



ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

Πέτρου Γ. Πετρόπουλου

ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΠΑΝ/ΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς προέβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγων για την πρόοδο του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Από το 1956 έως σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Σχολών και Λυκείων.

Μέχρι σήμερα, με τη συνεργασία με τα Υπουργεία Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και Εμπορικής Ναυτιλίας, εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια αντίτυπα. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατώτερων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η συγγραφή και έκδοση βιβλίων ποιότητας, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και ως προς την εμφάνιση, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους μαθητές.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική αρτιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση συμπληρούμενα καταλλήλως.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στη γλωσσική διατύπωση των βιβλίων, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα σωστή και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική κατάρτιση των μαθητών.

Έτσι, με απόφαση που ίσχυσε ήδη από το 1956, όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις τότε Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική, με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσεως. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων ανατίθε-

ται σε φιλολόγους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα, η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος και συμβάλλουν στη σωστή «λειτουργικότητα» των βιβλίων.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέση στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα πάντοτε με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι. και του ΥΠΕΠΘ.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.
Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.

Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.

Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ. Α. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος**.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Άγγελος Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ,
Δημήτριος Νιάνιας (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπετσιέρης (1956-1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960-1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Παναγιώτης Χατζηιωάννου (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, Χρυσόστομος Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Γεώργιος Ρουύσσος (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ,
Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαράς (1989-1993), Φιλόλογος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.



ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

ΠΕΤΡΟΥ ΓΕΩΡΓ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΑΘΗΝΑ
1997





ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γνώση των υλικών, μεταλλικών, πλαστικών και μη, που χρησιμοποιούνται στις ποικίλες μηχανουργικές κατασκευές, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή σχεδίαση των κατασκευών αυτών, καθώς και για την οικονομικότερη εκτέλεσή τους. Το βιβλίο αυτό, με τίτλο *Μεταλλουργία*, αποσκοπεί στο να βοηθήσει τους αναγνώστες να κατανοήσουν την κρυσταλλική δομή, τις μηχανικές και λοιπές χαρακτηριστικές ιδιότητες, τις θερμικές κατεργασίες, καθώς και τις βιομηχανικές εφαρμογές των περισσοτέρων ευχρήστων εκ των προαναφερθέντων.

Το βιβλίο αυτό έχει γραφεί σύμφωνα με το επίσημο αναλυτικό πρόγραμμα διδακτέας ύλης του μαθήματος, όσα δε θέματα δεν απαίτούνται για τη στάθμη της διδασκαλίας στοιχειοθετήθηκαν με μικρότερα στοιχεία. Αυτά ούτε ο διδάσκων υποχρεώνεται να τα διδάξει, ούτε και ο μαθητής να τα εξετασθεί. Η διάκριση αυτή της ύλης δεν διαταράσσει την αλληλουχία της.

Κατά τη συγγραφή καταβλήθηκε προσπάθεια, ώστε το βιβλίο να παραμείνει, κατά το δυνατόν, αυτοτελές, για να μην υποχρεώνονται οι αναγνώστες να καταφεύγουν και σε άλλα βιβλία. Έτσι, περιελήφθηκαν θέματα από τη Χημεία, την Πειραματική αντοχή των υλικών και άλλα. Τα αναφερόμενά στο βιβλίο αυτό μπορούν ουσιαστικά να βοηθήσουν το μάθημα των *Στοιχείων Μηχανών*, αλλά και οποιοδήποτε άλλο τεχνολογικό μάθημα, όπου εκτελούνται υπολογισμοί και εκλέγονται υλικά.

Καταβλήθηκε ακόμη φροντίδα, για την πληρέστερη κατανόηση των ποικίλων προς διδασκαλία αντικειμένων, να περιληφθούν τα απαιτούμενα, κατά το δυνατόν, σχήματα ή εικόνες. Προς αποφυγή επαναλήψεων υπάρχουν παραπομπές σε μεγάλη έκταση.

Το βιβλίο διαιρείται σε δώδεκα Μέρη.

Στο πρώτο δίνεται σύντομο ιστορικό της αναπτύξεως των μεταλλικών υλικών, γιατί πιστεύουμε ότι η Ιστορία της Επιστήμης, σε οποιοδήποτε τομέα της, ενέχει εξαιρετική σημασία. Ακολούθως περιέχονται η δομή και οι ιδιότητες των μετάλλων.

Στο δεύτερο αναπτύσσονται τα διμερή κράματα με έμφαση στα διαγράμματα θερμικής ισορροπίας τους, καθώς επίσης και στους κρυσταλλικούς μετασχηματισμούς που παρατηρούνται.

Το τρίτο καλύπτει τις μηχανικές δοκιμασίες των μετάλλων, το δε τέταρτο τις αρχές της πλαστικής παραμορφώσεώς τους από σχετικές μηχανικές κατεργασίες.

Το πέμπτο περιέχει τα της μεταλλουργίας του σιδήρου και τα της παρασκευής του χάλιθα, ενώ το έκτο αγαφέρεται στους ανθρακούχους γενικά χάλιυθες.

Το έθδομο περιλαμβάνει τις θερμικές κατεργασίες των χαλύθων.

Το όγδοο καλύπτει τα χαλυβοκράματα με ιδιαίτερη έμφαση στην επίδραση των ποικίλων προσθηκών στην κρυσταλλική δομή και τις μηχανικές ή άλλες ιδιότητές τους· επίσης περιγράφει τις βιομηχανικές χρήσεις των ανθρακούχων χαλύβων, των χαλυβοκραμάτων, καθώς και μερικών ειδικών χαλυβοκραμάτων (ανοξείδωτοι, πυρίμαχοι χάλυβες κλπ.). Πρέπει εδώ να τονισθεί ιδιαίτερα, ότι προς ευκολία επιλογής ανθρακούχων χαλύβων, καθώς και χαλυβοκραμάτων κατά τις εφαρμογές στην πράξη, έχει καταρτισθεί μεγάλος αριθμός σχετικών πινάκων, στους οποίους αναφέρονται η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες, όπου απαιτούνται, καθώς και οι συνιστώμενες βιομηχανικές χρήσεις. Το ίδιο εφαρμόσθηκε και για τα βασικότερα σε χρήση μη σιδηρούχα κράματα (δέκατο Μέρος).

Στο ένατο περιγράφονται οι χυτοσίδηροι ως προς την κρυσταλλική δομή, τις μηχανικές ιδιότητες και τη βιομηχανική χρήση. Στο δέκατο περιέχονται τα μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα (χαλκός, αργύριο, νικέλιο κλπ., ως και τα κράματά τους).

Στο ενδέκατο δίνονται βασικά στοιχεία για την Κονιομεταλλουργία, για τις φάσεις παραγωγής των προϊόντων της και για τις εφαρμογές τους, ιδιαίτερα δε των σκληρομετάλλων.

Τέλος, το δωδέκατο Μέρος, σχετικά με τα πλαστικά, έχει γραφεί από τον κ. Κόντο, Χημικό Μηχανικό, Δρα Ε.Μ.Π. Αυτό περιλαμβάνει σύντομα τα κυριότερα χρησιμοποιούμενα σήμερα για μηχανουργικές κατασκευές πλαστικά, τις ιδιότητες και τους επί μέρους τομείς εφαρμογών τους, καθώς επίσης και τις μεθόδους μορφοποιήσεώς τους. Η συγγραφή του μέρους αυτού κρίθηκε αναγκαία, λόγω της συνεχώς μεγαλύτερης οικονομικής και τεχνικής σημασίας την οποία αποκτά η εφαρμογή των πλαστικών στις μηχανουργικές εν γένει κατασκευές. Το μέρος αυτό δε στην προσεχή έκδοση θα εκσυγχρονισθεί και θα πλουτισθεί.

Λόγω του περιεχομένου του νομίζομε ότι το βιβλίο είναι χρήσιμο και για τον καθένα που ασχολείται με τις ιδιότητες και τη δομή των μετάλλων.

Με την ελπίδα ότι το σύγγραμμα αυτό θα ανταποκριθεί στο σκοπό για τον οποίο έχει γραφεί, ευχαριστώ θερμά την Επιτροπή Εκδόσεως του Ιδρύματος Ευγενίδου, καθώς επίσης και το Τμήμα Εκδόσεων για τις προσπάθειες που κατέθαλαν, τόσο κατά τη συγγραφή όσο και για την αρτιότερη εμφάνισή του.

Ο συγγραφέας

Α' ΕΚΔΟΣΗ 1986



ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η χρησιμοποίηση των μετάλλων συνδέεται στενά με την ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού, γιατί λόγω των εξαιρετικών τους μηχανικών ιδιοτήτων, ο άνθρωπος τα χρησιμοποίησε για να κατασκευάσει εργαλεία και όπλα, αργότερα δε και για να καλύψει και άλλες βασικές του ανάγκες.

Μελετώντας την ιστορία, παρατηρούμε ότι ο άνθρωπος καθυστέρησε πολύ να αντιληφθεί την αξία των μετάλλων. Άρχισε να τα χρησιμοποιεί στοιχειωδώς μόνο πριν από οκτώ περίπου χιλιετρίδες. Μέχρι τότε, αλλά και αργότερα, τις ανάγκες του σε εργαλεία και όπλα κάλυπτε με ξύλα, πέτρες, ή οστά κατάλληλα επεξεργασμένα.

Φαίνεται ότι τα αυτοφυή μέταλλα επάνω στην επιφάνεια της Γης, δηλαδή ο χρυσός, ο χαλκός και ο άργυρος, καθώς επίσης και ο σίδηρος, που προέρχεται από πτώση μετεωρίτων, αποτέλεσαν τα πρώτα μέταλλα, με τα οποία ήρθε σε επαφή ο άνθρωπος.

Το χρυσό όμως, επειδή είναι πολύ μαλακός, τον χρησιμοποίησε αρχικά για την κατασκευή κοσμημάτων, ενώ ο σίδηρος από μετεωρίτες δεν προσφερόταν για κατεργασία, λόγω της σκληρότητάς του.

Αργότερα ο άνθρωπος τυχαία ανακάλυψε, ότι από ορισμένες πέτρες (λίθους) και με ορισμένο τρόπο μπορεί να παράγει μέταλλα (παράγρ. 2.4) καθώς και κράματα (παράγρ. 3.1).

Επειδή η σημασία των μετάλλων για την ανάπτυξη του πολιτισμού είναι μεγάλη, ο άνθρωπος κατέβαλε και καταβάλλει μεγάλες προσπάθειες και πολύ κόπο για τη συνεχή και αδιάλειπτη μελέτη και έρευνά τους. Το αποτέλεσμα είναι ότι συνέχεια ανακαλύπτονται νέα μέταλλα και κράματα με σημαντικές ιδιότητες, που πολλαπλασιάζουν τις εφαρμογές τους.

Είναι χαρακτηριστικό ότι μερικές από τις εποχές του ανθρώπινου πολιτισμού πήραν την ονομασία τους από το μέταλλο, που κάθε φορά οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν. Για την περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου, μετά τη νεολιθική εποχή (7000 π.Χ. ως 5000 π.Χ.), οι εποχές αυτές είναι οι εξής:

Εποχή χαλκού: 5000 π.Χ. ως 3000 π.Χ.

Εποχή του κρατερώματος: 3000 π.Χ. ως 1000 π.Χ.

Εποχή του σιδήρου: 1000 π.Χ. ως σήμερα.

Ο αυτοφυής χαλκός, που αρχικά θρισκόταν σε μεγάλες ποσότητες πάνω στη Γη, προσείλκυσε την προσοχή των ανθρώπων. Είναι μέταλλο πλαστικό και μπορεί να διαμορφωθεί με σφυρηλασία χωρίς να παρουσιάζει ρωγμές και μάλιστα, αν η διαμόρφωσή του αυτή γίνεται εν ψυχρώ, χωρίς δηλαδή να θερμανθεί, τότε γίνεται σκληρότερο. Οι ιδιότητες αυτές του χαλκού τον καθιστούν χρήσιμο στον άνθρωπο για την κατασκευή όπλων και εργαλείων. Αργότερα μια τυχαία πυρκαγιά δάσους (ίσως είχε σαν αποτέλεσμα την πρώτη εξαγωγή χαλκού με τήξη οξειδίων του χαλκού και αναγωγή (αναγωγή είναι η απόσπαση οξυγόνου από χημικές ενώσεις του). Μετά ο άνθρωπος ανακάλυψε τυχαία πάλι, ότι με τήξη ορισμένων λίθων (μεταλλευμάτων) μπορεί να παράγει νέο είδος χαλκού, το **κρατέρωμα** [κράμα χαλκού και κασσιτέρου, παράγρ. 27.2(6)], που παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από το χαλκό.

Έτσι, περί το 1500 π.Χ., με την αναγωγή κασσιτέρου από κασσιτερούχα μεταλλεύματα, ο άνθρωπος κατασκευάζει πια το κρατέρωμα συστηματικά, με τήξη και ανάμιξη των δυο μετάλλων, δηλαδή του χαλκού και του κασσιτέρου (κραματοποίηση, παράγρ. 3.1). Από κρατέρωμα κατασκευάσθηκαν εργαλεία και όπλα πολύ ανώτερα ποιοτικά από εκείνα που κατασκευάζονται από χαλκό. Τα όπλα του Τρωϊκού πολέμου και τα πρώτα όπλα των Ρωμαίων ήταν από κρατέρωμα. Με αυτά τον τρόπο, όπως βλέπομε, το κρατέρωμα γρήγορα αντικατέστησε το χαλκό.

Ο άνθρωπος φαίνεται ότι πρώτα πήρε το σίδηρο από τους μετεωρίτες. Η παραγωγή σιδήρου με τήξη και αναγωγή μεταλλευμάτων σιδήρου θα πρέπει να τοποθετηθεί στο έτος 3000 π.Χ. περίπου. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η παραγωγή, αλλά και η χρησιμοποίηση του σιδήρου, συνάντησε δυσκολίες, γιατί το σημείο τήξεως του σιδήρου (1537°C) είναι πολύ υψηλότερο από το σημείο τήξεως του χαλκού (1083°C). Η υψηλή αυτή θερμοκρασία των 1537°C δύσκολα μπορούσε να επιτευχθεί με τα μέσα που διέθεταν τότε. Εξάλλου και η θερμόκρασία σφυρηλασίας του σιδήρου είναι μεγαλύτερη από εκείνη του χαλκού ή του κρατερώματος. Σ' αυτούς τους λόγους οφείλεται, κατά πάσα πιθανότητα, η καθυστέρηση της χρησιμοποιήσεως του σιδήρου από τον άνθρωπο.

Στο έτος 1300 π.Χ. περίπου τοποθετείται η πρώτη παραγωγή του χάλυβα, κράματος σιδήρου και άνθρακα, όπως επίσης και η βαφή του (παράγρ. 19.7), με την οποία αποκτά μεγάλη σκληρότητα. Η ανακάλυψη του χάλυβα αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες κατακτήσεις της μεταλλογνωσίας.

Περί το έτος 500 π.Χ. ο σίδηρος χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση. Μέχρι το έτος 100 μ.Χ. είναι γνωστά τα εξής μέταλλα:

Χρυσός, άργυρος, χαλκός, κασσίτερος, μόλυβδος, σίδηρος, υδράργυρος, καθώς επίσης και μερικά κράματά τους.

Κατά το 1300 μ.Χ. εμφανίζεται η Αλχημεία, η οποία υποστήριξε ότι ήταν δυνατόν να γίνει **μετουσίωση** των μετάλλων, να παραχθεί δηλαδή χρυσός και άργυρος από ευτελέστερα μέταλλα. Αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με το θαυματουργό αντιδραστήριο, το οποίο και αναζητούσαν, δηλαδή με τη

φιλοσοφική λίθο. Οι μέθοδοι της Αλχημείας ήταν πειραματικές και από αυτό καταφαίνεται η σημαντική συμβολή της στη μετέπειτα ανάπτυξη της Χημείας. Έτσι, ο μέγας Αλχημιστής Albertus Magnus ανακάλυψε το αρσενικό και ο Βασίλειος Βαλεντίνος το αντιμόνιο και το βισμούθιο.

Μέχρι το 1800 μ.Χ. έχουν ανακαλυφθεί νέα μέταλλα: το κοβάλτιο, νικέλιο, μαγγάνιο, μολυβδανίο, τελλούριο, βολφράμιο, τιτάνιο, ζιρκόνιο και χρώμιο. Ολόκληρος ο 19ος αιώνας χαρακτηρίζεται από εκπληκτική ανάπτυξη της **εξαγωγικής μεταλλουργίας** και της **μεταλλογνωσίας***.

Σημαντική ανακάλυψη αυτής της περιόδου είναι η παραγωγή χάλυβα με τη μέθοδο Bessemere (παράγρ. 15.3), που είχε ως αποτέλεσμα την εκπληκτική ανάπτυξη της βιομηχανίας του χάλυβα.

Κατά το τέλος του 19ου αιώνα ανακαλύφθηκε το ελαφρό μέταλλο αργύλιο (αλουμίνιο), το οποίο, όπως αποδείχθηκε αργότερα, έχει μεγάλη σημασία ως υλικό κατασκευών στη βιομηχανία γενικά. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η χρησιμοποίηση των ειδικών χαλύβων, των κραμάτων αργιλίου, τιτανίου, μαγνησίου, πυριτίου, καθώς και των προϊόντων της κονιομεταλλουργίας (κεφ. 34) οδήγησε στα εκπληκτικά επιτεύγματα της επιστήμης του Διαστήματος για την κατάκτησή του.

Η επιστημονική έρευνα συνεχίζεται χωρίς παύση στον τομέα των μετάλλων και κραμάτων με αντικειμενικό σκοπό την ανάπτυξη νέων μεθόδων και μέσων παραγωγής, για να καλυφθούν οι ποικίλες ανάγκες της τεχνικής.

* (Εξαγωγική μεταλλουργία είναι η επιστήμη που μελετάει τις μεθόδους εξαγωγής των μετάλλων από τα μεταλλεύματα και τις μεθόδους καθάρσεώς τους. Μεταλλεύματα είναι φυσικές ύλες, που περιέχουν μέταλλα σε αρκετό ποσοστό, ώστε η παραγωγή τους με βιομηχανικές μεθόδους να συμφέρει οικονομοτεχνικά).

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Κρίνεται σκόπιμο, για να κατανοηθούν καλύτερα οι ιδιότητες των μετάλλων και η κρυσταλλική τους δομή, να αναφέρομε λίγα πράγματα από την ατομική θεωρία.

2.1 Μόρια και άτομα.

Τα υλικά σώματα, όπως είναι γνωστό από τη χημεία, διαιρούνται σε **απλά** και σε **σύνθετα** (χημικές ενώσεις). Τα απλά σώματα καλούνται και **χημικά στοιχεία** ή απλώς **στοιχεία**.

Τα μικρότερα τεμαχίδια της ύλης, που δεν είναι δυνατόν να υποδιαιρεθούν περισσότερο με μηχανικά μέσα, ονομάζονται **μόρια**. Τα μόρια ενός σώματος είναι εντελώς όμοια μεταξύ τους και έχουν τις ίδιες φυσικές και χημικές ιδιότητες με το αρχικό σώμα, από το οποίο προέρχονται. Επί πλέον, ενώ τα μόρια του ίδιου σώματος είναι όμοια μεταξύ τους δεν μοιάζουν με τα μόρια άλλου σώματος.

Με χημικά μέσα είναι δυνατόν το μόριο ενός στοιχείου να διαχωρισθεί ακόμα περισσότερο.

Τα ελάχιστα τεμαχίδια της ύλης, στα οποία διαιρείται το μόριο ενός στοιχείου, με χημικά όμως μέσα, ονομάζονται **άτομα**. Τα μόρια των συνθέτων σωμάτων διασπώνται σε άτομα των στοιχείων, από τα οποία αποτελείται το σύνθετο σώμα. Τα άτομα του ίδιου στοιχείου, όπως π.χ. του σιδήρου, του θείου, του άνθρακα κλπ. είναι όμοια μεταξύ τους, κάθε δε στοιχείο έχει άτομα, που διαφέρουν από τα άτομα οποιουδήποτε άλλου στοιχείου. Τα μέχρι σήμερα γνωστά χημικά στοιχεία είναι 104, από τα οποία τα 88 τα συναντούμε στη φύση και τα 16 τα παράγομε τεχνητά.

Τα μόρια κάθε στοιχείου αποτελούνται από όμοια μεταξύ τους άτομα, όπως π.χ. το μόριο του οξυγόνου αποτελείται από δυο άτομα οξυγόνου, ενώ το μόριο του θείου από οκτώ άτομα θείου. Τα μόρια όμως των συνθέτων σωμάτων (χημικών ενώσεων) αποτελούνται από άτομα των στοιχείων, που παίρνουν μέρος στη χημική ένωση. Έτσι, το μόριο του νερού περιλαμβάνει ένα άτομο οξυγόνου και δυο, άτομα υδρογόνου, ενώ του θειούχου σιδήρου ένα άτομο σιδήρου και ένα άτομο θείου.

2.2 Η δομή του ατόμου.

Σύμφωνα με τα σημερινά επιστημονικά δεδομένα, το άτομο οποιουδήποτε στοιχείου αποτελείται από τον **πυρήνα**, που καταλαμβάνει το κέντρο του ατόμου, και από τα **πλανητικά ηλεκτρόνια**, που διαγράφουν γύρω από τον πυρήνα ελειπτικές τροχιές.

Το άτομο κάθε στοιχείου, αν αυτό θεωρηθεί ελεύθερο, δηλαδή χωρίς να δέχεται επιδράσεις από το περιβάλλον, περιλαμβάνει ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων αυτών καλείται **ατομικός αριθμός** του στοιχείου.

Ο πυρήνας αποτελείται από δυο ειδών σωματίδια, τα **πρωτόνια** και τα **νετρόνια ή ουδετερόνια**. Τα δυο μαζί ονομάζονται **νουκλεόνια**. Ο αριθμός των πρωτονίων του ατόμου είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του. Ο αριθμός των νουκλεονίων του ατόμου ονομάζεται **μαζικός αριθμός** αυτού.

Στη φύση, πολλά από τα στοιχεία είναι ισότοπα. Τα ισότοπα του ίδιου στοιχείου έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό με αυτό, διαφορετικό όμως μαζικό αριθμό. Συνεπώς έχουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων και επομένως τις ίδιες ακριβώς χημικές ιδιότητες. Επίσης έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων.

Η μάζα του ηλεκτρονίου είναι πολύ μικρή, αν συγκριθεί με τη μάζα του πρωτονίου ή του νετρονίου (1:1836).

Αυτό σημαίνει ότι η μάζα του ατόμου είναι συγκεντρωμένη στον πυρήνα του, είναι δε τόσο μεγαλύτερη, όσο ο μαζικός αριθμός του στοιχείου είναι μεγαλύτερος. Η μάζα του πρωτονίου σε ήρεμη κατάσταση είναι: $1,672 \cdot 10^{-24}$ g.

Το ηλεκτρόνιο φέρει το στοιχειώδες στη φύση αρνητικό ηλεκτρονικό φορτίο ($1,6 \cdot 10^{-19}$ κουλόμ), το πρωτόνιο φέρει το στοιχειώδες θετικό φορτίο (ίσο και αντίθετο από το φορτίο του ηλεκτρονίου), το δε νετρόνιο δεν φέρει κανένα ηλεκτρικό φορτίο (είναι ηλεκτρικά ουδέτερο).

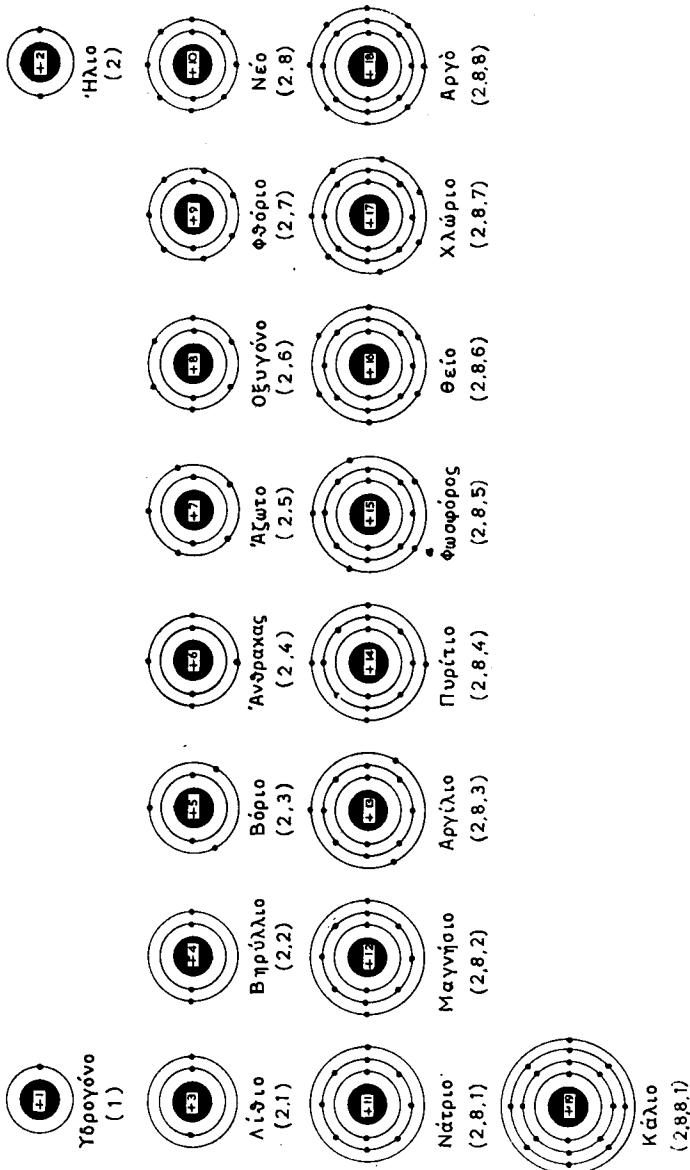
Αφού ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων του ίδιου ατόμου, έπειτα ότι το άτομο, όταν βρίσκεται ελεύθερο, παρουσιάζεται ως **ηλεκτρικά ουδέτερο**.

Το υδρογόνο, το ελαφρύτερο από όλα τα στοιχεία, έχει το πιο απλό άτομο. Ο πυρήνας του ατόμου του αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ενώ γύρω από τον πυρήνα και σε πολύ μεγάλη απόσταση, συγκριτικά με τις διαστάσεις του, περιστρέφεται σε ελλειπτική τροχιά ένα ηλεκτρόνιο. Το ουράνιο, το βαρύτερο από όλα τα στοιχεία, έχει πυρήνα με 92 πρωτόνια και 146 νετρόνια. Γύρω από τον πυρήνα και σε επτά **ηλεκτρονικούς φλοιούς** περιστρέφονται 92 ηλεκτρόνια.

Στο σχήμα 2.2 φαίνεται η συγκρότηση ατόμων ορισμένων στοιχείων.

2.3 Σχηματισμός των χημικών ενώσεων. Ατομικοί δεσμοί.

Όπως είναι γνωστό, τα διάφορα απλά στοιχεία αντιδρούν μεταξύ τους κάτω από κατάλληλες συνθήκες και σχηματίζουν νέα σώματα, που ονομάζομε **χημικές ενώσεις**. Εξαίρεση αποτελούν τα ευγενή αέρια, όπως είναι το ήλιο, το



ΣΧ. 2.2.

Παραστατική διάταξη των ηλεκτρονίων και πρωτονίων των ατόμων αριθμένων στοιχείων. Οι αριθμοί μέσα σε παρενθέσεις δείχνουν τον αριθμό των ηλεκτρονίων κάθε ηλεκτρονικού φλοιού του ατόμου, δηλαδή το αργύριο (2, 8, 3) έχει δυο ηλεκτρόνια στον εσώτερο ηλεκτρονικό φλοιό, οκτώ ηλεκτρόνια στον ενδιάμεσο και τρία ηλεκτρόνια στον εξώτερο ηλεκτρονικό φλοιό.

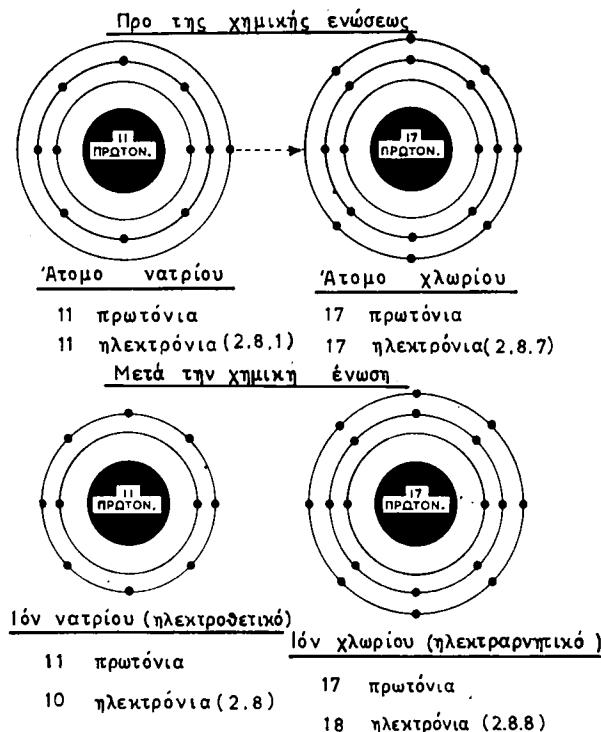
νέο, το αργό, και άλλα, τα οποία είναι χημικώς αδρανή, δηλαδή δεν σχηματίζουν χημικές ενώσεις. Άλλωστε τα ευγενή αέρια έχουν στον εξώτατο ηλεκτρονικό φλοιό τους οκτώ ηλεκτρόνια (σχ. 2.2) με εξαιρεση μόνο το ήλιο, που έχει δυο ηλεκτρόνια. Πιστεύεται ότι ο αριθμός των οκτώ ηλεκτρονίων του εξώτατου ηλεκτρονικού φλοιού αποτελεί την αιτία, που εξασφαλίζει τη σταθερότητα των στοιχείων αυτών από άποψη χημικής συμπεριφοράς. Συμπεραίνομε λοιπόν ότι για να γίνει μια χημική ένωση, θα πρέπει ο εξώτατος ηλεκτρονικός φλοιός των ατόμων, τα οποία πρόκειται να αντιδράσουν, να μην έχει τη διαμόρφωση των ευγενών αερίων, δηλαδή οκτώ ηλεκτρόνια. Όταν δρως τα άτομα αποκτήσουν οκτώ ηλεκτρόνια στον εξώτατο ηλεκτρονικό φλοιό τους, τότε διακόπτεται κάθε περαιτέρω αντιδραση μεταξύ τους. Επομένως οι χημικές ιδιότητες των στοιχείων εξαρτώνται από τον αριθμό των ηλεκτρονίων, που έχει ο εξώτατος ηλεκτρονικός φλοιός τους' και αυτό συμβαίνει, γιατί τα ηλεκτρόνια αυτά είναι και τα λιγότερο δεσμευμένα από τον πυρήνα, έρχονται δε πρώτα σε επαφή με τα ηλεκτρόνια των ξένων ατόμων. Ο εξώτατος ηλεκτρονικός φλοιός ονομάζεται **φλοιός σθένους** του στοιχείου, τα δε ηλεκτρόνια του φλοιού αυτού **ηλεκτρόνια σθένους**.

Κατά τις διάφορες αντιδράσεις, το άτομο προσλαμβάνει ή αποθάλλει ηλεκτρόνια, ώσπου ο φλοιός σθένους του συμπληρωθεί με οκτώ ηλεκτρόνια, οπότε το άτομο εμφανίζεται ως **ιόν**. Τα στοιχεία που έχουν τάση να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια (εκείνα που έχουν στο φλοιό σθένους 7, 6, 5 ή και 4 καμιά φορά ηλεκτρόνια), και να γίνονται αρνητικά ιόντα, τα ονομάζομε **ηλεκτραρνητικά**. Τα στοιχεία που έχουν τάση να αποθάλλουν ηλεκτρόνια (εκείνα που έχουν στο φλοιό σθένους 1, 2, 3 ή και 4 καμιά φορά ηλεκτρόνια) και να παρουσιάζονται ως θετικά ιόντα, ονομάζονται **ηλεκτροθετικά**. Σύμφωνα με όσα αναφέραμε, παρατηρούμε γενικά ότι τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους με τρεις τρόπους, δηλαδή τρία είδη **ατομικών δεσμών** όπως λέμε:

- α) Ο ετεροπολικός ή ιοντικός δεσμός.
- β) Ο ομοιοπολικός δεσμός.
- γ) Ο μεταλλικός δεσμός.

1) Ο ετεροπολικός ή ιοντικός δεσμός.

Το είδος αυτό ατομικού δεσμού το συναντάμε στα στερεά σώματα της Ανόργανης Χημείας και παρατηρείται όταν ηλεκτροθετικά στοιχεία (μέταλλα) συναντήσουν ηλεκτραρνητικά (αμέταλλα). Στην περίπτωση αυτή τα άτομα του ηλεκτροθετικού στοιχείου αποθάλλουν τα ηλεκτρόνια σθένους, ενώ τα άτομα του ηλεκτραρνητικού στοιχείου τα προσλαμβάνουν έτσι, ώστε ο φλοιός σθένους τους να αποκτήσει δομή ευγενούς αερίου. Σαν παράδειγμα αναφέρομε το χλωριούχο νάτριο. Το νάτριο είναι μέταλλο, δηλαδή ηλεκτροθετικό στοιχείο με ένα ηλεκτρόνιο σθένους. Το χλώριο είναι αμέταλλο με 7 ηλεκτρόνια σθένους. Κατά το σχηματισμό του χλωριούχου νατρίου το ένα ηλεκτρόνιο σθένους του νατρίου συμπληρώνει τα επτά ηλεκτρόνια σθένους του χλωρίου. Έτσι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3α, ο φλοιός σθένους και των δυο ατόμων (του νατρίου και του χλωρίου) είναι συμπληρωμένος με οκτώ ηλεκτρόνια, ακόμα δε το άτομο του νατρίου έχει γίνει θετικό ίόν, γιατί έχει



Σχ. 2.3α.

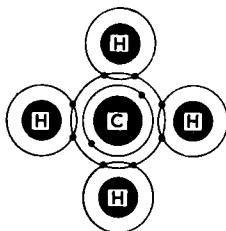
Σχηματική παράσταση του ετεροπολικού δεσμού των ιόντων νατρίου και χλωρίου κατά το σχηματισμό του χλωριούχου νατρίου.

χάσει ένα ηλεκτρόνιο, και το άτομο του χλωρίου αρνητικό ιόν, γιατί έχει προσλάθει ένα ηλεκτρόνιο. Τα δυο αυτά ιόντα έλκονται μεταξύ τους γιατί έχουν ηλεκτρικό φορτίο αντίθετου σημείου.

2) Ο ομοιοπολικός δεσμός.

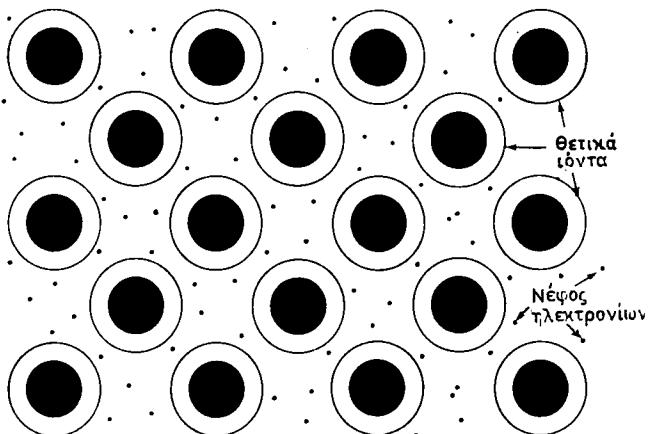
Το είδος αυτό του δεσμού το συναντάμε κυρίως στις οργανικές ενώσεις. Σύμφωνα μ' αυτόν δεν παρατηρείται μεταφορά ηλεκτρονίων από το άτομο του ενός στοιχείου στο άτομο του άλλου. Αντί γι' αυτό, ορισμένος αριθμός ηλεκτρονίων σθένους είναι κοινός μεταξύ των δυο άτομων. Έτσι είναι δυνατόν και τα δυο άτομα να έχουν συμπληρωμένο το φλοιό σθένους τους.

Στο μόριο του μεθανίου τέσσερα άτομα υδρογόνου αντιδρούν με ένα άτομο άνθρακα. Το άτομο του άνθρακα έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους, συνδέεται δε με τέσσερα άτομα υδρογόνου με κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων (σχ. 2.3β). Έτσι συμπληρώνονται τα οκτώ ηλεκτρόνια του φλοιού σθένους του άνθρακα, ενώ συγχρόνως κάθε άτομο υδρογόνου με το να δανείζεται ένα ηλεκτρόνιο σθένους από τον άνθρακα παρουσιάζει φλοιό σθένους με δυο ηλεκτρόνια, δημιουργώντας έτσι ένα ευγενές αέριο ήλιον.



Σχ. 2.36.

Σχηματική παράσταση του ομοιοπολικού δεσμού κατά το σχηματισμό του μεθανίου.



Σχ. 2.3γ.

Σχηματική παράσταση του μεταλλικού δεσμού.

3) Ο μεταλλικός δεσμός.

Το δεσμό αυτό τον συναντάμε στα μέταλλα και τα κράματα. Τα ηλεκτρόνια σθένους στην περίπτωση αυτή δεν συγκρατούνται σταθερά από τα άτομα, αλλά μπορούν να μετακινούνται ελεύθερα σε όλη τη μάζα του μετάλλου. Έτσι, τα ηλεκτρόνια σθένους δεν σχετίζονται αποκλειστικά πια με ορισμένο άτομο, αλλά κατανέμονται έτσι, ώστε να σχηματίζεται **νέφος ηλεκτρονίων** (σχ. 2.3γ), αρνητικά θέβαια φορτισμένο και κοινό για όλα τα ηλεκτροθετικά ιόντα του μετάλλου.

Το γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια σθένους μετακινούνται σχετικά ελεύθερα, μπορεί να εξηγήσει την **υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα** των μετάλλων. Ο μεταλλικός δεσμός δικαιολογεί επίσης και την **πλαστικότητα** των μετάλλων (παράγρ. 2.4), γιατί στρώματα θετικών ιόντων, αν επιδράσουν επάνω τους δυνάμεις, μπορούν να ολισθήσουν σε άλλα γειτονικά στρώματα ιόντων, χωρίς να διαταραχθεί σοβαρά η σχέση της θέσεώς τους ως προς το νέφος ηλεκτρονίων, από το οποίο δανείζονται τα ηλεκτρόνια.

2.4 Ορισμός και ιδιότητες των μετάλλων.

Βασικά τα στοιχεία διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: στα **μέταλλα** και στα **αμέταλλα**. Αυτή η διάκριση των στοιχείων βασίζεται σε ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη μία ή την άλλη κατηγορία στοιχείων.

Είναι δυνατόν όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις αμετάλλων, αυτά να έχουν μια ή περισσότερες χαρακτηριστικές ιδιότητες μετάλλου, όπως π.χ. ο άνθρακας, που αν και αμέταλλο είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, πράγμα που αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των μετάλλων. Γενικά μπορούμε να δώσουμε

τον παρακάτω ορισμό του μετάλλου:

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

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

- α) Στερεά κατάσταση στη συνηθισμένη θερμοκρασία.
- β) Χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη.
- γ) Αργυρόφαιος χρωματισμός εκτός από το χαλκό (ερυθρός - κόκκινος) και το χρυσό (κίτρινος).
- δ) Αδιαφάνεια.
- ε) Σχετικά υψηλό ειδικό βάρος.
- στ) Υψηλό σημείο τήξεως.
- ζ) Υψηλή ηλεκτρική θερμική αγωγιμότητα.
- η) Μεγάλη μηχανική αντοχή.

Θ) Πλαστικότητα, η οποία επιτρέπει τη μηχανική τους μορφοποίηση εν θερμώ ή εν ψυχρώ. Το κάθε ένα δηλαδή από τα μέταλλα είναι σε διαφορετικό βαθμό **ελαστό**. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν με σφυρηλασία ή σε έλαστρα να παίρνουν τη μορφή φύλλων ή ελασμάτων. Είναι επίσης, σε διαφορετικό πάλι βαθμό το καθένα, **όλκιμα**. Μπορούν δηλαδή σε συρματοποιητικές π.χ. μηχανές να τραβηγθούν (ελκυσθούν) και να πάρουν τη μορφή σύρματος.

- ι) Είναι σώματα κρυσταλλικά (παράγρ. 2.5).
- ια) Παρουσιάζουν ευκολία στο να σχηματίζουν κράματα.
- ιβ) Μαζί με οξέα σχηματίζουν άλατα, και με τη ρίζα — ΟΗ (υδροξύλιο) σχηματίζουν υδροξείδια.
- ιδ) Έχουν σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής.

Στον Πίνακα 2.4.1 αναγράφονται οι φυσικές σταθερές των κυριοτέρων μετάλλων.

2.5 Η κρυσταλλική δομή των μετάλλων.

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με την κρυσταλλική δομή των μετάλλων, πράγμα που έχει μεγάλη σημασία για τη μελέτη τους.

1) Κρυσταλλικά πλέγματα.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω (παράγρ. 2.4), τα μέταλλα έχουν κρυσταλλική δομή και αυτό αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητά τους. Διακρίνομε γενικά δυο είδη σωμάτων: τα **άμορφα** και τα **κρυσταλλικά**. Στα άμορφα σώματα τα άτομα διατάσσονται με τρόπο ακανόνιστο και παίρνουν θέσεις, οι οποίες δεν έχουν καμιά σχέση με τις θέσεις των γειτονικών τους ατόμων. Στα κρυσταλλικά όμως σώματα τα άτομα (ή καλύτερα τα θετικά ίόντα για τα μέταλλα) διατάσσονται στο χώρο έτσι, ώστε να ακολουθούν ορισμένη κανονική γεωμετρική μορφή. Η διάταξη αυτή των ατόμων των κρυσταλλικών σωμάτων δεν είναι η ίδια, αλλά ποικίλλει ανάλογα με το είδος του σώματος. Η διάταξη των ατόμων των

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.1.

Οι φυσικές σταθερές των κυριοτέρων μετάλλων

Μέταλλο	Χημικό σύμβολο	Ατομικό βάρος (άνθρακας = 12.000)	Ειδικό βάρος [g/cm ³]	Σημείο τήξεως [°C]	Σχετική ηλεκτρική αγωγιμότητα (άργυρος = 100)
Αντιμόνιο	Sb	121,750	6,6	631	3,6
Αργίλιο (Αλουμίνιο)	Al	26,980	2,7	660	63
Άργυρος	Ag	107,870	10,5	961	100
Βανάδιο	V	50,942	6,1	1860	5
Βολφράμιο	W	183,850	19,3	3410	14
Κάδμιο	Cd	112,400	8,6	321	24
Κασσίτερος	Sn	118,690	7,3	232	14
Κοβάλτιο	Co	58,933	8,9	1495	17
Μαγνήσιο	Mn	54,938	7,4	1245	16
Μαγγάνιο	Mg	24,312	1,7	650	39
Μολυβδαίνιο	Mo	95,94	10,2	2620	18
Μόλυβδος	Pb	207,690	11,3	327	8,4
Νικέλιο	Ni	58,710	8,9	1453	13
Σιδηρος	Fe	55,847	7,9	1537	17
Τιτάνιο	Ti	47,900	4,5	1668	14
Χαλκός	Cu	63,540	9,0	1083	98
Χρυσός	Au	196,967	19,3	1063	77
Χρώμιο	Cr	52,010	7,2	1890	16
Ψευδάργυρος	Zn	65,370	7,1	420	30

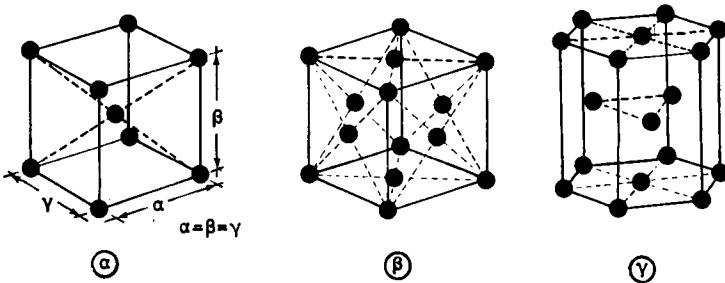
κρυσταλλικών σωμάτων στο χώρο αποτελεί αυτό που ονομάζομε **κρυσταλλικό πλέγμα**.

Υπάρχουν 14 τύποι κρυσταλλικών πλεγμάτων. Τα περισσότερα όμως από τα μέταλλα κρυσταλλώνονται κατά τρία απλά και με μεγάλη συμμετρία κρυσταλλικά πλέγματα (σχ. 2.5a) που είναι τα εξής:

- a) Το χωροκεντρωμένο κυβικό.
- b) Το ενδοκεντρωμένο κυβικό.
- γ) Το μέγιστης πυκνότητας εξαγωγικό.

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

Στο **χωροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα** τα κέντρα βάρους των ατόμων (σφαίρων) καταλαμβάνουν τις κορυφές και το γεωμετρικό κέντρο του «στοιχειώ-



Σχ. 2.5α.

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

δους κυττάρου» (στοιχειώδους κύβου) του πλέγματος. Σε κάθε στοιχειώδες κύτταρο αντιστοιχούν δυο άτομα. Πολλά στοιχειώδη κύτταρα αποτελούν το πλέγμα.

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

Στο **μέγιστης πυκνότητας εξαγωγικό κρυσταλλικό πλέγμα** τα κέντρα βάρους των ατόμων διατάσσονται, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5α(γ). Σε κάθε στοιχειώδες κύτταρο αντιστοιχούν έξι άτομα.

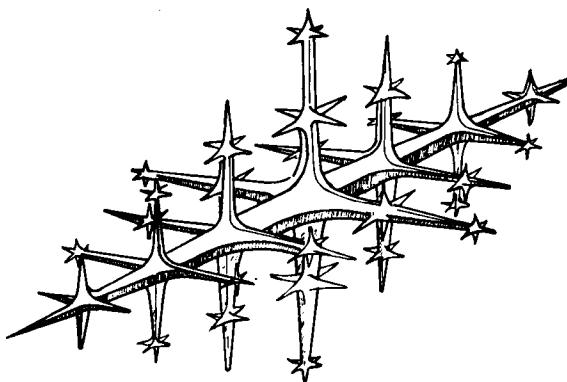
2) Η στερεοποίηση (ή κρυστάλλωση) των μετάλλων.

Με τις γνώσεις που έχουμε αποκτήσει μέχρι τώρα για την κρυσταλλική δομή των μετάλλων, ας παρακολουθήσουμε τον τρόπο, με τον οποίο ένα καθαρό μέταλλο «στερεοποιείται ή κρυσταλλώνεται», αποκτά δηλαδή την κρυσταλλική του δομή από την υγρή του κατάσταση (τήγμα).

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

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

Εφόσον η στερεοποίηση συνεχίζεται, στα φύτρα προσθέτονται και άλλα



Σχ. 2.56.
Μορφή δενδρίτη.

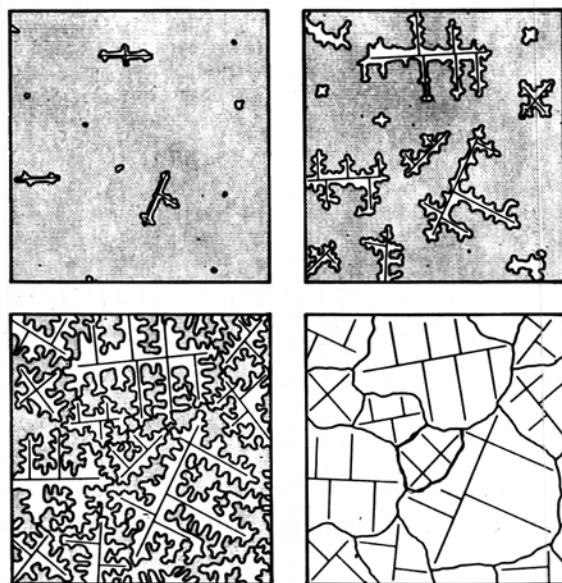
άτομα, αρχίζουν δε να σχηματίζονται κρύσταλλοι, ενώ στις άλλες νέες τυχαίες θέσεις δημιουργούνται νέα φύτρα, των οποίων ο αριθμός περιορίζεται, καθώς η απόψυξη προχωρεί. Οι κρύσταλλοι αυτοί έχουν μορφή **δενδρίτων**, δηλαδή κρυσταλλικών σκελετών από τη σπονδυλική στήλη των οποίων εκφύονται κλάδοι. Από αυτούς τους κλάδους φυτρώνουν άλλοι δευτερεύοντες κλάδοι και ούτω καθ' εξής (σχ. 2.56). Οι κλάδοι των δενδρίτων συνεχίζουν να αναπτύσσονται, ώσπου να καταληφθεί ο χώρος μεταξύ τους από στερεοποιημένο μέταλλο.

Εν τω μεταξύ οι εξωτερικοί κλάδοι των δενδρίτων κατά την ανάπτυξή τους εφάπτονται με κλάδους άλλων γειτονικών δενδρίτων, που έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα από άλλα φύτρα. Έτσι, στις θέσεις επαφής των κλάδων διαφορετικών δενδρίτων εμποδίζεται η περαιτέρω ανάπτυξη. Ο τρόπος αυτός της δημιουργίας των κρυστάλλων κατά τη στερεοποίηση μετάλλων εξηγεί το ακανόνιστο γενικά σχήμα τους. Στο σχήμα 2.5γ φαίνεται σχηματικά η πορεία της στερεοποίησεως μετάλλου.

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

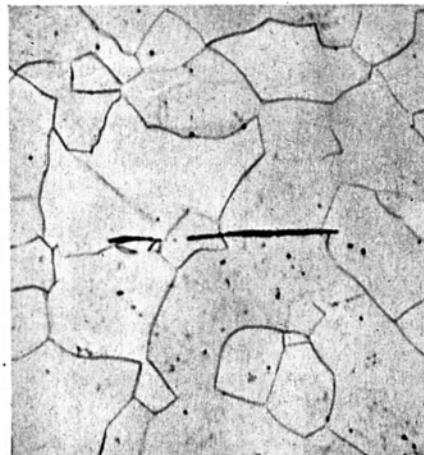
Οι επιφάνειες επαφής των δενδρίτων αποτελούν τα «όρια των κόκκων». Στη μικροφωτογραφία του σχήματος 2.5δ δίνεται η κρυσταλλική δομή σφυρήλατου σιδήρου του εμπορίου, όπως φαίνεται στο κρυσταλλικό μικροσκόπιο (παράγρ. 17.2). Τα μέταλλα τα οποία στερεοποιούνται με τον τρόπο που αναφέραμε, ονομάζονται **πολυκρυσταλλικά**.

Τα μέταλλα δεν είναι συνήθως απόλυτα καθαρά, αλλά περιέχουν διάφορες ακαθαρσίες, όπως είναι το θειάφι, ο φωσφόρος και άλλες (παράγρ. 20.3 για τους χάλυβες). Οι ακαθαρσίες αυτές καταλαμβάνουν τα όρια των κόκκων, γιατί έχουν την τάση να παραμένουν στο μέταλλο, που στερεοποιείται τελευταίο. Η



Σχ. 2.5γ.

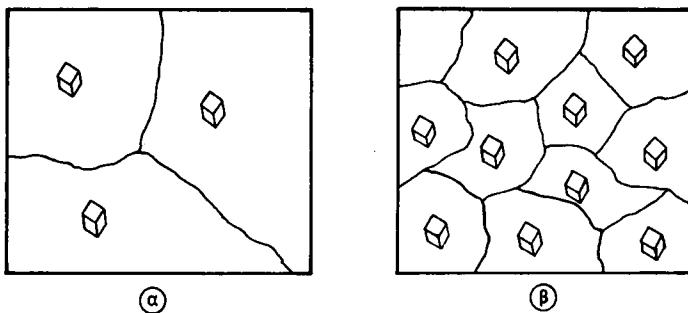
Σχηματική παράσταση εξελίξεως της στερεοποιήσεως μετάλλου.



Σχ. 2.5δ.

Μικρογραφία σφυρήλατου σιδήρου (Μεγέθυνση × 250).

παρουσία των ακαθαρσιών επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του μετάλλου. Επειδή είναι διαφορετικός ο προσανατολισμός των ατόμων του μετάλλου σε κάθε κόκκο, είναι φανερό ότι τα άτομά του δεν διατάσσονται στα όρια των



Σχ. 2.5ε.

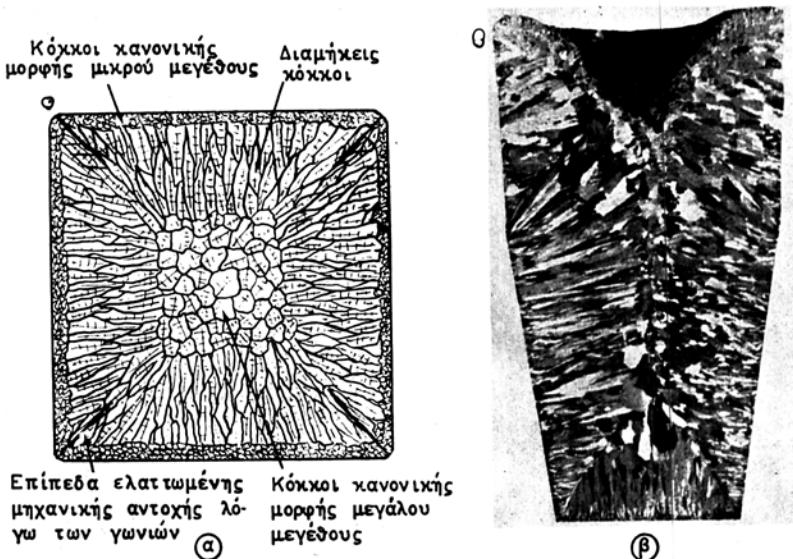
Η επίδραση του αριθμού των φύτρων στο μέγεθος των κόκκων: α) Λίγα φύτρα → μεγάλο μέγεθος κόκκων. β) Πολλά φύτρα → μικρό μέγεθος κόκκων.

κόκκων σύμφωνα με το κανονικό πλέγμα του μετάλλου. Συνεπώς οι κόκκοι θα πρέπει να έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες από εκείνες που έχουν τα όρια των κόκκων. Έχει διαπιστωθεί ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες τα όρια των κόκκων έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τους κόκκους, ενώ συμβαίνει το αντίθετο σε υψηλές θερμοκρασίες. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνομε ότι ο λεπτόκοκκος κρυσταλλικός ιστός έχει μεγαλύτερη αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί παρουσιάζει εκτεταμένα όρια κόκκων. Αντίθετα ο χονδρόκοκκος έχει μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Τελικά, το μέγεθος των κόκκων έχει μεγάλη σημασία, όπως θα δούμε, κατά τη διάρκεια των μηχανικών και θερμικών κατεργασιών των μετάλλων και κραμάτων.

Στην πράξη η ταχύτητα αποψύξεως του τήγματος (δηλ. ο αριθμός των βαθμών πτώσεως της θερμοκρασίας στη μονάδα του χρόνου) είναι τόσο υψηλή, ώστε αυτό αποκτά συνήθως μέσα σε λίγο χρόνο θερμοκρασία κατώτερη από το σημείο τήξεως, προτού αρχίσει η στερεοποίηση (υπόψη η του τήγματος). Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται πολλά φύτρα και μάλιστα τόσο περισσότερα, όσο η υπόψυξη είναι μεγαλύτερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτόκοκκου κρυσταλλικού ιστού, γιατί η ανάπτυξη κάθε δενδρίτη περιορίζεται από την ανάπτυξη των γειτονικών του δενδριτών και ετσι ελαττώνεται το μέγεθος των κόκκων (σχ. 2.5ε).

Εδώ είναι ενδιαφέρον να μελετήσουμε τη μορφή και το μέγεθος των κόκκων που σχηματίζονται κατά τη χύτευση μετάλλου μέσα σε μεταλλικούς κυρίως τύπους (καλούπια). Αυτό συμβαίνει ευρύτατα στην πράξη κατά τη χύτευση μη σιδηρούχων κραμάτων (του αργιλίου, μαγνησίου και ψευδαργύρου), αλλά και σε περιπτώσεις, όπου χρειάζεται επιφανειακή σκληρότητα σε χυτοσιδηρά τεμάχια ή όταν πρόκειται να χυτευθεί μεγάλος αριθμός τεμαχίων.

Ας παρατηρήσουμε το χυτό τεμάχιο του σχήματος 2.5στ(β), το οποίο έχει μεγάλες διαστάσεις και έχει προκύψει από χύτευση μέσα σε μεταλλικό καλούπι. Όταν το τήγμα αρχίζει να στερεοποιείται, προκαλείται σημαντική υπόψυξη, που οφείλεται στη δυνατότητα απαγωγής της θερμότητας από τα τοιχώματα του μεταλλικού καλουπιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μεγάλος αριθμός φύτρων στην περιοχή των τοιχωμάτων του καλουπιού και εξαιτίας αυτού να σχηματισθεί μετά τη στερεοποίηση λεπτόκοκκος κωνικός κρυσταλλικός ιστός. Προχωρώντας όμως προς το κέντρο του τεμαχίου, παρατηρούμε ότι οι δενδρίτες που



Σχ. 2.5στ.

Ο κρυσταλλικός ιστός χυτού τεμαχίου μεγάλων διαστάσεων μέσα σε μεταλλικό τύπο:
α) Σχηματική παράσταση. β) Μακροφωτογραφία.

σχηματίζονται δεν επεκτείνονται πλάγια, γιατί εμποδίζονται από τους γειτονικούς, μπορούν όμως να αναπτυχθούν σε κάθετη κατεύθυνση προς τα τοιχώματα. Έτσι σχηματίζονται διαμήκεις κόκκοι. Μετά όμως από ορισμένο χρόνο η θερμότητα του τήγματος απάγεται προς τα τοιχώματα του τύπου με αργότερο ρυθμό, λόγω της παρουσίας του μετάλλου που έχει ήδη στερεοποιηθεί. Τότε αρχίζει ο σχηματισμός των κόκκων με το συνηθισμένο τρόπο. Οι κόκκοι δηλαδή αναπτύσσονται προς κάθε κατεύθυνση. Έτσι, στον κρυσταλλικό ιστό χυτού τεμαχίου μεγάλου μεγέθους μπορούμε να παρατηρήσουμε τρεις διακεκριμένες ζώνες κόκκων οι οποίοι έχουν διαφορετικό σχήμα και μέγεθος, όπως μας δείχνει το σχήμα 2.5στ(α).

Όταν η χύτευση γίνεται μέσα σε άμμο, γενικά δεν σχηματίζονται διαμήκεις κόκκοι. Κατά κανόνα τα χυτά στην περίπτωση αυτή αποτελούνται από μεγάλους κόκκους που αναπτύσσονται προς κάθε κατεύθυνση.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

.ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΟΡΙΣΜΟΙ - ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ

3.1 Το κράμα.

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

Οι κυριότερες προσμίξεις κατά το σχηματισμό του κράματος είναι άλλα μέταλλα, πολλές φορές όμως και αμέταλλα ή μεταλλοειδή, κυρίως δε ο άνθρακας. Τα περισσότερα κράματα που χρησιμοποιούμε παράγονται από την ανάμιξη των στοιχείων που τα απαρτίζουν σε κατάσταση τήξεως. Υπάρχουν δώματα και κράματα που παράγονται με άλλο τρόπο, όπως π.χ. τα κεραμευτικά κράματα της κονιομεταλλουργίας (κεφ. 34). Τα κράματα αποτελούν την κύρια ύλη των μεταλλικών κατασκευών, γιατί με την κραματοποίηση βελτιώνονται οι μηχανικές ιδιότητες του κύριου μετάλλου, όπως είναι η αντοχή σε εφελκυσμό, το όριο ελαστικότητας, η δυσθραυστότητα (δύσκολα σπάζει σε κρουστικά φορτία, κεφ. 8) και η σκληρότητα. Επίσης βελτιώνεται και η αντοχή σε κόπωση, φθορά και διάθρωση. Ο ανθρακούχος χάλυβας π.χ. που είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα, για τον οποίο θα μιλήσουμε παρακάτω, είναι ανθεκτικότερος από το σίδηρο και μάλιστα μπορεί να γίνει ακόμα πιο ανθεκτικός με κατάλληλες θερμικές κατεργασίες.

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

Τα κράματα, ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που περιλαμβάνουν, διακρίνονται σε **διμερή** (δυο στοιχεία), **τριμερή** (τρία στοιχεία) κλπ. Τα διμερή κράματα, τα οποία και θα μελετήσουμε, διακρίνονται σε κράματα **μετάλλου-μετάλλου**, σε κράματα **μετάλλου-μεταλλοειδούς** και σε κράματα **μετάλλου-αμετάλλου**. Ας παρακολουθήσουμε τώρα τι συμβαίνει, όταν δυο μέταλλα A και B που σχηματίζουν κράμα, αναμιγνύονται σε κατάσταση τήξεως και μετά τα αφήνομε να στερεοποιηθούν ήρεμα.

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

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

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

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

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

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

3.2 Το στερεό διάλυμα.

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

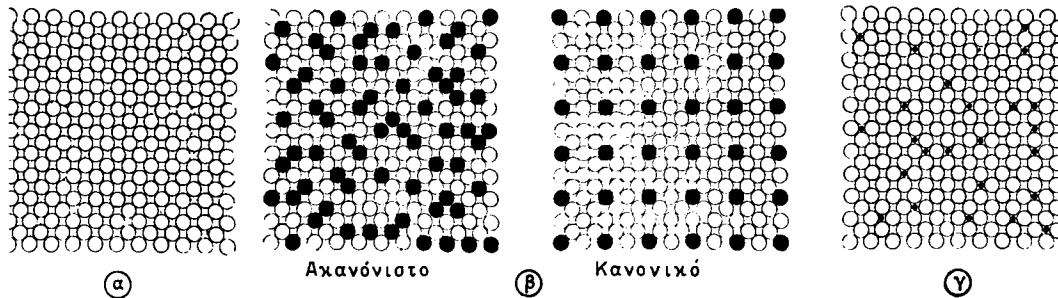
Τα στοιχεία που αποτελούν το στερεό διάλυμα δεν μπορούν να διαχωρισθούν ούτε μπορούμε να τα διακρίνουμε ακόμα και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, που έχει μεγάλη διακριτική ικανότητα. Πρέπει να τονίσουμε ότι για να σχηματισθεί στερεό διάλυμα, θα πρέπει τα άτομα του ενός στοιχείου Β να παίρνουν θέσεις μέσα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

α) Το στερεό διάλυμα αντικαταστάσεως [σχ. 3.2(θ)], κατά το οποίο τα άτομα του στοιχείου Β (μετάλλου) αντικαθιστούν ακανόνιστα και πιο σπάνια κανονικά μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα άτομα του στοιχείου Α (μετάλλου). Ο χαλκός και το νικέλιο π.χ. σχηματίζουν στερεό διάλυμα αντικαταστάσεως (σχ. 3.2).

β) Το στερεό διάλυμα παρεμβολής [σχ. 3.2(γ)], κατά το οποίο τα άτομα του στοιχείου Β (συνήθως αμέταλλα) παίρνουν θέσεις ακανόνιστα και σπανιότερα κανονικά μεταξύ των ατόμων του Α (μετάλλου), μέσα στο κρυσταλλικό του πλέγμα.

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

Τυπικό στερεό διάλυμα παρεμβολής είναι του σιδήρου και του άνθρακα, που



Σχ. 3.2.

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

αποτελεί συστατικό των χαλύθων. Το στερεό αυτό διάλυμα, όπως θα δούμε, ανάλογα με τη θερμοκρασία σχηματισμού του, παίρνει την ονομασία **φερρίτης** ή **ωστενίτης**.

3.3 Το ευτηκτικό κράμα ή ευτηκτική.

Κατά τη στερεοποίηση διμερών κραμάτων με συστατικά Α και Β (π.χ. δυο μέταλλα), που ενώ στην υγρή κατάσταση είναι **πλήρως αναμίξιμα** και στη στερεά κατάσταση είναι **πλήρως μη αναμίξιμα**, δημιουργείται σε ορισμένη αναλογία των συστατικών Α και Β (ευτηκτική αναλογία) και σε ορισμένη επίσης θερμοκρασία (ευτηκτική θερμοκρασία) ένα χαρακτηριστικό κρυσταλλικό είδος, που ονομάζομε **ευτηκτικό κράμα ή ευτηκτική**.

Το ευτηκτικό κράμα αποτελείται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες των συστατικών Α και Β του κράματος εναλλάξ (σχ. 4.3β, 4.3γ) και έχει το χαμηλότερο σημείο τήξεως από τις γειτονικές αναλογίες των συστατικών. Σ' αυτό οφείλεται και η ονομασία του. Ευτηκτικό κράμα κατά τη στερεοποίηση παίρνομε επίσης στην περίπτωση που τα δυο μέταλλα είναι **μερικώς αναμίξιμα** στη στερεά κατάσταση. Υπάρχει όμως η διαφορά ότι το ευτηκτικό αυτό κράμα αποτελείται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ από δυο κορεσμένα στερεά διαλύματα. (Κορεσμένο στερεό διάλυμα είναι εκείνο, στο οποίο δεν είναι δυνατόν πια να διεισδύσουν άλλα άτομα του ενός στοιχείου στο κρυσταλλικό πλέγμα του άλλου στοιχείου). Ο ένας κρυσταλλίτης είναι στερεό διάλυμα του μετάλλου Α κορεσμένου με το Β, ενώ οι γειτονικοί του κρυσταλλίτες είναι στερεό διάλυμα του μετάλλου Β κορεσμένου με το μέταλλο Α. Δηλαδή ο πρώτος κρυσταλλίτης είναι πλούσιος σε μέταλλο Α, ενώ ο δεύτερος είναι πλούσιος σε μέταλλο Β.

Σε ορισμένα κράματα, σε χαμηλότερη όμως θερμοκρασία, το στερεό πια διάλυμα μετασχηματίζεται πάλι με μορφή ευτηκτικού κράματος. Το κρυσταλλικό αυτό είδος ονομάζεται **ευτηκτοειδές κράμα ή ευτηκτοειδής**. Και ονομάζεται έτσι γιατί δεν σχηματίζεται από το τήγμα του κράματος, όπως το ευτηκτικό κράμα, αλλά από στερεό διάλυμα όσο προχωρεί η στερεοποίηση. Όπως θα δούμε στη μελέτη των ανθρακούχων χαλύθων, ο μετασχηματισμός του

ωστενίτη (στερεό διάλυμα) στην ευτηκτοειδή μορφή του *περλίτη* αποτελεί τυπικό παράδειγμα μετασχηματισμού αυτού του είδους.

3.4 Οι μεσομεταλλικές ενώσεις.

Κατά τη στερεοποίηση κράματος, συχνά δυο μέταλλα μπορούν να αντιδράσουν χημικώς μεταξύ τους και να σχηματίσουν τη λεγόμενη **μεσομεταλλική ένωση**, η οποία όμως δεν έχει μεταλλικό χαρακτήρα. Οι μεσομεταλλικές ενώσεις είναι συνηθισμένες στα βιομηχανικά κράματα. Έτσι το κράμα θα αποτελείται βασικά από στερεά διαλύματα και από μεσομεταλλικές ενώσεις σε διάφορες αναλογίες. Το στερεό διάλυμα και η μεσομεταλλική ένωση έχουν εντελώς διαφορετικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Το στερεό διάλυμα έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, δυσθραυστότητα και είναι όλκιμο. Η μεσομεταλλική έγωση έχει μικρή αντοχή, είναι πολύ σκληρή και πολύ εύθραυστη (σπάζει εύκολα). Γι' αυτό η μεσομεταλλική ένωση μόνη της ή σε μεγάλη αναλογία μέσα στα κράματα, τα καθιστά ακατάλληλα για βιομηχανική χρήση.

Όταν το κράμα σχηματίζεται βασικά από στερεό ή στερεά διαλύματα, περιέχει δε και κόκκους μεσομεταλλικής ενώσεως, σε μικρή αναλογία όμως, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί, γιατί συνδυάζει τις καλές μηχανικές ιδιότητες του στερεού διαλύματος με τη μεγάλη σκληρότητα της μεσομεταλλικής ενώσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ

4.1 Γενικά.

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

- α) Η θερμοκρασία, στην οποία αρχίζει και τελειώνει η στερεοποίηση και
- β) οι μετασχηματισμοί που γίνονται στην κρυσταλλική δομή του κράματος όσο διαρκεί η στερεοποίηση, αλλά και μετά από αυτή. Και αυτό μας ενδιαφέρει, γιατί το είδος της κρυσταλλικής δομής του κράματος είναι εκείνο που καθορίζει τις μηχανικές του ιδιότητες. Τα στοιχεία αυτά μας τα δίνει αυτό που ονομάζουμε **θερμικό διάγραμμα ισορροπίας του κράματος** ή απλά το **διάγραμμα του κράματος**.

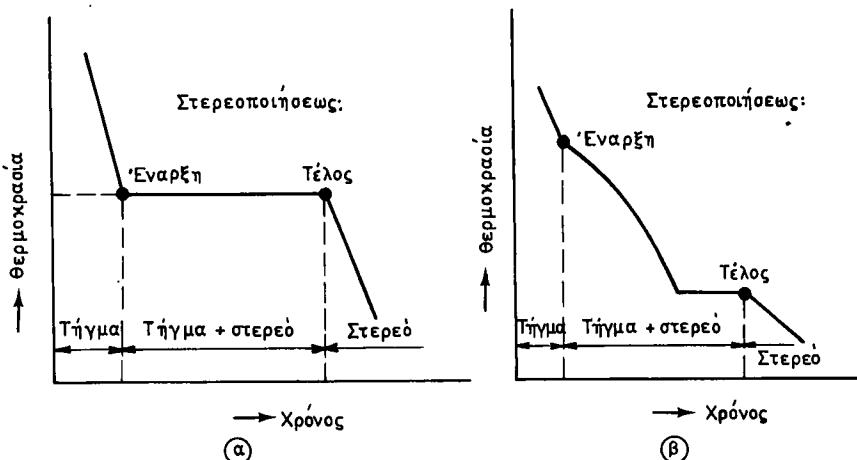
Βασική προϋπόθεση για την κατασκευή αυτού του διαγράμματος είναι ότι το κράμα θα πρέπει να θρίσκεται κάθε φορά σε κατάσταση **ισορροπίας των φάσεων**. Σ' αυτή την περίπτωση, με τη λέξη **ισορροπία** εννοούμε ότι οποιαδήποτε μεταβολή στην κρυσταλλική δομή του κράματος πρέπει να γίνεται **πλήρης**, πράγμα που απαιτεί ανάλογα ορισμένο χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι η απόψυξη του κράματος από τη ρευστή του κατάσταση μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος πρέπει να γίνεται με πολύ αργό ρυθμό. Πρέπει να πούμε ότι η γρήγορη (ταχεία) απόψυξη του κράματος, όπως συμβαίνει π.χ. στη βαφή του χάλυβα (παράγρ. 19.7), δεν επιτρέπει ολοκληρωμένους μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική δομή του κράματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκύπτει τελικά διαφορετική κρυσταλλική δομή, από εκείνη που θα προέκυπτε με αργή (θραδεία) απόψυξη.

Επίσης στη θερμοκρασία του περίβαλλοντος είναι αδύνατο να πετύχομε ισορροπία των φάσεων στο θαμμένο χάλυβα, εκτός αν αυτός αναθερμανθεί και ψυχθεί κατάλληλα (ανόπτηση, παράγρ. 19.2).

4.2 Κατασκευή του θερμικού διαγράμματος ισορροπίας του κράματος.

Ας δούμε τώρα πώς κατασκευάζεται το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας ενός κράματος:

Για κάθε καθαρό μέταλλο ή για κάθε κράμα, είναι δυνατό πειραματικά να κατασκευασθεί η λεγόμενη **καμπύλη αποψύξεως** αυτού.



Σχ. 4.2α.

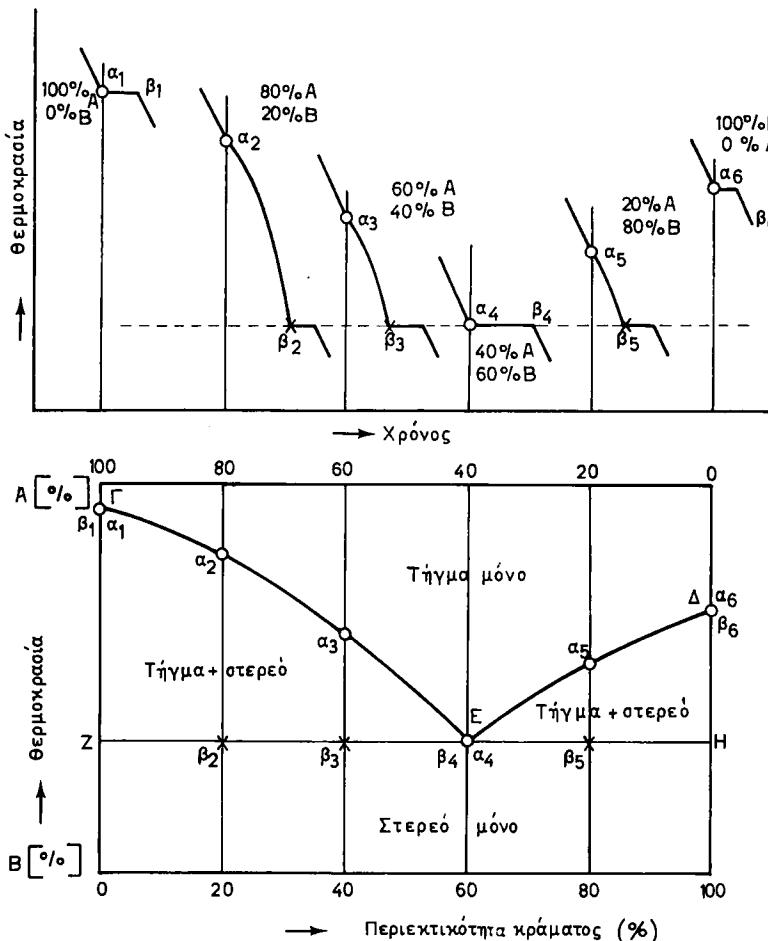
Καμπύλες αποψύξεως: α) Καθαρού μετάλλου. β) Κράματος απλού ευτηκτικού τύπου.

Στο σχήμα 4.2α φαίνεται η καμπύλη αποψύξεως καθαρού μετάλλου όπου, όπως βλέπομε, η στερεοποίηση αρχίζει και τελειώνει στην ίδια θερμοκρασία (σημείο τήξεως ή πήξεως του μετάλλου). Στο ίδιο σχήμα παρατηρούμε και την καμπύλη αποψύξεως ενός κράματος, του οποίου η στερεοποίηση γίνεται σε ορισμένη θερμοκρασία, ανάλογα με τη σύνθεσή του και όχι σε σταθερή θερμοκρασία.

Στο σχήμα 4.2β είναι χαραγμένες οι καμπύλες αποψύξεως αυτών των κραμάτων, των οποίων η περιεκτικότητα σε μέταλλο Α αρχίζει να ελαττώνεται (να λιγοστεύει) από το πρώτο προς το τελευταίο. Η στερεοποίηση αρχίζει στα σημεία $a_1, a_2 \dots a_6$ και τελειώνει στα σημεία $b_1, b_2 \dots b_6$ αντίστοιχα. Αν ενώσομε τα σημεία $a_1, a_2 \dots a_6$, έχουμε τη γραμμή liquidus (ΓΕΔ), η οποία δείχνει τη θερμοκρασία στην οποία κράμα ορισμένης αναλογίας των συστατικών του Α και Β αρχίζει να στερεοποιείται. Με τον ίδιο τρόπο από τα σημεία $b_1, b_2 \dots b_6$ προκύπτει η γραμμή solidus (ΖΕΗΔ), με την οποία προσδιορίζεται η θερμοκρασία στην οποία το κράμα ορισμένης αναλογίας στερεοποιείται εντελώς (πλήρως). Έτσι, το liquidus είναι η γραμμή πάνω από την οποία όλα τα κράματα, που έχουν αναλογίες των συστατικών του Α και Β και θερμοκρασίες αυτές που σημειώσαμε, βρίσκονται σε υγρή ομοιογενή κατάσταση (τήγμα). Το solidus είναι η γραμμή κάτω από την οποία όλα τα κράματα, με τις ίδιες προϋποθέσεις αναλογιών Α και Β και θερμοκρασιών που αναφέρομε, βρίσκονται σε στερεά κατάσταση. Μεταξύ του liquidus και solidus και για τις θερμοκρασίες και αναλογίες που παραθέτομε, το κράμα αποτελείται από τήγμα και στερεό.

4.3 Μεταβολές στην κρυσταλλική δομή του κράματος.

Για να καταλάβομε τη σύσταση των διμερών κραμάτων, πρέπει να παρακολουθήσουμε τις μεταβολές που γίνονται στην κρυσταλλική δομή τους από την



Σχ. 4.26.

Κατασκευή διαγράμματος θερμικής ισορροπίας κράματος απλού ευτηκτικού τύπου με χρησιμοποίηση των καμπυλών αποψύξεώς του.

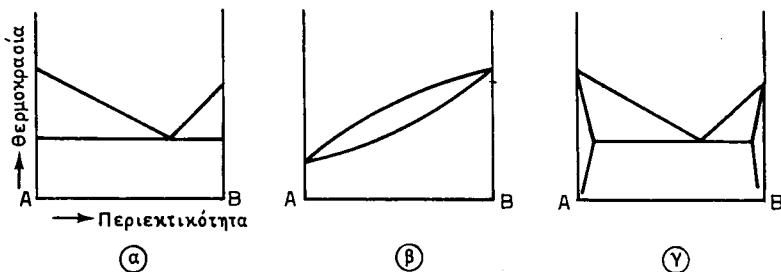
υγρή μέχρι τη στερεά κατάσταση και στη συνέχεια μέχρι να αποκτήσουν τη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιθάλλοντος.

Κατά τη στερεοποίηση των διμερών κραμάτων διακρίνομε τρεις κύριες περιπτώσεις, που είναι οι εξής (σχ. 4.3α):

α) Τα συστατικά του κράματος Α και Β είναι τελείως (πλήρως) μη αναμίξιμα στη στερεά κατάσταση (κράμα απλού ευτηκτικού τύπου).

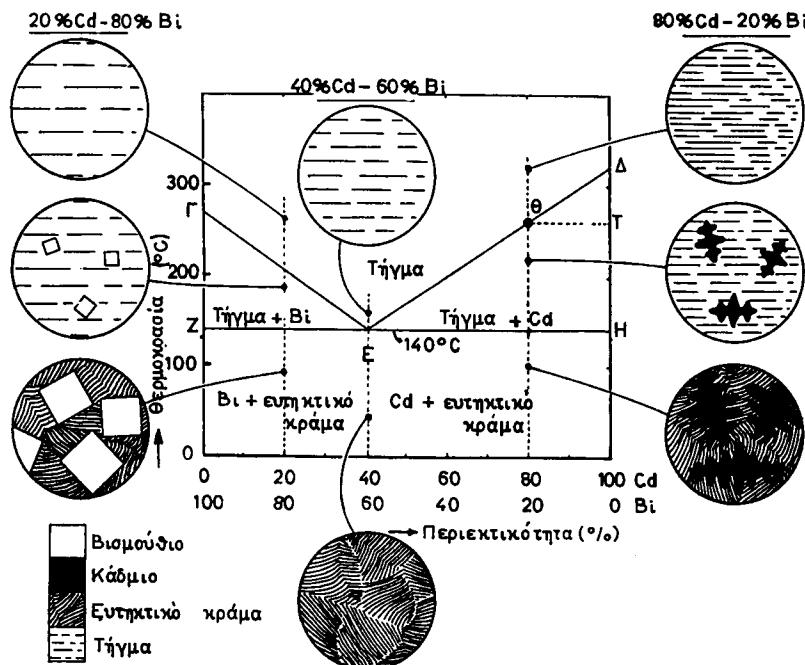
β) Τα συστατικά του κράματος είναι τελείως (πλήρως) αναμίξιμα στη στερεά κατάσταση και σε κάθε αναλογία (κράμα τύπου στερεού διαλύματος) και

γ) τα συστατικά του κράματος είναι εν μέρει αναμίξιμα στη στερεά κατάσταση, δηλαδή σχηματίζονται στερεά διαλύματα, μέχρι όμως μιας ορισμένης αναλογίας των συστατικών του κράματος (κράμα σύνθετου τύπου).



Σχ. 4.3α.

Χαρακτηριστικοί τύποι θερμικών διαγραμμάτων ισορροπίας διμερών κραμάτων με συστατικά A και B: α) Απλού ευτηκτικού τύπου. β) Τύπου στερεού διαλύματος. γ) Σύνθετου τύπου.



Σχ. 4.3β.

Θερμικό διάγραμμα ισορροπίας διαγραμμάτων καδμίου - βισμουθίου (απλού ευτηκτικού τύπου) με σχηματική παράσταση της κρυσταλλικής του δομής σε ορισμένες θέσεις του διαγράμματος. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα του τήγματος σε κάδμιο φαίνεται ενδεικτικά από την πύκνότητα των διακεκομμένων γραμμών.

Παρακάτω θα περιγράψουμε με λεπτομέρεια το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας κράματος απλού ευτηκτικού τύπου, όπως είναι το κράμα του βισμουθίου - καδμίου, που είναι σχετικά απλό.

Μετά θα ασχοληθούμε με το διάγραμμα κράματος σύνθετου τύπου, όπως είναι το κράμα κασσιτέρου - μολύβδου, που μοιάζει περισσότερο με το διάγραμμα των κραμάτων σιδήρου - άνθρακα, δηλαδή με τους ανθρακούχους χάλυβες, με τους οποίους και θα ασχοληθούμε εκτεταμένα στο 6ο Μέρος αυτού του βιβλίου.

1) Το διάγραμμα κράματος απλού ευτηκτικού τύπου.

Στο σχήμα 4.36 εικονίζεται το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας κράματος βισμούθιου (Bi) - καδμίου (Cd). Το διάγραμμα σχηματίζεται, όπως είπαμε, από τις καμπύλες αποψύξεως (σχ. 4.26). Η γραμμή ΓΕΔ είναι το liquidus και η γραμμή ΓΖΕΗΔ το solidus. Ας δούμε τώρα πώς στερεοποιείται κράμα, που έχει αναλογία 80% κάδμιο και 20% βισμούθιο. Όταν κατά την απόψυξη του κράματος η θερμοκρασία του κατεβεί σε Τ, τότε αρχίζουν να σχηματίζονται τα φύτρα καθαρού καδμίου. [Η θερμοκρασία Τ προσδιορίζεται ως εξής: Φέρομε μια κατακόρυφη γραμμή από την περιεκτικότητα του αντίστοιχου στοιχείου (80% για το Cd) του κράματος, που εξετάζομε. Αυτή η κατακόρυφη τέμνεται σ' ένα σημείο Θ με το liquidus. Από το σημείο Θ σύρομε οριζόντια γραμμή, η οποία προσδιορίζει τη θερμοκρασία Τ, που ζητάμε, στον άξονα των θερμοκρασιών του διαγράμματος]. Αφού αρχίζει να στερεοποιείται το κάδμιο, το υπόλοιπο τήγμα γίνεται πιο πλούσιο σε βισμούθιο. Ενώ η θερμοκρασία ελαττώνεται, εναποτίθεται περισσότερο κάδμιο στα φύτρα και αρχίζουν να σχηματίζονται δενδρίτες, με τον τρόπο που έχομε αναφέρει παραπάνω. Η ανάπτυξη των δενδρίτων καδμίου και ο εμπλουτισμός του τήγματος σε βισμούθιο προχωρεί μέχρι τη θερμοκρασία των 140°C (ευτηκτική θερμοκρασία), όπου το τήγμα περιέχει 40% κάδμιο και 60% βισμούθιο (ευτηκτική αναλογία, παράγρ. 3.3).

Αν προχωρήσει η απόψυξη μέχρι τη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η τελική κρυσταλλική δομή του κράματος θα αποτελείται από πρωτογενείς κρυσταλλίτες καδμίου (που σχηματίζονται μεταξύ θερμοκρασίας Τ και 140°C), οι οποίοι περιβάλλονται από ευτηκτικό κράμα που σχηματίστηκε στους 140°C και αποτελείται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες καδμίου και βισμούθιου εναλλάξ (σχ. 4.36). Αν το τήγμα περιέχει κάδμιο λιγότερο από 40%, όπως π.χ. κάδμιο 20% και βισμούθιο 80%, τότε σχηματίζονται πρωτογενείς κρυσταλλίτες βισμούθιου μέχρι την ευτηκτική θερμοκρασία (140°C) με αναλογία (40% κάδμιο και 60% βισμούθιο). Το τήγμα που απομένει γίνεται συνέχεια πλουσιότερο σε κάδμιο και στερεοποιείται σε ευτηκτικό κράμα στη θερμοκρασία 140°C, όπως έχομε ήδη αναφέρει. Η τελική κρυσταλλική δομή του κράματος στη συνηθισμένη θερμοκρασία θα αποτελείται από κρυσταλλίτες βισμούθιου περιβαλόμενους από ευτηκτικό κράμα.

Αν το τήγμα περιέχει 40% κάδμιο και 60% βισμούθιο, τότε δεν παρατηρείται καμιά στερεοποίηση, παρά μόνο όταν η θερμοκρασία κατέβει στους 140°C, οπότε σχηματίζεται μόνο το εύτηκτο κράμα.

Η κρυσταλλική δομή καδμίου - βισμούθιου, όπως προκύπτει από την ανάλυση του θερμικού διαγράμματος ισορροπίας, φαίνεται στο σχήμα 4.36.

2) Το διάγραμμα σύνθετου κράματος.

Το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας τυπικού σύνθετου κράματος, όπως είναι

το κράμα κασσιτέρου (Sn) - μολύβδου (Pb), φαίνεται στο σχήμα 4.3γ. Στο σχήμα αυτό φαίνεται επίσης σχηματικά και η κρυσταλλική του δομή σε κάθε θέση του διαγράμματος. Το διάγραμμα αυτό παρουσιάζει δυο σημαντικές διαφορές συγκριτικά με το προηγούμενο, δηλαδή με το διάγραμμα κράματος απλού ευτηκτικού τύπου:

α) Παρατηρούνται μετασχηματισμοί στην κρυσταλλική δομή του κράματος και κάτω από το solidus, δηλαδή στη στερεά κατάσταση.

β) Το ευτηκτικό κράμα, που σχηματίζεται, αποτελείται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ από δυο στερεά διαλύματα και όχι από δυο καθαρά μέταλλα, όπως στην περίπτωση των κραμάτων καδμίου - βισμούθιου.

Στο διάγραμμα θερμικής ισορροπίας του σχήματος 4.3γ η γραμμή ΑΕΔ αποτελεί το liquidus, η γραμμή ΑΒΕΖΔ το solidus και οι γραμμές ΒΓ και ΖΗ, που θρίσκονται κάτω από το solidus, αποτελούν το λεγόμενο solvus. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, σχηματίζονται δυο στερεά διαλύματα:

- Το στερεό διάλυμα (α), που σχηματίζεται από κασσίτερο, στου οποίου το κρυσταλλικό πλέγμα διαλύεται μόλιςθδος με αναλογία 2,6% στην ευτηκτική θερμοκρασία και
- το στερεό διάλυμα (β), που σχηματίζεται από μόλιςθδο, στου οποίου το κρυσταλλικό πλέγμα διαλύεται κασσίτερος με αναλογία 19,5% στην ευτηκτική θερμοκρασία.

Με βάση το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας κράματος κασσιτέρου - μολύβδου, θα παρακολουθήσομε τους μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική δομή του κράματος μέχρι της πλήρους αποψύξεώς του, μελετώντας τέσσερα κράματα χαρακτηριστικών αναλογιών.

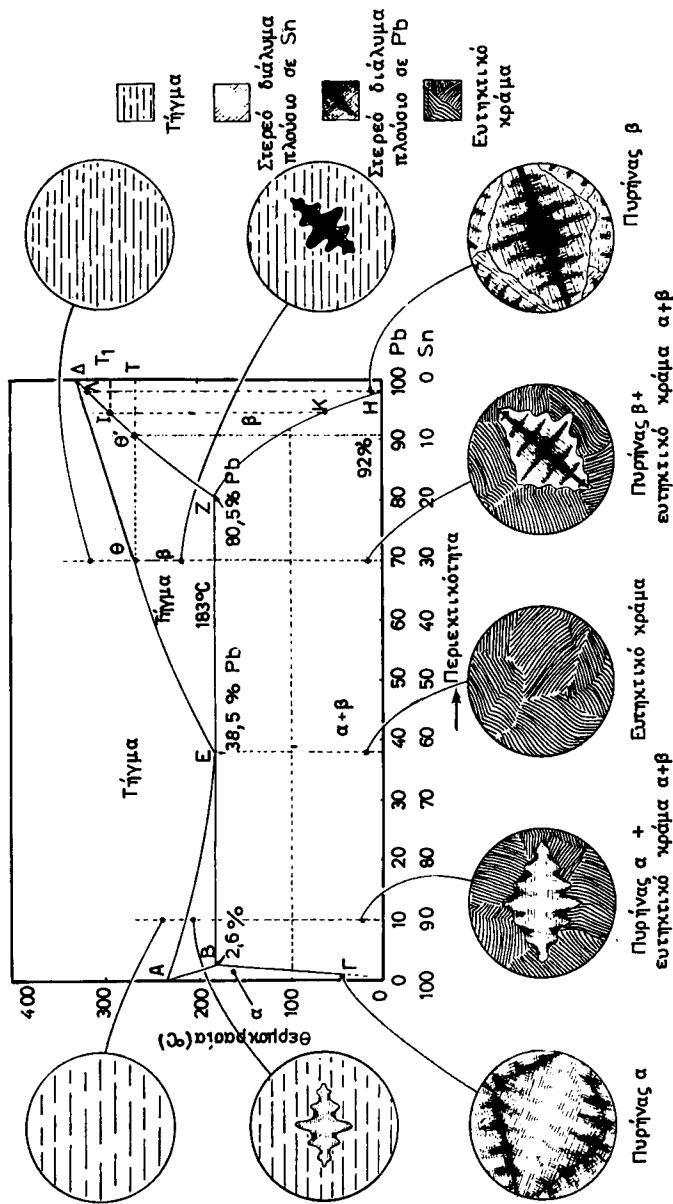
1) Κράμα αναλογίας (περιεκτικότητας) 70% Pb και 30% Sn.

Το κράμα αυτό αρχίζει να στερεοποιείται στη θερμοκρασία T, με δημιουργία δενδρίτων, που έχουν αναλογίες περίπου 92% Pb και 8% Sn (σημείο Θ). Ενώ η θερμοκρασία συνεχίζει να πέφτει, το κράμα συνεχίζει να στερεοποιείται μέχρι τη θερμοκρασία των 183°C, στην οποία οι τελευταίοι δενδρίτες που αναπτύσσονται έχουν αναλογία 80,5 Pb και 19,5 Sn. Το τήγμα που απομένει, θα έχει την ευτηκτική αναλογία E (38,5% Pb - 61,5% Sn) και θα στερεοποιηθεί με μορφή ευτηκτικού κράματος, δηλαδή σε πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ στερεού διαλύματος (α) και (β) με αναλογίες B (2,6% Pb - 97,4% Sn) και Z (19,5% Sn - 80,5% Pb) αντίστοιχα.

Εάν η απόψυξη προχωρήσει ήρεμα μέχρι τη συνηθισμένη θερμοκρασία δωματίου, οι αναλογίες του Pb και Sn στα στερεά διαλύματα (α) και (β) αντίστοιχα θα ακολουθήσουν τις γραμμές του solvus ΒΓ και ΖΗ. Δηλαδή το στερεό διάλυμα (α) γίνεται προσδευτικά φτωχότερο σε μόλιςθδο και το (β) φτωχότερο σε κασσίτερο. Το κράμα αυτό τελικά θα αποτελείται από κόκκους στερεού διαλύματος (β) με αναλογία, που προσδιορίζεται από τη γραμμή ΖΗ, περιστοιχιζόμενους από ευτηκτικό κράμα, όπως αναφέραμε προηγουμένως (σχ. 4.3γ).

2) Κράμα αναλογίας 95% Pb και 5% Sn.

Το κράμα αυτό, αν αποψυχθεί ήρεμα, στη θερμοκρασία T₁ στερεοποιείται σε



Θερμικό διάγραμμα ισορροπίας κραμάτων κασσiterίου - μολύβδου (σύνθετου τύπου) με σχηματική παράσταση της κρυσταλλικής του δομής σε ορισμένες θέσεις του διαγράμματος.

Σχ. 4.3γ.

ομοιογενές στερεό διάλυμα (θ). Η θερμοκρασία Τ₁ αντιστοιχεί στην περιεκτικότητα, που αναφέραμε (σημείο I). Ενώ η θερμοκρασία εξακολουθεί να πέφτει, η κρυσταλλική του δομή δεν αλλάζει καθόλου μέχρι το σημείο Κ. Στο σημείο αυτό όμως έχουμε άλλη αλλαγή στη δομή του, στη στερεά πια κατάσταση. Στην περίπτωση αυτή στερεό διάλυμα (α) εναποτίθεται στα όρια των κόκκων του (θ). Η αναλογία του (α) μεγαλώνει καθώς η θερμοκρασία πέφτει και το (θ) γίνεται φτωχότερο σε κασσίτερο. Τελικά η κρυσταλλική δομή του κράματος αυτού θα έχει κόκκους στερεού διαλύματος (θ) με περιεκτικότητα περίπου 98% Pb και μικρή ποσότητα στερεού διαλύματος (α), που εναποτίθεται στα όρια των κόκκων (σχ. 4.3γ).

3) Κράμα αναλογιών 98% Pb και 2% Sn.

Εάν αυτό αποψυχθεί ήρεμα μέχρι τη συνηθισμένη θερμοκρασία του δωματίου, θα έχει πρακτικά κρυσταλλική δομή στερεού διαλύματος (θ) μετά τη στερεοποίησή του στο σημείο Λ.

4) Κράμα αναλογίας 10% Pb και 90% Sn.

Το κράμα αυτό στερεοποιείται με τον ίδιο τρόπο, όπως και το κράμα της περιπτώσεως (1). Αυτό, στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος θα αποτελείται από κόκκους στερεού διαλύματος (α), που περιβάλλονται από ευτηκτικό κράμα, όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 4.3γ.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΑΣΙΩΝ

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

α) Στη δοκιμασία με καταστροφή του δοκιμίου (τεμαχίου) ή **άμεσες δοκιμασίες** και

β) στις δοκιμασίες χωρίς καταστροφή του τεμαχίου ή **έμμεσες δοκιμασίες**.

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

Στην κατηγορία των δοκιμασιών με καταστροφή του δοκιμίου ανήκουν βασικά οι **μηχανικές δοκιμασίες**, που έχουν σαν αντικειμενικό σκοπό το προσδιορισμό των **μηχανικών ιδιοτήτων** των μετάλλων. Όπως έχομε αναφέρει (παράγρ. 2.4), τα μέταλλα εκτός από τις άλλες χαρακτηριστικές τους ιδιότητες έχουν **μεγάλη μηχανική αντοχή και εμφανίζουν πλαστικότητα**.

Έτσι, έχομε τις δοκιμασίες:

α) Εφελκυσμού και θλίψεως.

β) Σκληρότητας.

γ) Σε κρούση ή δοκιμασία δυσθραυστότητας και

δ) κοπώσεως ή δοκιμασία σε δυναμική αντοχή.

Παρακάτω θα περιγράψουμε τον τρόπο εκτελέσεως κάθε μιας μηχανικής δοκιμασίας και θα καθορίσουμε τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τις μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων.

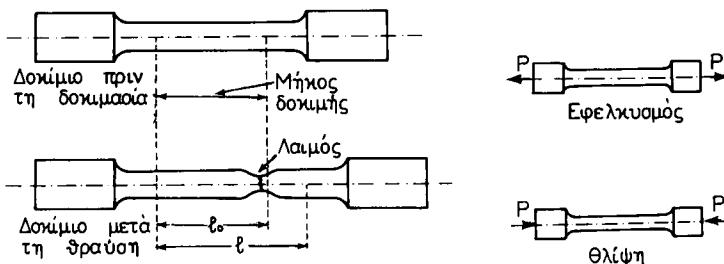
Για τις δοκιμασίες που γίνονται χωρίς καταστροφή του τεμαχίου αναφέρομε συνοπτικά ότι περιλαμβάνουν τις εξής:

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Η ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΛΙΨΕΩΣ

Η δοκιμασία εφελκυσμού είναι η σπουδαιότερη από τις μηχανικές δοκιμασίες και αυτή που εφαρμόστηκε πρώτα. Για τη δοκιμασία του εφελκυσμού, δίνεται σε ειδικό μηχάνημα εφελκυσμού (σχ. 6θ) ένα κατάλληλο δοκίμιο από το δοκιμαζόμενο υλικό, π.χ. από μαλακό χάλυβα (σχ. 6α). Το μηχάνημα αυτό έχει

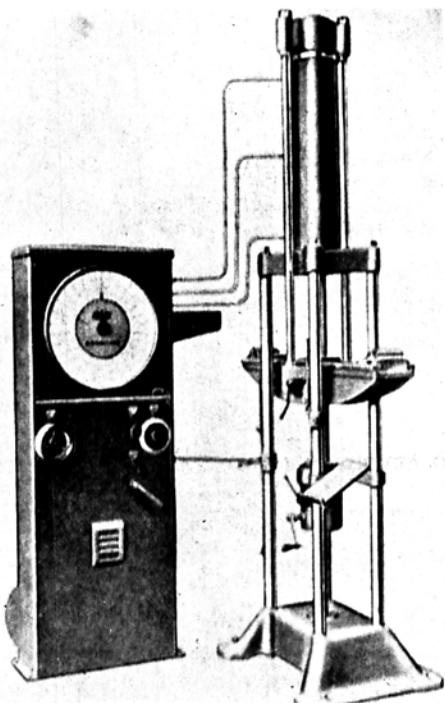


Σχ. 6α.
Δοκύμιο εφελκυσμού.

δυνατότητα **εφελκυσμού** ή **θλίψεως** του δοκιμίου. (**Εφελκυσμός** ονομάζεται η καταπόνηση δοκιμίου, όταν οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις P , που είναι ίσες και αντίθετες, ενεργούν κατά μήκος του άξονα του δοκιμίου, τείνουν δε να αυξήσουν το μήκος του. **Θλίψη** ονομάζεται η αντίθετη του εφελκυσμού καταπόνηση, δηλαδή όταν οι ίσες και αντίθετες δυνάμεις P τείνουν να ελαττώσουν το μήκος του δοκιμίου). Επίσης, πάνω στο δοκύμιο τοποθετείται ειδική συσκευή (μηκυνσιόμετρο), για την ακριβή μέτρηση της κάθε φορά παραμορφώσεώς του, όσο διαρκεί η δοκιμασία. Το μηχάνημα έχει ενδεικτικό όργανο μετρήσεως της εφαρμοζόμενης δυνάμεως εφελκυσμού ή θλίψεως.

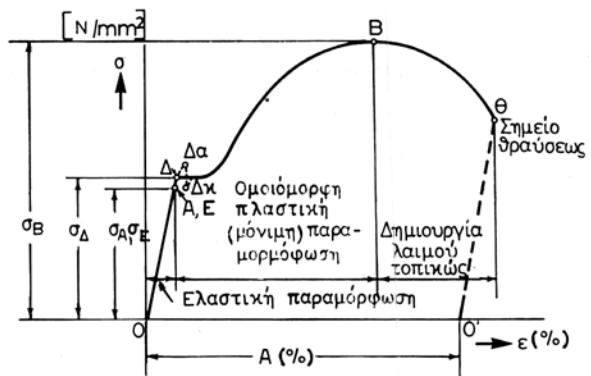
Κατά τη δοκιμασία του εφελκυσμού, σε κάθε τιμή της εφαρμοζόμενης δυνάμεως εφελκυσμού, που μετράται από το ειδικό όργανο, αντιστοιχεί και ορισμένη επιμήκυνση, η οποία μετράται από το μηκυνσιόμετρο. Από τις μετρούμενες τιμές της δυνάμεως εφελκυσμού και της επιμηκύνσεως μπορούμε να χαράξουμε το λεγόμενο **διάγραμμα εφελκυσμού** του δοκιμαζόμενου υλικού για το τυποποιημένο δοκύμιο που χρησιμοποιήσαμε (σχ. 6γ).

Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος εφελκυσμού τοποθετείται η λεγόμενη **παραμόρφωση** (ειδική επιμήκυνση) ($\epsilon\%$), που δίνεται από τη σχέση:



Σχ. 68.
Μηχάνημα εφελκυσμού και θλίψεως.

Σχ. 6γ.
Το διάγραμμα εφελκυσμού
μαλακού χάλυβα.



$$\epsilon = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

όπου: I_0 είναι το μήκος δοκιμής του δοκιμίου (σχ. 6α) σε mm και I σε mm είναι το μήκος αυτό μετά την εφαρμογή της δυνάμεως εφελκυσμού P .

Η παραμόρφωση είναι η αύξηση του μήκους του δοκιμίου ανά μονάδα μήκους δοκιμής. Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος τοποθετούμε τη λεγόμενη τάση εφελκυσμού σ , δηλαδή τη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας της αρχικής διατομής του δοκιμίου, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \quad (\text{N}/\text{mm}^2) \quad (2)$$

όπου: P σε N είναι η δύναμη εφελκυσμού και F_0 σε mm^2 είναι η αρχική διατομή του δοκιμίου.

Μελετώντας το διάγραμμα εφελκυσμού μαλακού χάλυβα (σχ. 6γ) που, όπως είπαμε, κατασκευάζεται από πειραματικά δεδομένα, παρατηρούμε τα εξής:

α) Το τμήμα OA του διαγράμματος είναι ευθύγραμμο, πράγμα που σημαίνει ότι κατά μήκος του τμήματος αυτού η τάση εφελκυσμού σ είναι ανάλογη με την παραμόρφωση. Δηλαδή, για να προκληθεί διπλάσια π.χ. παραμόρφωση, χρειάζεται η τάση εφελκυσμού να διπλασιασθεί. Αυτό εκφράζεται μαθηματικώς με το γνωστό νόμο του Hooke:

$$\sigma = \epsilon \cdot E \quad (\text{N}/\text{mm}^2) \quad (3)$$

Στον τύπο αυτό E σε N/mm^2 είναι το λεγόμενο **μέτρο ελαστικότητας** του υλικού του δοκιμίου. Αυτό είναι σταθερό για κάθε υλικό και επομένως, ανάλογα με το υλικό, παίρνει ορισμένη τιμή. Το μέτρο ελαστικότητας όλων των ειδών ελατού σιδήρου και χάλυβα κυμαίνεται μεταξύ $2 \cdot 10^5$ και $2,15 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{mm}^2$.

Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο A του διαγράμματος, ονομάζεται **όριο αναλογίας**, γιατί μέχρι αυτό το σημείο οι τάσεις είναι ανάλογες με τις παραμορφώσεις (νόμος του Hooke), και παριστάνεται ως σ_A . Το όριο αναλογίας στην περίπτωση του μαλακού χάλυβα συμπίπτει πρακτικά με το όριο ελαστικότητας σ_E . Ως όριο ελαστικότητας θεωρούμε την τάση εφελκυσμού μέχρι την οποία η παραμόρφωση είναι ελαστική. Αν δηλαδή αφαιρεθεί το φορτίο, το δοκίμιο επανέρχεται στην πριν από τη φόρτιση κατάστασή του ως προς τις διαστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι δεν παρατηρείται καμιά μόνιμη παραμόρφωση του δοκιμίου. Σε άλλα μέταλλα, κράματα ή υλικά γενικώς, μπορεί να μην συμπίπτουν τα όρια αναλογίας και ελαστικότητας.

β) Λίγο πιο πάνω από το όριο ελαστικότητας εμφανίζεται ξαφνική μόνιμη παραμόρφωση, χωρίς ουσιώδη μεταβολή της δυνάμεως εφελκυσμού, που εφαρμόζεται. Η τάση σ_D , στην οποία συμβαίνει αυτό, ονομάζεται **όριο διαρροής**. Πολλές φορές παρατηρείται ανωμαλία στην περιοχή του ορίου διαρροής (σχ. 6γ), οπότε διακρίνομε δυο όρια διαρροής: το ανώτερο σ_{D_a} και το κατώτερο σ_{D_k} .

γ) Μετά το όριο διαρροής, η αύξηση της τάσεως εφελκυσμού συνοδεύεται από έντονη αύξηση της παραμορφώσεως σε όλο το μήκος δοκιμής του δοκιμίου ομοιόμορφα. Η αύξηση αυτή είναι πλαστική (μόνιμη) κατά το μεγαλύτερο μέρος του δοκιμίου. Από το σημείο B του διαγράμματος και πέρα, το δοκίμιο αρχίζει να σχηματίζει **λαιμό** σε κάποια θέση. Ενώ δηλαδή η **τάση εφελκυσμού ελασττώνεται** (πτώση της καμπύλης), η **επιμήκυνση του δοκιμίου συνεχίζεται**, μέχρι που να θραυσθεί (σπάσει) το δοκίμιο (σημείο Θ του διαγράμματος). Η πτώση της καμπύλης δεν σημαίνει ότι η αντοχή του δοκιμίου

* Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων του ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποιήσεων) η μονάδα δυνάμεως είναι το Νιούτον (Newton), που συμβολίζεται με το γράμμα N. Ένα kp (κιλοπόντ) είναι κατά προσέγγιση ίσο με 10 N ($1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$).

σε εφελκυσμό ελαττώθηκε, αντίθετα αυξήθηκε, γιατί το δοκίμιο υφίσταται σκλήρωση (κράτυνση, κεφ. 10). Η πτώση αυτή εξηγείται από το ότι η τάση εφελκυσμού υπολογίζεται με βάση την αρχική διατομή του δοκιμίου [σχέση (2)] και όχι με βάση την ελάχιστη διατομή, λόγω της δημιουργίας του λαιμού.

Από το πείραμα του εφελκυσμού, όπως το περιγράψαμε, μέχρι τη θραύση του δοκιμίου προκύπτουν τα ακόλουθα μεγέθη, που χαρακτηρίζουν τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού του δοκιμίου:

- Το μέτρο ελαστικότητας (όπως ήδη έχει ορισθεί).
- Το όριο διαρροής (όπως ήδη έχει ορισθεί).
- Η μέγιστη αντοχή F_b (σχ. 6γ), που ορίζεται ως η μέγιστη τάση εφελκυσμού, που αναπτύχθηκε στο υλικό πριν από την πρώτη και που μετράται σε N/mm^2 . Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται η αρχική διατομή του δοκιμίου F_0 .
- Η τάση θραύσεως, που ορίζεται ως το πηλίκο του φορτίου θραύσεως (του σημείου Θ) διά της αρχικής διατομής F_0 και που μετράται σε N/mm^2 .
- Η εκατοστιαία παραμόρφωση θραύσεως A [%], που λαμβάνεται ως η πλαστική παραμόρφωση του δοκιμίου μέχρι τη θραύση και που πρακτικά προσδιορίζεται από το διάγραμμα εφελκυσμού, αν φέρομε την ευθεία ΘΟ' παράλληλη προς την AO (σχ. 6γ). Το μέγεθος αυτό χαρακτηρίζει τη λεγόμενη **πλαστικότητα** του μετάλλου.
- Η εκατοστιαία στένωση της διατομής στη θραύση Σ (%), που εκφράζεται από τη σχέση:

$$\Sigma = \frac{F_0 - F_\theta}{F_0} \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

όπου: F_0 σε mm_2 η αρχική διατομή του δοκιμίου και F_θ σε mm η ελάχιστη διατομή αυτού μετά τη θραύση.

Όπως θα δούμε στο μέρος της βιομηχανικής χρήσεως των μετάλλων και των κραμάτων, η γνώση όλων ή ορισμένων από τις μηχανικές ιδιότητές τους χρειάζεται στην πράξη, για να μπορέσουμε να τα χαρακτηρίσουμε.

Έχοντας σαν βάση το πείραμα του εφελκυσμού, διακρίνομε τα υλικά σε **συνεκτικά** και σε **ψαθυρά**. Συνεκτικά είναι εκείνα τα υλικά, για τα οποία το στάδιο της πλαστικής παραμορφώσεως, όπως φαίνεται στο διάγραμμα εφελκυσμού, είναι μακρύ. Ψαθυρά είναι εκείνα τα υλικά, για τα οποία συμβαίνει το αντίθετο. Συνεκτικό υλικό είναι ο μαλακός χάλυβας, ενώ ψαθυρά υλικά είναι το τσιμεντοκονίαμα, ο χυτοσίδηρος, ο λίθος (πέτρα) και άλλα.

Κατά τη δοκιμασία θλίψεως συνεκτικών υλικών παρατηρούνται περίπου τα ίδια, όπως και κατά τη δοκιμασία του εφελκυσμού. Η **παραμόρφωση θλίψεως** (ειδική βράχυνση) του δοκιμίου, στην περίπτωση αυτή, είναι και πάλι μέχρι ένα όριο ανάλογη με την αναπτυσσόμενη **τάση θλίψεως**. Το δοκίμιο συνήθως δεν θραύεται, αλλά παίρνει πεπλατυσμένο σχήμα, ενώ διαστέλλεται εγκάρσια. Η δοκιμασία θλίψεως έχει μεγάλη σημασία για τα ψαθυρά υλικά, που και στις εφαρμογές καταπονούνται κυρίως σε θλίψη. Κατά τη δοκιμασία θλίψεως των υλικών αυτών παρατηρούνται σοβαρές αποκλίσεις συγκριτικά με το τι συμβαίνει κατά τη θλίψη συνεκτικών υλικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Η ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ

Σκληρότητα μετάλλου ή κράματος, αλλά και οποιουδήποτε στερεού υλικού ονομάζεται η **αντίσταση**, την οποία αυτό παρουσιάζει στη διείσδυση ξένου σώματος που πιέζεται, με κατάλληλο τρόπο, επάνω σ' αυτό. Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι για τη μέτρηση της σκληρότητας, όμως από αυτές σήμερα κυρίως χρησιμοποιούνται τέσσερις: η μέθοδος Brinell, η μέθοδος Vickers, η μέθοδος Rockwell και η μέθοδος Shore.

7.1 Η μέθοδος Brinell.

Η δοκιμασία σκληρότητας κατά Brinell είναι η πιο γνωστή. Την επινόησε και τη χρησιμοποίησε για πρώτη φορά ο Σουηδός μηχανικός Johan Brinell το 1900.

Κατά τη δοκιμασία αυτή, μια βαμμένη (σκληρή) χαλύβδινη σφαίρα, που έχει τυποποιημένη διάμετρο, πιέζεται κάθετα επάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου ή του τεμαχίου, του οποίου πρόκειται να μετρήσουμε τη σκληρότητα. Η επιβαλλόμενη δύναμη (φορτίο δοκιμασίας) είναι επίσης τυποποιημένη.

Η επιφάνεια του δοκιμίου λειαίνεται με λίμα και ύστερα με σμυριδόπανο. Πιέζοντας τη σφαίρα επάνω στην επιφάνεια σχηματίζεται σφαιρική κοιλότητα, η οποία έχει τόσο μεγαλύτερη διάμετρο, όσο το υλικό είναι μαλακότερο, για το ίδιο όμως φορτίο δοκιμασίας.

Η σκληρότητα κατά Brinell H_B , σε N/mm^2 ή σε θαθμούς Brinell, δίνεται από τη σχέση:

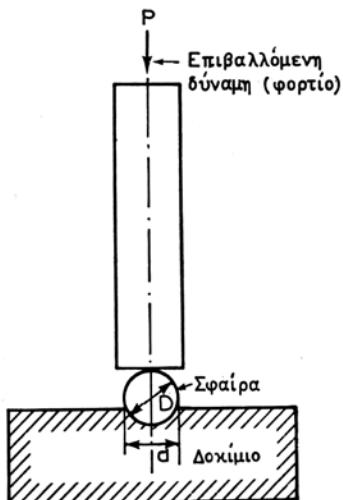
$$H_B = \frac{P}{F} \quad (N/mm^2) \quad (5)$$

όπου: P σε N είναι το φορτίο δοκιμασίας και F σε mm^2 είναι η επιφάνεια της σχηματιζόμενης κατά τη δοκιμασία σφαιρικής κοιλότητας.

Η επιφάνεια F προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad (mm^2) \quad (6)$$

όπου: D και d σε mm είναι η διάμετρος της σφαίρας και της σφαιρικής κοιλότητας αντίστοιχα (σχ. 7.1a).



Σχ. 7.1a.
Διάταξη της δοκιμασίας σκληρότητας κατά Brinell.



Σχ. 7.1b.
Σκληρόμετρο για μέτρηση σκληρότητας κατά τη μέθοδο Brinell και Vickers.

Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, η σκληρότητα κατά Brinell παριστάνει την πίεση που ασκείται στην επιφάνεια επαφής σφαίρας - δοκιμίου.

Η δοκιμασία γίνεται με ειδικές μηχανές, που ονομάζονται **σκληρόμετρα** (σχ. 7.1b).

Για να αποφεύγομε πολύπλοκους υπολογισμούς, η σκληρότητα δίνεται από πίνακες, που συντάσσονται με τυποποιημένες τιμές του φορτίου P και της διαμέτρου της σφαίρας D. Προηγουμένως όμως χρειάζεται να μετρηθεί σε μεγέθυνση η διάμετρος d του ίχνους της σφαίρας επάνω στην επιφάνεια.

Κατά τη δοκιμασία αυτή της σκληρότητας, για να έχομε αξιόπιστα και συγκρίσιμα αποτελέσματα, ο λόγος P/D² έχει τυποποιηθεί (P σε N και D σε mm) για διάφορα υλικά όπως π.χ.

<u>Υλικό</u>	<u>Σταθερά P/D²</u>
Χάλυβας	300
Κράματα χαλκού	100
Χαλκός και κράματα αργιλίου	50
Μόλυβδος και κράματα κασσιτέρου	10

Έτσι, κατά τη δοκιμασία χαλύβδινου τεμαχίου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σφαίρα με διάμετρο 10 mm σε συνδυασμό με φορτίο 30.000 N.

$$\left(\frac{P}{D^2} = \frac{30.000}{10^2} = 300 \right)$$

ή σφαίρα με διάμετρο 5 mm με φορτίο 7500 N

$$\left(\frac{P}{D^2} = \frac{7500}{5^2} = 300 \right)$$

Για να παίρνουμε ακριβείς μετρήσεις, το πάχος του δοκιμίου ή του τεμαχίου πρέπει να είναι 7 φορές τουλάχιστον μεγαλύτερο από το θάρος της κοιλότητας για τα σκληρά μέταλλα και 15 φορές μεγαλύτερο για τα μαλακά.

7.2 Η μέθοδος Vickers:

Κατά τη μέθοδο αυτή αντί για σφαίρα, όπως κατά τη μέθοδο Brinell, χρησιμοποιείται αδαμάντινη πυραμίδα με τετραγωνική βάση, η οποία όταν πιέζεται επάνω στο δοκίμιο δίνει όμοιες γεωμετρικές κοιλότητες για διαφορετικά όμως φορτία δοκιμασίας P.

Η κορυφή της αδαμάντινης πυραμίδας έχει γωνία 136° και το επιβαλλόμενο φορτίο μεταβάλλεται από 50 ως 1200 N. Η δοκιμασία εκτελείται σε σκληρόμετρο, όπως και η δοκιμασία κατά Brinell (σχ. 7.18).

Η πυραμίδα πιεζόμενη αφήνει στην επιφάνεια του δοκιμίου τετραγωνική κοιλότητα, της οποίας μετράμε τη διαγώνιο με μικροσκόπιο που έχει και κατάλληλο όργανο μετρήσεως μήκους. Οι μετρήσεις της διαγώνιου του τετραγωνικού ίχνους της πυραμίδας μετατρέπονται σε σκληρότητα κατά Vickers H_v με τη βοήθεια πινάκων. Επειδή τα ίχνη της πυραμίδας στην επιφάνεια του δοκιμίου έχουν πολύ μικρές διαστάσεις, η μέθοδος αυτή είναι καλή (ενδείκνυται) για τη μέτρηση της σκληρότητας λείων και σκληρών επιφανειών.

Γενικά, η μέθοδος μετρήσεως της σκληρότητας κατά Vickers χρησιμοποιείται με ικανοποιητικά αποτελέσματα για σκληρά υλικά, ενώ η μέθοδος κατά Brinell για μαλακά υλικά.

7.3 Η μέθοδος Rockwell.

Η δοκιμασία αυτής της σκληρότητας γίνεται γρήγορα στο εργοστάσιο και με προσωπικό μη εξειδικευμένο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται απ' ευθείας στο κατάλληλο μετρητικό όργανο. Υπολογίζεται ότι μπορούν να εκτελεστούν 300 περίπου μετρήσεις αυτού του είδους κάθε μια ώρα.

Κατά τη δοκιμασία αυτή χρησιμοποιούνται δυο κλίμακες: η κλίμακα Rockwell B και η κλίμακα Rockwell C. Όταν χρησιμοποιείται η κλίμακα B, χαλύβδινη σφαίρα διαμέτρου 1/16 in πιέζεται επάνω στο δοκίμιο με συνολικό φορτίο 1000 N. Η κλίμακα αυτή εφαρμόζεται για τη μέτρηση της σκληρότητας μαλακών χαλύβων και σκληροτέρων μη σιδηρούχων μετάλλων και κραμάτων. Κατά τη χρησιμοποίηση της κλίμακας Rockwell C, αδαμάντινος κώνος με γωνία κορυφής 120° πιέζεται επάνω στο τεμάχιο με συνολικό φορτίο 1500 N. Η κλίμακα αυτή εφαρμόζεται για τη μέτρηση της σκληρότητας σκληρών χαλύβων. Η δοκιμασία γίνεται ως εξής: Το τεμάχιο τοποθετείται επάνω στο τραπέζι του σκληρομέτρου και πιέζεται αρχικά η σφαίρα (κλίμακα B) ή ο κώνος (κλίμακα C) με προκαταρκτικό φορτίο 100 N. Ύστερα μηδενίζεται το μετρητικό όργανο και εφαρμόζεται το κανονικό φορτίο, το οποίο μετά τη συμπίεση αφαιρείται και παραμένει το προκαταρκτικό φορτίο των 100 N, οπότε γίνεται και η μέτρηση της σκληρότητας κατά Rockwell. Μετά αφαιρείται το προκαταρκτικό φορτίο και το τεμάχιο αποσύρεται από το τραπέζι του σκληρομέτρου.

7.4 Η μέθοδος Shore.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με δοκιμασίες μετρήσεως σκληρότητας, κατά τις οποίες το τεμάχιο ή το δοκίμιο τοποθετείται στο τραπέζι του σκληρομέτρου, και με σφαίρα ή με πυραμίδα ή με κώνο δημιουργείται η σκληρότητα στην επιφάνεια του τεμαχίου και στη συνέχεια προσδιορίζεται η σκληρότητα από τις διαστάσεις της κοιλότητας. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις, το μέγεθος της κοιλότητας είναι απαράδεκτα μεγάλο για την καλή λειτουργία του τεμαχίου. Επίσης το τεμάχιο μπορεί να έχει πολύ μεγάλες διαστάσεις και να είναι αδύνατο να τοποθετηθεί στο τραπέζι του σκληρομέτρου (μήτρες σφυρηλασίας, οδοντωτοί τροχοί στροβίλων και άλλα).

Οι δυσχέρειες αυτές αποφεύγονται με τη δοκιμασία σκληρότητας κατά Shore. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, μικρή σφύρα με στρογγυλεμένη αδαμάντινη ακίδα, βάρους 1/12 της ουγγιάς, αφήνεται να πέσει ελεύθερα μέσα σ' ένα γυάλινο σωλήνα επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου, που μετράμε, από ύψος 10 in. Τότε μετράμε το ύψος, στο οποίο ανατηδάει η σφύρα, σε κλίμακα βαθμονομημένη σε 140 ίσες υποδιαιρέσεις, που είναι τοποθετημένη πίσω από το σωλήνα.

Το ύψος ανατηδήσεως της σφύρας είναι μεγαλύτερο για τα σκληρότερα υλικά. Δεν μένει κανένα ίχνος στο τεμάχιο μετά τη δοκιμασία. Τυπικοί βαθμοί σκληρότητας κατά Shore για σκληρούς χάλυβες είναι 95 ως 100 και για μαλακούς 22 ως 25.

Στον Πίνακα 7.4.1 δίνεται για χάλυβες η αντιστοιχία βαθμών σκληρότητας μετρώντας την σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέραμε.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4.1

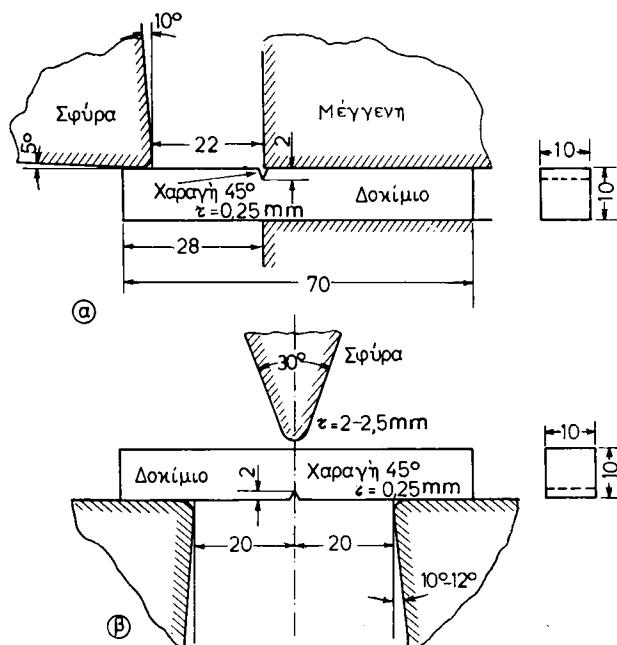
Αντιστοιχία βαθμών σκληρότητας για χάλυβα σύμφωνα με τις διάφορες μεθόδους μετρήσεως

Σκληρότητα κατά Brinell P=30.000N, D=10 mm		Σκληρότητα κατά Rockwell		Σκληρότητα κατά Vickers	Σκληρότητα κατά Shore
d [mm]	H _B	Κλίμακα B P=1000 N	Κλίμακα C P=1500 N	—	—
2,30	712	—	66	860	106
2,40	653	—	63	780	100
2,50	601	—	59	690	94
2,60	555	—	56	639	88
2,70	514	—	52	558	81
2,80	477	—	49	508	76
2,90	444	—	47	476	72
3,00	415	—	44	439	67
3,10	388	—	41	402	62
3,20	363	—	39	380	58
3,30	341	—	37	360	55
3,40	321	—	35	341	52
3,50	302	—	33	324	48
3,60	285	—	30	302	44
3,70	269	—	28	289	42
3,80	255	—	26	274	40
3,90	241	100	23	256	38
4,00	229	98	21	245	36
4,10	217	96	19	235	34
4,20	207	94	17	225	33
4,30	197	92	14	210	31
4,40	187	90	12	198	30
4,50	179	88	10	186	29
4,60	170	86	8	173	28
4,70	163	84	6	—	27
4,80	156	82	4	—	26
4,90	149	80	2	—	25
5,00	143	78	—	—	—
5,10	137	75	—	—	—
5,20	131	73	—	—	—
5,30	126	71	—	—	—
5,40	121	68	—	—	—
5,50	116	65	—	—	—
5,60	111	62	—	—	—
5,70	107	60	—	—	—

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

Η ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΣΕ ΚΡΟΥΣΗ (ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΔΥΣΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑΣ)

Η αντοχή των μετάλλων σε κρούση, δηλαδή σε μια δύναμη που εφαρμόζεται απότομα επάνω στο δοκίμιο, έχει μεγάλη σημασία για την πράξη, κυρίως για μέρη μηχανών και κατασκευών, που καταπονούνται, όταν βρίσκονται σε λειτουργία, με αυτό τον τρόπο. Τώρα θα περιγράψουμε τη δοκιμασία σε κρούση, από την οποία προσδιορίζεται η **δυσθραυστότητα** που είναι σημαντική ιδιότητα των μετάλλων. Κατά τη μέθοδο δοκιμασίας σε κρούση Charpy ή Izod χρησιμοποιούνται τυποποιημένα δοκίμια (σχ. 8α), τα οποία έχουν στη μια πλευρά τους χαραγή. Η χαραγή αυτή θοιθάει στη θραύση του δοκιμίου.



Σχ. 8α.

Τυποποιημένα δοκίμια και τρόπος επιβολής του φορτίου κατά τη δοκιμασία σε κρούση:
α) Μέθοδος Izod. β) Μέθοδος Charpy.



Σχ. 86.
Η μηχανή δοκιμασίας σε κρούση.

Το δοκίμιο τοποθετείται κατάλληλα στη βάση της μηχανής δοκιμασίας σε κρούση (σχ. 86) σε ειδική μέγγενη (συνδήκτορα). Μετά, το δοκίμιο το κτυπάει μια βαριά σφύρα που κινείται σαν εκκρεμές. Κατά τη μέθοδο Charpy, όπου το δοκίμιο στηρίζεται στα δυο του άκρα — **αμφιέρειστος δοκός** — το κτύπημα γίνεται στη μέση. Κατά τη μέθοδο Izod, όπου το δοκίμιο στηρίζεται στη μια του άκρη — **πρόσθολος** — η κρούση γίνεται στην άλλη ελεύθερη άκρη.

Το απαιτούμενο για τη θραύση του δοκιμίου έργο E , σε Nm ανά μονάδα της πλήρους διατομής του δοκιμίου F_0 , σε cm^2 , λαμβάνεται σαν μέτρο της αντοχής του υλικού σε κρούση και ονομάζεται **δυσθραυστότητα** του υλικού. Η δυσθραυστότητα επομένως δίνεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{E}{F_0} \quad (\text{Nm/cm}^2) \quad (7)$$

Το έργο, που καταναλώνεται για τη θραύση του δοκιμίου, προσδιορίζεται από τις θέσεις που παίρνει η σφύρα (εκκρεμές) πριν και μετά τη θραύση του δοκιμίου. Η μηχανή δοκιμασίας σε κρούση έχει ένα δείκτη, που κινείται μαζί με τη σφύρα, ο οποίος επάνω σε μια βαθμονομημένη κλίμακα μας δείχνει το έργο που καταναλώνεται κάθε φορά για τη θραύση του δοκιμίου.

Στον Πίνακα 8.1 δίνονται ενδεικτικά οι μηχανικές ιδιότητες μερικών καθαρών μετάλλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1
Μηχανικές ιδιότητες συνηθισμένων καθαρών μετάλλων

Μέταλλο	Μέγιστη αντοχή σ_B [N/mm ²]	Επιμήκυνση θραύσεως A [%]	Σκληρότητα κατά Brinell H _B	Δυσθραυστότητα ρ [Nm/mm ²]
Αργίλιο	70–110	35–45	15–20	100–110
Κασσίτερος	27,7	40	5	—
Μαγνήσιο	170–190	4,6–6,0	33	—
Μόλυβδος	11–19	50–70	7,0	—
Νικέλιο	110–180	35–45	80–100	190
Σιδηρός	180–250	40–50	50–70	160–200
Χαλκός	210–240	38–50	40	60–100
Ψευδάργυρος	140–200	18–35	30–32	6–8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

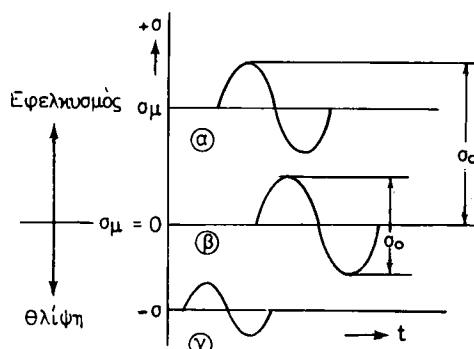
Η ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΚΟΠΩΣΕΩΣ

Κόπωση ονομάζομε την καταπόνηση υλικού, όταν εφαρμόζονται επάνω σ' αυτό επαναληπτικά φορτία, που έχουν σαν επακόλουθο την ανάπτυξη επαναληπτικών τάσεων. Επαναληπτικές τάσεις είναι εκείνες, που μεταβάλλονται σε συνάρτηση με το χρόνο t . Στην πράξη έχουν διάφορες μορφές, κατά τη δοκιμασία όμως της κοπώσεως η συνηθισμένη μορφή των επαναληπτικών τάσεων, που εφαρμόζονται επάνω στο δοκίμιο, είναι εναλλασσόμενη (σχ. 9α).

Οι τάσεις αυτές μπορούν να είναι μόνο εφελκυστικές (α) ή κατά τη μια ημιπερίοδο εφελκυστικές και κατά την άλλη θλιπτικές (β) ή μόνο θλιπτικές (γ).

Γενικά, η συμπεριφορά των υλικών απέναντι στα επαναληπτικά φορτία δεν είναι η ίδια με τη συμπεριφορά τους απέναντι στα στατικά φορτία. Στατικά φορτία είναι εκείνα που παραμένουν σταθερά σε συνάρτηση με το χρόνο.

Έχει παρατηρηθεί ότι τεμάχια μηχανών από ελατά μέταλλα (παράγρ. 2.4) θραύονται (σπάνε) συχνά κατά τη λειτουργία τους, όταν φορτίζονται από επαναληπτικά φορτία, τα οποία μπορεί να δημιουργούν τάσεις που να είναι πολύ μικρότερες και από το όριο ελαστικότητας του μετάλλου. Τα πειράματα έχουν αποδείξει ότι η θραύση λόγω κοπώσεως επέρχεται μετά από προοδευτική ρήξη του υλικού, χωρίς να παρατηρείται προηγουμένως εμφανής μόνιμη παραμόρφωση. Η σημασία της κοπώσεως είναι σημαντική για την πράξη, γιατί



Σχ. 9α.

Τιμές των τάσεων δυναμικής καταπονήσεως.



Σχ. 98.

Επιφάνεια θραύσεως άξονα από μαλακό χάλυβα λόγω κοπώσεως.

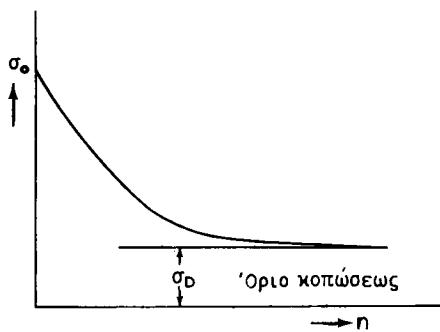
μεγάλο ποσοστό (περίπου 90%) περιπτώσεων θραύσεως τεμαχίων μηχανών, ιδιαίτερα οχημάτων και αεροσκαφών, οφείλονται σε κόπωση και μόνο 10% σε υπέρβαση του ορίου θραύσεως.

Στο σχήμα 98 φαίνεται επιφάνεια θραύσεως άξονα από μαλακό χάλυβα λόγω κοπώσεως. Η επιφάνεια αυτή περιλαμβάνει σαφώς δυο περιοχές: Την περιοχή Α και την περιοχή Β.

Η περιοχή Α, που είναι λεία και πολλές φορές έχει και γραμμώσεις, οφείλει τη δημιουργία της στο ελάττωμα Γ του υλικού, που φαίνεται στην κορυφή της φωτογραφίας. Η περιοχή Β είναι τραχεία και χονδρόκοκη και έχει φανερές παραμορφώσεις του υλικού. Η πρώτη περιοχή δημιουργείται κατά τη διάρκεια της καταπονήσεως του υλικού σε επαναληπτικά φορτία. Η λεία εμφανίστηκε οφείλεται στην τριβή μεταξύ των προοδευτικώς διαχωριζομένων επιφανειών του τεμαχίου. Η δεύτερη περιοχή δημιουργήθηκε κατά την απότομη θραύση του τεμαχίου, όταν πια η διατομή του είχε εξασθενίσει.

Η δοκιμασία σε κόπωση γίνεται σε ειδικές μηχανές. Λαμβάνεται ορισμένος αριθμός δοκιμών τυποποιημένων από το ίδιο υλικό και με την ίδια τραχύτητα επιφάνειας. (Η τραχύτητα επιφάνειας χαρακτηρίζει τις ανωμαλίες της, που προέρχονται από τη μηχανική κατεργασία, με την οποία μορφοποιείται το δοκίμιο). Κάθε ένα από τα δοκίμια αυτά υποθάλλεται σε εναλλασσόμενη φόρτιση, όπως π.χ. σε εφελκυσμό - θλίψη, με ορισμένη τιμή της μέσης τάσεως, συνήθως $\sigma_m = 0$ και για ορισμένη επίσης τιμή της μέγιστης τάσεως σ_0 (σχ. 9α). Σε κάθε περίπτωση μετράται με κατάλληλο μετρητή ο αριθμός των εναλλαγών φορτίσεως (κύκλων), στον οποίο το δοκίμιο θραύεται κάτω από ορισμένη μέγιστη τάση σ_0 .

Από τα πειραματικά αποτελέσματα αυτής της δοκιμασίας, για όλα τα δοκίμια που μεταχειριστήκαμε, χαράζεται η λεγόμενη **καμπύλη κοπώσεως του υλικού** ή



Σχ. 9γ.

Η καμπύλη κοπώσεως του υλικού ή καμπύλη Woehler.

καμπύλη Woehler (σχ. 9γ).

Στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται ο αριθμός των κύκλων π και στον κατακόρυφο η μέγιστη τάση σ_0 . Από την καμπύλη Woehler παρατηρούμε ότι, μετά (πέρα) από ορισμένη τιμή σ_0 της μέγιστης τάσεως, το δοκίμιο δεν θραύεται, όσο και αν αυξηθεί ο αριθμός των κύκλων π . Η τάση αυτή σ_D ονομάζεται **όριο κοπώσεως** ή **δυναμική αντοχή** του υλικού και παρέχει ασφάλεια σε θραύση από κόπωση. Στη δυναμική αντοχή υλικού επιδρούν:

α) Η τραχύτητα επιφάνειας του τεμαχίου. Δηλαδή τραχύτερη επιφάνεια του τεμαχίου έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της δυναμικής του αντοχής.

β) Η μορφή του τεμαχίου. Τρύπες (οπές), χαραγές, μεταβολές της διατομής του έχουν σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της δυναμικής του αντοχής.

γ) Το όριο θραύσεως του υλικού σ_0 . Αύξηση του ορίου θραύσεως έχει σαν επακόλουθο ανάλογη αύξηση της δυναμικής αντοχής, αφού όμως το τεμάχιο έχει λειανθεί καλά και δεν έχει μορφή που να επιδρά δυσμενώς στη δυναμική του αντοχής, όπως αναφέραμε στην παραπάνω περίπτωση (β).

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ - ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑ- ΤΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΣΚΛΗΡΩΣΗ - ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Η ΣΚΛΗΡΩΣΗ

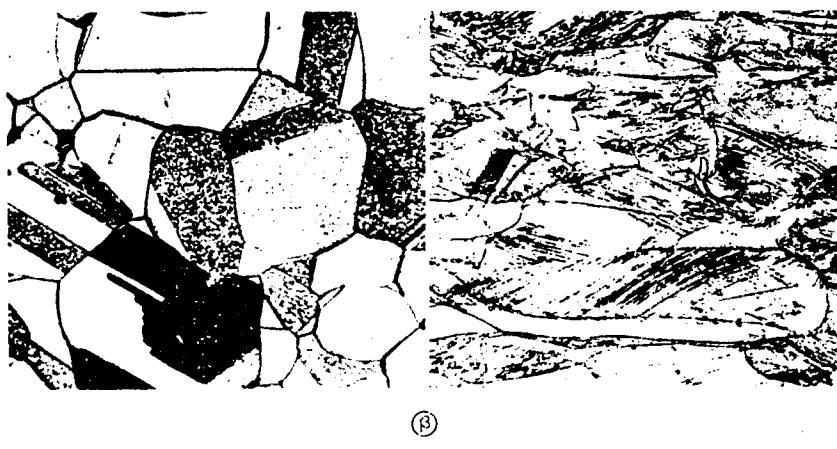
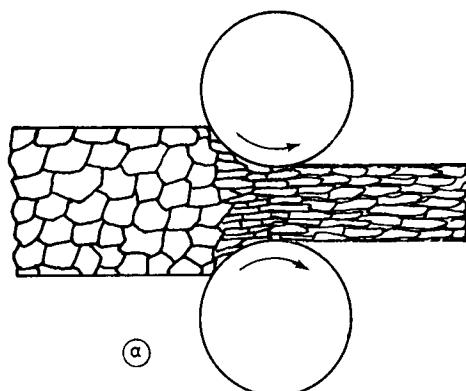
Τα περισσότερα από τα βιομηχανικώς χρησιμοποιούμενα μέταλλα και κράματα υφίστανται πλαστική (μόνιμη) παραμόρφωση (κεφ. 6) κατά τη μορφοποίησή τους σε έτοιμα τεμάχια. Ιδιαίτερα το παθαίνουν κατά την κατεργασία διαμορφώσεως εν ψυχρώ ή **ψυχρηλασία** (σφυρηλασία, ολκή, εξέλαση κλπ.).

Σ' αυτή την περίπτωση, ο κρυσταλλικός ιστός του μετάλλου ή κράματος παραμορφώνεται πλαστικά με επιμήκυνση των κρυσταλλιτών του προς την κατεύθυνση της κατεργασίας όπως φαίνεται στο σχήμα 10.

Η κατάσταση, στην οποία βρίσκεται το μέταλλο ή το κράμα μετά από έντονη πλαστική παραμόρφωση, ονομάζεται **σκλήρωση** ή **κράτυνση**. Το μέταλλο ή το κράμα που έχει υποστεί σκλήρωση, αποκτάει:

- α) Μεγαλύτερη σκληρότητα από την αρχική.
- β) Υψηλότερο όριο ελαστικότητας.
- γ) Υψηλότερο όριο θραύσεως.
- δ) Μικρότερη πλαστικότητα, δηλαδή μικρότερη παραμόρφωση θραύσεως και
- ε) μικρότερη δυσθραυστότητα.

Η σκλήρωση οφείλεται στο γεγονός ότι, πρακτικά, η πλαστική παραμόρφωση γίνεται κατά επίπεδα ολισθήσεως (κεφ. 11) όχι ιδανικά, αλλά κάπως στρεβλωμένα. Λόγω της στρεβλώσεως αυτής οι επιφάνειες ολισθήσεως συρρικνώνονται και επομένως παρουσιάζουν αντίσταση στη μετακίνηση των αταξιών, όπως θα πούμε στο ενδέκατο κεφάλαιο.



Σχ. 10.

Μεταβολή του κρυσταλλικού ιστού μετάλλου ή κράματος κατά την ψυχρηλασία. α) Σχηματική παράσταση. β) Μικροφωτογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ

Ας εξετάσουμε τι συμβαίνει, όταν ένα μέταλλο παραμορφώνεται πλαστικά εν ψυχρώ, δηλαδή στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά το πείραμα του εφελκυσμού (κεφ. 6) είδαμε, ότι η παραμόρφωση του δοκιμίου είναι ελαστική ή μόνιμη (πλαστική). Κατά την ελαστική παραμόρφωση παρατηρείται περιορισμένη στρέβλωση του κρυσταλλικού πλέγματος του μετάλλου, χωρίς όμως τα άτομα να μετακινούνται μόνιμα από την κανονική τους θέση (σχ. 11α). Μόλις αφαιρεθεί η τάση που προκαλεί την παραμόρφωση η στρέβλωση εξαφανίζεται και τα άτομα επανέρχονται στην προηγούμενη θέση τους.

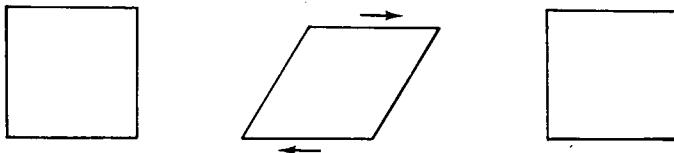
Όταν όμως το μέταλλο φορτιστεί πιο πέρα από το όριο ελαστικότητας, τα άτομα μετακινούνται σε νέες θέσεις και έτσι δημιουργείται πλαστική παραμόρφωση του μετάλλου.

Η πλαστική παραμόρφωση των πολυκρυσταλλικών μετάλλων (παράγρ. 2.5) γίνεται *με ολισθηση στρώματος* ατόμων σε σχέση με άλλο στρώμα ατόμων κατά μήκος του λεγόμενου *επιπέδου ολισθήσεως* μέσα όμως στον ίδιο κόκκο ή κρυσταλλίτη.

Ας φανταστούμε στη θέση κρυσταλλίτη ενός μετάλλου, στήλη από νομίσματα. Αν επιβάλλουμε δύναμη παράλληλη με την επιφάνεια επαφής των νομίσματων, τότε τα νομίσματα θα γλιστρήσουν (θα ολισθήσουν) το ένα επάνω στο άλλο, εφόσον η δύναμη αυτή υπερνικά την τριβή μεταξύ των νομίσματων. Στην περίπτωση αυτή τα νομίσματα παριστάνουν στρώματα ατόμων του κρυσταλλίτη του μετάλλου και οι επιφάνειες επαφής των νομίσματων τα επίπεδα ολισθήσεως. Τα αποτελέσματα των ολισθήσεων στα πολυκρυσταλλικά μέταλλα μπορούν να παρατηρηθούν με το μικροσκόπιο. Η κατεύθυνση των επιπέδων ολισθήσεως των κρυσταλλιτών μετά από τη μόνιμη παραμόρφωση δίνεται από τις σχηματιζόμενες *βαθμίδες ολισθήσεως*, πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου (σχ. 11β). Οι βαθμίδες ολισθήσεως είναι περίπου παράλληλες στον ίδιο κρυσταλλίτη, αλλά διαφέρουν ως προς την κατεύθυνση από κρυσταλλίτη σε κρυσταλλίτη (έχουν διαφορετικό προσανατολισμό). Έχει παρατηρηθεί με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ότι κάθε ορατή βαθμίδα ολισθήσεως περιλαμβάνει χονδρικά δέκα μικρότερες βαθμίδες που κάθε μια έχει πλάτος 40 ατομικές αποστάσεις και βάθος 400 ατομικές αποστάσεις περίπου.

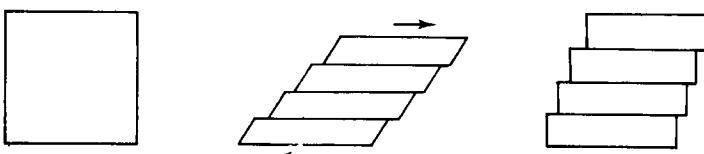
Κατά την πλαστική παραμόρφωση πολυκρυσταλλικού μετάλλου, οι κρυσταλλίτες του δεν χάνουν την προσωπικότητά τους. Παραμορφώνονται ως προς το σχήμα, π.χ. μακραίνουν προς την κατεύθυνση της ελάσεως (σχ. 10). Το μέταλλο αποκτά διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες κάθετα ή παράλληλα προς την κοινή κατεύθυνση του κρυσταλλικού ιστού. Επίσης, κάθε κρυσταλλίτης παραμένει με συνεχή κρυσταλλική δομή. Δεν εμφανίζονται δηλαδή νέοι κρυσταλλίτες, ούτε θρυμματίζονται αυτοί που υπάρχουν, εφόσον δεν έχει συμβεί θραύση. Η ολίσθηση των επιπέδων των ατόμων δεν είναι τόσο απλή, όπως την περιγράψαμε. Ενώ η περιγραφή αυτή συμφωνεί με μικροσκοπικές παρατηρήσεις, δεν είναι δυνατό να εξηγήσουμε μ' αυτό τον τρόπο άλλα φαινόμενα, που είναι επακόλουθα της πλαστικής παραμορφώσεως. Η σύγχρονη άποψη για το μηχανισμό της πλαστικής παραμορφώσεως μετάλλου βασίζεται στη θεωρία των *σταξιών* και είναι η εξής: (αταξία ονομάζεται οποιαδήποτε ανωμαλία στην κανονικότητα του κρυσταλλικού πλέγματος του μετάλλου): Το σχήμα 11γ(α) παριστάνει το κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα κρυσταλλίτη, χωρίς να έχει αναπτυχθεί σ' αυτό οποιαδήποτε τάση ($\sigma = 0$).

Πριν από την επιβολή τάσεως Η τάση επενεργεί Η τάση αφαιρείται



Ελαστική παραμόρφωση μόνο

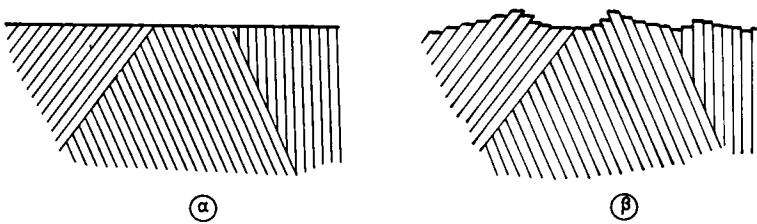
Πριν από την επιβολή τάσεως Η τάση επενεργεί Η τάση αφαιρείται



Ελαστική και πλαστική παραμόρφωση μαζί

Σχ. 11α.

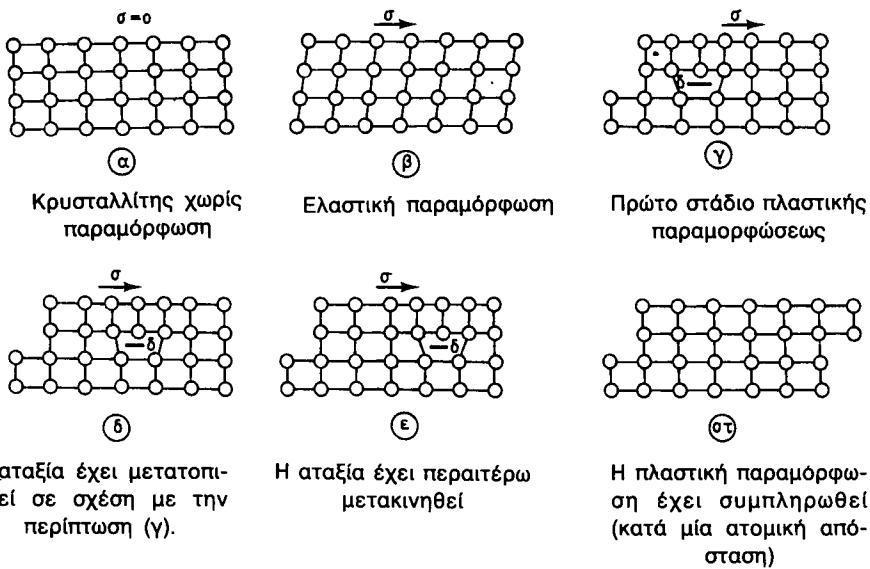
Σχηματική παράσταση ελαστικής και πλαστικής παραμορφώσεως.



Σχ. 11β.

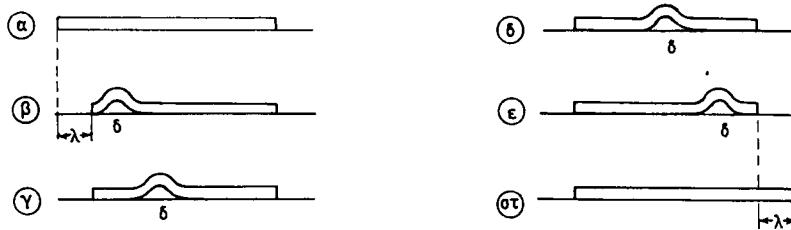
Ο σχηματισμός των βαθμίδων ολισθήσεως πλαστικά παραμορφωμένου μετάλλου. Σχηματική παράσταση της επιφάνειας του δοκίμου: α) Πριν την πλαστική παραμόρφωση. β) Μετά την πλαστική παραμόρφωση.

Στο σχήμα 11γ(β) παρατηρείται το αποτέλεσμα της εφαρμογής μικρής τάσεως σ κατά την κατεύθυνση (φορά) του βέλους. Αν η τάση αυτή σταματήσει, ο κρυσταλλίτης θα επανέλθει στην κανονική του θέση (α). Αν όμως η τάση σ γίνει μεγαλύτερη από το **δριο διαρροής**, τότε θα συμβεί ολίσθηση (περίπτωση γ), με μετακίνηση των ανωτέρων στρωμάτων ατόμων προς τα δεξιά κατά μια ατομική απόσταση, δηλαδή κατά την απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους δύο γειτονικών ατόμων, χωρίς όμως να συμβεί καμιά αλλαγή στο δεξιό μέρος του κρυσταλλίτη. Εδώ παρατηρούμε ότι το πρώτο στάδιο της πλαστικής παραμορφώσεως (γ) επιδρά επάνω σε λίγα μόνο άτομα κατά μήκος του επιπέδου ολισθήσεως. Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να **προκληθεί με πολύ μικρότερη τάση από εκείνη που θα ήταν αναγκαία, αν δύλια τα άτομα στο επίπεδο ολισθήσεως έπρεπε συγχρόνως να μετακινηθούν προς τα δεξιά**. Στο στάδιο αυτό της πλαστικής παραμορφώσεως έχει δημιουργηθεί σαν επακόλουθο η αταξία (δ). Η αταξία αυτή του κρυσταλλικού πλέγματος μετακινείται προς τα δεξιά (δ), (ε) και στο τελικό στάδιο (στ) έχει επέλθει πλαστική παραμόρφωση κατά μια ατομική απόσταση. Επομένως, σαν



Σχ. 11γ.

Πλαστική παραμόρφωση κρυσταλλίτη σύμφωνα με τη θεωρία των αταξιών. Η αταξία σημειώνεται με (δ) και με παχιά μικρή γραμμή.



Σχ. 11δ.

Μετακίνηση της πτυχής (αταξίας) σε απλωμένο πάνω σε δάπεδο τάπτηα.

όριο διαρροής, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, μπορεί να θεωρηθεί η τάση που απαιτείται για να μετακινηθεί η αταξία.

Η μετακίνηση της αταξίας, όπως επίσης και η απαιτούμενη αντίστοιχη τάση, μπορούν να εξομοιωθούν με τη μετακίνηση ενός τάπτηα, που είναι απλωμένος σε οριζόντιο δάπεδο (σχ. 11δ). Όλοι έχουμε παρατηρήσει ότι, αν ο τάπτηας είναι μεγάλος και βαρύς, είναι πολύ δύσκολο να μετακινηθεί με έλεγχο από τη μια του άκρη. Αν όμως σχηματίσουμε στη μια του άκρη μια πτυχή (δ), όπως στο σχήμα, τότε η πτυχή εύκολα μπορεί να μετακινηθεί μέχρι την άλλη άκρη του τάπτηα με εφαρμογή μικρής δυνάμεως και συνεπώς ολόκληρος ο τάπτηας μετακινείται κατά μικρή απόσταση λ . Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε, ότι ο τάπτηας κατά τη μετακίνηση της πτυχής (δ) δεν έχασε την επαφή του με το δάπεδο. Με τον ίδιο τρόπο ακριβώς μετακινείται η αταξία μέσα σε κρυσταλλίτη, χωρίς να αποχωρίζονται τα άτομα κατά μήκος του επιπέδου ολισθήσεώς τους.

Επειδή κάθε αταξία, που μετακινείται μέσα σ' ένα κρυσταλλίτη, σχετίζεται με μετακίνηση κατά μια ατομική απόσταση μόνο ($0,25 \cdot 10^{-8}$ mm) συμπεραίνεται ότι, για να συμβεί μετακίνηση (μόνιμη παραμόρφωση), την οποία να μπορούμε πρακτικά να την μετρήσουμε, χρειάζεται να μετακινηθεί πολύ μεγάλος αριθμός αταξιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

ΨΥΧΡΗΛΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΩΝ – ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Ψυχρηλασία ονομάζεται η κατεργασία διαμορφώσεως των μετάλλων ή κραμάτων, που γίνεται στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η ψυχρηλασία έχει σαν αποτέλεσμα τη μορφοποίησή τους σε τεμάχια με μηχανισμό την πλαστική παραμόρφωση.

Οι σπουδαιότερες από τις μηχανικές κατεργασίες διαμορφώσεως με ψυχρηλασία ή και θερμηλασία (κεφ. 13), που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, δίνονται στο σχήμα 12a. Σ' αυτό το σχήμα δίνεται και η αρχή πάνω στην οποία θασίζεται κάθε μια κατεργασία. Η ψυχρηλασία στην πράξη γίνεται σε μέταλλα ή κράματα τα οποία προηγουμένως έχουν υποστεί θερμηλασία, όπως π.χ. στην κατασκευή κυπελλοειδών προϊόντων με εξέλαση (σχ. 12a) από έλασμα, που έχει διαμορφωθεί εν θερμώ. Συνήθως με την κατεργασία της ψυχρηλασίας παίρνομε έτοιμα προϊόντα (χωρίς να είναι αναγκαία άλλη παραπέρα κατεργασία) στη βιομηχανική παραγωγή.

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

Η θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως είναι χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο ή κράμα. Η θερμική αυτή κατεργασία (παράγρ. 19.5) ονομάζεται **ανόπτηση για ανακρυστάλλωση** ή απλά ανακρυστάλλωση. Ο μηχανισμός της ανακρυσταλλώσεως είναι ο εξής:

Όσο διαρκεί η θέρμανση του σκληρωμένου μετάλλου σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από εκείνη της ανακρυσταλλώσεως, αρχίζουν να δημιουργούνται φύτρα. Τα φύτρα αυτά στη συνέχεια αναπτύσσονται, όπως έχομε αναφέρει (παράγρ. 2.5), σε νέους κρυσταλλίτες. Τα φύτρα δημιουργούνται κυρίως στα όρια των κόκκων και σε θέσεις αταξιών μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Οι νέοι κρυσταλλίτες είναι εντελώς ανεξάρτητοι από τους παλαιούς, αποκτούν δε νέα διαφορετικά όρια.

Τα στάδια ανακρυσταλλώσεως σκληρωμένου μετάλλου φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 12b.

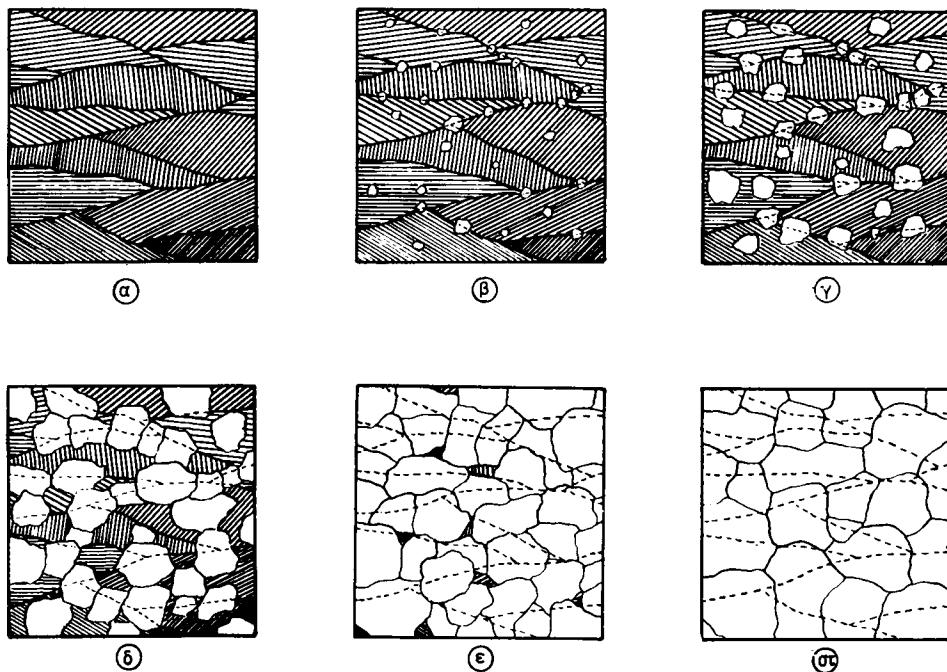
Οι νέοι κρυσταλλίτες, όπως παρατηρούμε, είναι περίπου ισοαξονικοί, δηλαδή δεν παρουσιάζουν επιμήκυνση προς μια κατεύθυνση, όπως συνέβανε πριν από την ανακρυστάλλωση. Η θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως δεν είναι απόλυτα ορισμένη για κάθε μέταλλο, εξαρτάται δε από το βαθμό σκληρώσεως, την οποία έχει αυτό υποστεί.

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

Είδος κατεργασίας παραμορφώσεως		Τρόπος εκτελέσεως της κατεργασίας
Σφυρηλασία	Κρουστική Συμπιεστική	
Έλαση		
Διέλαση		
Εξέλαση		
Κοίλανση		
Τύπωση	Ισόπαχη Ανισόπαχη	
Περιώθηση		
Ολκή		

Σχ. 12a.

Είδη μηχανικών κατεργασιών διαμορφώσεως των μετάλλων και τρόπος εκτελέσεώς τους.



Σχ. 126.

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

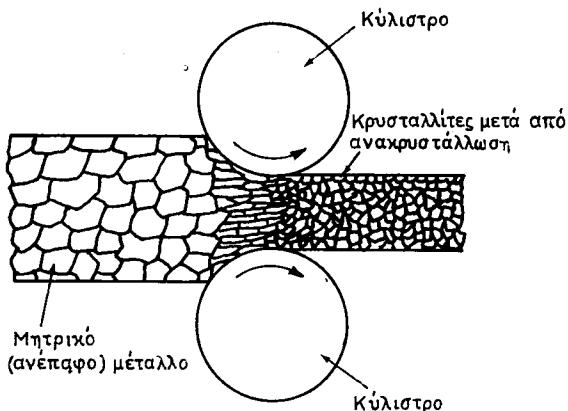
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

ΘΕΡΜΗΛΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Θερμηλασία ονομάζομε τη μηχανική κατεργασία διαμορφώσεως των μετάλλων ή κραμάτων (κυρίως σφυρηλασία, έλαση και διέλαση), η οποία εκτελείται σε θερμοκρασία αρκετά ανώτερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως. Κατά τη θερμηλασία η πλαστική παραμόρφωση (και η από αυτή σκλήρωση) του μετάλλου και η ανακρυστάλλωσή του γίνεται κατά προσέγγιση ταυτόχρονα. Στο σχήμα 13α φαίνονται οι διαδοχικές μεταμορφώσεις της κρυσταλλικής δομής του μετάλλου κατά τη θερμηλασία.

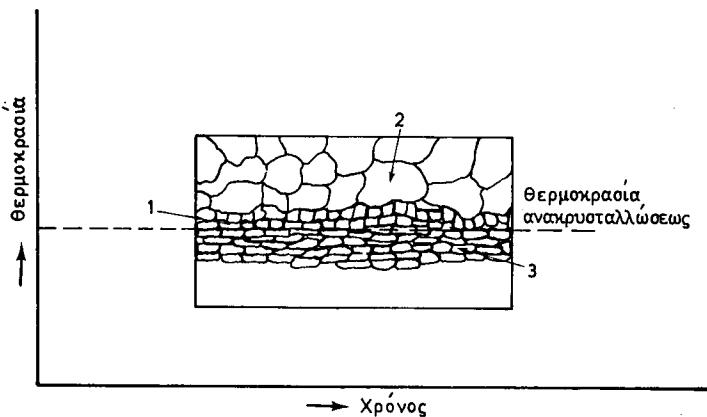
Κατά τη θερμηλασία μεγάλη σημασία έχει η θερμοκρασία περατώσεώς της. Έτσι, αν η θερμηλασία τελειώνει σε θερμοκρασία λίγο ανώτερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως και το τεμάχιο αποψύχεται ήρεμα, τότε προκύπτει λεπτόκοκκος κρυσταλλικός ιστός (περιοχή 1 του σχήματος 13β), ο οποίος έχει πλεονεκτήματα από απόψεως μηχανικών ιδιοτήτων (παράγρ. 2.5).

Αν η θερμηλασία τελειώνει σε θερμοκρασία αρκετά ανώτερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως, προκύπτει χονδρόκοκκος κρυσταλλικός ιστός (περιοχή 2). Αν, τέλος, τελειώνει σε θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως, οι κρυσταλλίτες παρουσιάζονται στρεβλωμένοι και το μέταλλο εμφανίζει ακόμη σκλήρωση (περιοχή 3).



Σχ. 13α.

Μεταβολές της κρυσταλλικής δομής του μετάλλου κατά τη θερμηλασία.



Σχ. 136.

Επίδραση της θερμοκρασίας κατά το τέλος της θερμηλασίας στην κρυσταλλική δομή κατεργασμένου μετάλλου εν θερμώ.

ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ

Η ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΙΔΗΡΟΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ

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

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

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

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

γ) Ο **λειμωνίτης** και άλλοι **υδροξειδιακοί** τύποι οξειδίων του σιδήρου με χημική σύνθεση, που μεταβάλλεται από $2Fe_2O_3H_2O$ σε $Fe_2O_33H_2O$ και με περιεκτικότητα σε σίδηρο από 20% έως 55%.

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

ε) ο **σιδηροπυρίτης** (FeS_2).

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

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

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

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

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

ε) Σουηδία: Μαγνητίτης.

στ) Καναδάς: Αιματίτης με υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο.

ζ) Βραζιλία: Αιματίτης.

η) Ινδία: Σιδηρομεταλλεύματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρο.

θ) Βενεζουέλα: Αιματίτης (65% σίδηρος).

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

Η ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

15.1 Γενικά.

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

- α) Κοσκίνισμα (απομάκρυνση γαιωδών προσμίξεων).
- β) Μαγνητικό διαχωρισμό.
- γ) Λειοτρίθηση (κονιοποίηση σε ειδικούς τριθείς) και
- δ) εμπλουτισμό.

Ο εμπλουτισμός γίνεται με δυο τρόπους:

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

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

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

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

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

- α) Προηγείται η **παρασκευή του χυτοσιδήρου** από τα σιδηρομεταλλεύματα.
- β) Ακολουθεί η **επεξεργασία του χυτοσιδήρου**, που παρασκευάστηκε κατά την πρώτη φάση. Με την επεξεργασία αυτή παράγονται ο **σφυρήλατος σίδηρος** και ο χάλυβας. Παρακάτω θα εξετάσουμε τις δυο αυτές φάσεις.

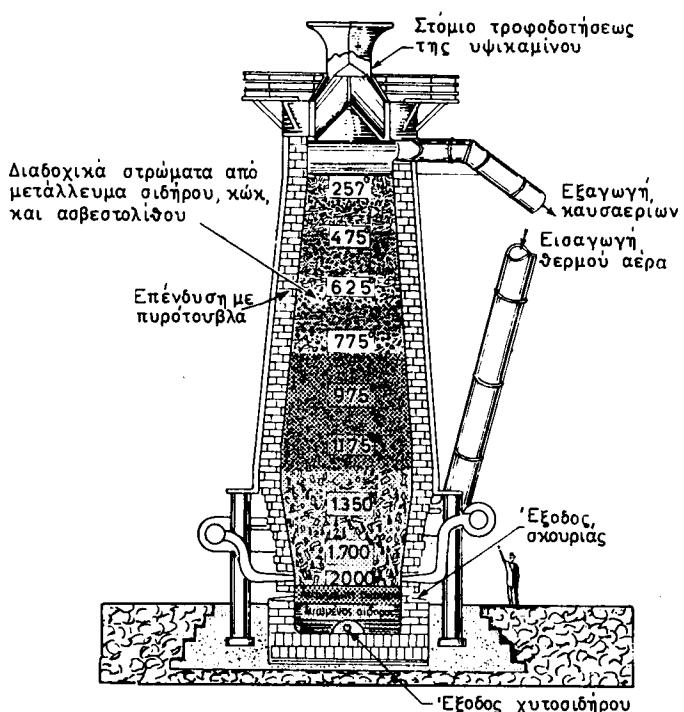
15.2 Παρασκευή χυτοσιδήρου.

Για την παρασκευή του χυτοσιδήρου χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι:

1) Η μέθοδος της υψικαμίνου και 2) η μέθοδος για φτωχά σιδηρομεταλλεύματα που λέγεται μέθοδος Κρουπ - Ρεν.

1) Η μέθοδος της υψικαμίνου.

Για την παρασκευή του χυτοσιδήρου χρησιμοποιούνται κατακόρυφες κυλινδρικές κάμινα (καμίνια), που έχουν διάμετρο 7 έως 8 m και ύψος 30 m περίπου. Τα καμίνια αυτά ονομάζονται **υψικάμινοι** (σχ. 15.2a). Οι υψικάμινοι αποτελούνται από χαλύβδινο μανδύα, που εσωτερικά είναι επενδυμένος με πυρίμαχες πλίνθους. Από το στόμιο τροφοδοτήσεως της υψικαμίνου εισάγονται σε εναλλασσόμενα στρώματα τα μεταλλεύματα, άνθρακας (μεταλλουργικό κωκ) και συλλιπάσματα. Ο άνθρακας χρειάζεται για τη θέρμανση της υψικαμίνου, για την αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου και για την ενανθράκωση του σιδήρου. Το μεταλλουργικό κωκ χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή, γιατί παρουσιά-



Σχ. 15.2a.

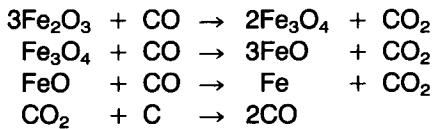
Σχηματική παράσταση της υψικαμίνου και κατάσταση στην οποία θρίσκεται κατά τη λειτουργία της (οι θερμοκρασίες δίνονται σε 0°C).

ζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες συγκριτικά με τον απλό άνθρακα. Τα συλλιπάσματα είναι απαραίτητα για τον εξής λόγο: Όπως γνωρίζομε, τα μεταλλεύματα περιέχουν ξένες προσμίξεις, που πρέπει να αποχωριστούν από το σίδηρο. Τα συλλιπάσματα λοιπόν κατά την επεξεργασία του μεταλλεύματος στην υψηλάμινο σχηματίζουν ενώσεις με αυτές τις προσμίξεις. Οι ενώσεις αυτές είναι οι **σκουριές** (σκωρία). Οι σκουριές, που σχηματίζονται, τήκονται εύκολα και έτσι αποχωρίζονται από το σίδηρο, που παράγεται. Το είδος των συλλιπάσματων που χρησιμοποιούνται στις υψηλάμινους, εξαρτάται από το είδος των ξένων προσμίξεων που περιέχουν τα σιδηρομεταλλεύματα. Έτσι, π.χ. όταν τα μεταλλεύματα έχουν ασβεστολιθικές προσμίξεις, τα συλλιπάσματα είναι πυριτικές ενώσεις αογιλίου. Αντίθετα, όταν οι προσμίξεις είναι πυριτικές, τα συλλιπάσματα είναι ασβεστολιθικά. Και στις δυο περιπτώσεις οι ενώσεις που σχηματίζονται (οι σκουριές), είναι πυριτικές και αργιλικές ενώσεις ασβεστίου.

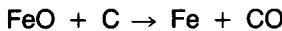
Ας δούμε τώρα τις διάφορες διαδικασίες, που λαμβάνουν χώρα στην υψηλάμινο.

Από το κάτω μέρος της (σχ. 15.2a) εισέρχεται ο αέρας, ο οποίος είναι τελείως ξερός γιατί τον έχουμε περάσει από Silicagel, που απορροφάει τους υδρατμούς. Ο αέρας της καύσεως προθερμαίνεται σε θερμοκρασία 800°C περίπου. Με τον αέρα αυτό καίγεται ο άνθρακας (κωκ), που θρίσκεται στο κάτω μέρος της υψηλάμινου και έτσι σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα, ενώ ο άνθρακας που θρίσκεται ψηλότερα, διαπυρώνεται. Το διοξείδιο αυτό ανεβαίνει λίγο ψηλότερα μέσα στην υψηλάμινο. Εκεί ανάγεται από το διάπυρο άνθρακα και σχηματίζει μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το μονοξείδιο του άνθρακα, που σχηματίζεται, ανεβαίνει στην επόμενη ζώνη της υψηλάμινου που λέγεται **ζώνη αναγωγής**. Εκεί ανάγει τα διάφορα οξείδια του σιδήρου (Fe_2O_3 , FeO , Fe_3O_4), όπως φαίνεται στο σχήμα 15.2a.

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



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

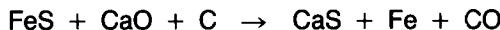


Η αναγωγή γίνεται σε θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σιδήρου με αποτέλεσμα τη στερεοποίηση του σιδήρου που παράγεται. Ο σίδηρος αυτός κατεβαίνει σε χαμηλότερη ζώνη της υψηλάμινου και εκεί παίρνει άνθρακα, δηλαδή σχηματίζει κράμα με άνθρακα.

Το κράμα αυτό του σιδήρου - άνθρακα (χυτοσίδηρος) είναι πιο εύτηκτο από τον καθαρό σίδηρο, δηλαδή τήκεται στους 1300°C περίπου. Έτσι, ρευστό πια το κράμα συγκεντρώνεται στο κατώτερο μέρος της υψηλάμινου, ενώ στην

επιφάνειά του επιπλέουν οι σκουριές, λιωμένες και αυτές και τελικά απομακρύνονται από το ειδικό στόμιο της υψηλαμίνου, όπως θλέπομε στο σχήμα 15.2a. Ο σίδηρος έχει μεγάλη χημική συγγένεια με το θείο και σχηματίζει με αυτό θειούχο σίδηρο (FeS).

Το μεταλλουργικό κώκ, που χρησιμοποιούμε στις υψηλαμίνους, περιέχει από 0,5% έως 2,0% S, συνήθως σε θειούχους ενώσεις και οργανικό θείο. Αυτό το θείο στη θερμοκρασία της καμίνου είναι πτητικό και ενώνεται με το μεν σίδηρο και δίνει FeS μετά δε του CaC και δίνει CaS. Έτσι, ο θειούχος σίδηρος που σχηματίζεται όταν αρχίσει να τήκεται κατεβαίνει μέσω της σκουριάς, η οποία κρατάει το περισσότερο μέρος του θείου σύμφωνα με τη σχέση:



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

Ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατούσε στο κατώτερο μέρος της υψηλαμίνου και σύμφωνα με την ταχύτητα αποψύξεως του χυτοσίδηρου, παίρνομε λευκό χυτοσίδηρο ή φαιό χυτοσίδηρο (λεπτομέρειες στο κεφ. 23).

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

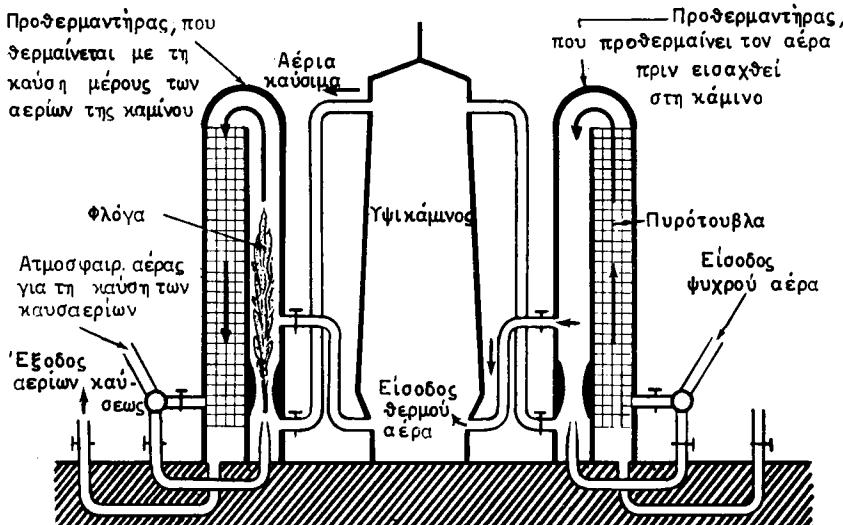
Η προθέρμανση του αέρα της καύσεως γίνεται με τους λεγόμενους **προθερμαντήρες** (σχ. 15.2b). Οι προθερμαντήρες είναι ψηλοί πύργοι, όσο περίπου και η υψηλαμίνος.

Μια ιδέα για το πώς είναι κατασκευασμένοι οι προθερμαντήρες και πώς λειτουργούν μας δίνει το σχήμα 15.2b.

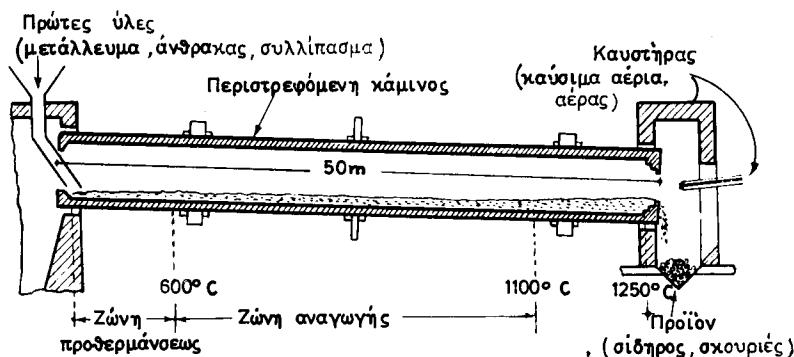
Ακόμα, μια ιδέα για το τι γίνεται στην υψηλαμίνο, παίρνομε από τον ισολογισμό των συστατικών κατά βάρος, που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή του χυτοσίδηρου στην υψηλαμίνο και από τον ισολογισμό των προϊόντων της υψηλαμίνου. Ο ισολογισμός αυτός για την παρασκευή 1500 τόννων χυτοσίδηρου είναι χονδρικά έτσι:

<u>Συστατικά που εισέρχονται στην υψηλαμίνο</u>	<u>Προϊόντα υψηλαμίνου</u>		
Σίδηρομετάλλευμα (π.χ. 50% σίδηρος)	3.000 τόννοι	Χυτοσίδηρος	1.500 τόννοι
Μεταλλουργικά κώκ	1.350 τόννοι	Σκουριές	1.200 τόννοι
Συλλιπάσματα	600 τόννοι	Αέριο	8.100 τόννοι
Αέρας καύσεως	6.000 τόννοι	Σκόνη	150 τόννοι
Σύνολο	10.950 τόννοι	Σύνολο	10.950 τόννοι

Το αέριο, που παράγεται από την υψηλαμίνο, αποτελείται από 30% έως 35%



Σχ. 15.26.
Σχηματική παράσταση υψικαμίνου με δυο προθερμαντήρες.



Σχ. 15.2γ.
Σχηματική παράσταση παραγωγής χυτοσιδήρου με τη μέθοδο Κρουπ - Ρεν.

CO, 6% έως 10% CO₂, 52% έως 60% N₂ και 2% έως 3% H₂, έχει δε αξιόλογη θερμογόνο δύναμη (κατά μέσον όρο 3800 kcal/kg).

2) Η μέθοδος για φτωχά σιδηρομεταλλεύματα ή μέθοδος Κρουπ-Ρεν.

Κατά τη μέθοδο αυτή δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται (όπως στην υψικάμινο) μεταλλεύματα πλούσια σε σίδηρο ούτε μεταλλουργικά κωκ. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν φτωχότερα σιδηρομεταλλεύματα και αντί για κωκ εξανθράκωμα λιγνίτη (σεμικών), που έχει θερμογόνο δύναμη περίπου 5000 kcal/kg ή επίσης ξερός λιγνίτης σε κόκκους ορισμένης κοκκομετρικής συστάσεως με θερμογόνο δύναμη 4500 έως 5000 kcal/kg. Η αναγωγή των σιδηρομεταλλεύμάτων γίνεται σε ειδικές κεκλιμένες και περιστρεφόμενες καμίνους (σχ. 15.2γ).

Από το υψηλότερο μέρος της καμίνου εισάγεται μίγμα από μεταλλεύματα, λιγνίτη και συλλιπάσματα, σε μορφή σκόνης (κονιοποιημένο). Από το κάτω μέρος της εκτοξεύονται και καίγονται αέρια, που παράγονται από λιγνίτη σε ειδικές εγκαταστάσεις (αεριογόνα). Η μέθοδος Κρουπ-Ρεν εφαρμόζεται στην Ελλάδα (στη Λάρυμνα), όπου, επειδή τα σιδηρομεταλλεύματα της περιοχής περιέχουν νικέλιο, ο σίδηρος που παράγεται εκεί περιέχει νικέλιο.

15.3 Παρασκευή του σφυρήλατου σιδήρου και χάλυβα.

Ας εξετάσουμε τώρα τη δεύτερη φάση της μεταλλουργίας του σιδήρου, από την οποία παίρνομε το σφυρήλατο σίδηρο και το χάλυβα.

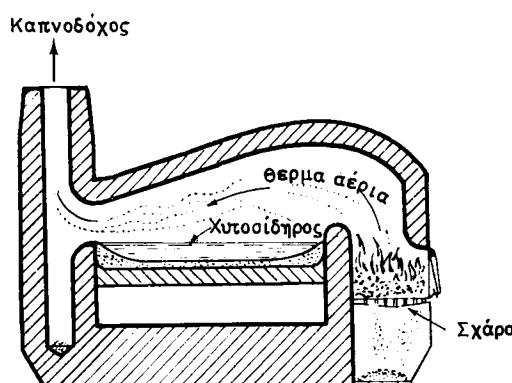
Και τα δυο αυτά είδη περιέχουν ελάχιστες προσμίξεις ξένων στοιχείων. Το κυριότερο από τα ξένα αυτά στοιχεία είναι ο άνθρακας, που στο σφυρήλατο σίδηρο φτάνει περίπου μέχρι 0,03%, ενώ στο χάλυβα μέχρι 1,5%.

1) Παρασκευή σφυρήλατου σιδήρου.

Το σφυρήλατο σίδηρο τον παρασκευάζομε, όταν από το λευκό χυτοσίδηρο απομακρύνομε τις ξένες προσμίξεις του (κατά το μεγαλύτερο ποσοστό).

Η εργασία αυτή γίνεται σε φλοιοθόλους καμίνους (σχ. 15.3a), όπου σε θερμοκρασία 1300 έως 1400°C καίγονται οι περισσότερες προσμίξεις και έτσι ελαττώνεται η περιεκτικότητα του σιδήρου σε άνθρακα και άλλα στοιχεία. Με αυτή την καύση, άλλες από τις προσμίξεις, όπως ο άνθρακας, σχηματίζουν αέρια προϊόντα, άλλες δε σκουριές, που επιπλέουν στο ρευστό σίδηρο και έτσι απομακρύνονται.

Ο χυτοσίδηρος, που παίρνομε από την υψηλάμινο, εκτός από το σίδηρο περιέχει προσμίξεις ξένων στοιχείων σε ποσοστό περίπου 10%. Οι προσμίξεις αυτές είναι ο άνθρακας, το πυρίτιο, το μαγγάνιο, ο φωσφόρος και το θείο. Οι περιοχές, στις οποίες κυμαίνονται οι προσμίξεις ξένων στοιχείων στο σφυρήλατο σίδηρο σε ποσοστό επί τοις εκατό (%), είναι οι εξής:



Σχ. 15.3a.

Σχηματική παράσταση φλοιοθόλου καμίνου για παραγωγή σφυρήλατου σιδήρου.

C :	0,02	έως	0,05
Si :	0,02	έως	0,10
S :	0,008	έως	0,02
Mn :	0,00	έως	0,02
P :	0,05	έως	0,25
Σκουριές :	0,05	έως	1,50

2) Παρασκευή χάλυβα.

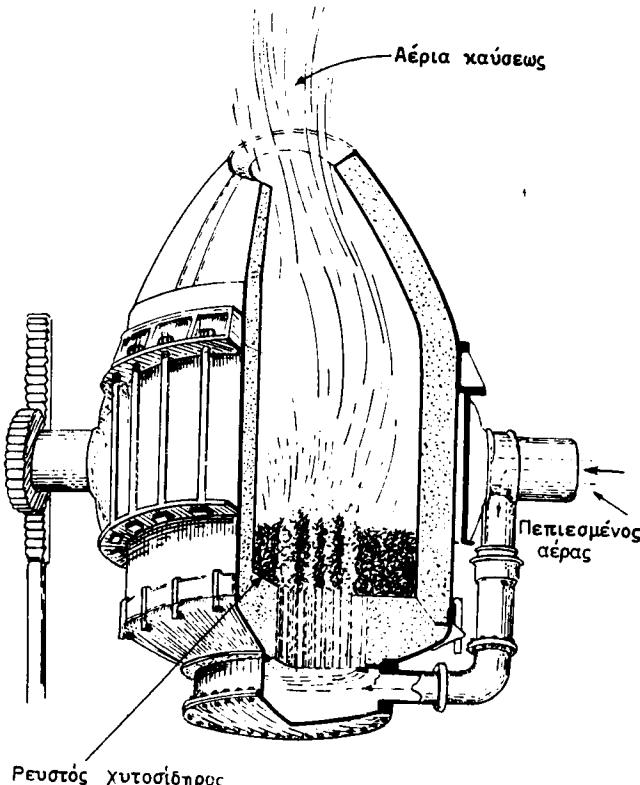
Το χάλυβα τον παίρνομε από το λευκό χυτοσίδηρο. Αυτό το πετυχαίνομε με το να ελαττώνομε την περιεκτικότητα του λευκού χυτοσίδηρου σε άνθρακα και σε άλλα στοιχεία, που περιέχει, με πύρωση σε ειδικές καμίνους.

Η επεξεργασία του λευκού χυτοσίδηρου, που μας δίνει το χάλυβα, μπορεί να γίνει με τρεις μεθόδους:

- Τη μέθοδο Bessemer (Μπέσσεμερ).
- Τη μέθοδο Siemens - Martin (Σήμενς - Μαρτέν) και
- την ηλεκτρική μέθοδο.

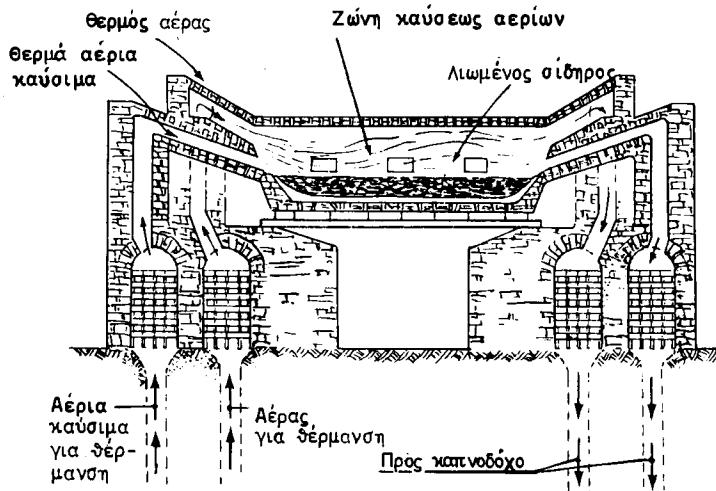
a) Η μέθοδος Μπέσσεμερ.

Χρησιμοποιείται ειδική κάμινος σε σχήμα αχλαδιού, που λέγεται **άπιον** (απίδι) του **Μπέσσεμερ** (σχ. 15.36). Το άπιο Μπέσσεμερ μπορεί να περιστρέφεται από



Σχ. 15.36.

Άπιον Μπέσσεμερ για παρασκευή χάλυβα από χυτοσίδηρο. Παραγωγή 20 τόννων την ώρα.



15.3γ.

Σχηματική παράσταση καμίνου Σήμενς - Μαρτέν για παρασκευή χάλυβα.

την κατακόρυφη θέση μέχρι την οριζόντια, έτσι ώστε να γεμίζει με ρευστό χυτοσίδηρο και στη συνέχεια να χύνεται ο ρευστός χάλυβας με ευκολία. Η οξειδώση των ξένων προσμίξεων, όπως και στο σφυρήλατο σίδηρο, πετυχαίνεται με το οξυγόνο του αέρα, το οποίο εδώ φυσιέται (προσφυσάται) από τις τρύπες του πυθμένα μέσα από το ρευστό χυτοσίδηρο.

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

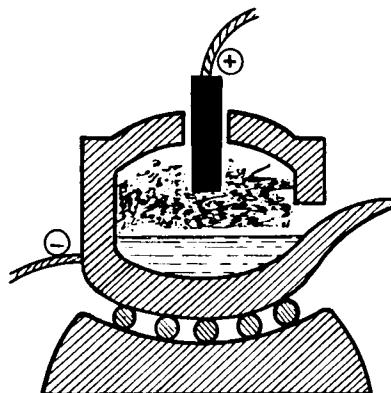
Η εργασία της παρασκευής χάλυβα με αυτή τη μέθοδο διαρκεί 20 έως 25 min. Μετά ο ρευστός χάλυβας αποχύνεται σε κάδους, αφού αναστρέψουμε το άπιο Μπέσσεμερ.

6) Η μέθοδος Σήμενς - Μαρτέν.

Κατά τη μέθοδο αυτή θερμαίνεται μίγμα από χυτοσίδηρο και απορρίμματα σφυρήλατου σίδηρου ή χάλυβα (δηλ. παλιοσιδηρικά) με λίγο οξείδιο του σίδηρου που το προσθέτομε στο μίγμα.

Το οξείδιο αυτό του σιδήρου επειδή έχει οξυγόνο, οξειδώνει τον άνθρακα του χυτοσίδηρου και έτσι ελαττώνεται η περιεκτικότητα του προϊόντος σε άνθρακα. Η παρασκευή του χάλυβα γίνεται σε ειδικές επίπεδες φλογοβόλους καμίνους Σήμενς - Μαρτέν (σχ. 15.3γ).

Η θέρμανση γίνεται με καύσιμα αέρια (από αεριογόνα). Τα αέρια αυτά προθερμαίνονται στους προθερμαντήρες, που είναι κάτω από την κάμινο. Η προθέρμανση των αερίων γίνεται με το ίδιο σύστημα που γίνεται στην



Σχ. 15.3δ.
Ηλεκτρική κάμινος παρασκευής χάλυβα.

υψηλά κάμινο. Με τους προθερμαντήρες αυτούς η θερμοκρασία στην κάμινο φτάνει στους 1700°C . Μια κάμινος Σήμενς - Μαρτέν παράγει 100 έως 200 τόννους χάλυβα ανά 10 ώρες. Ο χάλυβας που παρασκευάζεται με αυτή τη μέθοδο, είναι ανώτερης ποιότητας από το χάλυβα που παρασκευάζεται με τη μέθοδο Μπέσσεμερ.

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

γ) Η ηλεκτρική μέθοδος.

Με τη μέθοδο αυτή η παρασκευή χάλυβα γίνεται σε ηλεκτρικές καμίνους που έχουν χωρητικότητα 10 έως 30 τόννους (σχ. 15.3δ).

Στις καμίνους αυτές η θέρμανση του λευκού χυτοσιδήρου γίνεται με ηλεκτρικό τόξο. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την παρασκευή χαλυβοκραμάτων (μέρος 8ο).

ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ

ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

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

Οι ανθρακούχοι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, περιέχουν συνήθως εκτός από άνθρακα και αρκετή αναλογία μαγγανίου, που παραμένει στο κράμα και μετά από την καύση των ξένων προσμίξεων κατά την παρασκευή του χάλυβα (παράγρ. 15.3). Περιέχουν επίσης, σε μικρή αναλογία, πυρίτιο, θείο και φωσφόρο.

Στο μέρος αυτό θα εξετάσουμε:

α) Τις **αλλοτροπίες** του σιδήρου, δηλαδή τις διαφορετικές μορφές κρυσταλλικής δομής, τις οποίες παρουσιάζει ο σίδηρος, όταν θερμανθεί ή ψυχθεί. Έτσι θα καταλάβουμε καλύτερα το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου - άνθρακα.

β) Το **θερμικό διάγραμμα ισορροπίας** (κεφ. 4) των κραμάτων σιδήρου - άνθρακα ή καλύτερα σιδήρου - σεμεντίτη και την κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύβων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΕΣ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

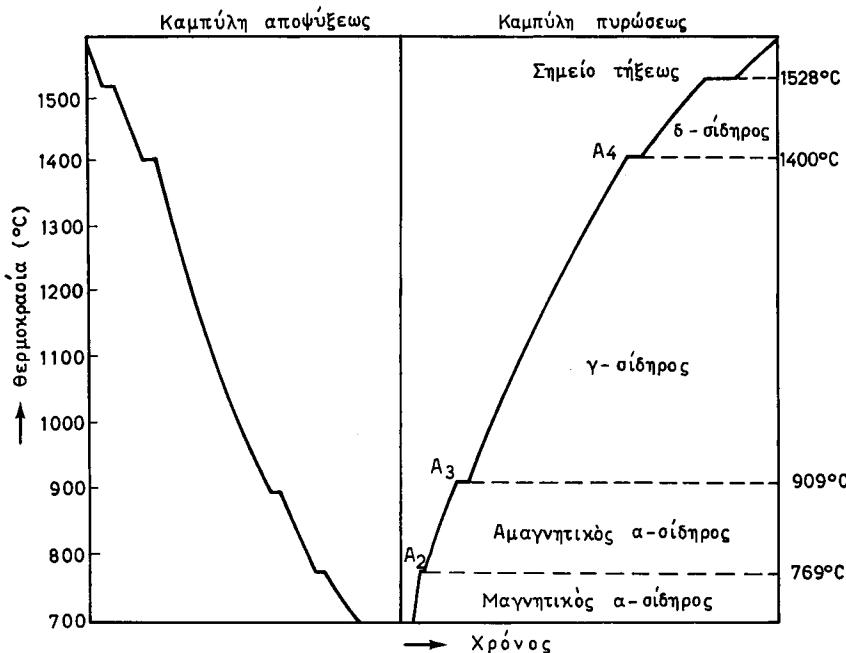
Ας δούμε λοιπόν ποιες μορφές κρυσταλλικής δομής παρουσιάζει ο καθαρός σίδηρος κατά τη θέρμανσή του μέχρι την τήξη του, αλλά και κατά την απόψυξή του μέχρι τη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η καμπύλη θερμάνσεως και αποψύξεως του καθαρού σιδήρου δίνεται στο σχήμα 16α. Στον οριζόντιο άξονα τίθεται ο χρόνος θερμάνσεως ή αποψύξεως και στον κάθετο προς αυτόν άξονα η θερμοκρασία σε °C.

Κατά την πύρωση* του σιδήρου (δεξιά καμπύλη του σχήματος 16α), παρατηρούμε ότι, όταν η θερμοκρασία φθάσει στους 769°C, 909°C, 1400°C και 1528°C (σημείο τήξεως του καθαρού σιδήρου), παραμένει για λίγο διάστημα στάσιμη, ύστερα δε εξακολουθεί να ανυψώνεται. Αυτό σημαίνει ότι ο σίδηρος στις θερμοκρασίες αυτές απορροφάει θερμότητα, χωρίς όμως να αυξάνεται η θερμοκρασία του. Επομένως κάποια μεταβολή θα γίνεται μέσα του.

Οι θερμοκρασίες των 769°C, 909°C και 1400°C λέγονται **κρίσιμα σημεία** και παριστάνονται με A₂, A₃ και A₄ αντίστοιχα.

Κατά το χρόνο που η θερμοκρασία παραμένει στάσιμη στα κρίσιμα σημεία A₃

* Η λέξη «θέρμανση» συνηθίζεται να χρησιμοποιείται μέχρι τους 500°C και από εκεί και επίσην ως όρος «πύρωση».



Σχ. 16a.

Καμπύλη πυρώσεως και αποψύξεως του καθαρού σιδήρου.

και A_4 παρατηρείται μεταμόρφωση στην κρυσταλλική δομή του σιδήρου. Έτοιμος, ο καθαρός σίδηρος μέχρι τη θερμοκρασία των 909°C (κρίσιμο σημείο A_3) παρουσιάζεται ως **άλφα σίδηρος** (α -σίδηρος ή $\alpha\text{-Fe}$). Έχει **χωροκεντρωμένο κυβικό** κρυσταλλικό πλέγμα [παράγρ. 2.5, σχ. 2.5a(a)]. Ο α -σίδηρος μέχρι τους 769°C είναι **μαγνητικός** από τη θερμοκρασία δε αυτή (κρίσιμο σημείο A_2) και μέχρι το κρίσιμο σημείο A_3 γίνεται **αμαγνητικός**. Στη συνέχεια ο α -σίδηρος στους 909°C μετασχηματίζεται σε **γάμα - σίδηρο** (γ -σίδηρο ή $\gamma\text{-Fe}$), ο οποίος έχει **εδροκεντρωμένο κυβικό πλέγμα** [παράγρ. 2.5, σχ. 2.5a(b)] και είναι αμαγνητικός.

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

Κατά την απόψυξη του τήγματος καθαρού σιδήρου παρατηρούνται οι ίδιες μεταβολές, με αντίστροφη όμως σειρά, στην κρυσταλλική δομή του και στα ίδια περίπου σημεία A_4 , A_3 , A_2 , όπως συμβαίνει κατά την πύρωσή του. Ο α -σίδηρος δεν διαλύει τον άνθρακα. Ο γ -σίδηρος, ο οποίος τον διαλύει, μπορεί να υπάρξει και στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιθάλλοντος, αν προσθέσουμε σ' αυτόν ορισμένα στοιχεία, όπως είναι το νικέλιο και το μαγγάνιο, που έχουν την ιδιότητα να κατεβάζουν τα κρίσιμα σημεία (παράγρ. 20.2). Από αυτά που είπαμε, συμπεραίνομε ότι ο σίδηρος υπάρχει σε δυο αλλοτροπικές μορφές, δηλαδή ως α -σίδηρος και ως δ -σίδηρος με χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα και ως γ -σίδηρος με εδροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΑ

17.1 Το πλήρες διάγραμμα.

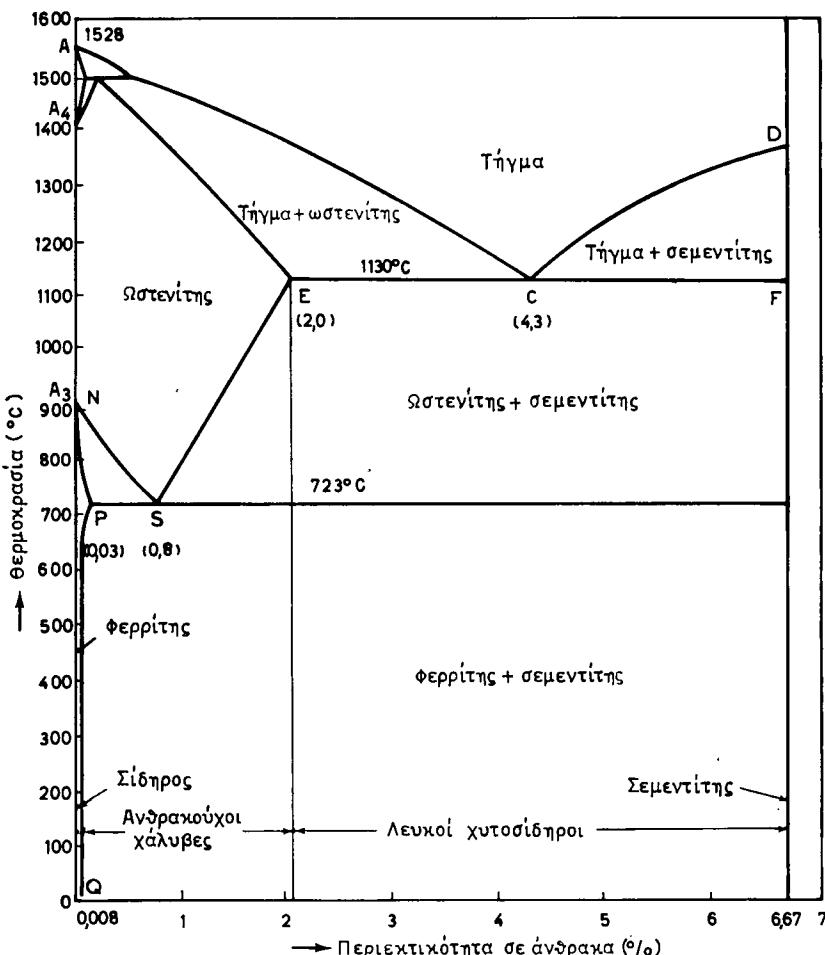
Αφού ξέρομε τις αλλοτροπικές μορφές, τις οποίες παίρνει ο σίδηρος κατά την πύρωση και την απόψυξή του, ας μελετήσουμε τώρα το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου - άνθρακα. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι ο άνθρακας στους χάλυβες δεν θρίσκεται ελεύθερος (με μορφή γραφίτη), αλλά σχηματίζει με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

Στο σχήμα 17.1 δίνεται ολόκληρο το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου - σεμεντίτη, δηλαδή από τον καθαρό σίδηρο [$\pi(C) = 0,00\%$]^{*} μέχρι το σεμεντίτη [$\pi(C) = 6,67\%$]. Τα κράματα αυτά ανήκουν στην κατηγορία του διμερούς κράματος σύνθετου τύπου, όπως το κράμα κασσιτέρου - μολύβδου (παράγρ. 4.3, σχ. 4.3γ). Έτσι, τα δυο στοιχεία του κράματος είναι τελείως αναμίξιμα στην υγρή κατάσταση και εν μέρει αναμίξιμα στη στερεά κατάσταση.

Παρόλο ότι το διάγραμμα αυτό φαίνεται πολύπλοκο, βασικά έχομε να ασχοληθούμε με δυο στερεά διαλύματα, δηλαδή τον **ωστενίτη** και το **φερρίτη** και με το **σεμεντίτη** (καρβίδιο). Όπως έχομε πει, ο ωστενίτης είναι στερεό διάλυμα παρεμβολής (παράγρ. 3.2). Σχηματίζεται, όταν στο κρυσταλλικό πλέγμα του γ-σιδήρου διαλυθεί άνθρακας. Ο άνθρακας διαλύεται σε αναλογία περίπου μέχρι 2% στη θερμοκρασία των 1130°C .

Στην αναλογία αυτή άνθρακα έχουμε **κορεσμένο** ωστενίτη. Ο ωστενίτης είναι αμαγνητικός. Ο φερρίτης είναι επίσης στερεό διάλυμα παρεμβολής και σχηματίζεται όταν ο άνθρακας διαλυθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα του α-σιδήρου. Στην περίπτωση αυτή ο άνθρακας διαλύεται σε πολύ μικρή αναλογία. Φθάνει κατά μέγιστο τα 0,03% σε θερμοκρασία 723°C (κορεσμένος φερρίτης). Ο φερρίτης είναι μαγνητικός μέχρι τη θερμοκρασία των 769°C . Στις πρακτικές εφαρμογές ο φερρίτης θεωρείται ότι έχει τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες με τον καθαρό σίδηρο. Ο σεμεντίτης, όπως είδαμε, είναι χημική ένωση και σχηματίζε-

* Με το σύμβολο $\pi(C)$ παριστάνομε την περιεκτικότητα του κράματος σε άνθρακα επί τοις εκατό. Ο ίδιος συμβολισμός π (σύμβολο στοιχείου) θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω, για να υποδηλώσει την περιεκτικότητα σε οποιοδήποτε άλλο στοιχείο.



Σχ. 17.1.

Το πλήρες θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου - σεμεντίτη.

ται όταν η περιεκτικότητα του κράματος σε άνθρακα είναι μεγαλύτερη από την περιεκτικότητα κορεσμού του φερρίτη (πάνω από 0,03%). Είναι πολύ σκληρός (η σκληρότητά του υπερβαίνει τους 700 θαθμούς Brinell) και πολύ εύθραυστος. Η γραμμή του liguidus (σχ. 17.1) είναι η ACD (παράγρ. 4.2) και η γραμμή του solidus είναι η AECD. Αυτό ισχύει αν λάθομε υπόψη μας τις λεπτομέρειες που υπάρχουν στο επάνω αριστερό μέρος του διαγράμματος, οι οποίες και το κάνουν περίπλοκο. Η γραμμή του solidus αρχίζει από τη θερμοκρασία τήξεως του καθαρού σιδήρου (1528°C) και ακολουθεί το σχηματισμό του ωστενίτη μέχρι του κορεσμού του σε άνθρακα σε αναλογία 2% περίπου και σε θερμοκρασία 1130°C (σημείο E του διαγράμματος). Από εκεί και πέρα η γραμμή του solidus παραμένει ευθεία μέχρι τον καθαρό σεμεντίτη. Έτσι η στερεοποίη-

ση τελειώνει για μεν τα κράματα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2% στο διάστημα θερμοκρασιών από 1528°C έως 1130°C, για δε τα υπόλοιπα κράματα στη σταθερή θερμοκρασία των 1130°C.

Στο σημείο C του διαγράμματος, που αντιστοιχεί σε αναλογία άνθρακα 4,3% και βέβαια πάντα στη σταθερή θερμοκρασία 1130°C, η αρχή και το τέλος της στερεοποιήσεως συμπίπτουν. Παρατηρούμε επίσης ότι η θερμοκρασία αυτή (1130°C) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία τήξεως που συναντάμε στα κράματα σιδήρου - σεμεντίτη. Το σημείο C είναι το σημείο της **ευτηκτικής αναλογίας** (παράγρ. 3.3) και το κράμα με αναλογία σε άνθρακα 4,3% είναι το **ευτηκτικό κράμα**. Το ευτηκτικό κράμα στην περίπτωση αυτή ονομάζεται **λεδεμθουρίτης**, σχηματίζεται δε από πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ φερρίτη και σεμεντίτη, όπως θα δούμε παρακάτω. Αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα του σχήματος 17.1 θα διακρίνουμε γενικά τις εξής κατηγορίες κραμάτων σιδήρου - σεμεντίτη, αφού λάθομες υπόψη μας τα σημεία E και C του διαγράμματος:

- a) $\pi(C) < 2,0\%$: Χάλυβες (πρακτικά μέχρι 1,5%).
- б) $2,0 < \pi(C) < 4,3\%$: Υπευτηκτικά κράματα.
- γ) $\pi(C) = 4,3\%$: Ευτηκτικό κράμα (λεδεμθουρίτης).
- δ) $\pi(C) > 4,3\%$: Υπερευτηκτικά κράματα.

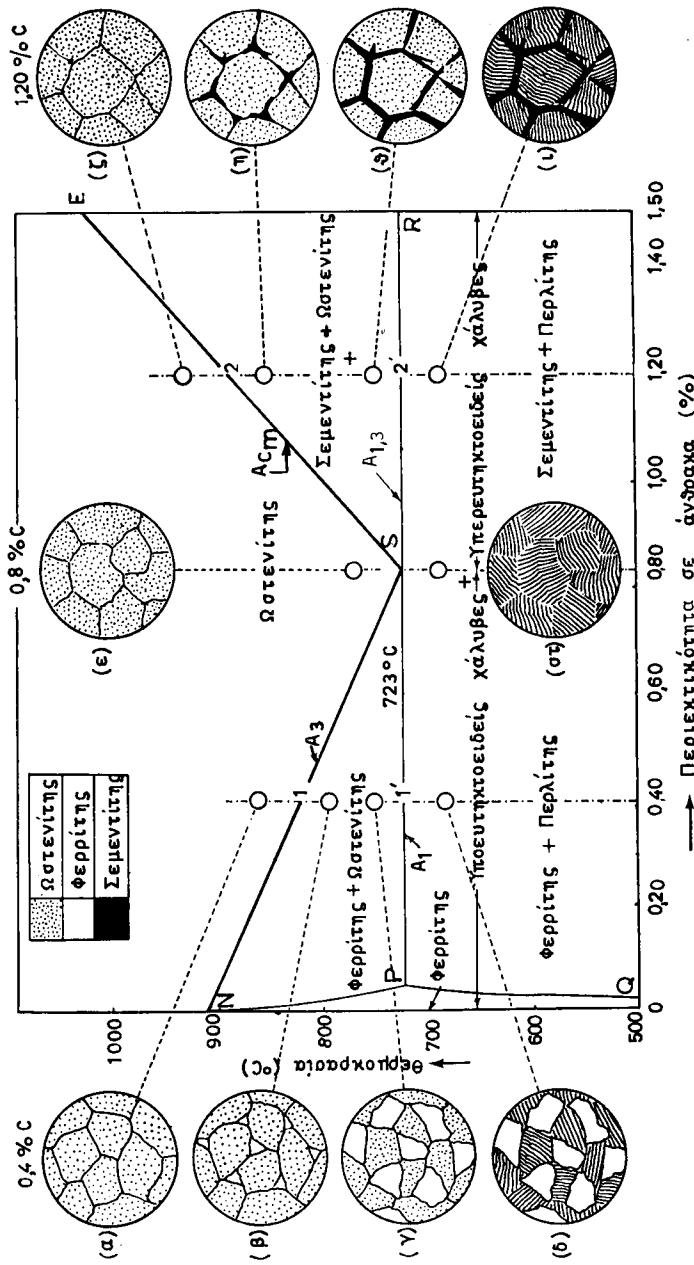
Τα κράματα σιδήρου - σεμεντίτη με περιεκτικότητα σε άνθρακα πάνω από 2% αποτελούν τους λεγόμενους **λευκούς χυτοσιδήρους**. Οι χυτοσίδηροι αυτοί ονομάζονται έτσι, γιατί η επιφάνεια θραύσεως τους φαίνεται λευκή (λευκόχρους). Πρέπει να πούμε επίσης ότι εκτός από τους λευκούς χυτοσιδήρους, έχουμε και τους λεγόμενους **φαιούς χυτοσιδήρους**, στους οποίους η επιφάνεια θραύσεως παρουσιάζεται φαιά (φαιόχρους). Οι χυτοσίδηροι αυτοί ανήκουν στα κράματα σιδήρου - γραφίτη, με τα οποία θα ασχοληθούμε στο κεφάλαιο περί χυτοσιδήρων (μέρος 9ο). Σε αυτά τα κράματα ο άνθρακας βρίσκεται ελεύθερος και όχι σε χημική ένωση ως σεμεντίτης.

17.2 Η περιοχή των ανθρακούχων χαλύβων.

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

Αυτό το τμήμα του διαγράμματος το χρησιμοποιούμε και στις θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων. Για τους λόγους αυτούς θα μελετήσουμε παρακάτω με περισσότερες λεπτομέρειες το τμήμα αυτό, που δίνεται στο σχήμα 17.2a.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στο σημείο S του διαγράμματος του σχήματος 17.1 σχηματίζεται το ευτηκτοειδές κράμα, που ονομάσαμε περλίτη. Με βάση το



Σχ. 17.2α.

Το τρίγμα του πλήρους θερμικού διαγράμματος των κρυστάλλων σιδήρου - σιδενίτη, που αφορά τους ανθρακούχους χαλύβδες. Α₃: Γραμμή σιδήρου - σιδενίτη, που αφορά τους ανθρακούχους χαλύβδες. Α₁: Γραμμή κατωτέρων κρισμάτων σημείων στην περιοχή των ανωτέρων κρισμάτων σημείων στην περιοχή των υποευπηκτοειδών χαλύβδων. Α_{1,3}: Γραμμή ανωτέρων κρισμάτων σημείων στην περιοχή των υπερευπηκτοειδών χαλύβδων. Α_{c1}: Γραμμή περιβόλου των κρισμάτων σημείων στην περιοχή των υπερευπηκτοειδών χαλύβδων.

σημείο αυτό οι ανθρακούχοι χάλυβες χωρίζονται σε:

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

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

Κάθε σημείο δεξιά από τη γραμμή PO του διαγράμματος δείχνει ότι ο φερρίτης είναι πια κορεσμένος σε άνθρακα (παράγρ. 17.1) και επομένως ο υπόλοιπος άνθρακας του κράματος θα πρέπει να υπάρχει σ' αυτό ως σεμεντίτης. Η σημασία της κλίσεως της γραμμής PO είναι ότι, ενώ ο άνθρακας διαλύεται μέσα στον α-σίδηρο στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά ποσοστό περίπου 0,008%, στους 723°C διαλύεται κατά 0,03%.

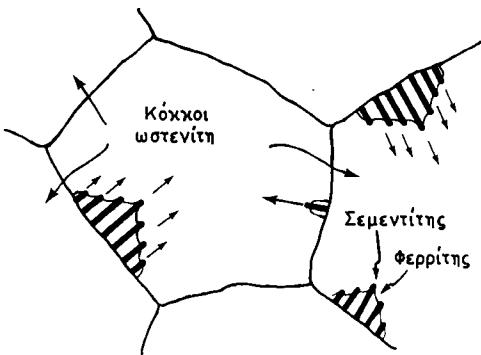
Για να αντιληφθούμε την πορεία της στερεοποιήσεως, αλλά και τις μεταβολές που γίνονται στην κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύβων, θα μελετήσουμε το διάγραμμα του σχήματος 17.2a για τρεις αντιπροσωπευτικούς χάλυβες.

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

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

Ο χάλυβας αυτός όταν πυρωθεί σε θερμοκρασία ανώτερη του σημείου 1 (ανώτερου κρίσιμου σημείου) μετασχηματίζεται εντελώς σε ωστενίτη [σχ. 17.2a, περίπτωση (α)]. Όταν, ενώ ψύχεται, αποκτήσει θερμοκρασία λίγο κατώτερη από εκείνη του σημείου 1, το κρυσταλλικό του πλέγμα αρχίζει να μετασχηματίζεται από εδροκεντρωμένο κυβικό σε χωροκεντρωμένο κυβικό με τον αποχωρισμό ορισμένων κρυστάλλων α-σιδήρου από τον ωστενίτη. Οι κρύσταλλοι αυτοί κρατούν ορισμένο ποσοστό άνθρακα και παρουσιάζονται ως κρύσταλλοι φερρίτη [σχ. 17.2a, περίπτωση (β)]. Καθώς συνεχίζεται η πτώση της θερμοκρασίας του κράματος, οι κρύσταλλοι του φερρίτη αυξάνονται σε μέγεθος [σχ. 17.2a, περίπτωση (γ)] σε βάρος όμως του ωστενίτη. Επομένως, αφού ο φερρίτης έχει μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα, ο ωστενίτης που απομένει γίνεται πλουσιότερος σε άνθρακα.

Έτσι, όταν κατά την ψύξη ο χάλυβας φθάσει στη θερμοκρασία των 723°C (σημείο 1', κατώτερο κρίσιμο σημείο), θα αποτελείται από κορεσμένο φερρίτη, δηλαδή με 0,03% σε άνθρακα, και από ωστενίτη με 0,80% σε άνθρακα (η σύνθεση του ωστενίτη καθορίζεται από το σημείο S του διαγράμματος). Ο ωστενίτης δεν μπορεί να δεσμεύσει άνθρακα πάνω από 0,80% και συνεπώς, καθώς η θερμοκρασία πέφτει, οι κόκκοι του ωστενίτη διασπώνται. Ο άνθρακας που περισσεύει καθώς αποχωρίζεται, σχηματίζει μαζί με το σίδηρο σεμεντίτη. Πυρήνες σεμεντίτη σχηματίζονται τυχαία στα όρια των κόκκων του ωστενίτη (σχ. 17.2b). Από τους πυρήνες αυτούς αναπτύσσονται πλακοειδείς κρυσταλλί-



Σχ. 17.28.
Μηχανισμός μετασχηματισμού του
ωστενίτη σε περλίτη.

τες σεμεντίτη. Η αφαίρεση του άνθρακα για να σχηματισθεί ωστενίτης, έχει σαν αποτέλεσμα ο ωστενίτης που τον περιβάλλει να γίνει φτωχότερος σε άνθρακα.

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

Μ' αυτό τον τρόπο αναπτύσσονται πλακοειδείς κρυσταλλίτες από φερρίτη και σεμεντίτη εναλλάξ, οι οποίοι και αποτελούν τον περλίτη (παράγρ. 17.1). Ο σχηματισμός του περλίτη συνεχίζεται μέχρι που να καταναλωθεί ο ωστενίτης που υπάρχει. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα του περλίτη είναι ακριβώς 0,80%. Μικροφωτογραφία* περλιτικού κρυσταλλικού ιστού δίνεται στο σχήμα 17.2γ(α).

Οπιοσδήποτε υποευτηκτοειδής χάλυβας θα έχει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κρυσταλλική δομή που θα αποτελείται από κόκκους φερρίτη και από κόκκους περλίτη [σχ. 17.2α, περίπτωση (δ)]. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από ορισμένη θερμοκρασία, που προσδιορίζεται από τη γραμμή NS του διαγράμματος για ορισμένη αναλογία σε άνθρακα και τελειώνει στη θερμοκρασία των 723°C (γραμμή PS). Οι αναλογίες του φερρίτη και του περλίτη στο χάλυβα καθορίζονται από την περιεκτικότητά του σε άνθρακα. Όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα, αυξάνεται και η αναλογία του περλίτη.

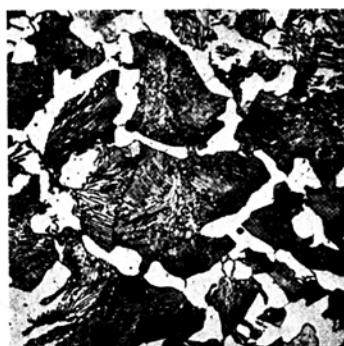
Μικροφωτογραφία της κρυσταλλικής δομής υποευτηκτοειδούς χάλυβα φαίνεται στο σχήμα 17.2γ(β).

* Τη μικροφωτογραφία την παίρνομε με το λεγόμενο **κρυσταλλογραφικό μικροσκόπιο**. Η επιφάνεια του δοκιμίου πρώτα λειαίνεται, σε υψηλό όμως βαθμό, σε ειδικές μηχανές λειάνσεως. Υστερα προσθάλλεται με το κατάλληλο για κάθε περίπτωση αντιδραστήριο και έτσι είναι έτοιμη για παρατήρηση ή και φωτογράφιση. Το πιο συνηθισμένο αντιδραστήριο για τους χάλυβες είναι το Nitral. Πρόκειται για διάλυμα 1% έως 2% νιτρικού οξέος και καθαρού οινοπνεύματος. Το Nitral προσθάλλει περισσότερο το φερρίτη από το σεμεντίτη, γιατί ο τελευταίος, επειδή είναι πολύ σκληρότερος, αντέχει περισσότερο στην προσθολή. Έτσι, επάνω στην επιφάνεια που εξετάζομε, οι πλακοειδείς κρυσταλλίτες του σεμεντίτη εξέχουν περισσότερο και σκιάζονται έντονα. Στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο βλέπουμε το φερρίτη σε λευκές ζώνες και το σεμεντίτη σε μαύρες ζώνες. Επειδή οι ζώνες αυτές έχουν μικρό πάχος, η ανάλυση των κόκκων του περλίτη γίνεται με αρκετά μεγάλες μεγεθύνσεις, δηλαδή $\times 500$ ή $\times 1000$.



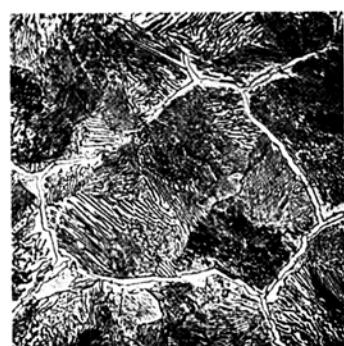
(α)

Κρυσταλλική δομή περλίτη [$\pi(C) = 0,80\%$]. Φαίνονται καθαρά οι πλακοειδείς κρυσταλλίτες του φερρίτη (λευκοί) και του σεμεντίτη (μαύροι).



(β)

Κρυσταλλική δομή υποευτηκτοειδούς ανθρακούχου χάλυβα [$\pi(C) = 0,60\%$]. Οι λευκοί κρυσταλλίτες είναι φερρίτης και οι σκοτεινοί είναι περλίτης. Φαίνεται επίσης η χαρακτηριστική μορφή των κρυσταλλιτών του περλίτη.



(γ)

Κρυσταλλική δομή υπερευτηκτοειδούς ανθρακούχου χάλυβα [$\pi(C) = 1,20\%$]. Ο σεμεντίτης (λευκός) περιβάλλει τους κρυσταλλίτες του περλίτη.

Σχ. 17.2γ.

Κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύθων (μικροφωτογραφίες).

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

Ο χάλυβας αυτός διατηρείται σαν ωστενίτης [σχ. 17.2α, περίπτωση (ε)] μέχρι τη θερμοκρασία των 723°C (ευτηκτοειδές σημείο S). Ο μετασχηματισμός του σε περλίτη (ισχύει ο προηγούμενος μηχανισμός μετασχηματισμού, σχ. 17.2β) αρχίζει και τελειώνει στη θερμοκρασία αυτή. Αφού ο άνθρακας που εξετάζεται στην περίπτωση αυτή περιέχει $0,80\%$ άνθρακα, είναι επόμενο ότι στο σύνολό του θα έχει κρυσταλλική δομή περλίτη [σχ. 17.2α, περίπτωση (στ)].

3) Χάλυθας με $\pi(C) = 1,20\%$ (υπερευτηκτοειδής).

Ο χάλυθας αυτός θα αρχίσει να μετασχηματίζεται από την κατάσταση του ωστενίτη [σχ. 17.2a, περίπτωση (ζ)], όταν η θερμοκρασία του πέσει κάτω από το σημείο 2 του διαγράμματος. Εφόσον ο άνθρακας είναι περισσότερος από την ευτηκτοειδή αναλογία (0,80%), αρχίζει να αποχωρίζεται πρώτος, όχι όμως σαν καθαρός άνθρακας, αλλά σαν **πρωτογενής σεμεντίτης***.

Η μορφή του σεμεντίτη αυτού είναι θελονοειδής, επικάθεται δε αυτός στα όρια των κόκκων του ωστενίτη [σχ. 17.2a, περίπτωση (η)]. Συνέπεια αυτού είναι να γίνεται ο ωστενίτης προοδευτικά φτωχότερος σε άνθρακα [σχ. 17.2a, περίπτωση (θ)] και όταν η θερμοκρασία φθάσει τους 723°C (σημείο 2'), τότε ο ωστενίτης θα περιέχει 0,80% άνθρακα. Ο ωστενίτης αυτός θα μετασχηματίσθει, κατά τα γνωστά, ολόκληρος σε περλίτη. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κάθε υπερευτηκτοειδής χάλυθας θα έχει στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κρυσταλλική δομή από κόκκους σεμεντίτη και περλίτη [σχ. 17.2a, περίπτωση (ι)]. Επειδή ο περλίτης περιέχει σταθερά 0,80% άνθρακα, έπεται ότι αύξηση της περιεκτικότητας του χάλυθα σε άνθρακα, συνεπάγεται ανάλογα αύξηση του πρωτογενή σεμεντίτη.

Μικροφωτογραφία της κρυσταλλικής δομής ανθρακούχου υπερευτηκτοειδούς χάλυθα δίνεται στο σχήμα 17.2g(γ).

* Πρωτογενής σεμεντίτης είναι εκείνος που σχηματίζεται πρώτος, δηλαδή πριν γίνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη που απομένει σε περλίτη (φερρίτη + σεμεντίτη).

ΜΕΡΟΣ ΕΒΔΟΜΟ

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

ΓΕΝΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

18.1 Ορισμός, σημασία και είδη θερμικών κατεργασιών.

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

Στο Μέρος αυτό θα ασχοληθούμε με τις θερμικές κατεργασίες των χαλύβων. Γιατί οι χάλυβες είναι από τα λίγα εκείνα κράματα της τεχνικής, τα οποία με θερμικές κατεργασίες μπορούν να αποκτήσουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ή και να αλλάξουν μηχανικές ιδιότητες. Αυτό οφείλεται σε μετασχηματισμούς της κρυσταλλικής τους δομής, οι οποίοι γίνονται στη στερεά κατάσταση (κεφ. 17). Εδώ πρέπει να σημειώσουμε, ότι για λόγους απλότητας, θα μελετήσουμε βασικά τις θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων (παράγρ. 17.2). Θα προσθέσουμε όμως και γενικές παρατηρήσεις για τις θερμικές κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων (παράγρ. 19.11). Η εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών των χαλύβων έχει εξαιρετική σημασία. Είναι δυνατό τεμάχιο (κομμάτι) χάλυβα σταθερής χημικής συνθέσεως, μετά από κατάλληλη θερμική κατεργασία ή συνδυασμό θερμικών κατεργασιών, να αποκτήσει διαφορετική κάθε φορά κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκων. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε, ότι με τις θερμικές κατεργασίες δεν επενεργούμε ούτε στη μορφή του τεμαχίου ούτε στη χημική του σύνθεση, αλλά μόνο στο είδος της κρυσταλλικής του δομής. Όπως θα δούμε στα επόμενα, οι μηχανικές ιδιότητες του κράματος εξαρτώνται από το είδος της κρυσταλλικής του δομής και από το μέγεθος των κόκκων του. Επειδή με τις θερμικές κατεργασίες, σύμφωνα με τον ορισμό που δώσαμε, μπορούμε να ρυθμίζουμε αυτά τα δυο, έπειτα ότι μπορούμε να πετύχουμε τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε. Έτσι, με την εκτέλεση καταλλήλων θερμικών κατεργασιών, μπορούμε όχι μόνο να αυξήσουμε π.χ. τη

σκληρότητα του χάλυβα, αλλά και να θελτιώσουμε την αντοχή, τη δυσθραυστότητα και την πλαστικότητά του. Και σαν παράδειγμα αναφέρομε τον υποευτηκτοειδή χάλυβα (παράγρ. 17.2) με $\pi(C) = 0,30\%$, που είναι δυνατό να αποκτήσει τις μηχανικές ιδιότητες του Πίνακα 18.1.1, που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους για τις θερμικές κατεργασίες αυτού του Πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 18.1.1

Μηχανικές ιδιότητες ανθρακούχου χάλυβα με $\pi(C) = 0,30\%$ έπειτα από διάφορες θερμικές κατεργασίες

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

*Με τυποποιημένο δοκίμιο κρούσεως σύμφωνα με τη μέθοδο IZOD (σχ. 8a).

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

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

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

- α) Η πλήρης ανόπτηση ή απλά ανόπτηση.
- β) Η εξομάλυνση.
- γ) Η ανόπτηση για ανακρυστάλλωση.
- δ) Η αποτατική ανόπτηση.
- ε) Η ανόπτηση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη.
- στ) Η βαφή και
- η) η επαναφορά.

Θεωρούμε σκόπιμο, στο Μέρος αυτό των θερμικών κατεργασιών να συμπεριλάβομε και τις **θερμοτεχνικές κατεργασίες** καταλλήλων χαλύβων με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Οι κατεργασίες αυτές είναι η **ενανθράκωση** και η **εναζώτωση**, που δίνουν μεγάλη σκληρότητα στην επιφανειακή στιβάδα (ζώνη)

των τεμαχίων, ενώ η αντοχή και η δυσθραυστότητα του πυρήνα παραμένουν σε ανεκτά όρια. Αναφέρομε επίσης και τη **φλογοθαφή**, καθώς και τη βαφή με **ηλεκτρομαγνητική επαγωγή**, με τις οποίες πετυχαίνομε επίσης επιφανειακή σκλήρωση τεμαχίων από χάλυβα, ο οποίος όμως επιδέχεται βαφή.

18.2 Επίδραση της ταχύτητας αποψύξεως.

1) Ήρεμη απόψυξη.

Στην παράγραφο 17.2 μελετήσαμε το διάγραμμα θερμικής ισορροπίας των ανθρακούχων χαλύβων (κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη).

Στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σχηματίζεται φερρίτης και περλίτης, μόνο περλίτης, ή περλίτης και σεμεντίτης ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα. Αυτό όμως είναι αποτέλεσμα βραδύτατης αποψύξεως του κράματος (ωστενίτη) από θερμοκρασίες υψηλότερες του ανώτερου κρίσιμου σημείου. Η απόψυξη αυτή είναι γνωστή σαν **απόψυξη κάτω από συνθήκες ισορροπίας των φάσεων** (παράγρ. 4.1).

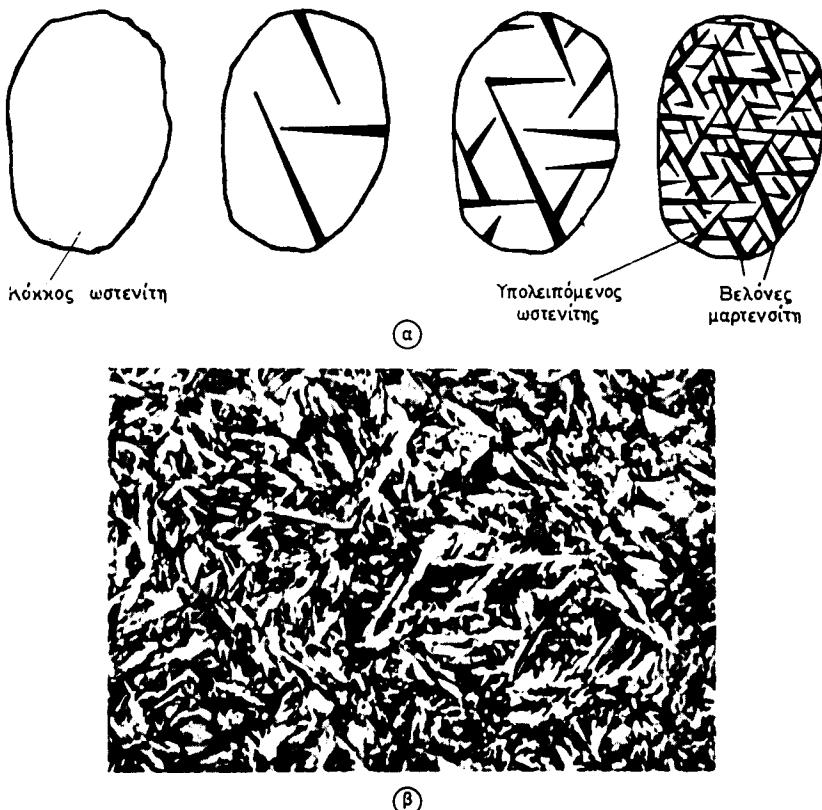
Η ταχύτητα αποψύξεως στην περίπτωση αυτή είναι τόσο μικρή, ώστε να δοθεί στο κράμα η ευκαιρία και ο χρόνος που απαιτείται να αποκτήσει την κρυσταλλική του δομή με τρόπο πλήρη και φυσιολογικό. Έτσι παίρνομε το μαλακότερο χάλυβα και στην πιο ευσταθή του κατάσταση.

2) Απότομη απόψυξη.

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

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

Ας εξετάσουμε τώρα με περισσότερη λεπτομέρεια, τι συμβαίνει στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα μετά από απότομη απόψυξη του μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Παίρνομε τεμάχιο ανθρακούχου ευτηκτοειδούς χάλυβα, δηλαδή με $\pi(C) = 0,80\%$, το οποίο πυρώνομε σε θερμοκρασία περίπου 50°C πάγω από τους 723°C (σημείο S του διαγράμματος του σχήματος 17.2a). Το τεμάχιο παραμένει στη θερμοκρασία αυτή τόσο χρόνο, ώστε να αποκτήσει δομή ωστενίτη. Μετά αποψύχεται απότομα μέσα σε λουτρό ψυχρού νερού ή αλατούχου νερού. Στην περίπτωση αυτή έχομε, όπως λέμε, τυπική βαφή του χάλυβα. Αποτέλεσμα της απότομης αποψύξεως του είναι η εμφάνιση στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ενός νέου κρυσταλλικού είδους που ονομάζεται **μαρτενσίτης**. Αυτός είναι εντελώς διαφορετικός από τον περλίτη [σχ. 17.3γ(α)], ο οποίος σχηματίζεται, όταν η απόψυξη του χάλυβα είναι ήρεμη. Ο μαρτενσίτης αποτελείται από λεπτούς βελονοειδείς κρυσταλλίτες, πολύ σκληρούς και εύθραυστους, που προσανατολίζονται κατά τις πλευρές ισόπλευρου τριγώνου κατά προσέγγιση [σχ. 18.2a(α)]. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη φαίνεται σχηματικά στο ίδιο σχήμα. Συνοπτικά ο



Σχ. 18.2α.

α) Σχηματική παράσταση μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενίτη. Το σχήμα παριστάνει ένα κόκκο ωστενίτη σε θερμοκρασίες που προοδευτικά γίνονται μικρότερες από τη θερμοκρασία ενάρξεως του μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενίτη θ_c (σχ. 18.3). Όταν συμπληρωθεί ο μετασχηματισμός, μεταξύ των βελονών του μαρτενίτη παραμένει ο λεγόμενος «*υπολειπόμενος ωστενίτης*» (λευκές επιφάνειες). β) Κρυσταλλική δομή ανθρακούχου χάλυβα με $\pi(C) = 1,30\%$ θαρμένου σε αλατούχο νερό και με μεγέθυνση $\times 500$. Χαρακτηριστικά διακρίνεται η βελονοειδής υφή της.

μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενίτη γίνεται ως εξής:

Όπως γνωρίζομε (παράγρ. 3.2 και 17.1), ο ωστενίτης είναι στερεό διάλυμα παρεμβολής άνθρακα σε γ-σίδηρο (κεφ. 16).

Κατά την απόψυξη ο γ-σίδηρος μετασχηματίζεται σε α-σίδηρο, αλλά όμως, επειδή η απόψυξη έγινε απότομα, ο άνθρακας που θρίσκεται στο πλέγμα του γ-σιδήρου, δεν μπορεί να εγκαταλείψει το πλέγμα του α-σιδήρου, αν και δεν διαλύεται σε αυτό. Επομένως, αναγκαστικά ο άνθρακας παραμένει κλεισμένος στον α-σίδηρο (φερρίτη). Ο *μαρτενίτης* επομένως *είναι φερρίτης υπερκορεσμένος σε άνθρακα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, που θρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας*. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι ο άνθρακας, που είναι

κλεισμένος στο φερρίτη, μπορεί να φθάσει και μέχρι 1,50%, ενώ με την ήρεμη απόψυξη του χάλυβα δεν υπερβαίνει τα 0,025%.

Ο περισσευούμενος άνθρακας στρεβλώνει το κρυσταλλικό πλέγμα του φερρίτη και το μετατρέπει από χωροκεντρωμένο κυβικό σε χωροκεντρωμένο τετραγωνικό (η διάσταση θ του πλέγματος γίνεται μεγαλύτερη) (σχ. 2.5a).

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

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

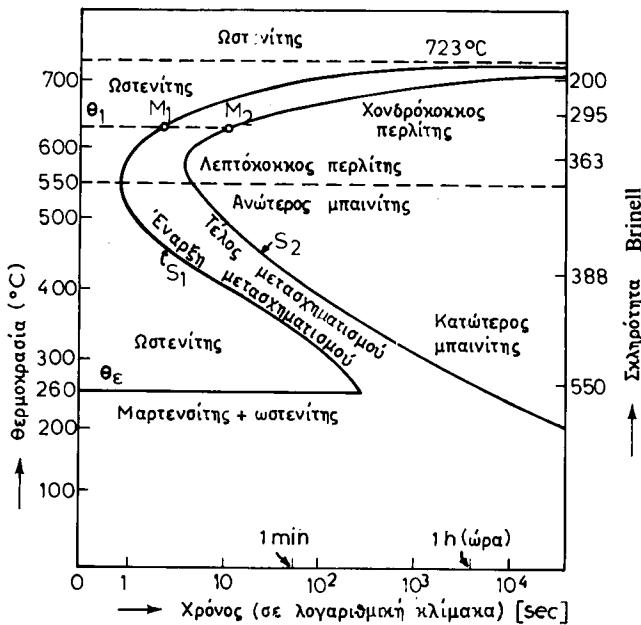
3) Απόψυξη με ενδιάμεσες ταχύτητες.

Μέχρι τώρα έχομε εξετάσει τους μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα στις ακραίες περιπτώσεις, δηλαδή στην ήρεμη και την απότομη απόψυξη. Μας ενδιαφέρει όμως να μελετήσουμε τι συμβαίνει, όταν ο χάλυβας αποψύχεται με ενδιάμεσες ταχύτητες. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται, όπως λέγεται, η **ισόθερμος βαφή**. Με τη βοήθειά της καταρτίζεται νέο διάγραμμα, το **διάγραμμα Χρόνου - Θερμοκρασίας - Μετασχηματισμού [διάγραμμα X - Θ - M]** (σχ. 18.26)], με το οποίο θα ασχοληθούμε τώρα. Αυτό δε γίνεται, γιατί στο διάγραμμα θερμικής ισορροπίας του χάλυβα που μελετήσαμε (σχ. 17.2a), δεν υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου σε ορισμένη θερμοκρασία, ούτε η ταχύτητα αποψύξεώς του.

Στην απόψυξη με ενδιάμεσες ταχύτητες αποψύξεως προκύπτουν νέα κρυσταλλικά είδη μεταξύ περλίτη και μαρτενσίτη, τα οποία έχουν μεγάλη σημασία στη βιομηχανική χρήση των χαλύβων. Τα νέα αυτά κρυσταλλικά είδη είναι ο **ανώτερος μπανίτης** και ο **κατώτερος μπανίτης** (σχ. 18.28 και 18.3).

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

Ο καλύτερος τρόπος για να αντιληφθούμε την αξία των διαγραμμάτων X-Θ-M είναι να παρακολουθήσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτά καταρτίζονται. Γι' αυτό διαλέγομε ευτηκοειδή ανθρακούχο χάλυβα. Κατασκευάζουμε μικρά δοκίμια του χάλυβα αυτού και τα θερμαίνουμε (πυρώνομε) σε θερμοκρασία κατά 50°C περίπου υψηλότερη από το ανώτερο κρίσιμο σημείο (723°C στην περίπτωση αυτή) για μισή περίπου ώρα, ώστε να αποκτήσουν δομή ωστενίτη. Κατόπιν, τα δοκίμια εμβαπτίζονται σε λουτρό αλάτων προκαθορισμένης σταθερής θερμοκρασίας θ₁, μικρότερης των 723°C, ώστε πολύ γρήγορα να αποκτήσουν τη θερμοκρασία αυτή. Αμέσως μετά, κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα, κάθε δοκίμιο αποψύχεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε κρύο νερό ή αλατούχο νερό. Το δοκίμιο υφίσταται με αυτό τον τρόπο βαφή. Μετράται η σκληρότητα κάθε δοκίμου και εξετάζεται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο η κρυσταλλική δομή του. Έτσι, προσδιορίζεται για κάθε θερμοκρασία θ₁, το σημείο που αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (σημείο M₁) και το σημείο που τελειώνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (σημείο M₂), όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 18.26. Με αυτό τον τρόπο με διαφορετικές θερμοκρασίες θ₁, το σημείο M₁ διαγράφει την καμπύλη S₁ και το σημείο M₂ την καμπύλη S₂. Σε κάθε σημείο της καμπύλης S₁ αρχίζει ο



Σχ. 18.28.

Το διάγραμμα X-Θ-Μ ανθρακούχου ευτηκτοειδούς χάλυβα.

μετασχηματισμός του ωστενίτη (100% ωστενίτης) και σε κάθε σημείο της καμπύλης S_2 τελειώνει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (0% ωστενίτης). Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο σχήμα 18.28, τα διαγράμματα αυτά έχουν μορφή S , για κάθε δε περιεκτικότητα σε άνθρακα του χάλυβα αντιστοιχεί ιδιαίτερο διάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος τίθεται ο χρόνος, σε κλίμακα δύναμης λογαριθμική κλίμακα. Έτσι, μπορούν να τεθούν πολύ μικροί χρόνοι, όπως δευτερόλεπτα, αλλά και πολύ μεγάλοι, όπως ημέρες ή εβδομάδες (σχ. 18.28). Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος τίθεται η θερμοκρασία.

Από το διάγραμμα X-Θ-Μ του σχήματος 18.28 του ευτηκτοειδούς χάλυβα προκύπτουν τα ακόλουθα:

Σε θερμοκρασίες θ_1 μεταξύ 550°C περίπου και λίγο κάτω των 723°C σχηματίζεται κατά την ισόθερμη βαφή περλίτης [σχ. 17.2γ(α)], που γίνεται τόσο περισσότερο λεπτόχοκκος και σκληρότερος, όσο η θερμοκρασία θ_1 είναι χαμηλότερη. Έτσι, σε θερμοκρασία $\theta_1 = 700^\circ\text{C}$ σχηματίζεται χονδρόχοκκος περλίτης με σκληρότητα περίπου 200 Brinell, σε $\theta_1 = 650^\circ\text{C}$ σχηματίζεται περλίτης με κόκκυνς μεσαίου μεγέθους και σκληρότητα 295 Brinell και σε $\theta_1 = 580^\circ\text{C}$ σχηματίζεται λεπτόχοκκος περλίτης με σκληρότητα 363 Brinell. Σε θερμοκρασία θ_2 μεταξύ λίγο κάτω από 550°C και πάνω από 260°C (θερμοκρασία θ_2 ενάρξεως σχηματισμού του μαρτενσίτη για τον ευτηκτοειδή χάλυβα, σχ. 19.7α) σχηματίζεται νέο κρυσταλλικό είδος, ο **μπαινίτης**. Αποτελείται από πλάκες φερρίτη και σεμεντίτη, δύος και ο περλίτης, με τη διαφορά δύναμης ότι οι κρυσταλλίτες του φερρίτη και σεμεντίτη, δύος και ο περλίτης, και δεν διακρίνονται καλά στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Ο μπαινίτης για θερμοκρασίες όχι πολύ κάτω από 550°C ονομάζεται **ανώτερος μπαινίτης**, με σκληρότητα περίπου 390 Brinell για $\theta_1 = 420^\circ\text{C}$, ενώ για θερμοκρασία κοντά στους 260°C ονομάζεται **κατώτερος μπαινίτης** με σκληρότητα 550 Brinell σε $\theta_1 = 270^\circ\text{C}$.

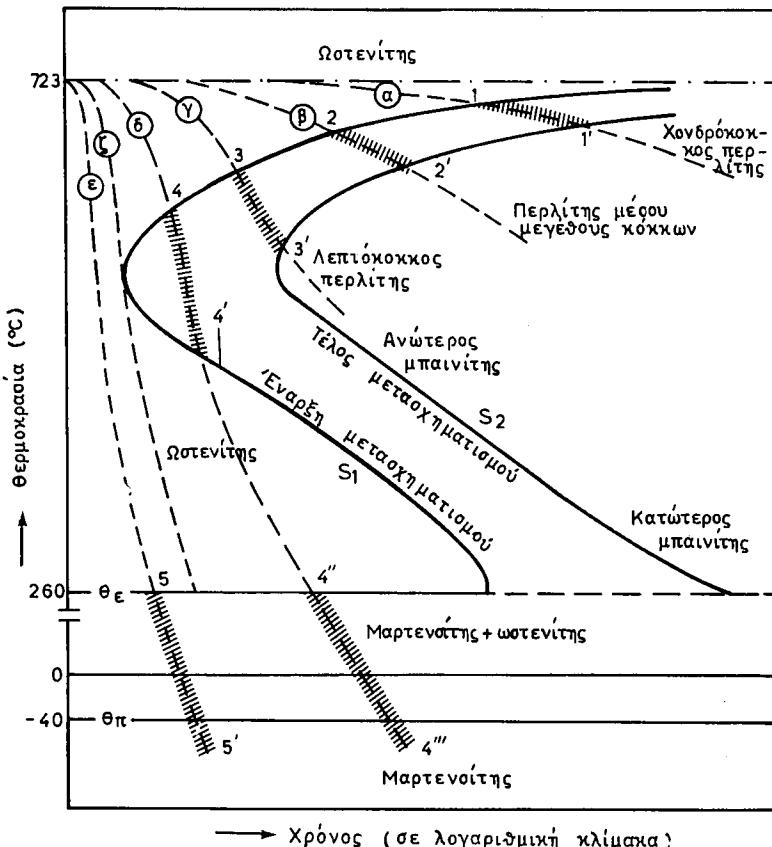
18.3 Συνδυασμός των καμπυλών αποψύξεως χάλυβα και του διαγράμματος X-Θ-Μ.

Στην πράξη ο χάλυβας δεν θάφεται με ισόθερμη θαφή, αλλά με συνεχή θαφή. Δηλαδή από τη θερμοκρασία, όπου θρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη, αποψύχεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μέσα σε κατάλληλο υγρό. Το υγρό αυτό αποψύξεως είναι συνήθως νερό, λάδι ή αέρας.

Η ταχύτητα αποψύξεως αυξάνεται κατά τη σειρά των συνηθισμένων μέσων θαφής: αέρας, λάδι, νερό. Σε κάθε μέσο αποψύξεως αντιστοιχεί και ορισμένη καμπύλη αποψύξεως, που μπορεί να παρασταθεί στους ίδιους άξονες, όπως και το διάγραμμα X-Θ-Μ, δηλαδή στον άξονα του χρόνου και της θερμοκρασίας (σχ. 18.3). Εδώ υποθέτομε ότι το διάγραμμα X-Θ-Μ του χάλυβα, που εξετάζομε, μπορεί κατά προσέγγιση να χρησιμοποιούμε και για συνθήκες συνεχούς θαφής.

Ας παρακολουθήσουμε τα διαγράμματα του σχήματος 18.3, τα οποία επίσης αναφέρονται σε ευτηκτοειδή ανθρακούχο χάλυβα. Οι καμπύλες αποψύξεως (α), (θ), (γ), (δ), (ε), (ζ) αντιστοιχούν σε διάφορες ταχύτητες αποψύξεως και μάλιστα συνεχώς αυξανόμενες από την καμπύλη (α) μέχρι την καμπύλη (ε).

Η καμπύλη αποψύξεως (α) παριστάνει απόψυξη με χαμηλή ταχύτητα, όπως συμβαίνει στην



Σχ. 18.3.

Καμπύλες αποψύξεως - Διάγραμμα X-Θ-Μ ευτηκτοειδούς ανθρακούχου χάλυβα.

ανόπτηση του χάλυβα (παράγρ. 19.2). Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα, ο χάλυβας παραμένει στην κατάσταση του ωστενίτη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από το σημείο 1 και τελειώνει στο σημείο 1'. Το προϊόν του μετασχηματισμού αυτού είναι χονδρόκοκκος περλίτης με χαμηλή σκληρότητα, πράγμα που ήδη έχουμε πει. Επειδή η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων 1 και 1' είναι πολύ μικρή, έπειτα ότι πολύ μικρή θα είναι και η διαφορά του μεγέθους των κόκκων του περλίτη στην έναρξη (σημείο 1) και στο τέλος (σημείο 1') του μετασχηματισμού του ωστενίτη. Κάτω από το σημείο 1' η ταχύτητα αποψύξεως δεν έχει πια καμιά επίδραση στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα. Το τεμάχιο, συνεπώς, μπορεί να αποψυχθεί και με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα χωρίς να παρατηρηθεί καμιά άλλη μεταβολή στη δομή του. Αυτό έχει σημαντική σημασία από άποψη οικονομική, γιατί δύσα διαρκεί η ανόπτηση δεν είναι απαραίτητο να παραμένουν τα τεμάχια μέσα στον κλίβανο ανοπτήσεως, μέχρι που να αποψυχθούν εντελώς, αλλά είναι δυνατό μετά το σημείο 1' να βγούν από τον κλίβανο και να αφεθούν στον ελεύθερο αέρα. Έτοις ο χρόνος της ανοπτήσεως μπορεί να μειωθεί πάρα πολύ.

Η καμπύλη (8) αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα αποψύξεως και μπορεί να θεωρηθεί σαν τυπική καμπύλη για τη θερμική κατεργασία της **εξομαλύνσεως** (παράγρ. 19.3). Στο διάγραμμα φαίνεται ότι ο ωστενίτης μετασχηματίζεται σε χονδρόκοκκο περλίτη (σημείο 2) και σε περλίτη που έχει μεσαίο μέγεθος κόκκων (σημείο 2'). Επειδή η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων 2 και 2' είναι μεγαλύτερη από δύσα είναι στην ανόπτηση, ο χάλυβας μετά από εξομάλυνση παρουσιάζει κρυσταλλική δομή κάπως ανομοιόμορφη, με μικρότερο όμως ποσοστό χονδρόκοκκου περλίτη.

Η καμπύλη αποψύξεως (γ) είναι τυπική της **βαφής** (παράγρ. 19.7) του χάλυβα σε λάδι, η δε κρυσταλλική του δομή θα περιλαμβάνει λεπτόκοκκο περλίτη και περλίτη με κόκκους μεσαίου μεγέθους. Η καμπύλη (δ) είναι χαρακτηριστική ενδιάμεσης ταχύτητας αποψύξεως. Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αρχίζει από το σημείο 4 και τελειώνει, όχι τελείων, στο σημείο 4', δύσα ορισμένο ποσοστό ωστενίτη έχει μετασχηματισθεί σε λεπτόκοκκο περλίτη, που περιβάλλεται από τον ωστενίτη που έχει απομείνει. Στο σημείο 4'' (θερμοκρασία θ_e), αφού προτιγουμένως η θερμοκρασία έχει αρκετά μειωθεί, αρχίζει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη αυτού σε μαρτενσίτη, στο σημείο δε 4''' (θερμοκρασία θ_n) ο ωστενίτης έχει τελείως μετασχηματισθεί σε μαρτενσίτη.

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

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

ΟΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε την εκτέλεση των διαφόρων θερμικών κατεργασιών στην πράξη, αφού πάντα έχομε στο νου μας ό,τι σχετικό είπαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο για τις γενικές αρχές που διέπουν τις θερμικές κατεργασίες. Θα μας απασχολήσει κυρίως ο τρόπος με τον οποίο εκτελούνται οι θερμικές κατεργασίες και τι πετυχαίνομε με αυτές.

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

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται:

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

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

19.1 Μέτρηση της θερμοκρασίας.

1) Θερμομετρικές κλίμακες.

Σε πολλές χώρες η κανονική θερμομετρική κλίμακα είναι η εκατοντάθαμη ή κλίμακα Κελσίου. Όμως στις αγγλοσαξωνικές χώρες (Αγγλία, Αμερική) χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η θερμομετρική κλίμακα Φαρενάιτ (Fahrenheit).

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

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

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

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

2) Μέτρηση της θερμοκρασίας με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού.

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

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

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

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

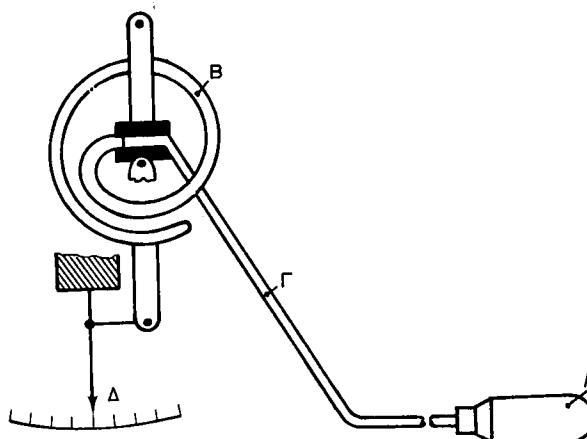
Κίτρινος βαθύς	σε 220°C
Χρυσοκίτρινος	σε 245°C
Ερυθροκαστανός	σε 265°C
Κόκκινος (πορφυρούς)	σε 275°C
Γαλανός ανοικτός (κυανούς)	σε 290°C
Γαλανός βαθύς (κυανούς)	σε 300°C
Γκριζογάλανος (κυανοτεφρόχρους)	σε 310°C
Γκρι (τεφρόχρους)	σε 325°C

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

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

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

Το θερμόμετρο διαστολής υγρού αποτελείται από φούσκα A (σχ. 19.1α), που τοποθετούμε



Σχ. 19.1α.
Θερμόμετρο διαστολής υγρού.

στο χώρο, του οποίου θέλομε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία και από σωλήνα Β. Ο σωλήνας αυτός στην άκρη του έχει δείκτη Δ ή πέννα καταγραφής για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Η φούσκα Α και ο σωλήνας Β συνδέονται μεταξύ τους με τριχοειδή (με πολύ μικρή διάμετρο) σωλήνα Γ.

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

Χρησιμοποιούνται τα εξής υγρά ανάλογα με τη θερμοκρασία:

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

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

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

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

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

4) Θερμόμετρο ηλεκτρικής αντιστάσεως.

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

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

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

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

5) Θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα.

Αυτά χρησιμοποιούνται πολύ στη μεταλλουργία και μεταλλοτεχνία για τη μέτρηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας μέχρι περίπου 1650°C. Το θερμοηλεκτρικό πυρόμετρο του σχήματος 19.18 αποτελείται από τα εξής μέρη:

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

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

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

δ) Τους συνδετικούς αγωγούς.

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

Η αρχή του πυρομέτρου αυτού είναι η εξής:

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

Η εφαρμογή της αρχής αυτής φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 19.16. Για τη σύνδεση του θερμοηλεκτρικού ζεύγους με το όργανο χρησιμοποιούνται συνήθως αγωγοί από χαλκό, γιατί τα σύρματα των περισσότερων θερμοηλεκτρικών ζευγών είναι πολύ ακριβά και το όργανο τοποθετείται μακριά από το ζεύγος.

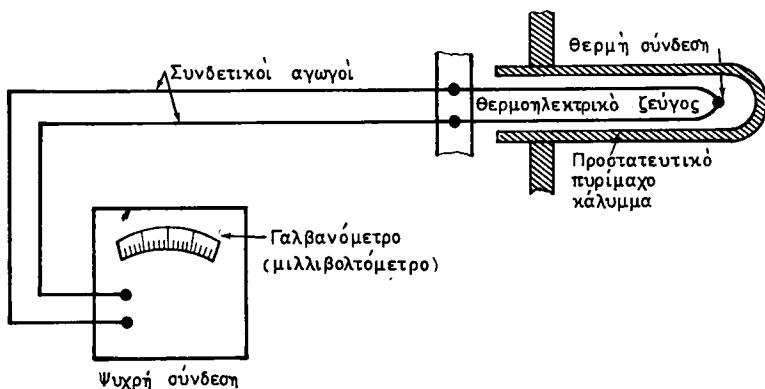
Τα μέταλλα ή κράματα, που χρησιμοποιούνται συνήθως στα θερμοηλεκτρικά ζεύγη μαζί με τα χαρακτηριστικά τους, δίνονται στον Πίνακα 19.1.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 19.1.1
Χαρακτηριστικά συνηθισμένων θερμοηλεκτρικών ζευγών**

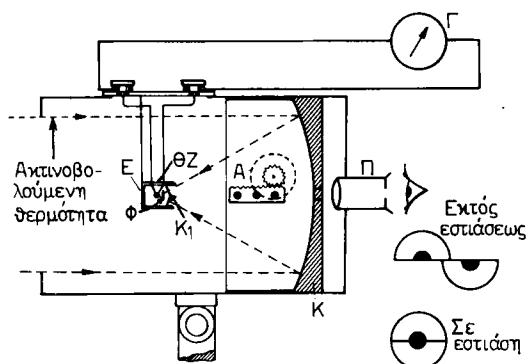
Θερμοηλεκτρικό ζεύγος	Χημική σύνθεση [%]	Περιοχή θερμοκρασίας [°C]	Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας* [°C]
Χαλκός-Κονσταντάν	Καθαρός χαλκός Cu	Κονσταντάν Cu : 60 Ni : 40	-200 έως 300 600
Σίδηρο-Κονσταντάν	Καθαρός σίδηρος Fe	Κονσταντάν Cu : 60 Ni : 40	-200 έως 750 1000
Χρωμέλ-Αλουμέλ	Χρωμέλ Ni : 90 Cr : 10	Αλουμέλ Ni : 95 Al : 2 Mn : 3	-200 έως 1200 1350
Λευκόχρυσος-Λευκόχρυσος, ρόδιο	Καθαρός λευκόχρυσος Pt	Λευκόχρυσος - ρόδιο Pt : 90 Rh : 10	0 έως 1450 1700

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

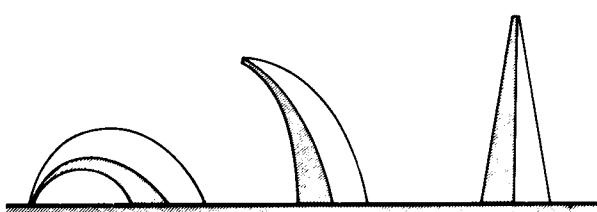
Όπως γνωρίζομε, οι ενδείξεις του γαλβανομέτρου θα είναι σε mV, ενώ είναι αναγκαίο οι ενδείξεις αυτές να εκφράζονται σε βαθμούς θερμοκρασίας. Αυτό το επιτυγχάνομε με τη **θαλαμονόμηση** του πυρομέτρου, που γίνεται ή με σύγκριση προς πρότυπο πυρόμετρο (πυρόμετρο γνωστής μεγάλης ακριβείας) ή σχετικά προς τα γνωστά σημεία τήξεως ορισμένων καθαρών μετάλλων (Πίνακας 2.4.1). Κατά τη θαλαμονόμηση, το πυρόμετρο συνδέεται ακριβώς όπως θα χρησιμοποιηθεί στην πράξη.



Σχ. 19.16.
Διάταξη απλού θερμοηλεκτρικού πυρομέτρου.



Σχ. 19.1γ.
Διάταξη περιμέτρου ακτινοβολίας.



Σχ. 19.1δ.
Δείκτες θερμοκρασίας του Seger.

Τα ενδεικτικά όργανα των θερμοηλεκτρικών πυρομέτρων συνήθως βαθμονομούνται σε βαθμούς Κελσίου ή και Φαρενάιτ. Πρέπει να γνωρίζομε πάντα ότι αυτή η βαθμονόμηση ισχύει για ορισμένο θερμοηλεκτρικό ζεύγος και ηλεκτρικό κύκλωμα (σχ. 19.16).

6) Πυρόμετρα ακτινοβολίας.

Στην πράξη χρειάζεται συχνά να μετρήσουμε πολύ υψηλές θερμοκρασίες που δεν μπορούν να μετρηθούν με τα πυρόμετρα που έχουμε ήδη περιγράψει. Επίσης απαιτείται συχνά η μέτρηση θερμοκρασιών διαφόρων επιφανειών στις οποίες δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε τα γνωστά θερμοηλεκτρικά ζεύγη. Αυτές οι δυσκολίες αντιμετωπίζονται με τη χρησιμοποίηση του **πυρομέτρου ακτινοβολίας**, το οποίο δεν χρειάζεται να εφάπτεται με τη θερμή επιφάνεια, της οποίας μετράμε τη θερμοκρασία.

Το πυρόμετρο αυτό βασίζεται: α) Στην αρχή (νόμος Steffan - Boltzmann), ότι η ποσότητα της ενέργειας που ακτινοβολείται από θερμό μελανό σώμα, είναι ανάλογη με την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας του ($T = 273^\circ + ^\circ C$) και β) στην αρχή του θερμοηλεκτρικού ζεύγους που αναπτύξαμε παραπάνω. Τυπικό πυρόμετρο αυτού του είδους είναι το γνωστό πυρόμετρο του Fergy (σχ. 19.1γ). Είναι ένα είδος τηλεσκοπίου, που δέχεται την ακτινοβολούμενη θερμότητα από τρύπα (οπή) του κλιβάνου και που με τη βοήθεια κοίλου κατόπτρου Κ τη συγκεντρώνει σε θερμοηλεκτρικό ζεύγος Ζ. Το θερμοηλεκτρικό ζεύγος θρίσκεται σε επαφή με μικρό φύλλο πλατίνας Φ μαυρισμένο με αιθάλη, ώστε όλη η θερμότητα που αντανακλάται από το κοίλο κατόπτρο να απορροφάται από αυτό.

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

Η εστίαση του κατόπτρου Κ επιτυγχάνεται με τον προσοφθάλμιο φακό Π, που βλέπει στα δυο κάτοπτρά Κ₁ που ανακλούν την εικόνα της τρύπας.

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

7) Δείκτες θερμοκρασίας του Seeger.

Αυτοί οι δείκτες είναι τριγωνικές ορθές πυραμίδες από υλικά που τήκονται σε ορισμένη γνωστή για το καθένα θερμοκρασία. Αυτές οι πυραμίδες παραμορφώνονται όπως φαίνεται στο σχήμα 19.1δ. Κατασκευάζονται από μίγματα καολίνου, ανθρακικού νατρίου, οξειδίου του σιδήρου και από άλλα.

Η σύνθεση των πυραμίδων επιτρέπει την τήξη τους διαδοχικά ανά 10° , 20° , ή $50^\circ C$. Επάνω σε πυρίμαχη πλάκα και σε κατάλληλη θέση (να μπορούμε να παρακολουθήσουμε) μέσα στον κλίθανο τοποθετούμε αριθμό πυραμίδων με σημεία τήξεως κοντινά με τη θερμοκρασία που πρόκειται να μετρήσουμε. Η θερμοκρασία δίνεται από εκείνο το δείκτη (πυραμίδα), που λυγίζει και αγγίζει την πυρίμαχη πλάκα (σχ. 19.1δ).

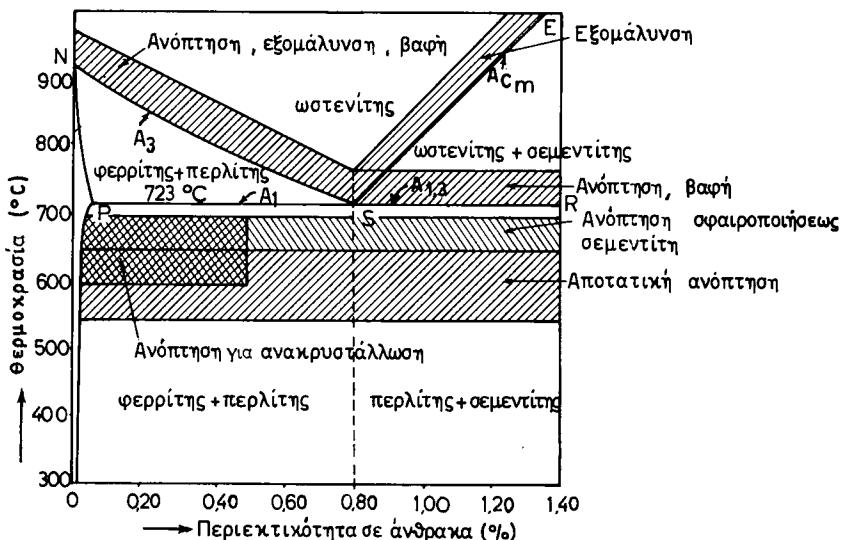
19.2 Πλήρης ανόπτηση ή ανόπτηση.

Αυτή η θερμική κατεργασία συνίσταται:

α) Στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη ($50^\circ C$ περίπου) από εκείνη που προσδιορίζεται από τη γραμμή NS ή A₃ ή SR ή A_{1,3} των σχημάτων 17.2α και 19.2α, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα.

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

γ) στην ήρεμη απόψυξή του, συνήθως μέσα στον ίδιο τον κλίθανο ανοπτήσεως. Η απόψυξη συνεχίζεται μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο ανοπτημένος



Σχ. 19.2a.

Περιοχή θερμοκρασιών διαφόρων ειδών ανοπτήσεως, εξομάλυνσεως και βαφής των ανθρακούχων χαλύβων. (Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται στην ίδια περιοχή μεταβολής της περιεκτικότητας σε άνθρακα με εκείνο του σχήματος 17.2a).

χάλυβας θεωρείται, ότι ανταποκρίνεται προς το χάλυβα **φυσιολογικής καταστάσεως**, όπως λέμε, δηλαδή όπως τον πάρνομε με ήρεμη απόψυξη από τη ρευστή του κατάσταση, χωρίς να έχει υποστεί καμιά θερμική ή μηχανική κατεργασία.

Η ανόπτηση έχει σκοπό:

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

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

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

Έτσι, ο βαμμένος π.χ. ευτηκτοειδής χάλυβας, που αποκτάει κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη (παράγρ. 18.2), μπορεί να επανέλθει με ανόπτηση στη φυσιολογική του κρυσταλλική δομή, δηλαδή στη δομή του περλίτη. Επίσης, ο χυτοχάλυβας, που συνήθως γίνεται χονδρόκοκκος, αν χυτευτεί σε καλούπια (τύπους) άμμου, λόγω της μικρής ταχύτητας αποψύξεως γίνεται λεπτόκοκκος και με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες μετά από ανόπτηση.

Η ανόπτηση δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε χάλυβες με υψηλή

περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως π.χ. είναι οι ανθρακούχοι χάλυβες εργαλείων [παράγρ. 21.3 (Α)]. Σ' αυτή την περίπτωση ο ανοπτημένος χάλυβας αποκτάει κόκκους περλίτη, που περιβάλλονται από δίκτυο σκληρού σεμεντίτη, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μικρή δυσθραυστότητα και δυσκολία σε μηχανική κατεργασία με κοπή.

1) Θέρμανση του χάλυβα.

Οι υπερευτηκοειδείς χάλυβες [$\text{π}(\text{C}) < 0,80\%$] θερμαίνονται 50°C πάνω από τη γραμμή NS του σχήματος 19.2a, ώστε να αποκτήσουν κρυσταλλική δομή ωστενίτη. Αν π.χ. η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα είναι 0,30%, η θερμοκρασία ανοπτήσεως θα είναι περίπου 890°C , ενώ αν είναι 0,60%, η θερμοκρασία ανοπτήσεως θα είναι περίπου 830°C . Οι υπερευτηκοειδείς χάλυβες ($\text{π}(\text{C}) > 0,80\%$) θα έπρεπε, για να αποκτήσουν δομή ωστενίτη, σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 19.2a, να θερμανθούν κατά 50°C πάνω από τη γραμμή SE.

Οι θερμοκρασίες δύναμης αυτές είναι πολύ υψηλές και ο χάλυβας γίνεται χονδρόκοκκος, πράγμα που είναι δυσμενές για τις μηχανικές του ιδιότητες. Γι' αυτό το λόγο η θερμοκρασία ανοπτήσεως αυτών των χαλύβων είναι περίπου κατά 50°C ανώτερη των 723°C (θερμοκρασία ευτηκοειδούς σημείου), δηλαδή περίπου 770°C . Οι θερμοκρασίες ανοπτήσεως, ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα, φαίνονται παραστατικά στο σχήμα 19.2a.

Για τους λόγους που είπαμε, η μέτρηση και γενικά ο έλεγχος της θερμοκρασίας κατά την ανόπτηση πρέπει να γίνεται με την αναγκαία ακρίβεια. Γι' αυτό το σκοπό συνήθως χρησιμοποιούνται τα θερμολεκτρικά πυρόμετρα (παράγρ. 19.1).

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

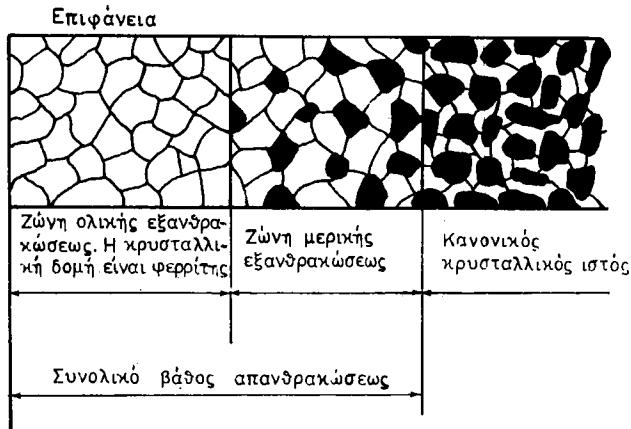
α) Απότομη θέρμανση προκαλεί ταχεία διαστολή της επιφάνειας του τεμαχίου, ιδιαίτερα σε τεμάχια που έχουν μεγάλη διατομή, ενώ ο πυρήνας του τεμαχίου λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας, διαστέλλεται λιγότερο. Η μεγάλη αυτή διαφορά διαστολής προκαλεί την ανάπτυξη ισχυρών εσωτερικών τάσεων, που μπορεί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

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

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

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

- Εμποδίζοντας τις φλόγες να έρχονται σε επαφή με τα τεμάχια.
- Δημιουργώντας ουδέτερη (χωρίς οξυγόνο) ατμόσφαιρα, συνήθως κάτω από πίεση, μέσα στο θάλαμο του κλιθάνου.
- Προστατεύοντας τα τεμάχια με κατάλληλη επιμετάλλωση (π.χ. επιχάλκωση) ή με κατάλληλη συσκευασία μέσα σε πυρίμαχα κιβώτια που έχουν απόδιπτα χυτοσιδήρου και - χρησιμοποιώντας κλίθανο λουτρού τηγμένων αλάτων (σχ. 19.10ζ), όπου τα τεμάχια



Σχ. 19.28.

Σχηματική παράσταση κρυσταλλικής δομής εξανθρακωμένου χάλυβα.

προφυλάσσονται τελείως από την επίδραση της ατμόσφαιρας.

Κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμάνσεως, ο άνθρακας της επιφανειακής στιβάδας των τεμαχίων μπορεί να καεί είτε τελείως είτε μερικώς και σε ορισμένο βάθος. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι ο χάλυβας **εξανθρακώνεται**. Στο σχήμα 19.28 φαίνεται η κρυσταλλική δομή της επιφανειακής στιβάδας εξανθρακωμένου χάλυβα. Για να αποφύγουμε την εξανθράκωση του χάλυβα πάρνομε ανάλογα μέτρα, όπως αυτά για να αποφύγουμε την οξείδωση. Η οξείδωση και η εξανθράκωση γίνονται συγχρόνως. Αν η ταχύτητα οξείδωσεως είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα εξανθρακώσεως, τότε σχηματίζεται επιφανειακά λεπτό στρώμα οξειδίου του σιδήρου και κάτω από αυτό ο χάλυβας έχει την κανονική του σύνθεση. Αν συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή αν η ταχύτητα εξανθρακώσεως είναι μεγαλύτερη, τότε ο χάλυβας χάνει επιφανειακά τον άνθρακα του και μένει σαν φερρίτης.

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

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

2) Απόψυξη του χάλυβα.

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

Γενικά η ανόπτηση είναι θερμική κατεργασία, η οποία χρειάζεται μεγάλο

χρονικό διάστημα για να εκτελεστεί και επομένως και το κόστος της είναι μεγάλο. Η μείωση του χρόνου αποψύξεως μπορεί να συμβεί, αν τα τεμάχια που είναι για ανόπτηση απομακρυνθούν από την κάμινο ανοπτήσεως μετά το σημείο 1' (σχ. 18.3, παράγρ. 18.3) και αφεθούν στον ελεύθερο, ήρεμο αέρα με σκοπό την πλήρη απόψυξή τους.

19.3 Εξομάλυνση.

Η **εξομάλυνση** του χάλυβα εκτελείται όπως και η ανόπτηση, με τη διαφορά ότι οι υπερευτηκτοειδείς χάλυβες θερμαίνονται σε θερμοκρασία πάνω από τη γραμμή SE ή A_{cm} (σχ. 17.2a ή 19.2a). Η απόψυξή τους γίνεται στον ήρεμο αέρα (όχι σε ρεύμα αέρα), δηλαδή δεν παραμένουν καθόλου στον κλίβανο. Κατά την εξομάλυνση του χάλυβα, η ταχύτητα αποψύξεως είναι μεγαλύτερη από ό,τι κατά την ανόπτηση [καμπύλη (8) του σχήματος 18.3]. Λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας αποψύξεως, ο χάλυβας μετά την εξομάλυνση είναι περισσότερο λεπτόκοκκος.

Στο σχήμα 19.3 δίνονται μικροφωτογραφίες του ίδιου ανθρακούχου χάλυβα με π (C) = 0,60% μετά από ανόπτηση και εξομάλυνση. Είναι χαρακτηριστική η διαφορά του μεγέθους των κόκκων για τις δυο αυτές περιπτώσεις, όπως και η ομοιογένεια του κρυσταλλικού ιστού μετά από εξομάλυνση. Επομένως οι μηχανικές ιδιότητες του ίδιου ανθρακούχου χάλυβα είναι καλύτερες μετά την εξομάλυνση παρά μετά την ανόπτηση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 19.3.1.

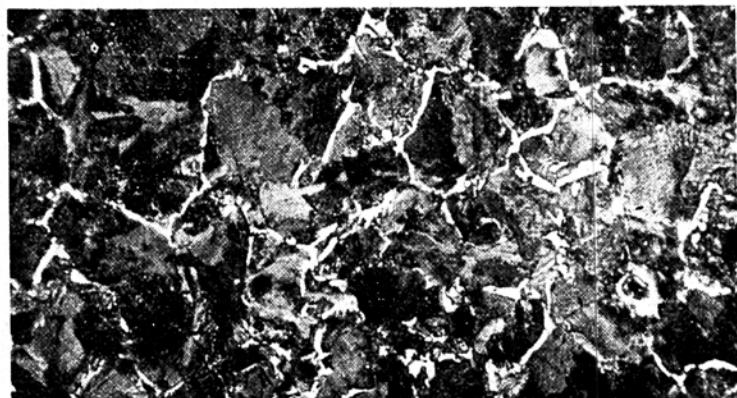
ΠΙΝΑΚΑΣ 19.3.1

Μηχανικές ιδιότητες ανθρακούχων χαλύβων μετά από ανόπτηση και εξομάλυνση

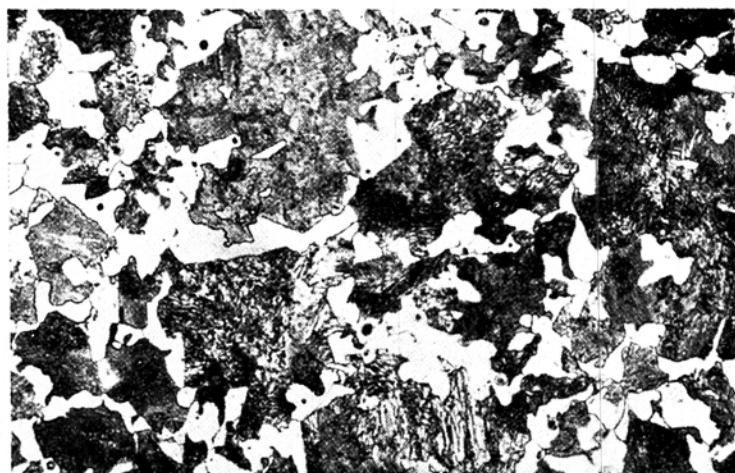
	Περιεκτικότητα σε άνθρακα [%]	Όριο διαρροής σ_d [N/mm ²]	Μέγιστη αντοχή σ_b [N/mm ²]	Επιμήκυνση θραύσεως A [%]	Σκληρότητα Brinell H _B
Μετά από ανόπτηση	0,20	250	415	37	115
	0,60	345	675	23	190
	0,80	365	810	15	220
	1,20	360	720	24	200
Μετά από εξομάλυνση	0,20	315	450	35	120
	0,60	420	770	19	220
	0,80	490	940	13	260
	1,20	700	1080	3	315

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

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



Ⓐ



Ⓑ

Σχ. 19.3.

Κρυσταλλική δομή ανθρακούχου χάλυβα με $\pi(C) = 0,60\%$ με μεγέθυνση $\times 500$: α) Μετά την εξομάλυνση: Λεπτοί κόκκοι περλίτη που περιβάλλονται από πλέγμα φερρίτη (λευκό χρώμα). β) Μετά την ανόπτηση: Χοντροί κόκκοι περλίτη με κόκκους φερρίτη (λευκό χρώμα). Λιγότερο ομοιογενής ο κρυσταλλικός ιστός.

ε) να αφαιρέσει τυχόν παραμένουσες εσωτερικές τάσεις.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε τεμάχια που έχουν υποστεί θερμηλασία (κεφ. 13) πριν από τη μηχανική τους κατεργασία, καθώς επίσης και σε χυτοχαλύδινα ή υπερθερμαθέντα τεμάχια.

Οι θερμοκρασίες εξομαλύνσεως, ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα, είναι οι (διεις όπως και κατά την ανόπτηση (υχ. 19.2α), μέχρι το σημείο S. Στην περιοχή των υπερευτηκτοειδών χαλύβων ακολουθείται η

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

19.4 Ανόπτηση σφαιροποιήσεως σεμεντίτη.

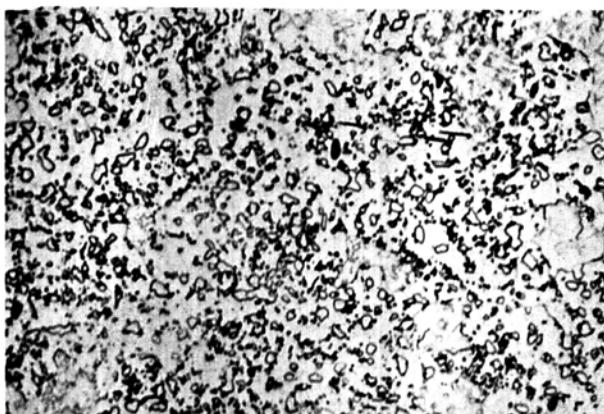
Κατά την ανάπτυξη της ανοπτήσεως αναφέραμε ότι αυτή δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τους χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, λόγω της παρουσίας σεμεντίτη (σκληρού και εύθραυστου) γύρω από τους κόκκους. Οι χάλυβες αυτοί υφίστανται κατεργασία δύσκολα. Προς βελτίωση της κατεργαστικότητάς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

Η κατεργασία συνίσταται σε παρατεταμένη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία λίγο κάτω των 723°C (κατώτερο κρίσιμο σημείο), συνήθως μεταξύ 650°C και 700°C (σχ. 19.2a). Την πύρωση ακολουθεί ήρεμη απόψυξη.

Με τη θερμική αυτή κατεργασία ο σεμεντίτης παίρνει σφαιροειδή μορφή αντί την πλακοειδή μορφή που έχει στο συνηθισμένο περλίτη (σχ. 19.4). Το ίδιο συμβαίνει και για το σεμεντίτη που περιβάλλει τους κόκκους του περλίτη.

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

Το είδος αυτό ανοπτήσεως εφαρμόζεται και σε υποευτηκτοειδείς χάλυβες για την αύξηση της πλαστικότητάς τους, όταν πρόκειται να υποστούν μηχανικές κατεργασίες διαμορφώσεως (σχ. 11a).



Σχ. 19.4.

Ανθρακούχος χάλυβας με $\pi(C) = 0,94\%$ μετά από ανόπτηση σφαιροποιήσεως σεμεντίτη με μεγέθυνση $\times 500$. Ο σφαιροποιημένος σεμεντίτης σε βάθος (φόντο) φερρίτη.

19.5 Ανόπτηση για ανακρυστάλλωση.

Αυτή η θερμική κατεργασία έχει σαν σκοπό να εξαφανίσει τα αποτελέσματα της σκληρώσεως του χάλυβα συνήθως μετά από ψυχρηλασία (κεφ. 10). Εφαρμόζεται σε χάλυβες με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Εκτελείται σε θερμοκρασία από 600°C μέχρι 700°C (σχ. 19.2a), δηλαδή σε ανώτερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως, που για τον καθαρό σίδηρο είναι 480°C περίπου και οπωσδήποτε χαμηλότερη του κατώτερου κρίσιμου σημείου (723°C, γραμμή PS του σχήματος 19.2a). Αναπτύξαμε λεπτομερώς το μηχανισμό της ανακρυσταλλώσεως στο δωδέκατο κεφάλαιο.

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

19.6 Αποτατική ανόπτηση.

Η αποτατική ανόπτηση χάλυβα συνίσταται σε παρατεταμένη θέρμανσή του σε θερμοκρασία μεταξύ 550°C και 650°C (σχ. 19.2a) και θραδεία απόψυξη μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

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

19.7 Βαφή.

Η **βαφή** περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

α) Ο χάλυβας (μεσαίας ή υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα) θερμαίνεται σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη (κατά 50°C περίπου) από εκείνη που αντιστοιχεί στη γραμμή NS ή A₃ ή SR ή A_{1,3} των σχημάτων 17.2a και 19.2a, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα.

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

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

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

Στην παράγραφο 18.2 αναπτύξαμε το μηχανισμό της βαφής και είδαμε ότι ο θαμμένος χάλυβας αποκτάει βασικά κρυσταλλική δομή **μαρτενσίτη** (σχ. 18.2a). Εδώ θα μας απασχολήσει, με περισσότερη λεπτομέρεια, η εκτέλεση της βαφής των ανθρακούχων χαλύβων.

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

A) Η πύρωση του χάλυβα.

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

Οι υποευτηκτοειδείς χάλυβες [$\pi(C) < 0,80\%$] θερμαίνονται κατά 40°C πάνω από τό ανώτερο κρίσιμο σημείο τους (γραμμή NS ή A_3 του διαγράμματος του σχήματος 19.2a). Κατά τη βαφή των υπερευτηκτοειδών χαλύβων δεν ακολουθούμε τη γραμμή SE ή A_{cm} του διαγράμματος της θερμικής ισορροπίας (σχ. 19.2a). Για όλες τις περιεκτικότητες σε άνθρακα $\pi(C) \geq 0,80\%$, η θερμοκρασία βαφής είναι σταθερή και ίση περίπου με 760°C ($723^{\circ}\text{C} + 40^{\circ}\text{C}$ περίπου).

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

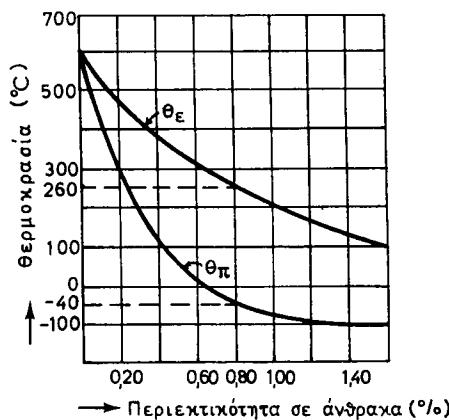
Κατά τη θέρμανση του χάλυβα για βαφή παίρνονται παρόμοια προφυλακτικά μέτρα, όπως και κατά την ανόπτηση (παράγρ. 19.2). Η πύρωσή του γίνεται σε κοινές καμίνους φλόγας ή και σε ηλεκτρικές, αντιστάσεως ή επαγωγής (παράγρ. 19.10).

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

B) Η απόψυξη του χάλυβα.

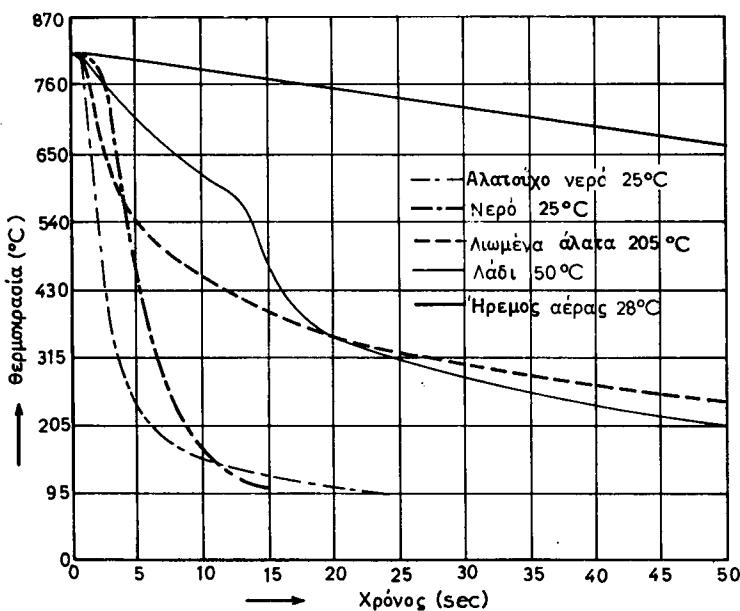
Μέχρι τώρα είδαμε ότι σπουδαίος παράγοντας για την εκτέλεση της βαφής είναι η ταχύτητα αποψύξεως του τεμαχίου από τη θερμοκρασία της βαφής (ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη) μέχρι τη θερμοκρασία θ_p , όπου ολοκληρώνεται ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη (σχ. 18.3).

Οι θερμοκρασίες ενάρξεως θ_e και τέλους θ_p μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσίτη των άνθρακούχων χαλύβων εξαρτώνται από την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, όπως φαίνεται στο σχήμα 19.7a. Ο ευτηκτοειδής άνθρακούχος χάλυβας [$\pi(C) = 0,80\%$] έχει θερμοκρασία $\theta_e = 260^{\circ}\text{C}$ και $\theta_p = -40^{\circ}\text{C}$, όπως προκύπτει από το διάγραμμα του σχήματος 19.7a. Ο ίδιος χάλυβας, όταν αποψυχθεί στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, π.χ. στους 20°C , αποκτάει κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη με ορισμένο ποσοστό ωστενίτη που παραμένει (σχ. 18.2a). Αυτός ο ωστενίτης παραμένει γιατί η θερμοκρασία αποψύξεως των



Σχ. 19.7a.

Σχέση μεταξύ θερμοκρασιών θ_e , θ_π και περιεκτικότητας σε άνθρακα των ανθρακούχων χαλύβων.



Σχ. 19.7b.

Καμπύλες αποψύξεως στο κέντρο τεμαχίου από ανοξείδωτο χάλυβα, με διάμετρο 12,5 mm και μήκος 75 mm για διάφορα λουτρά θαφής.

20°C είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία $\theta_\pi = -40^{\circ}\text{C}$ και επομένως ο ωστενίτης δεν μπορεί να μετασχηματισθεί πλήρως σε μαρτενσίτη. Για να έχουμε πλήρη θαφή, πρέπει η ταχύτητα αποψύξεως να ακολουθεί την καμπύλη (ζ) του

σχήματος 18.3 (καμπύλη κρίσιμης ταχύτητας θαφής), ή να βρίσκεται προς τα αριστερά της, όπως π.χ. η καμπύλη (ε).

Με μικρότερη ταχύτητα αποψύξεως θα έχουμε μερική θαφή, όπως π.χ. στην περίπτωση της καμπύλης (δ), οπότε σχηματίζεται στη θερμοκρασία του περιθάλλοντος εκτός από το μαρτενσίτη και λεπτόκοκκος περλίτης (παράγρ. 18.3).

Η ταχύτητα αποψύξεως εξαρτάται:

α) Από το ψυκτικό μέσο, δηλαδή από το λουτρό θαφής (φυσικές ιδιότητες και θερμοκρασία), στο οποίο εμβαπτίζεται το τεμάχιο που δάφομε για να αποψύχθει.

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

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

Γ) Λουτρά θαφής.

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

- Άλατισμένο νερό (αλατούχο ύδωρ) (διάλυμα νερού και 10% χλωριούχου νατρίου).
- Νερό.
- Τηγμένα άλατα.
- Διαλύματα νερού – λαδιού.
- Λάδια θαφής και
- αέρας σε ηρεμία.

Στο σχήμα 19.76 δίνονται καμπύλες αποψύξεως στο κέντρο τεμαχίου για διάφορα λουτρά θαφής.

Αν εκφράσουμε με τη μονάδα (δηλαδή ως 1,0) τη δραστικότητα του νερού σαν λουτρό θαφής, όταν βρίσκεται σε ηρεμία και σε θερμοκρασία 20°C, τότε ο Πίνακας 19.7.1 μας δίνει τη σχετική δραστικότητα άλλων λουτρών θαφής και για ορισμένο θαμό αναταράξεως ως προς αυτό. Από τον Πίνακα 19.7.1 θλέπομε π.χ. ότι το αλατισμένο νερό σε ηρεμία έχει περίπου 7 φορές μεγαλύτερη δραστικότητα θαφής από το λάδι και 2 φορές από το νερό. Επίσης το νερό, με μεγάλο θαμό αναταράξεως σαν λουτρό θαφής έχει 4 φορές μεγαλύτερη δραστικότητα από ότι όταν βρίσκεται σε ηρεμία.

Η θερμοκρασία του λουτρού θαφής έχει σημασία για την καλή εκτέλεση της θαφής. Η θερμοκρασία του στην αρχή πρέπει να είναι χαμηλότερη οπωσδήποτε από τη θερμοκρασία του τέλους του μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσίτη (θ_n) για να έχουμε πλήρη θαφή.

Γενικά, με αύξηση της θερμοκρασίας του λουτρού θαφής η ταχύτητα αποψύξεως μειώνεται

ΠΙΝΑΚΑΣ 19.7.1

Σχετική δραστικότητα λουτρών θαφής για διαφορετικό θαμό αναταράξεως του λουτρού

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

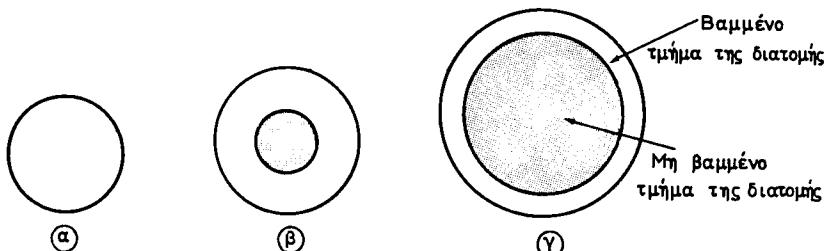
για το νερό και για το αλατισμένο νερό. Για το λάδι, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα μικρή αύξηση της ταχύτητας αποψύξεως, γιατί το λάδι στην περίπτωση αυτή γίνεται λιγότερο παχύρρευστο.

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

Δ) Επίδραση του μεγέθους του τεμαχίου.

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

Η ελάττωση αυτή της ταχύτητας αποψύξεως είναι τόσο εντονότερη, όσο το τεμάχιο έχει μεγαλύτερη διατομή. Αν λοιπόν βάψωμε ένα τεμάχιο με σχετικά μεγάλη διατομή, τότε θα παρατηρήσουμε ότι, ενώ σε ορισμένο βάθος από την επιφάνειά του αποκτάει ιστό μαρτενσίτη, δηλαδή βάφεται κανονικά, στο υπόλοιπο μέρος της διατομής του πυρήνα αποκτάει ιστό μπαινίτη ή περλίτη, ανάλογα με την ταχύτητα αποψύξεως, δηλαδή δεν βάφεται. Το φαινόμενο αυτό το ονομάζουμε **φαινόμενο μάζας**. Αυτή η επίδραση του μεγέθους του τεμαχίου φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 19.7γ, για τρία κυλινδρικά τεμάχια διαφορετικής διατομής (μεγάλης, μεσαίας, μικρής). Αυτό το φαινόμενο είναι



Σχ. 19.7γ.

Επίδραση του μεγέθους της διατομής του τεμαχίου στο βάθος της βαφής. α) Μικρή διατομή → πλήρως βαμμένο το τεμάχιο. β) Μεσαία διατομή → μη βαμμένος ο πυρήνας. γ) Μεγάλη διατομή → βαμμένη μόνο η επιφανειακή στιβάδα, μη βαμμένο το υπόλοιπο μέρος του τεμαχίου.

πιο έντονο στους ανθρακούχους χάλυβες, δηλαδή η σκληρότητα μετά τη βαφή ελαττώνεται γρήγορα, όσο προχωρούμε από την επιφάνεια του τεμαχίου προς τον πυρήνα του. Στην πράξη αυτό μπορούμε να το αποφύγουμε με προσθήκη και άλλου ή· άλλων στοιχείων στον ανθρακούχο χάλυβα, οπότε στην περίπτωση αυτή παίρνουμε **χαλυδόκραμα** (παράγρ. 20.1). Αυτά τα στοιχεία ελαττώνουν την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως του χαλυβοκράματος και επομένως δίνουν το χρόνο στο τεμάχιο να βαφεί σε όλη του τη μάζα, ακόμα και μέσα σε λάδι που είναι μέτριο μέσον βαφής.

Όπως είναι φυσικό και στην περίπτωση αυτή υπάρχει ένα δριο μεγέθους

διατομής του τεμαχίου. Αν υπερβούμε το δριό αυτό, η βαφή δεν θα είναι πλήρης σε όλη τη μάζα του τεμαχίου. Ενδεικτικά αναφέρομε ότι ανθρακούχος χάλυβας με $\pi(C) = 0,45\%$ βαρμένος σε νερό παρουσιάζει σκληρότητα 41 Rockwell C στην επιφάνεια και 29 Rockwell C στον πυρήνα για τεμάχιο με διáμετρο 50 mm, ενώ για τεμάχιο με διáμετρο 100 mm παρουσιάζει αντίστοιχα σκληρότητα 30 και 20 Rockwell C. Από αυτό το παράδειγμα συμπεραίνομε ότι το τεμάχιο με τη διáμετρο των 100 mm είναι αρκετά μαλακότερο μετά τη βαφή και στην επιφάνειά του και στον πυρήνα του σε σύγκριση με το τεμάχιο των 50 mm.

Ε) Ατυχήματα κατά τη διάρκεια της βαφής.

Έχομε αναφέρει ότι κατά τη θέρμανση του τεμαχίου που είναι για βαφή, πάρνομε παρόμοια προφυλακτικά μέτρα, όπως και κατά την ανόπτηση, για να αποφύγομε την αχρήστευση των τεμαχίων.

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

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

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

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

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

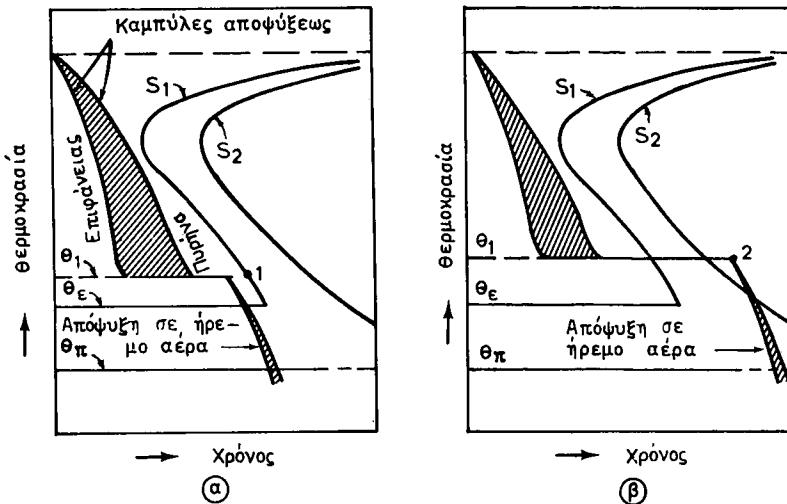
Και σε περιπτώσεις ανεπαρκούς βαφής απαιτείται επανάληψη της βαφής, με κανονικό όμως τρόπο.

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

Σύμφωνα με δι, έχομε αναφέρει στην παράγραφο 18.2, ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενίτη κατά τη βαφή έχει σαν επακόλουθο την εξόγκωση του τεμαχίου, η οποία δεν είναι ομοιόμορφη λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του πυρήνα, ίδιως σε τεμάχια με μεγάλη διατομή. Επειδή ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται γρήγορα και σε χαμηλή θερμοκρασία (θ_e , θ_p του διαγράμματος του σχήματος 18.3), ο χάλυβας δεν στρεβλώνεται όσο χρειάζεται και επομένως αναπτύσσονται μεγάλες εσωτερικές μηχανικές τάσεις. Σ' αυτές τις εσωτερικές τάσεις προστίθενται και άλλες που μπορεί να υπήρχαν στο τεμάχιο πριν από τη βαφή, όπως π.χ. μετά από ψυχρηλασία, συγκόλληση κλπ. και που η θέρμανση στη θερμοκρασία της βαφής δεν είναι αρκετή να τις εξαλείψει (απαιτείται ανόπτηση του τεμαχίου πριν από τη βαφή). Αν οι εσωτερικές τάσεις είναι υπερβολικές, τότε προκαλούνται ρωγμές στο τεμάχιο. Αν είναι μικρότερες, τότε παρατηρούνται στρεβλώσεις που αλλάζουν τις διαστάσεις του τεμαχίου. Τεμάχια μεγάλου μήκους, που έχουν στρεβλωθεί, μπορούν να ευθυγραμμισθούν εν ψυχρώ ή εν θερμώ σε ειδικά μηχανήματα.

Για να αποφεύγομε υπερβολικές τάσεις πάρνομε τα εξής μέτρα:

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



Σχ. 19.7δ.

α) Κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή. β) Κλιμακωτή μπαινιτική βαφή (παράσταση σε διαγράμματα παρόμοια με εκείνα του σχήματος 18.3).

ΣΤ) Η κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή.

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

Το τεμάχιο, μετά τη θέρμανσή του στην κανονική θερμοκρασία βαφής, αποφύχεται απότομα σε λουτρό συνήθως τηγμένου άλατος θερμοκρασίας θ_1 μεγαλύτερης από τη θερμοκρασία θ_e [σχ. 19.7δ(α)]. Σ' αυτή τη θερμοκρασία το τεμάχιο παραμένει τόσο, ώστε να μην προφτάσει να αρχίσει ο μετασχηματισμός του ωστενίτη (σημείο 1 της καμπύλης S_1).

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

Ζ) Η κλιμακωτή μπαινιτική βαφή.

Αυτή η θερμική κατεργασία εκτελείται, όπως και η προηγούμενη, με τη διαφορά ότι το τεμάχιο παραμένει στη θερμοκρασία θ_1 τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται για να μετασχηματιστεί τελείως ο ωστενίτης σε μπαινίτη ή λεπτόκοκκο περλίτη ανάλογα με τη θερμοκρασία θ_1 [σημείο 2, πέρα από την καμπύλη S_2 του σχήματος 19.7δ(β)]. Όπως θλέπομε, πρόκειται για ισόθερμο βαφή, όπως την αναλύσαμε στην παράγραφο 18.2 (σχ. 18.2B). Η θερμοκρασία θ_1 βρίσκεται συνήθως μεταξύ 450°C και θ_e , η οποία εξαρτάται από το είδος του χάλυβα. Η απόψυξη μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος γίνεται σε ήρεμο αέρα.

Η κλιμακωτή μπαινιτική βαφή μας δίνει τη δυνατότητα να πάρομε χάλυβα με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες που έχει εκείνος που προκύπτει μετά από βαφή και επαναφορά (παράγρ. 19.8). Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η δραστική βαφή του χάλυβα με τα δυσμενή της αποτελέσματα. Εφαρμόζεται με επιτυχία σε τεμάχια με περίπλοκα σχήματα που εύκολα στρεβλώνονται ή αποκτούν ρωγμές κατά τη συνθισμένη βαφή.

19.8 Επαναφορά.

Επαναφορά έχουμε, όταν ο χάλυβας μετά από βαφή:

α) Αναθερμανθεί σε ορισμένη κάθε φορά θερμοκρασία (**θερμοκρασία επαναφοράς**), χαμηλότερη οπωσδήποτε του κατώτερου κρίσμου σημείου, δηλαδή των 723°C και ανώτερη συνήθως της θερμοκρασίας ενάρξεως σχηματισμού του μαρτενσίτη θ_e (σχ. 19.7a).

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

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

Σκοπός της επαναφοράς είναι η απόκτηση θελτιωμένων μηχανικών ιδιοτήτων του βαμμένου χάλυβα και η απαλλαγή του από τις σοθαρές εσωτερικές τάσεις που παραμένουν μετά τη βαφή [παράγρ. 19.7 (E)].

A) Μετασχηματισμός του μαρτενσίτη κατά την επαναφορά.

Ο βαμμένος χάλυβας επαναφέρεται για τους εξής λόγους:

α) Όπως γνωρίζουμε (παράγρ. 18.2), ο χάλυβας μετά από τη βαφή αποκτάει κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη με ανάλογα μικρό ποσοστό υπολειπόμενου ωστενίτη. Σ' αυτή την κατάσταση ο χάλυβας είναι πολύ σκληρός με υψηλές τιμές της μέγιστης αντοχής. Έχει ασήμαντη πλαστικότητα και απαράδεκτη δυσθραυστότητα. Επίσης οι εσωτερικές τάσεις, που παραμένουν, είναι υψηλές. Σ' αυτή την κατάσταση επομένως ο χάλυβας είναι ακατάληλος για θιομηχανική χρήση εκτός από περιπτώσεις όπου απαιτείται μόνο εξαιρετική σκληρότητα του τεμαχίου.

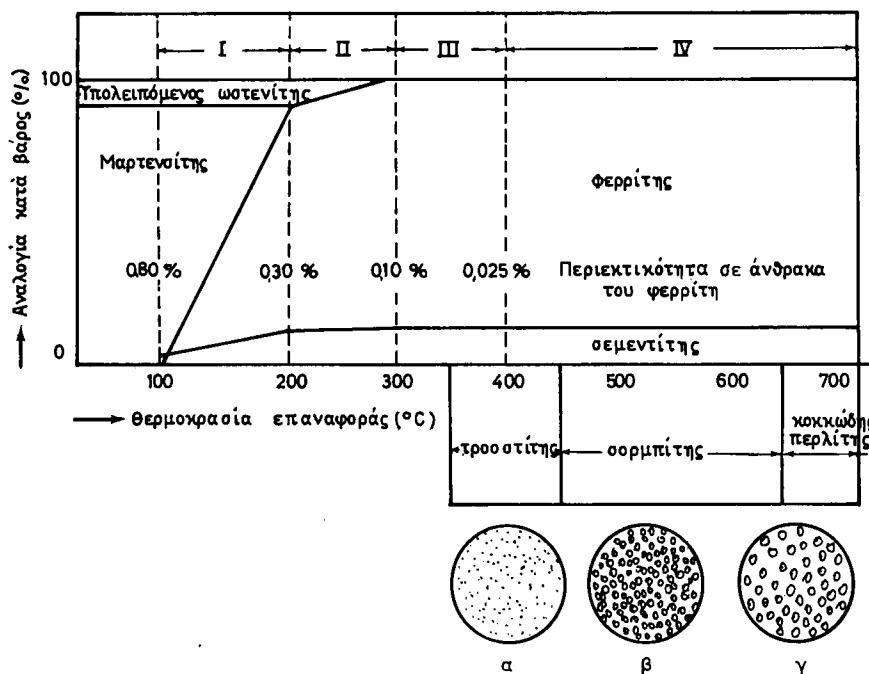
β) Ο μαρτενσίτης ο οποίος, όπως είδαμε στην παράγραφο 18.2, είναι φερρίτης (α-σίδηρος) υπερκορεσμένος σε άνθρακα και ο υπολειπόμενος ωστενίτης βρίσκονται, όπως λέμε, σε **κατάσταση αστάθειας** στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Επομένως έχουν τάση να επανέλθουν σε **κατάσταση ευστάθειας**, πράγμα που εκδηλώνεται αμέσως μόλις η θερμοκρασία του χάλυβα υψωθεί και πάρει ορισμένες τιμές, όπως θα δούμε παρακάτω. Έχει παρατηρηθεί, ότι κατά την αναθέρμανση βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα από τη θερμοκρασία των 100°C περίπου μέχρι τους 723°C (κρίσιμο σημείο A_1) γίνονται προοδευτικά τεσσάρων ειδών μετασχηματισμοί στην κρυσταλλική δομή του, οι οποίοι είναι οι εξής:

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

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

1) Αναθέρμανση από 100°C μέχρι 200°C (περιοχή I, σχ. 19.8a).

Σχηματίζονται υπομικροσκοπικά τεμαχίδια καρβιδίων (χημική ένωση σιδήρου-άνθρακα) που δεν έχουν ακόμη ακριβώς τη χημική σύνθεση του



Σχ. 19.8α.

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

σεμεντίτη (Fe_3C), και είναι αόρατα με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Τα καρβίδια αυτά σχηματίζονται από τα άτομα του άνθρακα, τα οποία προοδευτικά εξέρχονται από το κρυσταλλικό πλέγμα του μαρτενσίτη, όπου είχαν κλειστεί κατά το σχηματισμό του. Συνεπώς, το πλέγμα του μαρτενσίτη από χωροκεντρωμένο τετραγωνικό (παράγρ. 18.2) τείνει να πάρει τη μορφή του κανονικού πλέγματος του φερρίτη, δηλαδή το χωροκεντρωμένο κυβικό (κεφ. 16).

Ο χάλιβας στους 200°C αποτελείται από φερρίτη, ο οποίος διατηρεί ακόμη στο πλέγμα του άνθρακα παραπάνω από το κανονικό (0,30% αντί 0,025%), από υποιμικροσκοπικά τεμαχίδια καρβιδίων και από τον υπολειπόμενο ωστενίτη. Εδώ πρέπει να τονίσουμε, ότι ο πρώτος αυτός μετασχηματισμός που πραγματοποιείται εντατικά στην περιοχή αναθερμάνσεως από 100°C έως 200°C , συνεχίζεται και στις περιοχές II (200°C έως 300°C) και III (300°C έως 400°C) του διαγράμματος του σχήματος 19.8α, αλλά ελαττώνεται η ένταση και σταματάει στους 400°C περίπου, όπου ο φερρίτης χάνει τελείως τον επί πλέον άνθρακα και αποκτάει το κανονικό του κρυσταλλικό πλέγμα. Στους 200°C , έχει απαλλαγεί εν μέρει από τις παραμένουσες εσωτερικές τάσεις.

2) Αναθέρμανση από 200°C μέχρι 300°C (περιοχή II, σχ. 19.8a).

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

3) Αναθέρμανση από 300°C μέχρι 400°C (περιοχή III, σχ. 19.8a).

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

4) Αναθέρμανση από 400°C μέχρι 723°C (περιοχή IV, σχ. 19.8a).

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

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

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

Ο τροοστίτης έχει μεγαλύτερη δυσθραυστότητα από το μαρσενίτη, μικρότερη όμως σκληρότητα και αντοχή. Ο σορμπίτης έχει μικρότερη ακόμη αντοχή αν τον συγκρίνουμε με τον τροοστίτη, έχει όμως μεγαλύτερη δυσθραυστότητα. Στο σχήμα 19.8b εικονίζεται η κρυσταλλική δομή ανθρακούχου χάλυβα με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,60% μετά από επαναφορά σε διάφορες θερμοκρασίες.

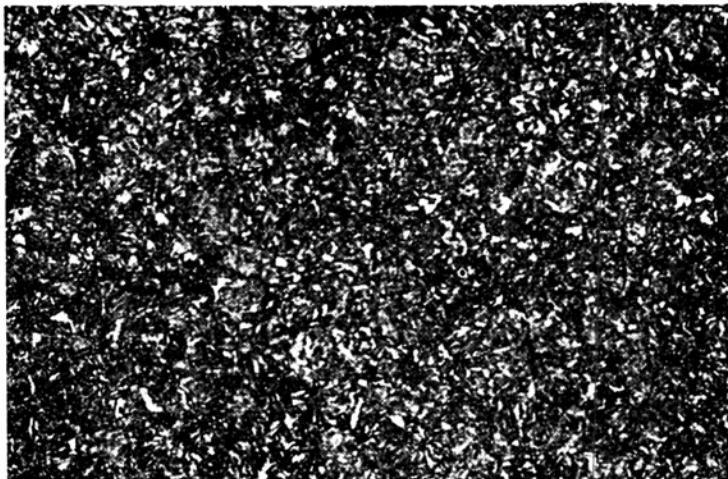
B) Μεταβολές στις μηχανικές ιδιότητες του βαμμένου χάλυβα μετά από επαναφορά.

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

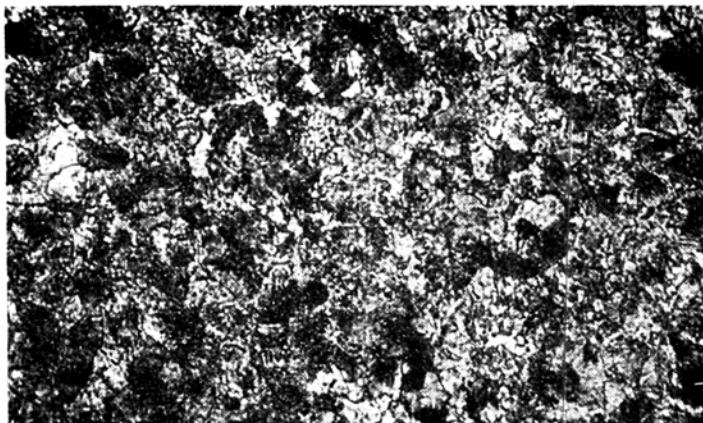
Μετά την επαναφορά, οι μηχανικές ιδιότητες του βαμμένου χάλυβα μεταβάλλονται σημαντικά. Γενικά, μπορούμε να πούμε, ότι η σκληρότητα και η αντοχή του σε εφελκυσμό ελαττώνονται, ενώ η πλαστικότητα και η δυσθραυστότητά του αυξάνονται.

Στο σχήμα 19.8γ φαίνεται πώς μεταβάλλονται οι μηχανικές ιδιότητες ανθρακούχων χαλύθων σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία επαναφοράς.

Το όριο θραύσεως λαμβάνει μέγιστη τιμή σε θερμοκρασία περίπου 100°C για το χάλυβα που εξετάζομε [σχ. 19.8γ(a)] και ύστερα αρχίζει προοδευτικά να ελαττώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας επαναφοράς. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι με την αναθέρμανση του χάλυβα, έστω και στη χαμηλή θερμοκρασία των 100°C, απαλείφονται ισχυρές εσωτερικές τάσεις, οι οποίες εξασκούν δυσμενή επίδραση στο όριο θραύσεως του χάλυβα.



(a)

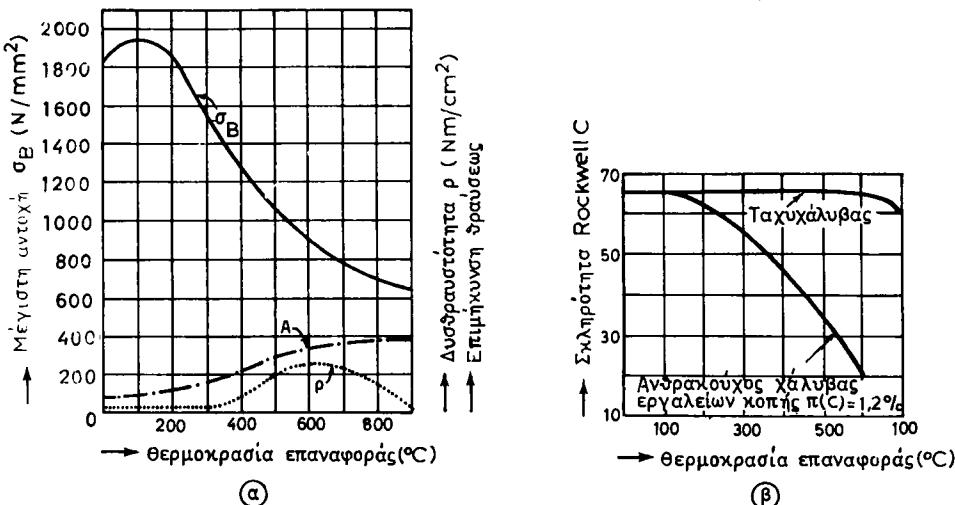


(b)

Σχ. 19.88.

α) Βαμμένος ανθρακούχος χάλυβας με 0,60% άνθρακα μετά επαναφορά σε 400°C επί μια ώρα. Κρυσταλλική δομή τροοστίτη. Οι λευκές περιοχές είναι φερρίτης. Οι μαύρες περιοχές είναι υπομικροσκοπικά τεμαχίδια σεμεντίτη. Μεγέθυνση $\times 250$. β) Βαμμένος ανθρακούχος χάλυβας με 0,60% άνθρακα μετά επαναφορά σε 600°C επί μια ώρα. Κρυσταλλική δομή σορμπίτη. Οι περιοχές φερρίτη είναι πιο ευδιάκριτες και μεγαλύτερες. Οι μαύρες περιοχές δείχνουν συσσωματωμένο σεμεντίτη σε φόντο φερρίτη. Μεγέθυνση $\times 250$.

Αξίζει να προσέξουμε επίσης ότι η δυσθραυστότητα δεν φθάνει τη μέγιστη τιμή της στην περιοχή του κρίσμου σημεία A₁, όπως θα περιμέναμε, αλλά σε χαμηλότερη θερμοκρασία (στους 600°C περίπου στην περίπτωσή μας). Αυτό μπορούμε να το αποδώσουμε στο ότι η αύξηση των κόκκων του σεμεντίτη, όπως εξηγήσαμε στα προηγούμενα, έχει ευνοϊκή επίδραση στη δυθραυστότητα



Σχ. 19.8γ.

α) Μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων (σ_B , $A\%$ και ρ) ανθρακούχου χάλυβα με $\pi(C) = 0,45\%$ σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία επαναφοράς. β) Μεταβολή της σκληρότητας ανθρακούχου χάλυβα με $\pi(C) = 1,20\%$ σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία επαναφοράς.

μέχρις ενός σημείου. Αύξηση του μεγέθους των κόκκων πέρα από το σημείο αυτό, δηλαδή με παραπέρα αύξηση της θερμοκρασίας, προξενεί πτώση της δυσθραυστότητας.

Η σκληρότητα [σχ. 19.8γ(β)] για τον ανθρακούχο χάλυβα με $\pi(C) = 1,20\%$ μέχρι 250°C μεταβάλλεται ελαφρά. Μετά από τη θερμοκρασία αυτή ελαττώνεται δραστικά η σκληρότητα, ενώ αυξάνεται η θερμοκρασία επαναφοράς.

Γ) Γενικές παρατηρήσεις και οδηγίες εκτελέσεως της επαναφοράς.

1) Εφαρμογές της βαφής και της επαναφοράς.

Η βαφή, όταν ακολουθείται από επαναφορά, βρίσκει εφαρμογή στην πράξη σε δύο περίπτωσεις κυρίως:

α) Στα εργαλεία κοπής.

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

β) Στην επιβελτίωση του χάλυβα.

Τα διάφορα στοιχεία μηχανών, που χρησιμοποιούμε στην πράξη, για να επιτελέσουν τον προορισμό τους πρέπει να έχουν ορισμένες μηχανικές

ιδιότητες. Ιδιαίτερα σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται να έχει το τεμάχιο, εκτός από την απαιτούμενη μηχανική αντοχή και ικανοποιητική δυσθραυστότητα, όταν μάλιστα αυτό καταπονείται και σε κρούση. Αυτός ο συνδυασμός μηχανικών ιδιοτήτων επιτυγχάνεται με τη λεγόμενη **επιβελτίωση** του χάλυβα. Η επιβελτίωση είναι σύνθετη θερμική κατεργασία. Συνίσταται από βαφή, την οποία ακολουθεί επαναφορά, σε μεγάλη όμως θερμοκρασία, ώστε ο χάλυβας να αποκτήσει κρυσταλλική δομή σφραγίδας (σχ. 19.86(6)).

Στο σχήμα 19.8γ(α) παρατηρούμε, ότι για ανθρακούχο χάλυβα με $\pi(C) = 0,45\%$ στην περιοχή θερμοκρασίας επαναφοράς από 500°C μέχρι 700°C περίπου έχουμε αυξημένη δυσθραυστότητα. Σ' αυτή την περιοχή θερμοκρασίας θα πρέπει να γίνει η επιβελτίωση αυτού του χάλυβα.

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

2) Θέρμανση των τεμαχίων για επαναφορά.

Η επαναφορά εκτελείται συνήθως σε κλιβάνους τύπου παρτίδας (παράγρ. 19.10) με δυο τρόπους:

Κατά τον πρώτο τρόπο τα τεμάχια βυθίζονται μέσα σε ελαιόλουτρα ή αλατόλουτρα (λουτρά από τηγμένα άλατα). Τα ελαιόλουτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατώτερη περιοχή θερμοκρασιών (μέχρι περίπου 250°C), ενώ τα αλατόλουτρα στην ανώτερη περιοχή θερμοκρασιών ανοπτήσεως. Γενικά, τα λουτρά (ελαίου ή αλάτων) παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της ομοιόμορφης μεταδόσεως της θερμότητας σε τεμάχια που είναι για επαναφορά. Επίσης τα λουτρά έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, με αποτέλεσμα γρήγορη θέρμανση των τεμαχίων. Στοιχεία για τα λουτρά επαναφοράς δίνονται στον Πίνακα 19.10.1.

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

Όπως έχουμε διαπιστώσει, η θερμοκρασία επαναφοράς έχει μεγάλη σημασία για το μετασχηματισμό του μαρτενσίτη και επομένως από αυτή εξαρτώνται πολύ οι μηχανικές ιδιότητες που αποκτάει ο χάλυβας μετά την επαναφορά. Συνεπώς, θα πρέπει να δίνεται εξαιρετική σημασία στο να γίνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας με μεγάλη ακρίβεια. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται θερμοηλεκτρικά πυρόμετρα, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και πυρόμετρα ακτινοβολίας. Μικρότερη ακρίβεια μας δίνει η μέθοδος μετρήσεως της θερμοκρασίας με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού. Αυτή η μέθοδος αναπτύσσεται στην παράγραφο 19.1, όπου αναφέρονται και οι χρωματισμοί τους οποίους παίρνει ο ανθρακούχος χάλυβας ή φτωχό χαλυβόκραμα, όταν θερμαίνεται από 220°C μέχρι 325°C .

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

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

Σε θερμοκρασία 400°C για 10 h

Σε θερμοκρασία 450°C για 20 min, και

Σε θερμοκρασία 500°C για 2 min.

Εδώ παρατηρούμε ότι η θέρμανση για μικρό χρονικό διάστημα (επί 3 min) παρουσιάζει δυσκολίες στη μέτρηση αυτού του χρόνου με ακρίβεια. Η παρατεταμένη θέρμανσή του (επί 10 ώρες) είναι ασύμφορη, γιατί το κόστος της κατεργασίας μεγαλώνει. Η καλύτερη λύση είναι η περίπτωση της θερμοκρασίας των 450°C επί 20 min.

19.9 Επιφανειακή σκλήρωση των χαλύθων.

A) Γενικά.

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

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

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

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

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

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

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

B) Ενανθράκωση.

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

1) Στερεά ενανθρακωτικά μέσα.

Τα τεμάχια που είναι για ενανθράκωση τοποθετούνται μαζί με το ενανθρακωτικό μέσον μέσα σε κατάλληλο πυρίμαχο μεταλλικό δοχείο, συνήθως από χάλυβα, που αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες (παράγρ. 21.4(θ)). Τα τεμάχια δεν πρέπει να εφάπτονται, αλλά να απέχουν μεταξύ τους 30 έως 50 mm. Το δοχείο μαζί με το περιεχόμενο κλείνεται αεροστεγώς και εισάγεται σε κατάλληλο κλίβανο, συνήθως τύπου μερίδας (παράγρ. 19.10). Η θερμοκρασία του κλιβάνου διατηρείται αρχικά στους 700°C. Στη συνέχεια ανυψώνεται μέχρι τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως (910°C μέχρι 950°C).

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

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

Από το μονοξείδιο του άνθρακα που σχηματίζεται στην υψηλή θερμοκρασία της ενανθρακώσεως και με την παρουσία του σιδήρου αποδεσμεύονται άτομα άνθρακα, σύμφωνα προς τη χημική αντίδραση (1) με σύγχρονη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO_2):



Ο παραγόμενος άνθρακας σε ατομική κατάσταση (χωρίς να έχει ακόμη σχηματιστεί το μόριό του) διεισδύει στο κρυσταλλικό πλέγμα της επιφανειακής στιβάδας του χάλυβα, που θρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη. Στο μεταξύ το ανθρακικό βάριο αντιδρά με άτομα άνθρακα, που προέρχονται από τον ξυλάνθρακα που χρησιμοποιούμε και αποδεσμεύει περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα, όπως φαίνεται στη χημική αντίδραση (2):

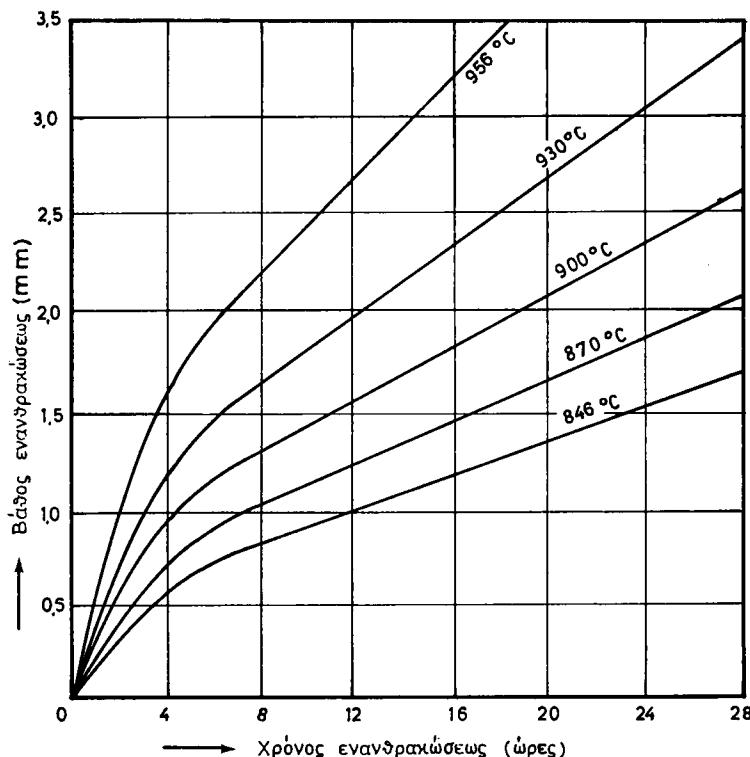


Το ανθρακικό βάριο αναγεννείται από την αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα και του οξειδίου του βαρίου, που αποδεσμεύονται κατά τις αντίδρασεις (1) και (2) ως εξής:



Μετά το τέλος της ενανθρακώσεως τα τεμάχια αποσύρονται από τον κλίβανο και αφήνονται να αποψυχθούν ήρεμα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή βάφονται, ανάλογα με το είδος των θερμικών κατεργασιών που θα ακολουθήσουν την ενανθράκωση.

Το βάθος ενανθρακώσεως εξαρτάται από τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως και από το χρόνο παραμονής των τεμαχίων σ' αυτή τη θερμοκρασία (χρόνος ενανθρακώσεως), όπως φαίνεται στο σχήμα 19.9α. Εξαρτάται επίσης και από την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα και από το είδος και την αναλογία των συστατικών του μέσου ενανθρακώσεως.



Σχ. 19.9a.

Χρόνος ενανθρακώσεως (ώρες). Σχέση μεταξύ βάθους ενανθρακώσεως, θερμοκρασίας και χρόνου ενανθρακώσεως.

Από το σχήμα 19.9a συμπεραίνουμε ότι το βάθος ενανθρακώσεως αυξάνεται με αύξηση του χρόνου και της θερμοκρασίας ενανθρακώσεως. Έτσι, σε χρόνο ενανθρακώσεως 8 ωρών π.χ. αντιστοιχεί βάθος ενανθρακώσεως 1,05 mm σε θερμοκρασία 870°C, ενώ σε θερμοκρασία 930°C αντιστοιχεί βάθος ενανθρακώσεως 1,70 mm. Επίσης, σε θερμοκρασία ενανθρακώσεως 900°C π.χ. και σε χρόνο ενανθρακώσεως 5 ωρών αντιστοιχεί βάθος ενανθρακώσεως 1,10 mm, ενώ σε χρόνο ενανθρακώσεως 15 ωρών και για την ίδια θερμοκρασία αντιστοιχεί βάθος 1,75 mm. Αείζει να παρατηρήσουμε επίσης το γεγονός, ότι η περιεκτικότητα σε άνθρακα της επιφανειακής στιβάδας του ενανθρακωμένου τεμαχίου ελαττώνεται από την επιφάνειά του προς τον πυρήνα. Προφανώς μπορεί να έχουμε διαδοχικά από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του τεμαχίου κρυσταλλική δομή υπερευτηκοειδούς χάλυβα (περλίτη + σεμεντίτη), ευτηκοειδούς χάλυβα (περλίτη) και υποευτηκοειδούς (φερρίτη + περλίτη), μέχρις ότου φθάσουμε στην κανονική κρυσταλλική δομή του χάλυβα μετά την ενανθρακωμένη επιφανειακή στιβάδα. Η ενανθράκωση με στερεά ενανθρακωτικά μέσα παρουσιάζει το σοθαρό μειονέκτημα ότι το συνολικό κόστος εκτελέσεώς της είναι υψηλό συγκριτικά με την ενανθράκωση που γίνεται με αέρια μέσα. Και αυτό το κόστος οφείλεται κυρίως στο μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτείται και την ακριβή σε χρήμα συσκευασία και αποσυσκευασία των τεμαχίων που πρόκειται να ενανθρακωθούν. Μειονεκτεί επι πλέον και στο ότι τα τεμάχια δύσκολα μπορούν να θαφούν αμέσως μετά την ενανθράκωση.

2) Υγρά ενανθρακωτικά μέσα.

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

Από τις χημικές αντιδράσεις που γίνονται, αποδεσμεύεται μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο ενεργεί με τον τρόπο που προαναφέραμε. Αποδεσμεύεται επίσης και άζωτο, που σε μικρή έκταση, προδίνει σκληρότητα στην επιφανειακή στιβάδα των τεμαχίων, όπως ακριβώς συμβαίνει κατά την εναζώτωση. Η μέθοδος αυτή επιφανειακής σκληρώσεως αναφέρεται σαν **ενδοκυάνωση** και ακολουθείται από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες. Τα υγρά μέσα ενανθρακώσεως έχουν σοθαρά πλεονεκτήματα. Επιτρέπουν εύκολο και ακριθή έλεγχο της θερμοκρασίας επίσης ομοιόμορφη και γρήγορη θέρμανση των τεμαχίων. Έτσι, παίρνουμε ενανθρακωμένη επιφανειακή στιβάδα ομοιόμορφη και με το ίδιο βάθος.

3) Αέρια ενανθρακωτικά μέσα.

Αυτό το είδος ενανθρακώσεως γίνεται σε κλιβάνους αεροστεγείς, τύπου μερίδας ή συνεχούς ροής (παράγρ. 19.10). Η θερμοκρασία ενανθρακώσεως κυμαίνεται μεταξύ 850°C και 930°C . Στην περίπτωση αυτή ενανθρακώσεως το ενεργό ενανθρακωτικό μέσο είναι πάλι το μονοξείδιο του άνθρακα που παράγεται σύμφωνα με την αντίδραση (4) από υδρογονάνθρακα, όπως θα δούμε ευθύνη αμέσως.

Αυτό (το μονοξείδιο του άνθρακα), διασπάται σε άνθρακα ατομικής καταστάσεως και σε διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με τη χημική αντίδραση (1), όπως την αναπτύχθημε προηγουμένως. Ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη εμποτίζεται σε ορισμένο βάθος από την επιφάνειά του με τον άνθρακα που παράγεται, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με τον υδρογονάνθρακα. Έτσι παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα κατά την αντίδραση:

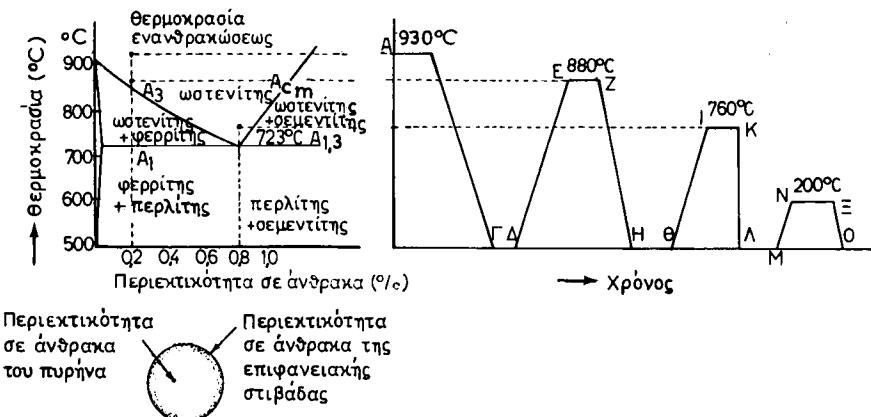


Το μονοξείδιο του άνθρακα διασπάται σε άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα κ.ο.κ.

Τα σπουδαιότερα αέρια μέσα ενανθρακώσεως είναι οι υδρογονάνθρακες μεθάνιο (CH_4) και προπάνιο (C_3H_8). Πρέπει να σημειώσουμε, ότι τα αέρια αυτά είναι απαραίτητο να είναι απόλυτα καθαρά, διαφορετικά οι ακαθαρσίες που περιέχουν εναποτίθενται στην επιφάνεια των τεμαχίων και εμποδίζουν την κανονική εκτέλεση της ενανθρακώσεως. Αυτό το είδος ενανθρακώσεως παρουσιάζει σοθαρά πλεονεκτήματα στις περιπτώσεις ενανθρακώσεως μεγάλου αριθμού τεμαχίων, σε μικρό όμως βάθος, γιατί μπορούμε εύκολα να ελέγχουμε το βάθος με μεγάλη ακρίβεια. Συμφέρει δε σε εργατικά, θερμική ενέργεια και χώρο. Επισής, δίνεται η δυνατότητα της απ' ευθείας, μετά την ενανθράκωση, βαφής των τεμαχίων (από τον κλίβανο ενανθρακώσεως στο λουτρό βαφής).

4) Θερμικές κατεργασίες μετά την ενανθράκωση.

Αναφέρομε, ότι η ενανθράκωση τεμαχίου από κατάλληλο χάλυβα, δημιουργεί επιφανειακή στιβάδα πλούσια σε άνθρακα [συνήθως με $\pi(\text{C}) > 0,80\%$], ενώ συγχρόνως ο πυρήνας του τεμαχίου διατηρεί την κανονική του περιεκτικότητα σε άνθρακα [συνήθως $\pi(\text{C}) \leq 0,20\%$]. Η παρατεταμένη θέρμανση του χάλυβα σε κατάσταση ωστενίτη, στην υψηλή θερμοκρασία της ενανθρακώσεως, συντελεί στην αύξηση του μεγέθους των κόκκων του επιφανειακού στρώματος του πυρήνα (παράγρ. 19.2) του τεμαχίου, με συνέπεια την ελάττωση της δυσθραυστότητας. Εμείς όμως ζητάμε στην πράξη, όπως άλλωστε είναι και ο αντικειμενός



Σχ. 19.96.
Θερμικές κατεργασίες χάλυβα μετά την ενανθράκωση.

νικός σκοπός της ενανθράκωσεως, να είναι το τεμάχιο πολύ σκληρό στην επιφάνειά του και δύσθραυστο στον πυρήνα του. Αυτό το επιτυγχάνομε με μια σειρά θερμικών κατεργασιών που εκτελούνται μετά την ενανθράκωση, ως εξής:

Μετά την ενανθράκωση (γραμμή A-B του σχ. 19.96), τα τεμάχια αποψύχονται ήρεμα (B-Γ). Για την αύξηση της δυσθραυστότητας του πυρήνα (εκλέπτυνση των κόκκων), τα τεμάχια θερμαίνονται σε θερμοκρασία λίγο υψηλότερη από το ανώτερο κρίσιμο σημείο A₃ του διαγράμματος θερμικής ισορροπίας σχήματος 17.2a [για $\pi(C) = 0,20\%$], π.χ. σε θερμοκρασία 880°C περίπου] κατά τη γραμμή Δ-Ε. Σ' αυτή τη θερμοκρασία παραμένουν τα τεμάχια για ορισμένο χρόνο (Ε-Ζ), όπου ο χονδρόκοκκος ιστός φερρίτη-περλίτη γίνεται λεπτόκοκκος ωστενίτης. Ακολουθεί βαφή ή εξομάλυνση των τεμαχίων (Ζ-Η). Έτσι, επιτυγχάνεται τελικά λεπτόκοκκος πυρήνας των τεμαχίων.

Μετά από αυτή τη θερμική κατεργασία, η επιφανειακή στιβάδα των τεμαχίων εξακολουθεί να έχει χονδρόκοκκο ιστό, λόγω της θερμάνσεώς τους σε 880°C . Αυτή η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή σε σχέση προς το ανώτερο κρίσιμο σημείο (723°C) για την περιεκτικότητα σε άνθρακα της επιφανειακής στιβάδας [$\pi(C) > 0,80$]. Για να αποκτήσει η επιφανειακή στιβάδα μεγάλη σκληρότητα και λεπτόκοκκο ιστό, πυρώνομε τα τεμάχια σε 760°C περίπου (Η-Ι). Σ' αυτή τη θερμοκρασία παραμένουν για ορισμένο χρόνο (Ι-Κ), όπου ο χονδρόκοκκος ιστός της επιφανειακής στιβάδας μετασχηματίζεται σε λεπτόκοκκο ωστενίτη. Κατόπιν, τα τεμάχια βάφονται (Κ-Λ) και αποκτούν σκληρή και λεπτόκοκκη (σχετικά δύσθραυστη) επιφανειακή στρώση. Η βαφή αυτή αποτελεί, κατά κάποιο τρόπο, επαναφορά του πυρήνα των τεμαχίων.

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

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

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

5) Πρακτικές οδηγίες εκτελέσεως της ενανθρακώσεως.

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

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

- Το είδος του χάλυβα ενανθρακώσεως, δηλαδή αν πρόκειται για ανθρακούχο χάλυβα ή για χαλυβόκραμα.
- Τη θερμοκρασία και το χρόνο ενανθρακώσεως.
- Το μέσο ενανθρακώσεως, καθώς επίσης και τις αναλογίες των συστατικών του.
- Τις θερμικές κατεργασίες που θα ακολουθήσουν την ενανθράκωση.

γ) Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ανάγκη ένα μέρος ή μέρη της επιφάνειας του τεμαχίου να μην ενανθρακωθούν, να παραμείνουν δηλαδή μαλακά. Τα μέρη αυτά συνήθως επικαλύπτονται ήλεκτρολυτικώς με λεπτό στρώμα χαλκού, πάχους 0,010 ως 0,075 mm, γιατί ο άνθρακας δεν διαλύεται στο χαλκό στη θερμοκρασία ενανθρακώσεως.

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

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

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

Οι ράθδοι αυτές τοποθετούνται έτσι ώστε το μεγαλύτερο μήκος τους να βρίσκεται μέσα στο κιβώτιο, ενώ τα άκρα τους έξω από αυτό. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να αποσύρονται χωρίς να είναι ανάγκη να ανοίξουμε το κιβώτιο. Όταν περάσει ο καθορισμένος χρόνος ενανθρακώσεως, αποσύρομε μια δοκιμαστική ράθδο, τη βάφομε σε νερό και κατόπιν την σπάζομε. Η επιφάνεια θραύσεως της ράθδου δείχνει καθαρά το βάθος της ενανθρακωμένης στιβάδας του

τεμαχίου. Το βάθος αυτής της στιβάδας μετράται φυσικά με μικρή ακρίβεια. Αν το βάθος αυτό ανταποκρίνεται προς αυτό που ζητάμε, τότε η ενανθράκωση θεωρείται τελειωμένη. Αν το βάθος ενανθρακώσεως είναι μικρότερο, τότε η κατεργασία συνεχίζεται και μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα αποσύρεται η δεύτερη δοκιμαστική ράθδος, για να γίνει έλεγχος του βάθους ενανθρακώσεως.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

γ) Η σκληρότητα του τεμαχίου είναι ανομοιόμορφη, υπάρχουν δηλαδή σκληρές και μαλακές περιοχές στην επιφάνειά του. Βασική αιτία αυτού του ελαττώματος είναι η παρουσία σκουριάς, λίπους, ελαίου ή άλλων ξένων σωμάτων επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου, αποτέλεσμα κακού καθαρισμού πριν από την ενανθράκωση.

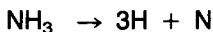
Γ) Εναζώτωση.

Τι είναι εναζώτωση εξηγήσαμε στην αρχή αυτού του Κεφαλαίου. Η εναζώτωση μοιάζει με την ενανθράκωση στο ότι ο χάλυβας θερμαίνεται για μεγάλο διάστημα μέσα σε κάποιο **σκληρωτικό μέσο**. Η διαφορά συνίσταται στο ότι, ενώ κατά την ενανθράκωση το μέσον αυτό είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (από το οποίο παίρνομε τον άνθρακα, όπως αναλύσαμε), κατά την εναζώτωση είναι το άζωτο, N. Εναζώτωση υφίστανται χάλυβες με ειδική σύνθεση [παράγρ. 21.2(θ)],

γιατί η σκλήρωση που επιτυγχάνεται μετά την εναζώτωση, εξαρτάται από το σχηματισμό σκληρών ενώσεων του αζώτου με το αργίλιο, το χρώμιο και το θανάδιο.

Η εναζώτωση εκτελείται ως εξής:

Τα τεμάχια παραμένουν σε θερμοκρασία 500°C ως 540°C (θερμοκρασία εναζωτώσεως) για μεγάλο χρόνο, συνήθως για 40 ως 100 ώρες, μέσα σε αεροστεγή θάλαμο κατάλληλου κλιβάνου, στον οποίο διοχετεύεται αμμωνία (NH_3 , αέριο). Ο χρόνος παραμονής των τεμαχίων στη θερμοκρασία εναζωτώσεως εξαρτάται από το επιθυμητό βάθος εναζωτώσεως. Το άζωτο που απαιτείται για την εναζώτωση λαμβάνεται από την αμμωνία κατά τη χημική αντίδραση:



Ένα μέρος του αζώτου που παράγεται, σε ατομική κατάσταση, διεισδύει στην επιφάνεια του χάλυβα και σχηματίζει το πολύ σκληρό σιδηρονιτρίδιο (Fe_4H), καθώς επίσης και σκληρές χημικές ενώσεις με το αργίλιο, χρώμιο και θανάδιο των χαλύθων εναζωτώσεως.

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

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

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναζωτώσεως.

α) Αποφεύγονται οι ρωγμές ή στρέθλωση των τεμαχίων, γιατί δεν χρειάζεται βαφή μετά την εναζώτωση. Τα τεμάχια μπορούν να υποστούν τελική κατεργασία κοπής πριν από την εναζώτωση.

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

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

δ) Η σκληρότητα των εναζωτωμένων τεμαχίων διατηρείται σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες (μέχρι περίπου 500°C), ενώ των ενανθρακωμένων τεμαχίων αρχίζει να πέφτει από τους 200°C μόνο.

ε) Το κόστος της εναζωτώσεως είναι χαμηλό, αν ο αριθμός των τεμαχίων για

εναζώτωση είναι πολύ μεγάλος. Και αυτό, γιατί οι δαπάνες των εγκαταστάσεων εναζωτώσεως είναι μεγαλύτερες από τις δαπάνες για ενανθράκωση. Για το λόγο αυτό η εναζώτωση συμφέρει μόνο αν γίνεται για πολλά τεμάχια.

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

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

Δ) Φλογοθαφή.

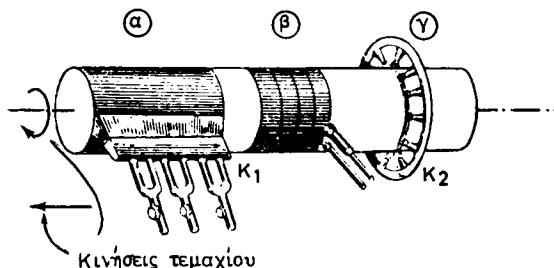
Αυτή η μέθοδος επιφανειακής σκληρώσεως συνίσταται σε γρήγορη θέρμανση του επιφανειακού στρώματος των τεμαχίων σε θερμοκρασία υψηλότερη του ανώτερου κρίσιμου σημείου (A_3), συνήθως με ουδέτερη φλόγα οξυγόνου-ασετυλίνης. Η θέρμανση ακολουθείται από γρήγορη (ταχεία) απόψυξη (θαφή) με εκτόξευση νερού.

Έτσι, μετά τη φλογοθαφή, το τεμάχιο διατηρεί τη χημική του σύνθεση στην επιφάνεια και τον πυρήνα του. Σκληρώνεται μόνο η επιφάνεια με τοπική θαφή.

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

Επειδή κατά τη φλογοθαφή πρέπει η θέρμανση και η απόψυξη να γίνονται με ορισμένη ταχύτητα, συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα. Τεμάχια που έχουν κυλινδρικό σχήμα τοποθετούνται μεταξύ των κέντρων τόρνου. Ο τόρνος διαμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να φέρει ακροφύσια οξυγόνου και ασετυλίνης για τη θέρμανση του τεμαχίου και ακροφύσιο εκτοξεύσεως νερού για την απόψυξή του. Βασικά χρησιμοποιούνται τρία είδη φλογοθαφής (σχ. 19.9γ). Κατά το πρώτο είδος [σχ. 19.9γ(α)], ο κύριος άξονας του τόρνου περιστρέφεται, ώστε στην επιφάνεια του τεμαχίου που είναι για φλογοθαφή να αναπτυχθεί ταχύτητα περίπου 2 πμ ανά sec.

Η επιφάνεια θερμαίνεται με φλόγα οξυγόνου και ασετυλίνης από κεφαλή K_1 που, διαμορφώνεται έτσι, ώστε να καλύπτει ολόκληρο το μήκος της επιφάνειας που πρόκειται να υποστεί φλογοθαφή.



Σχ. 19.9γ.

Σχηματική παράσταση των χρησιμοποιουμένων ειδών φλογοθαφής.

Ολόκληρη η επιφάνεια του τεμαχίου σκληρώνεται σε μια μόνο περιστροφή του άξονα. Συβαρό μειονέκτημα του είδους αυτού φλογοθαφής είναι η δημιουργία μαλακής λωρίδας που έχει πλάτος αρκετά πμ, μεταξύ της λωρίδας που σκληρώνεται πρώτη και εκείνης που σκληρώνεται τελευταία. Αυτό οφείλεται στην επαναφορά (παράγρ. 19.8).

Το δεύτερο είδος φλογοθαφής [σχ. 19.9(β)] περιλαμβάνει θέρμανση και γρήγορη απόψυξη διαδοχικών τμημάτων της επιφάνειας (βαφή κατά ζώνες). Αυτή η φλογοθαφή έχει το μειονέκτημα του σχηματισμού στενής μαλακής ελικοειδούς ζώνης επάνω στο τεμάχιο. Κατά το τρίτο είδος φλογοθαφής [σχ. 19.9(γ)], η επιφάνεια που είναι για σκλήρωση θερμαίνεται γρήγορα από κυκλική κεφαλή K_2 με πολλά ακροφύσια οξυγόνου-ασετυλίνης, η οποία κινείται κατά μήκος του γρήγορα περιστρεφόμενου άξονα. Υπάρχει παρόμοια κυκλική κεφαλή γ.α την εκτόξευση νερού αποψύξεως. Αυτό το είδος φλογοθαφής δίνει βαμμένη επιφάνεια με σχετικά ομοιόμορφη σκληρότητα.

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

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

Μειονεκτήματα της φλογοθαφής είναι η αναπόφευκτη υπερθέρμανση της επιφανειακής στιβάδας και η δυσκολία ρυθμίσεως του βάθους βαφής με ακρίβεια. Πριν από τη φλογοθαφή τα τεμάχια πρέπει να υποστούν τις θερμικές κατεργασίες που χρειάζονται, για να αποκτήσουν τις μηχανικές ιδιότητες που επιθυμούμε. Συνήθως εκτελείται εξομάλυνση (παράγρ. 19.3).

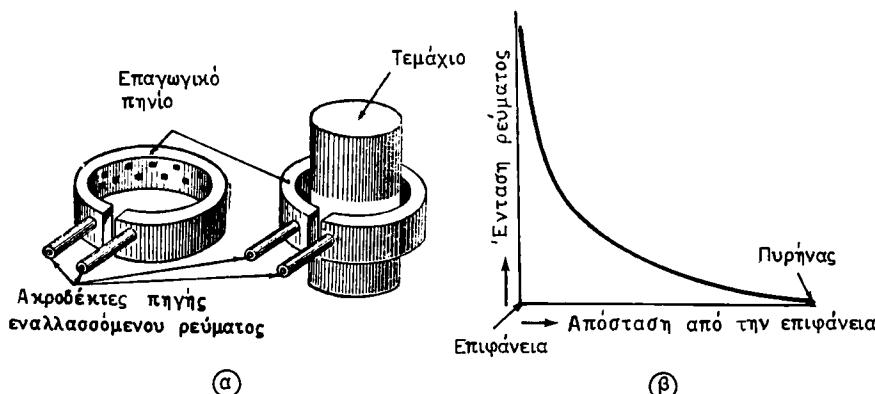
Ε) Βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

Μπορούμε να πετύχουμε τη θέρμανση του τεμαχίου με σκοπό την επιφανειακή σκλήρωση και με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Τη θέρμανση ακολουθεί, όπως και κατά τη φλογοθαφή, γρήγορη απόψυξη.

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

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

Κυλινδρικά τεμάχια θερμαίνονται, αφού τοποθετηθούν μέσα σε επαγωγικό πηνίο [σχ. 19.9δ(α)], το οποίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεί το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που χρειάζεται για την ανάπτυξη των δινορρευμάτων, όπως προηγουμένως αναφέραμε. Περίεργο φαινόμενο στην περίπτωση αυτή είναι η ανομοιόμορφη κατανομή των δινορρευμάτων στη διατομή του τεμαχίου από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του [σχ. 19.9δ(β)]. Μάλιστα, η κατανομή τους είναι τόσο ανομοιόμορφη, όσο η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσεως είναι υψηλότερη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **επιδερμικό**, γιατί όπως φαίνεται η ένταση του ρεύματος έχει τη μεγαλύτερη τιμή της επάνω στην επιφάνεια του τεμαχίου. Αυτή η ανομοιόμορφία του ρεύματος από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του τεμαχίου, έχει σαν αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη επίσης θέρμανση του τεμαχίου. Και μάλιστα η θερμοκρασία της επιφανειακής στιβάδας υψώνεται γρήγορα, ενώ ο πυρήνας του τεμαχίου παραμένει ψυχρός ή θερμαίνεται λίγο, λόγω της μεταδόσεως της θερμότητας με αγωγή από την επιφανειακή στιβάδα προς τον πυρήνα.



Σχ. 19.9.

- α) Διάταξη επαγγειακού πηνίου και κυλινδρικού τεμαχίου προς θέρμανση κατά την επιφανειακή βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. β) Διάγραμμα κατανομής δινορρευμάτων κατά τη θέρμανση τεμαχίων με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή με υψηλή συχνότητα.

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

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

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

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

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

19.10 Κλίβανοι θερμικών κατεργασιών.

Για την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών που αναφέραμε χρησιμοποιούνται κλίβανοι διαφόρων ειδών, ονομάζονται δε **κλίβανοι θερμικών κατεργασιών**. Αυτοί οι κλίβανοι κατατάσσονται με βάση τα εξής κριτήρια:

1) Με βάση τον τρόπο χρήσεως.

Με βάση τον τρόπο χρήσεώς τους οι κλίθανοι θερμικών κατεργασιών διακρίνονται σε κλίθανους **ανοπήσεως, βαφής, επαναφοράς και ενανθρακώσεως**. Υπάρχουν και **γενικής χρήσεως** κλίθανοι. Αυτοί οι κλίθανοι είναι κατάλληλοι για περισσότερες από μια θερμικές κατεργασίες. Έτσι, ο κλίθανος τύπου παρτίδας, ο οποίος χρησιμοποιείται πάρα πολύ στην πράξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανόπτηση, επαναφορά και ενανθράκωση, καθώς επίσης και για θέρμανση τεμαχίων, που είναι για βαφή ή εξομάλυνση.

2) Με βάση τον τρόπο λειτουργίας.

Οι κλίθανοι θερμικών κατεργασιών διακρίνονται σε:

- a) Κλίθανους τύπου παρτίδας και
- b) κλίθανους τύπου συνεχούς ροής (εργασίας).

Το πρώτο είδος κλίθανου λειτουργεί ως εξής:

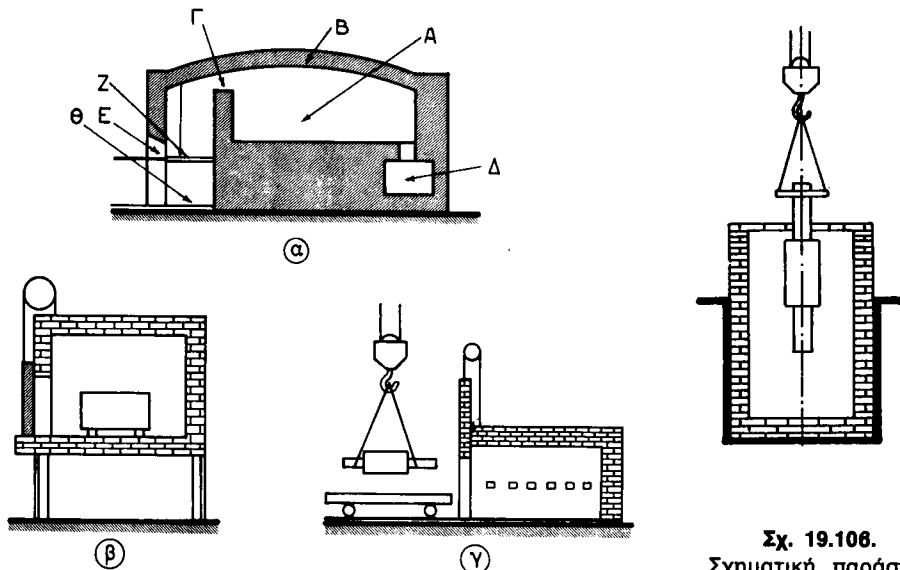
Ο κλίθανος τροφοδοτείται με ορισμένο αριθμό τεμαχίων (παρτίδα), τα οποία θερμαίνονται σε ορισμένη θερμοκρασία, παραμένουν για ορισμένο χρόνο σ' αυτή τη θερμοκρασία και ύστερα υπόκεινται σε ορισμένη θερμική κατεργασία. Παραμένουν π.χ. στον κλίθανο για να αποψυχθούν μέχρι να φθάσουν στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή αποσύρονται από τον κλίθανο για να υποστούν βαφή ή εξομάλυνση και έπειται η θερμική κατεργασία της επόμενης παρτίδας. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι κάθε παρτίδα που εισάγεται στον κλίθανο συνήθως διαφέρει από την άλλη παρτίδα κατά το μέγεθος, το βάρος, το είδος του χάλυβα, αλλά και κατά το είδος της θερμικής κατεργασίας που απαιτείται. Χαρακτηριστικό αυτών των κλίθανων, στους οποίους εκτελείται ποικιλία θερμικών κατεργασιών, είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας τους. Στα τμήματα θερμικών κατεργασιών, όπου υπάρχουν πολλοί κλίθανοι αυτού του είδους, είναι οικονομικότερο να χρησιμοποιούνται ορισμένοι κλίθανοι για ανόπτηση, άλλοι για βαφή ή εξομάλυνση κλπ. Γενικό παράδειγμα κλίθανων τύπου παρτίδας είναι οι κλίθανοι του σχήματος 19.10a.

Ο κλίθανος του σχήματος 19.10a(α) χρησιμοποιεί σαν καύσιμο άνθρακα. Αποτελείται από ευρύχωρο θάλαμο Α με θολωτή οροφή Β, η οποία έχει τρύπα για την είσοδο του πυρομέτρου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Επάνω στο δάπεδο του κλιθάνου τοποθετούνται τα τεμάχια και μάλιστα έτσι, ώστε να αφήνονται κενά μεταξύ τους. Τα κενά αυτά διευκολύνουν την κυκλοφορία των θερμών αερίων και έτσι επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση των τεμαχίων. Ο θάλαμος συγκοινωνεί με την εστία ή τις εστίες με μια πόρτα Γ, μέσα από την οποία εισέρχονται τα θερμά αέρια στο θάλαμο του κλιθάνου. Τα αέρια αυτά απάγονται προς την καπνοδόχο μέσα από ένα άνοιγμα Δ. Από την πόρτα Ε γίνεται η τροφοδότηση με άνθρακα, ο οποίος καίγεται στην εστία Ζ. Η στάχτη (τέφρα) που δημιουργείται από την καύση μαζεύεται στη σταχτοδόχο (τεφροδόχο) Θ. Ο κλίθανος εσωτερικά έχει πυρίμαχη επένδυση από τούβλα. Έξω δε από την πυρίμαχη επένδυση έχει κατάλληλο για τη θερμική μόνωσή του στρώμα.

Ο κλίθανος του σχήματος 19.10a(β) χρησιμοποιείται για θερμική κατεργασία τεμαχίων μικρού μεγέθους. Η εισαγωγή των τεμαχίων στον κλίθανο γίνεται συνήθως με τα χέρια. Για βαρύτερα όμως τεμάχια ή κιβώτια ενανθρακώσεως χρησιμοποιείται και ανυψωτικό μηχάνημα. Για την εύκολη εισαγωγή και εξαγωγή τεμαχίων μεγαλύτερου μεγέθους χρησιμοποιούνται κλίθανοι κινητού δαπέδου [σχ. 10.10a(γ)]. Στην περίπτωση αυτή το δάπεδο του κλιθάνου μετακινείται έξω από την κάμινο, όπου γίνεται με ευκολία η φόρτωση και εκφόρτωση.

Η θερμική κατεργασία τεμαχίων μεγάλου μήκους εκτελείται σε ειδικούς κλίθανους, όπως φαίνεται στο σχήμα 19.10b. Το τεμάχιο ή τα τεμάχια εισάγονται στον κλίθανο αφού ανυψωθούν καταλλήλως. Με αυτό τον τρόπο, με την κατακόρυφη θέση που παίρνουν, αποφεύγεται στρέθωσή τόντι που θα ήταν αναπόφευκτη αν τα τεμάχια έπαιρναν οριζόντια θέση.

Οι κλίθανοι **συνεχούς ροής** λειτουργούν πάντοτε κάτω από συνήθειες σταθερής θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται δηλαδή πάντοτε για τη θέρμανση τεμαχίων του ίδιου είδους, τα οποία υπόκεινται στην ίδια θερμική κατεργασία, π.χ. ανόπτηση, βαφή, ή επαναφορά. Οι κλίθανοι αυτοί επομένως είναι αυστηρά εξειδικευμένοι. Είναι τυπικοί εργοστασίων μαζικής παραγωγής. Κατά τη λειτουργία τους, τα τεμάχια εισάγονται από τη μια πλευρά και εξάγονται από την



Σχ. 19.10a.

Σχηματική απεικόνιση κλιβάνων θερμικών κατεργασιών τύπου παρτίδας.

Σχ. 19.10b.
Σχηματική παράσταση κλιβάνου τύπου παρτίδας για θερμική κατεργασία τεμάχιων μεγάλου μήκους.

απέναντι μετακινούμενα μέσω του κλιβάνου με μηχανικά μέσα.

Οι κλίβανοι συνεχούς ροής περιλαμβάνουν:

α) Τους κλίβανους **περιστρεφόμενου δαπέδου** [σχ. 19.10γ(α)] που στρέφονται αργά γύρω από κατακόρυφο άξονα.

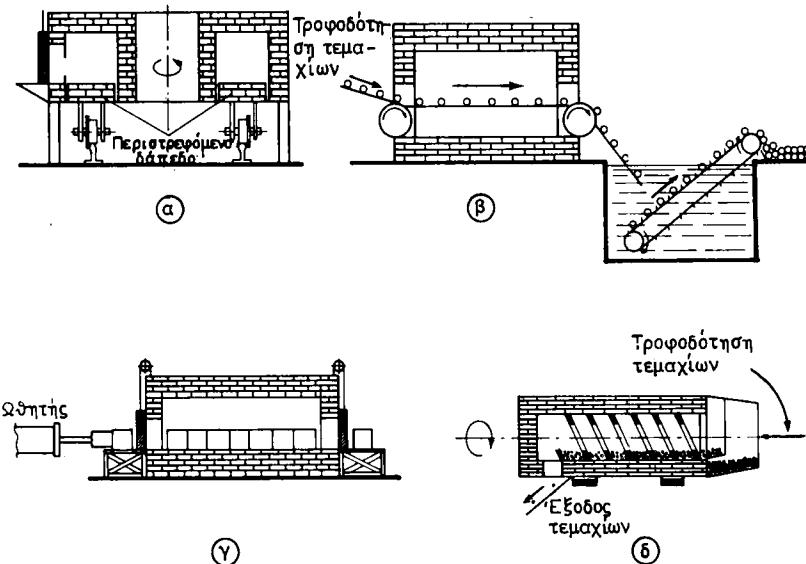
β) Τους κλίβανους **ωθήσεως** (ή με ωθητή) [σχ. 19.10γ(β)], όπου τα τεμάχια για θερμική κατεργασία αωθούνται, όπως φαίνεται στο σχήμα, διά μέσου του θαλάμου του κλιβάνου με ειδικό υδραυλικό μηχανισμό.

Αυτός ο μηχανισμός έχει σχεδιασθεί έτσι, ώστε τα τεμάχια να αωθούνται περιοδικά και σε ορισμένη απόσταση το καθένα. Τα μεγάλα τεμάχια τοποθετούνται απευθείας πάνω στο δάπεδο, ενώ τα μικρά τοποθετούνται σε κατάλληλα κιβώτια. Οι κλίβανοι αυτού του είδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανόπτηση, επαναφορά, βαφή ή εξομάλυνση.

γ) Τους κλίβανους **μεταφορικής ταινίας** [σχ. 19.10γ(γ)], στους οποίους η ταινία μετακινείται συνέχεια με πολύ χαμηλή ταχύτητα, κατασκευάζεται δε συνήθως χυτή από πυρίμαχο χάλιυθα που αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες [παράγρ. 21.4(Β)].

Τα τεμάχια που είναι για κατεργασία τοποθετούνται απ' ευθείας πάνω στην ταινία, όταν δε εξέρχονται από τον κλίβανο περισυλλέγονται σε κιβώτια ή εμβαπτίζονται σε κατάλληλο λουτρό. Συνήθως αυτοί οι κλίβανοι χρησιμοποιούνται για βαφή ή επαναφορά.

δ) Τους **περιστροφικούς κλίβανους** [σχ. 19.10γ(δ)], που στρέφονται με μικρή ταχύτητα γύρω από οριζόντιο άξονα. Τα τεμάχια διέρχονται από το θάλαμο του κλιβάνου με τη βοήθεια κοχλιωτικής μεταφορικής ταινίας. Οι κλίβανοι αυτού του είδους χρησιμοποιούνται για βαφή και επαναφορά μικρών τεμαχίων, όπως και για ενανθράκωση με αέρια μέσα. Τα θερμά αέρια ενανθρακώσεως κυκλοφορούν γύρω από τα τεμάχια με τη συνεχή περιστροφή του κλιβάνου.



Σχ. 19.10γ.

Κλίθανοι θερμικών κατεργασιών συνεχούς ροής: α) Κλίθανοι περιστρεφόμενου δαπέδου. β) Κλίθανος αωήσεως. γ) Κλίθανος μεταφορικής ταινίας. δ) Περιστροφικός κλίθανος.

3) Με βάση την πηγή της παρεχόμενης θερμότητας.

Οι κλίθανοι θερμικών κατεργασιών διακρίνονται, ως εξής, ως προς το είδος της πηγής της παρεχόμενης θερμότητας:

α) Σε κλίθανους στερεού, υγρού ή αερίου καυσίμου.

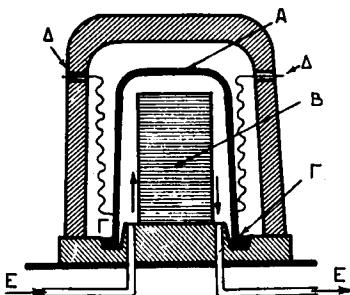
Στα σύγχρονα τμήματα θερμικών κατεργασιών οι κλίθανοι στερεού καυσίμου έχουν σχεδόν εγκαταλειφθεί. Μειονεκτούν στο ότι η σχεδίαση και η κατασκευή τους είναι πολύπλοκη, ο έλεγχος της θερμοκρασίας τους είναι πολύ δύσκολος και δεν προσφέρονται για αυτοματισμό. Οι κλίθανοι αερίου καυσίμου είναι πιο αποδοτικοί. Η σχεδίασή τους είναι πολύ απλή, η θερμοκρασία ελέγχεται εύκολα και επομένως δεν παρουσιάζουν δυσκολίες όταν λειτουργούν.

Στους κλίθανους αερίου καυσίμου η θερμότητα μεταδίδεται από τα θερμά αέρια με ακτινοβολία και κατευθείαν με αγωγή προς τα θερμαινόμενα τεμάχια.

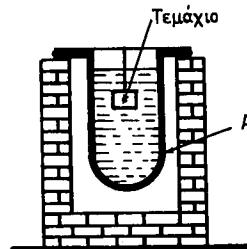
β) Σε ηλεκτρικούς κλίθανους που, είναι πολύ απλή η σχεδίασή τους. γιατί δεν έχουν θάλαμο καύσεως, καπναγωγούς ούτε καπνοδόχο. Η θερμοκρασία μετράται εύκολα και με ακρίβεια. Ο έλεγχός της γίνεται εύκολα και με ακρίβεια με την εφαρμογή συστημάτων αυτοματισμού.

Στους ηλεκτρικούς κλίθανους με μεταλλικά θερμαντικά στοιχεία, η μετάδοση της θερμότητας στα τεμάχια γίνεται με ακτινοβολία. Επομένως οι ηλεκτρικοί κλίθανοι θερμαίνονται κάπως αργότερα σε σχέση με τους κλίθανους καυσίμου. Επίσης, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες η θέρμανση των τεμάχιων είναι ανομοιόμορφη. Για να αποφύγουμε αυτά τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών κλίθανων χρησιμοποιούμε ανεμιστήρες για την κυκλοφορία του θερμού αέρα στο θάλαμο του κλίθανου.

Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως των ηλεκτρικών κλίθανων είναι πολύ υψηλός, γιατί δεν έχουμε απώλειες θερμότητας, όπως π.χ. με τα εξερχόμενα καυσαέρια στους κλίθανους καυσίμου. Είναι χαρακτηριστικό το παράδειγμα, ότι ο θερμικός βαθμός αποδόσεως ηλεκτρικού κλίθανου τύπου παρτίδας για βαφή και εξομάλυνση κυμαίνεται από 65% μέχρι 75%, ενώ ο



Σχ. 19.10δ.
Κλίβανος χωνευτηρίου τύπου κώδωνα.



Σχ. 19.10ε.
Κλίβανος λουτρού τηγμένων αλάτων.

Θερμικός βαθμός αποδόσεως αντίστοιχου κλίβανου καυσίμου κυμαίνεται από 15% μέχρι 20% μόνον.

Επίσης ο θερμικός βαθμός αποδόσεως κλίβανων συνεχούς ροής κυμαίνεται από 70% μέχρι 80% για ηλεκτρικούς κλίβανους, ενώ κυμαίνεται από 15% μέχρι 25% για κλίβανους καυσίμου.

4) Με θάση το είδος του μέσου εκτελέσεως θερμικής κατεργασίας.

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

- α) Ατμοσφαιρικός αέρας.
- β) Προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου.
- γ) Ειδική ατμόσφαιρα αερίου (όπως π.χ. κατά την ενανθράκωση με αέρια μέσα ή την εναζώτωση).

- δ) Λουτρά τηγμένων αλάτων.
- ε) Λουτρά ορυκτελαίων (λουτρά επαναφοράς) και
- στ) σκόνη, όπως κατά την ενανθράκωση με στερεά μέσα.

Για θέρμανση των τεμαχίων μέσα σε προστατευτική ατμόσφαιρα ή για ενανθράκωση, εναζώτωση ή ενδοκυάνωση χρησιμοποιείται κλίβανος χωνευτηρίου, τύπου κώδωνα (σχ. 19.10δ). Βασικά περιλαμβάνει το χωνευτήριο Α που είναι κατασκευασμένο από πυρίμαχο υλικό σε σχήμα κώδωνα. Το χωνευτήριο αυτό μπορεί να αφαιρείται κάθε φορά για να τοποθετούνται τα τεμάχια Β που είναι για θερμική κατεργασία. Το χωνευτήριο φράσσεται στη θάση του με κατάλληλο πυρίμαχο πλήρος Γ. Η θέρμανσή του γίνεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις Δ. Για τη δημιουργία της επιθυμητής ατμόσφαιρας μέσα στο χωνευτήριο κυκλοφορεί κατάλληλο αέριο με τη βοήθεια σωληνώσεων Ε. Σοθαρό μειονέκτημα αυτών των κλίβανων είναι η μικρή διάρκεια ζωής του χωνευτηρίου.

Λουτρά τηγμένων αλάτων.

Έχουμε αναφέρει, ότι για τη θέρμανση των τεμαχίων για να γίνει επαναφορά, βαφή ή ενανθράκωση με υγρά μέσα ενανθρακώσεως, χρησιμοποιούνται λουτρά τηγμένων αλάτων. Αυτά τα λουτρά έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν οξειδώνουν ούτε εξανθρακώνουν τα τεμάχια, πυρώνουν ομοιόμορφα, είναι κατάλληλα για συνεχή εργασία και προκαλούν στο ελάχιστο ρωγμές και στρεβλώσεις.

Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση τεμαχίων μικρού μεγέθους. Τυπικός κλίβανος λουτρού τηγμένων αλάτων δίνεται σχηματικά στο σχήμα 19.10ε.

Τα άλατα λιώνουν (τήκονται) μέσα σε χωνευτήριο Α κατασκευασμένο από πυρίμαχο χάλυβα συνήθως.

Το χωνευτήριο αυτό θερμαίνεται από την καύση υγρού ή αερίου καυσίμου (περίπτωση σχ.

19.10ε) ή από ηλεκτρικές αντιστάσεις που βρίσκονται μέσα στο λουτρό, ή από ηλεκτρόδια που βαφτίζονται μέσα στα τηγμένα άλατα. Η τελευταία αυτή περίπτωση έχει μεγαλύτερο θερμικό θαμμό αποδόσεως και χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση ταχυχαλύθων που είναι για βαφή, επειδή χρειάζονται υψηλή θερμοκρασία βαφής.

Στον Πίνακα 19.10.1 δίνονται τα άλατα και τα μήγματα αλάτων, καθώς και τα μέταλλα που συνήθως χρησιμοποιούνται σαν λουτρά. Παρέχονται επίσης και ορισμένα χρήσιμα στοιχεία για την πράξη. Για την επαναφορά εργαλείων μεταχειρίζομαστε και λουτρά λαδιού, που θεωρούνται κατάλληλα μέχρι τη θερμοκρασία των 300°C. Αυτά τα λουτρά παρουσιάζουν ευκολία στη μέτρηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Δεν απαιτούν δοχεία από πυρίμαχο υλικό, αλλά από χυτοσίδηρο ή κοινό χάλυβα.

19.11 Θερμικές κατεργασίες χαλυβοκραμάτων.

Όλα, όσα έχομε αναφέρει μέχρι τώρα περί θερμικών κατεργασιών, αφορούν τους ανθρακούχους χάλυβες. Κατά τις θερμικές όμως κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων (παράγρ. 20.1), παρατηρούνται ορισμένες διαφορές με τις οποίες θα ασχοληθούμε σ' αυτή την παράγραφο. Θα αναφέρομε γενικές μόνο παρατηρήσεις. Περισσότερα στοιχεία για τις θερμικές κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων θα δώσουμε στα σχετικά ειδικά κεφάλαια.

1) Βαφή χαλυβοκραμάτων.

Για τη βαφή των χαλυβοκραμάτων παρατηρούμε τα εξής:

α) Οι προσθήκες (δηλ. τα ξένα στοιχεία, που προσθέτομε στον ανθρακούχο χάλυβα, για να σχηματιστεί το χαλυβόκραμα) του χαλυβοκράματος (είδος και περιεκτικότητα), μεταβέτουν προς τα δεξιά το αντίστοιχο διάγραμμα X-Θ-M (σχ. 18.26). Αυτό σημαίνει ότι η κρίσιμη ταχύτητα βαφής (παράγρ. 18.3) ελαττώνεται. Αυτή η μετάθεση του διαγράμματος X-Θ-M είναι μεγαλύτερη όταν αυξηθεί η περιεκτικότητα σε προσθήκες. Περισσότερο μεταφέρονται προς τα δεξιά οι καμπύλες των χαλυβοκραμάτων με προσθήκες που σχηματίζουν καρβίδια. Επομένως, η κρίσιμη ταχύτητα βαφής ελαττώνεται προχωρώντας στις προσθήκες από το Cu, Ni, Si (στοιχεία που δεν σχηματίζουν καρβίδια) προς το Cr, Mo, W, Mn, Ti, V (στοιχεία, που σχηματίζουν καρβίδια).

β) Οι προσθήκες επιδρούν πολύ στη θερμοκρασία ενάρξεως (θ_e) και τέλος (θ_p) μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενσίτη κατά τη βαφή (παράγρ. 20.2). Οι θερμοκρασίες θ_e και θ_p εξαρτώνται και από την περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως έχομε αναφέρει (σχ. 19.7a).

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

γ) Ορισμένα χαλυβοκράματα, μετά από απόψυξη στον ήρεμο αέρα, μπορεί να αποκτήσουν κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη με ανάλογο ποσοστό υπολειπόμενου ωστενίτη, δηλαδή να βαφούν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι προσθήκες μετέθεσαν τόσο πολύ προς τα δεξιά την καμπύλη X-Θ-M του χαλυβοκράματος, ώστε η κρίσιμη ταχύτητα βαφής κατέβηκε κάτω από την ταχύτητα αποψύξεως στον ελεύθερο ήρεμο αέρα. Τα χαλυβοκράματα αυτά ονομάζονται **αυτόβαφα ή μαρτενσιτικά**.

ΠΙΝΑΚΑΣ 19.10.1

Λουτρά τηγμένων αλάτων και μετάλλων που χρησιμοποιούνται σε θερμικές κατεργασίες

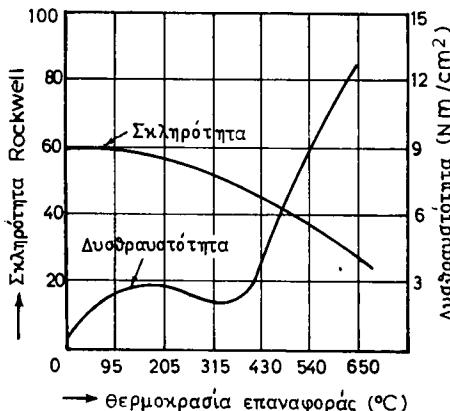
Σκοπός του λουτρού τηγμένων αλάτων	'Αλατα ή μίγματα αλάτων		Θερμοκρασία [°C]	
	Όνομασία	Βάρος [%]	Σημείο τήξεως	Περιοχή λειτουργίας
Επαναφορά ελατηρίων και μικρών τεμαχίων	Νιτρικό νάτριο	55	218	230 – 550
	Νιτρικό κάλιο	45		
	Νιτρικό νάτριο	45	317	325 – 600
	Νιτρικό κάλιο	55	337	350 – 600
Θέρμανση ανθρακούχων χαλύθων και πτωχών χαλυβοκραμάτων για βαφή	Χλωριούχο νάτριο	35	620	650 – 900
	Ασβεστοποιημένο νάτριο	65		
	Χλωριούχο νάτριο	22	654	675 – 900
Χλωριούχο βάριο	78			
Θέρμανση πλουσίων χαλυ- βοκραμάτων για βαφή	Χλωριούχο νάτριο	100	810	850 – 1100
Θέρμανση ταχυχαλύθων για βαφή	Χλωριούχο βάριο	100	960	1100 – 1350
Αλκαλικά λουτρά για επαναφορά	Καυστική σόδα	100	332	350 – 700
	Καυστική ποτάσσα	100	360	400 – 650
	Καυστική σόδα	37	159	180 – 350
	Καυστική ποτάσσα	63		
Λουτρά μολύθδου - κασσιτέρου για επαναφορά	Μόλυθδος Κασσίτερος	45 55	200	220 – 500
	Μόλυθδος Κασσίτερος	70 30	250	225 – 500
	Μόλυθδος Κασσίτερος	88 12	300	325 – 550

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

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

2) Επαναφορά χαλυβοκραμάτων.

Γνωρίζομε, ότι κατά την επαναφορά των ανθρακούχων χαλύβων (σχ. 19.8γ) η δυσθραυστότητα αυξάνεται συνεχώς, αν αυξάνεται και η θερμοκρασία ανοπτήσεως μέχρι περίπου τους 600°C και κατόπιν αρχίζει να ελαττώνεται. Σε ορισμένα χαλυβοκράματα δεν συμβαίνει αυτό, αλλά παρατηρείται σοβαρή πτώση της δυσθραυστότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες επαναφοράς, όπως από 200°C μέχρι 400°C (σχ. 19.11α) για φτωχό χαλυβόκραμα.



Σχ. 19.11.

Μεταβολή δυσθραυστότητας και σκληρότητας φτωχού χαλυβοκράματος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία ανοπτήσεως.

Πρακτική συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι ότι, αν χρειάζεται το χαλυβόκραμα να έχει κυρίως μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε φθορά, τότε η επαναφορά του γίνεται σε θερμοκρασία κάτω από 200°C . Αν χρειάζεται να έχει καλή δυσθραυστότητα, τότε η επαναφορά του γίνεται σε θερμοκρασία πάνω από 400°C ανάλογα.

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

Όμως, η δυσθραυστότητα του χαλυβοκράματος διατηρείται, αν η απόψυξη μετά την ανόπτηση γίνεται γρήγορα, π.χ. μέσα σε νερό. Αν προσθέσομε λίγο Mo

(περίπου 0,10%) στο χαλυβόκραμα, αυτή η ανωμαλία περιορίζεται κατά πολύ.

Επίσης, σε ορισμένα πλούσια χαλυβοκράματα, όπως είναι οι ταχυχάλυβες [παράγρ. 21.3(Ε)], οι οποίοι περιέχουν στοιχεία που σχηματίζουν καρβίδια, παρατηρείται ότι η σκληρότητά τους μετά την επαναφορά δεν ελαττώνεται [σχ. 19.8γ(θ)]. Αυτού του είδους οι χάλυβες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής, που πρέπει να διατηρούν τη σκληρότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Γιατί, όπως είναι γνωστό κατά την κοπή των μετάλλων, για να έχομε καλή απόδοση χρειάζεται μεγάλη ταχύτητα κοπής, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμοκρασίας του εργαλείου.

ΜΕΡΟΣ ΟΓΔΟΟ

ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΩΝ

20.1 Τα μειονεκτήματα των ανθρακούχων χαλύβων.

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

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

β) Κατά τη βαφή τους παρατηρείται έντονο το φαινόμενο **μάζας** [παράγρ. 19.7(Δ)]. Δηλαδή, τεμάχια με μεγάλη διατομή δεν μπορούν να βαφούν ομοιόμορφα σε όλη την έκταση της διατομής τους, έστω και στο δραστικότερο λουτρό βαφής. Επίσης από τη μεγάλη ταχύτητα αποψύξεως που απαιτείται για τη βαφή των ανθρακούχων χαλύβων, δημιουργούνται στα τεμάχια στρεθλώσεις, ρωγμές ή και τα δύο.

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

δ) Μετά την επαναφορά, η σκληρότητά τους [σχ. 19.8γ(β)] πέφτει απότομα με αύξηση της θερμοκρασίας επαναφοράς. Αυτό αποτελεί σοθαρό μειονέκτημα των εργαλείων, κοπής, όπου είναι απαραίτητη η σκληρότητα και σε υψηλές θερμοκρασίες.

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

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

Τα χαλυβοκράματα είναι κράματα σιδήρου και άνθρακα στα οποία προσθέτονται ένα ή περισσότερα ξένα στοιχεία, τα οποία ονομάζομε **προσθήκες**. Σ' αυτές τις προσθήκες οφείλονται οι βελτιωμένες ή και εντελώς νέες ιδιότητες των χαλυβοκραμάτων, τις οποίες δεν έχουν οι ανθρακούχοι χάλυβες. Έτσι, μικρές π.χ. ποσότητες νικελίου, Ni και χρωμίου, Cr, βελτιώνουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες ανθρακούχου χάλυβα, ενώ μεγαλύτερες ποσότητες

αυτών των στοιχείων μας δίνουν ανοξείδωτο χάλυβα [παράγρ. 21.4(A)].

Οι πιο συνηθισμένες προσθήκες είναι:

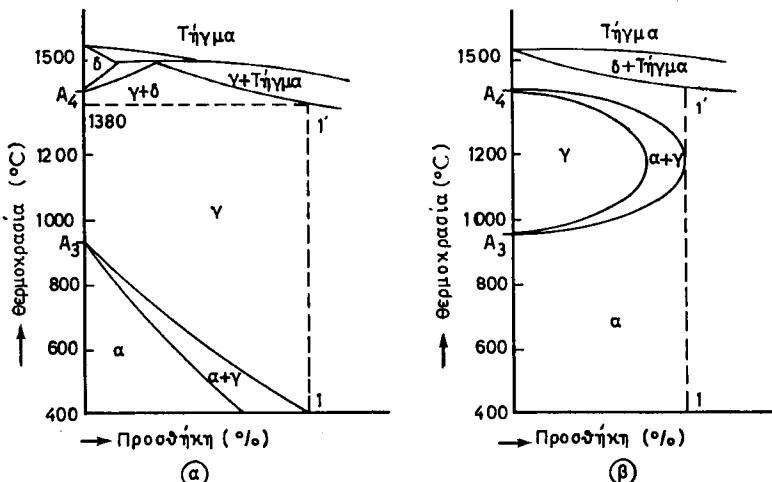
α) Το μαγγάνιο, Mn, το νικέλιο, Ni, το χρώμιο, Cr και το πυρίτιο, Si, τα οποία ονομάζομε **κύριες προσθήκες** και β) το μολυβδαίνιο, Mo, το θολφράμιο, W, το βανάδιο, V, το κοβάλτιο, Co, και το αργίλιο, Al, τα οποία καλούμε **δευτερεύουσες προσθήκες**.

20.2 Επίδραση των προσθηκών. Είδη χαλυβοκραμάτων.

Παρακάτω θα αναφέρουμε χονδρικά την επίδραση, που ασκούν οι προσθήκες, στις μηχανικές και άλλες ιδιότητες των χαλυβοκραμάτων, καθώς επίσης και την κρυσταλλική τους δομή. Έπειτα θα εξετάσουμε με λεπτομέρεια την επίδραση κάθε προσθήκης χωριστά. Έτσι:

α) Με τις προσθήκες προσδίνεται μεγαλύτερη αντοχή στο χαλυβόκραμα.
 β) Μερικές προσθήκες, όπως είναι το Ni, Mn και το Co κατεβάζουν το κρίσιμο σημείο A_3 (σχ. 16a, 17.1, 17.2a), όπως φαίνεται στο σχήμα 20.2a(a). Έτσι, όταν τα στοιχεία αυτά προστεθούν σε ανθρακούχο χάλυβα, σταθεροποιούν τον ωστενίτη και αυξάνουν την περιοχή θερμοκρασιών, στις οποίες ο ωστενίτης μπορεί να δρίσκεται σε κατάσταση ευστάθειας, δηλαδή να μη διασπάται. Αν π.χ. η προσθήκη φθάσει την περιεκτικότητα που αντιστοιχεί στο σημείο 1, τότε η κρυσταλλική δομή του χαλυβοκράματος θα είναι ωστενίτης από θερμοκρασία 400°C μέχρι περίπου 1380°C (σημείο 1'). Όπως θα δούμε παρακάτω, μπορεί με κατάλληλες προσθήκες να έχουμε ευσταθή ωστενίτη και στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Άλλες προσθήκες, όπως είναι το Cr, W, V, Mo και Si κατεβάζουν το κρίσιμο



Σχ. 20.2a.

Επίδραση της προσθήκης στα κρίσιμα σημεία A_4 και A_3 του χαλυβοκράματος. α) Το κρίσιμο σημείο A_3 κατεβαίνει. β) Το κρίσιμο σημείο A_3 ανέβαινει.

σημείο A_4 και ανεβάζουν το A_3 [σχ. 20.2a (6)]. Έτσι περιορίζονται οι θερμοκρασίες και περιεκτικότητες της προσθήκης, στις οποίες υπάρχει ευσταθής ωστενίτης και δημιουργείται ένας **γ-θρόγχος**, όπως τον ονομάζομε. Επομένως, μόλις η προσθήκη υπερβεί την αναλογία που αντιστοιχεί στο σημείο 1 [σχ. 20.2a(6)], τότε το χαλυβόκραμα θα έχει κρυσταλλική δομή φερρίτη (α) σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, μέχρι εκείνη που αντιστοιχεί στο σημείο 1'. Είναι φανερό, ότι αυτά τα χαλυβοκράματα δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες, γιατί δεν παρουσιάζουν κρίσιμα σημεία.

- γ) Τα στοιχεία Cr, W, V, Mo, Ti και Mn, όταν προστεθούν σε ανθρακούχο χάλυβα σχηματίζουν **σταθερά καρβίδια** και μάλιστα πολύ σκληρότερα από το γνωστό σεμεντίτη (παράγρ. 17.1). Όμως, άλλες προσθήκες όπως το Ni, Si και Al **γραφιτοποιούν** το σεμεντίτη.

Ο σεμεντίτης, σ' αυτήν την περίπτωση, διασπάται σε φερρίτη και γραφίτη. Στην πράξη, για να αποφύγουμε το αποτέλεσμα της γραφιτοποίησεως του σεμεντίτη που χειροτερεύει τις μηχανικές ιδιότητες του χαλυβοκράματος, προσθέτομε στοιχεία τα οποία σχηματίζουν καρβίδια, όπως συμβαίνει με τους νικελιοχρωμούχους χάλυβες [παράγρ. 20.2(Δ)]. Σ' αυτούς, ενώ το Ni βοηθάει στην απελευθέρωση γραφίτη, το Cr σχηματίζει σκληρά καρβίδια.

δ) Οι προσθήκες μετατοπίζουν προς τα αριστερά το σημείο της ευτηκτοειδούς αναλογίας S (σχ. 17.2a) του θερμικού διαγράμματος ισορροπίας του χάλυβα. Αυτό σημαίνει ότι το χαλυβόκραμα θα έχει κρυσταλλική δομή περλίτη, αν και θα περιέχει άνθρακα κάτω από 0,80%. Χαλυβοκράματα π.χ. με $\pi(Mn) = 2,50\%$ παρουσιάζει δομή περλίτη με $\pi(C) = 0,65\%$.

ε) Στην παράγραφο 19.11 έχομε αναφέρει ότι οι προσθήκες σε ανθρακούχο χάλυβα μεταβέτουν προς τα δεξιά το διάγραμμα X-Θ-M, με συνέπεια την ελάττωση της κρίσιμης ταχύτητας αποψύξεως (παράγρ. 18.3) του χαλυβοκράματος και αύξηση της ικανότητάς του για βαφή. Αυτό επιτρέπει τη χρησιμοποίηση ηπιωτέρων λουτρών βαφής με τα γνωστά πλεονεκτήματα (αποφεύγονται στρεβλώσεις και ρωγμές των τεμαχίων).

Ας πάρομε σαν παράδειγμα τον ευτηκτοειδή ανθρακούχο χάλυβα. Για να βαφεί, πρέπει να αποψυχθεί από 723°C μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε χρονικό διάστημα ενός περίου δευτερολέπτου μέσα σε λουτρό νερού (δραστικό λουτρό βαφής). Αν προσθέσουμε σ' αυτό το χάλυβα μικρές ποσότητες Ni και Cr, η κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως ελαττώνεται τόσο, ώστε η βαφή να είναι δυνατή μέσα σε λουτρό ελαίου (ήπιο λουτρό βαφής). Ορισμένα χαλυβοκράματα, με κατάλληλες προσθήκες, βάφονται ακόμη και αν αποψυχθούν στον ελεύθερο αέρα (πολύ χαμηλή κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως).

στ) Προσθήκες, όπως το Cr, Si και Al βελτιώνουν σημαντικά την αντοχή του χαλυβοκράματος σε διάθρωση.

ζ) Τέλος, ορισμένες προσθήκες αυξάνουν το μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη, όπως είναι το Cr και το Si, ενώ άλλες ελαττώνουν το μέγεθος των κόκκων, όπως το Ni. Αυτό έχει, όπως είναι γνωστό, ιδιαίτερη σημασία, γιατί επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του χαλυβοκράματος. Η δυσθραυστότητα π.χ. βελτιώνεται με εκλέπτυνση των κόκκων.

Ας μελετήσουμε τώρα παρακάτω τις επιδράσεις κάθε προσθήκης χωριστά (συνοπτικά δίνονται στον Πίνακα 20.2.1), καθώς επίσης και τα αντίστοιχα χαλυβοκράματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.1

Επίδραση των προσθηκών στις διάφορες ιδιότητες των χαλύβων

	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	Si	Al	Co
1. Ιδιότητες των χαλύβων	3%	10%	απεριό-ριστη	33%	37,50%	απεριό-ριστη	18,50%	36%	75%
2. Διαλυτότητα στο φερρίτη			απεριό-ριστη	12,80%	6%	3%	1%	2%	1,10% απεριό-ριστη
	+	-		+	+	+	+	-	+
3. Τάση σχηματισμού καρβεδίων			(γραφι-τοποει)						(γραφι-τοποει)
4. Μηχανικές ιδιότητες	θελήτωση	θελήτωση							
5. Σταθεροποίηση αστενίτη	ΝΑΙ	ΝΑΙ							
6. Σταθεροποίηση φερρίτη					ΝΑΙ				
7. Ελάττωση κρίσιμης ταχύτητας αποψύξεως	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ				ΝΑΙ		
8. Ελάττωση επιτηκτού διόδου περιεκτικότητας σε άνθρακα							ΝΑΙ		
9. Μέγεθος κόκκων	ελάττωση	αύξηση					ελάττωση		ελάττωση
10. Αύξηση αυτοχής σε φθορά από τριθή					ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ		
11. Αντοχή σε διάθρωση						αύξηση			
12. Αύξηση αυτοχής σε επαναφορά					ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ		ΝΑΙ
13. Ευθραυστότητα από επαναφορά								περιόρισμας	

A) Το μαγγάνιο και οι μαγγανιούχοι χάλυβες.

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

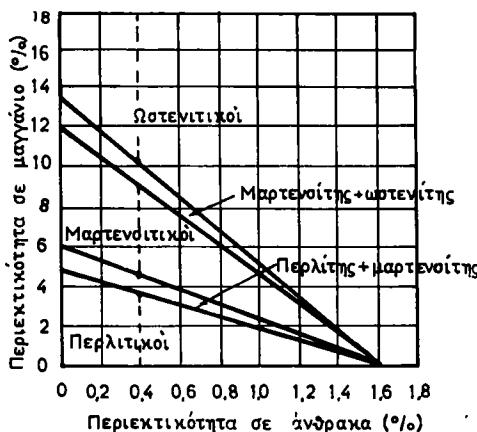
Αν προστεθεί το μαγγάνιο σε μεγαλύτερες ποσότητες στους ανθρακούχους χάλυβες:

α) Βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες του χαλυβοκράματος.

β) Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.

γ) Κατεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και έτσι κάνει σταθερό τον ωστενίτη και δ) σχηματίζει σταθερά καρβίδια.

Οι μαγγανιούχοι χάλυβες έχουν κρυσταλλική δομή περλίτη (περλιτικό χάλυβες), μαρτενσίτη (μαρτενσιτικοί) ή ωστενίτη (ωστενιτικοί) ανάλογα με την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα και μαγγάνιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 20.28.



Σχ. 20.28.

Κρυσταλλική δομή μαγγανιούχων χαλύβων σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε άνθρακα και μαγγάνιο.

Μαγγανιούχος χάλυβας π.χ. με $\pi(C) = 0,40\%$ θα έχει κρυσταλλική δομή περλίτη για $\pi(Mn) = 0\%$ ως $3,70\%$, μαρτενσίτη για $\pi(Mn) = 4,80\%$ ως 9% και ωστενίτη για $\pi(Mn) > 10,50\%$ κατά προσέγγιση. Οι περλιτικοί μαγγανιούχοι χάλυβες, που χρησιμοποιούνται βιομηχανικά, περιέχουν περίπου $1,50\% Mn$ και από $0,20\%$ μέχρι $0,25\% C$. Για να ελαττωθεί το φαινόμενο μάζας κατά τη βαφή τους προσθέτομε $0,20\%$ ως $0,55\% Mo$ (Πίνακας 20.2.7).

Οι μαρτενσιτικοί μαγγανιούχοι χάλυβες δεν παρουσιάζουν βιομηχανικό ενδιαφέρον.

Πρέπει να σημειώσουμε, ότι ο μόνος ωστενιτικός μαγγανιούχος χάλυβας που μας ενδιαφέρει, είναι ο γνωστός ως χάλυβας Hadfield (Χάντφελντ) με περιεκτικότητα $1,20\% C$ και $12,50\% Mn$ που παρασκευάστηκε το 1882. Αυτός ο χάλυβας παρουσιάζει πολύ μεγάλη δυσθραυστότητα και αποκτάει εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής σε φθορά από κρούση κατά τη χρήση του. Η επιφάνειά του δηλαδή

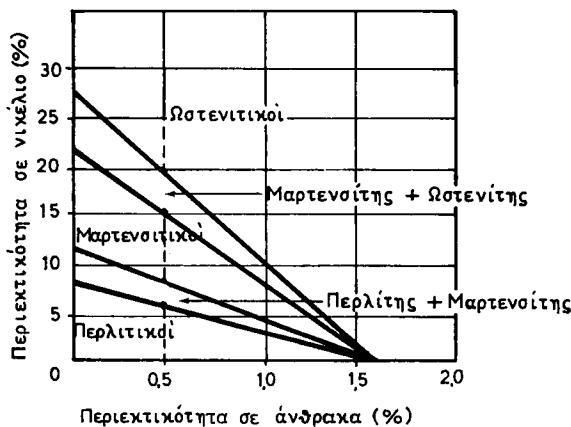
συνεχώς σκληρένεται, όπως π.χ. κατά τη χρησιμοποίησή του σε χαλκοθραυστήρες με το κτύπημα των λίθων. Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες, καθώς και οι βιομηχανικές χρήσεις των κυριοτέρων μαγγανιούχων χαλύβων αναγράφονται στον Πίνακα 20.2.2.

B) Το νικέλιο και οι νικελιούχοι χάλυβες.

Το νικέλιο σαν προσθήκη στους ανθρακούχους χάλυβες:

- Βελτιώνει τις μηχανικές τους ιδιότητες.
- Ελαττώνει την ευτηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα.
- Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.
- Κατεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και επομένως σταθεροποιεί τον ωστενίτη.
- Γραφιτοποιεί το σεμεντίτη και
- περιορίζει την αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη.

Οι νικελιούχοι χάλυβες διακρίνονται σε περλιτικούς, μαρτενσιτικούς ή ωστενιτικούς. Το είδος αυτό της κρυσταλλικής τους δομής εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα και νικέλιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 20.2γ.



Σχ. 20.2γ.

Κρυσταλλική δομή νικελιούχων χαλύβων σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε άνθρακα και νικέλιο.

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

Συνήθως οι περλιτικοί νικελιούχοι χάλυβες περιέχουν μέχρι 5% Ni και άνθρακα από $0,10\%$ μέχρι $0,40\%$. Οι νικελιούχοι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα ($0,10\%$ μέχρι $0,15\%$) είναι κατάλληλοι για ενανθράκωση και επιφανειακή σκλήρωση (παράγρ. 19.9). Οι νικελιούχοι χάλυβες με άνθρακα από $0,25\%$ μέχρι $0,40\%$ χρησιμοποιούνται, αφού υποστούν επιβελτίωση [παράγρ. 19.8 (Γ)] για την κατασκευή τεμαχίων που καταπονούνται σε κόπωση (κεφ. 9),

ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.2
Μαργανιούχοι χάλυβες

Χημική σύνθεση [%]		Μηχανικές ιδιότητες				έθερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [N/mm ²]	A [%]	ρ^* [Nm/cm ²]		
0,25	1,50	Μετά από εξομάλυνση	580	20	—	Βαφή σε λάδι από 880°C. Εποναφορά ανάλογα με τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες	Χάλυβας κατασκευών. Άξονες μεταδοσεως κινήσεων, στροφαλοφόροι δίσκονες, διάστηματα
0,35	1,50	Σε ράθο διαιμήτρου 30 mm	700	27	72	Βαφή σε νερό από 840°C έως 860°C. Επαναφορά σε 550°C	Χάλυβας κατασκευών. Σε βιομηχανία αυτοκινήτων και για μηχανολγικές γενικά
						έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	κατασκευές, όπου δεν επαρκεί ο ανθρακούχος χάλυβας, δεν δικαιολογείται όμως ο ακριβότερος νικελοχρωματικός
1,20	12,50	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	830	40	—	Βαφή από 1050°C σε νερό	Χάλυβας κατασκευών ανοξείδωτος. Μηχανήματα εξορύξεις, δόντια εκσκαφέων, τροχοί εργωστρών ελαστηρίων και γερανών, σιαγόνες θραυστήρων

* Δοκίμια κατά IZOD [σχ. 8a(a)].

όπως είναι οι στροφαλοφόροι άξονες, οι διωστήρες και άλλα στοιχεία μηχανών.

Οι μαρτενσιτικοί νικελιούχοι χάλυβες και οι μαγγανιούχοι δεν παρουσιάζουν βιομηχανικό ενδιαφέρον.

Οι ωστενιτικοί νικελιούχοι χάλυβες είναι αμαγνητικοί. Όταν έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο, παρουσιάζουν αντοχή στη διάθρωση.

Όπως θα δούμε παρακάτω [παράγρ. 21.4(A)], το νικέλιο και το χρώμιο αποτελούν τις βασικές προσθήκες των ανοξειδώτων χαλύβων.

Ορισμένοι νικελιούχοι χάλυβες παρουσιάζουν πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής, όπως είναι το Ινβάρ (Invar) με $\pi(\text{Ni}) = 36\%$. Άλλοι παρουσιάζουν χαρακτηριστικές μαγνητικές ιδιότητες, όπως το Πέρμαλλοϋ (Permalloy) με $\pi(\text{Ni}) = 78,50\%$, το οποίο έχει πολύ μεγάλο συντελεστή μαγνητικής διαπερατότητας. (Ηλεκτρολογία, Τόμος Β', σελ. 24-26) σε ασθενή μαγνητικά πεδία.

Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των πιο βασικών νικελιούχων χαλύβων δίνονται στον Πίνακα 20.2.3.

Γ) Το χρώμιο και οι χρωμιούχοι χάλυβες.

Το χρώμιο σε ανθρακούχο χάλυβα:

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

β) Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.

γ) Χαμηλώνει την ευτηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα.

δ) Σχηματίζει σκληρά καρβίδια.

ε) Ανεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και κατεβάζει το A_4 , σχηματίζει δηλαδή γ -θρόγχο (παράγρ. 20.2) και έτσι σταθεροποιείται ο φερρίτης.

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

ζ) αυξάνει την αντοχή του χάλυβα στη διάθρωση (αποτελεί κύρια προσθήκη των ανοξειδώτων χαλύβων).

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

Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες, καθώς και τυπικές εφαρμογές των χρωμιούχων χαλύβων φαίνονται στον Πίνακα 20.2.4.

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

ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.3
Νικελούχοι χάλυβες

Χημική σύνθεση [%]				Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες		Βιομηχανικές χρήσεις	
C	Mn	Ni	Kατάσταση χάλυβα	σ_{B} [N/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]					
0,40	1,50	1,00	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 600°C	710	25	96	Βαφή σε λάδι από 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Στροφαλοφόροι δένοντες, αξεσουάρ, διαστημήρες. Τεμάχια βιομηχανίας αυτοκινήτων και γενικής μηχανολογίας			
0,30	0,60	3,00	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 600°C	870	25	110	Βαφή σε λάδι από 840°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Όπως παραπάνω. Επί πλέον για δένοντες αντλών και στροβίλων			
0,12	0,45	3,00	Μετά από θαφή	790	20	82	Μετά την εγανθράκωση, θαφή πυρήνα από 860°C σε λάδι. Βαφή επιφανειακής στιβάδας από 770°C σε νερό	Χάλυβας κατασκευών (ενανθρακώσεως). Οδοντωτοί τροχοί, πείροι, εικεντροφόροι δένοντες			
0,12	0,40	5,00	Μετά από θαφή	870	22	72	Μετά την εγανθράκωση, θαφή πυρήνα από 850°C σε λάδι. Βαφή επιφανειακής στιβάδας από 760°C σε νερό	Χάλυβας κατασκευών (ενανθρακώσεως). Τεμάχια με σκληρή επιφάνεια φορτίζομενα με μεγάλα φορτία. Οδοντωτοί τροχοί κιβωτών ταχητών, κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, πείροι, απέρμανες κοκλείς			

ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.4
Χρωμούχοι Χάλυβες

Χημική σύνθεση [%]				Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσες
C	Mn	Cr	Κατάσταση χάλυβα	σ _b [Ν/μμ ²]	A [%]	Σκληρότητα κατά Brinell		
0,60	0,65	0,65	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 200°C	—	—	700	Βαρφή σε λάδι από 800° έως 850°C. Επαναφορά για εργαλεία ψυχρηλασίας σε 200° έως 300°C και για εργαλεία θερμηλασίας σε 400° έως 600°C	Χάλυβας εργαλείων. Γενικά για εργαλεία στοιχηματικού και λεβητοποιού ού
0,45	0,90	1,00	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 650°C. Ράθρος, διαμέτρου 30 mm	980	20	—	Βαρφή σε λάδι από 860°C. Επαναφορά σε 550° έως 700°C	Χάλυβας κατασκευών. Στοχεία αγροτικών μηχανών και εργαλείων. Λεπτότης και δύντια εκσκαφέων. Αξονες μεταδόσεως κινησιών, διωστήρες, θραύσιον (μπάρες) αυστημάτων οχημάτων
1,00	0,45	1,40	Μετά από θαφή	—	—	850	Βαρφή σε λάδι από 810°C. Επαναφορά σε 150°C	Χάλυβας κατασκευών. Ενσφαιριστρίες (ρουλεμάν). Έκκεντρα.
0,04	0,45	14,00	Μετά από αναπηρηση	50	31	—	Δεν βάφεται. Σκληρύνεται μόνο για ψυχρηλασία	Ανοξείδωτος σιδηρος. Οικιακά σκεύη (ιδιαίτερα πειρούνια και μαχίρια)
0,22	0,50	13,00	Μετά από θαφή και επαναφορά σε 700°C	75	26	220	Βαρφή σε λάδι, νερό ή αέρα από 950°C έως 1000°C. Επαναφορά σε 500° έως 750°C	Ανοξείδωτος χάλυβας κατασκευών. Βαλβίδες και εξαρτήματα αντλιών
2,10	—	12,50	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 200°C	—	—	850	Βαρφή σε λάδι από 960° έως 990°C. Επαναφορά σε 150° έως 400°C	Χάλυβας εργαλείων, στιγείς (ζουμπάδες), μήτρες, λεπιδές ψαλίδιων. Μήτρες κοινωνιαλού όργας, μήτρες κατασκευής σπειρωμάτων με σκηπίση

Δ) Ο συνδυασμός νικελίου και χρωμίου. Οι νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες.

Συχνά, σαν προσθήκες στους ανθρακούχους χάλυβες χρησιμοποιείται το νικέλιο μαζί με το χρώμιο. Σ' αυτή την περίπτωση διατηρούνται οι ευνοϊκές ιδιότητες των δυο προσθηκών, ενώ εξουδετερώνονται τα μειονεκτήματα της μιας, όταν αυτή χρησιμοποιείται χωριστά, από την παρουσία της άλλης. Παρατηρούμε π.χ. ότι η γρήγορη αύξηση του μεγέθους των κόκκων του ωστενίτη, η οποία οφείλεται στο χρώξιο [παράγρ. 20.3(Γ)] εξουδετερώνεται από το νικέλιο που έχει τάση ελαττώσεως του μεγέθους των κόκκων. Αντίστροφα, η τάση που έχει το νικέλιο να γραφιτοποιεί το σεμεντίτη [παράγρ. 20.2(Β)], αντισταθμίζεται από την ιδιότητα που έχει το χρώμιο να τον σταθεροποιεί και να σχηματίζει σκληρά καρβίδια.

Έτσι, η υψηλή αντοχή, η καλή δυσθραυστότητα και η πλαστικότητα, που δίνει στο χαλυβόκραμα το νικέλιο, συνδυάζονται με τη σκληρότητα, άρα και την αντοχή σε φθορά από τριβή που δίνει το χρώμιο. Εκτός από αυτά, το χρώμιο και το νικέλιο μαζί περιορίζουν κατά πολύ το φαινόμενο μάζας κατά τη βαφή. Έτσι, μπορεί να βαφούν μέχρι την καρδιά τεμάχια που έχουν διάμετρο ακόμη και 500 mm. Επίσης δίνουν γενικά πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, απαραίτητες για τεμάχια που καταπονούνται με υψηλές μηχανικές τάσεις. Έτσι, παρασκευάζεται ολόκληρη σειρά **νικελιοχρωμιούχων χαλύβων**, όπως λέγονται.

Αυτοί οι χάλυβες θρίσκουν εφαρμογές συνήθως σε κατάσταση επιβελτιώσεως [παράγρ. 19.8(Γ)] και περιέχουν:

Από 1,00% μέχρι 3,50% Ni.

Από 0,25 μέχρι 1,50 Cr και

Από 0,25 μέχρι 0,40% C.

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

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

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

Κατά την επαναφορά ορισμένων από τους νικελιοχρωμιούχους χάλυβες παρατηρείται το φαινόμενο της **ευθραυστότητας από επαναφορά** που συναντήσαμε στην παράγραφο 19.11. Αυτά δηλαδή τα χαλυβοκράματα, σε ορισμένη περιοχή θερμοκρασίας επαναφοράς, παρουσιάζουν μειωμένη δυσθραυστότητα.

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

Προσθήκη 0,30% μέχρι 0,50% μολυβδανίου στους νικελιοχρωμιούχους χάλυβες περιορίζει κατά πολύ το φαινόμενο αυτό της ευθραυστότητας από επαναφορά. Οι χάλυβες που αναφέραμε ανήκουν στην κατηγορία των νικελιοχρωμιούχων χαλύβων χαμηλής περιεκτικότητας σε προσθήκες. Υπάρχουν όμως και οι ωστενιτικοί νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες (ανοξείδωτοι χάλυβες) με

θάση τον τυπικό χάλυβα 18-8, δηλαδή με $\pi(\text{Ni}) = 18\%$ και $\pi(\text{Cr}) = 8\%$. Με αυτούς τους χάλυβες θα ασχοληθούμε στην παράγραφο 21.4(A).

Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των νικελιοχρωμιούχων χαλύβων δρίσκονται στον Πίνακα 20.2.5.

Ε) Το βολφράμιο και οι βολφραμιούχοι χάλυβες.

Το βολφράμιο, όταν προστίθεται στο χάλυβα σχηματίζει κυρίως σταθερά, πολύ σκληρά και δύσθραυστα καρβίδια. Βαμμένοι βολφραμιούχοι χάλυβες δεν χάνουν τη σκληρότητα και τη μηχανική τους αντοχή ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτή την ιδιότητά τους τη χαρακτηρίζουμε σαν **αντοχή σε επαναφορά**. Γι' αυτό το βολφράμιο, σε μεγάλες περιεκτικότητες, χρησιμοποιείται σαν βασική προσθήκη των χαλύβων εργαλείων, ιδιαίτερα των ταχυχαλύβων [παράγρ. 21.3 (Ε)]. Στον Πίνακα 20.2.6 δίνομε τα χαρακτηριστικά στοιχεία και τις εφαρμογές των βολφραμιούχων χαλύβων, εκτός των ταχυχαλύβων.

ΣΤ) Το μολυθδαίνιο και οι μολυθδαινιούχοι χάλυβες.

Το μολυθδαίνιο, όταν προστίθεται στο χάλυβα:

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

β) Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως.

γ) Περιορίζει την ευθραυστότητα από επαναφορά.

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

Το μολυθδαίνιο σε περιεκτικότητα μέχρι περίπου 0,80% χρησιμοποιείται σαν προσθήκη σε χάλυβες κατασκευών, σε υψηλότερες όμως περιεκτικότητες (μέχρι και 9%) σε χάλυβες εργαλείων. Χρησιμοποιείται επίσης σαν προσθήκη και των πυρίμαχων χαλύβων. Συνήθως χρησιμοποιείται μαζί με το νικέλιο και το χρώμιο. Το μολυθδαίνιο αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε **ερπυσμό*** και βελτιώνει τις μηχανικές του ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό κατάλληλος μολυθδαινιούχος χάλυβας χρησιμοποιείται σε κατασκευή μερών λεβήτων, αεριοστροβίλων και άλλων συναφών κατασκευών.

Χαρακτηριστικά στοιχεία και εφαρμογές των μολυθδαινιούχων χαλύβων δίνονται στον Πίνακα 20.2.7.

Ζ) Το βανάδιο και βαναδιούχοι χάλυβες.

Το βανάδιο ως προσθήκη των χαλύβων:

α) Σχηματίζει σκληρά και πολύ λεπτά καρβίδια.

β) Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά.

γ) Ευνοεί την ανάπτυξη κόκκων μικρού μεγέθους.

* Ερπυσμός είναι το φαινόμενο της βαθμιαίας, θραδείας και συνεχούς επιμηκύνσεως των μετάλλων ή κραμάτων, όταν φορτίζονται από σταθερό φορτίο, ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες. Ο ερπυσμός έχει σημασία για τρήματα μηχανών που εργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως π.χ. είναι οι βαλβίδες των μηχανών εσωτερικής καύσεως.

ΤΙΜΑΚΑΣ 20.2.5
Νικελοχρωματικοί χάλυβες

Χημική σύνθεση [%]						Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες			Βιομηχανικές χρήσεις
C	Mn	Ni	Cr	Καρβόνατη χάλυβα	σφ. [N/mm ²]	A [%]	ρ [N/mm ²]	θερμικής απόστασης	θερμικής απόστασης	θερμικής απόστασης	θερμικής απόστασης	
0,40	0,65	3,50	0,25	Μετά από 6αρή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	960	23	90	Βαφή σε λάδι από 830° σε 850°. Επαναφορά σε 550° έως 650°C	Βαφή σε λάδι από 820° έως 840°C. Επαναφορά από 550° έως 650°C	Βαφή σε λάδι από 820° έως 840°C. Επαναφορά από 550° έως 650°C	Χάλυβας κατασκευών . Αξεντες μεταδοσεως κινησεως. Διωστήρες, στραφαλοφόροι δένες και άλλα	
0,30	0,60	3,00	0,80	Μετά από 6αρή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	950	23	110	Βαφή σε λάδι από 650°C	Βαφή σε λάδι από 650°C	Βαφή σε λάδι από 650°C	Χάλυβας κατασκευών . Για τεμάχια που καταπονούνται με μεγάλες τάσεις. Χρήσεις, όπως ο προπηγούμενος χάλυβας	
0,35	0,80	1,25	0,60	Μετά από 6αρή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	950	22	90	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 180° έως 220°C ή σε 550° έως 650°C. Οι χάλυβες αυτοί υπόκεινται σε ευθραυστόρητα από 250° έως 400°C	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 180° έως 220°C ή σε 550° έως 650°C. Οι χάλυβες αυτοί υπόκεινται σε ευθραυστόρητα από 250° έως 400°C	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C για μέγιστη σκληρότητα. Σε 600° έως 650°C για μεγαλύτερη απόψυξη σε λάδι. Αποφυγή ανοπτήσεως από 250° έως 580°C	Χάλυβας κατασκευών . Τεμάχια με πολυπλοκή μορφή, των οποίων η βαφή σε λάδι θα προκαλούσε στρελλώσεις, όπως π.χ. οδοντωτοί τροχοί μεταφορικού, πηγιά στραφαλοφόροι δένες, βλήτρα (υποιαλόνια) και γενικά τεμάχια με κοκλινωτικές διατάξεις.	
0,30	0,45	4,25	1,25	Μετά από 6αρή σε σέρα και επαναφορά σε 630°C	1000	21,50	65	Βαφή σε σέρα από 820° έως 830°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C για μέγιστη σκληρότητα. Σε 600° έως 650°C για μεγαλύτερη απόψυξη σε λάδι. Αποφυγή ανοπτήσεως από 250° έως 580°C	Βαφή σε σέρα από 820° έως 830°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C για μέγιστη σκληρότητα. Σε 600° έως 650°C για μεγαλύτερη απόψυξη σε λάδι. Αποφυγή ανοπτήσεως από 250° έως 580°C	Βαφή σε σέρα από 820° έως 830°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C για μέγιστη σκληρότητα. Σε 600° έως 650°C για μεγαλύτερη απόψυξη σε λάδι. Αποφυγή ανοπτήσεως από 250° έως 580°C	Χάλυβας κατασκευών . Τεμάχια με κατάλληλος για οικιακές και διακοπητικές χρήσεις	
0,10	0,80	8,50	18,00	Μετά από θέρμ. σε 1050°C και απόψυξη σε σέρα	-	-	-	Δεν σκληρύνεται με βάρη παρά μόνο με ψυχρηλασία	Όπως στον προηγούμενο χάλυβα	Όπως στον προηγούμενο χάλυβα	Ματενητικός ανοξείδωτος χάλυβας . Κατάλληλος για κολύνων. Επιτρέπεται και μεγειρκά σκεύη	
0,10	0,80	12,50	12,50									Ματενητικός ανοξείδωτος χάλυβας . Αντέχει σε διάθρωση σε θειικό, φωσφορ. οξεί και οργανικά οξέα
0,07	0,80	8,50	18,00	2,70 Mo								

ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.6
Βολφραμιούχοι χάλυβες εκτός από ταχυχάλυβες

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

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

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

Εφαρμογές των βαναδιούχων χαλύθων, καθώς επίσης και χαρακτηριστικά τους στοιχεία δίνονται στον Πίνακα 20.2.8.

ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.7.
Μολυβδανιούχοι χάλυβες

Χημική σύνθεση [%]					Μηχανικές ιδιότητες				Βιομηχανικές χρήσεις	
C	Mn	Ni	Cr	Mo	Κατάσταση χάλυβα	σ_b [N/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]	Θερμικές κατεργασίες	
0,35	1,60	—	—	0,45	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	1100	19	73	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Υποκαθιστατικά νικελοχρωματιώχους χάλυβες με μεγαλύτερη περικύκλωση σε προσαμβεξες
0,40	0,65	—	1,10	0,30	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	1000	18	70	Βαφή σε νερό από 840° έως 860°C. Επαναφορά σε 550° έως 700°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Υποκαθιστατικά τιτανίου χάλυβα με 3% Ni. Στροφαλοφόροι δύνης, διωτήρες και παρδομοία στοιχεία μηχανών
0,40	0,55	1,50	1,10	0,30	Μετά από θαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	1070	22	73	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα	Χάλυβας κατασκευών. Αξεσιες μεταδόσεως κινήσεως, στροφαλοφόροι δύνης και άλλα ισχυρών φορτίζομενα τεμαχία οπου η αντοχή σε κόπωση και κρούσεις είναι επιθυμητές. Μετά από ελαφρή επαναφορά (180° έως 200°C) χρησιμοποιείται για οδοντωτούς τροχούς αυτοκινήτων και εργαλειομηχανών.
0,10	0,60	—	0,003B (Βόριο)	0,50	Μετά από εξομάλυνση σε 950°C και αποτατική ανόπτηση σε 600°C	570	16	—	Εξομάλυνση σε 930° έως 980°C. Αποτατική ανόπτηση σε 590° έως 610°C για 3 ώρες	Χάλυβας κατασκευών. Αυτοχτές εργασμένοι μέχρι 400°C. Εσοφυλάκια πίεσεων, εναλλακτικές θερμοπλαστικές, τεμάχια απλωπαραγώγων και αεροστροβίλων

ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.8
Βαναδιούχοι χάλυβες εκτός από ταχυχάλυβες)

Χημική σύνθεση [%]							Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες			Βιομηχανικές χρήσεις	
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Kατόσταση χάλυβα	σ_b [N/mm ²]	Σκληρότητα κατά Vickers	Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις	Βιομηχανικές χρήσεις			
0,45	0,25	0,60	1,05	—	0,15	Μετά από βαφή και επαναφορά	152	—	—	Χάλυβας κατασκευών. Σύρμα ελαστηρίων, κυρίως θαλβίδες				
0,50	—	0,60	1,75	—	0,20	Μετά από βαφή και επαναφορά	—	400	Προθέρμανση σε 700°C. Κατόπιν βαφή από 850°C. Επαναφορά σε 550°C	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες χυτεύσεως υπό πίεση κραμάτων ψευδαργύρου.				
0,35	1,00	0,30	5,00	1,50	1,00	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 550°C	—	600	Προθέρμανση σε 850°C. Ταχεία θέρμανση σε 1000°C. Βαφή κρασί δεν είναι πολύ υψηλή. Μήτρες διελάσσεως για κράματα του αργιλίου. Μήτρες για χύτευση αργιλίου υπό πίεση	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες θερμηλασίας κραμάτων χαλκού, όπου η θερμοκρασία δεν είναι πολύ υψηλή. Μήτρες διελάσσεως για κράματα του αργιλίου. Μήτρες για χύτευση αργιλίου υπό πίεση				
1,60	0,20	0,30	13,00	1,00	0,50	Μετά από βαφή και επαναφορά σε 400°C	—	700	Προθέρμανση σε 850°C. Ταχεία θέρμανση σε 1000°C. Βαφή σε λάδι γ' αέρα. Επαναφορά σε 200°C έως 400°C	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες κοιλάνσεως. Μήτρες κατασκευής σπειρωμάτων με πίεση. Μήτρες συρματοποιήσεως, λεπίδες ψαλίδων για σκληρά μέταλλα				

Η) Το πυρίτιο και οι πυριτούχοι χάλυβες.

Το πυρίτιο, όπως και το μαγγάνιο, το συναντάμε σε όλους τους χάλυβες, γιατί χρησιμοποιείται σαν φτηνό αποξειδωτικό κατά την παρασκευή τους. Η περιεκτικότητά του φθάνει τα 0,20 έως 0,30%.

Το πυρίτιο, όταν προστεθεί σε ανθρακούχο χάλυβα:

a) Γραφιτοποιεί το σεμεντίτη.

6) Ανεβάζει το κρίσιμο σημείο A_3 και κατεβάζει το A_4 και έτσι σχηματίζει γ-θρόγχο, όπως και το χρώμιο.

γ) Χαμηλώνει την ευτηκτοειδή περιεκτικότητα σε άνθρακα.

δ) Χαμηλώνει την κρίσιμη ταχύτητα βαφής.

Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται τέσσερα είδη πυριτιούχων χαλύβων:

- Ο χάλυβας με $\pi(C) = 0,07\%$ και $\pi(Si) = 4\%$ παρουσιάζει μαγνητικές και ηλεκτρικές ιδιότητες και γι' αυτό χρησιμοποιείται στην κατασκευή ελασμάτων πυρήνων μετασχηματιστών και μαγνητικών πόλων γεννητριών και ηλεκτροκινητήρων.
- Ο χάλυβας με $\pi(C) = 0,50\%$ ως $0,70\%$, $\pi(Si) = 1,50\%$ ως $2,00\%$ και $\pi(Mn) = 0,60\%$ ως $1,00\%$ παρουσιάζει υψηλή αντοχή, δυσθραυστότητα και καλή πλαστικότητα. Γι' αυτό χρησιμοποιείται στην κατασκευή ελατηρίων.
- Ο χάλυβας με $\pi(C) = 1,50\%$, $\pi(Si) = 1,50\%$ και $\pi(Cr) = 3,60\%$, λόγω των καλών του μηχανικών ιδιοτήτων, αλλά και της καλής του αντοχής σε φθορά, χρησιμοποιείται για εργαλεία κατεργασίας πετρωμάτων.
- Τέλος, το πυρίτιο αποτελεί δευτερεύουσα προσθήκη στους χάλυβες κατασκευής βαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσεως. Εδώ αναφέρομε ως τυπικό το χάλυβα με $\pi(Cr) = 8\%$ και $\pi(Si) = 3,50$.

20.3 Οι ακαθαρσίες των χαλύβων.

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

Μαγγάνιο : έως $1,00\%$

Πυρίτιο : έως $0,30\%$

Φωσφόρο : έως $0,05\%$

Θείο : έως $0,05\%$

Άζωτο : έως $0,02\%$

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

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

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

γ) Ο φωσφόρος σχηματίζει μαζί με το σίδηρο την **ψαθυρά** (εύθραυστη) χημική

ένωση Fe_3P , η οποία είναι διαλυτή στο χάλυβα. Η χημική αυτή ένωση ευνοεί κάπως την αύξηση της σκληρότητας του χάλυβα, μέχρι όμως 0,05% φωσφόρου. Φωσφόρος σε περιεκτικότητα πάνω από 0,05% κάνει το χάλυβα εύθραυστο και επομένως πρέπει να αποφεύγεται.

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

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

Το θείο, όταν προστίθεται μέχρι και 0,25%, ασκεί ευεργετική επίδραση στους χάλυβες **ελεύθερης κοπής** ή **χάλυθες αυτομάτων** [παράγρ. 21.2(Α)], στους οποίους προστίθεται όμως και αυξημένος φωσφόρος και μαγγάνιο μέχρι 1,50%. **Έτσι βελτιώνεται η κατεργαστικότητα αυτών των χαλύθων.**

ε) Το άζωτο της ατμόσφαιρας απορροφάται από τον τηγμένο χάλυβα κατά την παρασκευή του. Το άζωτο μπορεί να σχηματίσει νιτρίδια (Fe_4N) ή και να εισχωρήσει στο κρυσταλλικό πλέγμα του χάλυβα κατά τη στερεοποίηση [στερεό διάλυμα παρεμβολής, παράγρ. 3.2, σχ. 3.2(γ)]. Και στις δυο περιπτώσεις, ο χάλυβας γίνεται ψαθυρός και ακατάλληλος για ψυχρηλασία μεγάλου βαθμού παραμορφώσεως. Επομένως, ο μαλακός χάλυβας που χρησιμοποιείται για κοίλανση (σχ. 12α), θα πρέπει να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

Αν εξετάσουμε τους χάλυβες από άποψη βιομηχανικής τους χρήσεως, διακρίνονται σε:

- a) **Χάλυθες κατασκευών.**
- b) **Χάλυθες εργαλείων και σε**

γ) **ειδικά χαλυβοκράματα**, όπως είναι οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι πυρίμαχοι χάλυβες, οι χάλυβες μονίμων μαγνητών και άλλοι.

Πριν ασχοληθούμε μ' αυτό το Κεφάλαιο, θα προτάξουμε λίγα πράγματα σχετικά με την τυποποίηση των χαλύθων.

21.1 Η τυποποίηση των χαλύθων.

Οι χάλυβες γενικά **τυποποιούνται** κατά ορισμένο τρόπο, ώστε να μπορούμε να πετύχουμε τη σύντομη ονομασία τους, από την οποία να προκύπτουν οι πιο χαρακτηριστικές τους ιδιότητες.

Σήμερα ισχύουν πολλά συστήματα τυποποιήσεως των χαλύθων. Παρακάτω θα αναφερθούμε συνοπτικά στο γερμανικό και στο αμερικανικό σύστημα τυποποιήσεως, τα οποία θεωρούνται ως τα πιο αντιπροσωπευτικά και διαδεδομένα.

A) *To γερμανικό σύστημα τυποποιήσεως.*

1) *Oι ανθρακούχοι χάλυβες.*

Οι ανθρακούχοι χάλυβες συμβολίζονται με το St (από το Stahl, που σημαίνει χάλυβας), το οποίο ακολουθεί διψήφιος αριθμός. Ο αριθμός αυτός παριστάνει την ελάχιστη μέγιστη αντοχή του χάλυβα σ_B σε N/mm^2 ή σε kP/mm^2 .

Ο συμβολισμός π.χ. St 50 σημαίνει ανθρακούχο χάλυβα με ελάχιστο όριο θραύσεως $\sigma_B = 50 \text{ kP/mm}^2$ ή 500 N/mm^2 . Πρέπει να σημειώσουμε ότι το σ_B μπορεί να πάρει και την τιμή των 60 kP/mm^2 σ' αυτή την περίπτωση.

Πιο παλιά, αυτόν το διψήφιο αριθμό τον ακολουθούσε και άλλος επίσης διψήφιος αριθμός, ο οποίος αντιπροσώπευε τα δυο τελευταία ψηφία του σχετικού πίνακα τυποποιήσεως DIN. Έτσι, ο χάλυβας St 50 που αναφέραμε, ήταν τυποποιημένος σαν St 50.11 σύμφωνα με τις προδιαγραφές του πίνακα DIN 1611 (ο πρώτος διψήφιος αριθμός, δηλαδή ο 16, αναφέρεται στους χάλυβες).

Για κάθε χάλυβα προθλέπονται τρεις ποιότητες. Η ποιότητα 1 για συνηθισμένες απαιτήσεις, η ποιότητα 2 για μεγαλύτερες απαιτήσεις και η ποιότητα 3 για ειδικές απαιτήσεις του χάλυβα. Ο χάλυβας St 27-2 π.χ. ανήκει στην ποιότητα 2.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες, που έχουν όμως καλύτερη ποιότητα, όπως είναι οι χάλυβες ενανθρακώσεως, συμβολίζονται με το γράμμα C, το οποίο ακολουθεί η περιεκτικότητα σε χάλυβα πολλαπλασιασμένη επί 100. Στην περίπτωση των καθαρών χαλύθων, δηλαδή με εξαιρετικά λίγες ακαθαρσίες θείου και φωσφόρου, το γράμμα C το ακολουθεί το γράμμα K. Έτσι, με το C 60 συμβολίζεται

$$\text{ανθρακούχος χάλυβας καλής ποιότητας με } \pi(C) = \frac{60}{100} \% = 0,60\%, \text{ ενώ}$$

με το CK 60 συμβολίζεται ο ίδιος ανθρακούχος χάλυβας, αλλά με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και φωσφόρο.

Πολλές φορές αναφέρεται και η μέθοδος παρασκευής του χάλυβα με χαρακτηριστικό γράμμα, όπως π.χ. με το B για τη μέθοδο Μπέσσεμερ (Bessemer), με το M για τη μέθοδο Σήμενς-Μαρτέν (Siemens-Martin), με το E για την ηλεκτρική μέθοδο κλπ.

2) Τα χαλυβοκράματα.

Για το συμβολισμό των χαλυβοκραμάτων αρχικά γράφεται ο διψήφιος αριθμός της περιεκτικότητας σε άνθρακα του χαλυβοκράματος, πολλαπλασιασμένης επί 100, όπως και στους ανθρακούχους χάλυβες.

Ακολουθούν τα χημικά σύμβολα των προσθηκών, κατά σειρά όμως ελαττούμενης περιεκτικότητας. Στην περίπτωση ίσης περιεκτικότητας προσθηκών, λαμβάνεται υπόψη η αλφαριθμητική τους σειρά. Μετά τα σύμβολα αναγράφονται οι χαρακτηριστικοί αριθμοί της περιεκτικότητας των προσθηκών.

Για να έχομε ακέραιους αριθμούς κατατάσσουμε τις προσθήκες σε ομάδες και δίνομε σε κάθε ομάδα κατάλληλο πολλαπλασιαστή. Έτσι, προκύπτει:

για Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	πολλαπλασιαστής	4
για A, C, Mo, Ti, V	πολλαπλασιαστής	100
για P, S, N, C	πολλαπλασιαστής	100

Ο χαρακτηριστικός αριθμός κάθε προσθήκης βρίσκεται, αν η πραγματική περιεκτικότητα της προσθήκης πολλαπλασιασθεί επί τον αντίστοιχο της πολλαπλασιαστή.

Χαλυβόκραμα π.χ. με $\pi(C) = 0,50$, $\pi(Cr) = 1,00\%$, $\pi(Mo) = 0,60\%$ συμβολίζεται σαν 50CrMo46.

$$\text{Αντίθετα, το χαλυβόκραμα 15 Cr 3 περιλαμβάνει } \frac{15}{100} \% = 0,15\% \text{ C και } \frac{3}{4} \% = 0,75\% \text{ Cr.}$$

Αυτός ο κύριος συμβολισμός μπορεί να περιέχει και άλλα γράμματα. Μ' αυτό τον τρόπο, γράμματα που χαρακτηρίζουν τον τρόπο παρασκευής του χάλυβα,

προηγούνται από το συμβολισμό, ενώ ακολουθούν άλλα γράμματα που χαρακτηρίζουν τον τρόπο χρήσεώς τους. Όλα όσα έχομε πει μέχρι τώρα αφορούν τα χαλυβοκράματα χαμηλής περιεκτικότητας σε προσθήκες ή **φτωχά χαλυβοκράματα**, με σύνολο δηλαδή προσθηκών ίσο ή μικρότερο του 5%. Για να κάνουμε διάκριση των χαλυβοκραμάτων υψηλής περιεκτικότητας σε προσμίξεις ή **πλουσίων χαλυβοκραμάτων**, δηλαδή με σύνολο προσθηκών μεγαλύτερο του 5%, προσθέτομε στο σχετικό συμβολισμό το X. Για την περιεκτικότητα σε άνθρακα παραμένει ο πολλαπλασιαστής 100, ενώ για όλες τις άλλες προσμίξεις ο αντίστοιχος πολλαπλασιαστής παίρνεται ίσος με τη μονάδα.

Σαν παράδειγμα παίρνομε τον ανοξείδωτο χάλυβα με:

$\pi(C) = 0,10\%$, $\pi(Cr) = 18\%$ και $\pi(Ni) = 8\%$, ο οποίος συμβολίζεται σαν X10CrNi188. Αντίθετα, αν δίνεται το χαλυβόκραμα X10CrNiTi1892, αυτό θα περιέχει:

$$\frac{10}{100} \% = 0,10\% \text{ C}, \quad \frac{18}{1} \% = 18\% \text{ Cr}, \quad \frac{9}{1} \% = 9\% \text{ Ni}$$

και

$$\frac{2}{1} \% = 2\% \text{ Ti}$$

B) Το αμερικανικό σύστημα τυποποιήσεως.

Στις Η.Π.Α χρησιμοποιούνται κυρίως δυο συστήματα τυποποιήσεως των χαλύθων. Το σύστημα SAE (Society of Automobile Engineers) και το σύστημα AISI (American Iron and Steel Institute).

Σύμφωνα με αυτά τα συστήματα τυποποιήσεως έχουν καθιερωθεί προδιαγραφές που καλύπτουν τους λεγόμενους **πρότυπους (Standard) χάλυβες**. Αυτές οι προδιαγραφές έχουν γίνει δεκτές μέσα και έξω από τις Η.Π.Α. από τους παραγωγούς χάλυβα. Παρακάτω θα περιγράψουμε συνοπτικά το σύστημα τυποποιήσεως χαλύθων AISI.

Κατά το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σειρά τεσσάρων ψηφίων. Από αυτά τα ψηφία τα δύο πρώτα συμβολίζουν την ποιότητα του χάλυβα, ενώ τα δύο τελευταία την περιεκτικότητα σε άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί 100. Πριν από αυτά τα τέσσερα ψηφία μπορεί να υπάρχουν γράμματα χαρακτηριστικά της μεθόδου παρασκευής του χάλυβα, όπως π.χ. το B για τη μέθοδο Bessemer, το E για την ηλεκτρική μέθοδο κλπ.

Παρακάτω δίνομε στοιχεία για διάφορους χάλυβες τυποποιημένους κατά το σύστημα AISI:

1030: Κοινός ανθρακούχος χάλυβας με 0,30% C.

1350: Χάλυβας με 1,60% μέχρι 1,90% Mn και με 0,50% C.

2330: Νικελιούχος χάλυβας με 3,50% Ni και 0,30 C.

3315: Νικελιοχρωμιούχος χάλυβας με 3,50% Ni, 1,50% Cr και 0,15% C.

4640: Χάλυβας με 1,65% Ni, 0,25% Mo και 0,40% C.

21.2 Χάλυβες κατασκευών.

Στους **χάλυβες κατασκευών** περιλαμβάνονται οι χάλυβες, οι οποίοι χρησιμο-

ποιούνται σε όλες τις μεταλλικές κατασκευές (υπόστεγα, δοχεία, λέβητες, γέφυρες κλπ.), καθώς επίσης και στις κατασκευές στοιχείων μηχανών (στροφαλοφόρων αερόνων, διωστήρων, βαλβίδων, ελατηρίων και άλλων).

Γενικά οι χάλυβες κατασκευών πρέπει να έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες και σε ορισμένες περιπτώσεις και άλλες ιδιαίτερες ιδιότητες, όπως π.χ. αντοχή στη φθορά, αντοχή στη διάθρωση και άλλα. Συνήθως, για συγκεκριμένη εργασία επιλέγομε σειρά από χάλυβες που είναι κατάλληλοι γι' αυτή την εργασία. Στην πράξη εκλέγεται ο χάλυβας που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της κατασκευής και συγχρόνως **στοιχίζει φθηνότερα**.

A) Ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες, με τους οποίους ασχοληθήκαμε στην παράγρ. 17.2 χρησιμοποιούνται για συνηθισμένες κατασκευές και στοιχεία μηχανών. Η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα κυμαίνεται από 0,05% μέχρι 0,80% και γι' αυτό είναι υποευτηκτοιδείς χάλυβες.

Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, οι ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών διακρίνονται σε:

- α) Πολύ μαλακούς με $\pi(C) = 0,05\%$ μέχρι $0,15\%$.
- β) Μαλακούς με $\pi(C) = 0,15\%$ μέχρι $0,30\%$.
- γ) Ημιμαλακούς με $\pi(C) = 0,30\%$ μέχρι $0,40\%$.
- δ) Ημίσκληρους με $\pi(C) = 0,40\%$ μέχρι $0,60\%$.
- ε) Σκληρούς με $\pi(C) = 0,60\%$ μέχρι $0,70\%$.
- στ) Πολύ σκληρούς με $\pi(C) = 0,70\%$ μέχρι $0,80\%$.

Χαρακτηριστικά στοιχεία και βιομηχανικές χρήσεις των ανθρακούχων χαλύβων κατασκευών δίνονται στον Πίνακα 21.2.1.

Σε περιπτώσεις που χρειάζεται να κατεργαστούμε τεμάχια σε αυτόματα μηχανήματα, όπως π.χ. σε αυτόματους τόρνους, τότε για να έχομε αποδοτική κοπή πρέπει τα απόδλιττα να μην αποκτούν μεγάλο μήκος, δηλαδή να θρυμματίζονται εύκολα. Αυτό το κατορθώνομε, αν προσθέσουμε στον ανθρακούχο χάλυβα, αλλά και στο χαλυβόκραμα, θείο, μόλυβδο ή σελήνιο. Έτσι, παίρνομε τους λεγόμενους χάλυβες **ελεύθερης κοπής ή χάλυβες αυτομάτων**.

Παρακάτω παραθέτομε τυπικούς χάλυβες αυτομάτων:

- α) Χάλυβας με $\pi(C) = 0,10\%$, $\pi(Mn) = 1,00\%$ και $\pi(S) = 0,25\%$.
- β) Χάλυβας με $\pi(C) = 0,25\%$, $\pi(Mn) = 1,00\%$ και $\pi(S) = 0,14\%$.
- γ) Χάλυβας με $\pi(C) = 0,40\%$, $\pi(Mn) = 1,00\%$ και $\pi(S) = 0,16\%$.
- δ) Χάλυβας με $\pi(C) = 0,12\%$, $\pi(Mn) = 1,00\%$, $\pi(S) = 0,22\%$ και $\pi(Pb) = 0,20\%$.
- ε) Χάλυβας με $\pi(C) = 0,40\%$, $\pi(Mn) = 0,60\%$, $\pi(S) = 0,03\%$ και $\pi(Pb) = 0,20\%$.

B) Χαλυβόκραμα κατασκευών.

Είναι χάλυβες κατασκευών ανώτερης ποιότητας από τους ανθρακούχους. Οι ακαθαρσίες τους (παράγρ. 20.3) είναι μειωμένες. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε κατάσταση επιβελτιώσεως, δηλαδή μετά από βαφή και επαναφορά.

Στην παράγραφο 20.2 μελετήσαμε την επίδραση των προσθηκών στις μηχανικές και άλλες ιδιότητες των χαλυβόκραμάτων. Επίσης, δώσαμε πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 21.2.1.
Ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών

Χημική σύνθεση [%]* C Mn	Μηχανικές ιδιότητες				Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
	Κατάσταση χάλυβα	σ_B [Nm/mm ²]	A [%]	ρ [Nm/cm ²]		
0,15 0,50	Μετά αρό βαφή se neró kai επαναφορά se 200C	520	20	150	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 900°C. Ενανθράκωση σε 950°C. Βαφή σε 880°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C και απόψυξη στον αέρα	0,05 έως 0,15% C: Αλυσίδες, καρφιά, κοχλίες και άλλα στοιχεία μηχανών, σωλήνες με ραφή, ταινίες, σίδηρος μπετόν, διάφορες μεταλλικές κατασκευές. Τεμάχια που πρόκειται να ενανθρακωθούν
0,22 0,80	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 550°C	670	16	90	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 900°C. Βαφή σε νερό από 875° έως 880°C. Επαναφορά σε 400° έως 700°C και απόψυξη στον αέρα	0,15 έως 0,30% C: Κοχλίες, οδοντωτοί τροχοί, πείροι, άξονες, χάλυβες ελεύθερης κοπής [παράγρ. 21.2 (A)], σφυρήλατα τεμάχια
0,35 0,50	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 550°C	900	10	60	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 840°C. Βαφή σε νερό από 825° έως 850°C. Επαναφορά σε 400° έως 650°C και απόψυξη στον αέρα	0,30 έως 0,40% C: Διαστήρες, άξονες, άγκιστρα γερανών, σωλήνες χωρίς ραφή, σφυρήλατα τεμάχια
0,45 0,50	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 550°C	950	8	35	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 840°C. Βαφή σε λάδι από 840° έως 845°C. Επαναφορά σε 300° έως 365°C και απόψυξη στον αέρα	0,40 έως 0,50% C: Στροφαλοφόροι άξονες, άξονες μεταδόσεως κινήσεως, οδοντωτοί τροχοί, ζάντες, τεμάχια υφιστάμενα θερμικές κατεργασίες.
0,60 0,80	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 550°C	1020	6	30	Εξομάλυνση ή επαναφορά σε 800°C. Βαφή σε λάδι από 825° έως 850°C	0,50 έως 0,60% C: Τροχοί αμαξοστοιχιών, σίδηροτροχιές, ελατήρια, συρματόσχοινα, τμήματα όπλων

* Η περιεκτικότητα σε πυρίτιο είναι ίση ή μικρότερη του 0,40%

για αντιπροσωπευτικά χαλυβοκράματα, όπου αναφέρεται η χημική τους σύνθεση, οι μηχανικές τους ιδιότητες και στοιχεία σχετικά με τις θερμικές τους κατεργασίες. Είπαμε και λίγα πράγματα για τα χαλυβοκράματα κατασκευών. Τέλος, αναφέρθηκαν βασικές βιομηχανικές τους χρήσεις.

Έτσι, ο Πίνακας 20.2.2 αναφέρεται στους μαγγανιούχους χάλυβες, ο Πίνακας 20.2.3 στους νικελιούχους χάλυβες, ο Πίνακας 20.2.4 στους χρωμιούχους χάλυβες, ο Πίνακας 20.2.5 στους νικελιοχρωμιούχους χάλυβες, ο Πίνακας 20.2.6 στους βολφραμιούχους χάλυβες; εκτός από τους ταχυχάλυβες, ο Πίνακας 20.2.7 στους μολυθδαίνιούχους χάλυβες και τέλος ο Πίνακας 20.2.8 αναφέρεται στους βαναδιούχους χάλυβες, εκτός από τους ταχυχάλυβες.

Μετά από όλα αυτά τα στοιχεία που δώσαμε για τα χαλυβοκράματα, δεν θα ασχοληθούμε περισσότερο με αυτά. Είναι όμως σκόπιμο να δώσουμε λίγα στοιχεία για τα χαλυβοκράματα ενανθρακώσεως και εναζωτώσεως, για τα οποία δεν έχουμε μιλήσει αλλού.

1) Χαλυβοκράματα ενανθρακώσεως.

Σαν χάλυβες ενανθρακώσεως μπορεί να χρησιμοποιηθούν ή ανθρακούχοι χάλυβες ή χαλυβοκράματα, με την προϋπόθεση όμως να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, συνήθως κάτω από 0,30%. Και αυτό, για να αποκτάει το τεμάχιο δύσθραυστο πυρήνα μετά από τις θερμικές κατεργασίες που προβλέπονται γι' αυτούς τους χάλυβες [παράγρ. 19.9(Β)].

Οι ανθρακούχοι χάλυβες ενανθρακώσεως περιέχουν άνθρακα μέχρι 0,30% και μαγγάνιο μέχρι περίπου 0,90%. Τα χαλυβοκράματα ενανθρακώσεως είναι νικελιούχα, νικελιοχρωμιούχα ή χλωρομαγγανιούχα με λίγο βανάδιο.

Παρακάτω δίνονται τυπικά χαλυβοκράματα ενανθρακώσεως:

α) Το χαλυβόκραμα με $\pi(C) = 0,15\%$, $\pi(Mn) = 0,50\%$ και $\pi(Ni) = 3\%$ που χρησιμοποιείται για τεμάχια, όπου απαιτείται σκληρή επιφάνεια και δύσθραυστος πυρήνας.

β) Το χαλυβόκραμα με $\pi(C) = 0,15\%$, $\pi(Mn) = 0,40\%$, $\pi(Ni) = 4,00\%$ και $\pi(Cr) = 1,20\%$ που χρησιμοποιείται για τεμάχια, για τα οποία απαιτείται πολύ σκληρή επιφάνεια και δύσθραυστος πυρήνας.

γ) Το χαλυβόκραμα με $\pi(C) = 0,40\%$, $\pi(Mn) = 1,50\%$, $\pi(Cr) = 1,00\%$ και $\pi(V) = 0,15\%$, που βρίσκει εφαρμογή όπου απαιτείται μεγάλη σκληρότητα της επιφάνειας, ενώ η δυσθραυστότητα του πυρήνα έχει δευτερεύουσα σημασία.

2) Χαλυβοκράματα εναζωτώσεως.

Έχουμε ήδη αναφέρει στην παράγραφο 19.9(Γ), ότι εναζωτώση υφίστανται χάλυβες με ειδική σύνθεση, γιατί η σκλήρωση της επιφάνειας που επιτυγχάνεται μετά την εναζωτώση, οφείλεται στο σχηματισμό σκληρών ενώσεων του αζώτου με το χρώμιο, το αργίλιο και το βανάδιο. Το μολυθδαίνιο, όταν προστίθεται, δίνει μεγαλύτερη δυσθραυστότητα στον πυρήνα των τεμαχίων. Παρακάτω δίνομε τυπικά χαλυβοκράματα εναζωτώσεως:

α) Το χαλυβόκραμα με $\pi(C) = 0,30\%$, $\pi(Mn) = 0,65\%$, $\pi(Cr) = 1,60\%$, $\pi(Mo) = 0,20\%$ και $\pi(Al) = 1,10\%$ που χρησιμοποιείται για τεμάχια με πολύ σκληρές επιφάνειες και αρκετά μεγάλη δυσθραυστότητα του πυρήνα.

β) Το χαλυβόκραμα με $\pi(C) = 0,35\%$, $\pi(Mn) = 0,50\%$, $\pi(Cr) = 2,00\%$, $\pi(Mo) =$

0,25%, π(V) = 0,15%, το οποίο χρησιμοποιείται για τεμάχια που απαιτούν μεγάλη σκληρότητα επιφάνειας και καλή τραχύτητα επιφάνειας, όπως π.χ. μήτρες πλαστικών.

21.3 Χάλυθες εργαλείων.

Τα διάφορα τεμάχια των κατασκευών και μηχανών μπορούν να πάρουν τη μορφή που επιθυμούμε με τη **χύτευση**, αλλά εκτός από αυτήν και με τη βοήθεια των:

a) **Μηχανικών κατεργασιών κοπής**, όπως είναι η τόρνευση, το φραιζάρισμα, το πλάνισμα κλπ. και

b) **των μηχανικών κατεργασιών διαμορφώσεως** εν θερμώ ή εν ψυχρώ, όπως είναι η σφυρηλασία, η έλαση, η εξέλαση και άλλες (σχ. 12a). Στις μηχανικές κατεργασίες των μετάλλων χρησιμοποιούνται κατάλληλα για κάθε περίπτωση εργαλεία.

Κατά την κοπή των μετάλλων, μεταξύ του εργαλείου και του αποβλίτου δημιουργείται ισχυρή τριβή με αποτέλεσμα την ανάπτυξη θερμότητας και επομένως υψηλής θερμοκρασίας στη μύτη (ακή) του εργαλείου. Η θερμοκρασία αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας κοπής. Κατά την κοπή αναπτύσσονται επίσης και ταλαντώσεις ή και κρούσεις σε ορισμένες κατεργασίες, όπως κατά το φραιζάρισμα, όπου το κάθε δόντι του κοπτήρα αποκόπτει ξεχωριστά.

Κατά τις κατεργασίες διαμορφώσεως των μετάλλων χρησιμοποιούνται, όπως είναι γνωστό, σαν εργαλεία κατάλληλες μήτρες (καλούπια). Σ' αυτή την περίπτωση αναπτύσσεται πάλι τριβή μεταξύ των μερών της μήτρας και του μετάλλου που διαμορφώνεται. Επίσης αναπτύσσονται και δυνάμεις κρουστικής συνήθως μορφής, που καταπονούν τη μήτρα.

Από όλα αυτά προκύπτει ότι οι χάλυθες εργαλείων θα πρέπει να συνδυάζουν, ανάλογα με την περίπτωση, τις εξής ιδιότητες:

- α) Καλή αντοχή στη φθορά από τριβή, δηλαδή μεγάλη σκληρότητα.
- β) Καλή δυσθραυστότητα.
- γ) Καλή αντοχή σε επαναφορά [παράγρ. 20.2(E)].
- δ) Καλή μηχανική αντοχή και
- ε) ικανότητα βαφής σε όλη τους τη μάζα.

Επειδή ορισμένες από τις ιδιότητες που αναφέρομε αντιστρατεύονται η μία την άλλη, όπως π.χ. η σκληρότητα τη δυσθραυστότητα, γι' αυτό οι χάλυθες εργαλείων παρασκευάζονται με κατάλληλη εκλογή των προσθηκών για ορισμένη χρήση του χάλυβα. Γι' αυτό οι χάλυθες εργαλείων κατατάσσονται στις εξής βασικές κατηγορίες, σύμφωνα με την αμερικανική τυποποίηση κατά AISI.

- α) Στους **κοινούς** χάλυθες εργαλείων ή **βαφής σε νερό**, στους οποίους περιλαμβάνονται κυρίως ανθρακούχοι χάλυθες.
- β) Στους χάλυθες εργαλείων **αντοχής σε κρούσεις**.
- γ) Στους χάλυθες εργαλείων **ψυχρηλασίας**.
- δ) Στους χάλυθες εργαλείων **θερμηλασίας**.
- ε) Στους ταχυχάλυθες και
- στ) Στους χάλυθες εργαλείων **ειδικής χρήσεως**.

A) Κοινοί χάλυβες εργαλείων.

Χρησιμοποιούνται όπου οι απαντήσεις που αναφέραμε είναι μικρές. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα αυτών των χαλύβων κυμαίνεται από 0,60% μέχρι 1,50% ανάλογα με τη χρήση του χάλυβα. Πρέπει να είναι πολύ καθαροί, να περιορίζονται δηλαδή οι ακαθαρσίες τους στο ελάχιστο. Οι κοινοί χάλυβες εργαλείων αγοράζονται συνήθως σε κατάσταση ανοπτήσεως, για να κατεργάζονται εύκολα στη μορφή που θέλομε και ύστερα υφίστανται βαφή στο νερό και κατάλληλη επαναφορά.

Σαν εργαλεία κοπής, οι κοινοί χάλυβες χρησιμοποιούνται για χαμηλές ταχύτητες κοπής και μικρά βάθη κοπής και για μικρές ταχύτητες προώσεως, καθώς επίσης και για μαλακά υλικά, όπως για μαλακούς χάλυβες, κράματα του χαλκού, του αργιλίου και άλλα.

Στον Πίνακα 21.3.1 υπάρχουν στοιχεία θερμικών κατεργασιών και βιομηχανικές χρήσεις των ανθρακούχων χαλύβων εργαλείων σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21.3.1
Κοινοί χάλυβες εργαλείων**

π(С)%	Θερμοκρασία [°C]		Βιομηχανικές χρήσεις
	Βαφής	Επαναφοράς	
0,60 – 0,70	850 – 820	180	Σφύρες, μήτρες σφυρηλασίας, λάμες πριονών, εργαλεία ξυλουργού, αγροτικά εργαλεία
0,70 – 0,80	830 – 800	180	Σφύρες, μήτρες ψυχρηλασίας, λεπίδες ψαλιδιών, δρέπανα, σιαγόνες συνδητόρων (δαγκανών), κλειδιά κοχλιών, εργαλεία σιδηρουργού
0,80 – 0,90	820 – 780	180	Όπως παραπάνω
0,90 – 1,00	800 – 770	180	Τυπικός χάλυβας γενικής χρήσεως για εργαλεία τόρνου. Μαχαίρια, ελατήρια, στιγείς (ζουμπάδες)
1,00 – 1,10	790 – 760	150	Εργαλεία τόρνου, φραίζες, τρύπανα, γλύφανα, ελικοτομίδες (φιλιέρες και κολασίζα)
1,10 – 1,20	790 – 760	150	Εργαλεία κοπής, όπως παραπάνω. Ένσφαιροι τριθείς (ρουλμάν)
1,20 – 1,50	790 – 760	150	Εργαλεία κοπής τελικής κατεργασίας, ρίνες, (λίμες), ξυράφια, λεπίδες ψαλιδιών

B) Χάλυβες εργαλείων αντοχής σε κρούσεις.

Οι χάλυβες αυτοί χρησιμοποιούνται για εργαλεία που υφίστανται κρούσεις και επομένως πρέπει να έχουν μεγάλη δυσθραυστότητα. Βρίσκουν εφαρμογές σε μήτρες διαμορφώσεως, σε στιγείς (ζουμπάδες) και μήτρες κοπής, σε κοπίδια, λεπίδες ψαλιδιών κλπ. Περιέχουν άνθρακα από 0,45% μέχρι 0,60% και σαν προσθήκες πυρίτιο ή χρώμιο και βολφράμιο και σε ορισμένες περιπτώσεις μολυβδαίνιο.

Τυπικοί χάλυβες αυτής της κατηγορίας είναι οι παρακάτω:

- a) $\pi(C) = 0,50\%$, $\pi(Mn) = 0,80\%$, $\pi(Si) = 2,00\%$, $\pi(Mo) = 0,40\%$
 b) $\pi(C) = 0,50\%$, $\pi(Cr) = 1,50\%$, $\pi(W) = 2,50\%$

Γ) Χάλυβες εργαλείων ψυχρηλασίας.

Χρησιμοποιούνται πάρα πολύ. Σ' αυτή την κατηγορία χαλύθων εργαλείων υπάγονται:

a) **Χάλυβες φτωχοί σε προσθήκες.** Περιέχουν άνθρακα περίπου 1,00%, μαγγάνιο και μικρότερες ποσότητες χρωμίου και βολφραμίου και βάφονται σε λάδι. Δεν παραμορφώνονται πολύ κατά τις θερμικές κατεργασίες και παρουσιάζουν καλή αντοχή σε φθορά από τριβή. Η δυσθραυστότητά τους είναι μέτρια, η δε αντοχή τους σε επαναφορά πολύ χαμηλή, σχεδόν όπως των κοινών χαλύθων εργαλείων. Χρησιμοποιούνται για μήτρες διαμορφώσεως, για ελικοτομίδες (κολασούζα - φιλιέρες) και ρυθμιζόμενα γλύφανα. Τυπικός χάλυβας αυτού του είδους είναι ο ακόλουθος:

$$\pi(C) = 0,90\%, \pi(Mn) = 1,00\%, \pi(Cr) = 0,50\%, \pi(W) = 0,50\%$$

b) **Χάλυβες μέσης περιεκτικότητας σε προσθήκες.** Περιέχουν περίπου 1% άνθρακα, μαγγάνιο μέχρι 3%, χρώμιο μέχρι 5% και 1% μολυβδαίνιο. Παραμορφώνονται λίγο κατά τις θερμικές κατεργασίες. Έχουν καλή αντοχή στη φθορά από τριβή, μέτρια δυσθραυστότητα και αντοχή σε επαναφορά. Βάφονται στον αέρα. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μητρών κοπής, διαμορφώσεως και σπειρωμάτων με συμπίεση.

Σαν τυπικός χάλυβας αυτού του είδους θεωρείται ο εξής:

$$\pi(C) = 2,25\%, \pi(Cr) = 12\%, \pi(Mo) = 1,00\%$$

Δ) Χάλυβες εργαλείων θερμηλασίας.

Σε ορισμένες εφαρμογές το εργαλείο θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό συμβαίνει κυρίως κατά τη θερμηλασία, όπου το τεμάχιο υφίσταται την κατεργασία όταν είναι θερμό, αλλά εμφανίζεται και στη χύτευση με συμπίεση, καθώς επίσης και κατά τη χύτευση πλαστικών. Αυτοί οι χάλυβες θα πρέπει να έχουν κυρίως καλή αντοχή σε επαναφορά. Περιέχουν χρώμιο, μολυβδαίνιο και βολφράμιο, το άθροισμα δε όλων των προσθηκών πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 5%.

Διακρίνομε τρεις ομάδες χαλύθων εργαλείων θερμηλασίας:

a) Τους **χάλυβες με βάση το χρώμιο**, οι οποίοι περιέχουν 0,35% μέχρι 0,55% άνθρακα, 5% μέχρι 7% χρώμιο και μικρότερες ποσότητες βαναδίου (0,40% μέχρι 1,00%), βολφραμίου (1,50% ως 7,00%) και μολυβδαίνιου (1,50% ως 5,00%). Σαν αντιπροσωπευτικό χάλυβα αυτής της ομάδας αναφέρομε τον εξής:

$$\pi(C) = 0,35\%, \pi(Cr) = 5\%, \pi(V) = 1,00\%, \pi(Mo) = 1,50\%$$

b) Τους **χάλυβες με βάση το βολφράμιο**, οι οποίοι περιέχουν 0,35% ως 0,55% άνθρακα, 2% ως 12% χρώμιο και 9% ως 18% βολφράμιο, όπως είναι ο χάλυβας:

$$\pi(C) = 0,45\%, \pi(Cr) = 3\%, \pi(W) = 15\%$$

γ) Τους χάλυθες με βάση το μολυβδαίνιο, οι οποίοι περιέχουν 0,55% ως 0,65% άνθρακα, 4% Cr, 1% ως 2% V, 1,5% ως 6,00% W και 5% ως 8% Mo, όπως είναι ο χάλυθας:

$$\pi(C) = 0,60\%, \pi(Cr) = 4\%, \pi(V) = 2\%, \pi(W) = 6\%, \pi(Mo) = 5\%$$

Οι χάλυθες εργαλείων θερμηλασίας έχουν γενικά καλή δυσθραυστότητα, μεγάλη αντοχή σε επαναφορά και μέτρια αντοχή στη φθορά. Βάφονται στον αέρα με πολύ μικρές παραμορφώσεις κατά τη βαφή.

Χρησιμοποιούνται για μήτρες σφυρηλασίας και για μήτρες διελάσεως αργιλίου, ορειχάλκου και χάλυθα εν θερμώ. Επίσης για λεπίδες ψαλιδιών, για ψαλιδισμό εν θερμώ, για μήτρες πλαστικών, καθώς και για μήτρες χυτεύσεως με συμπίεση.

E) Ταχυχάλυθες.

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

Οι ταχυχάλυθες ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες:

α) Σε εκείνους, που έχουν σαν βάση το βολφράμιο. Προστίθεται βανάδιο και κοβάλτιο. Τυπικός χάλυθας αυτής της κατηγορίας είναι ο γνωστός ταχυχάλυθας 18-4-1 (18% W, 4% Cr, 1% V και 0,75% C) και β) σε εκείνους, που έχουν σαν βάση το μολυβδαίνιο, με προσθήκες βολφραμίου, βαναδίου και κοβαλτίου, όπως είναι οι εξής ταχυχάλυθες:

$$\pi(C) = 1,30\%, \pi(Cr) = 4\%, \pi(V) = 4\%, \pi(W) = 5,50\%, \pi(Mo) = 4,50\%$$

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

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

Στον Πίνακα 21.3.2 αναγράφονται στοιχεία σχετικά με τη χημική σύνθεση, τις θερμικές κατεργασίες και τις βιομηχανικές χρήσεις συνηθισμένων ταχυχαλύθων και των δυο κατηγοριών.

Θερμικές κατεργασίες των χαλύθων εργαλείων.

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

Παρακάτω δίνομε ορισμένες γενικές οδηγίες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 21.3.2
Ταχυδασμοίς

Τύπος ταχυδασμάτων	Χημική σύνθεση [%]						Θερμικές κατεργασίες	Σκληρότητα κατά Vickers	Βιομηχανικές χρήσεις
	C	Cr	W	V	Mn	Co			
14% θιολφραίου	0,65	4,00	14,00	0,80	—	—	— Βαφή σε ρεύμα αέρα ή λάδι από 1250° έως 1300°C. Διπλή επαναφορά σε 565°C επί μια δρά	800 – 660	Γενικές μηχανουργικές εργασίες ελαφρώς μορφής
18% θιολφραίου (18 - 4 - 1)	0,75	4,20	18,20	1,20	—	—	— Όπως παραπάνω, βαφή από 1290° έως 1340°C και διπλή επαναφορά	800 – 890	Εργαλεία τόρνου, πλάνης, φραζες, εργαλεία κοπής οδοντωτών τροχών σε γραναδόκοπτες, γλύφαφα, ελικοτομίδες, τρυπάνια, δίσκοι αποκοπής, δίσκοι και τανίες μεταλλοπρίνων και άλλα
22% θιολφραίου	0,78	4,50	21,50	1,40	0,50	—	— Όπως παραπάνω, βαφή από 1280° έως 1320°C και διπλή επαναφορά	830 – 950	Μεγάλου μεγέθους φραζες και κοπες γραναδόκοπτη, εργαλεία αυτόματου τόρνου, εργαλεία μορφής ακρίβειας. Ανώτερος σε ποιότητα του ταχυδαλυθα 18.4.1
12% κοβαλτίου - 21% θιολφραίου	0,80	4,75	21,50	1,50	0,50	12	— Όπως παραπάνω, βαφή από 1300° έως 1320°C και διπλή επαναφορά	900 – 950	Όπως ο ταχυδαλυθας 18.4.1, αλλά για πολύ σκληρά τεμάχια. Παρουσίαζει πολύ μεγάλη αντοχή σε επαναφορά και μεγάλη δυσθραστότητα

12% θολφραμίου - 5% βαναδίου	1,50	4,50	12,50	5,00	-	5,00	'Όπως παραπάνω, θαφή από 1230° έως 1300°C και διπλή επαναφορά	900 – 1000	Εξαιρετικά σκληρός και δύσθραυστος και με εξαιρετική επίσης αντοχή σε επαναφορά. Εργαλεία μεγάλης ακριβείας, ως και εργαλεία τελικής κατεργασίας (τόρνευση, φραζάρισμα, πλάνισμα κλπ.). Κατεργασία χαλυβοκρατών αεριστροθίλων
18% θολφραμίου - 5% βαναδίου	1,50	5,00	17,50	5,00	0,50	8,75	'Όπως παραπάνω, θαφή σε 1250°C και διπλή επαναφορά	900 – 990	Εργαλεία κοπής για κατεργασία πολύ σκληρών υλικών
5% μολυβδανίου	0,80	4,25	6,50	1,90	5,00	-	'Όπως παραπάνω, θαφή σε 1250°C και διπλή επαναφορά	850 – 900	Χονδρικά ισοδύναμας με τον ταχυδάλισθα 18.41 με μεγαλύτερη δύνατη δυσθραυστότητα. Τρυπανία, γλύφανα, ελικοτομίες (κολασούζα), φραζές
9% μολυβδανίου - 8% κοβαλτίου	0,90	3,75	1,65	1,10	9,50	8,25	'Όπως παραπάνω, αλλά τριπλή επαναφορά σε 530°C για μια ώρα	830 – 935	Παρόμιος με τον ταχυδάλισθα 12% κοβαλτίου – 21% δυλφραμίου

α) Απότομη θέρμανση μπορεί να δημιουργήσει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας στη μάζα τους, πράγμα που μπορεί να έχει σαν επακόλουθο ρωγμές και στρεβλώσεις. Αυτό αποφεύγεται με ήρεμη αρχική προθέρμανση των εργαλείων και στη συνέχεια ταχύτερη θέρμανση στην κανονική θερμοκρασία βαφής. Μερικοί προτιμούν να θερμαίνουν κλίβανο και εργαλεία ταυτόχρονα.

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

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

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

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

στ) Οι ταχυχάλυβες έχουν την ιδιότητα να αποκτούν μεγαλύτερη σκληρότητα μετά από επαναφορά και όχι μετά από τη βαφή και πριν από την επαναφορά, όπως συμβαίνει με τους άλλους χάλυβες που βάφονται (παράγρ. 19.11). Η βαφή των ταχυχαλύβων γίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, δηλαδή στους 1200°C μέχρι 1300°C (Πίνακας 21.3.2) ανάλογα με τον τύπο του ταχυχάλυβα. Πιρώνομε συνήθως τον ταχυχάλυβα σε ηλεκτρική κάμινο, που έχει ρυθμιζόμενη ατμόσφαιρα, μέχρι περίπου 900°C . Συνεχίζομε την πύρωση μέχρι τη θερμοκρασία της βαφής σε κάμινο τηγμένων αλάτων (Πίνακας 19.10.1). Μετά τη βάφη γίνεται μέσα σε λουτρό τηγμένων αλάτων ή μολύθδου θερμοκρασίας περίπου 550°C . Μόλις ο χάλυβας πάρει τη θερμοκρασία του λουτρού, αφήνεται να αποψυχθεί στον αέρα.

Μετά τη βαφή του ταχυχάλυβα παραμένει σημαντική ποσότητα ωστενίτη. Ο μετασχηματισμός του υπολειπόμενου αυτού ωστενίτη σε μαρτενότη γίνεται με επαναφορά. Συνήθως γίνεται **διπλή επαναφορά** (Πίνακας 21.3.2) με τέτοιο τρόπο, ώστε να μετασχηματισθεί όσο το δυνατόν περισσότερος ωστενίτης σε μαρτενότη και έτσι ο ταχυχάλυβας να αποκτήσει μεγαλύτερη σκληρότητα.

21.4 Ειδικά χαλυβοκράματα.

Τα ειδικά χαλυβοκράματα έχουν αναπτυχθεί, για να ανταποκριθούν σε ορισμένες πρακτικές απαιτήσεις, τις οποίες δεν μπορούν να καλύψουν οι χάλυβες που έχουμε συναντήσει μέχρι τώρα. Σ' αυτή την παράγραφο θα μελετήσουμε τους πιο ενδιαφέροντες τύπους ειδικών χαλυβοκραμάτων, όπως είναι οι **ανοξείδωτοι χάλυβες**, οι **πυρίμαχοι χάλυβες** και οι χάλυβες **ειδικών ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών**.

A) Οι ανοξείδωτοι χάλυβες (στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος).

Η ανακάλυψη των ανοξειδώτων χαλύβων αποδίδεται στον Μπρέρλεϋ (Breslau), όταν το 1913 παρατήρησε ότι ο χάλυβας με 13% Cr παρουσίαζε σημαντική αντοχή στη διάθρωση της ατμόσφαιρας.

Η αντοχή αυτή στη διάθρωση οφείλεται στο χρώμιο, το οποίο σχηματίζει λεπτό στρώμα οξειδίου του χρωμίου στην επιφάνεια του κράματος. Το στρώμα αυτό είναι ανθεκτικό και συμπαγές, προσκολλάται καλά στην επιφάνεια και έτσι εμποδίζει την προσβολή του χάλυβα. Με αυτό τον τρόπο δεν παρέχεται μόνο προστασία από την ατμόσφαιρα, αλλά και από ορισμένες διαλύσεις ή διαθρωτικό περιβάλλον.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες επομένως είναι χαλυθοκράματα με βάση το χρώμιο, ανθεκτικά σε διαθρωτικό γενικά περιβάλλον συμπεριλαμβανόμενης και της ατμόσφαιρας.

Η διάθρωση των μετάλλων που θρίσκονται μέσα σε διαθρωτική ατμόσφαιρα, γίνεται είτε από συνεχή χημική προσθολή είτε από φαινόμενα ηλεκτρολύσεως είτε και από τα δυο μαζί. Από αυτό συμπεραίνομε ότι τα ανθεκτικά σε διάθρωση κράματα πρέπει:

α) Να έχουν κρυσταλλική δομή μιας μόνο ομοιογενούς φάσεως, όπως π.χ. ωστενίτη ή φερρίτη και

β) να σχηματίζουν επιφανειακά οξείδιο, το οποίο να προστατεύει το βασικό κράμα από παραπέρα διάθρωση.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι κατά βάση χρωμιούχοι χάλυβες. Περισσότερο θελτιωμένοι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι οι νικελιοχρωμιούχοι.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Στους μαρτενσιτικούς.
- Στους ωστενιτικούς και
- στους φερριτικούς.

1) Μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.

Αυτοί οι χάλυβες περιέχουν άνθρακα από 0,07% μέχρι 0,40% και χρώμιο από 12% μέχρι 18%. Βάφονται από 950°C μέχρι 1000°C. Μετά τη βαφή αποκτούν **μαρτενσιτικό ιστό**. Σ' αυτή την κατάσταση είναι σε σημαντικό βαθμό ανοξείδωτοι. Αν υποστούν ανόπτηση, αποκτούν περλιτικό ιστό. Είναι **μαγνητικοί**. Αυτοί οι χάλυβες υφίστανται και επαναφορά από 500°C μέχρι 750°C. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε, ότι μετά την επαναφορά ο χάλυβας αποκτά μεγαλύτερη δυσθραυστότητα, σε βάρος όμως της αντοχής του σε διάθρωση.

Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άνθρακα οι μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες έχουν ορισμένες εφαρμογές. Για δυο τύπους από αυτούς τους χάλυβες δίνονται μηχανικές ιδιότητες και βιομηχανικές χρήσεις στον Πίνακα 20.2.4. Ο χάλυβας με $\pi(C) = 0,40\%$ ως $1,00\%$ και $\pi(Cr) = 13\%$ χρησιμοποιείται για ρουλεμάν (ένσφαιροι τριθείς) και ελατήρια, που λειτουργούν σε διαθρωτικό περιβάλλον. Επίσης σαν μαρτενσιτικό ανοξείδωτο χάλυβα αναφέρομε και αυτόν που περιέχει $0,10\% C$, $18\% Cr$ και $2\% Ni$. Συνδυάζει καλή αντοχή σε διάθρωση με καλές μηχανικές ιδιότητες, που τις πετυχαίνομε μετά από βαφή σε 950°C και επαναφορά σε 650°C. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή αξόνων αντλιών, πτερυγίων στροβίλων κλπ.

2) Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.

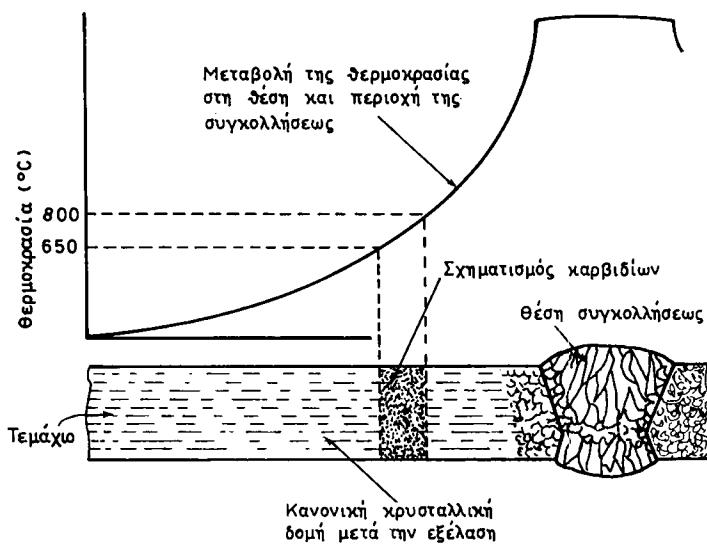
Σ' αυτούς ανήκουν χαλυθοκράματα με περιεκτικότητα σε χρώμιο από 12% ως 25% και νικέλιο από 8% ως 15% και χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (μικρότερη από 0,10%).

Αντιπροσωπευτικός ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας είναι ο νικελιοχρωμιούχος χάλυβας με $\pi(Cr) = 18\%$ και $\pi(Ni) = 8\%$, που συμβολίζεται συνήθως σαν 18-8. Αυτοί οι χάλυβες δεν σκληραίνουν με τη βαφή. Βαφή σε λάδι ή νερό από 1050°C μέχρι 1100°C τους δίνει τηλήρως κρυσταλλική δομή ωστενίτη (σχ.



Σχ. 21.4α.

Κρυσταλλική δομή ανοξείδωτου χάλυβα με $\pi(\text{Cr}) = 20\%$, $\pi(\text{Ni}) = 10\%$ και $\pi(\text{C}) = 0,05\%$ μετά από θαφή σε λάδι από 1050°C (κρυσταλλίτες ωστενίτη). Μεγέθυνση $\times 200$.



Σχ. 21.4β.

Εμφάνιση καρβιδών κατά τη συγκόλληση ανοξείδωτου χάλυβα 18-8.

21.4α). Σ' αυτή την κατάσταση το χαλυβόκραμα είναι μαλακό, αμαγνητικό και παρουσιάζει τη μέγιστη αντοχή του σε διάθρωση.

Στον Πίνακα 20.2.5 δίνεται η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες και οι βιομηχανικές χρήσεις ωστενιτικών ανοξειδώτων χαλύβων.

Οι χάλυβες του τύπου 18-8 μπορεί να περιέχουν και 3% Μο περίπου ή 2% Cu, ώστε να αποκτήσουν αντοχή σε διάθρωση από ορισμένα διαλύματα. Αν ο ανοξείδωτος χάλυβας 18-8 θερμανθεί για ορισμένο χρόνο, όπως συμβαίνει κατά τη συγκόλλησή του (σχ. 21.4θ), τότε εμφανίζονται καρβίδια στα όρια των κόκκων του ωστενίτη. Από το σχηματισμό των καρβιδίων σε μικρό βάθος μέσα στους κόκκους, ελαττώνεται κατά πολύ η περιεκτικότητα του χάλυβα σε χρώμιο και άνθρακα, με αποτέλεσμα να διαθρώνεται εύκολα σ' αυτές τις θέσεις. Η διάθρωση αυτή επιτείνεται και από την ανομοιογένεια της φάσεως που παρατηρείται εξαιτίας των καρβιδίων. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **περικρυσταλλική διάθρωση** του χάλυβα.

Για να ελαττώσουμε την περικρυσταλλική διάθρωση, μειώνομε την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα (μέχρι και 0,03%) και προσθέτομε τιτάνιο ή νιόβιο. Αυτά τα στοιχεία έχουν ισχυρή τάση να σχηματίζουν καρβίδια και έτσι, αντί να εμφανισθούν στα όρια των κόκκων καρβίδια χρωμίου με τις δυσμενείς συνέπειες που αναφέραμε, σχηματίζονται καρβίδια τιτανίου ή νιοβίου.

3) Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.

Περιέχουν άνθρακα από 0,10% ως 0,30% και χρώμιο από 16% ως 30%. Έχουν μία μόνο φάση, το φερρίτη [σχ. 20.2α(θ)]. Αυτοί οι χάλυβες δεν υπόκεινται σε θερμικές κατεργασίες. Είναι μαγνητικοί και έχουν αντοχή σε διάθρωση μεγαλύτερη από τους μαρτενσιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες, αλλά πολύ κατώτερη μηχανική αντοχή.

B) Οι πυρίμαχοι χάλυβες.

Πυρίμαχους χάλυβες λέμε τους χάλυβες που αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως πάνω από 500°C. Οι πυρίμαχοι χάλυβες βρίσκουν εφαρμογή στην κατασκευή βαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσεως, αυλών υπερθερμαντήρων, σωληνώσεων θερμικών εγκαταστάσεων ατμού, όπως και σε μεταφορικές ταινίες κλιβάνων, πτερύγια στροβίλων, κιβώτια ανοπτήσεως, χωνευτήρια κλπ. Αυτοί οι χάλυβες πρέπει να έχουν τις εξής ιδιότητες στο περιβάλλον και στη θερμοκρασία εργασίας τους:

- α) Αντοχή στη διάθρωση.
- β) Καλή μηχανική αντοχή και

γ) σταθερότητα διαστάσεων, δηλαδή τα διάφορα τεμάχια στην υψηλή θερμοκρασία εργασίας τους να μην αλλάζουν διαστάσεις πιο πολύ από τα επιτρεπόμενα όρια.

Στον Πίνακα 21.4.1 παραθέτομε τη χημική σύνθεση, τη μέγιστη θερμοκρασία εργασίας και τις βιομηχανικές χρήσεις τυπικών πυριμάχων χαλύβων.

Γ) Οι χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.

Αυτά τα χαλυβοκράματα μπορούν να διαιρεθούν σε:

- α) **Μαγνητικώς μαλακά**, τα οποία μαγνητίζονται και απομαγνητίζονται, χωρίς να χάνεται σημαντικό ποσό ενέργειας και
- β) **μαγνητικώς σκληρά**, τα οποία μαγνητίζονται εύκολα και διατηρούν το μαγνητισμό τους και μετά την αφαίρεση του μαγνητικού πεδίου, που τα μαγνήτισε.

ΠΙΝΑΚΑΣ 21.4.1
Πυρίμαχοι χάλυβες

Χημική σύνθεση [%]					Άλλα στοιχεία	Μέγιστη θερμοκρασία εργασίας [%]	Βιομηχανικές χρήσεις
C	Si	Mn	Cr	Ni			
0,15	1,50	–	25	19	–	1100	Ωστενιτικός νικελιοχρωμιούχος χάλυβας. Χωνευτήρια, πολλαπλές εξαγωγές μηχανών αεροπλάνων, τεμάχια λεθήτων και υπερθερμαντήρων
0,35	0,60	–	28	–	–	1150	Φερριτικός χρωμιούχος χάλυβας. Αντέχει σε οξειδωτική θειούχα ατμόσφαιρα
0,12	–	0,70	12	2,50	1,80 Mo 0,35 V	600	Πτερύγια και δίσκοι στροβίλων, τεμάχια αεριοστροβίλων
0,06	–	1,50	17	12,50	2,35 Mo	650	Τεμάχια εγκαταστάσεων ατμού, αυλοί υπερθερμαντήρων
0,40	3,50	–	8	–	0,50 Mo	700	Χάλυβας θαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσεως

1) Μαγνητικώς μαλακά χαλυβοκράματα.

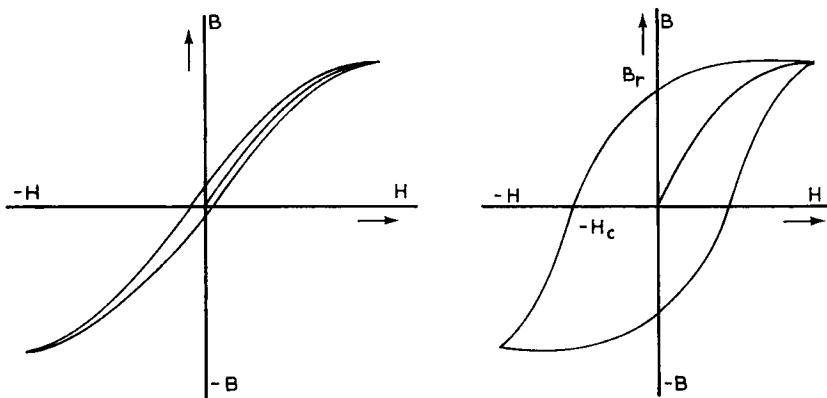
Από αυτά τα χαλυβοκράματα κατασκευάζονται ελάσματα πυρήνων μετασχηματιστών, τυμπάνων και πόλων ηλεκτρικών κινητήρων και γεννητριών και άλλα. Αυτά τα χαλυβοκράματα πρέπει:

α) Να έχουν μεγάλο συντελεστή μαγνητικής διαπερατότητας (Ηλεκτρολογία, Ιδρύματος Ευγενίδου, Τόμος Β, σελ. 24, 25, 26) και β) μικρές απώλειες ενέργειας. Αυτές οι απώλειες περιλαμβάνουν τις απώλειες ενέργειας από μαγνητική υστέρηση (Ηλεκτρολογία, Τόμος Β, σελ. 98, 99) και τις απώλειες από δινορρεύματα (Ηλεκτρολογία, Τόμος Β, σελ. 156, 157, 158). Οι απώλειες από υστέρηση γίνονται μικρές, όταν το εμβαδόν του βρόχου υστερήσεως είναι μικρό [σχ. 21.4γ(α)] και οι απώλειες από δινορρεύματα γίνονται επίσης μικρές, όταν τα ελάσματα των πυρήνων μετασχηματιστών ή των τυμπάνων των γεννητριών και κινητήρων έχουν μικρό πάχος και μονώνονται μεταξύ τους.

Κατ' αρχήν χρησιμοποιήθηκε ο σίδηρος σαν μαγνητικώς μαλακό υλικό και ακολούθησαν πυριτιούχοι χάλυβες με ελάχιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα και με πυρίτιο μέχρι 4,50%. Σήμερα τα κράματα σιδήρου - νικελίου δίνουν μεγάλους συντελεστές μαγνητικής διαπερατότητας, αλλά το κόστος τους είναι μεγάλο. Σαν τυπικό χαλυβόκραμα αυτού του είδους αναφέρομε εκείνο που περιέχει 78% Ni και 22% Fe.

2) Μαγνητικώς σκληρά χαλυβοκράματα.

Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μονίμων μαγνητών και γι' αυτό πρέπει να



Σχ. 21.4γ.

- α) Μορφή θρόχου υστερήσεως για υλικό κατάλληλο για πυρήνα μετασχηματιστή, ακατάλληλο δύμας για μόνιμο μαγνήτη. β) Μορφή θρόχου υστερήσεως για υλικό κατάλληλο για μόνιμο μαγνήτη, ακατάλληλο δύμας για πυρήνα μετασχηματιστή.

παίρνομε από το θρόχο ύστερήσεώς τους [σχ. 21.4γ(β)], όσο είναι δυνατόν, μεγαλύτερη τιμή μαγνητικής επαγωγής B_r και εντάσεως του μαγνητικού πεδίου $-H_c$ (Ηλεκτρολογία, Ιδρύματος Ευγενίδου, Τόμος Β, σχ. 21.76). Το πρώτο σημαίνει ότι ο μαγνητισμός που παραμένει είναι πολύ μεγάλος, ενώ το δεύτερο σημαίνει ότι για να απομαγνητισθεί το χαλυβόκραμα πρέπει να εφαρμοσθεί αντίθετο μαγνητικό πεδίο μεγάλης εντάσεως.

Αρχικά, σαν κράμα μονίμων μαγνητών χρησιμοποιήθηκε ανθρακούχος χάλυβας με $\pi(C) = 0,80\%$ ως $1,00\%$. Σήμερα θρίσκουν εφαρμογή διάφοροι τύποι χαλυβοκραμάτων με προσθήκες, όπως το βολφράμιο, το χρώμιο, το μολυβδαίνιο και το κοβάλτιο.

Σαν τυπικά χαλυβοκράματα μονίμων μαγνητών παραθέτομε τα εξής:

$$\begin{array}{lll} \pi(C) = 1,00\% & \pi(Cr) = 3,50\% & \\ \pi(C) = 0,70\% & \pi(Cr) = 0,60\% & \pi(W) = 6\% \\ \pi(C) = 1,00\% & \pi(Cr) = 7\% & \pi(Co) = 3\% \text{ και} \\ \pi(C) = 1,00\% & \pi(Cr) = 9\% & \pi(Co) = 15\% \end{array}$$

Επιπλέον αναφέρομε και ορισμένα χαλυβοκράματα μονίμων μαγνητών, τα οποία αναπτύχθησαν τα τελευταία χρόνια και έχουν πολύ ανώτερες ιδιότητες από τα παλαιότερα:

$$\begin{array}{lll} \pi(Co) = 12\% & \pi(Al) = 9,50\% & \pi(Ni) = 17\% & \pi(Cu) = 5\% \\ \pi(Co) = 29\% & \pi(Al) = 7\% & \pi(Ni) = 15\% & \pi(Cu) = 2\% \\ & & & \pi(Ti) = 4\% \end{array}$$

ΜΕΡΟΣ ΕΝΑΤΟ

ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΩΝ

Οι χυτοσίδηροι, όπως και οι χάλυβες, είναι κράματα σιδήρου και άνθρακα. Οι χυτοσίδηροι όμως έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, η οποία κυμαίνεται από 2,50% ως 4,00%.

Στην παράγραφο 15.2 αναφέραμε τον τρόπο παρασκευής του χυτοσιδήρου.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του χυτοσιδήρου, σαν τεχνικό υλικό, συγκριτικά με το χάλυβα είναι τα εξής:

α) Χαμηλότερο κόστος.

β) Χαμηλότερο σημείο τήξεως (1150°C ως 1250°C).

γ) Σε κατάσταση τήξεως είναι πολύ λεπτόρρευστος και επομένως μπορεί να παίρνει περίπλοκα σχήματα κατά τη χύτευση, δηλαδή έχει, όπως λέμε, καλή **χυτευτότητα**.

Έχει σημαντική ικανότητα αποσθέσεως κραδασμών και γι' αυτό είναι υλικό κατάλληλο για σώματα εργαλειομηχανών και γενικά για θάσεις μηχανών. Σημαντικό μειονέκτημα του χυτοσιδήρου συγκριτικά με το χάλυβα είναι ότι ο πρώτος έχει χαμηλότερο όριο θραύσεως, χαμηλότερη δυσθραυστότητα και πολύ μικρή ή και ανύπαρκτη πλαστικότητα. Το τελευταίο σημαίνει ότι ο χυτοσίδηρος δεν μπορεί να υποστεί κατεργασία με πλαστική παραμόρφωση, δηλαδή δεν είναι κράμα διαμορφώσεως. Παρακάτω θα δούμε ότι με ορισμένες θερμικές κατεργασίες ή προσθήκες μπορούμε να πετύχουμε χυτοσιδήρους με ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες. Οι χυτοσίδηροι, όπως και οι χάλυβες, εκτός από τον άνθρακα περιέχουν και τις γνωστές ακαθαρσίες, δηλαδή πυρίτιο, μαγγάνιο, θείο και φωσφόρο, σε μεγαλύτερες όμως ποσότητες.

Η περιοχή χημικής συνθέσεως των χυτοσιδήρων είναι η εξής:

$$\pi(\text{C}) = 2,80\% \text{ ως } 3,60\% \quad \pi(\text{Si}) = 1,00\% \text{ ως } 3,00\%$$

$$\pi(\text{Mn}) = 0,40\% \text{ ως } 1,00\% \quad \pi(\text{S}) = 0,10\% \text{ ως } 0,35\%$$

$$\text{και} \quad \pi(\text{P}) = 0,05\% \text{ ως } 1,00\%$$

Ο άνθρακας στο χυτοσίδηρο μπορεί να υπάρχει με δυο μορφές:

α) Με μορφή χημικής ενώσεως με τον άνθρακα (καρβιδίου), δηλαδή σαν **σεμεντίτης** (παράγρ. 17.1), ή

β) με μορφή ελεύθερου άνθρακα, σαν **γραφίτης**, ο οποίος προκύπτει μετά από διάσπαση του σεμεντίτη, αν υπάρξουν ευνοϊκές συνθήκες γι' αυτή τη διάσπαση.

Αν ο άνθρακας, που περιέχεται, σχηματίζει μαζί με το σίδηρο σεμεντίτη, τότε ο χυτοσίδηρος είναι **σκληρός, εύθραυστος και δυσκατέργαστος**. Κατά τη θραύση του, η επιφάνεια θραύσεως είναι λευκή (λευκόχρους). Σ' αυτή την περίπτωση έχομε το **λευκό χυτοσίδηρο**. Αν ο άνθρακας περιέχεται ελεύθερος, σαν γραφίτης, ο χυτοσίδηρος είναι σχετικά **μαλακός και κατεργάσιμος**, η δε επιφάνεια θραύσεως είναι φαιά (φαιόχρους). Σ' αυτή την περίπτωση έχομε το **φαιό χυτοσίδηρο**. Οι παράγοντες, που καθορίζουν ποια μορφή παίρνει και πώς κατανέμεται ο άνθρακας στο χυτοσίδηρο, πράγματα που επηρεάζουν τις μηχανικές του ιδιότητες, είναι η **ταχύτητα αποψύξεως** κατά τη χύτευση, η **χημική του σύνθεση** και οι **θερμικές κατεργασίες** που ακολουθούν τη χύτευσή του. Έτσι:

α) Υψηλή ταχύτητα αποψύξεως τείνει να σταθεροποιήσει το σεμεντίτη και επομένως δίνει λευκό χυτοσίδηρο, ενώ χαμηλή ταχύτητα αποψύξεως υποβοηθάει το σχηματισμό γραφίτη, οπότε παράγεται φαιός χυτοσίδηρος. Η ταχύτητα αποψύξεως εξαρτάται από το μέγεθος της διατομής του χυτευόμενου τεμαχίου, καθώς επίσης και από το είδος του τύπου (καλουπιού) χυτεύσεως. Επομένως στο ίδιο χυτό, με διαφορετικές όμως διατομές, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στις λεπτές διατομές σχηματίζεται λευκός χυτοσίδηρος, ενώ στις παχύτερες σχηματίζεται φαιός χυτοσίδηρος. Επίσης, η ταχύτητα αποψύξεως είναι υψηλότερη στους μεταλλικούς τύπους, ενώ είναι χαμηλότερη στους τύπους άμμου.

β) Το **πυρίτιο** υποβοηθάει στο σχηματισμό γραφίτη και επομένως έχει τάση να σχηματίζει φαιό χυτοσίδηρο.

Το **θείο** σταθεροποιεί το σεμεντίτη και επομένως υποβοηθάει το σχηματισμό λευκού χυτοσίδηρου.

Το **μαγγάνιο** σχηματίζει μαζί με το θείο θειούχο μαγγάνιο και έτσι υποβοηθάει έμμεσα στο σχηματισμό γραφίτη, γιατί δεσμεύει το θείο που, όπως έχομε αναφέρει, τείνει να σταθεροποιήσει το σεμεντίτη.

Ο **φωσφόρος** βελτιώνει την ιδιότητα του χυτοσίδηρου να χυτεύεται εύκολα και έτσι χυτοσίδηρος με 1,00% φωσφόρο π.χ. είναι κατάλληλος για χύτευση τεμαχίων με λεπτές διατομές.

Τέλος, διάφορες **προσθήκες** μας δίνουν τους λεγόμενους **ειδικούς χυτοσίδηρους** (κεφ. 26), οι οποίοι παρουσιάζουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ή άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες.

γ) Όπως θα εξετάσουμε παρακάτω, ορισμένες θερμικές κατεργασίες έχουν σαν αποτέλεσμα τη γραφιτοποίηση του λευκού χυτοσίδηρου με επακόλουθο να παίρνουμε τους **μαλακτικοποιημένους χυτοσίδηρους**, όπως τους ονομάζομε (κεφ. 24).

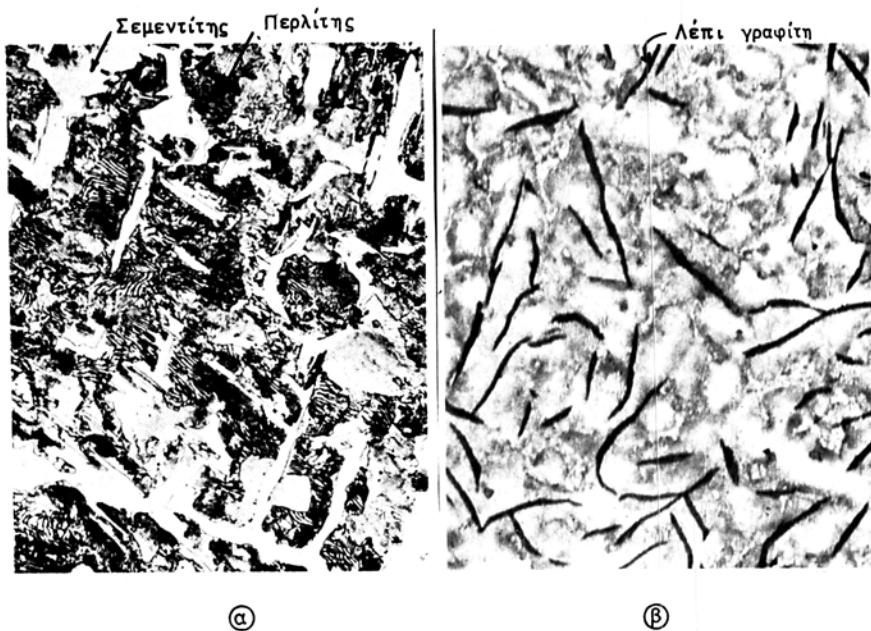
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

ΛΕΥΚΟΙ ΚΑΙ ΦΑΙΟΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

23.1 Λευκοί χυτοσίδηροι.

Οι λευκοί χυτοσίδηροι, σύμφωνα με το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου - σεμεντίτη (σχ. 17.1), περιέχουν άνθρακα από 2,00 μέχρι 6,67%.

Στη θερμοκρασία του περιθάλλοντος οι λευκοί χυτοσίδηροι αποτελούνται από κόκκους περλίτη σε φόντο σεμεντίτη [σχ. 23.1(a)]. Κατά μέσο όρο, η χημική



Σχ. 23.1.

Κρυσταλλική δομή λευκού και φαιού χυτοσίδηρου: α) Λευκός χυτοσίδηρος. Οι λευκές επιφάνειες είναι σεμεντίτης. Μεγέθυνση $\times 250$. Προσθολή με 2% Nital. β) Φαιός χυτοσίδηρος. Φαίνονται χαρακτηριστικά τα χοντρά λέπια γραφίτη σε φόντο περλίτη. Μεγέθυνση $\times 100$.

σύνθεση λευκού χυτοσιδήρου είναι η εξής:

3,00% ως 3,50% C, 0,50% Si, 1,50% Mn, 0,15% S και 1,00% P

Ο λευκός χυτοσιδηρος, όπως είπαμε, έχει πολύ σεμεντίτη. Επειδή ο σεμεντίτης είναι πολύ σκληρός και εύθραυστος, καθιστά το λευκό χυτοσιδηρο πολύ σκληρό και ανθεκτικό στη φθορά από τριβή, εξαιρετικά όμως εύθραυστο και δυσκατέργαστο.

Η σκληρότητα του λευκού χυτοσιδήρου φθάνει τα 400 μέχρι 500 Brinell, ενώ η μέγιστη αντοχή του κυμαίνεται από 150 μέχρι 500 N/mm^2 . Δεν μπορεί να κατεργαστεί πρακτικώς με κατεργασία κοπής, εξαιτίας της μεγάλης του σκληρότητας. Οι λευκοί χυτοσιδηροι σε μεγάλες ποσότητες, όπως τους παίρνομε από την υψηλάμινο (παράγρ. 15.3), αποτελούν την πρώτη ύλη παρασκευής του χάλυβα.

Ακόμη, χρησιμοποιούνται για τη χύτευση τεμαχίων που πρόκειται να υποστούν **μαλακτικοποίηση**. Επίσης, χρησιμοποιούνται για τη χύτευση τεμαχίων, για τα οποία χρειάζεται μεγάλη αντοχή στη φθορά από τριβή, την οποία αντοχή έχει ο λευκός χυτοσιδηρος, όπως έχομε αναφέρει.

23.2 Φαιοί χυτοσιδηροι.

Στους φαιούς χυτοσιδηρους, ο σεμεντίτης διασπάται και έτσι ελευθερώνεται γραφίτης. Αυτή η διάσπαση του σεμεντίτη επιτυγχάνεται από το πυρίτιο, που συνήθως κυμαίνεται από 1% μέχρι 3% και πρέπει να υπάρχει οπωσδήποτε στο χυτοσιδηρο.

Τις μεταβολές στην κρυσταλλική δομή των φαιών χυτοσιδήρων τις παρακολουθούμε με τη βοήθεια του θερμικού διαγράμματος ισορροπίας σιδήρου - γραφίτη, το οποίο είναι παρόμοιο με το διάγραμμα σιδήρου - σεμεντίτη του σχήματος 17.1 με τις εξής μικρές διαφορές:

α) Στο διάγραμμα σιδήρου - γραφίτη η περιεκτικότητα σε άνθρακα φθάνει θεωρητικά τα 100%.

β) Η θερμοκρασία του ευτηκτικού σημείου C είναι 1135°C , ενώ στο διάγραμμα σιδήρου - σεμεντίτη είναι 1130°C .

γ) Η ευτηκτική αναλογία είναι 4,25% C αντί 4,30%.

δ) Η θερμοκρασία του ευτηκτοειδούς σημείου S είναι 738°C αντί 723°C και ε) η ευτηκτοειδής αναλογία είναι 0,69% C αντί 0,80% C.

Οι φαιοί χυτοσιδηροι στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος έχουν κρυσταλλική δομή, συνήθως περλίτη, με χοντρά **λέπια γραφίτη** ακανόνιστα διασκορπισμένα [σχ. 23.1(β)].

Μετά από μια βραδύτατη απόψυξη είναι δυνατό να έχομε στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος φερρίτη αντί περλίτη. Έτσι έχομε τους **περλιτικούς** και τους **φερριτικούς** φαιούς χυτοσιδηρους.

Ο περλίτης των φαιών χυτοσιδήρων έχει όριο θραύσεως περίπου 750 N/mm^2 και σημαντική δυσθραυστότητα, ενώ ο ίδιος ο φαιός χυτοσιδηρος έχει μόνον 150 μέχρι 300 N/mm^2 και πολύ χαμηλή δυσθραυστότητα. Αυτή η μεγάλη διαφορά οφείλεται στην παρουσία των λεπιών του γραφίτη, τα οποία δεν έχουν

καμιά αντοχή, ενεργούν δε σαν ρωγμές και έτσι διακόπτουν τη συνέχεια του κράματος, όπου βρίσκονται μέσα στη μάζα του χυτοσιδήρου.

Τυπική ανάλυση του φαιού χυτοσιδήρου είναι η εξής:

3,00% ως 3,50% C, 2,00% Si, 1% Mn, 0,08% P, 0,05% S

Εδώ είναι φανερή η υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο και η χαμηλή σε θείο (κεφ. 22).

Οι φαιοί χυτοσίδηροι χρησιμοποιούνται στη χύτευση χιτωνίων κυλίνδρων και εμβόλων μηχανών, σωμάτων μηχανών, σωλήνων νερού, χυτών για διακόσμηση, εδράνων ολισθήσεως, ολισθητήρων (γλιστρών) και άλλων.

Οι μηχανικές ιδιότητες των φαιών χυτοσιδήρων μπορούν να θελτιωθούν με δυο τρόπους:

a) Με το σχηματισμό του γραφίτη κάτω από άλλη μορφή και όχι με τη μορφή λεπιών, που υπάρχει στους φαιούς χυτοσιδήρους με τα γνωστά δυσμενή αποτελέσματα και

b) με την προσθήκη άλλων στοιχείων.

Έτσι, με τον πρώτο τρόπο παράγονται οι μαλακτοποιημένοι χυτοσίδηροι και οι χυτοσίδηροι σφαιροειδούς γραφίτη, ενώ με το δεύτερο παράγονται οι **ειδικοί χυτοσίδηροι ή χυτοσίδηροι με προσθήκες**. Το αδυνάτισμα του χυτοσιδήρου, που οφείλεται στην ύπαρξη του γραφίτη, γίνεται μικρότερο καθώς προχωρούμε από τους φαιούς χυτοσιδήρους στους μαλακτοποιημένους και τελικά στους χυτοσιδήρους σφαιροειδούς γραφίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΜΑΛΑΚΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

Οι μαλακτοποιημένοι χυτοσίδηροι έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τους φαιούς χυτοσίδηρους. Η θελτίωση αυτή των ιδιοτήτων τους οφείλεται στη συσσωμάτωση του ελεύθερου γραφίτη σε σφαιρίδια με ανώμαλη επιφάνεια, τα οποία φαίνονται σαν **ροζέτες** στις μικροφωτογραφίες (σχ. 24). Έτσι, με αυτή τη μορφή που παίρνει ο γραφίτης, δεν διασπάται η συνέχεια του δύσθραυστου φερρίτη ή του περλίτη του χυτοσίδηρου, όπως συμβαίνει στους φαιούς χυτοσίδηρους, όπου ο γραφίτης βρίσκεται με μορφή λεπιών.

Αυτοί οι χυτοσίδηροι παράγονται μετά από ανόπτηση λευκού χυτοσίδηρου με ορισμένη χημική σύνθεση και κάτω από κατάλληλες συνθήκες, όπως θα περιγράψουμε παρακάτω.

Τυπική χημική σύνθεση λευκών χυτοσίδηρων για μαλακτοποίηση είναι η επόμενη:

2,00% ως 3,40% C, 0,90% ως 1,40% Si, 0,25% ως 0,55% Mn,
0,18% P και λιγότερο και 0,05% ως 0,18% S

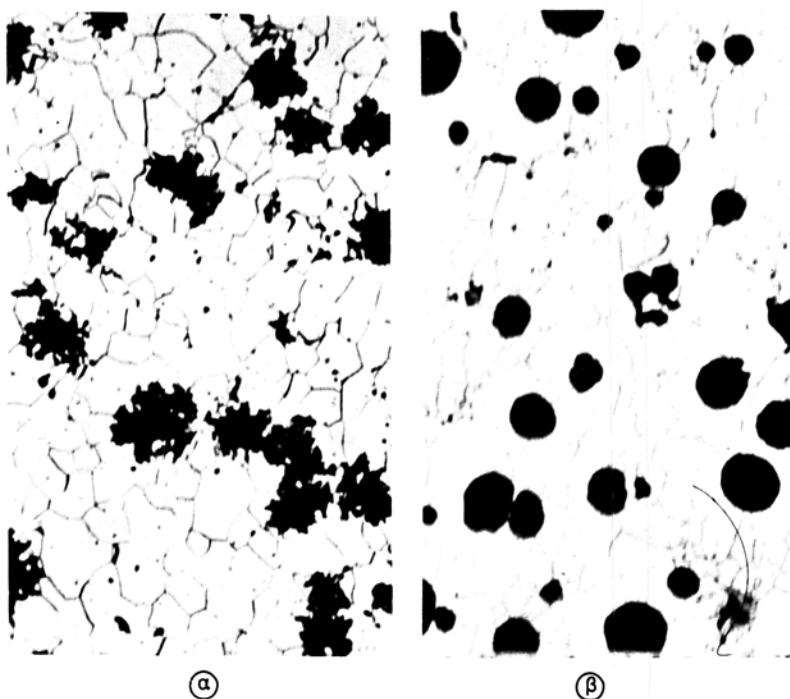
Υπάρχουν δυο ειδών μαλακτοποιημένοι χυτοσίδηροι, οι χυτοσίδηροι **μαύρης (μελαίνης) επιφάνειας θραύσεως** και οι χυτοσίδηροι **λευκής επιφάνειας θραύσεως**.

1) **Χυτοσίδηροι μαύρης επιφάνειας θραύσεως.**

Τα χυτά από λευκό χυτοσίδηρο τοποθετούνται συνήθως μέσα σε κλίβανο αδρανούς ατμόσφαιρας για αποφυγή εξανθρακώσεως. Πυρώνονται σε θερμοκρασία 850°C μέχρι 950°C (θερμοκρασία ανοπτήσεως). Η συνολική διάρκεια της θερμικής αυτής κατεργασίας, δηλαδή η πύρωση των τεμαχίων μέχρι τη θερμοκρασία ανοπτήσεως, η παραμονή τους στη θερμοκρασία αυτή και η απόψυξή τους μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται από 100 μέχρι 170 ώρες.

Στη θερμοκρασία ανοπτήσεως τα χυτά παραμένουν επί 50 μέχρι 75 ώρες. Αποτέλεσμα της παρατεταμένης αυτής θερμάνσεως είναι η διάσπαση του σεμεντίτη σε γραφίτη συσσωματωμένο σε μικρές σφαίρες με ανώμαλη επιφάνεια σε όλη τη διατομή του τεμαχίου.

Η κρυσταλλική δομή αυτού του χυτοσίδηρου περιλαμβάνει μικρές ακανόνιστες σφαίρες γραφίτη (ροζέτες, όπως φαίνονται στις μικροφωτογραφίες),



Σχ. 24.

Κρυσταλλική δομή: α) Φερριτικού μαλακτοποιημένου χυτοσίδηρου μαύρης επιφάνειας θραύσεως. Ακανόνιστα σφαιρίδια (ροζέτες) γραφίτη σε φόντο φερρίτη. Μεγέθυνση $\times 100$. Προσθολή με 5% Nital. β) Φερριτικού χυτοσίδηρου σφαιροειδούς γραφίτη. Κανονικά σφαιρίδια γραφίτη σε φόντο φερρίτη. Μεγέθυνση $\times 125$. Προσθολή με 2% Nital.

ανομοιόμορφα κατανευμημένες σε φόντο φερρίτη [σχ. 24(a)], μετά όμως από θραδεία απόψυξη, πράγμα που δηλώνει ότι η μαλακτοποίηση έχει γίνει πλήρως. Πιο γρήγορη απόψυξη μπορεί να δώσει περλίτη αντί φερρίτη. Ο πρώτος ονομάζεται **φερριτικός**, ο δε δεύτερος **περλιτικός** χυτοσίδηρος.

Ο χυτοσίδηρος, σ' αυτή την περίπτωση, εμφανίζει μαύρη επιφάνεια θραύσεως, γιατί αν θραυσθεί ένα τεμάχιο, η επιφάνεια θραύσεως φαίνεται μελανόχρους εξαιτίας της παρουσίας του γραφίτη. Οι περλιτικοί χυτοσίδηροι μπορούν να υποστούν θερμικές κατεργασίες, ώστε να αποκτήσουν επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες, καθώς επίσης και επιφανειακή σκλήρωση με φλογοθαφή ή με βαφή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή [παράγρ. 19.9(Δ) και 19.9(Ε), αντίστοιχα].

Οι χυτοσίδηροι μαύρης επιφάνειας θραύσεως έχουν καλή μηχανική αντοχή, δυσθραυστότητα και πλαστικότητα. Επίσης έχουν εξαιρετική κατεργαστικότητα που οφείλεται στα σφαιρίδια του γραφίτη, τα οποία παίζουν ρόλο λιπαντικού μεταξύ των αποβλίτων και του εργαλείου κατά την κοπή.

Συνηθισμένες μηχανικές ιδιότητες είναι οι εξής:

Μηχανικές ιδιότητες	Φερριτικός χυτοσίδηρος	Περλιτικός χυτοσίδηρος
σ_B (N/mm ²)	350-400	450-750
A (%)	12- 18	2- 10
Σκληρότητα κατά Brinell	110-120	170-270

Χρησιμοποιούνται πάρα πολύ, κυρίως στη βιομηχανία των αυτοκινήτων, για πυξίδες διαφορικών, πλήμνες τροχών, τύμπανα πεδήσεως, ποδόπληκτρα και άλλα. Επίσης για τεμάχια αγροτικών και κλωστοϋφαντουργικών μηχανημάτων, καυστήρων πετρελαίου και εξαρτημάτων υδραυλικών εγκαταστάσεων.

2) Χυτοσίδηροι λευκής επιφάνειας θραύσεως.

Τα χυτά πυρώνονται μέσα σε οξειδωτική ατμόσφαιρα ή μέσα σε κουτιά, που έρχονται σε επαφή με οξειδωτικό μέσο, όπως είναι ο αιματίτης σε 950°C μέχρι 1050°C επί 70-100 ώρες. Κατά τη διάρκεια της ανοπτήσεως, ο άνθρακας της επιφανειακής στιβάδας των τεμαχίων οξειδώνεται και αποθάλλεται, ο χυτοσίδηρος δηλαδή **εξανθρακώνεται**.

Αυτό αναγκάζει άνθρακα από τον πυρήνα των τεμαχίων να οδηγείται προς την επιφάνεια, όπου ελευθερώνεται με οξείδωση κ.ο.κ. Έτσι, μετά από αυτή την κατεργασία, αν το χυτό είναι λεπτό, αποκτάει κρυσταλλική δομή φερρίτη. Άρα και η επιφάνεια θραύσεως θα είναι ίδια με την επιφάνεια του χάλυβα (λευκόχρους) και έτσι αυτός ο χυτοσίδηρος θα παρουσιάζει λευκή επιφάνεια θραύσεως. Χοντρότερα όμως τεμάχια δεν εξανθρακώνονται εντελώς και έτσι, ενώ τα εξωτερικά τους στρώματα είναι φερριτικά, ακολουθούν στρώματα με λίγο περλίτη και στον πυρήνα παρατηρούνται τεμαχίδια σφαιροειδούς γραφίτη.

Συνηθισμένες μηχανικές ιδιότητες αυτών των χυτοσιδήρων είναι οι εξής: Η μέγιστη αντοχή μεταβάλλεται από 350 μέχρι 500 N/mm², η παραμόρφωση θραύσεως από 5% ως 10% και η σκληρότητα από 120 μέχρι 240 Brinell.

Αυτοί είναι οι πρώτοι μαλακτοποιημένοι χυτοσίδηροι που έχομε παράγει. Σήμερα δεν χρησιμοποιούνται πολύ. Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εξαρτήματα σωληνώσεων νερού, ατμού ή αερίων, σε τεμάχια αγροτικών μηχανημάτων, τεμάχια ηλεκτρικών πινάκων και άλλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ ΣΦΑΙΡΟΕΙΔΟΥΣ ΓΡΑΦΙΤΗ

Πρόκειται για φαιούς χυτοσιδήρους, στους οποίους όμως ο γραφίτης συσσωματώνεται σε σφαιρικούς κόκκους κανονικού σχήματος [σχ. 24(6)].

Ο τρόπος παρασκευής του χυτοσιδήρου σφαιροειδούς γραφίτη διαφέρει από τον τρόπο παρασκευής των μαλακτοποιημένων χυτοσιδήρων. Σ' αυτή την περίπτωση, ο χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη παίρνεται αμέσως μετά τη στερεοποίηση κατά τη χύτευση. Δεν χρειάζεται δηλαδή πρόσθετη θερμική κατεργασία, όπως συμβαίνει στους μαλακτοποιημένους χυτοσιδήρους.

Γι' αυτό προσθέτομε μαγνήσιο στον τηγμένο χυτοσίδηρο λίγο πριν από τη χύτευση. Το μαγνήσιο το προσθέτομε συνήθως σε μορφή κράματος μαγνησίου - νικελίου. Τυπική χημική σύνθεση χυτοσιδήρου σφαιροειδούς γραφίτη είναι η επόμενη:

$$\begin{aligned}\pi(C) &= 3,20\% \text{ ως } 3,50\%, \pi(Si) = 2,25\% \text{ ως } 2,75\%, \\ \pi(Mn) &= 0,60\% \text{ ως } 0,80\%, \pi(S) < 0,05\% \text{ και } \pi(P) < 0,10\%\end{aligned}$$

Οι χυτοσίδηροι αυτού του είδους είναι δυνατό να είναι φερριτικοί ή περλιτικοί. Οι δεύτεροι έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τους πρώτους, μικρότερη όμως πλαστικότητα και δυσθραυστότητα. Οι μηχανικές ιδιότητες των χυτοσιδήρων σφαιροειδούς γραφίτη κυμαίνονται μέσα στα επόμενα όρια:

$$\sigma_B = 400 \text{ ως } 950 \text{ N/mm}^2, A = 1\% \text{ ως } 15\% \text{ και σκληρότητα } 130 \text{ ως } 140 \text{ Brinell}$$

Από το χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη είναι δυνατό να παραχθούν χυτά μεγάλου πάχους. Αυτό αποτελεί σοβαρό πλεονέκτημα αυτού του χυτοσιδήρου συγκριτικά με τους μαλακτοποιημένους χυτοσιδήρους, όπου τα τεμάχια για μαλακτοποίηση, όπως έχομε διαπιστώσει, θα πρέπει να έχουν δομή λευκού χυτοσιδήρου. Λευκός όμως χυτοσίδηρος δεν επιτυγχάνεται εύκολα κατά τη χύτευση τεμάχιων μεγάλου πάχους, των οποίων ο πυρήνας είναι συνήθως φαιός χυτοσίδηρος.

Επειδή ο χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη έχει θελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες (καλύτερες από εκείνες των μαλακτοποιημένων χυτοσιδήρων), μπορεί να αντικαταστήσει χυτοχαλύθδινα ή και σφυρήλατα τεμάχια. Γενικά χρησιμοποιείται για τεμάχια γεωργικών και ναυτικών μηχανημάτων, καθώς επίσης και μηχανημάτων μεταλλείων και χαλυβουργείων. Ειδικότερα βρίσκει εφαρμογές στην κατασκευή κεφαλών κυλίνδρων μηχανών εσωτερικής καύσεως, κιβωτίων διακοπών, τροχαλιών, τυμπάνων ανυψωτικών μηχανημάτων, σφονδύλων, σωλήνων ατμού, αερίων και νερού κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

ΕΙΔΙΚΟΙ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

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

Η επίδραση των προσθηκών στην κρυσταλλική δομή και τις ιδιότητες των χυτοσίδηρων είναι, τις περισσότερες φορές, ίδια με εκείνη που έχουν οι προσθήκες στους χάλυβες (παράγρ. 20.2). Έτσι χρησιμοποιούνται προσθήκες για να βελτιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες του χυτοσίδηρου, να λεπτύνουν τους κόκκους, να αυξήσουν τη σκληρότητα ή και να δώσουν, αν χρειαστεί, μαρτενσίτη ή και ωστενίτη στη θερμοκρασία δωματίου. Πρέπει να τονίσουμε ότι ο γραφίτης θα πρέπει να κατανέμεται ομοιογενώς στη μάζα του χυτοσίδηρου και να θρίσκεται με μορφή, δύσα γίνεται, λεπτοτέρων τεμαχίδων.

Συνηθισμένες προσθήκες που χρησιμοποιούνται είναι το νικέλιο, το χρώμιο, το μολυβδανίο και ο χαλκός.

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

β) Το **χρώμιο** σχηματίζει σκληρότερα και σταθερότερα καρβίδια από το σεμεντίτη. Λόγω αυτών των καρβίδων αυξάνεται η σκληρότητα του χυτοσίδηρου και επομένως και η αντοχή του στη φθορά από τριβή. Όπως και στα χαλυβοκράματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε προσθήκες [παράγρ. 20.2(Δ)], έτσι και στους χυτοσίδηρους ο συνδυασμός νικελίου και χρωμίου δίνει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα.

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

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

ε) Ο **χαλκός** βελτιώνει την αντοχή του χυτοσίδηρου στη διάθρωση. Στοιχεία σχετικά με τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τις εφαρμογές συνηθισμένων ειδικών χυτοσίδηρων δίνονται στον Πίνακα 26.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 26.1.1.
Ειδικοί χυτοσιδηροί

Χημική σύνθεση [%]								Μηχανικές ιδιότητες		
C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Άλλα στοιχεία	σ_B [N/mm ²]	Σκληρότητα κατά Brinell	Βιομηχανικές χρήσεις
3,2	2,1	0,8	0,05	0,17	—	0,30	—	290	230	Σώματα κυλίνδρων μηχανών εσωτερικής καύσεως, τύμπανα φρένων κλπ.
3,6	2,8	0,6	0,05	0,50	—	—	0,17 V	—	—	Ανθεκτικός σε φθορά από τριβή και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Ελατήρια εμβόλων θενζινομηχανών και πετρελαιομηχανών
3,1	2,1	0,8	0,08	0,09	0,50	0,90	0,90 Mo	380	300	Σκληρός, ανθεκτικός, δύσθραυστος
3,4	2,0	0,6	0,05	0,10	0,35	0,65	1,25 Cu	290	220	Ανθεκτικός σε φθορά. Τύμπανα φρένων και δίσκοι συμπλέκτη
3,3	1,1	0,5	—	—	4,50	1,50	—	—	600	Μαρτενσιτικός με μεγάλη αντοχή στη φθορά από τριβή
2,8	1,3	—	—	—	21,00	2,00	—	180	140	Ωστενιτικός, αμαγνητικός, ανθεκτικός στη διάθρωση
2,9	2,1	1,0	0,05	0,10	15,00	2,00	6,00 Cu	220	130	Ωστενιτικός, ανθεκτικός στη διάθρωση. Χυτά αντλιών
2,8	1,5	6,0	—	—	11,00	—	—	250	210	Ωστενιτικός, ανθεκτικός στη διάθρωση
2,5	5,0	—	—	—	—	—	—	180	—	Πυρίμαχος

ΜΕΡΟΣ ΔΕΚΑΤΟ

ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Γενικά.

Τα μεταλλικά υλικά διαιρούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, στα **σιδηρούχα** και στα **μη σιδηρούχα**.

Από αυτά, τα πρώτα έχουν σαν βάση το σίδηρο, ενώ τα δεύτερα έχουν σαν κύριο συστατικό άλλο μέταλλο και όχι σίδηρο. Τα κυριότερα μέταλλα, τα οποία σχηματίζουν γενικά μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά, είναι ο χαλκός, το αργίλιο, το μαγνήσιο, το νικέλιο, το τιτάνιο, ο κασσίτερος, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος.

Άλλα μέταλλα, που δεν χρησιμοποιούνται όμως σε τόσο έκταση είναι το μολυβδαίνιο, το βηρύλλιο, καθώς και τα πολύτιμα μέταλλα χρυσός, άργυρος και λευκόχρυσος.

Παρακάτω θα μελετήσουμε το χαλκό, το αργίλιο, το μαγνήσιο, τόν ψευδάργυρο, το μόλυβδο, το νικέλιο και τα κράματά τους, καθώς επίσης και τα αντιτριβικά κράματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

Ο ΧΑΛΚΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

27.1 Ο χαλκός.

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

α) Η υψηλή του ηλεκτρική αγωγιμότητα, που τον καθιστά κατάλληλο υλικό για ηλεκτρικούς αγωγούς και άλλες κατασκευές της θιομηχανίας του ηλεκτρισμού. Ο χαλκός είναι, μετά τον άργυρο, το πιο αγώγιμο μέταλλο (Πίνακας 2.4.1).

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

Ο χαλκός, μετά από ψυχρηλασία υφίσταται ισχυρή σκλήρωση, η οποία εξαφανίζεται με ανόπτηση για ανακρυστάλλωση (παράγρ. 19.5).

γ) Η καλή του αντοχή σε διάθρωση και

δ) η καλή του σχετικά μηχανική αντοχή.

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

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

Έχει ειδικό θάρος 8,90% g/cm³, σημείο τήξεως 1083°C και ειδική αντίσταση 0,0175 Ω mm²/m (Ηλεκτρολογία, Ιδρύματος Ευγενίδου, Τάμος Α, σελ. 194) και χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη βιομηχανία του ηλεκτρισμού. Επίσης χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία (σωλήνες ατμού, αερίων, λαδιού κλπ.), γιατί αντέχει στη διάθρωση.

Τυπικές μηχανικές ιδιότητες του χαλκού είναι οι εξής:

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

Αν υπάρχουν έστω και ίχνη ακαθαρσιών, ελαττώνεται κατά πολύ η ηλεκτρική του αγωγιμότητα. Οι ακαθαρσίες με τα πιο δυσμενή αποτελέσματα είναι κατά σειρά ο φωσφόρος, το πυρίτιο, ο σιδηρος, το αρσενικό, το αργίλιο και το νικέλιο. Περιεκτικότητα π.χ. μόνο 0,04% φωσφόρου ελαττώνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού κατά 25%. Γι' αυτό για ηλεκτρικούς αγωγούς χρησιμοποιείται χαλκός πολύ καθαρός (πάνω από 99,9%) (ηλεκτρολυτικός).

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

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

27.2 Τα κράματα του χαλκού.

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

- α) Τους ορείχαλκους.
- β) Τα κρατερώματα και

γ) άλλα κράματα του χαλκού, όπως είναι το χαλκοαργίλιο, το χαλκονικέλιο και άλλα.

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

A) Οι ορείχαλκοι.

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

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

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

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

Στοιχεία σχετικά με τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τις βιομηχανικές χρήσεις των κυριοτέρων ορειχάλκων του εμπορίου δίνομε στον Πίνακα 27.2.1.

B) Τα κρατερώματα ή μπρούντζοι.

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

.Τα κρατερώματα με περιεκτικότητα από 4% μέχρι 9% Sn χρησιμοποιούνται σαν μαλακτά και με περιεκτικότητα από 9% μέχρι 20% Sn σαν χυτευτικά. Κρατερώματα με κασσίτερο πάνω από 20% παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα και γι' αυτό δύσκολα μπορούν να κατεργαστούν με κοπή.

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

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

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

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

Όπως στους ορείχαλκους, έτσι και στα κρατερώματα, αν προστεθεί μόλυ-

ΠΙΝΑΚΑΣ 27.2.1
Ορείχαλκοι και κρατερώματα

Κρατερώματα Elogic Kpdiatros	Χημική σύνθεση [%]					Μηχανικές ιδιότητες					Βιομηχανικές χρήσεις
	Cu	Zn	Sn	P	'Άλλα στοιχεία	Κατάσταση κράματος	σ _B [Ν/μμ ²]	Α [%]	Σλιρότητα κατά Brinell		
90	10	-	-	-	-	Ανωπημένος Σκληρωμένος	470 570	55 4	60 150	Αρχιτεκτονικές μεταλλοτεχνικές εργασίες, απομικνύσεις κοσμημάτων, έργα τέχνης λαγώπης χρυσής αποχρώσεώς του και πτής διανατόητας εύκολης συγκόλλισης	
70	30	-	-	-	-	Ανωπημένος Σκληρωμένος	330 700	70 5	65 185	Ορείχαλκος κοιλάνσεως. Κάλυκες φωτιγγίων και οβίδων και για συρταποπολητή	
60	40	-	-	-	-	Μετά από θερμηλασία	380	40	75	Τυπικός ορείχαλκος θερμηλασίας. Σωλήνες και πλάκες εναλλακτών θερμόποιτας	
58	39	-	-	3% Pb	Μετά από διέλαση	460	30	100	Ορείχαλκος ελεύθερης κοπής, κατάλληλος διάτερα για κοπή με ψηλές ταχύτητες κοπής		
70	29	1	-	0,01 – 0,05 As	Ανωπημένος Σκληρωμένος	350 600	70 10	65 175	Ορείχαλκος Ναυαρχείου. Πολύ καλή αντοχή σε διάθρωση. Αυλαί σηματικωτών αιμού		
76	22	-	-	0,02 – 0,06 As 2,00 Al	Ανωπημένος Σκληρωμένος	380 630	70 8	65 175	Ορείχαλκος με αργύριο. Οπως ο προηγούμενος		
95,50	1,50	3	-	-	-	Ανωπημένος Σκληρωμένος	330 740	65 5	60 200	Κρατέρωμα νομιμάτων	
90	-	10	0,03 – 0,25	-	Χιτός σε άμμο	280	15	90	Χιτευτικό φωσφορούχο κρατέρωμα, τυπικό για εδρανα ολισθίσεως		
88	2	10	-	-	Χιτός σε άμμο	300	16	85	Μέταλλο πυροβόλων. Χιτά μέρη και βαλβίδες αντλιών ιερών για λειτουργία σε θαλάσσιο νερό λόγω αντοχής σε διάθρωση		

θδος μέχρι 2% περίπου, θελτιώνει την κατεργαστικότητά τους. Επίσης, αν προστεθεί μόλυβδος σε μεγαλύτερη όμως ποσότητα, καθιστά το κρατέρωμα κατάλληλο για έδρανα που εργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες, λόγω της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας που τους προσδίνει.

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

Χαρακτηριστικά στοιχεία, που συνδέονται με τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τις βιομηχανικές εφαρμογές των κρατερωμάτων δίνονται στον Πίνακα 27.2.1.

Γ) Άλλα κράματα του χαλκού.

Εκτός από τους ορείχαλκους και τα κρατερώματα που αναφέραμε, ο χαλκός σχηματίζει και άλλα χρήσιμα κράματα για την τεχνική.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε με λίγα λόγια τα σπουδαιότερα από αυτά.

1) Κράματα χαλκού - αργιλίου (ή χαλκοαργίλιο).

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

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

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

Μετά από σφυρηλασία αποκτάει:

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

2) Κράματα χαλκού - νικελίου (χαλκονικέλιο).

Ο χαλκός και το νικέλιο σχηματίζουν σε όλες τις αναλογίες στερεό διάλυμα μιας φάσεως και γι' αυτό παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε διάθρωση. Έχουν επίσης καλή πλαστικότητα και μπορούν να διαμορφωθούν εν ψυχρώ και εν

θερμώ με σφυρηλασία, έλαση, τύπωση και κοίλανση.

Παρακάτω αναφέρομε αντιπροσωπευτικά κράματα χαλκού - νικελίου:

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

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

γ) $\pi(\text{Cu}) = 60\%$, $\pi(\text{Ni}) = 40\%$, το λεγόμενο **κονσταντάν**. Βρίσκει εφαρμογές σε ηλεκτρικές αντιστάσεις και θερμοηλεκτρικά ζεύγη (παράγρ. 19.1).

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

ΤΟ ΑΡΓΙΛΙΟ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

28.1 Το αργίλιο (αλουμίνιο).

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

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

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

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

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

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

- Είναι ελαφρό.
- Έχει καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα.
- Έχει καλή αντοχή σε διάθρωση.
- Έχει καλή κατεργαστικότητα.
- Δεν είναι τοξικό και στ) είναι αμαγνητικό.

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

Η καθαρότητα του αργιλίου είναι κατά μέσο όρο 99,50%, μπορεί όμως να φτάσει και τα 99,99% με κατάλληλη επεξεργασία. Έχει ειδικό βάρος $2,70\text{ g/cm}^3$, δηλαδή πολύ χαμηλότερο από το ειδικό βάρος του σιδήρου ($7,80\text{ g/cm}^3$). Η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση είναι $0,029\text{ }\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Παρουσιάζει σχετική ηλεκτρική αγωγιμότητα 63% ενώ του χαλκού είναι 98% (Πίνακας 2.4.1).

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

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

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

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

$$\sigma_B = 75 \text{ μέχρι } 90 \text{ N/mm}^2, A = 31\% \text{ μέχρι } 42\% \text{ και σκληρότητα } 20 \text{ μέχρι } 27 \text{ Brinell}$$

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

Οι μηχανικές του όμως ιδιότητες μπορούν να θεωρηθούν είτε με σκλήρωση μετά από ψυχρηλασία είτε με πρόσθεση ξένων στοιχείων, τα οποία με σειρά σπουδαιότητας είναι ο χαλκός, το πυρίτιο, το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, το μαγγάνιο, το νικέλιο και το χρώμιο. Έτσι προκύπτουν τα διάφορα **κράματα του αργιλίου**, με τα οποία θα ασχοληθούμε ευθύς αμέσως. Αναφέρομε επίσης ότι ορισμένα κράματα του αργιλίου μπορούν να υποστούν και θερμικές κατεργασίες για θελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους [παράγρ. 28.2(A)].

28.2 Τα κράματα του αργιλίου.

Τα κράματα του αργιλίου περιλαμβάνουν:

1) Τα μαλακτά κράματα.

– Αυτά που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

– Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

2) Τα χυτευτικά κράματα.

- Αυτά που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες.
- Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

A) Μαλακτά κράματα.

1) Αυτά που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

Τα κυριότερα κράματα αυτής της ομάδας είναι εκείνα που περιέχουν μέχρι 1,50% Mn περίπου και εκείνα που περιέχουν από 2% μέχρι 7,50% Mg. Σκληρύνονται με ψυχρηλασία. Γενικά έχουν καλή αντοχή στη διάβρωση. Τα κράματα που περιέχουν μαγνήσιο αντέχουν ιδιαίτερα στο θαλάσσιο νερό, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία. Στον Πίνακα 28.2.1 αναφέρομε στοιχεία τυπικών κραμάτων του αργιλίου.

2) Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

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

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

Στο σχήμα 28.2 δίνομε το φτωχό σε χαλκό τμήμα του διαγράμματος θερμικής ισορροπίας αργιλίου - χαλκού.

Στο διάγραμμα θερμικής ισορροπίας παρατηρούμε ότι στη θερμοκρασία του δωματίου διαλύεται περίπου 0,20% (σημείο A) χαλκός στο κρυσταλλικό πλέγμα του αργιλίου, για να σχηματιστεί το στερεό διάλυμα α (παράγρ. 3.2). Με αύξηση της θερμοκρασίας διαλύεται περισσότερος χαλκός, φθάνει δε σε ένα μέγιστο σημείο 5,70% (σημείο B). Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχομε κράμα αργιλίου - χαλκού με 4% χαλκό, που αποψύχεται ήρεμα από την κατάσταση της υγρής του φάσεως. Από το σημείο (1) του διαγράμματος αρχίζει ο σχηματισμός φύτρων και ύστερα δενδριτών (σχ. 2.58) του στερεού διαλύματος α και η στερεοποίηση του κράματος σταματάει στο σημείο (2), όπου η κρυσταλλική του δομή αποτελείται από κρυσταλλίτες (κόκκους) α. Στο σημείο (3), το στερεό διάλυμα έχει κορεσθεί τελείως με χαλκό.

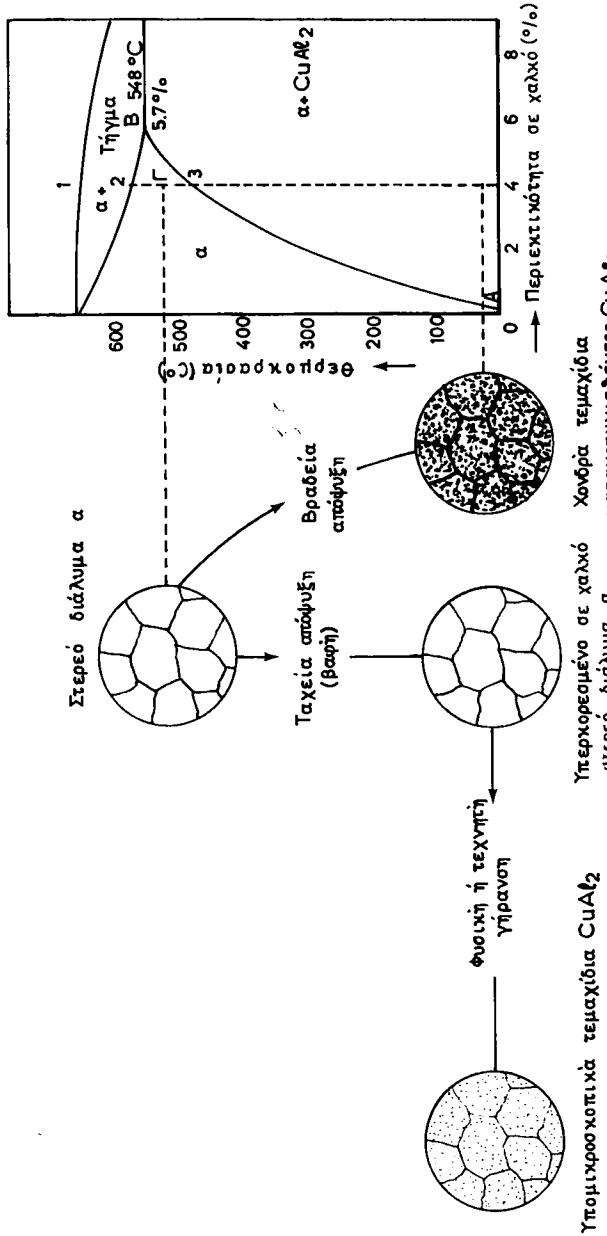
Με μεγαλύτερη πτώση της θερμοκρασίας, μέχρι τη θερμοκρασία του δωματίου, η περιεκτικότητα σε χαλκό του στερεού διαλύματος γίνεται μικρότερη όπως φαίνεται και από τη γραμμή AB του σχήματος 28.2. Ο χαλκός που περισσεύει αντιδρά με το αργίλιο και σχηματίζει τη μεσομεταλλική ένωση $CuAl_2$ (παράγρ. 3.4). Έτσι, χοντρά τεμαχίδια της μεσομεταλλικής αυτής ένωσεως αρχίζουν να **κατακρημνίζονται** στα σύνορα των κόκκων, αλλά και μέσα στους κόκκους του κράματος. Στη θερμοκρασία του δωματίου η κρυσταλλική δομή του κράματος αποτελείται από στερεό διάλυμα α και χοντρά τεμαχίδια της μεσομεταλλικής ένωσεως $CuAl_2$.

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

ΠΙΝΑΚΑΣ 28.2.1
Κράματα του αργιλίου

Χημική σύνθεση [%]								Μηχανικές ιδιότητες		
Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Fe	Άλλα στοιχεία	Κατάσταση κράματος	σ_B [N/mm ²]	A [%]	
0,10	0,60	—	—	1,00–1,50	—	0,20 Ti	Μαλακό Σκληρωμένο [4/4]	110 210	34 4	
0,10	0,60	2,80–4,00	—	0,60	0,50	0,15 Ti 0,25 Cr	Μαλακό Σκληρωμένο [1/4]	220 300	18 8	
3,50–4,70	0,20–0,70	0,40–1,20	—	0,40–1,00	0,70	—	Μετά από θερμική κατεργασία	410	10	
0,70–1,30	10,50–13,00	0,80–1,50	—	0,20	0,60	0,70–1,30 Ni	Μετά από θερμική κατεργασία	380	4	
1,00–2,70	0,50	2,00–3,00	5,00–7,50	0,30	0,50	0,30 Ti	Μετά από θερμική κατεργασία	660	11	
—	—	5,00	—	0,50	—	—	Χυτευμένο σε άμμο	170	5	
—	11,50	—	—	—	—	—	Χυτευμένο σε άμμο. Χυτευμένο με πίεση	170 220	7 4	
4,00	0,30	1,50	—	—	—	2,00 Ni 0,20 Ti	Μετά από θερμική κατεργάσια	290	—	
0,90	12,00	1,20	—	—	—	2,50 Ni	Μετά από θερμική κατεργασία	320	Μηδενική	

Θερμικές κατεργασίες [παράγρ. 29.2 (A)]	Βιομηχανικές χρήσεις
	Μαλακτό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Δοχεία τροφίμων, καλύμματα φιαλών, μαγειρικά σκεύη, ελάσματα οροφής
	Μαλακτό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Εφαρμογές στη ναυπηγική βιομηχανία
Θέρμανση σε 480°C. Βαφή. Φυσική γήρανση για 4 μέρες	Μαλακτό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες, ονομαζόμενο ντουραλουμίνιο. Γενικής χρήσεως για φορτιζόμενες αεροναυπηγικές και συναφείς κατασκευές.
Θέρμανση σε 490°C. Βαφή. Τεχνητή γήρανση σε 130°C επί 6 ώρες	Μαλακτό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Κομμάτια εργαζόμενα σε υψηλές θερμοκρασίες, ως έμβολα και κεφαλές κυλίνδρων
Θέρμανση σε 465°C. Βαφή. Τεχνητή γήρανση σε 120°C επί 24 ώρες	Μαλακτό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Με αεροναυπηγικές εφαρμογές ισχυρώς φορτιζόμενες. Το ανθεκτικότερο κράμα είναι αυτό του αργιλίου
	Χυτευτικό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Κατάλληλο για χύτευση σε άμμο και χύτευση για θαρύτητα. Καλή αντοχή στη διάθρωση σε θαλάσσιο νερό
	Χυτευτικό κράμα μη υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Κατάλληλο για χύτευση σε άμμο και χύτευση με θαρύτητα και πίεση. Μεγάλου μεγέθους χυτά, κιβώτια ταχυτήτων, θερμαντικά σώματα και άλλα. Από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα κράματα του αργιλίου αυτού του είδους
Θέρμανση σε 510°C. Βαφή μέσα σε βραστό νερό για 2 ώρες. Φυσική γήρανση για 5 ημέρες	Χυτευτικό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Για έμβολα και κεφαλές κυλίνδρων υδροψύκτων και αεροψύκτων μηχανών
Θέρμανση σε 520°C. Βαφή σε λάδι. Τεχνητή γήρανση σε 165–185°C επί 6–12 ώρες	Χυτευτικό κράμα υφιστάμενο θερμικές κατεργασίες. Έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Για έμβολα μηχανών



Σχ. 28.2.
Το πτωχό σε χαλκό τιμήμα του διαγράμματος θερμικής ισορροπίας αργυρίου - χαλκού. Επιδραση παραθρητικής αποψύξεως και του φαινομένου πηγ κατακρημνίσεως με γήρανση επι πηγ κρυσταλλικής δομής του κράματος.
 Αθηναία Εγκατάσταση
 1958

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

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

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

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

γ) Αν το κράμα, όπως είναι, παραμείνει στη θερμοκρασία του δωματίου για αρκετό χρόνο, τότε αρχίζει να **σκληρώνεται**, δηλαδή να αποκτάει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και σκληρότητα, με ελάττωση όμως της δυσθραυστότητας. Αυτή η σκλήρωση γίνεται μέγιστη μετά χρονικό διάστημα περίπου έξι ημερών.

Αυτή η σκλήρωση οφείλεται στο ότι πολύ - πολύ μικρά (υπομικροσκοπικά) τμηματίδια της μεσομεταλλικής ενώσεως CuAl_2 κατακρημνίζονται με την πάροδο του χρόνου, γιατί το υπερκορεσμένο στερεό διάλυμα α, όπως λαμβάνεται μετά από απότομη απόψυξη, βρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας. Αυτά τα υπομικροσκοπικά τεμαχίδια, όταν καταμεριστούν σε όλη τη μάζα του κράματος, αποτελούν εμπόδια στη μετακίνηση των αταξιών (κεφ. 10). Έχουμε όμως αναφέρει ότι η πλαστική παραμόρφωση των μετάλλων συντελείται με μετακινήσεις απειραρίθμων αταξιών. Επομένως, στην περίπτωση που εξετάζομε, παρατηρείται ελάττωση της πλαστικότητας του κράματος και από αυτό και η σκλήρωσή του. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά φυσικής γηράνσεως».

Όμως, αν το βαθμένο κράμα αναθερμανθεί σε θερμοκρασία 150°C μέχρι 170°C για 10 περίπου ώρες και αποψυχθεί ήρεμα, υφίσταται επίσης σκλήρωση. Σ' αυτή την περίπτωση έχομε σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά τεχνητής γηράνσεως». Το κυριότερο μαλακτό κράμα, από εκείνα που υφίστανται θερμικές κατεργασίες, είναι το ντουραλουμίνιο με τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τις βιομηχανικές χρήσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 28.2.1. Όπως παρατηρούμε, εκτός από το χαλκό, περιέχει μαγνήσιο και πυρίτιο, τα οποία με το να σχηματίζουν τη μεσομεταλλική ένωση Mg_2Si υποβοηθούν στη σκλήρωσή του «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως». Άλλα κράματα αυτού του είδους αναγράφονται επίσης στον Πίνακα 28.2.1.

B) Χυτευτικά κράματα.

1) Αυτά που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες.

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

ευτηκτικής αναλογίας (παράγρ. 3.3). Οι μηχανικές τους ιδιότητες θελτιώνονται, αν κατά τη χύτευση προστεθεί στο τίγμα 0,05% περίπου νάτριο. Και αυτό συμβαίνει γιατί το νάτριο, όταν προστεθεί, λεπτάίνει τους κόκκους της ευτηκτικής κρυσταλλικής δομής.

Σπουδαία σημασία έχουν επίσης και τα κράματα αργιλίου - μαγνησίου - μαγγανίου, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση, ιδιαίτερα δε στο θαλάσσιο νερό. Είναι κατάλληλα για χύτευση σε άμμο και χύτευση με θαρύτητα. Τυπικά χυτευτικά κράματα, που δεν υφίστανται θερμικές κατεργασίες, δίνονται επίσης στον Πίνακα 28.2.1.

2) Αυτά που υφίστανται θερμικές κατεργασίες:

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

Η θερμική τους κατεργασία είναι παρόμοια με εκείνη των μαλακτών κραμάτων. Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες, οι θερμικές κατεργασίες και οι βιομηχανικές χρήσεις τυπικών κραμάτων αυτού του είδους αναγράφονται στον Πίνακα 28.2.1.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

ΤΟ ΜΑΓΝΗΣΙΟ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

29.1 Το μαγνήσιο.

Το μαγνήσιο είναι μέταλλο πολύ ελαφρό. Έχει ειδικό βάρος $1,74 \text{ g/cm}^3$, όταν είναι 99,80% καθαρό, ενώ το αργίλιο έχει 2,70 και ο χάλυβας 7,50. Τήκεται στους 650°C . Αποκτάει σημαντική πλαστικότητα σε 300°C μέχρι 500°C , ιδιαίτερα όταν περιέχει ζιρκόνιο (Zr) και επομένως δεν διαμορφώνεται εν ψυχρώ. Έχει μεγάλη συγγένεια με το οξυγόνο, όταν δε θερμανθεί στον αέρα σε 800°C καίγεται με εκτυφλωτική λάμψη. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται για την παραγωγή φωτός κατά τη λήψη φωτογραφιών (φλας).

Το καθαρό μαγνήσιο έχει πολύ χαμηλές μηχανικές ιδιότητες και γι' αυτό είναι ακατάλληλο για κατασκευές. Επίσης παρουσιάζει ασήμαντη αντοχή στη διάθρωση. Οι μηχανικές του όμως ιδιότητες βελτιώνονται με προσθήκες και έπειτα με ψυχρηλασία ή κατάλληλη θερμική κατεργασία. Επίσης, με προσθήκες μπορεί να βελτιωθεί σχετικά και η αντοχή του σε διάθρωση. Οι κύριες προσθήκες, τόσο για τα μαλακά, όσο και για τα χυτευτικά κράματα του μαγνησίου είναι το αργίλιο, ο ψευδάργυρος, το ζιρκόνιο και το μαγγάνιο.

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

29.2 Τα κράματα του μαγνησίου.

Εδώ αναφέρομε συνηθισμένα κράματα του μαγνησίου.

1) Κράματα μαγνησίου - αργιλίου - ψευδαργύρου - μαγγανίου ($\text{Mg} - \text{Al} - \text{Zn} - \text{Mn}$).

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

Τα κράματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σαν μαλακτά είτε σαν χυτευτικά. Τα μαλακτά κράματα σκληρώνονται με διαμόρφωση εν ψυχρώ, ενώ τα χυτευτικά υφίστανται σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως», όπως ορισμένα κράματα του αργιλίου [παράγρ. 28.2(A)].

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

– **Μαλακτό κράμα.**

$$\pi(\text{Al}) = 6\%, \pi(\text{Zn}) = 1\%, \pi(\text{Mn}) = 0,30\%$$

Μετά διέλαση, το κράμα αποκτάει:

$$\sigma_B = 300 \text{ N/mm}^2 \text{ και } A = 10\%$$

– **Χυτευτικό κράμα.**

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

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

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

2) Κράματα μαγνησίου - μαγγάνιου (Mg - Mn).

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

3) Κράματα μαγνησίου - ψευδαργύρου - ζιρκονίου (Mg - Zn - Zr).

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

Τα κράματα αυτού του είδους μπορεί να χρησιμοποιηθούν τόσο σαν μαλακτά, όσο και σαν χυτευτικά. Τα χυτευτικά μπορούν να υποστούν σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως». Προσθήκη και θορίου (Th) περίπου 3% αυξάνει την αντοχή του κράματος σε ερπισμό.

Παρακάτω δίνομε τυπικά κράματα Mg - Zn - Zr.

– **Μαλακτό κράμα.**

$$\pi(\text{Zn}) = 3\%, \pi(\text{Zr}) = 0,70\%$$

Μετά από διέλαση παρουσιάζει:

$$\sigma_B = 320 \text{ N/mm}^2 \text{ και } A = 8\%$$

– **Χυτευτικό κράμα.**

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

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

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

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ

Ο ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

30.1 Ο ψευδάργυρος.

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

Μετά από χύτευση ο ψευδάργυρος παρουσιάζει:

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

30.2 Τα κράματα του ψευδαργύρου.

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

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

Παρακάτω δίνομε συνηθισμένα κράματα ψευδαργύρου:

a) $\pi(\text{Al}) = 4\%$, $\pi(\text{Mg}) = 0,04\%$. Παρουσιάζει:

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

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

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

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

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

Ο ΜΟΛΥΒΔΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

31.1 Ο μόλυβδος.

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

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

31.2 Τα κράματα του μολύβδου.

1) *Κράματα μολύβδου - αντιμονίου (Pb-Sb)*.

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

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

2) *Κράματα μολύβδου - κασσιτέρου (Pb-Sn)*.

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

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

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

Παρακάτω αναφέρομε αντιπροσωπευτικά τυπογραφικά κράματα:

- 10% μέχρι 13% Sb και 2% μέχρι 4% Sn για λινοτυπία
- 14% μέχρι 19% Sb και 7% μέχρι 10% Sn για μονοτυπία
- 14% μέχρι 17% Sb και 3% μέχρι 10% Sn για στερεοτυπία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΤΟ ΝΙΚΕΛΙΟ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

32.1 Το νικέλιο.

Είναι μέταλλο λευκό προς το φαιό (γκρίζο) και σκληρό, αλλά ελατό. Έχει ειδικό βάρος 8,90 g/cm³ και σημείο τήξεως 145°C. Στον αέρα παραμένει σταθερό, δηλαδή δεν οξειδώνεται. Γι' αυτό χρησιμοποιείται για επικάλυψη μεταλλικών επιφανειών. Αυτή η εργασία γίνεται ηλεκτρολυτικά και ονομάζεται **επινικέλωση**. Πριν από την επινικέλωση σιδηρών ή χαλυθδίνων επιφανειών απαιτείται **επιχάλκωση** των τεμαχίων. Το νικέλιο που χρησιμοποιείται στο εμπόριο έχει καθαρότητα περίπου 99,50% και περιέχει ελάχιστες ποσότητες χαλκού, σιδήρου, μαγγανίου, άνθρακα και θείου.

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

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

- Μετά από ψυχρηλασία και ανόπτηση: $\sigma_B = 350$ μέχρι 570 N/mm^2 , $A = 35\%$ μέχρι 50% και σκληρότητα από 90 μέχρι 120 Brinell.
- Μετά ψυχρηλασία (σκληρωμένο): $\sigma_B = 640$ μέχρι 700 N/mm^2 , $A = 8\%$ μέχρι 12% και σκληρότητα από 180 έως 210 Brinell.

Το νικέλιο χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη χημική βιομηχανία, εξαιτίας της αντοχής του σε διάβρωση, ιδιαίτερα για τα αλκάλια. Επίσης, στη βιομηχανία των τροφίμων, γιατί δεν παρουσιάζει τοξικότητα. Το νικέλιο σαν προσθήκη βρίσκει εφαρμογή στους νικελιούχους χάλυβες [παράγρ. 20.2(B)], στους νικελιοχρωμιούχους χάλυβες [παράγρ. 20.2(Δ)], σε ορισμένα μη σιδηρούχα κράματα, καθώς και στα πολύ χρήσιμα κράματά του, με τα οποία θα ασχοληθούμε τώρα αμέσως.

32.2 Τα κράματα του νικελίου.

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

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

Οι καλές του μηχανικές ιδιότητες διατηρούνται και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τυπικό κράμα νικελίου - χαλκού είναι το επόμενο με:

67% Ni, 30% Cu, 1% Mn, 1,40% Fe, 0,11% Si και 0,15% C,

που έχει τις εξής μηχανικές ιδιότητες:

- Έλασμα ανοπτημένο: $\sigma_B = 500 \text{ N/mm}^2$, A = 36%, ρ = 220 Nm/cm² και σκληρότητα 120 Brinell.
- Έλασμα σκληρωμένο: $\sigma_B = 720 \text{ N/mm}^2$, A = 20%, ρ = 170 Nm/cm² και σκληρότητα 185 Brinell.

Το Μονέλ χρησιμοποιείται σαν μαλακτό και σαν χυτευτικό κράμα.

Βρίσκει εφαρμογές σε άξονες και πτερωτές αντλιών, βελόνες ακροφυσίων υδροστροβίλων, καθώς και σε πτερύγια στροβίλων. Προσθήκη 2% μέχρι 4% αργιλίου δίνει στο Μονέλ βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες μετά από θερμική κατεργασία. Το κράμα σ' αυτή την περίπτωση σκληρώνεται «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως» [παράγρ. 28.2(A)], ενώ διατηρεί τις καλές του αντιδιαθερωτικές ιδιότητες. Είναι γνωστό σαν **Μονέλ K**. Βάφεται από 950°C μέχρι 1100°C και μετά υφίσταται τεχνητή γήρανση σε 590°C επί 16 περίπου ώρες.

Παρακάτω αναφέρομε μεσαίες μηχανικές ιδιότητες του Μονέλ K μετά από ψυχρηλασία και θερμική κατεργασία:

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

Χρησιμοποιείται για άξονες ελίκων πλοίων, όργανα πιέσεως και άλλα.

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

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

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

Γ' αυτό, χρησιμοποιείται για τρήματα και εξαρτήματα κλιβάνων και μηχανών αεριωθήσεως (τζετ).

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

Το **Νιμόνικ** 75 λοιπόν περιέχει:

20% Cr, 0,20% μέχρι 0,60% Ti, 2,50% Fe και 0,10% C

Αποτελεί θασικό κράμα για την κατασκευή φλογοσωλήνων αεριοστροβίλων.

Το **Nimonic 80 A** περιέχει:

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

Χρησιμοποιείται για την κατασκευή δίσκων και πτερυγίων αεριοστροβίλων.

Υφίσταται σκλήρωση «εκ κατακρημνίσεως διά γηράνσεως» μετά από θαφή στον αέρα από 1080°C και τεχνητή γήρανση επί 16 ώρες σε 700°C και απόψυξη στον αέρα.

Το **Nimonic 90** περιέχει:

20% Cr, 2,50% Ti, 1,50% Fe, 1,40% Al, 18% Co και 0,06% C

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι θερμοκρασία 870°C.

Τέλος, το νεότερο **Nimonic 115** περιέχει:

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

Παρουσιάζει τις πιο θελτιωμένες ιδιότητες της σειράς των κραμάτων Nimonic σε υψηλές θερμοκρασίες.

δ) Τα κράματα **ηλεκτρικών αντιστάσεων** έχουν την τυπική χημική σύνθεση: 80% Ni και 20% Cr. Συνδυάζουν υψηλή ηλεκτρική αντίσταση και αντοχή στη διάθρωση σε θερμοκρασίες λειτουργίας από 1150°C μέχρι 1250°C. Επίσης αναφέρομε εδώ και το κράμα: 65% Ni, 15% Cr και 20% Fe, που χρησιμοποιείται για ηλεκτρικές αντιστάσεις σε θερμοκρασίες λειτουργίας μέχρι 950°C.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

ΑΝΤΙΤΡΙΒΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ Η' ΚΡΑΜΑΤΑ ΕΔΡΑΝΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ

33.1 Γενικά.

Όπως είναι γνωστό, τα έδρανα είναι στοιχεία μηχανής στα οποία στηρίζονται οι άτρακτοι ή οι άξονες, παραλαμβάνουν δε τα φορτία που τους καταπονούν. Έχομε δυο ειδών έδρανα (Στοιχεία Μηχανών, Ιδρύματος Ευγενίδου, σελ. 117-137):

- α) Τα **έδρανα κυλίσεως** (ρουλμάν), στα οποία ο στροφέας κυλιέται πάνω σε σφαίρες ή άλλα κυλιόμενα σώματα και όπου αναπτύσσεται **τριθή κυλίσεως** και
- β) τα **έδρανα ολισθήσεως**. Τα έδρανα αυτά έχουν συνήθως κατάλληλη επιφανειακή στρώση **αντιτριβικού κράματος**, επάνω στην οποία στρέφεται ο στροφέας. Τα έδρανα ολισθήσεως λιπαίνονται πάντοτε. Σ' αυτή την περίπτωση εδράνων αναπτύσσεται **τριθή ολισθήσεως**. Τα έδρανα ολισθήσεως κατασκευάζονται, τις περισσότερες φορές, διμερή. Το αντιτριβικό κράμα φέρεται από κατάλληλο μεταλλικό χιτώνιο.

Το αντιτριβικό κράμα, για να ανταποκριθεί στον προορισμό του, θα πρέπει να έχει τις επόμενες βασικές ιδιότητες:

- Επαρκή σκληρότητα, ώστε να αντέχει στη φθορά από τριθή.
- Καλή μηχανική αντοχή για τα στατικά φορτία που το καταπονούν.
- Καλή δυσθραυστότητα και αντοχή σε κόπωση (κεφ. 9).
- Επαρκή πλαστικότητα, γιατί κατά τη λειτουργία παρατηρούνται παραμορφώσεις του άξονα, οι οποίες πρέπει να παραλαμβάνονται από τον τριβέα του εδράνου.
- Καλές ιδιότητες τήξεως και χυτεύσεως.
- Καλή θερμική αγωγιμότητα, ώστε η θερμότητα που παράγεται από την τριθή κατά τη λειτουργία του εδράνου να μεταδίδεται στο περιβάλλον και έτσι να διατηρείται η θερμοκρασία του μέσα στα επιτρεπόμενα όρια και
- αντοχή στη διάθρωση από τα χρησιμοποιούμενα λιπαντικά και μάλιστα στη θερμοκρασία λειτουργίας του εδράνου.

Οι ιδιότητες, που αναφέραμε, είναι αδύνατο να καλυφθούν από κράμα μιας μόνο φάσεως. Αυτό συμβαίνει γιατί τα στερεά διαλύματα είναι δύσθραυστα και μαλακά, ενώ οι μεσομεταλλικές ενώσεις είναι σκληρές αλλά εύθραυστες. Επομένως θα πρέπει να γίνει κάποιος συγκερασμός των πλεονεκτημάτων της μαλακής και της σκληρής φάσεως στο ίδιο κράμα.

Έτσι, το αντιτριβικό κράμα συνίσταται από σκληρά τεμαχίδια μεσομεταλλικής ενώσεως κατανεμημένα μέσα σε στερεό διάλυμα ή μερικές φορές μέσα σε ευτηκτική ή και στα δυο (σχ. 33.3). Στην πράξη, μετά από ολιγόχρονη λειτουργία, η μαλακή φάση του κράματος φθείρεται ελαφρά κάτω από το επίπεδο των τεμαχίδιων της σκληρής φάσεως, με αποτέλεσμα, πρώτον μεν την ελάττωση του συντελεστή τριβής του κράματος, δεύτερον δε τη δημιουργία μικροσκοπικών σωληνώσεων που υποβοηθούν τη ροή του λιπαντικού. Τα αντιτριβικά κράματα κατατάσσονται σε:

- Κράματα με βάση το χαλκό και
- κράματα με βάση τον κασσίτερο ή το μόλυβδο (λευκά μέταλλα).

33.2 Αντιτριβικά κράματα με βάση το χαλκό.

Στην παράγραφο 27.2(B) αναφέραμε κρατερώματα με 10% μέχρι 15% κασσίτερο, καθώς και χυτευτικά φωσφορούχα κρατερώματα με 10% μέχρι 13% κασσίτερο και 0,30% μέχρι 1,00% φωσφόρο, κατάλληλα για έδρανα ολισθήσεως. Αυτά τα κράματα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις αντιτριβικού κράματος, που έχουμε αναφέρει, γιατί περιλαμβάνουν 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 κρατερώματα με 10% μέχρι 15% μόλυβδο ή και κράματα χαλκού - μολύβδου με 25% μέχρι 30% μόλυβδο. Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε φθορά από τριβή και υψηλή επίσης θερμική αγωγιμότητα. Έχουν εφαρμογή σε έδρανα βάσεως στροφαλοφόρων αξόνων μηχανών αυτοκινήτων και πετρελαιομηχανών.

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

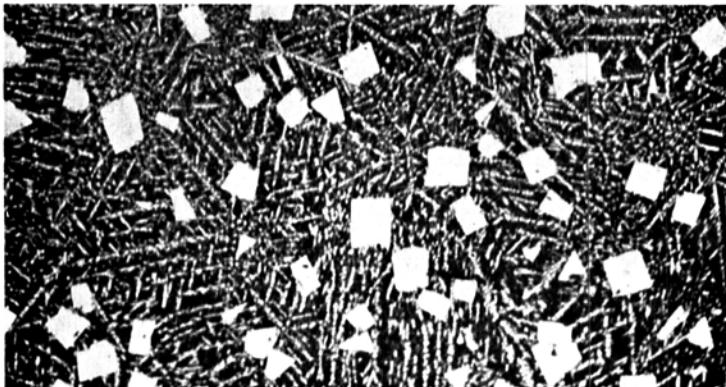
Εξαιτίας του χαμηλού τους κόστους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένες περιπτώσεις και οι ορείχαλκοι σαν αντιτριβικά μέταλλα ή και σαν χιτώνια, κυρίως τριβέων από κρατερώματα. Χρησιμοποιείται συνήθως ο ορείχαλκος με: 60% Cu και 40% Zn με προσθήκη μέχρι 1% Al, Fe και Mg.

Τέλος, για μικρά έδρανα και δακτυλίδια, συνήθως τυποποιημένα, βρίσκουν εφαρμογή πορώδη κράματα χαλκού - κασσιτέρου, που παράγονται με μεθόδους της κονιομεταλλουργίας [παράγρ. 36.2, σχ. 36.16(γ)].

33.3 Λευκά μέταλλα.

1) 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 3,50%.



Σχ. 33.3.

Κρυσταλλική δομή λευκού μετάλλου κασσιτέρου - αντιμονίου - χαλκού. Κύβοι μεσομεταλλικής ενώσεως αντιμονίου - κασσιτέρου μέσα σε πλέγμα βελονοειδών δενδριτών ενώσεως χαλκού - κασσιτέρου.

Σ' αυτά τα κράματα υπάρχουν δυο σκληρές φάσεις (σχ. 33.3), δηλαδή κύβοι μεσομεταλλικής ενώσεως αντιμονίου - κασσιτέρου και βελόνες επίσης μεσομεταλλικής ενώσεως χαλκού - κασσιτέρου.

Επειδή είναι μαλακά, χυτεύονται σε χαλύθδινα χιτώνια και ύστερα τορνεύονται στην τελική τους διάσταση. Το ίδιο συμβαίνει και για τα λευκά μέταλλα με βάση το μόλυβδο.

Παρουσιάζουν καλή πλαστικότητα.

Τυπικά αντιτριβικά κράματα αυτού του είδους είναι τα εξής:

- Το κράμα με 3,50% Sb και 3,50% Cu. Χρησιμοποιείται κυρίως για ακραία έδρανα μεγάλου μεγέθους.
- Το κράμα με 10,50% Sb και 3,50% Cu. Χρησιμοποιείται για έδρανα μηχανών αυτοκινήτων, καθώς επίσης και σαν αντιτριβικό κράμα γενικής χρήσεως.

2) Λευκά μέταλλα με βάση το μόλυβδο.

Στα αντιτριβικά αυτά κράματα, μέρος του κασσιτέρου αντικαθίσταται από μόλυβδο, που είναι φτηνότερος. Περιέχουν 10% μέχρι 15% κασσίτερο, 6% μέχρι 65% μόλυβδο και 1,50% μέχρι 3% χαλκό.

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

Σαν τυπικά τέτοια αντιτριβικά κράματα αναφέρομε τα εξής με:

- 11% Sb, 6% Pb, 3% Cu. Γενικής χρήσεως, για έδρανα που φορτίζονται με υψηλά φορτία.
- 10% Sb, 28,50% Pb, 1,50% Cu. Χρησιμοποιείται για έδρανα ατμαμαξών, μηχανών εσωτερικής καύσεως, γεννητριών και ηλεκτρικών κινητήρων.
- 10% Sb, 48,50% Pb, 1,50% Cu. Για τροχούς τραίνων με μέση φόρτιση.
- 15% Sb, 63,50% Pb, 1,50% Cu. Εφαρμόζεται σε χαμηλότερα φορτία σε σύγκριση με τα προηγούμενα.

ΜΕΡΟΣ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

ΚΟΝΙΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΟΝΙΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ

Η κονιομεταλλουργία ασχολείται με την παραγωγή των λεγομένων **κεραμευτικών κραμάτων** από μεταλλικές σκόνες (κόνεις) σε μορφοποιημένα τεμάχια. Μας δίνει, δηλαδή, άλλο τρόπο παραγωγής κραμάτων, εκτός από αυτό που ήδη γνωρίζομε με τήξη των συστατικών τους. Τα συστατικά του κεραμευτικού κράματος γενικά δεν τήκονται, εκτός ορισμένων περιπτώσεων μερικής τήξεώς τους. Τα κράματα της κονιομεταλλουργίας είναι παρόμοια με εκείνα τα οποία θα παίρναμε με τήξη των συστατικών τους.

Οι αρχές της κονιομεταλλουργίας ήταν γνωστές από το 3.000 π.Χ. περίπου, όταν οι Αιγύπτιοι κατασκεύαζαν εργαλεία από σκόνη σιδήρου με σφυρηλασία εν θερμώ. Κατά τους μέσους χρόνους η παραγωγή κόνεων χρυσού, αργύρου, χαλκού, ορειχάλκου και κασσιτέρου ήταν πολύ διαδεδομένη για σκοπούς διακοσμητικούς. Η κονιομεταλλουργία έχει αναπτυχθεί σημαντικά από το 1950 και μετά.

Τα κεραμευτικά κράματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- Σε εκείνα, που δεν μπορούν να παραχθούν με άλλο τρόπο, παρά μόνο με κονιομεταλλουργία και
- σε εκείνα, για τα οποία η κονιομεταλλουργία είναι πιο συμφέρουσα.

Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται:

α) Διαμορφώσιμα τεμάχια από πυρίμαχα μέταλλα, όπως είναι το βολφράμιο, το μολυβδαίνιο, το ταντάλιο και το νιόβιο, των οποίων η τήξη είναι βιομηχανικώς αδύνατη, εξαιτίας του πολύ υψηλού τους σημείου τήξεως (το βολφράμιο τήκεται σε 3410°C).

Τυπικό παράδειγμα είναι η κατασκευή των νηματιδίων από βολφράμιο των λαμπτήρων πυρακτώσεως.

β) **Σκληρομέταλλα με καρβίδια**, τα οποία χρησιμοποιούνται, όπως θα δούμε, πάρα πολύ σαν εργαλεία κοπής των μετάλλων (παράγρ. 36.1). Τα καρβίδια που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι του βολφραμίου, του τίτανίου, του τανταλίου και του νιοβίου. Αν το κράμα γινόταν με τήξη των συστατικών του, τα καρβίδια θα υφίσταντο διάσπαση και συνεπώς δε θα ήταν δυνατή η παραγωγή κραμάτων με τις εξαιρετικές ιδιότητες που έχουν τα σκληρομέταλλα.

γ) Κράματα, των οποίων τα συστατικά διατηρούν τα χαρακτηριστικά τους κατά τις διάφορες εφαρμογές. Αναφέρομε εδώ σαν παράδειγμα τις ηλεκτρικές επαφές. Σ' αυτές συνδυάζεται αφ' ενός η αντοχή σε φθορά στις συνθήκες εργασίας των επαφών του πυρίμαχου υλικού, δηλαδή του θολφραμίου και αφ' ετέρου η μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα του αργύρου ή του χαλκού.

δ) Πορώδη κράματα για αυτολιπανόμενα έδρανα ολισθήσεως και φίλτρα. Η δυνατότητα ρυθμίσεως του πορώδους των προϊόντων της κονιομεταλλουργίας (μέχρι και 30%) οδήγησε στην παρασκευή αυτών των κραμάτων (παράγρ. 36.2).

Στη δεύτερη κατηγορία υπάγονται:

α) Μέταλλα πολύ μεγάλης καθαρότητας, γιατί κατά την τήξη εισάγονται στο μέταλλο ακαθαρσίες.

β) Μέταλλα που χυτεύονται ή υφίστανται κατεργασία με δυσκολία, όπως το κράμα Fe, Co, Al, Ni και Cu [παράγρ. 21.4(Γ)], που χρησιμοποιείται για μόνιμους μαγνήτες και

γ) τεμάχια πολυπλόκων γεωμετρικών σχημάτων από σιδηρούχα και μη σιδηρούχα κράματα, των οποίων η κατεργασία με κοπή θα απαιτούσε πολύ χρόνο και επομένως το κόστος θα ήταν υψηλό.

Παρακάτω αναφέρομε συνοπτικά τις κύριες φάσεις που ακολουθούνται κατά την παραγωγή κονιομεταλλουργικού γενικά προϊόντος:

- **Παραγωγή κόνεων** των συστατικών του κράματος ορισμένης καθαρότητας και ελεγχόμενης μορφής και μεγέθους τεμαχιδίων.
- **Ανάμιξη** των κόνεων σε ομοιογενές μίγμα.
- **Συμπίεση** του μίγματος των κόνεων εντός καταλλήλων μητρώων και σε κατάλληλη πρέσα, συνήθως εν ψυχρώ, αλλά καμιά φορά και εν θερμώ, ώστε να σχηματισθεί το τεμάχιο σε συμπαγή μάζα, δηλαδή το λεγόμενο **συμπίεσμα ή μπρικέτα**. Το συμπίεσμα είναι ψαθυρό, μπορεί όμως να μεταφερθεί από θέση σε θέση.
- **Πυροσυσσωμάτωση**, κατά την οποία θερμαίνεται το συμπίεσμα μέσα σε αναγωγική ατμόσφαιρα και σε θερμοκρασία χαμηλότερη του σημείου τήξεως του πιο δύστηκτου μετάλλου, συνήθως όμως κατώτερη του σημείου τήξεως όλων των συστατικών του κράματος. Η πυροσυσσωμάτωση δίνει στο κράμα τις επιθυμητές μηχανικές ή άλλες ιδιότητες.

Εκτός από τις κύριες φάσεις της κονιομεταλλουργίας, που αναφέραμε, είναι δυνατό ανάλογα με την περίπτωση να χρησιμοποιηθούν και άλλες δευτερεύουσες φάσεις, με τις οποίες θα ασχοληθούμε στην παράγραφο 35.5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΟΝΙΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ

35.1 Η παραγωγή των κόνεων (σκόνης).

Το προϊόν της κονιομεταλλουργίας εξαρτάται σημαντικά από τη χημική σύνθεση και από την καθαρότητα των συστατικών του, από τα οποία παράγεται η σκόνη, καθώς επίσης και από το μέγεθος και τη μορφή των τεμαχιδίων της σκόνης. Σφαιρικά τεμαχίδια σκόνης π.χ. έχουν εξαιρετικές ιδιότητες πυροσυσσωματώσεως και δίνουν ομοιογενές προϊόν. Στο μέγεθος και τη μορφή των τεμαχιδίων της σκόνης επιδρά σημαντικά η μέθοδος παραγωγής της.

Παρακάτω θα αναφέρομε συνοπτικά τις μεθόδους παραγωγής μεταλλικών κόνεων που χρησιμοποιούμε.

1) Με ρεύμα πεπιεσμένου αέρα.

Συνήθως χρησιμοποιείται για μέταλλα χαμηλού σχετικά σημείου τήξεως, όπως είναι ο κασσίτερος, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, το αργύριο και ο χαλκός. Κατά τη μέθοδο αυτή, το τηγμένο μέταλλο αναγκάζεται να περάσει από ακροφύσιο με οπή μικρής διαμέτρου. Μετά, προσβάλλεται με ρεύμα πεπιεσμένου αέρα ή αδρανούς αερίου, καταμερίζεται και ύστερα στερεοποιείται σε τεμαχίδια μικρού μεγέθους.

Αυτά τα τεμαχίδια έχουν σφαιρικό γενικά σχήμα.

Αυτή η μέθοδος παραγωγής κόνεων μας δίνει μέγεθος τεμαχιδίων που κυμαίνεται μέσα σε πλατιά όρια, πράγμα που αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου.

2) Με αναγωγή οξειδίων των μετάλλων.

Κατά τη μέθοδο αυτή, τα οξειδία των αντιστοίχων μετάλλων, που επιθυμούμε να πάρομε σε κατάσταση σκόνης, κονιοποιημένα ανάγονται με υδρογόνο ή μονοξείδιο του άνθρακα. Τα τεμαχίδια που παράγονται είναι σποιγγώδη και έχουν ανώμαλο σχήμα, το δε μέγεθός τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το χρόνο αναγωγής.

Η μέθοδος με αναγωγή των οξειδίων είναι η μοναδική που εφαρμόζεται για την παραγωγή κόνεων από πυρίμαχα μέταλλα, όπως είναι το βολφράμιο και το μολυβδαίνιο.

Επίσης συμφέρει για την παραγωγή κόνεων σιδήρου, νικελίου, κοβαλτίου και χαλκού.

3) Με ηλεκτρόλυση αλάτων των μετάλλων.

Αυτή η μέθοδος ενδείκνυται για την παραγωγή εξαιρετικά καθαρών κόνεων, ιδιαίτερα δε για την κατασκευή των αυτολιπανομένων εδράνων ολισθήσεως από χαλκό.

Τα τεμαχίδια της σκόνης που παράγονται είναι σποιγγώδη και έχουν μορφή δενδρίτη. Αυτό διευκολύνει τη συμπίεση και την πυροσυσσωμάτωση του κράματος, γιατί κατά την πρώτη τα τεμαχίδια του κασσιτέρου εγκλωβίζονται στους κλάδους των τεμαχιδίων του χαλκού που έχουν δενδριτική μορφή, ενώ κατά τη δεύτερη ο κασσιτέρος με το που τήκεται διεισδύει περισσότερο μέσα σ' αυτά.

35.2 Ανάμιξη των συστατικών.

Η κανονική ανάμιξη των συστατικών του κράματος με μορφή κόνεων είναι ουσιώδης, για να πετύχει η ομοιογένεια του προϊόντος της κονιομεταλλουργίας.

Κατά την ανάμιξη προστίθεται στο μίγμα λιπαντικό, όπως παραφίνη, γλυκερίνη, ή κάτι παρόμοιο, για να ελαττώσει την τριβή μεταξύ των τεμαχιδίων των κόνεων και των τοιχωμάτων της μήτρας κατά τη συμπίεση, η οποία είναι πολύ ισχυρή, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται υψηλές ταχύτητες συμπίεσεως. Έτσι αποφεύγεται η γρήγορη φθορά της μήτρας.

35.3 Συμπίεση.

Η συμπίεση, ως φάση της κονιομεταλλουργίας, βασίζεται στην εξής αρχή:

Αν μεταλλική σκόνη υποστεί αρκετά υψηλή πίεση, τότε και στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ακόμη γίνεται **σύνδεση** των τεμαχιδίων της σκόνης μεταξύ τους με ψυχρή συγκόλληση, με αποτέλεσμα η σκόνη να αποτελέσει συμπαγή μάζα.

Ο βαθμός της συνδέσεως των τεμαχιδίων εξαρτάται από την επιβαλλόμενη πίεση, από την καθαρότητα της επιφάνειας των τεμαχιδίων και από το μέγεθος και το σχήμα τους.

Μετά την αφαίρεση της πιέσεως παραμένουν ορισμένες κοιλότητες στο τεμάχιο, οι οποίες του προσδίνουν **πορώδες** ορισμένου βαθμού. Αυτό το πορώδες είναι ωφέλιμο σε ορισμένες εφαρμογές, όπως στην περίπτωση των αυτολιπαινόμενων εδράνων ολισθήσεως και των μεταλλικών φίλτρων.

Η σειρά των εργασιών που ακολουθείται κατά τη συμπίεση ενός π.χ. αυτολιπαινόμενου εδράνου ολισθήσεως, δίνεται στο σχήμα 35.3 και είναι η εξής:

α) Η συσκευή τροφοδοτήσεως έχει γεμίσει την κοιλότητα της μήτρας με σκόνη [σχ. 35.3(α)].

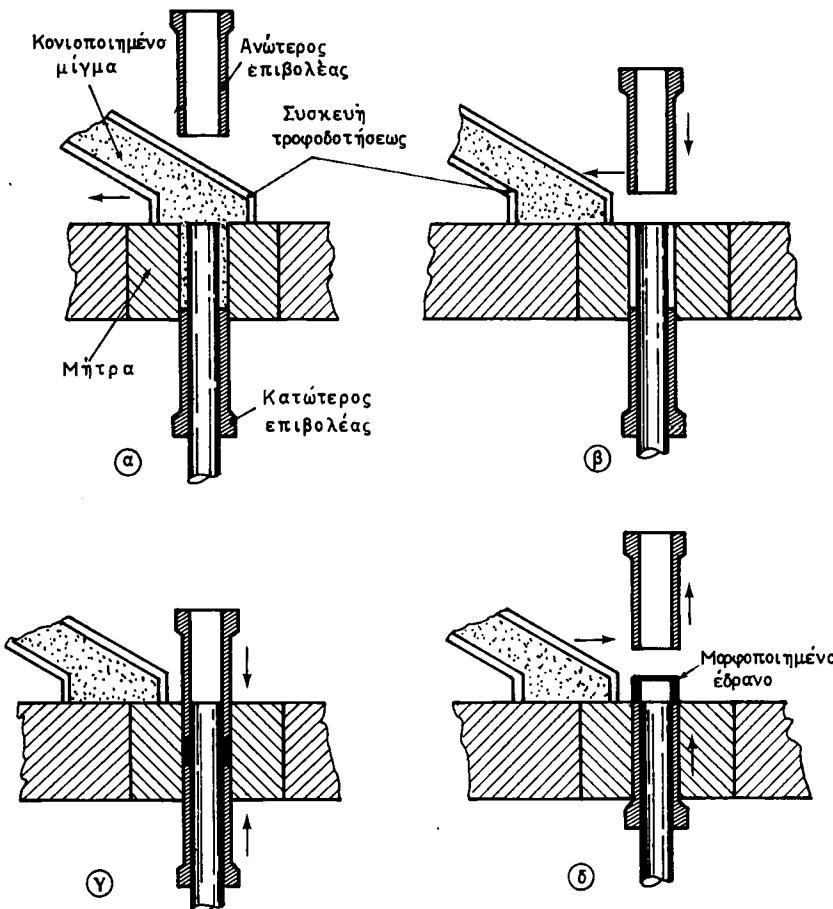
β) Η συσκευή τροφοδοτήσεως αποσύρεται, ενώ αρχίζει να κατέρχεται ο ανώτερος επιβολέας της μήτρας [σχ. 35.3(β)].

γ) Μόλις ο ανώτερος επιβολέας έρθει σε επαφή με την επάνω επιφάνεια της σκόνης, αρχίζει να ανέρχεται ο κατώτερος επιβολέας της μήτρας.

Έτσι, η σκόνη συμπίεζεται και μας δίνει συμπίεσμα ορισμένων διαστάσεων [σχ. 35.3(γ)].

δ) Μετά από αυτά, ο ανώτερος επιβολέας κινείται προς τα πάνω, ενώ ο κατώτερος, με το που κινείται και αυτός προς τα πάνω, ενεργεί σαν εξολκέας και απορρίπτει το συμπίεσμα [σχ. 35.3(δ)], το οποίο στην περίπτωση που εξετάζομε έχει μορφή δακτυλίου. Η συσκευή τροφοδοτήσεως κινείται προς τα εμπρός και αρχίζει νέος κύκλος συμπίεσεως.

Η συμπίεση γίνεται σε πρέσες εκκέντρου ή σε υδραυλικές πρέσες. Η πίεση που απαιτείται γι' αυτή τη φάση της κονιομεταλλουργίας κυμαίνεται από 150 μέχρι 700 N/mm². Οι πρέσες εκκέντρου έχουν συνήθως μέγιστη δύναμη επιβολής από 10 μέχρι και 500 τόννους και συχνότητα διαδρομών από 6 μέχρι 150 ανά min. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ο υψηλός ρυθμός παραγωγής, η



Σχ. 35.3.

Φάσεις κατά τη συμπίεση αυτολιπαινόμενου εδράνου οιλισθήσεως.

απλότητα και η οικονομία λειτουργίας. Οι υδραυλικές πρέσεις ασκούν μεγαλύτερη δύναμη επιβολής, μέχρι και 5000 τόννων, αλλά η συχνότητα διαδρομών είναι πολύ χαμηλότερη από εκείνη των πρεσών εκκέντρου, συνήθως μικρότερη από 20 διαδρομές ανά min.

Συνηθισμένη είναι η χρησιμοποίηση πρεσών «περιστρεφομένης τραπέζης» με μήτρα, η οποία έχει 12 ή και περισσότερες κοιλότητες, με τις οποίες μπορεί να έχομε ρυθμό παραγωγής 300 μέχρι 3000 τεμαχίων την ώρα.

Οι μήτρες κατασκευάζονται από κατάλληλο χάλυβα εργαλείων (γιατί υπάρχει μεγάλος κίνδυνος φθοράς κατά τη συμπίεση), υφίστανται δε υπερλείανση. Συνήθως χρησιμοποιείται χρωμιούχος χάλυβας με 12,50% Cr και 2,10% C (Πίνακας 20.2.4). Σε περιπτώσεις μαζικής παραγωγής τεμαχίων, δικαιολογείται η χρησιμοποίηση μητρών και από σκληρομέταλλα με καρβίδια.

35.4 Πυροσυσσωμάτωση.

Μετά τη φάση της συμπιέσεως, το συμπίεσμα υφίσταται πυροσυσσωμάτωση.

Η πυροσυσσωμάτωση, όπως αναφέραμε προηγουμένως, σύγκειται στη θέρμανση του συμπιέσματος σε ορισμένη θερμοκρασία και για ορισμένο χρόνο ανάλογα με τα συστατικά του κονιομεταλλουργικού κράματος.

Τα αυτολιπανόμενα έδρανα ολισθήσεως π.χ. απαιτούν κατεργασία λίγων λεπτών σε 820°C, ενώ τα σκληρομέταλλα με καρβίδια απαιτούν πύρωση μέχρι δυο ωρών σε θερμοκρασία 1350°C μέχρι 1500°C.

Για την πυροσυσσωμάτωση του βολφραμίου απαιτείται ακόμη υψηλότερη θερμοκρασία, δηλαδή περίπου 1600°C.

Με την πυροσυσσωμάτωση επιτυγχάνεται ισχυρότερη σύνδεση των τεμαχίδιων του συμπιέσματος παρά με τη συμπίεση (παράγρ. 35.3), ελαττώνεται το πορώδες του και αυξάνεται το ειδικό του θάρος.

Οι κλίβανοι πυροσυσσωματώσεως είναι συνήθως ηλεκτρικοί. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και κλίβανοι πετρελαίου ή αερίου. Σε περιπτώσεις μεγάλου αριθμού τεμαχίων για πυροσυσσωμάτωση ενδείκνυται η χρησιμοποίηση κλιβάνων μεταφορικής ταινίας.

Επίσης, απαιτείται αυστηρός έλεγχος της θερμοκρασίας του κλιβάνου.

Επειδή η σύνδεση των τεμαχίδιων της σκόνης μεταξύ τους εμποδίζεται από τυχόν ξένες ουσίες που επικάθονται στην επιφάνειά τους, όπως π.χ. οξείδια, πρέπει να καταθάλλεται κάθε προσπάθεια αποφυγής δημιουργίας τους. Γι' αυτό το λόγο, ο κλίβανος πρέπει να είναι στεγανός και να δημιουργείται μέσα σ' αυτόν προστατευτική αναγωγική ατμόσφαιρα υδρογόνου ή μονοξειδίου του άνθρακα.

Η αναγωγική αυτή ατμόσφαιρα δεν επιτρέπει τη διατήρηση ή το σχηματισμό οξειδίων στην επιφάνεια των τεμαχίδιων της σκόνης.

Το κεραμευτικό κράμα που παίρνομε μετά την πυροσυσσωμάτωση, έχει μηχανικές ιδιότητες που πλησιάζουν τις ιδιότητες του αντίστοιχου συμπαγούς κράματος που προκύπτει με τήξη των συστατικών του.

35.5 Δευτερεύουσες φάσεις της κονιομεταλλουργίας.

Για πολλά προϊόντα της κονιομεταλλουργίας απαιτείται μεγάλη ακρίβεια των διαστάσεων, όπως π.χ. για τα αυτολιπανόμενα έδρανα ολισθήσεως. Η πυροσυσσωμάτωση όμως προκαλεί, όπως είναι φυσικό, μεταβολές στις διαστάσεις του τεμαχίου ή και στρέβλωση και γι' αυτό συνήθως γίνεται **τελική κατεργασία** του τεμαχίου, για να του δοθούν οι τελικές ακρίβεις του διαστάσεις. Αυτή η τελική κατεργασία μπορεί να είναι κοπή, λείανση, αμμοβολή κλπ.

Για εφαρμογές, όπου απαιτείται μεγαλύτερη πυκνότητα του προϊόντος σε συνδυασμό με ακριβέστερες διαστάσεις, η πυροσυσσωμάτωση ακολουθείται από ψυχρηλασία γνωστή σαν **ανασυμπίεση ή τύπωση** (σχ. 12a). Η θέρμανση για πυροσυσσωμάτωση μπορεί να διακοπεί σε μια ενδιάμεση θερμοκρασία. Αυτό είναι γνωστό σαν **προπυροσυσσωμάτωση**. Μετά από αυτή την κατεργασία, το τεμάχιο έχει καλή κατεργαστικότητα και έτσι μπορεί να υποστεί τις απαιτούμε-

νες κατεργασίες μορφοποιήσεώς του, οι οποίες δεν είναι εφικτές μετά την πυροσυσσωμάτωση, εξαιτίας της μεγάλης σκληρότητας που αποκτάει το τεμάχιο.

Σε άλλες περιπτώσεις εκτελείται ***anapurosusasomatwsi*** μετά την ανασυμπίεση με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του προϊόντος.

Στα αυτολιπαινόμενα έδρανα ολισθήσεως εκτελείται, μετά την πυροσυσσωμάτωση, ο λεγόμενος ***empotismos***, για να βελτιωθούν οι αντιτριβικές του ιδιότητες. Με τον εμποτισμό γεμίζουν με λιπαντικό οι πόροι του εδράνου.

Ο εμποτισμός με λάδι γίνεται με βάπτισμα των τεμαχίων μέσα σε δοχείο με ζεστό λάδι ή με αφαίρεση του αέρα των πόρων των εδράνων μέσα σε κενό και ύστερα με συμπίεση λαδιού μέσα στους πόρους.

Σαν λιπαντικά για εμποτισμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη το κερί, τα λίπη και μέταλλα ή κράματα χαμηλού σημείου τήξεως, όπως είναι ο μόλυβδος, ο κασσίτερος και άλλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΚΟΝΙΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ

36.1 Τα σκληρομέταλλα με καρβίδια ή απλώς σκληρομέταλλα.

1) Παραγωγή των σκληρομετάλλων.

Μέχρι τώρα, σαν υλικά κατάλληλα για εργαλεία κοπής έχουμε συναντήσει τους κοινούς χάλυβες εργαλείων [παράγρ. 21.3(A)] και τους ταχυχάλυβες [παράγρ. 21.3(B)], των οποίων έχουμε μελετήσει τις ιδιότητες και τις βιομηχανικές χρήσεις.

Η κονιομεταλλουργία μας δίνει και άλλο, τρίτο υλικό, κατάλληλο βασικά για εργαλεία κοπής και κατά δεύτερο λόγο για ορισμένες μήτρες διαμορφώσεως, **τα σκληρομέταλλα**.

Τα σκληρομέταλλα, σαν εργαλεία κοπής, πλεονεκτούν σημαντικά συγκριτικά με τους ταχυχάλυβες.

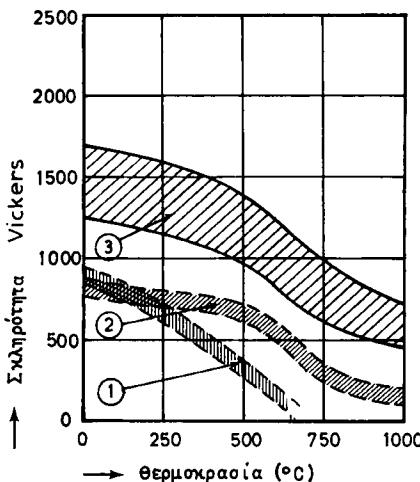
Έτσι, με τη χρησιμοποίηση των σκληρομετάλλων μπορούμε να επιτύχομε στην πράξη πολύ υψηλότερες ταχύτητες κοπής, από εκείνες που επιτυγχάνομε με τη χρησιμοποίηση των ταχυχαλύθων και επομένως η κοπή είναι πιο αποδοτική.

Στο σχήμα 36.1α συγκρίνονται τρία υλικά εργαλείων κοπής, δηλαδή οι κοινοί χάλυβες εργαλείων, οι ταχυχάλυβες και τα σκληρομέταλλα με κριτήριο τη σκληρότητα που παρουσιάζουν, σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία κοπής. Και αυτό, γιατί όπως έχουμε αναφέρει στην παράγραφο 21.3 η θερμοκρασία κοπής αυξάνεται με αύξηση της ταχύτητας κοπής και επομένως το εργαλείο που διατηρεί τη σκληρότητά του σε υψηλές θερμοκρασίες, θα τη διατηρεί και σε υψηλές ταχύτητες κοπής.

Από τις καμπύλες του σχήματος 36.1α παρατηρούμε, ότι σε θερμοκρασία π.χ. 500°C ο κοινός χάλυβας εργαλείων κοπής (Πίνακας 21.3.1) παρουσιάζει σκληρότητα που κυμαίνεται από 285 μέχρι 420 Vickers μόνο, ο ταχυχάλυβας από 620 μέχρι 775 Vickers, ενώ το σκληρομέταλλο από 970 μέχρι 1400 Vickers κατά προσέγγιση.

Από αυτή τη σύγκριση φαίνεται η υπεροχή των σκληρομετάλλων ως εργαλείων κοπής.

Τα σκληρομέταλλα αποτελούνται συνήθως από καρβίδια του βολφραμίου, του τιτανίου, του τανταλίου, ή και του νιοβίου, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με κοβάλτιο ή νικέλιο. Το είδος των καρβιδίων, οι αναλογίες τους και η συνδετική ύλη εκλέγονται ανάλογα με τη χρήση του σκληρομετάλλου. Παρακάτω θα περιγράψουμε τις φάσεις παραγωγής σκληρομετάλλων με καρβίδιο του βολφραμίου και με κοβάλτιο σαν συνδετική ύλη.



Σχ. 36.1α.

Καμπύλες σκληρότητας - θερμοκρασίας για διάφορα υλικά εργαλείων κοπής: 1) Κοινοί χάλυβες εργαλείων. 2) Ταχυχάλυβες. 3) Σκληρομέταλλα.

Η ακολουθία των φάσεων κατά την παραγωγή αυτού του σκληρομετάλλου δίνεται στο σχήμα 36.1b(a).

Αρχικά παίρνομε μεταλλικές σκόνες του βολφραμίου και του κοβαλτίου με θέρμανση και αναγωγή (παράγρ. 35.1) οξειδίου του βολφραμίου και οξειδίου του κοβαλτίου, αντίστοιχα, σε ρεύμα υδρογόνου.

Η σκόνη του βολφραμίου ανακατεύεται με αιθάλη στην αναλογία που χρειάζεται, για να δώσουν μαζί καρβίδιο του βολφραμίου, το οποίο και το παίρνομε μετά από θέρμανση δυο ωρών σε ουδέτερη ατμόσφαιρα. Ύστερα αυτό το καρβίδιο του βολφραμίου λειτοριθείται, ώστε τα τεμαχίδια της σκόνης, που προκύπτουν να έχουν μέγεθος 20 μμ (μικρά) περίπου.

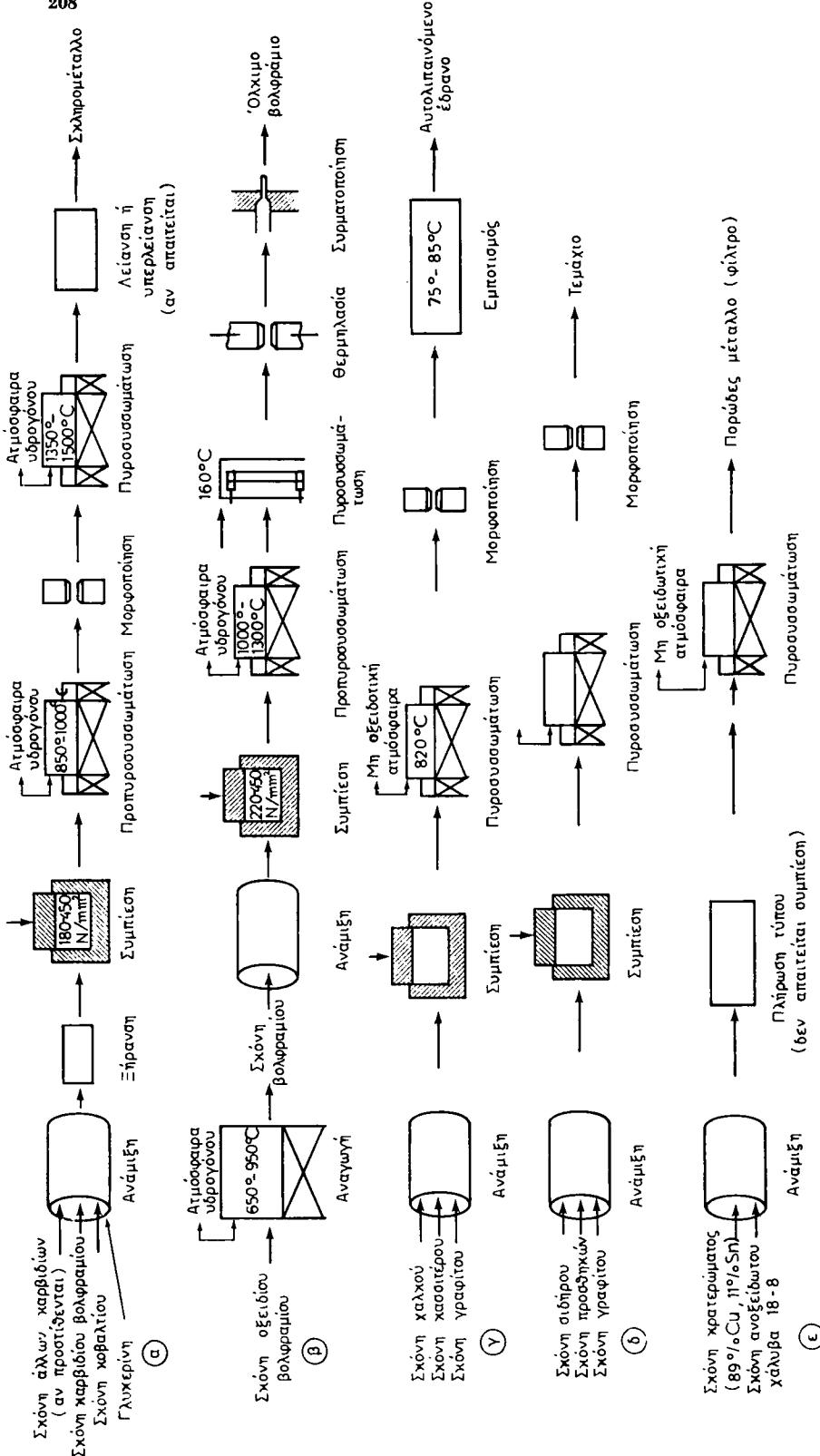
Η σκόνη του καρβιδίου του βολφραμίου ανακατεύεται κατόπιν με τη σκόνη του κοβαλτίου. Σ' αυτό το μίγμα προστίθεται και μικρή ποσότητα γλυκερίνης, που υποβοηθά τη συμπίεσή του.

Η συμπίεση του μίγματος, μετά από ξήρανση, γίνεται σε μήτρες από κατάλληλο χάλυβα εργαλείων και κάτω από πίεση 180 μέχρι 450 N/mm².

Το συμπίεσμα, που προκύπτει, αποτελεί τα 2/3 του αρχικού όγκου του μίγματος.

Ακολουθεί προπυρωσυσσωμάτωση σε 850°C μέχρι 1000°C σε ατμόσφαιρα υδρογόνου. Το προϊόν που λαμβάνεται κατά τη φάση αυτή είναι αρκετά ανθεκτικό, ώστε να υποστεί κατεργασία σε εργαλειομηχανές και να πάρει τη μορφή που χρειάζεται. Κατά την κατεργασία αυτή δίνομε τις αναγκαίες ανοχές των διαστάσεων του τεμαχίου, αφού λάβομε υπόψη μας τις μεταβολές των διαστάσεων, που θα προκύψουν μετά την πυροσυσσωμάτωση.

Η πυροσυσσωμάτωση γίνεται σε ηλεκτρικό κλίβανο, κυλινδρικής μορφής

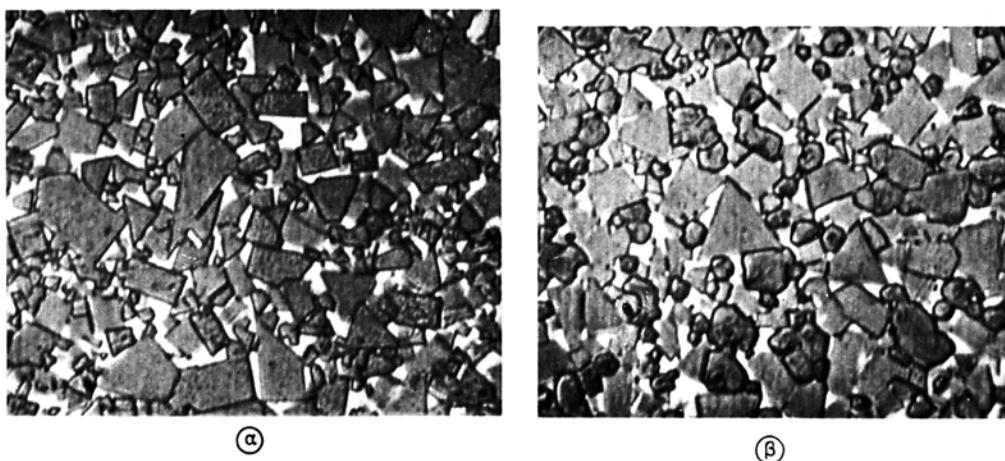


ΣΧ. 36.16.

Τυπικά διαγράμματα ροής που δείχνουν τις φάσεις πηγής κονιομεταλλουργίας κατά την παραγωγή: α) Σκληρομετάλλου καρβούδιου του θολφραμίου - καθαλίου. β) Πυρίμαχου μετάλλου - βιολφραμίου. γ) Αυτολιπαινόμενου εδράνου ολισθήσεως χαλκού - κασσιτέρου. δ) Συνθρούσκων τεμαχίων και ε) μεταλλικών φιλτρών.

συνήθως, μέσα από τον οποίο εμφυσάται ξηρό υδρογόνο. Ο χρόνος της πυροσυσσωματώσεως ανέρχεται σε 90 min περίπου και η θερμοκρασία της κυμαίνεται από 1350°C μέχρι 1500°C. Μετά την πυροσυσσωμάτωση τα τεμάχια αφήνονται να αποψυχθούν ήρεμα μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Τελικά, τα σκληρομέταλλα υφίστανται κατεργασία αποπερατώσεως με λείανση ή υπερλείανση, αν είναι απαραίτητο και είναι έτοιμα για το εμπόριο. Η κρυσταλλική δομή σκληρομετάλλων εικονίζεται στις μικροφωτογραφίες του σχήματος 36.1γ.



Σχ. 36.1γ.

Μικροφωτογραφίες σκληρομετάλλων. Μεγέθυνση $\times 1500$. α) Καρβιδίου του βολφραμίου - κοβαλτίου. β) Καρβιδίου του βολφραμίου, καρβιδίων των τανταλίου, τιτανίου - κοβαλτίου.

2) Ιδιότητες και χρήσεις των σκληρομετάλλων.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες των σκληρομετάλλων αναφέρονται στον Πίνακα 36.1.1.

Σύμφωνα προς την τυποποίηση DIN 4990, τα σκληρομέταλλα σαν εργαλεία κοπής κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες που συμβολίζονται με τα γράμματα P, M και K και που έχουν σαν διακριτικό χρώμα το γαλάζιο (κυανούν), το κίτρινο και το ερυθρό αντίστοιχα. Τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας P χρησιμοποιούνται για την κατεργασία κυρίως χαλύβων και χυτοχαλύθων. Τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας M χρησιμοποιούνται για την κατεργασία χαλύθων, χυτοχαλύθων, ωστενιτικών χαλυβοκραμάτων, ειδικών χυτοσιδήρων, μαλακτικοποιημένων χυτοσιδήρων και χυτοσιδήρου σφαιροειδούς γραφίτη.

Τέλος, τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας K χρησιμοποιούνται για την κατεργασία φαιού χυτοσιδήρου, μαλακτικοποιημένων χυτοσιδήρων, βαμμένων χαλύθων, μη σιδηρούχων μετάλλων και κραμάτων, πλαστικών και ξύλου.

Οι ποιότητες των σκληρομετάλλων κάθε κατηγορίας χαρακτηρίζονται από τους διψήφιους αριθμούς (**αριθμούς ποιότητας**) 01, 10, 20, 25, 30, 40, 50 για την κατηγορία P, από τους 10, 20, 30 για την κατηγορία M και από τους 01, 05, 10,

ΠΙΝΑΚΑΣ 36.1.1
Τυποποίηση και ιδιότητες των σκληρομετάλλων

Τυποποίηση κατά DIN 4990			Χημική σύνθεση [%] περίπου			Άλλες ιδιότητες	
Κατηγορίες	Ποιότητες	Διακριτικό χρώμα	Καρβίδιο βολφραμίου	Καρβίδιο τιτανίου + Καρβίδιο τανταλίου	Κοβάλτιο	Σκληρότητα κατά Vickers	Πυκνότητα [g/cm³]
P	P01..3	Γαλάζιο	51	43	6	1800	8,5
	P10		65	26	9	1600	10,7
	P20		76	14	10	1500	11,9
	P25		70	20	10	1450	12,5
	P30		82	8	10	1450	13,1
	P40		74	12	14	1350	12,6
	P50		67	15	18	1250	12,4
	M10		84	10	6	1700	13,1
M	M20	Κίτρινο	82	10	8	1550	13,3
	M30		79	6	15	1300	13,6
	K01		92	4	4	1800	15,0
	K05		91	3	6	1750	14,5
	K10		92	2	6	1650	14,8
K	K20	Κόκκινο	92	2	6	1550	14,8
	K30		91	—	9	1400	14,6
	K40		88	—	12	1300	14,3

Κατά τη φορά του τόξου 1: Αύξηση σκληρότητας αντοχής σε φθορά, ταχύτητα κοπής. Ελάττωση δυσθραυστότητας.

Κατά τη φορά του τόξου 2: Αύξηση δυσθραυστότητας ταχύτητας προώσεως. Ελάττωση σκληρότητας, αντοχής σε φθορά, ταχύτητας κοπής

20, 30, 40 για την κατηγορία K. Ελάττωση αυτών των αριθμών ποιότητας από 50 σε 01 (κατηγορία P), από 30 σε 10 (κατηγορία M) και από 40 σε 01 (κατηγορία K) σημαίνει **αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής σε φθορά του σκληρομετάλλου (αύξηση της ταχύτητας κοπής)** και πιώση της **δυσθραυστότητάς του**. Αντίθετα, αύξηση των αριθμών ποιότητας σημαίνει **αύξηση της δυσθραυστότητας και πιώση της σκληρότητας και της αντοχής σε φθορά του σκληρομετάλλου**.

Ο ρόλος που παίζουν οι αριθμοί ποιότητας δείχνεται παραστατικά με τα θέλη 1 και 2 στον Πίνακα 36.1.1.

36.2 Άλλες εφαρμογές της κονιομεταλλουργίας.

Στο σχήμα 36.16 παριστάνονται οι φάσεις που ακολουθούνται, καθώς επίσης και άλλα στοιχεία κατεργασίας για την παραγωγή των εξής τυπικών προϊόντων της κονιομεταλλουργίας, εκτός των σκληρομετάλλων, των οποίων την παραγωγή περιγράψαμε με λεπτομέρεια στην προηγούμενη παράγραφο:

- α) Του πυρίμαχου μετάλλου βολφραμίου [σχ. 36.16(θ)].
- β) Των αυτολιπανομένων εδράνων χαλκού - κασσιτέρου [σχ. 36.16(γ)].
- γ) Των ποικίλων σιδηρούχων τεμαχίων [σχ. 36.16(δ)] και
- δ) των μεταλλικών φίλτρων [σχ. 36.16(ε)].

ΜΕΡΟΣ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ (ΠΛΑΣΤΙΚΑ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΟΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ

37.1 Γενικά.

Κατά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο παρουσιάσθηκε σε ορισμένες εμπόλεμους χώρες (κεντρικές αυτοκρατορίες) έλλειψη ορισμένων χρησιμοτάτων φυσικών πρώτων υλών (όπως π.χ. το φυσικό καουτσούκ).

Επομένως, ήταν άμεση ανάγκη να αντικατασταθούν οι φυσικές αυτές ύλες με συνθετικές. Έτσι παρασκευάσθηκε σε βιομηχανική κλίμακα το τεχνητό καουτσούκ (Buna).

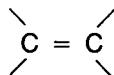
Η ανάγκη αυτή εμφανίστηκε ακόμη μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Η προσπάθεια όμως αυτή τη φορά δεν απέβλεπε μόνο στην παρασκευή υλών για υποκατάσταση φυσικών πρώτων υλών, αλλά και στην παρασκευή νέων υλικών με προκαθορισμένες φυσικές και τεχνολογικές ιδιότητες, τις οποίες κατά κανόνα δεν συναντούμε στα φυσικά προϊόντα. Αυτές τις ιδιότητες των νέων υλικών επέβαλαν οι ανάγκες της τεχνικής εξελίξεως.

Έτσι δημιουργήθηκαν νέες ουσίες, οι οποίες μέρα με τη μέρα αυξάνονται. Σ' αυτές τις ουσίες δόθηκαν οι ονομασίες **συνθετικές ύλες, ρητίνες, πλαστικά ή πολυμερή**.

Καμιά από αυτές τις ονομασίες δεν καλύπτει το σύνολο των προϊόντων αυτού του είδους, οι δυο όμως τελευταίες (πλαστικά ή πολυμερή) καλύπτουν τις περισσότερες από τις τεχνητές ύλες από απόψεως χημικής συνθέσεως και τεχνολογικών ιδιοτήτων.

Οι νέες ουσίες παράγονται από φυσικές ή συνθετικές οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους, οι οποίες γενικά καλούνται **μονομερείς ενώσεις**. Παράγονται δε με **πολυμερισμό** ή **πολυσυμπύκνωση** ή **πολυπροσθήκη** των ενώσεων αυτών, γι' αυτό ονομάσθηκαν **πολυμερή**. Οι μονομερείς ενώσεις, όπως γνωρίζομε από την οργανική Χημεία, είναι συνήθως υδρογονάνθρακες, οξέα, αλκοόλες, αμίνες κλπ.

Αυτές οι ουσίες περιέχουν στο μόριό τους διπλούς δεσμούς:



ή ορισμένες χαρακτηριστικές ομάδες όπως τις $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$ κλπ., οι οποίες και παρέχουν τη δυνατότητα πολυμερισμού προς σχηματισμό μεγαλομοριακών ενώσεων, δηλαδή ενώσεων με πολύ μεγάλο μοριακό βάρος.

37.2 Υποδιαιρεση των συνθετικών υλών.

A) Υποδιαιρεση ανάλογα με τη χημική δομή.

Οι συνθετικές ύλες, ανάλογα με τη χημική τους δομή, μπορούν να διακριθούν σε συνθετικές ύλες με βάση: φαινόλες, κρεζόλες, φορμαλδεΰδη, ουρία-φορμαλδεΰδη· παράγωγα αιθυλενίου, προπυλενίου, βουταδενίου, στυρενίου· παράγωγα οργανικών οξέων, φυσικό και συνθετικό қαουτσούκ, σιλικόνες· παράγωγα κυτταρίνης· παράγωγα πρωτεΐνων.

B) Υποδιαιρεση ανάλογα με το είδος της χημικής αντιδράσεως, με βάση την οποία σχηματίζονται οι συνθετικές ύλες.

Οι συνθετικές ύλες ανάλογα με τη χημικό τρόπο σχηματισμού τους υποδιαιρούνται σε συνθετικές ύλες: από **πολυσυμπύκνωση**, από **πολυμερισμό** και από **πολυπροσθήκη**.

1) Πολυσυμπύκνωση.

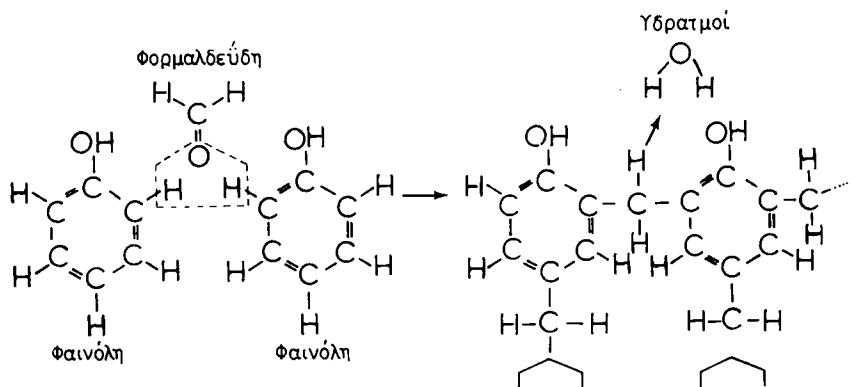
Πολυσυμπύκνωση σημαίνει σύνδεση πολλών μικρών μορίων μιας χημικής ενώσεως προς ένα πολύ μεγάλο σύμπλοκο μόριο με τη χρησιμοποίηση μορίων μιας άλλης ενώσεως ή συνδετικού κρίκου. Κατά την πολυσυμπύκνωση αποσπώνται άτομα και από τα δυο είδη των μορίων· αυτά τα άτομα σχηματίζουν νέα χημική ένωση, η οποία εκλύεται, τις περισσότερες φορές, με τη μορφή αερίου (σχ. 37.2a), π.χ. νερό με μορφή υδρατμών.

2) Πολυμερισμός.

Πολυμερισμός είναι η απειθείας ένωση πολλών μικρών ομοιειδών μορίων προς πολύ μεγάλα μόρια. Κατά τον πολυμερισμό δεν αποσπώνται άλλες ενώσεις όπως στην πολυσυμπύκνωση. Η διαδικασία του πολυμερισμού επιτυγχάνεται με το άνοιγμα του διπλού δεσμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 37.2b.

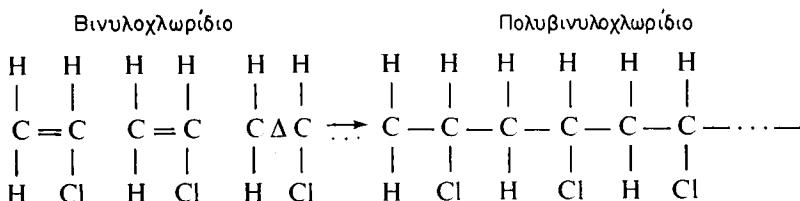
3) Πολυπροσθήκη.

Πολυπροσθήκη είναι τρόπος χημικής αντιδράσεως, κατά τον οποίο σχηματίζονται μεγαλομοριακές ενώσεις, χωρίς όμως και εδώ να αποσπασθούν άλλες ενώσεις κατά το σχηματισμό. Επίσης, η σύνδεση των δομικών μορίων μεταξύ τους δεν επιτυγχάνεται μόνο με το άνοιγμα των διπλών δεσμών (όπως συμβαίνει κατά τον πολυμερισμό). Βασική προϋπόθεση για να σχηματισθεί ένα μεγαλομόριο με πολυπροσθήκη, είναι η αλλαγή θέσεως ατόμων υδρογόνου με σύγχρονο άνοιγμα διπλών δεσμών. Αυτό φαίνεται σαφώς στο σχήμα 37.2γ.



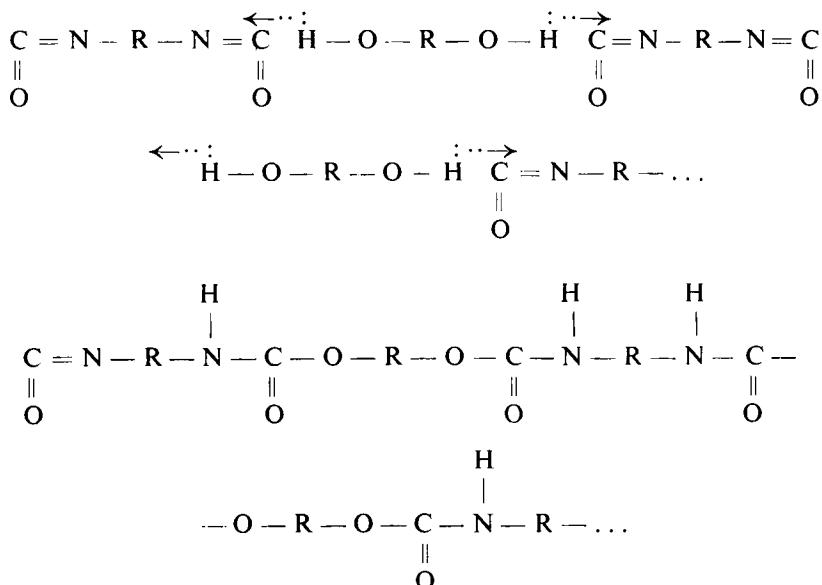
Σχ. 37.2α.

Συμπύκνωση φαινόλης και φορμαλδεΰδης προς βακελίτη.



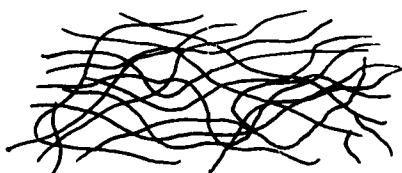
Σχ. 37.26.

Πολυμερισμός βινυλοχλωρίδιου προς πολυβινυλοχλωρίδιο.



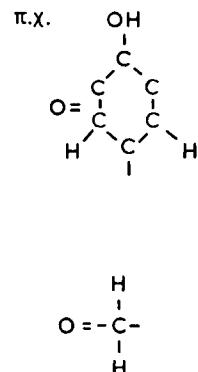
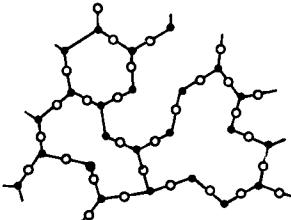
Σχ. 37.2γ.

Πολυπροσθήκη πολυϊσοκυανικής ενώσεως και πολυαλκοόλης προς πολυουρεθάνη.



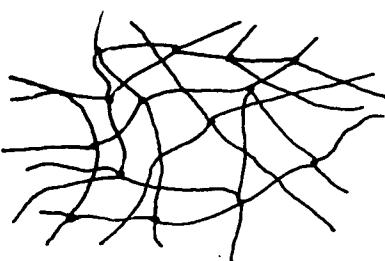
Σχ. 37.2δ.

Μοριακή δομή: Ακανόνιστη διάταξη νηματοειδών μορίων προκαλούν θερμοπλαστική συμπεριφορά (δομή τολύπης ερίου).



Σχ. 37.2ε.

Μοριακή δομή: Η σύνδεση ομάδων ατόμων προς ένα τρισδιάστατο πλέγμα δημιουργεί την τελική κατάσταση των σκληρυνομένων συνθετικών υλών.



Σχ. 37.2στ.

Μοριακή δομή: Σύνδεση νηματοειδών μορίων διά γεφυρών θείου προς σχηματισμό δικτύου προκαλεί την ελαστικότητα του καουτσούκ.

Γ) Υποδιαιρεση ανάλογα με τη δομή του μεγαλομορίου στο χώρο.

Η υποδιαιρέση αυτή αντιστοιχεί προς την ταξινόμηση των συνθετικών υλών, όπως δείχνουν τα σχήματα 37.2δ,ε, στ και δίνει πολύ καλή εποπτική εικόνα για όλες τις συνθετικές ύλες, γιατί οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των συνθετικών υλών φεύγουν στη διάταξη των μεγαλομορίων μέσα στο χώρο.

1) Νηματοειδή μεγαλομόρια.

Αυτά τα μόρια μπορούν να είναι συνδεμένα μεταξύ τους με τελείως ακανόνιστο τρόπο, όπως οι ίνες μιας τολύπης ερίου (σχ. 37.2δ) ή και να είναι εν μέρει ταξινομημένα. Τα μόρια αυτά έχουν πάντοτε **θερμοπλαστικές** ιδιότητες, δηλαδή με θέρμανση γίνονται μαλακά και εύπλαστα, όταν δε ψυχθούν ξανά, γίνονται σκληρά.

Αυτή η ιδιότητα των μορίων να μαλακώνουν με θέρμανση και να γίνονται

σκληρά ξανά με ψύξη είναι απεριόριστη, δηλαδή τα σώματα μπορούν να μαλακώνουν και να σκληραίνουν απεριόριστα.

2) Τρισδιάστατοι στερεοί σκελετοί.

Η διάταξη απόμων προς **τρισδιάστατους στερεούς σκελετούς** μορίων προκαλεί την κατάσταση των σκληρυνομένων συνθετικών υλών, δηλαδή συνθετικών υλών, οι οποίες όταν θερμαίνονται γίνονται εύπλαστες μέχρι ένα δριο και μπορούν να μορφοποιηθούν, αλλά με περισσότερη θέρμανση σκληραίνουν. Αφού σκληρύνουν οι συνθετικές αυτές ύλες, δεν μπορούν με νέα θέρμανση να γίνουν πάλι πλαστικές. Αν επιμείνομε να τις θερμαίνομε, μπορεί να τις απανθρακώσουμε, αλλά ποτέ δεν θα τις κάνομε και πάλι εύπλαστες (σχ. 37.2ε).

3) Δομή σαν πλέγμα (εν είδει πλέγματος).

Τρίτο είδος δομής του μορίου είναι η δομή σαν **πλέγμα (εν είδει πλέγματος)**, η οποία προέρχεται από τη σύνδεση μεμονωμένων θέσεων νηματοειδών μορίων. Αυτή η δομή παραμορφώνεται εύκολα, είναι όμως συνεκτική και γι' αυτό προκαλεί τη χαρακτηριστική ελαστικότητα του καουτσούκ, το οποίο έχει υποστεί βουλκανισμό (σχ. 37.2στ.).

37.3 Διάφορες εφαρμογές των συνθετικών υλών.

Είναι γνωστή η μεγάλη ποικιλία των εφαρμογών των πλαστικών στην τεχνική γενικά. Παρακάτω δίνομε μια συνοπτική απαριθμηση των κυριοτέρων τομέων εφαρμογής των πλαστικών, για να έχομε μια πληρέστερη εικόνα.

A) Αρχιτεκτονική.

Σε πολλές χώρες γίνεται ήδη χρήση πλαστικών για κατασκευή ετοίμων θυρών και παραθύρων με πολύ καλύτερες ιδιότητες από τα συνηθισμένα ξύλινα και με ανταγωνιστικό κόστος.

B) Βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών.

Τα πλαστικά χρησιμοποιούνται πολύ στη βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών για μονώσεις, επενδύσεις και άλλα, επειδή έχουν άριστες διηλεκτρικές και λοιπές σταθερές. Ακόμα χρησιμοποιούνται και στους ατομικούς αντιδραστήρες.

Γ) Οικιακές εφαρμογές.

Τα πλαστικά βρίσκουν εφαρμογές πολύ σαν εξαρτήματα ειδών οικιακού εξοπλισμού, όπως είναι: λουτήρες, επενδύσεις επιφανειών επίπλων, ταπετσαρίες, υποκατάσταση ξυλίνων τεμαχίων επίπλων κλπ.

Δ) Ιατρικές εφαρμογές.

Σήμερα είναι δυνατή η αντικατάσταση οργάνων του ανθρώπινου σώματος από τεχνητά όργανα που είναι κατασκευασμένα από ειδική ποιότητα πλαστικών.

Αναφέρεται π.χ. η αντικατάσταση τμήματος της αορτής από τεχνητό πλαστικό τεμάχιο.

E) Συσκευασία.

Η αλματώδης διάδοση των πλαστικών στη συσκευασία συνέθαλε στη διάδοση της τυποποιήσεως των αγαθών και ιδίως των τροφίμων, καθώς και στην εξάπλωση της χρήσεως των κατεψυγμένων τροφίμων.

ΣΤ) Υφάσματα.

Από το νάύλον, τον πολυεστέρα και από το συνδυασμό πλήθους συνθετικών και φυσικών υφανσίμων ινών παράγονται υφάσματα με καλύτερες ιδιότητες από το μετάξι και το μαλλί και με πολύ χαμηλό κόστος.

Z) Παιχνίδια και σπορ.

Το χαμηλό κόστος μορφοποιήσεως των πλαστικών έκανε προσιτά και στους πιο φτωχούς τα παιχνίδια και τα είδη σπορ (όπως ρακέτες, βατραχοπέδιλα, καλάμια ψαρέματος κλπ.).

H) Μεταφορές.

Η διάδοση των πλαστικών στη βιομηχανία αυτοκινήτου, αεροπλάνου, στη ναυπηγική και στους σιδηροδρόμους και τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς θα κατανοηθεί καλύτερα στο επόμενο κεφάλαιο, όπου εξετάζονται οι εφαρμογές των πλαστικών στις μηχανολογικές κατασκευές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

ΟΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

38.1 Υποδιαιρεση των συνθετικών υλών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για μηχανολογικές κατασκευές.

Οι συνθετικές ύλες που χρησιμοποιούνται για μηχανολογικές κατασκευές υποδιαιρούνται σε κατηγορίες ανάλογα: α) με το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιούνται και β) με τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται.

Στις κατηγορίες ανάλογα με το σκοπό λαμβάνονται υπόψη οι διάφορες ιδιότητες, που παρουσιάζουν οι συνθετικές ύλες. Επομένως για τις ύλες π.χ. που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ηλεκτρικών ειδών, θεωρούνται οι μηχανικές ιδιότητες, ώστε οι ύλες να είναι κατάλληλες για το σκοπό για τον οποίο προορίζονται.

Στις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο χρησιμοποιήσεως εξετάζομε αν οι ύλες χρησιμοποιούνται με μορφή καθαρής συνθετικής ύλης ή βρίσκονται σε ανάμιξη με άλλες ύλες. Είναι δυνατό να διαποτισθούν ταινίες χαρτιού ή υφάσματος ή να επιστρωθούν πλαστικές ύλες πάνω σε καπλαμάδες οξυάς.

Επομένως διακρίνομε τις εξής κατηγορίες συνθετικών υλών ανάλογα με τον τρόπο χρησιμοποιήσεως:

α) Καθαρές συνθετικές ύλες. β) Συνθετικές ύλες με αναμίξεις. γ) Συνθετικές ύλες σε στρώσεις.

38.2 Αναγνώριση του είδους μιας συνθετικής ύλης.

A) Από την πυκνότητα.

Από την πυκνότητα σε g/cm^3 είναι δυνατό να αναγνωρίσουμε μια συνθετική ύλη ως εξής:

Πυκνότητα: έως 1,0: πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, πολυϊσοθουτυλένιο, καουτσούκ χωρίς ξένες ουσίες.

1,0 έως 1,2: πολυστυρένιο αναμιγμένο με ξένες ύλες, καουτσούκ, αιθέρες κυτταρίνης, πολυμεθακρυλικές ενώσεις, πολυανθρακικές ενώσεις.

1,2 έως 1,4: πολυθινυλοχλωρίδιο, πολυθινυλεστέρες, είδη θακελίτη, θακελίτες με οργανικές ύλες εμπλησμού.

1,4 έως 1,5: πλαστικά ουρίας με οργανικές ενώσεις εμπλησμού.

1,5 έως 1,8: πεπιεσμένες ύλες με οργανικές ύλες εμπλησμού, πολυθινυλιδενοχλωρίδιο, χλωριωμένο καουτσούκ.

1,8 έως 1,9: πολυεστερικές ρητίνες οπλισμένες με υαλοβάμβακα, σιλικόνες με ύφασμα από ίνες υάλου (γυαλιού).
πάνω από 2,0: πολυτετραφθοριοαιθυλένιο, πολυτριφθοριομονοχλωριοαιθυλένιο.

B) Με δοκιμή καύσεως.

Την ύλη που εξετάζομε τη φέρομε αρχικά στη φλόγα ενός λύχνου Bunsen και παρατηρούμε τη συμπεριφορά της κατά την καύση, δηλαδή, το χρώμα της φλόγας, την οσμή κλπ. Η συμπεριφορά αυτή κατά την καύση συγκρίνεται με τη συμπεριφορά γνωστών προτύπων συνθετικών υλών (νάϋλον, πολυαιθυλένιο, βακελίτης κλπ.), που καίγονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες στο λύχνο Bunsen.

38.3 Ιδιότητες των συνθετικών υλών.

Οι συνθετικές ύλες, επειδή έχουν την ικανότητα να προσφέρουν και να συγκρατούν τα λιπαντικά λάδια (έλαια), σε ορισμένες περιπτώσεις είναι κατάλληλες για την κατασκευή μη λιπαινομένων εδράνων. Έδρανα ελάστρων κατασκευασμένα από συνθετικές ύλες, όταν τα συγκρίναμε με άλλα από ορείχαλκο, είδαμε ότι έδωσαν άριστα αποτελέσματα (μακρότερος χρόνος ζωής, καλύτερη απόδοση).

Η ικανότητα αποσθέσεως κρούσεων ή ταλαντώσεων, την οποία παρουσιάζουν οι συνθετικές ύλες είναι ανώτερη από την ανάλογη ικανότητα των μετάλλων περισσότερο από το 10πλάσιο, και γι' αυτό οδοντωτοί τροχοί από πολυαμίδες (νάϋλον) και άλλες συνθετικές ύλες λειτουργούν με πολύ μικρότερο θόρυβο από τους μεταλλικούς.

Αν διαιρέσομε το ειδικό βάρος κάθε υλικού με το ειδικό βάρος του νερού, ορίζομε ένα ειδικό συντελεστή που καθορίζει τη σχέση του ειδικού βάρους του υλικού προς το ειδικό βάρος του νερού.

Αν τώρα διαιρέσομε τη μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό κάθε υλικού με τον ειδικό αυτό συντελεστή καταλήγομε σε μια τελείως νέα κατάταξη των κατασκευαστικών υλικών.

Από τη νέα αυτή κατάταξη θλέπομε ότι, αν ενδιαφερόμαστε για το μικρό βάρος μιας κατασκευής, το προσφορότερο κατασκευαστικό υλικό δεν είναι πια ο χάλυβας.

Αν λάθομε υπόψη ότι το ειδικό βάρος των περισσοτέρων συνθετικών υλικών κυμαίνεται από 0,9% έως 2,0 g/cm³, θλέπομε ότι αυτά είναι προτιμότερα από το χάλυβα για τις περισσότερες κατασκευές.

Αντοχή του υλικού.

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Χάλυβας | $\sigma_b = 1000 \text{ N/mm}^2$ |
| 2. Ντουραλουμίνιο | $\sigma_b = 460 \text{ N/mm}^2$ |
| 3. Συνθετική ρητίνη πάνω σε καπλαμά | $\sigma_b = 250 \text{ N/mm}^2$ |

Αντοχή του υλικού διαιρεμένη με τον ειδικό συντελεστή.

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Συνθετική ρητίνη πάνω σε καπλαμά | $\sigma_b = 190 \text{ N/mm}^2$ |
| 2. Ντουραλουμίνιο | $\sigma_b = 160 \text{ N/mm}^2$ |
| 3. Χάλυβας | $\sigma_b = 128 \text{ N/mm}^2$ |

38.4 Διάδοση των συνθετικών υλών για μηχανολογικούς σκοπούς.

Σήμερα οι συνθετικές ύλες είναι περισσότερο εξειδικευμένες απ' ότι ήταν στο παρελθόν. Αντί λίγων θασικών συνθετικών υλών για τη βιομηχανία των πλαστικών, οι παραγωγοί παράγουν πολύ μεγαλύτερη ποικιλία συνθετικών υλών, από τις οποίες κάθε μια προσαρμόζεται στις ανάγκες ειδικών εφαρμογών.

Η τάση αυτή εξειδικεύσεως είναι σήμερα πολύ φανερή στα διάφορα είδη νάϋλον, αλλά αναμένεται ότι θα διαδοθεί και στα άλλα θερμοπλαστικά (παράγρ. 38.5), τα οποία χρησιμοποιούνται σε μηχανολογικές κατασκευές. Στη δεκαετία που πέρασε π.χ. η εταιρία Du Pont Co παρήγαγε 25 ποιότητες νάϋλον για ειδικές μηχανολογικές κατασκευές, ενώ σήμερα παράγει περίπου 75. Τα πλαστικά για μηχανολογικούς σκοπούς έχουν τη δυνατότητα υποκαταστάσεως των μετάλλων σε μεγάλη κλίμακα.

Οι κυριότεροι λόγοι της συνεχούς υποκαταστάσεως των μετάλλων και κραμάτων από τα πλαστικά στις μηχανολογικές κατασκευές είναι:

- α) Μικρότερο κόστος παραγωγής.
- β) Μικρότερη φθορά από τη χρήση.
- γ) Ευχερέστερη κατασκευή.
- δ) Μεγαλύτερη ανοχή διαστάσεων.
- ε) Απλούστερη σχεδίαση.

Ένα από τα καλύτερα παραδείγματα για το πόσο τα θερμοπλαστικά των μηχανολογικών κατασκευών εισχωρούν στην αγορά, όπου προηγουμένως επικρατούσαν τα μέταλλα, είναι η αγορά της βιομηχανίας του αυτοκινήτου.

Οι μεγαλύτερες εταιρίες αυτοκινήτων στον κόσμο General Motors και Ford ενδιαφέρθηκαν πρώτες για τα θερμοπλαστικά των μηχανολογικών κατασκευών, γιατί οι οδοντωτοί τροχοί από νάϋλον π.χ. κοστίζουν λιγότερο από τους μεταλλικούς. Από τότε που η βιομηχανία των αυτοκινήτων άρχισε να χρησιμοποιεί τα θερμοπλαστικά υλικά σε μηχανολογικές κατασκευές, αποδείχθηκε ότι αυτά είναι ανώτερα από τα αντίστοιχα μέταλλα σε ορισμένες εφαρμογές, για τους λόγους που αναφέραμε.

Κατά το 1960 κατά μέσο όρο σε 10.000.000 αυτοκίνητα στις ΗΠΑ χρησιμοποιήθηκαν 250 g νάϋλον ανά αυτοκίνητο για στοιχεία μηχανών. Οι τύποι (τα μοντέλα) αυτοκινήτων του 1970 περιέχουν περίπου 900 g νάϋλον ανά αυτοκίνητο και του 1971 κατά μέσο όρο 1400 g νάϋλον. Η διάδοση των πλαστικών για μηχανολογικές κατασκευές στη βιομηχανία του αυτοκινήτου δύμως δεν περιορίζεται στο νάϋλον. Τα αυτοκίνητα του 1970 περιέχουν επίσης κατά μέσο όρο πάνω από 450 g πολυακεταλών και πάνω από 180 g πολυανθρακικών πλαστικών.

Χαρακτηριστικό της προσπάθειας που καταβάλλεται για παραγωγή ειδικών συνθετικών υλών, είναι ένα πλαστικό που στο εμπόριο έχει το όνομα Lexan 500, προορισμένο να αντικαταστήσει χυτές κατασκευές από αλουμίνιο και ψευδάργυρο στη βιομηχανία αυτοκινήτου. Το υλικό αυτό κατασκευάστηκε έτσι, ώστε να συνδυάζει αντοχή σε εφελκυσμό και σε κρούση, δύμοια με εκείνη που έχουν ορισμένα κράματα αργιλίου και ψευδαργύρου, με μεγαλύτερη δύμως ελαστικότητα.

Η χρησιμοποίηση θερμοπλαστικών στις μηχανολογικές κατασκευές των αυτοκινήτων κερδίζει όλο και πιο πολύ έδαφος. Η εξάτμιση (σιωπητήρας) των αυτοκινήτων στα μοντέλα του 1971 της General Motors κατασκευάζεται με έγχυση του νάϋλον 6/6*.

Διάλεξαν αυτό το νάϋλον γιατί έχει καλές μηχανικές ιδιότητες και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και στη διάθρωση.

Επίσης, η εξάτμιση των νέων αυτοκινήτων της Ford κατασκευάζεται με χύτευση του νάϋλον 11**.

Αλλά τα θερμοπλαστικά εκτοπίζουν από τις μηχανολογικές κατασκευές και τα άλλα πλαστικά υλικά, κυρίως τα θερμοσκληρυνόμενα.

Ο κυριότερος λόγος είναι η μεγαλύτερη σκληρότητα των θερμοπλαστικών και η μεγαλύτερη ευχέρεια μορφοποιήσεώς τους συγκριτικά με τις θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες.

Ορισμένα από τα πλαστικά υλικά χρησιμοποιούνται με κατάλληλο οπλισμό διαφόρων ινών, όπως π.χ. ινών υαλοβάμβακα, για την αύξηση της αντοχής τους σε εφελκυσμό. Ο τρόπος συνεργασίας του οπλισμού της συνθετικής ύλης με αυτές τις ίνες, είναι ακριβώς ο ίδιος όπως και στη συνεργασία του σκυροδέματος με σιδερένιο οπλισμό στο οπλισμένο σκυρόδεμα.

Παρόλο που το κόστος των οπλισμένων συνθετικών υλών με διάφορες ίνες είναι μεγαλύτερο από τις απλές, αυτές διαδίδονται στις θερμοπλαστικές κατασκευές.

Έτσι π.χ. μια ποιότητα νάϋλον 6/6 οπλισμένη με υαλοβάμβακα έχει αντοχή σε εφελκυσμό κατά 25% μεγαλύτερη από την κανονική. Πρέπει να σημειώσουμε, ότι για τα επόμενα χρόνια αναμένεται η δημιουργία ποιοτήτων νάϋλον 6/6, οι οποίες θα παρουσιάσουν αντοχή σε εφελκυσμό κατά 50% έως και 100% μεγαλύτερη από τη σημερινή. Η Mercedes κατασκεύασε τη μάσκα του ψυγείου του αυτοκινήτου του έτους 1972 με χύτευση του νάϋλον 6/6, οπλισμένου με υαλοβάμβακα. Αυτό το απεφάσισαν εξαιτίας των εξής τεχνικών πλεονεκτημάτων:

Η μάσκα αυτή παρουσιάζει μικρή συστολή μετά τη χύτευση, οι βραχύτερες δε ίνες που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν λείες επιφάνειες που δεν χρειάζονται μετά τη χύτευση ειδική κατεργασία. Οι μάσκες δεν απαιτούν επίσης ηλεκτρική επιμετάλλωση πάνω στο πλαστικό και χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου.

Το εργοστάσιο κατασκευής αυτών των μασκών χρησιμοποιεί μηχανή χυτεύσεως με έγχυση και με ταχύτητα παραγωγής ενός τεμαχίου, που ζυγίζει 1,2 kg, ανά πρώτο λεπτό. Αυτή η μάσκα του αυτοκινήτου Mercedes προσφέρεται και σαν ανταλλακτικό για τις μάσκες και των πιο παλαιών αυτοκινήτων. Mercedes.

38.5 Τα κυριότερα θερμοπλαστικά για τις μηχανολογικές κατασκευές.

A) Ακετάλες.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτών των υλικών είναι ότι δεν είναι αυτοσθεν-

* Οι δυο αριθμοί 6 υποδηλώνουν ότι αυτό το νάϋλον παράγεται με πολυμερισμό δυο διαφορετικών μορίων που το καθένα έχει 6 άτομα άνθρακα.

** Ο αριθμός 11 υποδηλώνει το πλήθος ατόμων άνθρακα στο πολυμερισμένο μόριο της ουσίας.

νύμενα υλικά, δηλαδή εάν αναφλεγούν, συντηρούν την καύση μέχρι να καούν τελείως. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία του αυτοκινήτου, σε εγκαταστάσεις εσωτερικής υδρεύσεως για κατασκευή κρουνών, μπαταριών λουτήρων κλπ.

Β) Φθοριοπλαστικά (πολυτετραφθοριοαιθυλένιο και άλλα).

Παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση των φθοριοπλαστικών στη βιομηχανία κατασκευής ηλεκτρικών υπολογιστών. Επίσης η απλοποίηση της τεχνικής επενδύσεως με πολυτετραφθοριοαιθυλένιο αυξάνει τις εφαρμογές αυτού του πλαστικού για μηχανολογικές κατασκευές.

Γ) Βελτιωμένο πολυαιθυλενοξείδιο.

Αυτό το υλικό χρησιμοποιείται για μεγάλες κατασκευές, οι οποίες θα πρέπει να είναι ανθεκτικές στη θερμότητα, να μην είναι εύφλεκτες και να αντέχουν στην επίδραση του θερμού νερού.

Δ) Νάϋλον.

Όπως ήδη αναφέραμε, είναι το κυριότερο πλαστικό που χρησιμοποιείται σε μηχανολογικές κατασκευές. Μέχρι τώρα αναφέρονται τα: νάϋλον 11, νάϋλον 12, νάϋλον 6/12, νάϋλον 6/6 και τελευταία το νάϋλον 13.

Ε) Πολυανθρακικά πλαστικά.

Είναι από τα νεότερα πλαστικά, τα οποία παρουσιάζουν λαμπρό μέλλον για τις κατασκευές μηχανολογικών εξαρτημάτων.

Τα πολυανθρακικά πλαστικά χρησιμοποιούνται ιδίως όπου απαιτείται μεγάλη αντοχή σε κρούση.

ΣΤ) Πολυιμίδες.

Είναι πλαστικό με ραγδαία ανάπτυξη. Οι εφαρμογές των πολυιμίδων στις μηχανολογικές κατασκευές περιλαμβάνουν τεμάχια αεροπλάνων, έδρανα και ηλεκτρολογικά εξαρτήματα. Με την αύξηση της καταναλώσεως και του όγκου της παραγωγής αυτού του πλαστικού προβλέπεται η σημαντική ελάττωση της τιμής του.

Ζ) Οι στερεές, αλλά όχι αφρώδεις, πολυουρεθάνες.

Η γιγαντιαία Αγγλική εταιρία ICI παρήγαγε σειρά όχι αφρωδών πολυουρεθάνων που μπορούν να υποστούν μορφοποίηση μέσα στις μηχανές χυτεύσεως αφρώδους πολυουρεθάνης. Συγκριτικά με τους εύκαμπτους αφρούς πολυουρεθάνης τα υλικά αυτά έχουν καλύτερες κατασκευαστικές ιδιότητες.

Αν συγκριθούν οι νέες πολυουρεθάνες με οπλισμένους πολυεστέρες, οι οποίοι μορφοποιούνται με το χέρι, προσφέρουν καλές κατασκευαστικές ιδιότητες και πολύ χαμηλότερο κόστος μορφοποιήσεως. Αν συγκριθούν με θερμοπλαστικά που χυτεύονται με έγχυση και που έχουν παρόμοιες ιδιότητες αντοχής, οι νέες ουρεθάνες απαιτούν μήτρες και εξοπλισμό χαμηλότερου κόστους.

Οι νέες πολυουρεθάνες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή στοιχείων μηχανών στη ναυπηγική, στην ηλεκτροτεχνία, για την κατασκευή αυτοκινήτων κλπ. Στη βιομηχανία των αυτοκινήτων από τις νέες πολυουρεθάνες κατασκευά-

ζονται καπώ, καθίσματα, καλύμματα χώρου αποσκευών. Στις άλλες βιομηχανίες κατασκευάζονται οδοντωτοί τροχοί, σκάφη, ανεμιστήρες, έλικες, ειδικά τεμάχια σωλήνων κλπ. Τα νέα αυτά υλικά είναι αυτοσθεννύμενα, δηλαδή δεν συντηρούν την καύση τους, αλλά σβήνουν μόνα τους. Έχουν μεγάλη αντοχή στη θερμοκρασία και πολύ μεγάλη αντοχή σε κρούση. Το μικρό ιεώδες των δυο πρώτων υλών, από τις οποίες σχηματίζονται οι πολυουρεθάνες που έχομε αναφέρει, επιτρέπει χύτευση μεγάλων τεμαχίων χωρίς ατέλειες. Ο χρόνος πηκτωματοποιήσεως, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να γίνει ένα ρευστό υλικό στερεό, όπως η «πηκτή», είναι 4 έως 5 λεπτά και επαρκεί για την καλή ανάμιξη της αναγκαίας ποσότητας υλικού. Αν προστεθούν καταλύτες δημιουργούνται συστήματα που αντιδρούν πολύ πιο γρήγορα με χρόνους πηκτωματοποιήσεως από 30 έως 90 δευτερόλεπτα.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η ανάπτυξη και η διάδοση των νέων ουρεθανών οφείλεται περισσότερο στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν σε δι, τι αφορά την ευχέρεια της μορφοποιήσεως τεμαχίων για μηχανολογικές κατασκευές, παρά στις βελτιωμένες ιδιότητες που προσφέρουν τα νέα αυτά υλικά. Δηλαδή αν και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των στερεών ουρεθανών είναι καλές, δεν είναι σημαντικά ανώτερες ή διαφορετικές από τις ιδιότητες των άλλων πολυμερών, ώστε να παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σαν νέα υλικά. Όπως είπαμε, το τεράστιο πλεονέκτημά τους είναι η ευχέρεια μορφοποιήσεως τεμαχίων που αποτελούνται από αυτά τα υλικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

39.1 Μορφοποίηση των πλαστικών για μηχανολογικούς σκοπούς.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για μορφοποίηση των πλαστικών για μηχανολογικούς σκοπούς είναι βασικά οι ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται για τη μορφοποίηση των πλαστικών γενικά.

Επειδή η μορφοποίηση των θερμοπλαστικών για μηχανολογικές κατασκευές είναι πιο δύσκολη από ότι η μορφοποίηση των συνηθισμένων πλαστικών, οι μεγάλες εταιρίες κατασκευής μηχανών για μορφοποίηση πλαστικών κατασκευάζουν συνεχώς και νέους τύπους καταλλήλων μηχανών για τη μορφοποίηση των πλαστικών για μηχανολογικές κατασκευές.

Οι νέες μηχανές μορφοποιήσεως των πλαστικών για τις κατασκευές που αναφέραμε παρουσιάζουν ελάττωση του χρόνου κατασκευής για κάθε ένα μηχανολογικό τεμάχιο. Αυτό είναι το χαρακτηριστικό της προσπάθειας που καταβάλλεται για την ελάττωση γενικά του κόστους μορφοποιήσεως των πλαστικών για μηχανολογικές κατασκευές.

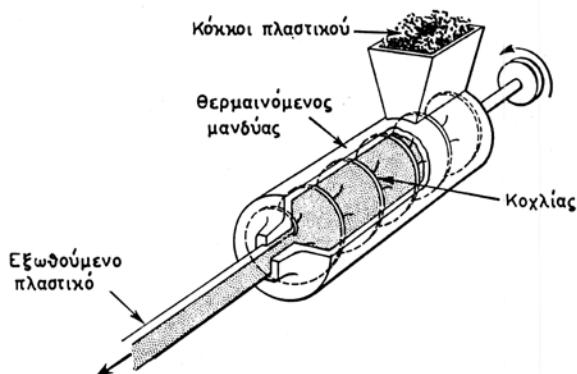
39.2 Χρησιμοποιούμενα μηχανήματα κατεργασίας.

Αναφορικά προς τα μηχανήματα μορφοποιήσεως που χρησιμοποιούμε, η χύτευση με έγχυση αποτελεί την κυριότερη μέθοδο για την παραγωγή εξαρτημάτων και διαδίδεται όλο και περισσότερο στην κατασκευή χυτών τεμαχίων βάρους πάνω από 5 kg και ιδίως εκείνων που κατασκευάζονται από νάϋλον ή πολυανθρακικές ρητίνες.

Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις διαδίδεται η χύτευση με εμφύσηση. Η διάδοση οφείλεται περισσότερο στη δημιουργία νέων υλικών καταλλήλων να υφίστανται την κατεργασία με εμφύσηση, παρά στο ότι τελειοποιούνται περισσότερο οι μηχανές που υπάρχουν. Τελευταία διαμορφώθηκε νέα επαναστατική μέθοδος μορφοποιήσεως για το νάϋλον 6, η οποία χαρακτηρίζεται από το ότι λαμβάνει χώρα ανιονικός πολυμερισμός του πλαστικού μέσα στη μήτρα (καλούπι). Η μέθοδος δίνει αντικείμενο από νάϋλον με αντοχή σε εφελκυσμό και ελαστικότητα πολύ μεγαλύτερη από εκείνο το τεμάχιο που θα έδινε μια ίδια χύτευση με πολυμερή έγχυση. Αφού το τεμάχιο πολυμερίζεται μέσα στο καλούπι, η μέθοδος είναι περισσότερο άμεση και σημαντικά πιο οικονομική από τη χύτευση με έγχυση.

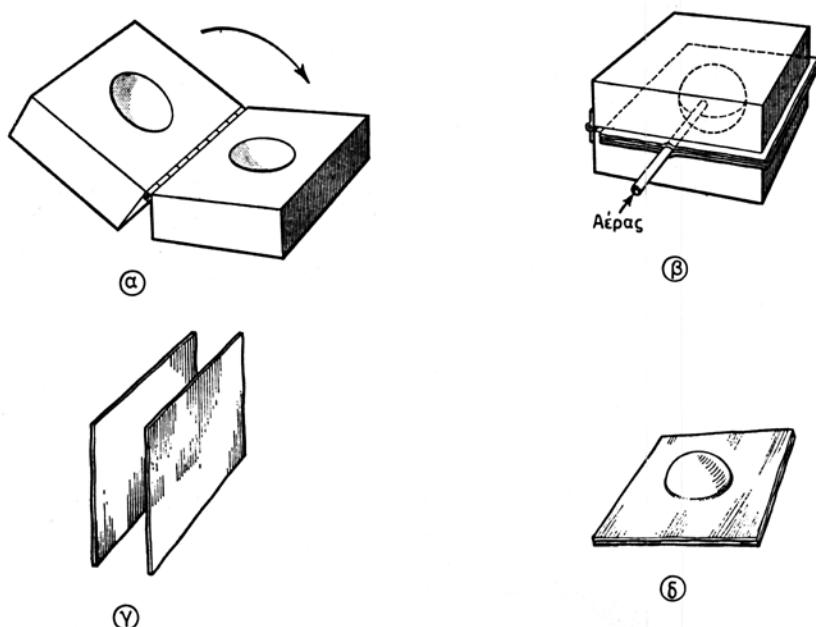
Αυτά τα χυτά τεμάχια από νάϋλον παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες εξελίξεως στον τομέα της μορφοποιήσεως περιπλόκων και οπλισμένων τεμαχίων από νάϋλον.

Στα σχήματα που ακολουθούν παριστάνονται οι διάφοροι τρόποι μορφοποιήσεως των πλαστικών:



Σχ. 39.2a.

Εξώθηση. Το πλαστικό όταν θερμαίνεται γίνεται μαλακό και στη συνέχεια ωθείται μέσα σε μια οπή (τρύπα) από την οποία εξέρχεται σαν συνεχές τεμάχιο με διατομή που καθορίζεται από το σχήμα της οπής.

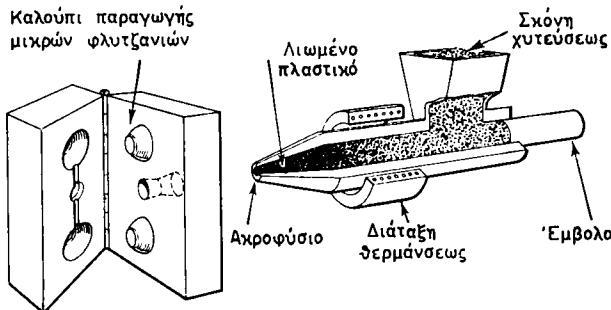


Σχ. 39.2b.

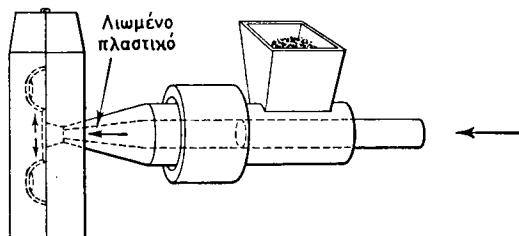
α) Ένα απλό καλούπι εμφυσήσεως αποτελείται από δυο μισά, τα οποία όταν κλείνουν σχηματίζουν ένα πλήρες καλούπι. β) Δυο φύλλα κυτταροειδούς θερμαίνονται για να γίνουν μαλακά γ) και μετά συμπιέζονται μεταξύ των δυο τμημάτων του καλουπιού. Με μια σύριγγα που εισάγεται μεταξύ των δυο φύλλων εμφυσάται αέρας. Ο αέρας πιέζει τα φύλλα και τα αναγκάζει να φουσκώνουν και να καταλάβουν το κοίλο σχήμα του καλουπιού. Τελικά εξάγεται η σύριγγα. δ) Όταν ψυχθεί το κυτταροειδές, διατηρεί το σχήμα που πήρε με την εμφύσηση.

To μέρος του φύλλου που δεν υπέστη εμφύσηση κόβεται.

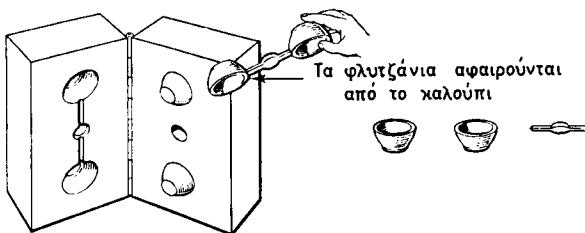
ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ



Η σκόνη χυτεύσεως τήκεται μέσα στο θάλαμο της μηχανής χυτεύσεως με έγχυση



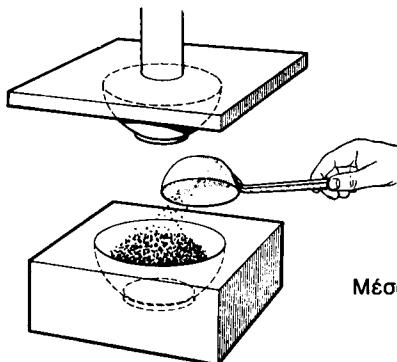
Το ακροφύσιο βρίσκεται σε επαφή με το καλούπι και το τηγμένο πλαστικό προωθείται μέσα στο καλούπι πιεζόμενο από το έμβολο



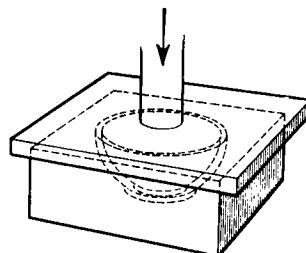
Σχ. 39.2γ.

- α) Εξώθηση (διέλαση) (σχ. 39.2α).
- β) Χύτευση με εμφύσηση (σχ. 39.2β).
- γ) Χύτευση με έγχυση (σχ. 39.2γ).
- δ) Χύτευση με πίεση (σχ. 39.2δ).

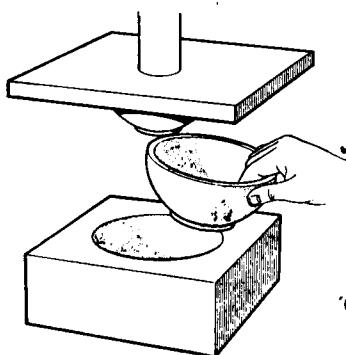
ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΠΙΕΣΗ



Μέσα σε κοίλο καλούπι τοποθετείται μετρημένη ποσότητα σκόνης χυτεύσεως.



Το έμβολο πιέζει τη σκόνη χυτεύσεως, η οποία μαλακώνει από το καλούπι που έχει θερμανθεί και διαρρέει πάροντας το σχήμα του καλουπιού. Το υλικό αν είναι θερμοσκληρυνόμενο, σκληρύνεται αν συνεχισθεί η θέρμανση μέσα στο καλούπι.



Όταν σκληρυνθεί το χυτό αντικείμενο, ανοίγει το καλούπι και το αντικείμενο εξάγεται.

Σχ. 39.2δ.

Το πλαστικό σκληραίνει μέσα στο ψυχρό καλούπι που είναι ανοικτό. Το στερεό πια πλαστικό χυτό αντικείμενο εξάγεται. Τα δυο φλυτζάνια που χυτεύθηκαν είναι ενωμένα μεταξύ τους με μια λωρίδα πλαστικού που σχηματίστηκε από τη στενή αύλακα μέσα από την οποία έρρευσε το πλαστικό στα καλούπια. Η λωρίδα αυτή κόβεται.

Σημείωση:

Οι σύγχρονες μηχανές χυτεύσεως με έγχυση είναι τελείως αυτόματες και όλη η διαδικασία (κύκλος της χυτεύσεως) τις περισσότερες φορές δεν ξεπερνάει τα λίγα δευτερόλεπτα. Η

ταχύτητα αυτών των μηχανών είναι πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα των μηχανών χυτεύσεως με πίεση των θερμοσκληρυνομένων πλαστικών.

Όταν ανακαλύφθηκαν αυτές οι μηχανές μπορούσαν να μορφοποιούν μικρά τεμάχια βάρους μέχρι 48 g περίπου.

Από τότε οι μηχανές εγχύσεως παρουσίασαν τεράστια εξέλιξη.

Σήμερα με τις μηχανές εγχύσεως χυτεύονται αντικείμενα όσο μεγάλο μέγεθος και αν έχουν, όπως π.χ. λουτήρες ή ακόμη και αμάξιμα αυτοκινήτων. Οι σύγχρονες μηχανές χυτεύσεως με έγχυση εκμεταλλεύονται τελείως τις θερμοπλαστικές ιδιότητες υλικών, όπως ο μεθακρυλικός πολυμεθυλεστήρας, το πολυαιθυλένιο, το πολυστυρένιο και η οξική κυτταρίνη.

39.3 Τα κυριότερα στοιχεία μηχανών που κατασκευάζονται.

Τα κυριότερα στοιχεία μηχανών που κατασκευάζονται από πλαστικά σήμερα είναι: οδοντωτοί τροχοί, ατέρμονες κοχλίες, ειδικοί οδοντωτοί τροχοί, περιβλήματα εδράνων, κοχλίες, περικόχλια, κεφαλές σφυρών, δακτύλιοι στεγανοποιήσεως, μανσέτες, έδρανα βαλβίδων, αρματούρες, τεμάχια περιβλημάτων, βραχίονες για θελόνες γραμμοφώνου και πολλά άλλα.

Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των στοιχείων μηχανών από συνθετική ύλη είναι η αθόρυβη λειτουργία τους. Ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα έδωσαν έδρανα από πολυαμίδη (νάϋλον), τα οποία έχουν πολύ καλές ιδιότητες λειτουργίας, ακόμη και κάτω από δυσμενείς συνθήκες.

Εκτός από τη συνηθισμένη λίπανση με λάδι, στα έδρανα από πολυαμίδη σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή και η λίπανση με νερό ή ακόμη και η λειτουργία τους χωρίς οποιαδήποτε λίπανση, με τον όρο όμως ότι η φόρτιση του εδράνου είναι χαμηλή. Γενικά είναι καλύτερα να προστίθεται στην αρχή της χρησιμοποίησεως ενός εδράνου από πολυαμίδη ελάχιστη ποσότητα λαδιού για τις πρώτες ώρες λειτουργίας του.

Σαν αυτολιπανόμενες διατάξεις στεγανοποιήσεως και έδρανα ενδείκνυνται συνδυασμοί με γραφίτη και διθειούχο μολυθδαίνιο, στους οποίους δεν χρειάζεται προσθήκη λιπαντικού.

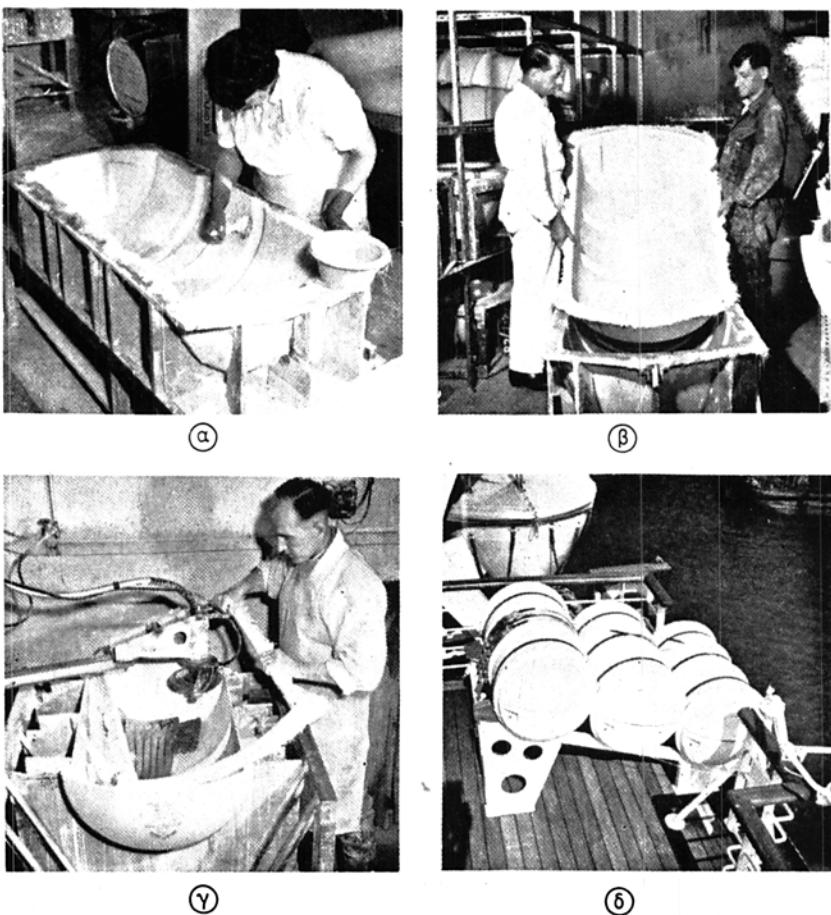
Στη βιομηχανία κατασκευής μηχανημάτων υφαντουργίας χρησιμοποιούνται επίσης οι πολυαμίδες σαν οδηγοί του νήματος, σαν δακτυλιωτοί δρομείς-άτρακτοι σε αργαλειούς, συγκροτήματα οδηγήσεως σε αργαλειούς, πηνία και πολλά άλλα τεμάχια που αντέχουν στη φθορά από τριβή.

Στην ηλεκτροτεχνία οι πολυαμίδες (νάϋλον), κατά τα πρώτα έτη από την ανακάλυψή τους, εξαιτίας της σχετικά μεγάλης ικανότητάς τους προσλήψεως υγρασίας, δεν χρησιμοποιούνταν πολύ σαν μονωτικές ύλες και μόνο σε μερικές ειδικές περιπτώσεις χρησίμευαν σε μορφή ταινιών ή φύλλων για τη μόνωση συρμάτων ή καλωδίων ή για τη μόνωση των αυλάκων του δρομέα γεννητριών ή ηλεκτροκινητήρων.

Αντίθετα χρησιμοποιούνταν σε μεγάλη έκταση σαν ανθεκτικές επενδύσεις στη φθορά από τριβή καλωδίων και αγωγών επενδυμένων με άλλο μονωτικό υλικό.

Σε συνδυασμό με άλλες ρητίνες, οι διαλυτές συμπολυμερείς αμίδες έδωσαν έξοχα αποτελέσματα σαν μονωτικά θερνίκια για την ηλεκτρική βιομηχανία.

Η ανάπτυξη πολυαμιδών με μικρή ικανότητα προσλήψεως νερού (π.χ. πολυαμίδη

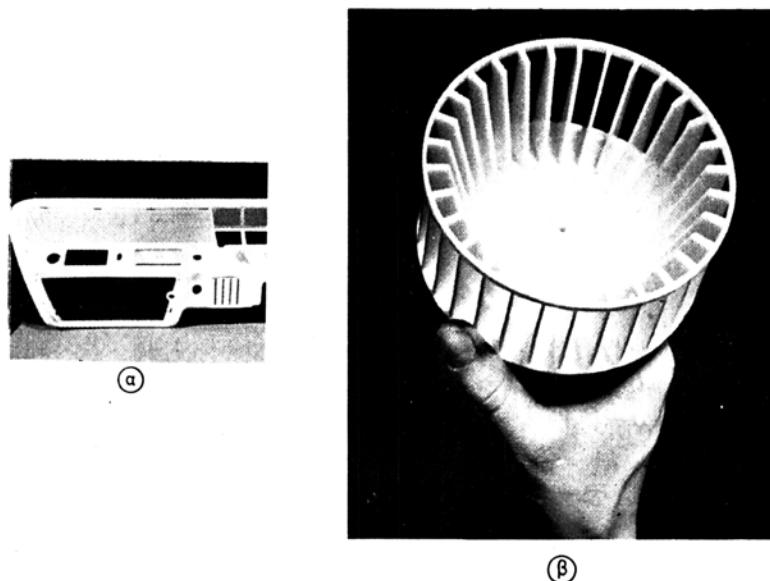


Σχ. 39.3α.

Κατασκευές από πολυεστέρες που έχουν οπλισθεί με υαλοβάμβακα. Οι υποδοχείς τοποθετήσεως των σωσιθών σχεδιών των πλοίων χυτεύονται από πολυεστέρες που έχουν οπλισθεί με υαλοβάμβακα. Έχουν εξαιρετικές μηχανικές αντοχές, είναι ανοξείδωτοι και δεν προσβάλλονται από τις καρικές επιδράσεις. Κατασκευή της υποδοχής: α) Η ρητίνη του πολυεστέρα επαλείφεται πάνω στο ύφασμα από ίνες γυαλιού με πινέλα και κυλινδρικούς χρωστήρες. β) Τα τεμάχια εξάγονται από το καλούπι και φέρονται σε «θερμό θάλαμο» για τη συμπλήρωση της σκληρύνσεως του πολυεστέρα. γ) Γίνεται προσεκτική κατεργασία των δυο μισών μερών της υποδοχής για να εξαλειφθούν ανώμαλες ακμές. δ) Οι υποδοχές είναι έτοιμες.

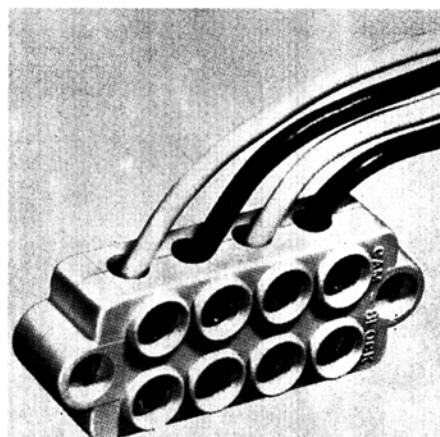
6/10, πολυαμίδη 11) επέτρεψε τη χρησιμοποίηση των πολυαμιδών για την παρασκευή πηνίων, πλακών μονώσεως βάσεων για φωτιστικούς λαμπτήρες και τεμαχίων συνδέσεως πλήκτρων εξαρτημάτων τηλεφώνων κλπ. Επίσης χρησιμοποιούνται και στη ναυπηγική τεμάχια από πολυαμίδες όλο και περισσότερο. Αναφέρονται πυξίδες σφαιρικών τριβέων, πυξίδες κυλιδρικών τριβέων, παρεμβύσματα σιδηροτροχιών,

πτερύγια ανεμιστήρων, τεμάχια μετρητών ταχύτητας, τεμάχια μετρηκών διατάξεων, έλικες πλοίων και άλλα πολλά. Στα σχήματα 39.3α έως 39.3ι εικονίζονται διάφορες εφαρμογές των πλαστικών.



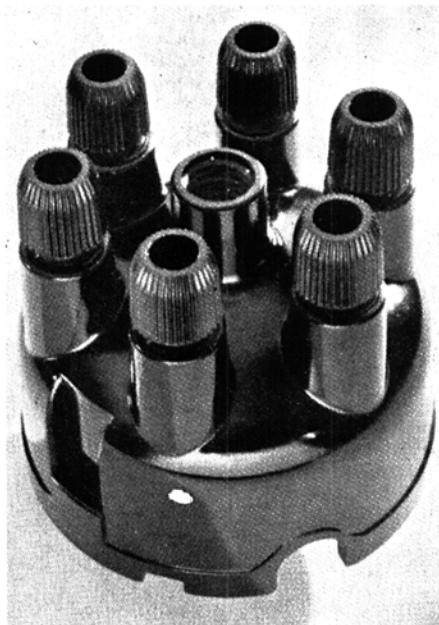
Σχ. 39.36.

α) Περίθλημα πίνακα οργάνων αυτοκινήτου από ακετάλη, κατασκευασμένο με έγχυση. Έχει μηχανική αντοχή που προσεγγίζει την αντίστοιχη των μη σιδηρούχων μετάλλων και έχει πολλές ιδιότητες που μοιάζουν με αυτές των μετάλλων. β) Πτερωτή φυσητήρα για καλοριφέρ αυτοκινήτου από ακετάλη που έχει μορφοποιηθεί με έγχυση.



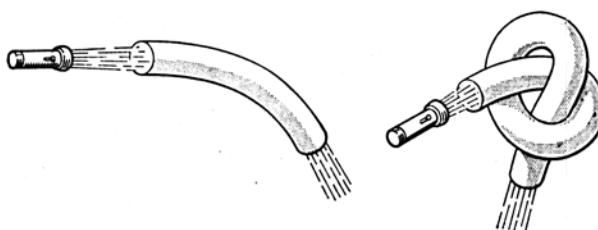
Σχ. 39.3γ.

Οι πολυανθρακικές ενώσεις έχουν επιλεγεί για την κατασκευή ηλεκτρικών ακροδεκτών εξαιτίας των καλών διηλεκτρικών και μηχανικών ιδιοτήτων αντοχής που έχουν.

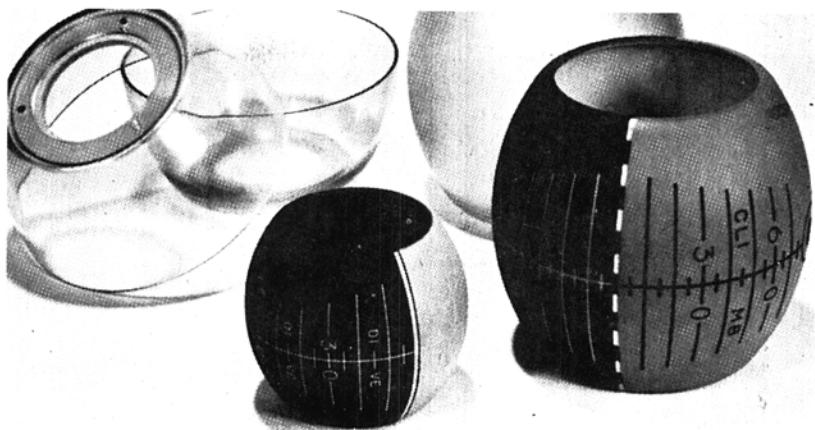


Σχ. 39.3δ.
Φαινολικά πλαστικά.

Το εικονιζόμενο κάλυμμα του διανομέα κινητήρα αυτοκινήτου το οποίο έχει χυτευθεί από φαινολικά πλαστικά, αποτελεί έξοχο παράδειγμα έτοιμου τεμαχίου με περίπλοκο σχήμα, το οποίο μπορεί να κατασκευασθεί εύκολα με τα σύγχρονα πλαστικά.

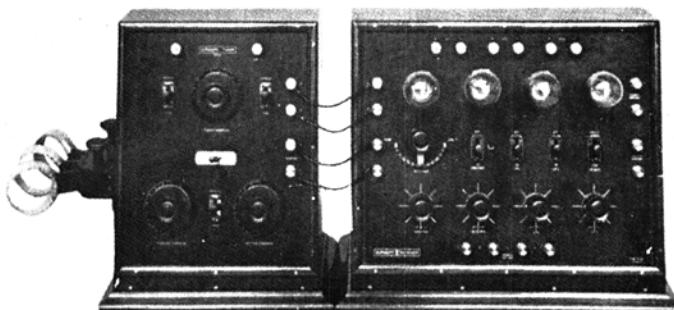


Σχ. 39.3ε.
Μέσα σε ειδικές ράθδους από μεθακρυλικό πολυμεθυλεστέρα το φως μεταδίδεται κατά οποιαδήποτε καμπύλη τροχιά.



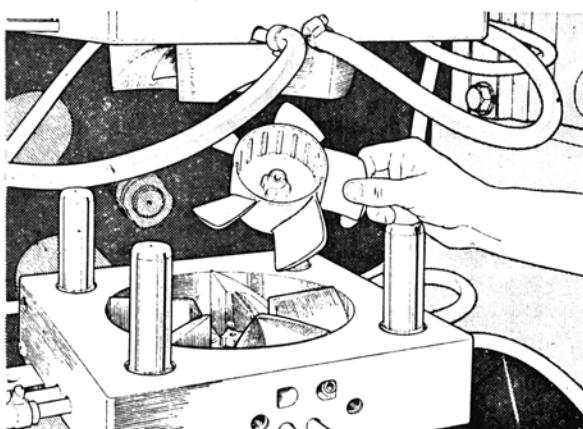
Σχ. 39.3στ.

Τα εικονιζόμενα τεμάχια οργάνων ακρίβειας για την αεροπλοΐα έχουν χυτευθεί με έγχυση πολυανθρακικών ρητινών.



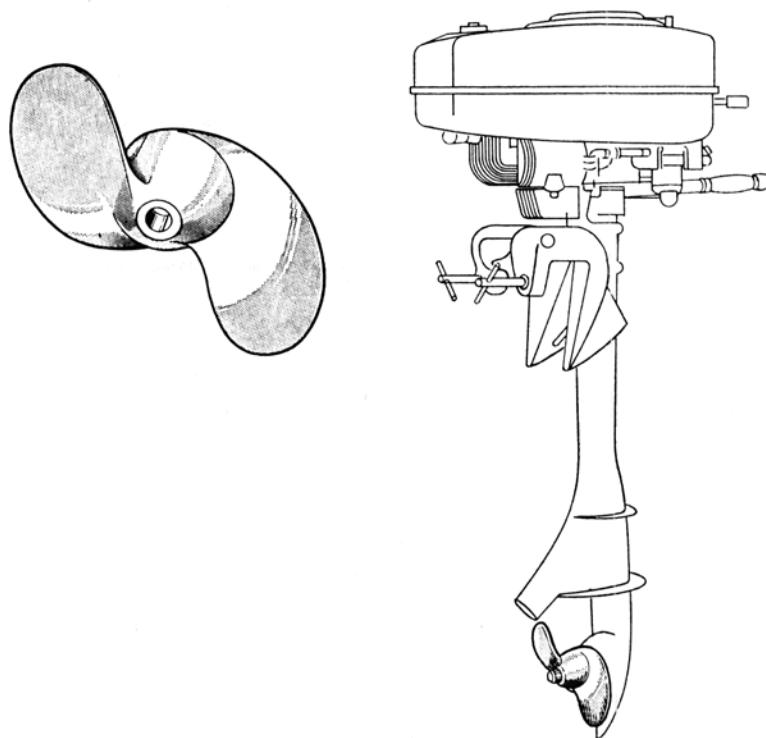
Σχ. 39.3ζ.

Ο βακελίτης ήταν το πρώτο συνθετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των πρώτων δεκτών ραδιοφώνων πριν από 50 χρόνια.



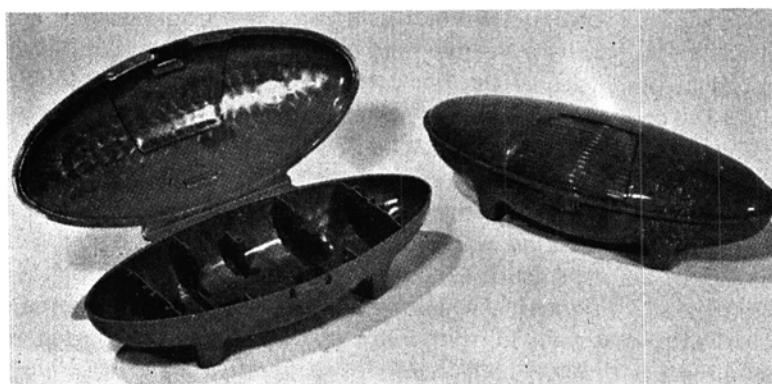
Σχ. 39.3η.

Χύτευση με πίεση. Πτερωτή ανεμιστήρα από μελαμίνη - φορμαλδεΰδη.



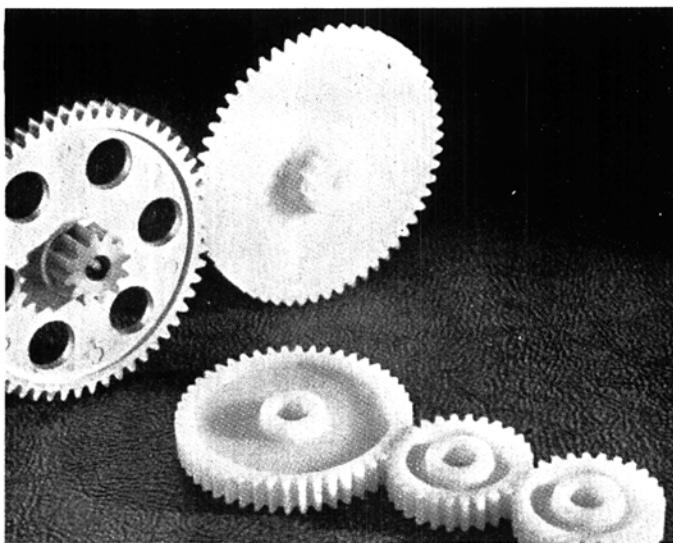
Σχ. 39.3θ.

Η έλικα από νάυλον της εικονιζόμενης εξωλέμβιας μηχανής είναι σκληρή, στερεή, ανθεκτική σε κρούσεις και δεν προσβάλλεται από διάδρωση στο θαλάσσιο νερό. Κατασκευάζεται εύκολα και με χαμηλό κόστος. Η εξαιρετική αντοχή στην τριθή από φθορά είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τα αθαθή νερά, όπου η έλικα πολλές φορές έρχεται σε επαφή με τον πυθμένα.



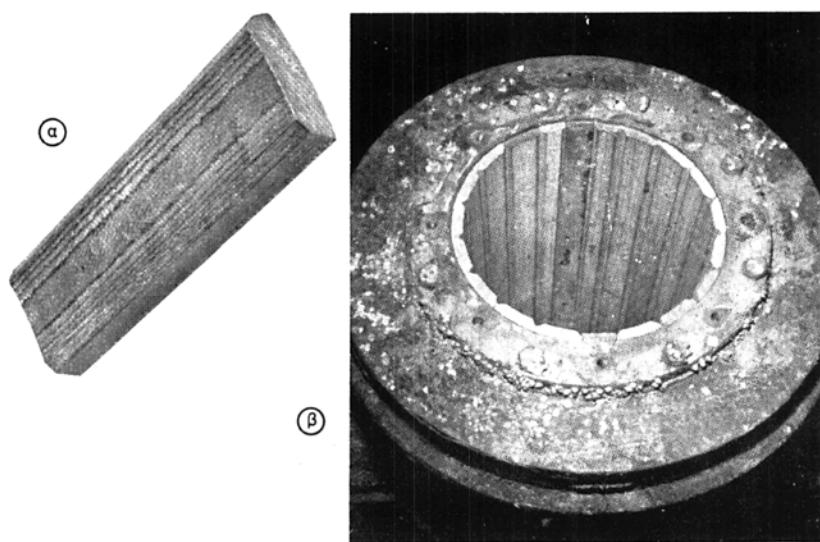
Σχ. 39.3ι.

Το εικονιζόμενο αντικείμενο έχει κατασκευαστεί από πολυπροπυλένιο με μέθοδο χυτεύσεως σε μία φάση εργασίας κινητών τεμαχίων που συνδέονται με στροφείς.



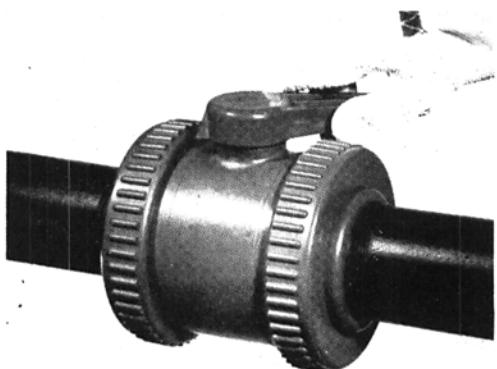
Σχ. 39.3ια.

Οδοντωτοί τροχοί από νάυλον έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή, στερεότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής και παρέχουν εξαιρετικές συνθήκες λειτουργίας: Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη, δεν απαιτούν λίπανση και διατηρούν μεγάλη αντοχή στην τριθή από φθορά ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες.

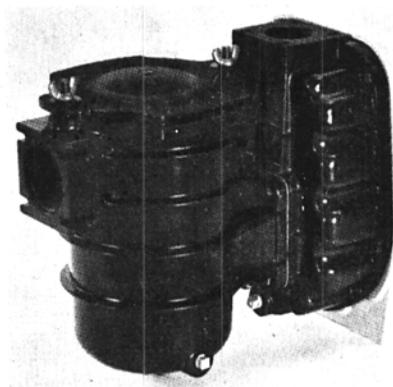


Σχ. 39.3ιβ.

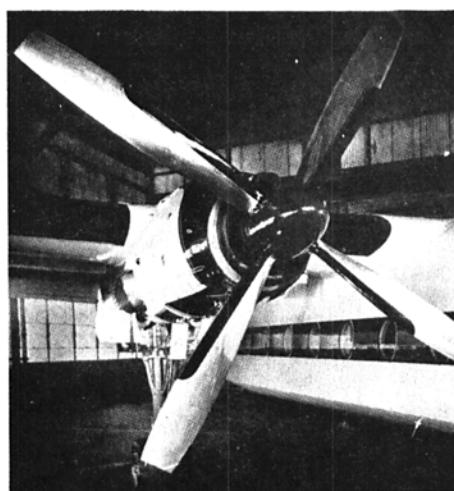
Τα έδρανα του άξονα της έλικας σε πλοιά 45.000 τόννων και πάνω επενδύονται με φύλλα πλαστικού:
α) Τεμάχιο φύλλου από πλαστικό για επένδυση εδράνου πλοίου. β) Έτοιμο έδρανο πλοίου.



Σχ. 39.1γ.
Βαλβίδα με σφάρα από χλωριαμένο πολυαιθέρα που έχει χυτευθεί με έγχυση.



Σχ. 39.3ιδ.
Κύριο σώμα φυγοκεντρικής αντλίας κατασκευασμένο από πολυακετάλη.



Σχ. 39.3ιε.
Οι έλικες των αεροπλάνων προστατεύονται με πλαστική επένδυση έναντι των καιρικών επιδράσεων.

39.4 Κατασκευή μεγάλων αντικειμένων από θερμοπλαστικά.

Η βιομηχανία των αυτοκινήτων που μπορεί να χαρακτηριστεί σαν η πιο σημαντική από τις μηχανολογικές βιομηχανίες, πρώτη άρχισε να χρησιμοποιεί μεγάλες μηχανές χυτεύσεως με έγχυση και μορφοποίηση κάτω από πίεση για την κατασκευή μεγάλων τεμαχίων από πλαστικά υλικά. Οι μηχανές αυτές έχουν βάρος 2000 τόννων και πάνω. Μεγάλος αριθμός εργοστασίων αυτοκινήτων εγκαθιστά επίσης μεγάλες

μηχανές μορφοποιήσεως με πίεση, για την παραγωγή οπλισμένων πλαστικών τεμαχίων από συνθετικές ύλες με μορφή φύλλων.

Οι μηχανές αυτές έχουν βάρος 1500 τόννους. Αυτοκίνητα, τα οποία προορίζονται και για ανώμαλα εδάφη, θα κατασκευάζονται τελείως από οπλισμένο πολυεστέρα στα τεράστια πιεστήρια που αναφέραμε.

Άλλα προϊόντα, που παράγονται με τη μέθοδο χυτεύσεως με πίεση, είναι στοιχεία δομικών κατασκευών, έτοιμες πόρτες, έτοιμα διαχωρίσματα σπιτιών και άλλα. Η διάδοση όλων αυτών θα φέρει πραγματική επανάσταση στις δομικές κατασκευές.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Σύντομο ιστορικό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ιδιότητες και δομή των μετάλλων

2.1 Μόρια και άτομα	4
2.2 Η δομή του ατόμου	5
2.3 Σχηματισμός των χημικών ενώσεων. Ατομικοί δεσμοί	5
2.4 Ορισμός και ιδιότητες των μετάλλων	9
2.5 Η κρυσταλλική δομή των μετάλλων	10

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Ορισμοί - Γενικότητες

3.1 Το κράμα	17
3.2 Το στερεό διάλυμα	18
3.3 Το ευτηκτικό κράμα ή ευτηκτική	19
3.4 Οι μεσομεταλλικές ενώσεις	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας του κράματος

4.1 Γενικά	21
4.2 Κατασκευή του θερμικού διαγράμματος ισορροπίας του κράματος	21
4.3 Μεταβολές στην κρυσταλλική δομή του κράματος	22

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ**Μέθοδοι δοκιμασιών**

29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ**Η δοκιμασία εφελκυσμού και θλίψεως**

31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ**Η δοκιμασία σκληρότητας**

7.1 Η μέθοδος Brinell	35
7.2 Η μέθοδος Vickers	37
7.3 Η μέθοδος Rockwell	38
7.4 Η μέθοδος Shore	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ**Η δοκιμασία σε χρούση
(δοκιμασία δυσθραυστότητας)**

40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ**Η δοκιμασία κοπώσεως**

43

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ**ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ - ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΣΚΛΗΡΩΣΗ - ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ****ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ****Η σκλήρωση**

46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝДЕΚΑΤΟ**Ο μηχανισμός της πλαστικής παραμορφώσεως**

48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ**Ψυχρηλασία των μετάλλων και κραμάτων - Ανακρυστάλλωση**

51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ**Θερμηλασία των μετάλλων**

54

ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ
Η ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Σιδηρομεταλλεύματα

56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

Η μεταλλουργία του σιδήρου

15.1 Γενικά	57
15.2 Παρασκευή χυτοσιδήρου	58
15.3 Παρασκευή του σφυρήλατου σιδήρου και χάλυβα	62

ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ

ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

Αλλοτροπίες του σιδήρου

66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

Το θερμικό διάγραμμα ισορροπίας των κραμάτων σιδήρου και άνθρακα

17.1 Το πλήρες διάγραμμα	68
17.2 Η περιοχή των ανθρακούχων χαλύβων	70

ΜΕΡΟΣ ΕΒΔΟΜΟ

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

Γενικά από τη θεωρία των θερμικών κατεργασιών

18.1 Ορισμός, σημασία και είδη θερμικών κατεργασιών	76
18.2 Επίδραση της ταχύτητας αποψύξεως	78
18.3 Συνδυασμός των καμπυλών αποψύξεως χάλυβα και του διαγράμματος Χ-Θ-Μ	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

Οι θετικές κατεργασίες των χαλύβων στην πράξη

19.1 Μέτρηση της θερμοκρασίας	84
19.2 Πλήρης ανόπτηση ή ανόπτηση	89
19.3 Εξομάλυνση	93
19.4 Ανόπτηση σφαιροποιήσεως σεμεντίτη	95
19.5 Ανόπτηση για ανακυρστάλλωση	96

19.6 Αποτατική ανόπτηση	96
19.7 Βαρή	96
19.8 Επαναφορά	103
19.9 Επιφανειακή σκλήρωση των χαλύβων	109
19.10 Κλίβανοι θερμικών κατεργασιών	119
19.11 Θερμικές κατεργασίες χαλυβοκραμάτων	124

ΜΕΡΟΣ ΟΓΔΟΟ

ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

Γενικά περί των χαλυβοκραμάτων

20.1 Τα μειονεκτήματα των ανθρακούχων χαλύβων	128
20.2 Επίδραση των προσθηκών. Είδη χαλυβοκραμάτων	129
20.3 Οι ακαθαρσίες των χαλύβων	144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

Βιομηχανικές χρήσεις των χαλύβων

21.1 Η τυποποίηση των χαλύβων	146
21.2 Χάλυνθες κατασκευών	148
21.3 Χάλυνθες εργαλείων	152
21.4 Ειδικά χαλυβοκράματα	158

ΜΕΡΟΣ ΕΝΑΤΟ

ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Γενικά περί χυτοσιδήρων

164

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

Λευκοί και φαιοί χυτοσιδηροί

23.1 Λευκοί χυτοσιδηροί	166
23.2 Φαιοί χυτοσιδηροί	167

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Μαλακτοποιημένοι χυτοσιδηροί

169

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

Χυτοσιδηροί σφαιροειδούς γραφίτη

172

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

Ειδικοί χυτοσιδηροί

173

ΜΕΡΟΣ ΔΕΚΑΤΟ
ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Γενικά	175
--------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

Ο χαλκός και τα κράματά του

27.1 Ο χαλκός	175
27.2 Τα κράματα του χαλκού	176

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

Το αργίλιο και τα κράματά του

28.1 Το αργίλιο (αλουμίνιο)	181
28.2 Τα κράματα του αργιλίου	182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

Το μαγνήσιο και τα κράματά του

29.1 Το μαγνήσιο	189
29.2 Τα κράματα του μαγνησίου	189

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ

Ο ψευδάργυρος και τα κράματά του

30.1 Ο ψευδάργυρος	191
30.2 Τα κράματα του ψευδαργύρου	191

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

Ο μόλυβδος και τα κράματά του

31.1 Ο μόλυβδος	192
31.2 Τα κράματα του μολύβδου	192

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Το νικέλιο και τα κράματά του

32.1 Το νικέλιο	193
32.2 Τα κράματα του νικελίου	193

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

**Αντιριδικά κράματα
ή κράματα εδράνων ολισθήσεως**

33.1 Γενικά	196
33.2 Αντιριδικά κράματα με βάση το χαλκό	197
33.3 Λευκά μέταλλα	197

**ΜΕΡΟΣ ΕΝΔΕΚΑΤΟ
ΚΟΝΙΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Γενικά περί κονιομεταλλουργίας

199

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

Οι φάσεις της κονιομεταλλουργίας

35.1 Η παραγωγή των κόνεων (σκόνης)	201
35.2 Ανάμιξη των συστατικών	202
35.3 Συμπίεση	202
35.4 Πυροσυσσωμάτωση	204
35.5 Δευτερεύουσες φάσεις της κονιομεταλλουργίας	204

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

Εφαρμογές της κονιομεταλλουργίας

36.1 Τα σκληρομέταλλα με καρβίδια ή απλώς σκληρομέταλλα	206
36.2 Άλλες εφαρμογές της κονιομεταλλουργίας	210

ΜΕΡΟΣ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ (ΠΛΑΣΤΙΚΑ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

Οι συνθετικές ύλες

37.1 Γενικά	211
37.2 Υποδιαιρεση των συνθετικών υλών	212
37.3 Διάφορες εφαρμογές των συνθετικών υλών	215

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

Οι συνθετικές ύλες για μηχανολογικές κατασκευές

38.1 Υποδιαιρεση των συνθετικών υλών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για μηχανολογικές κατασκευές	217
38.2 Αναγνώριση του είδους μιας συνθετικής ύλης	217
38.3 Ιδιότητες των συνθετικών υλών	218
38.4 Διάδοση των συνθετικών υλών για μηχανολογικούς σκοπούς	219
38.5 Τα κυριότερα θερμοπλαστικά για τις μηχανολογικές κατασκευές	220

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

Εφαρμογές των πλαστικών

39.1 Μορφοποίηση των πλαστικών για μηχανολογικούς σκοπούς	223
39.2 Χρησιμοποιούμενα μηχανήματα κατεργασίας	223
39.3 Τα κυριότερα στοιχεία των μηχανών που κατασκευάζονται	227
39.4 Κατασκευή μεγάλων αντικειμένων από θερμοπλαστικά	234





COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

