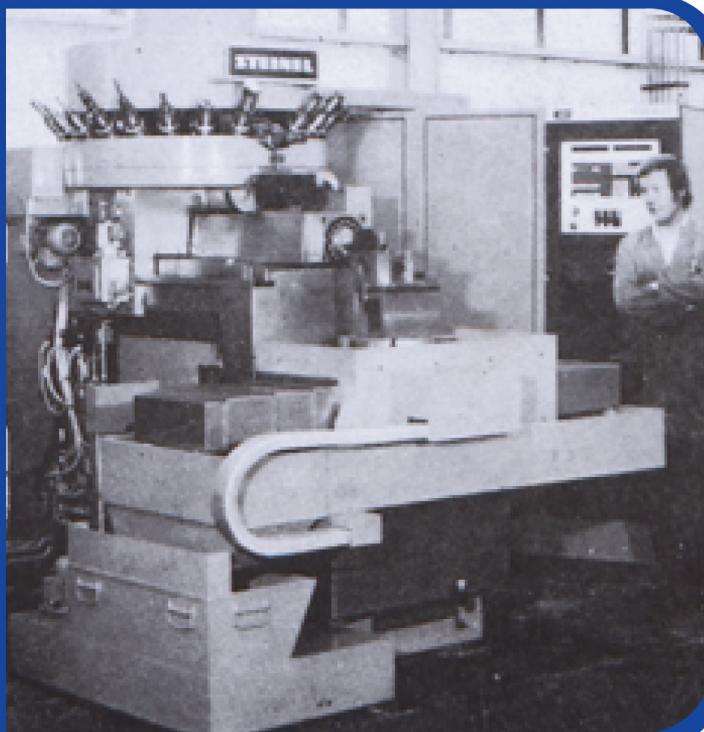




# ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Πέτρου Γ. Πετροπούλου

ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ Α.Π.Θ.





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 «Ιδρυμα 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 Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών 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 ανατίθεται 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 θέσει στη διάθεση τού Κράτους όλη αυτή την πείρα 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 Υ.ΠΕΠΘ.

Του βιβλίου αυτού υπάρχει τρίτη έκδοση με τίτλο: «Μηχανουργική Τεχνολογία – Εργαστήριο II».

Το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο προτίμησε ως καταλληλότερη για τους μαθητές προς τους οποίους απευθύνεται τη Β' έκδοση του 1984.

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.

Σταμάτης Παλαιοκρασίας, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Χρήστος Σιγάλας, Δι/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 Νίδιας (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Στετσέρης (1956-1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960-1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Παναγιώτης Χατζικώνου (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, Χρυσόστομος Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Γεώργιος Ρούσσος (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δι/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Ιγνάπος Χατζηευστρατίου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δι/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δι/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαβάς (1989-1993) Φιλόλογος, Δι/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Εμ. Τρανούδης (1993-1996) Δι/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.



# ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

ΠΕΤΡΟΥ Γ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ  
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ Α.Π.Θ.

ΑΘΗΝΑ  
1998



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

**Βασικό αντικείμενο του τόμου αυτού, του πρώτου της Μηχανουργικής Τεχνολογίας του Τεχνικού και Επαγγελματικού Λυκείου, αλλά και εκείνου που θα ακολουθήσει, είναι οι κατεργασίες κοπής των μετάλλων και οι εργαλειομηχανές κοπής.**

Η πολύ πλατιά χρήση των κατεργασιών κοπής στη βιομηχανική πράξη, τόσο των βασικών από αυτές (τόρνευση, τρυπάνισμα, πλάνισμα, φραιζάρισμα και λείαση), δυστίκη και των ποικίλων παραλλαγών τους, οφείλεται σε τούτο το βασικό τους πλεονέκτημα, αν τις συγκρίνουμε με τις λοιπές κατεργασίες και μεθόδους μορφοποίησεως μεταλλικών προϊόντων: παρέχουν γενικά ακρίβεια διαστάσεων και μορφής ψηλής στάθμης, όπως και καλή τραχύτητα επιφάνειας. Είναι δυνατό, με τις κατεργασίες αυτές, να επιτύχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και την καλύτερη δυνατή τραχύτητα επιφάνειας με παραγωγικό κόστος βεβαίως ανάλογα ψηλό.

Όμως, για να συντελεσθεί η μηχανουργική παραγωγή, εκτός από την κατάλληλη κατά περίπτωση εργαλειομηχανή και το κάταλληλο κοπτικό εργαλείο, συμμετέχουν ο τεχνίτης, που χειρίζεται την εργαλειομηχανή, το κατεργαζόμενο υλικό και ο έλεγχος, τον οποίο διενεργούμε με τη βοήθεια των προβλεπομένων μετρητικών οργάνων. Με τον έλεγχο αυτό διαπιστώνομε κάθε φορά, αν το κομμάτι που κατασκευάζομε ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές, που έχουμε προκαταβολικά θέσει γι' αυτό. Εποι, πέρα από τα σχετικά με τις κατεργασίες κοπής και με τις εργαλειομηχανές, αφιερώνομε στον τόμο αυτό και δύο ξεχωριστά Κεφάλαια, όπως θα δούμε παρακάτω. Το ένα από αυτά αναφέρεται στις μηχανουργικές μετρήσεις και το άλλο στα μηχανουργικά υλικά.

Σε ορισμένα από τα αντικείμενα των μηχανουργικών μετρήσεων (π.χ. πρότυπα πλακίδια, συγκριτικές μετρήσεις, συναρμογές και ανοχές τους) ίσως φανεί στον αναγνώστη ότι έχουμε επεκταθεί περισσότερο από δ.τι πρέπει. Αυτό το θεωρήσαμε αναγκαίο, γιατί οι σημερινές απαιτήσεις για ακρίβεια στις μηχανουργικές κατασκευές είναι αρκετά αυστηρές (πολύ παραπάνω από την ακρίβεια που επιτυγχάνουμε με το παχύμετρο ή και με το μικρόμετρο).

Η συγγραφή του βιβλίου αυτού έγινε με βάση το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Καταβάλλαμε κατά τη συγγραφή κάθε προσπάθεια και φροντίδα ώστε, για καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου του βιβλίου, να περιληφθούν σ' αυτό τα απαραίτητα σχήματα ή εικόνες. Επίσης, όπου ήταν δυνατό, παραθέσαμε και σχετικούς πίνακες προτυποποιήσεως.

Για να αποφύγομε επαναλήψεις, κάνομε πάρα πολλές παραπομπές.

Τονίζουμε ίδιαίτερα και πάλι εδώ, ότι οι γνώσεις που παρέχονται στο μαθητή με

*το βιβλίο αυτό, θα πρέπει να συνδυάζονται με εποπτική διδασκαλία και με πρακτική δισκηση στο μηχανουργείο, για να επιτευχθεί έτσι το βέλτιστο αποτέλεσμα της εκπαίδευσεως.*

*Το κείμενο διαιρείται σε τρία Μέρη και σε εννέα Κεφάλαια.*

*Στο πρώτο Μέρος περιγράφεται το μηχανουργείο και δίνονται ορισμένα στοιχεία σχετικά με την οργάνωση και τη λειτουργία του, όπως και με την ασφάλεια κατά την εργασία μέσα σ' αυτό. Επίσης, συμπληρώνονται τόσο οι μηχανουργικές μετρήσεις, δύο και τα μηχανουργικά υλικά, που έχαμε αρχίσει στο Μηχανολογικό Εργαστήριο, με νέα απολύτως χρήσιμα αντικείμενα.*

*Στο δεύτερο Μέρος, μετά από μία ταξινόμηση των κατεργαστιών κοπής και των συναφών εργαλειομηχανών που επιχειρούμε, αναπτύσσομε, δύο απλούστερα γίνεται, τις θεμελειώδεις αρχές της κοπής των μετάλλων και κατόπιν μελετούμε τη δομή των εργαλειομηχανών. Το Μέρος αυτό είναι γενικό και από αυτό ο μαθητής θα πάρει συστηματοποιημένες γνώσεις, που θα τον βοηθήσουν σημαντικά στην κατανόηση των βασικών κατεργαστιών κοπής και εργαλειομηχανών, με τις οποίες θα αρχίσουμε στο τρίτο Μέρος, και που θα συνεχισθούν και στον επόμενο τόμο.*

*Στο τρίτο Μέρος προτάσσουμε ένα Κεφάλαιο (Κεφάλ. 7) για τη συντήρηση των εργαλειομηχανών και κατόπιν ασχολούμαστε με τις βασικές κατεργασίες κοπής και τις συναφείς εργαλειομηχανές, αρχίζοντας από το τρυπάνισμα και το δράπανο (Κεφάλ. 8) και από το πλάνισμα και την πλάνη (Κεφάλ. 9). Για κάθε κατεργασία δίνομε την αρχή στην οποία αυτή βασίζεται, τις δυνατότητες, τις οποίες έχει και περιγράφομε την εργαλειομηχανή, στην οποία εκτελείται η κατεργασία. Επί πλέον παρέχομε στοιχεία για τη σωστή εκτέλεσή της (πρόσβεση κομματιού, εργαλείου κλπ), όπως και για την εκλογή των συνθηκών κατεργασίας, της γεωμετρικής μαρφής του κοπικού έργαλείου και του υγρού κοπής. Τέλος με εύχρηστες σχέσεις προσδιορίζομε την κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής και την ισχύ κοπής.*

*Ο συγγραφέας*



## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

### ΤΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟ. ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

#### ΤΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟ

**1.1 Περιγραφή, οργάνωση και λειτουργία του μηχανουργείου.**

**1.1.1 Πώς συγκροτείται το μηχανουργείο.**

**Μηχανουργείο** είναι ο εργοστασιακός χώρος, όπου μορφοποιούνται μεταλλικά κομμάτια με κατεργασίες κοπής κατά κύριο λόγο και, σε περιορισμένη σχετικά έκταση, με κατεργασίες διαμορφώσεως. Τις περισσότερες φορές τα παραγόμενα κομμάτια συναρμολογούνται στο μηχανουργείο, για να μας δώσουν έτοιμα προϊόντα, όπως μηχανήματα, μεταλλικές κατασκευές, συσκευές, διατάξεις, σύνθετα εργαλεία, εξαρτήματα κ.ά.

Το μηχανουργείο αποτελεί τη βάση της όλης παραγωγής για μηχανολογικούς σκοπούς.

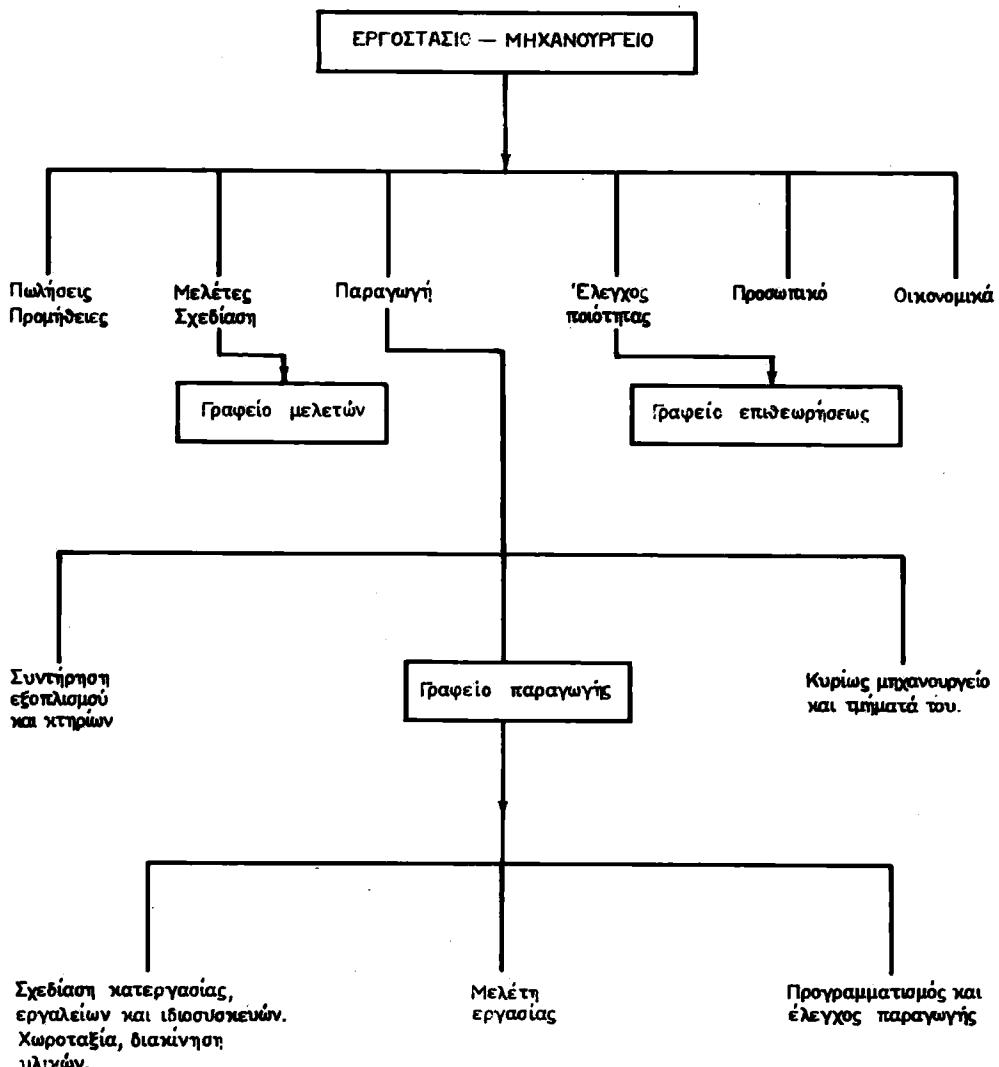
Το μηχανουργείο είναι δυνατό να υφίσταται είτε ως ανεξάρτητη βιομηχανική μονάδα (ως εργοστάσιο-μηχανουργείο), είτε να αποτελεί τμήμα ενός εργοστασίου. Το μέγεθος του μηχανουργείου, ο εξοπλισμός του γενικά, η συγκρότησή του και το απασχολούμενο σ' αυτό τεχνικό, διοικητικό και εργατοτεχνικό προσωπικό, δόλα αυτά είναι συνάρτηση των προϊόντων, τα οποία το μηχανουργείο παράγει και του ρυθμού παραγωγής τους. (Ρυθμός παραγωγής είναι η ποσότητα ενός προϊόντος, που παράγεται σε μια καθορισμένη χρονική μονάδα, π.χ. σε μία ώρα, σε ένα οκτάωρο, σε μία εβδομάδα κλπ.).

Για να πάρομε μία γενική ιδέα επάνω στο πως είναι συγκροτημένο ένα εργοστάσιο-μηχανουργείο, αναφέρομε παρακάτω συνοπτικά μερικά στοιχεία για τις βασικές δραστηριότητες μέσα σ' αυτό και για τα τμήματά του.

Οι δραστηριότητες (ή λειτουργίες) μέσα στο μηχανουργείο εικονίζονται στο διάγραμμα του σχήματος 1.1α, στο οποίο αναλύεται η δραστηριότητα - **παραγωγή**, η οποία και μας ενδιαφέρει περισσότερο στην ανάπτυξή μας αυτή.

Ως τμήματα του μηχανουργείου, εκτός βέβαια από το κυρίως μηχανουργείο, όπου εκτελούνται οι διάφορες κατεργασίες στις εργαλειομηχανές, μπορούμε να απαριθμήσουμε τα ακόλουθα:





### Σχ. 1.1α.

Οι δραστηριότητες μέσα σε ένα εργοστάσιο-μηχανουργείο.

- Το τμήμα συναρμολογήσεως.
- Το εφαρμοστήριο, καμινευτήριο, σιδηρουργείο και χυτήριο, ανάλογα με τα παραγόμενα προϊόντα.
- Το έργαλειοκατασκευαστήριο (συνήθως σε συνδυασμό με την αίθουσα προτύπων και ελεγκτήρων).
- Το τμήμα θερμικών κατεργασιών.
- Το τμήμα μηχανικών και άλλων δοκιμασιών, μεταλλογνωσιακών ελέγχων και χημικών αναλύσεων.
- Την απόθήκη υλικού.

— Την αποθήκη εργαλείων και μετρητικών οργάνων.

Θεωρούμε σκόπιμο εδώ να πούμε λίγα λόγια σχετικά με το εργαλειοκατασκευαστήριο και την αποθήκη υλικού, όπως και με την αποθήκη εργαλείων και μετρητικών οργάνων. Αυτό το κάνομε, γιατί θα συναντήσουμε τα τμήματα αυτά παρακάτω (παράγρ. 1.1.4), όταν μιλήσουμε για την εκτέλεση της εργασίας στο μηχανουργείο.

Στο **εργαλειοκατασκευαστήριο** κατασκευάζονται τα ειδικά εργαλεία, όπως και οι ιδιοσυσκευές για τη συγκράτηση κομματιών και την οδήγηση εργαλείων, που χρειάζονται κάθε φορά για την παραγωγή. Οι μελέτες για τις κατασκευές αυτές γίνονται από το ειδικό τμήμα του Γραφείου Παραγωγής (σχ. 1.1α).

Για να επιτελέσει τον προορισμό του, το εργαλειοκατασκευαστήριο είναι εξοπλισμένο με εργαλειομηχανές ακρίβειας και επανδρωμένο με τους καλύτερους τεχνίτες (εργαλειομηχανικούς και εφαρμοστές), γιατί η εργασία σ' αυτό απαιτεί μεγάλη δεξιότητα και εμπειρία.

Στο εργαλειοκατασκευαστήριο υπάγεται συνήθως η αίθουσα προτύπων (παράγρ. 2.3.3) και ελεγκτήρων (παράγρ. 2.7.1).

Στην **αποθήκη εργαλείων και μετρητικών οργάνων** βρίσκονται ταξινομημένα τα πάστης φύσεως εργαλεία (κοπτικά εργαλεία, λοιπά εργαλεία χεριού, εργαλεία διαμορφώσεως), οι τυπικές (στάνταρ, Standard) συσκευές συγκρατήσεως εργαλείων και κομματιών, οι ιδιοσυσκευές συγκρατήσεως κομματιών και οδηγήσεως εργαλείων, όπως και τα διάφορα μετρητικά όργανα για χρήση από τους τεχνίτες.

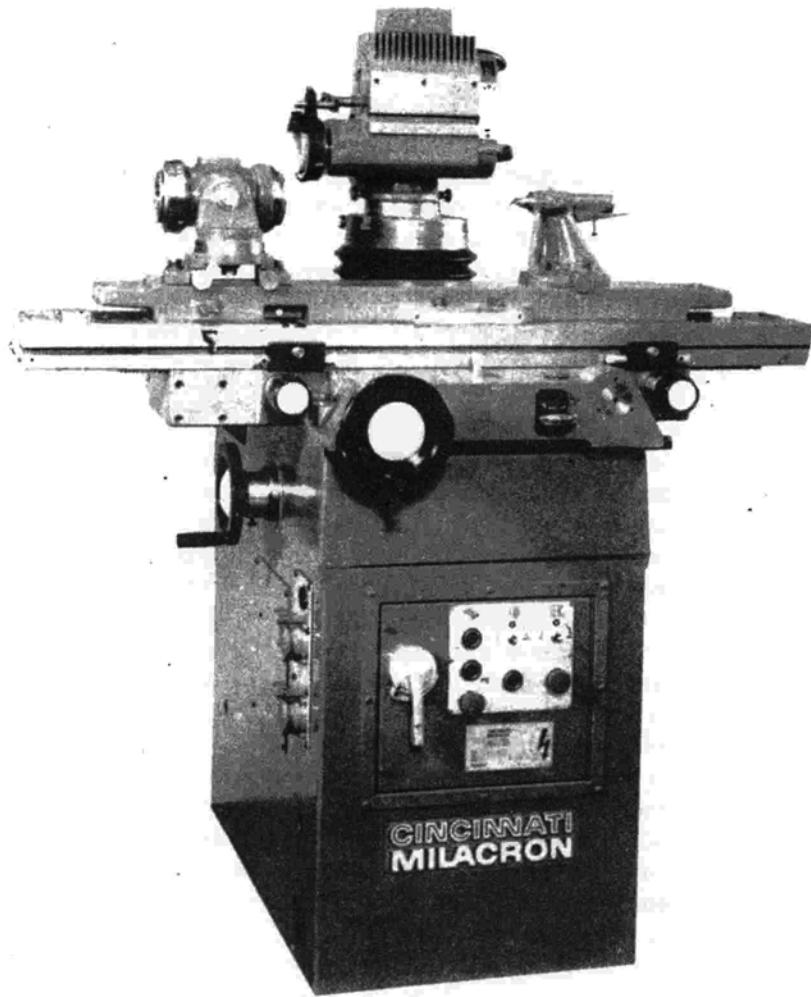
Σε ξεχωριστό χώρο της αποθήκης εργαλείων γίνεται συνήθως η **ανατρόχιση** (και αξιοποίηση, αν χρειάζεται) όλων των φθαρμένων εργαλείων που επιστρέφουν οι τεχνίτες, ώστε τα εργαλεία, μετά την ανατρόχιση, να είναι έτοιμα πάλι για να διανεμηθούν. Με τον τρόπο αυτόν ανατροχίσεως των εργαλείων από το ένα μέρος κερδίζομε χρόνο και από το άλλο η τρόχιση γίνεται κανονικά από το ειδικευμένο προσωπικό της αποθήκης. Θα πρέπει να υπογραμμίσουμε εδώ ότι η τρόχιση των εργαλείων είναι πολύ δύσκολη εργασία και απαιτεί εξειδίκευση και εμπειρία: επίσης, ότι η τρόχιση των εργαλείων στη σωστή τους γεωμετρική μορφή, ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας; είναι σημαντικός παράγοντας για την αποδοτική συμπεριφορά τους κατά την κατεργασία.

Για την ανατρόχιση των εργαλείων (φραίζες, τρυπάνια, γλύφανα, εργαλεία τορνεύσεως κ.ά.) χρησιμοποιούμε κατάλληλα λειαντικά μηχανήματα εργαλείων (σχ. 1.1β).

Στην **αποθήκη υλικού** ταξινομούνται οι διάφορες πρώτες ύλες [μισοκατεργασμένα χαλύβδινα προϊόντα εμπορίου (Μ.Ε. παράγρ. 2.7)\*, ράβδοι και ελάσματα από μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα κλπ.], όπως και τα ανταλλακτικά, που χρειάζονται για την παραγωγή ακόμα και τα υλικά για τη λειτουργία και συντήρηση των εργαλειομηχανών (υγρά κοπής, λάδια συντηρήσεως κ.ά.) Τα υλικά αυτά είναι διαθέσιμα, μόλις ζητηθούν από τους τεχνίτες.

Με την οργάνωση και τη λειτουργία των αποθηκών, όπως και με τον έλεγχο των αποθεμάτων δεν θα ασχοληθούμε, γιατί αυτό δεν περιλαμβάνεται στο σκοπό του βιβλίου αυτού.

\* Τα αρχικά Μ.Ε. υποδηλώνουν το βιβλίο «Μηχανολογικό Εργαστήριο» του Ιδρύματος Ευγενίδη για την Α' Τεχνικού και Επαγγελματικού Λυκείου.

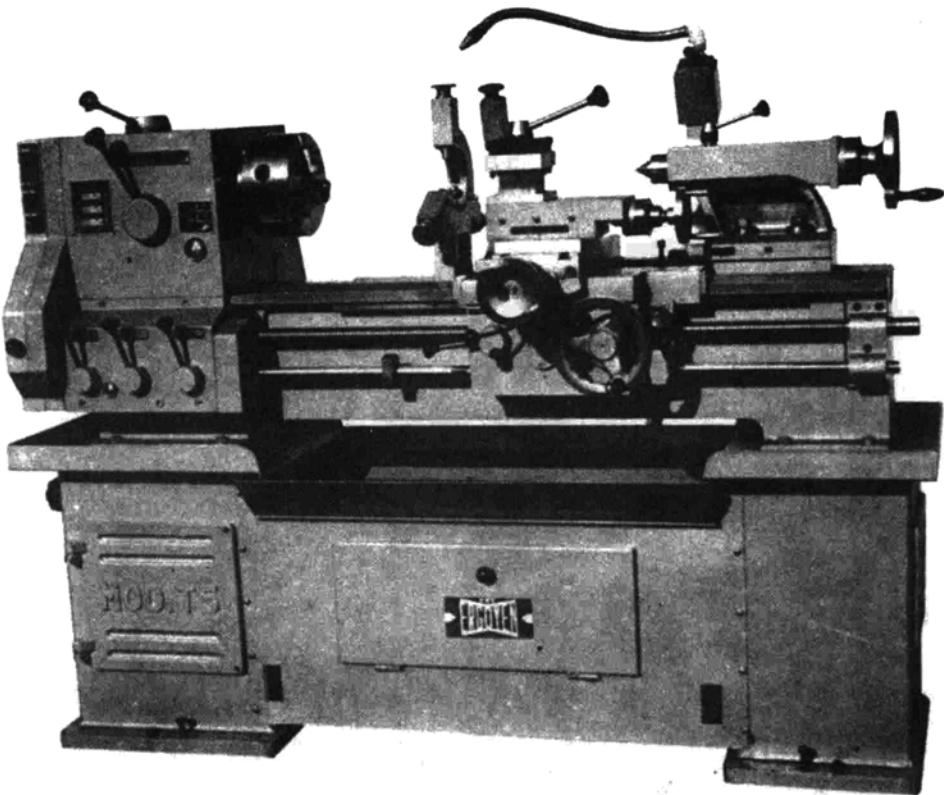


Σχ. 1.1β.

Ειδικό λειαντικό μηχάνημα τροχίσεως εργαλείων γενικής χρήσεως.

### **1.1.2 Ποιος είναι δεξοπλισμός του μηχανουργείου.**

Το μηχανουργείο είναι εξοπλισμένο βασικά με τυπικές εργαλειομηχανές κοπής γενικής χρήσεως [παράγρ. 4.5(Γ) (1)], όπως είναι οι τόρνοι (σχ. 1.1γ), οι φραιζομηχανές (σχ. 1.1δ), τα δράπανα (σχ. 1.1ε), τα φραιζοδράπανα (σχ. 1.1στ), οι πλάνες (σχ. 1.1ζ) και τα λειαντικά μηχανήματα (σχ. 1.1η). Επί πλέον στο μηχανουργείο βρίσκονται και **ειδικές εργαλειομηχανές**, [παράγρ. 4.5(Γ) (2)], όπως είναι οι πυργωτοί (ημιαυτόματοι) και οι αυτόματοι τόρνοι (σχ. 1.1θ), εργαλειομηχανές κοπής οδοντώσεων (γραναζοκόπτες, σχ. 1.1ι), λειαντικά μηχανήματα οδοντώσεων, σύγχρονες εργαλειομηχανές με ψηφιακό έλεγχο (σχ. 1.1ια) και άλλες. Επίσης, ο ε-



**Σχ. 1.1γ.**

Οριζόντιος μηχανουργικός τόρνος γενικής χρήσεως.

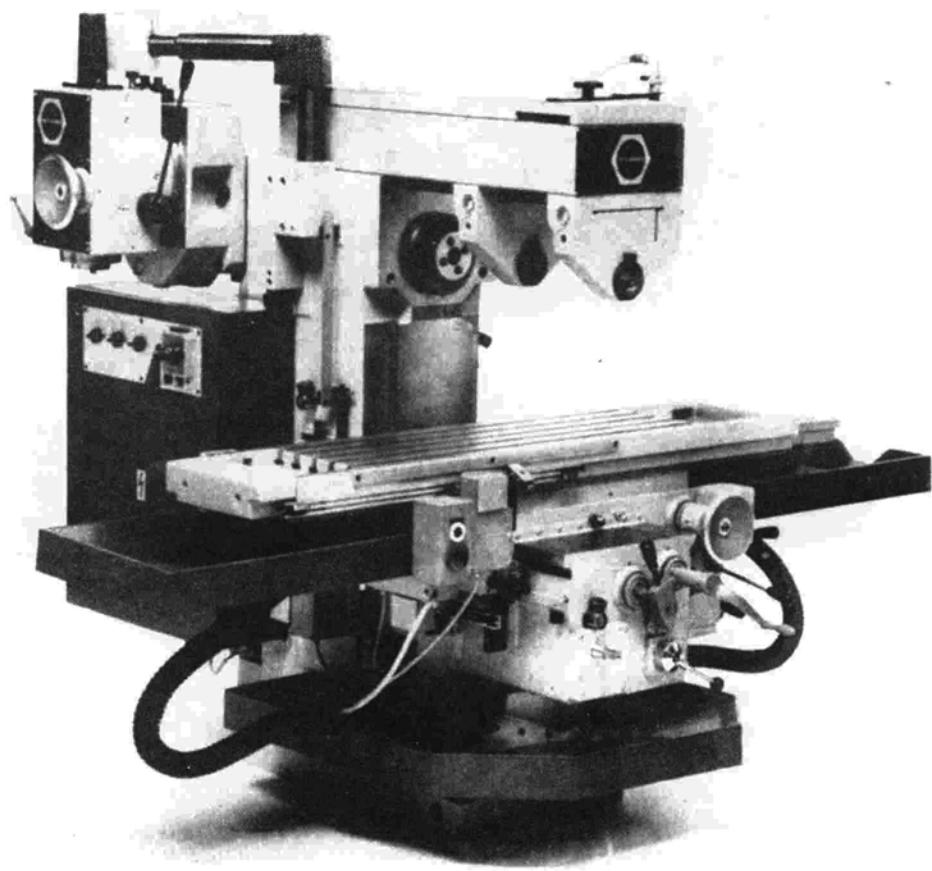
ξοπλισμός του μηχανουργείου μπορεί να περιλαμβάνει και εργαλειομηχανές διαμορφώσεως, κυρίως μηχανικές (Μ.Ε., σχ. 17.2γ) και υδραυλικές πρέσσες (Μ.Ε., σχ. 17.2ε). Άλλες εργαλειομηχανές διαμορφώσεως (ειδικές πρέσσες, αερόσφυρες, έλαστρα, τράπεζες ολκής κλπ.) ανήκουν στον εξοπλισμό καμινευτηρίων ή ειδικών εργοστασίων (σωληνουργείων, χαλυβουργείων κ.ά.).

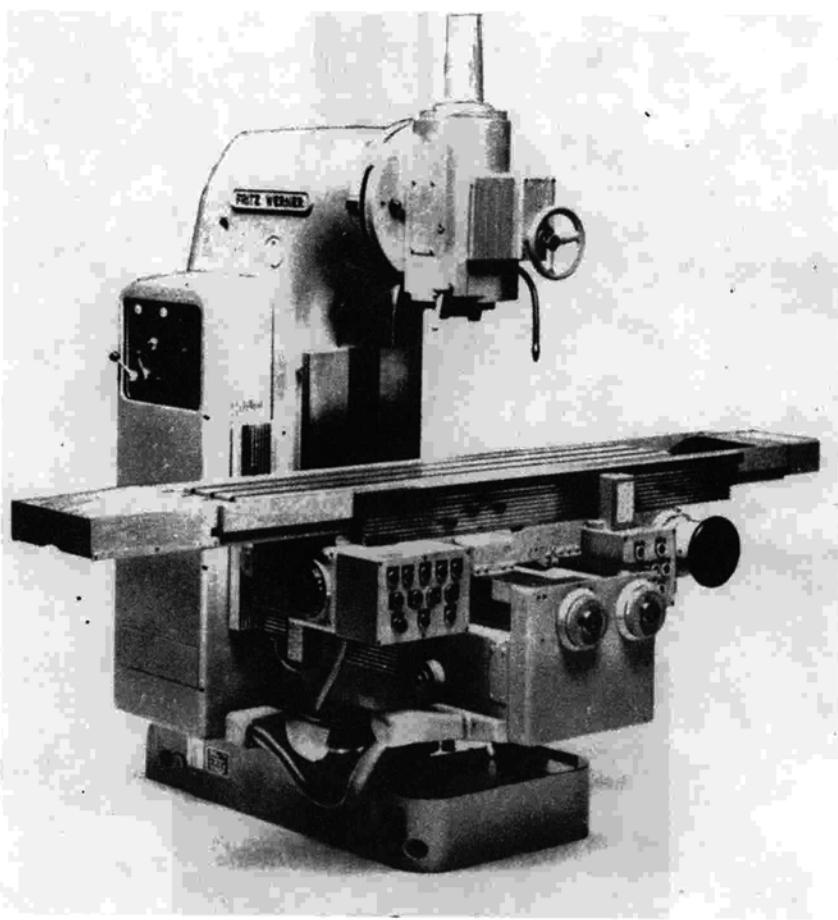
Εκτός από τις εργαλειομηχανές που αναφέρομε, το μηχανουργείο είναι εφοδιασμένο με ποικίλα εργαλεία του χεριού (στο Μ.Ε. ασχοληθήκαμε αναλυτικά με τα είδη, τη χρήση και τις εφαρμογές των εργαλείων χεριού), με κοπτικά εργαλεία και εργαλεία διαμορφώσεως, με μετρητικά όργανα, με παρελκόμενα εργαλειομηχανών, με τυπικές συσκευές συγκρατήσεως κομματιών και εργαλείων και με διάφορες ιδιοσυσκευές: επίσης με τράπεζες και θέσεις εργασίας, όπως και με μέσα διακινήσεως υλικών, κομματιών και εργαλείων.

### **1.1.3 Χωροταξική διάταξη του μηχανουργείου και διακίνηση των υλικών (μεταφορές).**

#### **A. Χωροταξική διάταξη.**

Λέγοντας **χωροταξική διάταξη** του μηχανουργείου εννοούμε τις σχετικές θέσεις

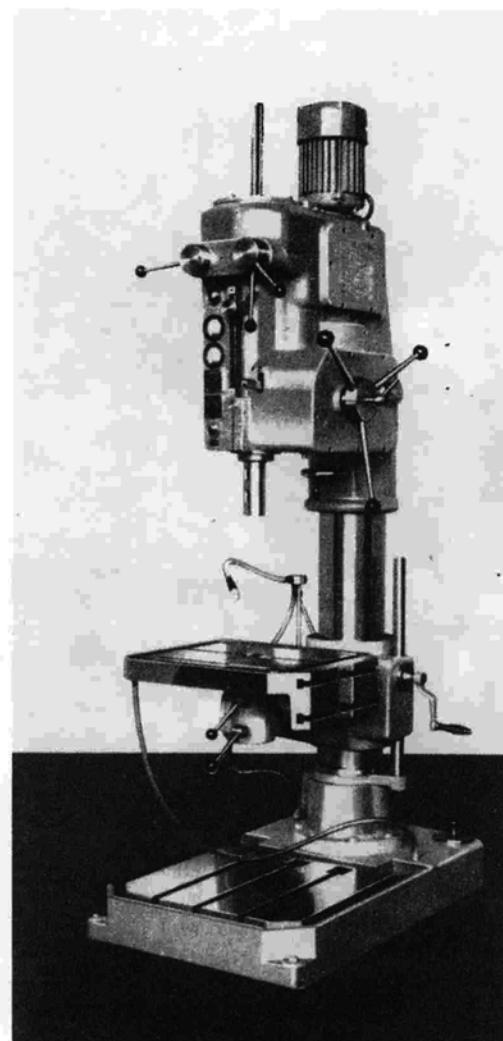




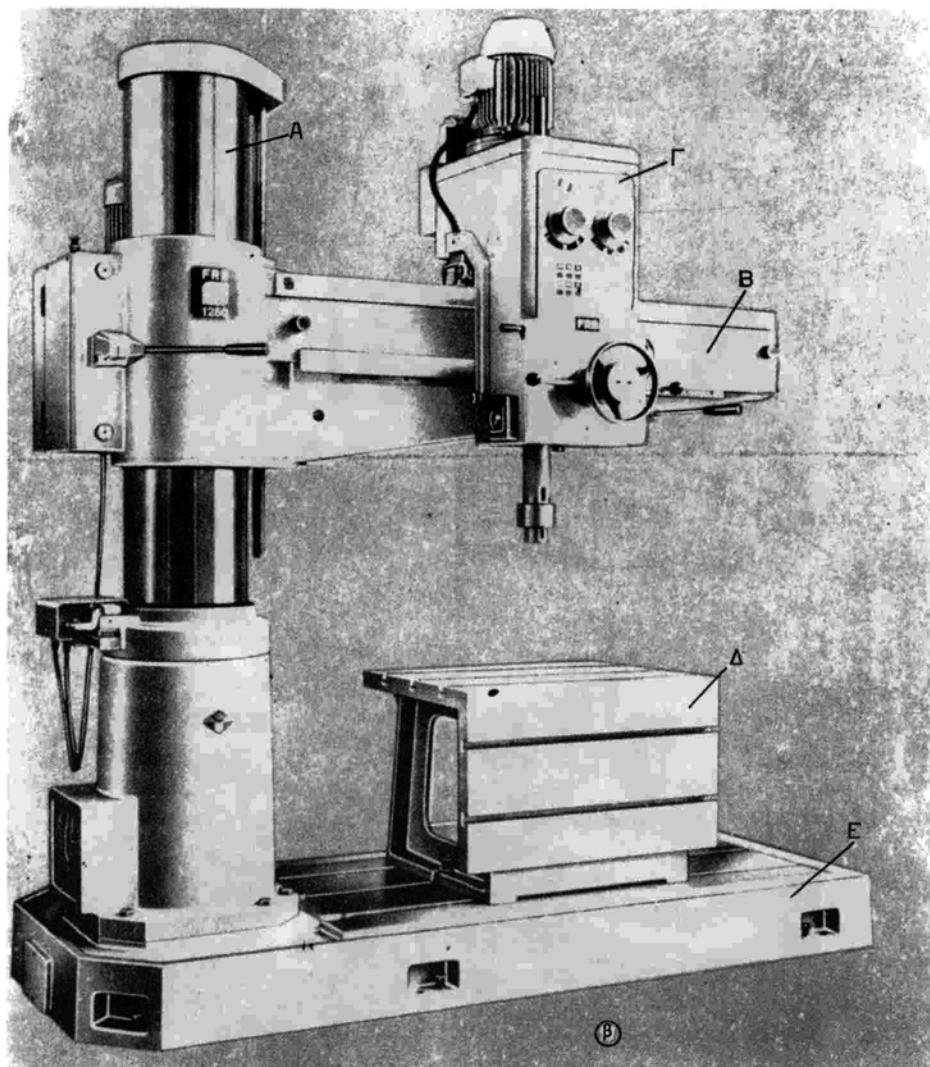
(B)

**Σχ. 1.16.**

Φραιζομηχανές: α) Οριζόντια. β) Κατακόρυφη.

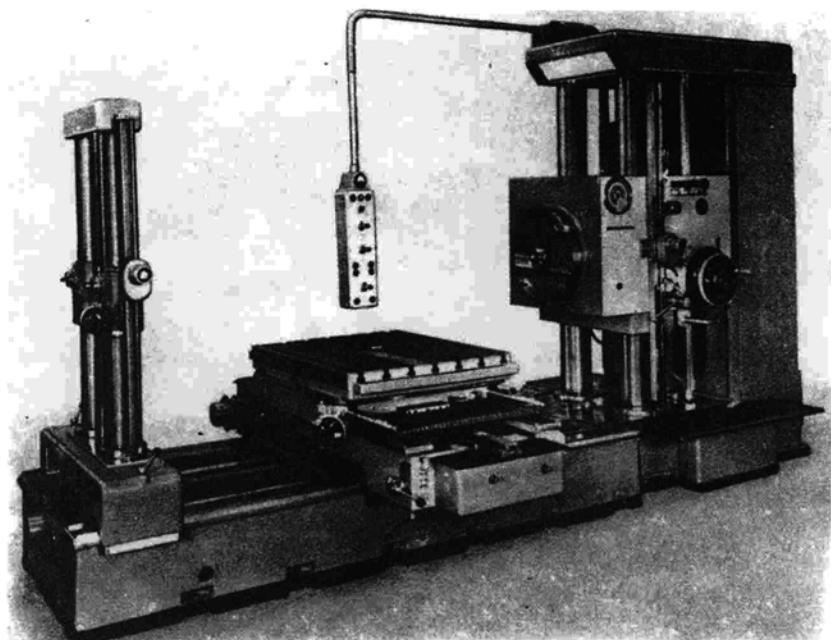


Ⓐ

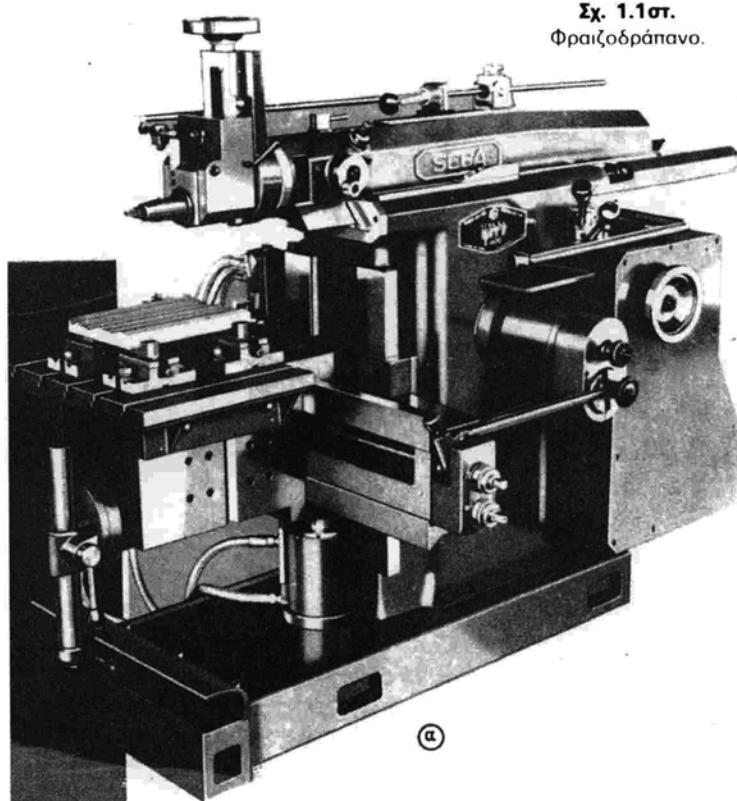


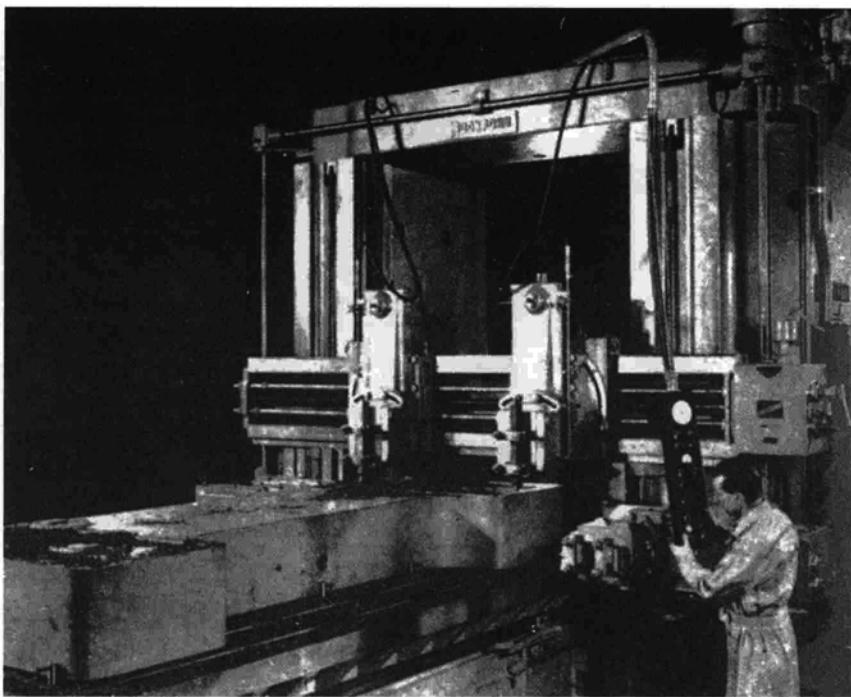
**Σχ. 1.1ε.**

(α) Κατακόρυφο δράπανο στήλης. (β) Ακτινωτό δράπανο.



**Σχ. 1.1στ.**  
Φραιζοδράπανο.





(B)

Σχ. 1.1ζ.

(a) Οριζόντια βραχεία πλάνη ή ταχυπλάνη. (β) Τραπεζοπλάνη.

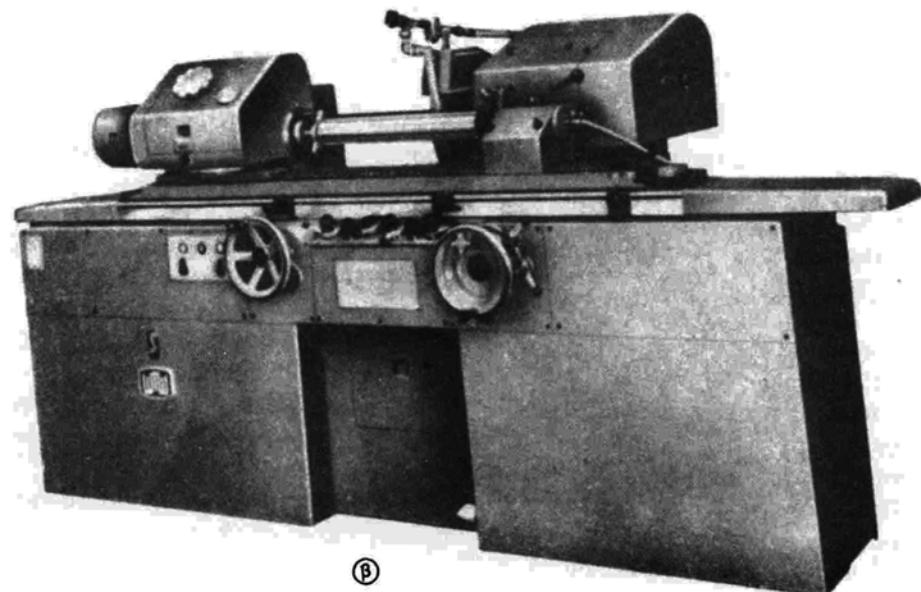
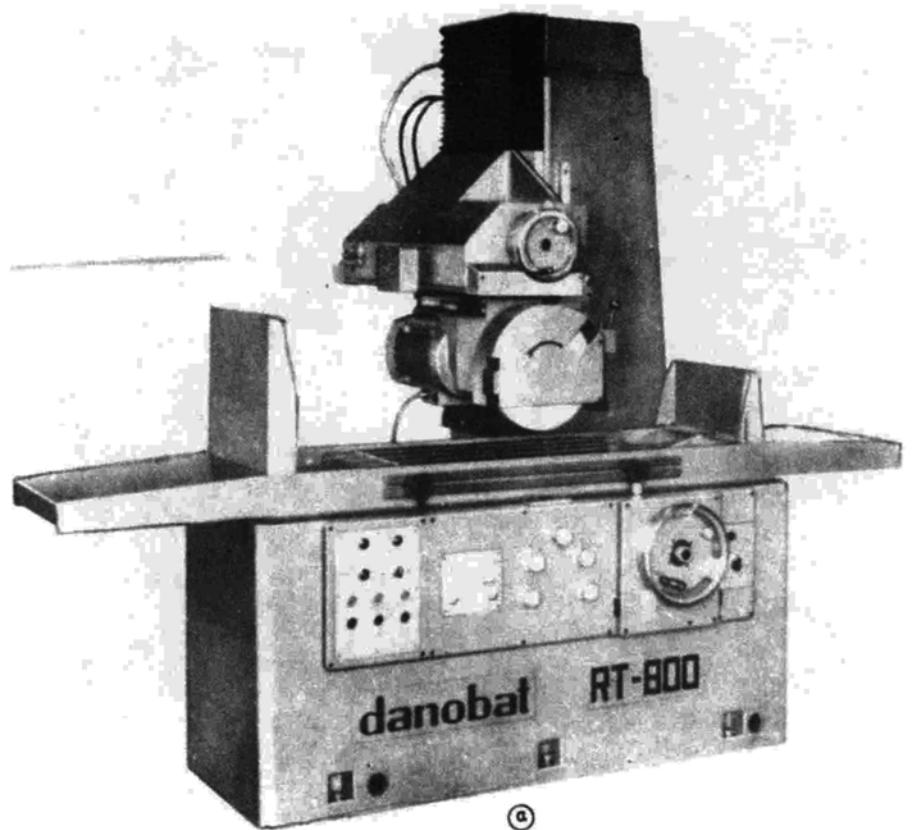
που παίρνουν μεταξύ τους, μέσα στο διαθέσιμο χώρο, τα διάφορα τμήματα, οι εργαλειομηχανές, οι τράπεζες και θέσεις εργασίας, οι αποθήκες και οι θέσεις συγκεντρώσεως των προϊόντων (ετοίμων ή μισοετοίμων).

Η διάταξη των εργαλειομηχανών μπορεί να γίνει κατά δύο τρόπους:

**α) Διάταξη κατά είδος εργαλειομηχανής.** Οι ομοειδείς εργαλειομηχανές, κατά τύπο, συγκεντρώνονται όλες μαζί και αποτελούν ξεχωριστή ομάδα (π.χ. ομάδα ελαφρών τόρνων, ομάδα φραιζομηχανών γενικής χρήσεως κλπ.), ενώ οι ομάδες αυτές συγκροτούνται σε τμήματα (τμήμα τόρνων, τμήμα φραιζομηχανών, τμήμα πλανών, τμήμα λειαντικών μηχανημάτων, τμήμα γραναζοκοπτών κ.ά.).

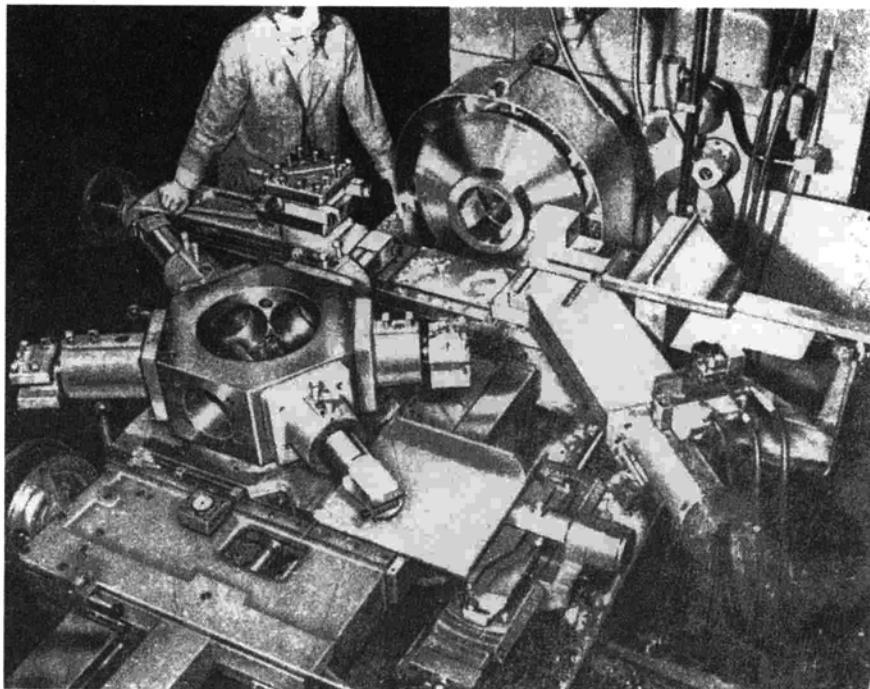
**β) Διάταξη κατά κατασκευαζόμενο κομμάτι ή προϊόν.** Εδώ οι απαραίτητες εργαλειομηχανές για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου κομματιού ή προϊόντος διατάσσονται κατά την τάξη των φάσεων κατεργασίας του.

Ως παράδειγμα αναφέρομε την κατασκευή ενός οδοντοτροχού, η οποία απαιτεί ανόμοιες κατεργασίες (εξωτερική και εσωτερική τόρνευση, κοπή και λείανση οδοντώσεων, λείανση του κοίλου της πλήμνης) άρα και αντίστοιχες εργαλειομηχανές.

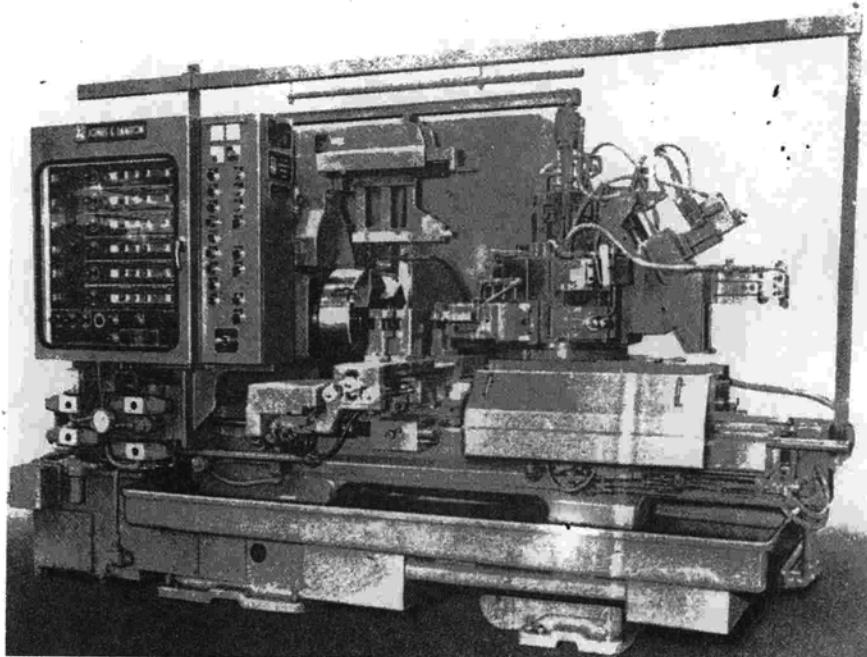


**Σχ. 1.1η.**

(a) Λειαντικό μηχάνημα επιπέδων επιφανειών. (β) Λειαντικό μηχάνημα εξωτερικών κυλινδρικών επιφανειών.



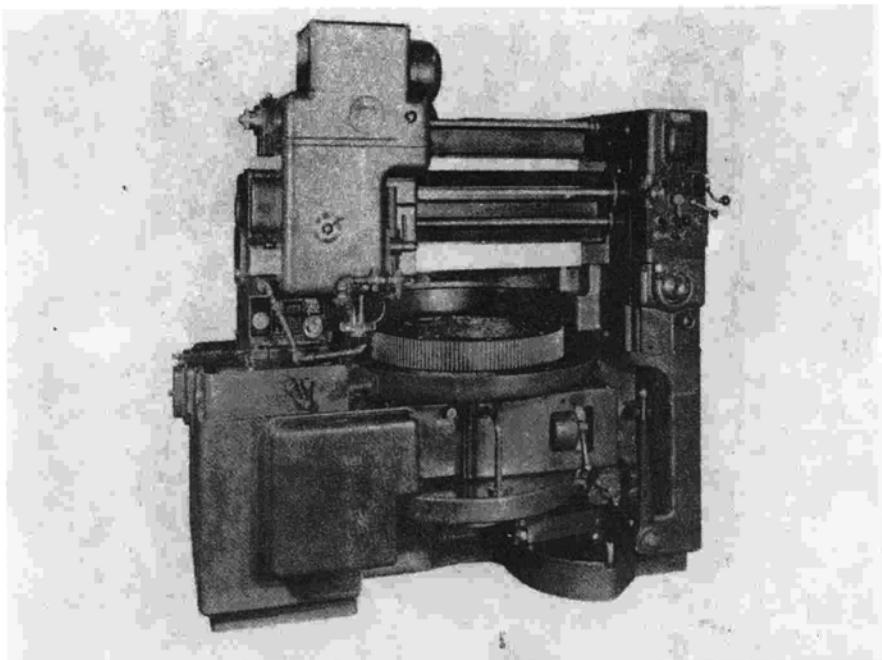
(α)



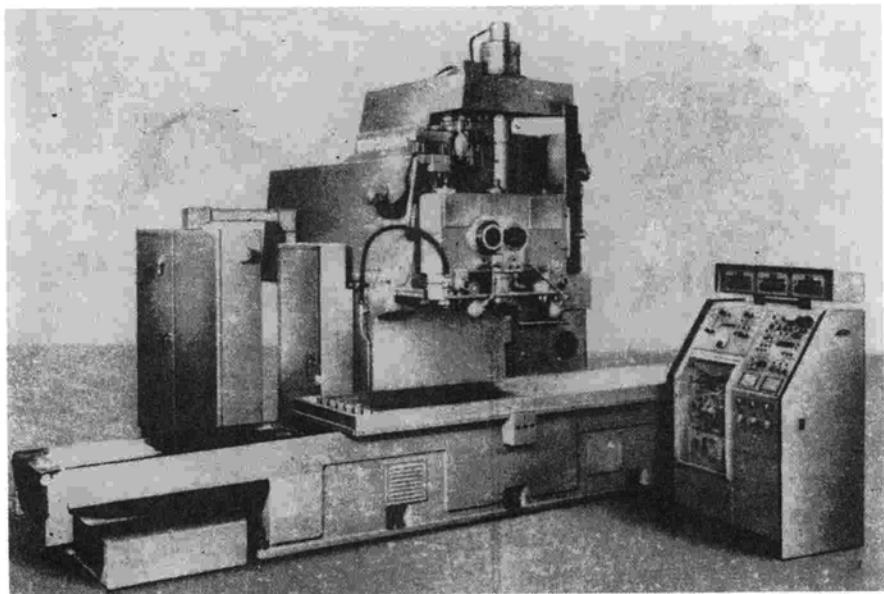
(β)

**Σχ. 1.10.**

(α) Πυργωτός (ή ημιαυτόματος) τόρνος. (β) Αυτόματος τόρνος.



**Σχ. 1.1ι.**  
Εργαλειομηχανή κοπής οδοντώσεων (γραναζοκόπτης) τύπου Φέλλοους (Fellows).



**Σχ. 1.1ια.**  
Φραιζομηχανή με ψηφιακό έλεγχο.

## **B. Διακίνηση υλικών (μεταφορές) μέσα στο μηχανουργείο.**

Με τη χωροταξική διάταξη του μηχανουργείου και με την παραγωγική διαδικασία, που ακολουθείται, σχετίζεται στενά η όλη οργάνωση και λειτουργία του συστήματος διακινήσεως των υλικών (πρώτες ύλες, εργαλεία, παρελκόμενα εργαλειομηχανών και ιδιοσυσκευών, ημιέτοιμα κομμάτια από φάση σε φάση, έτοιμα κομμάτια κλπ.) μέσα στο μηχανουργείο.

Ως μέσα μεταφοράς υλικών στο μηχανουργείο μπορούμε να αναφέρουμε: Κιβώτια ή δοχεία μεταφερόμενα από τεχνίτες ή εργάτες, διάφορα καροτσάκια, ειδικά τροχοφόρα οχήματα (που κινούνται μηχανικά ή ηλεκτρικά), περονοφόρα οχήματα (κλάρκ), βαρούλκα, γερανούς, μεταφορικές ταινίες, κινούμενες πλατφόρμες, μεταφορικές σιδηροτροχιές (ράγιες) οροφής κ.ά.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε (θα το επαναλάβομε και όταν μιλήσομε για τα προστατευτικά μέτρα ασφάλειας στην παράγραφο 1.2.2) ότι, πέρα από την καλή χωροταξική διάταξη και το καλά οργανωμένο αύστημα διακινήσεως των υλικών στο μηχανουργείο, η **καθαριότητα** και η **ευταξία** έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στην παραγωγή από το ένα μέρος και προλαμβάνουν ατυχήματα από το άλλο.

### **1.1.4 Η εργασία στο μηχανουργείο.**

#### **A. Τα είδη της μηχανουργικής παραγωγής.**

Οι εργασίες, που εκτελούνται στο μηχανουργείο, μπορούν να ανήκουν σε ένα από τα ακόλουθα βασικά είδη βιομηχανικής παραγωγής ή σε συνδυασμούς τους:

α) **Στην παραγωγή κατά μονάδα (ένα και έξι).** Τα προϊόντα παραγγέλλονται ειδικά και μπορούν να είναι μόνο ένα σε κάθε είδος ή ένας πολύ μικρός αριθμός ομοίων προϊόντων (π.χ. ένα ειδικό ανυψωτικό μηχάνημα ή μια ιδιοσυσκευή). Η ίδια παραγγελία συνήθως δεν επαναλαμβάνεται. Οι χρησιμοποιούμενες εργαλειομηχανές γι' αυτό το είδος της παραγωγής είναι όλες γενικής χρήσεως. Ιδιοσυσκευές δεν χρησιμοποιούνται, εκτός βέβαια αν θεωρείται αναγκαία η σχεδίαση και κατασκευή τους για την επιτυχή παραγωγή του προϊόντος. Οι τεχνίτες χρειάζεται να έχουν μεγάλο βαθμό εξειδικεύσεως και πολλή εμπειρία και να μπορούν να εργάζονται αυτοδύναμα, δηλαδή χωρίς συνεχή επίβλεψη ή τεχνική καθοδήγηση.

β) **Στην παραγωγή κατά παρτίδα.** Τα προϊόντα κατασκευάζονται βάσει παραγγελίας ή κατά τακτά χρονικά διαστήματα για τίρηση αποθεμάτων. Ο αριθμός των κομματιών στην παρτίδα πολλές φορές μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος.

**Η παραγωγή κατά παρτίδα είναι το πο συνηθισμένο είδος παραγωγής στη μηχανουργική βιομηχανία.**

Για μεγάλες παρτίδες χρησιμοποιούνται ειδικές εργαλειομηχανές υψηλής παραγωγικής ικανότητας (π.χ. αυτόματοι τόρνοι για την παραγωγή κομματιών από ράβδους), ενώ για μικρότερες παρτίδες προσαρμόζονται καλύτερα οι γνωστές μας εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως και οι σύγχρονες αυτοκυβερνώμενες εργαλειομηχανές (π.χ. εργαλειομηχανές με ψηφιακό έλεγχο, σχήμα 1.1α).

Στο είδος αυτό παραγωγής γίνεται χρήση ιδιοσυσκευών για τη συγκράτηση και απομάκρυνση κομματιών, για τροφοδότηση της εργαλειομηχανής κλπ.

Το απασχολούμενο για το χειρισμό των εργαλειομηχανών προσωπικό είναι συνήθως μέσης τεχνικής στάθμης και εμπειρίας.

γ) **Στη μαζική παραγωγή.** Προϋποθέτει παραγγελίες μεγάλου αριθμού προϊόντων, που καλύπτουν συνήθως μακρό σχετικά χρονικό διάστημα παραγωγής. Τα προϊόντα αυτά είναι κατά κανόνα προτυποποιημένα, όπως κοχλίες, περικόχλια, παράκυκλοι (ροδέλλες) κ.ά.

Η εργασία γίνεται σε ειδικές (καθορισμένης χρήσεως) εργαλειομηχανές. Στην παραγωγή αυτή απαιτείται **μεγάλος βαθμός αυτοματοποίησεως** τόσο στις χρησιμοποιούμενες εργαλειομηχανές, όσο και στη διακίνηση των υλικών. Το απασχολούμενο στις ειδικές εργαλειομηχανές προσωπικό μπορεί να είναι χαμηλής τεχνικής στάθμης.

Μιλώντας για τα διάφορα είδη μηχανουργικής παραγωγής θα ήταν παράλειψη, αν δεν αναφέραμε και τη **ροϊκή ή συνεχή παραγωγή**, που βρίσκει εφαρμογή στη βιομηχανία αυτοκινήτων, οικιακών συσκευών (ψυγεία, κουζίνες, ηλεκτρικά σίδερα κλπ), τηλεπικοινωνιακών συσκευών (ραδιόφωνα, τηλεοράσεις κ.ά.) και σε άλλους βιομηχανικούς τομείς.

Κατά τη ροϊκή παραγωγή ολόκληρο το εργοστάσιο διατάσσεται έτσι, ώστε τα κομμάτια και εξαρτήματα να κινούνται προοδευτικά μέσα σε προκαθορισμένα κανάλια από τις πρώτες ύλες προς το έτοιμο προϊόν.

Στη μηχανουργική βιομηχανία, πολύ μεγάλος όγκος παραγωγής επιτυγχάνεται με χρήση των λεγομένων **εργαλειομηχανών μεταφοράς** (συγκρότημα εργαλειομηχανών, όπου το κομμάτι κατά την παραγωγή του μετακινείται αυτόματα από εργαλειομηχανή σε εργαλειομηχανή) σε συνδυασμό με ειδικές ιδιοσυσκευές και μέσα διακινήσεως των υλικών.

## **B. Τα βήματα, που ακολουθούμε για τη σχεδίαση και εκτέλεση μιας μηχανουργικής εργασίας.**

Για κάθε μία εργασία που έρχεται στο μηχανουργείο για εκτέλεση, θα πρέπει να ακολουθούμε διαδοχικά τα ακόλουθα βήματα:

— Βήμα πρώτο: **Πληροφόρηση.** Αναζητούμε και καθορίζουμε τι επακριβώς πρόκειται να κάνομε. Οι αναγκαίες πληροφορίες παίρνονται κατά βάση από το μηχανολογικό σχέδιο του κομματιού, το οποίο μπορούμε να το βρούμε στο Γραφείο Μελετών (σχ. 1.1α).

— Βήμα δεύτερο: **Σχεδίαση της κατεργασίας του κομματού.** Αποφασίζομε πώς θα κατασκευάσομε το κομμάτι.

Ας υποθέσουμε ότι πρόκειται να κατασκευάσομε ένα περίπλοκο κομμάτι σε πολλές φάσεις κατεργασίας και σε διάφορες εργαλειομηχανές.

Καθορίζουμε τότε τις φάσεις κατεργασίας του και επιλέγουμε τις κατάλληλες εργαλειομηχανές και εργαλεία, όπως και τις τυπικές συσκευές συγκρατήσεως κομματιών και εργαλείων. Αν χρειάζονται ιδιοσυσκευές, τότε απευθυνόμαστε στην αποθήκη εργαλείων για να διαπιστώσουμε, αν είναι διαθέσιμες. Εάν δεν είναι, τότε το αρμόδιο τμήμα του Γραφείου Παραγωγής (σχ. 1.1α) θα προβεί στη μελέτη και σχεδίασή τους και το εργαλειοκατασκευαστήριο θα τις κατασκευάσει.

Εκλέγομε για κάθε φάση κατεργασίας τις συνθήκες κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση και βάθος κοπής, παράγρ. 4.2) και το υγρό κοπής, αν απαιτείται. Προσδιο-

ρίζομε επίσης τον αντίστοιχο κατά φάση χρόνο κατεργασίας, όπως ακόμα και, το συνολικό χρόνο κατεργασίας.

Καθορίζομε σε ποιούς ελέγχους (διαστάσεων, γωνιών, μορφής κλπ) θα προβούμε κατά τη διάρκεια της κατεργασίας και στο έτοιμο κομμάτι και διαλέγομε τα κατάλληλα για την εργασία αυτή μετρητικά όργανα και ελεγκτήρες.

Τέλος βρίσκομε πόσο και ποιων ειδικοτήτων προσωπικό χρειάζεται.

Με βάση όλα τα στοιχεία αυτά καταρτίζομε το λεγόμενο **φύλλο κατεργασίας**, το οποίο θα αποτελέσει τον οδηγό της όλης εργασίας για την κατασκευή του κομματιού. Όταν μιλήσομε για το τρυπάνισμα και το πλάνισμα στο βιβλίο αυτό, θα δώσουμε αντίστοιχα παραδείγματα για την κατάρτιση αυτού του φύλλου.

— Βήμα τρίτο: **Προπαρασκευή για την κατεργασία.** Με βάση το φύλλο κατεργασίας, προετοιμάζομε ό,τι θα χρειασθεί για την παραγωγή σε υλικά, εργαλεία και άλλα μέσα, εργαλειομηχανές και προσωπικό. Παραλαμβάνομε δηλαδή από την αποθήκη υλικού τα απαιτούμενα υλικά και συλλέγομε όλα τα εργαλεία, που θα χρειασθούν, συσκευές, ιδιοσυσκευές και μετρητικά όργανα· ακόμα βρίσκομε τους κατάλληλους για την εκτέλεση της εργασίας τεχνίτες.

— Βήμα τέταρτο: **Εκτέλεση της κατεργασίας.** Ρυθμίζομε τις εργαλειομηχανές και εκτελούμε τις διάφορες φάσεις, όπως αυτές έχουν σχεδιασθεί στο φύλλο κατεργασίας. Ο κάθε τεχνίτης, ανάλογα με την περίπτωση, αναλαμβάνει να εκτελέσει μία ή περισσότερες φάσεις κατεργασίας.

— Βήμα πέμπτο: **Επιθεώρηση.** Ελέγχομε το αποτέλεσμα κάθε φάσεως, όπως και το τελικό, για να διαπιστώσομε, εάν η κατεργασία έγινε σωστά σε όλες της τις φάσεις σύμφωνα με τα στοιχεία του φύλλου κατεργασίας και επί πλέον εάν το έτοιμο κομμάτι ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις του μηχανολογικού σχεδίου.

Σε μικρά μηχανουργεία το πρώτο και το δεύτερο βήμα, δηλαδή η πληροφόρηση και η σχεδίαση της κατεργασίας εκτελούνται συνήθως από τον εργοδηγό, ενώ σε μεγάλα μηχανουργεία από το αρμόδιο για τη σχεδίαση της κατεργασίας τμήμα του Γραφείου Παραγωγής. Το τρίτο και τέταρτο βήμα, δηλαδή η προπαρασκευή για την κατεργασία και η εκτέλεση της κατεργασίας είναι αρμοδιότητες του παραγωγικού τμήματος του κυρίως μηχανουργείου, το οποίο θα αναλάβει την εντολή για την κατασκευή. Τέλος, η επιθεώρηση κατά τη διάρκεια της κατεργασίας και ο έλεγχος των ετοίμων κομματιών διενεργείται από το Γραφείο Επιθεωρήσεως (σχ. 1.1a), που **υπάγεται κατ' ευθέαν στη διεύθυνση του μηχανουργείου.** Η επιθεώρηση είναι μια βασική λειτουργία στο μηχανουργείο ανεξάρτητη από την παραγωγή, για να είναι σε θέση να την ελέγχει.

### 1.1.5 Ερωτήσεις.

1. Να εξηγήσετε τους εξής όρους: **χωροταξική διάταξη μηχανουργείου, παραγωγή κατά παρτίδα, μεζανή παραγωγή, ρολός ή συνεργές παραγωγή.**
2. Να αναφέρετε τέσσερα τμήματα ενός εργοστασίου-μηχανουργείου.
3. Ποιος είναι ο βασικός εξοπλισμός ενός μηχανουργείου;
4. Ποια είναι τα κύρια βήματα, που ακολουθούμε για τη σχεδίαση και εκτέλεση μιας μηχανουργικής εργασίας;

5. Τι δουλειές κάνομε στο εργαλειοκατασκευαστήριο;
6. Πού γίνεται η ανατρόχιση των φθαρμένων εργαλείων; Τι κερδίζομε με τη σωστή ανατρόχισή τους;

## **1.2 Ασφάλεια κατά την εργασία στο μηχανουργείο.**

### **1.2.1 Γενικά.**

Κατά την εργασία μας στο μηχανουργείο υπάρχει κίνδυνος, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να συμβούν ατυχήματα, που προξενούν σωματικές βλάβες ή υλικές ζημίες ή και τα δύο. Μπροστά στον κίνδυνο αυτό οι εργαζόμενοι στο μηχανουργείο οφείλουν να πάρουν τα κατάλληλα κάθε φορά προστατευτικά μέτρα για την πρόληψη των ατυχημάτων.

Η πρόληψη των ατυχημάτων είναι επιβεβλημένη πρώτα από καθαρά ανθρωπιστικό καθήκον (δεν επιτρέπεται σε μία οργανωμένη και πολιτισμένη κοινωνία να αδιαφορούμε και να μην καταπολεμούμε τις αιτίες που προκαλούν θανάτους, αναπηρίες, σοβαρούς ή λιγότερο σοβαρούς τραυματισμούς, δηλητηριάσεις κ.ά.) και κατόπιν για οικονομικούς λόγους (προξενούνται οικονομικές ζημίες και στον εργαζόμενο και στον εργοδότη: χάσιμο ημερομισθίων, έξοδα φαρμάκων, νοσοκομείων, ζημίες σε εγκαταστάσεις, φθορές σε μηχανήματα, καθυστέρηση της παραγωγής κλπ.).

Οι αιτίες, που προκαλούν τα ατυχήματα στην εργασία, είναι βασικά οι ακόλουθες:

- Οι επικίνδυνες ή άστοχες πράξεις, ενέργειες ή και σφάλματα των εργαζομένων.
- Οι επικίνδυνες καταστάσεις των μηχανημάτων, εργαλείων, κτηρίων και γενικά το επικίνδυνο περιβάλλον της εργασίας και
- τα απρόβλεπτα γεγονότα.

Δηλαδή, με άλλα λόγια, άλλα ατυχήματα οφείλονται σε μας τους (ίδιους (σύμφωνα με στατιστικές το ποσοστό τους ανέρχεται σε 80%), άλλα στα μηχανήματα και εργαλεία που χειρίζομαστε και στους χώρους εργασίας (ποσοστό 15%) και τέλος άλλα σε μικρό σχετικά ποσοστό (5%) στην τύχη.

Η οκνηρία, η αμέλεια, η αφηρημάδα, η βιασύνη, η απροσεξία, τα άκαιρα παιγνίδια και τα αστεία στην ώρα της δουλειάς, η επιπόλαιη αντιμετώπιση του κινδύνου και η αδιαφορία ακόμα μπροστά στον κίνδυνο, όλα αυτά είναι αφορμές για ατυχήματα. Οφείλομε, και μπορούμε βέβαια, αν πάρονται τις δέουσες προφυλάξεις και δίνομε την πρέπουσα προσοχή να τις αποφύγομε. Ακόμα, ατυχήματα οφείλονται σε κινούμενα μέρη μηχανών (οδοντοτροχοί, αξονες, τροχαλίες, ιμάντες, εργαλεία κλπ.), τα οποία δεν φέρουν κατάλληλους προφυλακτήρες, σε εργαλεία που χειρίζομαστε (σφυριά, πτρίδνια, λίμες, τρυπάνια, ξύστρες κ.ά.), σε ελαστικατικές ηλεκτρικές συσκευές, σε ολισθηρά δάπεδα και σε τόσα άλλα.

### **1.2.2 Τα προστατευτικά μέτρα ή μέσα απέναντι στα ατυχήματα.**

Πριγ μιλήσομε για τα διάφορα μέτρα ή μέσα προστασίας, που παίρνομε ή χρησιμοποιούμε για να προλάβομε και να αποφύγομε ατυχήματα, θα πρέπει να τονί-

σομε ότι η **ευταξία** και η **καθαριότητα** στο μηχανουργείο (και σ' οποιονδήποτε χώρο εργασίας), εκτός του ότι μας εξασφαλίζει υγεία και ευχαρίστηση στην εργασία μας, μας γλυτώνει από πολλά ατυχήματα. Η ακαταστασία και η βρωμιά δείχνουν ότι ο εργαζόμενος δεν έχει σύστημα και οργάνωση στη δουλειά του. Αυτό μας δείχνει ότι η απόδοσή του θα είναι μειωμένη και η εργασία, που εκτελεί, πολύ χαμηλής ποιότητας.

### **A. Ατομικά προστατευτικά μέσα.**

Ανάλογα με τη φύση της εργασίας τους, τα εργοστάσια εφαρμόζουν ορισμένα ιδιαίτερα γενικά μέτρα για την προστασία των εργαζομένων σ' αυτά απέναντι στα ατυχήματα (μέσα κατά της πυρκαϊάς, ορθές συνθήκες εργασίας, κανονικός φωτισμός, ευταξία, καθαριότητα, προφυλακτήρες για κινούμενα μέρη μηχανών κλπ.).

Τα γενικά αυτά μέτρα προστασίας, που παίρνει το εργοστάσιο, θα πρέπει να τα πληροφορείται έγκαιρα κάθε νέος τεχνίτης, μόλις προσληφθεί για εργασία.

Ο κάθε εργαζόμενος όμως, εκτός από τα γενικά προστατευτικά μέτρα απέναντι στα ατυχήματα που παίρνει το εργοστάσιο (το μηχανουργείο στην περίπτωσή μας), οφείλει να χρησιμοποιεί ορισμένα μέσα και ο ίδιος, δηλαδή **ατομικά προστατευτικά μέσα**. Σαν τέτοια μπορούμε να αναφέρομε τα παρακάτω:

- Τα **προστατευτικά ματογυάλια**: Προστατεύουν τα μάτια από εκτοξευόμενα τεμαχίδια αποβλίτων (γρεζιών), λειαντικών τροχών κ.ά.: επίσης από σπινθήρες κατά τή συγκόλληση.

- **Μάσκες ή ασπίδες**: Προστατεύουν τα μάτια κατά τη συγκόλληση.

- **Γάντια**: Δερμάτινα γάντια προστατεύουν τα χέρια κατά τη μεταφορά ή επεξεργασία υλικών. Λαστιχένια γάντια μας προστατεύουν, όταν εργαζόμαστε σε ηλεκτρικό ρεύμα και γάντια από αμίαντο προστατεύουν τα χέρια μας όταν εργαζόμαστε σε θερμά κομμάτια.

- **Υποδήματα ασφάλειας**: Προφυλάσσουν τα δάκτυλα των ποδιών μας από πτώσεις βαριών αντικειμένων.

Από την παράγραφο αυτή καταλήγομε σε ένα πολύ σπουδαιο κανόνα ασφάλειας:

**Χρησιμοποιείτε πάντοτε, όταν χρειάζεται, τα κατάλληλα ατομικά προστατευτικά μέσα.**

### **B. Προστατευτικά μέτρα κατά τη χρήση των εργαλείων χεριού.**

Η χρήση των εργαλείων χεριού, όπως γνωρίζομε, απαιτεί προσοχή και τέχνη. Η κακή χρήση των εργαλείων αυτών μπορεί να προκαλέσει ατύχημα.

Παρακάτω δίνομε μερικά γενικά βασικά προστατευτικά μέτρα, που παίρνομε, κατά τη χρήση των εργαλείων χεριού:

- Για κάθε εργασία πρέπει να διαλέγομε και να χρησιμοποιούμε το κατάλληλο εργαλείο χεριού (π.χ. το κατάλληλο κλειδί για το σφύξιμο ή το ξεσφύξιμο ενός περικοχλίου και όχι ένα κοπίδι και σφυρί).

- Τα εργαλεία πρέπει να χρησιμοποιούνται με το σωστό για το καθένα τρόπο.

- Τα εργαλεία πρέπει να διατηρούνται σε καλή κατάσταση. Κακοδιατηρημένα εργαλεία είναι επικίνδυνα,

— Τα εργαλεία, μετά τη χρήση τους, πρέπει νά τοποθετούνται με τάξη σε ασφαλές μέρος και όχι ανακατεμένα. Δυσκολεύεται έστι ο τεχνίτης να διαλέξει το εργαλείο, που χρειάζεται, και επί πλέον διατρέχει τον κίνδυνο να πάθει ατύχημα.

Ιδιαίτερα προστατευτικά μέτρα κατά τη χρήση κάθε εργαλείου χεριού, όπως και κατά την εκτέλεση των ηλώσεων και των συγκολλήσεων, αναφέραμε στο Μ.Ε. (σελ. 80, 85, 115, 130, 139, 159, 300, 327 και 334).

### **Γ. Προστατευτικά μέτρα κατά την εργασία στις εργαλειομηχανές.**

Παρακάτω θα αναφερθούμε στα βασικά μέτρα ασφάλειας, που ισχύουν κατά την εργασία μας σε όλες γενικά τις εργαλειομηχανές. Για τα ιδιαίτερα προστατευτικά μέτρα, που παίρνομε όταν εργαζόμαστε στο κάθε είδος εργαλειομηχανής (στο δράπανο ή στην πλάνη ή στον τόρνο κλπ), θα μιλήσουμε στις αντίστοιχες παραγράφους.

— Να διατηρείτε πάντοτε τις εργαλειομηχανές σε καλή κατάσταση και να τις χειρίζεσθε με το σωστό για την κάθε μία τρόπο. Να μην επιχειρήσετε να χειρισθείτε μιαν εργαλειομηχανή παρά μόνο αν έχετε ειδικευθεί σ' αυτή.

— Μη θέτετε σε κίνηση μιαν εργαλειομηχανή, αν δεν φέρει τους κατάλληλους προφυλακτήρες (ενώ θα έπρεπε να τους είχε). Οι προφυλακτήρες εμποδίζουν το χειριστή και όσους περνούν κοντά της να έρθουν σε επαφή με κινούμενα μέρη με κίνδυνο να πάθουν ατύχημα.

— Μην αφαιρείτε τους προφυλακτήρες, αν δεν σταματήσετε πλήρως την κίνηση της εργαλειομηχανής· επίσης, να ξανατοποθετείτε τους προφυλακτήρες ευθύς αμέσως μετά τη συντήρηση ή επισκευή της εργαλειομηχανής.

— Να προσέχετε πάντοτε κατά την εργασία σας στις εργαλειομηχανές. Να μην είστε αφηρημένος ή βιαστικός. Να αποφεύγετε τις άσκοπες συνομιλίες ή τα αστεία. Να συγκεντρώνεσθε στη δουλειά σας· επίσης να μην μιλάτε σε άλλους, που εργάζονται σε εργαλειομηχανή.

— Η ευταξία και η καθαριότητα είναι απαραίτητες τόσο στην εργαλειομηχανή σας, όσο και στο γύρω χώρο.

— Το ντύσιμό σας πρέπει να είναι το κατάλληλο (σχ. 1.2.). Τα φαρδιά ρούχα, τα σχισμένα ρούχα, τα μακριά μανίκια και τα μακριά μαλλιά, η γραβάτα, τα δακτυλίδια, το ρολόι του χεριού, μπορούν να γίνουν (και έχουν γίνει) αφορμές για σοβαρά ατυχήματα. Να φοράτε πουκάμισο με κοντά ή αναδιπλωμένα μανίκια. Αν έχετε μακριά μαλλιά, να φοράτε σκούφο ή να τα συγκρατείτε κατάλληλα.

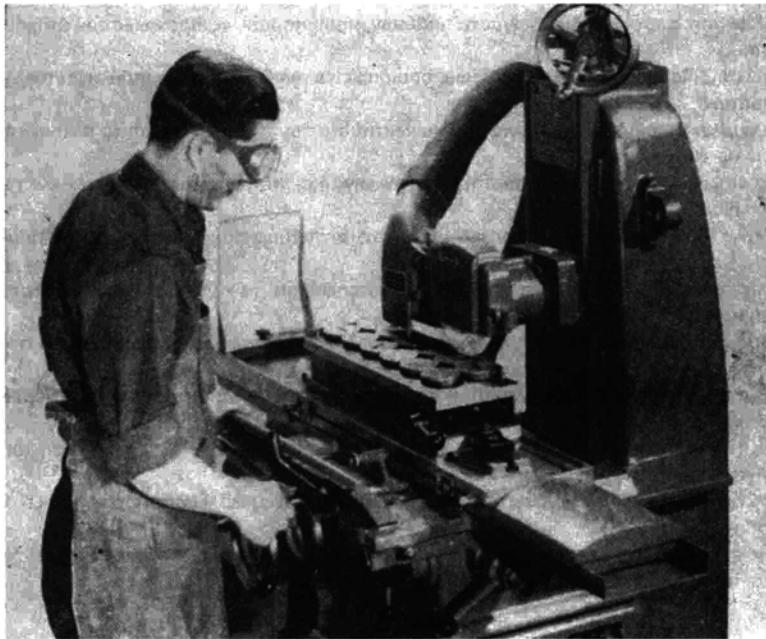
— Να φοράτε πάντοτε τα προστατευτικά ματογυάλια σας ή ασπίδα· ακόμα υποδήματα ασφάλειας, αν πρόκειται να δουλέψετε σε βαριά κομμάτια.

— Μην φοράτε γάντια, όταν χειρίζεσθε εργαλειομηχανή.

— Να διατηρείτε πάντοτε τα κοπτικά εργαλεία σε καλή κατάσταση. Φθαρμένα εργαλεία εγκυμονούν κινδύνους.

— Να βεβαιώνεσθε ότι η εργαλειομηχανή σας έχει ρυθμισθεί σωστά στην επιθυμητή περιστροφική ταχύτητα και πρώση. Το ίδιο ισχύει και για τα όρια διαδρομής (στόπ). Σε ενάντια περίπτωση υπάρχει κίνδυνος σπασίματος του εργαλείου ή του κομματιού με αποτέλεσμα πιθανό ατύχημα.

— Μην πλησιάζετε στα κινούμενα μέρη των εργαλειομηχανών ράκη. Εύκολα αρπάζονται και μαζί με αυτά και το χέρι σας.



**Σχ. 1.2.**

Ένας τεχνίτης που εργάζεται τηρώντας όλους τους κανόνες ασφάλειας σε ένα λειαντικό μηχάνημα επιπέδων επιφανειών. Φορεί φαρδιά ρούχα και προστατευτικά ματογυάλια. Έχει αναδιπλωμένα τα μανίκια του πουκαμίσου του. Η εργαλειομηχανή είναι εφοδιασμένη με προφυλακτήρα του λειαντικού τροχού.

- Να μη σκουπίζετε τα γρέζια με το χέρι σας. Χρησιμοποιείστε κατάλληλη βούρτσα ή άγκιστρο.
- Να συγκρατείτε στερεά και με προσοχή τα κοπτικά εργαλεία και τα προς κατεργασία κομμάτια.
- Να σταματάτε πάντοτε την εργαλειομηχανή, όταν πρόκειται να κάμετε μια μέτρηση ή ρύθμιση ή καθάρισμα ή συντήρηση ή επισκευή.
- Να μην εγκαταλείπετε την εργαλειομηχανή σας σε λειτουργία. Σταματήστε την, πριν απομακρυνθείτε από αυτήν.
- Να βεβαιώνεσθε ότι υπάρχει ο κατάλληλος φωτισμός, ώστε να βλέπετε καλά κατά την εργασία σας.
- Να μην αφήνετε εργαλεία ή κομμάτια στην τράπεζα της εργαλειομηχανής σας ή σε οποιαδήποτε άλλη θέση της, ακόμα και αν αυτή δεν λειτουργεί. Μπορεί κάποιο από αυτά να πέσει και να σας τραυματίσει στο πόδι.
- Να αναφέρετε στον προϊστάμενό σας αμέσως οποιοδήποτε ατύχημα γίνει σε σας ή υποπέσει στην αντίληψή σας.

### 1.2.3 Ερωτήσεις.

1. Ποιες είναι οι τρεις βασικές αιτίες για ατυχήματα στα εργοστάσια και σε ποίο ποσοστό τις συναντούμε;

2. Να αναφέρετε τέσσερα παραδείγματα πράξεων, που μπορούν να προκαλέσουν άτυχημα στο εργοστάσιο.
  3. Ποιοι είναι οι κυριότεροι λόγοι, για τους οποίους είναι επιβεβλημένη η πρόληψη των εργατικών ατυχημάτων;
  4. Να περιγράψετε με δικά σας λόγια τα μειονεκτήματα του ατυχήματος και τα πλεονεκτήματα της ασφάλειας στην έργασία.
  5. Γιατί η νοικοκυροσύνη είναι απαρίθητη στην εργασία; Να αναφέρετε κανόνες για την τήρηση της νοικοκυροσύνης.
  6. Ποια είναι τα ατομικά προστατευτικά μέσα στο μηχανουργείο; Γιατί χρησιμοποιούμε ατομικά προστατευτικά μέσα;
  7. Να αναφέρετε μερικές εργασίες, που απαιτούν προφύλαξη των ματιών. Ποιο προστατευτικό μέσο χρησιμοποιείτε σε κάθε μία από αυτές;
  8. Να αναφέρετε πέντε, όποιους θέλετε, βασικούς κανόνες ασφάλειας για πρόληψη ατυχημάτων κατά την εργασία σε εργαλειομηχανές.
  9. Γιατί χρησιμοποιούνται προφυλακτήρες στις εργαλειομηχανές; Να αναφέρετε θέσεις, στις οποίες τοποθετούνται.
  10. Να συζητήσετε ατυχήματα, που τυχόν γνωρίζετε, τα οποία είχαν ως αφορμή κακή χρήση εργαλειομηχανών.
  11. Ποιόν κίνδυνο εγκυμονεί η γραβάτα σας ή τα πλατιά ρούχα που φοράτε όταν χειρίζεσθε μια εργαλειομηχανή;
  12. Τι σημαίνει ευταξία και καθαριότητα στο μηχανουργείο; Γιατί και οι δύο αυτές έχουν τόση σημασία για την πρόληψη ατυχημάτων μέσα σ' αυτό;
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

#### 2.1 Γενικά.

Στο Μ.Ε. (Κεφάλαιο 1), αφού δώσαμε τον ορισμό της μετρήσεως, μιλήσαμε για τα συστηματικά και τυχαία σφάλματα και για τα δύο βασικά συστήματα μετρήσεως μηκών (το μετρικό και το αγγλοσαξονικό), όπως και για τις αντίστοιχες μονάδες μετρήσεως (το μέτρο, την υάρδα και τις υποδιαιρέσεις τους). Επί πλέον, από τα όργανα απ' ευθείας μετρήσεως διαστάσεων (μηκών) εξετάσαμε μόνο τους μεταλλικούς κανόνες, τα παχύμετρα και τα μικρόμετρα και από τα όργανα συγκρίσεως μηκών (ή συγκριτές μηκών) μόνο τους διαβήτες (κουμπάσα) συγκριτικών μετρήσεων (Μ.Ε., παράρ. 3.2(Ε) (2)). Αυτό έγινε, γιατί μόνο τα μετρητικά αυτά όργανα μας ηταν απαραίτητα για να προχωρήσουμε στην ανάπτυξη των διαφόρων αντικειμένων του Μ.Ε., δηλαδή στη χάραξη και στις διάφορες κατεργασίες και μεθόδους μορφοποίησεως μεταλλικών προϊόντων (κατεργασίες κοπής και διαμορφώσεως, χύτευση, συγκολλήσεις, ηλώσεις, κοχλιοσυνδέσεις κλπ.) με εργαλεία και μέσα του χεριού.

Για να συμπληρώσουμε όμως τις μηχανουργικές μετρήσεις σε βασικά μετρητικά όργανα και σε μεθόδους μετρήσεως, θα ασχοληθούμε στο Κεφάλαιο αυτό και με άλλα όργανα και μεθόδους μετρήσεως, όχι μόνο μήκους, αλλά και άλλων μεγεθών, που μας είναι απαραίτητα, τόσο για τις εργασίες επάνω στις εργαλειομηχανές, όσο και για τον έλεγχο των μηχανουργικών προϊόντων.

Τα όργανα αυτά τα συναντούμε σε πολλά είδη. Ανάλογα όμως με τη μέτρηση που θα επιχειρήσουμε και με την ακρίβεια που θέλουμε να επιτύχομε κατά τη μέτρηση αυτή, μεταχειρίζομαστε και το κατάλληλο μετρητικό όργανο. Έτσι στις επόμενες παραγράφους, αφού προβούμε σε μια σύντομη επανάληψη της ύλης για τη μέτρηση διαστάσεων, η οποία διδάχθηκε στο Μ.Ε., θα εξετάσουμε τα ακόλουθα αντικείμενα:

- α) Τα πρότυπα για τη μέτρηση μηκών (πρωτότυπα για τη μέτρηση μηκών και πρότυπα βιομηχανικά μήκη).
- β) Τα όργανα για τη σύγκριση μηκών (συγκριτές μηκών).
- γ) Τον έλεγχο και μέτρηση γωνιών.
- δ) Τις ανοχές συναρμογών.
- ε) Τους ελεγκτήρες.
- στ) Τον έλεγχο οριζοντιότητας, κατακορυφότητας, επιπεδότητας και παραλληλότητας.
- ζ) Τον έλεγχο και τη μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας.

## 2.2 Σύντομη επανάληψη της ύλης για τη μέτρηση διαστάσεων, που διδάχθηκε στο Μ.Ε. Ερωτήσεις. Ασκήσεις.

### 2.2.1 Επανάληψη της ύλης.

#### A. Τα σφάλματα στις μετρήσεις.

Τα σφάλματα, που γίνονται στις μετρήσεις τα κατατάξαμε σε συστηματικά και σε τυχαία.

**Συστηματικά** είναι τα σφάλματα εκείνα, ανεξάρτητα από προέλευση, των οπίων το αίτιο ή τα αίτιά τους, αν όχι και η ακριβής τους τιμή σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι γνωστά. Άλλα από τα σφάλματα αυτά λαμβάνονται υπ' όψη και επιφέρονται οι αναγκαίες διορθώσεις στο μετρούμενο μέγεθος και άλλα μπορούν να περιορισθούν ή και να εξαλειφθούν ακόμα, αν ληφθούν τα κατάλληλα προς τούτο μέτρα. Ως τυπικά συστηματικά σφάλματα κατά τη μέτρηση μηκών μπορούμε να αναφέρομε εκείνα, που οφείλονται σε διαφορά θερμοκρασίας ή σε διαφορά συντελεστή θερμικής διαστολής (ή και στα δύο) ανάμεσα στο μετρούμενο κομμάτι και στο μετρητικό όργανο, τα σφάλματα από σύνθλιψη μεταξύ κομματιού και επαφέων του οργάνου (π.χ. στα μικρόμετρα), τα σφάλματα αναγνώσεως (διακριτική ικανότητα του ματιού του παρατηρητή, παράλλαξη) κλπ.

Τα **τυχαία** σφάλματα οφείλονται σε αναπόφευκτα και αστάθμητα αίτια, που δεν μπορούμε, από τη φύση τους, να τα εντοπίσουμε και να τα αποφύγομε. Μπορούμε να τα εκτιμήσουμε μόνο με τη βοήθεια της θεωρίας των πιθανοτήτων.

#### B. Τα συστήματα μονάδων μετρήσεως μηκών.

Δύο είναι τα καθιερωμένα συστήματα μονάδων μετρήσεως μηκών: το **μετρικό** που λέγεται και **δεκαδικό** με βάση το **μέτρο** και τις υποδιαιρέσεις ή υποπολλαπλάσιά του και το **αγγλοσαξονικό** που βασίζεται στην **υάρδα** και στις υποδιαιρέσεις της.

Υποδιαιρέσεις του μέτρου (m) είναι το δεκατόμετρο (ή παλάμη, dm), το εκατοστόμετρο (ή πόντος, cm), το χιλιοστόμετρο (mm) και το μικρό (μμ). Οι σχέσεις μεταξύ μέτρου και υποδιαιρέσεών του, όπως και οι σχέσεις ανάμεσα στις υποδιαιρέσεις του αναγράφονται στον πίνακα 2.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.1.**

Μέτρα [m]	Δεκατόμετρα [dm]	Εκατοστό- μετρα [cm]	Χιλιοστό- μετρα [mm]	Μικρά [μμ]
1	10	100	1000	1000000
—	1	10	100	100000
—	—	1	10	10000
—	—	—	1	1000

Η υάρδα (Y) υποδιαιρείται σε τρία (3) πόδια (ft) και κάθε πόδι σε δώδεκα (12) ίντσες (in ή ″), άρα η υάρδα έχει 36″.

Η ίντσα έχει κλασματικές ( $1/2"$ ,  $1/4"$ ,  $1/8"$ ,  $1/16"$ ,  $1/32"$ ,  $1/64"$  και σπανιότερα  $1/128"$ ) και δεκαδικές υποδιαιρέσεις. Για τη μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας [Μ.Ε παράγρ. 2.8.2(B)(1),(2)] έχει θεσπισθεί η μικροίντσα (μικρότερη από  $1/16"$ ), ίση προς ένα εκατομμυριοστό της ίντσας.

Η διεθνής υάρδα (την αποδέχθηκαν οι Η.Π.Α και η Βρεταννική Κοινοπολιτεία το 1959) είναι ίση με 0,9144 m. Κάθε πόδι είναι 0,3048 m, η ίντσα ισούται προς 0,0254 m ή 25,4 mm και η μικροίντσα είναι ίση προς 0,025 μm ή 1/40 μm.

Η μετατροπή μονάδων από το ένα σύστημα στο άλλο μπορεί να γίνει είτε υπολογιστικά με βάση τις ανάμεσά τους σχέσεις που έχουμε δώσει είτε με τη βοήθεια πινάκων (Μ.Ε. Πίνακες 1.3.2, 1.3.3, 1.3.4).

## Γ. Όργανα μετρήσεως μηκών.

Τα όργανα μετρήσεως μηκών, για τα οποία μιλήσαμε, είναι κατά σειρά αυξανόμενης ακρίβειας μετρήσεως: οι μεταλλικοί κανόνες, τα παχύμετρα και τα μικρόμετρα.

α) **Μεταλλικοί κανόνες.** Είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο όργανο μετρήσεως μηκών. Οι μεταλλικοί κανόνες του μετρικού συστήματος βαθμονομούνται σε χιλιοστόμετρα ή σε μισά χιλιοστόμετρα, ενώ οι κανόνες κατά το αγγλοσαξονικό σύστημα φέρουν κλασματικές υποδιαιρέσεις  $1/8"$ ,  $1/16"$ ,  $1/32"$  ή  $1/64"$  ή δεκαδικές υποδιαιρέσεις  $0,1"$  ή  $0,025"$  ή  $0,01"$ . Στον ίδιο κανόνα είναι δυνατό να έχουμε στα άκρα των πλευρών του και διαφορετικές βαθμονομίες.

Ο μεταλλικός κανόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα για ακρίβεια μέχρι  $1/64"$  (με αγγλοσαξονική βαθμονομία) ή 0,5 mm (με μετρική βαθμονομία).

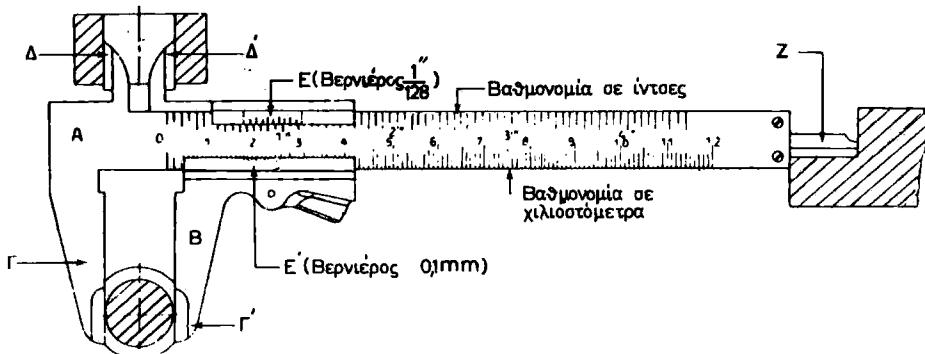
Κατά τη χρήση του μεταλλικού κανόνα, για ικανοποιητικές μετρήσεις, λαμβάνομε εν γένει υπ' όψη τα ακόλουθα:

- Ποιο είδος κανόνα (κοινού, στενού, εύκαμπτου, μικρού μήκους με παρέκταμα) είναι το πιο κατάλληλο, για να εκτελέσουμε τη συγκεκριμένη μέτρηση.
- Ποια βαθμονομία του θα πρέπει να εκλέξουμε, ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε με παραδεκτή ακρίβεια την ανάγγωση της διαστάσεως και
- Πώς θα κρατήσουμε κανόνα και κομμάτι, όπως και ποιαν υποδιαιρέση θα θεωρήσουμε ως αρχή των μετρήσεων.

β) **Παχύμετρα.** Με το παχύμετρο (σχ. 2.2a) κάνομε μετρήσεις μηκών γρήγορα και με ακρίβεια μεγαλύτερη από εκείνη, που επιτυγχάνομε με τους μεταλλικούς κανόνες. Μπορούμε να φθάσουμε ακρίβεια μετρήσεως μέχρι 0,02 mm (20μμ) ή  $0,001"$ . Είναι βασικό μετρητικό όργανο του έμπειρου τεχνίτη. Τα παχύμετρα έχουν αρκετά μεγάλη περιοχή μετρήσεως και παρουσιάζουν ευκολία χρήσεως.

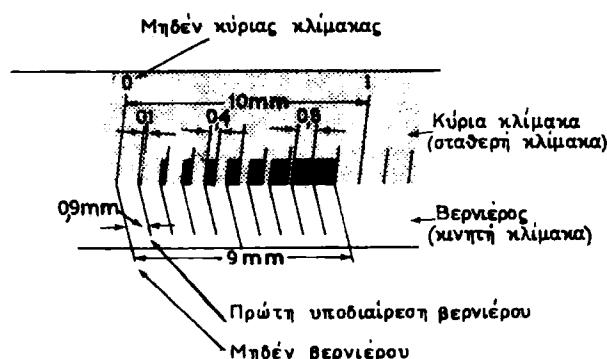
Το στοιχείο, που παρέχει την ακρίβεια στο παχύμετρο, είναι ο βερνιέρος (σχ. 2.2β).

Για μετρήσεις στο μετρικό σύστημα χρησιμοποιούμε παχύμετρα με ακρίβεια  $1/10$  mm (0,1 mm),  $1/20$  mm (0,05 mm) και σπανιότερα  $1/50$  mm (0,02 mm). Στα πρώτα, 9 υποδιαιρέσεις (9 mm) της κύριας κλίμακας του παχυμέτρου διαιρούνται σε 10 ίσες υποδιαιρέσεις βερνιέρου. Στα δεύτερα, 19 υποδιαιρέσεις (19



Σχ. 2.2α.

Παχύμετρο με βερνιέρο γενικής χρήσεως και δυνατότητές του για μετρήσεις: (Α) σταθερό μέρος παχυμέτρου, (Β) κινητό μέρος, (Γ, Δ, Γ', Δ') ράμφη, (Ε, Ε') κλίμακες βερνιέρου, (Ζ) ραβδίο για μετρήσεις βάθους.



Σχ. 2.2β.

Η αρχή του βερνιέρου. Ο βερνιέρος αυτός μετράει με ακρίβεια 1/10 mm.

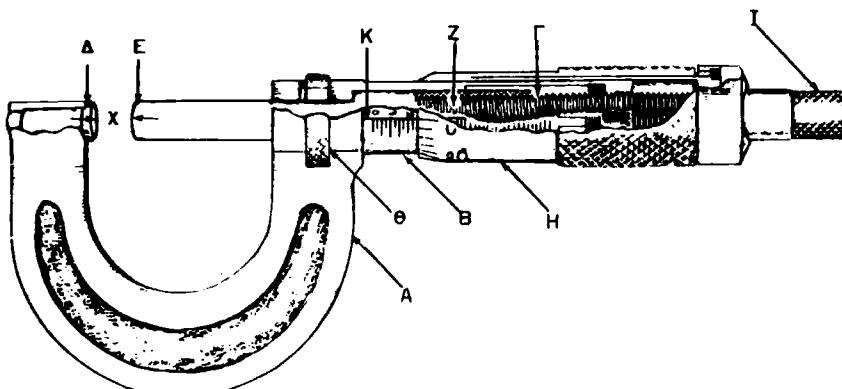
mm) της κύριας κλίμακας υποδιαιρούνται σε 20 ίσες υποδιαιρέσεις βερνιέρου, ενώ στα τελευταία (με ακρίβεια 0,02 mm) 49 υποδιαιρέσεις (49 mm) της κλίμακας του κανόνα κάνουν 50 ίσες υποδιαιρέσεις του βερνιέρου.

Τα παχύμετρα τόσο αγγλοσαξονικού συστήματος παρουσιάζουν δύο στάθμες ακρίβειας, δηλαδή 1/128" και 0,001". Στα παχύμετρα με ακρίβεια 1/128" η κύρια κλίμακα φέρει υποδιαιρέσεις σε 1/16", ενώ για να διαμορφωθεί ο βερνιέρος τους 7 υποδιαιρέσεις του κανόνα (7/16") έχουν διαιρεθεί στο βερνιέρο σε 8 ίσες υποδιαιρέσεις. Τα παχύμετρα που μετρούν με ακρίβεια 0,001" έχουν υποδιαιρέσεις του κανόνα σε 1/40" (0,025") και κλίμακα βερνιέρου με 25 ίσες υποδιαιρέσεις, οι οποίες προέρχονται από 24 υποδιαιρέσεις της κύριας κλίμακας του παχυμέτρου, δηλαδή από μήκος 24/40".

Η ακρίβεια μετρήσεως του παχυμέτρου βασίζεται στην κατάσταση (καλή, μέτρια, κακή), στην οποία βρίσκεται η συναρμογή του σταθερού και κινητού του μέ-

ρους (Α και Β αντίστοιχα, σχ. 2.2α), όπως και από την κατάσταση των ραμφών του από άποψη φθοράς ή στρεβλώσεως (ή και των δύο). Γι' αυτό, αν θέλομε να πάρνομε αξιόπιστες ενδείξεις με τα παχύμετρα, θα πρέπει να κάνουμε τους προβλεπόμενους περιοδικούς ελέγχους για φθορά και παραλληλισμό των ραμφών τους.

γ) **Μικρόμετρα** (σχ. 2.2γ). Χρησιμοποιούνται για μετρήσεις μηκών, οι οποίες απαιτούν ακρίβεια μεγαλύτερη από εκείνη, που μπορεί να μας δώσει το παχύμετρο. Η ακρίβεια αυτή για μικρόμετρα του μετρικού συστήματος μπορεί να φθάσει το 0,01 mm, ενώ για μικρόμετρα του αγγλοσαξονικού συστήματος το 0,001" ή ακόμα και το 0,0001" με χρήση κατάλληλου βερνιέρου.



**Σχ. 2.2γ.**

Τα διάφορα μέρη του μικρομέτρου: (Α) πεταλοειδής σκελετός, (Β) κοίλος κύλινδρος, (Γ) σταθερό περικόχλιο, (Δ) σταθερός επαφέας (πέλμα), (Ε) κινητός επαφέας, (Ζ) κοχλίας, (Η) βαθμονομημένος κάλυκας, (Θ) ρικνωτό ασφαλιστικό περικόχλιο, (Ι) μηχανισμός ελέγχου πιέσεως επαφέων - μετρούμενου κομματιού.

Η λειτουργία του μικρομέτρου βασίζεται στην αρχή της σχετικής κινήσεως ενός κοχλία και του περικόχλιού του. Η αξονική δηλαδή μετατόπιση του κοχλία, αν το περικόχλιο είναι σταθερό (όπως συμβαίνει στο μικρόμετρο), είναι ίση με το βήμα του σπειρώματος για μια πλήρη περιστροφή του κοχλία ή με μέρος του βήματος ανάλογα με τη γωνία στροφής του. Η συγκράτηση ενός μικρομέτρου φαίνεται στο σχήμα 2.2γ.

Τα μικρόμετρα τα απαντούμε σε διάφορα μεγέθη (περιοχές μετρήσεως): 0-25 mm, 25-50 mm, 50-75 mm κ.ά. ή 0-1", 1-2", 2-3" κ.ο.κ.

Διακρίνομε μικρόμετρα εξωτερικών διαστάσεων, μικρόμετρα εσωτερικών διαστάσεων, και μικρόμετρα βάθους (βαθύμετρα). Από αυτά τό ευρύτερα χρησιμοποιούμενο είναι το πρώτο, δηλαδή το μικρόμετρο εξωτερικών διαστάσεων, που το συναντούμε ως μικρόμετρο του μετρικού ή του αγγλοσαξονικού συστήματος.

Το μικρόμετρο του μετρικού συστήματος μετρά με ακρίβεια 0,01 mm (10 μm), η οποία επιτυγχάνεται με βήμα σπειρώματος ίσο προς 0,5 mm και με 50 ίσες υποδιαιρέσεις της περιφέρειας του κάλυκα Η του μικρομέτρου. Ο κοίλος κύλινδρος Β φέρει βαθμονομία με υποδιαιρέσεις 0,5 mm.

Εξ άλλου το μικρόμετρο του αγγλοσαξονικού συστήματος μας δίνει συνήθως ακρίβεια 0,001''. Εδώ ο κοχλίας του μικρομέτρου έχει σπείρωμα με βήμα 1/40'' (ή 40 σπειρώματα στην ίντσα) ή 0,025''. Η βαθμονομία του κοίλου κύλινδρου έχει υποδιαιρέσεις 0,025'' και η περιφέρεια του κάλυκα διαιρείται σε 25 ίσες υποδιαιρέσεις.

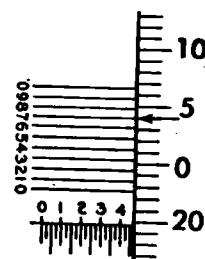
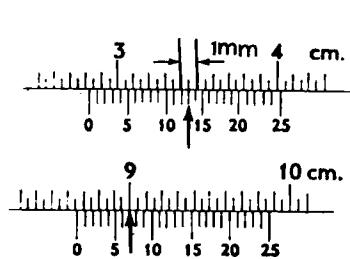
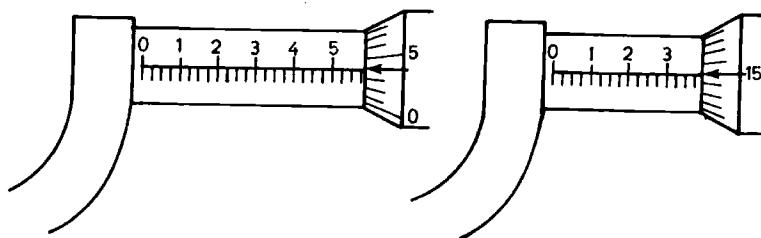
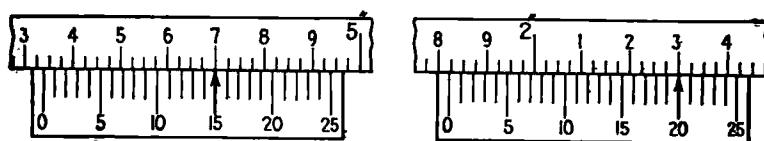
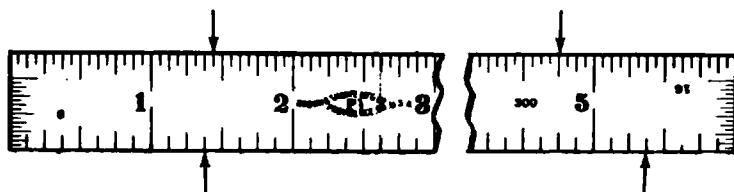
Μεγαλύτερη ακόμα ακρίβεια από 0,001'', δηλαδή 0,0001'', μπορούμε να επιτύχουμε, αν στο μικρόμετρο ακρίβειας 0,001'', προσθέσσομε βερνιέρο με ακρίβεια 1/10 (ή κλίμακα του βερνιέρου έχει δέκα ίσες υποδιαιρέσεις, που αντιστοιχούν σε εννέα υποδιαιρέσεις του κάλυκα). Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι η ακρίβεια αυτή, δηλαδή του 0,0001'', είναι αμφίβολο αν μπορεί να επιπευχθεί με αξιοπιστία, εξ αιτίας της σχετικά αδύνατης (όχι πολύ στιβαρής) κατασκευής του μικρομέτρου.

Ο περιοδικός έλεγχος των μικρομέτρων είναι αναγκαίος. Συνίσταται στην εξακρίβωση της επιπεδότητας και παραλληλότητας των επιφανειών μετρήσεως των επαφέων Δ και Ε (σχ. 2.2γ) με τη βοήθεια οπτικού πλακιδίου και πηγής (λυχνίας) μονοχρωματικού φωτός [παράγρ. 2.9.2(B)], όπως και στον έλεγχο της φθοράς του κοχλία και περικοχλίου με πρότυπο πλακίδιο (παράγρ. 2.3.3) ή με πρότυπο μήκος που συνήθως συνοδεύει το μικρόμετρο.

Σχετικά με τη σωστή χρήση των μικρομέτρων και των παχυμέτρων παραπέμπομε στις οδηγίες της παραγράφου 1.4(Ε) του Μ.Ε.

## 2.2.2 Ερωτήσεις - Ασκήσεις

1. Να εξηγήσετε τους παρακάτω όρους: **συστηματικό σφάλμα, τυχαίο σφάλμα**.
2. Με τη βοήθεια ενός απλού σκίτου να εξηγήσετε πώς πρέπει να μεταχειρισθούμε το μεταλλικό κανόνα, για να επιτύχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.
3. Ποια μέγιστη ακρίβεια μπορούμε να επιτύχουμε με ένα μεταλλικό κανόνα και γιατί;
4. Ποια μετρητικά όργανα χρησιμοποιούμε, για να κάνουμε μετρήσεις σε κλάσματα της ίντσας ή σε δεκαδικούς της ίντσας;
5. Ποια είναι η αρχή του βερνιέρου γενικά;
6. Πώς είναι σχεδιασμένο ένα παχύμετρο για να μετράει με ακρίβεια 1/128'' ή 1/20'' mm;
7. Να συγκρίνετε μεταξύ τους το παχύμετρο και το μικρόμετρο και να αναφέρετε πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.
8. Πώς ελέγχουμε τη φθορά και την παραλληλότητα των ραμφών ενός παχυμέτρου;
9. Ποια είναι η αρχή του μικρομέτρου;
10. Πώς διαμορφώνεται ένα μικρόμετρο για να μας δίνει μετρήσεις με ακρίβεια 0,01 mm ή 0,001'';
11. Ποια εργασία κάνει ο μηχανισμός I (σχ. 2.2γ) και το ασφαλιστικό περικόχλιο Θ ενός μικρομέτρου;
12. Σε τι συνίσταται ο περιοδικός έλεγχος ενός μικρομέτρου;
13. Να αναφέρετε δύο βασικές οδηγίες για τη χρήση των παχυμέτρων και μικρομέτρων.
14. Ποιο μικρόμετρο είναι ακριβέστερο: το μετρικό με ακρίβεια 0,01 mm ή το αγγλοσαξονικό με ακρίβεια 1/128'';
15. Ποιο παχύμετρο είναι ακριβέστερο: το μετρικό με ακρίβεια 1/20 mm ή το αγγλοσαξονικό με ακρίβεια 0,001'' και γιατί;
16. Να σχεδιάσετε ή να θέσετε την ένδειξη 15,35 mm σε ένα μετρικό παχύμετρο και την ένδειξη 4,361'' σε ένα αγγλοσαξονικό. Σε ποιά κλασματική υποδιάρεση της ίντσας πλησιάζει η πρώτη ένδειξη; Να μετατρέψετε σε χιλιοστόμετρα τη δεύτερη ένδειξη.
17. Να εξηγήσετε, όσο γίνεται πιο απλά, την ένδειξη 4,361'' ενός αγγλοσαξονικού παχυμέτρου.
18. Να σχεδιάσετε ή να θέσετε τις ακόλουθες ένδειξεις ενός μικρομέτρου: α) 17,42 mm, β) 2,289'', γ) 2,2872'' και να εξηγήσετε πώς γίνεται η ανάγνωση της ένδειξης (α) και της ένδειξης (γ).
19. Να αναγνώσετε τις παρακάτω ένδειξεις (σημειώνονται με βέλος) σε μεταλλικό κανόνα, παχύμετρο και μικρόμετρο (σχ. 2.2δ).



Σχ. 2.26.

## 2.3 Πρότυπα μετρήσεως μηκών.

### 2.3.1 Οι διάφορες στάθμες ή βαθμοί ακρίβειας:

Οι εκτελούμενες στην πράξη ποικίλες μετρήσεις μηκών είτε αυτές πραγματοποιούνται για τον έλεγχο των μηχανουργικών προϊόντων, για ρυθμίσεις ή για διακρίβωση των χρησιμοποιουμένων οργάνων είτε για οποιοδήποτε άλλο σκοπό, είναι ανάγκη να γίνονται με διαφορετική για κάθε περίπτωση ακρίβεια ή αλλοιώς σε διάφορες **στάθμες ή βαθμούς ακρίβειας**. Έχομε έτσι μιαν ιεράρχηση της ακρίβειας από τη μικρότερη προς τη μέγιστη δυνατή. Όπως είναι φυσικό, η ακρίβεια δεν μπορεί να αυξάνεται απεριόριστα, αλλά υπάρχει κάποιο ανώτερο φράγμα, το οποίο δεν μπορούμε να υπερβούμε με οσοδήποτε ψηλό κατασκευαστικό κόστος. Το ανώτερο αυτό φράγμα για την ακρίβεια που επιτυγχάνομε στις κατασκευές καθορίζεται από τα επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα της εποχής μας στον τομέα της μετρολογίας και στους συναφείς με αυτή τομείς.

Στο μηχανουργείο, επί παραδείγματι, χρησιμοποιούμε τα διάφορα μετρητικά όργανα [παχύμετρα, μικρόμετρα, συγκριτές μηκών (παράγρ. 2.4) κ.ά.], τους ελεγκτήρες (παράγρ. 2.7.1) ή και πρότυπα πλακίδια ακόμα, για να ρυθμίζομε και να ελέγχουμε τις εργαλειομηχανές, τις συσκευές συγκρατήσεως κομματιών και εργαλείων και για να επιθεωρούμε τα παραγόμενα προϊόντα. Όλα τα όργανα αυτά μπορούμε να τα κατατάξουμε στην κατώτερη βαθμίδα ακρίβειας που χρειάζεται στην παραγωγή γενικά των προϊόντων.

Για να έχουν όμως αξιοπιστία οι μετρήσεις μας, θα πρέπει τα μετρητικά όργανα που αναφέραμε να διακριβώνονται (να ελέγχεται η ακρίβειά τους) από όργανα πάλι, τα οποία όμως θα ανήκουν σε ανώτερη στάθμη ακρίβειας. Τα τελευταία τώρα έχουν ανάγκη και αυτά να διακριβώθουν από όργανα ανώτερης στάθμης ακρίβειας κ.ο.κ. Εδώ είναι ανάγκη να υπογραμμίσουμε ότι η διαδοχική αυτή διαδικασία διακριβώσεως των οργάνων μετρήσεως, τα οποία ανήκουν σε διάφορες στάθμες ακρίβειας, θα πρέπει να γίνεται ανελλιπώς και σε τακτά χρονικά διαστήματα και κατά τρόπο προδιαγραμμένο, για κάθε περίπτωση. Έτσι μόνο θα διαθέτομε μετρητικά όργανα, στα οποία θα μπορούμε να βασισθούμε.

Χονδρικά, παραθέτομε παρακάτω τις στάθμες αυτές ακρίβειας.

Στην παραγωγή, για μετρήσεις με παχύμετρο ή με μικρόμετρο η ακρίβεια που επιτυγχάνεται μπορεί να φθάσει τα 25 μμ (0,001"). Στην επιθεώρηση των κομματιών, η ακρίβεια του χρησιμοποιούμενου οριακού ελεγκτήρα (παράγρ. 2.7.1) θα πρέπει να προσεγγίζει τα 2,5 μμ (0,0001"). Η ακρίβεια του οργάνου, με το οποίο διακριβώνομε τον ελεγκτήρα, θα φθάνει τα 0,25 μμ (0,00001"), ενώ τα πρότυπα πλακίδια, που θα χρειασθούν για τη ρύθμιση του οργάνου αυτού, είναι αναγκαίο να έχουν ακρίβεια 0,1 μμ (0,000004" ή 4 μ"). Τέλος, τα πρότυπα πλακίδια μεγάλης ακρίβειας, με τα οποία ελέγχομε τα πλακίδια, που μόλις τώρα αναφέραμε, διακριβώνονται σε ειδικό συγκριτή συμβολής φωτός με ακρίβεια 0,025 μμ (0,000001" ή 1 μ").

Είναι αυτονόητο ότι όλη αυτή η σειρά από διαδοχικές διακριβώσεις δεν είναι δυνατό να γίνει μέσα στο μηχανουργείο ή στο εργοστάσιο, στο οποίο ανήκει το μηχανουργείο. Οι διακριβώσεις χαμηλής σχετικά στάθμης ακρίβειας μπορούν να γίνουν στο μηχανουργείο ή το εργοστάσιο, ενώ οι υψηλότερης στάθμης ακρίβειας

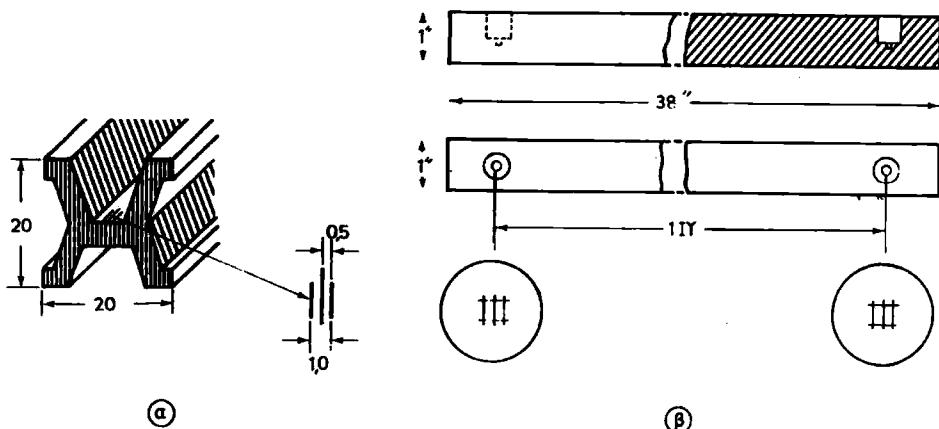
διακριβώσεις εκτελούνται σε ειδικά έργαστήρια, ιδρύματα, από τους κατασκευαστές οίκους μετρητικών οργάνων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μέσα, που απαιτούνται για την ακολουθία αυτή των διακριβώσεων, στοιχίζουν πανάκριβα και, όπως είναι φυσικό, δεν είναι δυνατό να τα διαθέτει κάθε μηχανουργείο ή εργοστάσιο, για να διακριβώνει τα όργανά του μόνο. Ακόμα πρέπει να σημειώσουμε ότι για την εκτέλεση των εργασιών αυτών διακριβώσεως χρειάζεται και εξειδικευμένο προσωπικό.

Τα διάφορα ιδρύματα και εργαστήρια διακριβώσεως ιεραρχούνται ως εξής: Το **Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών** είναι η ανώτατη αρχή στον τομέα της διακριβώσεως. Με αυτό συνδέονται τα **Εθνικά Γραφεία** (ή **Εργαστήρια Προτύπων** των διαφόρων χωρών και παρακάτω από αυτά υπάρχουν τα λεγόμενα **Γραφεία** (ή **Εργαστήρια Προτύπων**, τα οποία είναι δυνατό να είναι κρατικά ή ιδιωτικά. Ακολουθούν τα Μετρολογικά Εργαστήρια των ομάδων εργοστασίων, των εργοστασίων κλπ. μέχρι να φθάσουμε στην κατώτατη βαθμίδα ακρίβειας, δηλαδή στην παραγωγή.

### 2.3.2 Πρωτότυπα για τη μέτρηση μηκών.

#### A. Το πρωτότυπο μέτρο.

Στο Παρίσι, το έτος 1875 με την υπογραφή της συμβάσεως Μέτρων και Σταθμών από πολλά κράτη, καθιερώθηκε το **πρωτότυπο μέτρο** (ορίσθηκε ίσο προς το  $1/40000000$  του μήκους του μεσημβρινού της γης) και κατατέθηκε στο περίπτερο των Σεβρών. Είναι κατασκευασμένο από ιριδιούχο πλατίνα και έχει τη μορφή του σχήματος 2.3a(α), για να παρουσιάζει μικρές παραμορφώσεις σε κάμψη. Και



**Σχ. 2.3a.**

Πρωτότυπα για τη μέτρηση μηκών: (α) Το πρωτότυπο μέτρο. (β) Η πρωτότυπη αυτοκρατορική υάρδα.

στα δύο άκρα της ράβδου αυτής, που υλοποιεί το μέτρο, στο ουδέτερο επίπεδό της (στο επίπεδο, όπου η παραμόρφωση λόγω κάμψεως είναι μηδενική) υπάρχουν τρεις παράλληλες χαραγές κάθετες στον άξονα της ράβδου. Το μέτρο ορίσθηκε ως

η απόσταση ανάμεσα στους άξονες των δύο μεσαίων χαραγών (αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο το μέτρο αυτό είναι **πρωτότυπο χαραγών**) σε θερμοκρασία 0°C (θερμοκρασία τη κόμενου πάγου), θερμοκρασία που πολύ εύκολα μπορεί να πραγματοποιηθεί.

Όλα τα κράτη, που υπέγραψαν τη σύμβαση, πήραν από ένα αντίγραφο του πρωτότυπου μέτρου, το οποίο απετέλεσε το **πρωτότυπο εθνικό μέτρο** τους.

Το πρωτότυπο αυτό μέτρο παρέμεινε σε ισχύ ως διεθνές πρωτότυπο για τις μετρήσεις μήκους μέχρι το 1960, οπότε αντικαταστάθηκε με το μήκος κύματος φωτός, για το οποίο θα μιλήσουμε στην παράγραφο 2.3.2(Γ) παρακάτω.

## B. Η πρωτότυπη αυτοκρατορική υάρδα.

Μετά από πολλές αλλαγές που έγιναν στην υάρδα, την οποία, όπως είναι γνωστό, όρισε και εισήγαγε ο Ερρίκος ο πρώτος της Αγγλίας το 1120, με πράξη της Βουλής των Κοινοτήτων το έτος 1855 καθιερώθηκε η **πρωτότυπη αυτοκρατορική υάρδα** ως νόμιμη μονάδα μετρήσεως μήκους στη Βρεταννική Κοινοπολιτεία. Είναι και αυτή, όπως και το πρωτότυπο μέτρο, πρωτότυπο χαραγών και είναι κατασκευασμένη από κρατέρωμα [παράγρ. 3.7.1(B)(2)] και έχει τετραγωνική διατομή.

Η αυτοκρατορική υάρδα ορίζεται ως η απόσταση (σε θερμοκρασία 62°F) μεταξύ των αξόνων των μεσαίων χαραγών, που βρίσκονται χαραγμένες στην επάνω επιφάνεια αντιστοίχων χρυσών κυλινδρίσκων φυτεμένων μέσα σε κατάλληλες τρύπες της ράβδου, που υλοποιεί την πρωτότυπη αυτοκρατορική υάρδα [σχ. 2.3α(β)]. Η επάνω επιφάνεια των χρυσών κυλινδρίσκων συμπίπτει και εδώ με το ουδέτερο επίπεδο της ράβδου.

## Γ. Το μήκος κύματος φωτός ως πρωτότυπο για τη μέτρηση μηκών.

Με την πάροδο όμως του χρόνου προέκυψαν αμφισβητήσεις ως προς το αναλλοίωτο και τών δύο πρωτοτύπων, δηλαδή του μέτρου και της αυτοκρατορικής υάρδας. Επί πλέον με τη ραγδαία επίστημονική και τεχνολογική εξέλιξη έγινε αισθητή η ανάγκη για μετρήσεις πολύ ψηλής στάθμης ακρίβειας. Έτσι, επεκράτησε η σκέψη για την καθιέρωση μιας πρωτότυπης μονάδας μήκους, η οποία όμως θα μπορούσε να αναπαραχθεί εύκολα και με πολύ μεγάλη ακρίβεια οπουδήποτε στη γη και προς την οποία θα ήταν δυνατό να συγκριθούν κατ' ευθείαν άλλα πρότυπα μήκη.

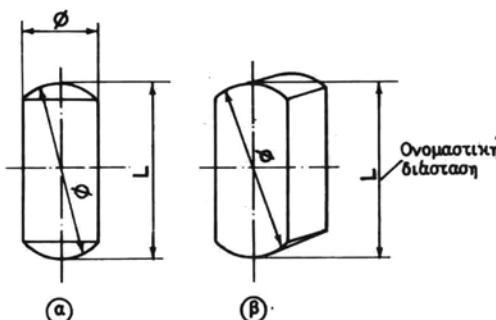
Για να παίξει το ρόλο ενός τέτοιου πρωτοτύπου, επιλέχθηκε το μήκος κύματος μονοχρωματικού φωτός, εξ αιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει. Αρχικά, το έτος 1927 κατά την έβδομη γενική σύνοδο της διεθνούς Επιτροπής Μέτρων και Σταθμών, υιοθετήθηκε ως πρωτότυπη μονάδα μετρήσεως μηκών το μήκος κύματος της ερυθρής ακτινοβολίας ατμών καδμίου κάτω από καθορισμένες φυσικές συνθήκες παραγωγής. Αργότερα, στην ενδέκατη σύνοδο της ίδιας Επιτροπής το 1960, συμφωνήθηκε και έγινε αποδεκτή ως πρωτότυπη μονάδα για τη μέτρηση μηκών το μήκος κύματος στο κενό της πορτοκαλιάς-ερυθρής ακτινοβολίας του στοιχείου κρυπτό 86, το οποίο είναι ίσο προς 0,6058 μμ (ακριβέστερα 0,60579021 μμ). Άρα το μέτρο, ως διεθνής πλέον θεμελιώδης μονάδα μήκους, ισούται προς 1650763,73 φορές το μήκος κύματος αυτής της ακτινοβολίας.

Με το νέο αυτό πρωτότυπο μήκους είναι δυνατό οπουδήποτε να γίνει μέτρηση ενός μήκους, δηλαδή σύγκρισή του με το πρωτότυπο μέτρο, με ακρίβεια ενός χιλιοστού του μικρού (0,001 μμ), με την προϋπόθεση όμως ότι διατίθεται το κατάλληλο όργανο και τηρούνται οι προβλεπόμενες συνθήκες για την εκτέλεση της μετρήσεως.

### 2.3.3 Πρότυπα βιομηχανικά μήκη.

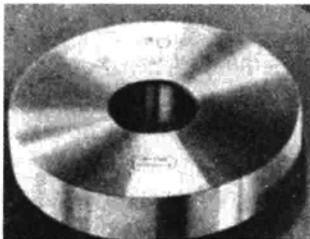
Η ονομασία **πρότυπο μήκος** έχει την έννοια του αληθινού ή **γνήσιου μήκους**, δηλαδή μήκους με πάρα πολύ μικρό σφάλμα, αμελητέο μπορούμε να πούμε.

Στα πρότυπα βιομηχανικά μήκη ανήκουν: οι **πρότυποι κανόνες σφαιρικών άκρων** [σχ. 2.3β(α)], οι **πρότυποι κανόνες κυλινδρικών άκρων** [σχ. 2.3β(β)], οι **πρότυποι δίσκοι** (σχ. 2.3γ), οι **πρότυποι δακτύλιοι** (σχ. 2.3δ) και τα **πρότυπα πλακίδια** (σχ. 2.3ε). Οι πρότυποι κανόνες και τα πρότυπα πλακίδια χαρακτηρίζονται ως **πρότυπα άκρων**. Η ονομαστική διάστασή τους (ή ονομαστικό μήκος) ορίζεται ως η απόσταση  $L$  ανάμεσα στις δύο ακραίες τους επιφάνειες και όχι ως η απόσταση μεταξύ δύο χαραγών, όπως συμβαίνει στο πρωτότυπο μέτρο και την πρωτότυπη αυτοκρατορική υάρδα (πρωτότυπα χαραγών).



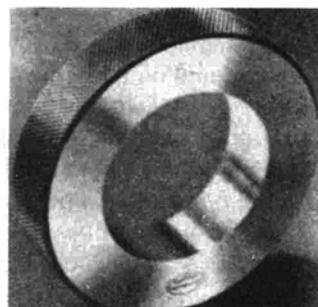
Σχ. 2.3β.

Πρότυποι κανόνες: (α) Σφαιρικών άκρων. (β) Κυλινδρικών άκρων.



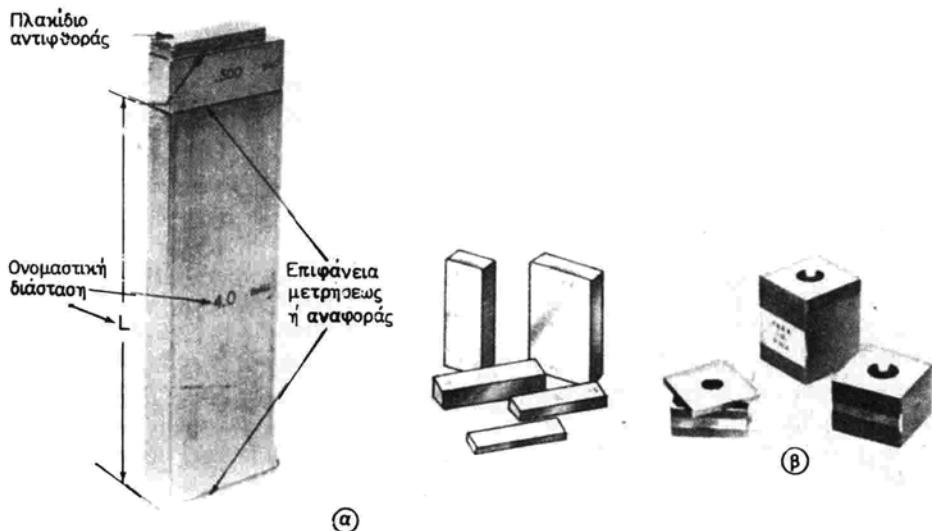
Σχ. 2.3γ.

Πρότυπος δίσκος.



Σχ. 2.3δ.

Πρότυπος δακτύλιος.



Σχ. 2.3ε.

Πρότυπα πλακίδια: (α) Σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου. (β) Σε σχήμα τετραγωνικού πρίσματος με μια τρύπα στη μέση.

Τα πρότυπα βιομηχανικά μήκη που αναφέραμε χρησιμοποιούνται τόσο στον έλεγχο διαστάσεων κατά την παραγωγή μηχανουργικών προϊόντων, όσο και στη διακρίβωση οργάνων και μέσων μετρήσεως μικρότερης ακρίβειας.

Στα επόμενα θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τα πρότυπα πλακίδια, τα οποία θεωρούμε ότι συμβάλλουν σημαντικά όπως θα διαπιστώσουμε, στις μετρήσεις στο μηχανουργείο, (παραγωγή, εργαλειοκατασκευαστήριο, επιθεώρηση ή εργαστήριο προτύπων), παραλείποντας έτσι τα υπόλοιπα, δευτερεύουσας κάπως σημασίας πρότυπα βιομηχανικά μήκη.

### — Τα πρότυπα πλακίδια.

#### A. Γενικά.

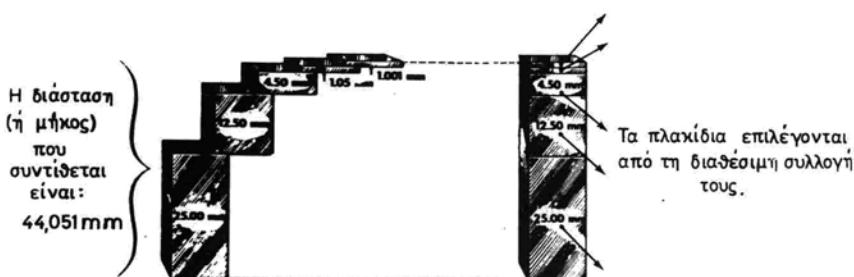
Τα πρότυπα πλακίδια έχουν συνήθως σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου [σχ.2.3.ε(α)], του οποίου δύο έδρες είναι κατεργασμένες με μέγιστη ακρίβεια επίπεδες, παράλληλες και λείες. Η απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στις δύο αυτές έδρες (**Ιεπφάνειες μετρήσεως ή αναφοράς**) του πλακιδίου είναι το οριζόμενο από κάθε πλακίδιο μήκος ή η **ονομαστική διάσταση** του πλακιδίου. Η επινόησή τους οφείλεται στο Σουηδό επιθεωρητή οπλισμού Carl E. Johansson, στις αρχές του αιώνα μας.

Υπάρχουν όμως και πρότυπα πλακίδια σε σχήμα τετραγωνικού πρίσματος [σχ. 2.3.ε(β)] με μια τρύπα συνήθως στο μέσο τους για ευκολία στη σύνθεση διαφόρων μηκών. Είναι δυνατόν όμως τα πλακίδια αυτά και να μη φέρουν τρύπα.

Με τα πρότυπα πλακίδια μπορούμε σχετικά εύκολα (αφού όμως αποκτήσομε την απαιτούμενη εμπειρία) να συνθέτουμε διαστάσεις (μήκη) με προσωρινούς συν-

δυασμούς από πρότυπα πλακίδια – το καθένα πλακίδιο αντιπροσωπεύει ένα προτυπο μήκος – στη μορφή μιας **σειράς** ή μιας **στήλης** από πλακίδια (σχ. 2.3στ.). Το συνολικό μήκος της σειράς αυτής ή στήλης πλακιδίων – μέσα βέβαια, σε καθορισμένες πολύ στενές ανοχές – παριστάνει τη ζητούμενη πρότυπη διάσταση (ή μήκος) για κάποια εφαρμογή.

Τα πρότυπα πλακίδια κατασκευάζονται από χαλυβόκραμα (συνήθως χρωμιούχο με ψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα) τέτοιο, ώστε να παρουσιάζει ανεκτή αντίσταση στη φθορά από τη χρήση, σταθερότητα της ονομαστικής διαστάσεως, μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής και καλή κατεργαστικότητα, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά την επίτευξη ψηλού βαθμού τραχύτητας επιφάνειας. Η απαιτούμενη σκληρότητα, η διαστατική ευστάθεια και η εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων των πλακιδίων επιτυγχάνονται με μια σειρά από θερμικές κατεργασίες μετά τη βαφή. Τα πλακίδια, που χρησιμοποιούνται σε διαβρωτικό περιβάλλον κατασκευάζονται από κατάλληλο ανοξείδωτο χάλυβα.



Σχ. 2.3στ.

Σύνθεση μιας διαστάσεως (ή μήκους) στη μορφή μιας σειράς ή στήλης από πρότυπα πλακίδια.

## B. Συλλογές προτύπων πλακιδίων.

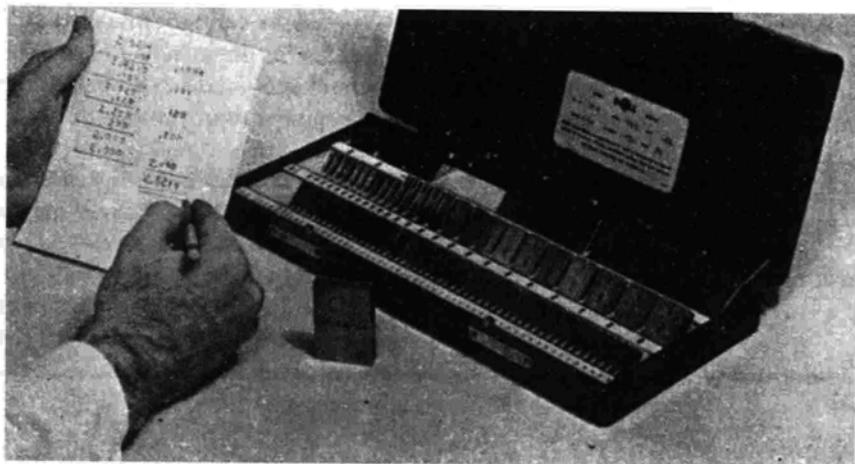
Τα πρότυπα πλακίδια διατίθενται στο εμπόριο από τα εργοστάσια κατασκευής σε συλλογές (σχ. 2.3ζ) τόσο στο μετρικό, όσο και στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων μετρήσεως.

Στον Πίνακα 2.3.1 παραθέτομε τη σύνθεση δύο τυπικών συλλογών από πρότυπα πλακίδια, μιας κατά το μετρικό σύστημα και της άλλης κατά το αγγλοσαξονικό σύστημα.

Κάθε συλλογή φέρει και ένα ζεύγος πλακιδίων από σκληρομέταλλο (παράγρ. 3.8.2) τα λεγόμενα **πλακίδια αντιφθοράς**, πάχους 2 mm ή 0,050''. Αυτά τα πλακίδια τοποθετούνται συνήθως στα δύο άκρα (σχ. 2.3ιγ) [ή και στο ένα, αν δεν υπάρχει κίνδυνος φθοράς στο άλλο, σχ. 2.3ε(α)] της σειράς ή στήλης πλακιδίων, η οποία αντιπροσωπεύει, όπως είπαμε, μια πρότυπη διάσταση, για να προφυλάγουν έτσι τις αντίστοιχες επιφάνειες μετρήσεως των ακραίων πλακιδίων του συνδυασμού από φθορά λόγω χρήσεως.

## Γ. Ποιότητες προτύπων πλακιδίων.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς προτυποποιήσεως, που ισχύουν, προδιαγρά-



Σχ. 2.3ζ.

Τυπική συλλογή προτύπων πλακιδίων μέσα στην ειδική θήκη τους.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3.1.

#### Σύνθεση τυπικών συλλογών προτύπων πλακιδίων

Αριθμός πλακιδίων	Κλιμάκωση ονομαστικής διαστάσεως [mm]	Περιοχή ονομαστικής διαστάσεως [mm]	Αριθμός πλακιδίων	Κλιμάκωση ονομαστικής διαστάσεως [in]	Περιοχή ονομαστικής διαστάσεως [in]
<b>1. Μετρικό σύστημα</b>			<b>2. Αγγλοσαξονικό σύστημα</b>		
9	0,001	1,001- 1,009	9	0,0001	0,1001-0,1009
49	0,010	1,010- 1,490	49	0,001	0,101 -0,149
49	0,500	0,500- 24,500	19	0,050	0,050 -0,950
4	25,000	25,000-100,000	4	1,000	1,000 -4,000
2*	—	2,000	2*	—	0,050

\* Πλακίδια αντιφθοράς από σκληρομέταλλο.

φονται διάφορες ποιότητες για τα πρότυπα πλακίδια. Έτσι, η γερμανική προτυποποίηση (DIN 861 και TGL 12015) προβλέπει τέσσερις ποιότητες για τα πρότυπα πλακίδια, δηλαδή τις ποιότητες Ι, ΙΙ και ΙΙΙ. Η ποιότητα Ι είναι η ανώτατη ποιότητα [π.χ. για πλακίδιο με ονομαστική διάσταση 25 mm το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα ή η ανοχή του, παράγρ. 2.6.1(Δ), είναι  $\pm 0,15$  μm], ενώ η ποιότητα ΙΙΙ είναι η κατώτατη ποιότητα (για πλακίδιο με την ίδια ονομαστική διάσταση, δηλαδή 25 mm, προβλέπεται μέγιστο σφάλμα  $\pm 1,5$  μm).

Κατά τους αμερικανικούς κανονισμούς (GGG-G-15a) προδιαγράφονται πέντε

ποιότητες προτύπων πλακιδίων, οι ποιότητες AAA, AA, A+, A και B(AAA είναι η ανώτατη ποιότητα και B η κατώτατη). Για να πάρομε μιάν ιδέα της ακρίβειας κατασκευής των πλακιδίων αυτών, αναφέρομε ότι για ονομαστική διάσταση μιας ίντσας (1'') η ανοχή της ποιότητας AAA είναι  $\pm 0,025\text{ μ m}$  ( $\pm 1 \mu''$ ), ενώ η ανοχή της ποιότητας B για την ίδια ονομαστική διάσταση δίνεται ως  $+0,25 \text{ μm}$  ( $+10 \mu''$ ),  $-0,15 \text{ μm}$  ( $-6 \mu''$ ).

Τέλος, η βρεταννική προτυποποίηση (BS 888) προβλέπει τέσσερις ποιότητες: την ποιότητα αναφοράς (ανώτατη ποιότητα), την ποιότητα διακριβώσεως, την ποιότητα επιθεωρήσεως και την ποιότητα παραγωγής (κατώτατη ποιότητα). Η ανοχή κατασκευής, για πλακίδιο πάλι με ονομαστική διάσταση μιας ίντσας (1''), της ιιεν ποιότητας αναφοράς είναι  $\pm 0,050 \text{ μm}$  ( $\pm 2 \mu''$ ), της δε ποιότητας παραγωγής  $+0,25 \text{ μm}$  ( $+10 \mu''$ ),  $-0,125 \text{ μm}$  ( $-5 \mu''$ ). Νεώτερη όμως προδιαγραφή (BS 4311) προβλέπει για μετρικά πρότυπα πλακίδια τις ποιότητες 00, 0, I και II κατά σειρά ελαττούμενης ακρίβειας.

Τα πρότυπα πλακίδια, ανάλογα με την ποιότητά τους (τη στάθμη ακρίβειάς τους) χρησιμοποιούνται για ορισμένες μετρητικές εργασίες, όπως θα δούμε στην παράγραφο 2.3.3(Δ)(2).

## **Δ. Πώς χρησιμοποιούμε τα πρότυπα πλακίδια.**

### **1. Σύνθεση διαστάσεων με πρότυπα πλακίδια.**

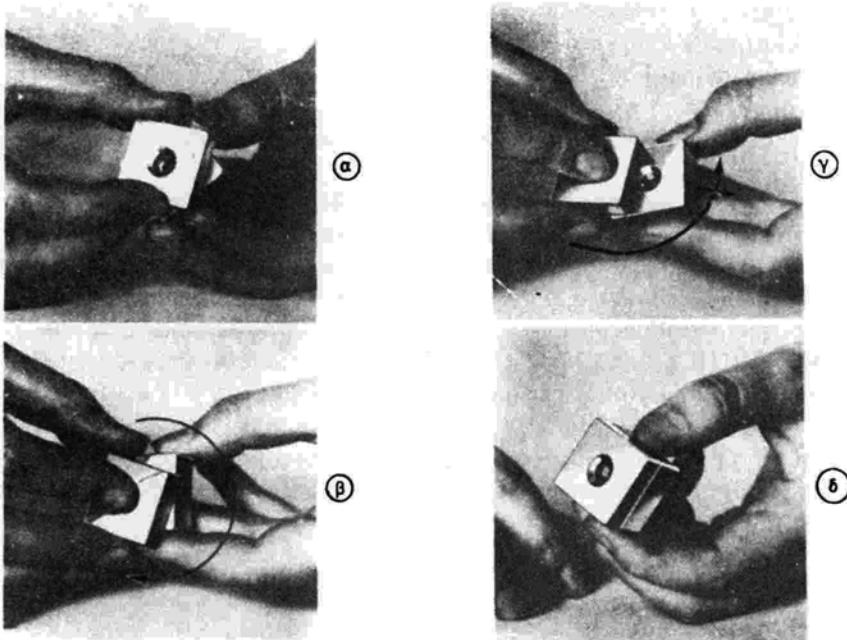
Είδαμε [παράγρ. 2.3.3(A)] ότι η κύρια χρήση των προτύπων πλακιδίων είναι ο συνδυασμός τους για τη σύνθεση δοσμένων (προτύπων) διαστάσεων μέσα σε πολύ στενές ανοχές.

Για να επιτύχομε το σκοπό αυτό εκτελούμε τις ακόλουθες εργασίες:

Καθαρίζομε με επιμέλεια τις επιφάνειες μετρήσεως των πλακιδίων με δέρμα δορκάδας και τοποθετούμε τα πλακίδια το ένα επάνω στο άλλο σταυροειδώς [σχ. 2.3η(a)]. Κατόπιν, με ολίσθηση και στροφή και με σύγχρονη άσκηση ελαφρής πιέσεως τα φέρνομε στην κανονική τους θέση (δ), όπως εικονίζεται στο σχήμα 2.3η. Έτσι, εκδιώκεται ο αέρας που υπάρχει ανάμεσα στις εφαπτόμενες επιφάνειες, και επιτυγχάνεται **πλήρης πρόσφυση τους**.

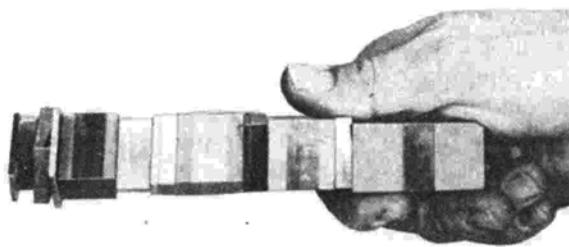
Η πρόσφυση μεταξύ προτύπων πλακιδίων είναι πολύ ισχυρή (μπορεί να φθάσει στα πλακίδια των ανωτέρων ποιοτήτων και μέχρι  $40 \text{ kp/cm}^2$ , σχ. 2.3θ). Αποδίδεται σε ανάπτυξη διαμοριακών δυνάμεων, λόγω του μεγάλου βαθμού λειάνσεως και επιπεδότητας των προσφυομένων επιφανειών των πλακιδίων. Ενδεικτικά παρατηρούμε ότι η μέση τιμή της τραχύτητας [παράγρ. 2.8.2(B)(1),(2)] για πρότυπα πλακίδια ποιότητας AA δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη μισή μικροίντσα ( $0,0125 \text{ μm}$ ). Για να επιτευχθεί ικανοποιητική πρόσφυση, δεν πρέπει οι εφαπτόμενες αρχικά επιφάνειες να είναι εντελώς στεγνές, αλλά να παραμένει επάνω τους, μετά το καθάρισμα, μια λεπτότατη μεμβράνη από λίπος.

Όσο και καλή να είναι η πρόσφυση των επιφανειών μετρήσεως των πλακιδίων κατά τη σύνθεση διαστάσεων, πάντοτε θα υπάρχει ανάμεσά τους (κατά ζεύγος επιφανειών) κάποια λεπτότατη μεμβράνη από λίπος, οξείδια, αέρα κ.ά., η οποία θα τις διαχωρίζει. Αυτή είναι η λεγόμενη **μεμβράνη προσφύσεως**. Κάτω από κανονι-



Σχ. 2.3η.

Πώς επιτυγχάνομε την πρόσφυση δύο προτύπων πλακιδίων. (Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και για την πρόσφυση πλακιδίων σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου).



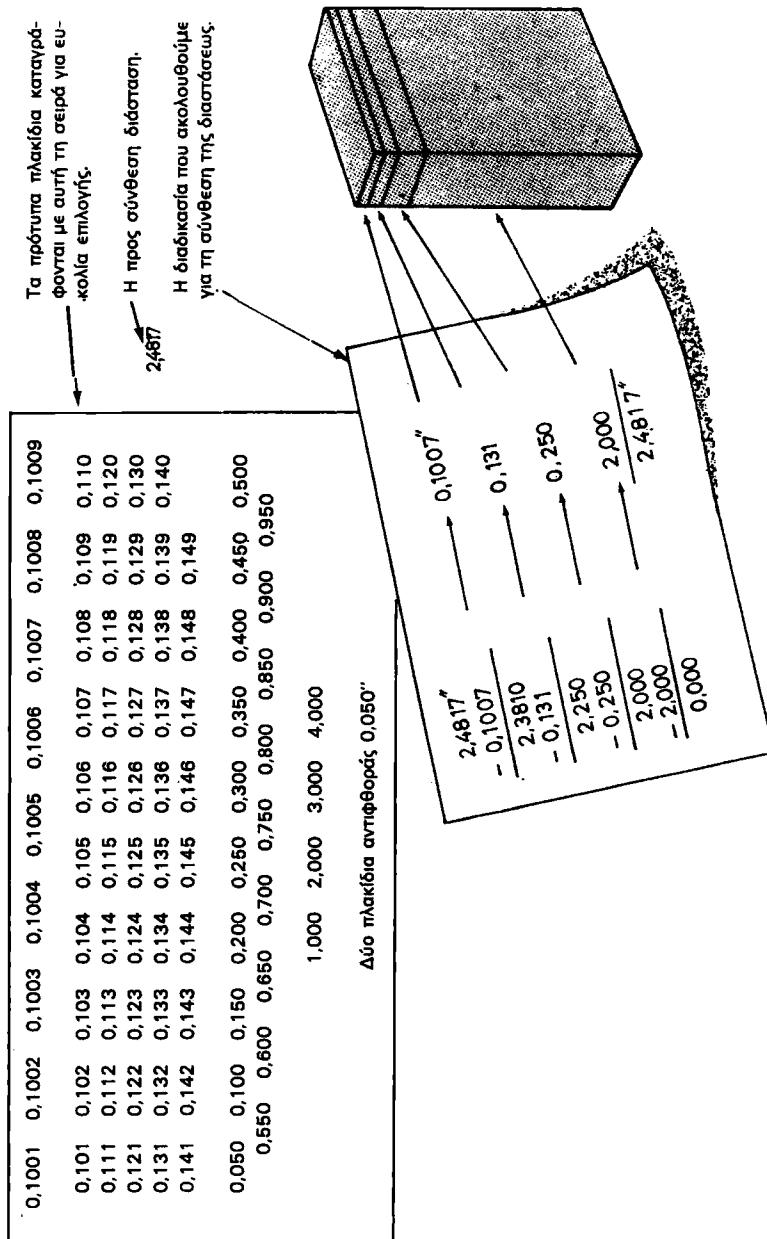
Σχ. 2.3θ.

κές συνθήκες το πάχος της μπορεί να φθάσει τη μία ή τις δύο μικροίντσες.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι, αν η πρόσφυση των προτύπων πλακιδίων, για τη σύνθεση μιας δοσμένης διαστάσεως, γίνει κανονικά, τότε για τις περισσότερες μετρήσεις που κάνομε, θα πρέπει να αγνοήσουμε (να θεωρήσουμε αμελητέα) τη μεμβράνη προσφύσεως. Άρα κατά τη σύνθεση μιας διαστάσεως, με καλά προσφυόμενα πλακίδια, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η στήλη των πλακιδίων έχει διάσταση πρακτικά ίση με το άθροισμα των ονομαστικών διαστάσεων των προτύπων πλακιδίων, τα οποία συνιστούν τη στήλη αυτή.

Η διαδικασία που ακολουθούμε, για να επιλέξουμε το συνδυασμό εκείνο από

πρότυπα πλακίδια, που θα μας δώσει την επιθυμητή διάσταση, φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 2.3ι. Εφαρμόζομε τον εξης βασικό κανόνα: Απαλείφομε αρχικά το τελευταίο δεκαδικό ψηφίο του αριθμού, που παριστάνει την επιθυμητή διάσταση κάτωπιν διαδοχικά, από τα δεξιά προς τα αριστερά, το τελευταίο μη μηδενικό ψηφίο



**Σχ. 2.3ι.**  
Πώς συνθέτομε μια διάσταση επαλέοντας πρότυπα πλακίδια από μια τυπική ανγλοσαξονική συλλογή με 83 κομμάτα (Πίνακας 2.3.1).

του αριθμού, ο οπαίσ προκύπτει μετά την αφαίρεση της ονομαστικής διαστάσεως κάθε επιλεγόμενου πλακίδιου, διαλέγοντας κάθε φορά πρότυπο πλακίδιο τέτοιο, που να έχει το ίδιο ψηφίο στην αντίστοιχη δεκαδική τάξη της ονομαστικής του διαστάσεως.

Ας πούμε ότι θέλομε να συνθέσουμε τη διάσταση 2,4817'' και ότι διαθέτομε την τυπική συλλογή προτύπων πλακίδιων του αγγλοσαξονικού συστήματος, που περιγράφεται στον Πίνακα 2.3.1. Εκτελούμε τα ακόλουθα βήματα (σχ. 2.3ι, Πίνακας 2.3.2) βασιζόμενοι στον κανόνα, που μόλις τώρα διατυπώσαμε:

- Γράφομε τη διάσταση, που θέλομε να συνθέσουμε, δηλαδή 2,4817''.
- Απαλείφομε το τελευταίο της δεκαδικό ψηφίο, δηλαδή το 7, επιλέγοντας από τη συλλογή ένα πλακίδιο με ονομαστική διάσταση της οποίας το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο να είναι 7, όπως π.χ. είναι η διάσταση 0,1007''. Η ονομαστική διάσταση κάθε επιλεγόμενου πλακίδιου αναγράφεται σε άλλη στήλη (δεξιά) για την επαλήθευση της επιλογής, που θα κάνουμε στο τέλος.
- Προβαίνομε στην απαλοιφή του τελευταίου μη δεκαδικού ψηφίου του αριθμού (2,3810''), ο οποίος προέκυψε μετά την αφαίρεση του 0,1007'', εκλέγοντας το κατάλληλο πλακίδιο, δηλαδή το 0,131''.
- Απαλείφομε πάλι το μη μηδενικό ψηφίο του υπόλοιπου 2,250'' μετά την αφαίρεση του 0,131'' διαλέγοντας το 0,250''.
- Τέλος διώχνομε το 2,000'', υπόλοιπο μετά την αφαίρεση του 0,250'', επιλέγοντας το διατιθέμενο πλακίδιο με την ίδια ονομαστική διάσταση, δηλαδή 2,000''.

Γενικά, προτιμούμε να συνθέτουμε την επιθυμητή διάσταση με το μικρότερο δυνατό αριθμό από πρότυπα πλακίδια (περιορίζομε έστι το σφάλμα λόγω μεμβράνης προσφύσεως και πραγματοποιούμε πιο γρήγορα το συνδυασμό), εκτός βέβαια αν χρειάζεται να συνθέσουμε συγχρόνως την ίδια διάσταση δύο ή περισσότερες φορές. Από τους δύο συνδυασμούς για τη σύνθεση της διαστάσεως 2,4817'' (Πίνακας 2.3.2) ο καλύτερος, και αυτός που θα προτιμηθεί, είναι ο Α, γιατί γίνεται με τη βοήθεια τεσσάρων πλακίδιων, ενώ ο Β γίνεται με επιλογή πέντε πλακίδιων.

## 2. Εφαρμογές των προτύπων πλακίδων.

Είδαμε στην παράγραφο 2.3.3 (Γ) ότι τα πρότυπα πλακίδια διατίθενται σε τέσσερις ή πέντε ποιότητες (στάθμες ακρίβειας), σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Τα πλακίδια κάθε ποιότητας χρησιμοποιούνται για διάφορες μετρητικές εργασίες, τις οποίες ομαδοποιούμε παρακάτω. Θεωρούμε αυτονότο ότι η ποιότητα του πρότυπου πλακίδιου, που θα επιλέξουμε για δοσμένη εφαρμογή, θα πρέπει ο πωσδήποτε να καλύπτει τις απαιτήσεις της σε ακρίβεια.

Για λόγους εφαρμογών μπορούμε να κατατάξομε τα πρότυπα πλακίδια κατά τάξη ελαστούμενης ακρίβειας (ή χειροτερεύσεως της ποιότητας) σε:

- Πρότυπα πλακίδια αναφοράς.
- Πρότυπα πλακίδια διακριβώσεως.
- Πρότυπα πλακίδια επιθεωρήσεως.
- Πρότυπα πλακίδια παραγωγής ή εργασίας.

Έτσι τα ταξινομεί και η παλαιά βρετανική προδιαγραφή BS 888. Στις ομάδες αυτές των προτύπων πλακίδιων μπορούμε να αντιστοιχίσουμε τις ποιότητες Ο,Ι,ΙΙ

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3.2.**

**Παραδείγματα συνδυασμών προτύπων πλακιδών για τη σύνθεση διαστάσεων (μητών)**

Συνδυασμός Α		Συνδυασμός Β		Συνδυασμός με τα δύο πλακίδια αντιφθοράς	
2,4817'' -0,1007	Επαλήθευση: 0,1007''	2,4817'' -0,2007*	Επαλήθευση: 0,2007''	5,6879'' -0,1000**	Επαλήθευση: 0,1000''
2,3810 -0,131	0,131	2,2810 -0,141	0,141	5,5879 -0,1009	0,1009
2,250 -0,250	0,250	2,140 -0,140	0,140	5,4870 -0,147	0,147
2,000 -2,000	2,000	2,000 -2,000	2,000	5,340 -0,140	0,140
0,000	2,4817''	0,000	2,4817''	5,200 -0,200	0,200
				5,000 5,000	5,000***
				0,000	5,6879''

\* Προσθέτομε τα πλακίδια 0,1004'' και 0,1003''

\*\* Τα δύο πλακίδια αντιφθοράς ( $2 \times 0,050 = 0,1000''$ )

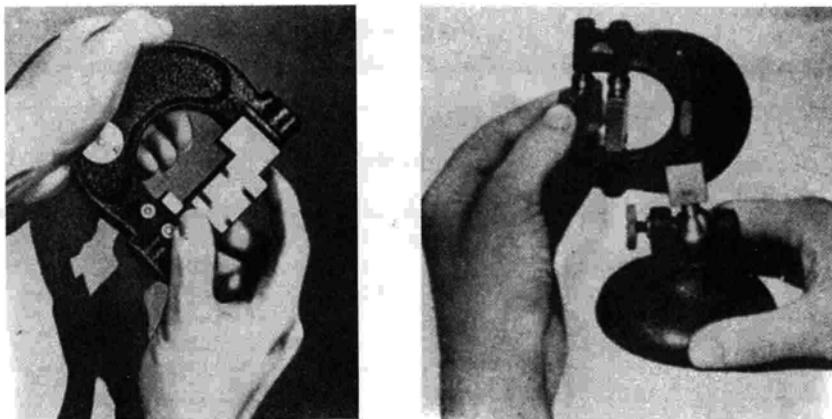
\*\*\* Προσθέτομε τα πλακίδια 1,000'' και 4,000''

και III της γερμανικής προτυποποίησεως, τις AAA και AA, A+, A και B της αμερικανικής και τις ποιότητες 00, 0, I και II της βρετανικής.

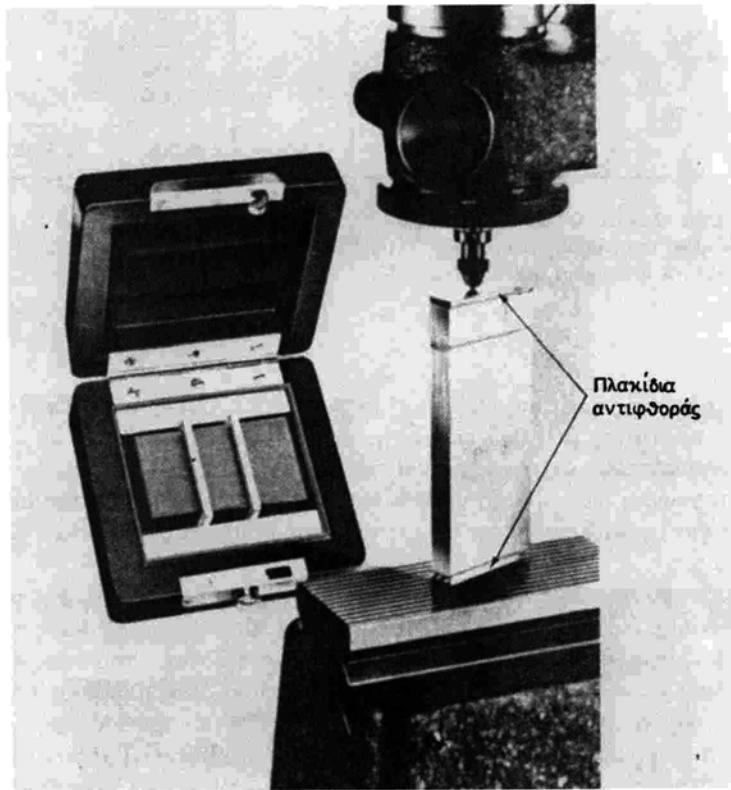
Τα **πρότυπα πλακίδα αναφοράς** είναι τα ανώτατης στάθμης ακρίβειας πρότυπα μήκη, των οποίων, η διακρίβωση γίνεται στο Κρατικό Γραφείο Προτύπων. Χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση των κατώτερης ποιότητας προτύπων πλακιδίων διακριβώσεως.

Με τα **πρότυπα πλακίδα διακριβώσεως** ελέγχουμε όλα τα κατώτερης ακρίβειας πρότυπα πλακίδια. Για την εργασία αυτή μεταχειρίζόμαστε κατάλληλους συγκριτές (παράγρ. 2.4.1) υψηλής ευαισθησίας. Η ονομαστική διάσταση του προς βαθμονόμηση πλακιδίου συγκρίνεται με ένα πρότυπο πλακίδιο διακριβώσεως απαράλλακτης ονομαστικής διαστάσεως. Ακόμα μπορούν να βαθμονομηθούν ως προς πρότυπα πλακίδια διακριβώσεως και συγκριτές υψηλής ευαισθησίας μέσα σε όλη τους την περιοχή μετρήσεων, με τη βοήθεια πλακιδίων με μεταβαλλόμενη ονομαστική διάσταση.

Με τα **πρότυπα πλακίδα επιθεωρήσεως** ελέγχουμε ή ρυθμίζουμε (σχ. 2.3ia) ε-

**Σχ. 2.3ια.**

Ρύθμιση ενός ελεγκτήρα ορίου για άξονες με τη βοήθεια προτύπων πλακιδίων.

**Σχ. 2.3ιβ.**

Ρύθμιση ενός επιτραπέζιου συγκριτή μηκών (παράγρ. 2.4.3, σχ. 2.4ζ).

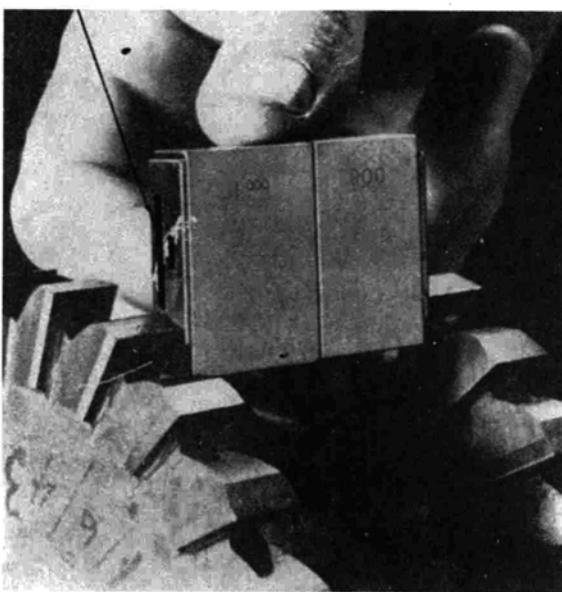
λεγκτήρες ορίου (παράγρ. 2.7.1). Επίσης με πρότυπα πλακίδια αυτής της ποσότητας ρυθμίζομε συγκριτές μηκών (σχ. 2.3ιβ) και ελέγχομε ή βαθμονομούμε πρότυπα μήκη για τη ρύθμιση συγκριτών.

Τα **πρότυπα πλακίδια παραγωγής** χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κατασκευή εργαλείων, ιδιοσυσκευών για τη συγκράτηση κομματιών, στον έλεγχο των μηχανουργικών προϊόντων και σε άλλες συναφείς μετρητικές εργασίες στο μηχανουργείο. Σ' αυτό έχουν συντελέσει από το ένα μέρος ο εξακολουθητικός περιορισμός των ανοχών στις μηχανουργικές κατασκευές και από το άλλο η ανάπτυξη πολύ ευαισθήτων και αξιοπίστων συγκριτών μηκών.

Πιο συγκεκριμένα, ως τυπικές εφαρμογές των προτύπων πλακιδίων, παραθέτομε τις ακόλουθες:

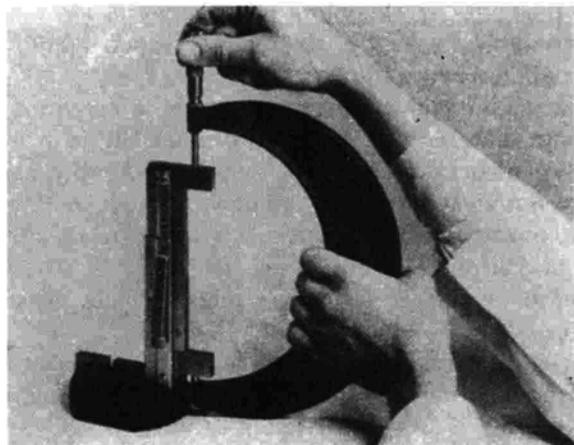
- α) Κατ' ευθεία μέτρηση αποστάσεων ανάμεσα σε παράλληλες επιφάνειες, όπως π.χ. το πλάτος αυλακιών, σφηνοδρόμων, κατά τη ρύθμιση εργαλείων (σχ. 2.3ιγ) κ.ά.
- β) Ρύθμιση και έλεγχος απλών οργάνων μετρήσεως του μηχανουργού, όπως π.χ. μικρομέτρων (σχ. 2.3ιδ) σε όλη την περιοχή μετρήσεως με πρότυπα πλακίδια μεταβαλλόμενης ονομαστικής διαστάσεως.
- γ) Συγκρότηση οριακών ελεγκτήρων με τη βοήθεια κατάλληλης ιδιοσυσκευής - φορέα των πλακιδίων (σχ. 2.3ιε).
- δ) Μεταφορά διαστάσεων και σύγκριση (σχ. 2.3ιστ).
- ε) Έμμεση μέτρηση γωνιών με τη μέθοδο του ημιτόνου [παράγρ. 2.5.4 (Α)] ή της εφαπτομένης [παράγρ. 2.5.4(Β)].

Πλακίδιο αντιφθοράς



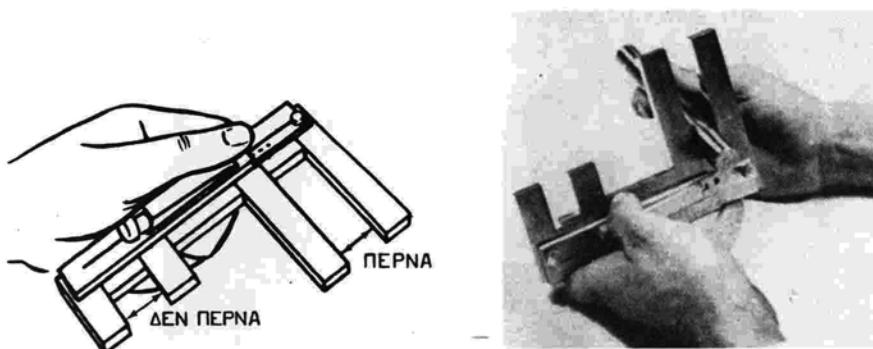
Σχ. 2.3ιγ.

Ρύθμιση της αποστάσεως ανάμεσα σε δύο φραίζες με πρότυπα πλακίδια. Αξιοπρόσεκτη εδώ είναι η χρησιμοποίηση των πλακιδίων αντιφθοράς λόγω της μεγάλης σκληρότητας των φραιζών, που είναι κατασκευασμένες από ταχυχάλυβα ή ακόμα μπορεί να έχουν δόντια από σκληρομέταλλο, που είναι πιο σκληρό από τον ταχυχάλυβα.



**Σχ. 2.3ιδ:**

Ρύθμιση ενός μικρομέτρου με τη βοήθεια προτύπων πλακιδίων, τοποθετημένων σε ιδιοσυσκευή-φορέα τους (σχ. 2.3ιη).

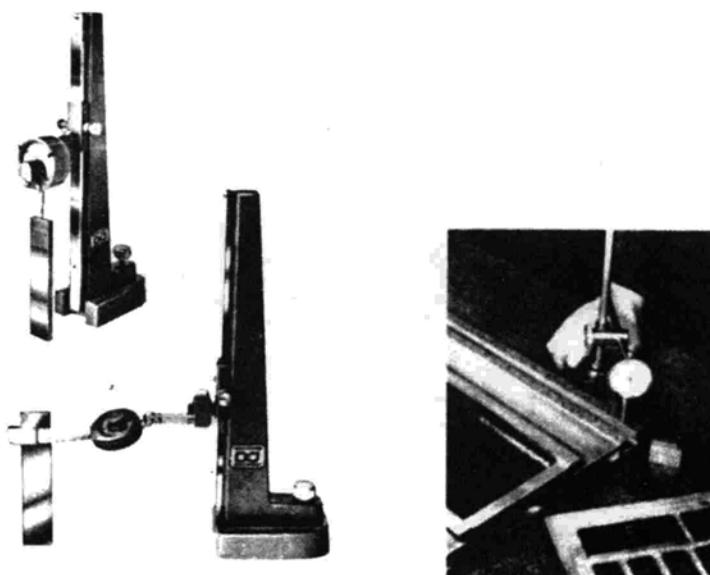


**Σχ. 2.3ιε.**

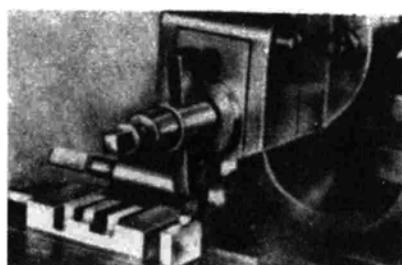
Ελεγκτήρας ορίου για άξονες συναρμολογημένους από πρότυπα πλακίδια και από ακραία πρότυπα (σχ. 2.3κ) στην κατάλληλη ιδιοσυσκευή-φορέα.

στ) Χάραξη, ρύθμιση εργαλειομηχανών (σχ. 2.3ιζ), συναρμολόγηση κομματιών κ.ά.

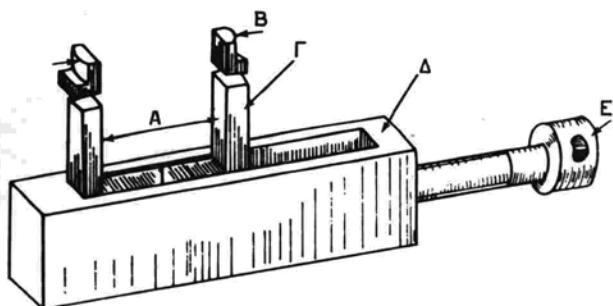
Οι ποικίλες εφαρμογές των προτύπων πλακιδίων, τις οποίες αναφέραμε, διευκολύνονται και οι ρυθμίσεις ή ο έλεγχος γίνονται πιο αξιόπιστα με τη βοήθεια καταλλήλων ιδιοσυσκευών-φορέων των πλακιδίων (σχ. 2.3ιη). Διατίθενται επίσης στο εμπόριο συλλογές εξαρτημάτων για τη χρήση των πλακιδίων (σχ. 2.3ιθ), οι οποίες εκτός από τις ιδιοσυσκευές-φορείς, περιλαμβάνουν και ποικιλία από **ακραία πρότυπα** (σχ. 2.3κ) για την κάλυψη αναγκών των εφαρμογών.

**Σχ. 2.3ιατ.**

Μεταφορά διαστάσεων και σύγκριση με τη βοήθεια προτύπων πλακιδίων.

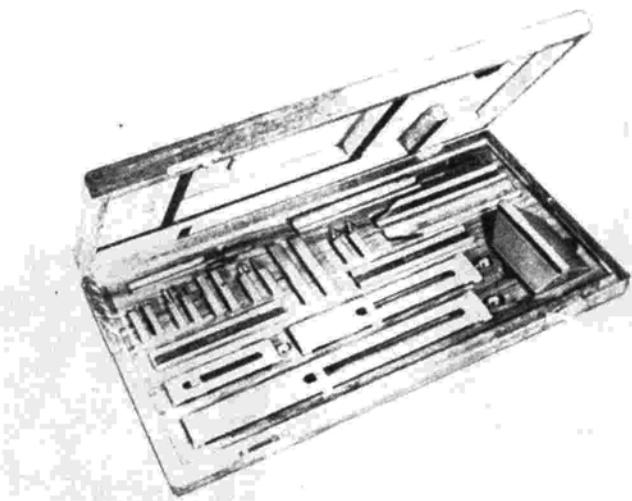
**Σχ. 2.3ιβ.**

Ρύθμιση της θέσεως του κοπτικού εργαλείου σε μια πλάνη με τη βοήθεια πρότυπου πλακιδίου.

**Σχ. 2.3ιη.**

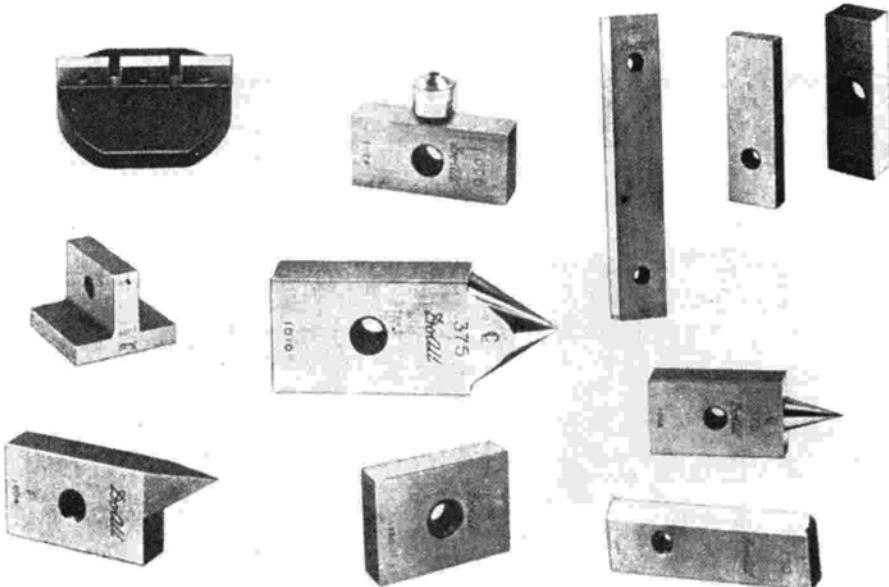
Ιδιοσυσκευή-φορέας προτύπων πλακιδίων: Α εξωτερική διάσταση, Β εσωτερική διάσταση, Γ ακράιο πρότυπο, Δ φορέας, Ε ρυθμιστικός κοχλίας.

Πολύ μικρές διαστάσεις, τις οποίες δεν μπορούμε να συνθέσουμε με τα διαθέσιμα πλακίδια, τις σχηματίζομε ως διαφορά δύο στηλών από πρότυπα πλακίδια [σχ. 2.3κα (α)]. Τυπική εφαρμογή αυτής της μεθόδου έχομε στον έλεγχο των μετρητικών λεπίδων [φίλλερ, σχ. 2.3κα(β)].



Σχ. 2.3ιθ.

Συλλογή διαφόρων εξαρτημάτων υποβοηθητικών για τη χρήση των προτύπων πλακιδίων.

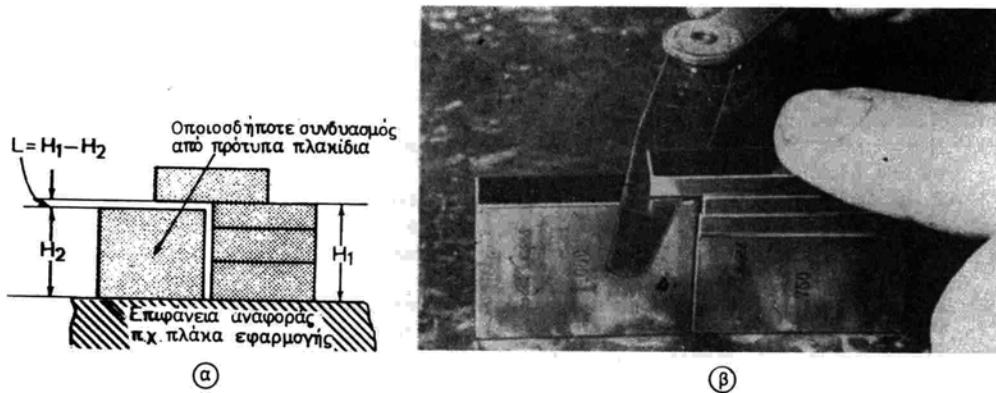


Σχ. 2.3κ.

Ποικιλία από ακραία πρότυπα. Το είδος τους εξαρτάται από τη μορφή της ιδιοσυσκευής-φορέα, στην οποία θα προσαρμοσθούν, και από την εφαρμογή, για την οποία προορίζονται.

### 3. Φροντίδες των προτύπων πλακιδίων.

α) Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να καταβάλλεται κατά τις μετρήσεις με πρότυπα



Σχ. 2.3κα.

(α) Σύνθεση μιας πολύ μικρής διαστάσεως  $L$  ως διαφοράς μεταξύ του ύψους  $H_1$  και  $H_2$  δύο στηλών από πρότυπα πλακίδια. (β) Έλεγχος μιας μετρητικής λεπίδας (φίλλερ).

**πλακίδια σε σκληρές επιφάνειες.** Υπάρχει κίνδυνος να χαραχθούν αμυχές στις επιφάνειες μετρήσεως των πλακιδίων με επακόλουθο την αχρήστευσή τους.

**β)** Να μην ακουμπάτε τα δάκτυλά σας επάνω στις επιφάνειες μετρήσεως των πλακιδίων περισσότερο από όσο χρειάζεται. Ο ιδρώτας των δακτύλων περιέχει οξύ, το οποίο, αν δεν αφαιρεθεί εγκαίρως, προκαλεί οξείδωση στα πλακίδια.

**γ)** Για προστασία από την οξείδωση, μετά από κάθε χρήση της συλλογής προτύπων πλακιδίων, όλα τα πλακίδια που τα έχομε καθαρίσει για χρήση τα επαλείφομε με λεπτό στρώμα βαζελίνης χωρίς οξέα ή μη οξειδωτικού λαδιού, κατόπιν τα σκουπίζομε με λαδωμένο δέρμα δορκάδας και τα τοποθετούμε στην κατάλληλη θέση τους μέσα στη θήκη της συλλογής.

**δ)** Να μην αφήνετε ποτέ τα πλακίδια στην κατάσταση της προσφύσεως επί μακρό χρόνο, γιατί προξενούνται βλάβες στις επιφάνειες μετρήσεως. Να τα αποχωρίζετε καθημερινά.

**ε)** Όταν δεν χρησιμοποιείτε τα πρότυπα πλακίδια, να τα τοποθετείτε στη θέση τους μέσα στη θήκη.

**στ)** Να καθαρίζετε περιοδικά πολύ καλά τη θήκη της συλλογής των προτύπων πλακιδίων.

#### 2.3.4 Ερωτήσεις και ασκήσεις.

1. Γιατί είναι αναγκαίο οι μετρήσεις διαστάσεων στις μηχανουργικές κατασκευές να γίνονται σε διάφορες στάθμες ή βαθμούς-ακρίβειας;
2. Τι ονομάζομε **διακρίβωση** ενός μετρητικού οργάνου και πότε πρέπει αυτή να γίνεται;
3. Ποια στάθμη ακρίβειας μπορούμε να φθάσουμε χονδρικά στις μετρήσεις μηκών στην παραγωγή και με ποια ακρίβεια μετρούμε στην επιθέωρηση;
4. Τι είναι το πρωτότυπο μέτρο;
5. Γιατί έχει καθιερωθεί το μήκος κύματος φωτός ως πρωτότυπο για τη μέτρηση μηκών; Ποιά είναι η πρωτότυπη μονάδα;

6. Τι είναι τα πρότυπα πλακίδια και σε τι μας χρησιμεύουν;
7. Πώς κυκλοφορούν τα πρότυπα πλακίδια στο εμπόριο και με ποια κριτήρια τα επιλέγομε;
8. Πόσες ποιότητες προτύπων πλακιδίων προβλέπονται σύμφωνα με τη γερμανική και βρετανική προτυποποίηση και ποιές είναι αντίστοιχα;
9. Τα πρότυπα πλακίδια προσφέρουναν μεταξύ τους. Τι σημαίνει αυτό;
10. Πώς επιτυγχάνουμε την πρόσφυση πλακιδίων;
11. Ποιον κανόνα ακολουθούμε για να επιλέξουμε συνδυασμούς από πρότυπα πλακίδια για τη σύνθεση μιας δοσμένης διαστάσεως;
12. Ποιος είναι ο ρόλος που παίζουν τα πρότυπα πλακίδια αντιφθοράς στις διάφορες εφαρμογές;
13. Να απαριθμήσετε μερικές μετρητικές εργασίες, που κάνουμε με τα πρότυπα πλακίδια παραγωγής.
14. Ποιο είναι το υλικό καπασκευής των προτύπων πλακιδίων και ποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες πρέπει να έχει;
15. Ποιες προφυλάξεις παίρνουμε κατά το χειρισμό των προτύπων πλακιδίων;
16. Πώς φραντζόμε τα πρότυπα πλακίδια μετά τη χρήση τους;
17. Με τη μετρική συλλογή προτύπων πλακιδίων του Πίνακα 2.3.1 στη διάθεσή σας να συνθέσετε τις ακόλουθες διαστάσεις μεταχειρίζονται τον ελάχιστο δυνατό αριθμό πλακιδίων: 52,327 mm, 15,290 mm, 69,512 mm.
18. Να κάνετε το (ίδιο, όπως στο (17) προηγουμένως, με διαθέσιμη την αγγλοσαξονική συλλογή προτύπων πλακιδίων του Πίνακα 2.3.1 για τις εξής διαστάσεις: 2,7813", 4,3357", 1,8340".
19. Γιατί κατά το σχηματισμό διαστάσεων με πρότυπα πλακίδια επιδιώκουμε να χρησιμοποιούμε κάθε φορά τον ελάχιστο δυνατό αριθμό προτύπων πλακιδίων;

## 2.4 Όργανα συγκρίσεως μηκών ή συγκριτές μηκών.

### 2.4.1 Γενικά

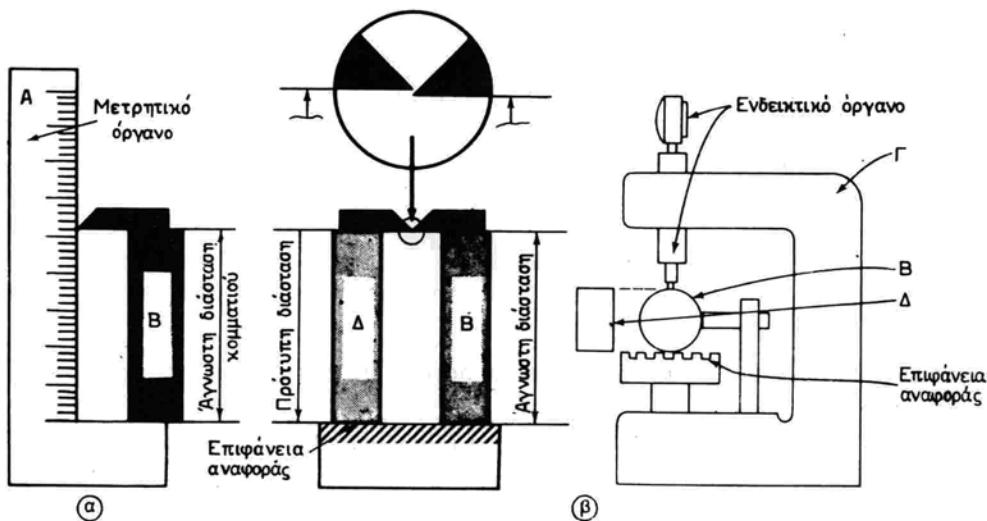
Είναι όργανα, με τα οποία δεν κάνουμε κατ' ευθείαν μετρήσεις μιας διαστάσεως [σχ. 2.4a(α)], όπως λ.χ. με τους μεταλλικούς κανόνες, τα παχύμετρα κ.ά., αλλά την άγνωστη αυτή διάσταση τη συγκρίνουμε προς μιαν άλλη γνωστή, την οποία συνήθως παίρνουμε ως **πρότυπο** [σχ. 2.4a(β)]. Έτσι, ενώ για να γίνουν κατ' ευθείαν μετρήσεις χρειάζεται το μετρητικό όργανο Α και το προς μέτρησή κομμάτι Β [σχ. 2.4a(α)], στην περίπτωση των συγκριτικών μετρήσεων απαιτούνται τρία πράγματα: το μετρητικό όργανο Γ (συγκριτής μηκών), το κομμάτι Β και το πρότυπο Δ, ως προς το οποίο θα γίνει η σύγκριση [σχ. 2.4a(β)].

Στα επόμενα θα ασχοληθούμε με τα βασικά όργανα συγκρίσεως μηκών. Τέτοια είναι το μετρητικό ρολόι (σχ. 2.4β), ένα χρησιμότατο και πολύ εύχρηστο όργανο, που το μεταχειρίζομαστε ευρύτατα στον έλεγχο των εργαλειομηχανών και άλλων μηχανοκατασκευών, οι **επιτραπέζιοι συγκριτές μηκών** (παράγρ. 2.4.3) και οι **ηλεκτρικοί συγκριτές μηκών** (παράγρ. 2.4.4), που βρίσκουν κατά κύριο λόγο εφαρμογή στον έλεγχο των μηχανουργικών προϊόντων της μαζικής παραγωγής. Με τους συγκριτές μηκών μεγάλης ευαισθησίας, που χρησιμοποιούνται για τη διακρίβωση προτύπων πλακιδίων και τη βαθμονόμηση οργάνων ακρίβειας, δεν θα ασχοληθούμε, γιατί θεωρούμε ότι το αντικείμενο αυτό ξεφεύγει από το σκοπό αυτού του βιβλίου. Για τους διαβήτες συγκριτικών μετρήσεων, μιλήσαμε στην παράγραφο 3.2(Ε) (2) του Μ.Ε.

### 2.4.2 Το μετρητικό ρολόι

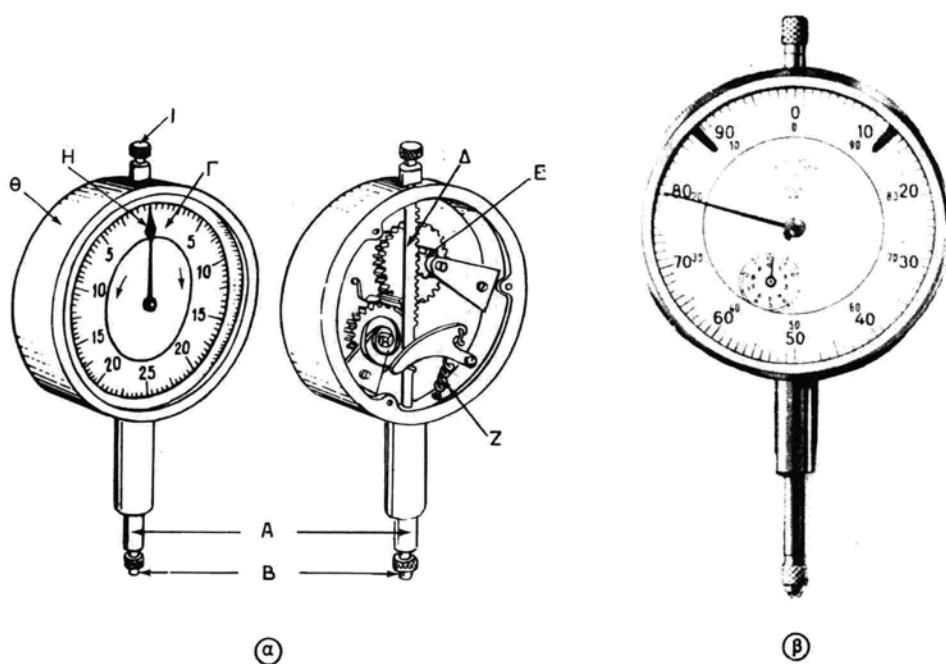
#### A. Η αρχή λειτουργίας του.

Τό **μετρητικό ρολόι** (σχ. 2.4β) είναι ένα τυπικό όργανο συγκρίσεως μηκών. Συ-



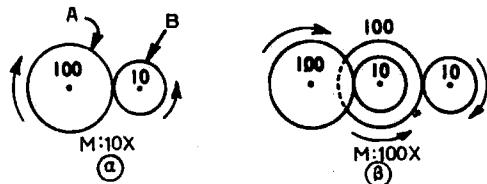
Σχ. 2.4a.

Η αρχή μιας κατ' ευθείαν μετρήσεως (α) και μιας συγκριτικής μετρήσεως (β).



Σχ. 2.4b.

Το μετρητικό ρολόι.

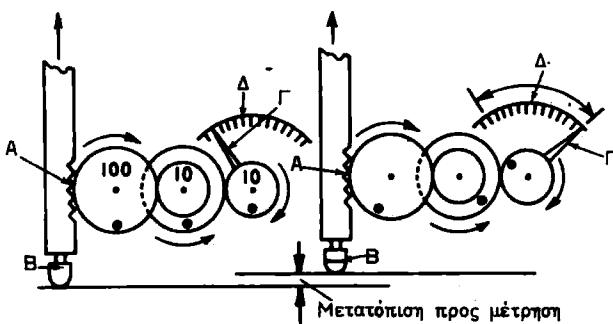


Σχ. 2.4γ.

Μεγέθυνση μιας γωνίας στροφής με τη βοήθεια οδοντοτροχών σε σύμπλεξη.

χνά ενσωματώνεται σε διάφορα μετρητικά όργανα ως το μέσο, που παρέχει τις ενδείξεις.

Η αρχή λειτουργίας του μετρητικού ρολογιού βασίζεται στη μεγέθυνση (ή στον πολλαπλασιασμό) μιας γωνίας στροφής, που μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια οδοντοτροχών σε σύμπλεξη (σχ. 2.4γ). Ας πούμε ότι θεωρούμε τους δύο συμπλεγμένους οδοντοτροχούς του σχήματος 2.4γ(α). Η γωνία στροφής του κινούμενου οδοντωτού τροχού Β είναι ανάλογη προς τη γωνία στροφής του οδοντοτροχού Α που κινεί και προς το λόγο του αριθμού δοντιών του τροχού που κινεί προς τον αριθμό δοντιών του κινούμενου οδοντοτροχού. Έστω π.χ. ότι ο κινητήριος οδοντοτροχός έχει δέκα φορές περισσότερα δόντια από τον κινούμενο, τότε, αν ο πρώτος κάνει μια περιστροφή, ο δεύτερος (ο κινούμενος) θα περιστραφεί κατά δέκα στροφές. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μεγέθυνση της γωνίας περιστροφής επί 10. Η διάταξη του σχήματος 2.4δ (β) μας δίνει μεγέθυνση της γωνίας περιστροφής επί 100.



Σχ. 2.4δ.

Η αρχή του μετρητικού ρολογιού.

Η αρχή αυτή της μεγεθύνσέως μιας γωνίας στροφής με τη βοήθεια εμπλεκομένων οδοντοτροχών εφαρμόζεται στό μετρητικό ρολόι με την προσθήκη δύο ακόμα στοιχείων: μιας διατάξεως, που να προκαλεί την περιστροφή του κινητήριου οδοντοτροχού ανάλογα με τις μεταβολές της προς έλεγχο διαστάσεως, όπως ακόμα και μιας άλλης διατάξεως, για την ανάγνωση της γωνίας στροφής του τελευταίου κι-

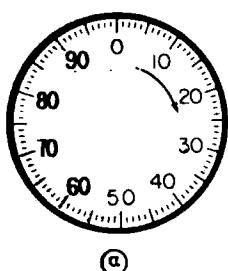
νούμενου οδοντοτροχού. Η πρώτη διάταξη περιλαμβάνει έναν οδοντωτό κανόνα Α (σχ. 2.4δ), που εμπλέκεται μέ τον πρώτο κινητήριο οδοντωτό τροχό και που φέρει στο άκρο του έναν επαφέα Β, ο οποίος ακουμπά επάνω στο κομμάτι ή στο πρότυπο κατά την εκτέλεση των συγκριτικών μετρήσεων [σχ. 2.4α (β)]. Η δεύτερη διάταξη αποτελείται από ένα δείκτη Γ και μια βαθμονομημένη πλάκα Δ. Εδώ δεν θα πρέπει να λησμονούμε ότι και ο δείκτης συμβάλλει στη συνολική μεγέθυνση, την οποία μας δίνει το όλο σύστημα. Άρα, η συνολική μεγέθυνση, που μπορούμε να επιτύχομε με ένα μετρητικό ρολόι, είναι ίση με τη μεγέθυνση, την οποία μας δίνουν οι εμπλεκόμενοι οδοντοτροχοί πολλαπλασιασμένη επί τη μεγέθυνση, που μας παρέχει ο δείκτης.

### **Β. Περιγραφή του μετρητικού ρολογιού.**

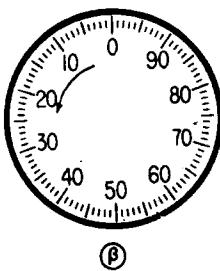
Έτσι, σύμφωνα με όσα αναφέραμε προηγουμένως, ένα μετρητικό ρολόι [σχ. 2.4β(α)] αποτελείται από το κινητό στέλεχος Α, που απολήγει σε επαφέα Β, από το μηχανισμό μεγεθύνσεως των μετατοπίσεων του στελέχους και από τη ωρολογιακή πλάκα Γ για την ανάγνωση των ενδείξεων. Το στέλεχος Α φέρει κατά προέκταση ένα οδοντωτό κανόνα Δ εμπλεκόμενο με σειρά από οδοντοτροχούς Ε (ο αριθμός των εμπλεκομένων οδοντοτροχών, όπως και ο αριθμός των δοντιών τους, εξαρτάται από την τιμή της μεγεθύνσεως, που επιθυμούμε να επιτύχομε με το μετρητικό ρολόι). Η συγκράτηση του κινητού στελέχους στην προς τα έξω θέση του επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του ελατηρίου Ζ. Την ένδειξη μας τη δίνει ο δείκτης Η στην ωρολογιακή πλάκα Γ του οργάνου, η οποία προσαρμόζεται σε δυνάμενο να περιστραφεί δακτύλιο Θ, που φέρει περιφερειακά ρίκνωση. Έτσι είναι δυνατή η περιστροφή της ωρολογιακής πλάκας σε σχέση με το δείκτη Η. Η κίνηση αυτή χρειάζεται, για να μπορούμε να φέρομε το δείκτη στο μηδέν της πλάκας. Η ωρολογιακή πλάκα ασφαλίζεται με τον ασφαλιστικό κοχλία Ι.

Σε μετρητικά ρολόγια με μεγάλη περιοχή μετρήσεων υπάρχει και δεύτερη μικρή ωρολογιακή πλάκα με αντίστοιχο δείκτη, για τη μέτρηση του αριθμού των πλήρων περιστροφών του κύριου δείκτη του οργάνου [σχ. 2.4β(β)].

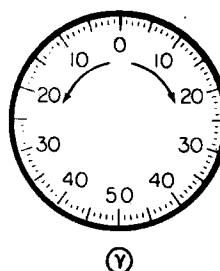
Οι βαθμονομημένες πλάκες των μετρητικών ρολογιών απαντώνται σε τρεις μορφές, όπως εικονίζονται στο σχήμα 2.4ε, δηλαδή ως πλάκες με συνεχή αρίθμη-



(α)



(β)



(γ)

**Σχ. 2.4ε.**

Ξίδη βαθμονομημένων πλακών για μετρητικά ρολόγια: (α) Με συνεχή αρίθμηση δεξιόστροφη. (β) Με συνεχή αρίθμηση αριστερόστροφη. (γ) Με συμμετρική αρίθμηση.

ση δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη και πλάκες με συμμετρική αρίθμηση. Φέρουν συνήθως 100 υποδιαιρέσεις. Υπάρχουν όμως και τύποι πλακών με 200, 80, 60, 50 ή 40 υποδιαιρέσεις. Η επιλογή του είδους της βαθμονομημένης πλάκας γίνεται ανάλογα με την εφαρμογή του μετρητικού ρολογιού.

Θα πρέπει να επισημάνομε εδώ ότι με το μετρητικό ρολόι — εφ' όσον ανήκει στην κατηγορία των συγκριτών μηκών — μετρούμε **αποκλίσεις** από καθορισμένο μήκος (συνήθως από πρότυπο) και όχι μήκη (διαστάσεις). Δεν κάνομε δηλαδή με αυτά απόλυτη μέτρηση, αλλά μετρούμε την απόκλιση ενός μήκους (μιας διαστάσεως) από το πρότυπο μήκος, που χρησιμεύει για τη ρύθμιση του δείκτη του οργάνου στο μηδέν της βαθμονομίας (για το **μηδενισμό του οργάνου**, όπως λέμε).

Κάθε μετρητικό ρολόι παρουσιάζει τη μεγαλύτερή του ακρίβεια σε μικρή περιοχή γύρω στο μέσο του εύρους μετρήσεως. Ακόμα, για κάθε ρύθμιση, η μεγαλύτερη ακρίβειά του δίνεται για μετρήσεις γύρω στο μηδέν και μειώνεται ανάλογα με την απόκλιση του δείκτη από το μηδέν.

Τα μετρητικά ρολόγια προδιαγράφονται με τα ακόλουθα στοιχεία:

— Το εύρος ή την περιοχή μετρήσεως, δηλαδή το διάστημα των τιμών μετατοπίσεως του επαφέα, για τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί το όργανο.

— Τη μετατόπιση του επαφέα (ή τη μεταβολή στην υπό έλεγχο διάσταση), που αντιστοιχεί σε μία (τη μικρότερη) υποδιαιρέση της ωρολογιακής τους πλάκας. Τυπικές τιμές της μετατοπίσεως αυτής του επαφέα είναι 0,01 mm (ή 10 µm), 1 µm και σπάνια 0,5 µm για τα μετρητικά ρολόγια του μετρικού συστήματος και 0,001'' ή 0,0001'' ή 0,00005'' για τα μετρητικά ρολόγια του αγγλοσαξονικού συστήματος. **Οι πρές αυτές χαρακτηρίζουν τα μετρητικά ρολόγια** (π.χ. μετρητικό ρολόι 1 mm ή μετρητικό ρολόι 0,001'' κλπ.) και αναγράφονται στη βαθμονομημένη τους πλάκα [σχ. 2.4β(β)].

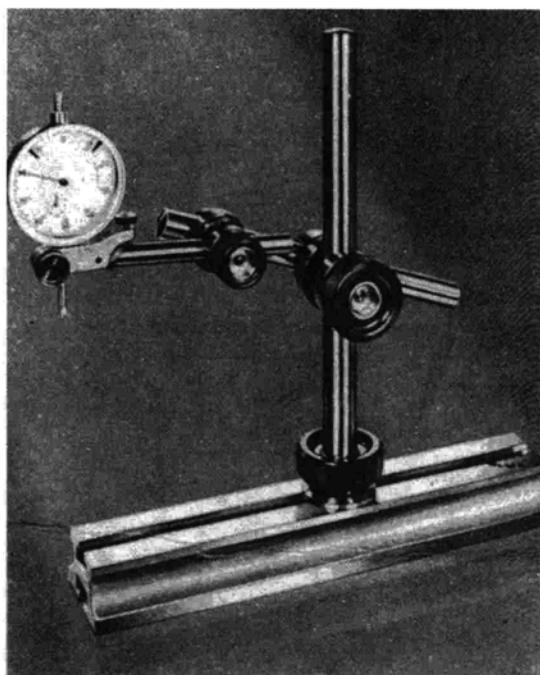
— Την ακρίβεια μετρήσεως.

Το εύρος μετρήσεως για τα αγγλοσαξονικά ρολόγια 0,00005'' είναι 0,010'', για τα ρολόγια 0,0001'' είναι 0,050'' και για τα 0,001'' λαμβάνεται ως 0,250''. Για τα μετρητικά ρολόγια το εύρος μετρήσεως προδιαγράφεται ως 3 mm, 10 mm ή 25 mm.

Σε ανώτατης ποιότητας (ποιότητα I) μετρητικά ρολόγια κατά τους γερμανικούς κανονισμούς και για εύρος μετρήσεως 3 mm το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα είναι κατώτερο από 10 µm, ενώ για τα κατώτατης ποιότητας (ποιότητα II) μετρητικά ρολόγια και για την ίδια περιοχή μετρήσεως μπορεί να φθάσει τα 15 µm. Για εύρος μετρήσεως 10 mm το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα για τις ποιότητες I και II των μετρητικών ρολογιών φθάνει τα 15 µm και 25 µm, αντιστοίχως.

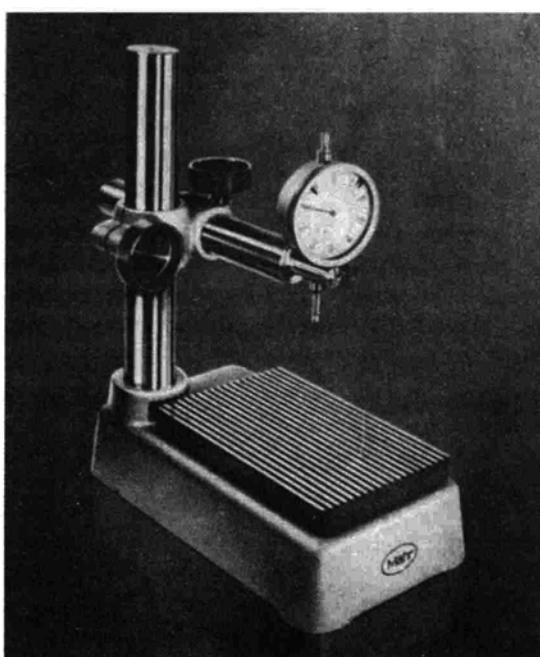
#### **Γ. Εφαρμογές των μετρητικών ρολογιών.**

Το μετρητικό ρολόι χρησιμοποιείται σε συνδυασμό πάντοτε με κάποιο υποστήριγμα ή είναι ενσωματωμένο σε κάποιο μετρητικό όργανο, για να παρέχει τις ενδείξεις. Υπάρχουν δύο ειδών υποστηρίγματα για τα μετρητικά ρολόγια: εκείνο, που χρησιμοποιείται επάνω σε κάποια επιφάνεια αναφοράς (σχ. 2.4στ), όπως π.χ. σε μια πλάκα εφαρμογής ή στην τράπεζα μιας εργαλειομηχανής, και εκείνο στο οποίο η επιφάνεια (ή το επίπεδο) αναφοράς είναι ενσωματωμένη, οπότε το υποστήριγμα μαζί με την επιφάνεια αναφοράς και το μετρητικό ρολόι μαζί κάνουν έναν επιτραπέζιο συγκριτή μηκών (σχ. 2.4ζ).



**Σχ. 2.4στ.**

Μετρητικό ρολόι με το υποστήριγμά του.



**Σχ. 2.4ζ.**

Επιτραπέζιος συγκριτής εξωτερικών διαστάσεων.

Το μετρητικό ρολόι (μαζί πάντοτε με το υποστήριγμά του) βρίσκει ευρύτατες εφαρμογές:

- Στον έλεγχο διαστάσεων ετοίμων μηχανουργικών προϊόντων μαζικής παραγωγής.
- Στον έλεγχο και τη ρύθμιση εργαλειομηχανών.
- Στον έλεγχο και τη ρύθμιση κομματιών, εργαλείων και ιδιοσυσκευών.
- Στον έλεγχο διαστάσεων και επιφανειών κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.
- Στον έλεγχο της φθοράς εξαρτημάτων λόγω χρήσεως κλπ.

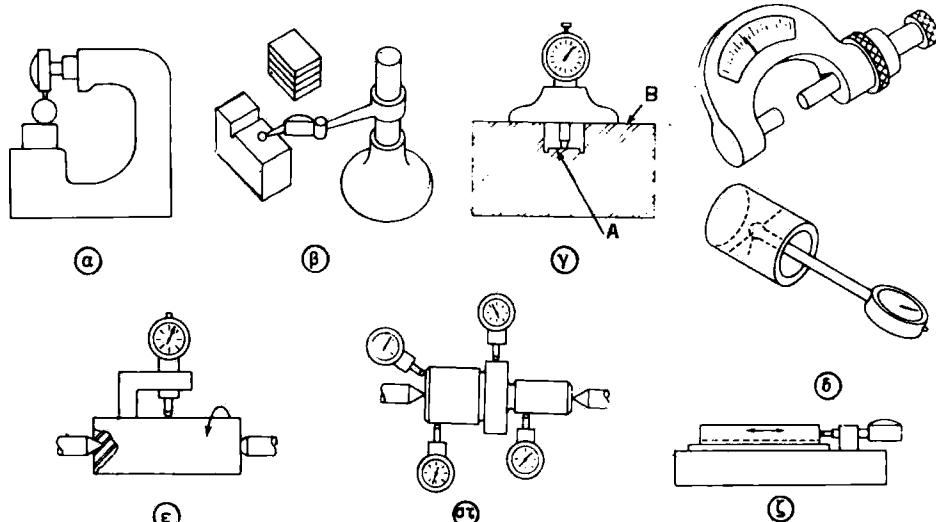
Στο σχήμα 2.4η εικονίζονται σχηματικά οι ακόλουθες τυπικές κατηγορίες εφαρμογών του μετρητικού ρολογιού:

**α) Συγκριτικές μετρήσεις μηκών.** Το μετρητικό ρολόι προσαρμόζεται στον επιτραπέζιο συγκριτή μηκών (σχ. 2.4ζ) για σύγκριση εξωτερικών διαστάσεων. Η επιφάνεια αναφοράς, όπως είπαμε προηγουμένως, είναι ενσωματωμένη στο όργανο. Το ρολόι ρυθμίζεται στην υπό έλεγχο ονομαστική διάσταση με πρότυπα πλακίδια ή κάποιο πρότυπο μήκος.

**β) Σύγκριση με μεταφορά διαστάσεως.** Το μετρητικό όργανο προσαρμόζεται σε κατάλληλο υπόβαθρο, που στηρίζεται στην πλάκα εφαρμογής. Η επιφάνεια της πλάκας αυτής αποτελεί το επίπεδο αναφοράς, ως προς το οποίο μετρούμε την προς μεταφορά διάσταση. Η διάσταση του προτύπου συγκρίνεται με την υπό έλεγχο διάσταση του κομματιού.

**γ) Σύγκριση αποστάσεως από καθορισμένο επίπεδο αναφοράς.** Το μετρητικό ρολόι ενσωματώνεται σε ένα βαθύμετρο. Συγκρίνεται η απόσταση της επιφάνειας Α από την παράλληλή της Β.

**δ) Σύγκριση εξωτερικών και εσωτερικών διαστάσεων, όπου οι μετρήσεις χρειάζεται να γίνονται με φορητό όργανο.** Το μετρητικό ρολόι χρησιμεύει ως ενδεικτικό όργανο των φορητών συγκριτών μηκών.



Σχ. 2.4η.  
Τυπικές έφαρμογές του μετρητικού ρολογιού.

**ε) Έλεγχος της ομοκεντρικότητας περιστρεφομένων κομματιών.** Το μετρητικό ρολόι στηρίζεται σε κατάλληλο υποστήριγμα και ο επαφέας του ρολογιού βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια του κομματιού.

**στ) Σύγχρονος έλεγχος πολλών διαστάσεων.**

**ζ) Μέτρηση διαδρομών στις εργαλειομηχανές** από καθορισμένες θέσεις αναφοράς. Χρησιμοποιούνται μετρητικά ρολόγια με μεγάλη περιοχή μετρήσεως.

#### **Δ. Συμπληρωματικές οδηγίες για τη χρήση των μετρητικών ρολογιών.**

α) Να διαλέγετε μετρητικό ρολόι με τέτοια τιμή υποδιαιρέσεων της ωρολογιακής τους πλάκας, ώστε η διακύμανση της διαστάσεως, που πρόκειται να ελέγχετε να είναι περίπου ίση προς το  $\frac{1}{3}$  της πλήρους αποκλίσεως του δείκτη του οργάνου ή και μικρότερη. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το σφάλμα μετρήσεως.

β) Να προσέχετε, ώστε η μέτρηση να μη γίνεται γρήγορα. Με αργή μετατόπιση του κινητού στελέχους του μετρητικού ρολογιού παίρνομε ακριβέστερη μέτρηση.

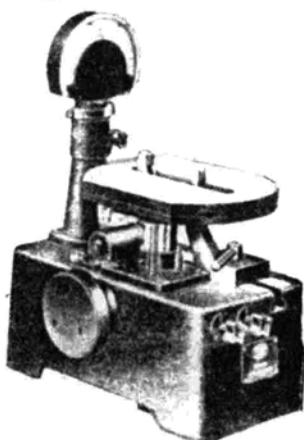
γ) Να στερεώνετε το μετρητικό ρολόι στο βραχίονα, που κατά περίπτωση εφαρμογής το συγκρατεί, πολύ καλά. Να ελέγχεται ακόμα τη στερεότητα και ασφάλεια όλων των συνδέσμων του υποστηρίγματος του ρολογιού. Αποφεύγονται έτσι ανεπιθύμητες νεκρές μετακινήσεις, οι οποίες μειώνουν την ακρίβεια μετρήσεως.

δ) Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της ωρολογιακής πλάκας, τόσο ευκρινέστερα γίνεται η ανάγνωση των ενδείξεων του ρολογιού.

ε) Να διατηρείτε σχολαστικά καθαρό το μετρητικό ρολόι, όπως και ότι άλλο συμμετέχει στις μετρήσεις μηκών με τους συγκριτές.

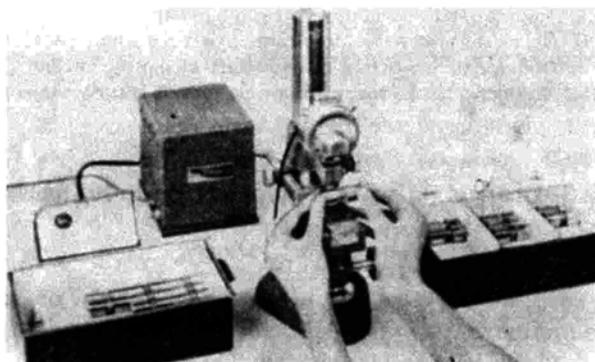
#### **2.4.3 Ο επιτραπέζιος συγκριτής μηκών.**

Ο συγκριτής αυτός απαντάται ως συγκριτής εξωτερικών διαστάσεων (σχ. 2.4ζ) και ως συγκριτής εσωτερικών διαστάσεων (σχ. 2.4θ). Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μεγάλου αριθμού ομοίων κομματιών και επιτρέπει το γρήγορο και ακριβή έλεγχο διαστάσεων και από μη ειδικευμένο ακόμα προσωπικό.



**Σχ. 2.4θ.**

Επιτραπέζιος συγκριτής εσωτερικών διαστάσεων.



**Σχ. 2.4ζ.**

Ηλεκτρικός συγκριτής εξωτερικών διαστάσεων.

Ο επιτραπέζιος συγκριτής μπορεί με τη βοήθεια δύο δεικτών για τα όρια ανοχής [παράγρ. 2.6.1(Δ), σχ. 2.4β(β)] να χρησιμοποιηθεί και ως ελεγκτήρας ορίου.

Για υποβοήθηση των επαναλαμβανομένων με ταχύ ρυθμό μετρήσεων ομοίων κομματιών από τον επιτραπέζιο συγκριτή, διατίθενται βιοηθητικά μέσα για τη στήριξη των κομματιών στην τράπεζά του (π.χ. υποστηρίγματα μορφής V, διατάξεις κεντραρίσματος κυλινδρικών κομματιών κ.ά.).

#### **2.4.4 Ο ηλεκτρικός συγκριτής μηκών.**

Αποτελεί παραλλαγή συγκριτών, που έχουμε αναφέρει. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι, όταν η ένδειξη βρίσκεται μέσα στην επιτρεπόμενη περιοχή διακυμάνσεως της διαστάσεως που ελέγχομε, τότε ανάβει ένας ηλεκτρικός λαμπτήρας καθορισμένου χρώματος. Έτσι ο παρατηρητής, αντί να παρακολουθεί την κίνηση του δείκτη του μετρητικού ρολογιού του συγκριτή, περιορίζεται στο να παρακολουθεί το άναμμα ενός λαμπτήρα. Αυτό σημαίνει ευκολότερο και ταχύτερο έλεγχο.

Το όργανο διαθέτει συνήθως τρεις ηλεκτρικούς λαμπτήρες (σχ. 2.4ι) ένα **κόκκινο**, ένα **πράσινο** και ένα **κίτρινο**. Όταν τα κομμάτια είναι **κανονικά**, δηλαδή παραδεκτά, ανάβει ο πράσινος λαμπτήρας. Όταν είναι **υπερδιάστατα** (μπορούν να κατεργασθούν και να γίνουν παραδεκτά) ανάβει ο κίτρινος λαμπτήρας, ενώ όταν είναι **υποδιάστατα** (δεν επιδέχονται οποιαδήποτε κατεργασία και είναι πραγματικά άχρηστα) ανάβει ο κόκκινος λαμπτήρας.

#### **2.4.5 Έρωτήσεις.**

1. Ποιες είναι οι δύο μεγάλες κατηγορίες μετρήσεως μηκών;
2. Ποια είναι η αρχή, επάνω στην οποία βασίζονται οι συγκριπικές μετρήσεις;
3. Να περιγράψετε σύντομα την αρχή λειτουργίας του μετρητικού ρολογιού.
4. Από ποια κύρια μέρη αποτελείται ένα μετρητικό ρολό;
5. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός μετρητικού ρολογιού, που προδιαγράφονται για την προμήθειά του ή για τη χρήση του;
6. Τι πρέπει να προσέχουμε κατά τη χρήση του μετρητικού ρολογιού, ώστε αυτό να μας δίνει τη μεγαλύτερη ακρίβεια;
7. Το μετρητικό ρολό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο του; Αν όχι, με τι πρέπει να συνδυασθεί;
8. Να αναφέρετε τέσσερις περιπτώσεις εφαρμογής του μετρητικού ρολογιού.
9. Πού χρησιμοποιείται ο επιτραπέζιος συγκριτής μηκών;
10. Να περιγράψετε συνοπτικά τη λειτουργία του ηλεκτρικού συγκριτή μηκών.

### **2.5 Όργανα για τον έλεγχο και τη μέτρηση γωνιών.**

#### **2.5.1 Μονάδες μετρήσεως γωνιών.**

Για τον έλεγχο και τη μέτρηση των γωνιών δεν χρειάζεται πρωτότυπο, όπως απαιτείται τέτοιο για τον έλεγχο και τη μέτρηση των μηκών (παράγρ. 2.3.2). Και αυτό, γιατί κάθε γωνία μπορεί να παραχθεί θούμαδήποτε και οποτεδήποτε με διαίρεση ενός κύκλου.

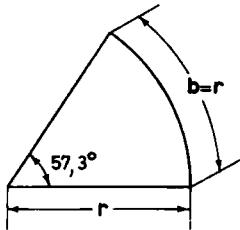
Η ακρίβεια μετρήσεως των γωνιών δεν είναι στην πράξη τόσο μεγάλη, όσο είναι στη μέτρηση των μηκών [είδαμε στην παράγραφο 2.3.2(Γ) ότι, κατά τις μετρή-

σεις με το μήκος κύματος φωτός ως πρωτότυπο, η ακρίβεια μπορεί να φθάσει το 0,001 μμ], αλλά ούτε και απαιτείται για τις εφαρμογές τόση ακρίβεια στις μετρήσεις των γωνιών, όση χρειάζεται στις μετρήσεις μηκών.

Για τη μέτρηση των γωνιών η επικρατέστερη μονάδα μετρήσεως είναι η **μοίρα** (<sup>(9)</sup>), που ισούται με τό  $\frac{1}{360}$  της επίκεντρης γωνίας, η οποία αντιστοιχεί σε ολόκληρη την περιφέρεια του κύκλου ή με το  $\frac{1}{360}$  της **ορθής γωνίας** ( $L$ ) που, όπως γνωρίζομε, σχηματίζεται από την τομή δύο καθέτων ανάμεσά τους ευθειών. Κάθε μοίρα υποδιαιρείται σε εξήντα (60) πρώτα λεπτά (<sup>(1)</sup>) και το πρώτο λεπτό σε εξήντα (60) δεύτερα λεπτά (<sup>(2)</sup>).

Άλλη μονάδα μετρήσεως των γωνιών, που χρησιμοποιείται σπανιότερα, είναι ο βαθμός (<sup>(9)</sup>), ο οποίος αποτελεί το  $\frac{1}{100}$  της ορθής γωνίας (ή το  $\frac{1}{400}$  της γωνίας που αντιστοιχεί σ' ολόκληρη την περιφέρεια του κύκλου). Κάθε βαθμός έχει 100 πρώτα λεπτά (<sup>(c)</sup>) και το πρώτο λεπτό 100 δεύτερα λεπτά (<sup>(cc)</sup>).

Τέλος οι γωνίες μετρούνται και σε **ακτίνια** (rad). Το ακτίνιο ορίζεται ως η επίκεντρη γωνία, που βαίνει σε κυκλικό τόξο με ανάπτυγμα ίσο προς την ακτίνα του (σχ. 2.5a). Αν τώρα θεωρήσομε ένα κύκλο με ακτίνα ίση προς τη μονάδα, τότε η επίκεντρη γωνία, που βαίνει στην περιφέρειά του (δηλαδή μία πλήρης γωνία) θα έχει



Σχ. 2.5a.

Το ακτίνιο ορίζεται ως:  $1 \text{ rad} = b/r = 1 = 57,3^\circ$

μέτρο σε ακτίνια ίσο προς  $2\pi$  ( $\pi = 3,14$ ) ή  $360^\circ$  και συνεπώς βρίσκομε ότι ένα ακτίνιο θα ισούται με 57,29578 (ή πρακτικώς 57,3) μοίρες, όπως προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{\mu}{180} = \frac{\alpha}{\pi} = \frac{\beta}{200}$$

αν  $\mu$ ,  $\alpha$  και  $\beta$  είναι τα μέτρα μιας γωνίας (ή ενός τόξου) σε μοίρες, ακτίνια και βαθμούς αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 2.5.1 βλέπομε τις σχέσεις, που υφίστανται ανάμεσα στις διάφορες μονάδες μετρήσεως των γωνιών.

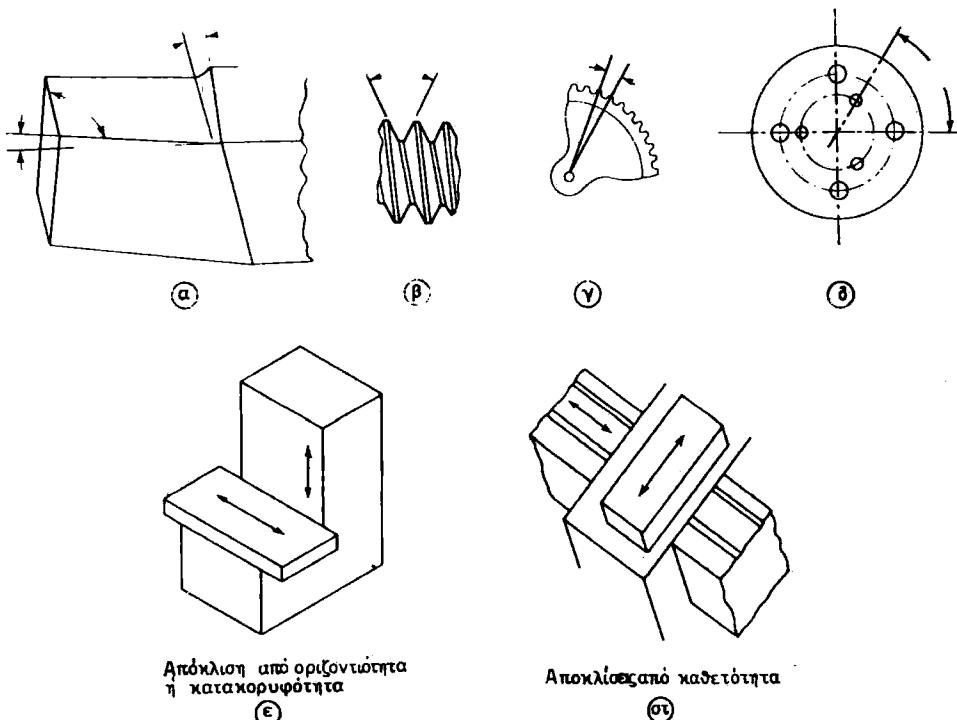
Στη μηχανουργική πράξη συναντούμε πολύ συχνά περιπτώσεις (σχ. 2.5β), όπου παρίσταται ανάγκη να ελέγχουμε ή να μετρήσομε γωνίες [π.χ. στα κοπτικά εργαλεία ( $\alpha$ ), στα σπειρώματα ( $\beta$ ), στις οδοντώσεις ( $\gamma$ ), στις ιδιοσυσκευές ( $\delta$ ), στις εργαλειομηχανές ( $\epsilon$ ), ( $\sigma$ ) (αποκλίσεις από οριζοντιότητα, κατακορυφότητα, καθετότητα κλπ.).

Ο έλεγχος και η μέτρηση των γωνιών γίνεται κατά βάση με δύο μεθόδους:

- α) Άμεσα, με χρήση οργάνων και
- β) Έμμεσα με εφαρμογή τριγωνομετρικών σχέσεων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.1.****Σχέσεις ανάμεσα στις διάφορες μονάδες μετρήσεως γωνιών**

[rad]	[°]	[°] ['] ["]	[g]
1 rad = 1	57,29577	57 17 44,8	63,66197
$1^\circ = \frac{\pi}{180} = 0,017453$	1	1 00 00,0	1,11111
$1^g = \frac{\pi}{200} = 0,015708$	0,9	0 54 00,0	1

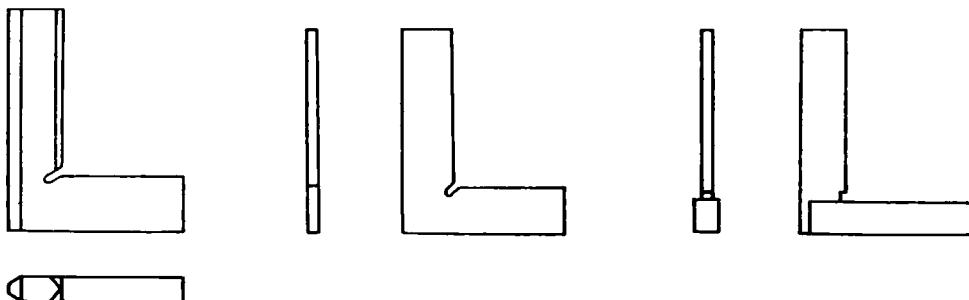
**2.5.2 Έλεγχος γωνιών και συναφή δργανα ελέγχου.****A. Έλεγχος ορθών γωνιών.**

Η ορθή γωνία είναι αυτή που απαντούμε πιο συχνά στις μηχανουργικές κατασκευές. Για τον έλεγχό της, με σύγκριση βέβαια, διατίθενται διάφορα είδη προτύ-

πων σταθερών ορθών γωνιών, όπως βλέπομε στο σχήμα 2.5γ.

Είναι κατασκευασμένες από κατάλληλο χάλυβα βαμμένο, για να αντέχουν στη φθορά από τη χρήση.

Σύμφωνα με τη γερμανική προτυποποίηση, προδιαγράφονται τέσσερις ποιότητες προτύπων σταθερών ορθών γωνιών, για να καλύψουν τις σχετικές ανάγκες στο εργαστήριο (όπου χρησιμοποιούνται οι δύο ανώτερες ποιότητες) και στην παραγωγή (όπου χρησιμοποιούνται οι δύο κατώτερες ποιότητες). Σε κάθε ποιότητα



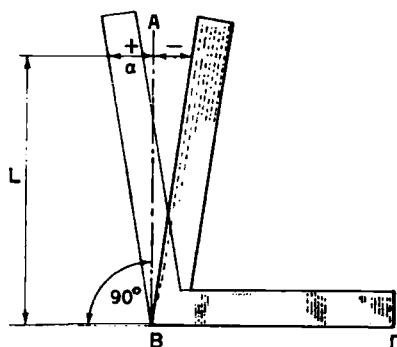
Σχ. 2.5γ.

Πρότυπες σταθερές ελεγκτικές ορθές γωνίες.

γωνίας προβλέπεται μια μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση ( $\pm a$ ) από την κατακόρυφη πλευρά  $AB$  της ορθής γωνίας, σε απόσταση  $L$  από την κορυφή της γωνίας (σχ. 2.5δ). Γνωρίζοντας την επιτρεπόμενη αυτή μέγιστη απόκλιση και το μήκος  $L$  μπορούμε να προσδιορίσουμε εύκολα το αντίστοιχο μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα για την πρότυπη ορθή γωνία σε μονάδες μετρήσεως γωνιών (π.χ. σε δεύτερα λεπτά).

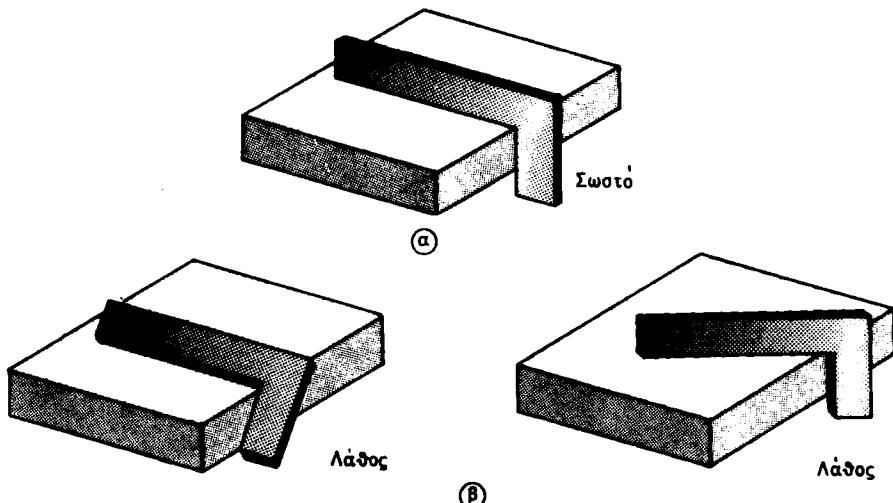
Για να μιλήσουμε με αριθμούς, η καλύτερη ποιότητα ορθών γωνιών για την παραγωγή και για μήκος  $L = 100$  mm παρουσιάζει μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση  $\pm 15$  μμ και μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα γωνίας  $\pm 31''$ .

Ο έλεγχος ορθής γωνίας ενός κομματιού (ή ο έλεγχος της καθετότητας δύο εδρών του καθέτων ανάμεσά τους και τεμνομένων) γίνεται, αφού τοποθετηθεί η ορθή γωνία κατά τον τρόπο, που μας δείχνει το σχήμα 2.5ε(α).



Σχ. 2.5ε.

Μετά την κανονική τοποθέτηση του σκέλους της γωνίας επάνω στην προς έλεγχο επιφάνεια του κομματιού παρατηρούμε τη χαραγή φωτός, που σχηματίζεται ανάμεσα στις επιφάνειες του κομματιού και του σκέλους της ελεγκτικής γωνίας. Αν η χαραγή φωτός είναι ισοπαχής, όπως φυσικά εκτιμούμε με το μάτι, τότε η ελεγχόμενη γωνία είναι ορθή. Αν αντίθετα η χαραγή φωτός είναι ανισοπαχής, τότε συμπεραίνομε ότι η θεωρούμενη γωνία παρουσιάζει απόκλιση από την αληθή



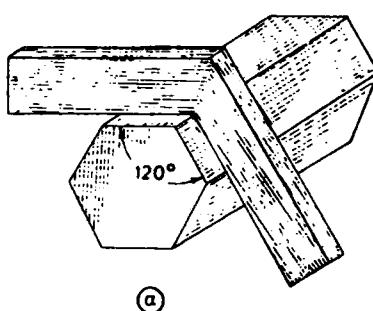
Σχ. 2.5ε.  
Πώς ελέγχομε μιαν ορθή γωνία ενός κομματιού.

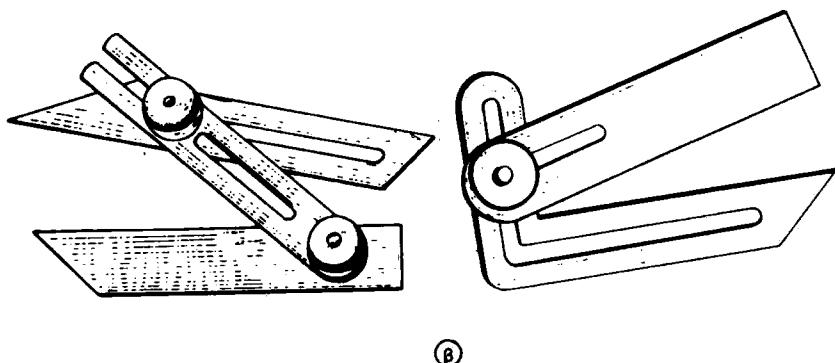
ορθή γωνία, την οποία υλοποιεί η πρότυπη γωνία, που μεταχειρίζόμαστε για τον έλεγχο αυτό. Για καλύτερη παρατήρηση μπορούμε να τοποθετήσουμε πίσω από τη χαραγή φωτός, που σχηματίζεται, ένα λευκό χαρτί ή μια πηγή φωτός.

### B. Έλεγχος οξειών ή αμβλειών γωνιών.

Για τον έλεγχο των γωνιών αυτών μεταχειρίζόμαστε ελεγκτικές **μη ορθές γωνίες** (φαλτσογωνίες), τις οποίες συναντούμε ως **σταθερές** [σχ. 2.5στ(α)] και ως **ρυθμιζόμενες** [σχ. 2.5στ(β)].

Στο σχήμα 2.5ζ εικονίζονται διάφορες εφαρμογές ρυθμιζομένων φαλτσογωνιών.

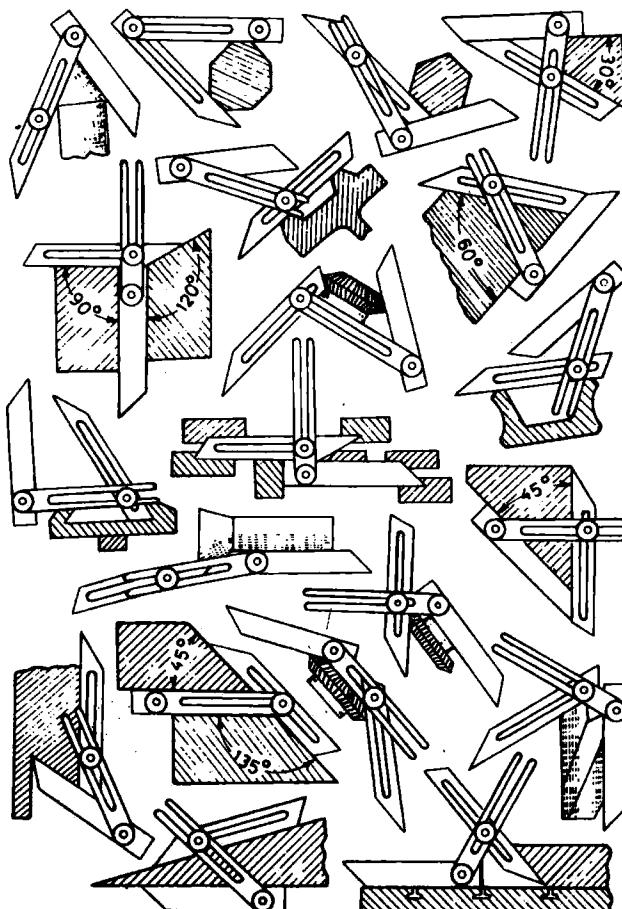




(β)

Σχ. 2.5οτ.

Φαλτσογωνιές: (α) Σταθερή φαλτσογωνιά κατά τον έλεγχο ενός εξαγωνικού πρίσματος. (β) Ρυθμιζόμενες φαλτσογωνιές.



Σχ. 2.5ζ.

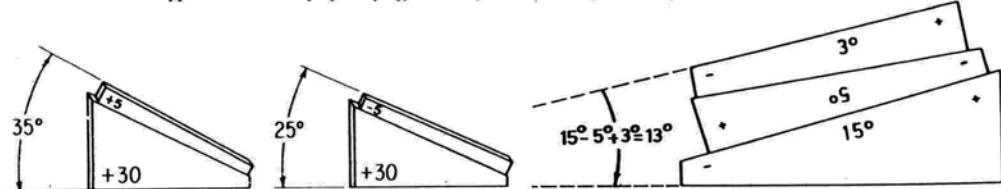
Διάφορες περιπτώσεις χρήσεως ρυθμιζόμενων φαλτσογωνιών.

### Γ. Πρότυπα γωνιακά πλακίδια.

Όπως με τα πρότυπα πλακίδια (παράγρ. 2.3.3) είναι δυνατό, με πρόσφυση των πλακιδίων, να συνθέτουμε διαστάσεις (μήκη), το ίδιο απαράλλακτα μπορούμε να κάνουμε και με τα **πρότυπα γωνιακά πλακίδια**, δηλαδή να συνθέτουμε επιθυμητές γωνίες με μεγάλη ακρίβεια.

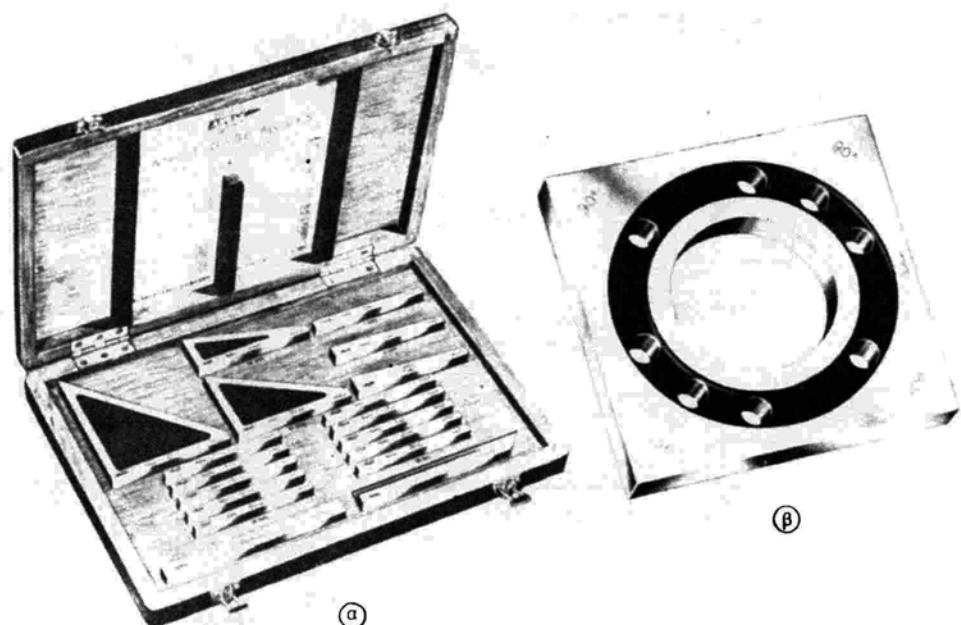
Κάθε πρότυπο πλακίδιο, που συμμετέχει στο σχηματισμό μιας γωνίας, χαρακτηρίζεται από την ονομαστική του γωνία, μέσα βέβαια σε καθορισμένα όρια ανοχών. Η γωνία, την οποία συνθέτει ένας συνδυασμός γωνιακών πλακιδίων, είναι εκείνη που σχηματίζεται ανάμεσα στις ακραίες τους επιφάνειες (σχ. 2.5η).

Τα πρότυπα γωνιακά πλακίδια διατίθενται στο εμπόριο σε συλλογές μέσα σε κατάλληλη θήκη [σχ. 2.5θ(α)]. Ο αριθμός των πλακιδίων κάθε συλλογής εξαρτάται από την περιοχή μετρήσεων γωνιών, την οποία θέλομε να επιτύχομε, όπως και από το ελάχιστο επιθυμητό βήμα κλιμακώσεως των γωνιών (Πίνακας 2.5.2).



Σχ. 2.5η.

Σύνθεση γωνιών με πρότυπα γωνιακά πλακίδια. Κάθε πλακίδιο μπορεί να συμβάλλει στο σχηματισμό της γωνίας προσθετικά ή αφαιρετικά.



Σχ. 2.5θ.

(α) Συλλογή 16 προτύπων γωνιακών πλακιδίων για μετρήσεις γωνιών από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  με βήμα κλιμακώσεως ενός δευτερολέπτου. (β) Πρότυπο τετράγωνο, που συνήθως συνοδεύει κάθε συλλογή προτύπων γωνιακών πλακιδίων. Επεκτείνει την περιοχή μετρήσεως των  $90^\circ$ , που επιτυγχάνεται με τα πλακίδια της συλλογής (Πίνακας 2.5.2).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.2**

**Σύνθεση τυπικών συλλογών προτύπων γωνιακών πλακιδίων ( $0^\circ$  έως  $90^\circ$ )**

Ελάχιστο βήμα κλιμακώσεως γωνιών	Αριθμός προτύπων γωνιακών πλακιδίων	Ονομαστική γωνία πλακιδίων συλλογής
$1^\circ$	6	$1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$
$1'$	11	$1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ $1', 3', 5', 20', 30'$
$10''$	14	$1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ $1', 3', 5', 10', 25', 40'$ $20'', 30''$
$1''$	16	$1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ $1', 3', 5', 20', 30'$ $1'', 3'', 5'', 20'', 30''$

Οι συλλογές αυτές περιλαμβάνουν μικρό σχετικά αριθμό προτύπων γωνιακών πλακιδίων. Κάθε πλακίδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δύο θέσεις, δηλαδή είτε να προστίθεται η ονομαστική του γωνία στο συνδυασμό των προηγουμένων πλακιδίων, είτε να αφαιρείται, αν αντιστραφούν τα άκρα τους (σχ. 2.5η).

Έστω, για παράδειγμα, ότι θέλομε να συνθέσουμε τη γωνία  $27^\circ 28' 40''$  με τη βοήθεια προτύπων γωνιακών πλακιδίων της κατάλληλης συλλογής (συλλογή με ελάχιστο βήμα κλιμακώσεως γωνιών  $10''$ , Πίνακας 2.5.2). Ένας συνδυασμός γίνεται μέν πλακίδια, που θα έχουν ονομαστικές διαστάσεις:  $30^\circ, 3^\circ, 25', 3', 1', 20'',$  γιατί:

$$(30^\circ - 3^\circ) + (25' + 3' + 1') - 20'' = 27^\circ 28' 40''$$

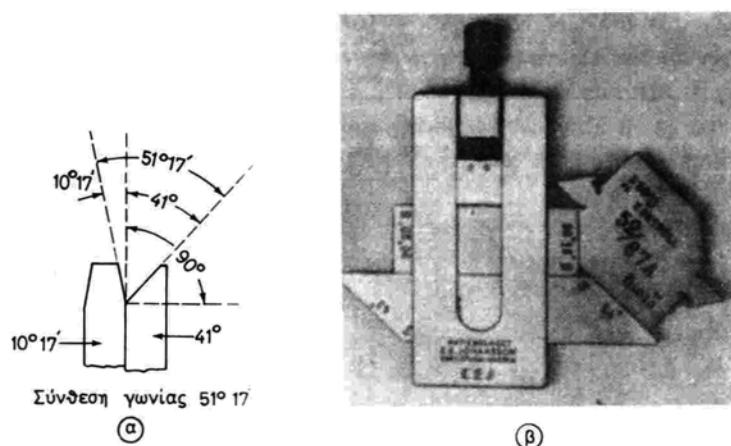
Τα πρότυπα γωνιακά πλακίδια κατασκευάζονται συνήθως σε δύο ποιότητες: μία εργαστηριακή ποιότητα με επιτρεπόμενο μέγιστο σφάλμα  $1/4''$  και μία ποιότητα εργαλειοκατασκευαστηρίου με μέγιστο σφάλμα  $1''$ , σύμφωνα με αμερικανούς κατασκευαστές.

Εκτός από τα πρότυπα γωνιακά πλακίδια, που μόλις αναφέραμε, υπάρχουν και γωνιακά πλακίδια, επίσης σε σειρές, όπου το κάθε πλακίδιο έχει περισσότερες από μία πρότυπες γωνίες, των οποίων αναγράφεται επάνω στο πλακίδιο η ονομαστική τιμή.

Η σύνθεση γωνιών γίνεται συνήθως με δύο πλακίδια [σχ. 2.5i(α)] με τη βοήθεια κατάλληλης ιδιοσυσκευής [σχ. 2.5i(β)].

### **2.5.3 Μέτρηση γωνιών και συναφή όργανα μετρήσεως.**

Με τα όργανα ελέγχου γωνιών, για τα οποία μιλήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ελέγχομε (κάνομε σύγκριση), αν η υπό έλεγχο γωνία του κομματιού ή



Σχ. 2.5i.

Σύνθεση γυνιών με πλακίδια που έχουν πολλές πρότυπες γωνίες.

του εργαλείου **συμπίπτει** με την πρότυπη γωνία ή αν **αποκλίνει** από αυτή, χωρίς όμως να μπορούμε να μετρήσουμε (σε μοίρες ή σε υποπολλαπλάσιά της) την απόκλιση.

Το μέγεθος της μετρούμενης γωνίας μας το δίνουν τα **όργανα μετρήσεως γυνιών**. Το πιο συνηθισμένο μετρητικό όργανο γυνιών στη μηχανουργική πρακτική είναι το μοιρογνωμόνιο, που το συναντάμε συνήθως σε δύο τύπους:

- Στο **μοιρογνωμόνιο χωρίς βερνιέρο** (σχ. 2.5ια) και
- στο **μοιρογνωμόνιο με βερνιέρο** (σχ. 2.5ιβ).

Για τη μέτρηση γυνιών, εκτός από το μοιρογνωμόνιο, υπάρχουν και οπτικά όργανα, που μπορούν να δώσουν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από εκείνη, που επιτυγχάνεται με τα μοιρογνωμόνια. Με τα όργανα όμως αυτά δεν θα ασχοληθούμε εδώ.

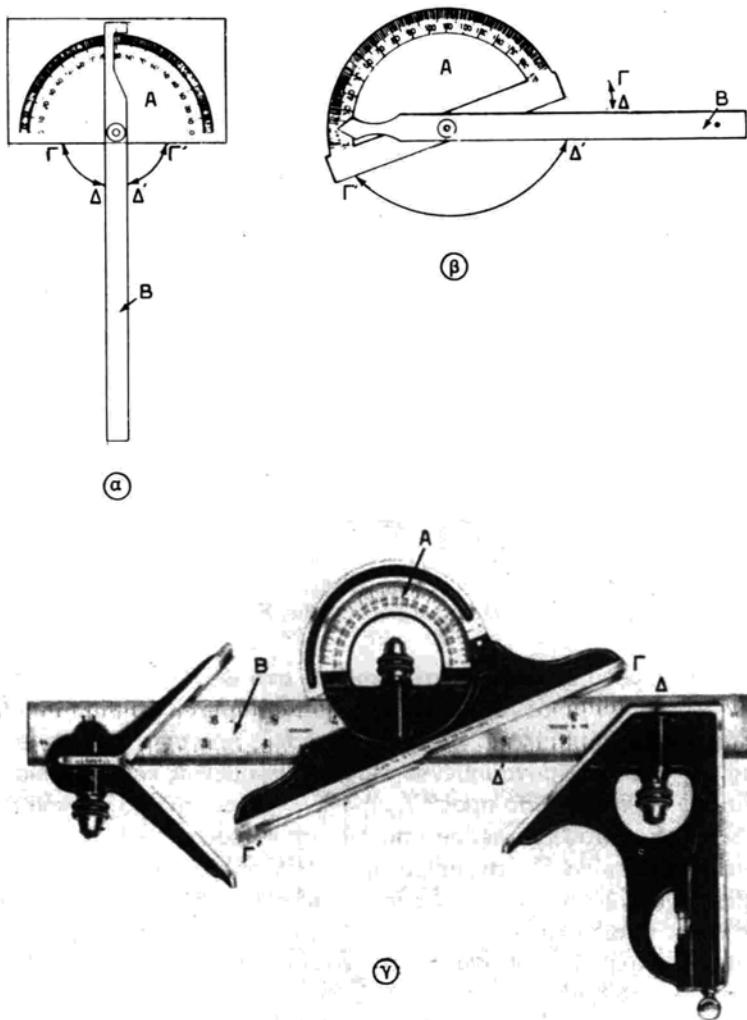
#### A. Το απλό μοιρογνωμόνιο ή μοιρογνωμόνιο χωρίς βερνιέρο.

Μας δίνει μετρήσεις με ακρίβεια αναγνώσεως μιας μοίρας ( $1^\circ$ ). Το συναντούμε σέ διάφορες παραλλαγές, όπως μας δείχνει το σχήμα 2.5ια.

Τα μοιρογνωμόνια αυτά φέρουν βαθμονομημένο δίσκο Α με υποδιαιρέσεις σε μοίρες ( $^\circ$ ) και στέλεχος ή κανόνα Β. Ανάλογα με τη χρήση τους έχουν βαθμονομίες από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  και από  $90^\circ$  έως  $0^\circ$  [σχ. 2.5ια(α)] ή από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$  [σχ. 2.5ια(β)] ή από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  (ή  $180^\circ$ ) και από  $90^\circ$  (ή  $180^\circ$ ) έως  $0^\circ$  [σχ. 2.5ια(γ)]. Τα σκέλη της προς μέτρηση γωνίας τοποθετούνται στις επίπεδες επιφάνειες Γ ή Γ' του δίσκου και Δ ή Δ' του στελέχους ή του κανόνα Β.

Το όργανο, που εικονίζεται στο σχήμα 2.5ια(γ), είναι ένα σύνθετο μετρητικό όργανο, η **σύνθετη γωνία**.

Απαρτίζεται από απλό μοιρογνωμόνιο, μεταλλικό κανόνα, από ορθή γωνία με αεροστάθμη ή αλφάδι (παράγρ. 2.9.1) και από εξάρτημα για τον προσδιορισμό του κέντρου κυκλικών διατομών και βρίσκει πληθώρα από εφαρμογές στο μηχανουργείο.

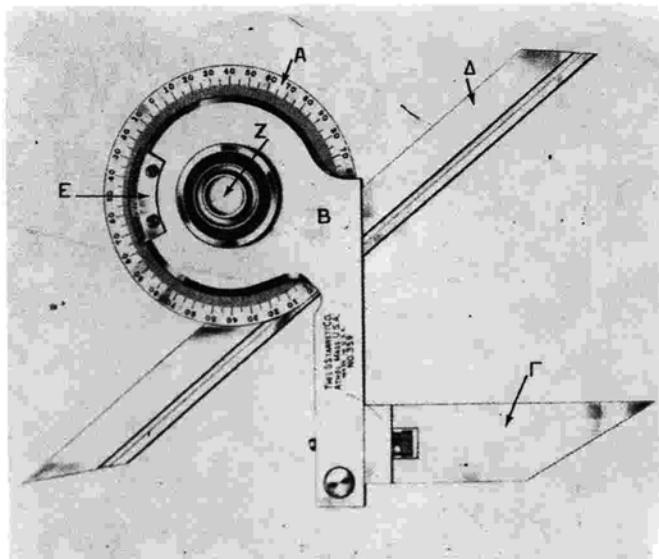


Σχ. 2.5ια.  
Μοιρογνωμόνια χωρίς βερνιέρο.

### B. Το μοιρογνωμόνιο με βερνιέρο.

Δίνει ενδείξεις με ακρίβεια αναγνώσεως πέντε πρώτων λεπτών ( $5'$ ), η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση βερνιέρου, που θα περιγράψουμε παρακάτω.

Το μοιρογνωμόνιο με βερνιέρο (σχ. 2.5ιβ) αποτελείται από ένα δίσκο Α βαθμονομημένο σε  $360^\circ$  (τέσσερα τεταρτημόρια με διαδοχική βαθμονόμηση από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$ ,  $90^\circ$  έως  $0^\circ$ ,  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  και  $90^\circ$  έως  $0^\circ$ ), από το φορέα Β του δίσκου, από το στέλεχος Γ (υποβοηθητικό για τη μέτρηση μικρών οξειών γωνιών), από τον κανόνα Δ και το βερνιέρο Ε, που είναι στερεωμένος στο φορέα Β. Επιπρόσθετα το μοιρογνωμόνιο φέρει κομβίο Ζ για μικρομετρική ρύθμιση και ασφαλιστικούς κοχλίες, για



Σχ. 2.5β.  
Μοιρογνωμόνιο με βερνιέρο.

ασφάλιση του κανόνα  $\Delta$  και του στελέχους  $\Gamma$  στη θέση της μετρήσεως.

Ο βερνιέρος  $E$  του μοιρογνωμονίου (σχ. 2.5ιγ) φέρει δεξιά και αριστερά από το μηδέν της κλίμακάς του από 12 ίσες υποδιαιρέσεις, που αντιστοιχούν σε 23 υποδιαιρέσεις ( $23^\circ$ ) του βαθμονομημένου κύκλου. Επομένως κάθε υποδιαιρέση του βερνιέρου θα έχει πλάτος ίσο προς  $\frac{23}{12}$  ή  $1 \frac{11}{12}$  μοίρες ή  $1^\circ 55'$ . Άρα η διαφορά μιας υποδιαιρέσεως του βερνιέρου από δύο υποδιαιρέσεις της βαθμονομίας του μοιρογνωμονίου θα είναι  $\frac{1}{12}$  της μοίρας ή  $5'$ . Η διαφορά αυτή των  $5'$  μας δίνει και την ακρίβεια αναγνώσεως του βερνιέρου σύμφωνα με τη θεωρία του βερνιέρου, την οποία αναπτύζαμε στην παράγραφο 1.4(Γ) του Μ.Ε. Για ευκολία αναγνώσεως των ενδείξεων, ο βερνιέρος φέρει από το ένα και το άλλο μέρος του μηδενός αριθμηση των υποδιαιρέσεών του σε  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  και  $60^\circ$ .

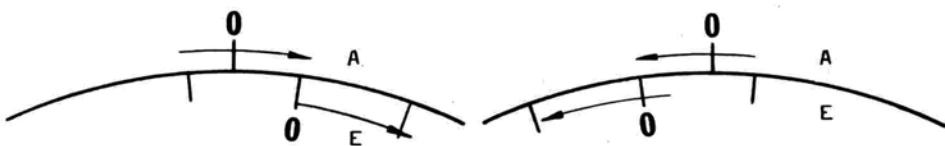
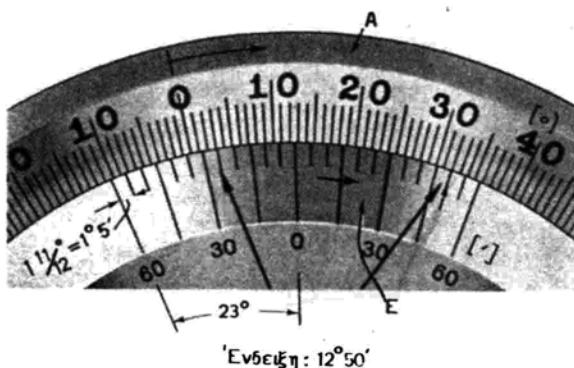
Για να αποφύγομε σφάλματα στην ανάγνωση του βερνιέρου, ακολουθούμε τον κανόνα αυτό: **Διαβάζομε πάντοτε τις ενδείξεις του βερνιέρου κατά την ίδια φορά από το μηδέν, κατά την οποία διαβάζομε τη βαθμονομία του δίσκου.**

Η ανάγνωση της ενδείξεως του σχήματος 2.5ιγ γίνεται ως εξής:

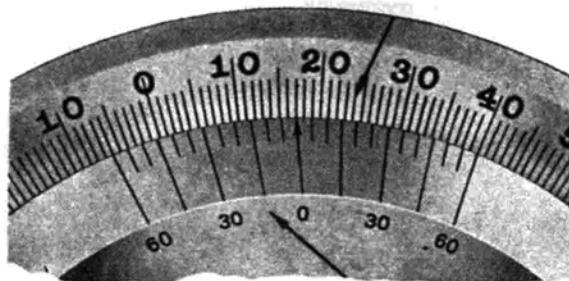
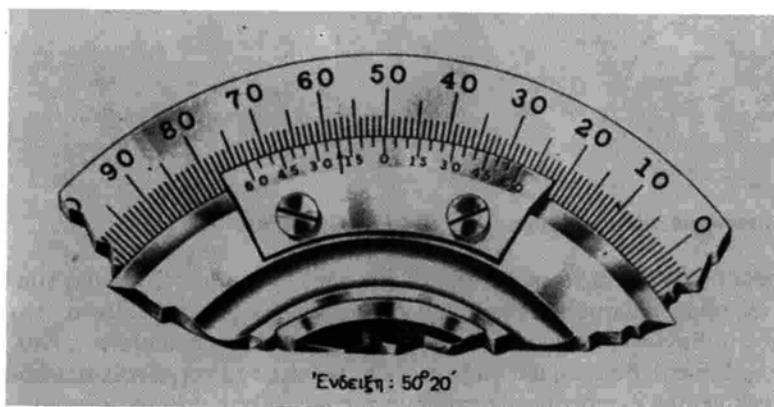
Από το μηδέν του βερνιέρου έχουν περάσει προς τα δεξιά (φορά αριθμήσεως της βαθμονομίας του δίσκου, για να τηρήσουμε τον κανόνα, που μόλις τώρα διατυπώθηκε)  $12^\circ$  και κάπι. Παρατηρούμε τώρα ότι η δέκατη χαραγή της προς τα δεξιά από το μηδέν κλίμακάς του βερνιέρου (σημειώνεται με βέλος και αντιστοιχεί σε  $10 \times 5' = 50'$ ) συμπίπτει με μία γραμμή της βαθμονομίας του δίσκου. Άρα, στην περιπτώση αυτή, η ανάγνωση της ενδείξεως θα είναι  $12^\circ 50'$ .

Δύο παραδείγματα αναγνώσεως ενδείξεων σε μοιρογνωμόνιο με βερνιέρο δίνομε στο σχήμα 2.5ιδ.

Στο σχήμα 2.5ιε εικονίζονται διάφορες εφαρμογές του μοιρογνωμονίου με βερνιέρο.

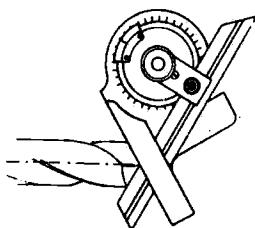
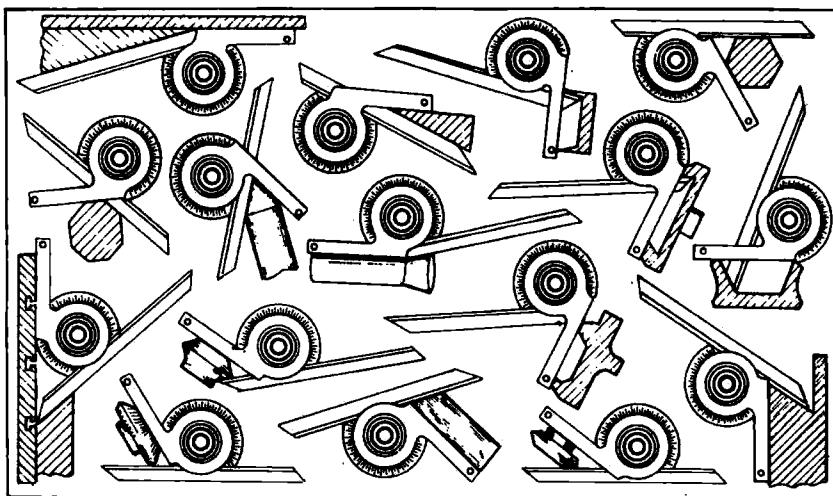


**Σχ. 2.5γ.**  
Ο βερνιέρος ενός μοιρογνωμονίου: Ένδειξη: 12° 50'.



"Ένδειξη: 17°

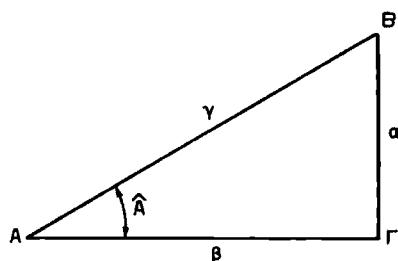
**Σχ. 2.5δ.**  
Ενδείξεις μοιρογνωμονίου με βερνιέρο 5'.



**Σχ. 2.5ιε.**  
Εφαρμογές του μοιρογνωμονίου με βερνίέρο.

#### 2.5.4 Τριγωνομετρικός έλεγχος και μέτρηση γωνιών.

Η μέθοδος αυτή για τη μέτρηση και τον έλεγχο (σχηματίζομε μία γωνία με ακρίβεια, ως προς την οποία συγκρίνομε άλλη γωνία) γωνιών βασίζεται στο σχηματισμό ενός ορθογώνιου τριγώνου από πρότυπα μήκη. Η ζητούμενη γωνία, ας πούμε η  $\hat{A}$  (σχ. 2.5ιστ), δηλαδή μία από τις οξείες γωνίες του τριγώνου, προσδιορίζεται τριγωνομετρικά είτε από την εφαπτομένη της ( $\epsilon\phi\hat{A}$ ) είτε από το ημίτονό της ( $\eta\mu\hat{A}$ ) με τη βοήθεια των γνωστών σχέσεων:



**Σχ. 2.5ιστ.**  
Τα στοιχεία ενός ορθογώνιου τριγώνου.

$$\epsilon \phi \hat{A} = \frac{\alpha}{\beta} \quad (2.1) \quad \text{ή}$$

$$\eta \mu \hat{A} = \frac{\alpha}{\gamma} \quad (2.2)$$

Η αριθμητική τιμή μιας οξείας γωνίας, της οποίας γνωρίζομε την εφαπτομένη ή το ημίτονο, υπολογίζεται από τους Πίνακες των φυσικών τριγωνομετρικών αριθμών (παράρτημα Π1).

Βλέπουμε λοιπόν ότι από τη μέτρηση μηκών (δύο πλευρών ενός ορθογώνιου τριγώνου) μπορούμε να αναχθούμε σε μέτρηση γωνιών. Το γεγονός δε ότι είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε πρότυπα μήκη (πρότυπα πλακίδια και πρότυπες ράβδους ή κανόνες) μας εξασφαλίζει μεγάλη ακρίβεια, την οποία δεν μπορούμε να επιτύχουμε με τα διατιθέμενα όργανα άμεσης μετρήσεως γωνιών (τα μοιρογνωμόνια).

Δύο μεθόδους μεταχειρίζομαστε για την έμμεση μέτρηση και έλεγχο των γωνιών:

- Τη **μέθοδο του ημιτόνου**, η οποία χρησιμοποιείται συχνά στις μηχανουργικές εργασίες και
- τη **μέθοδο της εφαπτομένης**, που χρησιμοποιείται σπανιότερα.

#### A. Η μέθοδος του ημιτόνου (σχ. 2.5ιζ).

Για να εφαρμόσουμε τη μέθοδο αυτή χρειαζόμαστε μιαν οριζόντια επίπεδη επιφάνεια Α' [π.χ. μια πλάκα εφαρμογής σχ. 2.5ιζ(γ)], πρότυπα πλακίδια Β', με τα οποία συνθέτουμε την κάθετη πλευρά α του ορθογώνιου τριγώνου, έναν ειδικό πρότυπο κανόνα ή ράβδο Γ', τον **κανόνα** (ή ράβδο) **ημιτόνων**, όπως τον ονομάζομε, μαζί με δύο μετρητικούς κυλίνδρους Δ' της ίδιας διαμέτρου και μεγάλης ακρίβειας κατασκευής. Ο κανόνας ημιτόνου αποτελεί την υποτείνουσα του ορθογώνιου τριγώνου. Με την οριζόντια επίπεδη πλάκα και με τη στήλη των προτύπων πλακιδίων υλοποιούμε την ορθή γωνία του τριγώνου.

Πρακτικά το πρόβλημα τίθεται ως εξής:

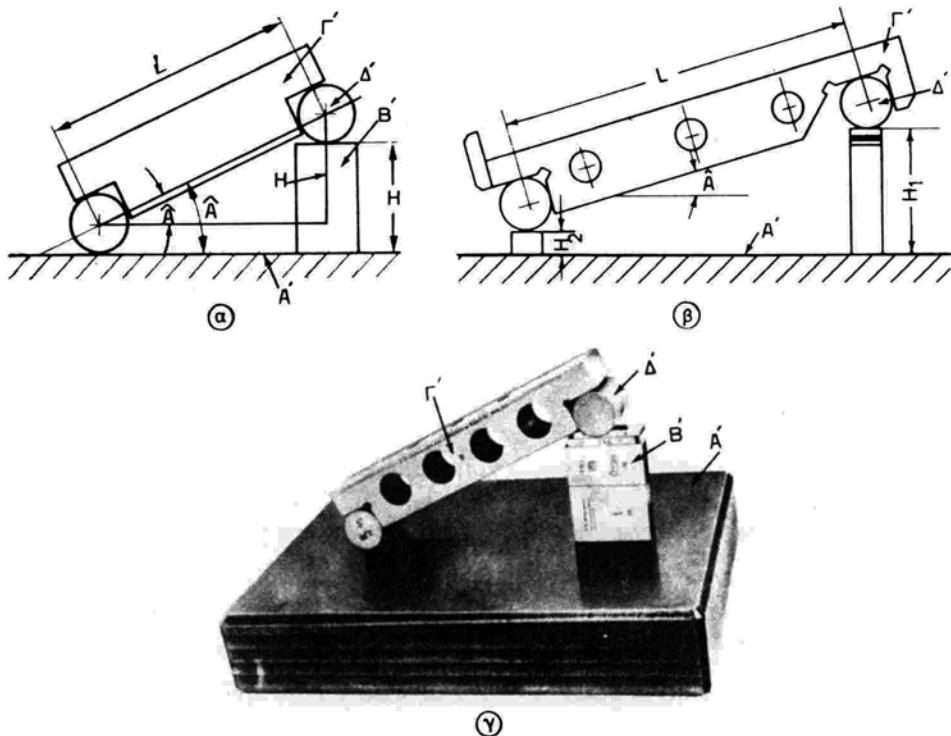
Η γωνία, την οποία θέλουμε να κατασκευάσουμε με ακρίβεια είναι δοσμένη. Η διάσταση L του κανόνα (είναι η απόσταση μεταξύ των αξόνων των δύο απαραλλάκτων κυλίνδρων Δ') συμπίπτει με την υποτείνουσα AB (σχ. 2.5ιστ) του ορθογώνιου τριγώνου και είναι γνωστή, συνήθως 100 mm ή 200 mm (ή 5'' ή 10''). Άρα απομένει η σύνθεση της κάθετης πλευράς ΒΓ του τριγώνου με πρότυπα πλακίδια, της οποίας το μέγεθος Η εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της δοσμένης γωνίας Α.

Τελικά η τριγωνομετρική σχέση, που συνδέει τις διαστάσεις L και Η και τη γωνία Α θα είναι, αν λάβομε υπ' όψη μας τη σχέση (2.2):

$$\eta \mu \hat{A} = \frac{H}{L} \quad (2.3)$$

#### Παράδειγμα.

Έστω ότι διαθέτουμε πρότυπο κανόνα ημιτόνων με L = 100 mm και επιθυμούμε να κατασκευάσουμε γωνία 25°. Το ύψος της στήλης από πρότυπα πλακίδια που θα απαιτηθούν θα είναι [σχέση (2.3)]:



Σχ. 2.5ι.

Η μέθοδος του ημιτόνου για το σχηματισμό μιας δοσμένης γωνίας  $\hat{A}$ .

$$H = 100 \text{ mm } 25^\circ$$

Από τους Πίνακες Φυσικών τριγωνομετρικών αριθμών βρίσκομε ότι ημ  $25^\circ = 0,42262$  και συνεπώς η διάσταση που ζητούμε, δηλαδή το ύψος της στήλης πλακίδιων, θα είναι  $H = 42,262 \text{ mm}$ . Ο συνδυασμός των απαιτουμένων προτύπων πλακίδιων, για τη σύνθεση της διαστάσεως αυτής, επιλέγεται κατά τα γωνοστά [παράγρ. 2.3.3(Δ) (1)]. Στην περίπτωσή μας μπορούμε να διαλέξουμε πλακίδια με τις εξής ονομαστικές διαστάσεις:

$$1,002 \text{ mm}, \quad 1,260 \text{ mm}, \quad 15,00 \text{ mm}, \quad 25,00 \text{ mm}$$

Η μέθοδος του ημιτόνου μπορεί να εφαρμοσθεί και με τη διάταξη, που εικονίζεται στο σχήμα 2.5ι(β), όπου χρησιμοποιούνται δύο στήλες από πρότυπα πλακίδια, η μία με ύψος  $H_1$ , και η άλλη με ύψος  $H_2$ . Το ημίτονο της γωνίας  $\hat{A}$  στην περίπτωση αυτή εκφράζεται ως:

$$\text{ημ } \hat{A} = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (2.4)$$

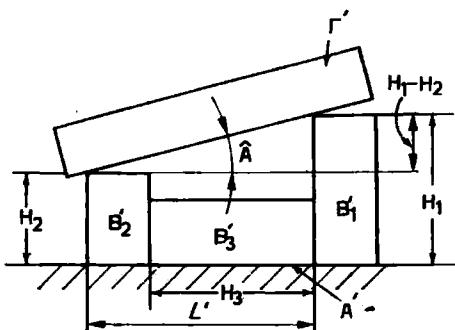
Η τελευταία διάταξη πρέπει να προτιμάται, γιατί δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια, ίδιαίτερα αν η οριζόντια επίπεδη επιφάνεια δεν είναι ικανοποιητικής, για την περίπτωση, ποιότητας.

## B. Η μέθοδος της εφαπτομένης.

Η διάταξη, που μεταχειρίζομαστε, για να κατασκευάσομε γωνίες  $\hat{A}$  με τη μέθοδο αυτή φαίνεται στο σχήμα 2.5η. Και εδώ επάνω σε οριζόντια επίπεδη επιφάνεια  $A'$  τοποθετούμε πρότυπα πλακίδια (ή στήλες από προσφυόμενα πρότυπα πλακίδια)  $B'_1, B'_2, B'_3$  με αντίστοιχες διαστάσεις  $H_1, H_2, H_3$  και ένα κανόνα ακρίβειας  $G'$ . Η σχέση που μας δίνει την εφαπτομένη της γωνίας  $\hat{A}$  θα είναι:

$$\epsilon \phi \hat{A} = \frac{H_1 - H_2}{L'} \quad (2.5)$$

όπου η διάσταση  $L'$  θα είναι ίση με το άθροισμα της διαστάσεως  $H_3$  και του γνωστού πλάτους των πλακιδών.



Σχ. 2.5η.

Η μέθοδος της εφαπτομένης για την κατασκευή μιας δοσμένης γωνίας  $\hat{A}$ .

### Παράδειγμα.

Ας πούμε ότι θέλομε να κατασκευάσομε μια γωνία  $\hat{A} = 30^\circ$ . Εκλέγομε για τα πλακίδια  $B'_1$ , και  $B'_3$  ονομαστικές διαστάσεις  $H_1 = 50$  mm και  $H_3 = 25$  mm αντίστοιχως. Δίνομε ακόμα ότι το πλάτος των πλακιδών είναι 9 mm. Ποια θα είναι η ονομαστική διάσταση  $H_2$  της στήλης  $B'_2$ ;

Από τους Πίνακες φυσικών τριγωνομετρικών αριθμών βρίσκομε ότι  $\epsilon \phi 30^\circ = 0,57735$ . Επίσης προκύπτει ότι  $L' = H_3 + 9 \text{ mm} = 25 + 9 = 34 \text{ mm}$ . Επιλύοντας τη σχέση (2.5) ως προς  $H_2$  βρίσκομε:

$$H_2 = H_1 - L' \epsilon \phi \hat{A}$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές των γνωστών μεγεθών παίρνομε:

$$H_2 = 50 - 34 \times 0,57735 = 30,37 \text{ mm}$$

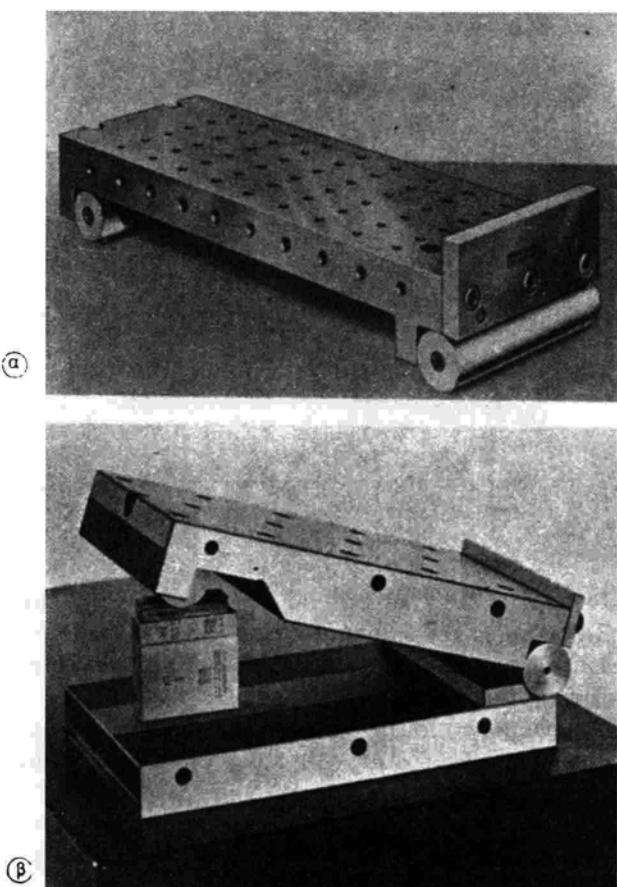
Το μήκος των 30,37 mm μπορούμε να το συνθέσουμε με κατάλληλο συνδυασμό πλακιδών, όπως έχομε μάθει. Επιλέγομε τα πλακίδια με τις ακόλουθες ονομαστικές διαστάσεις:

$$1,07 \text{ mm}, \quad 1,30 \text{ mm}, \quad 3,00 \text{ mm}, \quad 25 \text{ mm}.$$

**Γ. Εφαρμογές του τριγωνομετρικού έλεγχου και μετρήσεως γωνιών.**

Όπως φαίνεται, αν συγκρίνουμε τα σχήματα 2.5ιζ και 2.5ιη, η μέθοδος του ημιτόνου για τον έλεγχο και μέτρηση γωνιών πλεονεκτεί απέναντι στη μέθοδο της εφαπτομένης κατά τούτο. Η πρώτη είναι πιο απλή, γιατί απαιτεί τη σύνθεση μιας μόνο διαστάσεως (ή δύο το πολύ), αντί για τις τρεις, που χρειάζονται στη δεύτερη. Επί πλέον διατίθεται στο εμπόριο ο κανόνας ημιτόνου, ο οποίος διευκολύνει κατά πολύ την κατασκευή της επιθυμητής γωνίας χωρίς να χάνεται η ακρίβεια.

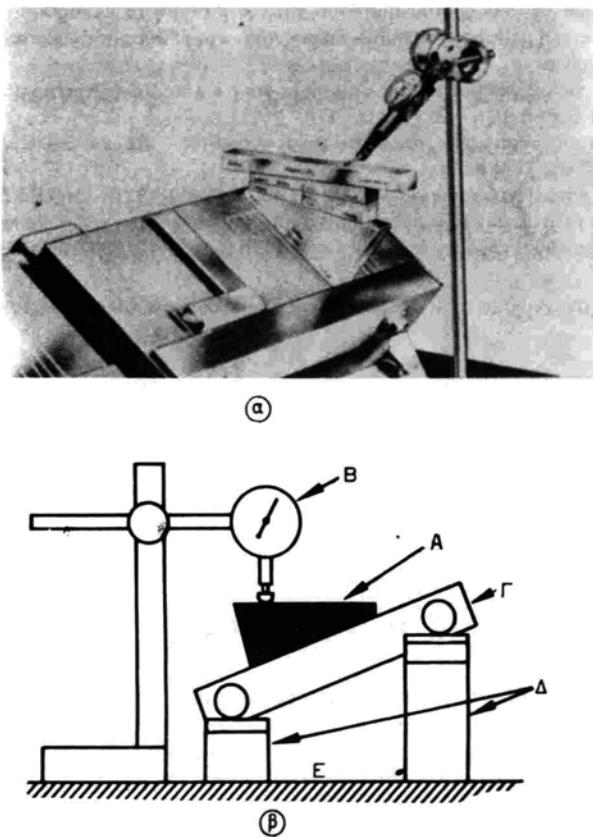
Για ευκολότερους και ακριβέστερους έλεγχους και μετρήσεις γωνιών, εκτός από τους κανόνες ημιτόνου, βρίσκει κανένας στο εμπόριο και **πλάκες ημιτόνου** [σχ. 2.5ιθ(α)] ή **τράπεζες ημιτόνου** [σχ. 2.5ιθ(β)].



**Σχ. 2.5ιθ.**

(α) Πλάκα ημιτόνου. (β) Τράπεζα ημιτόνου.

Ο τριγωνομετρικός έλεγχος των γωνιών εφαρμόζεται γενικά στη ρύθμιση εργαλειομηχανών [σχ. 2.5κ(α)], στο συγκριτικό έλεγχο γωνιών [σχ. 2.5κ(β)] και αλλού.



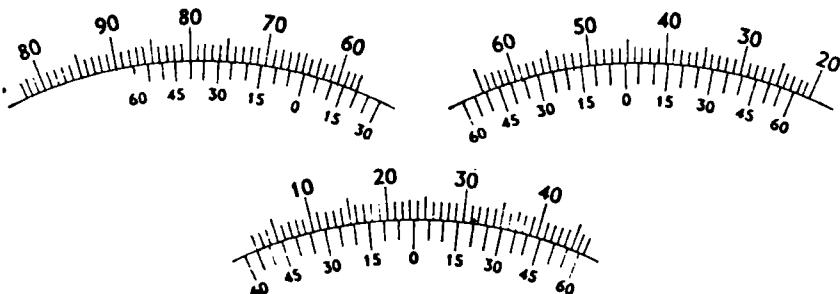
Σχ. 2.5κ.

Εφαρμογές του τριγωνομετρικού έλεγχου και μετρήσεως γωνιών: (α) Ρύθμιση του μαγνητικού τσοκ μιας εργαλειομηχανής, το οποίο έχει δυνατότητα κλίσεως. (β) Συγκριτικός έλεγχος της γωνίας ενός κομματιού. (Α κομμάτι, Β μετρητικό ρολόι με το υπόβαθρό του, Γ ράβδος ημιτόνου, Δ στήλες από πρότυπα πλακίδια, Ε πλάκα εφαρμογής).

#### 2.5.5 Ερωτήσεις και ασκήσεις.

1. Γιατί δεν χρειάζεται πρωτότυπο για τη μέτρηση των γωνιών;
2. Ποιες είναι οι βασικές μονάδες μετρήσεως γωνιών;
3. Πώς ορίζομε το ακτίνιο;
4. Με τη βοήθεια ενός σκίτου να δείξετε το σωστό τρόπο χρήσεως μιας ελεγκτικής ορθής γωνίας.
5. Πώς γίνεται ο έλεγχος μιας ορθής γωνίας ενός κομματιού με τη βοήθεια μιας ελεγκτικής ορθής γωνίας;
6. Να αναφέρετε δύο όργανα μετρήσεως γωνιών μαζί με την ακρίβεια την οποία μπορεί να μας δώσει το καθένα.
7. Να περιγράψετε το βερνιέρο ακρίβειας 5' ενός μοιρογνωμονίου.
8. Να περιγράψετε συνοπτικά τα βήματα που ακολουθούμε για να κάνουμε την ανάγνωση μιας ενδείξεως σε ένα μοιρογνωμόνιο με βερνιέρο.
9. Να αναφέρετε εργασίες, που μπορούμε να κάνουμε με τη σύνθετη γωνία.
10. Ποιαν αρχή εφαρμόζουμε για τον τριγωνομετρικό έλεγχο ή μέτρηση γωνιών;

11. Πώς εφάρμοζομε τη μέθοδο του ημιτόνου για την κατασκευή μιας δοσμένης γωνίας;
12. Κατά τι πλεονεκτεί η μέθοδος του ημιτόνου απέναντι στη μέθοδο της εφαπτομένης κατά το σχηματισμό μιας γωνίας;
13. Να εκφράσετε τις ακόλουθες γωνίες σε μοίρες και σε δεκαδικούς της μοίρας:  $15^{\circ}25'$ ,  $23^{\circ}13'$ ,  $42^{\circ}36'26''$  και  $54^{\circ}18'25''$ .
14. Να εκφράσετε τις παρακάτω γωνίες σε μοίρες, πρώτα λεπτά και δεύτερα λεπτά:  $15,375^{\circ}$ ,  $16,62^{\circ}$ ,  $55,75^{\circ}$  και  $78,94^{\circ}$ .
15. Να κατατάξετε κατά μέγεθος τις γωνίες:  $42^{\circ}20'35''$ ,  $50^{\circ}62'32''$  και  $0,85^{\text{rad}}$ .
16. Να συνθέσετε τις ακόλουθες γωνίες επιλέγοντας την κατάλληλη για κάθε περίπτωση συλλογή προτύπων γωνιακών πλακιδίων από τον Πίνακα 2.5.2:  $37^{\circ}$ ,  $42^{\circ}19'$ ,  $15^{\circ}20'40''$ ,  $78^{\circ}35'65''$  και  $83^{\circ}13'59''$ .
17. Να κάμετε τις αναγνώσεις των ακολούθων τριών ενδείξεων μοιρογνωμονίου με βερνιέρα:



18. Να σχεδιάσετε ή να θέσετε σε ένα πραγματικό μοιρογνωμόνιο με βερνιέρα τις εξής ενδείξεις:  $10^{\circ}15'$ ,  $35^{\circ}40'$  και  $17^{\circ}25'$ .
19. Πρόκειται με τη μέθοδο ημιτόνου να ελέγχετε την ημιγωνία κορυφής ενός κύνου, που κατασκευάζεται σε μαζική παραγωγή. Η πρόσθια γωνία είναι  $29^{\circ}30'$ . Αν η απόσταση L του κανόνα ημιτόνου [παράρ. 2.5.4(A)] είναι 200 mm:
  - Ποιο θα πρέπει να είναι το ύψος της στήλης των προτύπων πλακιδίων;
  - Ποια πλακίδια θα πρέπει να διαλέξετε από μια τυπική συλλογή προτύπων πλακιδίων για να συνθέσετε το ύψος αυτό;
20. Ας πούμε ότι για τον ελέγχο της γωνίας των  $29^{\circ}30'$  της προηγούμενης ασκήσεως (18) δεν διατίθεται κανόνας ημιτόνου, υπάρχει όμως κατάλληλος κανόνας ακρίβειας για να μπορεί να εφαρμοσθεί η μέθοδος της εφαπτομένης. Δίνονται (σχ. 2.5iη):  $H_1 = 40$  mm,  $H_2 = 25$  mm και πλάτος πλακιδίων 9 mm.
  - Ποια θα πρέπει να είναι η διάσταση  $H_3$  της σειράς πλακιδίων B';
  - Ποιες ονομαστικές διαστάσεις πλακιδίων θα συνδύασετε για να συνθέσετε τη διάσταση αυτή;

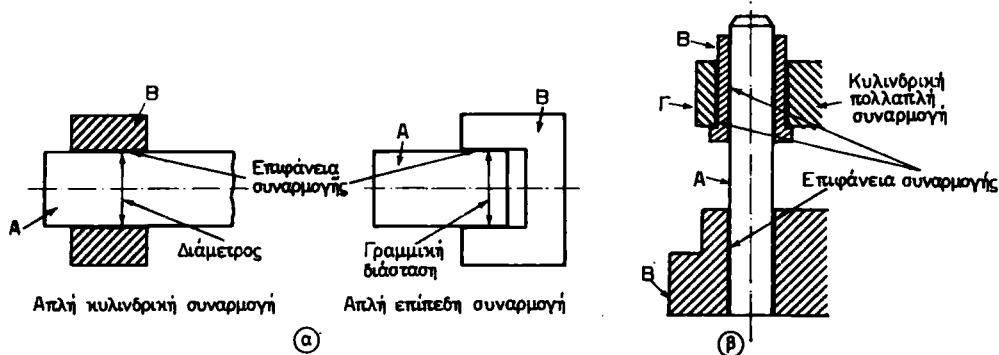
## 2.6 Συναρμογές και ανοχές συναρμογών.

### 2.6.1 Γενικά, βασικές έννοιες και ορισμοί.

#### A. Η συναρμογή.

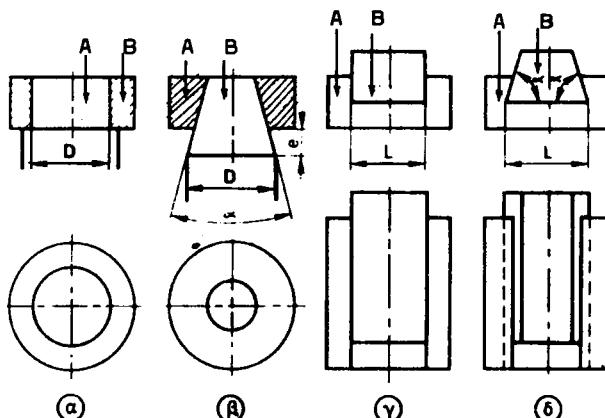
Λέγοντας **συναρμογή** εννοούμε ένα συγκρότημα, που το απαρτίζουν συνήθως δύο κομμάτια (**ή μέλη της συναρμογής**) το A και το B του σχήματος 2.6a (a) ή σπανιότερα και περισσότερα από δύο, [σχ. 2.6a(β)], τα οποία συνεργάζονται. Είναι δυνατόν δηλαδή το ένα κομμάτι να κινείται ελεύθερα μέσα στο άλλο, να ολισθαίνει ως προς το άλλο ή ακόμα και να είναι σφιγμένο στο άλλο.

Τα μέλη μιας συναρμογής μπορούν να έχουν διάφορες μορφές, όπως κυλινδρι-



Σχ. 2.6α.

Δύο κομμάτια  $A$  και  $B$  ή  $A$  και  $B'$  ή και περισσότερα  $A$ ,  $B$ ,  $\Gamma$ , όταν συνεργάζονται, αποτελούν μια συναρμογή.



Σχ. 2.6β.

Διάφορες μορφές συναρμογών: (α) Κυλινδρική. (β) Κωνική. (γ) Πρισματική με επιφάνειες παράλληλες. (δ) Πρισματική με επιφάνειες υπό κλίση. ( $A$  άξονας ή αρσενικό,  $B$  τρύμα ή θηλυκό).

κή, κωνική, πρισματική ή άλλη (σχ. 2.6β). Η κυλινδρική μορφή είναι η πιο συνηθισμένη στην πράξη και αντιπροσωπεύεται από τον άξονα με το έδρανό του.

Η επιφάνεια, κατά την οποία εφάπτονται τα δύο μέλη μιας συναρμογής, ονομάζεται **επιφάνεια συναρμογής**. Όπου υφίσταται μία επιφάνεια συναρμογής, οπότε συνεργάζονται δύο κομμάτια, έχουμε **απλή συναρμογή**, ενώ, όπου υπάρχουν περισσότερες από μία επιφάνεια συναρμογής (συναρμόζονται τρία ή περισσότερα κομμάτια), μιλούμε για **πολλαπλή συναρμογή** [σχ. 2.6α(β)].

Οι συναρμογές κυλινδρικών κομματιών, με τις οποίες και θα ασχοληθούμε κατά κύριο λόγο εδώ, περιλαμβάνουν δύο μέλη: ένα που **περιέχεται** και που είναι ο **άξονας** ( $A$ ) ή το **αρσενικό**, και ένα άλλο που **περιέχει**, δηλαδή το τρύμα ( $B$ ) ή το **θηλυκό**. Καλό θα είναι, όταν μιλάμε για συναρμογές μη κυλινδρικών κομματιών, να χρησιμοποιούμε τους όρους αρσενικό ( $A$ ) και θηλυκό ( $B$ ). Και τα δύο μέλη μιας συναρ-

μογής θα πρέπει απαραίτητα να έχουν την ίδια **ονομαστική διάσταση** [παράγρ. 2.6.1(Δ)].

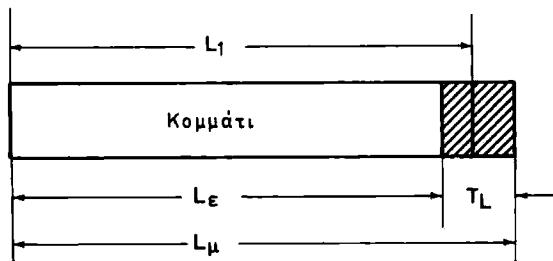
### B. Η ανάγκη για τον καθορισμό ανοχών.

Στη σύγχρονη μηχανουργική βιομηχανία πολλά προϊόντα κατασκευάζονται με μαζική παραγωγή [παράγρ. 1.1.4(A)], γεγονός που εξασφαλίζει χαμηλό κόστος τους. Τα διάφορα κομμάτια, που απαρτίζουν ένα συγκεκριμένο προϊόν, κατασκευάζονται, αφού βέβαια καθορισθούν οι φάσεις κατεργασίας τους και εκτελεσθούν και οι λοιπές εργασίες, που περιγράψαμε στην παράγραφο 1.1.4(B), από διαφορετικούς τεχνίτες σε ξεχωριστές εργαλειομηχανές ή σε άλλα μέσα μορφοποιήσεως. Η συναρμολόγηση των κομματιών γίνεται σε ιδιαίτερη φάση (ή φάσεις).

Για να καλυφθούν όμως οι ανάγκες συναρμολογήσεως των διαφόρων κομματιών στο τελικό προϊόν (μπορεί να είναι αυτό ένα κιβώτιο ταχυτήτων, μια βενζινομηχανή, μία φυγοκεντρική αντλία ή ένα αυτοκίνητο κ.ά) θα πρέπει: Κομμάτι Α, κατασκευασμένα σε διάφορες εργαλειομηχανές από διάφορους τεχνίτες σε διάφορους τόπους και χρόνους, να μπορούν να **συναρμοσθούν** με τα αντίστοιχά τους κομμάτια Β, (κατασκευασμένα και αυτά όπως και τα κομμάτια Α) με εξασφαλισμένη επιτυχία λειτουργίας των ποικίλων συναρμογών τους, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε επιπρόσθετη κατεργασία των κομματιών. Αυτό αποτελεί ό,τι ονομάζομε **εναλλαξιμότητα**.

Η εναλλαξιμότητα όμως θα ήταν εξασφαλισμένη και δεν θα υπήρχε ανάγκη οποιουδήποτε ελέγχου, αν όλα τα κομμάτια κατασκευάζονταν χωρίς σφάλματα. Αυτό όμως δεν είναι δυνατό να το πετύχομε πρακτικά γιατί, όπως είναι γνωστό από τή μηχανουργική πρακτική, είναι αδύνατο όλα τα κομμάτια να κατασκευασθούν απαράλλακτα στις διαστάσεις, στη μορφή, στην τραχύτητα επιφάνειας κ.ά., που επιβάλλει το κατασκευαστικό σχέδιο. Τα κατασκευαζόμενα κομμάτια παρουσιάζουν πάντοτε **κάποιο σφάλμα** ως προς το ιδανικό κομμάτι του μηχανολογικού σχεδίου.

Επειδή στα επόμενα θα ασχοληθούμε με τις ανοχές των συναρμογών, μας ενδιαφέρουν μόνο διαστάσεις. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι μια πραγματική διάσταση ενός κομματιού  $L_1$  (σχ. 2.6γ), αν συγκριθεί με την αντίστοιχη ονομαστική διάσταση  $L$  του μηχανολογικού σχεδίου, θα παρουσιάζει κάποιο σφάλμα  $L - L_1$ . Το



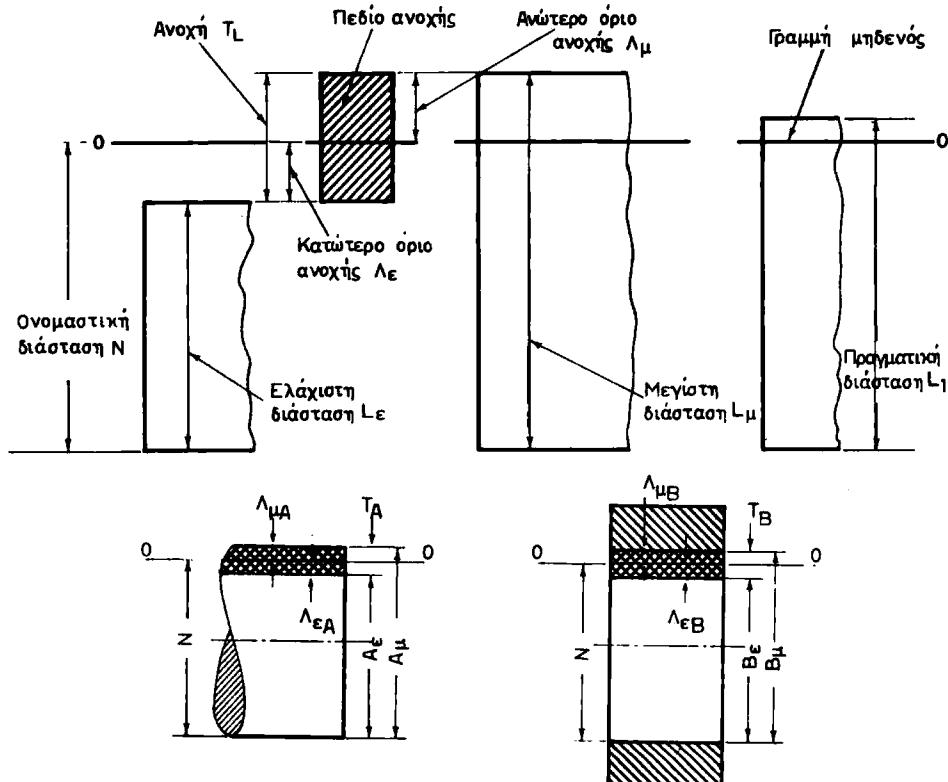
Σχ. 2.6γ.

Στοιχεία για τον ορισμό της ανοχής μιας διαστάσεως  $L_1$ .

σφάλμα αυτό, για να μη χαρακτηρισθεί το κομμάτι **σκάρτο**, θα πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα σε καθορισμένα παραδεκτά όρια. Άρα και η πραγματική διάσταση

του κομματιού θα κείται μεταξύ δύο ακραίων τιμών, μιας μέγιστης  $L_{\mu}$  και μιας ελάχιστης  $L_{\epsilon}$ . Η διαφορά μεταξύ των οριακών αυτών διαστάσεων, ανάμεσα στις οποίες οφείλει να κείται η παραδεκτή διάσταση του κομματιού, ονομάζεται **ανοχή**  $T_L$  (σχ. 2.6γ), δηλαδή:

$$T_L = L_{\mu} - L_{\epsilon} \quad (2.6)$$



**Σχ. 2.6δ.**  
Χαρακτηριστικά στοιχεία για τις συναρμογές και τις ανοχές.

#### Γ. Σύντομο ιστορικό των συστημάτων συναρμογών και ανοχών.

a) **To βρεταννικό σύστημα.** Αρχικά ως σύστημα Newall (1902) και αργότερα ως σύστημα ανοχών και συναρμογών BSI (British Standards Institution) με τις προδιαγραφές BS 27(1906) και BS 164(1924) κατέληξε στην προδιαγραφή BS 1916 του 1953, η οποία βασίζεται στο σύστημα ISO (International Organisation for Standardization). Εξέλιξη της προδιαγραφής αυτής είναι η BS 4500 του 1969.

b) **To γερμανικό σύστημα DIN.** Το σύστημα αυτό, πριν να εμφανισθεί το διεθνές σύστημα ανοχών ISO, βρισκόταν σε χρήση στην Ευρώπη. Σήμερα χρησιμοποιείται σε πολύ περιορισμένη έκταση, γιατί πάρουσιάζει πολλά μειονεκτήματα συγκρινόμενο με το σύστημα ISO.

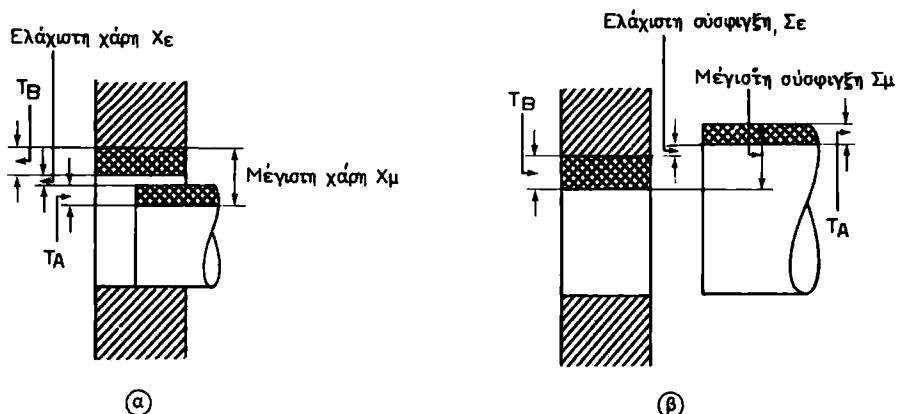
γ) **Το διεθνές σύστημα συναρμογών και ανοχών ISO** (προδιαγραφή R-286). Το σύστημα αυτό είναι το πιο σύγχρονο, το πληρέστερο και το πιο εύκολα χρησιμοποιούμενο, από όλα τα συστήματα ανοχών και συναρμογών. Γί' αυτό χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες όλου του κόσμου. Αποτελεί συμπλήρωση του προπολεμικού συστήματος ανοχών και συναρμογών ISA (International Federation of the National Standardizing Associations) του 1932.

#### **Δ. Μερικές έννοιες και ορισμοί** (σχ. 2.6δ, 2.6ε).

α) **Ονομαστική διάσταση.** Είναι η διάσταση της συναρμογής ή και οποιαδήποτε άλλη διάσταση ενός μεμονωμένου (ζεχωριστού) κομματιού, που αναγράφεται στο μηχανολογικό σχέδιο. Την παίρνουμε ως αφετηρία για τη μέτρηση των ανοχών και τη συμβολίζουμε με το γράμμα Ν.

β) **Πραγματική διάσταση.** Είναι η διάσταση  $L_1$  του κομματιού, την οποία επιτυγχάνουμε με την κατεργασία.

γ) **Οριακές τιμές της διαστάσεως ή οριακές διαστάσεις** ονομάζουμε τη μέγιστη  $A_\mu$  και την ελάχιστη  $A_\epsilon$  του άξονα ή τη μέγιστη  $B_\mu$  και την ελάχιστη  $B_\epsilon$  του τρύματος. Οι πραγματικές διαστάσεις των κομματιών (των αξόνων ή των τρυμάτων) θα πρέπει να κυμαίνονται ανάμεσα στις δύο αυτές οριακές τιμές, για να καλύπτονται έτσι οι τιθέμενες ανοχές κατασκευής και συνεπώς τα κομμάτια να είναι έναλλαξιμά και μη σκάρτα. Παρόμοιες οριακές τιμές διαστάσεων θα έχουμε και στις περιπτώσεις μη κυλινδρικών συναρμογών και μεμονωμένων κομματιών..



**Σχ. 2.6ε.**  
Η χάρη και η σύσφιγξη στις συναρμογές.

δ) **Ανοχή** [παράγρ. 2.6.1(β), σχέση (2.6)] **δξονα**  $T_A$  ή **ανοχή τρύματος**  $T_B$  είναι το μέγιστο ανεκτό σφάλμα στη διάσταση του άξονα ή του τρύματος και σύμφωνα με τη σχέση (2.6) θα είναι:

$$T_A = A_\mu - A_\epsilon \quad \text{καὶ} \quad T_B = B_\mu - B_\epsilon \quad (2.7)$$

ε) **Ανοχή συναρμογής** Τ ονομάζομε το άθροισμα των ανοχών άξονα και τρύματος, δηλαδή:

$$T = T_A + T_B$$

στ) **Πεδίο ανοχής** ονομάζομε τη σχηματική παράσταση, που εικονίζει το μέγεθος και τη θέση της ανοχής ως προς την ονομαστική διάσταση N. Το πεδίο ανοχής περιορίζεται από το **κατώτερο όριο ανοχής**  $\Lambda_\epsilon$  και από το **ανώτερο όριο ανοχής**  $\Lambda_\mu$ . Για ευκολία μας, στη γραφική παράσταση των ανοχών ταυτίζομε την ονομαστική διάσταση N με το μηδέν (γραμμή μηδενός 0-0), οπότε αντί το πεδίο ανοχής να περιορίζεται από τις οριακές διαστάσεις  $L_\mu$  και  $L_\epsilon$  περιορίζεται από τα όρια  $\Lambda_\epsilon$  και  $\Lambda_\mu$ . Με την εισαγωγή των ορίων ανοχής  $\Lambda_\epsilon$  και  $\Lambda_\mu$ , οι ανοχές του άξονα  $T_A$  και του τρύματος  $T_B$  [σχέση (2.7)] μπορούν να προσδιορισθούν και από τις σχέσεις:

$$T_A = \Lambda_{\mu A} - \Lambda_{\epsilon A} \quad \text{και} \quad T_B = \Lambda_{\mu B} - \Lambda_{\epsilon B} \quad (2.8)$$

όπου οι δείκτες A και B αναφέρονται στον άξονα και στο τρύμα αντιστοίχως.

ζ) **Βασική απόκλιση** είναι το κατώτερο όριο ανοχής, όταν το πεδίο ανοχής βρίσκεται επάνω από τη γραμμή μηδενός και το ανώτερο όριο ανοχής, όταν το πεδίο ανοχής βρίσκεται κάτω από τη γραμμή μηδενός.

η) **Χάρη X** [σχ. 2.6ε(α)] ονομάζομε τη διαφορά των πραγματικών διαστάσεων του άξονα από το τρύμα, εφ' όσον βέβαια το τρύμα έχει μεγαλύτερη διάσταση από τον άξονα.

'Ετσι η **ελάχιστη χάρη** θα είναι:

$$X_\epsilon = B_\epsilon - A_\mu \quad \text{ή} \quad X_\epsilon = \Lambda_{\epsilon B} - \Lambda_{\mu A} \quad (2.9)$$

Η **μεγιστηριακή χάρη**:

$$X_\mu = B_\mu - A_\epsilon \quad \text{ή} \quad X_\mu = \Lambda_{\mu B} - \Lambda_{\epsilon A} \quad (2.10)$$

Η **μέση χάρη**:

$$X_M = \frac{X_\mu + X_\epsilon}{2} \quad (2.11)$$

Είναι προφανές ότι η ανοχή της συναρμογής θα δοθεί ως η διαφορά της ελάχιστης από τη μεγιστηριακή χάρη, δηλαδή:

$$T = T_A + T_B = X_\mu - X_\epsilon \quad (2.12)$$

θ) **Σύσφιγξη** Σ [σχ. 2.6ε(β)] καλούμε τη διαφορά των πραγματικών διαστάσεων του τρύματος από τον άξονα προφανώς θα υπάρχει σύσφιγξη, όταν η διάσταση του άξονα είναι μεγαλύτερη από εκείνη του τρύματος. Η σύσφιγξη είναι άρνητική χάρη, όπως και η χάρη είναι άρνητη σύσφιγξη.

'Οπως και για τη χάρη, έτσι και για τη σύσφιγξη, μπορούμε να ορίσουμε τις ακόλουθες χαρακτηριστικές τιμές:

**Ελάχιστη σύσφιγξη:**

$$\Sigma_\epsilon = A_\epsilon - B_\mu \quad \text{ή} \quad \Sigma_\epsilon = \Lambda_{\epsilon A} - \Lambda_{\mu B}, \quad \Sigma_\epsilon = -X_\mu \quad (2.13)$$

**Μέγιστη σύσφιγξη:**

$$\Sigma_{\mu} = A_{\mu} - B_{\epsilon} \quad \text{ή} \quad \Sigma_{\mu} = \Lambda_{\mu A} - \Lambda_{\epsilon B}, \quad \Sigma_{\mu} = -X_{\epsilon} \quad (2.14)$$

**Μέση σύσφιγξη:**

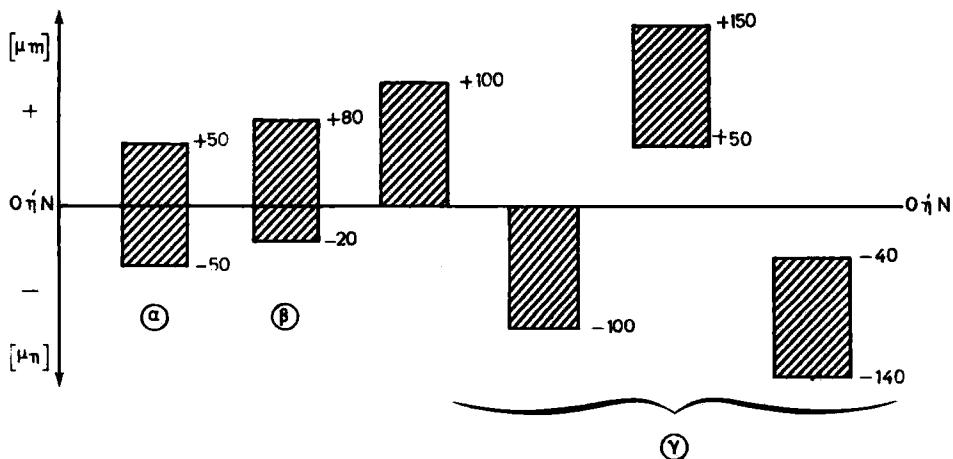
$$\Sigma_M = \frac{\Sigma_{\mu} + \Sigma_{\epsilon}}{2}$$

Η ανοχή της συναρμογής προσδιορίζεται ως:

$$T = T_A + T_B = \Sigma_{\mu} - \Sigma_{\epsilon} \quad (2.15)$$

Συμπληρώνοντας τους βασικούς ορισμούς για τις συναρμογές και τις ανοχές τους προσθέτομε και τα ακόλουθα:

Ανάλογα με τη θέση του πεδίου ανοχής ως προς την ονομαστική διάσταση (ή τη γραμμή μηδενός) διακρίνομε το **συμμετρικό σύστημα ανοχών** [σχ. 2.6στ(α)], το **ασυμμετρικό** [σχ. 2.6στ(β)] και το **μονόπλευρο** [σχ. 2.6στ(γ)].



**Σχ. 2.6στ.**

Διάφορες θέσεις, που μπορεί να πάρει το πεδίο ανοχής ως προς τη γραμμή μηδενός 0 - 0 (ή την ονομαστική διάσταση).

**Ως διάσταση κατεργασίας**, δηλαδή διάσταση στην οποία σκοπεύομε κατά την κατεργάσια και ρυθμίζομε ανάλογα την εργαλειομηχανή, παίρνομε εκείνη, που αντιστοιχεί στο μέσο του πεδίου ανοχών. Για το παράδειγμα, που δώσαμε στο σχήμα 2.6στ, θα έχουμε τις ακόλουθες διαστάσεις κατεργασίας για τα εικονιζόμενα συστήματα ανοχών:

Για το συμμετρικό σύστημα ανοχών  $40^{+50}_{-50}$ \* η διάσταση κατεργασίας θα είναι

(\*). Ονομαστική διάσταση  $40^{+50}_{-50}$ . Ανώτερο όριο ανοχής  
Κατώτερο όριο ανοχής

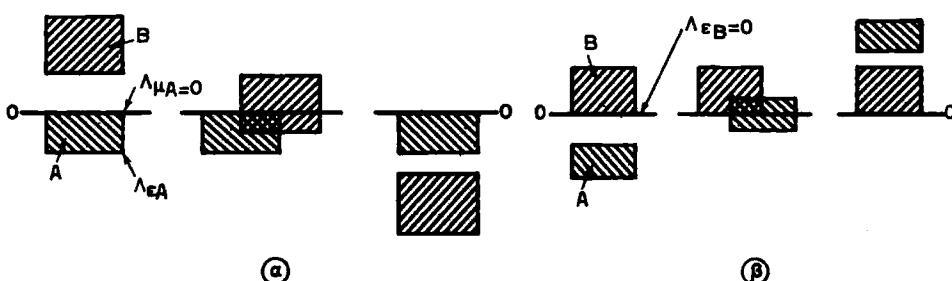
40,000 mm, για τα ασυμμετρικό σύστημα  $40^{+80}_{-20}$  προκύπτει διάσταση κατεργασίας 40,030mm και για τα παραδείγματα του μονόπλευρου συστήματος  $40^{+100}_0$ ,  $40^{-90}_0$  και  $40^{-40}_{-140}$  η διάσταση κατεργασίας θα λάβει αντίστοιχα τις τιμές 40,050 mm, 39,950 mm και 39,910 mm.

Ανάλογα με το βαθμό ελευθερίας, που παρουσιάζει μία συναρμογή, (ο βαθμός ελευθερίας της εξαρτάται από τη θέση, την οποία πάρνει το πεδίο ανοχής του κάθε μέλους της συναρμογής σε σχέση με την ονομαστική διάσταση) διακρίνομε τις συναρμογές: σε **ελεύθερες** (σχ. 2.6η), σε **συναρμογές αλισθήσεως** (σχ. 2.6θ), σε **συναρμογές αμφιβαλλησικής συσφίγξεως** (σχ. 2.6ι) και σε **συναρμογές συσφίγξεως ή σφικτές συναρμογές** (σχ. 2.6ια). Σε κάθε σύστημα συναρμογών προβλέπονται ορισμένες κατηγορίες [στην παράγραφο 2.6.3(B) δίνομε τις κατηγορίες κατά το σύστημα συναρμογών ISO]. Περισσότερες πληροφορίες για τις ελεύθερες και λοιπές συναρμογές θα δώσουμε στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

Η **ποιότητα** του κάθε μέλους (άξονα ή τρύματος) της συναρμογής καθορίζει το εύρος του πεδίου της ανοχής, μέσα στο οποίο θα πρέπει, με την ενδεδειγμένη κάθε φορά κατεργασία, να πέφτουν οι πραγματικές του διαστάσεις. Στα διάφορα συστήματα συναρμογών και ανοχών προτυποποιούνται ορισμένες ποιότητες [στην παράγραφο 2.6.3(A) δίνομε τις ποιότητες ανοχών κατά ISO].

**Συναρμογή βασικού άξονα** [σχ. 2.6ζ(α)] έχομε, όταν το μέγιστο του άξονα  $A_\mu$  συμπίπτει με την ονομαστική διάσταση ( $A_\mu = N$ ) ή, πράγμα που είναι το ίδιο, το ανώτερο όριο ανοχής του άξονα ταυτίζεται με τη γραμμή μηδενός ( $\Lambda_{\mu A} = 0$ ), ενώ το ελάχιστο του άξονα  $A_\epsilon$  (ή το κατώτερο όριο ανοχής του  $\Lambda_{\epsilon A}$ ) μεταβάλλεται με την ποιότητα του άξονα και με την ονομαστική του διάμετρο. Ο χαρακτήρας δηλαδή ο βαθμός ελευθερίας της συναρμογής, προσδιορίζεται από την εκλογή της κατηγορίας του τρύματος.

Στη **συναρμογή βασικού τρύματος** [σχ. 2.6ζ(β)], το ελάχιστο του τρύματος παραμένει σταθερό και ίσο με την ονομαστική διάσταση ( $B_\epsilon = N$ ) ή το κατώτερο όριο ανοχής του συμπίπτει με τη γραμμή μηδενός ( $\Lambda_{\epsilon B} = 0$ ), ενώ ο χαρακτήρας της συναρμογής καθορίζεται από την επιλογή της κατηγορίας του άξονα.



Σχ. 2.6ζ

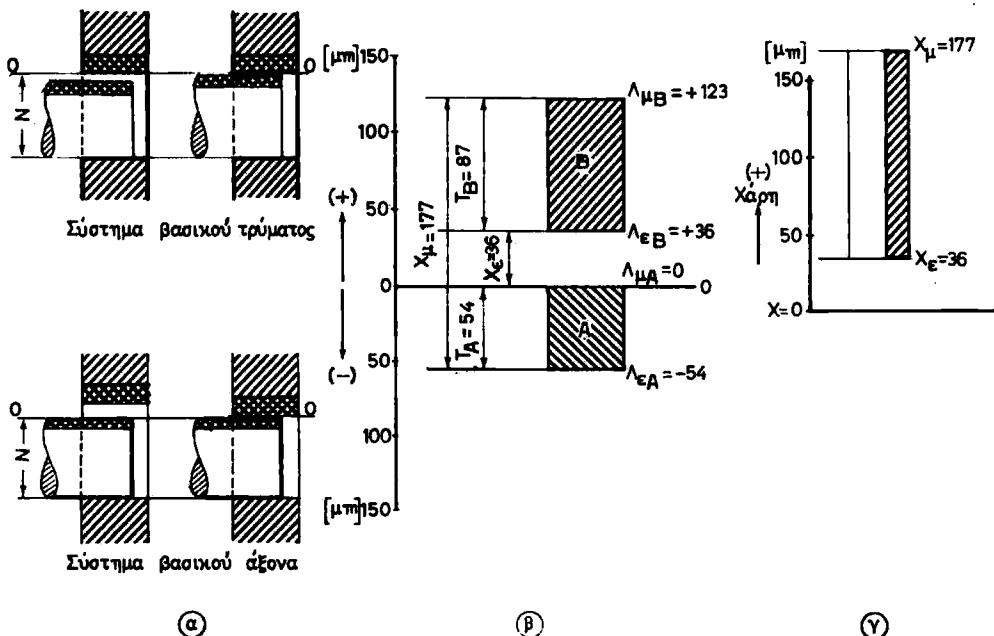
(a) Το σύστημα βασικού άξονα. (β) Το σύστημα βασικού τρύματος.

## 2.6.2 Ομαδοποίηση των συναρμογών με κριτήριο την κατηγορία τους.

### A. Ελεύθερες συναρμογές.

**Ελεύθερη** ονομάζεται η συναρμογή εκείνη, στην οποία και ο μέγιστος ακόμα παραδεκτός δέσμος (ή το μέγιστο αρσενικό κομμάτι για τις συναρμογές μη κυλινδρικών κομματιών) είναι μικρότερος από το ελάχιστο παραδεκτό τρύμα (ή το ελάχιστο θηλυκό κομμάτι της συναρμογής). Και στην πλέον ακραία δηλαδή περίπτωση υπάρχει χάρη, πράγμα που σημαίνει ότι η ελάχιστη χάρη είναι πάντοτε θετική (σχ. 2.6η).

Κάθε συναρμογή μπορούμε να την παραστήσουμε γραφικά έτσι [2.6η(β)], που να αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη, γιατί μας δίνει μία εναργή εικόνα για όλα τα στοιχεία της συναρμογής.



Σχ. 2.6η.

Ελεύθερες συναρμογές και γραφική παράσταση μιας ελεύθερης συναρμογής με  $N = 100$  mm.

Για το σκοπό αυτό χαράζομε τη γραμμή μηδενός 0-0 και σε ένα κάθετο προς αυτή δέσμονα σημειώνομε υπό κατάλληλη κλίμακα τις ανοχές σε μπ. Οι ανοχές λαμβάνονται θετικές (+) επάνω από τη γραμμή μηδενός και αρνητικές (-) κάτω από τη γραμμή μηδενός. Η γραφική αυτή παράσταση της συναρμογής συμπληρώνεται με αναγραφή των ορίων των ανοχών για τον δέσμονα ( $\Lambda_{\mu A}$ ,  $\Lambda_{\epsilon A}$ ) και για το τρύμα ( $\Lambda_{\mu B}$ ,  $\Lambda_{\epsilon B}$ ) ή για το αρσενικό και θηλυκό κομμάτι για συναρμογή μη κυλινδρικών κομματιών· επί πλέον και της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης χάρης ή συσφίγξεως.

Χρήσιμο είναι επίσης και το διάγραμμα διακυμάνσεως της χάρης [σχ. 2.6η(γ)] ή

της συσφίγξεως [σχ. 2.6ια(γ)]. Και εδώ ο οριζόντιος άξονας είναι η γραμμή μηδενός, ενώ στον κατακόρυφο άξονα αναγράφονται με κατάλληλη κλίμακα οι τιμές της χάρης και της συσφίγξεως σε μπ. Οι τιμές της χάρης σημειώνονται επάνω από τη γραμμή μηδενός (θετική φορά του κατακόρυφου άξονα, +), ενώ οι τιμές της συσφίγξεως αναγράφονται κάτω από τη γραμμή 0-0 (αρνητική φορά του κατακόρυφου άξονα, -). Τα διαγράμματα αυτά μας δίνουν άμεση εποπτεία του βαθμού ελευθερίας της συναρμογής (να συγκρίνετε τα διαγράμματα διακυμάνσεως χάρης και συσφίγξεως των σχημάτων 2.6η, 2.6ι, 2.6ια), όπως και τα όρια, ανάμεσα στα οποία μεταβάλλεται η χάρη ή σύσφιγξη στη συναρμογή.

### Παράδειγμα.

Άς πάρομε ως παράδειγμα την ελεύθερη συναρμογή (είναι συναρμογή βασικού άξονα, γιατί  $\Lambda_{\mu A} = 0$ ):

Άξονας  $\Phi 100_{-64}^0$  με τρύμα  $\Phi 100_{+36}^{+123}$  (Η ονομαστική διάσταση της συναρμογής είναι  $N = 100 \text{ mm}$ ).

Από τα δοσμένα αυτά στοιχεία της συναρμογής μπορούμε, με βάση τους ορισμούς και σχέσεις που έχομε δώσει, να προσδιορίσουμε διάφορα μεγέθη χρήσιμα για τη γραφική της παράσταση ή την εκτέλεσή της στο μηχανουργείο.

— Όρια ανοχών άξονα και τρύματος:

$$\Lambda_{\mu A} = 0 \quad \Lambda_{\epsilon A} = -54 \mu\text{m}$$

$$\Lambda_{\mu B} = +123 \mu\text{m} \quad \Lambda_{\epsilon B} = +36 \mu\text{m}$$

— Ανοχές άξονα, τρύματος και συναρμογής:

$$T_A = 0 - (-54) = 54 \mu\text{m}$$

$$T_B = 123 - 36 = 87 \mu\text{m} \quad [\text{σχέση (2.8)}]$$

$$T = 54 + 78 = 141 \mu\text{m}$$

— Οριακές διαστάσεις άξονα και τρύματος:

$$A_{\mu} = 100,000 \text{ mm}$$

$$A_{\epsilon} = 100,000 - 0,054 = 99,946 \text{ mm}$$

$$B_{\epsilon} = 100,000 + 0,036 = 100,036 \text{ mm}$$

$$B_{\mu} = 100,036 + 0,087 = 100,123 \text{ mm}$$

— Ελάχιστη, μέγιστη και μέση χάρη:

$$X_{\epsilon} = 36 - 0 = 36 \mu\text{m} \quad [\text{σχέση (2.9)}]$$

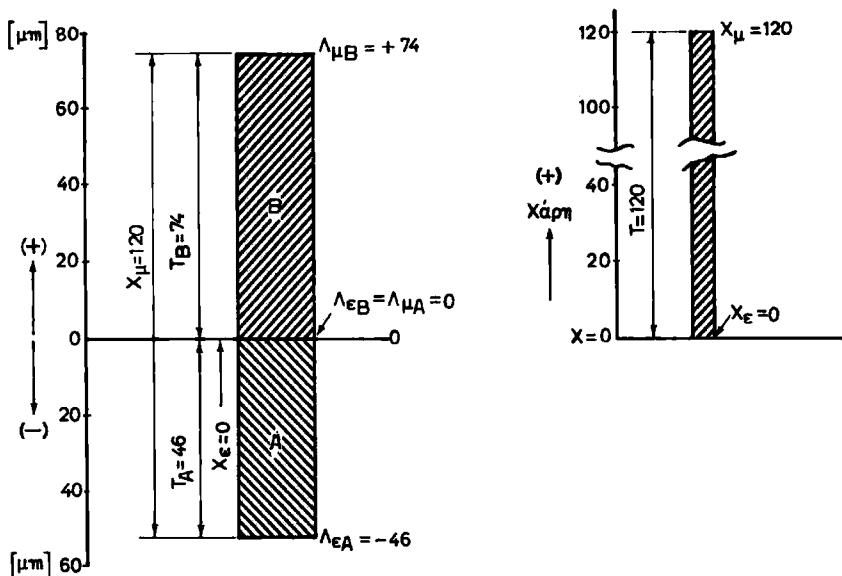
$$X_{\mu} = 123 - (-54) = 177 \mu\text{m} \quad [\text{σχέση (2.10)}]$$

$$X_M = (36 + 177)/2 \approx 107 \mu\text{m} \quad [\text{σχέση (2.11)}]$$

Η γραφική παράσταση και το διάγραμμα διακυμάνσεως χάρης της συναρμογής αυτής εικονίζονται στο σχήμα 2.6η.

### B. Συναρμογές ολισθήσεως (σχ. 2.6θ).

Συναρμογή ολισθήσεως έχομε στην περίπτωση, όπου το τρύμα μπορεί να ολισθάνει στον άξονα ελεύθερα, χωρίς όμως να περιστρέφεται. Εδώ η ελάχιστη χάρη θα πρέπει να είναι μηδενική ( $X_{\epsilon} = 0$ ). Κάτω από τον περιορισμό αυτό το ελάχιστο τρύμα και ο μέγιστος άξονας θα συμπίπτουν με την ονομαστική διάσταση ( $B_{\epsilon} = A_{\mu} = N$ ) ή το κατώτερο όριο ανοχών του τρύματος και το ανώτερο του άξονα μηδενίζονται ( $\Lambda_{\mu A} = \Lambda_{\epsilon B} = 0$ ).



Σχ. 2.60.

Γραφική παράσταση μιας συναρμογής ολισθήσεως με  $N = 70$  mm.

Η συναρμογή: άξονας  $\Phi 70 \text{ -0.48}$  με τρύμα  $\Phi 70 +74$  είναι συναρμογή ολισθήσεως με ονομαστική διάσταση  $N = 70$  mm.

Τα χαρακτηριστικά της στοιχεία θα είναι τα ακόλουθα:

$$\Lambda_{\mu A} = \Lambda_{\epsilon B} = 0$$

$$\Lambda_{\mu B} = +74 \mu m$$

$$\Lambda_{\epsilon A} = -46 \mu m$$

$$T_A = 46 \mu m$$

$$T_B = 74 \mu m$$

$$T = 46 + 74 = 120 \mu m$$

$$A_{\mu} = B_{\epsilon} = 70,000 \text{ mm}$$

$$A_{\epsilon} = 70,000 - 0,046 = 69,954 \text{ mm}$$

$$B_{\mu} = 70,000 + 0,074 = 70,074 \text{ mm}$$

$$X_{\epsilon} = 0, \quad X_{\mu} = 74 - (-46) = 120 \mu m, \quad X_M = \frac{120 + 0}{2} = 60 \mu m$$

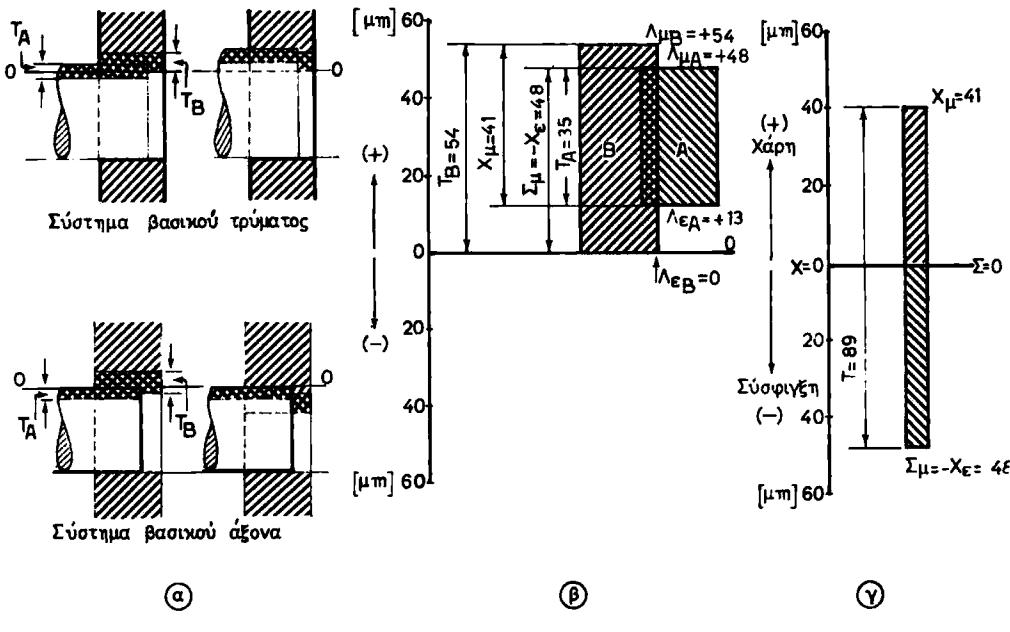
Η γραφική παράσταση και το διάγραμμα διακυμάνσεως της χάρης δίνονται στο σχήμα 2.60.

#### Γ. Συναρμογές αμφίβολης συσφίγξεως.

Είναι οι συναρμογές εκείνες, όπου η ελάχιστη χάρη προκύπτει αρνητική (αυτό σημαίνει ότι έχομε σύσφιγξη), ενώ η μέγιστη χάρη παραμένει θετική. Δηλαδή εδώ

υπάρχουν ορισμένα ζεύγη αξόνων-τρυμάτων, που δίνουν ελεύθερη συναρμογή, ενώ άλλα δίνουν συναρμογή συσφίγξεως (σχ. 2.6ι).

Η συναρμογή: άξονας  $\Phi 90 +_{13}^{48}$  με τρύμα  $\Phi 90^{\circ}$  είναι συναρμογή, αμφίβολης συσφίγξεως (βασικού τρύματος με ονομαστική διάσταση  $N = 90$  mm, όπως θα το διαπιστώσουμε στη γραφική της παράσταση και στο διάγραμμα της διακυμάνσεως της χάρης και συσφίγξεως στο σχήμα 2.6ι. '



Σχ. 2.6ι.

Συναρμογές αμφίβολης συσφίγξεως και γραφική παράσταση μιας συναρμογής αμφίβολης συσφίγξεως με  $N = 90$  mm.

Για τη συναρμογή αυτή βρίσκομε:

$$\begin{aligned}
 \Lambda_{\mu A} &= +48 \mu m, & \Lambda_{\epsilon A} &= +13 \mu m \\
 \Lambda_{\mu B} &= +54 \mu m, & \Lambda_{\epsilon B} &= 0 \\
 T_A &= 48 - 13 = 35 \mu m, & T_B &= 54 \mu m, & T &= 54 + 35 = 89 \mu m \\
 A_{\epsilon} &= 90,000 + 0,013 = 90,013 \text{ mm} \\
 A_{\mu} &= 90,013 + 0,035 = 90,048 \text{ mm} \\
 B_{\epsilon} &= 90,000 \text{ mm}, B_{\mu} = 90,000 + 0,054 = 90,054 \text{ mm} \\
 X_{\epsilon} &= 0 - 48 = -48 \mu m \quad \text{ή} \quad \Sigma_{\mu} = 48 \mu m \quad [\text{σχέση (2.14)}] \\
 X_{\mu} &= 54 - 13 = 41 \mu m
 \end{aligned}$$

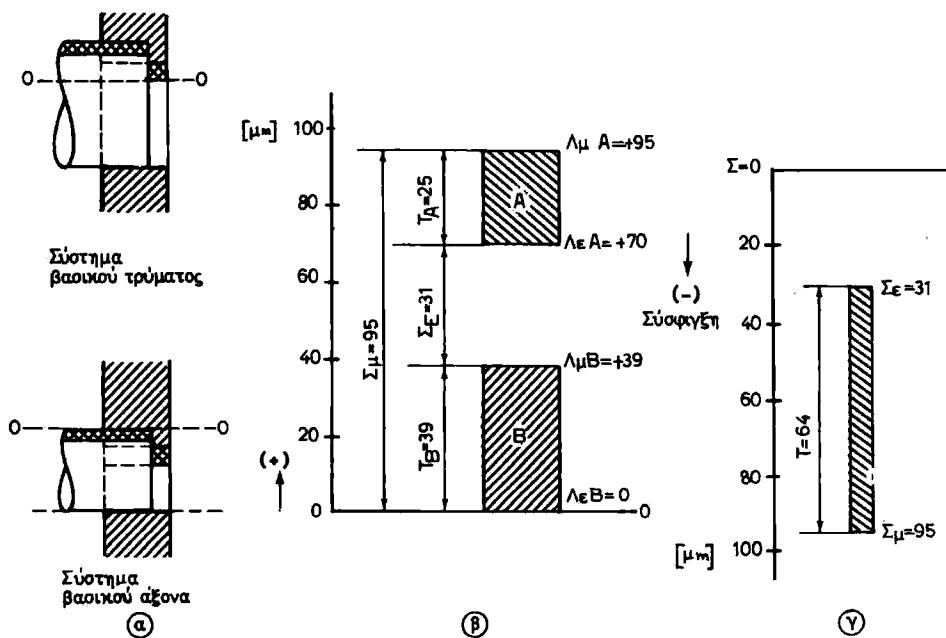
$$X_M = \frac{-48 + 41}{2} \approx -4 \mu m$$

Ζεύγη αξόνων-τρυμάτων με πραγματικές διαστάσεις (ή αντίστοιχες αποκλίσεις από τη γραμμή μηδενός), που να βρίσκονται μέσα στην επικαλυπτόμενη περιοχή

των πεδίων ανοχής άξονα και τρύματος [σχ. 2.6ι(α), (β)], μπορούν να δώσουν ελεύθερες ή σφικτές συναρμογές ανάλογα με τη σχετική τους θέση. Για πραγματικές διαστάσεις τρύματος μεγαλύτερες από το ανώτερο όριο ανοχής του άξονα ( $\Lambda_{\mu A} = +48 \mu m$ ) έχουμε ελεύθερες συναρμογές, ενώ για μικρότερες από το κατώτερο όριο ανοχής του άξονα ( $\Lambda_{\epsilon A} = +13 \mu m$ ) προκύπτουν σφικτές συναρμογές.

#### Δ. Συναρμογές συσφίγξεως (σχ. 2.6ια).

Είναι οι συναρμογές εκείνες, όπου ακόμα και ο ελάχιστος παραδεκτός άξονας είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο τρύμα. Εδώ η ελάχιστη σύσφιγξη είναι θετική.



Σχ. 2.6ια.

Συναρμογές συσφίγξεως και γραφική παράσταση μιας συναρμογής συσφίγξεως με  $N = 50$  mm.

#### Παράδειγμα.

Ως παράδειγμα τέτοιας συναρμογής δίνομε το ακόλουθο:

'Άξονας  $\Phi 50^{+95}_{+70}$  μέ τρύμα  $\Phi 50^{+39}_0$ . Η συναρμογή έχει ονομαστική διάσταση  $N = 50$  mm και είναι βασικού τρύματος.

Μπορούμε πολύ εύκολα με τις γνωστές μας πλέον σχέσεις να υπολογίσομε τα διάφορα χαρακτηριστικά της στοιχεία. Βρίσκομε έτσι:

$$\begin{aligned}\Lambda_{\mu A} &= +95 \mu m, & \Lambda_{\epsilon A} &= +70 \mu m \\ \Lambda_{\mu B} &= +39 \mu m, & \Lambda_{\epsilon B} &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_A &= 95 - 70 = 25 \mu m \\
 T_B &= 39 \mu m \\
 T &= 25 + 39 = 64 \mu m \\
 A_{\epsilon} &= 50,000 + 0,070 = 50,070 \text{ mm} \\
 A_{\mu} &= 50,070 + 0,025 = 50,095 \text{ mm} \\
 B_{\epsilon} &= 50,000 \text{ mm} \\
 B_{\mu} &= 50,000 + 0,039 = 50,039 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma_{\epsilon} = 70 - 39 = 31 \mu m, \quad \Sigma_{\mu} = 95 - 0 = 95 \mu m, \quad \Sigma_M = \frac{95 + 31}{2} = 63 \mu m$$

Η γραφική παράσταση και το διάγραμμα διακυμάνσεως συσφίγξεως της συναρμογής αυτής εμφαίνονται στο σχήμα 2.6ια.

### **2.6.3 Το διεθνές σύστημα συναρμογών και ανοχών ISO.**

#### **A. Ποιότητες ανοχής.**

Είδαμε στην παράγραφο 2.6.1(Δ) ότι το πλάτος του πεδίου ανοχής χαρακτηρίζεται ως **ποιότητα**.

Το σύστημα συναρμογών και ανοχών ISO, για το οποίο μιλούμε, προβλέπει δέκα οκτώ (18) ποιότητες ανοχής, τις IT01\*, IT0, IT1, IT2,..., IT16 ή απλούστερα τις ποιότητες 01, 0, 1, 2,..., 16. Με τις ποιότητες αυτές, που έχουν θεσπισθεί από την προδιαγραφή, καλύπτονται όλες οι απαρτήσεις σε ακρίβεια των μηχανουργικών κατασκευών από τις πιο χονδροειδείς μέχρι τις κατασκευές ύψιστης ακρίβειας, όπως είναι τα πρότυπα πλακίδια.

Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός που εκφράζει την ποιότητα (από το 16 προς το 01), τόσο μικρότερο είναι και το εύρος του πεδίου ανοχής, άρα τόσο μεγαλύτερη και η ακρίβεια κατασκευής.

Η ποιότητα ανοχής εξαρτάται από την ονομαστική διάσταση (Πίνακας 2.6.1) και μάλιστα έτσι, ώστε, για την ίδια ποιότητα, αυξηση της ονομαστικής διαστάσεως να έχει ως συνέπεια αυξήση και του πλάτους της ανοχής. Επί παραδείγματι, ενώ για την ποιότητα 8 και για ονομαστική διάσταση 100mm η ανοχή είναι 54μm, για την ίδια ποιότητα και για ονομαστική διάσταση 200mm η ανοχή που αντιστοιχεί θα είναι 72μm.

Οι ονομαστικές διαστάσεις ομαδοποιούνται στις περιοχές, που βλέπομε στις αριστερές δύο στήλες του Πίνακα 2.6.1.

#### **B. Κατηγορίες των μελών της συναρμογής.**

Η θέση του πεδίου ανοχής των μελών μιας συναρμογής (του άξονα και του τρύματος ή του αρσενικού και του θηλυκού) ως προς την ονομαστική διάσταση (ή τη γραμμή μηδενός) χαρακτηρίζει την **κατηγορία** τους.

Σύμφωνα με το σύστημα ISO προτυποποιούνται είκοσι οκτώ κατηγορίες, οι ο-

---

\* IT: είναι τα αρχικά των λέξεων International Tolerance, που σημαίνουν «διεθνής ανοχή».

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.1.

Ποιότητες ανοχών κατά ISO

Ονομαστική διάσταση (mm)		Ανοχές συναρμογών																	
		Για πρότυπα μήκη και όργανα μετρήσεως										Μεγάλες ανοχές όχι για συναρμογές							
'Ανω	'Εως	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
2	3	0-3	0-5	0-8	1-2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3	6	0-4	0-6	1	1-5	2-5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6	10	0-4	0-6	1	1-5	2-5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10	18	0-5	0-8	1-2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18	30	0-6	1	1-5	2-5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30	50	0-6	1	1-5	2-5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50	80	0-8	1-2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	480	740	1200	1900
80	120	1	1-5	2-5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120	180	1-2	2	3-5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180	250	2	3	4-5	7	10	14	20	29	48	72	115	185	290	480	720	1150	1850	2900
250	315	2-5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

ποίες για μεν τα τρύματα (ή εσωτερικές εν γένει διαστάσεις) συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφαριθμητικού ως εξής:

A,B,C, (CD), D, E, (EF), F, (FG), G, H, J (J<sub>s</sub>)

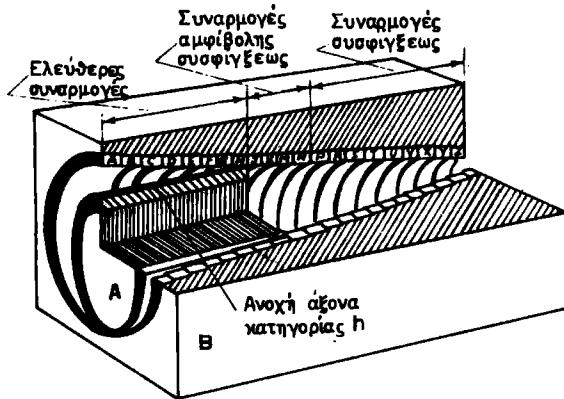
K,M, N, P,R, S, T,U, (V), X, (Y), Z, ZA, ZB και ZC

για δε τους άξονες (ή εσωτερικές γενικώς διαστάσεις) με τα αντίστοιχα μικρά γράμματα του λατινικού αλφαριθμητικού, δηλαδή: a, b, c, (cd),..., z, za, zb και zc.

Στο σχήμα 2.6ιβ βλέπομε παραστατικά τις θέσεις, που παίρνει το πεδίο ανοχής των τρυμάτων σε σύστημα βασικού άξονα [παράγρ. 2.6.1(Δ), σχ. 2.6ζ(α)] (όλοι οι άξονες είναι κατηγορίας h) και στο σχήμα 2.6ιγ παρατηρούμε τις θέσεις που καταλαμβάνει το πεδίο ανοχής των αξόνων σε σύστημα όμως βασικού τρύματος [παράγρ. 2.6.1(Δ), σχ. 2.6ζ(β)] (όλα τα τρύματα είναι κατηγορίας H). Και τα δύο σχήματα έχουν γίνει για την ίδια ποιότητα ανοχής και περιοχή ονομαστικών διαστάσεων.

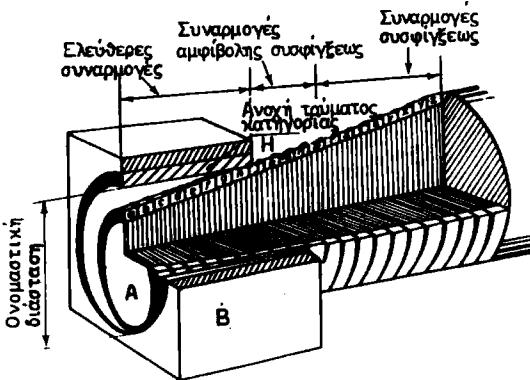
Στα σχήματα 2.6ιβ και 2.6ιγ βλέπομε πώς κατανέμονται τα γράμματα, που συμβολίζουν τις διάφορες κατηγορίες τρυμάτων (κεφαλαία) και αξόνων (μικρά) στις ελεύθερες συναρμογές, στις συναρμογές αμφίβολης συσφίγξεως και στις συναρμογές συσφίγξεως. Έτσι, από το γράμμα A (ή a) μέχρι και το H(h) περιλαμβάνονται οι ελεύθερες συναρμογές, από το J (ή j) μέχρι και το N (ή n) οι συναρμογές αμφίβολης συσφίγξεως και από το P (ή p) έως και τα γράμματα ZC (ή zc) οι σφικτές συναρμογές. Η συναρμογή με τρύμα κατηγορίας H και άξονα κατηγορίας h χαρακτηρίζεται ως συναρμογή ολισθήσεως (παράγρ. 2.6.2(B)).

Στους Πίνακες 2.6.2 και 2.6.3 καταγράφονται οι τιμές των ορίων ανοχής (Λ<sub>μΑ</sub>,



Σχ. 2.6iB.

Η θέση του πεδίου ανοχής των τρυμάτων στο σύστημα συναρμογών βασικού άξονα. Χαρακτηρίζεται μόνος των συναρμογών ανάλογα με το βαθμό ελευθερίας τους.



Σχ. 2.6iγ.

Η θέση του πεδίου ανοχής των αξόνων στο σύστημα συναρμογών βασικού τρύματος.

$\Lambda_{eA}$  για τους άξονες και  $\Lambda_{\mu B}$ ,  $\Lambda_{eB}$  για τα τρύματα) αντιστοίχως για τους άξονες και τα τρύματα ανάλογα με την ποιότητα, την κατηγορία και την περιοχή ομαδοποιήσεως της ονομαστικής τους διαστάσεως. Η χρήση των πινάκων αυτών είναι εξαιρετικά εύκολη, όπως θα το διαπιστώσετε στα παραδείγματα, που ακολουθούν.

## Γ. Ο συμβολισμός για τις συναρμογές.

Για κάθε μέλος μιας συναρμογής καθορίζονται ξεχωριστά η ποιότητα και η κατηγορία του, που αναγράφονται με τα σύμβολά τους [παράγρ. 2.6.2(A), (B)] μετά από την ονομαστική διάσταση. Ο συμβολισμός π.χ. 75E9 σημαίνει ένα τρύμα με ονομαστική διάμετρο  $N = 75$  mm, κατηγορίας E και ποιότητας 9.

Εξ άλλου ο συμβολισμός Φ100e8 σημαίνει άξονα που έχει ονομαστική διάμετρο  $N = 100$  mm και που είναι κατηγορίας e και ποιότητας 8.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.2.

Απόσπασμα από τους πνάκες ISO. Όρια ανοχής για τους δξονες.

Ποιότητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλγεβρικό πρόδιπτο	Περιοχές διαμέτρων σε mm																														
				1 - 3			3 - 6			6 - 10			10 - 18			18 - 30			30 - 50		50 - 80		80 - 120		120 - 180		180 - 250		250 - 315		315 - 400		400 - 500	
				[μm]																														
5	g5	*μ **ελ	- - -	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20	22	24	27	29	32	35	38	40	42	45	47							
	h5	μ ελ	0 -	8	9	11	14	16	20	23	27	32	35	40	46	47	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68							
	j5	μ ελ	+ -	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	k5	μ ελ	+ -	5	5	6	8	9	11	13	15	18	21	24	27	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65						
	m5	μ ελ	+ +	4	4	4	5	5	6	6	7	8	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39						
	n5	μ ελ	+ +	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39						
6	f6	μ ελ	- -	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	74	80	86	92	98	104	110	116	122	128	134							
	g6	μ ελ	- -	14	18	22	27	33	41	49	58	68	79	88	98	108	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224						
	h6	μ ελ	0 -	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	19	20	22	25	29	32	36	40	44	48	52	56							
	j6	μ ελ	+ -	10	12	14	17	20	25	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119						
	k6	μ ελ	+ -	7	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	39	43	47	51	55	59	63	67	71	75	79	83	87						
	m6	μ ελ	+ +	6	7	7	8	9	11	12	13	14	16	18	20	22	25	28	33	36	40	44	48	52	56	60	64	68						
7	n6	μ ελ	+ +	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39						
	p6	μ ελ	+ +	9	12	15	18	21	25	30	35	42	46	51	59	68	79	88	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188						
	e7	μ ελ	- -	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135	148	162	182	198	218	238	258	278	298	318	338	358						
	f7	μ ελ	- -	23	32	40	50	61	75	90	107	125	146	162	182	198	218	238	258	278	298	318	338	358	378	398	418							
	h7	μ ελ	0 -	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	74	80	86	92	98	104	110	116	122	128	134	140						
	j7	μ ελ	+ -	9	12	15	18	21	25	30	35	41	50	60	71	83	96	108	119	131	141	153	163	173	183	193	203	213						
	k7	μ ελ	+ -	2	3	5	6	8	10	12	13	15	18	21	25	28	32	38	43	50	56	61	68	72	78	82	88	92						

συνεχίζεται

\*μ : Ανώτερο όριο ανοχής δξονα  $\Lambda_{\mu A}$ \*\*ελ: Κατώτερο όριο ανοχής δξονα  $\Lambda_{\epsilon A}$

## συνέχεια Πίνακα 2.6.2.

Πινόπτητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλγεβρικό πρόστιο	Περιοχές διαμέτρων σε $\mu\text{m}$													
				1 - 3	3 - 6	6 - 10	10 - 18	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	120 - 180	180 - 250	250 - 315	315 - 400	400 - 500	
				[ $\mu\text{m}$ ]													
7	m7	μ έλ	+	11 2	16 4	21 6	25 7	29 8	34 9	41 11	48 13	55 15	63 17	72 20	78 21	86 23	
	n7	μ έλ	+	15 6	20 8	25 10	30 12	36 15	42 17	50 20	58 23	67 27	77 31	86 34	94 37	103 40	
	p7	μ έλ	+	16 6	24 12	30 15	36 18	43 22	51 26	62 32	72 37	83 43	96 50	108 56	119 62	131 68	
	d8	μ έλ	-	20 34	30 48	40 62	50 77	65 98	80 119	100 146	120 174	145 208	170 242	190 271	210 299	230 327	
	e8	μ έλ	-	14 28	20 38	25 47	32 59	40 73	50 89	60 106	72 126	85 148	100 172	110 191	125 214	135 232	
	f8	μ έλ	-	21 7	28 10	35 13	43 16	53 20	64 25	76 30	90 36	106 43	122 50	137 56	151 62	165 68	
8	h8	μ έλ	0	0 14	0 18	0 22	0 27	0 33	0 39	0 46	0 54	0 63	0 72	0 81	0 89	0 97	
	j8	μ έλ	+	7 14	9 18	11 22	14 27	17 33	20 39	23 46	27 54	32 63	36 72	41 81	45 89	49 97	
	*** k8	μ έλ	-	7 14	9 18	11 22	13 27	16 33	19 43	23 46	27 54	31 63	36 72	40 81	44 89	48 97	
	*** j8	μ έλ	+	0 14	0 18	0 22	0 27	0 33	0 43	0 46	0 54	0 63	0 72	0 81	0 89	0 97	
	d9	μ έλ	-	20 45	30 60	40 76	50 93	65 117	80 142	100 174	120 207	145 208	170 242	190 285	210 320	230 350	230 385
	e9	μ έλ	-	14 39	20 50	25 61	32 75	40 92	50 112	60 134	72 159	85 185	100 215	110 240	125 265	135 290	
9	h9	μ έλ	0	0 25	0 30	0 36	0 43	0 52	0 62	0 74	0 87	0 100	0 115	0 130	0 140	0 155	
	*** j9	μ έλ	+	13 12	15 15	18 18	22 21	26 26	31 31	37 37	44 43	50 50	58 57	65 65	70 70	78 77	
	*** k9	μ έλ	-	25 0	30 0	36 0	43 0	52 0	62 0	74 0	87 0	100 0	115 0	130 0	140 0	155 0	
	d10	μ έλ	-	20 60	30 78	40 98	50 120	65 149	80 180	100 220	120 260	145 305	170 355	190 400	210 440	230 480	
	h10	μ έλ	0	0 40	0 48	0 58	0 70	0 84	0 100	0 120	0 140	0 160	0 185	0 210	0 230	0 250	
	k10	μ έλ	+	40 0	48 0	58 0	70 0	84 0	100 120	120 140	140 160	160 185	185 210	210 230	230 250	230 250	
11	d11	μ έλ	-	20 80	30 105	40 130	50 160	65 195	80 240	100 290	120 340	145 395	170 460	190 510	210 570	230 630	
	h11	μ έλ	0	0 60	0 75	0 90	0 110	0 130	0 160	0 190	0 220	0 250	0 290	0 320	0 360	0 400	
	*** k11	μ έλ	+	60 0	75 0	90 0	110 0	130 0	160 0	190 0	220 0	250 0	290 0	320 0	360 0	400 0	

\*μ : Ανώτερο όριο ανοχής δέσμα Λ<sub>μΑ</sub>\*\*έλ: Κατώτερο όριο ανοχής δέσμα Λ<sub>εΑ</sub>

\*\*\* Δεν προορίζονται για συναρμογές, αλλά για μεμονωμένα κομμάτια.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.3.

Απόσπασμα από τους πίνακες ISO. Όρια ανοχής στα τρύματα.

Πινόπτητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλγεβρικό Πρόστιμο	Περιοχές διαμέτρων σε mm																																						
				1 - 3			3 - 6			6 - 10			10 - 18			18 - 30			30 - 50			50 - 80			80 - 120			120 - 180			180 - 250			250 - 315			315 - 400			400 - 500		
				[μm]																																						
6	F6	*μ **ελ	+ +	14	18	22	27	33	41	49	58	68	79	88	98	108																										
	G6	μ ελ	+ +	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68																										
	H6	μ ελ	+ +	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20																										
	J6	μ ελ	+ 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																										
	K6	μ ελ	- +	3	4	5	6	8	10	13	16	18	21	24	27	29																										
	M6	μ ελ	- -	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	9	10																										
	N6	μ ελ	- -	0	1	3	4	4	4	5	6	7	8	9	10	11																										
	P6	μ ελ	- -	7	9	12	15	17	20	24	28	33	38	45	51	57	62	67																								
7	E7	μ ελ	+ +	23	32	40	50	61	75	90	107	125	146	162	182	198																										
	F7	μ ελ	+ +	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135																										
	G7	μ ελ	+ +	16	22	28	34	41	50	60	71	83	96	108	119	131																										
	H7	μ ελ	+ +	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68																										
	J7	μ ελ	+ +	12	16	20	24	28	34	40	47	54	61	69	75	83																										
	K7	μ ελ	- +	3	4	5	6	7	9	10	12	14	18	22	26	30	35	40	46	52	57	63																				
	M7	μ ελ	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	N7	μ ελ	- -	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63																										
	P7	μ ελ	- -	13	16	19	23	28	33	39	45	52	60	66	73	80																										
	D8	μ ελ	+ +	6	8	9	11	14	17	21	24	28	33	36	41	45	49	52	57	63																						
	E8	μ ελ	+ +	16	20	24	29	35	42	51	59	68	79	88	98	108																										

συνεχίζεται

## συνέχεια Πίνακα 2.6.3.

Ποιότητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλυεβρικό πρόσθιμο	Περιοχές διαμέτρων σε mm																																						
				1 - 3			3 - 6			6 - 10			10 - 18			18 - 30			30 - 50			50 - 80			80 - 120			120 - 180			180 - 250			250 - 315			315 - 400			400 - 500		
				[μm]																																						
8	F8	μ	+	21	28	35	43	53	64	76	90	106	122	137	151	195																										
	G8	ελ	+	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68																										
	H8	μ	+	17	22	27	33	40	48	56	66	77	87	98	107	117																										
	J8	ελ	+	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20																										
	K8	μ	+	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97																										
	M8	ελ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																										
	N8	μ	+	7	9	12	15	20	24	28	34	41	47	55	60	66																										
		ελ	-	7	9	10	12	13	15	18	20	22	25	26	29	31																										
9	D9	μ	+	45	60	76	93	117	142	174	207	245	285	320	350	385																										
	E9	ελ	+	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230																										
	H9	μ	+	39	50	61	75	92	112	134	159	185	215	240	265	290																										
	J9	ελ	+	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135																										
		μ	+	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155																										
		ελ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																										
10	D10	μ	+	12	15	18	21	26	31	37	43	50	57	65	70	77																										
	H10	ελ	+	13	15	18	22	26	31	37	44	50	58	65	70	78																										
	J10	μ	+	20	24	29	35	42	50	60	70	80	92	105	115	125																										
		ελ	-	20	24	29	35	42	50	60	70	80	93	105	115	125																										
11	D11	μ	+	80	105	130	160	195	240	290	340	395	460	510	570	630																										
	H11	ελ	+	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230																										
	J11	μ	+	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400																										
		ελ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																										
*** Μ : Ανώτερο όριο ανοχής τρύματος $\Lambda_{μB}$																				*** ελ: Κατώτερο όριο ανοχής τρύματος $\Lambda_{εB}$								*** Δεν προορίζεται για συναρμογές, αλλά για μεμονωμένα κομμάτια.														

Όταν τώρα πρόκειται για το συμβολισμό μιας συναρμογής, τότε τα στοιχεία του τρύματος (κατηγορία και ποιότητα) γράφονται ως αριθμητής και τα στοιχεία του άξονα ως παρονομαστής ενός κλάσματος, που ακολουθεί την ονομαστική διάσταση.

Ως παράδειγμα δίνομε τη συναρμογή  $\Phi 35 \frac{D9}{h8}$  ή  $\Phi 35 D9/h8$ .

Από το συμβολισμό μιας συναρμογής, όπως τώρα μόλις τον δώσαμε, μπορούμε να προσδιορίσουμε με τη βοήθεια των Πίνακων 2.6.2 και 2.6.3 το όρια ανοχών και για τα δύο μέλη της συναρμογής, οπότε η συναρμογή μπορεί να παρασταθεί και κατ' άλλο τρόπο: Με κλάσμα που έχει ως αριθμητή την ονομαστική διάσταση σε χιλιοστόμετρα (mm) και τα όρια ανοχής σε μικρά (μμ) του τρύματος και ως παρονομαστή πάλι την ονομαστική διάσταση με τα όρια ανοχής του άξονα. Έτσι η

προηγούμενη συναρμογή  $\Phi 35 \frac{C9}{h8}$ , που δώσαμε ως παράδειγμα, μπορεί να συμβολισθεί ως:

$$\frac{35 \frac{+142}{+80}}{35 \frac{0}{-39}} \quad \text{ή} \quad 35 \frac{+142}{+80} / 35 \frac{0}{-39}$$

Τα όρια της ανοχής τρύματος και άξονα πάρθηκαν από τους Πίνακες 2.6.2 και 2.6.3, αντιστοίχως.

#### **D. Μερικά παραδείγματα.**

Στα παραδείγματα που θα ακολουθήσουμε θα δώσουμε πρώτα το συμβολισμό κάθε συναρμογής με το γράμμα της κατηγορίας και τον αριθμό της ποιότητας. Με βάση το συμβολισμό αυτό και με τη βοήθεια των Πίνακων 2.6.2 και 2.6.3 θα προσδιορίσουμε τα όρια ανοχής τρύματος και άξονα, κατόπιν θα παραστήσουμε την κάθε συναρμογή με τις αριθμητικές τιμές των ορίων αυτών και στη συνέχεια θα προβούμε στη γραφική της παράσταση. Για όλα αυτά θα πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας τις διάφορες σχέσεις, τις οποίες δώσαμε στην παράγραφο 2.6.1(Δ), όπως και τα παραδείγματα που αναπτύζαμε στην παράγραφο 2.6.2.

#### **E. Αναγραφή των διαστάσεων ανοχών στο μηχανολογικό σχέδιο.**

Σχετικά μέ την αναγραφή των διαστάσεων και των ανοχών τους στο μηχανολογικό σχέδιο παρατηρούμε τα εξής:

Εάν ο έλεγχος πρόκειται να γίνει με ελεγκτήρες ορίου, τότε θα αναγραφούν μετα την τιμή της ονομαστικής διαστάσεως (μπροστά από την οποία τίθεται το σήμα Φ, αν πρόκειται για διάμετρο) το χαρακτηριστικό γράμμα της κατηγορίας και ο αριθμός της ποιότητας. Αν όμως η διάσταση ελεγχθεί με μετρητικό όργανο ή με ελεγκτήρα ρυθμιζόμενου μήκους, τότε σημειώνονται οι οριακές διαστάσεις.

Στο σχήμα 2.6.6 βλέπομε πώς αναγράφονται οι διαστάσεις και ανοχές σε ένα μηχανολογικό σχέδιο.

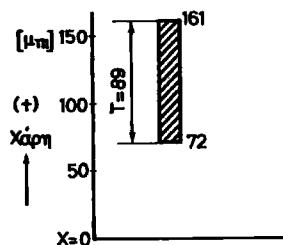
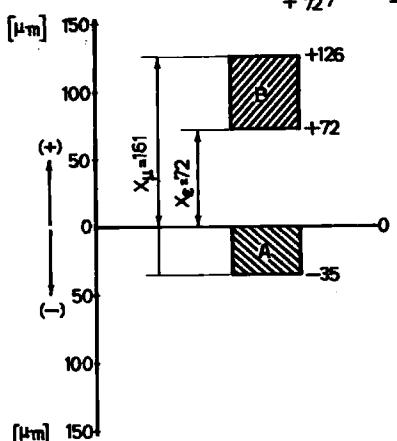
#### **2.6.4 Σύνθετες ανοχές.**

Πολλές φορές στις εφαρμογές συναντούμε περιπτώσεις, όπου χρειάζεται να

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

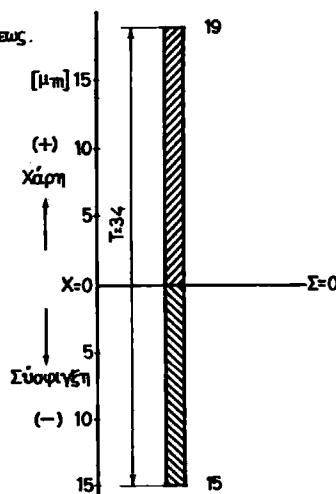
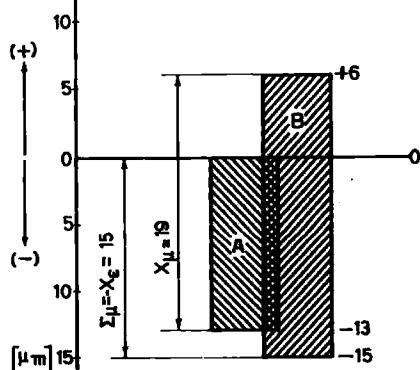
1. Μία ελεύθερη συναρμογή.

$$\phi 100 \text{ E8/h7} \text{ ή } 100 \begin{array}{c} +126 \\ +72 \end{array} / \begin{array}{c} 100 \\ 0 \\ -35 \end{array}$$



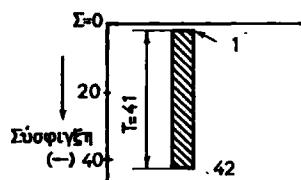
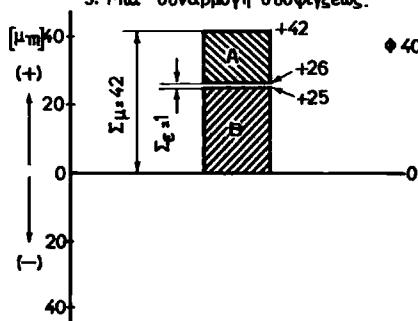
2. Μία συναρμογή αμφιβόλης συσφίγξεως.

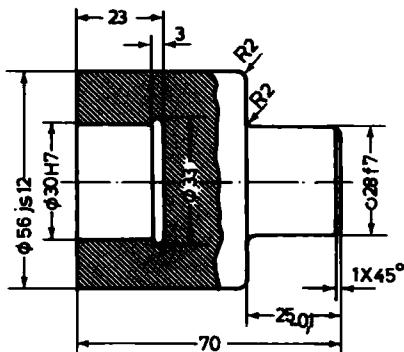
$$\phi 25 \text{ K7/h6} \text{ ή } 25 \begin{array}{c} +6 \\ -15 \end{array} / \begin{array}{c} 25 \\ 0 \\ -13 \end{array}$$



3. Μία συναρμογή συσφίγξεως.

$$\phi 40 \text{ H7/p6} \text{ ή } 40 \begin{array}{c} +25 \\ 0 \\ +26 \end{array} / \begin{array}{c} +42 \\ +26 \end{array}$$





Σχ. 2.6ιδ.

Αναγραφή διαστάσεων με ανοχές στο μηχανολογικό σχέδιο.

καθορίσομε ανοχές σε διαστάσεις που προκύπτουν ως αλγεβρικό άθροισμα άλλων μερικών διαστάσεων, για τις οποίες δίνονται ανοχές. Παρακάτω θα δώσουμε τους σχετικούς κανόνες και την κατάλληλη τεχνική για το σκοπό αυτό.

#### A. Περίπτωση προστιθεμένων διαστάσεων.

Έστω ότι οι διαστάσεις  $N_1$ ,  $N_2$  και  $N_3$  με ανοχές αντίστοιχα τις  $T_1$ ,  $T_2$  και  $T_3$  (σχ. 2.6ιε) προσθέτονται. Είναι προφανές ότι οι οριακές τιμές  $N_\epsilon$  (ελάχιστη) και  $N_\mu$  (μέγιστη) της συνολικής διαστάσεως θα είναι:

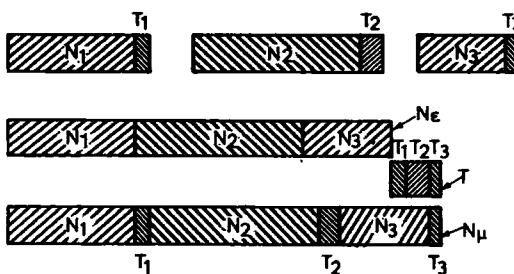
$$N_\epsilon = N_{1\epsilon} + N_{2\epsilon} + N_{3\epsilon} \quad \text{και}$$

$$N_\mu = N_{1\mu} + N_{2\mu} + N_{3\mu} = (N_1 + N_2 + N_3) + (T_1 + T_2 + T_3) \quad (2.16)$$

και η ανοχή της (σύνθετη ανοχή)  $T$  θα ισούται με το άθροισμα των ανοχών των μερικών διαστάσεων, δηλαδή:  $T = T_1 + T_2 + T_3$ .

Ως παράδειγμα ας πούμε ότι:

$N_1 = 30^{+1,0}$ ,  $N_2 = 40^{-0,5}$  και  $N_3 = 20^{-0,0}$  (οι ανοχές δίνονται σε mm). Σύμφωνα με τις σχέσεις που δώσαμε, οι οριακές τιμές της συνολικής διαστάσεως προκύπτουν



Σχ. 2.6ιε.

Η σύνθετη ανοχή προστιθεμένων διαστάσεων.

ως:

$N_\epsilon = 30,0 + 39,5 + 19,0 = 88,5 \text{ mm}$  και  $N_\mu = 31,0 + 40,0 + 20,0 = 91,0 \text{ mm}$   
και η ανοχή της συνολικής διαστάσεως:

$$T = 1,0 + 0,5 + 1,0 = 2,5 \text{ mm} \quad \text{ή} \quad T = N_\mu - N_\epsilon = 91,0 - 88,5 = 2,5 \text{ mm}.$$

#### B. Περίπτωση αλγεβρικού άθροισματος διαστάσεων.

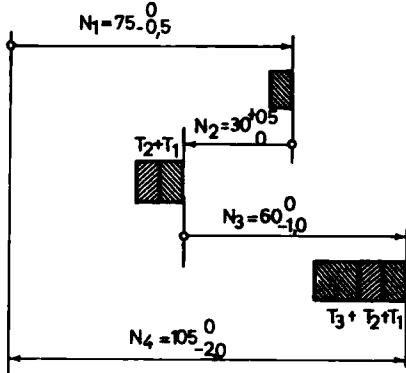
Ας υποθέσουμε ότι θέλομε να προσδιορίσουμε τις οριακές τιμές (και από αυτές

την ανοχή) της διαστάσεως  $N_4$  στο σχήμα 2.6ιστ. Η διάσταση  $N_4$  μπορεί να εκφρασθεί σε συνάρτηση με τις άλλες ως:

$$N_4 = N_1 - N_2 + N_3 \quad (2.17)$$

Οι οριακές της τιμές θα είναι:  $N_{4\epsilon} = N_{1\epsilon} - N_{2\mu} + N_{3\epsilon}$   
και  $N_{4\mu} = N_{1\mu} - N_{2\epsilon} + N_{3\mu}$  (2.18)

Η ανοχή της  $T$  θα προκύψει:  $T = T_1 + T_2 + T_3$  (2.19)



Σχ. 2.6ιστ.  
Η σύνθετη ανοχή αλγεβρικού  
αθροίσματος διαστάσεων.

Από τις σχέσεις (2.18) και (2.19) συνάγομε τους ακόλουθους δύο χρήσιμους κανόνες για τόν προσδιορισμό συνθέτων ανοχών:

α) Για να υπολογίσουμε την ελάχιστη τιμή της σύνθετης διαστάσεως ( $N_{4\epsilon}$  στην περίπτωσή μας), λαμβάνουμε υπ' ώψη στο αλγεβρικό άθροισμα την ελάχιστη οριακή διάσταση των όρων που προσθέτονται (με πρόσημο +) και τη μέγιστη οριακή διάσταση των αφαιρουμένων όρων (με πρόσημο -). Αντίθετα, για να προσδιορίσουμε τη μέγιστη τιμή της σύνθετης διαστάσεως ( $N_{4\mu}$ ), θεωρούμε στο αλγεβρικό άθροισμα τη μέγιστη οριακή διάσταση των όρων, που προσθέτονται, και την ελάχιστη οριακή διάσταση των όρων, που αφαιρούνται.

β) Η ανοχή της σύνθετης διαστάσεως (σύνθετη ανοχή) είναι ίση με το άθροισμα των ανοχών των μερικών διαστάσεων, ανεξάρτητα αν οι αντίστοιχες μερικές διαστάσεις προσθέτονται η αφαιρούνται στο αλγεβρικό άθροισμα. Αυτό θα επαληθευθεί και στο αριθμητικό παράδειγμά μας αμέσως παρακάτω.

Εφαρμόζοντας τώρα τις σχέσεις (2.17), (2.18) και (2.19) με τα αριθμητικά δεδομένα του σχήματος 2.6ιστ θα έχομε:

$$N_4 = 75,0 - 30,5 + 60,0$$

$$N_{4\epsilon} = 74,5 - 30,5 + 59,0 = 103,0 \text{ mm}$$

$$N_{4\mu} = 75,0 - 30,0 + 60,0 = 105,0 \text{ mm}$$

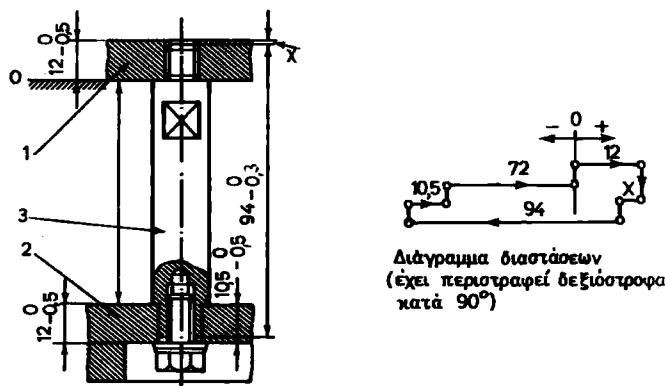
$$T = N_{4\mu} - N_{4\epsilon} = 105,0 - 103,0 = 2,0 \text{ mm}$$

$$\bar{\eta} = 0,5 + 0,5 + 1,0 = 2,0 \text{ mm.}$$

### Γ. Προσδιορισμός συνθέτων ανοχών με τη βοήθεια του διαγράμματος διαστάσεων.

Σε περίπλοκες περιπτώσεις της πράξεως υπολογίζομε την ανοχή μιας σύνθετης διαστάσεως και τις οριακές της τιμές με τη βοήθεια του λεγόμενου διαγράμματος διαστάσεων, όπως θα δούμε στο επόμενο παράδειγμα.

Έστω ότι θέλομε να υπολογίσουμε τις οριακές τιμές της διαστάσεως  $X$  στο σχήμα 2.6ιζ, όπου τα δύο ελάσματα 1 και 2 συναρμολογούνται μεταξύ τους με το βλήτρα 3. Ορίζουμε μια επιφάνεια (π.χ. την επιφάνεια 0) ως επιφάνεια αναφοράς και σημειώνουμε θετική και αρνητική φορά, όπως φαίνεται στο σχήμα. Κατόπιν περιερχόμαστε κυκλικά όλες τις διαστάσεις ( $12_{-0,6}^0$ ,  $X$ ,  $94_{-0,3}^0$  κλπ), ώστου να επανέλθουμε στην έπιφανεια 0 σχηματίζοντας έτσι το αλγεβρικό τους άθροισμα λαμβάνοντας υπ' όψη, για το πρόστιμο των δρων του αθροίσματος, τη φορά (θετική ή αρνητική), την οποία έχουμε καθορίσει. Το αλγεβρικό αυτό άθροισμα των διαστάσεων το εξισώνουμε με το μηδέν και επιλύνοντας ως προς την άγνωστη διάσταση (ως προς  $X$  στην περίπτωσή μας) προσδιορίζουμε κατά τα γνωστά τις οριακές της τιμές και την ανοχή της.



Σχ. 2.6ιζ.

Παράδειγμα για τον υπολογισμό μιας σύνθετης ανοχής με τη βοήθεια του διαγράμματος διαστάσεων. (οι ανοχές δίνονται σε mm).

Εφαρμόζοντας τον κανόνα αυτό στο παράδειγμά μας θα έχομε:

$$12_{-0,6}^0 - X - 94_{-0,3}^0 + 10,5_{-0,2}^{+0,3} + 72_{-0,2}^0 = 0$$

$$\text{ή } X = 72_{-0,2}^0 + 10,5_{-0,2}^{+0,3} + 12_{-0,5}^0 - 94_{-0,3}^0$$

$$\text{ή } X_e = 71,8 + 10,5 + 11,5 - 94,0 = -0,2 \text{ mm}$$

$$\text{καὶ } X_\mu = 72,0 + 10,8 + 12,0 - 93,7 = 1,1 \text{ mm}$$

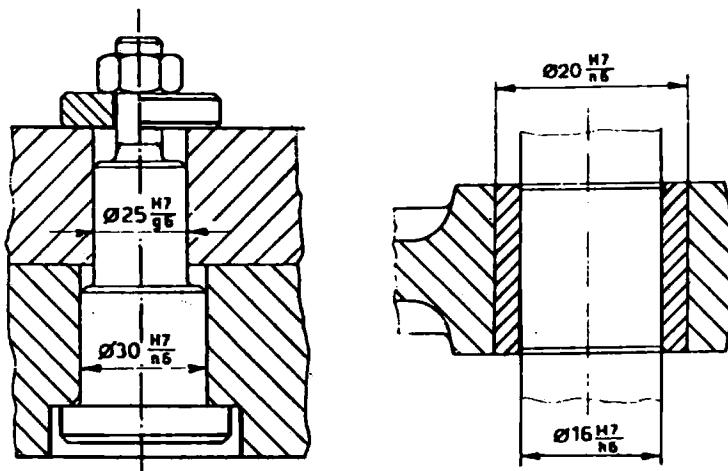
$$T = 1,1 - (-0,2) = 1,3 \text{ mm}$$

$$\text{ή } T = 0,2 + 0,3 + 0,5 + 0,3 = 1,3 \text{ mm.}$$

### 2.6.5 Ερωτήσεις και ασκήσεις.

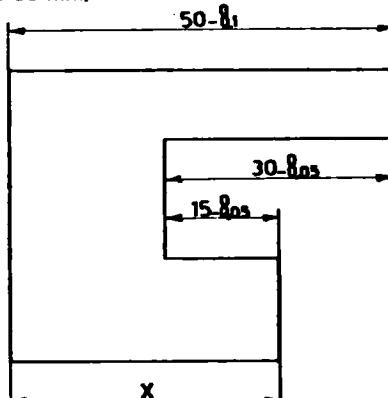
- Τι ονομάζομε συναρμογή;
- Ποια συναρμογή καλούμε απλή και ποια πολλαπλή;
- Τι εννοούμε με τους παρακάτω δρους: **Εναλλαξιμότητα, ανοχή μιας διαστάσεως, ονομαστική διάσταση, διάσταση κατεργασίας, πεδίο ανοχής, δρα ανοχής, χάρη και σύσφιγξη.**
- Ποιο είναι το συμμετρικό και ποιο το μονόπλευρο σύστημα ανοχών;
- Σε τι διακρίνονται ανάμεσά τους οι συναρμογές ως προς το βαθμό ελευθερίας τους;
- Τι είναι συναρμογή βασικού άξονα και τι βασικού τρύματος;
- Τι εννοούμε λέγοντας **ποιότητα** και **καταγραφή** ενός μέλους μιας συναρμογής;

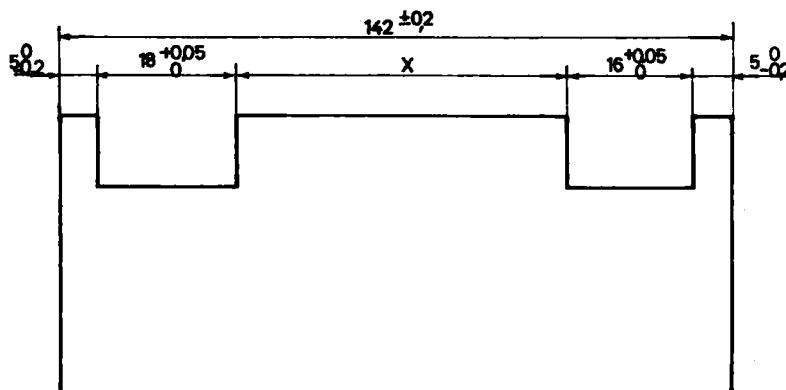
8. Πόσες ποιότητες και πόσες κατηγορίες προβλέπει τό σύστημα συναρμογών ISO και πώς συμβολίζονται αντίστοιχα;
9. Για σύστημα συναρμογών βασικού δξονα να δώσετε συμβολίζοντάς τες τέσσερις ελεύθερες συναρμογές, δύο συναρμογές αμφίβολης συσφίγξεως και τέσσερις συναρμογές συσφίγξεως.
10. Ποιες είναι οι ανοχές των ποιοτήτων 6 και 7 για τις ονομαστικές διαστάσεις: 45 mm, 110 mm και 250 mm.
11. Τι σημαίνουν οι συμβολισμοί  $\Phi 100H7$ ,  $60g10$ ,  $\Phi 80f8$ ,  $\Phi 50D8/h7$  και  $\Phi H7/r6$ ;
12. Δίνονται οι συναρμογές  $\Phi 45H8/g7$  και  $\Phi 30G7/k6$ .  
Να προσδιορίσετε τις οριακές διαστάσεις δξονα και τρύματος, τα όρια των ανοχών τους, όπως και τη μέγιστη, μέση και ελάχιστη χάρη.
13. Για τις συναρμογές των κομματών που εικονίζονται στο παρακάτω σχήμα 2.6η να κάνετε τή γραφική τους παράσταση μαζί με το διάγραμμα διακυμάνσεως της χάρης (και συσφίγξεως) και



Σχ. 2.6η.

- να δώσετε υπό μορφή πινακίδιου τα όρια των ανοχών. Την κλίμακα για την παράσταση των ανοχών και της χάρης (και συσφίγξεως) να τη διαλέξετε κατά την κρίση σας.
14. Με τη βοήθεια σκίτων να δώσετε παραδείγματα αναγραφής διαστάσεων με ανοχές στο μηχανογικό σχέδιο.
  15. Ποιους βασικούς κανόνες εφαρμόζομε στον προσδιορισμό συνθέτων ανοχών και των ορίων τους;
  16. Να υπολογίσετε την ανοχή και τις οριακές τιμές της δύνωσης διαστάσεως για τις περιπτώσεις του παρακάτω σχήματος 2.6ιθ χαράσσοντας κάθε φορά και το αντίστοιχο διάγραμμα διαστάσεων. (οι ανοχές δίνονται σε mm).



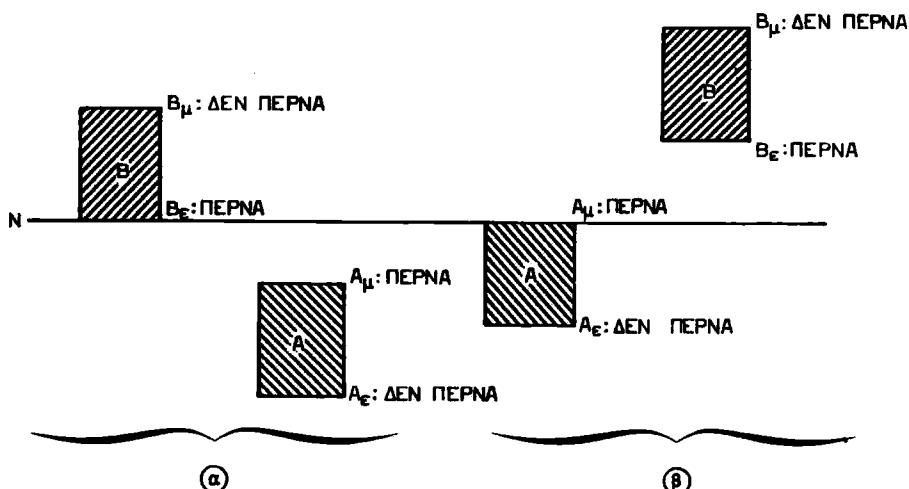


Σχ. 2.6θ.

## 2.7 Ελεγκτήρες και εφαρμογές τους.

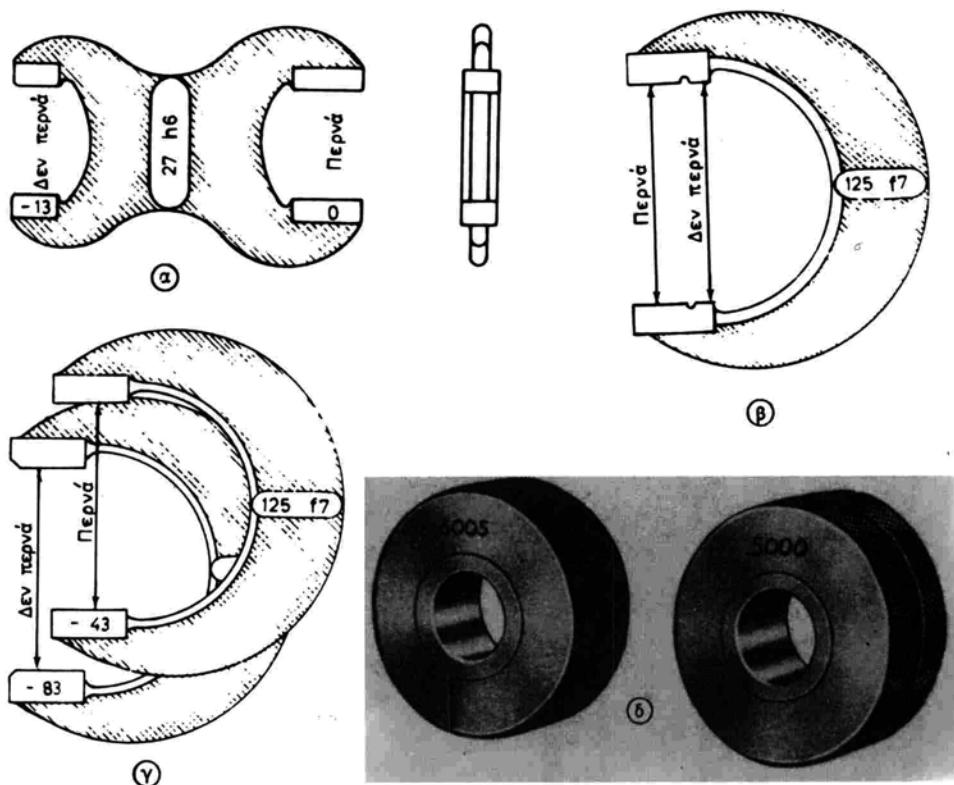
### 2.7.1 Γενικά.

Κατά την επιθεώρηση των μηχανουργικών προϊόντων, είτε αυτή διενεργείται σε διάφορες φάσεις κατεργασίας τους, είτε σε έτοιμα προϊόντα, χρησιμοποιούμε συχνά ειδικά μετρητικά όργανα, που τα ονομάζομε **ελεγκτήρες**. Για τη διεξαγωγή της επιθεωρήσεως μεταχειρίζομαστε βέβαια και άλλα όργανα, ανάλογα με την περίπτωση, για κατ' ευθείαν ή συγκριτικές μετρήσεις από αυτά, που έχομε μέχρι τώρα περιγράψει. Στον ελεγκτήρα ενσωματώνεται αντίστροφα η διάσταση του κομματιού, η οποία πρόκειται να ελεγχθεί.

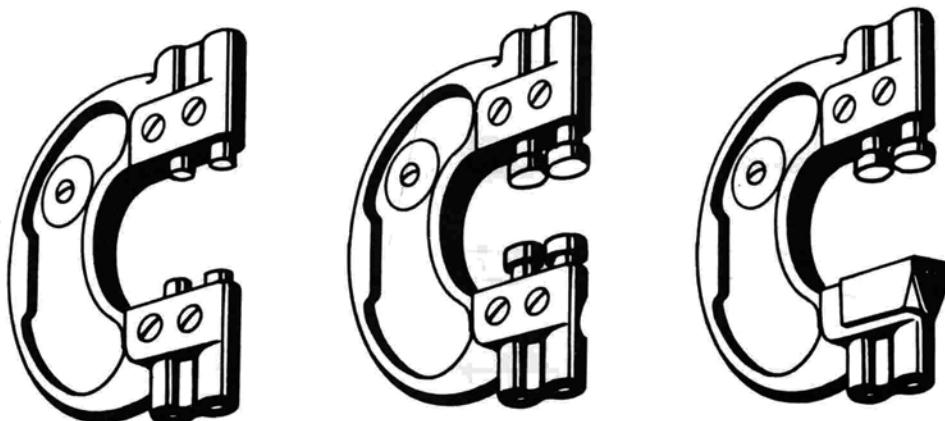


Σχ. 2.7α.

Αντιστοιχία διαστάσεων ΠΕΡΝΑ και ΔΕΝ ΠΕΡΝΑ των ελεγκτήρων με τις οριακές διαστάσεις άξονα και τρύματος: (α) Σύστημα βασικού τρύματος. (β) Σύστημα βασικού άξονα.



**Σχ. 2.7β.**  
Σταθεροί ελεγκτήρες μέγιστου-ελάχιστου αξόνων.

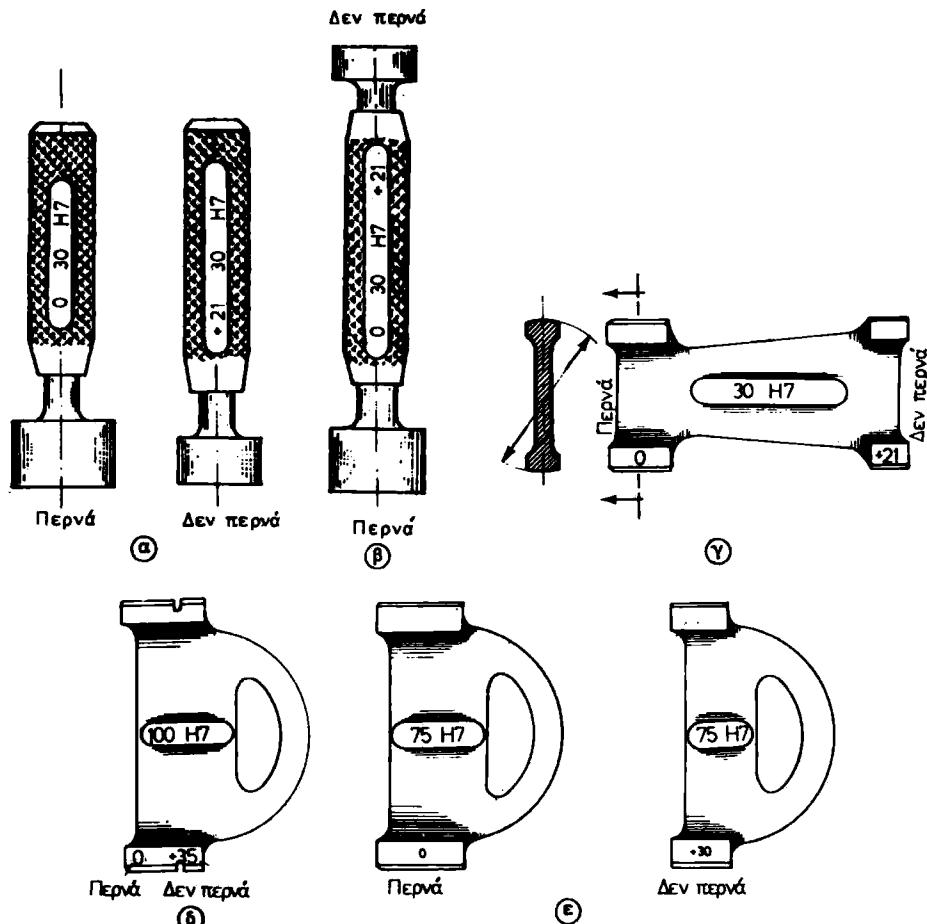


**Σχ. 2.7γ.**  
Ρυθμιζόμενοι ελεγκτήρες μέγιστου-ελάχιστου αξόνων.

Οι ελεγκτήρες διακρίνονται σε **ελεγκτήρες ορίου** ή **ελεγκτήρες μέγιστου - ελάχιστου** και σε **ειδικούς ελεγκτήρες**.

Τους ελεγκτήρες ορίου τους συναντούμε συνήθως ως **σταθερούς** (σχ. 2.7α, 2.7δ), με την έννοια δηλαδή ότι ελέγχουν πάντοτε την ίδια σταθερή διάσταση ή τις ίδιες σταθερές διαστάσεις. Υπάρχουν όμως για ορισμένες εφαρμογές και **ρυθμιζόμενοι ελεγκτήρες** (σχ. 2.7γ). Στους τελευταίους ελεγκτήρες παρέχεται η δυνατότητα για ρύθμιση της ελεγχόμενης διαστάσεως μέσα σε στενά όρια.

Με τους ελεγκτήρες ορίου ελέγχομε αν μία διάσταση ενός κομματιού βρίσκεται μέσα στα καθορισμένα γι' αυτήν όρια. Και συγκεκριμένα με έναν τέτοιον ελεγκτήρα (σχ. 2.7β) μπορούμε να ελέγξουμε π.χ. αν η πραγματική διάμετρος ενός άξονα κείται ανάμεσα στις οριακές της τιμές  $A_e$  και  $A_u$ . Το ίδιο μπορούμε να κάνουμε και για την πραγματική διάμετρο ενός τρύματος. Διαλέγοντας τον κατάλληλο κατά περίπτωση ελεγκτήρα (σχ. 2.7δ), είναι δυνατό να ελέγξουμε, αν η διάμετρος του περιέχεται στο διάστημα μεταξύ των οριακών της τιμών  $B_e$  και  $B_u$ .



Σχ. 2.7δ.  
Ελεγκτήρες ορίου τρυμάτων.

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι με τους ελεγκτήρες ορίου δεν κάνομε μετρήσεις (δηλαδή δεν μετρούμε την ακρίβη τιμή της διαστάσεως), αλλά ελέγχομε απλώς τη διάσταση. Αν η ελεγχόμενη διάσταση του κομματιού πέφτει μέσα στα επιτρεπόμενα γι' αυτή όρια, πράγμα που εξακριβώνεται, όπως θα δούμε παρακάτω, με κάποιον κατάλληλο ελεγκτήρα, τότε το κομμάτι θεωρείται *μη σκάρτο* (δηλαδή κανονικό και εμπορεύσιμο), ενώ αν η διάσταση πέφτει έξω από τα όρια αυτά, τότε το κομμάτι *χαρακτηρίζεται ως σκάρτο* (ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση).

Οι ελεγκτήρες ορίου κατασκευάζονται από χάλυβα αντοχής στη φθορά από την τριβή, γιατί προορίζονται [παράγρ. 2.7.2(A)] για τον έλεγχο μεγάλου αριθμού κομματιών, που παράγονται μαζικά. Επίσης πρέπει, όπως και τα πρότυπα πλακίδια, οι ελεγκτήρες να παρουσιάζουν σταθερότητα στις οριακές διαστάσεις, που υλοποιούν. Οι χαρακτηριστικές αυτές ιδιότητες των ελεγκτήρων επιτυγχάνονται με σειρά καταλλήλων θερμικών κατεργασιών του χάλυβα κατασκευής τους.

Η ακρίβεια κατασκευής των ελεγκτήρων λαμβάνεται περίπου δεκαπλάσια από την ακρίβεια κατασκευής των κομματιών, που πρόκειται νά ελέγχομε με αυτούς.

Για έντονο και μακροχρόνιο έλεγχο αξόνων, οι επιφάνειες ελέγχου του ελεγκτήρα μπορούν να γίνουν και σε σκληρομέταλλο.

Οι ειδικοί ελεγκτήρες σχεδιάζονται και κατασκευάζονται για άλλου είδους ελέγχους. Ως ειδικούς ελεγκτήρες μπορούμε να απαριθμήσουμε όλους τους ελεγκτήρες μορφής, τους ελεγκτήρες βάθους, συμμετρίας, επιπεδότητας, αποστάσεως ανάμεσα σε τρύπες κ.ά., ακόμα και απλούς ελεγκτήρες, όπως είναι οι διαμετρητήρες τρυπανιών (Μ.Ε., σχ. 13.2στ), τα σπειρόμετρα (Μ.Ε., σχ. 16.1στ) και άλλοι, για τους οποίους θα μιλήσουμε στην παράγραφο 2.7.3.

## 2.7.2 Ελεγκτήρες ορίου ή ελεγκτήρες μέγιστου-ελάχιστου.

### A. Η αρχή εφαρμογής τους.

Οι ελεγκτήρες ορίου είναι τα κατ' εξοχήν όργανα ελέγχου των κομματιών της μαζικής παραγωγής και έχουν σημαντικά συνεισφέρει, από την αρχή της αναπτύξεως της, στην επίτευξη της εναλλαξιμότητας. Είναι απλά, γρήγορα και αξιόπιστα μέσα για τον έλεγχο οριακών διαστάσεων, όπως εξ αλλού εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Βέβαια, σε ορισμένες εφαρμογές, είναι δυνατό οι ελεγκτήρες ορίου να αντικατασταθούν από κατάλληλους συγκριτές μηκών (π.χ. επιτραπέζιος συγκριτής μηκών, παράγρ. 2.4.3). Οι σύγκριτές αυτοί παρουσιάζουν απέναντι στους ελεγκτήρες δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: Το ένα είναι ότι ο έλεγχος είναι πιο αξιόπιστος, γιατί δεν εξαρτάται τόσο πολύ από τη δεξιότητα του τεχνίτη που εκτελεί τον έλεγχο, όσο κατά τον έλεγχο με ελεγκτήρες· το άλλο είναι η δυνατότητα, που μας παρέχεται από το συγκριτή μηκών, να παίρνομε αριθμητικές τιμές των αποκλίσεων από την πρότυπη διάσταση, στην οποία τον ρυθμίζουμε.

Για να εξακριβώσουμε τώρα, αν η υπό έλεγχο διάσταση κείται ανάμεσα στις οριακές της τιμές, δηλαδή στη μέγιστη και στην ελάχιστη, χρειάζονται δύο σταθερά μήκη, που να αντιπροσωπεύουν αυτές τις δύο οριακές διαστάσεις. Το ένα από τα μήκη αυτά (η μία οριακή διάσταση) χαρακτηρίζεται ως ΠΕΡΝΑ και το άλλο (η άλλη οριακή διάσταση) ως ΔΕΝ ΠΕΡΝΑ.

Η διάσταση ΠΕΡΝΑ του ελεγκτήρα είναι για μεν τον áξονα η μέγιστη  $A_\mu$ , για δε το τρύμα η ελάχιστη  $B_\epsilon$ . Αντίθετα η διάσταση ΔΕΝ ΠΕΡΝΑ του ελεγκτήρα αντιστοιχεί στο ελάχιστο του áξονα  $A_\epsilon$  και στο μέγιστο του τρύματος  $B_\mu$  (σχ. 2.7α). Έτσι π.χ., αν ένας ελεγκτήρας αξόνων με οριακή διάσταση  $A_\mu$  (ελεγκτήρας ΠΕΡΝΑ) δεν περάσει από τον ελεγχόμενο áξονα, αυτό έχει την έννοια ότι ο áξονας έχει διάσταση **μεγαλύτερη** από τη μέγιστη επιτρεπτή και θα πρέπει να χαρακτηρισθεί ως σκάρτος. Αν τώρα ένας ελεγκτήρας ελάχιστου του τρύματος  $B_\epsilon$  (ελεγκτήρας ΠΕΡΝΑ) δεν περάσει από το προς έλεγχο τρύμα, τότε αυτό σημαίνει ότι το τρύμα έχει διάσταση μικρότερη από την επιτρεπόμενη ελάχιστη οριακή και συνεπώς θα πρέπει να μη γίνει αποδεκτό. Με παρόδημο τρόπο, αν ελεγκτήρας  $A_\epsilon$  (ΔΕΝ ΠΕΡΝΑ) περάσει από τον επιθεωρούμενο áξονα ή άλλος ελεγκτήρας  $B_\mu$  (ΔΕΝ ΠΕΡΝΑ) περάσει από το τρύμα, τότε αυτό θα σημαίνει ότι ο áξονας έχει διάσταση μικρότερη από την οριακή  $A_\epsilon$  και το τρύμα μεγαλύτερη από τη μέγιστη οριακή  $B_\mu$ , άρα και ο áξονας και το τρύμα θα πρέπει να απορριφθούν στις αντίστοιχες περιπτώσεις.

## **B. Είδη ελεγκτήρων ορίου.**

Οι ελεγκτήρες ορίου κατατάσσονται στους **ελεγκτήρες αξόνων** (σχ. 2.7β) και στους **ελεγκτήρες τρυμάτων** (σχ. 2.7δ).

Σε κάθε ελεγκτήρα χαράσσονται ή εγγράφονται με κάποιο μέσο τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του στοιχεία: Η ονομαστική διάσταση που ελέγχει σε μμ, η κατηγορία και η ποιότητα κατασκευής του υπό έλεγχο κομματιού [π.χ. 30H7, σχ. 2.7δ(γ) ή 27H6, σχ. 2.7β(α)] και το ένα ή και τα δύο, όρια ανοχής σε μμ [π.χ. 0 ή +21, σχ. 2.7δ(α) ή 0, -13, σχ. 2.7β(α)]. Μπορούν ακόμα να αναγραφούν ενδείξεις ως ΠΕΡΝΑ, ΔΕΝ ΠΕΡΝΑ, όπως και οι ημερομηνίες των περιοδικών ελέγχων, στους οποίους υποβάλλονται.

### **1. Ελεγκτήρες αξόνων.**

Κατασκευάζονται ως σταθεροί για ονομαστικές διαμέτρους μέχρι 100 mm είτε σε σχήμα διπλού πετάλου (αμφίπλευροι) [σχ. 2.7β(α)] είτε απλου πετάλου διπλοί (μονόπλευροι), δηλαδή με δυνατότητα ελέγχου και των δύο οριακών διαστάσεων [σχ. 2.7β(β)]. Για ονομαστικές διαμέτρους μεγαλύτερες από 100 mm χρησιμοποιούνται ζεύγη από μονούς πεταλοειδείς ελεγκτήρες [σχ. 2.7β(γ)], όπου ο κάθε ελεγκτήρας ελέγχει τη μία από τις δύο οριακές διαστάσεις. Υπάρχουν ακόμα και ζεύγη από δακτυλιοειδείς ελεγκτήρες [σχ. 2.7β(δ)] που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μικρών σχετικά διαμέτρων.

Οι διπλοί ελεγκτήρες απλού πετάλου κατασκευάζονται και ως ρυθμιζόμενοι (σχ. 2.7γ) σε τρεις κυρίως μορφές, ανάλογα με το είδος των επαφών. Ρυθμίζονται με τη βοήθεια προτύπων πλακιδίων ή άλλων προτύπων μηκών.

### **2. Ελεγκτήρες τρυμάτων.**

Τους απαντούμε είτε ως **κυλινδρικούς** [2.7δ(α),(β)] είτε ως **πεπλατυσμένους** [σχ. 2.7δ(γ),(δ),(ε)]. Οι κυλινδρικοί κατασκευάζονται είτε σε ζεύγη [ο κάθε ελεγκτήρας του ζεύγους ελέγχει τη μία από τις δύο οριακές διαστάσεις, σχ. 2.7δ(α)] εί-

τε ενσωματωμένοι σε ένα κομμάτι [σχ. 2.7δ(β)]. Οι πεπλατυσμένοι έχουν μόνο δύο αντιδιαμετρικά τμήματα κυλινδρικά [σχ. 2.7δ(γ)] και μπορούμε να τους συναντήσουμε ως αμφίπλευρους [σχ. 2.7δ(γ)], για ονομαστικές διαστάσεις μέχρι 100 mm, και ως μονόπλευρους [σχ. 2.7δ(δ)] ή ως μονούς [σχ. 2.7δ(ε)] για μεγαλύτερες διαστάσεις.

### **Γ. Χρήση των ελεγκτήρων ορίου.**

Ο έλεγχος των κομματιών με ελεγκτήρες, παρόλο που είναι απλός και σχετικά εύκολος, εν τούτοις πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο και ευσυνείδητο προσωπικό. Ο έλεγχος χρειάζεται λεπτούς και προσεκτικούς χειρισμούς.

Υπογραμμίζομε τα ακόλουθα σημεία, που θεωρούμε χρήσιμα για την επιτυχή διεξαγωγή του ελέγχου κομματιών με ελεγκτήρες ορίου:

α) Προτού αρχίσουμε τον έλεγχο, θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι ελεγκτήριας και κομμάτια είναι απόλυτα καθαρά. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά τον έλεγχο των οπών, που έχουν γίνει με τρυπανισμα. Πρέπει να αφαιρούμε τις παραμένουσες σκληρές ανωμαλίες μετά την κατεργασία, γιατί μπορούν να προκαλέσουν υπερβολική φθορά στον ελεγκτήρα.

β) Τον ελεγκτήρα πρέπει να τον κρατούμε πάντοτε με το χέρι μας και μάλιστα κατά τον πρέποντα, για κάθε περίπτωση ελέγχου, τρόπο (σχ. 2.7ε). Ποτέ να μην τον στερεώνουμε σε μέγγενη ή να τον κρατούμε με άλλου είδους σφιγκτήρα ή με κλειδί. Για αξιόπιστη διεξαγωγή του ελέγχου είναι αναγκαία η **αύσθηση**, που παίρνει ο τεχνίτης κρατώντας τον ελεγκτήρα με το χέρι του.

γ) Σε κυλινδρικά κομμάτια ο έλεγχος δεν γίνεται κατά μία μόνο διάμετρο, αλλά κατά τρεις τουλάχιστο διαμέτρους σε μία και την αυτή διατομή.

δ) Σε επιμήκη κομμάτια ο έλεγχος πρέπει να γίνεται σε περισσότερες θέσεις κατά μηκος του κομματιού.

ε) Σε μη κυλινδρικά κομμάτια δεν πρέπει να υπάρχει κλίση στον ελεγκτήρα [σχ. 2.7ε(β)].

στ) Σε κυλινδρικά κομμάτια καλό είναι να έρχεται σε επαφή πρώτα η μία πλευρά του ράμφους του ελεγκτήρα και κατόπιν η άλλη [σχ. 2.7ε(γ)].

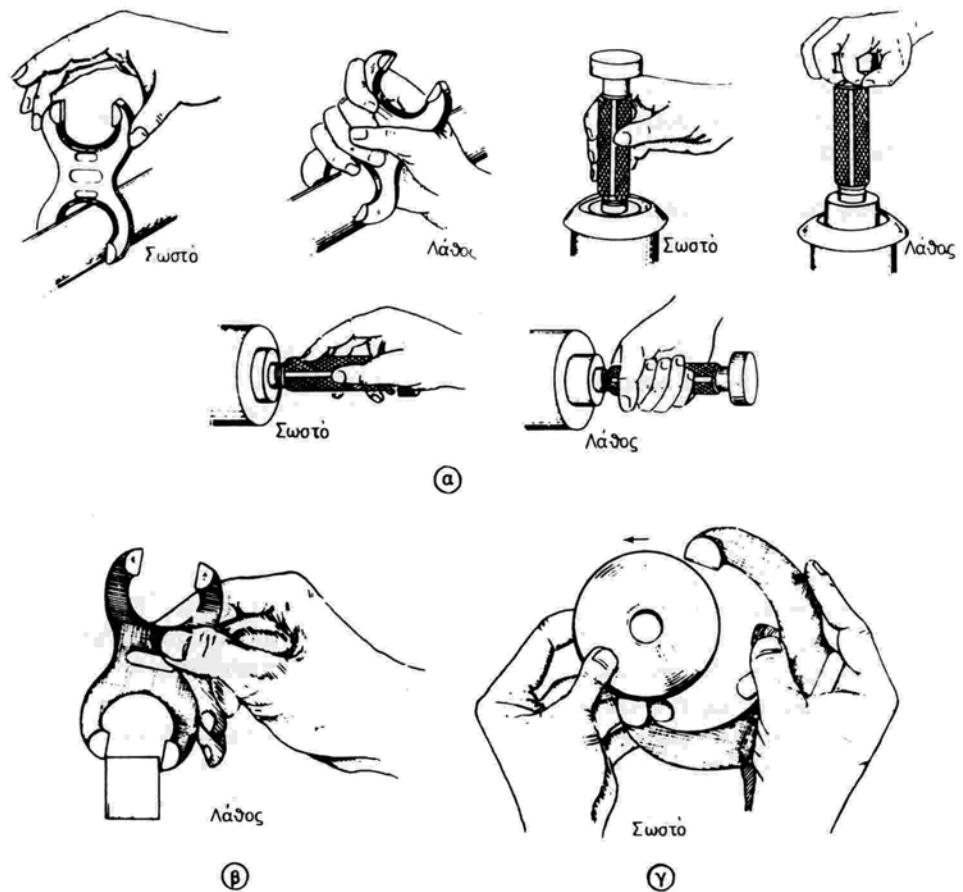
### **Δ. Φροντίδες των ελεγκτήρων.**

α) Για κάθε σειρά από ελεγκτήρες καλό θα είναι να υπάρχει ξύλινο κιβώτιο με κατάλληλες θήκες, στις οποίες να τοποθετούνται οι ελεγκτήρες μετά τη χρήση τους, αφού προηγουμένως καθαρισθούν σχολαστικά και επαλειφθούν με λεπτό στρώμα βαζελίνης χωρίς οξύτητα.

β) Κάθε ελεγκτήρας, έστω και αν δεν χρησιμοποιείται, πρέπει περιοδικά να διακριβώνεται με αντελεγκτήρα ή με τη βοήθεια προτύπων πλακιδίων και κατάληλου συγκριτή μηκών.

### **2.7.3 Μερικοί χρήσιμοι απλοί ειδικοί ελεγκτήρες.**

Εκτός από τους διαμετρητήρες τρυπανιών και τα σπειρόμετρα (παράγρ. 2.7.1), υπάρχουν και άλλοι χρήσιμοι απλοί ειδικοί ελεγκτήρες, μερικούς από τους οποίους θα αναφέρουμε με συντομία παρακάτω.



**Σχ. 2.7ε.**  
Χρήση των ελεγκτήρων μέγιστου-ελάχιστου.

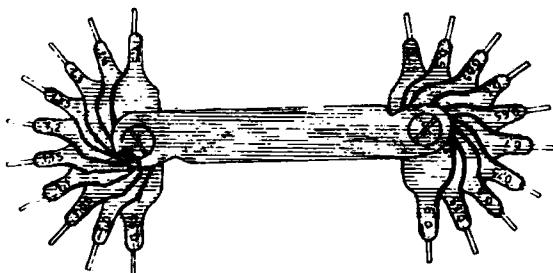


**Σχ. 2.7στ.**  
Το οπόμετρο.

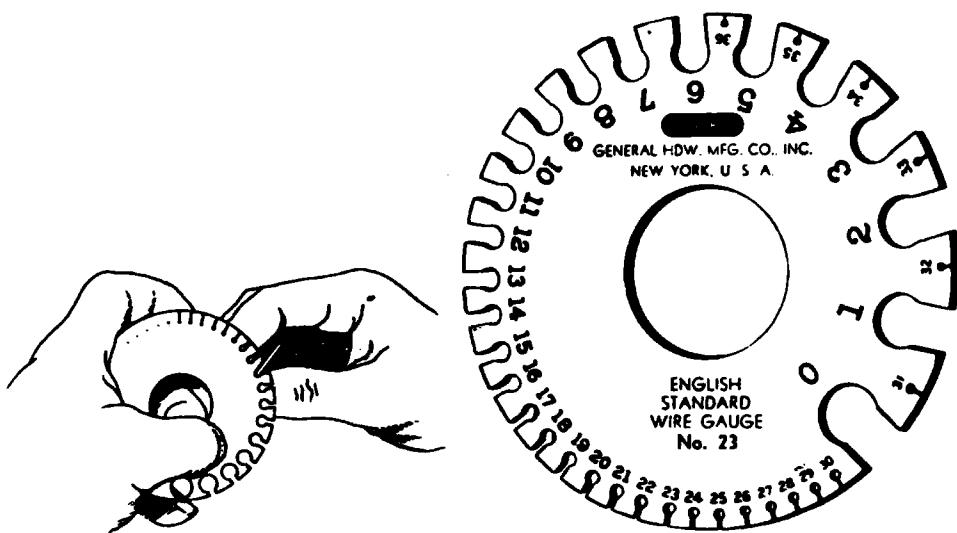
α) Το **οπόμετρο** (σχ. 2.7στ). Είναι κόλουρος κώνος με προτυποποιημένη κλίση. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη μέτρηση οπών μικρού μεγέθους. Μας δίνει μικρή ακρίβεια στις μετρήσεις.

β) Οι **μετρητικές βελόνες** (σχ. 2.7ζ). Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μικρών οπών.

γ) Οι **ελεγκτήρες συρμάτων** (σχ. 2.7η). Εφαρμόζονται στον έλεγχο της διαμέτρου συρμάτων. Οι αριθμοί (από 1 έως 36) αναφέρονται στα προτυποποιημένα



Σχ. 2.7ζ.  
Οι μετρητικές βελόνες.

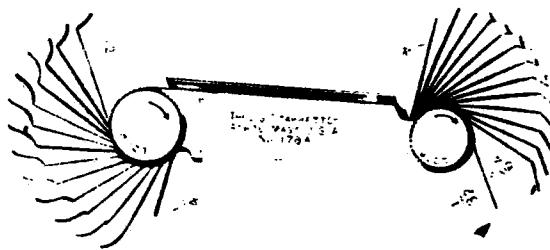


Σχ. 2.7η.  
Ο ελεγκτήρας συρμάτων και ο τρόπος χρήσεώς του.

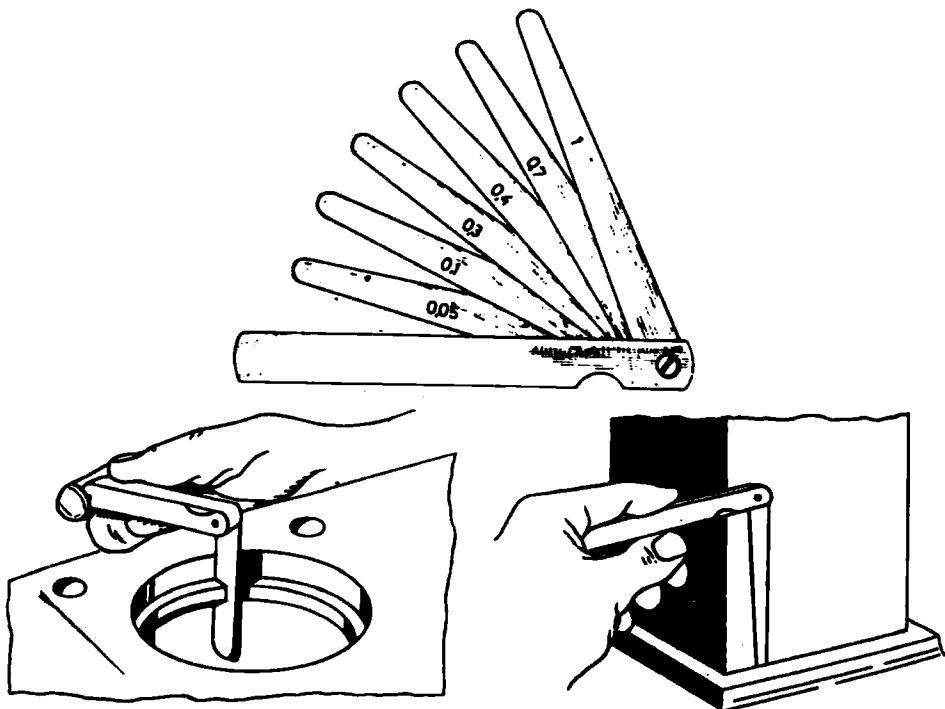
μεγέθη συρμάτων κατά το βρεταννικό σύστημα, όπως εξ άλλου αναγράφεται στον ελεγκτήρα. Υπάρχουν τέτοιοι ελεγκτήρες και για τον έλεγχο συρμάτων σύμφωνα με άλλες προδιαγραφές (π.χ. American Standard Wire κ.ά.).

δ) Οι **ελεγκτήρες ακτίνας καμπυλότητας** (σχ. 2.7θ). Με αυτούς ελέγχομε κυρτές και κοίλες επιφάνειες. Τους συναντούμε στο εμπόριο ως μεμονωμένες λεπίδες ή με τη μορφή ριπιδίου, με ορισμένο αριθμό λεπίδων (π.χ. 15) και περιοχή ακτίνων καμπυλότητας [π.χ. από 1/32" έως 1/4", (σχ. 2.7θ)].

ε) Οι **μετρητικές λεπίδες** (φίλλερ), (σχ. 2.7ι). Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο λεπτών ανοιγμάτων (π.χ. το διάκενο των ελαστηρίων εμβόλων, το διάκενο μεταξύ στελέχους βαλβίδας και ωστηρίου στις μηχανές εσωτερικής καύσεως κλπ.). Διατίθενται στο εμπόριο σε σειρές από λεπτές χαλύβδινες λεπίδες σε μεταβαλλόμενα



**Σχ. 2.70.**  
Ο ελεγκτήρας ακτίνας κάμπυλότητας.



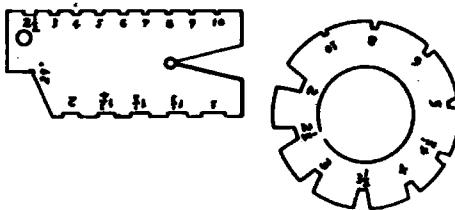
**Σχ. 2.71.**  
Οι μετρητικές λεπίδες ή λαμάκια -φίλλερ- και ο τρόπος χρήσεώς τους.

πάχη (π.χ. σε 20 λεπίδες με πάχη από 0,05 mm μέχρι 1 mm). Κυκλοφορούν όμως και σε απλές λεπίδες. Είναι δυνατό να συνθέτομε και πάχη, που δεν δίνονται από τις μετρητικές λεπίδες της σειράς, με συνδυασμούς από τις λεπίδες αυτές.

στ) Οι ελεγκτήρες για εργαλεία σπειροτομήσεως (σχ. 2.71α). Είναι ελεγκτήρες μορφής, με τους οποίους ελέγχομε τα εργαλεία για κατασκευή προτυποποιημένων σπειρωμάτων στον τόρνο.

#### 2.7.4 Ερωτήσεις.

1. Σε τι χρησιμεύουν οι ελεγκτήρες ορίου;
2. Ποια είναι η αρχή εργασίας των ελεγκτήρων ορίου;
3. Ποια είναι η διάσταση ΠΕΡΝΑ και ΔΕΝ ΠΕΡΝΑ ενός ελεγκτήρα για τον άξονα και για το τρύμα;



Σχ. 2.7α.

Ο έλεγκτήρας εργαλείων σπειροτομήσεως. Οι αριθμοί παριστάνουν το βήμα του σπειρώματος σε σπειρώματα ανά ίντσα.

4. Γιατί η διάσταση ΠΕΡΝΑ ενός τρύματος είναι η ελάχιστη οριακή διάσταση του τρύματος  $B_{\epsilon}$ ;
5. Πόσων ειδών ελεγκτήρες ορίου έχουμε και σε ποιες μορφές συνήθως συναντούμε το κάθε έιδος;
6. Από τι υλικό κατασκευάζονται οι ελεγκτήρες και ποιες θα πρέπει να είναι οι χαρακτηριστικές τους ιδιότητες;
7. Να δώσετε τρεις χρήσιμες συμβουλές για την εκτέλεση του ελέγχου με ελεγκτήρες ορίου.
8. Να αναφέρετε τρεις, όποιους θέλετε, από τους απλούς ειδικούς ελεγκτήρες και να δώσετε στοιχεία για τις εφαρμογές τους.

## 2.8 Έλεγχος και μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας.

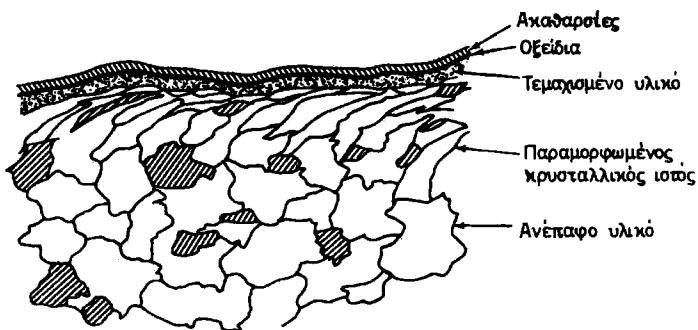
### 2.8.1 Γενικά.

Στις ποικίλες μηχανουργικές κατασκευές συναντάμε συχνά μεταλλικές επιφάνειες (τις ονομάζομε **τεχνικές επιφάνειες**) που συνεργάζονται, όπως π.χ. σε μία άτρακτο με τα έδρανά της, στο εργαλειοφορείο με τους ολισθητήρες μιας εργαλειομηχανής, στα ελατήρια του εμβόλου με τον κύλινδρο σε μία μηχανή εσωτερικής καύσεως κ.ά. Η **ποιότητα** των επιφανειών αυτών συντείνει αποφασιστικά στην αποδοτική λειτουργία και στην ασφάλεια εργασίας των συναφών κομματιών.

Λέγοντας ποιότητα επιφάνειας εννοούμε στο σύνολό τους, τόσο τα γεωμετρικά όσο και τα φυσικά, χημικά και κρυσταλλογραφικά χαρακτηριστικά μιας οποιασδήποτε **κατεργασμένης επιφάνειας**. Κατεργασμένη επιφάνεια είναι εκείνη, που σχηματίζεται από το κοπτικό εργαλείο με κάποια από τις γνωστές μας κατεργασίες κοπής (παράγρ. 4.1) ή κατεργασίες διαμορφώσεως (Μ.Ε. σελ. 222, σχ. 17.1, παράγρ. 18.1).

Η ποιότητα μιας κατεργασμένης επιφάνειας εξαρτάται από την κατεργασία, από την οποία πρόερχεται. Η κατεργασία δεν προσδίδει μόνο τη χαρακτηριστική γεωμετρική μορφή στην επιφάνεια, αλλά επιδρά και στην επιφανειακή στοιβάδα προξενώντας διάφορες αλλαγές στο υλικό, τις οποίες μπορούμε να αποδώσουμε σε μηχανικές επιδράσεις, σε χημικές αντιδράσεις ή σε κρυσταλλογραφικούς μετασχηματισμούς. Στο σχήμα 2.8α εικονίζεται κάθετη τομή μιας κατεργασμένης με κοπή επιφάνειας, όπου η επιρροή της κατεργασίας, πέρα από τη γεωμετρική μορφή της επιφάνειας, παρουσιάζεται εμφανής στο υλικό με τη δημιουργία επαλλήλων κατά βάθος διαφορετικής φύσεως στρωμάτων.

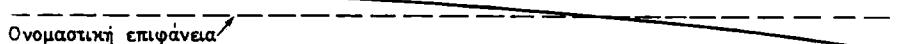
Η **τραχύτητα επιφάνειας**, με την οποία θα ασχοληθούμε εδώ, ανήκει στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τεχνικής επιφάνειας.



**Σχ. 2.8α.**  
Κάθετη τομή μιας κατέργασμένης με κοπή επιφάνειας.

Μια κατέργασμένη επιφάνεια παρουσιάζει γενικά αποκλίσεις από τη θεωρητική μορφή της (ή από τη λεγόμενη **ονομαστική επιφάνεια**, της οποίας η μορφή και οι διαστάσεις δίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο του κομματιού), οι οποίες μπορούν να καταταγούν στις κατηγορίες, που φαίνονται στο σχήμα 2.8β. Εδώ ως ονο-

Αποκλίσεις πρώτης τάξεως ή αποκλίσεις μορφής:



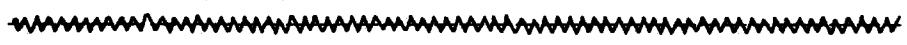
Αποκλίσεις δεύτερης τάξεως:



Αποκλίσεις τρίτης τάξεως:



Αποκλίσεις τέταρτης τάξεως:



Κατέργασμένη επιφάνεια (Υπέρθεση των αποκλίσεων πρώτης μέχρι τεταρτης τάξεως)



**Σχ. 2.8β.**  
Κατηγορίες αποκλίσεων μιας κατέργασμένης επιφάνειας από την ονομαστική επιφάνεια.

μαστική επιφάνεια θεωρείται η επίπεδη επιφάνεια, τα ίδια όμως ισχύουν και για άλλες μορφές επιφάνειας από αυτές, που απαντούμε στις μηχανουργικές κατασκευές.

Θα έχομε έτσι:

— **Αποκλίσεις πρώτης τάξεως.** Είναι μακρογεωμετρικές αποκλίσεις από την ονομαστική επιφάνεια (πχ. αποκλίσεις από επιπεδότητα, παραλληλότητα, καθετότητα, κυλινδρικότητα κλπ). Τις ονομάζομε και **αποκλίσεις μορφής**. Οφείλονται σε σφάλματα στούς ολισθητήρες της εργαλειομηχανής, σε σοβαρές παραμορφώσεις της εργαλειομηχανής, του εργαλείου ή του κομματιού, σε κακή στήριξη του κομματιού ή του εργαλείου κλπ.

— **Αποκλίσεις δεύτερης τάξεως.** Αναφέρονται στις κυματώσεις της επιφάνειας με μεγάλη σχετικά περίοδο, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε εκκεντρότητα του κομματιού ή του εργαλείου, σε ταλαντώσεις κλπ.

— **Αποκλίσεις τρίτης τάξεως.** Είναι ανωμαλίες της επιφάνειας μορφή αυλακώσεων, που οφείλονται στη μορφή των εργαλείων και στην κινηματική των κατεργασιών.

— **Αποκλίσεις τέταρτης τάξεως.** Είναι μικρογεωμετρικές ανωμαλίες της επιφάνειας, οι οποίες οφείλονται σε ατέλειες στην τρόχιση του εργαλείου, στη φθορά του εργαλείου, στην ψευδόκωψη κ.ά.

— **Αποκλίσεις πέμπτης και ανώτερης τάξεως.** Είναι ανωμαλίες της επιφάνειας, μικρογεωμετρικής βέβαια μορφής, τις οποίες μπορούμε να αποδώσουμε σε χημικές επιδράσεις, σε μεταβολές στον κρυσταλλικό ιστό του μετάλλου και σε άλλες αιτίες.

**Οι αποκλίσεις τρίτης και ανώτερης τάξεως, αναφερόμενες στη μικρομορφή της επιφάνειας, συνιστούν δ, π ονομάζομε «τραχύτητα επιφάνειας».**

Τις απαιτήσεις των συγχρόνων μηχανουργικών κατασκευών σε δ, τι αφορά την τραχύτητα συναρμοζόμενων επιφανειών είναι δυνατό να τις συνοψίσουμε στα παρακάτω τρία σημεία:

α) Στον προσδιορισμό του βαθμού της τραχύτητας επιφάνειας, που απαιτείται για κάθε δοσμένη εφαρμογή.

β) Στη γνώση του βαθμού της τραχύτητας, τον οποίο μπορούν να αποδώσουν, με συμφέρον κόστος, οι χρησιμοποιούμενες στην πράξη κατεργασίες κοπής (ή διαμορφώσεως).

γ) Στην προτυποποίηση χαρακτηριστικών μεγεθών της τραχύτητας, όπως και μεθόδων και συναφών οργάνων για τη μέτρηση ή τον έλεγχο των μεγεθών αυτών. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι η μηχανουργική παραγωγή έχει ανάγκη απλών και φθηνών οργάνων μετρήσεως. Αυτό όμως δυστυχώς δεν έχει μέχρι τώρα επιτευχθεί [παράγρ. 2.8.3(Α)].

Η τραχύτητα των τεχνικών επιφανειών ασκεί επίδραση:

Στις συνθήκες επαφής ανάμεσα σε συναρμοζόμενες επιφάνειες (συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικά λιπάνσεως, φθορά κλπ.).

- Στην αντοχή σε κόπωση των μετάλλων.
- Στην κατάσταση ροής ρευστών κατά μήκος τοιχωμάτων.
- Στους συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας.
- Στην αντίσταση σε διάβρωση.
- Στην εμφάνιση κλπ.

## 2.8.2 Προτυποποίηση της τραχύτητας επιφάνειας.

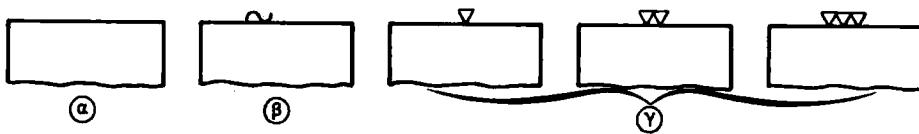
### A. Τα συστήματα προτυποποίησεως.

#### 1. Το απλό σύστημα με αναστραμμένα τρίγωνα (ν).

Είναι το πρώτο σύστημα προτυποποίησεως της τραχύτητας επιφάνειας, που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη. Σήμερα χρησιμοποιείται ακόμα σε μερικές χώρες, ανάμεσα στις οποίες συγκαταλέγεται και η Ελλάδα.

Κατά το σύστημα αυτό (DIN 140, φύλλο 2 του έτους 1931) στο κατασκευαστικό σχέδιο, και συγκεκριμένα στις επιφάνειες, για τις οποίες επιθυμούμε χαρακτηρισμό του βαθμού της τραχύτητάς τους, αναγράφομε μόνο το γνωστό μας συμβολισμό με τα αναστραμμένα τρίγωνα (ν, νν, ννν, σχ. 2.8γ), χωρίς να προβλέπεται οποιοδήποτε τρόπος μετρήσεως της τραχύτητας.

Με νεώτερη προδιαγραφή (DIN 3141 του έτους 1960) ο συμβολισμός των αναστραμμένων τριγώνων συσχετίζεται με το αντίστοιχο επιτρεπόμενο μέγιστο ύψος της τραχύτητας, όπως θα δούμε στην παράγραφο 2.8.2 (B)(3).



Σχ. 2.8γ.

Συμβολισμός της τραχύτητας επιφάνειας με τα αναστραμμένα τρίγωνα: (α) Επιφάνεια που δεν έχει κατεργασθεί με κοπή. Παραμένει χωρίς σύμβολο τραχύτητας. (β) Επιφάνεια, όπως η προηγούμενη, αλλά κατεργασμένη πιο επιμελημένα. (γ) Επιφάνειες κατεργασμένες με κοπή και με τραχύτητα επιφάνειας, που καλυτερεύει καθώς πηγαίνουμε από το σύμβολο ν στο νννν.

#### 2. Το σύστημα Κεντρικής Γραμμής ή σύστημα «M».

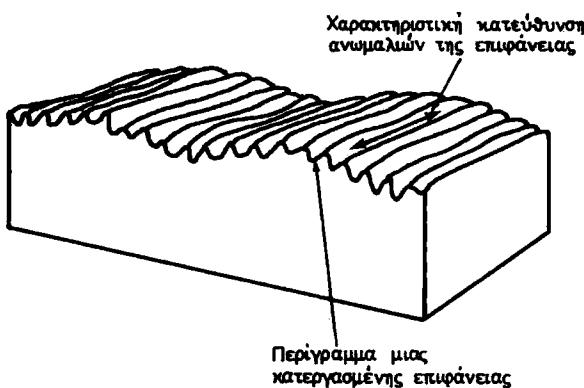
Πριν να μιλήσουμε για το σύστημα αυτό, όπως και για το επόμενο, θεωρούμε σκόπιμο να δώσουμε τους εξής τρεις ορισμούς:

**— Περίγραμμα επιφάνειας.** Είναι η μορφή, την οποία μας παρουσιάζει μια καθορισμένη τομή της θεωρούμενης επιφάνειας με ένα κάθετο προς αυτήν επίπεδο.

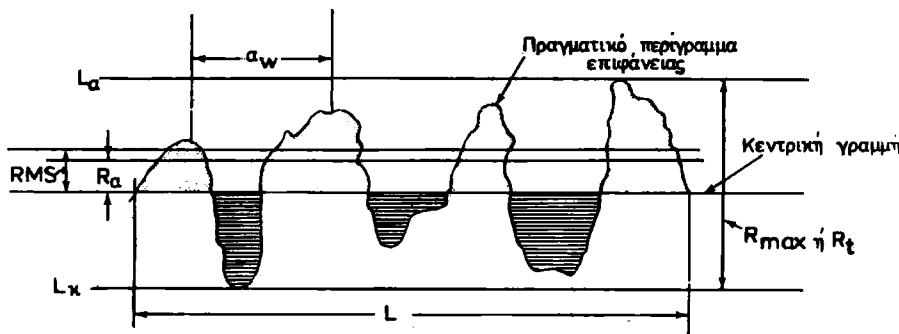
**— Ονομαστικό περίγραμμα επιφάνειας.** Είναι το θεωρητικό περίγραμμα της επιφάνειας χωρίς τις διάφορες ανωμαλίες (μακρογεωμετρικές ή μικρογεωμετρικές, παράγρ. 2.8.1).

**— Πραγματικό περίγραμμα επιφάνειας** (σχ. 2.8ε). Είναι η παράσταση του περιγράμματος της κατεργασμένης επιφάνειας, όπως μας το αποδίδουν διάφορα όργανα [π.χ. το καταγραφικό ενός τραχυμέτρου με στυλίσκο, παράγρ. 2.8.3(B)].

Και τα δύο, δηλαδή το πραγματικό και το ονομαστικό περίγραμμα, τα παίρνουμε σε επίπεδο κάθετο προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ανωμαλιών της επιφάνειας (σχ. 2.8δ). Οι ανωμαλίες αυτές, για τις κατεργασίες κοπής, είναι τα ίχνη του κοπτικού εργαλείου επάνω στην κατεργασμένη επιφάνεια. Το πραγματικό (και το ονομαστικό) π.χ. περίγραμμα μιας κυλινδρικής επιφάνειας κατεργασμένης με



Σχ. 2.8δ.  
Η υφή μιας επιφάνειας κατεργασμένης με κοπή.



Σχ. 2.8ε.  
Χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας επιφάνειας κατά το σύστημα Κεντρικής Γραμμής (M).

τόρνευση λαμβάνεται σε ένα επίπεδο, που να περιέχει τον άξονα του κομματιού.

Παρακάτω θα μιλήσουμε για το σύστημα Κεντρικής Γραμμής και θα ορίσουμε τα σχετικά βασικά μεγέθη της τραχύτητας επιφάνειας.

Κατά το σύστημα αυτό σύρομε (σχ. 2.8ε) στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας την καλούμενη **κεντρική γραμμή** έτσι, ώστε η γραμμή αυτή να ισομοιράζει τα επάνω και κάτω της εμβαδά (τα περιεχόμενα ανάμεσα στο πραγματικό περίγραμμα και στην κεντρική γραμμή), μέσα όμως σε καθορισμένο μήκος  $L$ , το οποίο καλούμε **δειγματοληπτικό μήκος**. Η κεντρική αυτή γραμμή, στα τραχύμετρα με στυλίσκο, που μετρούν την τραχύτητα σύμφωνα με το σύστημα τούτο, υλοποιείται μηχανικά με ένα ειδικό πέδιλο [σχ. 2.8ιδ(α)].

Παράλληλα τώρα προς την κεντρική γραμμή, φέρονται δύο ευθείες αναφοράς, από τις οποίες η ανώτερη  $L_a$  εφάπτεται στην ψηλότερη μέσα στο δειγματοληπτικό μήκος κορυφή, ενώ η κατώτερη  $L_k$  εφάπτεται στη βαθύτερη εσοχή.

Για να καθορισθεί με πληρότητα η γέωμετρική μορφή μιας επιφάνειας, όπως μας την παρουσιάζει το πραγματικό περίγραμμά της, χρειάζονται πολλά μεγέθη,

που μπορούν να μετρηθούν είτε κατά βάθος, δηλαδή κάθετα προς την κεντρική γραμμή, είτε κατά μήκος της, όπως και διάφοροι δείκτες, οι οποίοι δίνονται ως λάγοι τέτοιων μεγεθών. Μάλιστα, σύμφωνα με ισχύουσες προδιαγραφές τραχύτητας επιφάνειας, προβλέπεται πληθώρα από τέτοια μεγέθη και δείκτες. Αυτό όμως περιπλέκει και δυσκολεύει τις μετρήσεις στην παραγωγή και ακόμα τα κατάλληλα για μετρήσεις πολλών τέτοιων χαρακτηριστικών στοιχείων της τραχύτητας όργανα είναι πανάκριβα. Έτσι για πρακτικούς λόγους έχουν επιλεγεί ένα ή δύο βασικά μεγέθη της τραχύτητας, όπως θα δούμε αρέσως παρακάτω, τα οποία, συνδυαζόμενα και με το είδος της κατεργασίας από την οποία προέρχεται η επιφάνεια, θεωρούνται ικανοποιητικά στην πράξη για το χαρακτηρισμό της τραχύτητας τεχνικών επιφανειών.

Τέτοια βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας στο σύστημα Κεντρικής Γραμμής είναι:

**α) Το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$** , που ορίζεται από την αριθμητική μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων του πραγματικού περιγράμματος από την κεντρική γραμμή μέσα στο καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος (όλες οι αποκλίσεις παίρνονται θετικές).

Θά δούμε, όταν μιλήσομε για τα ταχύμετρα που μετρούν βάσει του συστήματος αυτού, ότι το μέσο ύψος  $R_a$  δίνεται κατ' ευθείαν από το όργανο σε ενδεικτική πλάκα.

**β) Το μέγιστο ύψος της τραχύτητας  $R_{max}$  ή  $R_t$ .** Ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ των γραμμών αναφοράς  $L_a$  και  $L_k$  στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας μέσα πάλι στο εκλεγμένο δειγματοληπτικό μήκος. Είναι ένα μέγεθος της τραχύτητας, που έχει φυσική έννοια, γιατί μπορεί να γίνει άμεσα αντιληπτό με την δραση ή την αφή.

**γ) Το ενδεικνύμενο ύψος της τραχύτητας RMS** (από τα αρχικά των λέξεων Root Mean Square), που ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των αποκλίσεων όλων των σημείων του πραγματικού περιγράμματος από την κεντρική γραμμή.

Η τιμή αυτή της τραχύτητας ίσχυε στις ΗΠΑ μέχρι το έτος 1955, οπότε αντικαταστάθηκε από το μέσο ύψος της  $R_a$ .

Η τιμή RMS προκύπτει συνήθως κατά 10% περίπου μεγαλύτερη από το μέσο ύψος  $R_a$ .

### 3. Το σύστημα περιβάλλουσας ή σύστημα «Ε».

Κατά το σύστημα αυτό, τα χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας ορίζονται με βάση την περιβάλλουσα του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας, όπως θα εξηγήσουμε ευθύς αρέσως.

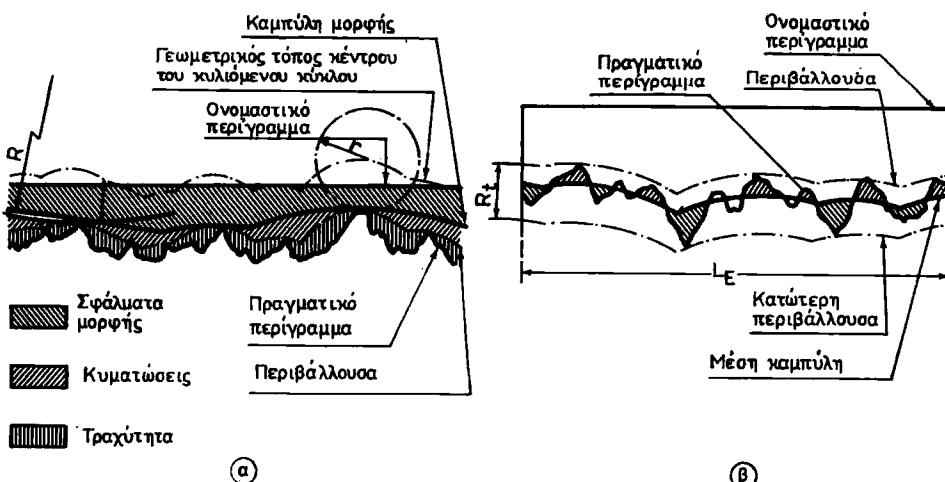
Ένας κύκλος [σχ. 2.8στ(α)] με ακτίνα  $R = 250$  mm κυλίεται επάνω στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας με κατεύθυνση συνήθως κάθετη προς τις χαρακτηριστικές της ανωμαλίες. Ο γεωμετρικός τόπος του κέντρου του κυλίομενου αυτού κύκλου, αν μεταφερθεί παράλληλα στον εαυτό του στο επίπεδο του πραγματικού περιγράμματος, ώστε να εφάπτεται στις ψηλότερες κορυφές του περιγράμματος, αποτελεί τη λεγόμενη **καμπύλη μορφής** της επιφάνειας. Κατά τον ίδιο τρόπο, άλλος κύκλος με πολύ μικρότερη ακτίνα ( $r = 25$  mm) κυλίεται και αυτός ε-

πάνω στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας. Ο γεωμετρικός τόπος, τον οποίο διαγράφει το κέντρο του κύκλου αυτού παράλληλα μετατιθέμενος, όπως και προηγουμένως, ώστε να εφάπτεται στα ανώτερα επάρματα του περιγράμματος, μας δίνει ότι ονομάζομε **περιβάλλουσα** της επιφάνειας.

Με το σύστημα αυτό των δύο κυλιομένων κύκλων, με διαφορετικές όμως ακτίνες (ή μεγαλύτερη είναι δεκαπλάσιο της μικρότερης), μπορούμε εύκολα να διαχωρίσουμε τις διάφορες αποκλίσεις της πραγματικής επιφάνειας από την ονομαστική επιφάνεια (σχ. 2.8α). Έτσι λοιπόν [σχ. 2.8στ(α)] ανάμεσα στο ονομαστικό περίγραμμα και στην καμπύλη μορφής της επιφάνειας διακρίνομε σφάλμα μορφής (αποκλίσεις πρώτης τάξεως) μεταξύ καμπύλης μορφής και περιβάλλουσας κείνται κυματώσεις (αποκλίσεις δεύτερης τάξεως), ενώ ανάμεσα στην περιβάλλουσα και στο πραγματικό περίγραμμα συναντούμε την τραχύτητα (αποκλίσεις τρίτης και ανώτερης τάξεως).

Εάν τώρα η περιβάλλουσα μετατεθεί παράλληλα προς τον εαυτό της, στο επίπεδο του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας, είναι δυνατό να πάρει τη θέση της **μέσης καμπύλης** [σχ. 2.8στ(β)]. Η θέση αυτή καθορίζεται, όπως και η θέση της κεντρικής γραμμής [παράγρ. 2.8.2(Α)(2)], με βάση την ισότητα των επάνω και κάτω από τη μέση καμπύλη και μέχρι το πραγματικό περίγραμμα εμβαδών, μέσα σε καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος  $L_E$ . Με προς τα κάτω ακόμα παράλληλη μετάθεση της περιβάλλουσας, ώστε αυτή να εφάπτεται στις βαθύτερες εσοχές του περιγράμματος, λαμβάνομε την καλούμενη **κατώτερη περιβάλλουσα**.

Και κατά το σύστημα περιβάλλουσας μπορούμε να ορίσουμε χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας παρόμοια με εκείνα, που ορίσαμε σύμφωνα με το σύστημα Κεντρικής Γραμμής αντιστοιχίζοντας τη μέση καμπύλη, την περιβάλλουσα και την κατώτερη περιβάλλουσα του συστήματος «Ε» με την κεντρική γραμμή, την ανώτερη και την κατώτερη γραμμή αναφοράς [σχ. 2.8στ(β), 2.8ε] του συστήματος «Μ».



Σχ. 2.8στ.

Χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας επιφάνειας κατά το σύστημα περιβάλλουσας (Ε).

**B. Βασικές εθνικές προδιαγραφές για την τραχύτητα επιφάνειας.**

**1. Η βρετανική προδιαγραφή BS 1134:1961.**

Βασίζεται στο σύστημα «M» και προτυποποιεί ένα μόνο μέγεθος της τραχύτητας, το μέσο της ύψος  $R_a$  [παράγρ. 2.8.2(A) (2)] ή την τιμή CLA (από τα αρχικά των λέξεων Centre Line Average, που σημαίνουν «μέσος κεντρικής γραμμής»), που μετρείται σε μικροίντσες (μ"). Είναι μια πολύ απλή και πρακτική προδιαγραφή.

Οι προτυποποιούμενες τιμές του μέσου ύψους της τραχύτητας κυμαίνονται από  $1\mu"$  έως  $1000\mu"$  με τις ακόλουθες διαβαθμίσεις:

1, 2, 4, 8, 16, 32, 63, 125, 250, 500 καί 1000

Η μέτρηση της τραχύτητας προβλέπεται να γίνεται με τη βοήθεια τραχυμέτρου με στυλίσκο [παράγρ. 2.8.3(B)] και γι' αυτό η προδιαγραφή αυτή προτυποποιεί τις ακόλουθες τιμές του μήκους κύματος αποκοπής του οργάνου:

0,003 0,01 0,03 0,10 0,30 1,00 [ $\mu"$ ]

Η τιμή  $0,03\mu"$  του μήκους κύματος αποκοπής συνιστάται για μετρήσεις σε σχετικά λείες επιφάνειες.

Η τραχύτητα επιφάνειας συμβολίζεται στα κατασκευαστικά σχέδια όμφωνα με την προδιαγραφή BS 1134 ως εξής:



Στο σύμβολο αναγράφονται βασικά το μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$  (π.χ.  $16\mu"$ ), η τιμή του μήκους κύματος αποκοπής που συνιστάται (π.χ.  $0,03\mu"$ ) και το αρχικό γράμμα της κατεργασίας (π.χ. G για τη λείανση από το Grinding, T για την τόρνευση από το Turning κλπ), η οποία ενδείκνυται κατά περίπτωση.

Για το συμβολισμό της τραχύτητας σε άλλες περιπτώσεις, εκτός από το μηχανολογικό σχέδιο (π.χ. στις προδιαγραφές), το πρότυπο αυτό προβλέπει τους παρακάτω τρόπους, που ο καθένας τους παρέχεται με ένα αντίστοιχο παράδειγμα:

α) 16CLA: Η επιφάνεια με μέσο ύψος της τραχύτητας μικρότερο ή ίσο προς  $16\mu"$  είναι παραδεκτή.

β) 8CLA ή 8-16CLA: Το μέσο ύψος της ταχύτητας θα πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα σε  $8\mu"$  και  $16\mu"$ .

γ) 8CLA (0,01): Όπως στο (α), με την ένδειξη όμως ότι ο αριθμός μέσα στην παρένθεση δηλώνει τη συνιστώμενη τιμή του μήκους κύματος αποκοπής του τραχυμέτρου, με το οποίο θα γίνει η μέτρηση, αν είναι διαφορετική από την τιμή  $0,03\mu"$ . Στην περίπτωση που η τιμή αυτή είναι  $0,03\mu"$  παραλείπεται.

**2. Το αμερικανικό πρότυπο ASA B46.1-1962 ASA από τα αρχικά των λέξεων American Standards Association.**

Προσπάθειες για την προτυποποίηση της τραχύτητας επιφάνειας στις ΗΠΑ άρχισαν από το 1932 και από τότε δημοσιεύθηκαν σχετικές προδιαγραφές κατά τα έτη 1940, 1947, 1952, 1955 με τελευταία προδιαγραφή την B46.1 του 1962.

Το τελευταίο αυτό αμερικανικό πρότυπο για την τραχύτητα επιφάνειας είναι ένα ενοποιημένο Αμερικανικό - Βρεταννικό - Καναδικό πρότυπο, που αντιστοιχεί στο Βρεταννικό BS 1134 και στο καναδικό CSA B95-1962. CSA από τα αρχικά των λέξεων Canadian Standards Association.

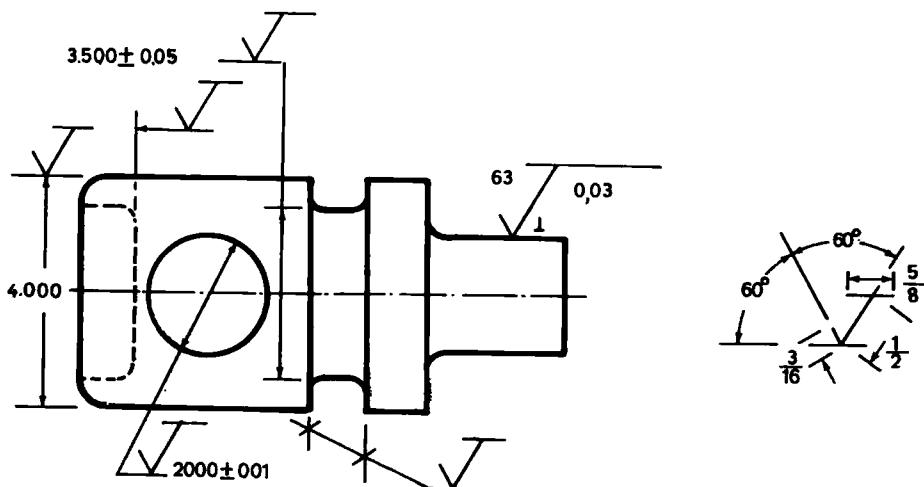
Και το πρότυπο αυτό, όπως και το βρεταννικό, που προηγουμένως αναπτύξαμε, βασίζεται στο σύτημα Κεντρικής Γραμμής. Υιοθετεί το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$ , το οποίο συμβολίζει ως AA (από τα αρχικά των λέξεων Arithmetic Average, που σημαίνει «αριθμητικός μέσος»).

Προβλέπει τις ακόλουθες τιμές του μέσου ύψους της τραχύτητας σε μικροίντοσες ( $\mu$ ):

	5	20	80	320
	6	25	100	400
1	<u>8</u>	<u>32</u>	<u>125</u>	<u>500</u>
2	10	40	160	600
3	13	50	200	800
4	<u>16</u>	<u>63</u>	<u>250</u>	<u>1000</u>

Οι προδιαγραφόμενες τιμές για το μήκος κύματος αποκοπής συμπίπτουν με εκείνες, που προβλέπονται από τη βρεταννική προδιαγραφή.

Η παράσταση της τραχύτητας επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο γίνεται με το σύμβολο  $\sqrt{\phantom{x}}$ , που μπορούμε να το σχεδιάσουμε είτε επάνω στη γραμμή, η οποία παριστάνει τη θεωρούμενη επιφάνεια στο σχέδιο (σχ. 2.8ζ) είτε έξω από τη γραμ-



Σχ. 2.8ζ

Συμβολισμός της τραχύτητας επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο σύμφωνα με την αμερικανική προδιαγραφή ASA B46.1-1962.

μη, σε συνδυασμό όμως πάντοτε με κάποιο βέλος που να τη δείχνει.

Στο σχήμα 2.8η παραθέτομε μερικά παραδείγματα σχετικά με το συμβολισμό της τραχύτητας στα μηχανολογικά σχέδια, σύμφωνα με την εξεταζόμενη αμερικανική προδιαγραφή.

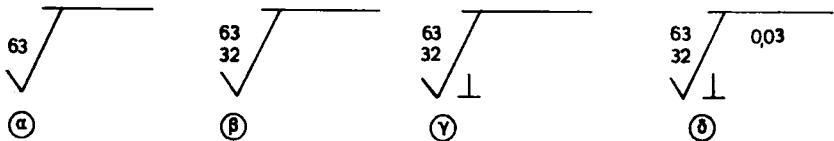
Παρακάτω δίνομε χρήσιμες επεξηγήσεις για τους συμβολισμούς αυτούς της τραχύτητας.

α) Αναγράφομε το τυποποιημένο μέσο ύψος της τραχύτητας. Κάθε τιμή ίση με αυτό ή μικρότερή του είναι παραδεκτή.

β) Το επιθυμητό μέσο ύψος της τραχύτητας είναι δυνατό να κυμαίνεται ανάμεσα στα αναγραφόμενα όρια (ανώτερο και κατώτερο).

γ) Όπως στο (β) με την προσθήκη του συμβόλου  $\perp$ , που σημαίνει ότι η μέτρηση πρέπει να γίνει κάθετα προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ανωμαλιών της κατεργασμένης επιφάνειας (για μέτρηση παράλληλη προς εκείνη των χαρακτηριστικών ανωμαλιών χρησιμοποιείται το σύμβολο II).

δ) Όπως στο (γ) με επιπρόσθετη αναγραφή του μήκους κύματος αποκοπής (0,03").



Σχ. 2.8η.

Μερικά παραδείγματα συμβολισμού της τραχύτητας επιφάνειας κατά το αμερικανικό σύστημα.

Έτσι μπορούμε να πούμε ότι ο συμβολισμός για την τελευταία περίπτωση, δηλαδή τη (δ), μας λέγει τα εξής:

Το μέσο ύψος της τραχύτητας, που θα πρέπει να μετρηθεί κάθετα προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ανωμαλιών της επιφάνειας με τη βοήθεια τραχυμέτρου με στυλίσκο (κατά το σύστημα «M») ρυθμισμένου σε μήκος κύματος αποκοπής 0,03", οφείλει να κυμαίνεται μέσα στην περιοχή από 32μ" μέχρι 33μ".

### 3. Οι γερμανικές προδιαγραφές.

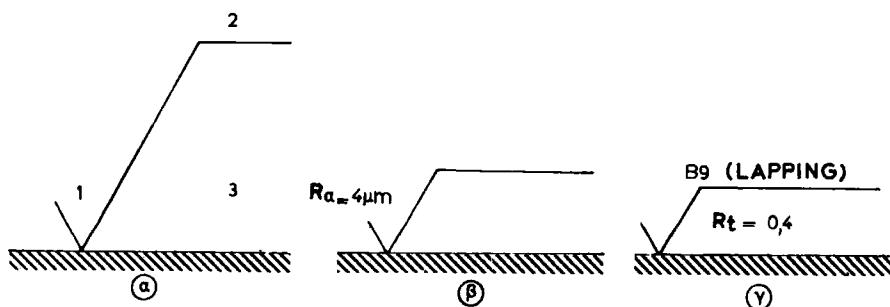
Η προδιαγραφή DIN 4760 (του 1960) αναφέρεται σε θεμελιώδεις ορισμούς σχετικά με τη γεωμετρία της κατεργασμένης επιφάνειας και η προδιαγραφή DIN 4762 (του 1960) εισάγει το σύστημα περιβάλλουσας και δίνει ορισμούς για χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας επιφάνειας.

Το πρότυπο DIN 4763 προτυποποιεί τιμές για το μέγιστο ύψος της τραχύτητας  $R_t$  [σχ. 2.8στ(β)] από 0,04μm έως 2500 μm και για το μέσο της ύψος  $R_a$  από 0,05 μm μέχρι 250μm. Οι προβλεπόμενες αυτές τιμές για την  $R_t$  και  $R_a$  ακολουθούν γεωμετρική πρόοδο με λόγο 1,6.

Σχετικά με την παράσταση της τραχύτητας επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο, από το ένα μέρος το DIN 3141 χρησιμοποιεί τα γνωστά αναστραμμένα τρίγωνα [παράγρ. 2.8.2A)(1)] συσχετίζοντάς τα όμως με το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος της τραχύτητας  $R_t$  (για τέσσερις σειρές βαθμού τραχύτητας, Πίνακας 2.8.1) και από το άλλο σύμφωνα με το DIN 3142 προβλέπεται το σύμβολο που βλέπομε στο σχήμα 2.8θ.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8.1.****Συμβολισμός της τραχύτητας επιφάνειας σύμφωνα με το DIN 3141**

Συμβολισμός	Επιτρεπόμενη μέγιστη τιμή της τραχύτητας $R_t$ σε μμ			
	Σειρά 1	Σειρά 2	Σειρά 3	Σειρά 4
	160	100	63	25
	40	25	16	10
	16	6,3	4	2,5
	—	1	1	0,4

**Σχ. 2.8.6.**

Συμβολισμός της τραχύτητας επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο κατά τη γερμανική προδιαγραφή DIN 3142: (a) 1. Αναγράφεται το μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο ύψος της τραχύτητας. 2. Ανάφέρεται το είδος της κατεργασίας. 3. Παρατίθεται οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος της τραχύτητας κατά περίπτωση. (b) Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της τραχύτητας είναι 4 μμ. (c) Επιφάνεια κατεργασμένη με λάππιγκ (είναι μία κατεργασία συναφής με τη λείανση, που δίνει όμως μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη τραχύτητα επιφάνειας) με επιτρεπόμενο μέγιστο ύψος τραχύτητας 0,4 μμ.

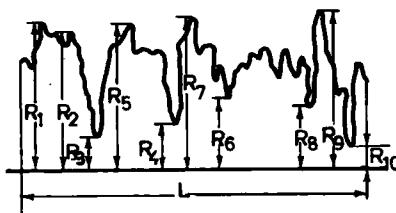
**4. Η προδιαγραφή του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησεως ISO/R468.**

Με την προδιαγραφή αυτή του ISO υιοθετείται για την προτυποποίηση της τραχύτητας επιφάνειας το σύστημα Κεντρικής Γραμμής. Ως μεγέθη μετρήσεως της τραχύτητας προβλέπονται:

- α) Το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$  απαράλλακτο με τις τιμές CLA (βρεταννική προτυποποίηση) και AA (αμερικανική προτυποποίηση).
- β) Το μέγιστο ύψος της τραχύτητας  $R_{max}$  [παράγρ. 2.8.1 (Α) (2)] και γ) το με τη βοήθεια δέκα σημείων υπολογιζόμενο ύψος τραχύτητας  $R_z$  (σχ. 2.8ι) σύμφωνα με τη σχέση:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5}$$

Το ύψος δηλαδή αυτό της τραχύτητας δίνεται ως η μέση διαφορά ανάμεσα στις αποστάσεις των πέντε υψηλοτέρων κορυφών και των πέντε βαθυτέρων εσοχών του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας (μέσα πάντοτε στο καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος) από μια γραμμή αναφοράς παράλληλη προς την κεντρική γραμμή του περιγράμματος.



Σχ. 2.8ι.

Στοιχεία για τον προσδιορισμό του ύψους  $R_z$  της τραχύτητας σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/R468.

Για το  $R_a$  προβλέπονται τιμές στην περιοχή από 0,008μμ μέχρι 100μμ και για το  $R_z$  οι προτυποποιούμενες τιμές κυμαίνονται από 0,040μμ έως 400μμ με λόγο γεωμετρικής πρόσδοσης 1,25, ο οποίος είναι δυνατό για εθνικά πρότυπα χωρών μελών του ISO να ληφθεί και ως 1,6.

Το μήκος κύματος αποκοπής του τραχυμέτρου λαμβάνεται ως:  
0,08 0,25 0,80 2,50 8,00 25,00 [mm].

## 5. Η ελληνική προδιαγραφή ENO/1065(1973).

Συμπίπτει με την προδιαγραφή του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποιήσεως ISO/R468.

### 2.8.3 Όργανα για τη μέτρηση και τον έλεγχο της τραχύτητας.

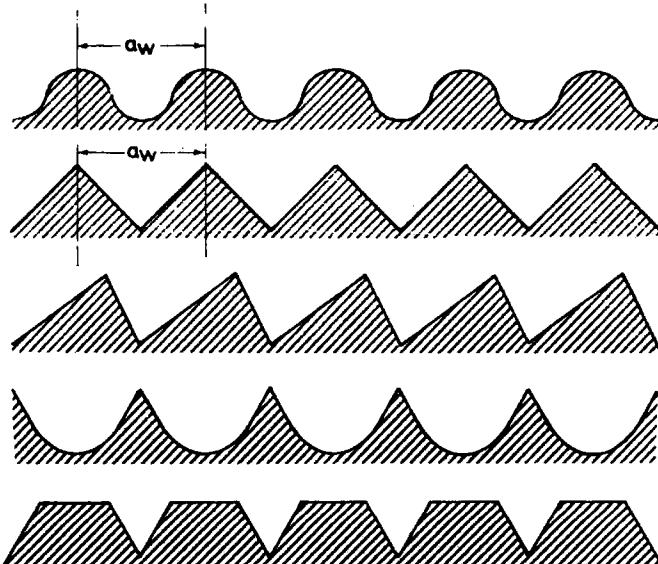
#### A. Γενικά.

Το πρόβλημα της μετρήσεως και του ελέγχου γενικά της τραχύτητας επιφάνειας, όπως το αντιμετωπίζομε σήμερα στο μηχανουργείο, στηρίζεται στις εξής δύο βασικές απαιτήσεις:

α) Στην εκλογή, αν αυτό είναι δυνατό, ενός μόνου μεγέθους της τραχύτητας, που να είναι αντιπροσωπευτικό, να είναι προτυποποιημένο και να μπορεί να μετρηθεί εύκολα και

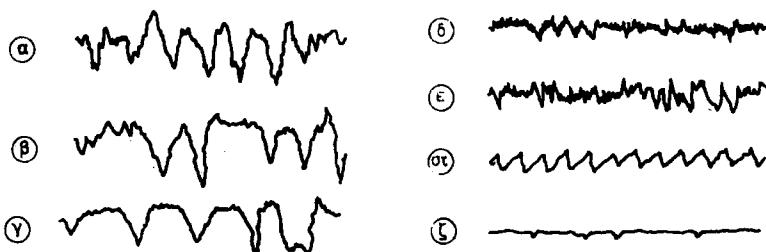
β) στο χαμηλό κόστος κτήσεως του οργάνου ή μέσου για τη μέτρηση ή τον έλεγχο της τραχύτητας και μάλιστα, αν μπορεί αυτό να γίνει, σε ύψος κόστους των συνηθισμένων οργάνων για τη μέτρηση διαστάσεων.

Και ως προς την πρώτη απαίτηση έχει γίνει παραδεκτό και έχει συμφωνηθεί πλέον, τόσο από τους ασχολούμενους με το θέμα της τραχύτητας επιστήμονες και τεχνολόγους, όσο και από Οργανισμούς Προτυποποιήσεως [παράγρ. 2.8.2(B)] ότι **το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$  είναι το ενδεδειγμένο για εκλογή χαρακτηριστικό μέγεθος, με αναφορά δύναμης απαραίτητως και του είδους της κατεργασίας κοπής, που θα χρησιμοποιηθεί για το σχηματισμό μιας επιφάνειας.** Και αυτό είναι ανάγκη να γίνει, γιατί είναι δυνατό πραγματικά περιγράμματα επιφανειών να έχουν εντελώς διαφορετική μορφή, ενώ παρουσιάζουν το ίδιο μέσο ύψος  $R_a$  και βήμα  $a_w$  τραχύτητας (σχ. 2.8ia) και πρέπει από τώρα να γνωρίσουμε οτι κάθε κατεργασία κοπής αποδίδει χαρακτηριστική μορφή επιφάνειας (σχ. 2.8ib).



Σχ. 2.8ia.

Πραγματικά περιγράμματα επιφανειών με το ίδιο μέσο ύψος και βήμα τραχύτητας έχουν διαφορετικό σχήμα.



Σχ. 2.8ib.

Μορφές πραγματικού περιγράμματος επιφανειών, που έχουν παραχθεί με διάφορες κατεργασίες κοπής: (α,β) Τελική κατεργασία με τόρνευση. (γ) Τελική κατεργασία με φραιζάρισμα. (δ) Λείανση. (ε) Γλύφανση. (στ) Τόρνευση με εργαλείο από διαμάντι. (ζ) Λάππιγκ.

Σχετικά με τη δεύτερη απαίτηση, παρατηρούμε ότι το κόστος ενός οργάνου για τη μέτρηση της τραχύτητας (όπως π.χ. ενός τραχυμέτρου με στυλίσκο) είναι πολύ ψηλό ακόμα.

Για τη μέτρηση και τον έλεγχο της τραχύτητας στην παραγωγή και στο μετρολογικό εργαστήριο χρησιμοποιούνται σήμερα ποικίλα όργανα.

Μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες: Στα όργανα για κατ' ευθεία μετρήσεις της τραχύτητας και σε όργανα (ή μέσα) για ποιοτικές συγκρίσεις.

Με τα πρώτα μετρούμε αριθμητικά ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας ή μπορούμε να πάρομε το πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας υπό μεγάλες σχετικά μεγεθύνσεις. Τα όργανα της κατηγορίας αυτής μπορούμε να τα συναντήσουμε ως μηχανικά, ως μηχανικά – ηλεκτρονικά με στυλίσκο ή ως οπτικά. Ξεχωρίζουμε εδώ τα **μηχανικά – ηλεκτρονικά όργανα με στυλίσκο** ή τραχυμέτρα με στυλίσκο, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ευρύτατη κλίμακα και με τα οποία θα ασχοληθούμε αμέσως παρακάτω.

Στα όργανα για ποιοτικές συγκρίσεις ανήκουν ορισμένα ειδικά μικροσκόπια ή και απλά μεταλλογραφικά ακόμα μικροσκόπια. Ως μέσο για ποιοτικές συγκρίσεις αναφέρομε τα πρότυπα δοκίμια συγκρίσεως, για τα οποία θα μιλήσουμε συνοπτικά στην παράγραφο 2.8.3(B).

## B. Το τραχύμετρο με στυλίσκο.

Το πιο αντιπροσωπευτικό και σύγχρονο στατικό τραχύμετρο με στυλίσκο είναι αυτό, που εικονίζεται στο σχήμα 2.8ιγ.

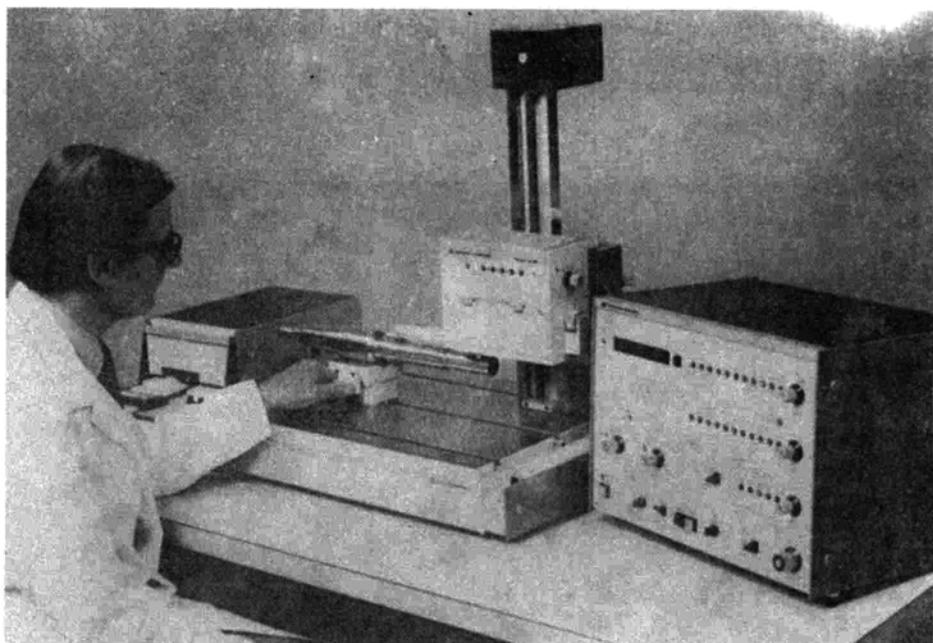
Η αρχή λειτουργίας του τραχυμέτρου αυτού είναι η ακόλουθη:

Ένας στυλίσκος A [σχ. 2.8ιδ(α)] με αδαμάντινη ακή διατρέχει με σταθερή ταχύτητα κατά ορισμένο μήκος την επιφάνεια, της οποίας θέλομε να μετρήσουμε την τραχύτητα. Οι μετακινήσεις του στυλίσκου, που προκαλούνται εξ αιτίας των ανωμαλιών της επιφάνειας, μετατρέπονται κατάλληλα (π.χ. με μετακίνηση του μοχλού του στυλίσκου μέσα στο πηνίο B) σε μεταβολές εντάσεως (ή τάσεως) ρεύματος. Οι μεταβολές αυτές ηλεκτρονικά ενισχυόμενες και καταγραφόμενες παρουσιάζονται ως αποκλίσεις του πραγματικού περιγράμματος από την κεντρική γραμμή.

Η κεντρική γραμμή στα όργανα αυτά δημιουργείται από ένα ειδικό πέδιλο Γ, το οποίο, τοποθετούμενο μπροστά από το στυλίσκο, ολισθαίνει επάνω στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της μετρήσεως.

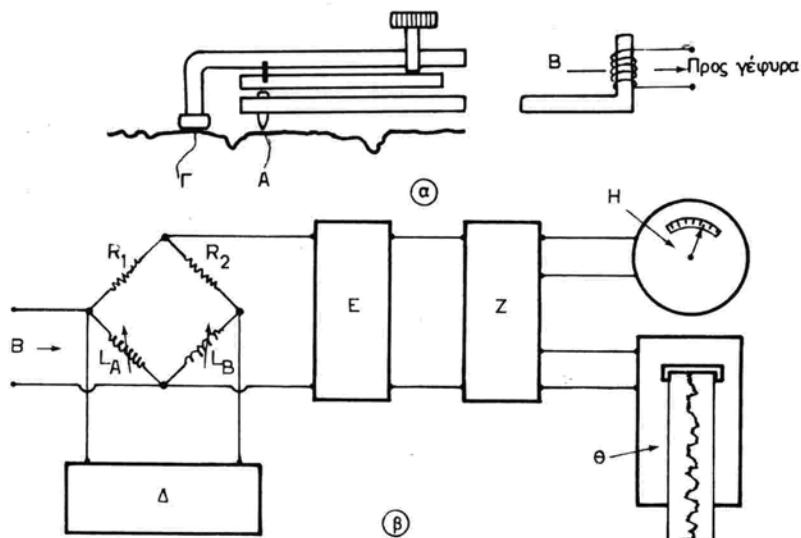
Οι μεταβολές της εντάσεως (ή τάσεως) του ρεύματος από τις μετατοπίσεις του στυλίσκου οδηγούνται σε κυκλώματα ολοκληρώσεως, των οποίων η έξοδος μας δίνει το μέσο ύψος της  $R_a$  (ή τις τιμές) LA ή AA της τραχύτητας. Η ανάγνωση των ενδείξεων της  $R_a$  γίνονται αμέσως σε μετρητικό όργανο με δείκτη.

Βασικό χαρακτηριστικό των οργάνων αυτών είναι το λεγόμενο **μήκος κύματος αποκοπής** [το έχομε αναφέρει στην παράγρ. 2.8.2(B), όπου μιλήσαμε για τις εθνικές προδιαγραφές μετρήσεως τραχύτητας]. Αυτό σημαίνει ότι το τραχύμετρο, κατά τον υπολογισμό του μέσου ύψους της τραχύτητας  $R_a$ , αποκρίνεται σε τραχύτητα με βήμα μικρότερο από το καθορισμένο για κάθε μέτρηση μήκος κύματος αποκοπής. Για να μπορούμε συνεπώς να συγκρίνουμε μεταξύ τους μετρήσεις τραχύτητας, θα πρέπει όλες να γίνονται με το τραχύμετρο ρυθμισμένο στο ίδιο μήκος κύματος αποκοπής.



Σχ. 2.8γ.

Το σύγχρονο τραχύμετρο με στυλίσκο TalySurf 5 του Εργοστασίου Taylor-Hobson. Μέτρα τα μεγέθη της τραχύτητας  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $R_z$  και πολλά άλλα. Το καταγραφικό του επιτυγχάνει κατακόρυφες μεγεθύνσεις από  $\times 100$  μέχρι  $\times 200.000$ . Η περιοχή μετρήσεως του  $R_a$  κυμαίνεται από 0,025 μμ μέχρι 50 μμ και του  $R_{max}$  και του  $R_z$  από 0,25 μμ ως 500 μμ.

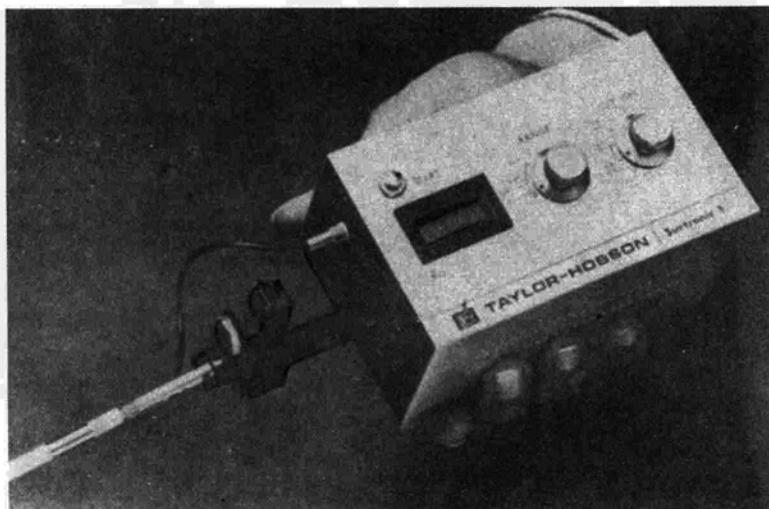


Σχ. 2.8δ.

(a) Η αρχή ενός τραχυμέτρου με στυλίσκο. (β) Μπλοκ διάγραμμα ενός τραχυμέτρου με στυλίσκο. Α στυλίσκος, Β πνίγιο, Γ πέδιλο, Δ ταλαντωτής, Ε ενισχυτής, Ζ αποδιαμορφωτής, Η όργανο μετρήσεως μέσου ύψους  $R_a$ , Θ καταγραφικό,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L_A$ ,  $L_B$ , γέφυρα.

Στο σχήμα 2.8ιδ(β) βλέπομε το «μπλοκ» διάγραμμα ενός τραχύμετρου με στυλίσκο.

Το τραχύμετρο αυτό το συναντούμε και ως φορητό για εύκολη χρήση στην παραγωγή (σχ. 2.8ιε).



**Σχ. 2.8ιε.**  
Σύγχρονο φορητό τραχύμετρο.

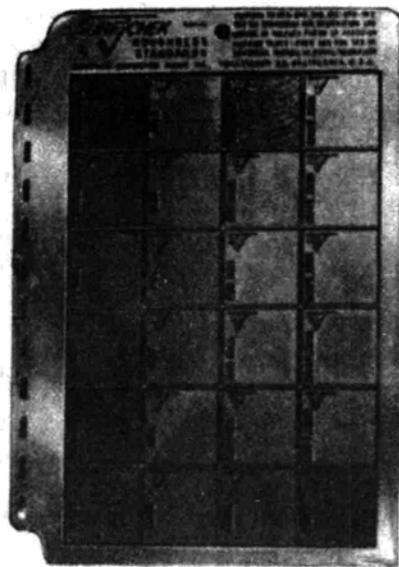
#### Γ. Τα πρότυπα δοκίμια συγκρίσεως (σχ. 2.8ιστ).

Τα πρωτότυπα δοκίμια συγκρίσεως είναι πρότυπες επιφάνειες με γνωστό μέσο ύψος τραχύτητας. Τέτοια δοκίμια προβλέπονται από τις διάφορες προδιαγραφές (π.χ. την προδιαγραφή BS 2634 του 1960, ASA 46.1-1962) και τα απαντούμε σε σειρές για ορισμένη κατεργασία (π.χ. για τόρνευση, φραιζάρισμα, λείανση κ.ά.).

Ο έλεγχος της προς επιθεώρηση επιφάνειας γίνεται με την αφή (το άκρο του δακτύλου, του νυχιού ή μιας ακίδας) σε σύγκριση βέβαια με την πρότυπη επιφάνεια, που υλοποιείται στο αντίστοιχο δοκίμιο συγκρίσεως.

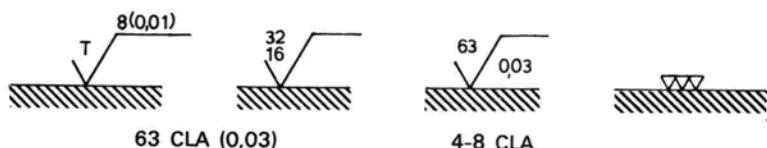
#### 2.8.4 Ερωτήσεις.

1. Τι ονομάζομε **τεχνικές επιφάνειες** στις διάφορες μηχανουργικές κατασκευές;
2. Τι εννοούμε λέγοντας **ποιότητα επιφάνειας** και τι **τραχύτητα επιφάνειας**;
3. Ποιες είναι οι απαιτήσεις της σύγχρονης μηχανουργικής βιομηχανίας σε ό,τι αφορά την τραχύτητα επιφάνειας;
4. Ποια είναι η σημασία της τραχύτητας επιφάνειας τεχνικών επιφανειών, πού συνεργάζονται;
5. Να περιγράψετε συνοπτικά το σύστημα Κεντρικής γραμμής για τη μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας.
6. Πώς ορίζεται το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$  στο σύστημα Κεντρικής γραμμής;
7. Να εξηγήσετε τους ακόλουθους όρους: **ονομαστικό περίγραμμα επιφάνειας, πραγματικό περίγραμμα επιφάνειας, μέγιστο ύψος τραχύτητας  $R_{max}$  ή  $R_t$** .



**Σχ. 2.8ιστ.**  
Πρότυπα δοκίμια συγκρίσεως τραχύτητας επιφάνειας.

8. Ποιο βασικό μέγεθος της τραχύτητας προτυποποιείται κατά τη βρεταννική και αμερικανική προδιαγραφή και με ποια μονάδα το μετρούμε;
9. Για το χαρακτηρισμό της τραχύτητας επιφάνειας στις πρακτικές εφαρμογές εκτός από το μέσο ύψους της τραχύτητας χρειάζεται και κάποια άλλη πληροφορία. Ποια είναι και γιατί απαιτείται;
10. Από ποια κύρια μέρη αποτελείται ένα τραχύμετρο με στυλίσκο;
11. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας ενός τραχυμέτρου με στυλίσκο;
12. Τι καλείται **μήκος κύματος αποκοπής** ενός τραχυμέτρου με στυλίσκο και ποια είναι η σημασία του;
13. Τι είναι τα πρότυπα δοκίμια συγκρίσεως τραχύτητας και πώς τα μεταχειρίζομαστε;
14. Να εξηγήσετε τους ακόλουθους συμβολισμούς τραχύτητας:



## 2.9 Έλεγχος οριζοντιότητας, κατακορυφότητας, επιπεδότητας και καθετότητας επιφανειών.

### 2.9.1 Έλεγχος οριζοντιότητας και κατακορυφότητας.

#### A. Γενικά.

Ο έλεγχος αυτός μας είναι πολύ χρήσιμος στην εγκατάσταση των εργαλειομηχανών και άλλων μηχανημάτων, όπως και σε διάφορες κατασκευές. Μετά από την

εγκατάσταση π.χ. μιας εργαλειομηχανής γίνεται έλεγχος ορισμένων επιφανειών της, αν αυτές είναι οριζόντιες (παράλληλες προς το οριζόντιο επίπεδο στον τόπο, όπου γίνεται ο έλεγχος) ή κατακόρυφες (παράλληλες προς το κατακόρυφο επίπεδο) και εφ' όσον διαπιστώνεται η οριζοντιότητα ή παραλληλότητά τους, τότε και μόνο η εργαλειομηχανή αγκυρώνεται στην οριστική της θέση.

Το βασικό όργανο, που χρησιμοποιούμε για το σκοπό αυτό, είναι η **αεροστάθμη**, που στη γλώσσα του τεχνίτη λέγεται **αλφάδι**. Για χονδρικό έλεγχο της κατακορυφότητας επιφανειών μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και το γνωστό μας νήμα της στάθμης (βαρίδι, σχ. 2.9€).

## B. Η αεροστάθμη.

Η αεροστάθμη δεν περιορίζεται μόνο στον έλεγχο της οριζοντιότητας και κατακορυφότητας επιφανειών, όπως θα δούμε παρακάτω, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μέτρηση μικρών γωνιών με αρκετά καλή ακρίβεια· ακόμα χρησιμοποιείται και ως συγκριτής, με την έννοια ότι, οποιεσδήποτε επιφάνειες, για τις οποίες η αεροστάθμη (με τον άξονά της πάντοτε προς την ίδια κατεύθυνση) δίνει τις ίδιες ενδείξεις, είναι παράλληλες μεταξύ τους.

Την αεροστάθμη τη συναντούμε σε διάφορες παραλλαγές. Την απαντούμε επίσης και σε ορισμένα όργανα ως βοηθητικό μέσο για την οριζοντίωσή τους.

Στις εργασίες μας στο μηχανουργείο μεταχειρίζόμαστε συνήθως την **κοινή αεροστάθμη** και την **πλαισιωτή αεροστάθμη**, για τις οποίες και θα μιλήσουμε αμέσως παρακάτω.

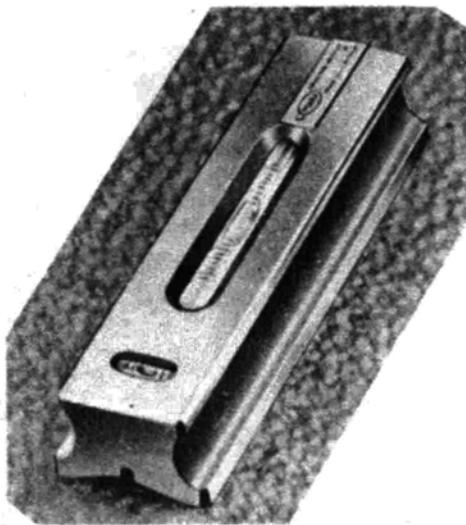
### 1. Η κοινή αεροστάθμη (σχ. 2.9a).

Είναι το πιο συνηθισμένο και πιο απλό όργανο, που μεταχειρίζόμαστε για τον έλεγχο της οριζοντιότητας μιας επιφάνειας. Βασικό του στοιχείο είναι η φυσαλίδα από αέρα, η οποία υπάρχει μέσα σε ένα κυρτό σωληνίσκο, γεμάτο από κατάλληλο υγρό. Η φυσαλίδα αυτή μπορεί να μετακινείται μέσα στο σωληνίσκο ανάλογα με την κλίση, που παίρνει η αεροστάθμη. Όταν η φυσαλίδα πάρει ορισμένη θέση [σχ. 2.9β(α)], τη **μηδενική θέση**, όπως μπορούμε να την ονομάσουμε, τότε η ελεγχόμενη επιφάνεια είναι **οριζόντια**.

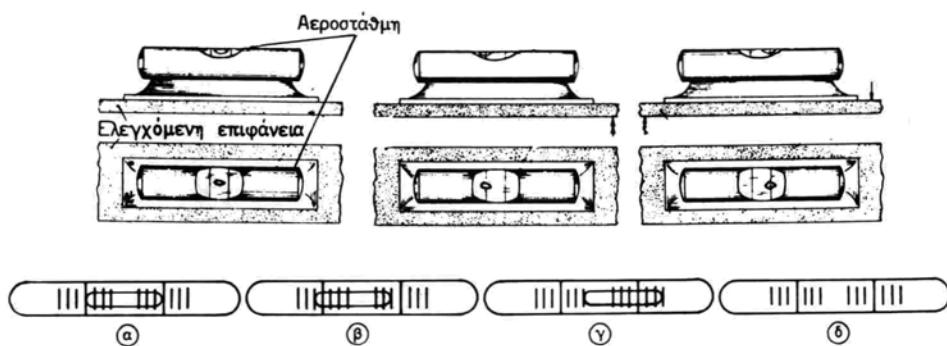
Η αεροστάθμη φέρει κλίμακα με υποδιαιρέσεις. Κάθε υποδιαιρέση της κλίμακας αυτής αντιστοιχεί σε ορισμένη γωνιακή απόκλιση από το οριζόντιο επίπεδο (π.χ. 10° ή 60° κλπ.) ή σε ορισμένη μεταβολή της κλίσεως (σε mm ανά τρέχον μέτρο) ανάλογα με την ποιότητα του οργάνου. Αυτό αποτελεί ό,τι ονομάζουμε **ευασθησία** της αεροστάθμης (είναι κύριο χαρακτηριστικό, με το οποίο την προδιαγράφουμε).

Στο σχήμα 2.9β βλέπομε διάφορες περιπτώσεις, που είναι δυνατό να μας παρουσιασθούν στην πράξη κατά τον έλεγχο μιας επιφάνειας με την αεροστάθμη. Η επιφάνεια στην περίπτωση (α) είναι οριζόντια προς την κατεύθυνση του άξονα της αεροστάθμης, ενώ οι επιφάνειες στις περιπτώσεις (β) και (γ) δεν είναι οριζόντιες, γιατί η φυσαλίδα της αεροστάθμης δεν είναι στη μηδενική της θέση. Η επιφάνεια στό (δ), όπου η φυσαλίδα έχει εξαφανισθεί, απέχει πολύ από το να είναι οριζόντια.

Για να γίνει οριζόντια η επιφάνεια της περιπτώσεως (β), θα πρέπει ή να κατεβεί



**Σχ. 2.9α.**  
Κοινή αεροστάθμη (αλφάδι).



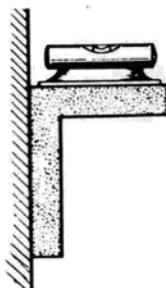
**Σχ. 2.9β.**  
Διάφορες ενδείξεις μιας αεροστάθμης.

το αριστερό της μέρος ή να ανεβεί το δεξιό της, όπως δείχνουν τα βέλη. Στην περίπτωση (γ) πρέπει να γίνει το αντίθετο.

Κατά τον έλεγχο της οριζοντιότητας μιας επιφάνειας, χρειάζεται να τοποθετήσουμε την αεροστάθμη σε δύο κάθετες ανάμεσά τους κατευθύνσεις και αν και στις δύο αυτές θέσεις η φυσαλίδα βρεθεί στη μηδενική της θέση, τότε και μόνο μπορούμε να αποφανθούμε ότι η ελεγχόμενη επιφάνεια είναι οριζόντια.

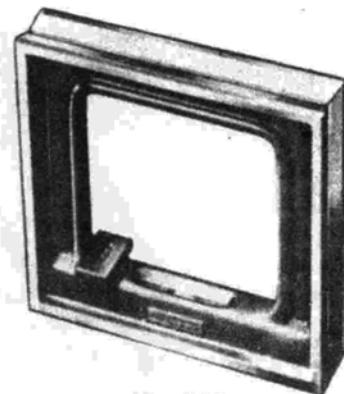
Με την κοινή αεροστάθμη και με τη βοήθεια μιας σταθερής ορθής γωνίας ελέγχομε και κατακόρυφες επιφάνειες, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9γ.

Η κατακορυφότητα μιας επιφάνειας ελέγχεται με τη βοήθεια μιας ορθής γωνίας ή με έναν από τους τρόπους που χρησιμοποιούμε για τον έλεγχο της καθετότητας



Σχ. 2.9γ.

Πώς ελέγχομε την κατακορυφότητα μιας επιφάνειας με αεροστάθμη.



Σχ. 2.9δ.

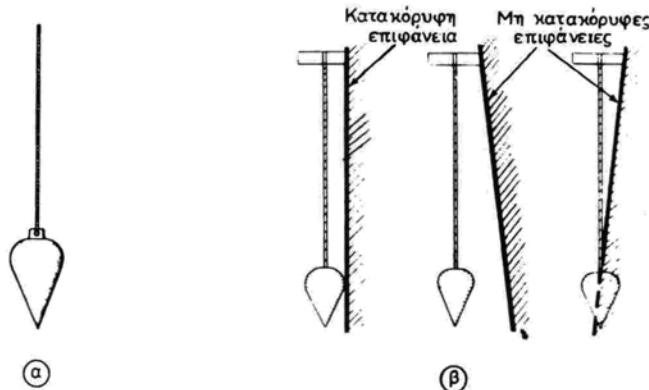
Πλαισιωτή αεροστάθμη.

επιφανειών (σχ. 2.9ζ) με την προϋπόθεση όμως ότι έχει επιτευχθεί το οριζόντιο επίπεδο (υπάρχει π.χ. μια οριζοντιωμένη πλάκα εφαρμογής).

## 2. Η πλαισιωτή αεροστάθμη (σχ. 2.9δ).

Το όργανο αυτό διαφέρει από το προηγούμενο στο ότι η αεροστάθμη τοποθετείται στην κάτω πλευρά ενός ορθογώνιου πλαισίου. Το πλαίσιο πρέπει να έχει μεγάλη ακρίβεια στην καθετότητα των πλευρών του.

Με την πλαισιωτή αεροστάθμη μπορούμε να ελέγχομε όχι μόνο την οριζοντιότητα, αλλά και την καθετότητα επιφανειών.



Σχ. 2.9ε.

(α) Το νήμα της στάθμης. (β) Έλεγχος κατακορύφων επιφανειών με το νήμα της στάθμης.

## Γ. Το νήμα της στάθμης (σχ. 2.9ε).

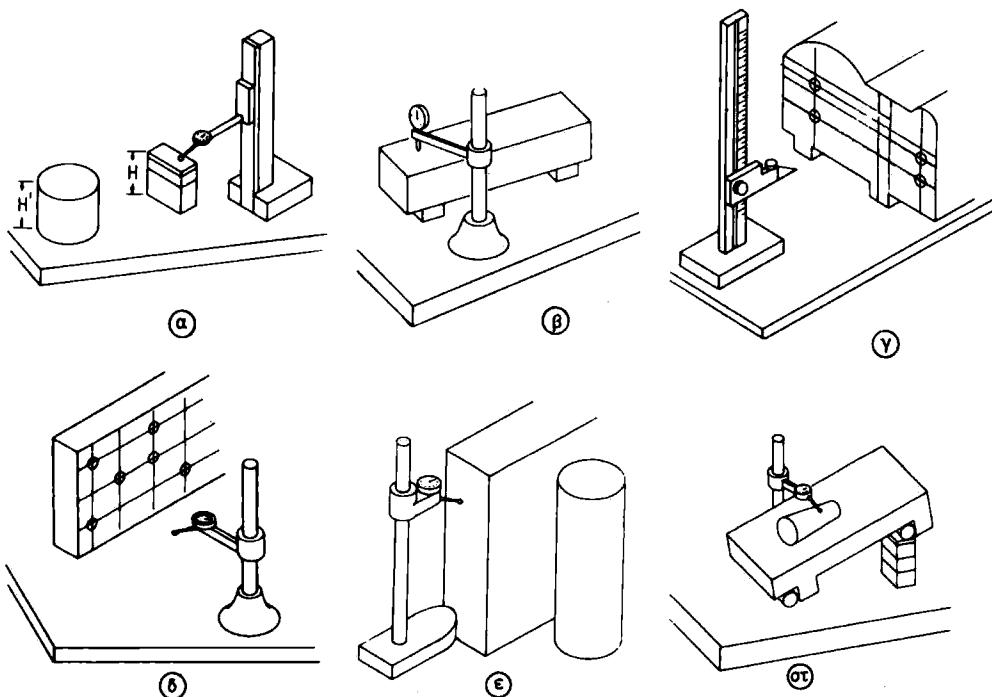
Αποτελείται από ένα κατάλληλο (πρέπει να είναι αρκετά σταθερό) νήμα και ένα ζάρος, που κρέμεται στο άκρο του.

Το χρησιμοποιούμε για να ελέγχουμε, αν μια επιφάνεια είναι κατακόρυφη στην εγκατάσταση μηχανημάτων, σιδηρών κατασκευών, κ.ά., όπου όμως η ακρίβεια που απαιτείται είναι πολύ μικρή.

### 2.9.2 Έλεγχος της επιπεδότητας και καθετότητας

#### A. Γενικά.

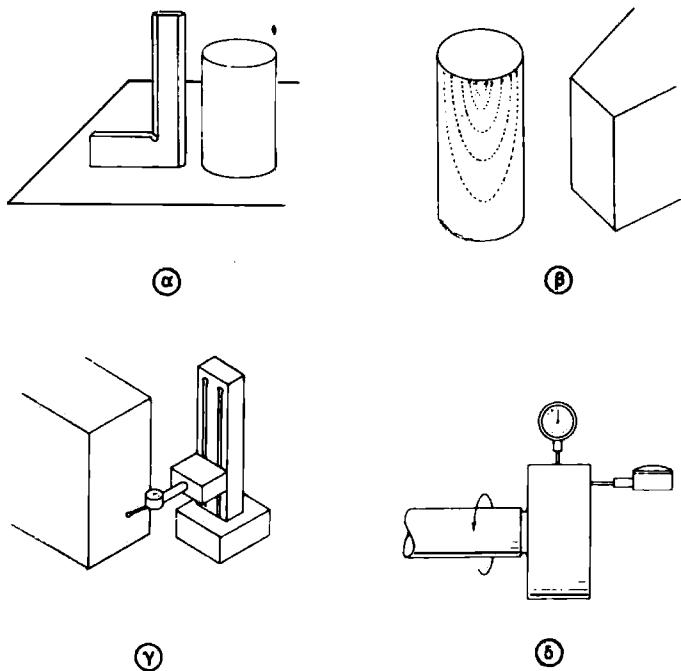
Όταν μιλούμε για **επιπεδότητα** εννοούμε τη διάταξη όλων των σημείων μιας επιφάνειας σε ένα και το αυτό επίπεδο. Η επιπεδότητα δηλαδή ταυτίζεται με το ιδανικό επίπεδο, το οποίο στις εργασίες μας στο μηχανουργείο υλοποιείται στην **πλάκα εφαρμογής**. Η πλάκα εφαρμογής, [την οποία συναντήσαμε στην παράγραφο 3.2(A) του Μ.Ε., όπου μιλήσαμε για τη χάραξη] αποτελεί σταθερό **επίπεδο** ή **επίπεδη επιφάνεια αναφοράς** (συνήθως το οριζόντιο επίπεδο), και ως τέτοια τη χρησιμοποιούμε σε ποικίλες εφαρμογές (σχ. 2.9στ).



Σχ. 2.9στ.

Εφαρμογές της πλάκας εφαρμογής ως επιφάνειας (ή επιπέδου) αναφοράς για: (α) Τη μέτρηση μήκους. (β) Τον έλεγχο παραλληλότητας. (γ) Τη χάραξη. (δ) Τη μέτρηση (ή μεταφορά) διαστάσεων. (ε) Τον έλεγχο καθετότητας. (ζ) Τον έλεγχο και μέτρηση γωνιών [παράγρ. 2.5.4(A)].

Εφόσον είναι διαθέσιμη η πλάκα εφαρμογής, η καθετότητα επιφανειών ελέγχεται με την ορθή γωνία [παράγρ. 2.5.2(A)] ή με τον πρωτότυπο κοίλο κύλινδρο ή κατ' άλλον τρόπο, όπως βλέπομε στο σχήμα 2.9ζ.



Σχ. 2.9γ.

Μέθοδοι για τον έλεγχο της καθετότητας μιας επιφάνειας: (α) Με τη βοήθεια ορθής γωνίας και πλάκας εφαρμογής. (β) Με πρότυπο κύλινδρο και πλάκα εφαρμογής. Ο κύλινδρος παρουσιάζει ορισμένη απόκλιση από την καθετότητα. Περιστρέφεται, ώστε να αποκατασταθεί η καλύτερη επαφή του με την προς έλεγχο επιφάνεια (να φαίνεται η ελάχιστη χαραγή φωτός). Η απόκλισή της από την καθετότητα δίνεται κατ' ευθείαν από τις υπάρχουσες βαθμονομημένες γραμμές στην επιφάνεια του πρότυπου κυλίνδρου. (γ) Με μετρητικό ρολόι, που έχει δυνατότητα οκριβούς και εύκολης κάθετης μετακίνησεως σε κατάλληλο υποστήριγμα, που τοποθετείται στην πλάκα εφαρμογής. (δ) Με τη βοήθεια δύο μετρητικών ρολογιών κατάλληλα στηριζόμενων σε πλάκα εφαρμογής ελέγχεται η καθετότητα δύο επιφανειών, που σχετίζονται με ένα περιστρεφόμενο δίσονα.

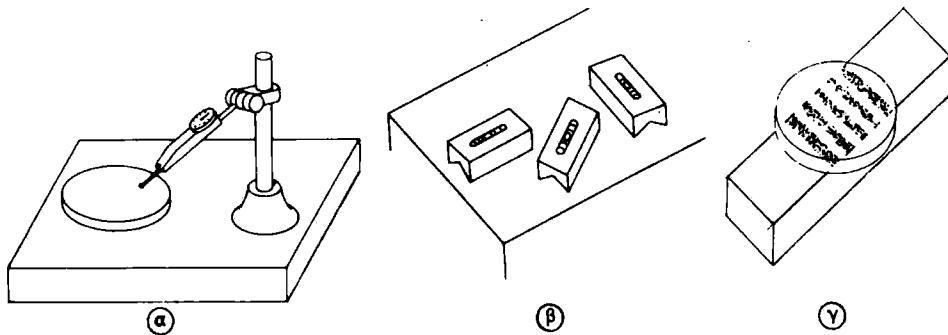
## B. Έλεγχος επιπεδότητας.

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι για τον έλεγχο της επιπεδότητας τεχνικών επιφανειών είναι οι ακόλουθοι:

α) Με τη βοήθεια της πλάκας εφαρμογής. Ο έλεγχος είναι χονδρικός και γίνεται με έλαφρό τρίψιμο της προς έλεγχο επιφάνειας επάνω στην πλάκα εφαρμογής, που την αλείφομε με κατάλληλη χρωστική ουσία. Τη μέθοδο αυτή έχομε εφαρμόσει στο στρώσιμο (απόξεση) στην παράγραφο 12.3 του Μ.Ε.

β) Με τη βοήθεια κατάλληλου πρότυπου μεταλλικού κανόνα και χαραγής φωτός [παράγρ. 2.5.2(Α)]. Ο κανόνας μπορεί να έχει τριγωνική ή ορθογωνική διατομή ή διατομή Ι. Ο έλεγχος αυτός γίνεται κατά δύο τουλάχιστο τεμνόμενες ευθείες.

γ) Με μετρητικό ρολόι σε κατάλληλο υποστήριγμα επάνω σε πλάκα εφαρμογής [σχ. 2.9η(α)].



Σχ. 2.9η.

Λοιπές μέθοδοι για τον έλεγχο της επιπεδότητας επιφανειών.

δ) Με τη βοήθεια αεροστάθμης [σχ. 2.9η(β)]. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στον έλεγχο επιπεδότητας επιφανειών με μεγάλο εμβαδόν, που βρίσκονται σε οριζόντια ή σε περίπου οριζόντια θέση. Η αεροστάθμη τοποθετείται επάνω στην επιφάνεια με τον άξονά της προς διάφορες τεμνόμενες κατευθύνσεις. Ανάγνωση διαφορετικών ενδείξεων στην αεροστάθμη σημαίνει ανεπιπεδότητα της ελεγχόμενης επιφάνειας.

ε) Με τη βοήθεια οπτικού πλακιδίου [σχ. 2.9η(γ)]. Η μέθοδος αυτή ελέγχου επιπεδότητας εφαρμόζεται στον έλεγχο πολύ λείων και όχι πολύ ανεπιπέδων επιφανειών. Για να γίνει ο έλεγχος χρειάζεται ένα **οπτικό πλακίδιο**, που τοποθετείται επάνω στην ελεγχόμενη επιφάνεια. Επάνω στο οπτικό πλακίδιο κατευθύνεται κάθετα περίπου μονοχρωματικό φως, που παράγεται από ειδική λυχνία. Λόγω της λεπτής σφήνας από αέρα, η οποία υπάρχει ανάμεσα στην επιφάνεια του οπτικού πλακιδίου και στην προς έλεγχο επιφάνεια, και της ανακλαστικότητας των δύο αυτών επιφανειών δημιουργούνται **κροσσοί συμβολής** με βήμα ίσο προς το μισό μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου μονοχρωματικού φωτός. Οποιαδήποτε απόκλιση από τον παραλληλισμό των κροσσών συμβολής δείχνει ανεπιπεδότητα της ελεγχόμενης επιφάνειας.

Η μέθοδος αυτή είναι πολύ απλή καὶ εφαρμόζεται εύκολα. Την εφαρμόσαμε στον περιοδικό έλεγχο των μικρομέτρων [παράγρ. 2.2.1(Γ)(3)].

Το οπτικό πλακίδιο είναι ένας διαφανής δίσκος με τη μία του επιφάνεια (ή και τις δύο) λειασμένη με τόση όμως ακρίβεια, προσοχή και επιμέλεια, ώστε να έχει αποκτήσει ιδανική επιπεδότητα. Κατασκευάζονται τα οπτικά πλακίδια συνήθως από καθαρό χαλαζία σε τρεις ποιότητες: ως πλακίδια αναφοράς, ως πλακίδια διακριβώσεως και ως πλακίδια εργασίας.

### 2.9.3 Ερωτήσεις.

- Πότε μία επιφάνεια λέγεται οριζόντια και πότε κατακόρυφη;
- Να αναφέρετε περιπτώσεις χρησιμοποίησεως της αεροστάθμης.
- Σε ποια είδη απαντούμε την αεροστάθμη;
- Τι ονομάζομε ευαισθησία μιας αεροστάθμης;
- Πώς ελέγχομε την οριζοντιότητα μιας επιφάνειας και πώς την κατακορυφότητα μιας άλλης;

6. Πώς υλοποιούμε το οριζόντιο επίπεδο;
  7. Τι σημαίνει επιπεδότητα μιας επιφάνειας;
  8. Να αναφέρετε τρεις περιπτώσεις χρησιμοποιήσεως της πλάκας εφαρμογής ως επιφάνειας αναφοράς.
  9. Να περιγράψετε σύντομα τρεις από τις χρησιμοποιούμενες πρακτικά μεθόδους ελέγχου της επιπεδότητας τεχνικών επιφανειών.
  10. Να περιγράψετε δύο μεθόδους για τον έλεγχο της καθετότητας μιας επιφάνειας.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

#### 3.1 Εισαγωγή. Η μίλη από τα μεταλλικά μηχανουργικά υλικά, που διδάχθηκε στο Μ.Ε.

##### 3.1.1 Γενικά.

Στο Μ.Ε. (Κεφάλαιο 2) με μιαν εισαγωγή στα μεταλλικά μηχανουργικά υλικά δώσαμε τα στοιχεία εκείνα, που μας ήταν αναγκαία, για να κατανοήσουμε τις κατεργασίες και μεθόδους μορφοποιήσεως μεταλλικών προϊόντων, με τις οποίες ασχοληθήκαμε σ' αυτό. Δηλαδή τις κατεργασίες κοπής και διαμορφώσεως, τις συγκολλήσεις και άλλες μεθόδους συνδέσεως μεταλλικών κομματιών (ηλώσεις, κοχλιοσυνδέσεις κ.ά.) και τη χύτευση, όπως όμως όλες αυτές εκτελούνται από τον τεχνίτη με εργαλεία και μέσα του χεριού ή με απλά μηχανήματα.

Έτσι, μετά από μία κατάταξη των μηχανουργικών υλικών που επιχειρήσαμε (Μ.Ε., σχ. 2.1β), διατυπώσαμε τον ορισμό και τις βασικές ιδιότητες των μετάλλων και κραμάτων και μιλήσαμε συνοπτικά για την κρυσταλλική τους δομή και για το μηχανισμό της στρειρεοποίησεώς (ή κρυσταλλώσεώς) τους.

Κατόπιν, πάντοτε με συντομία, ασχοληθήκαμε με τις μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων (όριο θραύσεως, όριο διαρροής, επιμήκυνση θραύσεως, σκληρότητα και δυσθραυστότητα), όπως αυτές προκύπτουν από τις δοκιμασίες εφελκυσμού, σκληρότητας και κρούσεως.

Υστερά, αναπτύξαμε βασικές τεχνολογικές ιδιότητες, που αποτελούν κριτήριο για την εκλογή των μετάλλων και κραμάτων ως υλικών για μορφοποίηση, όπως είναι η ολκιμότητα και η ελατότητα, η κατεργαστικότητα, η συγκολλητότητα και η χυτευτότητά τους.

Επί πλέον εξετάσαμε τη σκλήρωση των μετάλλων μετά από πλαστική παραμόρφωση εν ψυχρώ και εξηγήσαμε το μηχανισμό της ανακρυσταλλώσεως, δηλαδή πώς τα αποτελέσματα της σκληρώσεως εξαφανίζονται με μία θερμική κατεργασία, που ονομάσαμε ανόπτηση για ανακρυστάλλωση.

Μετά, εντελώς συνοπτικά, μιλήσαμε για τα σιδηρούχα κράματα (χρησιμοποιούνται για μορφοποίηση στην κατασκευαστική βιομηχανία σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία από ό,τι χρησιμοποιούνται τα μη σιδηρούχα μέταλλα ή κράματα και μάλιστα σε αναλογία δέκα ή περισσότερο προς ένα). Δηλαδή για τους χυτοσίδηρους και τους χάλυβες και επιμείναμε στις μηχανικές και τεχνολογικές τους ιδιότητες ως υλικών για μορφοποίηση. Ακόμα, δώσαμε περιορισμένες πληροφορίες για τις

θερμικές κατεργασίες των χαλύβων (ανόπηση, βαφή και επαναφορά), όσες βέβαια μας ηταν απαραίτητες στο Μ.Ε.

Λεπτομερέστερα κάπως αναφερθήκαμε στην προτυποποίηση των μισοκατεργασμένων χαλυβδίνων προϊόντων του εμπορίου [ελάσματα (λαμαρίνες), ράβδοι (βέργες), ταινίες (λάμες), σύρματα, μορφοδοκοί (μορφοσίδηρος ή προφίλ) και σωλήνες]. Και τούτο, γιατί τα προϊόντα αυτά είναι κατά βάση εκείνα, που μορφοποιούμε παραπέρα με τις κατεργασίες κοπής και διαμορφώσεως, όπως και με τις διάφορες μεθόδους συνδέσεως, σε έτοιμα κομμάτια ή προϊόντα.

Στο κεφάλαιο αυτό, συμπληρώνοντας τα όσα βασικά αναπύξαμε στο Μ.Ε., θα συνεχίσομε με τα σιδηρούχα κράματα και συγκεκριμένα με:

α) Την παρασκευή του χυτοσίδηρου και του χάλυβα.

β) Τους χάλυβες και τις θερμικές τους κατεργασίες.

γ) Την προτυποποίηση και τη βιομηχανική χρήση των χαλύβων, ως χαλύβων κατασκευών, χαλύβων εργαλείων και ως ειδικών χαλυβοκραμάτων και

δ) τους χυτοσίδηρους.

Κατόπιν θα μιλήσομε, πιο συνοπτικά όμως, για:

ε) Τα μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα.

στ) Τα προϊόντα της κονιομεταλλουργίας και

ζ) για τα πλαστικά (συνθετικές ύλες) στις μηχανουργικές κατασκευές.

### **3.1.2 Σύντομη επανάληψη της ύλης.**

Παρακάτω θα επαναλάβομε σύντομα τα αντικείμενα από τα μηχανουργικά μεταλλικά υλικά, που διδάχθηκαν στο Μ.Ε. και δεν θα συνεχισθούν στο βιβλίο αυτό. Για τα υπόλοιπα, δηλαδή για τα σιδηρούχα κράματα, δεν θα προβούμε σε επανάληψη, αλλά, όταν μιλήσομε γι' αυτά, θα κάνομε τότε τη σχετική αναδρομή στην ύλη που διδάχθηκε.

**Μηχανουργικά υλικά** είναι τα υλικά που τα μορφοποιούμε σε χρήσιμα βιομηχανικά κομμάτια ή προϊόντα με κάποια (ή και με συνδυασμό) από τις βασικές κατεργασίες και μεθόδους μορφοποιήσεως (τις έχουμε απαριθμήσει στην αρχή της παραγράφου 3.1.1).

**Μέταλλο** ονομάζομε το στοιχείο (απλό σώμα της Χημείας), που το παίρνομε μετα από κατάλληλη μεταλλουργική επεξεργασία και που έχει, στη στερεή κατάσταση, ειδική λάμψη - μεταλλική, όπως τη λέμε - και συνήθως εξαιρετικές ιδιότητες μηχανικής αντοχής και πλαστικότητας (ολκιμότητα ή ελατότητα). Τα μέταλλα είναι σώματα κρυσταλλικά και παρουσιάζουν επί πλέον και χαρακτηρίστικές τεχνολογικές ιδιότητες μορφοποιήσεως, όπως είναι η κατεργαστικότητα, η συγκολλητότητα και η χυτευτότητα.

Στα κρυσταλλικά σώματα, όπως τα μέταλλα και τα κράματα, τα άτομα λαμβάνουν θέσεις με διάταξη στο χώρο τέτοια, ώστε αυτή να ακολουθεί ορισμένη κανονική γεωμετρική μορφή, διαφορετική για κάθε σώμα. Η κανονική αυτή διάταξη στο χώρο αποτελεί ότι καλούμε **κρυσταλλικό πλέγμα**.

Τα περισσότερα από τα μέταλλα κρυσταλώνονται (Μ.Ε., σχ. 2.2a) σύμφωνα με το χωροκεντρωμένο κυβικό σύστημα, με το εδροκεντρωμένο κυβικό ή το μέγιστης πυκνότητας εξαγωνικό. Και τα τρία αυτά συστήματα κρυσταλλώσεως χαρακτηρίζονται από απλότητα και μεγάλη συμμετρία.

Το μέταλλο από την υγρή του κατάσταση (από το τήγμα) αποκτά την κανονική του κρυσταλλική δομή (ή κρυσταλλικό ιστά), δηλαδή **στερεοποιείται** ή **κρυσταλλώνεται** με το μηχανισμό αυτό. Αρχικά σε τυχαίες θέσεις μέσα στη μάζα του τήγματος σχηματίζονται **φύτρα** ή **κέντρα κρυσταλλώσεως**. Στα φύτρα προστίθενται προοδευτικά άτομα, που καταλαμβάνουν τις προβλεπόμενες, ανάλογα με το είδος του κρυσταλλικού πλέγματος του συγκεκριμένου μετάλλου, θέσεις και, έτσι αναπτύσσονται οι **δενδρίτες**. Με το τέλειωμα της στερεοποίησεως έχομε το σχηματισμό των **κόκκων** ή **κρυσταλλών** του μετάλλου με ακανόνιστες περιμέτρους (**σύνορα των κόκκων**) και διαφορετικό, για τον κάθε κόκκο, προσανατολισμό, δηλαδή το **πολυκρυσταλλικό** μέταλλο.

**Κράμα** ονομάζομε κάθε μεταλλικό σώμα, που σχηματίζεται με ανάμιξη δύο ή περισσοτέρων χημικών στοιχείων, κατά κανόνα σε κατάσταση τήξεως, από τα οποία το ένα τουλάχιστο είναι μέταλλο (**κύριο στοιχείο του κράματος**). Το άλλο ή τα άλλα στοιχεία του κράματος (**προσθήκες**) είναι και αυτά μέταλλα, μπορούν όμως να είναι και αμέταλλα ή μεταλλοειδή.

Μέ την **κραματοποίηση** (ανάμιξη σε κατάσταση τήξεως του κύριου στοιχείου του κράματος με τις προσθήκες, για να παρασκευασθεί το κράμα) επιτυγχάνονται βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες του κύριου στοιχείου του κράματος.

**Μηχανικές ιδιότητες** ενός μετάλλου (ή γενικότερα ενός υλικού) είναι οι ιδιότητες εκείνες, που έκφραζουν τη συμπεριφορά του, όταν επενεργούν επάνω σ' αυτό φορτία. Πειραματικά προσδιορίζομενες οι ιδιότητες αυτές μας δίνουν στοιχεία σχετικά με την αντοχή του υλικού σε διάφορες καταπονήσεις (**μηχανική αντοχή του υλικού**), όπως και με τη συμπεριφορά του απέναντι σε μόνιμες αλλαγές στη μορφή του (**διαμορφώσεις**).

Με τη δοκιμασία του εφελκυσμού προσδιορίζονται το όριο διαρροής του υλικού το όριο θραύσεως ή η μέγιστη αντοχή του, όπως ακόμα και η ανηγμένη επιμήκυνση θραύσεως. Είναι βασικές μηχανικές ιδιότητες του υλικού και αναφέρονται στις προδιαγραφές του.

Η σκληρότητα ενός μετάλλου προσδιορίζεται από την ομώνυμη δοκιμασία και η δυσθραυστότητα από τη δοκιμασία κρούσεως.

Ορισμένες από τις μηχανικές και τεχνολογικές ιδιότητες των μετάλλων (ή κράμάτων) χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τους απέναντι στις κατεργασίες και μεθόδους μορφοποίησεως. Ως τέτοιες αναφέραμε την ολκιμότητα και ελατότητα, την κατεργαστικότητα, τη συγκολλητότητα και τη χυτευτότητα.

**Ολκιμότητα** είναι η ικανότητα ενός μετάλλου ή κράματος να μπορεί, με πλαστική παραμόρφωση, να εκλεπτυνθεί, όταν ασκηθούν επάνω του εφελκυστικές τάσεις, χωρίς βέβαια να υποστεί ρωγμές. Αντίθετα, η **ελατότητα** ενός μετάλλου εκφράζει την ικανότητά του να παραμορφώνεται πλαστικά, όταν επιβληθούν σ' αυτό θλιπτικές τάσεις.

Η **κατεργαστικότητα** χαρακτηρίζει τη σχετική ευκολία κατεργασίας ενός μετάλλου με κοπή. Η **συγκολλητότητα** αναφέρεται στην ευκολία που παρουσιάζει ένα μέταλλο να συγκολλάται, χωρίς να εμφανίζονται ελαττώματα στις θέσεις συγκολλήσεως και τέλος η **χυτευτότητα** χαρακτηρίζει την ευκολία, με την οποία μπορεί

ένα μέταλλο ή κράμα να χυτευθεί ικανοποιητικά, δηλαδή χωρίς να παρουσιάζει ελαπτώματα, σε λεπτές ή περίπλοκες διατομές.

Τα περισσότερα από τα μέταλλα και τα κράματα υφίστανται σκλήρωση μετά από έντονη πλαστική παραμόρφωση. Οι κρυσταλλίτες τους **παραμορφώνονται μόνιμα** προς κάποια κατεύθυνση και το υλικό αποκτά γενικά ψηλότερο όριο διαρροής και όριο θραύσεως, μικρότερη επιμήκυνση θραύσεως (άρα μειωμένη ολκιμότητα ή ελατότητα), μεγαλύτερη σκληρότητα και μικρότερη δυσθραυστότητα.

Τα αποτελέσματα της σκληρώσεως εξαφανίζονται (το μέταλλο ή κράμα δηλαδή αναλαμβάνει τις κανονικές, πριν από τη σκλήρωση, μηχανικές του ιδιότητες) με την ανόπτηση για ανακρυστάλλωση. Ο μηχανισμός της ανακρυσταλλώσεως εξηγείται παραστατικά στο σχήμα 2.5β του Μ.Ε.

Τα χαλύβδινα μισοκατεργασμένα προϊόντα του εμπορίου (ελάσματα, ράβδοι, ταινίες κ.ά.) προέρχονται από τα πλινθώματα (χελώνες) του χάλυβα, τα οποία πάρνομε κατά την παρασκευή του (παράγρ. 3.2.2). Η διαδίκασία που ακολουθούμε για την παραγωγή τους εικονίζεται στο σχήμα 2.7α του Μ.Ε.

Αντί για επανάληψη της προτυποποιήσεως των χαλυβδίνων μισοκατεργασμένων προϊόντων θα δώσουμε στο μαθητή την ευκαιρία να εξηγήσει συμβολισμούς τέτοιων προϊόντων αμέσως παρακάτω.

### **3.1.3 Ερωτήσεις και ασκήσεις επάνω στην ύλη του δεύτερου Κεφαλαίου του Μ.Ε.**

1. Να εξηγήσετε με απλό τρόπο τους παρακάτω όρους: **μηχανουργικό υλικό, κρυσταλλικό πλέγμα, κράμα, κρυσταλλίτης, κραματοποίηση.**
2. Σε ποιες βασικές κατηγορίες ταξινομούμε τα μηχανουργικά υλικά. Να αναφέρετε τρία υλικά από κάθε μία κατηγορία.
3. Σε ποια ομάδα μεταλλικών υλικών ανήκει το καθένα από τα μέταλλα ή κράματα: χαλκός, χάλυβας, αργίλιο και ένα κράμα του.
4. Ποιος είναι ο μηχανισμός της στερεοποιήσεως ενός μετάλλου;
5. Ποιες είναι οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων;
6. Τι είναι κατεργαστικότητα και τι ολκιμότητα ενός μετάλλου;
7. Ποιες ιδιότητες νομίζετε ότι ενδιαφέρουν την κάμψη εν ψυχρώ ενός μετάλλου;
8. Τι παθαίνει ένα μέταλλο ή κράμα μετά από σκλήρωση;
9. Με απλά σκίτσα να εξηγήσετε το μηχανισμό της ανακρυσταλλώσεως ενός σκληρωμένου μετάλλου.
10. Πώς παράγεται μια μορφοδοκός του εμπορίου; Να σχεδιάσετε απλά τη σχετική διαδίκασία.
11. Να εξηγήσετε τον καθένα συμβολισμό των παρακάτω χαλυβδίνων μισοκατεργασμένων προϊόντων του εμπορίου:

- Ø 8 x 4000 DIN 59361 C45,  
 □ 40 x 10 x 5000 DIN 1017 St 37,  
 L 35 x 3 x 4000 DIN 1028 St 34,  
 L 120 x 4000 DIN 1026 St 37,  
 Bl 3 x 1000 x 2000 DIN 1542 St 52,

- 14 x 4000 DIN 1014 St 37,  
 T 50 x 3000 DIN 1024 St 42,  
 L 40 x 20 x 3 + 4000 DIN 1029 St 34,  
 I 100 x 3000 DIN 1025 St 50,  
 Rohr 60 x 4 DIN 2391 St 45

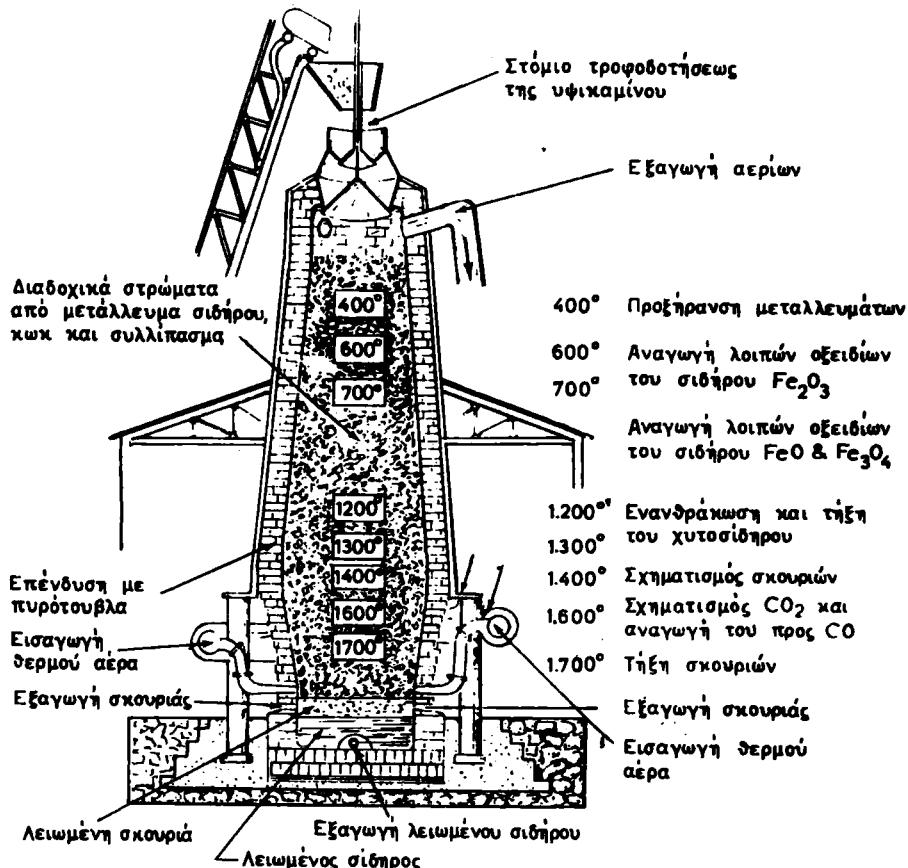
## **3.2 Η παρασκευή του χυτοσίδηρου και του χάλυβα.**

### **3.2.1 Πώς παρασκευάζεται ο πρωτογενής χυτοσίδηρος.**

Η κύρια πρώτη ύλη για την παρασκευή των σιδηρούχων κραμάτων (χυτοσίδη-

ρων και χαλύβων) για βιομηχανική χρήση είναι ο **πρωτογενής χυτοσίδηρος**. Είναι το προϊόν της **υψικαμίνου** (σχ. 3.2a) και παράγεται από μεταλλεύματα σιδήρου, όπως είναι ο μαγνητίτης ( $Fe_3O_4$ , με 72% σίδηρο), ο αιματίτης ( $Fe_2O_3$ , με περιεκτικότητα σε σίδηρο από 40% έως 65%), ο λειμωνίτης (με 20% μέχρι 55% σίδηρο), ο σιδηρίτης ( $FeCO_3$ , με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο) και ο σιδηροπυρίτης ( $FeS_2$ ).

Τα σιδηρομεταλλεύματα, πριν από τη μεταλλουργική τους επεξεργασία (την εξαγωγή δηλαδή του μετάλλου από το μεταλλεύμα) υποβάλλονται σε **μηχανική προεργασία**, που περιλαμβάνει: κοσκίνισμα (απομάκρυνση γαιωδών προσμίξεων), μαγνητικό διαχωρισμό, λειοτρίβηση (κονιοποίηση σε ειδικούς τριβείς) και εμπλουτισμό.



Σχ. 3.2a.

Σχηματική παράσταση μιας υψικαμίνου και κατάσταση, στην οποία βρίσκεται κατά τη λειτουργία της. (Οι θερμοκρασίες δίνονται σε °C).

Ο πρωτογενής χυτοσίδηρος παρασκευάζεται στην υψικάμινο ως εξής:

Από το στόμιο τροφοδοτήσεως της υψικαμίνου εισάγονται σε εναλλασσόμενα στρώματα το **μετάλλευμα**, μετά τη μηχανική του προεργασία, **δινθρακας μεταλ-**

**λουργικό κωκ)** και **συλλιπάσματα**. Ο άνθρακας χρειάζεται για την πύρωση(\*) της υψηλαμίνου, για την αναγωγή (απόσπαση του οξυγόνου) των οξειδίων του σιδήρου με τη βοήθεια του παραγόμενου μονοξειδίου του άνθρακα (CO), όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω και τέλος για την ενανθράκωση του σιδήρου. Τα συλλιπάσματα, κατά την επεξεργασία του μεταλλεύματος στην υψηλάμινο, σχηματίζουν με τις ξένες προσμίξεις χημικές ενώσεις, τις **σκουριές**. Οι σχηματίζόμενες σκουριές έχουν χαμηλό σημείο τήξεως και μικρό ειδικό βάρος και έτσι αποχωρίζονται εύκολα από τον παραγόμενο χυτοσίδηρο και επιπλέουν. Όταν το μετάλλευμα έχει ασβεστολιθικές προσμίξεις, τα συλλιπάσματα είναι πυριτικές ενώσεις αργιλίου, ενώ, όταν οι προσμίξεις είναι πυριτικές, τα συλλιπάσματα είναι ασβεστολιθικά. Και στις δύο περιπτώσεις οι σκουριές που σχηματίζονται είναι θυριτικές και αργιλικές ενώσεις ασβεστίου.

Από το κάτω μέρος της υψηλαμίνου εισάγεται ξηρός προθερμασμένος (σε θερμοκρασία περίπου  $800^{\circ}\text{C}$ ) αέρας. Με τον αέρα αυτόν καίεται ο άνθρακας, που βρίσκεται στο κάτω μέρος της υψηλαμίνου και έτσι σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα ανερχόμενο λίγο ψηλότερα μέσα στην υψηλάμινο ανάγεται από το διάπυρο άνθρακα σε μονοξείδιο του άνθρακα. Το μονοξείδιο του άνθρακα τώρα, όταν φθάσει στη ζώνη αναγωγής της υψηλαμίνου, ανάγει τα διάφορα οξείδια του σιδήρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2a.

Επειδή η αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου γίνεται σε θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη από το σημείο τήξεως του σιδήρου ( $1528^{\circ}\text{C}$ ), ο παραγόμενος σίδηρος στερεοποιείται. Ο σίδηρος αυτός τώρα κατερχόμενος σε χαμηλότερη ζώνη της υψηλαμίνου προσλαμβάνει άνθρακα και έτσι κραματοποιείται (σχηματίζει κράμα σιδήρου-άνθρακα, δηλαδή χυτοσίδηρο) και επειδή είναι πιο εύτηκτος (έχει σημείο τήξεως  $1300^{\circ}\text{C}$  περίπου) από το σίδηρο, λειώνει. Ρευστός πλέον ο χυτοσίδηρος συγκεντρώνεται στο κατώτερο μέρος της υψηλαμίνου, ενώ στην επιφάνειά του επιπλέουν λειωμένες σκουριές, οι οποίες απομακρύνονται από το ειδικό στόμιο της υψηλαμίνου.

Ο ρευστός πρωτογενής χυτοσίδηρος χύνεται από το κατώτερο στόμιο της υψηλαμίνου (σχ. 3.2a) σε κάδους και μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις παρασκευής του χάλυβα ή σε τύπους (καλούπια), όπου στερεοποιείται σε πλινθώματα (χελώνες).

Ο πρωτογενής χυτοσίδηρος έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα από 3,00% έως 4%. Επί πλέον περιέχει πυρίτιο, μαγγάνιο, θείο και φωσφόρο, σε σημαντικό σχετικά συνολικό ποσοστό.

Περισσότερες πληροφορίες για τους χυτοσίδηρους γενικά θα δώσουμε στην παράγραφο 3.6.

### 3.2.2 Πώς παρασκευάζουμε το χάλυβα.

Και ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα, στο οποίο μπορεί να προστεθεί μια ή περισσότερες προσθήκες ακόμα. Η περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα είναι συνήθως μικρότερη από 2,00%. Επίσης οι ξένες προσμίξεις (μαγγά-

(\*) Αν η αιχμήση της θερμοκρασίας υπερβαίνει τους  $500^{\circ}\text{C}$ , τότε μιλούμε για **πύρωση**, ενώ αν φθάνει περίπου μέχρι  $400^{\circ}\text{C}$  έως  $500^{\circ}\text{C}$  για **θέρμανση**.

νιο, πυρίτιο, θείο και φωσφόρος) είναι ποσοτικά περιορισμένες σε σύγκριση με την αναλογία τους στους χυτοσίδηρους.

Το χάλυβα τον πάιρνομε από λευκό πρωτογενή χυτοσίδηρο [παράγρ. 3.6.2(A)] μειώνοντας την περιεκτικότητά του σε άνθρακα και σε άλλα ξένα στοιχεία με πύρωσή του σε ειδικές καμίνους και οξείδωση των προσμίξεών του.

Η επεξεργασία του λευκού πρωτογενούς χυτοσίδηρου για την παρασκευή του χάλυβα γίνεται με τις ακόλουθες μεθόδους:

- Με τη μέθοδο Bessemer (Μπέσσεμερ).
- Με τη μέθοδο Siemens-Martin (Σίμενς-Μαρτέν) και
- με την ηλεκτρική μέθοδο.

Έτσι παρασκευαζόμενος ο ρευστός χάλυβας αποχύνεται σε καλούπια με αποτέλεσμα να παράγονται τα **πλινθώματα (ή χελώνες)**. Από τα πλινθώματα με σειρά από κατεργασίες διαμορφώσεως παράγονται τα διάφορα χαλύβδινα μισοκατεργασμένα προϊόντα [Μ.Ε. παράγρ. 2.7(A)].

#### **A. Η μέθοδος Μπέσσεμερ.**

Χρησιμοποιείται ειδική κάμινος σε σχήμα αχλαδιού, που λέγεται **απίδι Μπέσσεμερ** (σχ. 3.2β). Έχει δυνατότητα περιστροφής από την κατακόρυφη θέση μέχρι την οριζόντια, ώστε να μπορεί να γίνει με ευκολία τόσο η πλήρωσή του με ρευστό χυτοσίδηρο, όσο και η απόχυση του ρευστού χάλυβα, που θα παρασκευασθεί.

Το απίδι Μπέσσεμερ από το άνω μέρος φορτίζεται με διάπυρο χυτοσίδηρο προερχόμενο από την υψηλάμινο.

Η οξείδωση των ξένων προσμίξεων επιτυγχάνεται με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα, που προσφυσσάται υπό πίεση από τις τρύπες του πυθμένα της καμίνου μέσα από το διάπυρο χυτοσίδηρο. Αρχικά οξειδώνεται το μαγγάνιο και το πυρίτιο (έχουν μεγαλύτερη χημική συγγένεια με το οξυγόνο) και κατόπιν ο άνθρακας. Από την καύση αυτή εκλύεται, όπως μας είναι γνωστό θερμότητα.

Παραλλαγή της μεθόδου Μπέσσεμερ είναι η μέθοδος LD (Linz-Donawitz), κατά την οποία η κάμινος έχει κλειστό πυθμένα (σχ. 3.2γ). Αντί για αέρας, εισάγεται στην κάμινο οξυγόνο (ή άλλο οξειδωτικό μέσο) από ψυχόμενο αυλό, του οποίου το στόμιο φθάνει μέχρι μια ορισμένη απόσταση επάνω από την επιφάνεια του ρευστού χυτοσίδηρου.

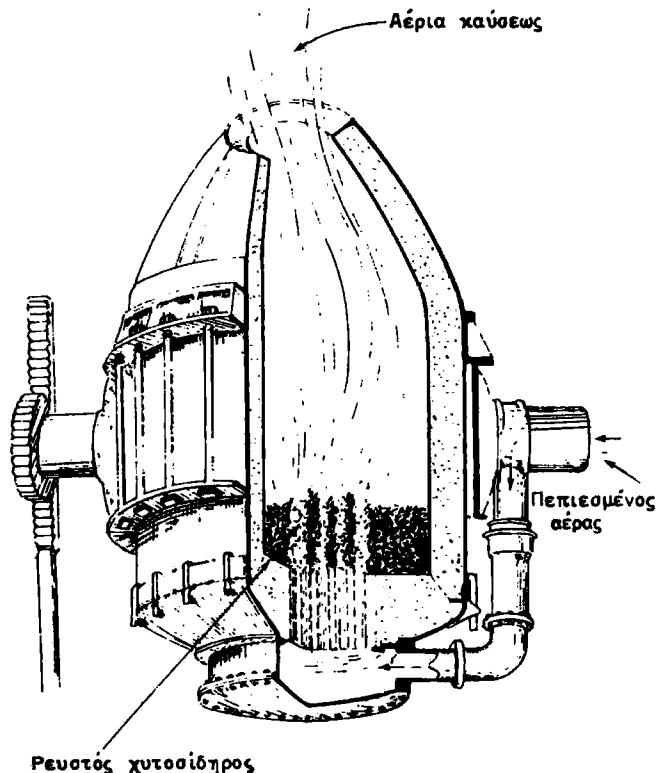
Κατά τη μέθοδο Μπέσσεμερ ή την παραλλαγή της LD είναι δυνατό, μέσα στην κάμινο, μαζί με το διάπυρο πρωτογενή χυτοσίδηρο να προστεθούν και παλαιοσιδηρικά.

#### **B. Η μέθοδος Σίμενς-Μαρτέν.**

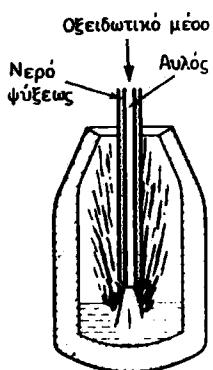
Είναι η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την παρασκευή χάλυβα. Στο σχήμα 3.2δ εικονίζεται μια τυπική κάμινος Σίμενς-Μαρτέν. Η θέρμανσή της γίνεται συνήθως με καύσιμα αέρια (από αεριογόνα). Τα αέρια αυτά προθερμαίνονται σε προθερμαντήρες, που βρίσκονται κάτω από την κάμινο. Με τη χρήση των προθερμαντήρων αυτών η θερμοκρασία στην κάμινο μπορεί να φθάσει τους 1700°C.

Το γέμισμα της καμίνου αυτής μπορεί να είναι είτε λειωμένος πρωτογενής χυτοσίδηρος μόνο, είτε παλαιοσιδηρικά μόνο, είτε συνδυασμός από ρευστό χυτοσίδηρο ή χυτοσίδηρο σε πλινθώματα και παλαιοσιδηρικά.

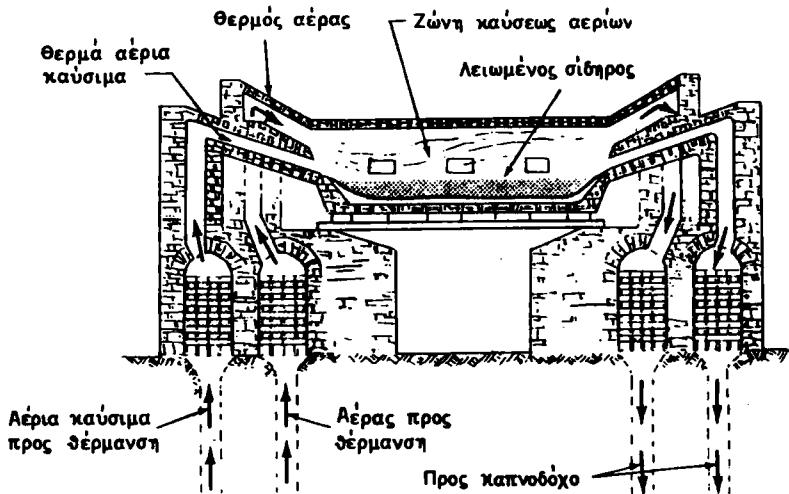
Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι η χρησιμοποίηση ως γεμίσματος της καμίνου



**Σχ. 3.2β.**  
Απίδι Μπέσσεμερ για την παρασκευή χάλυβα.



**Σχ. 3.2γ.**  
Παρασκευή χάλυβα με τη μέθοδο LD.



Σχ. 3.26.

Σχηματική παράσταση της καμίνου Σήμενς-Μαρτέν για την παρασκευή χάλυβα.

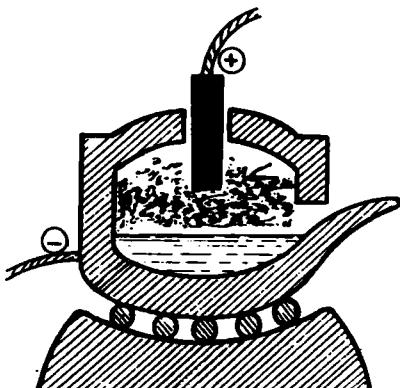
παλαιοσιδηρικών, χυτοσιδηρου σε πλινθώματα και ρευστού χυτοσιδηρου μαζί. Αρχικά εισάγονται στην κάμινο τα παλαιοσιδηρικά και ο στερεός χυτοσιδηρος για να λειώσουν. Δύο έως τρεις ώρες μετά την τήξη τους προστίθεται ο ρευστός χυτοσιδηρος. Ο χρόνος παρασκευής του χάλυβα με τη μέθοδο αυτή μπορεί να ελαπτώθει με εισαγωγή οξυγόνου από την οροφή της καμίνου μέσα στο θάλαμο καύσεως μετά την είσοδο του ρευστού χυτοσιδηρου.

Ο χάλυβας που παρασκευάζεται με τη μέθοδο αυτή είναι ανώτερης ποιότητας από εκείνο που παρασκευάζεται με τη μέθοδο Μπέσσεμερ.

#### *Γ. Η ηλεκτρική μέθοδος.*

Με τη μέθοδο αυτή η παρασκευή του χάλυβα γίνεται σε ηλεκτρικές καμίνους (σχ. 3.2ε).

Ως γέμισμα της ηλεκτρικής καμίνου χρησιμοποιούνται συνήθως κατάλληλα επιλεγμένα παλαιοσιδηρικά παρά πρωτογενής χυτοσιδηρος. Η θέρμανση του γεμί-



Σχ. 3.2ε.  
Ηλεκτρική κάμινος παρασκευής χάλυβα.

σματος γίνεται με ηλεκτρικό τόξο.

Η ηλεκτρική μέθοδος παρουσιάζει τα ακόλουθα σοβαρά πλεονεκτήματα απέναντι στις άλλες μεθόδους παρασκευής του χάλυβα:

- Ο τρόπος πυρώσεως είναι τέτοιος, ώστε να δημιουργείται καθαρή ατμόσφαιρα στο θάλαμο τήξεως της καμίνου και να αποφεύγεται έτσι η μόλυνση του παραγόμενου χάλυβα.
- Η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα σε άνθρακα και η κραματοποίηση ελέγχονται με ακρίβεια.

Για τους λόγους αυτούς η ηλεκτρική μέθοδος είναι κατάλληλη για την παρασκευή χάλυβα ανώτερης ποιότητας (π.χ. χαλυβοκραμάτων, παράγρ. 3.3.3).

### **3.2.3 Ερωτήσεις.**

1. Τι είναι ο πρωτογενής χυτοσίδηρος;
2. Να περιγράψετε σύντομα τον τρόπο παρασκευής του πρωτογενούς χυτοσίδηρου στην υψηλάμινο.
3. Τι ονομάζομε χάλυβα;
4. Ποιες είναι οι κύριες μέθοδοι παρασκευής του χάλυβα;
5. Να περιγράψετε συνοπτικά μία, κατά την κρίση σας, από τις χρησιμοποιούμενες στην πράξη μεθόδους παρασκευής του χάλυβα.
6. Να κατατάξετε τις βασικές μεθόδους παρασκευής του χάλυβα κατά σειρά καλυτερέυσεως της ποιότητας του χάλυβα, τον οποίο παίρνομε από την κάθε μία από αυτές.

## **3.3 Οι χάλυβες.**

### **3.3.1 Γενικά.**

Ο χάλυβας με μοναδική προσθήκη των άνθρακα, ονομάζεται **ανθρακούχος χάλυβας** [παράγρ. 3.3.2, 3.5.2(A)], ενώ όταν περιέχει μία ή περισσότερες προσθήκες επί πλέον του άνθρακα καλείται **χαλυβόκραμα** [παράγρ. 3.3.3, 3.5.2(B)].

Η μεγάλη σημασία που έχουν σήμερα οι χάλυβες ως μορφοποιήσιμο βιομηχανικό υλικό οφείλεται στους εξής βασικούς παράγοντες:

- α) Είναι φθηνότεροι συγκρινόμενοι με άλλα υλικά, που θα μπορούσαν να τους υποκαταστήσουν σε δοσμένη εφαρμογή.
- β) Τους βρίσκομε σε μεγάλη ποικιλία ειδών (ως χάλυβες κατασκευών, χάλυβες εργαλείων κλπ.), όπως και σε διάφορα μεγέθη και μορφές (ελάσματα, ράβδοι, ταινίες, μορφοδοκοί κ.ά.).
- γ) Παρουσιάζουν καλές μηχανικές ιδιότητες και καλές τεχνολογικές ιδιότητες για μορφοποίηση.
- δ) Με κατάλληλες θερμικές κατεργασίες (παράγρ. 3.4) είναι δυνατό να αποκτήσουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ή να αλλάξουν σημαντικά οι μηχανικές τους ιδιότητες.

Στις αμέσως επόμενες σελίδες θα μιλήσουμε για την κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύβων (το είδος της κρυσταλλικής δομής γενικά των χαλύβων επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές και άλλες ιδιότητές τους) και για την επίδραση των προσθηκών στα χαλυβοκράματα, όπως και για τα διάφορα είδη χαλυβοκραμάτων, που συναντούμε. Όλα αυτά θα μας βοηθήσουν για να ασχοληθούμε αργότερα με τις θερμικές κατεργασίες των χαλύβων (παράγρ. 3.4) και με τις βιομηχανικές τους εφαρμογές (παράγρ. 3.5).

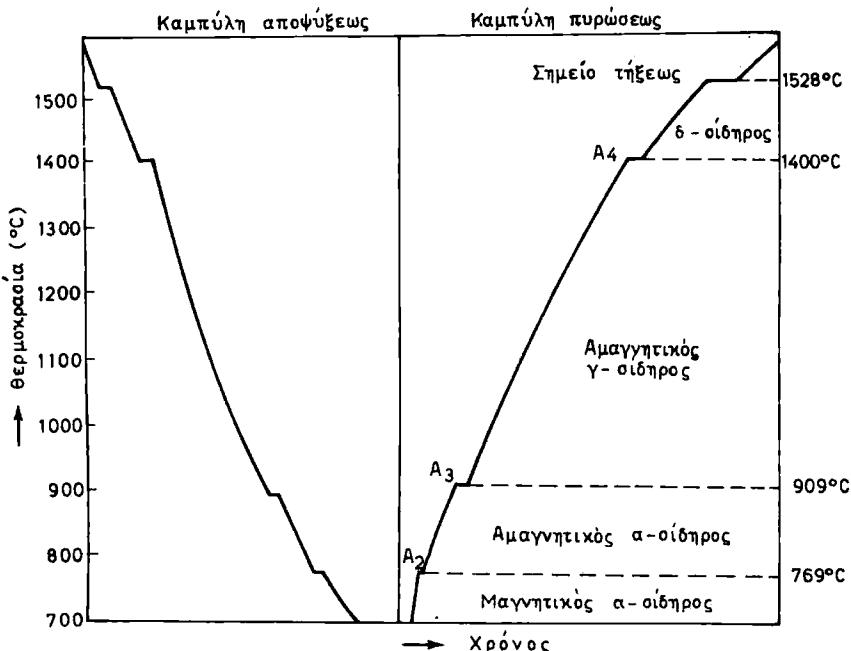
### 3.3.2 Η κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύβων.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα μικρότερη από 2,00% και πρακτικά από 0,01% μέχρι 1,50%.

Τα κρυσταλλικά είδη που παρουσιάζονται στους ανθρακούχους χάλυβες, αλλά και γενικότερα στα κράματα σιδήρου-άνθρακα, μπορούμε να τα γνωρίσουμε με τη βοήθεια του **Θερμικού διαγράμματος πυρώσεως** (ή απλούστερα του **Θερμικού διαγράμματος**) των κραμάτων αυτών.

Προτού όμως ασχοληθούμε με αυτό, είναι αναγκαίο να μιλήσουμε πρώτα για τις **αλλοτροπίες** του σιδήρου.

Ο καθαρός σίδηρος, όταν πυρωθεί ή αποψυχθεί μέχρι τη θερμοκρασία του δωματίου, παρουσιάζει διαφορετικές μορφές στην κρυσταλλική του δομή. Έτσι κατά την πύρωση του σιδήρου (δεξιά καμπύλη του σχήματος 3.3α) μέχρι την τήξη του



Σχ. 3.3α.  
Καμπύλη πυρώσεως και αποψύξεως του καθαρού σιδήρου.

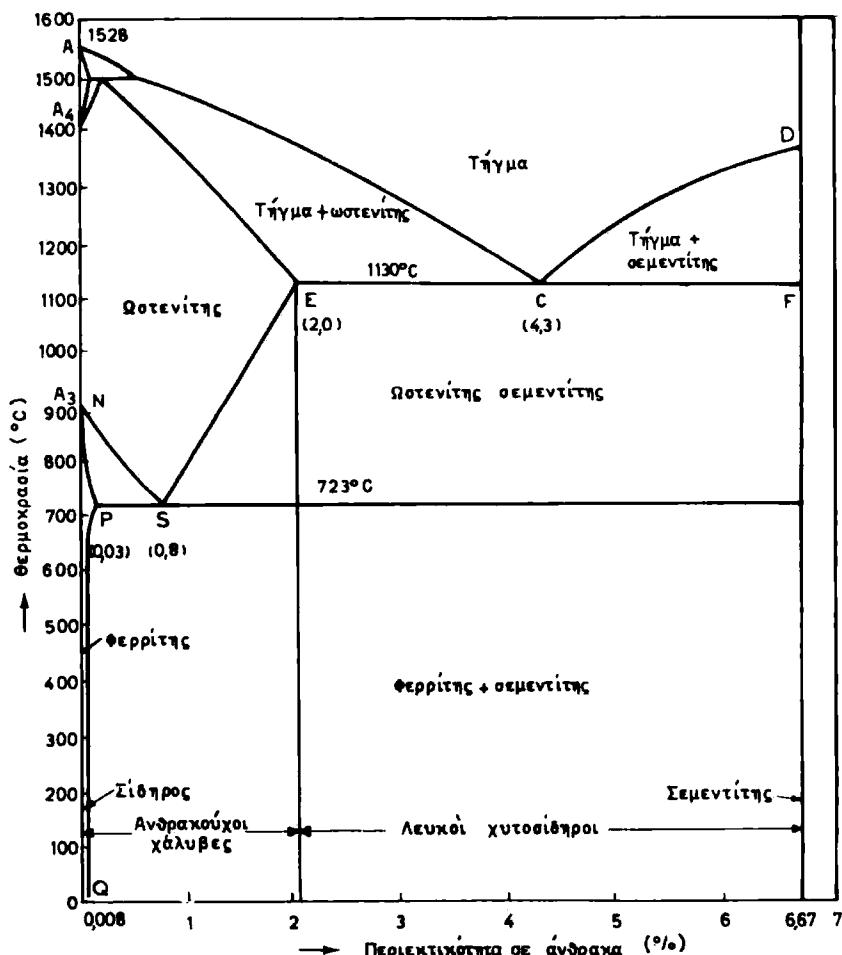
(1528°C) παρατηρούμε τα λεγόμενα **κρίσιμα σημεία**  $A_2$  (769°C),  $A_3$  (909°C) και  $A_4$  (1400°C). Στα σημεία αυτά βλέπομε ότι η θερμοκρασία παραμένει για ένα βραχύ χρονικό διάστημα στάσιμη και κατόπιν ανυψώνεται πάλι. Αυτό σημαίνει ότι ο σίδηρος στις θερμοκρασίες αυτές απορροφά θερμότητα (ενέργεια) χωρίς όμως να αυξάνεται η θερμοκρασία του, άρα κάποια μεταβολή ή μετασχηματισμός γίνεται μέσα του. Πράγματι, όπως βλέπουμε στο σχήμα 3.3α, ο σίδηρος παρουσιάζεται σε δύο αλλοτροπικές μορφές, δηλαδή, είτε ως **διλφα-σίδηρος** (α-σίδηρος ή α-Fe) μέχρι το κρίσιμο σημείο  $A_3$  και ως **δέλτα σίδηρος** (δ-σίδηρος ή δ-Fe) στο σημείο  $A_4$  και πέ-

ρα από αυτό με χωροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα, είτε ως γάμα-σιδηρος (γ-σιδηρος ή γ-Fe) από το κρίσιμο σημείο  $A_3$  μέχρι το  $A_4$  με εδροκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα. Ο α-σιδηρος είναι μαγνητικός μέχρι το κρίσιμο σημείο  $A_2$  και κατόπιν μη μαγνητικός έως το  $A_3$ . Ο γ-σιδηρος δεν είναι μαγνητικός.

Κατά την απόψυξη του τήγματος καθαρού σιδήρου, παρατηρούνται οι ίδιες μεταβολές στην κρυσταλλική του δομή κατά αντίστροφη θύμως τάξη στα ίδια περίπου σημεία  $A_4$ ,  $A_3$  και  $A_2$ , όπως κατά την πύρωσή του.

Έχοντας υπ' όψη τα όσα είπαμε για τις αλλοτροπικές μορφές που παίρνει ο καθαρός σιδηρος κατά την πύρωση ή την απόψυξη του, ας δούμε τώρα το θερμικό διάγραμμα των κραμάτων σιδήρου-άνθρακα.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι ο άνθρακας στους χάλυβες δεν βρίσκεται ελεύθερος [υπό μορφή γραφίτη, όπως π.χ. στους φαιούς χυτοσιδηρους, παράγρ. 3.6.2(B)], αλλά σχηματίζει με το σιδηρο ένα σκληρό και εύθραστο καρβίδιο, που



Σχ. 3.38.

Ολόκληρο το θερμικό διάγραμμα των κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη.

το ονομάζομε **σεμεντίτη** (FeC) με περιεκτικότητα σε άνθρακα 6,67%. Για το λόγο αυτό το θερμικό διάγραμμα των κραμάτων σιδήρου-άνθρακα το μετονομάζομε σε **Θερμικό διάγραμμα κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη**.

Ολόκληρο το θερμικό διάγραμμα των κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη εικονίζεται στο σχήμα 3.3β. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος θέτομε την περιεκτικότητα του κράματος σε άνθρακα, δηλαδή από  $\pi(C) = 0,00\%$  έως  $\pi(C)^* = 6,67\%$  (σεμεντίτης) και στον κατακόρυφο άξονα τη θερμοκρασία. Το διάγραμμά αυτό (ιδιαίτερα το τμήμα του, που αναφέρεται στους ανθρακούχους χάλυβες, σχήμα 3.3γ) μας δίνει πληροφορίες για δύο σημαντικά στοιχεία, που ενδιαφέρουν τις βιομηχανικές χρήσεις των χαλύβων: το ένα είναι η θερμοκρασία, στην οποία αρχίζει και τελειώνει η στερεοποίηση και το άλλο είναι οι μετασχηματισμοί, που γίνονται στην κρυσταλλική δομή του κράματος κατά τη διάρκεια της στερεοποιήσεως, αλλά και μετά από αυτή.

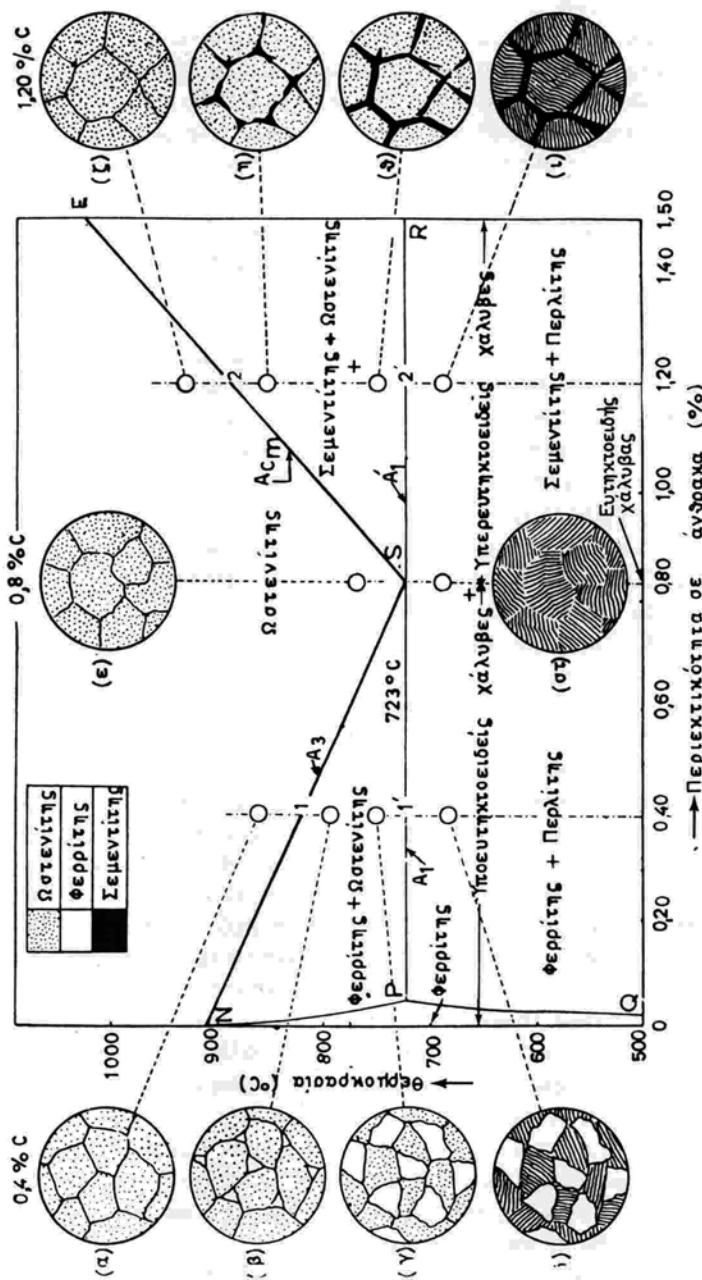
Βασική προϋπόθεση, στην οποία στηρίζεται η κατασκευή του θερμικού διάγραμματος, είναι ότι το κράμα θα πρέπει να βρίσκεται κάθε φορά σε **κατάσταση ισορροπίας των φάσεων**. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε μεταβολή στην κρυσταλλική δομή του κράματος θα πρέπει να είναι **πλήρης**, γεγονός που απαιτεί ορισμένο χρονικό διάστημα για να επιτελεσθεί. Επί παραδείγματι, η απόψυξη του τήγματος στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος πρέπει να γίνει πολύ αργά (με πολύ βραδύ ρυθμό, ήρεμα), όπως συμβαίνει στην ανόπτηση [παράγρ. 3.4.3(Α)]. Αν η απόψυξη αυτή γίνει με ταχύ ρυθμό, τότε το κράμα αποκτά εντελώς διαφορετικό κρυσταλλικό ιστό, από εκείνο, που θα αποκτούσε μετά από ήρεμη απόψυξη. Η γρήγορη απόψυξη δεν επιτρέπει ολοκληρωμένους μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα. Αυτό θα το δούμε όταν μιλήσομε για τη βαφή [παράγρ. 3.4.3(ΣΤ)].

Ας γυρίσουμε τώρα στο θερμικό διάγραμμα του σχήματος 3.3β. Η γραμμή ACD ονομάζεται **γραμμή Liquidus**. Όλα τα κράματα (στις σημειούμενες θερμοκρασίες και για τις αναφερόμενες περιεκτικότητες σε άνθρακα) επάνω από τη γραμμή αυτή βρίσκονται σε **υγρή ομοιογενή κατάσταση (τήγμα)**. Τη γραμμή AECFD την καλούμε **Solidus**. Είναι η γραμμή, κάτω από την οποία όλα τα κράματα στις θερμοκρασίες και αναλογίες των συστατικών τους (σιδήρου και σεμεντίτη,) που αναφέρονται, βρίσκονται σε **στερεή κατάσταση**. Τα κράματα που πέφτουν ανάμεσα στις γραμμές **Liquidus** και **Solidus** συνίστανται από τήγμα και από στερεό. Το σημείο C του διάγραμματος ονομάζεται **σημείο ευτηκτικής αναλογίας** και το κράμα που αντιστοιχεί σ' αυτό **ευτηκτικό κράμα**. Το ευτηκτικό κράμα έχει το χαμηλότερο σημείο τήξεως (από αυτό και η ονομασία του), τήκεται και στερεοποιείται στην ίδια θερμοκρασία ( $1130^{\circ}\text{C}$ ) και έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα  $4,30\%$ . Άλλο χαρακτηριστικό σημείο είναι το S, που καλείται **σημείο ευτηκτοειδούς αναλογίας** και το σχετικό κράμα είναι το **ευτηκτοειδές κράμα**. Αντιστοιχεί σε αναλογία άνθρακα  $0,80\%$  και σε θερμοκρασία  $723^{\circ}\text{C}$ . Για το ευτηκτοειδές κράμα θα μιλήσομε αμέσως παρακάτω.

Παρ' όλο ότι το θερμικό διάγραμμα, που μελετήσαμε, φαίνεται περίπλοκο, μας ενδιαφέρουν δύο κρυσταλλικά είδη, δηλαδή ο **ωστενίτης** και ο **φερρίτης** και ο γνωστός μας **σεμεντίτης** (καρβίδιο του σιδήρου).

**Ωστενίτης σχηματίζεται**, όταν στο κρυσταλλικό πλέγμα του γ-σιδήρου διαλυ-

(\*) Με το σύμβολο π (C) παριστάνομε την περιεκτικότητα του κράματος σε άνθρακα επί τοις εκατό. Ο ίδιος συμβολισμός π (σύμβολο στοιχείου) θα χρησιμοποιηθεί στα επόμενα για να υποδηλώσει την περιεκτικότητα σε οποιαδήποτε άλλο στοιχείο.



**Σχ. 3.3γ.**  
Το τυήμα του θερμικού διαγράμματος των κραμάτων σιδηρού-σεμεντήρι, που αφορά στους ανθρακόχρως χάλυβες. Α<sub>3</sub>: Γραμμή ανωτέρων κρισίμων σημείων στην περιοχή των υπευπηκτοειδών χαλύβων. Α<sub>1</sub>: Γραμμή κατωτέρων κρισίμων σημείων στην περιοχή των υπευπηκτοειδών χαλύβων. Α<sub>cm</sub>: Γραμμή ανωτέρων κρισίμων σημείων στην περιοχή των υπερυγχωτισμένων χαλύβων. Α<sub>η</sub>: Γραμμή κατωτέρων κρισίμων σημείων στην περιοχή των υπερυγχωτισμένων χαλύβων.

Θει άνθρακας (τα άτομα του άνθρακα καταλαμβάνουν θέσεις ανάμεσα στα άτομα του σιδήρου στο κρυσταλλικό πλέγμα). Ο ωστενίτης είναι αμαγνητικός, όπως εξ άλλου και ο γ-σίδηρος. Στην περίπτωση, που άνθρακας διαλύεται σε α-σίδηρο, τότε παίρνουμε το φερρίτη. Ο φερρίτης είναι μαγνητικός μέχρι τη θερμοκρασία των  $769^{\circ}\text{C}$  (κρίσιμο σημείο  $A_2$ ) και επάνω από τη θερμοκρασία αυτή αμαγνητικός.

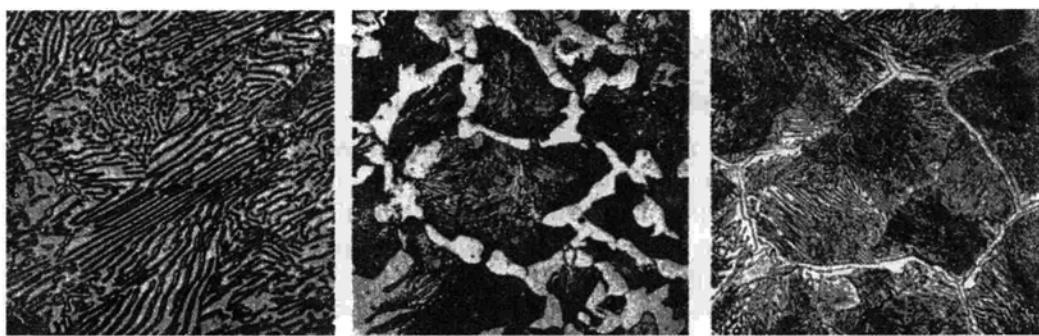
Για τις πρακτικές εφαρμογές (ιδιαίτερα για τις θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων) μας ενδιαφέρει το τμήμα του θερμικού διαγράμματος των κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη, που περιλαμβάνει τους χάλυβες, δηλαδή από  $\pi(\text{C}) = 0,00\%$  μέχρι  $\pi(\text{C}) = 2,00\%$  (σχ. 3.3γ).

Όπως προηγουμένως είπαμε στο σημείο S του διαγράμματος αντιστοιχεί το ευτηκτοειδές κράμα. Το κράμα αυτό το ονομάζουμε **περλίτη**. Σχηματίζεται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες φερρίτη και σεμεντίτη τον ένα μετά από τον άλλο [σχ. 3.3δ(α)].

Με βάση την ευτηκτοειδή αναλογία, δηλαδή  $\pi(\text{C}) = 0,80\%$ , οι ανθρακούχοι χάλυβες διακρίνονται σε :

- α) Υποευτηκτοειδείς με  $\pi(\text{C}) < 0,80\%$
- β) Ευτηκτοειδείς με  $\pi(\text{C}) = 0,80\%$  και
- γ) υπερευτηκτοειδείς με  $0,80\% < \pi(\text{C}) < 2,00\%$ .

Η πορεία της στρεοεποιήσεως των χαλύβων αυτών, όπως και οι αλλαγές στην κρυσταλλική τους δομή, που πραγματοποιούνται, εικονίζονται χαρακτηριστικά στο σχήμα 3.3γ. Στη θερμοκρασία του δωματίου ένας υποευτηκτοειδής χάλυβας [π.χ.  $\mu \pi(\text{C}) = 0,40\%$ , σχ. 3.3γ(δ)] θα έχει κρυσταλλική δομή από κόκκους φερρίτη και κόκκους περλίτη [σχ. 3.3δ(β)], ένας ευτηκτοειδής θα παρουσιάζει στο σύνολό του κρυσταλλική δομή περλίτη [ $\pi(\text{C}) = 0,80\%$ , σχ. 3.3γ(στ), 3.3δ(α)] και τέλος ένας υ-



Ⓐ

Ⓑ

Ⓒ

Σχ. 3.3δ.

Κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύβων (μικροφωτογραφία): (α) Κρυσταλλική δομή περλίτη [ $\pi(\text{C}) = 0,80\%$ ]. Φαίνονται καθαρά οι πλακοειδείς κρυσταλλίτες του φερρίτη (λευκοί) και του σεμεντίτη (μαύροι). (β) Κρυσταλλική δομή υποευτηκτοειδούς ανθρακούχου χάλυβα [ $\pi(\text{C}) = 0,60\%$ ]. 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 [ $\pi(\text{C}) = 1,20\%$ ]. Ο σεμεντίτης (λευκός) περιβάλλει τους κρυσταλλίτες του περλίτη.

περευτηκοειδής χάλυβας [π.χ. με  $\pi(C) = 1,20\%$ , σχ. 3.3γ(ι)] αποκτά δομή, που αποτελείται από κρυσταλλίτες περλίτη περιβαλλόμενους από σεμεντίτη [σχ. 3.3δ(γ)].

### 3.3.3 Τα χαλυβοκράματα.

#### A. Γενικά.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες [παράγρ. 3.3.2, 3.5.2(Α)] παρουσιάζουν σοβαρά μειονεκτήματα απέναντι στις απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνικής. Βασικά μειονεκτήματά τους είναι: το χαμηλό τους σχετικά όριο θραύσεως, η μειωμένη αντοχή τους στην οξείδωση και στη διάβρωση, η αδυναμία τους να επιτύχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες, που είναι απαραίτητες στο μαγνητισμό, στον ηλεκτρισμό ή αλλου, όπως και το γεγονός ότι η σκληρότητά τους πέφτει απότομα με αύξηση της θερμοκρασίας, πράγμα που είναι σοβαρό μειονέκτημα για κοπτικά εργαλεία, όπου είναι επιθυμητή η διατήρηση της σκληρότητας σε ψηλές θερμοκρασίες. Ακόμα, κατά τη βαφή των ανθρακούχων χαλύβων, παρατηρείται έντονο το φαινόμενο μάζας του κομματιού [παράγρ. 3.4.3(ΣΤ)(4)] και, για να επιτύχει η βαφή, χρειάζεται μεγάλη ταχύτητα αποψύξεως με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών ή και στρεβλώσεων στα κομμάτια.

Ακριβώς για να καλύψουν τις ατέλειες αυτές των ανθρακούχων χαλύβων, έχουν αναπτυχθεί τα χαλυβοκράματα.

Οι βελτιωμένες ή οι εντελώς νέες ιδιότητες των χαλυβοκραμάτων, τις οποίες δέν έχουν οι ανθρακούχοι χάλυβες, οφείλονται στις προσθήκες. Οι συνήθεις προσθήκες είναι: το μαγγάνιο (Mn), το νικέλιο (Ni), το χρώμιο (Cr) και το πυρίτιο (Si) (**κύριες προσθήκες**, όπως και το μολυβδανίο (Mo), το βολφράμιο (W), το βανάδιο (V), το κοβάλτιο (Co) και το αργίλιο (Al) **(δευτερεύουσες προσθήκες)**.

#### B. Η επίδραση των προσθηκών στα χαλυβοκράματα.

Η επίδραση, που ασκούν οι διάφορες προσθήκες επάνω στις μηχανικές ιδιότητες και σε άλλα χαρακτηριστικά των χαλυβοκραμάτων, όπως και στην κρυσταλλική τους δομή, μπορεί χονδρικά να συνοψισθεί, ως εξής (Πίνακας 3.3.1):

α) Με προσθήκες (π.χ. Mn, Ni κ.ά.) μπορούμε να προσδώσουμε μεγαλύτερη μηχανική αντοχή στο χάλυβα.

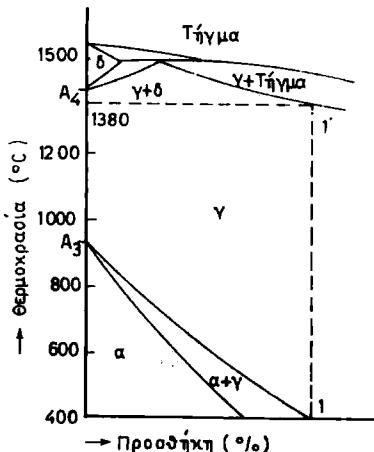
β) Τα στοιχεία Mn, Cr, Mo, W και V προστιθέμενα στον ανθρακούχο χάλυβα σχηματίζουν (με αυξανόμενη τάση σχηματισμού κατά τη σειρά, που δίνονται) σταθερά καρβίδια και μάλιστα κατά πολύ σκληρότερα από το γνωστό μας σεμεντίτη (π.χ. καρβίδιο του βολφραμίου έχει σκληρότητα μιάμιση φορά μεγαλύτερη από τη σκληρότητα του σεμεντίτη).

γ) Μερικά στοιχεία, όπως είναι το Ni και το Mn κατεβάζουν το κρίσιμο σημείο  $A_3$  (σχ. 3.3ε). Αυτό σημαίνει ότι προστιθέμενα τα στοιχεία αυτά στο χάλυβα σταθεροποιούν τον ωστενίτη σε μεγάλη περιοχή θερμοκρασιών, μέχρι που να είναι δυνατό να αποκτήσουμε κρυσταλλική δομή ωστενίτη στη θερμοκρασία του δωματίου. Αυτό γίνεται στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες (Πίνακας 3.3.2).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1.**

*Επίδραση των προσθηκών επάνω στις διάφορες ιδιότητες και χαρακτηριστικά των χαλυβοκραμάτων*

Ιδιότητες των χαλύβων	Mn	Ni	Cr	W	$M_0$	V	Si	Al	Co
1. Τάση σχηματισμού καρβιδίων	+	— (γραφι- τοποιεί)	++	+++	++	++++	— (γραφι- τοποιεί)	— (γραφι- τοποιεί)	+
2. Μηχανικές ιδιότητες	βελτί- ωση	βελτί- ωση			βελτί- ωση				
3. Σταθεροποίηση ωστενίτη	NAI	NAI							
4. Σταθεροποίηση φερρίτη			NAI				NAI		
5. Μείωση της κρίσι- μης ταχύτητας αποψύξεως	NAI	NAI	NAI		NAI		NAI		
6. Μέγεθος κόκκων		ελάτ- τωση	αύξηση			ελάτ- τωση	αύξηση	ελάτ- τωση	
7. Αύξηση αντοχής στη φθορά από τριβή			NAI	NAI	NAI	NAI			
8. Αντοχή σε διάβρωση			αύξηση				αύξηση	αύξηση	
9. Αύξηση αντοχής σε επαναφορά			NAI	NAI	NAI	NAI			NAI



Σχ. 3.3e.

Επίδραση της προσθήκης στο κρίσιμο σημείο  $A_3$  του χαλυβοκράματος. Με αύξηση της αναλογίας της προσθήκης το σημείο  $A_3$  κατεβαίνει.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2.**

**Τυπικοί μαγγανιούχοι, νικελιούχοι, χρωμιούχοι και νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες και βιομηχανικές τους χρήσεις**

Είδος χάλυβοκράματος	Χημική σύνθεση [%]				Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
	C	Mn	Ni	Cr	Κατάσταση χάλυβα	σ <sup>ε</sup> [kp/mm <sup>2</sup> ]	ε <sup>ε</sup> [%]		
Μαγγανιούχοι χάλυβες	0,25	1,50	—	—	Μετά εξομάλυνση	58	20	Βαφή σε λάδι από 860°C. Επαναφορά ανάλογα με τις έπιθυμητές μηχαν. Ιδιότητες.	Χαλυβόκραμα κατασκευών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, στροφαλόφροι άξονες, διωστήρες.
	1,20	12,50	—	—	Μετά βαφή σε νερό από 1050°C	83	40	Βαφή από 1050°C σε νερό.	Ωστενικός ανοξείδωτος χάλυβας κατασκευών. Μηχανήματα εξορύξεως, δόντια έκσακφέων, τροχοί έρπυστριών έλκυστήρων και γερανών, σιαγόνες θραυστήρων.
Νικελιούχοι χάλυβες	0,30	0,60	3,00	—	Μετά βαφή και επαναφορά σε 600°C	87	25	Βαφή σε λάδι από 840°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Χαλυβόκραμα κατασκευών. Στροφαλόφροι άξονες, άξονες μεταδόσεως κινήσεως, διωστήρες. Κομμάτια βιομηχανίας αυτοκινήτων και γενικής μηχανολογίας. Επιπλέον άξονες αντλιών και στροβίλων.
	0,12	0,40	5,0	—	Μετά βαφή	87	22	Μετά τη ενανθράκωση, βαφή πυρήνα από 850°C σε λάδι. Βαφή επιφανειακής στιβάδας από 760°C σε νερό.	Χαλυβόκραμα κατασκευών (ενανθρακώσεω). Κομμάτια με σκλήρυνση φορτίζομενα με μεγάλα φορτία. Οδοντωτοί τροχοί κιβωτίων ταχυτήτων, κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, περίοι, ατέρμονες κοχλίες.
Χρωμιούχοι χάλυβες	0,45	0,90	—	1,00	Μετά βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 650°C. Ράβδος διαμέτρου 30 mm	98	20	Βαφή σε λάδι από 860°C. Επαναφορά σε 550° έως 700°C.	Χαλυβόκραμα κατασκευών. Στοιχεία αγροτικών μηχανών και εργαλειομηχανών. Λεπίδες, δόντια έκσακφέων. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, διωστήρες, βραχίονες (μπάρες) συστήματος οδηγήσεως οχημάτων.
	0,22	0,50	—	13,00	Μετά βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 700°C	75	26	Βαφή σε λάδι, νερό ή αέρα από 950° έως 1000°C. Επαναφορά σε 500° έως 750°C.	Ανοξείδωτος Μαρτεναπτικός χάλυβας κατασκευών. Βαλβίδες και εξαρτήματα αντλιών.
	2,10	—	—	12,50	Μετά βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 200°C	—	—	Βαφή σε λάδι από 960° έως 990°C. Επαναφορά σε 150° έως 400°C.	Χάλυβας έργαλεών. Στιγείς (ζουμπάδες), μήτρες, λεπίδες ψαλιδιών. Μήτρες κονιομεταλλουργίας, μήτρες κατασκευής σπειρωμάτων με συμπίεση.

(συνεχίζεται)

(συνέχεια Πίνακα 3.3.2)

	0,30	0,80	3,00	0,80	Μετά βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 600°C	95	23	Βαφή σε λάδι από 820° έως 840°C. Επαναφορά από 650° έως 650°C.	<b>Χαλιβόκραμα κατασκευάν.</b> Για κομμάτια που καταπονούνται με μεγάλες τάσεις. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως διωστήρες, στροφαλοφόροι δίσκονες κ.ά.
Νικλοδοχημούχοι χάλυβες	0,30	0,45	4,25	1,25	Μετά βαφή στον αέρα και επαναφορά σε 630°C	100	21,5	Βαφή στον αέρα από 820° έως 830°C. Επαναφορά σε 180° έως 200°C για μέγιστη σκληρότητα. Σε 600° έως 650°C για μέγιστη δυσθραυστότητα. Απόψυξη σε λάδι Αποφυγή ανοπτήσεως από 250° έως 580°C.	<b>Χαλιβόκραμα κατασκευάν.</b> Κομμάτια με πολύπλοκη μορφή, των οποίων η βαφή σε λάδι θα προκαλούσε στρεβλώσεις, όπως π.χ. οδοντωτοί τροχοί.
	0,10	0,80	8,50	18,00	Μετά πύρωση σε 1050°C και απόψυξη στον αέρα	—	—	Δεν σκληρώνεται με βαφή πάρα μόνο με ψυχρολασία.	<b>Ωστεντικός ανοξείδωτος χάλυβας.</b> Κατάλληλος για οικιακές και διακοσμητικές χρήσεις.

• Όριο θραύσεως ή μέγιστη αντοχή.

\*\* Ανηγμένη επιμήκυνση θραύσεως.

δ) Άλλες προσθήκες, όπως το Ni, το Si και το Al **γραφιτοποιούν** το σεμεντίτη. Ο σεμεντίτης δηλαδή στην περίπτωση αυτή διασπάται σε φερρίτη και γραφίτη, πράγμα που χειροτερεύει τις μηχανικές ιδιότητες του χαλιβοκράματος.

ε) Ορισμένες προσθήκες, όπως το Mn, Ni, Cr και άλλα ελαπτώνουν την ταχύτητα αποψύξεως κατά τη βαφή. Αυτό επιτρέπει τη χρησιμοποίηση ηπιοτέρων λουτρών βαφής με τα γνωστά ευεργετικά αποτελέσματα (αποφεύγονται ρωγμές και σοβαρές στρεβλώσεις στα βαφόμενα κομμάτια).

στ) Προσθήκες, όπως το Cr, το Si και το Al βελτιώνουν σημαντικά την αντοχή του χαλιβοκράματος στη διάβρωση.

ζ) Τέλος, προστιθέμενα στοιχεία όπως το Cr και το Si αυξάνουν το μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη, ενώ άλλα το μειώνουν. Η δυνατότητα αυτή ρυθμίσεως του μεγέθους των κόκκων ενέχει εξαιρετική σημασία, γιατί είναι δυνατή κατ' αυτό τον τρόπο η μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων του κράματος.

### Γ. Είδη χαλιβοκραμάτων.

· Ανάλογα με το είδος της προσθήκης (ή των προσθηκών) διακρίνομε:

α) Τους **μαγγανιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.2). Το μαγγάνιο, σε ποσοστό μέχρι περίπου 1,00% περιέχεται σε όλους ανεξιαρέτως τους χάλυβες εξ αιτίας των μεθόδων παρασκευής του πρωτογενούς χυτοσίδηρου και αυτών των ίδιων. Στους μαγγανιούχους χάλυβες βέβαια βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία, που φθάνει και το 12,50% στους ανοξείδωτους.

**β) Τους νικελιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.2). Νικελιούχοι χάλυβες με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα (0,10% μέχρι 0,15%) είναι κατάλληλοι για ενανθράκωση [παράγρ. 3.4.3(Η)(2)].

**γ) Τους χρωμιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.2).

**δ) Τους νικελοχρωμιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.2). Σ' αυτούς χρησιμοποιούνται ως προσθήκες το νικέλιο και το χρώμιο μαζί. Ενώ δηλαδή διατηρούνται οι ευνοϊκές για το χάλυβόκραμα ιδιότητές τους, τα μειονεκτήματα της κάθε μιας προσθήκης, που παρουσιάζονται όταν αυτή χρησιμοποιείται ξεχωριστά, εξουδετερώνονται από την παρουσία της άλλης. Η γρήγορη π.χ. αύξηση των κόκκων του ωστενίτη, που οφείλεται στο χρώμιο (Πίνακας 3.3.1), εξουδετερώνεται από το νικέλιο, το οποίο έχει τάση να εκλεπτύνει τους κόκκους. Ακόμα, η τάση του νικελίου να γραφιτοποιεί το σεμεντίτη αντισταθμίζεται από την ιδιότητα που έχει το χρώμιο να σχηματίζει σταθερά σκληρά καρβίδια. Έτσι, η υψηλή μηχανική αντοχή, η καλή δυσθραυστότητα και η πλαστικότητα, που προσδίδει στο χάλυβόκραμα το νικέλιο, συνδυάζονται με τη σκληρότητα και την αντοχή σε φθορά από την τριβή, που προσδίδει το χρώμιο. Επί πλέον το χρώμιο και το νικέλιο μαζί περιορίζουν σημαντικά το φαινόμενο μάζας [παράγρ. 3.4.3(ΣΤ) (4)] που παρατηρείται κατά τη βαφή των χαλύβων.

**ε) Τους βολφραμιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.3). Το βολφράμιο σε μεγάλες αναλογίες χρησιμοποιείται ως βασική προσθήκη στους χάλυβες εργαλείων (παράγρ. 3.5.3), γιατί αυξάνει την αντοχή τους σε επαναφορά.

**στ) Τους μολυβδανιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.3).

**ζ) Τους βαναδιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.3) και

**η) τους πυρπολιούχους χάλυβες** (Πίνακας 3.3.3).

### 3.3.4 Οι ακαθαρσίες των χαλύβων.

Οι χάλυβες γενικά, εκτός από τις προσθήκες (C, Mn, Cr, Ni κ.ά.), περιέχουν και τα ακόλουθα στοιχεία στις αναφερόμενες χονδρικά περιεκτικότητες:

Μαγγάνιο:	έως	1,00%
Πυρίτιο:	έως	0,30%
Φωσφόρος:	έως	0,05%
Θείο:	έως	0,05%
Άζωτο:	έως	0,02%

Τα στοιχεία αυτά παραμένουν στους χάλυβες από το στάδιο της παρασκευής τους και επηρεάζουν τις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες.

Ο φωσφόρος σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 0,05% κάνει το χάλυβα εύθραυστο, γιατί σχηματίζει με το σίδηρο την ψαθυρή ένωση  $Fe_3P$ , που είναι διαλυτή στο χάλυβα.

Το θείο είναι ακαθαρσία που έχει τα πιο δυσμενή για το χάλυβα αποτελέσματα. Σχηματίζει και αυτό με το σίδηρο την ψαθυρή χημική ένωση  $FeS$ , που συσσωρεύεται στα σύνορα των κόκκων και κάνει το χάλυβα ακατάλληλο για διαμόρφωση εν ψυχρώ. Το θείο όμως, προστιθέμενο σε ποσοστό μέχρι 0,25% μόνο του ή μαζί με μόλυβδο στους χάλυβες ελεύθερης κοπής ή χάλυβες αυτομάτων, ασκεί ευεργετική επίδραση βελτιώνοντας την κατεργαστικότητά τους. Οι χάλυβες αυτοί (ανθρα-

## ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3.

**Τυποί βολφραμιούχων [εκτός από τους ταχυχάλυβες], μολυβδαινούχων, βαναδιούχων [εκτός από τους ταχυχάλυβες] και πυρπούχων χάλυβες και βιομηχανικές τους χρήσεις**

Είδος χαλυβοκράματος	Χημική σύνθεση [%]								Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	W		
Βολφραμιούχοι χάλυβες, παράγ. 3.5.3(E)	0,50	—	0,60	—	1,10	—	—	2,25	Βαφή σε λάδι από 880° έως 920°C. Επαναφορά σε 200° έως 300°C για εργαλεία διαμορφώσεως εν ψυχρώ. Επαναφορά σε 400° έως 600°C για εργαλεία διαμορφώσεως εν θερμώ	Χάλυβας εργαλείων αντοχής σε κρούστεις. Γενικώς εργαλεία κατασκευαστή λεβήτων. Στιγείς (ζουμπάδες), μήτρες, λεπίδες ψαλιδών, μήτρες αποκοπής. Μήτρες σχηματισμού κεφαλών εν θερμώ. Άλλες μήτρες διαμορφώσεως εν θερμώ.
	0,30	—	0,15	—	2,85	—	0,35	10,00	Προθέρμανση σε 850°C γρήγορη πύρωση σε 1150° έως 1200°C. Απόψυξη σε λάδι ή αέρα για μικρά κομμάτια. Επαναφορά σε 600° έως 700°C.	Μήτρες διαμορφώσεως εν θερμώ βλήτρων, περικοχλίων, ήλων και παρεμφερών στοιχείων μηχανών, όπου τα εργαλεία εργάζονται σε ωηλές θερμοκρασίες. Μήτρες διελάσεως κραμάτων χαλκού. Μήτρες χυτεύσεως υπό πίεση κραμάτων χαλκού και αργιλίου.
Μολυβδαινούχοι χάλυβες	0,35	1,60	—	—	—	0,45	—	—	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Χαλυβόκραμα κατασκευών. Υποκαθιστά νικελιοχρωμιούχους χάλυβες με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε προσθήκες.
	0,40	0,55	—	1,50	1,10	0,30	—	—	Βαφή σε λάδι από 830° έως 850°C. Επαναφορά σε 550° έως 650°C και απόψυξη σε λάδι ή αέρα.	Χαλυβόκραμα κατασκευών. Άξονες μεταδόσεως κινήσεως, στροφαλοφόροι άξονες και άλλα ισχυρά φορτιζόμενα κομμάτια, όπου αντοχή σε κόπωση και σε κρούστεις είναι επιθυμητή. Μετά ελαφρά επαναφορά (180° έως 200°C) χρησιμοποιείται για οδοντωτούς τροχούς αυτοκινήτων και εργαλειομηχανών.
Βαναδιούχοι χάλυβες [εκτός από τους ταχυχάλυβες]	0,45	0,60	0,25	—	1,05	—	0,15	—	—	Χαλυβόκραμα κατασκευών. Σύρμα ελατηρίων, κυρίως βαλβίδες.
	0,35	0,30	1,00	—	5,00	1,50	1,00	—	Προθέρμανση σε 850°C Ταχεία θέρμανση σε 1000°C. Βαφή στον αέρα. Επαναφορά σε 550° έως 650°C.	Χάλυβας εργαλείων. Μήτρες διαμορφώσεως εν θερμώ κραμάτων χαλκού, όπου η θερμοκρασία δεν είναι πολύ ψηλή. Μήτρες διελάσεως για κράματα του αργιλίου. Μήτρες για χύτευση αργιλίου υπό πίεση.

(συνεχίζεται)

(συνέχεια Πίνακα 3.3.3)

Πυρηπούχο χάλυβες	0,07	-	4,00	-	-	-	-	-	-	<b>Χαλυβόκραμα</b> για κατασκευή ελασμάτων πυρήνων μετασχηματιστών και μαγνητικών πόλων γεννητριών και ηλεκτροκινητήρων.
	0,50 έως 0,70	0,60 έως 1,00	1,50 έως 2,00	-	-	-	-	-	-	<b>Χαλυβόκραμα</b> για κατασκευή ελαστηρίων.
	1,50	-	1,50	-	3,60	-	-	-	-	<b>Χαλυβόκραμα</b> αντοχής σε φθορά. Χρησιμοποιείται για εργαλεία κατεργασίας πετρωμάτων.

κούχοι ή χαλυβοκράματα) κατεργάζονται σε αυτόματα μηχανήματα (π.χ. σε αυτόματους τόρνους) και τα απόβλιττά τους δεν αποκτούν μεγάλο μήκος, θρυμματίζονται δηλαδή εύκολα και έτσι η κοπή εκτελείται αποδοτικά).

Τέλος, το **άξωτο** της ατμόσφαιρας, απορροφούμενο από το λειωμένο χάλυβα κατά την παρασκευή του, είναι δυνατό να σχηματίσει νιτρίδια ( $Fe_4N$ ), που κάνουν ψαθυρό το χάλυβα και ακατάλληλο για διαμόρφωση εν ψυχρώ.

### 3.3.5 Ερωτήσεις.

- Τι καλούμε ανθρακούχο χάλυβα και τι χαλυβόκραμα;
- Γιατί οι χάλυβες έχουν τεράστια αξία ως μορφοποιήσιμο βιομηχανικό υλικό;
- Σε ποιες αλλοτροπικές μορφές παρουσιάζεται ο καθαρός σίδηρος;
- Τι είναι ο ωστενίτης, ο φερρίτης, ο σεμεντίτης και ο περλίτης;
- Ποια η σημασία του τρίματος του θερμικού διαγράμματος των κραμάτων σιδήρου-σεμεντίτη, που αγαφέρεται στους ανθρακούχους χάλυβες (σχ. 3.3γ);
- Τι ονομάζομε ευτηκτοειδή αναλογία και τι ευτηκτοειδές κράμα;
- Πώς ταξινομούμε τους ανθρακούχους χάλυβες με βάση την ευτηκτοειδή αναλογία;
- Οι παρακάτω ανθρακούχοι χάλυβες βρίσκονται στη θερμοκρασία του δωματίου ύστερα από ήρεμη απόψυξη από την κατάσταση του ωστενίτη:  $\pi(C) = 0,25\%$  και  $\pi(C) = 1,15\%$ . Ποια θα είναι η κρυσταλλική τους δομή;
- Τι είναι χαλυβόκραμα;
- Ποιες είναι οι συνήθεις προσθήκες στα χαλυβοκράματα;
- Ποια στοιχεία (προσθήκες) προστιθέμενα στον ανθρακούχο χάλυβα σχηματίζουν σταθερά καρβίδια;
- Ποιες προσθήκες γραφιτοποιούν το σεμεντίτη;
- Να αναφέρετε ποιες προσθήκες έχουν τάση να αυξάνουν και ποιες να μειώνουν το μέγεθος των κόκκων του χαλυβοκράματος;
- Να απαριθμήσετε πέντε είδη χαλυβοκραμάτων, όποια θέλετε.
- Ποιες είναι οι συνήθεις ακαθαρσίες των χαλύβων;
- Πώς επιδρά το θείο σε ένα χάλυβα, αν η περιεκτικότητά του είναι ψηλότερη από εκείνη που επιτρέπεται (μεγαλύτερη από 0,05%);

### 3.4 Θερμικές κατεργασίες των χαλύβων.

#### 3.4.1 Γενικά.

**Θερμική κατεργασία** ενός κράματος ονομάζομε το συνδυασμό πυρώσεως και αποψύξεώς του, ώστε αυτό να αποκτήσει καθορισμένη κρυσταλλική δομή και μέγεθος κόκκων, άρα και τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες. Γενικά το κράμα, ανάλογα με το είδος του, πυρώνεται σε ορισμένη θερμοκρασία, παραμένει στη θερμοκρασία αυτή επί ορισμένο χρονικό διάστημα, για να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία, και ακολουθεί απόψυξή του με ορισμένη επίσης ταχύτητα.

Εδώ θα ασχοληθούμε με τις θερμικές κατεργασίες των χαλύβων. Αυτό γίνεται, γιατί οι χάλυβες είναι από τα λίγα κράματα της τεχνικής, τα οποία είναι δυνατόν, με κατάλληλες θερμικές κατεργασίες, να αποκτήσουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες ή να αλλάξουν σημαντικά οι ιδιότητές τους αυτές. Αυτό οφείλεται σε μετασχηματισμούς, που επέρχονται στην κρυσταλλική τους δομή, όπως θα δούμε στα επόμενα. Είναι δυνατόν επί παραδείγματι, ένας ανθρακούχος χάλυβας με  $\pi(C) = 0,40\%$ , ενώ στη φυσιολογική του κατάσταση [σε κατάσταση ανοπήσεως, παράγρ. 3.4.3(A), όπως λέμε] έχει όριο θραύσεως περίπου  $\sigma_B = 50 \text{ kp/mm}^2$ , ανηγμένη επιμήκυνση θραύσεως  $e_\theta = 17\%$  και σκληρότητα 135 Brinell, μετά από βαφή σε νερό να αποκτήσει  $\sigma_B = 134 \text{ kp/mm}^2$ ,  $e_\theta = 1,5\%$  και σκληρότητα 394 Brinell και μετά από βαφή και επαναφορά [παράγρ. 3.4.3(Z)] σε  $400^\circ \text{ C}$  να παρουσιάσει  $\sigma_B = 97 \text{ kp/mm}^2$ ,  $e_\theta = 16\%$  και σκληρότητα 272 Brinell.

Για την εκτέλεση κάθε θερμικής κατεργασίας με επιτυχία, οι ακόλουθοι τρεις παράγοντες ενέχουν εξαιρετική σημασία:

- Η ανώτατη θερμοκρασία, στην οποία πυρώνεται ο χάλυβας.
- Ο χρόνος παραμονής του στη θερμοκρασία αυτή και
- η ταχύτητα αποψύξεώς του.

Η τελευταία καθορίζεται από το μέσο (λουτρό) ψύξεως, που χρησιμοποιούμε. Π.χ. ένα κομμάτι αποψύχεται ταχύτερα, εάν το εμβαπτίσουμε σε νερό μετά την πύρωσή του, παρά εάν το εμβαπτίσουμε σε λάδι ή το αφήσουμε να αποψυχθεί στον ελεύθερο αέρα.

Οι σπουδαιότερες θερμικές κατεργασίες, που εκτελούμε στη βιομηχανική πράξη είναι οι εξής:

- Η **πλήρης ανόπτηση** (ή απλώς ανόπτηση).
- Η **εξομάλυνση**.
- Άλλα τρία είδη ανοπήσεως: η **ανόπτηση για ανακρυστάλλωση**, η **αποτατική ανόπτηση** και η **ανόπτηση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη**.
- Η **βαφή** και
- η **επαναφορά**.

Θεωρούμε σκόπιμο να μιλήσουμε με συντομία και για τις θερμοχημικές κατεργασίες χαλύβων με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα, δηλαδή για την **ενανθράκωση** και την **εναζώτωση**.

Για λόγους απλότητας θα ασχοληθούμε βασικά με τις θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων (παράγρ. 3.4.3). Θα προσθέσουμε όμως και γενικές παρατηρήσεις για τις θερμικές κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων (παράγρ. 3.4.4).

### 3.4.2 Η επίδραση της ταχύτητας αποψύξεως.

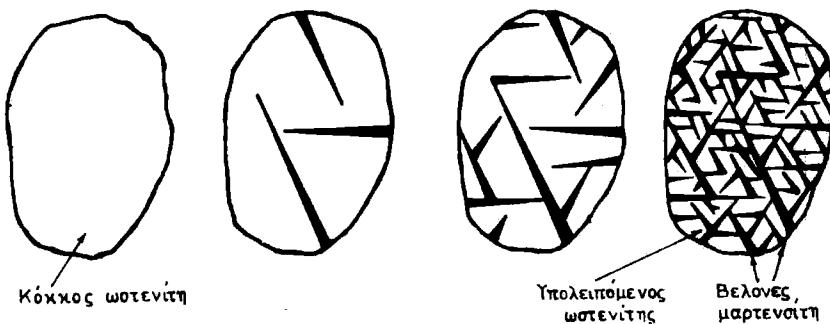
#### A. Ήρεμη απόψυξη.

Κατά τη μελέτη του Θερμικού διαγράμματος των ανθρακούχων χαλύβων (παράγρ. 3.3.2) είδαμε ότι στη θερμοκρασία του δωματίου ο χάλυβας έχει κρυσταλλική δομή φερρίτη-περλίτη ή περλίτη ή περλίτη-σεμεντίτη, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα. Αυτό όμως είναι αποτέλεσμα ήρεμης αποψύξεως του ωστενίτη από θερμοκρασίες ανώτερες από το κρίσιμο σημείο  $A_3$  (σχ. 3.3γ). Έτσι δίνεται ο χρόνος στο κράμα να μετασχηματισθεί και να αποκτήσει την τελική του κρυσταλλική δομή κατά τρόπο φυσιολογικό και πλήρη και ο χάλυβας, που παίρνομε, είναι ο πιο μαλακός και βρίσκεται στην πιο ευσταθή του κατάσταση.

#### B. Απότομη απόψυξη.

Εάν τώρα η απόψυξη του χάλυβα (σε κατάσταση ωστενίτη) γίνει απότομα μέχρι τη θερμοκρασία του δωματίου, τότε η τελική του κρυσταλλική δομή δεν θα προκύψει με φυσιολογική εξέλιξη, όπως κατά την ήρεμη απόψυξη. Θα παρουσιασθούν νέα κρυσταλλικά είδη, όπως θα δούμε, και αυτό βέβαια θα έχει ως αποτέλεσμα μεταβολή στις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα.

Ας πούμε τώρα ότι πυρώνομε ένα κομμάτι από ανθρακούχο ευτηκτοειδή χάλυβα [ $\pi(C) = 0.80\%$ ] σε θερμοκρασία κατά  $50^\circ$  περίπου ψηλότερη από το κρίσιμο σημείο  $A_3$  ( $723^\circ\text{C}$ ) (σχ. 3.3γ). Το κομμάτι παραμένει στη θερμοκρασία επί τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται για να αποκτήσει δομή ωστενίτη και κατόπιν αποψύχεται απότομα μέσα σε λουτρό ψυχρού νερού ή αλατόνερου. Η διαδικασία αυτή αποτελεί τυπική βασίφη [παράγρ. 3.4.3(ΣΤ)] ενός ανθρακούχου χάλυβα. Το αποτέλεσμα της απότομης αυτής αποψύξεως του χάλυβα είναι η εμφάνιση ενός νέου κρυσταλλικού είδους, του **μαρτενότητη** (σχ. 3.4α) εντελώς διαφορετικού από τον περλίτη [σχ. 3.3δ(α)] που, όπως γνωρίζομε, σχηματίζεται με ήρεμη απόψυξη του ίδιου ακριβώς χάλυβα. Ο μαρτενότητης αποτελείται από λεπτούς βελονοειδείς κρυσταλλίτες πολύ σκληρούς και εύθραυστους, που προσανατολίζονται χονδρικά κατά τις πλευρές ενός ισόπλευρου τριγώνου, όπως βλέπομε στο σχήμα 3.4α. Ο μαρτενότητης βρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας, γιατί προέρχεται από μη φυσιολογικό μετασχηματισμό.



Σχ. 3.4α.

Σχηματική παράσταση μετασχηματισμού του ωστενίτη σε μαρτενότητη κατά την απότομη απόψυξη του.

Ο μετασχηματισμός του ωστενίτη σε μαρτενσίτη συνοδεύεται από ανάπτυξη σοβαρών εσωτερικών τάσεων στο κομμάτι, αύξηση του όγκου του κομματιού και σημαντική αύξηση της σκληρότητας και του ορίου θραύσεως του χάλυβα, με σύγχρονη όμως μείωση της ολκιμότητας και της δυσθραυστότητάς του (παράγρ. 3.4.1).

Εκτός από τις ακραίες περιπτώσεις αποψύξεως, δηλαδή την ήρεμη και απότομη αποψύξη, για τις οποίες μιλήσαμε, εφαρμόζονται στην πράξη και ενδιάμεσες ταχύτητες αποψύξεως του χάλυβα. Με αυτές επιτυγχάνομε άλλο νέο κρυσταλλικό είδος ανάμεσα στον περλίτη και το μαρτενσίτη πολύ χρήσιμο για τις εφαρμογές, που το ονομάζουμε **μπανίτη**.

### 3.4.3 Θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων.

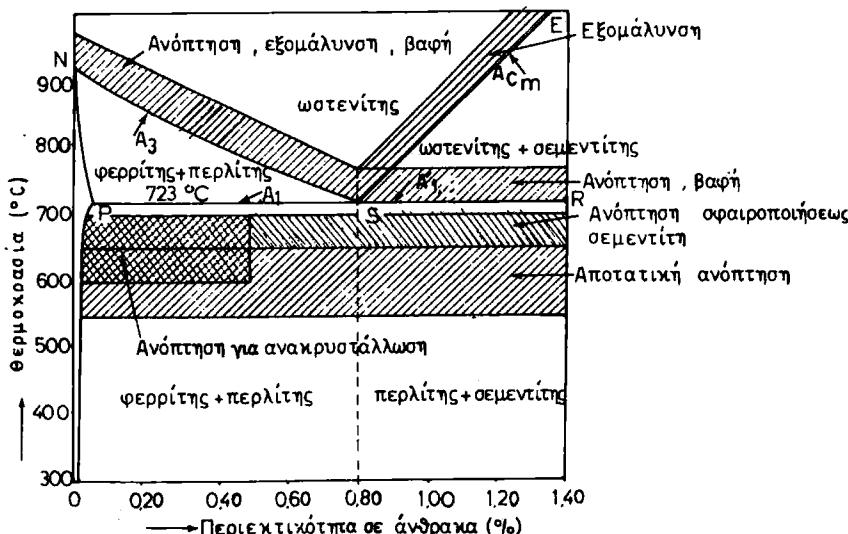
Στην παράγραφο αυτή θα πραγματευθούμε την εκτέλεση των θερμικών κατεργασιών των ανθρακούχων χαλύβων στην πράξη, έχοντας στο νου μας ότι έχομε αναπτύξει μέχρι τώρα σχετικό με τις αρχές, επάνω στις οποίες βασίζονται οι θερμικές τους κατεργασίες.

#### A. Πλήρης ανόπτηση (ή ανόπτηση).

##### 1. Γενικά.

Η ανόπτηση συνίσταται:

- Στο πύρωμα του χάλυβα σε θερμοκρασία κατά  $50^{\circ}\text{C}$  περίπου ψηλότερη από εκείνη, που προσδιορίζεται από τη γραμμή NS (σχ. 3.4β, 3.3γ) για τους υποευτηκοειδείς χάλυβες και από τη γραμμή SR για τον ευτηκοειδή και τους υπερευτηκοειδείς.



Σχ. 3.4β.

Περιοχή, όπου κυμαίνεται η θερμοκρασία κατά τη βαφή, την εξομάλυνση και τα διάφορα είδη ανόπτησεως των ανθρακούχων χαλύβων.

- β) Στην παραμονή του χάλυβα στη θερμοκρασία αυτή επί τόσο χρόνο, όσος απαιτείται για να αποκτήσει ο χάλυβας ομοιόμορφη σε όλη τη μάζα του θερμοκρασία και
- γ) στην ήρεμη απόψυξή του, συνήθως μέσα στο ίδιο τον κλίβανο ανοπτήσεως μέχρι τη θερμοκρασία του δωματίου.

Η ανόπτηση προσδίνει στην κρυσταλλική δομή του χάλυβα τη **φυσιολογική της κατάσταση**, που δυνατό να έχει αλλάξει εξ αιτίας μηχανικών ή θερμικών κατεργασιών ή άλλων λόγων (π.χ. διαμορφώσεις εν ψυχρώ, χύτευση, βαφή, υπερθέρμανση κ.α.), εφ' όσον βέβαια η αλλαγή αυτή δεν έχει πάρει μορφή ατυχήματος, όπως π.χ. συμβαίνει κατά την καύση του χάλυβα [παράγρ. 3.4.3(Α) (2)].

Γενικά η ανόπτηση: **καθιστά το χάλυβα μαλακό, περισσότερο ομοιογενή και λεπτόκοκκο, τον απαλλάσσει από τυχόν εσωτερικές τάσεις και βελτιώνει την κατεργαστικότητά του.**

## 2. Η πύρωση του χάλυβα.

Η μέτρηση και γενικά ο έλεγχος της θερμοκρασίας κατά την ανόπτηση, αλλά και στις άλλες θερμικές κατεργασίες, θα πρέπει να γίνεται με την απαιτούμενη σε κάθε περίπτωση ακρίβεια. Προς το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε συνήθως **θερμομηλεκτρικά πυρόμετρα**<sup>\*</sup>.

Για το πύρωμα του χάλυβα δίνομε τις παρακάτω πρακτικές οδηγίες:

α) Απότομη θέρμανση, ιδιαίτερα μάλιστα σε κομμάτια με μεγάλη διατομή, προκαλεί γρήγορη και μεγάλη διαστολή στην επιφάνεια των κομματιών, ενώ ο πυρήνας τους λόγω σοβαρής διαφοράς θερμοκρασίας διαστέλλεται λιγότερο. Αυτό προκαλεί ανάπτυξη ισχυρών εσωτερικών τάσεων, που μπορούν να δημιουργήσουν ρωγμές στο κομμάτι ή να προκαλέσουν στρεβλώσεις ή και θραύση του ακόμα. Άρα το πύρωμα των κομματιών (και μάλιστα των βαμμένων) πρέπει να είναι ήρεμο. Για βαμμένα κομμάτια συνιστούμε προθέρμανση.

β) Ο χρόνος πυρώσεως πρέπει να είναι αρκετός, όπως είπαμε, ώστε το κομμάτι (ή τα κομμάτια) να αποκτήσει ομοιόμορφη σε όλη τη μάζα του θερμοκρασία. Κομμάτια, λοιπόν, με μικρή διατομή πυρώνονται στη θερμοκρασία ανοπτήσεως επί μερικά πρώτα λεπτά, ενώ πιο χονδρά κομμάτια είναι δυνατό να απαιτήσουν πύρωμα επί ώρες ολόκληρες. Μπορούμε να δεχθούμε ότι αρκούν για πύρωμα στη θερμοκρασία ανοπτήσεως 25 ως 30 πρώτα λεπτά για κάθε 10 mm πάχους διατομής του κομματιού.

γ) Χαλύβδινα κομμάτια κατά τη θέρμανσή τους σε ψηλές θερμοκρασίες στον ατμοσφαιρικό αέρα **οξειδώνονται** γρήγορα, με δυσμενείς φυσικά επιπτώσεις στη μετέπειτα χρήση τους. Την οξειδώση αυτή μπορούμε να την αποφύγομε είτε δημιουργώντας ουδέτερη (χωρίς οξυγόνο) ατμόσφαιρα στο θάλαμο του κλίβανου, εί-

(\*) Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη μεταλλοτεχνία και τη μεταλλουργία για θερμοκρασίες μέχρι 1650°C. Βασικό τους στοιχείο είναι ένα **θερμομηλεκτρικό ζεύγος**, δηλαδή δύο σύρματα από διαφορετικό μέταλλο η κράμα συνενωμένα με αυτογενή συγκόλληση. Επί παραδείγματι, το θερμομηλεκτρικό ζεύγος λευκόχρυσου-λευκόχρυσου και ροδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνήθως για μετρήσεις θερμοκρασίας από 0°C μέχρι 1450°C και ακόμα, για μακρό χρονικό διάστημα, σε μέγιστη θερμοκρασία μέχρι 1700°C.

τε προστατεύοντας τα κομμάτια με κατάλληλη επικάλυψη, είτε πυρώνοντάς τα μέσα σε λουτρά λειωμένων αλάτων.

Είναι επίσης δυνατό κατά το πύρωμα στον ατμοσφαιρικό αέρα να καεί ο άνθρακας της επιφανειακής στοιβάδας των κομματιών ολικά ή μερικά σε ορισμένο βάθος. Στην περίπτωση αυτή έχουμε **εξανθράκωση** του χάλυβα. Για να αποφύγουμε την εξανθράκωση παίρνομε ανάλογα μέτρα, όπως για την αποφυγή της οξειδώσεως.

δ) Πύρωμα τέλος των κομματιών σε θερμοκρασία ανώτερη από τη θερμοκρασία ανοπήσεως έχει ως αποτέλεσμα την **υπερθέρμανση** τους. Τα κομμάτια γίνονται χονδρόκοκκα, άρα και εύθραυστα και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο η θερμοκρασία είναι ψηλότερη και ο χρόνος παραμονής τους σε αυτή μακρότερος. Εξ αλλού πύρωση των κομματιών σε θερμοκρασία σημαντικά ανώτερη από τη θερμοκρασία ανοπήσεως (π.χ. σε  $1300^{\circ}\text{C}$ ) και η παραμονή τους σε αυτή επί αρκετό χρόνο έχει ως συνέπεια την **καύση** του χάλυβα. Ο καμένος χάλυβας γίνεται πολύ εύθραυστος και ακατάλληλος για χρήση.

### **Β. Εξομάλυνση.**

Η **εξομάλυνση** του χάλυβα γίνεται, όπως και η ανόπτηση, με τη διαφορά ότι οι υπερευτηκτοειδείς χάλυβες πυρώνονται σε θερμοκρασίες κατά  $50^{\circ}\text{C}$  ανώτερες από εκείνες που καθορίζονται από τη γραμμή SE του θερμικού διαγράμματος (σχ. 3.4β, 3.3γ). Η απόψυξη γίνεται στον ελεύθερο ήρεμο αέρα (όχι σε ρεύμα αέρα), δηλαδή με μεγαλύτερη ταχύτητα από εκείνη, με την οποία γίνεται κατά την ανόπτηση.

Ο χάλυβας μετά από εξομάλυνση γίνεται πιο ομοιογενής, περισσότερο λεπτόκοκκος και αποκτά μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και σκληρότητα (σε βάρος βέβαια της ολικιμότητας και της δυσθραυστότητάς του) από ό,τι κατά την ανόπτηση.

Εξομάλυνση κάνομε σε καμινευμένα κομμάτια προτού αρχίσουμε την κατεργασία τους, όπως και σε χυτοχαλύβδινα κομμάτια ή σε κομμάτια που έχουν υπερθερμανθεί.

### **Γ. Ανόπτηση για ανακριστάλλωση.**

Έχει ως σκοπό να εξαφανίσει τα αποτελέσματα της σκληρώσεως του χάλυβα. Εφαρμόζεται σε χάλυβες με μέση και χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (κάτω του 0,5%) και εκτελείται στην περιοχή θερμοκρασιών από  $600^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $700^{\circ}\text{C}$  (σχ. 3.4β).

Ο χάλυβας πυρώνεται επί τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται, ώστε να αποκτήσει ομοιόμορφη θερμοκρασία και η απόψυξή του γίνεται ήρεμα.

### **Δ. Αποτατική ανόπτηση.**

Γίνεται για την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων, που παραμένουν σε κομμάτια ύστερα από σφυρηλασία ή μετά από μεθόδους μορφοποιήσεως, οι οποίες δημιουργούν διαφορές θερμοκρασίας σ' αυτά, όπως μετά από συγκόλληση ή χύτευση.

Η αποτατική ανόπτηση συνίσταται σε παρατεταμένη πύρωση του χάλυβα σε θερμοκρασίες κυμαινόμενες ανάμεσα σε  $550^{\circ}\text{C}$  και  $650^{\circ}\text{C}$  (σχ. 3.4β) και σε αργή απόψυξη μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

### **E. Ανόπτηση για σφαιροποίηση του σεμεντίτη.**

Το είδος αυτό της ανοπτήσεως το εφαρμόζομε, για να βελτιώσουμε την κατεργαστικότητα ανθρακούχων χαλύβων, με υψηλή αναλογία σε άνθρακα.

Η θερμική αυτή κατεργασία συνίσταται σε παρατεταμένη πύρωση του χάλυβα σε θερμοκρασίες από 650°C έως 700°C (σχ. 3.4β) και σε ήρεμη απόψυξή του στον ελεύθερο αέρα. Ο σεμεντίτης αποκτά σφαιροειδή μορφή αντί για την πλακοειδή μορφή που έχει στον περλίτη [σχ. 3.3δ(α)] και στα σύνορα των κόκκων των υπερευτηκτοειδών χαλύβων [σχ. 3.3δ(γ)]. Η σφαιροειδής μορφή του σεμεντίτη προσδίνει στο χάλυβα κάλή κατεργαστικότητα και πλαστικότητα.

Εφαρμόζεται κυρίως στους χάλυβες μετά από καμίνευση επίσης και σε υποευτηκτοειδείς χάλυβες για βελτίωση της ολικού της (ή ελατότητάς) τους, όταν πρόκειται να υποστούν κατεργασίες διαμορφώσεως εν ψυχρώ.

### **ΣΤ. Βαφή.**

#### **1. Γενικά.**

Η βαφή προσδίνει στο χάλυβα χαρακτηριστικά ψηλή σκληρότητα και χαμηλή δυσθραυστότητα και πλαστικότητα με το σχηματισμό του μαρτενσίτη [παράγρ. 3.4.2(β)].

Κατά τη βαφή ο χάλυβας (με μέση ή ψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, δηλαδή μεγαλύτερη από 0,30%):

- Πυρώνεται σε θερμοκρασία κατά 400°C περίπου ανώτερη από εκείνη, που αντιστοιχεί στη γραμμή NS για τους υποευτηκτοειδείς και SR για τον ευτηκτοειδή και τους υπερευτηκτοειδείς χάλυβες (σχ. 3.4β).
- Παραμένει στη θερμοκρασία αυτή (θερμοκρασία βαφής) μέχρι να αποκτήσει ομοιόμορφη σε όλη τη μάζα του θερμοκρασία και
- αποψύχεται γρήγορα σε κατάλληλο λουτρό βαφής [παράγρ. 3.4.3 (ΣΤ)(3)], ώσπου να φθάσει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

#### **2. Το πύρωμα του χάλυβα.**

Καλό είναι, πριν από τη βαφή, ο χάλυβας να έχει ανοπτηθεί, για να αποκτήσει τη φυσιολογική του κρυσταλλική δομή και για να απαλλαγεί από τυχόν παραμένουσες μηχανικές τάσεις, που θεωρούνται επικίνδυνες για τη βαφή.

Κατά το πύρωμα των κομματιών για βαφή, παίρνομε παρόμοια προστατευτικά μέτρα, όπως και για την ανόπτηση [παράγρ. 3.4.3(A)(2)]. Αυτό γίνεται είτε σε κοινούς κλιβάνους με φλόγα ή σε ηλεκτρικούς είτε σε κλιβάνους με λουτρό λειωμένων αλάτων.

#### **3. Η απόψυξη του χάλυβα.**

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι για την επιτυχία της βαφής βασικός παράγοντας είναι η ταχύτητα, με την οποία γίνεται η απόψυξη του χάλυβα από τη θερμοκρασία της βαφής (ο χάλυβας βρίσκεται σε κατάσταση ωστενίτη) μέχρι τη θερμοκρασία του δωματίου (ο ωστενίτης μετασχηματίζεται κατά το μεγαλύτερό του ποσοστό σε

μαρτενσίτη, απομένει όμως και μικρό ποσοστό ωστενίτη, που τον ονομάζομε **υπολεπτόμενο ή παραμένοντα ωστενίτη**.

Η ταχύτητα αποψύξεως εξαρτάται από τους εξής τρεις παράγοντες:

- Από το μέσο ψύξεως, δηλαδή από το **λουτρό βαφής**, στο οποίο εμβαπτίζονται τα προς βαφή κομμάτια, για να αποψυχθούν.
- Από το βαθμό αναταράξεως του λουτρού βαφής και
- γ) από το μέγεθος της διατομής των κομματιών, δηλαδή από το κατά πόσο τα κομμάτια είναι χονδρά ή λεπτά.

Ος λουτρά βαφής μεταχειρίζόμαστε βιομηχανικά τα ακόλουθα κατά σειρά ελαττούμενης δραστικότητας:

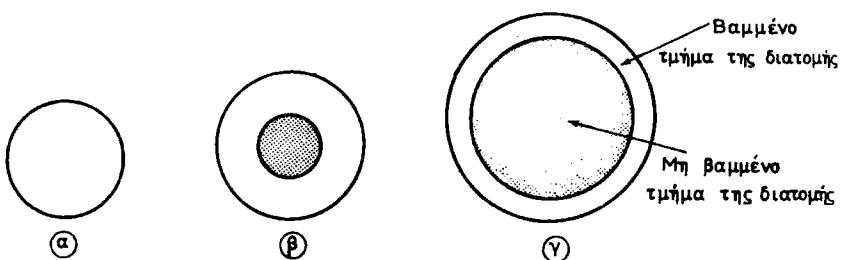
- Αλατόνερο (διάλυμα νερού και 10% χλωριούχου νατρίου).
- Νερό.
- Λειωμένα άλατα.
- Λάδια.
- Ήρεμο αέρα.

Η θερμοκρασία του λουτρού παίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της βαφής. Προς αποφυγή αυξήσεως της θερμοκρασίας του, το λουτρό πρέπει να έχει τον όγκο, που απαιτείται. Ακόμα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του λουτρού βαφής μπορούμε να προβλέψουμε και τα απαραίτητα ψυκτικά στοιχεία.

#### 4. Το φαινόμενο μάζας του κομματιού κατά τη βαφή.

Κατά τη βαφή, όπως είναι φυσικό, η ταχύτητα απόψυξεως μειώνεται όσο προχωρούμε από την επιφάνεια προς τον πυρήνα του κομματιού. Η ελάττωση αυτή της ταχύτητας απόψυξεως είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο το κομμάτι είναι χονδρότερο (έχει μεγαλύτερη διατομή). Άρα, αν βάψωμε ένα χονδρό κομμάτι από ανθρακούχο χάλιβα, θα παρατηρήσουμε ότι, ενώ σε ορισμένο βάθος από την επιφάνειά του βάφεται κανονικά (αποκτά ιστό μαρτενσίτη), στην υπόλοιπη διατομή του δεν βάφεται κανονικά ή και καθόλου. Το φαινόμενο αυτό το ονομάζομε **φαινόμενο μάζας του κομματιού**. Την ικανότητα ενός κομματιού να βάφεται βαθιά την καλούμε **εμβαπτότητα**.

Στο σχήμα 3.4γ εικονίζεται παραστατικά το φαινόμενο μάζας για τρία κυλινδρι-



Σχ. 3.4γ.

Επίδραση του μεγέθους της διατομής του τεμαχίου στο βάθος βαφής. (α) Μικρή διατομή, το κομμάτι βάφεται εντελώς. (β) Μέση διατομή, δε βάφεται ο πυρήνας. (γ) Μεγάλη διατομή, βαμμένη μόνο η επιφανειακή σπιθάδα του κομματιού, χωρίς να βάφεται το υπόλοιπό του.

κά κομμάτια με μικρή, μέση και μεγάλη διατομή.

Το φαινόμενο αυτό είναι **εντονότερο** στους ανθρακούχους χάλυβες. Μπορεί όμως να περιορισθεί ή και να εξαλειφθεί εντελώς με προσθήκες, όπως είναι το Mn, το Ni, το Cr και άλλα (Πίνακας 3.3.1). Οι προσθήκες αυτές ελαπτώνουν την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως και συνεπώς δίνουν χρόνο στο κομμάτι να βαφεί σε όλη του τη μάζα, ακόμα και σε ήπιο λουτρό βαφής, όπως π.χ. σε λουτρό λαδιού.

## 5. Ατυχήματα κατά τη βαφή.

Κατά το πύρωμα των κομματιών για βαφή παίρνομε παρόμοια προστατευτικά μέτρα, όπως στην ανόπτηση [παράγρ. 3.4.2(A)(2)], για να αποφύγομε αχρήστευσή τους.

Σε βαμμένα όμως κομμάτια μπορούν να συμβούν χαρακτηριστικά ατυχήματα.

Μνημονεύομε παρακάτω τα πιο συνηθισμένα από αυτά:

**α) Ανομοιογένεια βαφής.** Ελέγχεται με μέτρηση της σκληρότητας σε διάφορες θέσεις της επιφάνειας του κομματιού. Μπορούμε να την αποδώσουμε σε ανομοιόμορφη πύρωση ή απόψυξη ή και στα δύο μαζί. Εξαλείφεται μόνο με νέα κανονική πύρωση και απόψυξη.

**β) Ανεπαρκής βαφή.** Το κομμάτι δεν αποκτά τη σκληρότητα, που πρέπει να αποκτήσει μετά από τη βαφή. Οφείλεται είτε σε μικρότερη δραστικότητα του λουτρού βαφής είτε σε πύρωμα σε θερμοκρασία βαφής κατώτερη από την προβλεπόμενη για το θεωρούμενο χάλυβα. Χρειάζεται επανάληψη της βαφής κατά κανονικό όμως τρόπο.

**γ) Ρωγμές και στρεβλώσεις.** Οφείλονται σε εσωτερικές τάσεις, που αναπτύσσονται κατά την απόψυξη. Αποφεύγονται ή περιορίζονται με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου λουτρού βαφής και **ποτέ δραστικότερου**.

## Z. Επαναφορά.

1) **Επαναφορά** έχομε, όταν ο βαμμένος χάλυβας:

- α) Αναπυρωθεί σε ορισμένη θερμοκρασία (στη **θερμοκρασία επαναφοράς**).
- β) Παραμείνει στη θερμοκρασία αυτή επί ορισμένου χρόνου και
- γ) αποψυχθεί στον ελεύθερο ήρεμο αέρα μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η επαναφορά έχει ως σκοπό να **προσδώσει βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες** στο βαμμένο χάλυβα και να τον **απαλλάξει από τις σοβαρές εσωτερικές τάσεις**, που παραμένουν σ' αυτόν μετά από βαφή. Και τούτο, γιατί ο βαμμένος χάλυβας (με κρυσταλλική δομή μαρτενσίτη και μικρό ποσοστό παραμένοντα ωστενίτη) είναι ακατάλληλος για βιομηχανική χρήση, γιατί είναι πολύ σκληρός, εύθραυστος και έχει ασήμαντη πλαστικότητα. Έτσι, μετά από επαναφορά, οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα μεταβάλλονται σημαντικά: **η σκληρότητά του και το δριο θραύσεως μειώνονται με σύγχρονη αύξηση της δυσθραυστότητας και της πλαστικότητάς του.**

Κατά την επαναφορά του βαμμένου ανθρακούχου χάλυβα μέχρι το κατώτερο κρίσιμο σημείο A<sub>1</sub> (723°C) επέρχονται διάφοροι μετασχηματισμοί στην κρυσταλλική του δομή. Έτσι, ανάλογα με τη θερμοκρασία επαναφοράς, παίρνομε διάφορα κρυσταλλικά είδη: επαναφορά σε θερμοκρασία από 350°C μέχρι 450°C μας δίνει

τον **τροσσατίη**, από 450°C έως 650°C το **σορμπήη** και από 650°C μέχρι το κρίσιμο σημείο  $A_1$  τον **κοκκώδη περλίτη**.

**2) Πρακτικές παρατηρήσεις και οδηγίες για την εκτέλεση της επαναφοράς.**

**α) Εφαρμογές του συνδυασμού ραφής και επαναφοράς.**

Η βαφή ακολουθούμενη από κατάλληλη επαναφορά εφαρμόζεται σε δύο κυρίως περιπτώσεις:

**1) Στα εργαλεία κοπής και διαμορφώσεως.** Στην κατασκευή των εργαλείων αυτών κάνουμε ελαφρή επαναφορά, για να αυξήσουμε τη δυσθραυστότητά τους. Σε εργαλεία από ανθρακούχο χάλυβα, τα οποία δεν υπόκεινται σε κρούσεις, η επαναφορά γίνεται στους 160°C έως 200°C, ενώ σε εργαλεία, που υφίστανται κρούσεις, η επαναφορά εκτελείται σε 250°C μέχρι 300°C.

**2) Στην επιβελτίωση του χάλυβα.** Πρόκειται για σύνθετη κατεργασία, που εφαρμόζομε κατά κύριο λόγο στα χαλυβακράματα. Συνίστανται σε βαφή, την οποία ακολουθεί επαναφορά, σε ψηλή θύμα θερμοκρασία. Θερμοκρασίες επαναφοράς για διάφορα χαλυβοκράματα δίνομε στους σχετικούς με αυτά πίνακες 3.3.2 και 3.3.3.

**β) Θέρμανση των κομματιών για επαναφορά.**

Για την επιτυχία της επαναφοράς μεγάλη σημασία έχει ο έλεγχος της θερμοκρασίας με ακρίβεια. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε συνήθως πυρόμετρα.

Μικρότερη ακρίβεια στον έλεγχο της θερμοκρασίας μας δίνει η μέθοδος με οπτική εκτίμηση του χρωματισμού των κομματιών. Προοδευτικά με τη θέρμανση αλλάζει ο χρωματισμός της επιφάνειας των κομματιών, λόγω σχηματισμού οξειδίων.

Η συσχέτιση μεταξύ χρωματισμού και θερμοκρασίας για τους χάλυβες από 220°C μέχρι 325°C (περιοχή θερμοκρασιών, μέσα στην οποία η μέθοδος μας δίνει τη μεγαλύτερη ακρίβεια εκτιμήσεως) είναι η ακόλουθη:

Κίτρινος βαθύς	σε 220°C
Χρυσοκίτρινος	σε 245°C
Κόκκινος-καστανός	σε 265°C
Κόκκινος βαθύς	σε 275°C
Μπλε ανοιχτός	σε 290°C
Μπλε βαθύς	σε 300°C
Μπλε-γκρι	σε 310°C
Γκρι	σε 325°C

Η παρατήρηση του χρωματισμού πρέπει να γίνεται μέσα σε δύο ή τρία πρώτα λεπτά από τη στιγμή που θα σχηματισθεί στην επιφάνεια του κομματιού το λεπτό στρώμα οξειδίου. Αν γίνει αργότερα, τότε ο χρωματισμός θα αντιστοιχεί σε ψηλότερη θερμοκρασία.

Ο χρόνος παραμονής του χάλυβα στη θερμοκρασία επαναφοράς ασκεί σημαντική επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες, που θα αποκτήσει με την επαναφορά ο χάλυβας. Γενικά μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το ίδιο αποτέλεσμα είναι δυνατό να το επιτύχουμε είτε θερμαίνοντας το κομμάτι μικρότερο χρόνο σε ψηλότερη θερμοκρασία επαναφοράς, είτε θερμαίνοντάς το επί μακρότερο χρόνο σε χαμηλότερη θερμοκρασία επαναφοράς.

## **Η. Θερμοχημικές κατεργασίες.**

### **1. Γενικά.**

Πολλά κομμάτια κατά τη λειτουργία τους χρειάζεται να έχουν σκληρή επιφάνεια, που να αντέχει στη φθορά από την τριβή, και συγχρόνως πυρήνα με ικανοποιητική μηχανική αντοχή και δυσθραυστότητα. Ως τυπικό παράδειγμα τέτοιου κομματιού αναφέρομε τον πείρο, που συνδέει το διωστήρα με το έμβολο σε μία μηχανή εσωτερικής καύσεως. Το συνδυασμό αυτό μηχανικής αντοχής και δυσθραυστότητας του πυρήνα ενός κομματιού από το ένα μέρος και της αντοχής σε φθορά της επιφάνειάς του από το άλλο, μπορούμε να τον επιτύχομε με μία από τις ακόλουθες θερμοχημικές κατεργασίες:

a) Την **ενανθράκωση**, όπου η επιφανειακή στιβάδα ενός κομματιού από πτωχό σε άνθρακα χάλυβα (κάτω από 0,20%) εμποτίζεται με άτομα άνθρακα. Την ενανθράκωση ακολουθεί, όπως θα δούμε στην παράγραφο 3.4.3(H)(2), μια σειρά από θερμικές κατεργασίες.

b) Την **εναζώτωση**, κατά την οποία προστίθεται στην επιφανειακή στοιβάδα του κομματιού, από ειδικό για εναζώτωση χάλυβα, άζωτο που μαζί με το σίδηρο του χάλυβα σχηματίζει μια πολύ σκληρή χημική ένωση, το σιδηρονιτρίδιο ( $Fe_3N$ ). Μετά την εναζώτωση δεν γίνονται θερμικές κατεργασίες στο κομμάτι και

γ) την **ενδοκυάνωση**. Εδώ η επιφανειακή στρώση του κομματιού εμποτίζεται με άνθρακα και άζωτο μαζί. Ακολουθείται από μία σειρά καταλλήλων θερμικών κατεργασιών.

Θα ήταν παράλειψη, αν δεν αναφέραμε εδώ και τη **φλογοβαφή**, που δεν είναι θερμοχημική κατεργασία, όπως οι προηγούμενες, αλλά με την οποία επιτυγχάνομε σκλήρυνση, σε ελεγχόμενο βάθος, της επιφανειακής στοιβάδας κομματιών από χάλυβα, που να επιδέχεται βαφή [ $\pi(C) \geq 0,35\%$ ].

Παρακάτω θα μιλήσουμε για την ενανθράκωση, την οποία συναντούμε ευρύτερα στην πράξη.

### **2. Ενανθράκωση.**

#### **α) Εκτέλεση της ενανθρακώσεως.**

Η ενανθράκωση βασίζεται στην αρχή, σύμφωνα με την οποία, ο χάλυβας σε κατάσταση ωστενίτη εμποτίζεται από άτομα άνθρακα σε θερμοκρασίες από  $910^{\circ}C$  μέχρι  $950^{\circ}C$  (**θερμοκρασία ενανθρακώσεως**). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα της επιφανειακής στρώσεως του κομματιού [συνήθως  $\pi(C) > 0,80\%$ ].

Για να γίνει η ενανθράκωση χρειάζεται κάποιο **ενανθρακωτικό μέσο** ή **ουσία**, που μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο.

Ως στερεό ενανθρακωτικό μέσο χρησιμοποιείται συνήθως μίγμα σε σκόνη από 60% έως 90% ξυλάνθρακα και 40% έως 10% ανθρακικό βάριο ( $BaCO_3$ ) ή ανθρακικό νάτριο ( $NaCO_3$ ). Τα κομμάτια, που πρόκειται να ενανθρακώσουμε, τα τοποθετούμε μαζί με το ενανθρακωτικό μέσο μέσα σε κατάλληλο πυρίμαχο μεταλλικό δοχείο. Κλείνομε αεροστεγώς το δοχείο και το βάζομε μέσα σε κατάλληλο κλίβανο, του οποίου η θερμοκρασία διατηρείται σταθερά στους  $700^{\circ}C$  περίπου. Κατόπιν η θερμοκρασία του κλιβάνου ανυψώνεται μέχρι τη θερμοκρασία ενανθρακώσεως.

Στη θερμοκρασία αυτή τα κομμάτια παραμένουν επί καθορισμένο χρόνο, ο οποίος εξαρτάται από το βάθος της ενανθρακωμένης στρώσεως, που επιδιώκομε. Το βάθος αυτό, για το ίδιο ενανθρακωτικό μέσο, αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας ενανθρακώσεως (βέβαια ως ένα ανώτερο όριο) και του χρόνου παραμονής των κομματιών στη θερμοκρασία αυτή.

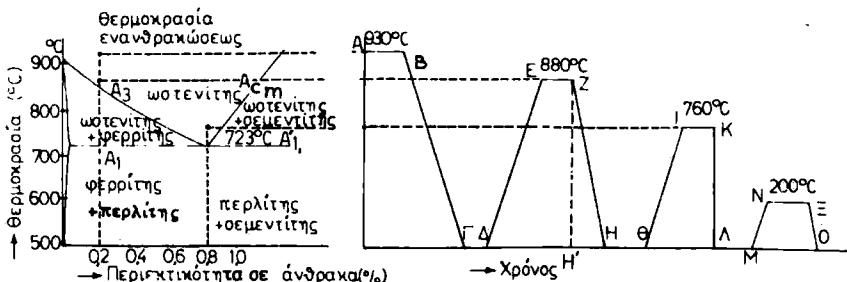
Η ενανθράκωση με υγρό ενανθρακωτικό μέσο γίνεται μέσα σε λουτρό λειωμένων αλάτων στη θερμοκρασία ενανθρακώσεως. Το μίγμα αλάτων, που συνήθως χρησιμοποιείται, αποτελείται από 20% μέχρι 50% κυανιούχο νάτριο ( $\text{NaCN}$ ), από ανθρακικό νάτριο μέχρι 40% και από χλωριούχο νάτριο ( $\text{NaCl}_2$ ) ή χλωριούχο βάριο ( $\text{BaCl}_2$ ) κατά το υπόλοιπο. Τα προς ενανθράκωση κομμάτια, τοποθετούμενα μέσα σε κατάλληλο καλάθι από σύρματινο πλέγμα, εμβαπτίζονται μέσα στο λουτρό και παραμένουν στη θερμοκρασία ενανθρακώσεως επί ορισμένο χρονικό διάστημα ανάλογα με το επιθυμητό βάθος ενανθρακώσεως.

Τέλος η ενανθράκωση με αέριο ενανθρακωτικό μέσο (μεθάνιο,  $\text{CH}_4$  η προπάνιο  $\text{C}_3\text{H}_8$ ) γίνεται μέσα σε αεροστεγή κλίβανο σε θερμοκρασία από  $850^\circ\text{C}$  έως  $930^\circ\text{C}$ . Τη μέθοδο αυτή την προτιμούμε σε περιπτώσεις που πρόκειται να ενανθρακώσουμε μεγάλο αριθμό κομματιών σε μικρό βάθος (το βάθος ενανθρακώσεως ελέγχεται με ευκολία και ακρίβεια).

### β) Θερμικές κατεργασίες μετά την ενανθράκωση.

Μετά τη ενανθράκωση (γραμμή A-B του σχήματος 3.4δ) αφήνομε τα κομμάτια να αποψυχθούν ήρεμα (γραμμή B-Γ).

Η πρώτη θερμική κατεργασία που κάνομε μετά από ενανθράκωση είναι βαφή [παράγρ. 3.4.3(A)] ή εξομάλυνση [παράγρ. 3.4.3(B)] για την εκλέπτυνση των κόκκων του πυρήνα (βελτίωση της δυσθραυστότητας του χάλυβα), γιατί με την παρατεταμένη πύρωση στην ψηλή θερμοκρασία ενανθρακώσεως ο χάλυβας γίνεται χονδρόκοκκος. Για το σκοπό αυτό τα κομμάτια πυρώνονται (γραμμή Δ-Ε) στην προβλεπόμενη θερμοκρασία [π.χ. για χάλυβα με  $\pi(\text{C}) = 0,20\%$  σε θερμοκρασία  $880^\circ\text{C}$ ] και αποψύχονται κατά τη γραμμή Z-H' ή Z-H (βαφή ή εξομάλυνση αντίστοιχα).



Σχ. 3.4d.

Θερμικές κατεργασίες ενός ανθρακούχου χάλυβα μετά ενανθράκωση.

Η δεύτερη θερμική κατεργασία είναι βαφή της επιφανειακής στοιβάδας [με  $\pi(\text{C}) > 0,80\%$ , άρα πύρωμα σε  $760^\circ\text{C}$  περίπου, γραμμή Θ-Ι του σχήματος 3.4δ και γρήγορη απόψυξη, γραμμή Κ-Λ], για να άποκτήσει μεγάλη σκληρότητα και λεπτό-

κοκκιστό (εξακολουθεί να έχει χονδρόκοκκο ιστό, γιατί η θερμοκρασία των 880°C, για το παράδειγμά μας, θεωρείται πολύ ψηλή για την επιφανειακή στρώση με ανθρακα περισσότερο από 0,80%). Η βαφή αυτή αποτελεί κατά κάποιο τρόπο αναφορά του πυρήνα των κομματιών.

Τέλος, για να απαλλαγεί η επιφανειακή στοιβάδα από εσωτερικές τάσεις, θερμαίνομε κομμάτια σε 200°C (γραμμή M-N) και τα αποψύχομε ήπια (γραμμή Ξ-Ο).

#### **3.4.4 Θερμικές κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων.**

Όλα, όσα έχομε μέχρι τώρα αναπτύξει για τις θερμικές κατεργασίες, αφορούν στους ανθρακούχους χάλυβες. Παρακάτω θα περιορισθούμε σε γενικές παρατηρήσεις για τις θερμικές κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων. Εξ άλλου δίνομε στοιχεία για τη θερμοκρασία βαφής και επαναφοράς τους στους Πίνακες 3.3.2 και 3.3.3. Επί πλέον, άλλες πληροφορίες, που τυχόν θα χρειασθούμε για θερμικές κατεργασίες χαλυβοκραμάτων, μπορούμε να τις αναζητήσουμε στους καταλόγους των εργοστασίων παραγωγής τους ή να τις ανεύρομε σε ειδικά εγχειρίδια.

##### **A. Σχετικά με τη βαφή των χαλυβοκραμάτων.**

Οι προσθήκες, που σχηματίζουν καρβίδια, έχουν ως αποτέλεσμα την ελάττωση της κρίσιμης ταχύτητας αποψύξεως, δηλαδή καθώς προχωρούμε από το Cu, Ni και Si (στοιχεία που δεν σχηματίζουν καρβίδια) προς το Mn, Cr, Mo, W και V (στοιχεία, που σχηματίζουν καρβίδια). Αυτό σημαίνει ότι η βαφή μπορεί να γίνει σε ηπιότερα λουτρά βαφής, ή ακόμα και στον ήρεμο ελεύθερο αέρα, όπως συμβαίνει με τους ταχυχάλυβες.

Η σκληρότητα που επιτυγχάνεται μετά από βαφή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την περιεκτικότητα του χαλυβοκράματος σε ανθρακα. Όσο δηλαδή η αναλογία του ανθρακα στο χαλυβόκραμα είναι μεγαλύτερη, τόσο αυτό αποκτά μεγαλύτερη σκληρότητα μετά τη βαφή.

Οι προσθήκες επιδρούν στο μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη και κατά συνέπεια των κόκκων στην τελική κρυσταλλική δομή, που θα αποκτήσει ο χάλυβας, ανάλογα με τη θερμική κατεργασία, που θα υποστεί (μαρτενσίτης, φερρίτης-περλίτης κλπ.). Προσθήκες, που ευνοούν την ανάπτυξη λεπτόκοκκου κρυσταλλικού ιστού, είναι το Ni, το V κ.α.

##### **B. Σχετικά με την επαναφορά των χαλυβοκραμάτων.**

Σε ορισμένα χαλυβοκράματα παρατηρείται σοβαρή πτώση της δυσθραυστότητάς τους σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες επαναφοράς (περιοχή από 200°C έως 400°C). Έτσι, αν επιθυμούμε το χαλυβόκραμα να έχει μεγάλη σκληρότητα, άρα και αντοχή σε φθορά, το επαναφέρομε σε θερμοκρασία κάτω από 200°C. Αν χρειάζεται αυτό να έχει καλή δυσθραυστότητα, τότε κάνομε επαναφορά σε θερμοκρασία ανώτερη από 400°C ανάλογα.

Σε ορισμένα πλούσια σε προσθήκες, που σχηματίζουν καρβίδια, χαλυβοκράματα, όπως είναι οι ταχυχάλυβες [παράγρ. 3.5.3(Ε)] παρατηρείται ότι δεν ελαττώνεται η σκληρότητά τους μετά από επαναφορά (μέσα βέβαια σε ορισμένα όρια θερμοκρασίας επαναφοράς). Οι χάλυβες αυτού του είδους είναι κατάλληλοι για την κα-

τασκευή κοπτικών εργαλείων, που πρέπει να διατηρούν τη σκληρότητά τους σε ψηλές θερμοκρασίες κατά την κοπή. Την ιδιότητά τους αυτή την ονομάζομε **αντοχή σε επαναφορά** και αποτελεί αυτή βασική χαρακτηριστική ιδιότητα των υλικών για κοπτικά εργαλεία.

### 3.4.5 Ερωτήσεις.

1. Να δώσετε τον ορισμό της θερμικής κατεργασίας ενός κράματος;
2. Τι επιτυγχάνομε με τις θερμικές κατεργασίες των χαλύβων;
3. Να αναφέρετε τους τρεις ουσιώδεις παράγοντες που παίζουν βασικό ρόλο στην επιτυχία κάθε θερμικής κατεργασίας χάλυβα.
4. Πόσων ειδών θερμικές κατεργασίες χαλύβων έχουμε;
5. Να αναφέρετε τέσσερις περιπτώσεις θερμικής κατεργασίας συγκεκριμένων κομματιών.
6. Ποια είναι η σημασία της θερμοκρασίας, στην οποία γίνεται κάθε θερμική κατεργασία και πώς μετρούμε τη θερμοκρασία αυτή;
7. Ποιο είναι το αποτέλεσμα της απότομης αποψύξεως ενός ανθρακούχου χάλυβα με  $\rho(C) = 0,70\%$ ;
8. Τι γνωρίζετε για το κρυσταλλικό είδος που το ονομάζομε μαρτενσίτη;
9. Να αναφέρετε τα βήματα που ακολουθούμε για να κάνουμε ανόπτηση σε έναν ανθρακούχο χάλυβα.
10. Τι επιτυγχάνομε με την ανόπτηση ενός χάλυβα;
11. Τι κάνουμε για να αποφύγομε την οξείδωση και την εξανθράκωση των χαλυβδίνων κομματιών κατά την πύρωση τους για ανόπτηση;
12. Πότε έχουμε υπερθέρμανση και πότε καύση του χάλυβα κατά το πύρωμά του για ανόπτηση;
13. Ποιες είναι οι ουσιώδεις διαφορές ανάμεσα στην ανόπτηση και στην εξομάλυνση;
14. Τι σκοπό έχει η αποτατική ανόπτηση και τι η ανόπτηση για κρυστάλλωση;
15. Τι είναι βαφή ενός χάλυβα;
16. Ποιοι παράγοντες καθορίζουν τη σκληρότητα, που θα αποκτήσει ένας ανθρακούχος χάλυβας μετα από βαφή;
17. Από ποιους κύριους παράγοντες εξαρτάται η ταχύτητα αποψύξεως κατά τη βαφή ενός χάλυβα;
18. Να απαριθμήσετε τα λουτρά βαφής που χρησιμοποιούμε κατά σειρά αυξανόμενης δραστικότητας.
19. Τι εννοούμε λέγοντας **φαινόμενο μάζας** κατά τη βαφή ενός χαλύβδινου κομματιού και πώς μπορούμε να περιορίσουμε ή ακόμα και να εξαλείψουμε το φαινόμενο αυτό;
20. Να παραθέσετε δύο συνήθη απυχήματα, που μπορούν να συμβούν στο χάλυβα κατά τη βαφή του.
21. Ποιος είναι ο σκοπός της επαναφοράς του βαμμένου χάλυβα;
22. Γιατί η επαναφορά που κάνουμε στο χάλυβα προξενεί μείωση στο όριο θραύσεως και στη σκληρότητά του;
23. Να αναφέρετε δύο περιπτώσεις επαναφοράς συγκεκριμένων βαμμένων χαλυβδίνων κομματιών και να δικαιολογήσετε γιατί τους κάνουμε επαναφορά.
24. Ποιες περίπου θα πρέπει να είναι οι θερμοκρασίες επαναφοράς ενός κοπιδιού και ενός εργαλείου τόρνου από ανθρακούχο χάλυβα; Να εξηγήσετε το γιατί. Ποιος εκτιμάτε ότι θα είναι ο χρωματισμός του εργαλείου του τόρνου, για να του γίνει σωστή επαναφορά;
25. Τι είναι επιβελτίωση ενός χαλυβοκράματος;
26. Τι επιδιώκουμε με την ενανθράκωση;
27. Να περιγράψετε τα βήματα που ακολουθούμε κατά την ενανθράκωση χαλυβδίνων κομματιών με στρεού ενανθρακωτικό μέσο.
28. Ποια είναι η σειρά των θερμικών κατεργασιών που κάνουμε συνήθως σε ενανθρακωμένα κομμάτια;
29. Να αναφέρετε κομμάτια μηχανημάτων, στα οποία κάνουμε ενανθράκωση και φυσικά και τις θερμικές κατεργασίες, που την ακολουθούν. Να εξηγήσετε τους λόγους, για τους οποίους χρειάζεται η ενανθράκωση.

30. Πρόκειται να βάψομε κομμάτια από ανθρακούχο χάλυβα με περιεκτικότητες 0,50% C, και 1,10% C. Ποιες θα πρέπει να είναι αντίστοιχα οι θερμοκρασίες βαφής τους;
31. Να προσδιορίσετε τη θερμοκρασία ανοπήσεως των χαλύβων της προηγούμενης ερωτήσεως,

### 3.5 Βιομηχανικές εφαρμογές των χαλύβων.

Εξετάζοντας τους χάλυβες ως προς τη βιομηχανική τους χρήση μπορούμε να τους ταξινομήσουμε σε:

- α) Χάλυβες κατασκευών.
- β) Χάλυβες εργαλείων και
- γ) ειδικά χαλυβοκράματα, όπως είναι οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι πυρίμαχοι χάλυβες κ.ά.

Πριν προχωρήσουμε στην παράγραφο αυτή, πρέπει να προτάξουμε λίγα σχετικά με την προτυποποίηση των χαλύβων.

#### 3.5.1 Προτυποποίηση των χαλύβων.

Υπάρχουν σήμερα σε ισχύ πολλά συστήματα προτυποποιήσεως των χαλύβων. Παρακάτω θα μιλήσουμε συνοπτικά για το γερμανικό σύστημα και το αμερικανικό σύστημα προτυποποιήσεως, τα οποία θεωρούνται ως τα πλέον αντιπροσωπευτικά και διαδεδομένα.

#### A. Το γερμανικό σύστημα προτυποποιήσεως (DIN 17006).

##### 1. Ανθρακούχοι χάλυβες.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες συμβολίζονται με το St (από τη λέξη Stahl, που σημαίνει χάλυβας), το οποίο ακολουθεί ένας διψήφιος αριθμός. Ο αριθμός αυτός παριστάνει το ελάχιστο όριο θραύσεως του χάλυβα  $\sigma_B$  σε kp/mm<sup>2</sup>. Ο συμβολισμός St 50 επί παραδείγματι, σημαίνει κοινό ανθρακούχο χάλυβα με ελάχιστο όριο θραύσεως  $\sigma_B = 50 \text{ kp/mm}^2$ . Το όριο θραύσεως αυτό συνήθως κυμαίνεται ανάμεσα σε ορισμένα όρια (50 έως 60 kp/mm<sup>2</sup> στο παράδειγμά μας).

Ανθρακούχοι χάλυβες καλύτερης ποιότητας συμβολίζονται με το γράμμα C, το οποίο ακολουθείται από την εκατοστιαία περιεκτικότητα του χάλυβα πολλαπλασιασμένη επί 100. Έτσι με C 60 π.χ. συμβολίζεται ο ανθρακούχος χάλυβας καλής ποιότητας με  $\pi(C) = 60/100 = 0,60\%$ .

· Είναι δυνατό στο συμβολισμό του χάλυβα να περιλαμβάνεται και η μέθοδος παρασκευής του με ένα χαρακτηριστικό κεφαλαίο γράμμα, όπως π.χ. με το B για τη μέθοδο Μπέσσεμερ (Bessemer), με το M για τη μέθοδο Σίμενς-Μαρτέν (Siemens-Martin), με το E για την ηλεκτρική κλπ.

##### 2. Χαλυβοκράματα.

Για το συμβολισμό των χαλυβοκραμάτων αρχικά γράφεται ο διψήφιος αριθμός της εκατοστιαίας περιεκτικότητας σε άνθρακα του χαλυβοκράματος, όπως και στους ανθρακούχους χάλυβες, δηλαδή πολλαπλασιασμένης επί 100.

Ακολουθούν τα χημικά σύμβολα των προσθηκών κατά σειρά ελαττούμενης πε-

ριεκτικότητας. Σε περίπτωση ίσης περιεκτικότητας προσθηκών, λαμβάνεται υπ' όψη η αλφαριθμητική σειρά των συμβόλων. Μετά από τα χημικά σύμβολα αναγράφονται κατά την ίδια τάξη οι χαρακτηριστικοί αριθμοί της περιεκτικότητας των προσθηκών.

Για να έχουμε ακέραιους αριθμούς κατατάσσουμε τις προσθήκες σε ομάδες και σε κάθε ομάδα δίνομε ορισμένο πολλαπλασιαστή. Έτσι έχουμε:

για Cr, Co, Mn, Ni, Si; W πολλαπλασιαστή 4,

για Al, Cu, Mo, Ta, Ti, V πολλαπλασιαστή 10 και

για C, P, S, N πολλαπλασιαστή 100.

Ο χαρακτηριστικός αριθμός κάθε προσθήκης βρίσκεται, αν η πραγματική εκατοστιαία περιεκτικότητα της προσθήκης πολλαπλασιασθεί επί τον αντίστοιχο πολλαπλασιαστή.

Χαλυβόκραμα π.χ. με  $\pi(C) = 0,50\%$ ,  $\pi(Cr) = 1,00\%$  και  $\pi(Mo) = 0,60\%$  συμβολίζεται ως 50CrMo46.

Αντίθετα, το χαλυβόκραμα 15Cr3 έχει  $\pi(C) = 15/100 = 0,15\%$  και  $\pi(Cr) = 3/4 = 0,75\%$ .

Ο παραπάνω συμβολισμός μπορεί να περιλαμβάνει και άλλα γράμματα (κεφαλαία). Έτσι, γράμματα που χαρακτηρίζουν τον τρόπο παρασκευής του χαλυβοκράματος προτάσσονται, ενώ ακολουθούν το συμβολισμό γράμματα, που αναφέρονται σε διάφορες επεξεργασίες ή υποδειξείς για τη χρήση του.

Όλα, δύσα έχουμε μέχρι τώρα αναφέρει, αφορούν στα χαλυβοκράματα με χαμηλή συνολική περιεκτικότητα σε προσθήκες (ίση ή μικρότερη από 5,00%) ή **πτωχά χαλυβοκράματα**. Για να διακρίνομε τα χαλυβοκράματα με ψηλή συνολική περιεκτικότητα σε προσθήκες (πάνω από 5,00%) ή **πλούσια χαλυβοκράματα**, προτάσσομε στο σχετικό συμβολισμό το X. Για την περιεκτικότητα σε άνθρακα παραμένει ο πολλαπλασιαστής 100, ενώ για όλες τις άλλες προσθήκες παίρνουμε πολλαπλασιαστή ίσο με τη μονάδα.

Ως παράδειγμα φέρνουμε τον ανοξείδωτο χάλυβα με:

$\pi(C) = 0,10\%$ ,  $\pi(Cr) = 18\%$  και  $\pi(Ni) = 8\%$ ,

ο οποίος συμβολίζεται ως X10CrNi18 8. Αντίθετα, το χαλυβόκραμα X10CrNiTi 18 9 2 θα έχει:

$\pi(C) = 10/100 = 0,10\%$ ,  $\pi(Cr) = 18\%$ ,  $\pi(Ni) = 9\%$  και  $\pi(Ti) = 2\%$ .

## B. Το αμερικανικό σύστημα προτυποποίησεως

Στις H.P.A. χρησιμοποιούνται βασικά δύο συστήματα προτυποποίησεως χαλύβων: το σύστημα SAE (Society of Automobile Engineers) και το σύστημα AISI (American Iron and Steel Institute), τα οποία δεν παρουσιάζουν σοβαρές διαφορές.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε συνοπτικά το σύστημα AISI.

Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, για το συμβολισμό ενός χάλυβα χρησιμοποιείται μια σειρά από τέσσερα ψηφία. Από τα ψηφία αυτά τά δύο πρώτα συμβολίζουν την ποιότητα του χάλυβα, ενώ τα δύο τελευταία τη μέση περιεκτικότητά του σε άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί 100. Στο συμβολισμό αυτό των τεσσάρων ψηφίων συνήθως προτάσσεται ένα κεφαλαίο γράμμα, χαρακτηριστικό της μεθόδου παρασκευής του, όπως π.χ. το B για τη μέθοδο Bessemer, το E για την ηλεκτρική μέθοδο και το C για τη μέθοδο Siemens-Martin.

Παρακάτω δίνομε διάφορους χάλυβες προτυποποιημένους κατά το σύστημα AISI:

- C1030: Κοινός ανθρακούχος χάλυβας Σήμενς-Μαρτέν με  $\pi(C) = 0,30\%$  περίπου.
- 1340: Μαγγανιούχος χάλυβας με  $\pi(Mn) = 1,60\%$  έως  $1,90\%$  και  $\pi(C) = 0,40\%$  περίπου.
- 2330: Νικελιούχος χάλυβας με  $\pi(Ni) = 3,25\%$  έως  $3,75\%$  και  $\pi(C) = 0,30\%$  περίπου.
- E3310: Νικελιοχρωμιούχος χάλυβας, παρασκευασμένος με την ηλεκτρική μέθοδο με  $\pi(Ni) = 3,25\%$  έως  $3,75\%$ ,  $\pi(Cr) = 1,40\%$  έως  $1,75\%$  και  $\pi(C) = 0,10\%$  περίπου.
- 4640: Χάλυβας με  $\pi(Ni) = 1,65\%$  έως  $2,80\%$ ,  $\pi(Mo) = 0,20\%$  έως  $0,27\%$  και  $\pi(C) = 0,40\%$  περίπου.

### 3.5.2 Χάλυβες κατασκευών.

Είναι οι χάλυβες, που χρησιμοποιούνται για κάθε φύσεως μεταλλικές κατασκευές (υπόστεγα, γέφυρες, γερανοί, λέβητες κ.α.) καθώς επίσης και στην κατασκευή στοιχείων μηχανών, όπως είναι οι στροφαλοφόροι άξονες, διωστήρες, κοχλίες, ελατήρια κλπ.

Γενικά οι χάλυβες κατασκευών πρέπει να έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες. Ακόμα, ανάλογα με την εφαρμογή, χρειάζεται πολλές φορές να έχουν ξεχωριστές ιδιότητες, όπως π.χ. αντοχή στη φθορά, στη διάβρωση κλπ.

Συνήθως, για μια συγκεκριμένη εργασία, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πολλούς χάλυβες κατάλληλους για την εργασία αυτή. Στην πράξη εκλέγομε το χάλυβα εκείνο, που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της κατασκευής και συγχρόνως **στοιχίζει φθηνότερα**.

#### A. Ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών.

Χρησιμοποιούνται για συνήθεις κατασκευές και στοιχεία μηχανών. Η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα κυμαίνεται από  $0,05\%$  έως  $0,80\%$ . Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα τους διακρίνομε σε: **μαλακούς** με  $\pi(C) = 0,05\%$  έως  $0,30\%$ , σε **ημίσκληρους** με  $\pi(C) = 0,30\%$  έως  $0,60\%$  και σε **σκληρούς** με  $\pi(C) = 0,60\%$  μέχρι  $0,80\%$ .

Οι μηχανικές τους ιδιότητες μεταβάλλονται με την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα. Αύξηση της αναλογίας ενός χάλυβα σε άνθρακα έχει ως συνέπεια αύξηση του ορίου θραύσεως, του ορίου διαρροής και της σκληρότητάς του και ταυτόχρονα μείωση της δυσθραυστότητας και της πλαστικότητάς του. Επίσης, όσο περισσότερο άνθρακα έχει ο χάλυβας, τόσο σκληρότερος γίνεται μετά από βαφή.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών έχουν γενικά καλή πλαστικότητα και καλή κατεργαστικότητα. Είναι επιδεκτικοί συγκολλήσεως και μάλιστα η συγκόλληση είναι τόσο ευκολότερη, όσο λιγότερο άνθρακα περιέχει ο χάλυβας. Οι μαλακοί ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών έχουν εξαίρετη συγκόλλητότητα. Οι ανθρακούχοι χάλυβες, όπως εξ αλλού οι χάλυβες στο σύνολό τους, δεν χυτεύονται.

Χαρακτηριστικά στοιχεία και βιομηχανικές χρήσεις των ανθρακούχων χαλύβων κατασκευών δίνομε στον Πίνακα 3.5.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.1.**  
**Ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών**

Χημική σύν-θεση [%]*		Μηχανικές ιδιότητες			Θερμικές κατεργασίες	Βιομηχανικές χρήσεις
		Κατάσταση χάλυβα	$\sigma_B$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_0$ [%]		
C	Mn					
0,15	0,50	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 200°C	52	20	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, ήλοι, κοχλίες και άλλα στοιχεία μηχανών, σωλήνες με ραφή, ταινίες, διάφορες μεταλλικές κατασκευές, κομμάτια που προκειται να ενανθρακωθούν.
0,22	0,80	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 550°C	67	16	Εξομάλυνση η ανόπτηση σε 900°C. Βαφή σε νερό από 875° έως 880°C. Επαναφορά σε 400° έως 700°C και απόψυξη στον αέρα.	0,15 έως 0,30% C: Κοχλίες, οδοντωτοί τροχοί, πείροι, άξονες, χάλυβες ελεύθερης κοπής, σφυρήλατα κομμάτια.
0,35	0,50	Μετά από βαφή σε νερό και επαναφορά σε 550°C	90	10	Εξομάλυνση ή ανόπτηση σε 840°C. Βαφή σε νερό από 825° έως 850°C. Επαναφορά σε 400° έως 650°C και απόψυξη στον αέρα.	0,30 έως 0,40% C: Διωστήρες, άξονες, άγκιστρα γερανών, σωλήνες χωρίς ραφή, σφυρήλατα κομμάτια.
0,45	0,50	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 550°C	95	8	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 δέσονες, άξονες μεταδόσεως κινήσεως, οδοντωτοί τροχοί, ζάντες, κομμάτια για θερμικές κατεργασίες.
0,60	0,80	Μετά από βαφή σε λάδι και επαναφορά σε 550°C	102	6	Εξομάλυνση ή επαναφορά σε 800°C. Βαφή σε λάδι από 825° έως 850°C.	0,50 έως 0,60% C: Τροχοί αμαξοστοιχιών, σιδηροτροχιές, ελατήρια, συρματόσχοινα, τμήματα όπλων.

\* Η περιεκτικότητα σε πυρίτιο είναι ίση ή μικρότερη από 0,40%

### B. Χαλυβοκράματα κατασκευών.

Είναι χάλυβες κατασκευών ανώτερης ποιότητας από τους ανθρακούχους χάλυβες. Οι ακαθαρσίες τους (παράγρ. 3.3.4) είναι μειωμένες. Χρησιμοποιούνται συνή-

Θως σε κατάσταση επιβελτιώσεως, δηλαδή μετά από βαφή και επαναφορά [παράγρ. 3.4.3(Ζ)(2)].

Στους Πίνακες 3.3.2 και 3.3.3 δώσαμε, για αντιπροσωπευτικά χαλυβοκράματα, τη χημική τους σύνθεση, τις μηχανικές τους ιδιότητες, στοιχεία για τις θερμικές τους κατεργασίες, όπως και βασικές βιομηχανικές τους χρήσεις. Επίσης σημειώσαμε και σχετική ένδειξη για τα χαλυβοκράματα κατασκευών.

### **3.5.3 Χάλυβες εργαλείων.**

Η μορφοποίηση μεταλλικών προϊόντων, τόσο με τις κατεργασίες κοπής, όσο και με τις κατεργασίες διαμορφώσεως γίνεται με τη βοήθεια καταλλήλων εργαλείων, δηλαδή των **κοπτικών εργαλείων** για τις κατεργασίες κοπής και των εργαλείων διαμορφώσεως για τις κατεργασίες διαμορφώσεως.

Λόγω των πολύ δυσμενών συνθηκών, κάτω από τις οποίες εργάζονται τα διάφορα εργαλεία, κοπτικά ή διαμορφώσεως (ψηλές θερμοκρασίες, ισχυρές μηχανικές καταπονήσεις, ταλαντώσεις, κρούσεις κ.ά.), οι χάλυβες εργαλείων θα πρέπει να συνδυάζουν, ανάλογα με την περίπτωση εφαρμογής τους, τις ακόλουθες βασικές ιδιότητες:

- Καλή αντοχή στη φθορά από τριβή, δηλαδή μεγάλη σκληρότητα μετά τις ενδεειγμένες θερμικές κατεργασίες.
- Καλή αντοχή σε επαναφορά [παράγρ. 3.4.4(Β)], δηλαδή ικανότητα να διατηρούν τη σκληρότητά τους στις συναντώμενες ψηλές θερμοκρασίες.
- Καλή μηχανική αντοχή και δυσθραυστότητα.
- Καλή εμβαπτότητα.

Οι χάλυβες εργαλείων κατατάσσονται στις εξής βασικές κατηγορίες σύμφωνα με την αμερικανική προτυποποίηση AISI:

- α) Στους **κονιούς** χάλυβες εργαλείων ή χάλυβες **βαφής στο νερό**, οι οποίοι περιλαμβάνουν τους ανθρακούχους χάλυβες εργαλείων.
- β) Στα χαλυβοκράματα εργαλείων **για κοπή και διαμόρφωση εν ψυχρώ**.
- δ) Στα χαλυβοκράματα εργαλείων για **μορφοποίηση εν θερμώ**.
- ε) Στους **ταχυχάλυβες**.

### **A. Κονοί χάλυβες εργαλείων.**

Είναι, όπως είπαμε, ανθρακούχοι χάλυβες και χρησιμοποιούνται όπου οι απαιτήσεις είναι μικρές. Η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα κυμαίνεται από 0,60% έως 1,50% ανάλογα με τη χρήση του χάλυβα.

Οι κοινοί χάλυβες εργαλείων αγοράζονται συνήθως σε κατάσταση ανοπτήσεως, για να μορφοποιούνται εύκολα και κατόπιν υφίστανται βαφή στο νερό και κατάλληλη επαναφορά.

Στον Πίνακα 3.5.2 παραθέτομε στοιχεία για τις θερμικές κατεργασίες και τις βιομηχανικές χρήσεις των κοινών χαλύβων εργαλείων σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα.

### **B. Χαλυβοκράματα εργαλείων αντοχής σε κρούσεις.**

Χρησιμοποιούνται για εργαλεία, που υφίστανται κρούσεις (μήτρες διαμορφώ-

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.2.**  
**Κονιοί (ανθρακούχοι) χάλυβες εργαλείων**

$\pi(C)\%$	Θερμοκρασία [°C]		Βιομηχανικές χρήσεις
	Βαφής	Επανα-φοράς	
0,60-0,70	850-820	180	Σφυριά, μήτρες σφυρηλασίας, λάμες πριονιών, εργαλεία ξυλουργού, αγροτικά εργαλεία.
0,70-0,80	830-800	180	Σφυριά, μήτρες διαμορφώσεως εν ψυχρώ, λεπίδες ψαλιδιών, δράπανα, σπαόνες μέγγενης, κλειδιά, εργαλεία σιδηρουργού.
0,80-0,90	820-780	180	Όπως παραπάνω.
0,90-1,00	800-770	180	Τυπικός ανθρακούχος χάλυβας γενικής χρήσεως για εργαλεία τόρνου. Μαχαίρια, ελατήρια, σπιγείς (ζουμπάδες).
1,00-1,10	790-760	150	Εργαλεία τόρνου, φραΐζες, τρυπάνια, γλύφανα, ελικοτομίδες (φιλιέρες και κολαούζα).
1,10-1,20	790-760	150	Εργαλεία κοπής, όπως παραπάνω. Ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν).
1,20-1,50	790-760	150	Εργαλεία κοπής για τελική κατεργασία, λίμες, ξυράφια, λεπίδες ψαλιδιών.

σεως, ζουμπάδες, μήτρες κοπής, κοπίδια κλπ.) και συνεπώς πρέπει να έχουν μεγάλη δυσθραυστότητα.

Περιέχουν άνθρακα από 0,45% μέχρι 60% και ως προσθήκες πυρίτιο ή χρώμιο και βιολφράμιο και σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί για βιολφράμιο, μολυβδαίνιο.

Ος τυπικούς χάλυβες σε αυτή την κατηγορία αναφέρομε τους εξής:

- α)  $\pi(C) = 0,50\%$ ,  $\pi(Mn) = 0,80\%$ ,  $\pi(Si) = 2,00\%$  και  $\pi(Mo) = 0,40\%$ .
- β)  $\pi(C) = 0,50\%$ ,  $\pi(Cr) = 1,50\%$  και  $\pi(W) = 2,50\%$ .

#### **Γ. Χαλυβοκράματα εργαλείων για κοπή και διαμόρφωση εν ψυχρώ.**

Χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Σ' αυτά υπάγονται:

α) **Χαλυβοκράματα πτωχά σε προσθήκες.** Εφαρμόζονται στην κατασκευή μητρών διαμορφώσεως, ελικοτομίδων (κολαούζα, φιλιέρες), ρυθμιζομένων γλυφάνων κ.ά. Τυπικός χάλυβας αυτού του είδους είναι ο ακόλουθος:

$$\pi(C) = 0,90\%, \pi(Mn) = 1,00\%, \pi(Cr) = 0,50\% \text{ και } \pi(W) = 0,50\%.$$

β) **Χαλυβοκράματα με μέση περιεκτικότητα σε προσθήκες.** Παραμορφώνονται λίγο με τις θερμικές κατεργασίες. Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μητρών διαμορφώσεως, αποκοπής, σπειρωμάτων με συμπίεση κ.ά. Ως αντιπροσωπευτικό χαλυβόκραμα της κατηγορίας αυτής δίνομε το παρακάτω:

$$\pi(C) = 1,00\%, \pi(Mn) = 3,00\%, \pi(Cr) = 1,00\% \text{ και } \pi(Mo) = 1,00\%.$$

γ) **Χαλυβοκράματα με φηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και σε χρώμιο.** Η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα και σε χρώμιο μπορεί να φθάσει το 2,35% και 12%

αντιστοίχως. Ο συνδυασμός αυτός μεγάλης αναλογίας σε άνθρακα και χρώμιο δίνει στο χαλυβόκραμα μεγάλη αντοχή στη φθορά. Χρησιμοποιούνται για μήτρες αποκοπής, συρματοποίησεως και μήτρες σπειρωμάτων με συμπίεση. Ως τυπικό χάλυβα αναφέρομε εδώ τον:

$$\pi(C) = 2,25\%, \pi(Cr) = 12\% \text{ και } \pi(Mo) = 1,00\%.$$

#### **Δ. Χαλυβόκραματα εργαλείων για μορφοποίηση εν θερμώ.**

Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εργαλείων καμινεύσεως [Μ.Ε., παράγρ. 17.2(Α)], μητρών για χύτευση (Μ.Ε., παράγρ. 22.3) καθώς επίσης και μητρών για χύτευση πλαστικών [παράγρ. 3.9.5(Β)]. Τα χαλυβόκραματα αυτά θα πρέπει κατά κύριο λόγο να έχουν καλή αντοχή σε επαναφορά. Περιέχουν χρώμιο, μολυβδαίνιο και βολφράμιο σε συνολική αναλογία, που υπερβαίνει το 5,00%. Βάφονται στον αέρα με αμελητέες παραμορφώσεις.

Διακρίνομε τα χαλυβόκραματα αυτά σε τρεις ομάδες: σε εκείνα που έχουν ως βάση το χρώμιο και σε εκείνα με βάση το βολφράμιο ή το μολυβδαίνιο. Παρακάτω δίνομε από ένα αντιπροσωπευτικό χαλυβόκραμα κάθε ομάδας:

- α)  $\pi(C) = 0,35\%$ ,  $\pi(Cr) = 5\%$ ,  $\pi(V) = 1,00\%$  και  $\pi(Mo) = 1,50\%$ .
- β)  $\pi(C) = 0,45\%$ ,  $\pi(Cr) = 3\%$  και  $\pi(W) = 15\%$ .
- γ)  $\pi(C) = 0,60\%$ ,  $\pi(Cr) = 4\%$ ,  $\pi(V) = 2\%$ ,  $\pi(W) = 6\%$  και  $\pi(Mo) = 5\%$ .

#### **Ε. Ταχυχάλυβες.**

Οι ταχυχάλυβες χρησιμοποιούνται κυρίως για κοπτικά εργαλεία σε κατεργασίες σε μέσες και χαμηλές ταχύτητες κοπής. Εφαρμόζονται όμως και στην κατασκευή εργαλείων αποκοπής και μητρών διελάσεως. Έχουν το περισσότερο ποσοστό προσθηκών από όλα τα χαλυβόκραματα εργαλείων. Συνήθως έχουν ψηλή περιεκτικότητα σε βολφράμιο ή σε μολυβδαίνιο και κοβάλτιο. Η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα κυμαίνεται από 0,70% μέχρι 1,50%. Παρουσίαζουν, μετά την εκτέλεση των ενδεδειγμένων θερμικών κατεργασιών, σημαντική αντοχή στη φθορά και στην επαναφορά και παραδεκτή σχετικά δυσθραυστότητα. Βάφονται συνήθως στον αέρα σε λάδι ή σε λουτρό λειωμένων αλάτων.

Οι ταχυχάλυβες ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

- α) Σε εκείνους, που έχουν ως βάση το **βολφράμιο** (ομάδα ταχυχαλύβων Τ). Προστίθεται βανάδιο και κοβάλτιο. Τυπικός ταχυχάλυβας της κατηγορίας αυτής είναι ο γνωστός ταχυχάλυβας 18-4-1 (18% W, 4% Cr, 1% V και 0,75% C) και
- β) σε εκείνους με βάση το **μολυβδαίνιο** (ομάδα ταχυχαλύβων Μ) με προσθήκες το βολφράμιο, βανάδιο και κοβάλτιο, όπως ο ταχυχάλυβας:

$$\pi(C) = 0,90\%, \pi(Cr) = 4\%, \pi(Mo) = 8\%, \pi(V) = 2\%, \pi(W) = 2\% \text{ και } \pi(Co) = 8\%.$$

Στον Πίνακα 3.5.3 παραθέτουμε στοιχεία σχετικά με τη χημική σύνθεση, τις θερμικές κατεργασίες και τις βιομηχανικές χρήσεις αντιπροσωπευτικών τύπων από ταχυχάλυβες και των δύο ομάδων.

#### **ΣΤ. Ειδικά χαλυβόκραματα.**

Τα ειδικά χαλυβόκραματα έχουν αναπτυχθεί, για να καλύψουν ορισμένες απαιτήσεις της πράξεως, στις οποίες δεν μπορούν να ανταποκριθούν οι χάλυβες, τους

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.3.**  
*Τυποί ταχυχάλυβες*

Τύπος ταχυχάλυβα	Χημική σύνθεση [%]						Θερμικές κατεργασίες	Σκληρότητα κατά Vickers*	Βιομηχανικές χρήσεις
	C	Cr	W	V	Mo	Co			
14% βολφραμίου	0,65	4,00	14,00	0,80	—	—	Βαφή σε ρεύμα αέρα ή λάδι από 1250° έως 1300°C. Διπλή επαναφορά σε 565°C επί μία ώρα.	800 - 860	Γενικές μηχανουργικές εργασίες ελαφράς μορφής.
18% βολφραμίου (18-4-1)	0,75	4,20	18,20	1,20	—	—	Όπως παραπάνω, βαφή από 1290° έως 1340°C και διπλή επαναφορά.	800 - 890	Εργαλεία τόρνου, πλάνης, φραΐζες, εργαλεία κοπής οδοντωτών τροχών σε γραναζοκόπτες. Γλύφανα, ελικοτομίδες, τρυπάνια, δίσκοι αποκοπής, δίσκοι και ταινίες μεταλλοπριονιών και άλλα.
12% κοβαλτίου - 21% βολφραμίου	0,80	4,75	21,50	1,50	0,50	12	Όπως παραπάνω, βαφή από 1300° έως 1320°C και διπλή επαναφορά.	900 - 950	Όπως ο ταχυχάλυβας 18.4.1, αλλά για πολύ σκληρά κομμάτια. Παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντοχή σε επαναφορά και μεγάλη δυσθραυστότητα.
5% μολυβδαινίου	0,80	4,25	6,50	1,90	5,00	—	Όπως παραπάνω, βαφή σε 1250°C και διπλή επαναφορά.	850 - 900	Χονδρικά ισοδύναμος με τον ταχυχάλυβα 18.4.1 με μεγαλύτερη όμως δυσθραυστότητα. Τρυπάνια, γλύφανα, ελικοτομίδες, φραΐζες.
9% μολυβδαινίου - 8% κοβαλτίου	0,90	3,75	1,65	1,10	9,50	8,25	Όπως παραπάνω, αλλά τριπλή επαναφορά σε 530°C επί μία ώρα.	830 - 935	Παρόμοιος προς τον ταχυχάλυβα 12% κοβαλτίου - 21% βολφραμίου.

\* Είναι μία μέθοδος για τη μέτρηση της σκληρότητας.

Μηχανουργική τεχνολογία σελ. 176 παραβολή

οποίους έχομε συναντήσει μέχρις εδώ. Πολύ ενδιαφέροντα για τις εφαρμογές ειδικά χαλυβοκράματα είναι οι **ανοξείδωτοι χάλυβες** και οι **πυρίμαχοι χάλυβες**.

## 1. Ανοξείδωτοι χάλυβες.

Είναι πλούσια χαλυβοκράματα με βάση το χρώμιο (προστίθεται και το νικέλιο), ανθεκτικά σε διαβρωτικό εν γένει περιβάλλον, αφού φυσικά συμπεριληφθεί και η γήινη ατμόσφαιρα.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες κατατάσσονται σε τρεις ομάδες: στους **μαρτενοστικούς**, στους **ωστενιτικούς** και στους **φερριτικούς**.

α) **Μαρτενοστικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.** Περιέχουν άνθρακα από 0,07% έως 0,40% και χρώμιο από 12% μέχρι 18%. Βάφονται σε θερμοκρασία από 950°C έως 1100°C και μετά τη βαφή αποκτούν μαρτενοστικό ιστό. Είναι μαγνητικοί. Ένα τυπικό μαρτενοστικό ανοξείδωτο χάλυβα δίνομε στον Πίνακα 3.3.2.

β) **Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.** Σ' αυτούς ανήκουν χαλυβοκράματα με χρώμιο από 12% έως 25% και νικέλιο από 8% έως 15% και με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (μικρότερη του 0,10%).

Τυπικός ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας είναι ο νικελιοχρωμιούχος χάλυβας με  $\pi(\text{Cr}) = 18\%$  και  $\pi(\text{Ni}) = 8\%$ , ο οποίος συνήθως συμβολίζεται ως 18-8.

Οι χάλυβες αυτοί δεν σκληρύνονται με βαφή. Βαφή σε λάδι ή σε νερό από 1050°C έως 1100°C τους προσδίνει κρυσταλλική δομή ωστενίτη στη θερμοκρασία του δωματίου. Στην κατάσταση αυτή ο χάλυβας είναι μαλακός, αμαγνητικός και παρουσιάζει τη μέγιστη αντοχή σε διάβρωση.

Στον Πίνακα 3.3.2 σημειώνομε ένα τέτοιο ανοξείδωτο χάλυβα.

γ) **Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.** Περιέχουν άνθρακα από 0,10% μέχρι 0,35% και χρώμιο από 16% έως 30%. Οι χάλυβες αυτοί δεν υπόκεινται σε θερμικές κατεργασίες. Είναι μαγνητικοί.

## 2. Πυρίμαχοι χάλυβες.

Έτσι ονομάζομε τους χάλυβες, που αντέχουν σε ψηλές θερμοκρασίες, συνήθως άνω των 500°C. Πρέπει να παρουσιάζουν στο περιβάλλον καθώς και στη θερμοκρασία εργασίας τους: αντοχή σε διάβρωση, επαρκή μηχανική αντοχή και σταθερότητα στο μέγεθος και στη μορφή. Εφαρμόζονται στην κατασκευή βαλβίδων μηχανών εσωτερικής καύσεως, αυλών υπερθερμαντήρων, σωληνώσεων θερμικών εγκαταστάσεων ατμού, πτερυγίων στροβίλων, κιβωτίων ανοπήσεως, χωνευτηρίων κ.ά.

Ως παραδείγματα αναφέρομε:

α) Το χάλυβα με  $\pi(\text{C}) = 0,15\%$ ,  $\pi(\text{Si}) = 1,50\%$ ,  $\pi(\text{Cr}) = 25\%$  και  $\pi(\text{Ni}) = 19\%$  (ωστενιτικός νικελιοχρωμιούχος χάλυβας), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ανώτατη θερμοκρασία 1100°C και ενδείκνυται για την κατασκευή χωνευτηρίων, κομματιών υπερθερμαντήρων κλπ. και

β) το χάλυβα με  $\pi(\text{C}) = 0,35\%$ ,  $\pi(\text{Si}) = 0,60\%$  και  $\pi(\text{Cr}) = 28\%$  (φερριτικός χρωμιούχος χάλυβας), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μέγιστη θερμοκρασία 1150°C σε οξειδωτική θειούχο ατμόσφαιρα.

### 3.5.4 Ερωτήσεις.

- Πώς ταξινομούμε τους χάλυβες ανάλογα με τη βιομηχανική τους χρήση;

2. Ποιοι χάλυβες χαρακτηρίζονται ως χάλυβες κατασκευών;
3. Πώς επηρεάζει η περιεκτικότητα σε άνθρακα ενός ανθρακούχου χάλυβα τις μηχανικές του ιδιότητες;
4. Ποιες είναι οι τεχνολογικές ιδιότητες μορφοποίησεως των ανθρακούχων χαλύβων κατασκευών;
5. Τα κοπικά εργαλεία εργάζονται κάτω από πολύ δυσμενείς συνθήκες. Ποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες θα πρέπει να συνδιάζουν οι χάλυβες εργαλείων;
6. Πόσων ειδών χάλυβες εργαλείων έχουμε;
7. Ποιους χάλυβες εργαλείων χαρακτηρίζουμε ως ταχυχάλυβες;
8. Σε ποιες βασικές κατηγορίες διακρίνομε τους ταχυχάλυβες; Να δώσετε από ένα τυπικό ταχυχάλυβα σε κάθε κατηγορία (μπορείτε να συμβουλευθείτε και τον Πίνακα 3.5.3).
9. Τι είναι οι ανοξείδωτοι χάλυβες και πόσων ειδών ανοξείδωτους χάλυβες έχουμε;
10. Ποιους χάλυβες καλούμε πυρίμαχους;
11. Να επλέξετε χάλυβες (ανθρακούχους ή χαλυβοκράματα) από αυτούς που δίνομε στους σχετικούς Πίνακες ή στο κείμενο, κατάλληλους για την κατασκευή των παρακάτω κομματιών αιπολογώντας την κάθε εκλογή σας:
  - α) Διωστήρες και στροφαλοφόροι δίσνες μηχανών εσωτερικής καύσεως
  - β) Πείροι ελατήριών αναρτήσεως (συύστες) αυτοκινήτων και
  - γ) κοινά σπειροειδή ελατήρια.
 Να δώσετε επίσης σποιχεία για τις ενδεικνυόμενες θερμικές κατεργασίες των χαλύβων για τα παραπάνω κομμάτια.
12. Να κάνετε το ίδιο, όπως στην προηγούμενη δίσκηση (11), για τα εξής κομμάτια:
  - α) Οδοντοτροχοί (από χάλυβα ενανθρακώσεως ή όχι).
  - β) Ελατήρια αναρτήσεως αυτοκινήτων.
  - γ) Ήλοι και κοχλίες.
  - δ) Εργαλεία τόρνου, φραΐζες και κοπίδια.
13. Τι σημαίνουν οι ακόλουθοι συμβολισμοί χαλύβων σύμφωνα με τη γερμανική προτυποποίηση; St37, St42, C45, Cr60, 15Cr3, 13CrV53, 50Mn7, 55Si7, X3CrNi1810.

## 3.6 Χυτοσίδηροι.

### 3.6.1 Γενικά.

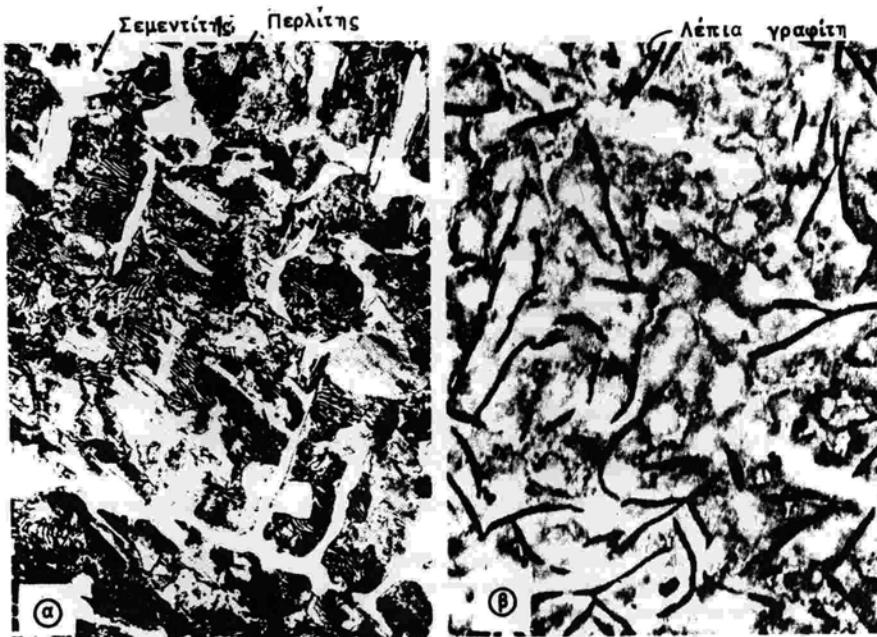
Οι χυτοσίδηροι, όπως και οι χάλυβες, είναι κράματα σιδήρου και ανθρακα, με ψηλή όμως περιεκτικότητα σε άνθρακα, που κυμαίνεται περίπου από 2,50% έως 4,00%.

Στην παράγραφο 3.2.1 είδαμε, πώς παρασκευάζεται ο πρωτογενής χυτοσίδηρος. Από αυτόν και συγκεκριμένα από το λευκό πρωτογενή χυτοσίδηρο (θα τον ορίσομε αμέσως παρακάτω) παρασκευάζομε το χάλυβα (παράγρ. 3.2.2). Επί πλέον, ανατηκόμενος ο πρωτογενής χυτοσίδηρος σε ειδικές καμίνους [όπως π.χ. στην κάμινο χυτήριου, Μ.Ε., παράγρ. 22.2 (Β)] με την προσθήκη και συλλιπάσματος, γίνεται κατάλληλος για απόχυση σε καλούπια (τύπους) και έτσι πραγματοποιείται η παραγωγή χυτών κομματιών σε μεγάλη ποικιλία από μορφές και μεγέθη.

Ο χυτοσίδηρος παρουσιάζεται ως **λευκός χυτοσίδηρος** ή ως **φαΐδς** (ή τεφρός) **χυτοσίδηρος**, ανάλογα με το χρωματισμό που παίρνει η επιφάνεια θραύσεώς του.

Στο λευκό χυτοσίδηρο ο άνθρακας βρίσκεται υπό μορφή σεμεντίτη (σκληρού και εύθραυστου καρβιδίου του σιδήρου, παράγρ. 3.3.2). Για το λόγο αυτό ο λευκός χυτοσίδηρος είναι **σκληρός, ευθραυστός και δυσκατέργαστος**.

Στο φαΐδ χυτοσίδηρο ο άνθρακας περιέχεται, κατά σημαντικό ποσοστό, ως ελεύθερος γραφίτης υπό μορφή χονδρών λεπιών [σχ. 3.6α(β)]. Σ' αυτό συντελεί η



Σχ. 3.6α.

Κρυσταλλική δομή λευκού και φαιού χυτοσίδηρου: (α) Λευκός χυτοσίδηρος. Οι λευκές επιφάνειες είναι σεμεντίτης. Μεγέθυνση X250. (β) Φαιός χυτοσίδηρος. Φαίνονται χαρακτηριστικά τα χονδρά λέπια του γραφίτη σε φόντο περλίτη. Μεγέθυνση X100.

παρουσία αυξημένης περιεκτικότητας του χυτοσίδηρου σε πυρίτιο (1,00% έως 3,00%).

Ο φαιός χυτοσίδηρος είναι **μαλακότερος** από το λευκό και **κατεργάσιμος**. Είναι κατάλληλος για την **παραγωγή χυτών**.

### 3.6.2 Λευκός και φαιός χυτοσίδηρος.

#### A. Λευκός χυτοσίδηρος.

Στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ο λευκός χυτοσίδηρος έχει κρυσταλλική δομή από κόκκους περλίτη σε φόντο σεμεντίτη [σχ. 3.6α(α)].

Τυπική χημική σύνθεση λευκού χυτοσίδηρου είναι η ακόλουθη:

$\pi(C) = 3,00\%$  έως  $4,00\%$ ,  $\pi(Si) = 0,50$ ,  $\pi(Mn) = 1,50\%$ ,  $\pi(S) = 0,15\%$  και  $\pi(P) = 1,00\%$ .

Χρησιμοποιείται σε μεγάλες ποσότητες (λευκός πρωτογενής χυτοσίδηρος) ως πρώτη ύλη για την παρασκευή του χάλυβα. Επίσης χυτά κομμάτια σε λευκό χυτοσίδηρο μπορούν για υποστούν μαλακτικοποίηση (παράγρ. 3.6.3).

#### B. Φαιός χυτοσίδηρος.

Ο φαιός χυτοσίδηρος [συμβολίζεται σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονι-

σμούς ως GG- μέσο δριο Θραύσεως, π.χ. GG-14, που σημαίνει φαιός χυτοσίδηρος με μέσο δριο Θραύσεως 14 kp/mm<sup>2</sup>] έχει τυπική χημική σύνθεση:

$\pi(C) = 2,60\%$  έως  $3,60\%$ ,  $\pi(Si) = 2,00\%$ ,  $\pi(Mn) = 1,00\%$ ,  $\pi(S) = 0,05\%$  και  $\pi(P) = 0,08\%$ .

Στη θερμοκρασία του δωματίου έχει κρυσταλλική δομή συνήθως περλίτη με χονδρά λέπια γραφίτη, που διασπέρονται ακανόνιστα [σχ. 3.6a(β)].

Τα λέπια αυτά του γραφίτη επενεργούν ως ρωγμές και διακόπτουν μερικά τη συνέχεια της δομής του χυτοσίδηρου με αποτέλεσμα η μηχανική του αντοχή και η δυσθραυστότητά του να είναι πολύ χαμηλές. Έχει σημείο τήξεως  $1150^{\circ}\text{C}$  έως  $1250^{\circ}\text{C}$  και θερμοκρασία χυτεύσεως περί τους  $1350^{\circ}\text{C}$ .

Ο φαιός χυτοσίδηρος χρησιμοποιείται ευρύτατα στη χύτευση χιτωνίων κυλίνδρων και εμβόλων μηχανών, σωλήνων νερού, χυτών για διακόσμηση, εδράνων ολισθήσεως, ολισθητήρων (γλιστρών), στύλων και άλλων.

Παρουσιάζει, ως τεχνικό υλικό, ορισμένα πλεονεκτήματα απέναντι στους χάλυβες: Έχει χαμηλότερο κόστος, καλή χυτευτότητα, χαμηλότερο σημείο τήξεως, καλή αντοχή σε θλίψη και ικανότητα για την απόσβεση κραδασμών. Οι τελευταίες δύο ιδιότητές του καθιστούν το φαιό χυτοσίδηρο κατάλληλο για βάσεις μηχανών.

Τα βασικά του μειονεκτήματα σε σύγκριση με το χάλυβα είναι: η χαμηλότερη μηχανική αντοχή, η μικρότερη δυσθραυστότητα και η σχεδόν ανύπαρκτη πλαστικότητά του. Το τελευταίο των καθιστά ακατάλληλο για διαμόρφωση. Ακόμα, ο φαιός χυτοσίδηρος συγκολλάται με δυσκολία.

### 3.6.3 Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος.

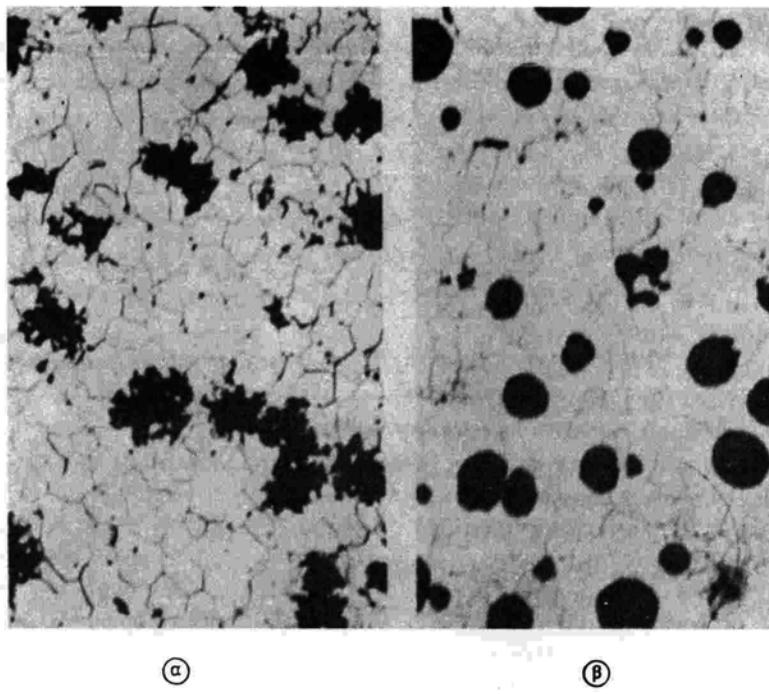
Ο χυτοσίδηρος αυτός αποκτά καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από εκείνες του φαιού χυτοσίδηρου. Η βελτίωση αυτή των ιδιοτήτων του οφείλεται στη συσσωμάτωση του ελεύθερου γραφίτη σε **σφαιρίδια με ανώμαλη επιφάνεια** [φαίνονται σαν ροζέττες στη μικροφωτογραφία, σχ. 3.6b(a)]. Έτσι, με τη μορφή αυτή που παίρνει ο γραφίτης, δεν λύνεται η συνέχεια της δομής του χυτοσίδηρου (περλίτη ή φερρίτη), όπως συμβαίνει με το φαιό χυτοσίδηρο, όπου ο γραφίτης βρίσκεται υπό μορφή λεπιών.

Ο μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος παράγεται ύστερα από ανόπτηση λευκού χυτοσίδηρου με ορισμένη όμως χημική σύνθεση (μια τυπική χημική σύνθεση είναι:  $2,00\%$  έως  $3,40\%$  C και  $0,90\%$  μέχρι  $1,40\%$  Si).

Η μέθοδος, που ακολουθείται για την παρασκευή του μαλακτικοποιημένου χυτοσίδηρου είναι η εξής:

Τα προς μαλακτικοποίηση χυτά τοποθετούνται μέσα σε κλίβανο ανοιπήσεως με αδρανή συνήθως ατρόσφαιρα, για να αποφεύγεται η εξανθράκωση, και πυρώνονται σε θερμοκρασία  $850^{\circ}\text{C}$  έως  $950^{\circ}\text{C}$ .

Ο κύκλος της ανοιπήσεως (πύρωμα στη θερμοκρασία ανοιπήσεως, παραμονή σ' αυτή και ήρεμη απόψυξη στη θερμοκρασία του δωματίου) διαρκεί 100 έως 170 ώρες. Στη θερμοκρασία ανοιπήσεως παραμένουν τα κομμάτια επί 50 έως 70 ώρες. Αποτέλεσμα της παρατεταμένης αυτής θερμάνσεως με την παρουσία και του πυρίτιου (το πυρίτιο γραφιτοποιεί, Πίνακας 3.3.1) είναι η διάσπαση του σεμεντίτη του λευκού χυτοσίδηρου σε ακανόνιστα σφαιρίδια γραφίτη [σχ. 3.6b(a)], όπως είπαμε στην άρχη. Τα σφαιρίδια αυτά του γραφίτη διανέμονται ανομοιόμορφα σε



Σχ. 3.68.

Κρυσταλλική δομή: (α) Φερριτικό χαλακτικοποιημένου χυτοσίδηρου με μαύρη επιφάνεια θραύσεως. Ακανόνιστα σφαιρίδια (ροζέττες) γραφίτη σε φόντο φερρίτη. Μεγέθυνση X100. (β) Φερριτικού χυτοσίδηρου με σφαιροειδή γραφίτη. Κανονικά σφαιρίδια γραφίτη σε φόντο φερρίτη. Μεγέθυνση X125.

φόντο φερρίτη, αν η απόψυξη γίνει ήρεμα. Ταχύτερη απόψυξη μπορεί να δώσει περλίτη αντί για φερρίτη. Ο πρώτος ονομάζεται **φερριτικός** και ο δεύτερος **περλιτικός μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος**. Η επιφάνεια θραύσεως του έχει μαυρωπό χρώμα, γι' αυτό και ο χυτοσίδηρος πάιρνει την ονομασία μαλακτικοποιημένος **χυτοσίδηρος με μαύρη επιφάνεια θραύσεως** (συμβολίζεται κατά τους γερμανικούς κανονισμούς ως GTS - μέσο όριο θραύσεως) σε αντίθεση με άλλο είδος μαλακτικοποιημένου χυτοσίδηρου με λευκή επιφάνεια θραύσεως (συμβολίζεται ως GTW - μέσο όριο θραύσεως), ο οποίος παρασκευάζεται με εντελώς διαφορετική διαδικασία κατά την ανόπτηση.

Οι μαλακτικοποιημένοι χυτοσίδηροι με μαύρη επιφάνεια θραύσεως έχουν καλή μηχανική αντοχή, δυσθραυστότητα και πλαστικότητα, όπως και εξαίρετη κατεργαστικότητα. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα, ιδίως στη βιομηχανία αυτοκινήτων, για πυξίδες διαφορικών, πλήμνες τροχών, τύμπανα πεδήσεως, ποδόπληκτρα κ.ά. επίσης και για κομμάτια κλωστοϋφαντουργικών και αγροτικών μηχανημάτων και για εξαρτήματα υδραυλικών εγκαταστάσεων.

#### 3.6.4 Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη.

Πρόκειται για φαίδι χυτοσίδηρο, στον οποίο ο γραφίτης συσσωματώνεται σε

σφαιρικούς κόκκους με κανονική μορφή [σχ. 3.6β(β)].

Το χυτοσίδηρο αυτό τον παίρνομε κατ' ευθείαν αμέσως μετά τη στερεοποίηση κατά τη χύτευσή του και συνεπώς δεν χρειάζεται πρόσθετη θερμική κατεργασία, όπως ο μαλακτικοποιημένος. Απλώς προσθέτομε μαγνήσιο, συνήθως υπό μορφή κράματος μαγνησίου-νικελίου, στο τήγμα.

Τυπικός χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη είναι ο ακόλουθος:

$\pi(C) = 3,20\%$  έως  $3,50\%$ ,  $\pi(Si) = 2,25\%$  έως  $2,75\%$ ,

$\pi(Mn) = 0,60\%$  έως  $0,80\%$   $\pi(S) < 0,05\%$  και  $\pi(P) < 0,10\%$ .

Από χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη (συμβολίζεται ως GGG- μέσο όριο Θραύσεως) μπορούν να παραχθούν χυτά με μεγάλο πάχος, πράγμα που δεν συμβαίνει με τους μαλακτικοποιημένους χυτοσίδηρους, γιατί δεν είναι δυνατό να επιτύχομε λευκό χυτοσίδηρο σε όλη τη διατομή χονδρών κομματιών κατά τη χύτευσή τους.

Ο χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη πλεονεκτεί απέναντι στο μαλακτικοποιημένο χυτοσίδηρο ως προς τις μηχανικές ιδιότητες.

Κομμάτια από τέτοιο χυτοσίδηρο μπορούν να αντικαταστήσουν χυτοχαλύβδινα ή και σφυρήλατα ακόμα κομμάτια. Εφαρμόζεται σε γεωργικά και ναυτικά μηχανήματα, όπως και μηχανήματα μεταλλείων και χαλυβουργείων. Ειδικότερα χρησιμοποιείται στην κατασκευή κεφαλών κυλίνδρων μηχανών εσωτερικής καύσεως, κιβωτίων διακοπτών, τροχαλιών, τυμπάνων ανυψωτικών μηχανημάτων, σφονδύλων, σωλήνων ατμού, αερίων και νερού κ.ά.

### 3.6.5 Ειδικοί χυτοσίδηροι.

Πρόκειται για κοινούς χυτοσίδηρους, με προσθήκες για βελτίωση των μηχανικών και άλλων ιδιοτήτων τους.

Συνήθεις προσθήκες είναι το νικέλιο, το χρώμιο, το μολυβδαίνιο, το βανάδιο και ο χαλκός.

Ως παράδειγμα ειδικών χυτοσίδηρων αναφέρομε τους ακόλουθους δύο:

α)  $\pi(C) = 3,40\%$ ,  $\pi(Si) = 2,0\%$ ,  $\pi(Ni) = 0,35\%$ ,  $\pi(Cr) = 0,65\%$  και  $\pi(Cu) = 1,25\%$ . Είναι ανθεκτικός στη φθορά από τριβή και χρησιμοποιείται στην κατασκευή τυμπάνων φρένων και δίσκων συμπλέκτη.

β)  $\pi(C) = 2,90\%$ ,  $\pi(Si) = 2,1\%$ ,  $\pi(Mn) = 1,00\%$ ,  $\pi(Ni) = 15\%$ ,  $\pi(Cr) = 2\%$  και  $\pi(Cu) = 6\%$ . Είναι ωστενιτικός, ανθεκτικός στη διάβρωση. Βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή χυτών για αντλίες.

### 3.6.6 Ερωτήσεις.

1. Ανάμεσα σε ποια όρια κυμαίνεται χονδρικά η περιεκτικότητα σε άνθρακα στους χυτοσίδηρους;
2. Ποιος είναι ο λευκός χυτοσίδηρος και ποιος ο φαιός (ή τεφρός) χυτοσίδηρος;
3. Πού χρησιμοποιούμε το λευκό χυτοσίδηρο;
4. Να αναφέρετε μερικές εφαρμογές του λευκού χυτοσίδηρου.
5. Ποια βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζει ο φαιός χυτοσίδηρος σε σύγκριση με το χάλυβα;
6. Με το λεγόμενο μαλακτικοποιημένο χυτοσίδηρο επιτυγχάνουμε καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από εκείνες που έχει ο λευκός χυτοσίδηρος. Πού οφείλεται αυτή η διαφορά;
7. Πώς παρασκευάζεται ο μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος;
8. Να αναφέρετε τυπικές εφαρμογές του μαλακτικοποιημένου χυτοσίδηρου.

9. Τι είναι χυτοσίδηρος με σφαιροειδή, γραφίτη και πώς τον παίρνομε; Να σκιτσάρετε την κρυσταλλική του δομή.
10. Να δώσετε τυπικές εφαρμογές του χυτοσίδηρου με σφαιροειδή γραφίτη.
11. Τι γνωρίζετε για τους ειδικούς χυτοσίδηρους;
12. Να εξηγήσετε τι σημαίνουν οι παρακάτω συμβολισμοί χυτοσίδηρων κατά τη γερμανική προτυποίση: GG-14, GG-22, GGG-60, GTW-45, GTS-55.

### **3.7 Μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα.**

Τα μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα είναι μια μεγάλη κατηγορία των μεταλλικών υλικών (Μ.Ε., σχ. 2.1β). Αποτελούν περίπου το 20% κατά βάρος των μεταλλικών υλικών, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων.

Σ' αυτά, ως πιο σημαντικά, μπορούμε να περιλάβουμε το χαλκό, το αργίλιο, τον ψευδάργυρο, το μόλυβδο και το νικέλιο μαζί με τα κράματά τους. Με ολα αυτά θα ασχοληθούμε συνοπτικά στις επόμενες σελίδες.

#### **3.7.1 Ο χαλκός και τα κράματά του.**

##### **A. Ο χαλκός.**

Ο χαλκός έχει ειδικό βάρος  $8,90 \text{ g/cm}^3$ , σημείο τήξεως  $1083^\circ\text{C}$  και ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $0,0175 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ . Χρησιμοποιείται πολύ στην πράξη, γιατί παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα:

- α) Έχει ψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (όταν έχει καθαρότητα άνω του 99,9%) και συνεπώς είναι κατάλληλος για ηλεκτρικούς αγωγούς και άλλες κατασκευές της βιομηχανίας του ηλεκτρισμού.
- β) Έχει εξαίρετη πλαστικότητα και διαμορφώνεται εύκολα τόσο εν ψυχρώ, όσο και εν θερμώ.
- γ) Έχει καλή αντοχή σε διάβρωση.
- δ) Παρουσιάζει καλή σχετικά μηχανική αντοχή και
- ε) έχει καλή συγκολλητότητα και επιδέχεται επιμετάλλωση (επινικέλωση ή επιχρωμίωση).

Σοβαρό μειονέκτημα του καθαρού χαλκού είναι ότι δεν χυτεύεται, γιατί σε κάτασταση τήξεως απορροφά αέρια, που σχηματίζουν φυσαλίδες στη μάζα του μετά τη στερεοποίηση.

##### **B. Τα κράματα του χαλκού.**

Τα κράματα του χαλκού, που χρησιμοποιούνται βιομηχανικώς περισσότερο, είναι: οι **ορείχαλκοι**, τα **κρατερώματα** (μπρούντζοι) και άλλα, όπως το **χαλκοαργύριο**, **χαλκονικέλιο** κλπ.

Τα κράματα του χαλκού, που διαμορφώνονται, τα ονομάζομε **μαλακτά**, ενώ εκείνα που χυτεύονται, τα ονομάζομε **χυτευτικά**.

##### **1. Οι ορείχαλκοι.**

Είναι κράματα χαλκού και ψευδάργυρου (Ζη) με αναλογία σε ψευδάργυρο μέχρι 68%. Διατηρούν γενικά τις καλές ιδιότητες του χαλκού και στοιχίζουν φθηνότερα

σε σύγκριση με τα κρατερώματα (θα μιλήσομε γι' αυτά στην επόμενη παράγραφο) λόγω της χαμηλότερης εμπορικής αξίας του ψευδαργύρου.

Ένα πολύ καλό συνδυασμό μηχανικής αντοχής και πλαστικότητας βρίσκομε στον ορείχαλκο με 40% Zn περίπου. Ορείχαλκοι με περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο άνω των 50% είναι εύθραυστοι.

Οι ορείχαλκοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο ως μαλακτοί, όσο και ως χυτευτικοί.

Στον Πίνακα 3.7.1 παραθέτομε στοιχεία σχετικά με τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τις βιομηχανικές χρήσεις αντιπροσωπευτικών ορείχαλκων.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7.1

#### Ορείχαλκοι και κρατερώματα

Είδος κράματος	Χημική σύνθεση [%]					Μηχανικές ιδιότητες				Βιομηχανικές χρήσεις
	Cu	Zn	Sn	P	Άλλα στοιχεία	Κατάσταση κράματος	$\sigma_B$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_B$ [%]	Σκληρότητα κατά Brinell	
Ορείχαλκοι	90	10	—	—	—	Ανοπτημένος Σκληρωμένος	47 52	55 4	60 150	Αρχιτεκτονικές μεταλλοεργασίες, απομιμήσεις κασμημάτων, έργα τέχνης λόγω της χρυσής αποχρώσεώς του και της δυνατότητας εύκολης συγκολλήσεως.
	70	30	—	—	—	Ανοπτημένος Σκληρωμένος	33 70	70 5	65 185	Ορείχαλκος κοιλάνσεως. Κάλυκες φυσιγγίων και οβίδων και για συρματοποίηση.
	70	29	1	—	0,01-0,05 As	Ανοπτημένος Σκληρωμένος	35 60	70 10	65 175	Ορείχαλκος Ναυαρχείου. Πολύ καλή αντοχή στη διάβρωση. Αυλοί συμπυκνωτών στριού.
Κρατερώματα	95,50	1,50	3	—	—	Ανοπτημένος Σκληρωμένος	33 74	65 5	60 200	Κρατέρωμα νομισμάτων.
	90	—	10	0,03-0,25	—	Χυτός σε άμμο	28	15	90	Χυτευτικό φωσφορούχο κρατέρωμα, τυπικό για έδρανα ολισθήσεως.
	88	2	10	—	—	Χυτός σε άμμο	30	16	85	Μέταλλο πυροβόλων. Χυτά μέρη και βαλβίδες αντλιών, ιδίως για λειτουργία σε θαλάσσιο νερό λόγω αντοχής σε διάβρωση.

## 2. Τα κρατερώματα ή μπρούντζοι.

Κρατερώματα ή μπρούντζους ονομάζομε το κράματα του χαλκού, που έχουν ως κύρια πρόσμιξη τον κασσίτερο (Sn). Χρησιμοποιούνται τόσο ως μαλακτά [ $\pi(Sn) = 4\%$  έως 9%], όσο και ως χυτευτικά [ $\pi(Sn) = 9\%$  έως 20%].

Έχουν καλή μηχανική αντοχή, αντοχή στη φθορά από την τριβή, αντοχή στη διάβρωση από τους ατμούς της ατμόσφαιρας και καλή συγκολλήτοτητα.

Τα χυτευτικά κρατερώματα χρησιμοποιούνται βασικά στην κατασκευή εδράνων ολισθήσεως, συνήθως ψηλών πιέσεων.

Τα κρατερώματα είναι δυνατό να περιέχουν και ψευδάργυρο σε μικρή σχετικά με τον κασσίτερο αναλογία.

Στα φωσφορούχα κρατερώματα (ή φωσφορούχους μπρούντζους) ο φωσφόρος, σε περιεκτικότητα 0,10% έως 1,00%, είναι προσθήκη και όχι μόνο αυξάνει τη μηχανική αντοχή του κρατερώματος, αλλά βελτιώνει και την αντοχή του σε διάβρωση.

Στοιχεία για τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τις βιομηχανικές εφαρμογές τυπικών κρατερωμάτων δίνομε στον Πίνακα 3.7.1.

## 3. Άλλα κράματα του χαλκού.

Άλλα χρήσιμα κράματα του χαλκού είναι:

α) Το **χαλκοαργίλιο**, κράμα χαλκού και αργιλίου, παρουσιάζει πολύ καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική οξείδωση σε ελαφρά αυξημένες θερμοκρασίες, όπως και αντοχή στη διάβρωση στο θαλάσσιο νερό.

Το χαλκοαργίλιο μπορεί να διαμορφωθεί εν ψυχρώ (χαλκοαργίλιο με 4% έως 7% Al) ή εν θερμώ (χαλκοαργίλιο με 8% έως 10% Al). Το πρώτο έχει ωραίο χρυσοκίτρινο χρώμα και χρησιμοποιείται συνήθως σε διακοσμήσεις και απομιμήσεις κοσμημάτων, ενώ το δεύτερο βρίσκεται εφαρμογές στη χημική βιομηχανία σε σφυρήλατα κομμάτια με αντοχή στη διάβρωση.

Τέλος, χυτευτικό χαλκοαργίλιο με 9,50% μέχρι 12% Al και με σίδηρο και νικέλιο μέχρι 5% χρησιμοποιείται στη ναυπηγική βιομηχανία για έλικες πλοίων, κελύφη και άξονες αντλιών κ.ά.

β) Το **χαλκονικέλιο**, κράμα χαλκού και νικελίου, έχει αυξημένη αντοχή στη διάβρωση και καλή πλαστικότητα.

Ως τυπικά είδη χαλκονικελίου αναφέρομε:

- Εκείνο που έχει 25% Ni και χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή νομισμάτων.
- Εκείνο με 30% Ni με εφαρμογή στην κατασκευή αυλών για συμπυκνωτές ψυγείων.
- Το επλεγόμενο **κονισταντάν** με αναλογία σε νικέλιο 40%, που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικές αντιστάσεις και θερμοηλεκτρικά ζεύγη.

### 3.7.2 Το αργίλιο και τα κράματά του.

#### A. Το αργίλιο.

Το αργίλιο έχει ειδικό βάρος  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , σημείο τήξεως  $660^\circ\text{C}$  και ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $0,029 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του αργιλίου χρησιμοποιείται ο **βωξίτης** (ένυδρο οξείδιο του αργιλίου με προσμίξεις οξειδίου του σιδήρου). Μετά από χημική κάθαρση προκύπτει η **αλουμίνια** (καθαρό οξείδιο του αργιλίου,  $Al_2O_3$ ), από την οποία εξάγεται με ηλεκτρόλυση το αργίλιο.

Το αργίλιο βρίσκει πολλές και ποικίλες βιομηχανικές χρήσεις, γιατί παρουσιάζει ορισμένες εξαιρετικές ιδιότητες: Είναι ελαφρό, έχει ψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, έχει καλή αντοχή στη διάβρωση, καλή κατεργαστικότητα και διαμορφωσιμότητα, δεν είναι τοξικό και τέλος είναι αμαγνητικό.

Ως σοβαρά μειονεκτήματά του μπορούμε να θεωρήσουμε το πολύ χαμηλό του όριο θραύσεως (μόλις 8 kp/mm<sup>2</sup> σε κατάσταση ανοπήσεως) και το χαμηλό του σημείο τήξεως. Η μηχανική αντοχή όμως του αργιλίου είναι δυνατό να αυξηθεί, είτε με σκλήρωση μετά από διαμόρφωση εν ψυχρώ, είτε με κραματοποίηση, όπως θα δούμε ευθύς αμέσως.

## B. Τα κράματα του αργιλίου.

Τα κράματα του αργιλίου τα συναντούμε ως **μαλακτά** ή ως **χυτευτικά**. Και τα δύο, δηλαδή τα μαλακτά και χυτευτικά κράματα του αργιλίου μπορούν να υποστούν **θερμικές κατεργασίες** για βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων ή να μην υποστούν **θερμικές κατεργασίες**.

### 1. Μαλακτά κράματα.

**α) Μη υφιστάμενα θερμικές κατεργασίες.** Περιέχουν ως κύρια προσθήκη είτε μαγγάνιο (μέχρι 1,50%), είτε μαγνήσιο (μέχρι περίπου 5%). Συμπληρώνονται με διαμόρφωση εν ψυχρώ. Παρουσιάζουν καλή αντοχή σε διάβρωση.

**β) Υφιστάμενα θερμικές κατεργασίες.** Τα κράματα αυτά του αργιλίου έχουν ως προσθήκες το χαλκό, το μαγνήσιο, το πυρίτιο και τον ψευδάργυρο. Αποκτούν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες με τη λεγόμενη **σκλήρωση από κατακρήμνιση με γήρανση** (φυσική ή τεχνητή), όπως θα δούμε ευθύς αμέσως.

Τυπικό κράμα της ομάδας αυτής είναι το **ντουραλούμινο**, στο οποίο κύρια προσθήκη είναι ο χαλκός (3,50% έως 4,70%, Πίνακας 3.7.2).

Τη σκλήρωση του κράματος αυτού του αργιλίου την επιτυγχάνουμε με συνδυασμό βαφής (ήρεμο πύρωμα στην καθορισμένη θερμοκρασία π.χ. 530°C για ντουραλούμινο με 4% Cu και απότομη απόψυξη στη θερμοκρασία του δωματίου) και παραμονής του στη θερμοκρασία δωματίου επί πολύ χρόνο (πέντε έως έξι ημέρες, οπότε έχουμε **φυσική γήρανση** του κράματος) ή θερμάνσεώς του σε 150°C έως 170°C επί δέκα περίπου ώρες και ήρεμης αποψύξεώς του (**τεχνητή γήρανση**).

Η σκλήρωση οφείλεται σε κατακρήμνιση σε όλη τη μάζα του κράματος μιας ενώσεως χαλκού-αργιλίου ( $CuAl_2$ ) σε πολύ-πολύ μικρά (υπομικροσκοπικά) τεμαχίδια, η οποία κατακρήμνιση πραγματοποιείται με την πάροδο του χρόνου.

### 2. Χυτευτικά κράματα.

Τα μη υφιστάμενα θερμικές κατεργασίες χυτευτικά κράματα του αργιλίου περιέχουν 10% έως 12% πυρίτιο και είναι κατάλληλα για χύτευση σε άμμο, όπως και για χύτευση σε μήτρα (υπό πίεση).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7.2**

**Τυπικά πρόσματα του αργιλίου**

Χημική σύνθεση [%]							Μηχανικές ιδιότητες			Βιομηχανικές χρήσεις		
Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Fe	'Άλλα στοχεία	Καπσαστοσικό κράμαστος	$\sigma_B$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	ε [%]	Θερμικές κατεργασίες		
0,10	0,60	2,80-4,00	—	0,60	0,50	0,15 Ti 0,25 Cr	Μαλακό Σκληραμένο [1/4]	22 30	18 8		<b>Μαλακό πρόσμα μη θερμητέο θερμητέο κατεργαστέο.</b> Εφαρμογές στην ναυπηγική βιομηχανία.	
3,50-4,70	0,20-0,70	0,40-1,20	—	0,40-1,00	0,70	—	Μετά θερμική κατεργασία	41	10	Θέρισμα σε 480°C. Βαφή. Φυσική γήρανση επί 4 ημέρες.	<b>Μαλακό πρόσμα θερμητέο κατεργαστέο.</b> Το ονομάζουμε πουρολουμίνα. Γενικής χρήσεως για φορτίζομενες αεροναυπηγικές και συναρφείς κατασκευές.	
—	11,50	—	—	—	—	—	Χυτευμένο σε δάμο. Χυτευμένο υπό πίεση	17 22	7 4		<b>Χυτευτό πρόσμα μη θερμητέο κατεργαστέο.</b> Κατάλληλο για χύτευση σε δάμο και χύτευση με βαρύπτητα και υψηλό πίεση. Μεγάλου μεγέθους χιτών, κιβώτια ταχυτήτων, θερμαντικά σύμπλακτα και δίλα.	
4,00	0,30	1,50	—	—	—	—	Μετά θερμική κατεργασία	2,9	—	Θέρισμα σε 510°C. Βαφή μέσα σε ζεστό νερό επί 2 ώρες. Φυσική γήρανση επί 5 ημέρες.	<b>Χυτευτό πρόσμα θερμητέο κατεργαστέο.</b> Για έμβλατα και κεφαλές κυλινδρων υδρωμάτων και αεροψυκτών μηχανών.	

Από τα χυτευτικά κράματα, εκείνα που υφίστανται θερμικές κατεργασίες, περιέχουν κατά βάση χαλκό (περίπου 4%) και νικέλιο (περίπου 2%) ή πυρίτιο (12%) και άλλες προσμίξεις, όπως μαγνήσιο και νικέλιο. Η θερμική τους κατεργασία είναι παρόμοια με εκείνη των μαλακτών κραμάτων.

Η χημική σύνθεση, οι μηχανικές ιδιότητες και στοιχεία για τις θερμικές κατεργασίες και τη βιομηχανική χρήση τυπικών κραμάτων του αργιλίου (μαλακτών και χυτευτικών) δίνονται στον Πίνακα 3.7.2.

### **3.7.3 Ο ψευδάργυρος και τα κράματά του.**

#### **A. Ο ψευδάργυρος.**

Είναι μέταλλο με λευκό χρώμα. Έχει ειδικό βάρος  $7,14 \text{ g/cm}^3$  και σημείο τήξεως  $419^\circ\text{C}$ . Στη συνήθη θερμοκρασία είναι εύθραυστος, ενώ αν θερμανθεί σε  $100^\circ\text{C}$  ως  $150^\circ\text{C}$  αποκτά σημαντική πλαστικότητα. Δεν οξειδώνεται στο νερό ούτε στον αέρα και εξ αιτίας της ιδιότητάς του αυτής χρησιμοποιείται για την **επιψευδαργύρωση** χαλυβδίνων ελασμάτων (**γαλβανισμένες λαμαρίνες**). Έχει καλή χυτευτότητα.

#### **B. Τα κράματα του ψευδαργύρου.**

Τα κράματα του ψευδαργύρου χρησιμοποιούνται κυρίως ως χυτά εξαρτήματα με χύτευση σε μήτρα (υπό πίεση). Περιέχουν είτε αργίλιο (4% περίπου) είτε αργίλιο (4%) και χαλκό (μέχρι 2,50%) μαζί.

### **3.7.4 Ο μόλυβδος και τα κράματά του.**

#### **A. Ο μόλυβδος.**

Έχει χρώμα φαιό (γκρίζο). Το ειδικό του βάρος είναι  $11,3 \text{ g/cm}^3$  και το σημείο του τήξεως  $327^\circ\text{C}$ . Έχει μικρή μηχανική αντοχή, εξαιρετική πλαστικότητα και σημαντική αντοχή στη διάβρωση.

Χρησιμοποιείται στην κατασκευή εσχαρών για πλάκες συσσωρευτών, πλακών στεγανοποιήσεως οροφής, βολίδων φυσιγγίων και για επένδυση υπογείων καλωδίων· ακόμα στη χημική βιομηχανία για αποθήκευση και μεταφορά διαβρωτικών υγρών (π.χ. στη βιομηχανία του θειικού οξέος) και στην ιατρική και στην ατομική ενέργεια για προστασία από τις ακτίνες X και γ.

#### **B. Τα κράματα του μολύβδου.**

Τα κράματα μολύβδου (Pb)-αντιμονίου (Sb) (με 7% έως 12% Sb) χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πλακών συσσωρευτών.

Τα κράματα μολύβδου-κασσιτέρου (με 20% μέχρι 50% Sn) είναι οι γνωστές μας κολλήσεις [Μ.Ε., παράγρ. 21.5(β), Πίνακας 21.5.1].

Τα κράματα μολύβδου-αντιμονίου-κασσιτέρου είναι γνωστά ως **τυπογραφικά κράματα** (π.χ. το κράμα με 10% έως 13% Sb και 2% έως 4% Sn για λινοτυπία) και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τυπογραφικών στοιχείων.

### 3.7.5 Το νικέλιο και τα κράματά του.

#### A. Το νικέλιο.

Είναι μέταλλο με χρώμα λευκό προς φαιό. Έχει ειδικό βάρος  $8,9 \text{ g/cm}^3$  και σημείο τήξεως  $1453^\circ\text{C}$ . Δεν οξειδώνεται στον ατμοσφαιρικό αέρα, γι' αυτό χρησιμοποιείται για **επινικέλωση** (ηλεκτρολυτική επικάλυψη μεταλλικών επιφανειών). Πριν από την επινικέλωση χαλυβδίνων επιφανειών κάνομε επιχάλκωσή τους. Παρουσιάζει καλό συνδυασμό μηχανικών ιδιοτήτων και αντοχής στη διάβρωση. Αποτελεί κύρια προσθήκη στα χαλυβοκράματα (παράγρ. 3.3.3).

Χρησιμοποιείται ευρύτατα στη χημική βιομηχανία λόγω της αντοχής του στη διάβρωση και ιδιαίτερα στα αλκάλια· επίσης και στη βιομηχανία τροφίμων, γιατί δεν είναι τοξικό.

#### B. Τα κράματα του νικελίου.

**1. Το μονέλ** είναι κράμα νικελίου-χαλκού με 30% χαλκό περίπου και μικρές ποσότητες μαγγανίου, σιδήρου, πυριτίου και άνθρακα.

Παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάβρωση στο νερό, στην άλμη, στα αλκάλια, στον υπέρθερμο ατμό και σε άλλα.

Βρίσκει εφαρμογή σε άξονες και πτερωτές αντλιών, σε βελόνες ακροφυσίων υδροστροβίλων, όπως και σε πτερύγια στροβίλων.

**2. Η ομάδα πυριμόχων κραμάτων** με βάση το νικέλιο περιλαμβάνει:

- α) Το Ινκονέλ (Inconel) με 14% Cr και 6% Fe.
- β) Το Χαστελλόυ, C ή X (Hastelloy).
- γ) Τη σειρά των κραμάτων Νιμόνικ 75, 80A και 90 (Nimonic) και
- δ) τα κράματα για ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Τα κράματα αυτά έχουν τέτοιες ιδιότητες, ώστε να μπορούν να καλύπτουν απαιτήσεις μηχανικής αντοχής και αντοχής σε διάβρωση σε ψηλές θερμοκρασίες. Έχουν σημαντικά συμβάλλει στην ανάπτυξη της σημερινής τεχνολογίας των μηχανών αεριωθήσεως (τζετ), αεριοστροβίλων κ.ά.

### 3.7.6 Αντιτριβικά κράματα ή κράματα για έδρανα ολισθήσεως.

#### A. Γενικά.

Τα έδρανα ολισθήσεως των διαφόρων μηχανημάτων κατασκευάζονται είτε **ολόσωμα** από φωσφορούχο κρατέρωμα [παράγρ. 3.7.1 (B) (2), Πίνακας 3.7.1] είτε ως **διμερή**. Στα τελευταία το στρώμα του **αντιτριβικού κράματος** φέρεται από κατάλληλο μεταλλικό χιτώνιο.

Ένα αντιτριβικό κράμα, για να ανταποκριθεί στον προορισμό του, θα πρέπει να έχει τις ακόλουθες βασικές ιδιότητες:

- α) Επαρκή σκληρότητα, ώστε να αντέχει στη φθορά, λόγω της τριβής.
- β) Καλή μηχανική αντοχή απέναντι στα φορτία, που το καταπονούν.
- γ) Καλή δυσθραυστότητα.
- δ) Καλή χυτευτότητα.

ε) Καλή θερμική αγωγιμότητα, ώστε η παραγόμενη από την τριβή θερμότητα κατά την εργασία του εδράνου να μεταδίδεται στο περιβάλλον και έτσι να διατηρείται η θερμοκρασία μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

στ) Αντοχή στη διάβρωση απέναντι στα χρησιμοποιούμενα λιπαντικά.

Τα αντιτριβικά κράματα κατατάσσονται σε: κράματα με βάση το χαλκό και κράματα με βάση τον κασσίτερο ή το μόλυβδο (**λευκά μέταλλα**).

## B. Αντιτριβικά κράματα με βάση το χαλκό.

Στην παράγραφο 3.7.1 (B) (2) είδαμε ότι τα χυτευτικά κρατερώματα χρησιμοποιούνται ως αντιτριβικό υλικό στην κατασκευή εδράνων ολισθήσεως.

Για τον ίδιο σκοπό, ως αντιτριβικά κράματα έχουμε και κρατερώματα με επί πλέον 10% έως 15% μόλυβδο ή κράματα χαλκού-μολύβδου με 25% έως 30% μόλυβδο. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη φθορά από τριβή και έχουν ψηλή θερμική αγωγιμότητα. Ενδείκνυνται για την κατασκευή εδράνων βάσεως στροφαλοφόρων αξόνων μηχανών εσωτερικής καύσεως.

## Γ. Λευκά μέταλλα.

Είναι και αυτά αντιτριβικά κράματα. Ονομάζονται **λευκά μέταλλα** από το χρώμα τους σε αντίθεση με τα αντιτριβικά κράματα με βάση το χαλκό, τα οποία είναι κοκκινωπά.

Διακρίνονται:

**1) Στα λευκά μέταλλα με βάση τον κασσίτερο.** Έχουν ως κύριες προσμίξεις το αντιμόνιο (3% έως 10%) και το χαλκό (3,50% περίπου). Επειδή είναι μαλακά, χυτεύονται σε χαλύβδινα χιτώνια και καπόπιν τορνεύονται στην τελική τους διάσταση. Το ίδιο ισχύει και για τα λευκά μέταλλα με βάση το μόλυβδο, για τα οποία θα μιλήσουμε αμέσως παρακάτω.

Ως γενικής χρήσεως λευκό μέταλλο αυτού του είδους αναφέρομε εκείνο με 10,50% Sb και 3,50% Cu.

**2) Λευκά μέταλλα με βάση το μόλυβδο.** Σ' αυτα ένα μέρος του κασσίτερου αντικαθίσταται από μόλυβδο, που είναι πιο φθηνός. Περιέχουν 10% έως 15% κασσίτερο, 1,50% έως 3% χαλκό και το υπόλοιπο μόλυβδο.

Χρησιμοποιούνται για ηπιότερες συνθήκες φορτίσεως από ο,τι τα λευκά μέταλλα με βάση τον κασσίτερο.

### 3.7.7 Ερωτήσεις.

- Ποια είναι τα κυριότερα μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα, που χρησιμοποιούμε βιομηχανικώς;
- Να αναφέρετε τρία από τα πολλά πλεονεκτήματα που έχει ο χαλκός ως βιομηχανικό υλικό.
- Ποια είναι η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στον ορείχαλκο και στο κρατέρωμα;
- Τι σημαίνει μαλακτός και τι χυτευτικός ορείχαλκος;
- Να δώσετε τυπικές εφαρμογές του ορείχαλκου και του κρατερώματος.
- Εκτός από τους ορείχαλκους και τα κρατερώματα, ποια άλλα χρήσιμα κράματα του χαλκού έχουμε;
- Ποιες είναι οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του αργιλίου, τις οποίες μπορούμε να θεωρήσουμε πλεονεκτήματά του ως βιομηχανικού υλικού;
- Ποιο κράμα του αργιλίου ονομάζομε ντουραλουμίνιο;
- Πώς επιτυγχάνεται η σκλήρωση του ντουραλουμίνιου;

10. Ποιες είναι οι κύριες ομάδες κραμάτων του μολύβδου και πού βρίσκει εφαρμογή κάθε μία από τις ομάδες αυτές;
11. Να αναφέρετε δύο από τα κράματα του νικελίου μαζί με τυπικές τους βιομηχανικές χρήσεις.
12. Τι είναι τα λευκά μέταλλα;
13. Να δώσετε τρεις ιδιότητες από εκείνες που πρέπει να εχει ένα αντιτριβικό κράμα.
14. Ποια μη σιδηρούχα κράματα θα διαλέξουμε για να κατασκευάσουμε τα εξής κομμάτια;  
α) Κάλυκες φυστιγγίων. β) Έδρανα ολισθήσεως. γ) Βαλβίδες αντλιών νερού. δ) Έμβολα βενζινοκινητήρων.

### 3.8 Μηχανουργικά υλικά κονιομεταλλουργίας.

#### 3.8.1 Γενικά.

Η **κονιομεταλλουργία** ασχολείται με την παραγωγή των λεγομένων **κεραμευτικών κραμάτων** από μεταλλικές σκόνες σε μορφοποιημένα κομμάτια με τη διαδικασία (φάσεις), που περιγράφομε στην παράγραφο 3.8.2. Η κονιομεταλλουργία δηλαδή μας παρέχει άλλο τρόπο παρασκευής κραμάτων, εκτός από το γνωστό με **τήξη των συστατικών** τους.

Τα κεραμευτικά κράματα τα διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες: σε εκείνα που δεν είναι δυνατό να παραχθούν με άλλο τρόπο, παρά μόνο με την κονιομεταλλουργία και σε εκείνα, για τα οποία η κονιομεταλλουργία είναι συμφερότερη μέθοδος παραγωγής.

Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται:

α) **Διαμορφώσιμα** κομμάτια από πυρίμαχα μέταλλα, όπως είναι το βολφράμιο, το μολυβδαίνιο, το ταντάλιο και το νιόβιο, των οποίων η τήξη βιομηχανικώς είναι αδύνατη, λόγω του πολύ ψηλού σημείου τήξεώς τους (το βολφράμιο λειώνει στους  $3410^{\circ}\text{C}$ ). Ως τυπικό παράδειγμα δίνομε την παρασκευή ολκιμού βολφραμίου για την κατασκευή συρματιδίων πυρακτώσεως ηλεκτρικών λαμπτήρων [σχ. 3.8α(β)].

β) **Σκληρομέταλλα με καρβίδια** ή απλώς **σκληρομέταλλα** [σχ. 3.8α(α)] τα οποία χρησιμοποιούνται, όπως θα δούμε, ως κοπτικά εργαλεία. Τα καρβίδια, που συνήθως χρησιμοποιούμε, είναι καρβίδια του βολφραμίου, του τιτανίου, του τανταλίου και του νιοβίου. Τα σκληρομέταλλα δεν θα μπορούσαν να παραχθούν με τήξη των συστατικών τους, γιατί τα καρβίδια θα υφίσταντο διάσπαση.

γ) **Κράματα**, των οποίων τα συστατικά διατηρούν τα αρχικά τους χαρακτηριστικά στις διάφορες εφαρμογές. Αναφέρομε εδώ ως παράδειγμα τις ηλεκτρικές επαφές: σ' αυτές συνδυάζεται η αντοχή σε φθορά ενάς πυρίμαχου υλικού, π.χ. του βολφραμίου, με τη μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα, του αργύρου ή του χαλκού.

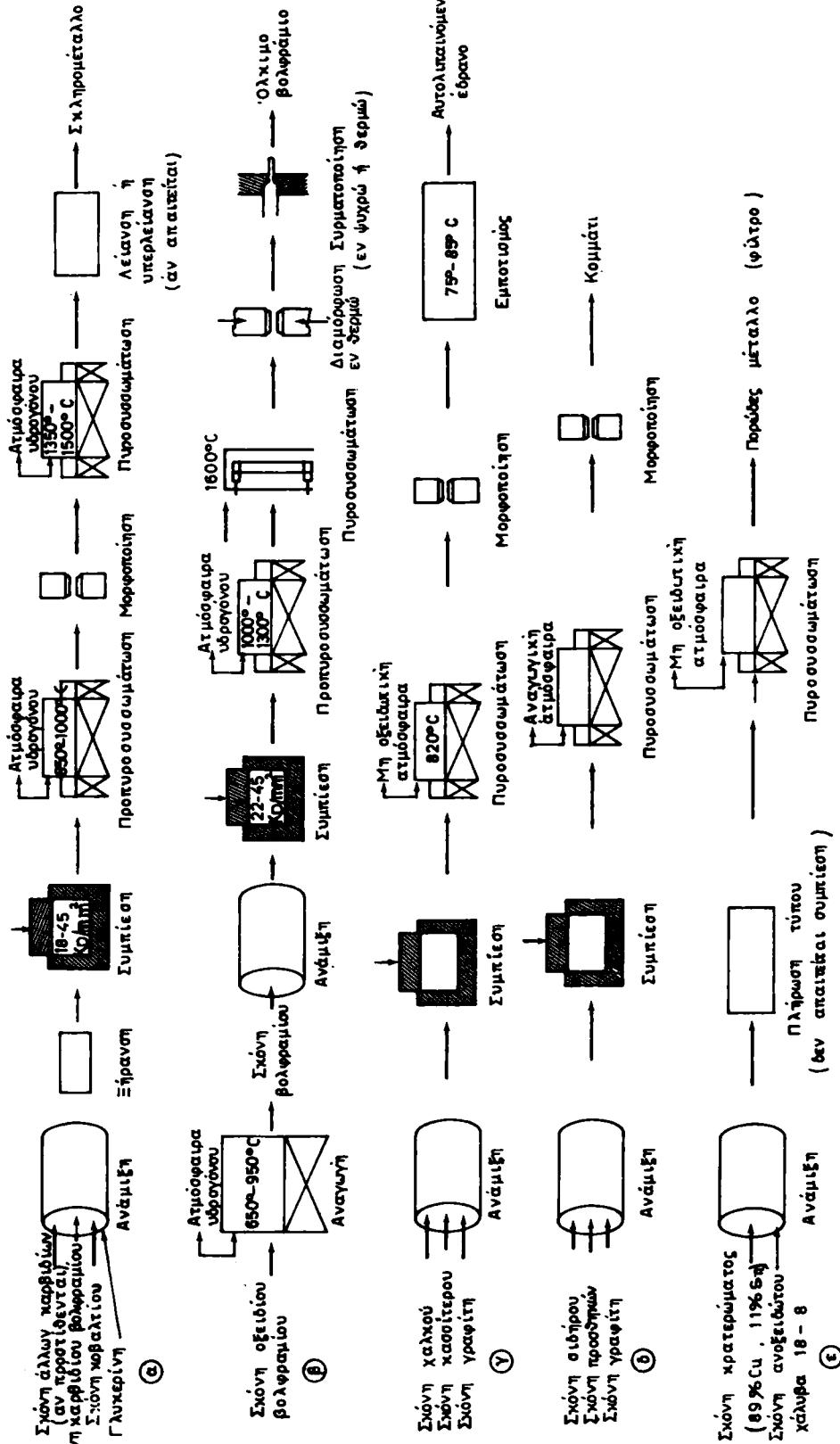
δ) **Πορώδη κράματα** για αυτολιπανόμενα έδρανα ολισθήσεως και φίλτρα [σχ. 3.8α(ε)]. Εδώ είναι δυνατή με την κονιομεταλλουργία η ρύθμιση του πορώδους των κραμάτων αυτών.

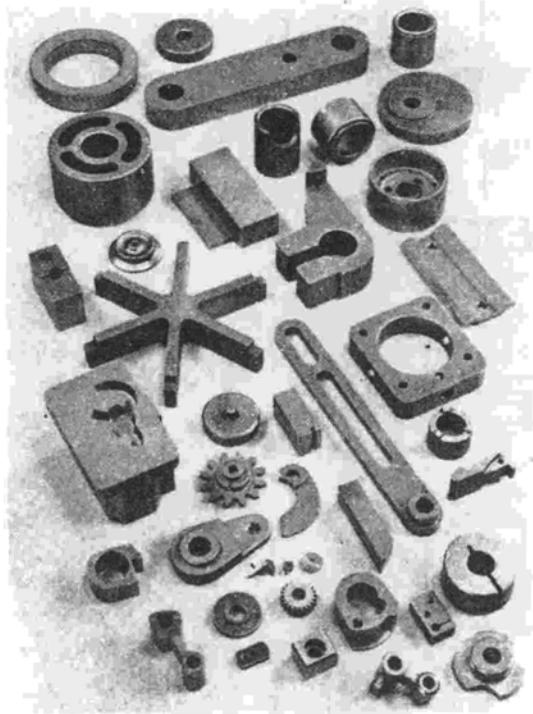
Στη δεύτερη κατηγορία μπορούμε να κατατάξουμε:

α) Μέταλλα με πολύ μεγάλη καθαρότητα. Κατά την τήξη τους προστίθενται ακαθαρσίες.

β) Μέταλλα που έχουν κακή χυτευτότητα ή κατεργαστικότητα και

γ) κομμάτια με περίπλοκες μορφές από σίδηρο και μη σιδηρούχα μέταλλα, των οποίων η κατεργασία θα απαιτούσε μακρό χρόνο και κατά συνέπεια το κόστος παραγωγής τους θα ήταν απαράδεκτα ψηλό (σχ. 3.8β).





Σχ. 3.8β.

Διάφορα στοιχεία μηχανών, προϊόντα της κονιομεταλλουργίας.

### 3.8.2 Οι φάσεις της κονιομεταλλουργίας.

Συνοπτικά οι κύριες **φάσεις**, που ακολουθούμε για την παραγωγή ενός κονιομεταλλουργικού προϊόντος, είναι οι ακόλουθες:

- Παραγωγή κόνεων** των συστατικών του κράματος με καθορισμένη καθαρότητα και ελεγχόμενο μέγεθος και μορφή των τεμαχιδίων, που την αποτελούν.
- Ανάμιξη** των κόνεων σε ομοιογενές μίγμα.
- Συμπίεση** του μίγματος των κόνεων μέσα σε κατάλληλη μήτρα και με τη βοήθεια κατάλληλης πρέσσας, ώστε να σχηματισθεί το κομμάτι σε μια συμπαγή μάζα, το **συμπίεσμα ή μπρικέττα**. Το συμπίεσμα είναι ψαθυρό, μπορεί όμως να μεταφερθεί χωρίς να καταστραφεί ή να αλλάξει μορφή.
- Πυροσυσσωμάτωση**, κατά την οποία το συμπίεσμα πυρώνεται μέσα σε αναγνωρική ατμόσφαιρα και σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο τήξεως και του πιο δύστηκου μετάλλου, συνήθως όμως κατώτερη από το σημείο τήξεως του πιο εύτηκτου συστατικού του κράματος. Η πυροσυσσωμάτωση δίνει στο προϊόν τις επιθυμητές μηχανικές ή άλλες ιδιότητες.

Εκτός όμως από τις κύριες αυτές φάσεις της κονιομεταλλουργίας, είναι δυνατό, ανάλογα με την περίπτωση, να πραγματοποιηθούν και άλλες **δευτερεύουσες φάσεις**, όπως:

**α) Αποπεράτωση ή τελική κατεργασία**, για να προσδώσουμε στο κομμάτι της κονιομεταλλουργίας τις τελικές ακριβείς διαστάσεις του.

**β) Ανασυμπίεση ή τύπωση.** Είναι κατεργασία διαμορφώσεως εν ψυχρώ, που ακολουθεί την πυροσυσσωμάτωση, όταν απαιτείται μεγαλύτερη πυκνότητα των προϊόντος σε συνδυασμό με ακριβέστερες διαστάσεις.

**γ) Προπυροσυσσωμάτωση.** Η πυροσυσσωμάτωση διακόπτεται σε μια ενδιάμεση θερμοκρασία. Το προϊόν έχει καλή κατεργαστικότητα και μπορεί να μορφοποιηθεί, πράγμα που θα ήταν αδύνατο μετά την πυροσυσσωμάτωση, οπότε η σκληρότητά του θα ήταν πολύ μεγάλη.

**δ) Εμποπομός** (με κατάλληλο λάδι) των συτολιπαινομένων εδράνων, για βελτίωση των αντιτριβικών τους ιδιοτήτων.

Παρακάτω θα περιγράψουμε τις φάσεις, που ακολουθούμε, για την παραγωγή ενός σκληρομετάλλου με καρβίδιο του βολφραμίου και με κοβάλτιο ως συνδετικό υλικό [σχ. 3.8α(α)]:

Αρχικά παίρνουμε σκόνη του βολφραμίου και σκόνη του κοβαλτίου με θέρμανση και αναγωγή οξειδίου του βολφραμίου και οξειδίου του κοβαλτίου αντίστοιχα σε ρεύμα υδρογόνου.

Κατόπιν η σκόνη του βολφραμίου αναμιγνύεται με αιθάλη (καπνιά) και στην αναλογία που χρειάζεται, για να δώσουν μαζί καρβίδιο του βολφραμίου, που το παίρνουμε ύστερα από θέρμανση επί δύο περίπου ώρες σε ουδέτερη ατμόσφαιρα. Υστερα, το καρβίδιο αυτό του βολφραμίου λειοτριβείται σε σκόνη με μέσο μέγεθος 20μμ περίπου.

Ακολουθεί ανάμιξη της σκόνης του καρβιδίου του βολφραμίου με τη σκόνη του κοβαλτίου. Στο μήγαμα αυτό προστίθεται και μικρή ποσότητα γλυκερίνης, που υποβοηθεί τη συμπίεσή του.

Η συμπίεση του μήγαματος, μετά από ξήρανση, γίνεται σε μήτρες από κατάλληλο χάλιβα εργαλείων και υπό πίεση 18 μέχρι 45 kp/mm<sup>2</sup>.

Ακολουθεί προπυροσυσσωμάτωση σε 850°C έως 1000°C σε ατμόσφαιρα υδρογόνου. Το προϊόν, που παίρνουμε μετά την προπυροσυσσωμάτωση είναι αρκετά ανθεκτικό, ώστε να μπορεί να μορφοποιηθεί στις κατάλληλες εργαλειομηχανές.

Η πυροσυσσωμάτωση γίνεται σε ηλεκτρικό κλίβανο, στον οποίο εμφυσάται ξηρό υδρογόνο. Ο χρόνος, που διαρκεί η πυροσυσσωμάτωση είναι περίπου 90 πρώτα λεπτά και η θερμοκρασία στην οποία γίνεται κυμαίνεται από 1350°C μέχρι 1500°C.

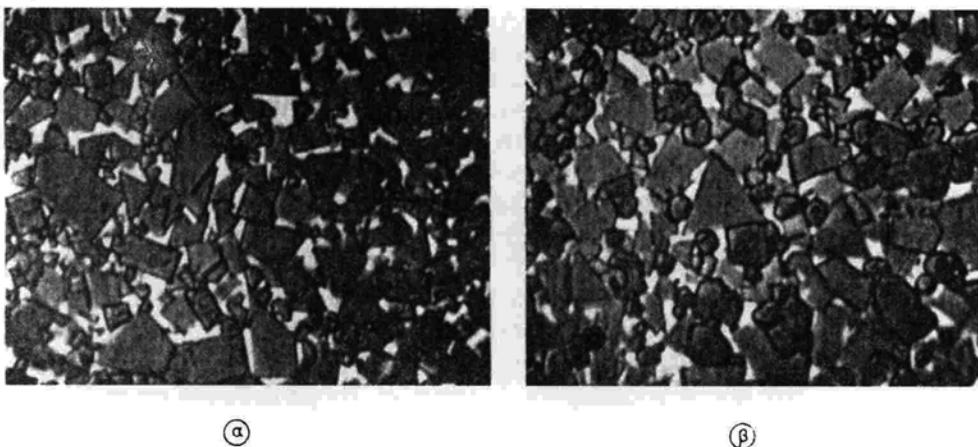
Μετά την πυροσυσσωμάτωση τα κομμάτια αφήνονται να αποψυχθούν ήρεμα.

Τέλος τα σκληρομέταλλα παίρνουν την τελική τους μορφή και διαστάσεις με λείανση ή με λάππιγκ (είναι κατεργασία συναφής με τη λείανση, στην οποία όμως δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη τραχύτητα επιφάνειας) και μετά από αυτό είναι έτοιμα για να διοχετευτούν στο εμπόριο.

Στις μικροφωτογραφίες του σχ. 3.8γ εικονίζεται η κρυσταλλική δομή σκληρομετάλλων.

Για τις ιδιότητες, την προτυποποίηση και τη χρήση των σκληρομετάλλων ως κοπτικών εργαλείων θα μιλήσουμε στην παράγραφο τη σχετική με τα κοπτικά εργαλεία.

Στο σχήμα 3.8α φαίνονται οι φάσεις, που ακολουθούνται για την παραγωγή των

**Σχ. 3.8γ.**

Μικροφωτογραφίες σκληρομετάλλων. Μεγέθυνση X1500: (α) Καρβιδίου βολφραμίου-κοβαλτίου.  
(β) Καρβιδίου βολφραμίου, καρβιδίων τανταλίου, τιτανίου-κοβαλτίου.

εξής τυπικών προϊόντων της κονιομεταλλουργίας, εκτός από τα σκληρομέταλλα, των οποίων την παραγωγή περιγράψαμε μόλις προηγουμένως:

- Του πυρίμαχου υλικού βολφραμίου [σχ. 3.8α(β)].
- Των αυτολιπαινομένων εδράνων χαλκού-κασσιτέρου [σχ. 3.8α(γ)].
- Των σιδηρούχων κομματιών [σχ. 3.8α(δ)].
- Των μεταλλικών φίλτρων [σχ. 3.8α(ε)].

### 3.8.3 Ερωτήσεις.

- Να εξηγήσετε τους εξής δύο όρους: **Κονιομεταλλουργία** και **πυροσυσσωμάτωση**.
- Να δώσετε δύο προϊόντα της κονιομεταλλουργίας, τα οποία δεν είναι δυνατό να παραχθούν με άλλο τοόπο και να το εξηγήσετε αυτό.
- Ποιες είναι οι κύριες φάσεις παρασκευής ενός κονιομεταλλουργικού προϊόντος;
- Να αναφέρετε τις φάσεις παραγωγής ενός σκληρομετάλλου με καρβίδιο του βολφραμίου και κοβάλτιο ως συνδετικό υλικό.
- Να δώσετε το διάγραμμα ροής για την παραγωγή του σκληρομετάλλου της προηγούμενης ερώτησεως.

## 3.9 Τα πλαστικά στις μηχανουργικές κατασκευές.

### 3.9.1 Γενικά.

Στις διάφορες μηχανουργικές κατασκευές εκτός από τα μεταλλικά υλικά, με τα οποία ασχοληθήκαμε μέχρις εδώ, χρησιμοποιούμε, σε περιορισμένη όμως έκταση και **μη μεταλλικά υλικά** (Μ.Ε. σχ. 2.1β), εφ' όσον βέβαια τα τελευταία καλύπτουν τις απαιτήσεις που θέτομε και συμφέρουν οικονομικά.

Τα σπουδαιότερα από τα μη μεταλλικά υλικά για μηχανουργικές κατασκευές εί-

ναι τα **πλαστικά ή πολυμερή**, με τα οποία και θα ασχοληθούμε αποκλειστικά στην παράγραφο αυτή. Πιο συγκεκριμένα, αφού δώσομε ορισμένα στοιχεία σχετικά με τη δομή των πλαστικών, θα μιλήσουμε για τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες, για την ταξινόμησή τους και για τη μορφοποίηση και τις εφαρμογές τους.

Τα πλαστικά αναπτύχθηκαν κατά τις τελευταίες κυρίως δεκαετίες και αναπτύσσονται με ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό για δύο βασικούς λόγους: από το ένα μέρος για να υποκαταστήσουν φυσικές πρώτες ύλες και από το άλλο για να καλύψουν ανάγκες της τεχνικής εξελίξεως σε υλικά με φυσικές και τεχνολογικές ιδιότητες, που δεν υπάρχουν σε φυσικά προϊόντα.

Τα πλαστικά περιλαμβάνουν μία μεγάλη κατηγορία οργανικών υλών, που, όταν θερμανθούν, **πλαστικοποιούνται** (γίνονται εύπλαστα) και έτσι μπορούν να μορφοποιηθούν υπό πίεση (παράγρ. 3.9.5).

Παρασκευάζονται από φυσικές ή συνθετικές οργανικές ενώσεις με μικρό μοριακό βάρος (**μονομερείς ενώσεις**, όπως, πχ. υδρογονάνθρακες, οξέα, αλκοόλες, αμίνες και άλλες με **πολυμερισμό** ή **πολυσυμπύκνωση** ή **πολυπροσθήκη** των ενώσεων αυτών.

Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο οι κατ' αυτό τον τρόπο παρασκευαζόμενες ουσίες ονομάσθηκαν **πολυμερή**. Με τις χημικές αυτές διεργασίες σχηματίζονται **μεγαλομοριακές ενώσεις**, δηλαδή χημικές ενώσεις με πολύ μεγάλο μοριακό βάρος.

Κατά τον **πολυμερισμό** οι μονομερείς χημικές ενώσεις σχηματίζουν νηματοειδή μεγαλομόρια, χωρίς όμως να αποσπώνται άλλες ενώσεις (παραπροϊόντα). Πολυμερισμένες ύλες είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, το πολυβινυλωρίδιο και άλλες.

**Πολυσυμπύκνωση** σημαίνει σύνδεση πολλών μονομερών ενώσεων (ή ενδιαμέσων ενώσεων) προς ένα τολύ μεγάλο σύμπλοκο μόριο με τη χρησιμοποίηση των μορίων μιας άλλης ενώσεως ως συνδετικού κρίκου. Κατά την πολυσυμπύκνωση έχομε σχηματισμό παραπροϊόντων. Πολυσυμπυκνωμένο πλαστικό είναι το πολυουρεθάνιο.

Με την **πολυπροσθήκη** επιτυγχάνεται η ένωση πολλών πολυμερισμένων μορίων από την ίδια ουσία ή από διάφορες ουσίες σε ένα ακόμα μεγαλύτερο μεγαλομόριο. Και εδώ δεν έχομε απελευθέρωση άλλων ενώσεων, όπως και στον πολυμερισμό. Με πολυπροσθήκη παράγεται το πολυαμίδιο, ο πολυεστέρας, τα φαινοπλαστικά, τα αμινοπλαστικά κ.ά.

Τα πλαστικά χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε πολλούς τομείς της τεχνικής, όπως στη μηχανουργική βιομηχανία, στη βιομηχανία αυτοκινήτων και ηλεκτρικών ειδών, στην αρχιτεκτονική, σε οικιακές και ιατρικές εφαρμογές, στη συσκευοσία, στην κλωστοϋφαντουργία, στις μεταφορές, στη βιομηχανία παιχνιδιών κλπ.

### 3.9.2 Η δομή των πλαστικών.

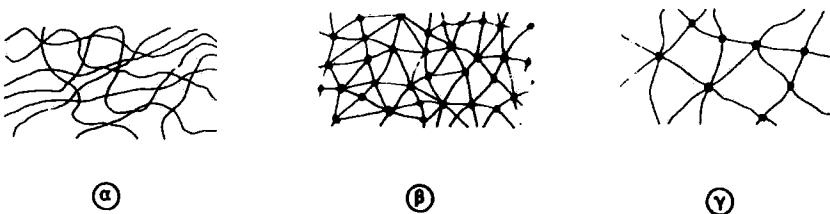
Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των διαφόρων πλαστικών οφείλονται στο είδος της διατάξεως των μορίων τους στο χώρο. Με κριτήριο τη δομή τους στο χώρο, διακρίνομε τα μεγαλομόρια σε:

α) **Νηματοειδή μεγαλομόρια** [σχ. 3.9(a)]. Τα μεγαλομόρια αυτά διατάσσονται εντελώς ακανόνιστα στο χώρο, όπως είναι οι ίνες μιας τολύπας μαλλιού ή ταξινο-

μούνται μερικά. Έχουν πάντοτε θερμοπλαστικές ιδιότητες (παράγρ. 3.9.4) και προκύπτουν μετά από πολυμερισμό.

**β) Μεγαλομόρια σε τρισδιάστατο στερεό σκελετό** [σχ. 3.9α(β)]. Χαρακτηρίζουν την κατάσταση των ντουροπλαστικών ή θερμοσκληρυνομένων πλαστικών (παράγρ. 3.9.4). Σχηματίζονται μετά από πολυσυμπύκνωση.

**γ) Μεγαλομόρια σε δομή πλέγματος** [σχ. 3.9α(γ)]. Προέρχεται από τη σύνδεση μεμονωμένων θέσεων στα νηματοειδή μεγαλομόρια. Χαρακτηρίζουν την υφή των ελαστομερών. Η δομή αυτή είναι ελαστικά παραμορφώσιμη, αλλά συνεκτική. Το βουλκανισμένο καουτσούκ έχει τέτοια μεγαλομοριακή δομή.



Σχ. 3.9α.

Μοριακή δομή των πλαστικών: (α) Νηματοειδή μεγαλομόρια. (β) Μεγαλομόριο σε τρισδιάστατο στερεό σκελετό. (γ) Μεγαλομόρια σε δομή πλέγματος.

### 3.9.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες των πλαστικών.

Τα πλαστικά κυκλοφορούν σήμερα σε πολλά είδη, που παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία από φυσικές, μηχανικές και τεχνολογικές ιδιότητες.

Τα υλικά αυτά γενικά έχουν τη δυνατότητα μορφοποιήσεως (παράγρ. 3.9.5) σε έτοιμα ή μισοέτοιμα προϊόντα με μεγάλο ρυθμό παραγωγής, με καλή ακρίβεια στις διαστάσεις και με πολύ καλή τραχύτητα επιφάνειας.

Μπορούν να υποκαταστήσουν μέταλλα ή κράματα σε περιπτώσεις, όπου βασικά κριτήρια για την εκλογή του υλικού είναι: η ελαφρότητα της κατασκευής (το ειδικό βάρος των πλαστικών κυμαίνεται από 0,9 έως 2,3 g/cm<sup>3</sup>), η αντοχή στην οξείδωση ή τη διάβρωση, η αντοχή στη φθορά από την τριβή και η διπλεκτρική αντοχή (τα πλαστικά είναι πολύ καλά μονωτικά υλικά). Ακόμα, μερικά πλαστικά έχουν την κανότητα για απόσβεση κραδασμών και ήχου.

Περιορισμούς στη χρήση των πλαστικών θέτουν:

- Η συγκριτικά προς τα μεταλλικά εν γένει υλικά χαμηλή μηχανική αντοχή τους (το όριο θραύσεως των πλαστικών μπορεί να κατεβεί και μέχρι 2 kp/mm<sup>2</sup> περίπου).
- Η χαμηλή αντοχή τους σε θέρμανση.
- Το γεγονός ότι αυτά δεν διατηρούν σταθερές διαστάσεις.
- Συχνά το κόστος τους είναι ψηλό.
- Οι μηχανικές τους ιδιότητες μεταβάλλονται σημαντικά με το χρόνο, τη θερμοκρασία και την υγρασία.

Συγκρινόμενα προς τα μέταλλα και κράματα, τα πλαστικά είναι μαλακότερα εν γένει, είναι λιγότερο όλκιμα και ψαθυρά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Πολλά επίσης πλαστικά είναι εύφλεκτα.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε, ότι τα πλαστικά έχουν γενικά έναν ικανοποιητικό συνδυασμό από πολλές ιδιότητες μαζί και όχι πολύ καλές, αν θεωρήσομε την κάθε μία ξεχωριστά, ιδιότητες.

### **3.9.4 Ταξινόμηση των πλαστικών.**

Τα πλαστικά κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στα **θερμοπλαστικά** και στα **ντουροπλαστικά** (ή **θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά**).

Τα **θερμοπλαστικά** έχουν την ιδιότητα με θέρμανση να γίνονται μαλακά και εύπλαστα (να πλαστικοποιούνται), ενώ όταν ψυχθούν να γίνονται πάλι σκληρά. Η ιδιότητά τους αυτή να μαλακώνουν και να πλαστικοποιούνται με θέρμανση και να σκληρύνονται με ψύξη δεν έχει όρια. Μπορούν δηλαδή να μαλακώνουν και να σκληρύνονται απεριόριστα.

Έτοιμα προϊόντα από θερμοπλαστικά μπορούμε να πάρομε (παράγρ. 3.9.5) με χύτευση υπό πίεση, με χύτευση με έγχυση, με διέλαση κλπ.

Στο σχήμα 3.9β εικονίζονται τυπικά προϊόντα από θερμοπλαστικά μορφοποιημένα με χύτευση με έγχυση.

Τα **ντουροπλαστικά** θερμαινόμενα μορφοποιούνται με άσκηση πιέσεως ή χωρίς πίεση. Το τελικό προϊόν της μορφοποίησεως είναι **μόνιμα σκληρό**. Όταν θερμανθούν, δηλαδή, τα υλικά αυτά, **πλαστικοποιούνται** μέχρι μια καθορισμένη θερμοκρασία, οπότε μπορούν να αποκτήσουν την επιθυμητή μορφή και μέγεθος, ενώ με παραπέρα θέρμανση **σκληρύνονται**. Όταν όμως σκληρυνθούν, είναι αδύνατο πλέον μέ νέα θέρμανση νά γίνουν πάλι μαλακά και εύπλαστα. Τα ντουροπλαστικά μορφοποιούνται κυρίως υπό πίεση [παράγρ. 3.9.5(B)(2)] ή με απλή χύτευση [παράγρ. 3.9.5 (B)(1)].

Όπως υπάρχει, μεγάλη ποικιλία από μέταλλα και κράματα με διαφορετικές το καθένα φυσικές, μηχανικές και τεχνολογικές ιδιότητες, έτσι μπορεί κανένας να συναντήσει πολυάριθμα πλαστικά (με διαφορετικές ιδιότητες), των οποίων ο αριθμός όλο και μεγαλώνει με την έρευνα, που διεξάγεται για την ανάπτυξη νέων ειδών.

Έτσι, ως θερμοπλαστικά μπορούν να απαριθμήσουμε τα ακόλουθα:

- a) **Παράγωγα αιθυλενίου:** Πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, πολυστυρένιο, εστέρες πολυμεθακρυλικού οξέος, πολυβινυλωρίδιο (PVC), πολυανθρακικές ενώσεις κ.ά.
- β) **Παράγωγα κυτταρίνης:** Οξική κυτταρίνη, νιτρική κυτταρίνη, αιθυλική κυτταρίνη, πολυαμίδη (νάυλον), πολυουρεθάνη κλπ.
- γ) **Φθοριωμένους υδρογονάνθρακες (Φθοριοπλαστικά):** Πολυτετραφθοριοαιθυλένιο κ.ά.

Στα θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά ανήκουν:

- α) **Φαινοπλαστικά:** Φαινόλη-φορμαλδεΰδη, φαινόλη-φουρφουρόλη.
- β) **Αμινοπλαστικά:** Ουρία μελαμίνης.
- γ) **Ακόρεστες συνθετικές ύλες, πολυεστέρες, σιλικόνες.**
- δ) **Ανιλίνη.**



**Σχ. 3.9β.**

Ποικιλία προϊόντων από θερμοπλαστικά που έχουν μορφοποιηθεί με χύτευση με έγχυση [παράγρ. 3.9.5(B) (3)].

### **3.9.5 Μορφοποίηση των πλαστικών.**

#### **A. Γενικά.**

Μια βασική ιδιότητα των πλαστικών, που δικαιολογεί την ευρύτατη χρησιμοποίησή τους σε πολλούς τομείς της τεχνικής και στην καθημερινή ζωή, είναι η εύκολη και ικανοποιητική μορφοποίησή τους (παράγρ. 3.9.3).

Τα πλαστικά, όπως θα δούμε στα επόμενα, μορφοποιούνται τόσο με μεθόδους χωρίς αφαίρεση υλικού σε καλούπια με τη βοήθεια κατάλληλης πρέσσας, όσο και με κατεργασίες κοπής σε αυμβατικές εργαλειομηχανές. Οι μέθοδοι μορφοποιήσεως, τις οποίες εφαρμόζουμε στα πλαστικά για μηχανουργικά προϊόντα είναι κατά βάση οι ίδιες με εκείνες, που χρησιμοποιούμε για τη μορφοποίηση των πλαστικών

γενικά. Υπάρχουν, βέβαια ιδιομορφίες στην παραγωγή προϊόντων για μηχανουργικές εφαρμογές. Για το λόγο αυτό τα εργοστάσια κατασκευής των συναφών μηχανών μελετούν, αναπτύσσουν και κατασκευάζουν συνεχώς νέους τύπους από τις μηχανές αυτές με αντικειμενικό σκοπό τη μείωση του χρόνου μορφοποίησεως των κομματιών και βελτίωση της ποιότητάς τους.

Τα προϊόντα, που παράγονται από πλαστικά, είναι δυνατό να είναι:

α) **Έτοιμα**, σε ένα μόνο στάδιο μορφοποίησεως, **προϊόντα**, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε όπως έχουν, είτε μετά από περιορισμένη κατεργασία τους.

β) **Μισοέτοιμα προϊόντα** (φύλλα, πλακίδια, σωλήνες, και διάφορα κομμάτια, όπως οδοντοτροχοί, δακτυλίδια κ.ά. που έχουν όμως ανάγκη αποπερατώσεως), που χρειάζονται δηλαδή παραπέρα κατεργασία με κοπή ή **προμορφοποιημένα κομμάτια (μπλοκ)** για παραπέρα μορφοποίηση χωρίς αφαίρεση υλικού [παράγρ. 3.9.5(B)(2), (3)].

γ) **Ινώδη προϊόντα** για την υφαντουργία.

## B. Μέθοδοι μορφοποίησεως χωρίς αφαίρεση υλικού.

Στα επόμενα θα εξετάσουμε τις κυριότερες από τις μεθόδους αυτές, που βρίσκονται σε χρήση για τη μορφοποίηση των πλαστικών γενικά.

### 1. Απλή χύτευση.

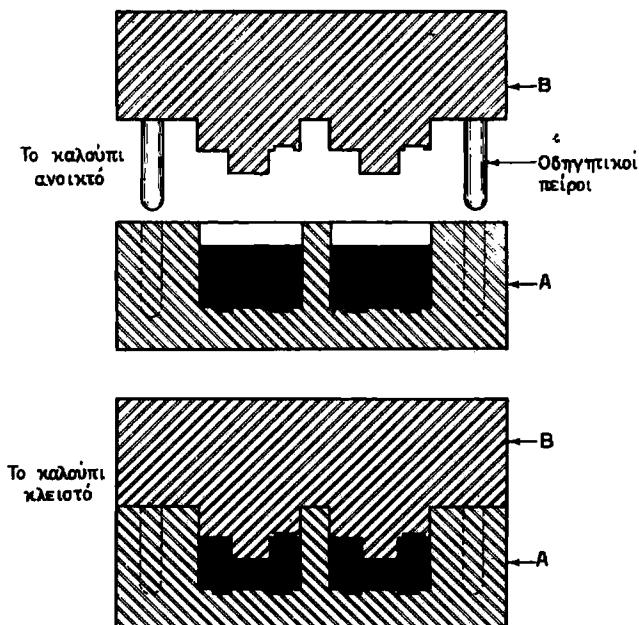
Είναι η πιο απλή μέθοδος για τη μορφοποίηση πλαστικών. Η χύτευση γίνεται σε λειωμένα Θερμοπλαστικά ή ντουροπλαστικά, συνήθως χωρίς εφαρμογή πιέσεως. Ενδείκνυται για την παραγωγή κομματιών σε μικρές παρτίδες. Για μεγάλες παρτίδες συμφέρει η χύτευση με έγχυση [παράγρ. 3.9.5(B)(3)] ή χύτευση υπό πίεση με σύγχρονη έγχυση [παράγρ. 3.9.5 (B)(4) για τα ντουροπλαστικά μόνο].

### 2. Μορφοποίηση υπό πίεση (σχ. 3.9γ).

Η μορφοποίηση του πλαστικού (Θερμοπλαστικού ή ντουροπλαστικού) γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου καλουπιού (μήτρας Α και επιβολέα Β). Έτσι, καθορισμένη ποσότητα πρώτης ύλης τοποθετείται στη θερμαινόμενη μήτρα, όπου παραμένει επί τόσο χρόνο, όσος απαιτείται για να γίνει εύπλαστη. Τότε ο επιβολέας κατεβαίνει και καθώς το καλούπι κλείνει, εφαρμόζεται πίεση στο πλαστικό, το οποίο πλαστικοποιημένο όπως είναι, αναγκάζεται να πάρει την εσωτερική μορφή της μήτρας. Η πρώτη ύλη μπορεί να είναι σε μορφή κόκκων ή να είναι προμορφοποιημένο κομμάτι (μπλοκ).

Η πίεση, που ασκείται κατά τη μέθοδο αυτή μεταβάλλεται από 7 μέχρι 550 ατμόσφαιρες ανάλογα με το μέγεθος και το είδος του πλαστικού. Οι πρέσσες που χρησιμοποιούνται είναι υδραυλικές από χειροκίνητες μέχρι πλήρως αυτοματοποιημένες. Οι πρέσσες αυτές έχουν και δυνατότητα θερμάνσεως του υλικού με τη βοήθεια ατμού, θερμού υγρού ή ηλεκτρικών αντιστάσεων. Η θερμοκρασία κυμαίνεται ανάμεσα σε 120°C και 205°C. Η θέρμανση για τα ντουροπλαστικά έχει ξεχωριστή σημασία, γιατί πρώτα χρησιμοποιείται για την πλαστικοποίηση της πρώτης ύλης και κατόπιν για τη σκλήρυνσή της.

Όταν εργαζόμαστε σε Θερμοπλαστικά προσέχομε, ώστε να βγάλομε το κομμάτι από τη μήτρα, όταν αυτή έχει εντελώς κρυώσει, γιατί αλλοιώς είναι ενδεχόμενο



**Σχ. 3.9γ.**  
Μορφοποίηση πλαστικών υπό πίεση.

να στρεβλωθεί το κομμάτι. Κομμάτια από ντουροπλαστικά μπορούν να εξαχθούν και προτού ακόμα κρυώσει το καλούπι.

### 3. Χύτευση υπό πίεση με σύγχρονη έγχυση (σχ. 3.9δ).

Είναι μία παραλλαγή της μορφοποίησεως υπό πίεση. Εφαρμόζεται μόνο στα ντουροπλαστικά. Η πρώτη ύλη σε σκόνη (ή σε προμορφοποιημένα κομμάτια) τοποθετείται σε ξεχωριστό προθάλαμο Α, όπου θερμαινόμενη λειώνει και κατόπιν με τη βοήθεια του εμβόλου Β εγχύνεται υπό πίεση στη μήτρα Γ. Εκεί το τίγμα συνέχιζει θερμαινόμενο μέχρι να σκληρανθεί.

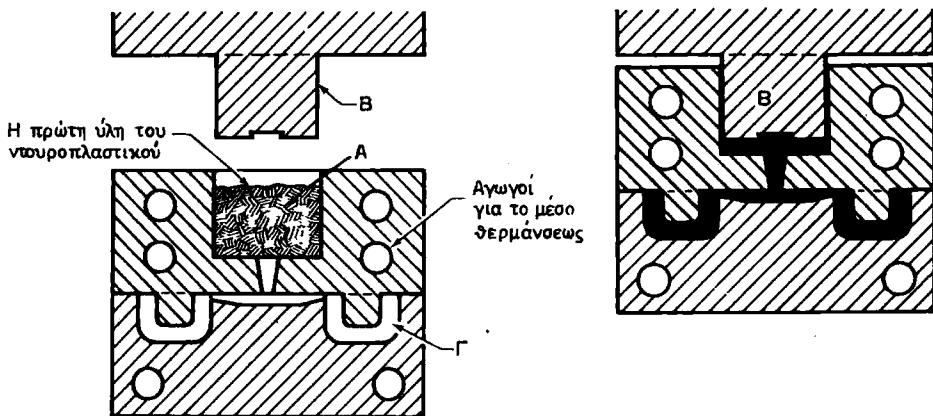
Η μέθοδος αυτή έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περίπλοκα κομμάτια με μεταβαλλόμενες διατομές, ενώ έχει το μειονέκτημα της απώλειας υλικού στον αγωγό έγχυσεως και στον προθάλαμο [σχ. 3.9(δ)]'. ακόμα το κόστος του καλουπιού είναι ψηλότερο σε σύγκριση με το καλούπι της απλής μορφοποίησεως υπό πίεση.

### 4. Χύτευση με έγχυση (σχ. 3.9ε).

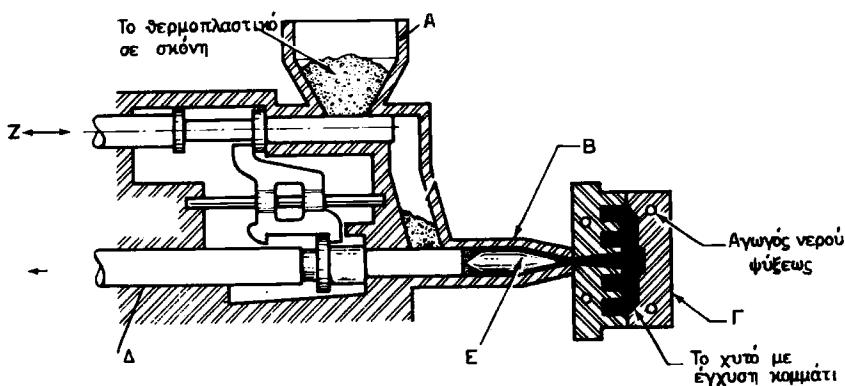
Είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για τη μορφοποίηση των θερμοπλαστικών. Μοιάζει με τη χύτευση μεταλλικών υλικών σε μήτρα (ή υπό πίεση, Μ.Ε., παράγρ. 22.3).

Το θερμοπλαστικό, συνήθως σε μορφή σκόνης, κατάλληλα θερμαινόμενο λειώνει και κατόπιν εγχύνεται υπό πίεση στη μήτρα, όπου στερεοποιείται και σκληρύνεται. Η μήτρα έχει δυνατότητα ψύξεως με νερό, που κυκλοφορεί σ' αυτή.

Η όλη διαδικασία της χυτεύσεως ενός θερμοπλαστικού με έγχυση και ένα απλό



**Σχ. 3.9δ.**  
Χύτευση ντουροπλαστικών υπό πίεση με σύγχρονη έγχυση.



**Σχ. 3.9ε.**  
Οι φάσεις της χυτεύσεως θερμοπλαστικών με έγχυση.

σκίτσο συγκροτήσεως της συναφούς μηχανής εικονίζονται στο σχήμα 3.9ε.

Με το θερμοπλαστικό σε σκόνη και στην καθορισμένη για κάθε κύκλο της μηχανής χυτεύσεως με έγχυση [οι σύγχρονες μηχανές για αυτή την εργασία (σχ. 3.9στ) είναι πλήρως αυτοματοποιημένες] ποσότητα τροφοδοτείται από τον τροφοδότη Α ο θάλαμος θερμάνσεως Β. Στο θάλαμο Β το υλικό λειώνει και εγχύνεται υπό πίεση στο κλειστό καλούπι Γ. Εκεί το υλικό σκληρύνεται αποψυχόμενο, με τη βοήθεια νερού που κυκλοφορεί στο καλούπι. Μετά την έγχυση το έμβολο Δ επαναφέρεται στην αρχική του θέση, το καλούπι ανοίγει και το έτοιμο πλέον κομμάτι απορρίπτεται.

Η κατασκευαστική διαμόρφωση του θαλάμου θερμάνσεως Β με τον οδηγητικό πυρήνα Ε είναι τέτοια ώστε το εισερχόμενο υλικό να έχει μικρό πάχος και να μπορεί να θερμαίνεται γρήγορα και ομοιόμορφα.

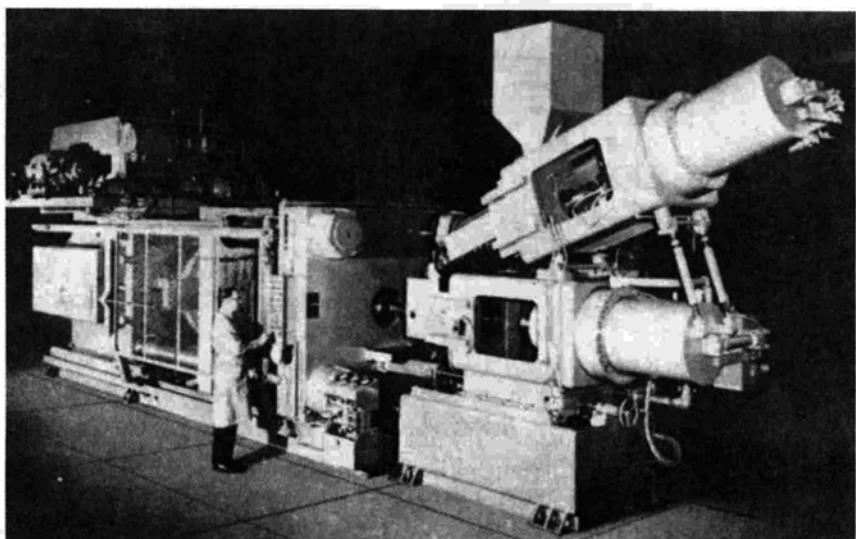
Η θερμοκρασία του θαλάμου θερμάνσεως κυμαίνεται από 120°C μέχρι 260°C εξαρτώμενη από το είδος του πλαστικού και το μέγεθος του κομματιού. Η πίεση εγχύσεως μπορεί να φθάσει και τις 2000 ατμόσφαιρες.

Η χύτευση με έγχυση είναι πολύ ταχύτερη από τη μορφοποίηση υπό πίεση [παράγρ. 3.9.5(B)(2)]. Με διατήρηση του καλουπιού σε 75°C μέχρι 95°C είναι δυνατό να επιτύχουμε 2 έως 6 κύκλους της μηχανής χυτεύσεως με έγχυση σε κάθε πρώτο λεπτό.

Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η ικανοποιητική παραγωγή πολυπλόκων κομματιών, όπως και κομματιών με λεπτά τοιχώματα (σχ. 3.9β). Οι απώλειες υλικού θεωρούνται αμελητέες, γιατί το άχρηστο υλικό, καθότι θερμοπλαστικό, μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί.

Οι μηχανές χυτεύσεως πλαστικών με έγχυση λειτουργούν υδραυλικώς και προδιαγράφονται από το ονομαστικό φορτίο εγχύσεως σε τόννους και από το βάρος, σε kp ή g, του πλαστικού, που εγχύνεται σε κάθε κύκλο. Το ονομαστικό φορτίο εγχύσεως κυμαίνεται από 50 έως 2500 τόννους και το βάρος του υλικού ανά κύκλο ποικίλλει από 20g περίπου μέχρι 9kp. Μια τέτοια μηχανή από τις πιο σύγχρονες και τις πιο μεγάλες βλέπουμε στο σχήμα 3.9στ.

Η χύτευση με έγχυση μπορεί να γίνει και με τη διαδικασία, που εικονίζεται στο σχήμα 3.9ζ, όπου τη θέση του εμβόλου Z (σχ. 3.9ε) την παίρνει ο κοχλίας A.



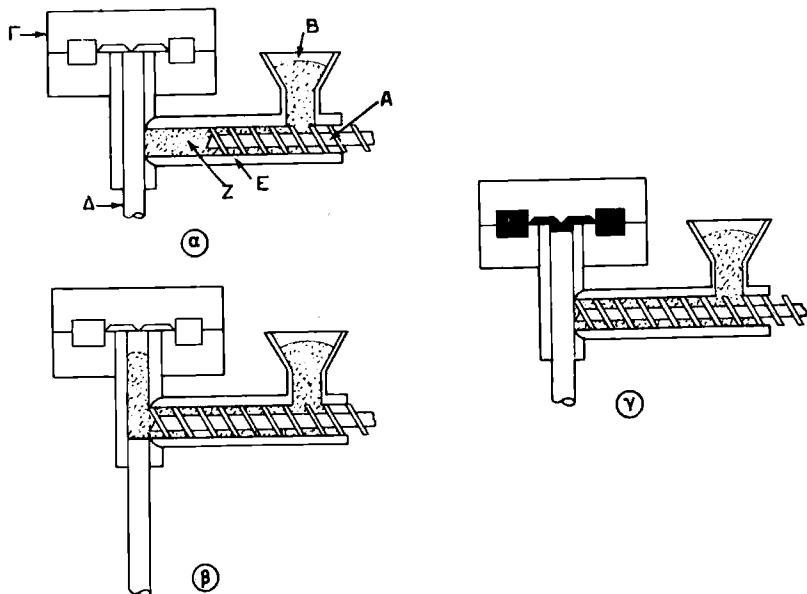
**Σχ. 3.9στ.**

Σύγχρονη μηχανή χυτεύσεως με έγχυση μεγάλου μεγέθους. Έχει ονομαστικό φορτίο 2500 τόννων και δυνατότητα μορφοποίησεως 9 kp ανά κύκλο.

## 5. Μορφοποίηση με έμφυση.

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή κουτιών με λεπτά τοιχώματα και κοίλων εν γένει κομματιών από θερμοπλαστικά.

Το προς μορφοποίηση πλαστικό συνήθως σε μορφή σωλήνα και σε κατάσταση πλαστικοποίησεως τοποθετείται ανάμεσα στα δύο μέρη του καλουπιού. Κατόπιν το καλούπι κλείνει και διοχετεύεται πεπιεσμένος αέρας στο εσωτερικό του σωλήνα. Το πλαστικό τότε αναγκάζεται να πάρει την εσωτερική μορφή του καλουπιού.



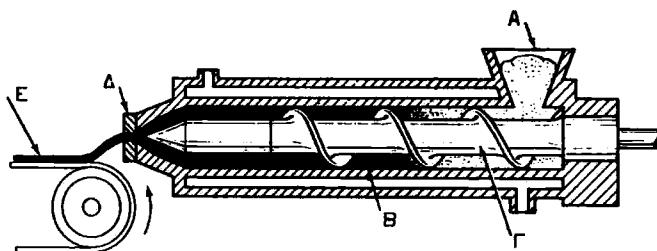
Σχ. 3.9ζ

Σχηματικό διάγραμμα άλλης διαδικασίας μορφοποίησεως θερμοπλαστικών. με έγχυση: Α κοχλίας, Β τροφοδότης θερμοπλαστικής πρώτης ύλης, Γ καλούπι, Δ έμβολο κινούμενο υδραυλικά, Ε θάλαμος θερμάνσεως, Ζ γέμισμα από πλαστικό.

## 6. Μορφοποίηση με διώθηση.

Είναι δυνατό με τη μέθοδο αυτή από θερμοπλαστικά (παράγωγα κυππαρίνης, πολυστυρένιο, πολυαιθυλένιο κ.ά.) να παραχθούν προϊόντα με μεγάλο μήκος και σταθερή διατομή σε απλό σχήμα, το οποίο παίρνουν από τη μήτρα διωθήσεως (ράβδοι σε διατομές με διάφορα σχήματα, σωλήνες κλπ).

Ένα σχηματικό διάγραμμα της μορφοποίησεως πλαστικών με διώθηση βλέπομε στο σχήμα 3.9η. Το θερμοπλαστικό σε μορφή σκόνης ή κόκκων πέφτει από τον τροφοδότη Α στο θερμαινόμενο θάλαμο Β, όπου με τη βοήθεια του κοχλία Γ προωθείται προς αριστερά, όπου πλαστικοποιείται. Το πλαστικοποιημένο τώρα υλικό πιεζόμενο από τον κοχλία αναγκάζεται να περάσει από το άνοιγμα της μήτρας Δ. Καθώς το υλικό, μορφοποιημένο πλέον, βγαίνει από τη μήτρα, αποψύχεται με νερό ή αέρα και σκληρύνεται προοδευτικά καθώς ακουμπά επάνω στη μεταφορική ταινία Ε.



**Σχ. 3.9η.**  
Μορφοποίηση θερμοπλαστικών με διώθηση.

### 3.9.6 Εφαρμογές των πλαστικών.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε τυπικές βιομηχανικές εφαρμογές των πλαστικών, όπου έτοιμα ή μισοέτοιμα προϊόντα από πλαστικά [παράγρ. 3.9.5(A)] υποκαθιστούν μηχανουργικά μεταλλικά προϊόντα, που παράγονται με τις γνωστές κατεργασίες και μεθόδους μορφοποιήσεως ή άλλα μη μεταλλικά προϊόντα (π.χ. μονωτικά για ηλεκτρικές εφαρμογές, υλικά αντοχής στη διάβρωση ή σε επιδράσεις χημικών ουσιών κ.ά.).

#### A. Θερμοπλαστικά.

**1. Πολυαμίδες (νάνιλον).** Είναι το κυριότερο πλαστικό, που χρησιμοποείται στην κατασκευή στοιχείων μηχανών. Μορφοποιείται κατά βάση με χύτευση, με έγχυση και με διώθηση. Κατασκευάζονται από αυτό έδρανα οιλισθήσεως, οδοντοτροχοί, ατέρμονες κοχλίες, κοχλίες, περικόχλια, ιμάντες, διάφορα περιβλήματα μηχανισμών, πτερωτές ανεμιστήρων, έλικες κ.ά. επίσης σωλήνες, εξαρτήματα κουζίνας, όπως και εξαρτήματα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών κλπ.

**2. Στερεές πολυουρεθάνες.** Βρίσκουν παρόμοιες με τις πολυαμίδες εφαρμογές. Στη βιομηχανία αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται στην κατασκευή καθισμάτων, καλυμμάτων χώρων αποσκευών κ.ά.

**3. Πολυυμίδη.** Έχει εξαιρετική αντοχή σε θέρμανση (μέχρι  $400^{\circ}\text{C}$ ), χαμηλό συντελεστή τριβής και καλές ιδιότητες ηλεκτρικής μονώσεως. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή έδρανων οιλισθήσεως, εδρών βαλβίδων, σωλήνων και διαφόρων ηλεκτρικών εξαρτημάτων.

**4. Πολυπροπυλένιο.** Μορφοποιείται με όλες τις μεθόδους μορφοποιήσεως για θερμοπλαστικά. Έχει εξαίρετες ιδιότητες για ηλεκτρική μόνωση, καλή δυσθραυστότητα και μηχανική αντοχή και αντοχή στη θέρμανση και σε προσβολές από χημικές ουσίες. Χρησιμοποιείται για είδη εργαστηρίου και νοσοκομείου, για ταιγνίδια, κιβώτια ηλεκτρικών συσκευών, έπιπλα, ηλεκτρικές μονώσεις, οικιακά σκεύη, κομμάτια μηχανών οικιακής χρήσεως κ.ά.

**5. Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).** Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στα διάφορα διαλυτικά και μορφοποιείται εύκολα με εμφύσηση και με χύτευση με έγχυση. Εφαρμόζεται στην κατασκευή σωλήνων, πλακών από λεπτά φύλλα, στη διακοσμητική, στη δομική, στη βιομηχανία αυτοκινήτων κλπ.

**6. Ακετοβουτυρική κυτταρίνη.** Χαρακτηρίζεται για τη χαμηλή της απορροφητική ικανότητα υγρασίας, για την καλή της δυσθραυστότητα και διαστατική ευστάθεια. Τυπικά προϊόντα της είναι: τροχοί οδηγήσεως αυτοκινήτων, ιμάντες, δίσκοι, κουμπιά διαφόρων οργάνων, σωλήνες για νερό και αέρια κλπ.

**7. Πολυαστυρένιο.** Ενδείκνυται για μορφοποίηση με διώθηση και για χύτευση με έγχυση. Παρουσιάζει αντοχή στο νερό και σε ορισμένες χημικές ουσίες. Έχει καλή ηλεκτρική ικανότητα και ευστάθεια διαστάσεων. Είναι εξαίρετο υποκατάστατο του ελαστικού στις ηλεκτρικές μονώσεις. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή κιβωτίων συσσωρευτών, εξαρτημάτων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, προτύπων (μοδέλλων) χυτηρίου, δοχείων συσκευασίας, οικιακών σκευών κ.ά.

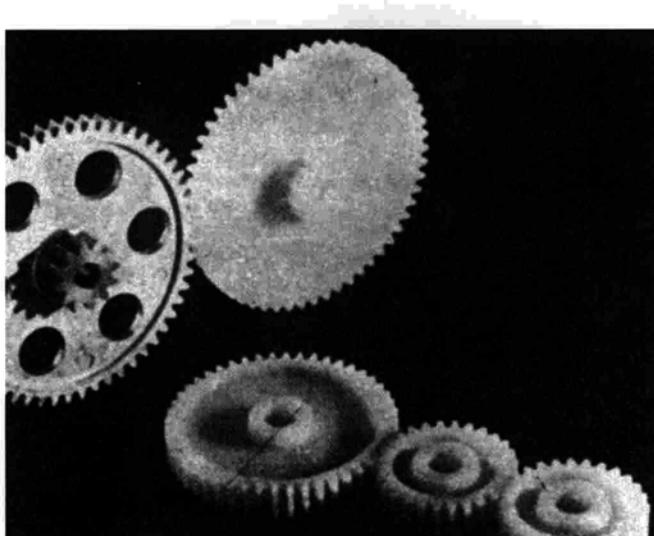
## B. Ντουροπλαστικά.

**1. Φαινοπλαστικά.** Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πλακών από λεπτά φύλλα, λειαντικών τροχών και για επικαλύψεις: επίσης για κουμπιά οργάνων, πλάκες ενδεικτικών οργάνων και εξαρτήματα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών.

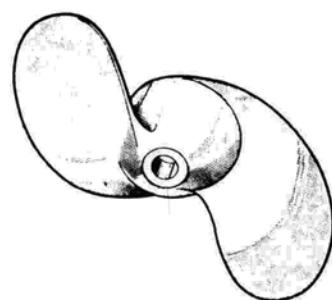
**2. Αμνοπλαστικά.** Διαμορφώνονται με χύτευση υπό πίεση και σύγχρονη έγχυση σε επιτραπέζια σκεύη, κουμπιά οργάνων, εξαρτήματα ηλεκτρικών διακοπτών κλπ. Χρησιμοποιούνται επίσης και στην κατασκευή πλακών από λεπτά φύλλα ξύλου ή χαρτιού.

**3. Εποξικές ρητίνες.** Μαζί με υαλοβάμβακα εφαρμόζονται στην κατασκευή πλακών για τυπωμένα κυκλώματα, δοχεία, μήτρες, ιδιοσυσκευές συγκρατήσεως κομματιών σε εργαλειομηχανές. Εξ αιτίας της αντοχής τους σε φθορά και σε κρούσεις, χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μητρών για διαμορφώσεις ελασμάτων.

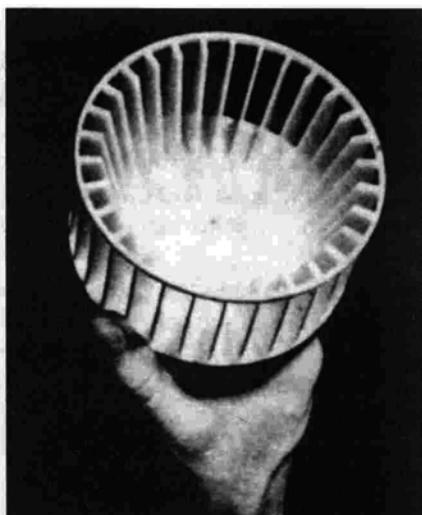
Στο σχήμα 3.9θ φαίνονται τυπικές εφαρμογές πλαστικών σε μηχανολογικές κατασκευές.



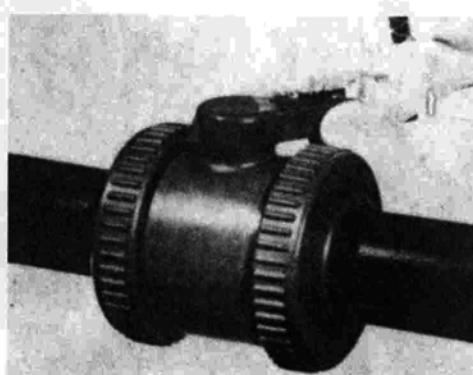
(a)



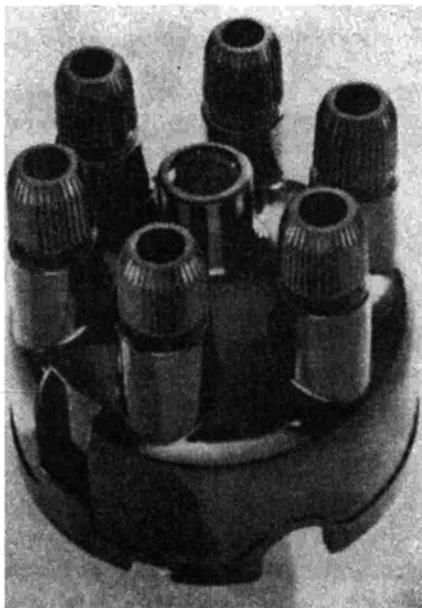
(β)



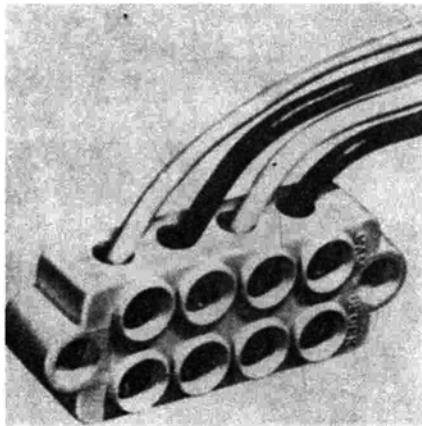
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

**Σχ. 3.98.**

Αντιπροσωπευτικές έφαρμογές των πλαστικών σε μηχανολογικές κατασκευές: (α) Οδοντοτροχοί από πολυαμίδη (νάυλον). (β) Έλικα έξωλέμβιας μηχανής από πολυαμίδη. (γ) Φτερωτή μικρού φυσητήρα από ακετάλη χυτευμένη με έγχυση. (δ) Βαλβίδα χυτευμένη με έγχυση. (ε) Κάλυμμα διανομέα βενζινοκινητήρα αυτοκινήτων χυτευμένο από φαινοπλαστικά. (στ) Κουτί ηλεκτρικών ακροδεκτών από πολυανθρακικές ενώσεις.

### 3.9.7 Ερωτήσεις.

1. Τι σημαίνουν οι ακόλουθοι όροι: **Πολυμερισμός, πολυσυμπύκνωση, θερμοπλαστικό, ντουροπλαστικό;**
  2. Πόσων ειδών μεγαλομόρια έχομε; Να παραστήσετε σχηματικά τη δομή του κάθε ειδούς.
  3. Ποια είναι τα κύρια πλεονεκτήματα και ποια τα βασικά μειονεκτήματα των πλαστικών ως μηχανουργικών υλικών;
  4. Να αναφέρετε δύο θερμοπλαστικά και δύο ντουροπλαστικά.
  5. Να περιγράψετε, δίνοντας και την απαραίτητη σχηματική παράσταση, τη μορφοποίηση πλαστικών υπό πίεση.
  6. Να κάνετε το ίδιο, όπως και στο (5), για τη χύτευση θερμοπλαστικών με έγχυση.
  7. Ομοίως, όπως στο (5) και για τη μορφοποίηση με διώθηση.
  8. Ποια πλαστικά είναι κατάλληλα για την κατασκευή: εδράνων ολισθήσεως, οδοντοτροχών, ιμάντων, πτερωτών ανεμιστήρων, ελίκων, εδρών βαλβίδων, σωλήνων, κιβωτίων συσσωρευτών, προτύπων (μοδέλλων) χυτηρίου, εξαρτημάτων ηλεκτρονικών συσκευών και μητρών;
-

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΈΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΚΟΠΗΣ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

#### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΚΟΠΗΣ

##### 4.1 Πώς κατατάσσονται οι κατεργασίες κοπής.

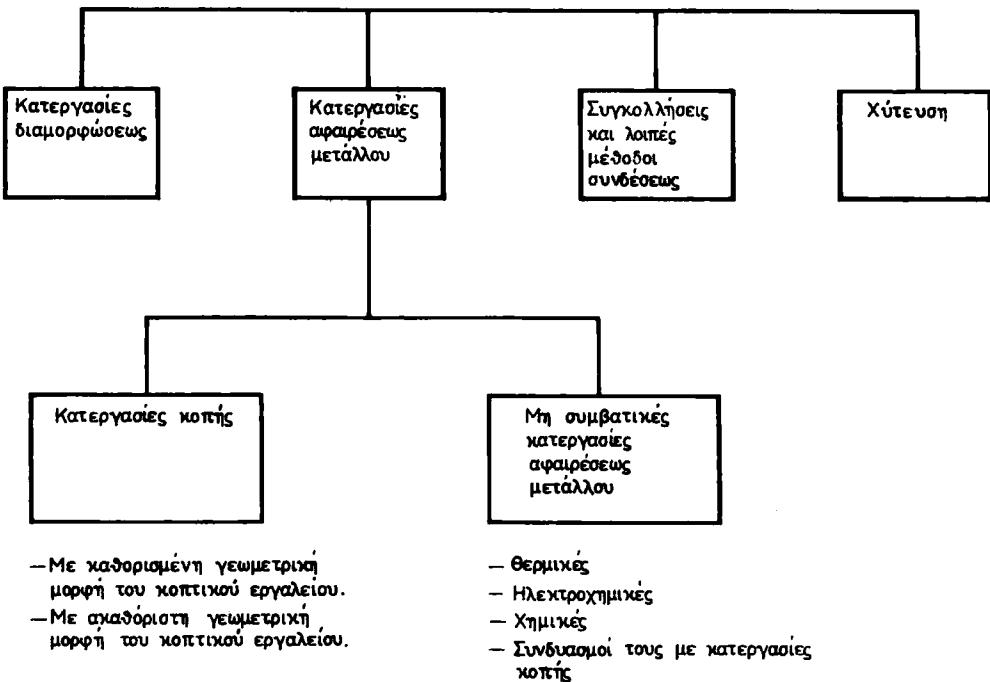
Όπως γνωρίζομε (Μ.Ε., παράγρ. 2.1, σχ. 2.1α), τα ποικίλα βιομηχανικώς χρήσιμα μεταλλικά προϊόντα παράγονται με κάποια (ή και με συνδυασμό) από τις ακόλουθες κατεργασίες και μεθόδους μορφοποιήσεως:

- α) Τις κατεργασίες διαμορφώσεως.
- β) Τις κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου.
- γ) Τις συγκολλήσεις μαζί με τις λοιπές μεθόδους συνδέσεως μεταλλικών κομματιών, όπως είναι οι κοχλιοσυνδέσεις, οι ηλώσεις κ.α. και
- δ) τη χύτευση.

Με τη χύτευση, τις συγκολλήσεις και τις μεθόδους συνδέσεως μεταλλικών κομματιών ασχοληθήκαμε στο Μ.Ε. (κεφάλ. 20, 21 και 22). Επίσης για τις κατεργασίες διαμορφώσεως και για τις κατεργασίες κοπής (υπάγονται στη γενικότερη κατηγορία των κατεργασιών αφαιρέσεως μετάλλου, σχ. 4.1), όπως όμως αυτές εκτελούνται με εργαλεία και με μέσα του χεριού, μιλήσαμε διεξοδικά στο Μ.Ε. Στη συνέχεια του βιβλίου αυτού, μετά από μια εισαγωγή στις γενικές αρχές της κοπής των μετάλλων και της δομής των εργαλειομηχανών κοπής, θα συνεχίσουμε με την εξεταση βασικών κατεργασιών κοπής και των συναφών εργαλειομηχανών. Συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με το τρυπάνισμα και τα δράπανα και με το πλάνισμα και τις πλάνες.

Με τις κατεργασίες διαμορφώσεως (Μ.Ε., εισαγωγή τέταρτου μέρους) μορφοποιούμε μεταλλικά κομμάτια με τη βοήθεια καταλλήλων προς τούτο εργαλείων χωρίς πρακτικά να αφαιρούμε υλικό, ενώ με τις κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου η μορφοποίηση πραγματοποιείται με αφαίρεση υλικού.

Οι κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν οι **κατεργασίες κοπής** και στη δεύτερη υπάγονται οι λεγόμενες **μη συμβατικές κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου**. Με τις κατεργασίες κοπής δύνομε την επιθυμητή μορφή σε ένα μεταλλικό κομμάτι αφαιρώντας το υλικό που πλεονάζει μηχανικά με τη βοήθεια του **κοπτικού εργαλείου** (ή απλώς εργαλείου) (και της εργαλειομηχανής) σε μορφή αποβλίτων (γρεζιών). Το κοπτικό εργαλείο είναι δυ-



Σχ. 4.1.

Κατεργασίες και μέθοδοι μορφοποίησεως μεταλλικών προϊόντων.

νατό να έχει **γεωμετρικώς καθορισμένη μορφή**, όπως είναι το εργαλείο τορνεύσεως [σχ. 4.3α(β)], η φραίζα [σχ. 4.3στ(α),(γ)], το τρυπάνι [σχ. 4.3β(β)] κ.ά. ή **γεωμετρικώς ακαθόριστη μορφή**, πράγμα που συμβαίνει π.χ. στο λειαντικό τραχό [παράγρ. 4.3(ΣΤ), σχ. 4.3ζ]. Επίσης το εργαλείο μπορεί να έχει μία μόνο κύρια κόψη (εργαλείο τορνεύσεως) ή και περισσότερες (τρυπάνι, φραίζα). Στις μη συμβατικές μεθόδους αφαιρέσεως μετάλλου, η μορφοποίηση του κομματιού πραγματοποιείται με αφαίρεση υλικού σε τελική μορφή **τεμαχιδίων** με μη μηχανικές όμως μεθόδους (δηλαδή με θερμικές, ηλεκτροχημικές, χημικές ή συνδυασμούς τους με κατεργασίες κοπής).

Γενικά οι κατεργασίες κοπής συγκρινόμενες με τις κατεργασίες διαμορφώσεως και με τις άλλες μεθόδους μορφοποίησεως μεταλλικών προϊόντων μας δίνουν τη μεγαλύτερη διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής, όπως και την καλύτερη τραχύτητα επιφάνειας, με αυξημένο όμως παραγωγικό κόστος.

Στήν πράξη εφαρμόζομε μεγάλη ποικιλία από κατεργασίες κοπής (όπως βέβαια και από συναφείς εργαλειομηχανές).

Στον Πίνακα 4.1.1 παραθέτομε ομαδοποιημένες τις κυριότερες από τις κατεργασίες κοπής και τις δυνατότητές τους να παράγουν διάφορα είδη στοιχειωδών τεχνικών επιφανειών (επιπέδων, κυλινδρικών, ειδικής μορφής κλπ.). Επί πλέον, στην παράγραφο 4.3 θα μιλήσομε συνοπτικά για τις βασικές κατεργασίες κοπής (τόρνευση, τρυπάνισμα, πλάνισμα, φραιζάρισμα και λείανση).

**Οι πυροτεχνικές κατεργασίες κωνής και σε δύναμης τους στη μοφοποίηση τεχνικών επιφάνειαν**

Είδος κατεργασμένης επιφάνειας	Επίπεδες επιφάνειες	Κυλινδρικές επιφάνειες	Επιφάνειες με ειδική μορφή	Σπειροειδείς επιφάνειες (σπειρώματα), επιφάνειες κυλίσεως (οδοντώσεις)
Βασική κατεργασία κοπής	Μετωπική τόρνευση	Διαμήκτης τόρνευση (εξωτερική ή εσωτερική)	Τόρνευση μορφής, τόρνευση αντιγραφής	Τόρνευση σπειρωμάτων
1. Τόρνευση (σχ. 4.3)	—	Άνοιγμα ή διεργανση τρύπας.	Τρυπανίσμα, γλύφανση, εμβύθιση μορφής	—
2. Τρυπανίσμα (διάτροψη) [σχ. 4.3β(α) (1)] και συναφείς κατεργασίες:	α) Γλύφανση [σχ. 4.3β(α) (2)]	Επίπεδη εμβύθιση	Γλύφανση	—
	β) Εμβύθιση [σχ. 4.3β(α) (3)]	—	—	—
	γ) Εσωτερική σπειροτόμηση [σχ. 4.3β(α) (4)]	—	—	Κοπή εσωτερικών σπειρωμάτων με κατάλληλο σπειροτόμο
3. Φραγίζρισμα (σχ. 4.3στ)	Φραγίζρισμα επιπέδων επιφανειών: περιφερικό (αντίρροπο ή ομόρροπο), μετωπικό	—	Φραγίζρισμα μορφής (κοπή οδοντώσεων), φραγίζρισμα αντιγραφής	Φραγίζρισμα σπειρωμάτων
4. Πλάνισμα (σε ταχυπλόνη ή σε τραπεζοπλάνη) (σχ. 4.3γ, 4.36)	Πλάνισμα επιπέδων επιφανειών	—	Πλάνισμα μορφής, πλάνισμα αντιγραφής	Κοπή οδοντώσεων
5. Λείαση (σχ. 4.3η) και συναφείς κατεργασίες:	Λείασηση, χόνιγκ και λάπτηκ επιπέδων επιφανειών	Λείασηση, χόνιγκ και λάπτηκ κυλινδρικών επιφανειών (εξωτερικών ή εσωτερικών)	Λείασηση αντιγραφής	Λείαση σπειρωμάτων και οδοντώσεων
Καρφοπιστήν γεωμετρική λορρόφυ του κομμτικού επιδαγκύλου		α) χόνιγκ [honing, σχ. 4.3θ(α)] β) λάπτηκ [lapping, σχ. 4.3θ(β)]		— — Λάπτηκ οδοντώσεων

Οι μη συμβατικές κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια (και συνεχώς τελειοποιούνται), για να καλύψουν τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις σε κατεργασία σκληρών μεταλλικών υλικών, όπως και κομματιών με πολύ περίπλοκες μορφές. Και τούτο, γιατί οι γνωστές μας κατεργασίες κοπής ή αδυνατούν εντελώς να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις ή ανταποκρινόμενες επιβάλλουν ψηλό κόστος κατεργασίας.

Η οικογένεια αυτή των νέων κατεργασιών περιλαμβάνει:

- Την αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα (παράγρ. 4.4.1, σχ. 4.3ι).
- Την ηλεκτροχημική αφαίρεση μετάλλου (παράγρ. 4.4.2, σχ. 4.3ια).
- Την ηλεκτρολυτική λείανση.
- Την αφαίρεση μετάλλου με υπερήχους, με Laser, με Plasma, με δέσμη ηλεκτρονίων κ.ά.

## 4.2 Γενικά για την κινηματική των κατεργασιών κοπής. Συνθήκες κατεργασίας ή κοπής.

Η κάθε μία από τις βασικές κατεργασίες κοπής (Πίνακας 4.1.1, παράγρ. 4.3) πραγματοποιείται σε ειδικά γι' αυτή μελετημένη και σχεδιασμένη **εργαλειομηχανή** (παράγρ. 4.3, 4.4, 4.5). Μία εργαλειομηχανή κοπής εκτελεί τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες:

α) Παρέχει την αναγκαία για την κατεργασία ισχύ, συνήθως με τη βοήθεια ενός κατάλληλου ηλεκτροκινητήρα (ή και περισσοτέρων).

β) Διαθέτει μέσα για τη στρεπή και ασφαλή συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου κομματιού και εξασφαλίζει τη σωστή αρχική σχετική μεταξύ τους θέση και

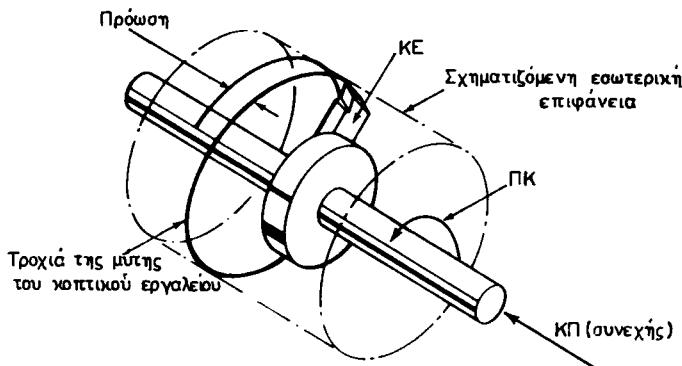
γ) εκτελεί και ελέγχει τις απαραίτητες για την κατεργασία **βασικές κινήσεις**, ανάλογα με την **κινηματική \*** της κάθε κατεργασίας και διατηρείται έτσι η ορθή σχετική θέση του εργαλείου και του κομματιού καθ' όλη τη διάρκεια της κατεργασίας. Η κοπή λαμβάνει χώρα και διατηρείται όταν το κομμάτι κινείται σε σχέση με το εργαλείο που βρίσκεται σε τέτοια θέση, ώστε να διεισδύει στο κομμάτι.

Δύο είναι οι θεμελιώδεις κινήσεις στις κατεργασίες κοπής, τις οποίες θα πρέπει να μας δίνει με ανάλογη κατά περίπτωση ακρίβεια η εργαλειομηχανή κοπής: η **πρωτεύουσα κίνηση** (Π.Κ.) και η **κίνηση προώσεως** (Κ.Π.) (σχ. 4.2α).

**Πρωτεύουσα κίνηση** είναι η κύρια κίνηση, που παρέχεται από την εργαλειομηχανή, με σκοπό τη δημιουργία σχετικής κινήσεως ανάμεσα στο κοπτικό εργαλείο και στο κομμάτι έτσι, ώστε η κόψη του εργαλείου να προσεγγίζει το υλικό του κομματιού. Συνήθως η πρωτεύουσα κίνηση απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος, που απαιτείται για την κατεργασία.

**Η κίνηση προώσεως** είναι μία κίνηση, που μπορεί να δοθεί από την εργαλειομηχανή είτε στο κοπτικό εργαλείο είτε στο κατεργαζόμενο κομμάτι. Η κίνηση αυτή συνδυαζόμενη με την πρωτεύουσα κίνηση έχει ως αποτέλεσμα συνεχή ή διακοπόμενη (διαλείπουσα) αφαίρεση **αποβλήτου**, άρα και τη **γένεση** της κατεργασμένης επιφάνειας του κομματιού με τα επιθυμητά γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η κίνηση προώσεως είναι δυνάτο να λαμβάνει χώρα συνεχώς (όπως π.χ. στην τόρνευ-

\* Όταν λέμε **κινηματική** μίας κατεργασίας εννοούμε την παράσταση των κινήσεων, που πρέπει να κάνουν το κοπτικό εργαλείο και το κομμάτι, για να σχηματισθεί η επιφάνεια, την οποία επιδιώκεμε με την κατεργασία. Η κινηματική της τορνεύσεως επί παραδείγματι εικονίζεται στο σχήμα 4.3α(α).



Σχ. 4.2α.

Γένεση της κατεργασμένης επιφάνειας (εσωτερικής κυλινδρικής επιφάνειας) με συνδυασμό της πρωτεύουσας κινήσεως και της κινήσεως προώσεως κατά την εσωτερική τόρνευση: (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, KE κοπτικό εργαλείο).

ση ή στο τρυπάνισμα) ή κατά βήματα, όπως στο πλάνισμα. Γί' αυτήν ξοδεύεται ένα μικρό ποσοστό από τη συνολική ισχύ, που χρειάζεται η κατεργασία.

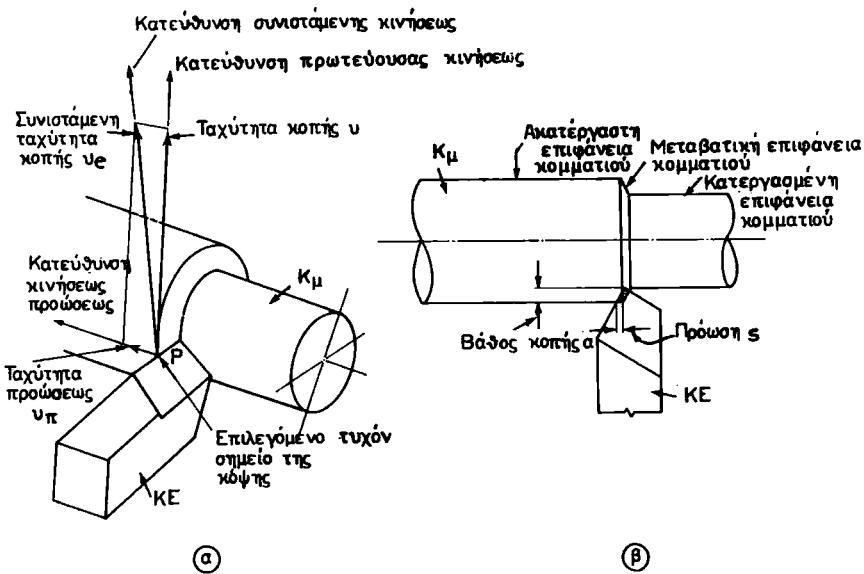
Στις διάφορες κατεργασίες κοπής, οι δύο αυτές βασικές κινήσεις εναλλάσσονται ανάμεσα στο κοπτικό εργαλείο και στο κομμάτι. Άλλοτε δηλαδή στο εργαλείο δίνεται η πρωτεύουσα κίνηση και η κίνηση προώσεως στο κομμάτι και άλλοτε γίνεται το αντίθετο. Αυτό θα το δούμε στην παράγραφο 4.3, όπου θα δώσομε την κινηματική των κυριοτέρων κατεργασιών κοπής.

Με βάση αυτές τις δύο κινήσεις, δηλαδή την πρωτεύουσα κίνηση και την κίνηση προώσεως, μπορούμε τώρα να ορίσουμε δύο θεμελιώδεις παράγοντες της κοπής: την **ταχύτητα κοπής** και την **ταχύτητα προώσεως** (ή την **πρόωση**) (σχ. 4.2β).

**Ταχύτητα κοπής** υπονομάζομε τη στιγμιαία ταχύτητα της πρωτεύουσας κινήσεως κάποιου σημείου P της κόψης του εργαλείου, που επιλέγομε, ως προς το κατεργαζόμενο κομμάτι. Τη μετρούμε συνήθως σε μέτρα ανά πρώτο λεπτό [m/min] για την τόρνευση, τρυπάνισμα, πλάνισμα και φραιζάρισμα και σε μέτρα ανά δεύτερο λεπτό [m/s] για τη λείανση.

**Ταχύτητα προώσεως**  $v_p$  είναι η στιγμιαία ταχύτητα της συνεχούς κινήσεως προώσεως ενός σημείου P της κόψης του εργαλείου ως προς το κομμάτι. Την εκφράζομε σε χιλιοστόμετρα ανά πρώτο λεπτό [mm/min]. Στη διακοπτόμενη κίνηση προώσεως δεν έχει νόημα η ταχύτητα προώσεως.

Η πρόωση σ ορίζεται ως η μετατόπιση του εργαλείου (ή του κομματιού) σχετικά προς το κομμάτι (ή το εργαλείο) στην κατεύθυνση της κινήσεως προώσεως σε μία περιστροφή ή μία ενεργό διαδρομή του κομματιού ή του εργαλείου. Στη διαμήκη τόρνευση [σχ. 4.2β(β)] π.χ. η πρόωση εκφράζεται ως η μετατόπιση του εργαλείου σε χιλιοστόμετρα κατά μήκος του άξονα του κομματιού (κατεύθυνση προώσεως) σε μία περιστροφή του κομματιού, δηλαδή σε mm/στρ., ενώ στο πλάνισμα σε ταχυπλάνη (σχ. 4.3γ), η πρόωση ορίζεται ως η μετακίνηση του κομματιού, σε χιλιοστόμετρα, κάθετα προς την παλινδρομική κίνηση του εργαλείου (πρωτεύουσα κίνηση) σε μία ενεργό διαδρομή του κομματιού (της τράπεζας της πλάνης), δηλαδή σε mm/ενεργό διαδρομή.



Σχ. 4.28.

Πρωτεύουσα κίνηση, κίνηση προώσεως και συνθήκες κατεργασίας κατά τη διαμήκη τόρνευση. (Κμ κομμάτι, KE κοπικό εργαλείο).

Η ταχύτητα κοπής και η πρώση μαζί με το **βάθος κοπής** αποτελούν ό,τι ονομάζουμε **συνθήκες κατεργασίας** ή **συνθήκες κοπής**. Λέγοντας **βάθος κοπής** εννοούμε την απόσταση ανάμεσα στην ακατέργαστη και στην κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού ή το βάθος, στο οποίο θέλουμε να εισχωρήσει το εργαλείο μέσα στο υλικό του κομματιού [σχ. 4.2β(β)].

Από τώρα θα πρέπει να τονίσουμε εδώ ότι η κατάλληλη εκλογή των τιμών για τις συνθήκες κατεργασίας (υ, s και α) κατά περίπτωση κατεργασίας ενέχει εξαιρετική σημασία στην όλη επιτυχία και αποδοτικότητα της κατεργασίας και στην εκμετάλλευση της εργαλειομηχανής, που χρησιμοποιούμε.

#### 4.3 Οι κυριότερες κατεργασίες κοπής.

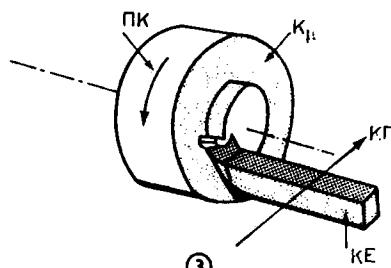
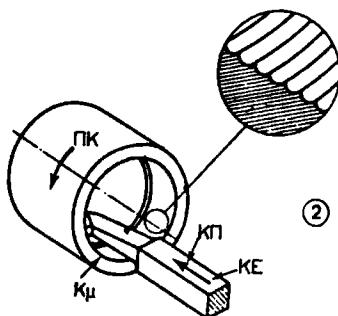
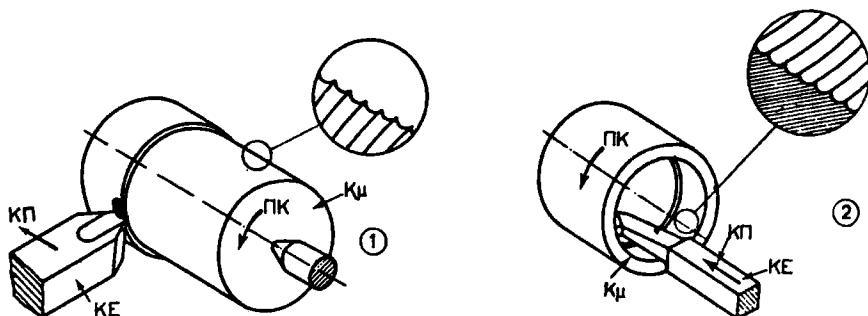
Πριν να προχωρήσουμε στην ανάπτυξη των γενικών αρχών της κοπής των μετάλλων (Κεφάλ. 5) και στη δομή των εργαλειομηχανών κοπής (Κεφάλ. 6), θεωρούμε σκόπιμο να αναφερθούμε εδώ, εντελώς συνοπτικά, στις βασικές κατεργασίες κοπής. Κατ' αυτόν τον τρόπο ο μαθητής από το ένα μέρος θα μπορέσει να εμπεδώσει τις έννοιες για την κινηματική των κατεργασιών, που δώσαμε στην προηγούμενη παράγραφο και από το άλλο θα αποκτήσει παραστάσεις, που θα τον βοηθήσουν γενικά στην κατανόηση των αντικειμένων, που θα ακολουθήσουν.

Για κάθε κατεργασία κοπής θα περιγράψουμε την κινηματική της και θα δώσουμε σχηματική παράσταση του εργαλείου και της εργαλειομηχανής, που χρησιμοποιού-

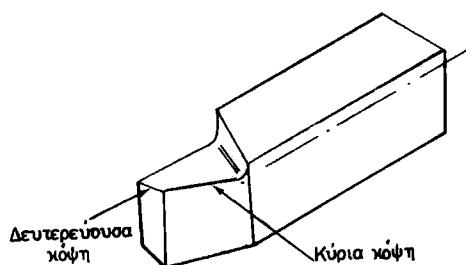
με για την εκτέλεσή της, παραθέτοντας και την απαραίτητη ονοματολογία. Επί πλέον θα παρουσιάσουμε και τυπικά μορφοποιούμενα με τις αντίστοιχες κατεργασίες κομμάτια.

#### A. Τόρνευση.

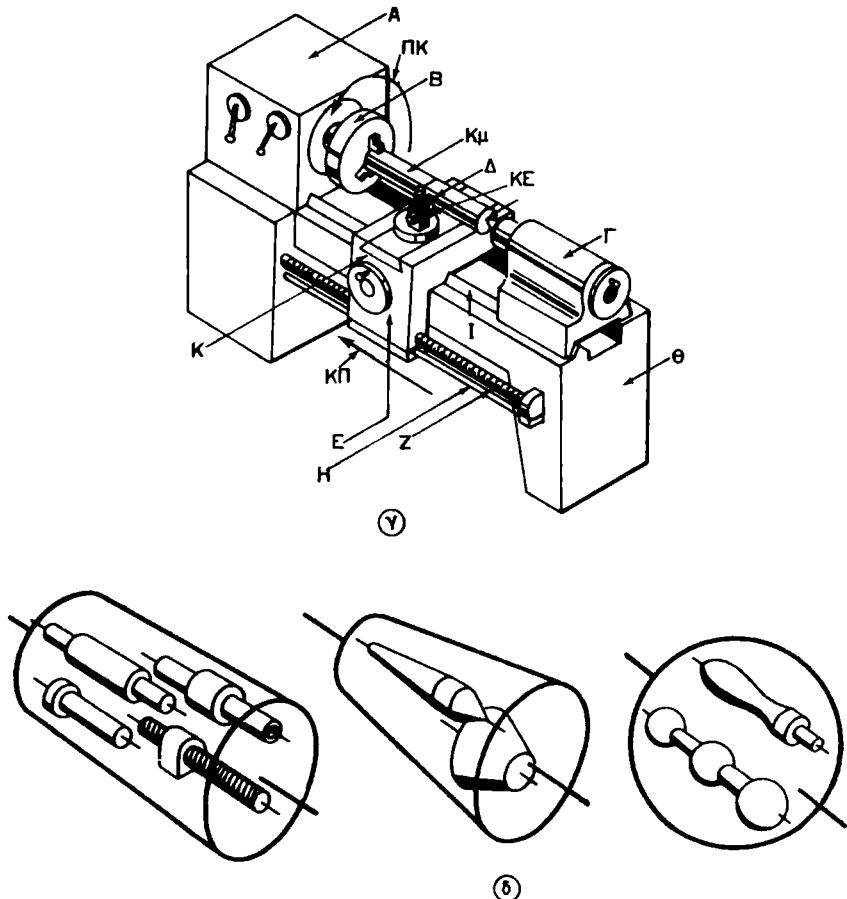
Κατά την τόρνευση το κομμάτι εκτελεί περιστροφική πρωτεύουσα κίνηση [σχ. 4.3α(α)] γύρω από τον άξονά του (οριζόντιο ως επί το πλείστο), ενώ το εργαλείο [με μία κύρια κόψη, σχ. 4.3α(β)] μετατοπίζεται ευθύγραμμα συνεχώς (συνεχής κί-



④



⑤



Σχ. 4.3α.

Τόρνευση και τόρνος. (α) Κινηματική της τορνεύσεως: 1) Διαμήκης εξωτερική τόρνευση. 2) Διαμήκης εσωτερική τόρνευση. 3) Μετωπική τόρνευση. (β) Το κοπτικό εργαλείο της τορνεύσεως. (γ) Σχηματική παράσταση οριζόντιου τόρνου: Α κεφαλή (κιβώτιο περιστροφικών ταχυτήτων και κύρια άτρακτος). Β σφιγκτήρας κομματιών (τσακ), Γ κεντροφορέας (κουκουβάγια), Δ εργαλειοδέτης, Ε εργαλειοφορέιο, Ζ κοχλίας σπειρωμάτων, Η ράβδος προώσεως, Θ βάση, Ι διαμήκης ολισθητήρας, Κ εγκάρσιος ολισθητήρας κλίνη. (δ) Μορφές κομματιών που κατασκευάζονται με τόρνευση. (ΠΚ: πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ κοπτικό εργαλείο, Κμ κομμάτι).

νηση προώσεως) παράλληλα προς τον άξονα του κομματιού [διαμήκης τόρνευση, σχ. 4.3α(α)(1)] ή σε ορθή γωνία ως προς τον άξονα του κομματιού [μετωπική τόρνευση, σχ. 4.3α(α)(3)]. Η διαμήκης τόρνευση μπορεί να είναι εξωτερική [σχ. 4.3α(α)(1)] ή **εσωτερική** [σχ. 4.3α(α)(2)]. Η εσωτερική τόρνευση είναι γνωστή και ως **μπόριγκ** κατά την αγγλική ονομασία (boaring). Με αυτή διευρύνομε: κυλινδρικές τρύπες ή κοίλα.

Εκτός από τη διαμήκη (εξωτερική ή εσωτερική) και τη μετωπική τόρνευση συναντούμε στην πράξη και ειδικές περιπτώσεις τορνεύσεως, όπως είναι η κωνική

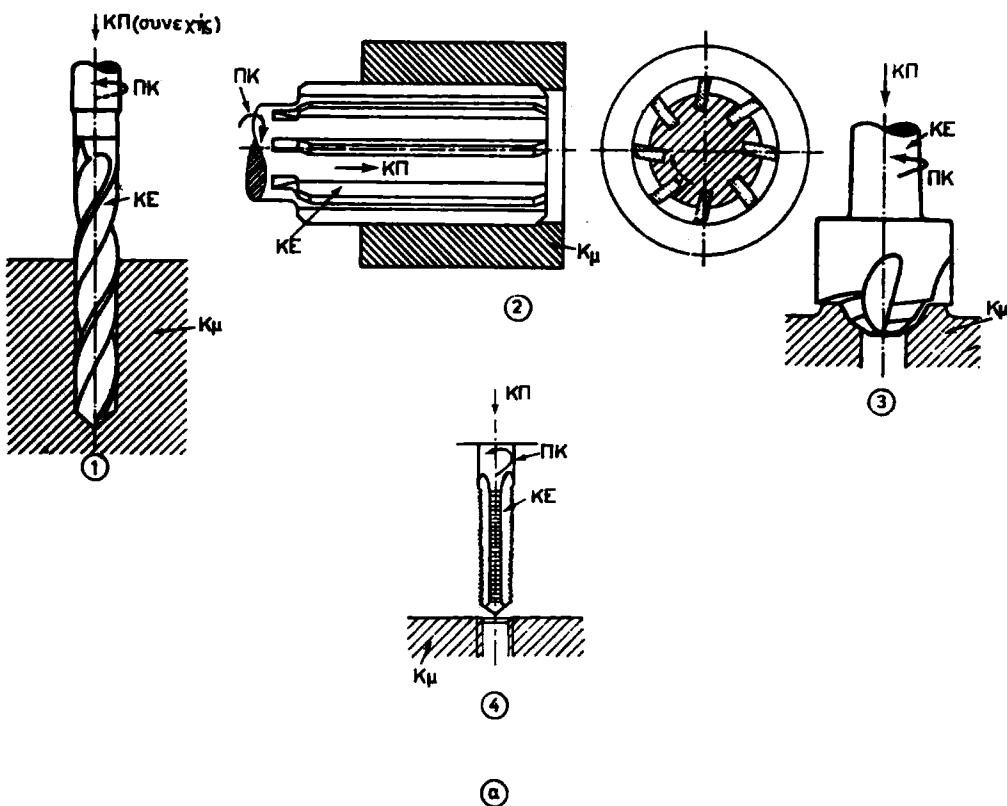
τόρνευση, η τόρνευση μορφής, η τόρνευση αντιγραφής και η τόρνευση σπειρωμάτων (Πίνακας 4.1.1).

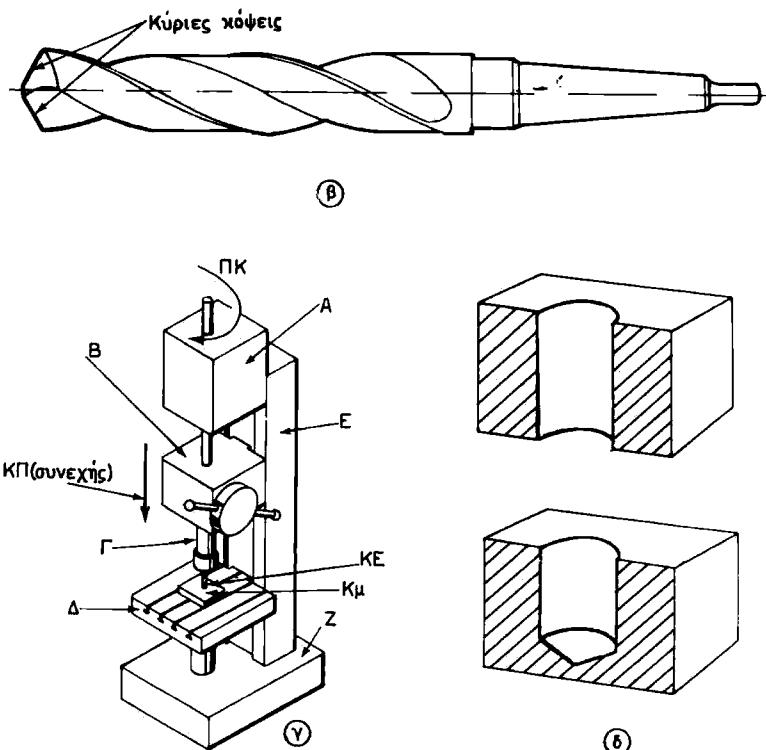
Η τόρνευση εκτελείται στο γνωστό μας πέρνο [σχ. 4.3α(γ)]. Το κομμάτι συγκρατείται μεταξύ σφιγκτήρα (τσόκ) Β και κεντροφορέα (κουκουβάγιας) Γ, αν έχει μεγάλο μήκος (ή μόνο στο σφιγκτήρα αν είναι βραχύ) και το κοπτικό εργαλείο προσδένεται στον εργαλειοδέτη Δ του τόρνου.

Στο σχήμα 4.3α(γ) εικονίζεται σχηματικά ένας οριζόντιος μηχανουργικός τόρνος γενικής χρήσεως με τα βασικά του μέρη.

### B. Τρυπάνισμα (διάτρηση).

Με το τρυπάνισμα ανοίγομε κυλινδρικές τρύπες σε κομμάτια [σχ. 4.3β(δ)] ή διευρύνομε ή αποτελείωνομε υπάρχουσες, με κοπτικό εργαλείο, το **ελικοειδές τρυπάνι** [σχ. 4.3β(β)], το οποίο συνήθως έχει δύο κύριες κόψεις. Το τρυπάνι για να εργασθεί, πρέπει να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του (πρωτεύουσα κίνηση) και ταυτόχρονα να πρωθείται (να προχωρεί) αξονικά συνεχώς μέσα στο κομμάτι, που πρόκειται να τρυπήσουμε (συνεχής κίνηση προώσεως) [σχ. 4.3β(α) (1)]. Το τρυπάνι στερεώνεται με τη βοήθεια ειδικού σφιγκτήρα στην κωνική υποδοχή της ατράκτου Γ της εργαλειομηχανής, ενώ το κομμάτι συγκρατείται σταθερά στην τράπεζά της Δ.





Σχ. 4.3β.

Τρυπάνισμα (διάτρηση), συναφείς με αυτό κατεργασίες και δράπανο.

- (α) Κινηματική: 1) Τρυπανίσματος, 2) Γλυφάνσεως, 3) Εμβυθίσεως, 4) Σπειροτομήσεως. (β) Το ελικοειδές τρύπανο. (γ) Σχηματική παράσταση ενός δραπάνου στήλης: Α σταθερή κεφαλή, Β ρυθμιζόμενη κεφαλή, Γ κύρια άτρακτος, Δ τράπεζα, Ε στήλη, Ζ βάση. (δ) Τρύπες που ανοίγονται με τρυπάνισμα. (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ κοπτικό εργαλείο, Κμ κομμάτι).

Κατεργασίες παρόμοιες με το τρυπάνισμα (κατεργασίες δηλαδή όπου χρειάζεται το κοπτικό εργαλείο να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του και συγχρόνως να προωθείται συνεχώς αξονικά) είναι οι ακόλουθες:

- Η γλύφανση [σχ. 4.3β(α)(2)].
- Η εμβύθιση [σχ. 4.3β(α)(3)].
- Η εσωτερική σπειροτόμηση [σχ. 4.3β(α)(4)].

Η εργαλειομηχανή, στην οποία γίνεται το τρυπάνισμα και οι συναφείς με αυτό κατεργασίες, που αναφέραμε, είναι το γνωστό μας **δράπανο**, του οποίου σχηματική παράσταση με ονοματολογία των κυρίων μερών του δίνομε στο σχήμα 4.3β(γ).

### Γ. Πλάνισμα.

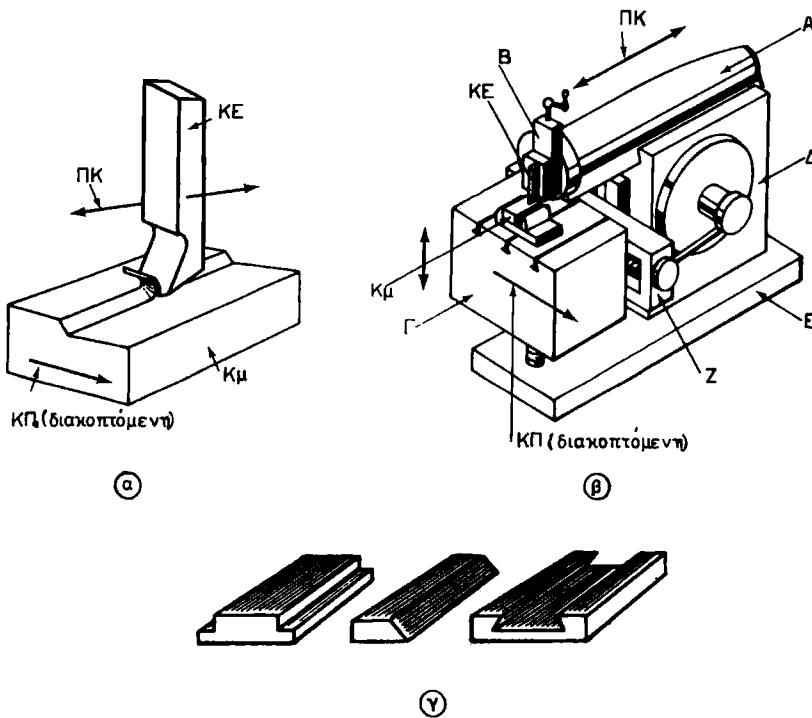
#### 1. Πλάνισμα σε βραχεία πλάνη ή ταχυπλάνη.

Είναι κατεργασία που χρησιμοποιείται στη μορφοποίηση επιπέδων επιφανειών

κομματιών με μικρό σχετικά μήκος και σε μικρό αριθμό.

Κατά το πλάνισμα αυτό [σχ. 4.3γ(α)] το κοπτικό εργαλείο (εργαλείο με μία κύρια κώψη) εκτελεί ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση (πρωτεύουσα κίνηση). Κάθε παλινδρόμηση (ένας πλήρης κύκλος εργασίας) περιλαμβάνει μία **ενεργό διαδρομή** (προς τα εμπρός), κατά την οποία το εργαλείο κόβει, και μία **νεκρή διαδρομή** (προς τα πίσω) για την επιστροφή του εργαλείου στην αρχική του θέση. Το κομμάτι, στο τέλος κάθε νεκρής διαδρομής του κοπτικού εργαλείου, προωθείται κάθετα προς την κατεύθυνση της κινήσεως του εργαλείου κατά απόσταση ίση με την πρώση (χιλιοστόμετρα ανά ενεργό διαδρομή του εργαλείου). Εδώ πρέπει να σημειωθούμε ότι, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στην τόρνευση και στο τρυπάνισμα που εξετάσαμε μέχρι τώρα, η πρώση κατά το πλάνισμα (είτε αυτό γίνεται σε βραχεία πλάνη είτε σε τραπεζοπλάνη, όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω) επιβάλλεται κατά βήματα· η κίνηση δηλαδή της προώσεως είναι **διακοπτόμενη**.

Στο σχήμα 4.3γ(β) εικονίζεται σχηματικά μία βραχεία πλάνη. Το εργαλείο προσδένεται στον εργαλειοδέτη της πλάνης και το κομμάτι συγκρατείται στην τράπεζά της.



Σχ. 4.3γ.

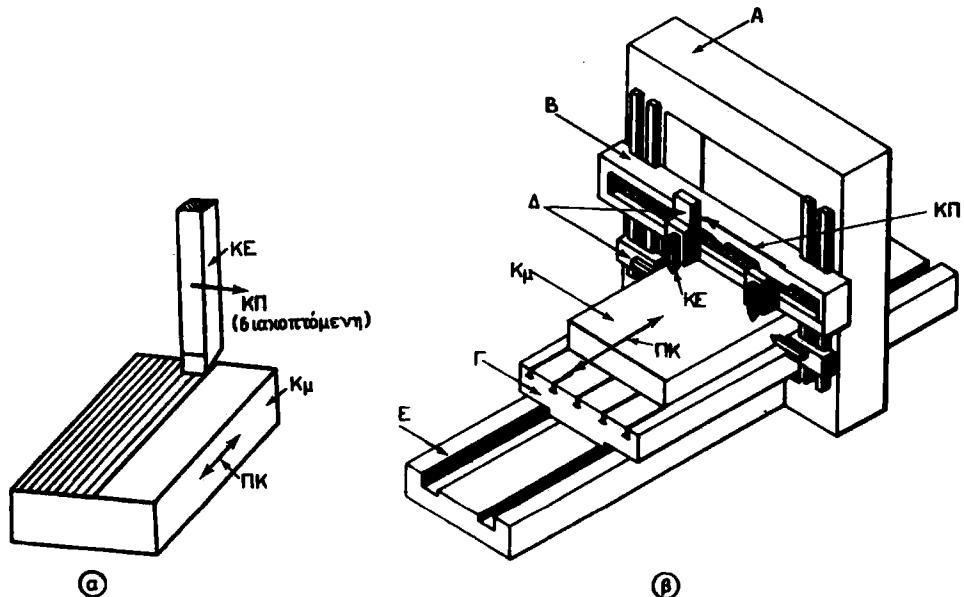
Πλάνισμα σε βραχεία πλάνη ή ταχυπλάνη και βραχεία πλάνη.

(α) Κινηματική του πλανίσματος σε βραχεία πλάνη. (β) Τα κύρια μέρη μιας ταχυπλάνης και οι κύριες κινήσεις της: Α έλκηθρο, Β εργαλειοφορείο, Γ τράπεζα, Δ κορμός ή ορθοστάτης, Ε βάση, Ζ εγκάρασιο φορείο. (γ) Τυπικές επιφάνειες κομματιών που μορφοποιούνται με πλάνισμα γενικά. (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, KE κοπτικό εργαλείο, Κμ κομμάτι).

## 2. Πλάνισμα σε τραπεζοπλάνη.

Το πλάνισμα αυτό ενδείκνυται για την κατεργασία μεγάλων επιπέδων επιφανειών. Εδώ, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στο πλάνισμα στη βραχεία πλάνη [σχ. 4.3δ(α)], η πρωτεύουσα κίνηση (ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση) δίνεται στο κομμάτι από την τράπεζα της πλάνης, στην οποία προσδένεται και η κίνηση προώσεως (διακοπόμενη) στο εργαλείο (εργαλείο με μία κύρια κόψη), το οποίο μετατοπίζεται κάθετα προς την κατεύθυνση της πρωτεύουσας κινήσεως.

Σχηματική παράσταση μιας τραπεζοπλάνης δίνομε στο σχήμα 4.3δ(β).



Σχ. 4.3δ.

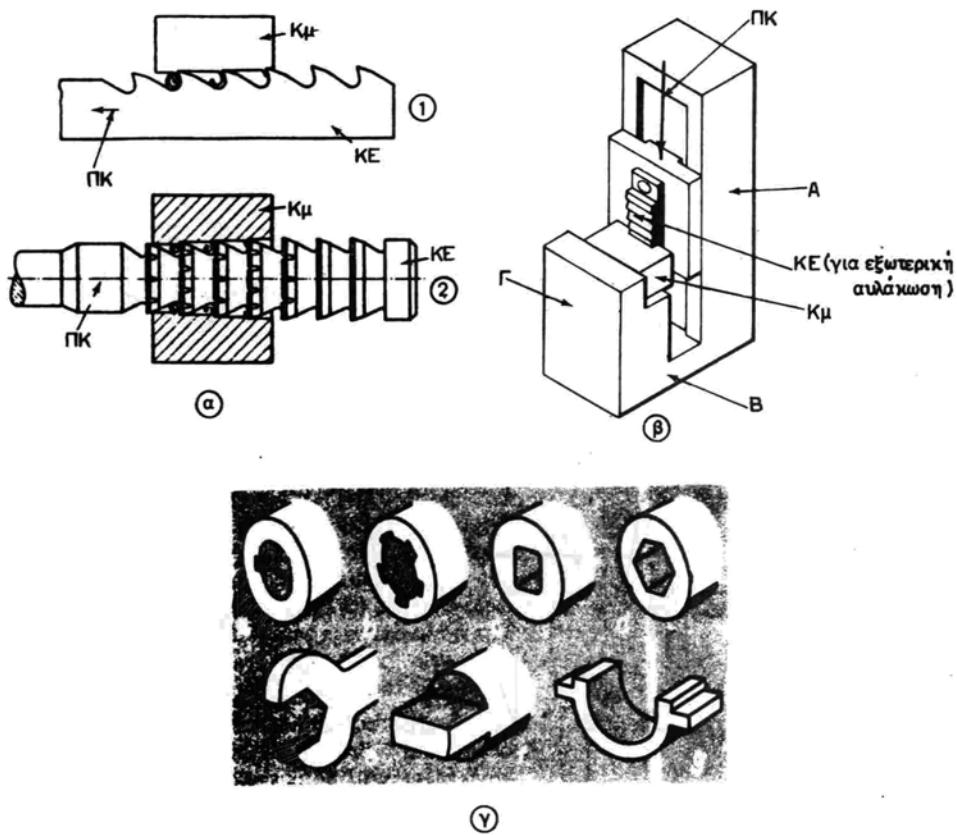
Πλάνισμα σε τραπεζοπλάνη και τραπεζοπλάνη.

(α) Κινηματική του πλανίσματος σε τραπεζοπλάνη. (β) Τα κύρια μέρη μιας τραπεζοπλάνης και οι κύριες κινήσεις της: Α πλαισιωτός κορμός, Β εγκάρσιο φορείο, Γ τράπεζα, Δ εργαλειοφόρες κεφαλές, Ε βάση. (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ κοπτικό εργαλείο, Κμ κομμάτι).

## Δ. Αυλάκωση (μπρόουτσιγκ, broaching).

Με την αυλάκωση (μπρόουτσιγκ, από την σαγγιλική της ονομασία) κατεργαζόμαστε εσωτερικές ή εξωτερικές επιφάνειες [σχ. 4.3ε(α)] σε κομμάτια μικρού σχετικά ή μέσου μεγέθους. Συνήθως δίνομε διάφορες μορφές σε τρύπες, οι οποίες προηγουμένως θα πρέπει να ανοιχθούν με τρυπανίσμα ή εσωτερική τόρνευση [σχ. 4.3ε(γ)].

Το κοπτικό εργαλείο [σχ. 4.3.ε(α)] είναι εργαλείο με πολλές κύριες κόψεις (δόντια). Το ύψος των δοντιών από τον άξονα του εργαλείου μεγαλώνει προσδευτικά από το ένα άκρο προς το άλλο μέχρις ότου τελικά φθάσει εκείνο, που απαιτείται, για τη συγκεκριμένη μορφή την οποία επιθυμούμε να δώσουμε στην τρύπα ή στην



Σχ. 4.3ε.

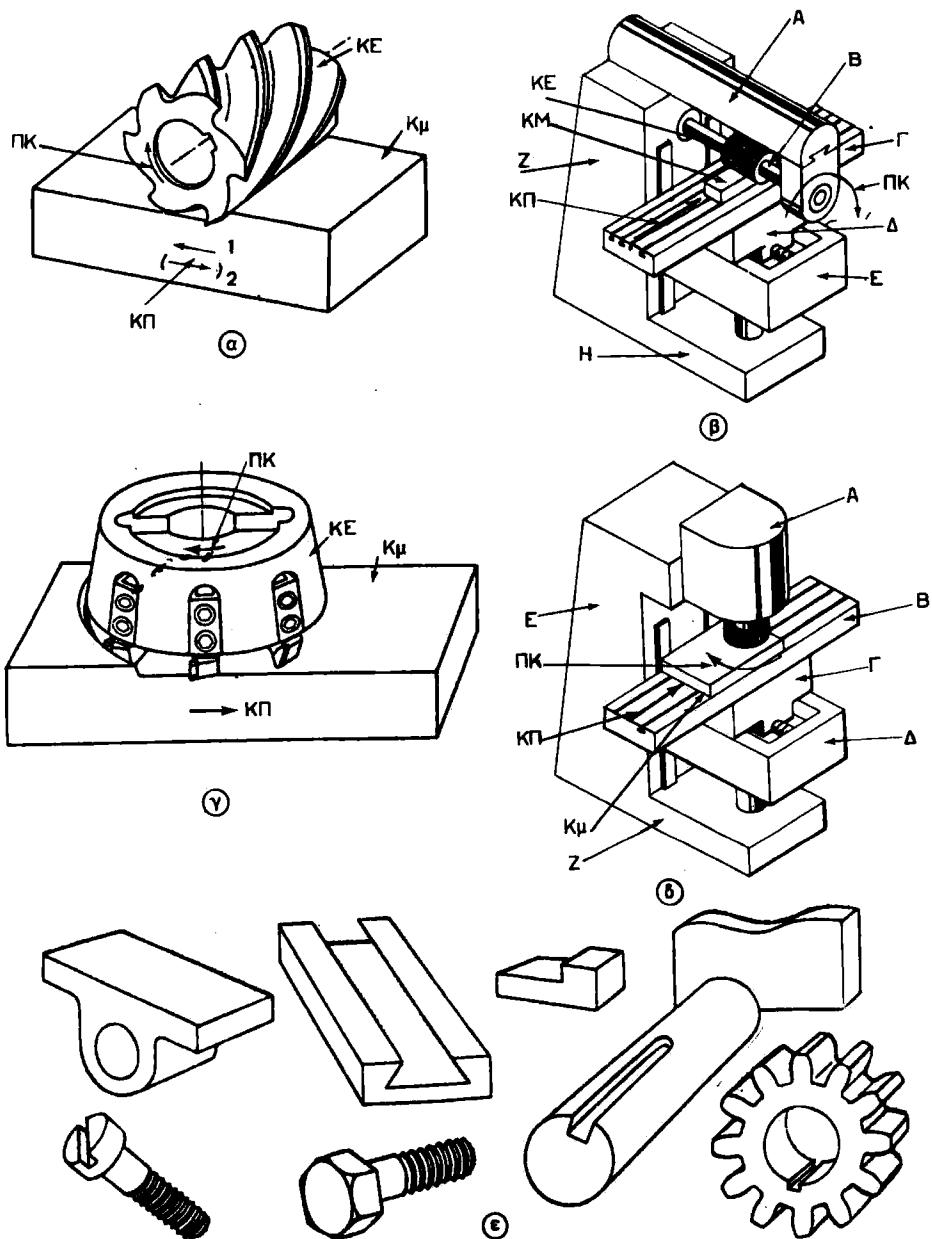
Αυλάκωση και μηχάνημα αυλακώσεως.

(α) Κινηματική της αυλακώσεως: 1) Εξωτερική αυλάκωση. 2) Εσωτερική αυλάκωση. (β) Μηχάνημα αυλακώσεως: Α κορμός, Β βάση, Γ τράπεζα. (γ) Τυπικές εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες που κατεργάζονται με αυλάκωση.

**Εξωτερική επιφάνεια.** Η πρωτεύουσα κίνηση, η οποία είναι ευθύγραμμη [σχ. 4.3ε (α)], μπορεί να δοθεί είτε στο εργαλείο είτε στο κομμάτι. Κίνηση προώσεως δεν χρειάζεται στην κατεργασία αυτή. Συνήθως το εργαλείο κινείται με χαμηλή ταχύτητα αθούμενο ή ελκόμενο, ενώ το κομμάτι προσαρμόζεται σταθερά στην εργαλειομηχανή. Τα δόντια κόβουν προοδευτικά, όταν έρθει η σειρά τους να κόψουν και όχι συγχρόνως όλα μαζί. Η μορφοποίηση της επιφάνειας ολοκληρώνεται, όταν και τα τελευταία (ψηλότερα) δόντια του εργαλείου περάσουν από αυτή, δηλαδή σε ένα ολόκληρο πέρασμα του εργαλείου.

Η αυλάκωση ενδείκνυται μόνο για μαζική παραγωγή λόγω του ψηλού κόστους του κοπτικού εργαλείου. Με αυτή επιτυγχάνομε μεγάλη ακρίβεια και πολύ καλή τραχύτητα επιφάνειας μέσα σε αρκετά μικρό χρόνο κατεργασίας.

Εκτελείται σε ειδικά μηχανήματα αυλακώσεως [σχ. 4.3ε(β)], όπου η απαιτούμενη δύναμη κοπής ασκείται κυρίως υδραυλικά. Μπορεί όμως να επιβληθεί και μηχανικά.



Σχ. 4.3στ.

Το φραιζάρισμα και οι φραιζομηχανές.

(α) Κινηματική του περιφερικού φραιζαρίσματος: 1) Ομόδροπο φραιζάρισμα. 2) Αντίρροπο φραιζάρισμα. (β) Τα κύρια μέρη μιας οριζόντιας φραιζομηχανής: Α πρόβολος, Β εργαλειοφόρος άξονας, Γ τράπεζα, Δ ανώτερο φορείο, Ε κατώτερο φορείο, Ζ κορμός, Η βάση. (γ) Κινηματική του μετωπικού φραιζαρίσματος. (δ) Τα κύρια μέρη μιας κατακόρυφης φραιζομηχανής: Α εργαλειοφόρα κεφαλή, Β τράπεζα, Γ ανώτερο φορείο, Δ κατώτερο φορείο, Ε κορμός, Ζ βάση. (ε) Αντιπροσωπευτικά κομμάτια που παράγονται με φραιζάρισμα γενικά. [ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚП κίνηση προώσεως, KE κοπικό εργαλείο (φραιζά ή κοπτήρας), Kμ κομμάτι].

## **Ε. Φραιζάρισμα.**

Το φραιζάρισμα είναι κατεργασία κοπής, κατά την οποία αφαιρείται υλικό από το κομμάτι υπό μορφή **μεμονωμένων** αποβλίτων. Το κοπτικό εργαλείο, που το ονομάζομε **κοπτήρα** ή **φραΐζα** έχει πολλές κύριες κόψεις, οι οποίες διαμορφώνονται στα δόντια που φέρει περιφερειακά ή περιφερειακά και μετωπικά ο κοπτήρας [σχ. 4.3στ(α),(γ)]. Κάθε δόντι κόβει ένα ξεχωριστό απόβλιττο με μεταβλητό πάχος ύστερα από συνδυασμό της περιστροφικής κινήσεως της φραιζάς γύρω από το σταθερό άξονά της (πρωτεύουσα κίνηση) και της ευθύγραμμης μεταφορικής κινήσεως του κομματιού (κίνηση προώσεως) κάθετα προς τον άξονα της φραιζάς. Η κίνηση προώσεως είναι **συνεχής** και κάθε δόντι δεν κόβει συνεχώς, αλλά μόνο επί ορισμένο μέρος της περιόδου κινήσεως της φραιζάς, που αντιστοιχεί σε ορισμένη γωνία περιστροφής.

Το φραιζάρισμα το διακρίνομε σε **περιφερικό** [σχ. 4.3στ(α)] και σε **μετωπικό** [σχ. 4.3στ(γ)].

Με το περιφερικό φραιζάρισμα κατεργαζόμαστε επίπεδες επιφάνειες παράλληλες προς τον άξονα της φραιζάς. Η φραιζά φέρει δόντια στην περιφέρειά της με την κόψη τους παράλληλη (φραιζά με ίσια δόντια) ή υπό γωνία (φραιζά με ελικοειδή δόντια) ως προς τον άξονά της.

Κατά το περιφερικό φραιζάρισμα είναι δυνατό η κίνηση προώσεως (κίνηση του κομματιού) να είναι αντίρροπη ή ομόρροπη προς την πρωτεύουσα κίνηση (της φραιζάς). Έτσι, διαμορφώνονται αντίστοιχα δύο μέθοδοι για το περιφερικό φραιζάρισμα: το **αντίρροπο** φραιζάρισμα και το **ομόρροπο** φραιζάρισμα.

Κατά το μετωπικό φραιζάρισμα η φραιζά έχει δόντια με κόψεις περιφερειακά και μετωπικά και η κατεργασμένη επιφάνεια προκύπτει κάθετη στον άξονα της φραιζάς.

Με το φραιζάρισμα μπορούμε, εκτός από επίπεδες επιφάνειες να κατεργασθούμε και διάφορες καμπύλες επιφάνειες με φραιζάρισμα μορφής και αντιγραφής, οπως ακόμα να κόψουμε οδοντώσεις και σπειρώματα (Πίνακας 4.1.1).

Για να γίνει το φραιζάρισμα, η φραιζά προσδένεται στον εργαλειοφόρο άξονα της φραιζομηχανής και το κομμάτι στην τράπεζά της.

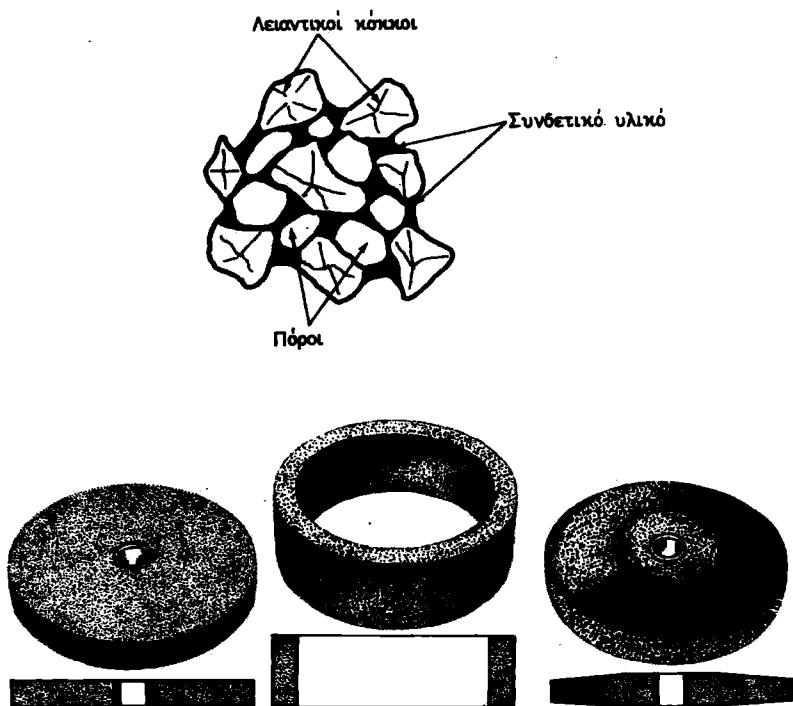
Το περιφερικό φραιζάρισμα εκτελείται σε οριζόντια φραιζομηχανή [σχ. 4.3στ(β)], η οποία παίρνει αυτή την ονομασία από το ότι ο εργαλειοφόρος άξονάς της λαμβάνει οριζόντια θέση. Το μετωπικό φραιζάρισμα γίνεται σε κατακόρυφη φραιζομηχανή [σχ. 4.3στ(δ)], η οποία φέρει κατακόρυφο εργαλειοφόρο άξονα. Μπορούμε όμως να μετατρέψουμε την οριζόντια φραιζομηχανή σε κατακόρυφη προσθέτοντας ένα συγκρότημα, που το ονομάζομε **προβοσκίδα**.

## **ΣΤ. Λείανση.**

Η λείανση είναι και αυτή μία κατεργασία κοπής, όπου όμως το κοπτικό εργαλείο είναι εντελώς διαφορετικό από τα εργαλεία που έχουμε συναντήσει μέχρι τώρα, δηλαδή τα εργαλεία με μία κύρια κόψη ή με περισσότερες και με αυστηρά καθορισμένη γεωμετρική μορφή.

Το εργαλείο της λειάνσεως είναι ο **λειαντικός τροχός ή σμυριδοτροχός** (σχ. 4.3ζ).

Αποτελείται από πολλούς **λειαντικούς κόκκους** [είναι σκληροί και εύθρυπποι κόκκοι συνήθως από καρούνδιο (οξείδιο του αργιλίου) ή από καρβίδιο του πυριτίου], που ενσωματώνονται για να αποτελέσουν το λειαντικό τροχό με κάποιο κατάλληλο **συνδετικό μέσο**. Οι κόκκοι του λειαντικού τροχού είναι **στοιχειώδη κοππικά εργαλεία** με ακαθόριστη όμως γεωμετρία, που διατάσσονται τυχαία στην ενέργο επιφάνεια (εκείνη την επιφάνεια που κόβει) του λειαντικού τροχού. Τους λειαντικούς κόκκους του τροχού μπορούμε να τους εξομοιώσουμε με στοιχειώδη δόντια μιας φραΐζας. Όπως τα δόντια μιας φραΐζας έτσι και οι κόκκοι ενός λειαντικού τροχού κόβουν επί μικρό μέρος της περιόδου περιστροφής του και κάθε κόκκος, βγάζει ένα πολύ μικρό απόβλιττο. Με τη λείανση, ακριβώς εξ αιτίας του κοπτικού ερ-



**Σχ. 4.3ζ.**  
Ο λειαντικός τροχός.

γαλείου που χρησιμοποιούμε και των ψηλών ταχυτήτων κοπής που εφαρμόζομε (30 ως 80 m/s απέναντι 0,5 ως 4 m/s στις συνηθισμένες κατεργασίες κοπής), επιτυγχάνομε μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις και στη μορφή των κομματιών, δημιουργώντας επιφάνειας. Κατά τη λείανση ο ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου είναι χαμηλός. Η λείανση γενικά χρησιμοποιείται για αποπεράτωση (phi-

νίρισμα) των κομματιών. Αποτελεί τη μοναδική κατεργασία κοπής για μορφοποίηση πολύ σκληρών υλικών (βαμμένα χαλυβοκράματα, σκληρομέταλλα κ.ά.).

Κατά τη λείανση η πρωτεύουσα κίνηση (περιστροφική) δίνεται στο λειαντικό τροχό. Το κομμάτι και ο λειαντικός τροχός εκτελούν διάφορες ευθύγραμμες κινήσεις ανάλογα με το είδος της λειάνσεως, όπως βλέπομε στα σχετικά σχήματα.

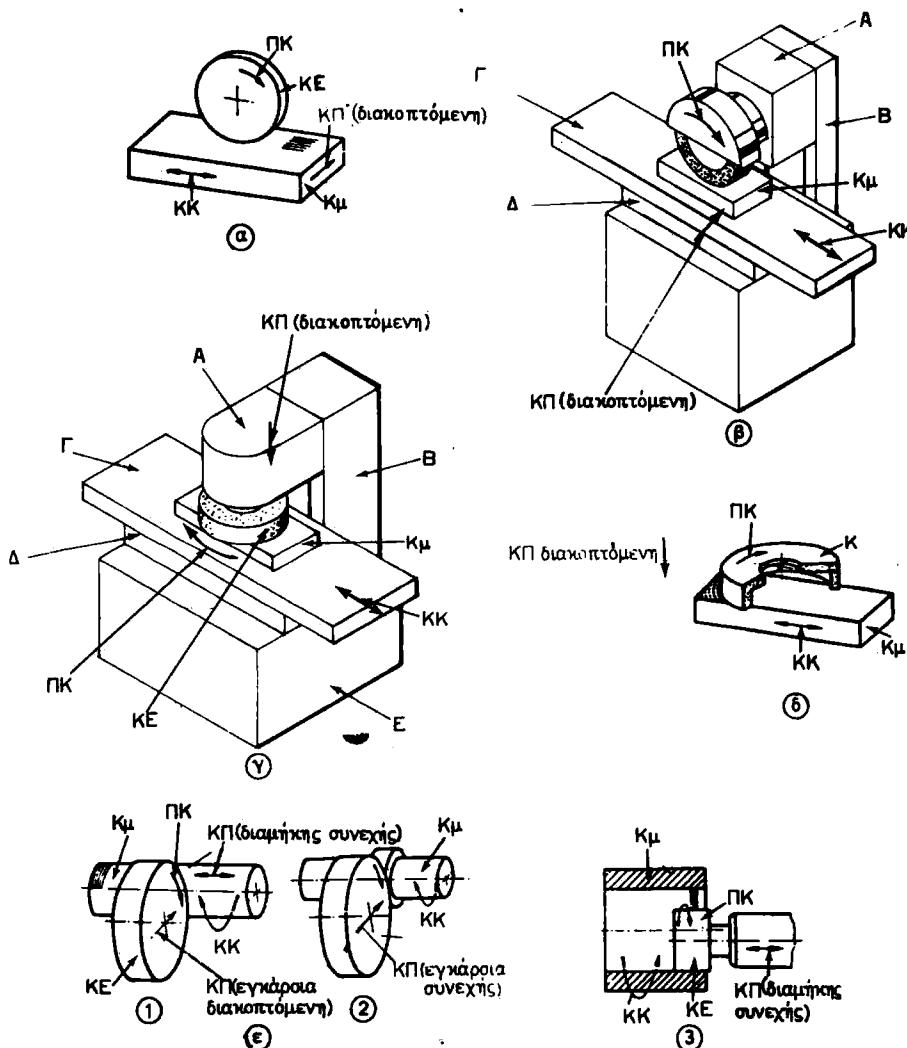
**Διακρίνομε τα ακόλουθα είδη λειάνσεως:**

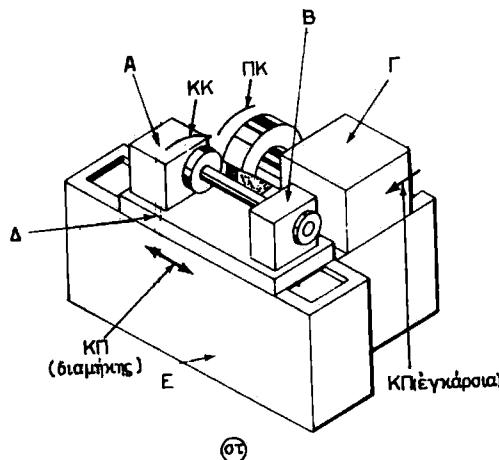
a) **Λείανση επιπέδων επιφανειών:**

- Περιφερική [σχ. 4.3η(α)].
- Μετωπική [σχ. 4.3η(δ)].

b) **Λείανση κυλινδρικών επιφανειών:**

- Εξωτερική [σχ. 4.3η(ε)(1),(2)].
- Εσωτερική [σχ. 4.3η(ε)(3)].



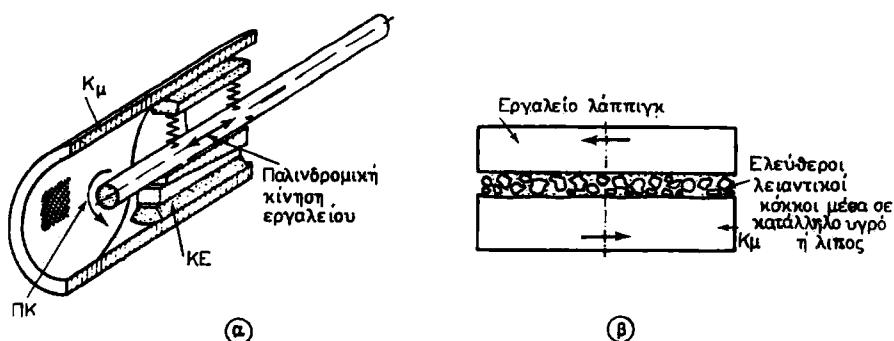


Σχ. 4.3η.

Λείανση και λειαντικά μηχανήματα.

- (α) Κινηματική της περιφερικής λείανσεως. (β) Κύρια μέρη λειαντικού μηχανήματος επιπέδων επιφανειών (με οριζόντιο άξονα): Α εργαλειοφόρα κεφαλή, Β ορθοστάτης, Γ τράπεζα, Δ φορείο, Ε κλίνη. (γ) Λειαντικό μηχάνημα επιπέδων επιφανειών (με κατακόρυφο άξονα): Α εργαλειοφόρα κεφαλή, Β ορθοστάτης, Γ τράπεζα, Δ φορείο, Ε κλίνη. (δ) Κινηματική της μετωπικής λείανσεως. (ε) Κινηματική της λείανσεως κυλινδρικών επιφανειών: 1) Εξωτερική διαμήκης. 2) Εξωτερική εγκάρσια. 3) Εσωτερική. (στ) Λειαντικό μηχάνημα εξωτερικών κυλινδρικών επιφανειών: Α κεφαλή για την περιστροφή του κομματιού, Β κεντροφορέας, Γ εργαλειοφόρα κεφαλή, Δ τράπεζα, Ε κλίνη. (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ λειαντικός τροχός, KK κίνηση κομματιού, Κμ κομμάτι).

ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ λειαντικός τροχός, KK κίνηση κομματιού, Κμ κομμάτι).



Σχ. 4.3θ.

- (α) Το χόνιγκ εσωτερικών επιφανειών. (β) Το λάπτιγκ (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΕ λειαντικό ραβδίο, Κμ κομμάτι).

#### γ) Άκεντρη λείανση:

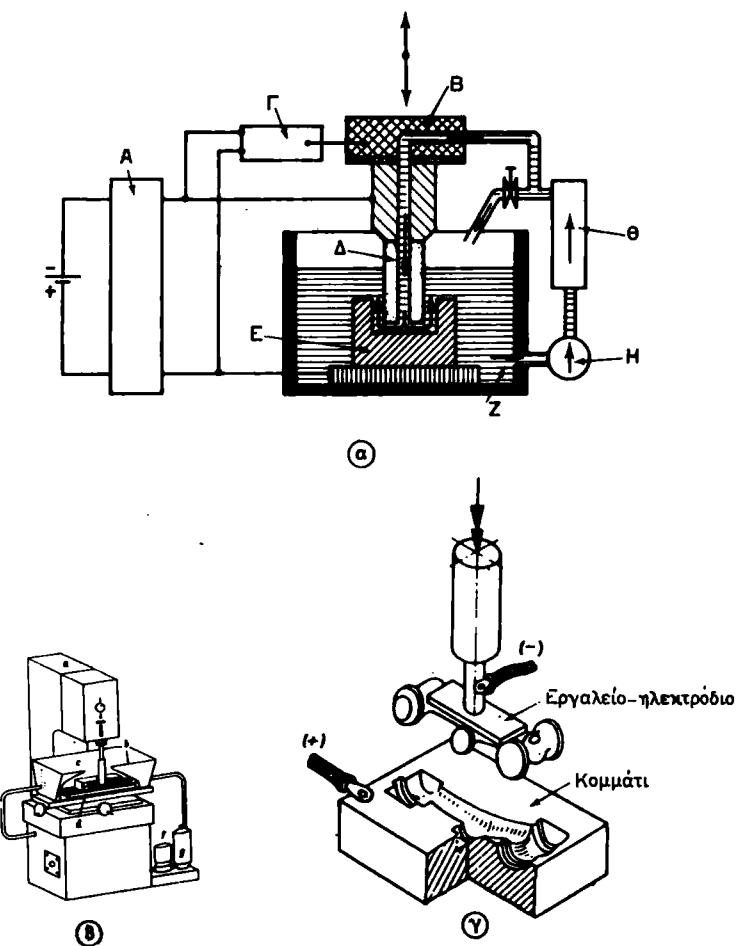
- Εξωτερική.
- Εσωτερική.

Ως ειδικές περιπτώσεις λείανσεως συναντούμε τη λείανση μορφής, τη λείανση αντιγραφής και τη λείανση οδοντώσεων και σπειρωμάτων.

Συναφείς προς τη λείανση κατεργασίες, είναι:

- α) Το χόνιγκ (Honing) [σχ. 4.3θ(α)] όπου το εργαλείο αποτελείται από λειαντικά ραβδία και
- β) το λάππιγκ (Lapping) [σχ. 4.3θ(β)], κατά το οποίο οι λειαντικοί κόκκοι χρησιμοποιούνται ελεύθεροι σε κατάλληλο υγρό ή λίπος.

Η ακρίβεια κατεργασίας μεγαλώνει και η τραχύτητα επιφάνειας καλυτερεύει όσο προχωρούμε από τη λείανση στο χόνιγκ και στο λάππιγκ.



Σχ. 4.3ι.

- α) Σχηματική παράσταση της κατεργασίας αφαιρέσεως μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα: Α μονάδα τροφοδοτήσεως, Β μηχανισμός προώσεως ηλεκτροδίου, Γ έλεγχος προώσεως, Δ εργαλείο - ηλεκτρόδιο, Ε κομμάτι, Ζ διηλεκτρικό, Η αντλία, Θ φίλτρο.
- β) Μηχανή αφαιρέσεως μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα.
- γ) Κατά την αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα το εργαλείο - ηλεκτρόδιο αποτυπώνεται στο κομμάτι.

#### **4.4 Δύο από τις κυριότερες μη συμβατικές κατεργασίες αφαίρεσεως μετάλλου.**

##### **4.4.1 Αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα.**

Η σχηματική διάταξη της κατεργασίας αυτής εικονίζεται στο σχήμα 4.3ι(α). Το εργαλείο στην επιθυμητή μορφή (αρνητικό ηλεκτρόδιο, π.χ. από χαλκό ή γραφίτη) προσαρμόζεται σε ειδική υποδοχή του μηχανισμού προώσεως της εργαλειομηχανής. Το προς κατεργασία κομμάτι (θετικό ηλεκτρόδιο) προσδένεται κατάλληλα στην τράπεζα της εργαλειομηχανής. Και τα δύο, δηλαδή το εργαλείο και το κομμάτι εμβαπτίζονται σε λουτρό διηλεκτρικού υγρού σε κυκλοφορία και συνδέονται σε ηλεκτρική πηγή συνεχούς ρεύματος μέσω ενός κυκλώματος αντιστάσεως-πυκνωτή (κύκλωμα RC) ή σε ειδική παλμογεννήτρια. Ανάμεσα στο εργαλείο και στο κομμάτι διατηρεύται σταθερό διάκενο της τάξεως των 25 ως 50 μ m, που εξασφαλίζεται με τη βοήθεια του μηχανισμού προώσεως της εργαλειομηχανής.

Κατά τη λειτουργία του κυκλώματος RC που αναφέραμε, διασπάται το μεταξύ εργαλείου και κομματιού διάκενο και δημιουργούνται ηλεκτρικοί σπινθήρες. Εξ αιτίας της πολύ ψηλής θερμοκρασίας (μπορεί να φθάσει, στους  $12000^{\circ}$  C) που αναπτύσσεται στην περιοχή κάθε σπινθήρα προκαλείται τήξη του υλικού κομματιού και εργαλείου σε λεπτό επιφανειακό στρώμα στις θέσεις αυτές και δημιουργείται έτσι ένας μικρός αβαθής κρατήρας. Το διηλεκτρικό υγρό που κυκλοφορεί παρασύρει και στερεοποιεί το λειωμένο μέταλλο σε τεμαχίδια με σφαιρικό σχήμα και τα απομακρύνει.

Η πολικότητα που δίνομε (εργαλείο-αρνητικό και κομμάτι-θετικό), όπως ακόμα και ο κατάλληλος κάθε φορά συνδυασμός υλικού εργαλείου και υλικού κομματιού ευνοούν την αφαίρεση πολύ περισσότερου υλικού από το κομμάτι παρά από το εργαλείο.

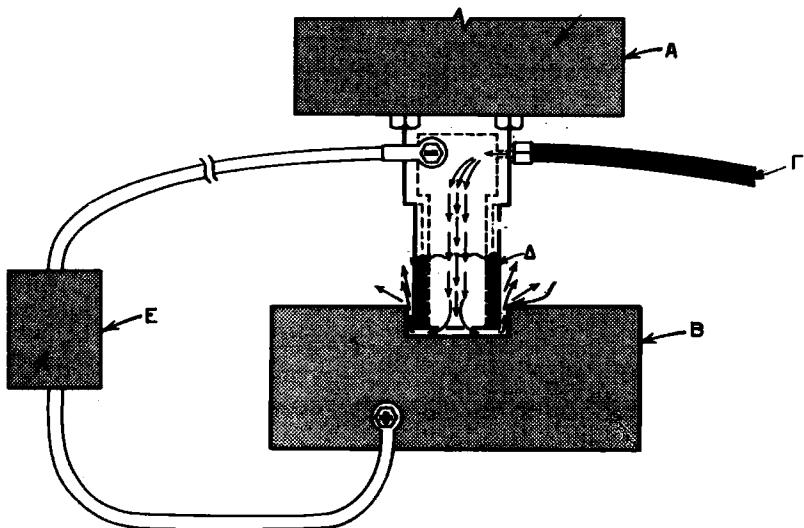
Έτσι, η αφαίρεση μετάλλου από το κομμάτι με το μηχανισμό που αναφέραμε προχωρεί προοδευτικά και τελικά αποτυπώνεται η μορφή του εργαλείου στο κομμάτι [σχ. 4.3ι(γ)]. Η πρώθηση του εργαλείου-ηλεκτροδίου συντελείται αυτόματα με τη βοήθεια σερβομηχανισμού, καθώς αφαιρείται υλικό από το κομμάτι.

Η κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού αποτελείται από μικρούς κρατήρες άτακτα διαταγμένους χωρίς, από τη φύση της κατεργασίας, να δημιουργούνται προσανατολισμένα σημάδια, όπως συμβαίνει στις συνηθισμένες κατεργασίες κοπής, όπου τα ίχνη του εργαλείου αποτυπώνονται στην επιφάνεια με καθορισμένο προσανατολισμό (π.χ. τόρνευση, φραιζάρισμα, πλάνισμα κλπ.).

Η αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα βρίσκει γενικά εφαρμογές στην κατασκευή μητρώων κάθε φύσεως.

##### **4.4.2 Ηλεκτροχημική αφαίρεση μετάλλου (σχ. 4.3ια).**

Κατ' αυτήν αφαιρείται μέταλλο από το κομμάτι. Το κομμάτι (άνοδος), που θα πρέπει να είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, τοποθετείται μέσα σε ένα δοχείο, το οποίο συγκρατείται στην τράπεζα της συναφούς εργαλειομηχανής και που συνδέεται στο θετικό πόλο μιας πηγής συνεχούς ρεύματος. Το εργαλείο-ηλεκτρόδιο (κάθοδος) σε σχήμα που θα δώσει στο κομμάτι την επιθυμητή μορφή, προσδένεται στον εργαλειοδέτη της εργαλειομηχανής και συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής. Στο σχηματιζόμενο ανάμεσα στο εργαλείο και στο κομμάτι



Σχ. 4.3α.

Σχηματική παράσταση της ηλεκτροχημικής αφαιρέσεως μετάλλου: Α κινητή πλάκα για την πρόσωση του εργαλείου (κάθοδος), Β κομμάτι (άνοδος), Γ παροχή ηλεκτρολύτη, Δ εργαλείο, Ε ηλεκτρική πηγή συνεχούς ρεύματος.

διάκενο ρέει ηλεκτρολύτης υπό πίεση. Το ρεύμα που διέρχεται στον ηλεκτρολύτη έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση μετάλλου **ηλεκτρολυτικά** από το θετικό ηλεκτρόδιο, δηλαδή από το κομμάτι. Στις θέσεις, όπου το εργαλείο και το κομμάτι βρίσκονται πιο κοντά, η παρουσιαζόμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι πιο μικρή, άρα και η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μεγαλύτερη. Και επειδή το μέταλλο από το κομμάτι αφαιρείται πιο γρήγορα στις θέσεις αυτές, η μορφή του εργαλείου αποτυπώνεται στο κομμάτι.

Η κατεργασμένη επιφάνεια με τη μέθοδο αυτή είναι εντελώς απαλλαγμένη από ελαστώματα, που προέρχονται από ψηλές θερμοκρασίες (όπως παρουσιάζονται σε επιφάνειες κατεργασμένες με κατεργασίες κοπής και με ηλεκτρικό σπινθήρα), όπως και από παραμένουσες τάσεις.

Εφαρμόζεται στην κατεργασία πολύ σκληρών υλικών για την κατασκευή μητρώων γενικά, πτερυγίων στροβίλων κ.ά.

#### 4.5 Κατάταξη των εργαλειομηχανών κοπής.

Τις εργαλειομηχανές κοπής τις κατατάσσομε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

##### A. Κατάταξη ως προς το είδος της κατεργασίας.

Είναι η κλασσική κατάταξη που κάνομε στις εργαλειομηχανές σύμφωνα με τη

βασική κατεργασία κοπής, για την οποία η κάθε μία είναι μελετημένη και σχεδιασμένη.

Έχουμε έτσι:

- α) Για την τόρνευση τον **τόρνο**.
- β) Για το τρυπάνισμα το **δράπανο**.
- γ) Για το πλάνισμα την **πλάνη**.
- δ) Για το φραιζάρισμα τη **φραϊζομηχανή** και
- ε) για τη λείανση το **λειαντικό μηχάνημα**.

Τις κλασσικές αυτές εργαλειομηχανές είναι δυνατό να τις συναντήσουμε είτε ως εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως είτε ως ειδικές εργαλειομηχανές.

## **B. Κατάταξη ως προς το είδος της πρωτεύουσας κινήσεως.**

### **1. Έργαλειομηχανές μέ σε περιστροφική τήν πρωτεύουσα κίνηση.**

#### **α) Τόρνοι:**

- Οριζόντιοι (σχ. 1.1γ).
- Κατακόρυφοι.
- Πυργωτοί (ή ρεβόλβερ, με περιστρεφόμενο εργαλειοφορέα πολλών εργαλείων) ημιαυτόματοι [σχ. 1.1θ(α)] ή αυτόματοι [σχ. 1.1θ(β)] [παράγρ. 4.5(2)], μονοάτρακτοι ή πολυάτρακτοι.
- Σπειροτομήσεως.

#### **β) Δράπανα:**

- Κατακόρυφα (συνήθη στήλης) [σχ. 1.1ε(α)].
- Οριζόντια.
- Ακτινωτά [ή ράντιαλ, σχ. 1.1ε(β)].
- Ημιαυτόματα (μονοάτρακτα ή πολυάτρακτα).

#### **γ) Φραιζομηχανές:**

- Οριζόντιες [σχ. 1.1δ(α)].
- Κατακόρυφες [σχ. 1.1δ(β)].
- Αντιγραφής (Παντογράφοι).

#### **δ) Φραιζοδράπανα (σχ. 1.1στ).**

#### **ε) Λειαντικά μηχανήματα:**

- Επιπέδων επιφανειών (με παλινδρομούσα, σχ. 1.1η(α) ή με περιστρεφόμενη τράπεζα).
- Κυλινδρικών επιφανειών [εξωτερικών, σχ. 1.1η(β) ή εσωτερικών].
- Άκεντρης λειάνσεως.
- Οδοντώσεων.
- Σπειρωμάτων.
- Ειδικά (π.χ. στροφαλοφόρων αξόνων).
- Τροχιστικά (κυρίως κοπτικών εργαλείων, σχ. 1.1β).

**στή Μηχανήματα χόνιγκ και λάππυκ.**

**ζ) Μηχανήματα αποξέσεως οδοντοτροχών.**

**η) Μηχανήματα κοπής οδοντώσεων (γραναζοκόπτες):**

- Παραλλήλων οδοντωτών τροχών με ίσια ή ελικοειδή δόντια με τη μέθοδο χόμπιγκ (Hobbing: το κοπτικό εργαλείο είναι ατέρμονας κοχλίας).
- Κωνικών οδοντοτροχών με ίσια δόντια και υποειδών οδοντοτροχών.

**θ) Μηχανήματα αποκοπής:**

- Τόρνοι αποκοπής.
- Λειαντικά μηχανήματα αποκοπής.
- Περιστροφικά πριόνια.

## 2. Εργαλειομηχανές με ευθύγραμμη την πρωτεύουσα κίνηση.

**α) Πλάνες:**

- Οριζόντιες βραχείες πλάνες ή ταχυπλάνες [σχ. 1.1ζ(α)].
- Τραπεζοπλάνες (με ένα ή με δύο ορθοστάτες) [σχ. 1.1ζ(β)].
- Κατακόρυφες βραχείες πλάνες.

**β) Μηχανήματα αυλακώσεως (μηχανήματα μπρόουτσιγκ) οριζόντια ή κατακόρυφα [σχ. 4.3ε(β)].**

**γ) Μηχανήματα κοπής οδοντώσεων (γραναζοκόπτες):**

- Παραλλήλων οδοντοτροχών με ίσια ή ελικοειδή δόντια με τη μέθοδο Φέλλοσους (Fellows: το κοπτικό εργαλείο είναι οδοντοτροχός που παλινδρομεί ευθύγραμμα) ή με τη μέθοδο Σάντερλαντ (Sunderland: το κοπτικό εργαλείο είναι οδοντώτος κανόνας που κάνει ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση).
- Κωνικών οδοντοτροχών με ίσια δόντια.

**δ) Μηχανήματα αποκοπής:**

- Παλινδρομικά πριόνια.

## Γ. Κατάταξη ως προς το βαθμό εξειδικεύσεως.

**1. Εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως.** Ονομάζομε έτσι τις εργαλειομηχανές, που είναι κατασκευασμένες για να εκτελούν ποικιλία από εργασίες της κατηγορίας τους σε ποικιλία από κομμάτια. Ένας συνήθης μηχανουργικός τόρνος είναι τυπική περίπτωση μιας εργαλειομηχανής γενικής χρήσεως. Μπορούμε σ' αυτόν να κατεργασθούμε εξωτερικές και εσωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες, κωνικές επιφάνειες, να κόψουμε σπείρωμα κ.ά.

Χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή κατά μονάδα [παράγρ. 1.1.4(A)] και κατά μικρές παρτίδες<sup>1</sup> επίσης και για επισκευαστικές εργασίες.

**2. Ειδικές εργαλειομηχανές ή εργαλειομηχανές ειδικής χρήσεως.** Ειδικές ονομάζομε τις εργαλειομηχανές, που είναι κατασκευασμένες για να εκτελούν αποκλειστικά και μόνο μια καθορισμένη εργασία. Ένας γραναζοκόπτης, ένα λειαντικό μηχάνημα οδοντώσεων ή ένας τόρνος για την τόρνευση εδράνων σε μία μηχανή εσωτερικής καύσεως είναι τυπικά παραδείγματα ειδικών εργαλειομηχανών.

**3. Αυστηρά εξειδικευμένες εργαλειομηχανές.** Χαρακτηρίζονται έτοι οι εργαλειομηχανές που είναι μελετημένες μόνο για την εκτέλεση ορισμένης φάσεως κατεργασίας σε ορισμένο κομμάτι.

Οι ειδικές και οι αυστηρά εξειδικευμένες εργαλειομηχανές βρίσκουν εφαρμογή στην παραγωγή κατά παρτίδες μεγάλου μεγέθους και στη μαζική παραγωγή.

**4. Εργαλειομηχανές μεταφοράς** [παράγρ. 1.1.4(γ)]. Είναι συγκροτήματα εργαλειομηχανών, όπου το ακατέργαστο κομμάτι [π.χ. το σώμα μιας μηχανής εσωτερικής καύσεως ή ένας μισού έτοιμος (μετά από την καμίνευσή του) διωστήρας] μεταφέρομενο, κατεργαζόμενο και ελεγχόμενο (όπου απαιτείται έλεγχος) από εργαλειομηχανή σε εργαλειομηχανή λαμβάνεται τελικά έτοιμο. Τέτοια συγκροτήματα εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται στή ροϊκή παραγωγή.

#### **Δ. Κατάταξη ανάλογα με την ακρίβεια κατεργασίας.**

- 1. Εργαλειομηχανές συνήθους ακρίβειας.**
- 2. Εργαλειομηχανές ακρίβειας.**
- 3. Εργαλειομηχανές μεγάλης ακρίβειας και**
- 4. Εργαλειομηχανές μήσης ακρίβειας,** στις οποίες κατασκευάζονται κομμάτια για τις εργαλειομηχανές (2) και (3).

#### **Ε. Κατάταξη ανάλογα με τη μορφή των κατεργασμένων επιφανειών.**

- 1. Εργαλειομηχανές κατεργασίας επιπέδων επιφανειών,** όπως π.χ. οι πλάνες, οι φραιζομηχανές, τα λειαντικά μηχανήματα επιπέδων επιφανειών κ.ά.
- 2. Εργαλειομηχανές κατεργασίας κυλινδρικών επιφανειών,** όπως είναι οι τόρνοι, τα δράπανα, τα λειαντικά μηχανήματα κυλινδρικών επιφανειών κλπ.
- 3. Εργαλειομηχανές κατεργασίας επιφανειών με ειδική μορφή.** Σ' αυτές ανήκουν οι γρανάζοκόπτες, η φραιζομηχανή αντιγραφής, τα λειαντικά μηχανήματα οδοντώσεων κ.ά.

#### **ΣΤ. Κατάταξη ως προς το βάρος.**

Με βάση το κριτήριο αυτό διακρίνομε τις εργαλειομηχανές σε **ελαφρές** (συνήθως με βάρος μέχρι ένα τόννο), σε **βαριές** (με βάρος άνω των 10 τόννων) και σε εργαλειομηχανές **μέσου βάρους** (με βάρος άνω του ενός τόννου και μέχρι 10 τόννων).

#### **Ζ. Κατάταξη ως προς το βαθμό αυτοματισμού.**

Εδώ διακρίνομε τις εργαλειομηχανές σε **κοντές, ημιαυτόματες και αυτόματες.** **Ημιαυτόματη** ονομάζομε την εργαλειομηχανή εκείνη, στην οποία οι απαιτούμενες κινήσεις (πρωτεύουσες και κινήσεις προώσεως, όπως και οποιεσδήποτε άλλες βιοηθητικές κινήσεις) για την κατεργασία ενός κομματιού γίνονται αυτομάτως. Στο τέλος της κατεργασίας του κομματιού η εργαλειομηχανή σταματά αυτομάτως και για να επαναληφθεί η κατεργασία άλλου όμοιου κομματιού, θα πρέπει να αποσυρθεί από την εργαλειομηχανή το έτοιμο κομμάτι, να τοποθετηθεί το ακατέργαστο και να ξεκινήσει εκ νέου η εργαλειομηχανή.

Στην αυτόματη εργαλειομηχανή, εκτός από τις αυτόματες κινήσεις που χαρακτηρίζουν την ημιαυτόματη εργαλειομηχανή, επί πλέον και η αφαίρεση του έτοιμου κομματιού και η τοποθέτηση του ακατέργαστου γίνονται επίσης αυτομάτως.

#### 4.6 Ερωτήσεις,

1. Να αναφέρετε τις βασικές κατεργασίες και μεθόδους μορφοποιήσεως μεταλλικών προϊόντων.
2. Ποιες είναι οι ουσιώδεις διαφορές ανάμεσα στις κατεργασίες κοπής και στις κατεργασίες διαμορφώσεων των μετάλλων;
3. Να δώσετε την εξήγηση σε τρεις, κατά την εκλογή σας, από τους ακόλουθους όρους:  
*Πρωτεύουσα μήνηση μιας κατεργασίας κοπής, μήνηση προώσεως, ταχύτητα κοπής, ταχύτητα προώσεως, πρόβαση.*
4. Τι εννοούμε όταν λέμε **συνθήκες κατεργασίας** (ή κοπής);
5. Να περιγράψετε συνοπτικά με τη βοήθεια του απαραίτητου σχεδιαγράμματος τις εξής κατεργασίες:
  - α) Διαμήκης τόρνευση και β) τρυπάνισμα.
6. Ομοίως να περιγράψετε, όπως στην ερώτηση 5: α) Το μετωπικό φραιζάρισμα και β) το πλάνισμα σε τραπεζοπλάνη.
7. Να κάμετε το ίδιο, όπως στο (5) και για τη λείανση εξωτερικών κυλινδρικών επιφανειών.
8. Ποιες ανάγκες της πράξεως οδήγησαν στην ανάπτυξη των μη συμβατικών μεθόδων αφαιρέσεως μετάλλου;
9. Να περιγράψετε σύντομα την αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα δίνοντας συγχρόνως και απλό διάγραμμά της.
10. Να αναφέρετε δύο κατεργασίες, με τις οποίες κατεργαζόμαστε επίπεδες επιφάνειες και άλλες δύο, με τις οποίες μορφοποιούμε κυλινδρικές (εξωτερικές ή εσωτερικές) επιφάνειες.
11. Ποιο εργαλείο χαρακτηρίζει μιας κύριας κώνους και ποιο ως εργαλείο πολλών κυρίων κώνων; Να δώσετε παραδείγματα αντιστοίχων τέτοιων εργαλείων.
12. Πώς ομαδοποιούνται οι εργαλειομηχανές κοπής με βάση το είδος της κάθε κατεργασίας, που εκτελείται σ' αυτές;
13. Ποια εργαλειομηχανή ονομάζεις **γενικής χρήσεως** και ποια **ειδική;** Να δώσετε παραδείγματα εργαλειομηχανών γενικής χρήσεως και ειδικών εργαλειομηχανών.
14. Ποια εργαλειομηχανή καλούμε ημιαυτόματη και ποια αυτόματη;
15. Σε ποιες εργαλειομηχανές εκτελούνται οι κατεργασίες που θα δώσετε ως απάντηση στην ερώτηση (10).
16. Να δώσετε δύο κατεργασίες σπειροτομήσεως, όποιες θέλετε, όπως και δύο μεθόδους κοπής οδοντώσεων.
17. Σε ποιες εργαλειομηχανές θα κάμετε αντίστοιχα τις κατεργασίες, που θα δώσετε ως απάντηση στην προηγούμενη ερώτηση (16);
18. Μια εργαλειομηχανή ζυγίζει 15 τόννους. Ανήκει στις ελαφριές, στις βαριές ή στις μέσου βάρους εργαλειομηχανές;
19. Σε ποιες κατηγορίες διακρίνομε τις εργαλειομηχανές κοπής με κριτήριο την ακρίβεια κατεργασίας, που μιας δίνουν;
20. Συγκρίνοντας ένα κοπτικό εργαλείο τορνεύσεως και ένα λειαντικό τροχό (και αυτός, όπως γνωρίζουμε, είναι κοπτικό εργαλείο), ποιες σημαντικές διαφορές μεταξύ τους βρίσκετε;
21. Να δώσετε παραδείγματα τριών εργαλειομηχανών με περιστροφική την πρωτεύουσα κίνηση και μιας άλλης με ευθύγραμμη την πρωτεύουσα κίνηση.

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ

Μοίρες	Η μίτονο							
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490	88
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	0,05234	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976	86
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187	83
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	0,13917	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791	78
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564	74
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237	73
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40142	0,40408	0,40674	66
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399	63
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947	62
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992	58
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279	50
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	0,65606	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466	46
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711	45

Μοίρες

Συνημίτονο

## Συνημίτονο

Molpes	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	0,99985	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	0,99939	88
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	0,99863	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	0,99756	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	0,99619	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	0,99452	84
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	0,99255	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	0,99027	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814	0,98769	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	0,98481	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218	0,98163	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	0,97815	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	0,97437	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	0,97030	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	0,96593	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206	0,96126	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	0,95630	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	0,95106	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646	0,94552	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068	0,93969	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	0,93358	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	0,92718	68
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	0,92050	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472	0,91355	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	0,90631	65
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	0,89879	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	0,89101	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	0,88295	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	0,87462	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748	0,86603	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866	0,85717	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	0,84805	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	0,83867	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066	0,82904	56
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082	0,81915	55
35	0,81915	0,81748	0,81586	0,81412	0,81242	0,81072	0,80902	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	0,79864	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	0,78801	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	0,77715	51
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76791	0,76604	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661	0,75471	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	0,74314	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333	0,73135	47
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0,72337	0,72136	0,71934	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916	0,70711	45
	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	Molpes
								H μιτόνο

Μοίρες	Εφαπτομένη							
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	0,05241	87
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	0,06993	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	0,14054	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	0,21256	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795	75
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631	65
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48095	0,48414	0,48773	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49898	0,50292	0,50587	0,50953	63
27	0,50953	0,51320	0,51688	0,52087	0,52427	0,52798	0,53171	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	0,64941	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	0,75355	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910	50
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252	47
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000	45
	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	
	Συνεφαπτομένη							
								Μοίρες

## Συνεφαπτομένη

Μοίρες

0° 10° 20° 30° 40° 50° 60°

0	∞	343,77371	171,88540	114,58865	85,93979	68,75009	57,28996	89
1	57 28996	49,10388	42,96408	38,18846	34,36777	31,24158	28,63625	88
2	28,63625	26,43160	24,54176	22,90377	21,47040	20,20555	19,08114	87
3	19,08114	18,07498	17,16934	16,34986	15,60478	14,92442	14,30067	86
4	14,30067	13,72674	13,19688	12,70621	12,25051	11,82617	11,43005	85
5	11,43005	11,05943	10,71191	10,38540	10,07803	9,78817	9,51436	84
6	9,51436	9,25530	9,00983	8,77689	8,55555	8,34496	8,14435	83
7	8,14435	7,95302	7,77035	7,59575	7,42871	7,26873	7,11537	82
8	7,11537	6,96823	6,82694	6,69116	6,56055	6,43484	6,31375	81
9	6,31375	6,19703	6,08444	5,97576	5,87080	5,76937	5,67128	80
10	5,67128	5,57638	5,48451	5,39552	5,30928	5,22566	5,14455	79
11	5,14455	5,06584	4,98940	4,91516	4,84300	4,77286	4,70463	78
12	4,70463	4,63825	4,57363	4,51071	4,44942	4,38969	4,33148	77
13	4,33148	4,27471	4,21933	4,16530	4,11256	4,06107	4,01078	76
14	4,01078	3,96165	3,91364	3,86671	3,82083	3,77595	3,73205	75
15	3,73205	3,68909	3,64705	3,60588	3,56557	3,52609	3,48741	74
16	3,48741	3,44951	3,41236	3,37594	3,34023	3,30521	3,27085	73
17	3,27085	3,23714	3,20406	3,17159	3,13972	3,10842	3,07768	72
18	3,07768	3,04749	3,01783	2,98869	2,96004	2,93189	2,90421	71
19	2,90421	2,87700	2,85023	2,82391	2,79802	2,77254	2,74748	70
20	2,74748	2,72281	2,69853	2,67462	2,65109	2,62791	2,60509	69
21	2,60509	2,58261	2,56046	2,53865	2,51715	2,49597	2,47509	68
22	2,47509	2,45451	2,43422	2,41421	2,39449	2,37504	2,35585	67
23	2,35585	2,33693	2,31826	2,29984	2,28167	2,26374	2,24604	66
24	2,24604	2,22857	2,21132	2,19430	2,17749	2,16090	2,14451	65
25	2,14451	2,12832	2,11233	2,09654	2,08094	2,06553	2,05030	64
26	2,05030	2,03526	2,02039	2,00569	1,99116	1,97680	1,96261	63
27	1,96261	1,94858	1,93470	1,92098	1,90741	1,89400	1,88073	62
28	1,88073	1,86760	1,85462	1,84177	1,82906	1,81649	1,80405	61
29	1,80405	1,79174	1,77955	1,76749	1,75556	1,74375	1,73205	60
30	1,73205	1,72047	1,70901	1,69766	1,68643	1,67530	1,66428	59
31	1,66428	1,65337	1,64256	1,63185	1,62125	1,61074	1,60033	58
32	1,60033	1,59002	1,57981	1,56969	1,55966	1,54972	1,53987	57
33	1,53987	1,53010	1,52043	1,51084	1,50133	1,49190	1,48256	56
34	1,48256	1,47330	1,46411	1,45501	1,44598	1,43703	1,42815	55
35	1,42815	1,41934	1,41061	1,40195	1,39336	1,38484	1,37638	54
36	1,37638	1,36800	1,35968	1,35142	1,34323	1,33511	1,32704	53
37	1,32704	1,31904	1,31110	1,30323	1,29541	1,28764	1,27994	52
38	1,27994	1,27230	1,26471	1,25717	1,24969	1,24227	1,23490	51
39	1,23490	1,22758	1,22031	1,21310	1,20593	1,19882	1,19175	50
40	1,19175	1,18474	1,17777	1,17085	1,16398	1,15715	1,15037	49
41	1,15037	1,14363	1,13694	1,13029	1,12369	1,11713	1,11061	48
42	1,11061	1,10414	1,09770	1,09131	1,08496	1,07864	1,07237	47
43	1,07237	1,06613	1,05994	1,05378	1,04766	1,04158	1,03553	46
44	1,03553	1,02952	1,02355	1,01761	1,01170	1,00583	1,00000	45

60° 50° 40° 30° 20° 10° 0° Μοίρες

Εφαπτομένη

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

#### ΤΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

#### ΤΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟ

1.1	Περιγραφή, οργάνωση και λειτουργία του μηχανούργειου .....	1
1.1.1	Πώς συγκροτείται το μηχανούργειο .....	1
1.1.2	Ποιος είναι ο εξοπλισμός του μηχανούργειου .....	4
1.1.3	Χωροταξική διάταξη του μηχανούργειου και διακίνηση των υλικών (μεταφορές) .....	5
1.1.4	Η εργασία στο μηχανούργειο .....	15
1.1.5	Ερωτήσεις .....	17
1.2	Ασφάλεια κατά την εργασία στο μηχανούργειο .....	18
1.2.1	Γενικά .....	18
1.2.2	Τα προστατευτικά μέτρα ή μέσα απόντων στα ατυχήματα .....	18
1.2.3	Ερωτήσεις .....	21

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

#### ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

2.1	Γενικά .....	23
2.2	Σύντομη επανάληψη της ύλης για τη μέτρηση διαστάσεων, που διδάχθηκε στο Μ.Ε. – Ερωτήσεις. Ασκήσεις .....	24
2.2.1	Επανάληψη της ύλης .....	24
2.2.2	Ερωτήσεις – Ασκήσεις .....	28
2.3	Πρότυπα μετρήσεως μηκών .....	30
2.3.1	Οι δάγκωρες στάθμες ή βαθμοί ακρίβειας .....	30
2.3.2	Πρωτότυπα για τη μέτρηση μηκών .....	31
2.3.3	Πρότυπα βιομηχανικά μήκη .....	33
2.3.4	Ερωτήσεις και ασκήσεις .....	47
2.4	Όργανα συγκρίσεως μηκών ή συγκριτικές μηκών .....	48
2.4.1	Γενικά .....	48
2.4.2	Το μετρητικό ρολόι .....	48
2.4.3	Ο επιτραπέδιος συγκριτικός μηκών .....	55
2.4.4	Ο τηλεκτρικός συγκριτικός μηκών .....	56
2.4.5	Ερωτήσεις .....	56
2.5	Όργανα για τον έλεγχο και τη μέτρηση γωνιών .....	56
2.5.1	Μονάδες μετρήσεως γωνιών .....	56
2.5.2	Έλεγχος γωνιών και συναφή όργανα έλεγχου .....	58
2.5.3	Μέτρηση γωνιών και συναφή όργανα μετρήσεως .....	63
2.5.4	Τριγωνομετρικός έλεγχος και μέτρηση γωνιών .....	68

2.5.5 Ερωτήσεις και ασκήσεις .....	73
2.6 Συναρμογές και ανοχές συναρμογών .....	74
2.6.1 Γενικά, βασικές έννοιες και ορισμοί .....	74
2.6.2 Ομαδοποίηση των συναρμογών με κριτήριο την κατηγορία τους .....	82
2.6.3 Το διεθνές σύστημα συναρμογών και ανοχών ISO .....	87
2.6.4 Σύνθετες ανοχές .....	94
2.6.5 Ερωτήσεις και ασκήσεις .....	98
2.7 Ελεγκτήρες και εφαρμογές τους .....	100
2.7.1 Γενικά .....	100
2.7.2 Ελεγκτήρες ορίου ή ελεγκτήρες μέγιστου-ελάχιστου .....	103
2.7.3 Μερικοί χρήσιμοι απλοί ειδικοί ελεγκτήρες .....	105
2.7.4 Ερωτήσεις .....	108
2.8 Ελεγχος και μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας .....	109
2.8.1 Γενικά .....	109
2.8.2 Προτυποποίηση της τραχύτητας επιφάνειας .....	112
2.8.3 Όργανα για τη μέτρηση και τον ελεγχο της τραχύτητας .....	120
2.8.4 Ερωτήσεις .....	124
2.9 Ελεγχος οριζοντιότητας, κατακορυφότητας, επιπεδότητας και καθετότητας επιφανειών .....	125
2.9.1 Ελεγχος οριζοντιότητας και κατακορυφότητας .....	125
2.9.2 Ελεγχος της επιπεδότητας και καθετότητας .....	129
2.9.3 Ερωτήσεις .....	131

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

3.1 Εισαγωγή. Η ύλη από τα μεταλλικά μηχανουργικά υλικά, που διδάχθηκε στο Μ.Ε. ....	133
3.1.1 Γενικά .....	133
3.1.2 Σύντομη επανάληψη της ύλης .....	134
3.1.3 Ερωτήσεις και ασκήσεις επάνω στην ύλη του δεύτερου Κεφαλαίου του Μ.Ε. ....	136
3.2 Η παρασκευή του χυτοσίδηρου και του χάλυβα .....	137
3.2.1 Πώς παρασκευάζεται ο πρωτογενής χυτοσίδηρος .....	137
3.2.2 Πώς παρασκευάζομε το χάλυβα .....	138
3.2.3 Ερωτήσεις .....	142
3.3 Οι χάλυβες .....	142
3.3.1 Γενικά .....	142
3.3.2 Η κρυσταλλική δομή των ανθρακούχων χαλύβων .....	143
3.3.3 Τα χαλυβοκράματα .....	148
3.3.4 Οι ακαθαρσίες των χαλύβων .....	152
3.3.5 Ερωτήσεις .....	154
3.4 Θερμικές κατεργασίες των χαλύβων .....	155
3.4.1 Γενικά .....	155
3.4.2 Η επίδραση της ταχύτητας αποψύξεως .....	156
3.4.3 Θερμικές κατεργασίες των ανθρακούχων χαλύβων .....	157
3.4.4 Θερμικές κατεργασίες των χαλυβοκραμάτων .....	166
3.4.5 Ερωτήσεις .....	167
3.5 Βιομηχανικές εφαρμογές των χαλύβων .....	168
3.5.1 Προτυποποίηση των χαλύβων .....	168
3.5.2 Χάλυβες κατασκευών .....	170
3.5.3 Χάλυβες εργαλείων .....	172
3.5.4 Ερωτήσεις .....	176
3.6 Χυτοσίδηρος .....	177
3.6.1 Γενικά .....	177

3.6.2 Λευκός και φαιός χυτοσίδηρος .....	178
3.6.3 Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος .....	179
3.6.4 Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη .....	180
3.6.5 Ειδικοί χυτοσίδηροι .....	181
3.6.6 Ερωτήσεις .....	181
3.7 Μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα .....	182
3.7.1 Ο χαλκός και τα κράματά του .....	182
3.7.2 Το αργύριο και τα κράματά του .....	184
3.7.3 Ο ψευδάργυρος και τα κράματά του .....	187
3.7.4 Ο μόλυβδος και τα κράματά του .....	187
3.7.5 Το νικέλιο και τα κράματά του .....	188
3.7.6 Αντιτριβικά κράματα ή κράματα για έδρανα ολισθήσεως .....	188
3.7.7 Ερωτήσεις .....	189
3.8 Μηχανουργικά υλικά κονιομεταλλουργίας .....	190
3.8.1 Γενικά .....	190
3.8.2 Οι φάσεις της κονιομεταλλουργίας .....	192
3.8.3 Ερωτήσεις .....	194
3.9 Τα πλαστικά στις μηχανουργικές κατασκευές .....	194
3.9.1 Γενικά .....	194
3.9.2 Η δομή των πλαστικών .....	195
3.9.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες των πλαστικών .....	196
3.9.4 Ταξινόμηση των πλαστικών .....	197
3.9.5 Μορφοποίηση των πλαστικών .....	198
3.9.6 Εφαρμογές των πλαστικών .....	204
3.9.7 Ερωτήσεις .....	208

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΚΟΠΗΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΚΟΠΗΣ

4.1 Πώς κατατάσσονται οι κατεργασίες κοπής .....	209
4.2 Γενικά για την κινηματική των κατεργασιών κοπής. Συνθήκες κατεργασίας ή κοπής .....	212
4.3 Οι κυριότερες κατεργασίες κοπής .....	214
4.4 Δύο από τις κυριότερες μη συμβατικές κατεργασίες αφαίρεσεως μετάλλου .....	228
4.4.1 Αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα .....	228
4.4.2 Ηλεκτροχημική αφαίρεση μετάλλου .....	228
4.5 Κατάταξη των εργαλειομηχανών κοπής .....	229
4.6 Ερωτήσεις .....	233
Πίνακες τριγωνομετρικών αριθμών .....	234