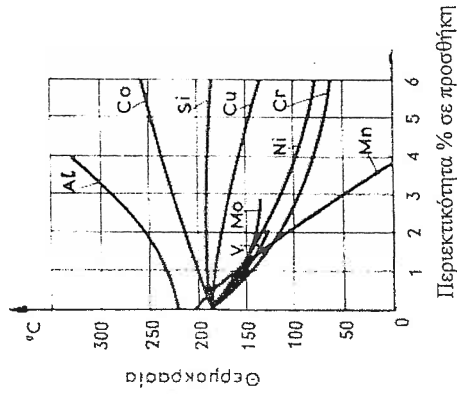
Σχ. 7-1 Επίδραση των Στοιχείων Προσθήκης στις Περιοχές Σταθερότητας του Φερρίτη και του Ωστενίτη
Οι διακοπτόμενες γραμμές είναι του καθαρού χάλυβα

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΤΤ ΚΑΙ CCT

Οι προσθήκες μεταθέτουν προς τα δεξιά τις κομπύλες ΤΤΤ και CCT με συνέπεια την ελάττωση της κρίσιμης ταχύτητας βαφής του κραματοποιημένου χάλυβα και αύξηση της ικανότητας του για βαφή. Επίσης αυτό μας επιτρέπει τη χρησιμοποίηση ηπιότερων λουτρών βαφής με τα γνωστά πλεονεκτήματα (αποφεύγονται στρεβλώσεις και ρωγμές των τεμαχίων). Ορισμένοι κραματοποιημένοι χάλυβες, με κατάλληλες προσθήκες

βάφονται ακόμη και αν αποψυχθούν στον ελεύθερο αέρα (πολύ χαμηλή ταχύτητα απόψυξης).

Σε αυτή τη μετατόπιση της κλίμακας των χρόνων, προστίθεται, συχνά, η μετατόπιση των θερμοκρασιών M_s και M_f όπως φαίνεται στο Σχ.7-2. Σε ορισμένους κραματοποιημένους χάλυβες, με κατάλληλες προσθήκες η θερμοκρασία M_s συμβαίνει να είναι κατώτερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε αυτή την περίπτωση ο κραματοποιημένος χάλυβας και μετά από τη βαφή θα έχει δομή ωστενίτη (χάλυβες ωστενιτικής μορφοποίησης).



Σχ. 7-2 Επίδραση στη Θερμοκρασία M_s των Στοιχείων Προσθήκης

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ

Ορισμένοι κραματοποιημένοι χάλυβες διατηρούν κατά την επαναφορά την υψηλή τους σκληρότητα, ιδιότητα η οποία καλείται αντοχή σε επαναφορά. Για παράδειγμα οι χρωμιούχοι χάλυβες διατηρούν την υψηλή τους σκληρότητα ως τους 500 °C, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες, η ελάττωση της τιμής της είναι μικρότερη από αυτή των κοινών χάλυβων.

Κεφάλαιο Ογδοο

Βιομηχανικά Μέταλλα και Κράματα

8-1 Εισαγωγή

Ο σίδηρος, το αλουμίνιο και ο χαλκός θεωρούνται οι τρεις «μεγάλοι» ανάμεσα στα μέταλλα, μια και είναι, μαζί με τα κράματα τους, αυτά που πάνω τους στηρίχτηκε η τεχνολογία. Ο σίδηρος και το σπουδαιότερο κράμα του, ο χάλυβας, εξετάστηκαν στο Κεφ.3. Στο κεφάλαιο αυτό θα δώσουμε μερικές πληροφορίες για τα δύο άλλα μέταλλα καθώς και για μερικά άλλα γνωστά βιομηχανικά μέταλλα και κράματα που χρησιμοποιούνται και σε εγκαταστάσεις.

8-2 Ο Χαλκός και τα Κράματα του

Ο χαλκός είναι το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο, σε καθαρή μορφή ή υπό μορφή κράματος. Οι σπουδαιότερες από τις ιδιότητες εξαιτίας των οποίων έχει μεγάλη βιομηχανική χρήση είναι:

- Πολύ μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Σχετικά καλή μηχανική αντοχή
- Σχετικά υψηλή αντίσταση σε ατμοσφαιρική διάβρωση
- Καλή δυνατότητα μηχανικής κατεργασίας
- Σχετικά μεγάλη δυνατότητα συγκολλήσεων

Οι κυριότερες κατηγορίες κραμάτων χαλκού που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι:

- Τα κράματα Cu-Zn, τα οποία ονομάζονται ορείχαλκοι
- Τα κράματα Cu-Sn, τα οποία ονομάζονται μπρούντζοι
- Το κράμα Cu-Al, το οποίο ονομάζεται χαλκοάλουμνιο
- Το κράμα Cu-Ni, το οποίο ονομάζεται χαλκονικέλιο

ΟΡΕΙΧΑΛΚΟΙ

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

εν θερμό, ενώ ορείχαλκοι με ψευδάργυρο από 51% μέχρι 68% είναι ευθραυστοί.

Οι δυνατότητα μηχανικής κατεργασίας των ορείχαλκων βελτιώνεται σημαντικά όταν τους προστεθεί μια μικρή ποσότητα 3% μολυβδου. Επίσης προσμιξή 1% κασσίτερου αυξάνει την αντίσταση του κράματος σε διάβρωση, ιδιαίτερα σε παραθαλάσσιες ή θαλάσσιες κατασκευές. Τέλος, η προσθήκη μαγγανίου, σιδήρου και αλουμινίου αυξάνει την αντοχή σε εφελκυσμό, ενώ το αλουμίνιο αυξάνει και την αντίσταση σε διάβρωση.

ΜΠΡΟΥΝΤΖΟΙ

Οι μπρούντζοι είναι συνήθως κράματα χαλκού κασσίτερου που περιέχουν από 2% μέχρι 15% κασσίτερο και μερικά, επιπλέον στοιχεία όπως ψευδάργυρο, νικέλιο και μολυβδό. Είναι ανθεκτικότερα στη διάβρωση από τα κράματα χαλκού-ψευδαργύρου και ακόμη, ανθεκτικότερα στον εφελκυσμό και τη φθορά. Έχουν όμως μικρότερο δυνατότητα μηχανικής κατεργασίας και μορφοποίησης σε καλούπια.

Οι μπρούντζοι διαμόρφωσης έχουν περιεκτικότητα σε κασσίτερο από 4% μέχρι 9% και οι μπρούντζοι χύτεσης από 9% μέχρι 16%. Οι μπρούντζοι με κασσίτερο πάνω από 10% παρουσιάζουν σκληρότητα και είναι αδύνατο να μορφοποιηθούν με πλαστική παραμόρφωση.

Όπως στους ορείχαλκους, έτσι και στους μπρούντζους αν προστεθεί μολυβδος μέχρι 2%, βελτιώνει την κατεργασιμότητα τους.

ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΑΛΚΟΥ-ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Η παρουσία του αλουμινίου σχηματίζει ένα επιφανειακό προστατευτικό στρώμα οξειδίου, και έτσι τα κράματα χαλκού αλουμινίου παρουσιάζουν πολύ καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική οξείδωση, σε ελαφρά υψηλές θερμοκρασίες, επίσης και στη διάβρωση από θαλασσινό νερό. Δύσκολα χυτεύονται και συγκολλούνται, ακριβώς εξαιτίας του εύκολου σχηματισμού οξειδίων. Μπορεί να περιέχουν μέχρι και 5% νικέλιο, που βελτιώνει ακόμη περισσότερο την αντοχή τους σε διάβρωση.

Κράματα χαλκού αλουμινίου με περιεκτικότητα από 9,50% μέχρι 12% αλουμίνιο και με σίδηρο και νικέλιο μέχρι 5% χρησιμοποιούνται πολύ στη ναυπηγική βιομηχανία για έλικες, αντλίες, άξονες αντλιών κλπ.

ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΑΛΚΟΥ-ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Τα κράματα χαλκού νικελίου περιέχουν νικέλιο σε ποσοστό 10-30%. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση. Έχουν επίσης καλή πλαστικότητα και μπορούν να διαμορφωθούν εν ψυχρώ και εν θερμό.

εξαιτίας ακριβώς των χονδρών τεμαγίων της μεσομεταλλικής ένωσης παρουσιάζει μικρή μηχανική αντοχή και είναι εύθραυστο.

Με θερμική καταργασία που περιλαμβάνει τη θέρμανση σε καθορισμένη θερμοκρασία π.χ. στους 530 °C και απότομη ψύξη (βαφή) μέχρι την θερμοκρασία του δοματίου εμποδίζεται η κατακρήμνιση του χαλκού ως CuAl_2 και γίνεται δυνατός ο σχηματισμός υπερκορεσμένου στερεού διάλυματος αλουμινίου χαλκού. Σε αυτή την κατάσταση το κράμα είναι κάπως ανθεκτικότερο και σκληρότερο γιατί υπάρχει περισσότερος χαλκός διαλυμένος στο αλουμίνιο. Επίσης είναι και περισσότερο δόσθραυστο, γιατί δεν υπάρχουν τώρα τα εύθραυστα τεμαχίδια του CuAl_2 .

Αν το κράμα παραμείνει στην θερμοκρασία του δοματίου για αρκετό χρόνο, τότε αρχίζει να σκληρώνει, δηλαδή να αποκτάει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και σκληρότητα με ελάττωση όμως της δυσθραυστότητας. Αυτή η σκλήρυνση γίνεται μέγιστη μετά από χρονικό διάστημα έξι ημερών και οφείλεται στην κατακρήμνιση, με την πάροδο του χρόνου, πάρα πολύ μικρών φυλλιδίων CuAl_2 από το υπερκορεσμένο στερεό διάλυμα αλουμινίου χαλκού. Επομένως, στην περίπτωση που εξετάζουμε, παρατηρείται ελάττωση της πλαστικότητας του κράματος και από αυτό και η σκλήρυνση του. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται σκλήρυνση «εκ κατακρήμνισεως δια γηράνσεως».

8-4 Αντιτριβικά Κράματα ή Κράματα Εδράνων Ολίσθησης

Όπως είναι γνωστό τα έδρανα, κύλισης ή ολίσθησης, είναι στοιχεία μηχανής στα οποία στηρίζονται οι άρακτοι ή οι άξονες και που παραλαμβάνουν τα φορτία που τους καταπονούν.

Τα έδρανα έχουν κατάλληλη επιφανειακή στρώση *αντιτριβικού κράματος* επάνω στην οποία στρέφεται ο στρόφας. Ένα αντιτριβικό κράμα για να ανταποκριθεί στον περιορισμό του πρέπει να αποτελείται από στερεά διαλύματα και μεσομεταλλικές ενώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί τα στερεά διαλύματα είναι εύθραυστα και μαλακά, ενώ οι μεσομεταλλικές ενώσεις είναι σκληρές αλλά εύθραυστες. Επομένως γίνεται κάποιος συγκερασμός των πλεονεκτημάτων της μαλακής και της σκληρής φάσης στο ίδιο κράμα.

Τα αντιτριβικά κράματα διακρίνονται σε:

- Κράματα με βάση το χαλκό
- Κράματα με βάση τον κασσίτερο ή το μόλυβδο (Λευκά μέταλλα)

ΑΝΤΙΤΡΙΒΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΧΑΛΚΟ

Τα κράματα χαλκού κασσιτέρου (μπρούντζοι) με 10% μέχρι 15% κασσίτερο, καθώς και τα φωσφορούχα κράματα χύτευσης χαλκού κασσιτέρου με 10% μέχρι 13% κασσίτερο και 0,3% μέχρι 1% φωσφόρο,

Αύξηση της περιεκτικότητας σε νικέλιο, προκαλεί αύξηση της μηχανικής αντοχής και της αντοχής σε θαλάσσια διάβρωση. Τα κράματα με νικέλιο 30% χρησιμοποιούνται για αυλούς συμπυκνωτών και ψυγείων και όπου χρειάζεται καλή αντοχή στη διάβρωση.

8-3 Το Αλουμίνιο και τα Κράματα του

Το *αλουμίνιο* και τα κράματα του χαρακτηρίζονται από μια χαμηλή πυκνότητα, υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και αντίσταση στη διάβρωση. Η μηχανική αντοχή του αλουμινίου είναι δυνατό να βελτιωθεί με εν ψυχρώ καταργασία και με κραματοποίηση. Τα πιο συνηθισμένα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για κραματοποίηση, είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμούς, είναι ο χαλκός, το μαγνήσιο, το πυρίτιο, το μαγγάνιο, ο συνδασμός, ο νικέλιο, το χρώμιο και ο σίδηρος.

Τα προϊόντα κραμάτων του αλουμινίου διακρίνονται σε κράματα διαμόρφωσης και σε κράματα χύτευσης. Και οι δύο κατηγορίες μπορεί να έχουν ή να μην έχουν υποστεί πρόσθετη θερμική καταργασία για βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων.

ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Στα κράματα της κατηγορίας αυτής είναι εκείνα που περιέχουν μέχρι 1,5% μαγγάνιο και εκείνα που περιέχουν από 2% μέχρι 5% μαγνήσιο. Γενικά έχουν καλή αντοχή στη διάβρωση και η αύξηση της αντοχής τους επιτυγχάνεται με ισχυροποίηση μέσω στερεού διαλύματος.

Τα κράματα που περιέχουν μαγνήσιο αντέχουν ιδιαίτερα στο θαλασσινό νερό, για αυτό και χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία.

ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Τα κράματα αυτά αποκτούν καλύτερες μηχανικές καταργασίες με τη λεγόμενη σκλήρυνση «εκ κατακρήμνισεως δια γηράνσεως».

Θα περιγράψουμε τις διάφορες θερμικές καταργασίες που εφαρμόζουμε σε κράματα αλουμινίου παίρνοντας ως παράδειγμα το κράμα αλουμινίου χαλκού με 4% χαλκό, που αποτελεί και τη βάση των κραμάτων της σειράς του γνωστού *ντουραλούμινιου*.

Το κράμα αλουμινίου χαλκού με 4% χαλκό μετά από την ήρεμη απόψυξη του, από την κατάσταση της υγρής φάσης στη θερμοκρασία δοματίου, αποτελείται από στερεό διάλυμα αλουμινίου χαλκού και από χονδρά τεμάχια της μεσομεταλλικής ένωσης CuAl_2 . Σε αυτή την κατάσταση το κράμα,

Κεφάλαιο Ένατο

Μη Μεταλλικά Υλικά

9-1 Εισαγωγή

Η εκτεταμένη χρήση των μη μεταλλικών υλικών σε μηχανολογικές και θαλάσσιες εφαρμογές βασίζεται κυρίως στην υψηλή αντοχή τους σε διάβρωση καθώς και στις υψηλές τιμές του λόγου αντοχή/βάρους που παρουσιάζουν οι κατασκευές από ενισχυμένα μη μεταλλικά υλικά. Γενικότερα όμως, τα μη μεταλλικά υλικά παρουσιάζοντας μεγάλη ευελιξία σε εφαρμογές, μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο φάσμα απαιτήσεων σε ιδιότητες ξεκινώντας από μηχανικές αντοχές και φθάνοντας μέχρι την προστασία κατασκευών από τη δράση του περιβάλλοντος.

Εκτός από την χρήση τους σαν βασικά κατασκευαστικά υλικά για την ναυπηγική, τα μη μεταλλικά υλικά καταναλώνονται σε μεγάλες ποσότητες με τη μορφή επικαλυπτικών και βερνικιών καθώς και σαν αφρώδη υλικά. Επιπλέον, στην εσωτερική αρχιτεκτονική και στον εξοπλισμό πλοίων και μικρών σκαφών τα μη μεταλλικά υλικά κατέχουν σημαντική θέση.

Παρουσιάζει επομένως ιδιαίτερο ενδιαφέρον η απόκτηση των βασικών γνώσεων για τη δομή, την επεξεργασία και τις ιδιότητες των μη μεταλλικών υλικών ως κατασκευαστικών υλικών. Με τις γνώσεις αυτές είναι δυνατή η τοποθέτηση κριτηρίων για την αποδοχή ενός μη μεταλλικού υλικού σε δεδομένη εφαρμογή και ο έλεγχος καταλληλότητας των προϊόντων.

Στα μη μεταλλικά υλικά δόθηκαν οι ονομασίες *συνθετικές ύλες, ρητίνες, πλαστικά ή πολυμερή*. Καμιά από αυτές τις ονομασίες δεν καλύπτει το σύνολο των προϊόντων αυτού του είδους, οι δύο όμως τελευταίες (πλαστικά ή πολυμερή) καλύπτουν τις περισσότερες από τις τεχνητές ύλες από την άποψη της χημικής σύνθεσης και των τεχνολογικών ιδιοτήτων.

9-2 Χημική Σύνθεση και Παραγωγή

Τα πλαστικά προέρχονται, με εξαίρεση τις σιλικάνες, από ενώσεις άνθρακα, οι οποίες σχηματίζουν τα μεγαλομόρια. Επίσης, εκτός από τον άνθρακα, μπορεί να περιέχουν τα στοιχεία υδρογόνο οξυγόνο, άζωτο, χλώριο και φθόριο.

Η παραγωγή των πλαστικών ξεκινά από τις κύριες πρώτες ύλες το αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο και κλιμακώνεται σε δυο φάσεις:

- Τη σύνθεση προπαραγών ικανών να αντιδράσουν. Αυτά αποτελούνται από επί μέρους μόρια και καλούνται μονομερή
- Τη σύζευξη χηλάδων επί μέρους μορίων για το σχηματισμό μεγαλομορίων. Τα δημιουργούμενα σώματα ονομάζονται πολυμερή

είναι κατάλληλα για έδρανα ολίσθησης. Αυτά τα κράματα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις αντιτριβικού κράματος, γιατί περιλαμβάνουν τη σκληρή μεσομεταλλική ένωση χαλκού-κασσιτέρου μέσα σε μαλακό και δύσθραυστο στερεό διάλυμα χαλκού κασσιτέρου. Γενικά χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που τα φορτία είναι μεγάλα.

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

Επίσης, κράμα χαλκού κασσιτέρου με 2,5% Sn, 1,5% Fe και 1,2% Cr είναι κατάλληλο σε περιπτώσεις λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες με δυσμενείς συνθήκες φθοράς (π.χ. ως αντιτριβικό μέταλλο για οδηγούς βαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσης, έδρανα οδοντωτού τροχού-ατέρμια κοχλία, καταπονύμενα με μεγάλες πιέσεις κλπ.).

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

ΛΕΥΚΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

- Λευκά Μέταλλα με Βάση τον Κασσίτερο

Γενικά, αυτά τα κράματα ονομάζονται *λευκά μέταλλα* από το χρώμα τους, σε αντίθεση προς τα κράματα με βάση το χαλκό, τα οποία είναι ερυθρωπά. Οι κύριες προσμίξεις είναι το αντιμόνιο από 3% μέχρι 10% και ο χαλκός περίπου 3,5%.

Σε αυτά τα κράματα υπάρχουν δυο σκληρές φάσεις, που αποτελούνται από κύβους μεσομεταλλικής ένωσης αντιμόνιου-κασσιτέρου και βελόνες επίσης μεσομεταλλικής ένωσης χαλκού-κασσιτέρου. Επειδή είναι μαλακά, χυτεύονται σε χαλβόδινα χιτώνια και ύστερα τριβούνται στην τελική τους διάσταση. Το ίδιο συμβαίνει και για τα λευκά μέταλλα με βάση το μόλυβδο. Παρουσιάζουν καλή πλαστικότητα.

- Λευκά Μέταλλα με Βάση το Μόλυβδο

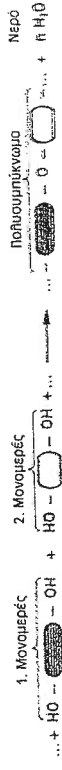
Στα αντιτριβικά αυτά κράματα, μέρος του κασσιτέρου αντικαθίσταται από μόλυβδο, που είναι φθινοτερος. Περιέχουν 10% μέχρι 15% κασσίτερο, 6% μέχρι 65% μόλυβδο και 1,50% μέχρι 3% χαλκό. Χρησιμοποιούνται για πιο ήπιες συνθήκες φόρτισης από ότι τα λευκά μέταλλα με βάση τον κασσίτερο.

Η σύζευξη των επί μέρους μορίων σε μεγαλομόρια μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους αντιδράσεων:

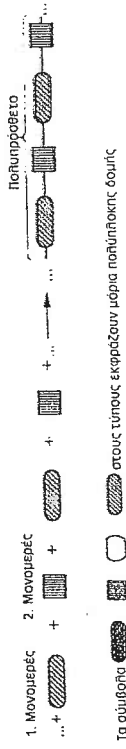
– Πολυμερισμός. Στον πολυμερισμό παράγονται μεγαλομόρια με αλυσοειδή διάταξη ακόρεστων μορίων ενός είδους μονομερούς π.χ. ο σχηματισμός πολυαιθυλενίου από αιθυλένιο.



– Πολυσυνμπύκνωση. Στην πολυσυνμπύκνωση ενώνονται τα μόρια των διαφορετικών μονομερών σε μεγαλομόρια με τον ταυτόχρονο αποχωρισμό ενός υλικού μικρού μοριακού βάρους, όπως νερό, αμμωνία κλπ. Π.χ. ο σχηματισμός του πολυεστέρος.



– Πολυπροσθήκη. Στην πολυπροσθήκη ενώνονται όμοια ή διαφορετικά μόρια σε μεγαλομόρια χωρίς όμως να αποσπασθούν άλλες ενώσεις κατά τον σχηματισμό. Π.χ. ο σχηματισμός της πολυουρεθάνης



9-3 Τεχνολογική Κατάταξη – Ιδιότητες – Εφαρμογές

Τα πλαστικά υποδιαιρούνται σύμφωνα με την εσωτερική τους δομή σε θερμοπλαστικά, θερμοσκληρυντικά (Duroplaste) και ελαστομερή. Κάθε ομάδα πλαστικών έχει μια τυπική για την ομάδα εσωτερική δομή. Η δομή αυτή προκαλεί μια όμοια μηχανική συμπεριφορά κατά τη θέρμανση.

ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

Τα θερμοπλαστικά αποτελούνται από νηματοειδή μεγαλομόρια, τα οποία όπως οι ίνες στο βαμβάκι, περιπλέκονται μεταξύ τους, αλλά δε δημιουργούν συνδέσεις στα σημεία επαφής. Τα πλαστικά αυτά αποκτούν την αντοχή τους

από τις δυνάμεις τριβής και την αλληλοδιασταύρωση των μεγαλομορίων. Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος τα θερμοπλαστικά είναι σκληρά. Με αυξανόμενη θερμοκρασία γίνονται ελαστικά, κατόπιν εύπλαστα και τέλος γίνονται ρευστά. Κατά την ψύξη της θερμής μάζας του πλαστικού, η συμπεριφορά αντιστρέφεται και το πλαστικό γίνεται πάλι σκληρό υλικό.

Τα θερμοπλαστικά διαμορφώνονται εν θερμώ και συγκολλούνται. Επειδή αυτά τα υλικά γίνονται με τη θέρμανση μαλακά ονομάζονται θερμοπλαστικά. Η θέρμανση των πλαστικών επιτρέπεται μόνο μέχρι ενός σημείου, διότι αν γίνει υπέρβαση στη θέρμανση τους, τότε αυτά αλλοιώνονται.

Τα θερμοπλαστικά αποτελούν, από πλευράς πλήθους, την πολυπληθέστερη ομάδα πλαστικών. Αυτό οφείλεται προπάντων στην εύκολη κατεργασία τους (διαμόρφωση εν θερμώ, δυνατότητα συγκόλλησης), η οποία επιτρέπει την οικονομική τους διαιμόρφωση. Επιπλέον, υπάρχει μια πληθώρα διαφόρων τύπων θερμοπλαστικών με ιδιότητες για κάθε είδος χρήσης. Τα κυριότερα θερμοπλαστικά είναι τα εξής:

• Πολυαιθυλένιο (PE)

Το πολυαιθυλένιο μπορεί απλά να οριστεί ως πολυμερές του αιθυλενίου. Η παραγωγή του γίνεται με πολυμερισμό προσθήκης. Το PE χαμηλής πίεσης είναι άκαμπτο ενώ το PE υψηλής πίεσης είναι εύκαμπτο.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του PE είναι:

- Πολύ χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Χημική αντοχή σε οξέα, αλκάλια και διαλύτες
- Αντοχή και ευκαμψία σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Χαμηλή διαπερατότητα σε διάφορα μέσα
- Σχετικά χαμηλό κόστος

Τυπικές εφαρμογές του PE αναφέρονται στην παραγωγή μέσων συσκευασίας (φιάλες, δοχεία, βαρέλια). Άλλες εφαρμογές είναι η παραγωγή σωλήνων, η επικάλυψη καλωδίων καθώς και η παραγωγή μικροαντικειμένων.

• Πολυπροπυλένιο (PP)

Το πολυπροπυλένιο είναι πολυμερές που συνδυάζει υψηλή χημική αντοχή, ικανοποιητική θερμική σταθερότητα, ακαμψία και χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Τα σπουδαιότερα πεδία εφαρμογών είναι η κατασκευή αντικειμένων με έγχυση (όπως πάματα, μικροαντικείμενα κλπ.) και η παραγωγή τινών που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για κατασκευή σχοινιών ή ύφανση.

- **Πολυστυρένιο (PS)**

Το *πολυστυρένιο* είναι από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα θερμοπλαστικά. Είναι διαφανές, δύσκαμπτο και μπορεί να μορφοποιηθεί εύκολα με τήξη, ενώ παρουσιάζει καλές μονωτικές ιδιότητες και αντοχή σε πολλά από τα συνηθισμένα χημικά μέσα. Δεν παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή στο υπεριώδες φως και έτσι δεν συνίσταται για την παραγωγή αντικειμένων που θα εκτεθούν σε ηλιακό φως.

Ο κυριότερος τομέας εφαρμογής του PS είναι η συσκευασία.

- **Νάιλον**

Το *νάιλον* είναι γενικός όρος που χαρακτηρίζει μια σειρά από πολυαμιδιά. Όλα τα πολυαμιδιά είναι υλικά υψηλής αντοχής, μεγάλης αντοχής σε τριβή ενώ μπορούν να λειτουργήσουν σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (120 °C) για μεγάλους χρόνους.

Οι κυριότερες εφαρμογές των πολυαμιδίων αναφέρονται στην κατασκευή βιομηχανικών αγαθών, σχοινιών και ινών, αντικειμένων για ηλεκτρικές εφαρμογές και ειδών οικιακής χρήσης.

- **Χλωριούχο Πολοβινύλιο (PVC)**

Το *PVC* και τα συμπολυμερή του αποτελούν μια κατηγορία πολυμερών με μεγάλη ευελιξία, επειδή είναι εύκολη η τροποποίηση της σύστασής τους με την προσθήκη διαφόρων ουσιών. Έτσι, τα πολυμερή αυτά, ως τελικά προϊόντα, είναι διαθέσιμα σε μεγάλη ποικιλία μορφών από μαλακά και εύκαμπτα υλικά, που χρησιμοποιούνται ως φύλλα, μέχρι τα σκληρά και δύσκαμπτα υλικά, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μεγάλων σωλήνων.

- **Πολυτετραφθοριούχο Αιθυλένιο (PTFE)**

Το *PTFE (teflon)* είναι γαλακτόχρωμο. Είναι χημικώς αδρανές σχεδόν σε κάθε περιβάλλον και έχει χαμηλό συντελεστή τριβής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι 260 °C. Οι κυριότερες εφαρμογές του PTFE είναι σε σωλήνες και βαλβίδες χημικών ουσιών, σε έδρανα μηχανών, σε ηλεκτρονικά επιχρίσματα υψηλών θερμοκρασιών, σε αντιδιαβρωτικά μέσα σφράγισης κλπ.

ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΤΙΚΑ

Τα *θερμοσκληρυντικά* αποτελούνται από μεγαλομόρια, τα οποία είναι δικτυωμένα με χημικές ενώσεις μεταξύ τους και σχηματίζουν έτσι μικρούς βρόγχους.

Τα θερμοσκληρυντικά πλαστικά, κατά την θέρμανση τους, αλλάζουν τη συμπεριφορά τους ελάχιστα, διότι οι θέσεις δικτύωσης δεν επιτρέπουν μετατόπιση των μεγαλομορίων. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας, της διατήρησης της σκληρότητας και της αντοχής κατά τη θέρμανση, ονομάζονται αυτά τα υλικά *Duroplaste* (από το λατινικό *durus* = σκληρός). Αν στα σώματα αυτά γίνει υπέρβαση κατά την θέρμανση, τότε αυτά διασπώνται χωρίς να γίνουν μαλακά. Τα θερμοσκληρυντικά δεν διαμορφώνονται και δεν συγκολλούνται. Τα κυριότερα θερμοσκληρυντικά είναι τα εξής:

- **Ρητίνη Φενόλης (PF)**

Η *ρητίνη φενόλης* έχει χρώμα καφέ-κίτρινο που με την πάροδο του χρόνου γίνεται σκοτεινότερο. Είναι σκληρή, ψαθυρή και εύθραυστη. Κυρίως χρησιμοποιείται ως υλικό πλήρωσης.

- **Ρητίνη Μελαμίνης (MF)-Ρητίνη ουρίας (UF)**

Η *ρητίνη μελαμίνης* (και η ρητίνη *ουρίας*) είναι άχρωμη μέχρι ανοιχτού κίτρινου χρώματος, που γίνεται σκοτεινότερο με την πάροδο του χρόνου. Είναι σκληρή, ψαθυρή και εύθραυστη. Επεξεργάζεται, συνήθως, με υλικά πλήρωσης για μικροσυντκειμένα και κελύφη.

- **Εποξειδικές Ρητίνες (EP)**

Οι *εποξειδικές ρητίνες* είναι άχρωμες μέχρι κίτρινομελί, σκληρές, συνεκτικές και εύθραυστες. Έχουν καλή συγκολλητική ικανότητα και καλή χύτευση. Είναι ανθεκτικές έναντι οξέων, βάσεων, διαλυμάτων αλάτων και διαλυτικών μέσων.

Χρησιμοποιούνται ως συγκολλητικά μέσα, ως συστατικά χρωμάτων και για τη χύτευση μοδέλλων. Επίσης ένα μεγάλο μέρος των πολυεστέρων και εποξειδικών ρητινών χρησιμοποιεί ως συνδετικό υλικό των υαλονημάτων ή ανθρακονημάτων για την παραγωγή πλαστικών ενισχυμένων με υαλονήματα ή πλαστικών ενισχυμένων με ανθρακονήματα. Από αυτό το ελαφρύ και πολύ ανθεκτικό υλικό κατασκευάζονται σκάφη λέμβων, εξαρτήματα αμαξωμάτων κλπ.

- **Ρητίνες Πολυουρεθάνης (PUR)**

Οι *ρητίνες πολυουρεθάνης* έχουν κίτρινο μελί χρώμα. Ανάλογα με το είδος τους είναι από σκληρές και συνεκτικές μέχρι μαλακές και ελαστικές. Έχουν καλή πρόσφυση, μπορούν να διαμορφωθούν και σε αφρώδη μορφή. Είναι ανθεκτικές έναντι των ασθενών οξέων, βάσεων, διαλυμάτων αλάτων και

Στο σύνθετο υλικό συνενώνονται οι καλές ιδιότητες των επιμέρους υλικών, ενώ οι κακές ιδιότητες παρακάμπτονται. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό, με κατάλληλη επιλογή και συνδυασμό επιμέρους υλικών, να παραχθούν σύνθετα υλικά, τα οποία να ικανοποιούν ακριβώς μια συγκεκριμένη απαίτηση. Ανάλογα με τη μορφή υλικών που υπάρχουν μέσα στη σύνθεση, τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε:

- Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες ή σύρματα
- Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με σωματίδια
- Σύνθετα υλικά κατά στρώσεις

Με την ενίσχυση βελτιώνονται στα σύνθετα υλικά η αντοχή, η ακαμψία (μέτρο ελαστικότητας) και η σκληρότητα. Πέρα από αυτά μπορούν με κατάλληλο συνδυασμό της σύνθεσης να βελτιωθούν ακόμη και άλλες ιδιότητες π.χ. η αγωγιμότητα στον ηλεκτρισμό και στη θερμότητα, η αντοχή στη θερμοκρασία, η αντοχή στη φθορά.

Όπως αναφέραμε στα σύνθετα υλικά μπορούν να συγκεντρωθούν οι καλές ιδιότητες περισσότερων επιμέρους υλικών και να εξουδετερωθούν οι κακές. Έτσι, στα ενισχυμένα με υαλονήματα πλαστικά έχουν συνδυασθεί η μεγάλη αντοχή των υαλονημάτων με την συνεκτικότητα των πλαστικών και με αυτόν τον τρόπο έχουν παρακαμφθεί η ψαθυρότητα των υαλονημάτων και η μικρή αντοχή των πλαστικών. Στα σκληρομέταλλα, συνενώνεται η σκληρότητα των σκληρών υλικών και η συνεκτικότητα των μετάλλων σε ένα σύνθετο υλικό, ενώ η ψαθυρότητα των σκληρών υλικών και η μικρή σκληρότητα των μετάλλων δεν εμφανίζονται στο προσκόνιο.

πολλών διάλυτικών.

Η σκληρή PUR χρησιμοποιείται ως έδρανα ολίσθησης και ως οδοντοτροχοί. Η μέση σκληρότητας PUR χρησιμοποιείται ως μάντες, προφυλακτικές αυτοκινήτων, τροχίσκοι κλπ. Η μαλακή PUR χρησιμοποιείται ως παρεμβύσματα στεγανότητας (τσιμούχες).

• Ρητίνες Σιλικόνης (SI)

Οι ρητίνες σιλικόνης είναι γαλακτοχρώμες. Ανάλογα με την κατασκευή τους είναι από ανθεκτικές και άκαμπτες μέχρι μαλακές και ελαστικές. Είναι ανθεκτικές στη θερμοκρασία (μέχρι 180 °C), στα λάδια και προσβάλλονται από οξέα, βάσεις και διαλυτικά. Χρησιμοποιούνται σε μονωτικά χρώματα, σε επικαλύψεις που απωθούν το νερό, ως στεγανωτικά, ως υλικό πλήρωσης ρωγμών κλπ.

ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΗ

Τα ελαστομερή σχηματίζονται από μεγαλομόρια, τα οποία εμπλέκονται μεταξύ τους και σε μερικές θέσεις είναι δικτυωμένα, σχηματίζοντας μεγάλους βρόγχους. Υπό την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων τα ελαστομερή παραμορφώνονται ελαστικά, αρκετές φορές από το αρχικό τους μήκος και με την παύση των δυνάμεων επανέρχονται στην αρχική τους μορφή.

Αυτή η συμπεριφορά ονομάζεται ελαστική και τα πλαστικά υλικά, που έχουν αυτήν την ιδιότητα ονομάζονται ελαστομερή. Η ελαστική συμπεριφορά των ελαστομερών επηρεάζεται λίγο με την θέρμανση (γίνονται λίγο μαλακότερα). Σε πολύ ισχυρή θέρμανση αλλοιώνονται.

Τα ελαστομερή είναι ελαστικά (όπως το λάστιχο), αλλά δεν διαμορφώνονται εν θερμό ούτε συγκολλούνται.

Τα ελαστομερή που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι κατασκευασμένα συνθετικά. Το πλέον συχνό υλικό είναι το συνθετικό καουτσούκ, το οποίο καλείται καουτσούκ βουταδιενίου.

Χρησιμοποιούνται σε ελαστικά οχημάτων, ως δακτύλιοι στεγανότητας, ως μεταλλοπλαστικά παρεμβύσματα, ως καλύμματα προστασίας, ως ελατήρια από ελαστικό, ως σωλήνες κλπ.

9-4 Σύνθετα Υλικά

Τα σύνθετα υλικά είναι τεχνητά παραγόμενα πολυφασικά υλικά τα οποία έχουν ένα επιθυμητό συνδυασμό από τις καλύτερες ιδιότητες των συστατικών των φάσεων. Συνήθως μια φάση (η μήτρα) είναι συνεχής και περιβάλλει ολοκληρωτικά την άλλη (τη διασπασμένη φάση).

Κεφάλαιο Δέκατο

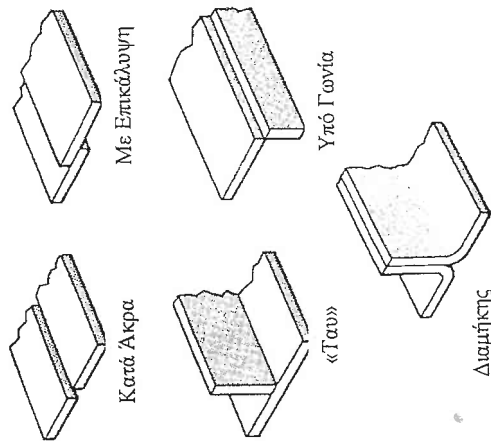
Συγκολλήσεις

10-1 Εισαγωγή

Ως *συγκόλληση* ορίζεται οποιαδήποτε διαδικασία η οποία εφαρμόζεται για τη σύνδεση διαφόρων μεταλλικών υλικών μεταξύ τους, με ένα είδος συναρμογής και με τη χρήση της θερμότητας.

Στις συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται πέντε βασικοί τρόποι συναρμογής δύο κομματιών, προκειμένου να συγκολληθούν. Κατά τη συναρμογή δύο μεταλλικών υλικών μεταξύ τους, θα εφαρμοσθεί ένας από αυτούς τους πέντε τρόπους. Αυτοί οι πέντε βασικοί τρόποι συναρμογής των μεταλλικών υλικών, όπως φαίνονται στο Σχ.10-1, προκειμένου να συγκολληθούν, είναι:

- Η συναρμογή κατά άκρα
- Η συναρμογή με επικάλυψη «ταυ»
- Η συναρμογή υπό γωνία
- Η διαμήκης συναρμογή



Σχ. 10-1 Οι Πέντε Βασικοί Τρόποι Συναρμογής

Σήμερα υπάρχουν περίπου 20 τρόποι συγκολλήσεων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την σύνδεση των μετάλλων μεταξύ τους. Σε αυτούς τους διαφορετικούς τρόπους συγκόλλησης, πολύ σπουδαίο ρόλο παίζει η επιλογή του τρόπου σύνδεσης, σε μια εφαρμογή συγκόλλησης. Συνήθως ο πεύθυνος για αυτό είναι ο μηχανικός συγκολλήσεων, αν και αυτή η ευθύνη τελικά μπορεί να ανατεθεί στον ίδιο το συγκολλητή. Παρόλα ταύτα η επιλογή της σύνδεσης πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά.

Η *συναρμογή στα άκρα* μπορεί να επιλεγεί για την επιμήκυνση μιας χαλαβδοκατασκευής. Η *συναρμογή «ταυ»* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση μιας δοκού στήριξης υπό γωνία 90°. Η *συναρμογή με επικάλυψη* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκόλληση ενός σωλήνα, ο οποίος εισέρχεται εν μέρει σε έναν άλλον σωλήνα μεγαλύτερης διαμέτρου. Η *υπό γωνία* συναρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη συγκόλληση ελασμάτων για την κατασκευή ενός μεταλλικού, εμπορευματοκιβωτίου, και τέλος η *διαμήκης συναρμογή* συνήθως χρησιμοποιείται για λεπτά μεταλλικά ελάσματα, στα οποία το λιώσιμο τους και η παραμόρφωση τους μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα. Επίσης στις διάφορες συγκολλήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο συνδυασμός αυτών των διαφορετικών τρόπων σύνδεσης.

Προετοιμάζοντας τα μέταλλα για συγκόλληση, πρέπει να έχουμε και έναν τροχό για την αφαίρεση της σκουριάς και τη λείανση των προς συγκόλληση επιφανειών των μετάλλων. Επίσης τα μεταλλικά κομμάτια μπορεί να απαιτούν κοπή κατά λοξή γωνία (γώνιασμα), ώστε να εμιαστε σίγουροι ότι κατά τη συγκόλληση θα έχουμε πλήρη διείσδυση της κόλλησης, για καλύτερη σύνδεση. Κατά το γώνιασμα, αφαιρούμε λοξά ένα μέρος του μετάλλου κατά μήκος της προς συγκόλληση ακμής του μεταλλικού κομματιού.

Η διαμήκης σύνδεση μπορεί να προετοιμασθεί λυγίζοντας κατά μήκος το ένα άκρο του μεταλλικού ελάσματος, χρησιμοποιώντας μια χειροκίνητη ή μηχανοκίνητη στράντζα. Δημιουργώντας αυτή τη γωνία στα λεπτά μεταλλικά ελάσματα, μπορεί να βοηθήσουμε στην ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων κατά τη συγκόλληση.

Ο χάλυβας και το αλουμίνιο είναι μόνο δύο από τα μέταλλα και τα κράματα τα οποία χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις. Ο χυτοσίδηρος, ο χαλκός, ο ορείχαλκος και ο ανοξείδωτος χάλυβας, είναι άλλα τέσσερα κράματα, τα οποία χρησιμοποιούνται πάρα πολύ. Όπως αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια αλλοίοντες, τα ποσοστά των διαφόρων πρόσθετων στα μέταλλα, αλλάζουμε τις φυσικές τους ιδιότητες. Αποτέλεσμα αυτού είναι μερικά κράματα να συγκολλούνται ευκολότερα, ενώ άλλα κράματα δεν συγκολλούνται εύκολα. Επίσης, μερικοί τύποι κραμάτων δεν συγκολλούνται καθόλου.

Η αντοχή σε εφελκυσμό, η σκληρότητα, η ολκιμότητα, η ελαστικότητα και άλλες ιδιότητες των μετάλλων μπορεί να αλλάξουν προς το καλύτερο ή προς

το χειρότερο εξαιτίας της συγκόλλησης. Για παράδειγμα, η κατάλληλη θέρμανση και ψύξη μπορεί να αυξήσει τη σκληρότητα μερικών μετάλλων, ενώ μια ακατάλληλη διαδικασία συγκόλλησης μπορεί να προκαλέσει τη θραύση ενός εύθραυστου χυτοσιδήρου. Η γνώση των φυσικών ιδιοτήτων του βασικού μετάλλου, βοηθάει στην επιλογή της πορείας της συγκόλλησης και στην επιλογή του μετάλλου που θα προστεθεί για να γίνει μια σύνδεση (κόλληση).

10-2 Συγκόλληση με Οξυγόνο-Ασετυλίνη

Η συγκόλληση με οξυγόνο-ασετυλίνη είναι πολύ διαδεδομένη, αλλά επειδή οι άλλες συγκολλήσεις είναι ταχύτερες για αυτό το φλόγιστρο της οξυγόνο-ασετυλίνης χρησιμοποιείται σήμερα περισσότερο για την κοπή του χάλυβα και όχι για συγκολλήσεις.

Το τελικό αποτέλεσμα της συγκόλλησης με οξυγόνο-ασετυλίνη, είναι το ίδιο με το αποτέλεσμα άλλης συγκόλλησης. Μια σπουδαία διαφορά είναι ότι στο φλόγιστρο της οξυγόνο-ασετυλίνης υπάρχουν δύο κουμπιά (δικλείδες) με τα οποία ρυθμίζεται η παροχή οξυγόνου και ασετυλίνης μέσα στο θάλαμο ανάμειξης τους στο ακροφύσιο, για τη ρύθμιση της θερμότητας. Αντίθετα οι μηχανές συγκόλλησης με τόξο, έχουν μια διάταξη διακοπών και ενδεικτικών οργάνων μέτρησης, τα οποία κάνουν ακριβώς το ίδιο πράγμα. Επειδή η συγκόλληση με οξυγόνο-ασετυλίνη είναι βραδύτερη από τους άλλους τύπους συγκόλλησης, για αυτό είναι ευκολότερο να παρατηρήσουμε τι συμβαίνει στο σημείο συγκόλλησης όπου το μέταλλο είναι λωμένο. Γυρνώντας ο συγκολλητής τα κουμπιά στο φλόγιστρο για τη ρύθμιση της θερμότητας, μπορεί να κάνει αμέσως οποιαδήποτε αναγκαία διόρθωση. Επίσης ο συγκολλητής μπορεί να συνδυάσει αμέσως τη θερμότητα και το μέγεθος του σημείου συγκόλλησης. Όταν ο συγκολλητής δει ότι δεν λιώνονται τίποτα περίεργο με τη φλόγα, τότε μπορεί να προχωρήσει αργά λιώνοντας προσεχτικά το μέταλλο στο σημείο συγκόλλησης.

Κατά τη συγκόλληση με οξυγόνο-ασετυλίνη η τήξη μιας ράβδου συγκόλλησης δεν χρειάζεται πάντα. Μερικές φορές η ράβδος και τα προς συγκόλληση μέταλλα λιώνουν μαζί, ή μπορεί να μη χρησιμοποιηθεί μια τέτοια ράβδος και τα προς συγκόλληση μέταλλα να λειώσουν και να συνδεθούν μεταξύ τους. Η ράβδος συγκόλλησης προμηθεύει το σημείο συγκόλλησης με πρόσθετο μέταλλο, για να δημιουργηθεί μια ισχυρότερη συγκόλληση.

Οι διατάξεις αυτών των ράβδων καθορίζονται από τη διάμετρο τους. Οι χαλύβδινοι ράβδοι με επικάλυψη χαλκού εμποδίζουν το σχηματισμό σκουριάς στο σημείο συγκόλλησης. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι οποίοι βασίζονται στο χαλκό και στο αλουμίνιο, συνθίζονται στις συγκολλήσεις οξυγόνο-ασετυλίνης.

10-3 Συγκόλληση με Ηλεκτρικό Τόξο

Η συγκόλληση μετάλλων με ηλεκτρικό τόξο, είναι μια μέθοδος συγκόλλησης κατά την οποία ένα εύηκτο επενδυμένο ηλεκτρόδιο λιώνει στο σημείο σύνδεσης των μετάλλων, τα οποία βρίσκονται σε ρευστή κατάσταση. Ένα τόξο το οποίο αποδίδει αρκετή ενέργεια για το λιώσιμο του μετάλλου, παράγεται από το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο εξέρχεται από ένα άνοιγμα. Ο αέρας ο οποίος υπάρχει μέσα σε αυτό το άνοιγμα προσφέρει υψηλή αντίσταση προς το τόξο, προκαλώντας την υπερβολική αύξηση της θερμότητας. Οι θερμοκρασίες στο σημείο όπου υπάρχει ρευστοποιημένο μέταλλο μπορεί να φθάσουν από 3300 μέχρι 5500 °C. Το μέταλλο του ηλεκτροδίου λιώνει μαζί με τα προς συγκόλληση μέταλλα, για να σχηματισθεί η συγκόλληση.

Το ρεύμα το οποίο χρησιμοποιείται μπορεί να είναι εναλλασσόμενο ή συνεχές με το ηλεκτρόδιο στο θετικό πόλο της μηχανής ή συνεχές με το ηλεκτρόδιο στο αρνητικό πόλο της μηχανής. Μεταξύ του εναλλασσόμενου ρεύματος και του συνεχούς υπάρχουν σπουδαίες διαφορές. Κατά τη συγκόλληση εναλλασσόμενου ρεύματος, το τόξο διακόπτεται και ξεκινάει ξανά από μόνο του, κάθε φορά που το ρεύμα αλλάζει κατεύθυνση. Αυτό το χαρακτηριστικό του τόξου δεν υφίσταται στη συγκόλληση με συνεχές ρεύμα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το τόξο υπό συνεχές ρεύμα, ξεκινάει πολύ πιο εύκολα από το τόξο υπό εναλλασσόμενο ρεύμα. Επίσης κατά τη διάρκεια συγκόλλησης με συνεχές ρεύμα συνήθως το τόξο είναι πιο σταθερό, εκτός και εάν δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα από την μη σωστή λειτουργία της μηχανής (φύσημα τόξου), κατά το οποίο δημιουργείται μηχανικό πεδίο το οποίο επιδρά στο τόξο μετατοπίζοντας το, ως να βρίσκεται υπό την επίδραση κάποιου ρεύματος αέρα, οπότε το τόξο δεν επικεντρώνεται στο σημείο συγκόλλησης όπως θέλει ο συγκολλητής. Τέλος η συγκόλληση με συνεχές ρεύμα και με το θετικό ηλεκτρόδιο έχει ως αποτέλεσμα μια βαθύτερη διείσδυση, από ότι γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα ή συνεχές ρεύμα και αρνητικό ηλεκτρόδιο.

Τα ηλεκτρόδια στη συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο, που αποτελούν το μέταλλο γυμίσματος το οποίο προστίθεται κατά τη συγκόλληση, είναι τυπωμένα σε διάφορους τύπους, έτσι ώστε να καλύπτουν όλες τις ιδιομορφίες και τις ανάγκες που παρουσιάζονται στις κατασκευές. Ο κάθε ένας τύπος ηλεκτροδίου έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και αποδίδει τα δικά του αποτελέσματα.

Το μεταλλικό σήμα του ηλεκτροδίου καλύπτεται από μια εύηκτη επένδυση, η οποία παράγει προστασία κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Αυτή η εύηκτη επένδυση καίγεται και παράγει διάφορα αέρια κατά τη συγκόλληση τα οποία προστατεύουν το σημείο συγκόλλησης από τον αέρα, προφυλάσσοντας έτσι τη λεπτομένη κόλληση από την οξείδωση. Επίσης η

επένδυση του ηλεκτροδίου βοηθάει στο αναμια και στη διατήρηση σταθερού τόξου, κάνοντας έτσι τη συγκόλληση ευκολότερη. Η λειωμένη επένδυση επίσης διευκολύνει το λειωμένο μέταλλο να επικαθεται στο αντικείμενο, ενώ συγχρόνως αφαιρεί από το λειωμένο μέταλλο τυχόν ακαθαρσίες ή οξείδια τα οποία ανέρχονται στην επιφάνεια της συγκολλητικής ραφής, δημιουργώντας έτσι μια επιφανειακή κρούστα, η οποία προστατεύει την κόλληση από την οξείδωση μέχρι να ψυχθεί. Αυτή η κρούστα στη συνέχεια πρέπει να αφαιρείται και απομακρύνεται με ένα σφυρί και με μια συρματοβουρτσά. Εάν δεν αφαιρεθεί αυτή η κρούστα, τότε θα έχουμε πρόβλημα στις συγκόλληση, ειδικά όταν απαιτείται και μια δεύτερη ραφή πάνω από την υπάρχουσα.

Το μέγεθος του ηλεκτροδίου καθορίζεται από τη διάμετρο του μεταλλικού σύρματος. Η επένδυση δεν χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του μεγέθους του ηλεκτροδίου, επειδή το πάχος της επένδυσης διαφέρει από ηλεκτρόδιο σε ηλεκτρόδιο. Εκτός των άλλων, η εκλογή του μεγέθους του ηλεκτροδίου βασίζεται στη θέση συγκόλλησης. Για παράδειγμα όταν η συγκόλληση γίνεται σε οριζόντια ή κατακόρυφη θέση, τότε το βάρος γίνεται παράγοντας οριοθέτησης του μεγέθους του ηλεκτροδίου. Επίσης το μέγεθος ενός ηλεκτροδίου καθορίζει την ποσότητα κόλλησης που θα γεμίσει τη ραφή συγκόλλησης. Όταν απαιτείται μεγάλη ποσότητα κόλλησης για το γέμισμα της ραφής, τότε προτιμάται ηλεκτρόδιο μεγάλης διαμέτρου.

Αν και τα πλέον διαδεδομένα ηλεκτρόδια συγκόλλησης είναι από μαλακό χάλυβα υπάρχουν και άλλες ποικιλίες ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρόδια από ανοξείδωτο χάλυβα χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση ανοξείδωτων χαλύβων και για ειδικές εφαρμογές. Τα ηλεκτρόδια από χυτοσίδηρο, νικέλιο και κράματα νικελίου χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση αλουμινίου, ηλεκτρόδια αλουμινίου χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση αλουμινίου, ενώ τα ηλεκτρόδια από κράματα χαλκού για της συγκόλλησης των κραμάτων του χαλκού. Τα ηλεκτρόδια σκληρής επένδυσης χρησιμοποιούνται για το γέμισμα ή την επικάλυψη μετάλλων τα οποία υπόκεινται σε λείανση (τρόχισμα).

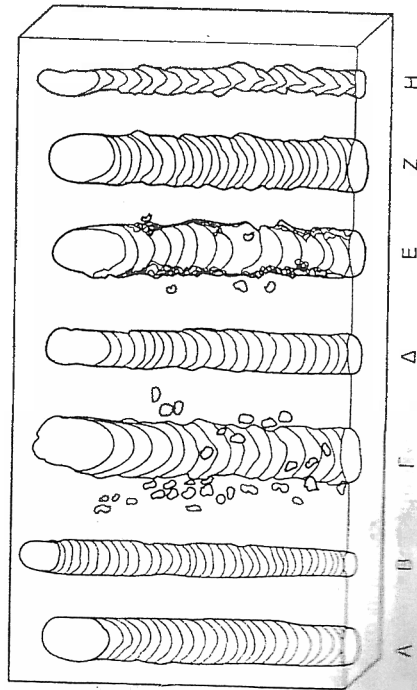
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Εάν τα αποτελέσματα της συγκόλλησης δεν ανταποκρίνονται στα αναμενόμενα, τότε πρέπει να απαντήσουμε στα ακόλουθα ερωτήματα: Έχει ρυθμιστεί κατάλληλα το ηλεκτρικό ρεύμα στη μηχανή συγκόλλησης, το οποίο καταλήγει στο ηλεκτρόδιο; Διατηρείται σταθερό το κατάλληλο μήκος τόξου; Η ταχύτητα μετατόπισης του ηλεκτροδίου κατά τη συγκόλληση είναι αυτή που πρέπει; Η κλίση του ηλεκτροδίου είναι σε κανονική θέση της συγκόλλησης;

Το φύσημα τόξου, δηλαδή η μετακίνηση του τόξου έξω από την προκαθορισμένη πορεία του, προκαλείται από αστάθμητους παράγοντες και προκαλεί μια συγκέντρωση μαγνητικών πεδίων. Όταν υπάρχει φύσημα τόξου ο συγκολλητής μπορεί να μην έχει τη δυνατότητα να ελέγξει τη σωστή εναιώθηση της κόλλησης, οπότε η ραφή δεν γίνεται επίπεδη και οι σκουριές δεν αφαιρούνται εύκολα, επειδή η εναπόθεση της κόλλησης γύρω από τη ραφή μπορεί να είναι υπερβολική.

Γενικά το φύσημα τόξου δημιουργεί προβλήματα, όταν το ρεύμα συγκόλλησης είναι συνεχές, και μάλιστα γίνεται περισσότερο έντονο καθώς αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος. Μπορεί να συμβεί κατά τη συγκόλληση αυλακιών με μεγάλο βάθος, κατά τη συγκόλληση σε γωνίες, ή όταν εργαζόμαστε με μαγνητισμένα μέταλλα.

Το φύσημα τόξου μπορεί να ρυθμιστεί μετατρέποντας το ρεύμα σε εναλλασσόμενο και μάλιστα με ένταση πάνω από 250 Amperes. Επίσης μπορεί να ρυθμιστεί αλλάζοντας την κατεύθυνση της συγκόλλησης (από αριστερά προς τα δεξιά και αντίστροφα), καθώς επίσης και με την αλλαγή της πολικότητας των ακροδεκτών στη μηχανή συγκόλλησης. Τέλος το φύσημα τόξου μπορεί να ρυθμιστεί μειώνοντας την απόσταση του τόξου κατά τη συγκόλληση.



Σχ. 10.2 Συναρτησμένα Προβλήματα στη Συγκολλητική Ραφή

- A. Αποδοτική Ραφή Συγκόλλησης
- B. Ένταση του Ρεύματος, Πολύ Χαμηλή
- C. Ένταση του Ρεύματος, Πολύ Υψηλή
- D. Μικρό Τόξο, Πολύ Μικρό
- E. Μικρό Τόξο, Πολύ Μεγάλο
- Z. Πολύ Αργή Ταχύτητα Μετατόπισης Ηλεκτροδίου
- H. Πολύ Γρήγορη Ταχύτητα Μετατόπισης Ηλεκτροδίου

Μερικά από τα προβλήματα τα οποία μπορεί να δημιουργηθούν κατά τη συγκόλληση φαίνονται στο Σχ.10-2. Εάν η ταχύτητα μετατόπισης του ηλεκτροδίου είναι μεγάλη, ή εάν το τροφοδοτούμενο ρεύμα είναι πολύ χαμηλό, ή εάν δεν έχει γίνει η κατάλληλη προετοιμασία για τη συγκόλληση, τότε μπορεί να έχουμε μικρή διείσδυση κόλλησης στο ραφή κόλλησης. Εάν το τροφοδοτούμε ρεύμα είναι πολύ υψηλό, ή εάν η κλίση του ηλεκτροδίου είναι ακατάλληλη, τότε μπορεί το μέταλλο να λειώσει και να έχουμε κοπή αντί για συγκόλληση. Εάν υπάρχουν ακαθαρσίες στα μέταλλα που πρόκειται να συγκολληθούν οι οποίες οφείλονται στον ακατάλληλο καθαρισμό τους, ή εάν το μήκος του τόξου είναι ακατάλληλο, ή εάν το ρεύμα δεν έχει ρυθμιστεί σωστά, ή εάν η ταχύτητα μετατόπισης του ηλεκτροδίου είναι μεγάλη, τότε δημιουργείται πορώδης συγκόλληση.

10-4 Ηλεκτροσυγκόλληση με Αέριο

Η ηλεκτροσυγκόλληση με αέριο είναι μια ημιανώματη μέθοδος συγκόλλησης με τόξο, κατά την οποία τροφοδοτείται λειωμένη κόλληση συνεχώς στη ραφή συγκόλλησης. Κατά τη συγκόλληση αυτή χρησιμοποιείται ένα αέριο για την προστασία της ραφής συγκόλλησης από τον αέρα ώστε να σταθεροποιείται το τόξο και να ρυθμίζεται η διεισδυτικότητα της κόλλησης. Δηλαδή, τα προστατευτικά αέρια χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση συγκολλήσεων ποιότητας. Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις με αέριο συνήθως καλούνται ηλεκτροσυγκολλήσεις με αδρανές αέριο. Σε αυτές τις συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται μερικά ενεργά αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο δεν είναι αδρανές αέριο. Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται πέρα πολύ επειδή είναι φθηνότερο από τα αέρια μίγματα τα οποία περιέχουν αδρανές αέριο, όπως είναι το αργό και το ήλιο. Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται σύνθεση αργού κατά 75% και διοξειδίου του άνθρακα κατά 25%.

Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις με αέριο έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι η μείωση του κόστους συγκόλλησης, επειδή η συγκόλληση μπορεί να ολοκληρωθεί χωρίς να εμψαστε αναγκασμένοι να σταματάμε τη διαδικασία συγκόλλησης για να αφαιρέσουμε τις σκουριές από τη ραφή ή για να αλλάξουμε το λειωμένο ηλεκτρόδιο με ένα καινούργιο. Με αυτή τη διαδικασία συγκόλλησης μπορούμε να πετύχουμε συγκολλήσεις ποιότητας τόσο σε σιδηρούχα όσο και σε μη σιδηρούχα μέταλλα. Επίσης με αυτήν τη μέθοδο μειώνονται οι παραμορφώσεις στα λεπτά μέταλλα χωρίς να λειώνουν και δεν δημιουργούνται μερικές αναθυμιάσεις. Παρόλα αυτά όμως, οι ηλεκτροσυγκολλήσεις με αέριο παρουσιάζουν και μερικά μειονεκτήματα. Όταν τέτοια μια συγκόλληση γίνεται σε εξωτερικό χώρο, τότε τα χρησιμοποιούμενα αέρια προστασίας επηρεάζονται από τον άνεμο, οπότε

πρέπει να μελετηθεί και μια αντανεμητή προστασία της κατασκευής, η οποία ανιχνεύει το συνολικό κόστος. Επίσης τα φλόγιστρα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε θέση συγκόλλησης, επειδή δεν μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα ώστε να ολοκληρωθεί η συγκόλληση.

Στην ηλεκτροσυγκόλληση με αέριο χρησιμοποιούμε μια σταθερή πηγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγουμε τη μεγάλη πτώση της τάσης, η οποία μπορεί να συμβεί κατά την συγκόλληση τόξου, στην οποία χρησιμοποιούμε έξοδο σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος. Με μια σταθερή έξοδο ηλεκτρικού ρεύματος, ο συγκολλητής πρέπει να ρυθμίσει την τάση του ρεύματος σε μεγαλύτερη έκταση, και μπορεί να επηρεάσει τη θερμότητα συγκόλλησης ανυψώνοντας ή χαμηλώνοντας το ηλεκτρόδιο (δηλαδή αλλάζοντας το μήκος του τόξου). Παρόλα αυτά υπάρχει ένα όριο στην ταχύτητα με την οποία ο συγκολλητής μπορεί να τροφοδοτεί το ηλεκτρόδιο στη ραφή συγκόλλησης, επειδή το ηλεκτρικό ρεύμα συγκόλλησης παραμένει αρκετά σταθερό.

Επειδή κατά την ηλεκτροσυγκόλληση με αέριο χρησιμοποιείται σταθερής τάσης ηλεκτρικό ρεύμα, δεν υπάρχει όριο στη ταχύτητα με την οποία ο συγκολλητής μπορεί να τροφοδοτεί με κόλληση τη γραμμική συγκόλλησης. Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση με αέριο, η ρύθμιση της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος δεν είναι αρμοδιότητα του συγκολλητή, αλλά του μηχανισμού ρύθμισης της τάσης που βρίσκεται στη μηχανή συγκόλλησης. Όταν ο συγκολλητής αυξάνει ή μειώνει το μήκος του τόξου (ανασηκώνοντας ή κατεβάζοντας το φλόγιστρο), τότε η αντίσταση του σύρματος της κόλλησης μεταβάλλεται και έτσι η κόλληση ενεργεί καλύτερα καθώς λειώνει κατά μήκος της ραφής συγκόλλησης.

Αυξάνοντας την απόσταση του φλόγιστρου από τα μέταλλα που πρόκειται να συγκολληθούν και διατηρώντας αυτήν την απόσταση σταθερή, δημιουργούμε μια σταθερή κατάσταση στο λειώσιμο των μετάλλων. Μειώνοντας αυτήν την απόσταση ωθούμε το σύρμα συγκόλλησης μέσα στη λειωμένη ραφή συγκόλλησης δημιουργώντας έτσι μια εμφανισιμη ραφή. Με την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος να είναι σταθερή το σύστημα τροφοδοσίας του σύρματος κόλλησης αντισταθμίζει ακαριαία αυτή τη μεταβολή της απόστασης του φλόγιστρου από τα προς συγκόλληση μέταλλα, χωρίς να κολάει ή να καίγεται το σύρμα καθώς ο συγκολλητής το μετακινεί κατά μήκος της ραφής. Για να διατηρείται η τιμή της τάσης του μετάλλου σταθερή καθώς μεταβάλλεται η απόσταση του φλόγιστρου, πρέπει η μεταβολή της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος να είναι μικρή σε σύγκριση με μια μεγαλύτερη μεταβολή του ρεύματος συγκόλλησης.

Κατά τη συγκόλληση ο μηχανισμός ρύθμισης της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος, και ο μηχανισμός ρύθμισης της ταχύτητας τροφοδοσίας του σύρματος συγκόλλησης εργάζονται συγχρόνως ρυθμίζοντας κατάλληλα την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Υπερφωλιική διείσδυση και διάτρηση του μετάλλου. Μπορεί να προκληθεί από την μικρή ταχύτητα του σύρματος κόλλησης και από τις ρυθμίσεις της τάσης του ρεύματος όταν η τάση του ηλεκτρικού ρεύματος ρυθμίζεται σε πολύ υψηλά επίπεδα.

Πιλοχή διείσδυση. Μπορεί να προκληθεί όταν η ταχύτητα του σύρματος είναι μεγάλη και όταν η τάση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ρυθμισμένη σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

10-5 Παραμορφώσεις Εξαιτίας Συγκόλλησης

Τα μέταλλα όταν θερμαίνονται διαστελλονται, και ο συντελεστής γραμμικής διαστολής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αυτής της διαστολής των μετάλλων.

Η παραμόρφωση είναι η μεταβολή του σχήματος των μετάλλων, η οποία μπορεί να προκύψει κατά τη συγκόλληση εξαιτίας της θερμότητας που παράγεται. Όταν η θερμότητα αρχίζει να εφαρμόζεται σε ένα μέταλλο, τότε αρχίζει και η καταπόνηση αυτού του μετάλλου, που έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του. Όταν ένα μέρος θερμαίνεται τότε διαστέλλεται προς όλες τις κατευθύνσεις, ενώ όταν ψύχεται συστέλλεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Εάν το μέταλλο θερμαίνεται ομαλά και το αφήσουμε να ψυχθεί επίσης ομαλά, τότε αυτό θα επανέλθει στο αρχικό του σχήμα. Δυστυχώς όμως κατά της συγκολλήσεως τα μέταλλα δεν επανέρχονται στο αρχικό τους σχήμα, επειδή δεν θερμαίνονται ομαλά, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που εφαρμόζονται.

Για τον έλεγχο της παραμόρφωσης πρέπει:

- Να στερεώνονται προσφωρινά τα κομμάτια μεταξύ τους, με πονταριστές κολλήσεων.
- Να περιορίζεται η συγκέντρωση της θερμότητας σε ένα μόνο σημείο.

Εάν είναι απαραίτητα να γίνεται μια γρήγορη και μικρή συγκόλληση, βέλτοη να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα της κόλλησης, η οποία θα τοποθετηθεί κατά μήκος της ραφής συγκόλλησης.

Να ελαστικοποιηθεί ο συγκολλητής με τη λεγόμενη ουδέτερη γραμμή. Αυτή είναι μια φανταστική γραμμή στο μέταλλο, όπου δεν υπάρχει παραμόρφωση. Στο περιβάλλον η συγκόλληση πλησιάζει αυτή την γραμμή, όσο μικρότερες παραμορφώσεις θα υπάρξουν.

Τα σύρματα κόλλησης, που αποτελούν το ηλεκτρόδιο ή το μέταλλο πλήρωσης το οποίο τροφοδοτείται στη ραφή συγκόλλησης, περιέχουν αντιοξειδωτικά μέσα, τα οποία αντιδρούν με τα μέταλλα που πρόκειται να συγκολληθούν και με το αέριο προστασίας. Αυτά τα σύρματα μπορεί να είναι επενδυμένα με χαλκό, για να βελτιώνεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα και να μειώνονται οι σκουριές. Τα σύρματα κόλλησης διατίθενται σε διάφορες διαμέτρους και χρησιμοποιούνται για ένταση ηλεκτρικού ρεύματος από 40 Amperes μέχρι 325 Amperes, αν και υπάρχει σύρμα διαμέτρου 2-3 mm για ρεύμα 700 Amperes. Επίσης πολύ σπουδαίο ρόλο παίζει ο συνδυασμός της τάξης του σύρματος, συγχρόνως με τα μέταλλα που πρόκειται να συγκολληθούν.

ΤΗΝΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥ

Το λειώσιμο του μετάλλου δια μέσου τόξου κατά τη συγκόλληση με αέριο γίνεται βασικά με δύο μεθόδους. Η μια μέθοδος είναι η μεταφορά του μετάλλου με βραχυκύκλωση του τόξου. Με αυτήν τη μέθοδο υπάρχει λειώσιμο και μεταφορά μετάλλου δια του τόξου, το οποίο σβήνει μέσα στη ραφή συγκόλλησης, και ακαριαία ξανά ανάβει για να αρχίσει πάλι τον ίδιο κύκλο. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται πάρα πολύ για συγκόλληση μετάλλων μικρού πάχους.

Η δεύτερη μέθοδος είναι η μετατόπιση του λειωμένου μετάλλου υπό μορφή σταγόνων. Οι σταγόνες του μετάλλου δια μέσου του τόξου μετατοπίζονται στη ραφή συγκόλλησης είτε από το βάρος είτε από τη δύναμη του κυκλώματος συγκόλλησης. Οι μεταφερόμενες σταγόνες του μετάλλου μπορεί να είναι σε σφαιροειδή μορφή, ή σε μορφή ψεκαζόμενων λεπτών σταγονιδίων. Γενικά η μεταφορά με ψεκασμό χρησιμοποιείται σε οριζόντια θέση και επίπεδη θέση συγκόλλησης.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ ΤΟΣΟ ΑΕΡΙΟΥ

Η συγκόλληση μετάλλων με τόξο παρουσιάζει τα παρακάτω προβλήματα:

- Πορώδης συγκόλληση. Οφείλεται στα βρώμικα υπό συγκόλληση μέταλλα, στον τρόπο επεξεργασίας των μετάλλων, στη μικρή ροή αερίου, στα υπάρχοντα ρεύματα αέρα, και στο φραγμένο ακροφύσιο.
- Υπερβολική συγκέντρωση σταγονιδίων λειωμένου μετάλλου στο ακροφύσιο. Συμβαίνει όταν υπάρχει υπερβολική ροή αερίου ή πολύ υψηλή τάση ηλεκτρικού ρεύματος.

10-6 Αποτυχημένη Συγκόλληση

Υπάρχουν πάρα πολλές αιτίες στις οποίες οφείλεται μια αποτυχημένη συγκόλληση. Παρακάτω περιγράφονται μερικές ασυνήθεις οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μια αποτυχημένη συγκόλληση.

Η εσωτερική περιεχόμενη σκουριά σχηματίζεται από μη μεταλλικά υλικά τα οποία παγιδεύονται μέσα στη κόλληση. Η εσωτερική σκουριά μπορεί να είναι αποτέλεσμα μιας αποτυχημένης αφαίρεσης αυτής, πριν γίνει μια άλλη στρώση πάνω σε μια που υπάρχει ήδη.

Το πορώδες αποτέλεσμα της συγκόλλησης, είναι οι πολύ μικρές τρύπες οι οποίες εμφανίζονται από τις φυσαλίδες αέρα που υπάρχουν στο εσωτερικό της κόλλησης. Οι πόροι αυτοί μπορεί να σχηματισθούν όταν δεν γίνεται σωστός καθαρισμός μεταξύ των ραφών συγκόλλησης, και όταν η ραφή συγκόλλησης δεν λειώνει αρκετά για να διαφύγουν τα διάφορα παραγόμενα αέρια. Επίσης οι πόροι μπορεί να σχηματισθούν όταν το αέριο συγκόλλησης, είναι πολύ χαμηλό ή πολύ υψηλό.

Ο σχηματισμός ενός αωακτικού στα προς συγκόλληση μέταλλα κατά μήκος της ραφής συγκόλλησης μπορεί να προκληθεί από τη ρευστοποίηση των μετάλλων, η οποία οφείλεται στην υψηλή ένταση του ρεύματος, ή σε λάθος ηλεκτρόδιο και φλόγιστρο ή σε λανθασμένη γωνία φλόγιστρον.

Επίσης κατά τη συγκόλληση μπορεί αν εκτιναχθούν διάψυρα σωματίδια γύρω από τη ραφή-συγκόλλησης, τα οποία όταν έλθουν σε-επαφή με το γύρω μέταλλο ψύχονται και στερεοποιούνται, δημιουργώντας έτσι πρόβλημα στα προς συγκόλληση μέταλλα. Αυτό μπορεί να προκληθεί από ένα φύσημα τόξου, από την υψηλή ένταση του ρεύματος, ή από το μεγάλο μήκος τόξου συγκόλλησης.

Κατά την ατελή σύντηξη μετάλλων, σχηματίζονται επιμήκη διάκενα μεταξύ της κόλλησης και των προς συγκόλληση μετάλλων. Αυτό μπορεί να προέλθει από μια γρήγορη συγκόλληση, από χαμηλή ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, από τη μικρή επικάλυψη κόλλησης, ή από έναν λανθασμένο σχεδιασμό της σύνδεσης.

Οι εσωτερικές ρωγμές στην άκρη της ραφής, προέρχονται από τη διακοπή του τόξου πριν γεμίσει η ραφή με κόλληση.

Η εγκάρσια ρωγμή, είναι μια ρωγμή η οποία εμφανίζεται κάθετα στη ραφή συγκόλλησης. Η εγκάρσια ρωγμή μπορεί να προέλθει από τη χρησιμοποίηση λανθασμένου μετάλλου πλήρωσης, το οποίο αποδίδει μια πολύ μικρή συγκόλληση σε σύγκριση με το μέγεθος της σύνδεσης. Επίσης μπορεί να οφείλεται σε ταχεία ψύξη του λειωμένου μετάλλου.

Η διαμήκης ρωγμή, είναι μια ρωγμή η οποία διατρέχει τη ραφή παράλληλα προς τα μέταλλα που συνδέονται. Αυτή μπορεί να οφείλεται σε ένα κατάλληλο ηλεκτρόδιο, ή στην κακή ψύξη της συγκόλλησης. Για να

αποφύγουμε το σχηματισμό μιας τέτοιας ρωγμής συνιστάται η επιλογή του κατάλληλου ηλεκτροδίου και η προθέρμανση της θέσης συγκόλλησης.

Η ρωγμή κάτω από τη ραφή συγκόλλησης, μπορεί να προκληθεί κατά της συγκόλληση χαλύβινων με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα ή ειδικών χαλύβινων. Αυτή η ρωγμή μπορεί να προέλθει από το υδρογόνο μιας υγρής επιφανείας ή από το υδρογόνο το οποίο απορροφάται από την τήξη της κόλλησης το οποίο παγιδεύεται μέσα στη θερμή ζώνη σύνδεσης. Για την περιμερίδωση σχηματισμού μιας τέτοιας ρωγμής, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτροδία χαμηλής περιεκτικότητας σε υδρογόνο, τα οποία είναι κατάλληλα αποθηκευμένα.

10-7 Πλεονεκτήματα Προθέρμανσης και Ελεγχόμενης Ψύξης κατά την Συγκόλληση των κραμάτων Fe-C

Οι χάλυβες με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα (από 0,1% μέχρι 0,3%) δεν απαιτούν διαδικασίες προθέρμανσης για να προφυλαχθούν από τη θερμότητα των συγκόλλησης. Έτσι, οι χάλυβες με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα συγκολλούνται ευκολότερα από τους χάλυβες που περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες άνθρακα.

Κατά τη συγκόλληση προστίθεται θερμότητα σε κάθε σημείο της σύνδεσης. Επειδή όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του άνθρακα μέσα σε ένα χάλυβα αυξάνεται τη σκληρότητα του και υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα θραύσης του εξαιτίας της θερμότητας που αναπτύσσεται κατά τη συγκόλληση. Αυτό διότι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη συγκόλληση και η ταχύτητα της ψύξης μπορεί να επηρεάσουν την τελική κρυσταλλική δομή του χάλυβα.

Ένα κομμάτι χάλυβα μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα, το οποίο λαμβάνεται από μια θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη και το οποίο έχει προθέρμανθεί στους 95 μέχρι 200 °C πριν συγκολληθεί θα αποτελέσει από κόκκους φερρίτη και περλίτη. Ένα άλλο κομμάτι μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα, το οποίο δεν προθέρμανθηκε πριν τη συγκόλληση, θα αποτελείται από κόκκους μαρτενσίτη. Όσο πιο περισσότερο είναι ο μαρτενσίτης, τόσο πιο εύθραυστος γίνεται ο χάλυβας, με αποτέλεσμα την καταστροφή της σύνδεσης μέσα στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη. Ο μαρτενσίτης σχηματίζεται στο χάλυβα όταν η ψύξη της συγκόλλησης γίνεται τόσο γρήγορα, ώστε να είναι αδύνατος, ο σχηματισμός του περλίτη. Αυτό μπορεί να συμβεί εάν τοποθετηθεί η περιοχή της συγκόλλησης, μέσα σε νερό, σίδηρος μετά τη συγκόλληση. Στην περίπτωση που δεν συμβεί αυτό είναι δυνατόν και το κράμα από μόνο του να ανεργήσει όπως το νερό και ψύξει γρήγορα το σημείο συγκόλλησης. Η προθέρμανση βοηθάει στην επιβράδυνση της ψύξης, στο σημείο συγκόλλησης, ώστε να εμποδιστεί ο σχηματισμός του μαρτενσίτη.

Είστε χαμηλά περιεκτικότητα σε άθρακα, επειδή η ψύξη δεν είναι αρκετά γρήγορη, ώστε να επιτραπεί ο σχηματισμός του μαρμαρίτη, δεν είναι αναγκαία η προθέρμανση πριν τη συγκόλληση.

Επειδή η ψύξη μπορεί να δημιουργήσει εσωτερικές τάσεις στο σπηαίο συγκόλλησης, για αυτό μια ελεγχόμενη ψύξη μπορεί να βοηθήσει στη μείωση αυτών των τάσεων και να αποτρέψει κάποια άσχημα αποτελέσματα. Αυτές οι τάσεις μπορεί να προκαλέσουν την παραμόρφωση του κρμάματος, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή της συγκόλλησης.

Οι ειδικοί χάλυβες απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή κατά την προθέρμανση ή κατά την επιλογή του υλικού συγκόλλησης τους. Η συγκόλληση του λευκού χυτοσίδηρου δεν είναι εύκολη ενώ ο φαιός χυτοσίδηρος μπορεί να συγκολληθεί, αφού προηγουμένως προθερμανθεί και στη συνέχεια ψυχθεί αργά.