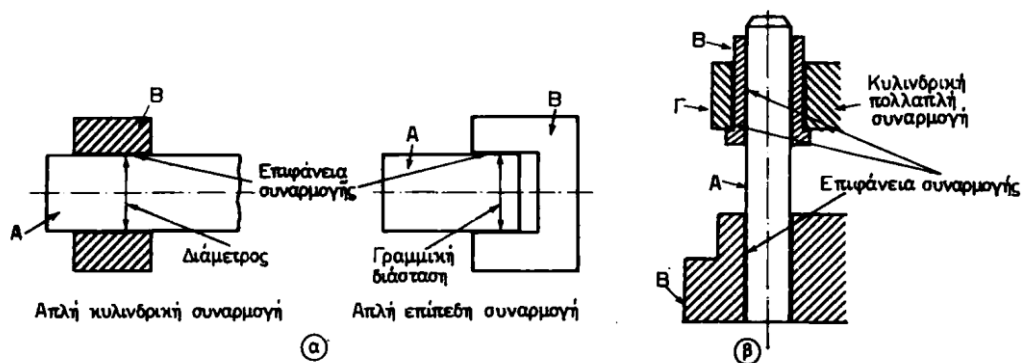


# ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΟΧΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΩΝ

## 1.1 Γενικά, βασικές έννοιες και ορισμοί.

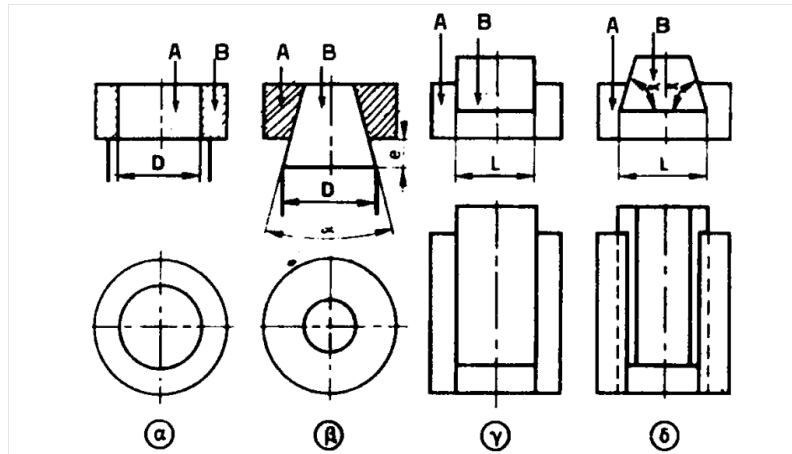
### A. Η συναρμώγηση.

Λέγοντας συναρμώγηση εννοούμε ένα συγκρότημα, που το απαρτίζουν συνήθως δύο κομμάτια (ή μέλη της συναρμώγησης) το **A** και το **B** του σχήματος 1.1.a (α) ή σπανιότερα και περισσότερα από δύο, [σχ. 1.1.a(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.



Σχήμα 1.1.α

**Δύο κομμάτια A και B ή A και B' ή και περισσότερα A,B,Γ, όταν συνεργάζονται αποτελούν μία συναρμώγηση**



**Σχήμα 1.1.β**

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

Τα μέλη μιας συναρμογής μπορούν να έχουν διάφορες μορφές κυλινδρική, κωνική, πρισματική ή άλλη (σχ. 1.1.β). 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 επιφάνειες συναρμογής (συναρμόζονται τρία ή περισσότερα κομμάτια), μιλούμε για **πολλαπλή συναρμογή** [σχ. 1.1.α(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 **τρήμα (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 συναρμογής θα πρέπει απαραίτητα να έχουν την ίδια ονομαστική διάσταση [παράγρ. 1.1(Δ)].

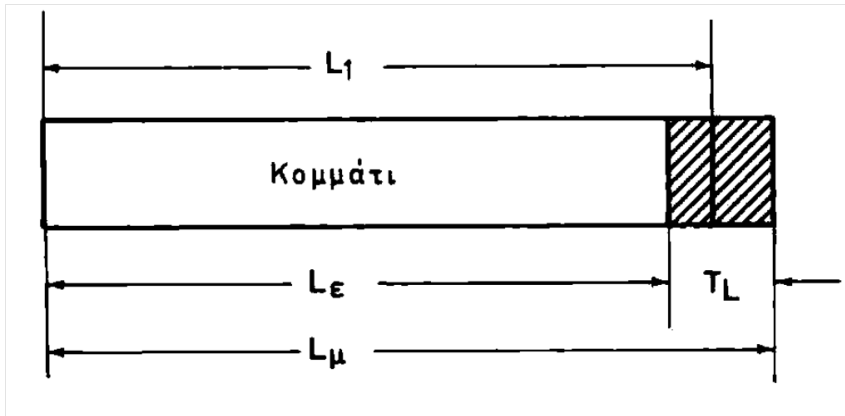
## **B. Η ανάγκη για τον καθορισμό ανοχών.**

Στη σύγχρονη μηχανουργική βιομηχανία πολλά προϊόντα κατασκευάζονται με μαζική παραγωγή 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 από διαφορετικούς τεχνίτες σε ξεχωριστές εργαλειομηχανές ή σε άλλα μέσα μορφοποίησης. Η συναρμολόγηση των κομματιών γίνεται σε ιδιαίτερη φάση (ή φάσεις).

Για να καλυφθούν όμως οι ανάγκες συναρμολόγησης 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: Κομμάτια **A**, κατασκευασμένα σε διάφορες εργαλειομηχανές από διάφορους τεχνίτες σε διάφορους τόπους και χρόνους, να μπορούν να **συναρμολογηθούν** με τα αντίστοιχά τους κομμάτια **B**, (κατασκευασμένα και αυτά όπως και τα κομμάτια **A**) με εξασφαλισμένη επιτυχία λειτουργίας των ποικίλων συναρμογών τους, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε επιπρόσθετη κατεργασία των κομματιών. Αυτό αποτελεί ότι ονομάζουμε **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 πετύχουμε πρακτικά γιατί, όπως είναι γνωστό από τη μηχανουργική πρακτική, είναι αδύνατο όλα τα κομμάτια να κατασκευασθούν απaráλλακτα 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**, (σχ. 1.1γ), αν συγκριθεί με την αντίστοιχη ονομαστική διάσταση **L** του μηχανολογικού σχεδίου, θα παρουσιάζει κάποιο σφάλμα **L-L<sub>1</sub>**.

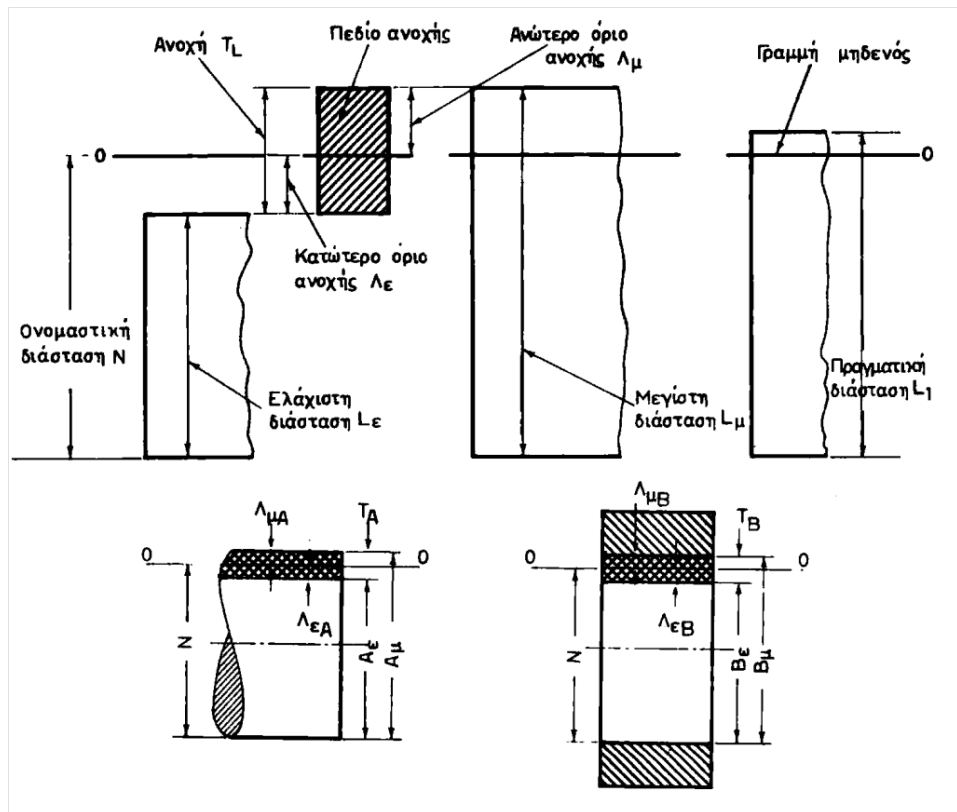


**Σχήμα 1.1.γ**

**Στοιχεία για τον ορισμό της ανοχής μιας διάστασης  $L_1$**

Το σφάλμα αυτό, για να μην χαρακτηριστεί το κομμάτι **σκάρτο**, θα πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα σε 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. 1.1γ), δηλαδή:

$$T_L = L_\mu - L_\epsilon \quad (1.1)$$



Σχ.1.1δ

### Χαρακτηριστικά στοιχεία για τις συναρμογές και τις ανοχές.

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

α) **Το βρετανικό 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.

β) **Το γερμανικό σύστημα DIN.** Το σύστημα αυτό, πριν να εμφανισθεί το διεθνές σύστημα ανοχών ISO, χρησιμοποιούνταν ευρέως στην Ευρώπη. Σήμερα χρησιμοποιείται σε πολύ περιορισμένη έκταση, γιατί παρουσιάζει 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. Γι' αυτό χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες όλου του

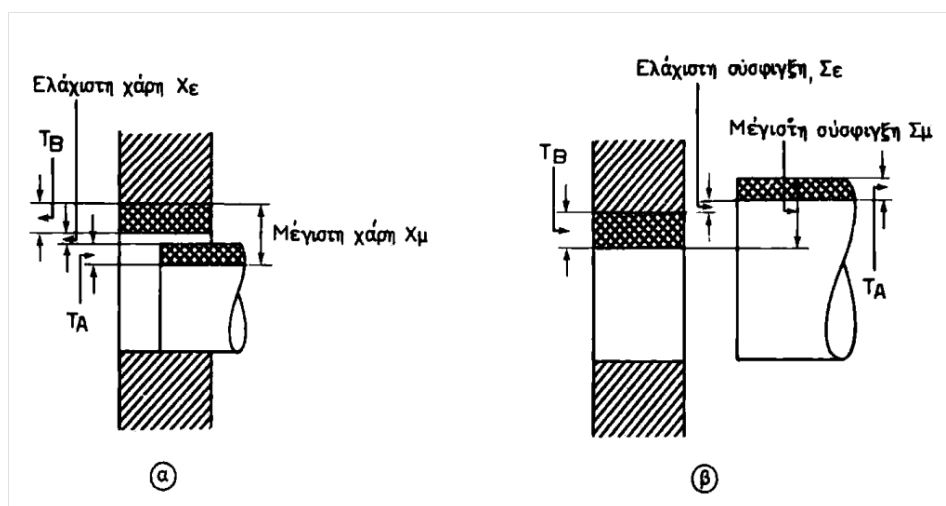
κόσμου. Αποτελεί συμπλήρωση του προπολεμικού συστήματος ανοχών και συναρμογών ISA (International Federation of the National Standardizing Associations) του 1932.

**Δ. Μερικές έννοιες και ορισμοί (σχ. 1.1.δ, 1.1.ε).**

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

β) **Πραγματική διάσταση.** Είναι η διάσταση **L<sub>1</sub>** του κομματιού, την οποία επιτυγχάνουμε με την κατεργασία.

γ) **Οριακές τιμές της διάστασης ή οριακές διαστάσεις** ονομάζουμε τη μέγιστη **A<sub>μ</sub>** και την ελάχιστη **A<sub>ε</sub>** του άξονα ή τη μέγιστη **B<sub>μ</sub>** και την ελάχιστη **B<sub>ε</sub>** του τρήματος. Οι πραγματικές διαστάσεις των κομματιών (των αξόνων ή των τρημάτων) θα πρέπει να κυμαίνονται ανάμεσα στις δύο αυτές οριακές τιμές, για να καλύπτονται έτσι οι τιθέμενες ανοχές κατασκευής και συνεπώς τα κομμάτια να είναι εναλλάξιμα και μη σκάρτα. Παρόμοιες οριακές τιμές διαστάσεων θα έχουμε και στις περιπτώσεις μη κυλινδρικών συναρμογών και μεμονωμένων κομματιών.



**Σχ.1.1.ε**

**Η χάρη και η σύσφιγξη στις συναρμογές.**

δ) **Ανοχή** [παράγρ. 1.1(B), σχέση (1.1)] **άξονα  $T_A$  ή ανοχή τμήματος  $T_B$**  είναι το μέγιστο ανεκτό σφάλμα στη διάσταση του άξονα ή του τμήματος και σύμφωνα με τη σχέση (1.1) θα είναι:

$$T_A = A_{\mu} - A_{\epsilon} \text{ και } T_B = B_{\mu} - B_{\epsilon} \quad (1.2)$$

ε) **Ανοχή συναρμογής  $T$**  ονομάζουμε το άθροισμα των ανοχών άξονα και τμήματος, δηλαδή:

$$T = T_A + T_B \quad (1.3)$$

στ) **Πεδίο ανοχής** ονομάζουμε 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  $L_{\epsilon}$**  και από **το ανώτερο όριο ανοχής  $L_{\mu}$** . Για ευκολία μας, στη γραφική παράσταση των ανοχών ταυτίζουμε 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  **$L_{\epsilon}$**  και  **$L_{\mu}$** . Με την εισαγωγή των ορίων ανοχής  **$L_{\epsilon}$**  και  **$L_{\mu}$** , οι ανοχές του άξονα  **$T_A$**  και του τμήματος  **$T_B$**  [σχέση (1.2)] μπορούν να προσδιορισθούν και από τις σχέσεις:

$$T_A = L_{\mu A} - L_{\epsilon A} \text{ και } T_B = L_{\mu B} - L_{\epsilon B} \quad (1.4)$$

όπου οι δείκτες **A** και **B** αναφέρονται στον άξονα και στο τμήμα 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. 1.1.ε(α)] ονομάζουμε τη διαφορά των πραγματικών διαστάσεων του άξονα από το τμήμα, εφ' όσον βέβαια το τμήμα έχει μεγαλύτερη διάσταση από τον άξονα.

Έτσι **η ελάχιστη χάρη** θα είναι:

$$X_{\varepsilon} = B_{\varepsilon} - A_{\mu} \quad \text{ή} \quad X_{\varepsilon} = \Lambda_{\varepsilon B} - \Lambda_{\mu A} \quad (1.5)$$

**Η μέγιστη χάρη:**

$$X_{\mu} = B_{\mu} - A_{\varepsilon} \quad \text{ή} \quad X_{\mu} = \Lambda_{\mu B} - \Lambda_{\varepsilon A} \quad (1.6)$$

**Η μέση χάρη:**

$$X_M = \frac{X_{\mu} + X_{\varepsilon}}{2} \quad (1.7)$$

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

$$T = T_A + T_B = X_{\mu} - X_{\varepsilon} \quad (1.8)$$

θ) **Σύσφιγξη Σ** [σχ. 1.1.ε(β)] καλούμε τη διαφορά των πραγματικών διαστάσεων του τμήματος από τον άξονα, προφανώς θα υπάρχει σύσφιγξη όταν η διάσταση του άξονα είναι μεγαλύτερη από εκείνη του τμήματος. Η σύσφιγξη είναι αρνητική χάρη, όπως και η χάρη είναι αρνητική σύσφιγξη. Όπως και για τη χάρη, έτσι και για τη σύσφιγξη, μπορούμε να ορίσουμε τις ακόλουθες χαρακτηριστικές τιμές:

Έτσι **η ελάχιστη σύσφιγξη** θα είναι:

$$\Sigma_{\varepsilon} = A_{\varepsilon} - B_{\mu} \quad \text{ή} \quad \Sigma_{\varepsilon} = \Lambda_{\varepsilon A} - \Lambda_{\mu B} \quad \text{ή} \quad \Sigma_{\varepsilon} = -X_{\mu} \quad (1.9)$$

**Μέγιστη σύσφιγξη:**

$$\Sigma_{\mu} = A_{\mu} - B_{\varepsilon} \quad \text{ή} \quad \Sigma_{\mu} = \Lambda_{\mu A} - \Lambda_{\varepsilon B} \quad \text{ή} \quad \Sigma_{\mu} = -X_{\varepsilon} \quad (1.10)$$

**Μέση σύσφιγξη:**

$$\Sigma_M = \frac{\Sigma_{\mu} + \Sigma_{\varepsilon}}{2} \quad (1.11)$$

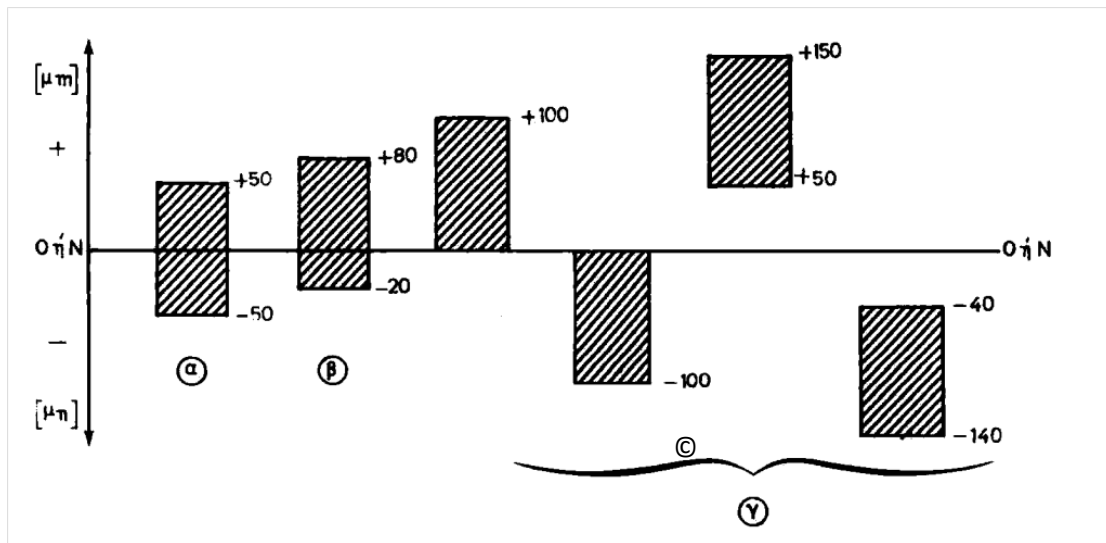
**Η ανοχή της συναρμογής** προσδιορίζεται ως:



$$T = T_A + T_B = \Sigma \mu - \Sigma \varepsilon \quad (1.12)$$

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) διακρίνουμε **το συμμετρικό σύστημα ανοχών** [σχ. 1.1.στ(α)], **το ασύμμετρο** [σχ. 1.1.στ(β)] και **το μονόπλευρο** [σχ. 1.1.στ(γ)].



Σχ.1.1.στ

**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 σκοπεύουμε κατά την κατεργασία και ρυθμίζουμε ανάλογα την εργαλειομηχανή, παίρνουμε εκείνη, που αντιστοιχεί στο μέσο του πεδίου ανοχών. Για το παράδειγμα, που δώσαμε στο σχήμα 1.1.στ, θα έχουμε τις ακόλουθες διαστάσεις κατεργασίας για τα εικονιζόμενα συστήματα ανοχών:

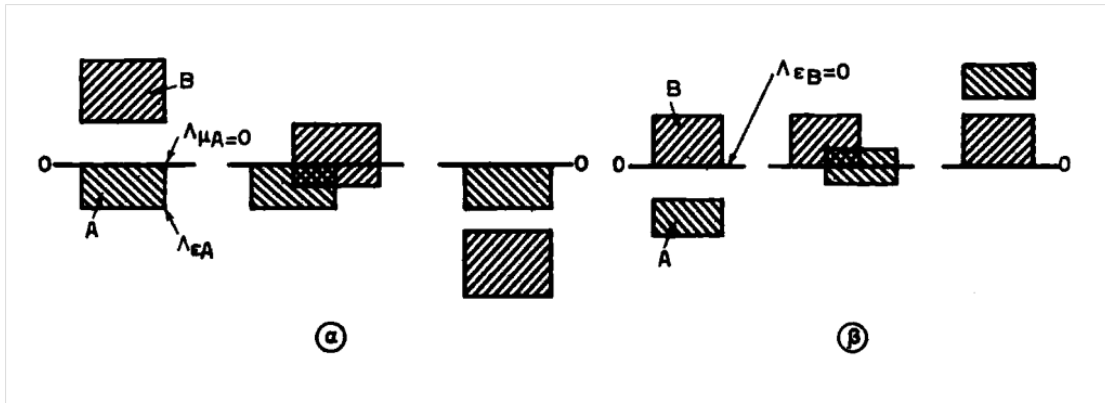
Για το συμμετρικό σύστημα ανοχών  $40_{-50}^{+50}$  η διάσταση κατεργασίας θα είναι 40,000 mm, για τα ασύμμετρο σύστημα  $40_{-20}^{+80}$  προκύπτει διάσταση κατεργασίας 40,030mm και για τα παραδείγματα του μονόπλευρου συστήματος  $40_0^{+100}$ ,  $40_{-100}^0$  και  $40_{-140}^{-40}$  διάσταση κατεργασίας 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 παίρνει το πεδίο ανοχής του κάθε μέλους της συναρμογής σε σχέση με την ονομαστική διάσταση) διακρίνομε τις συναρμογές: σε **ελεύθερες** (σχ. 1.2.α), σε **συναρμογής ολίσθησης** (σχ. 1.2.β), σε συναρμογές αμφίβολης σύσφιγξης (σχ. 1.2.γ) και σε **συναρμογές σύσφιγξης** ή **σφικτές** συναρμογές (σχ. 1.2.δ). Σε κάθε σύστημα συναρμογών προβλέπονται ορισμένες κατηγορίες [στην παράγραφο 1.3(B) δίνουμε 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 τρήματος) 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 1.3(A) δίνουμε τις ποιότητες ανοχών κατά ISO].

**Συναρμογή βασικού άξονα** [σχ. 1.1.ζ(α)] έχουμε, όταν το μέγιστο του άξονα **A<sub>μ</sub>** συμπίπτει με την ονομαστική διάσταση (**A<sub>μ</sub> = N**) ή, πράγμα που είναι το ίδιο, το ανώτερο όριο ανοχής του άξονα ταυτίζεται με τη γραμμή μηδενός (**A<sub>μΑ</sub> = 0**), ενώ το ελάχιστο του άξονα **A<sub>ε</sub>** (ή το κατώτερο όριο ανοχής του **A<sub>εΑ</sub>**) 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 τρήματος.

Στη **συναρμογή βασικού τρήματος** [σχ. 1.1.ζ(β)], το ελάχιστο του τρήματος παραμένει σταθερό και ίσο με την ονομαστική διάσταση (**B<sub>ε</sub> = N**) ή το κατώτερο όριο ανοχής του συμπίπτει με τη γραμμή μηδενός (**A<sub>εΒ</sub> = 0**), ενώ ο χαρακτήρας της συναρμογής καθορίζεται από την επιλογή της κατηγορίας του άξονα.



Σχ.1.1.ζ

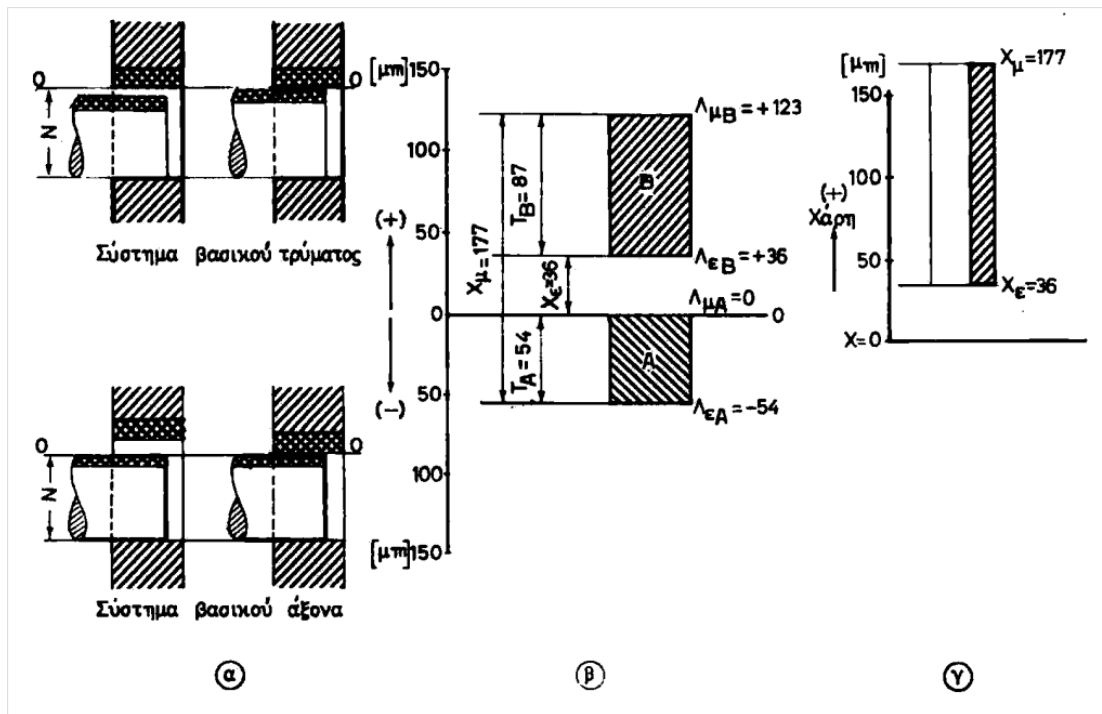
(α) Το σύστημα βασικού άξονα. (β) Το σύστημα βασικού τμήματος

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

### A. Ελεύθερες Συναρμογές.

Ελεύθερη ονομάζεται η συναρμογή εκείνη, στην οποία και ο μέγιστος ακόμα παραδεκτός άξονας (ή το μέγιστο αρσενικό κομμάτι για τις συναρμογές μη κυλινδρικών κομματιών) είναι μικρότερος από το ελάχιστο παραδεκτό τμήμα (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. 1.2.α).

Κάθε συναρμογή μπορούμε να την παραστήσουμε γραφικά έτσι που να αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη, γιατί μας δίνει μία εναργή εικόνα για όλα τα στοιχεία της συναρμογής [1.2.α(β)].



Σχ. 1.2.α

### Ελεύθερες συναρμογές και γραφική παράσταση μιας ελεύθερης συναρμογής

με  $N = 100 \text{ mm}$ .

Για το σκοπό αυτό χαράζουμε τη γραμμή μηδενός 0-0 και σε ένα κάθετο προς αυτή άξονα σημειώνουμε υπό κατάλληλη κλίμακα τις ανοχές σε  $\mu\text{m}$ . 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 άξονα ( $\Lambda_{\mu A}$ ,  $\Lambda_{\epsilon A}$ ) και για το τμήμα ( $\Lambda_{\mu B}$ ,  $\Lambda_{\epsilon A}$ ) ή για το αρσενικό και θηλυκό κομμάτι για συναρμογή μη κυλινδρικών κομματιών επί πλέον και της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης χάρης ή σύσφιγξης.

Χρήσιμο είναι επίσης και το διάγραμμα διακύμανσης της χάρης [σχ. 1.2.α(γ)] ή της σύσφιγξης [σχ. 1.2.β(γ)]. Και εδώ ο οριζόντιος άξονας είναι η γραμμή μηδενός, ενώ στον κατακόρυφο άξονα αναγράφονται με κατάλληλη κλίμακα οι τιμές της χάρης και της σύσφιγξης σε  $\mu\text{m}$ . Οι τιμές της χάρης σημειώνονται επάνω από τη γραμμή μηδενός (θετική φορά του κατακόρυφου άξονα,+), ενώ οι τιμές της σύσφιγξης 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 διακύμανσης χάρης και σύσφιγξης

των σχημάτων 1.2.α, 1.2.γ, 2.6δ), όπως και τα όρια, ανάμεσα στα οποία μεταβάλλεται η χάρη ή σύσφιγξη στη συναρμογή.

### Παράδειγμα.

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

Άξονας  $\Phi 100_{-0,054}^0$  με τρήμα  $\Phi 100_{+0,036}^{+0,123}$  (Η ονομαστική διάσταση της συναρμογής είναι  $N = 100$  mm).

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

Όρια ανοχών άξονα και τρήματος:

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

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

Ανοχές άξονα, τρήματος και συναρμογής:

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

$$T_B = 123 - 36 = 87 \mu\text{m} \text{ [σχέση (1.4)]}$$

$$T = 54 + 87 = 141 \mu\text{m}$$

Οριακές διαστάσεις άξονα και τρήματος:

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

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

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

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

Ελάχιστη, μέγιστη και μέση χάρη:

$$X_{\epsilon} = 36 - 0 = 36 \mu\text{m} \text{ [σχέση (1.5)]}$$

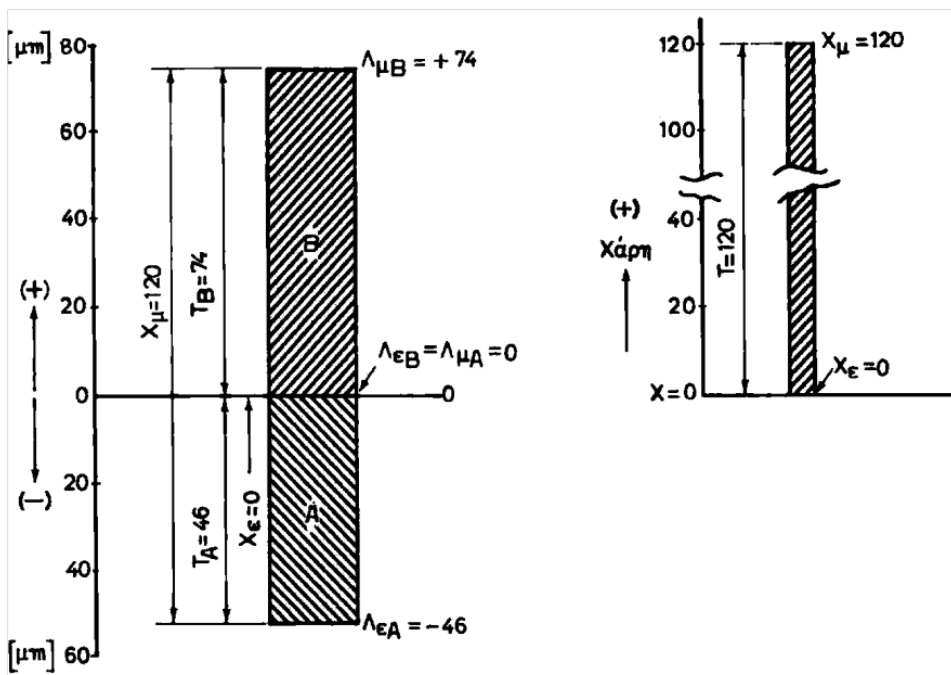
$$X_{\mu} = 123 - (-54) = 177 \mu\text{m} \text{ [σχέση (1.6)]}$$

$$X_M = (36 + 177)/2 = 107 \mu\text{m} \text{ [σχέση (1.7)]}$$

Η γραφική παράσταση και το διάγραμμα διακύμανσης χάρης της συναρμογής αυτής εικονίζονται στο σχήμα 1.2.α.

### Β. Συναρμογές ολίσθησης (σχ. 1.2.β).

Συναρμογή ολίσθησης έχουμε στην περίπτωση, όπου το τμήμα μπορεί να ολισθαίνει 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 τμήμα και ο μέγιστος άξονας θα συμπίπτουν με την ονομαστική διάσταση ( $B_{\epsilon} = A_{\mu} = N$ ) ή το κατώτερο όριο ανοχών του τμήματος και το ανώτερο του άξονα μηδενίζονται ( $\Lambda_{\mu A} = \Lambda_{\epsilon B} = 0$ ).



Σχ.1.2.β

Γραφική παράσταση μιας συναρμογής ολίσθησης με  $N = 70 \text{ mm}$ .

Η συναρμογή: άξονας  $\Phi 70_{-46}^0$ , με τρήμα  $\Phi 70_0^{+74}$  είναι συναρμογή ολίσθησης με ονομαστική διάσταση  $N = 70 \text{ mm}$ .

Τα χαρακτηριστικά της στοιχεία θα είναι τα ακόλουθα:

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

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

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

$$T_A = 46 \mu\text{m}$$

$$T_B = 74 \mu\text{m}$$

$$T = 46 + 74 = 120 \mu\text{m}$$

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

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

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

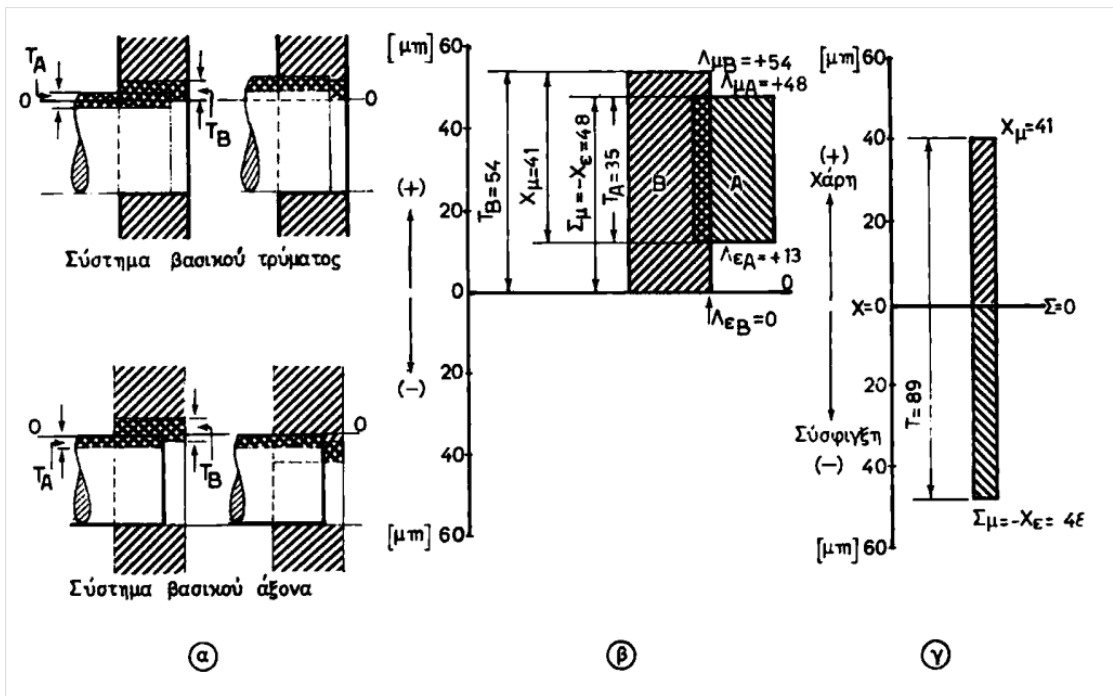
$$X_{\epsilon} = 0, \quad X_{\mu} = 74 - (-46) = 120 \mu\text{m}, \quad X_M = \frac{120 + 0}{2} = 60 \mu\text{m}$$

Η γραφική παράσταση και το διάγραμμα διακύμανσης της χάρης δίνονται στο σχήμα 1.2.β.

### **Γ. Συναρμογές αμφίβολης σύσφιγξης (Σχ.1.2.γ).**

Είναι οι συναρμογές εκείνες, όπου η ελάχιστη χάρη προκύπτει αρνητική (αυτό σημαίνει ότι έχουμε σύσφιγξη), ενώ η μέγιστη χάρη παραμένει θετική. Δηλαδή εδώ υπάρχουν ορισμένα ζεύγη αξόνων-τρημάτων, που δίνουν ελεύθερη συναρμογή, ενώ άλλα δίνουν συναρμογή σύσφιγξης (σχ. 1.2.γ).

Η συναρμογή: άξονας  $\Phi 90_{+13}^{+48}$  με τρήμα  $\Phi 90_0^{54}$  είναι συναρμογή, αμφίβολης σύσφιγξης (βασικού τρήματος με ονομαστική διάσταση  $N = 90 \text{ mm}$ , όπως θα το διαπιστώσουμε στη γραφική της παράσταση και στο διάγραμμα της διακύμανσης της χάρης και σύσφιγξης στο σχήμα(1.2.γ)



Σχ.1.2.γ

Συναρμογές αμφίβολης σύσφιξης και γραφική παράσταση μιας συναρμογής αμφίβολης σύσφιξης με  $N=90\text{mm}$



Για τη συναρμογή αυτή βρίσκουμε:

$$\Lambda_{\mu A} = +48\mu\text{m} \quad \Lambda_{\varepsilon A} = +13\mu\text{m}$$

$$\Lambda_{\mu B} = +54\mu\text{m} \quad \Lambda_{\varepsilon B} = 0$$

$$T_A = 48 - 13 = 35\mu\text{m} \quad T_B = 54\mu\text{m}$$

$$T = 54 + 35 = 89\mu\text{m}$$

$$A_{\mu} = 90,000 + 0,048 = 90,048\text{mm}$$

$$A_{\varepsilon} = 90,000 + 0,013 = 90,013\text{mm}$$

$$B_{\mu} = 90,000 + 0,054 = 90,054\text{mm}$$

$$B_{\varepsilon} = 90,000\text{mm}$$

$$X_{\varepsilon} = 0 - 48 = -48\mu\text{m} \quad \text{ή} \quad \Sigma_{\mu} = 48\mu\text{m} \quad (\text{σχέση 1.10})$$

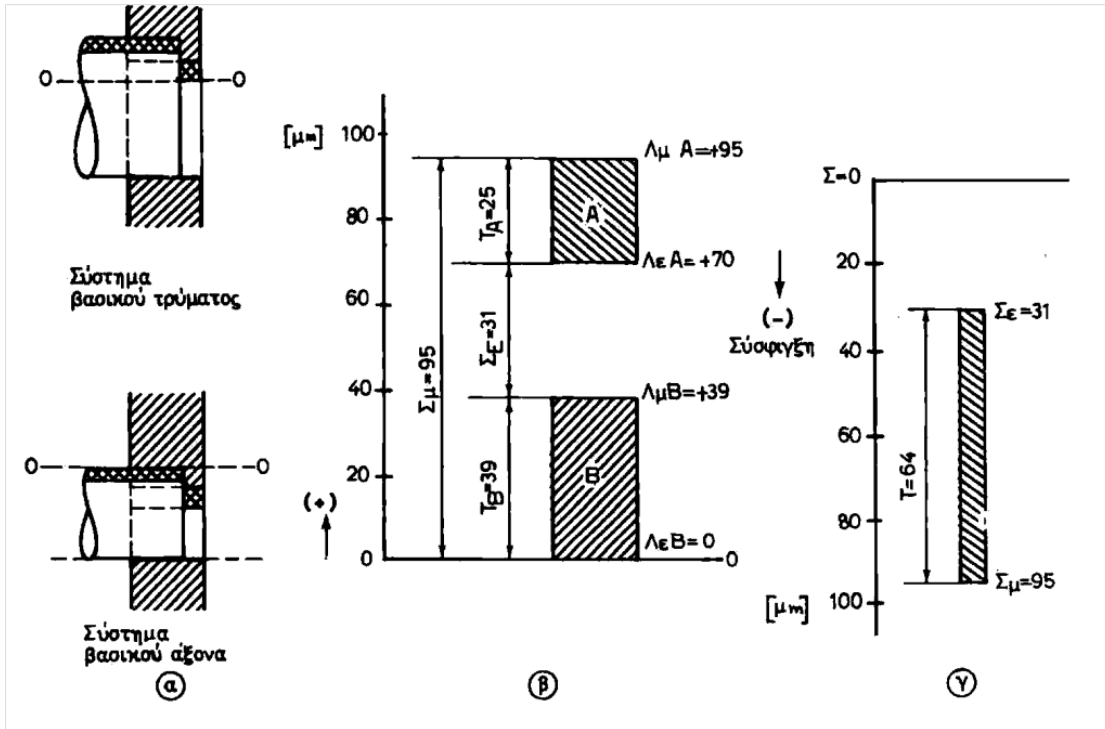
$$X_{\mu} = 54 - 13 = 41\mu\text{m},$$

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

Ζεύγη αξόνων-τρημάτων με πραγματικές διαστάσεις (ή αντίστοιχες αποκλίσεις από τη γραμμή μηδενός), που να βρίσκονται μέσα στην επικαλυπτόμενη περιοχή των πεδίων ανοχής άξονα και τρήματος [σχ. 1.2.γ.(α), (β)], μπορούν να δώσουν ελεύθερες ή σφικτές συναρμογές ανάλογα με τη σχετική τους θέση. Για πραγματικές διαστάσεις τρήματος μεγαλύτερες από το ανώτερο όριο ανοχής του άξονα ( $\Lambda_{\mu A} = +48\mu\text{m}$ ) έχουμε ελεύθερες συναρμογές, ενώ για μικρότερες από το κατώτερο όριο ανοχής του άξονα ( $\Lambda_{\varepsilon A} = +13\mu\text{m}$ ) προκύπτουν σφικτές συναρμογές.

### Δ. Συναρμογές σύσφιγξης (σχ. 1.2.δ).

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



Σχ.1.2.δ..

Συναρμογές σύσφιγξης και γραφική παράσταση μιας συναρμογής σύσφιγξης με

$N = 50 \text{ mm}$ .

### Παράδειγμα.

Ως παράδειγμα τέτοιας συναρμογής δίνουμε το ακόλουθο:

Άξονας  $\Phi 50_{+70}^{+95}$  με τρήμα  $\Phi 50_0^{+39}$

Η συναρμογή έχει ονομαστική διάσταση  $N = 50 \text{ mm}$  και είναι βασικού τρήματος.

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

$$\Lambda_{\mu A} = +95\mu\text{m} \quad \Lambda_{\varepsilon A} = +70\mu\text{m}$$

$$\Lambda_{\mu B} = +39\mu\text{m} \quad \Lambda_{\varepsilon B} = 0$$

$$T_A = 95 - 70 = 25\mu\text{m} \quad T_B = 39\mu\text{m}$$

$$T = 25 + 39 = 64\mu\text{m}$$

$$A_{\mu} = 50,070 + 0,025 = 50,095\text{mm}$$

$$A_{\varepsilon} = 50,000 + 0,070 = 50,070\text{ mm}$$

$$B_{\mu} = 50,000 + 0,039 = 50,039\text{ mm}$$

$$B_{\varepsilon} = 50,000\text{ mm}$$

$$\Sigma_{\varepsilon} = 70 - 39 = 31\mu\text{m} \quad \Sigma_{\mu} = 95 - 0 = 95\mu\text{m}$$

$$\Sigma_M = \frac{95 + 31}{2} = 63\mu\text{m}$$

Η γραφική παράσταση και το διάγραμμα διακύμανσης σύσφιγξης της συναρμογής αυτής φαίνονται στο σχήμα 1.2.δ.

### 1.3 Το διεθνές σύστημα συναρμογών και ανοχών ISO.

#### A. Ποιότητες ανοχής.

Είδαμε στην παράγραφο 1.1 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** (IT είναι τα αρχικά των λέξεων International Tolerance, που σημαίνουν «διεθνής ανοχή»). Με τις ποιότητες αυτές, που έχουν θεσπισθεί από την προδιαγραφή, καλύπτονται όλες οι απαιτήσεις 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 στο 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 1.3.1) και μάλιστα έτσι, ώστε, για την ίδια ποιότητα, αύξηση της ονομαστικής διάστασης να έχει ως συνέπεια αύξηση και του πλάτους της ανοχής. Για παράδειγμα, 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 βλέπουμε στις αριστερές δύο στήλες του Πίνακα 1.3.1.

Ονομαστική διάσταση (mm)		Ανοχές συναρμογών																	
		Για πρότυπα μήκη και όργανα μετρήσεως												Μεγάλες ανοχές όχι για συναρμογές					
Άνω	Έως	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	460	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	46	72	115	185	290	460	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

Πίνακας 1.3.1

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

Η θέση του πεδίου ανοχής των μελών μιας συναρμογής (του άξονα και του τρήματος 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 οποίες για μεν τα τρήματα (ή εσωτερικές εν γένει διαστάσεις) συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφαβήτου ως εξής:

**A, B, C, (CD), D, E, (EF), F, (FG), G, H, J (Js)**

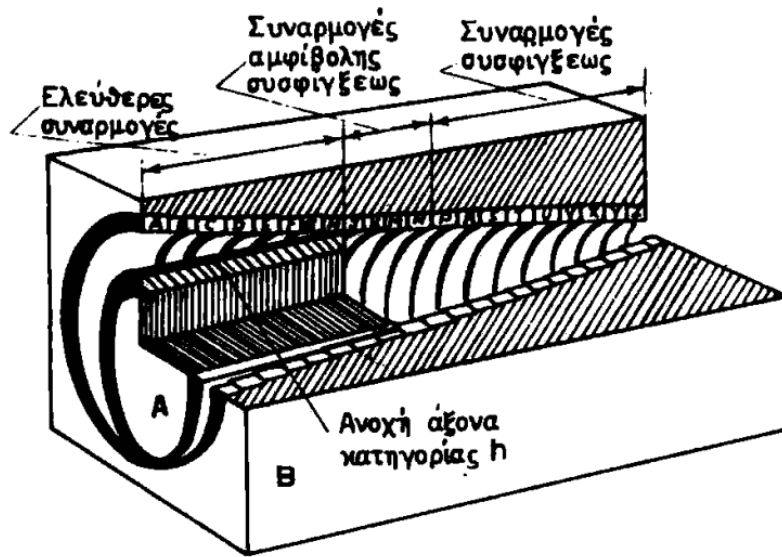
**K, M, N, P, R, S, T, U, (V), X. (Y). Z, ZA, ZB και ZC**

για δε τους άξονες (ή εξωτερικές γενικώς διαστάσεις) με τα αντίστοιχα μικρά γράμματα του λατινικού αλφαβήτου, δηλαδή:

**a, b, c, (cd), ..., z, za, zb και zc.**

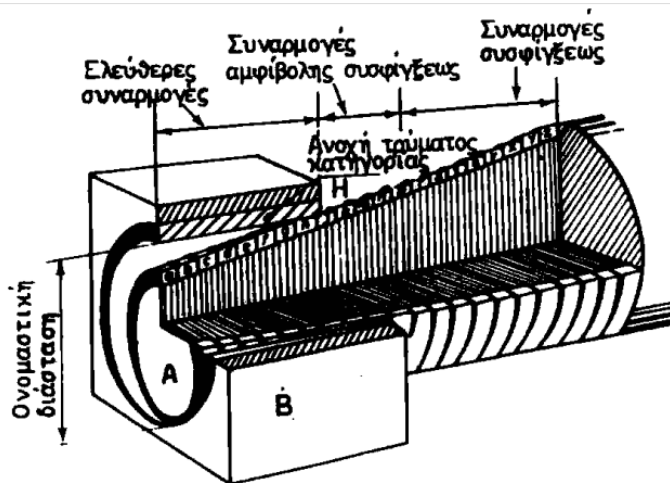
Στο σχήμα 1.3.α βλέπουμε παραστατικά τις θέσεις, που παίρνει το πεδίο ανοχής των τρημάτων σε σύστημα βασικού άξονα [παράγρ. 1.1, σχ. 2.6ζ(α)] (όλοι οι άξονες είναι κατηγορίας h) και στο σχήμα 1.3.β παρατηρούμε τις θέσεις που καταλαμβάνει το πεδίο ανοχής των αξόνων σε σύστημα όμως βασικού τρήματος [παράγρ. 1.1(Δ), σχ. 2.6ζ(β)] (όλα τα τρήματα 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 τρημάτων (κεφαλαία) και αξόνων (μικρά) στις ελεύθερες συναρμογές, στις συναρμογές αμφίβολης σύσφιγξης και στις συναρμογές σύσφιγξης. Έτσι, από το γράμμα A(a) μέχρι και το H(h) περιλαμβάνονται οι ελεύθερες συναρμογές, από τό J (j) μέχρι και το N (n) οι συναρμογές αμφίβολης σύσφιγξης και από το P (p) έως και τα γράμματα ZC (zc) οι σφικτές συναρμογές. Η συναρμογή με τρήμα κατηγορίας H και άξονα κατηγορίας h χαρακτηρίζεται ως συναρμογή ολισθήσεως (παράγρ. 1.2(B)).



Σχ. 1.3.α.

Η θέση του πεδίου ανοχής των τρημάτων στο σύστημα συναρμογών βασικού άξονα.  
Χαρακτηρισμός των συναρμογών ανάλογα με το βαθμό ελευθερίας τους.



Σχ. 1.3.β.

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

Στους Πίνακες 1.3.2 και 1.3.3 καταγράφονται οι τιμές των ορίων ανοχής ( $\Lambda_{\mu A}$ ,  $\Lambda_{\epsilon A}$  για τους άξονες και  $\Lambda_{\mu B}$ ,  $\Lambda_{\epsilon B}$  για τα τρήματα) αντιστοίχως για τους άξονες και τα τρήματα ανάλογα με την ποιότητα, την κατηγορία και την περιοχή ομαδοποίησης της ονομαστικής τους διάστασης. 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. 1.2(A), (B)] μετά από την ονομαστική διάσταση. Ο συμβολισμός π.χ. 75E9 σημαίνει ένα τρήμα με ονομαστική διάμετρο  $N = 75$  mm, κατηγορίας E και ποιότητας 9.

Εξάλλου ο συμβολισμός  $\Phi 100e8$  σημαίνει άξονα που έχει ονομαστική διάμετρο  $N = 100$  mm και που είναι κατηγορίας e και ποιότητας 8.

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

Ως παράδειγμα δίνουμε 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 Πινάκων 1.3.2 και 1.3.3 τα 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 ( $\mu m$ ) του τρήματος και ως παρονομαστή πάλι την ονομαστική διάσταση με τα όρια ανοχής του άξονα. Έτσι η προηγούμενη συναρμογή  $\Phi 35 \frac{D9}{h8}$  που δώσαμε ως παράδειγμα, μπορεί να συμβολισθεί ως:

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

Τα όρια της ανοχής τρήματος και άξονα πάρθηκαν από τους Πίνακες 1.3.2 και 1.3.3, αντιστοίχως.

Πίνακας 1.3.2

Απόσπασμα από τους πίνακες ISO. Όρια ανοχής για άξονες.

Ποιότητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλγεβρικό πρόσημο	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	—	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20
		**ελ	—	8	9	11	14	16	20	23	27	32	35	40	46	47
	h5	μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		ελ	—	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
	j5	μ	+	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7	7	7
		ελ	—	1	1	2	3	4	5	7	9	11	13	16	18	20
	k5	μ	+			7	9	11	13	15	18	21	24	27	29	32
	ελ	+			1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	
m5	μ	+	7	9	12	15	17	20	24	28	33	37	43	46	50	
	ελ	+	2	4	6	7	8	9	11	13	15	17	20	21	23	
n5	μ	+	11	13	16	20	24	28	33	38	45	51	57	62	67	
	ελ	+	6	8	10	12	15	17	20	23	27	31	34	37	40	
6	f6	μ	—	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68
		ελ	—	14	18	22	27	33	41	49	58	68	79	88	98	108
	g6	μ	—	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20
		ελ	—	10	12	14	17	20	25	29	34	39	44	49	54	60
	h6	μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		ελ	—	7	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
	j6	μ	+	6	7	7	8	9	11	12	13	14	16	16	18	20
		ελ	—	1	1	2	3	4	5	7	9	11	13	16	18	20
	k6	μ	+			10	12	15	18	21	25	28	33	36	40	45
		ελ	+			1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5
	m6	μ	+	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
		ελ	+	2	4	6	7	8	9	11	13	15	17	20	21	23
	n6	μ	+	13	16	19	23	28	33	39	45	52	60	66	73	80
	ελ	+	6	8	10	12	15	17	20	23	27	31	34	37	40	
p6	μ	+	12	20	24	29	35	42	51	59	68	79	88	98	108	
	ελ	+	6	12	15	18	22	26	32	37	43	50	56	62	68	
7	e7	μ	—	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135
		ελ	—	23	32	40	50	61	75	90	107	125	146	162	182	198
	f7	μ	—	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68
		ελ	—	16	22	28	34	41	50	60	71	83	96	108	119	131
	h7	μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		ελ	—	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	j7	μ	+	7	9	10	12	13	15	18	20	22	25	26	29	31
	ελ	—	2	3	5	6	8	10	12	15	18	21	26	28	32	
k7	μ	+			16	19	23	27	32	38	43	50	56	61	68	
	ελ	+			1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	

Συνεχίζεται

\*μ : ανώτερο όριο ανοχής άξονα  $L_{\mu A}$

\*\*ελ : κατώτερο όριο ανοχής άξονα  $L_{\epsilon A}$



Συνέχεια πίνακα 1.3.2

Ποιότητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλγεβρικό πρόσημο	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]													
7	m7	μ	+	11	16	21	25	29	34	41	48	55	63	72	78	86	
		έλ	+	2	4	6	7	8	9	11	13	15	17	20	21	23	
	n7	μ	+	15	20	25	30	36	42	50	58	67	77	86	94	103	
		έλ	+	6	8	10	12	15	17	20	23	27	31	34	37	40	
p7	μ	+	16	24	30	36	43	51	62	72	83	96	108	119	131		
		έλ	+	6	12	15	18	22	26	32	37	43	50	56	62	68	
	8	d8	μ	-	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
			έλ	-	34	48	62	77	98	119	146	174	208	242	271	299	327
e8		μ	-	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135	
		έλ	-	28	38	47	59	73	89	106	126	148	172	191	214	232	
f8	μ	-	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68		
		έλ	-	21	28	35	43	53	64	76	90	106	122	137	151	165	
	h8	μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		έλ	-	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	
***	j8	μ	+	7	9	11	14	17	20	23	27	32	36	41	45	49	
		έλ	-	7	9	11	13	16	19	23	27	31	36	40	44	48	
	***	k8	μ	+	14	18	22	27	33	43	46	54	63	72	81	89	97
			έλ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9		d9	μ	-	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
			έλ	-	45	60	76	93	117	142	174	207	243	285	320	350	385
	e9	μ	-	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135	
		έλ	-	39	50	61	75	92	112	134	159	185	215	240	265	290	
h9	μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		έλ	-	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	
	***	j9	μ	+	13	15	18	22	26	31	37	44	50	58	65	70	78
			έλ	-	12	15	18	21	26	31	37	43	50	57	65	70	77
***		k9	μ	+	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			έλ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	d10	μ	-	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
			έλ	-	60	78	98	120	149	180	220	260	305	355	400	440	480
h10		μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		έλ	-	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	
k10	μ	+	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250		
		έλ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	d11	μ	-	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
			έλ	-	80	105	130	160	195	240	290	340	395	460	510	570	630
h11		μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		έλ	-	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	
***	k11	μ	+	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	
		έλ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

\*μ : ανώτερο όριο ανοχής άξονα Λ<sub>μΑ</sub>

\*\*ελ : κατώτερο όριο ανοχής άξονα Λ<sub>εΑ</sub>

\*\*\* : δεν προορίζονται για συναρμογές αλλά για μεμονωμένα κομμάτια.

Πίνακας 1.3.3

Απόσπασμα από τους πίνακες ISO. Όρια ανοχής στα τμήματα.

Ποιότητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλγεβρικό Πρόσημο	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	+	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
	H6	ελ	+	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20	
	J6	μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	K6	ελ	+	3	4	5	6	8	10	13	16	18	22	25	29	33	
	M6	μ	-	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7	7	7	
	N6	ελ	-			2	2	2	3	4	4	4	4	5	5	5	
	P6	μ	-	0	1	3	4	4	4	5	6	6	8	8	9	10	10
		ελ	-	7	9	12	15	17	20	24	28	33	37	41	46	50	50
		μ	-	4	5	7	9	11	12	14	16	16	20	22	25	26	27
		ελ	-	11	13	16	20	24	28	33	38	45	51	57	62	67	67
		μ	-	6	9	12	15	18	21	26	30	36	41	47	51	55	55
	ελ	-	12	17	21	26	31	37	45	52	61	70	79	87	95	95	
7	E7	μ	+	23	32	40	50	61	75	90	107	125	146	162	182	198	
	F7	ελ	+	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135	
	G7	μ	+	16	22	28	34	41	50	60	71	83	96	108	119	131	
	H7	ελ	+	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
	J7	μ	+	12	16	20	24	28	34	40	47	54	61	69	75	83	
	K7	ελ	+	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	2	
	M7	μ	+	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	
	N7	ελ	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P7	μ	+	3	5	8	10	12	14	18	22	26	30	36	39	43	
		ελ	-	6	7	7	8	9	11	12	13	14	16	16	18	20	
		μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		ελ	-	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	
	μ	-	4	4	4	5	7	8	9	10	12	14	14	16	17		
	ελ	-	13	16	19	23	28	33	39	45	52	60	66	73	80		
	μ	-	6	8	9	11	14	17	21	24	28	33	36	41	45		
	ελ	-	16	20	24	29	35	42	51	59	68	79	88	98	106		
D8	μ	+	34	48	62	77	98	119	146	174	208	242	271	299	327		
E8	ελ	+	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230		
	μ	+	28	38	47	59	73	89	106	126	148	172	191	214	232		
	ελ	+	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135		

Συνεχίζεται

Συνέχεια πίνακα 1.3.3

Ποιότητα	Κατηγορία	Όρια ανοχής	Αλγεβρικό πρόσημο	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
		ελ	+	7	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68
	G8	μ	+	17	22	27	33	40	48	56	66	77	87	98	107	117
		ελ	+	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20
	H8	μ	+	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
		ελ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	J8	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	K8	μ	+			6	8	10	12	14	16	20	22	25	28	29
		ελ	-			16	19	23	27	32	38	43	50	56	61	68
	M8	μ	+			1	2	4	5	5	6	8	9	9	11	11
		ελ	-			21	25	29	34	41	48	55	63	72	78	86
	N8	μ	-	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
		ελ	-	15	20	25	30	36	42	50	58	67	77	86	94	103
	D9	μ	+	45	60	76	93	117	142	174	207	245	285	320	350	385
		ελ	+	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
E9	μ	+	39	50	61	75	92	112	134	159	185	215	240	265	290	
	ελ	+	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135	
H9	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	
J9	μ	+	12	15	18	21	26	31	37	43	50	57	65	70	77	
	ελ	-	13	15	18	22	26	31	37	44	50	58	65	70	78	
10	D10	μ	+	60	78	98	120	149	180	220	260	305	355	400	440	480
		ελ	+	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
	H10	μ	+	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
		ελ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
***	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
		ελ	+	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
	H11	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
	***	J11	μ	+	30	37	45	55	65	80	95	110	125	145	160	180
	ελ	-	30	38	45	55	65	80	95	110	125	145	160	180	200	

\*μ : ανώτερο όριο ανοχής άξονα Λ<sub>μΑ</sub>

\*\*ελ : κατώτερο όριο ανοχής άξονα Λ<sub>εΑ</sub>

\*\*\* : δεν προορίζονται για συναρμογές αλλά για μεμονωμένα κομμάτια.

## **Μερικά παραδείγματα.**

Στα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν 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 Πινάκων 1.3.2 και 1.3.3 θα προσδιορίσουμε τα όρια ανοχής τμήματος 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 υπόψη μας τις διάφορες σχέσεις τις οποίες δώσαμε στην παράγραφο 1.1(Δ), όπως και τα παραδείγματα που αναπτύξαμε στην παράγραφο 1.2.

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

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

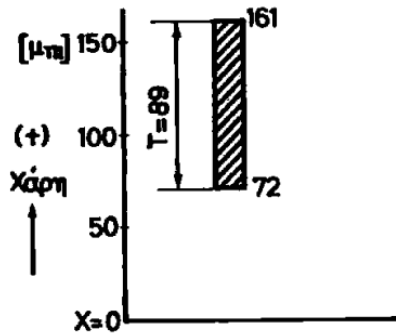
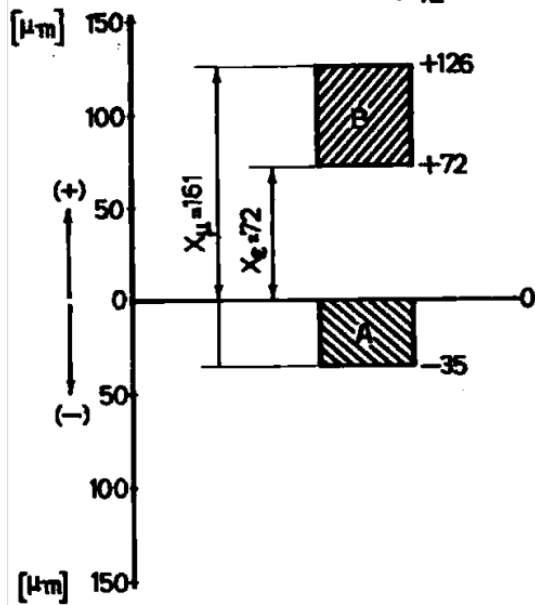
Εάν ο έλεγχος πρόκειται να γίνει με ελεγκτήρες ορίου, τότε θα αναγραφούν μετά την τιμή της ονομαστικής διάστασης (μπροστά από την οποία τίθεται το σήμα Φ, αν πρόκειται για διάμετρο) το χαρακτηριστικό γράμμα της κατηγορίας και ο αριθμός της ποιότητας. Αν όμως η διάσταση ελεγχθεί με μετρητικό όργανο ή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

Στο σχήμα 1.3.γ βλέπουμε πώς αναγράφονται οι διαστάσεις και ανοχές σε ένα μηχανολογικό σχέδιο.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

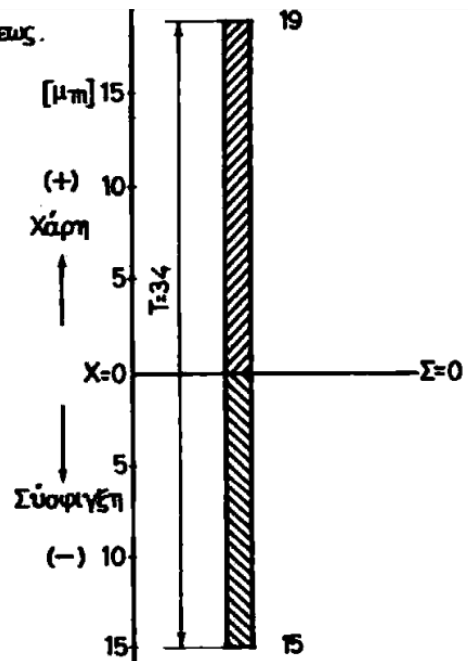
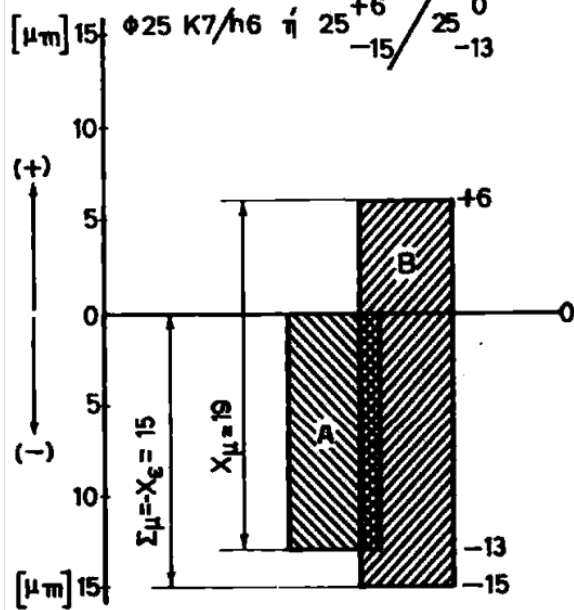
1. Μία ελεύθερη συναρμογή.

$$\phi 100 \text{ Ε8/η7 ή } 100 \begin{array}{l} +126 \\ +72 \\ 0 \\ -35 \end{array} / 100$$

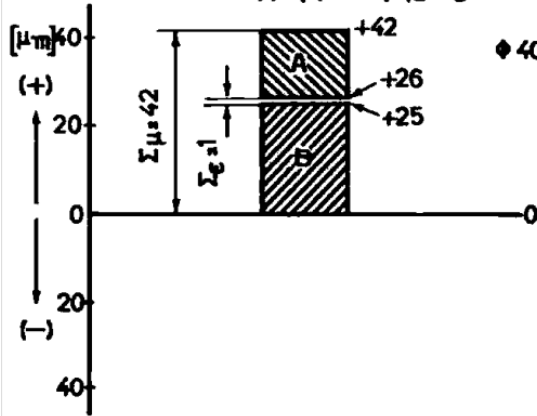


2. Μία συναρμογή αμφίβολης σύσφιξης.

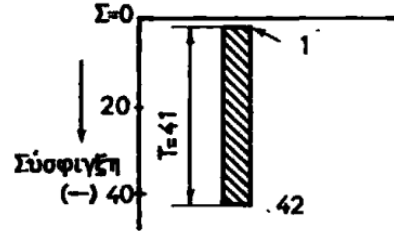
$$\phi 25 \text{ Κ7/η6 ή } 25 \begin{array}{l} +6 \\ -15 \\ 0 \\ -13 \end{array} / 25$$

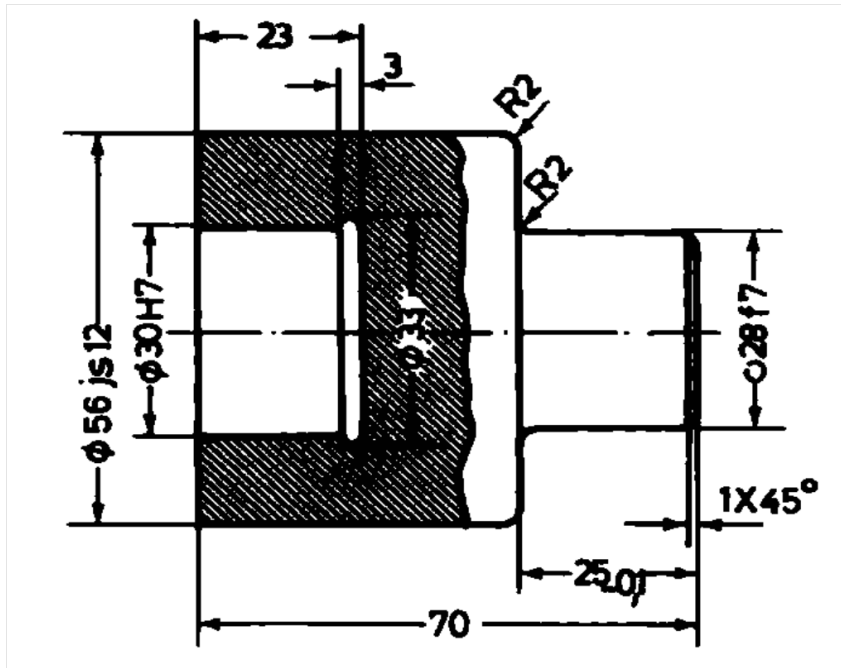


3. Μία συναρμογή συσφίξεως.



$$\phi 40 \text{ H7/p6 } \eta \quad 40^{+25}_{0} / 40^{+42}_{+26}$$





Σχ.1.3.γ.

### Αναγραφή διαστάσεων με ανοχές στο μηχανολογικό σχέδιο

#### ΣΤ. Σύνθετες ανοχές.

Πολλές φορές στις εφαρμογές συναντούμε περιπτώσεις όπου χρειάζεται να καθορίσουμε 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.

#### ΣΤ.1. 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) προστίθενται. Είναι προφανές ότι οι οριακές τιμές  $N_\epsilon$  (ελάχιστη) και  $N_\mu$  (μέγιστη) της συνολικής διάστασης θα είναι:

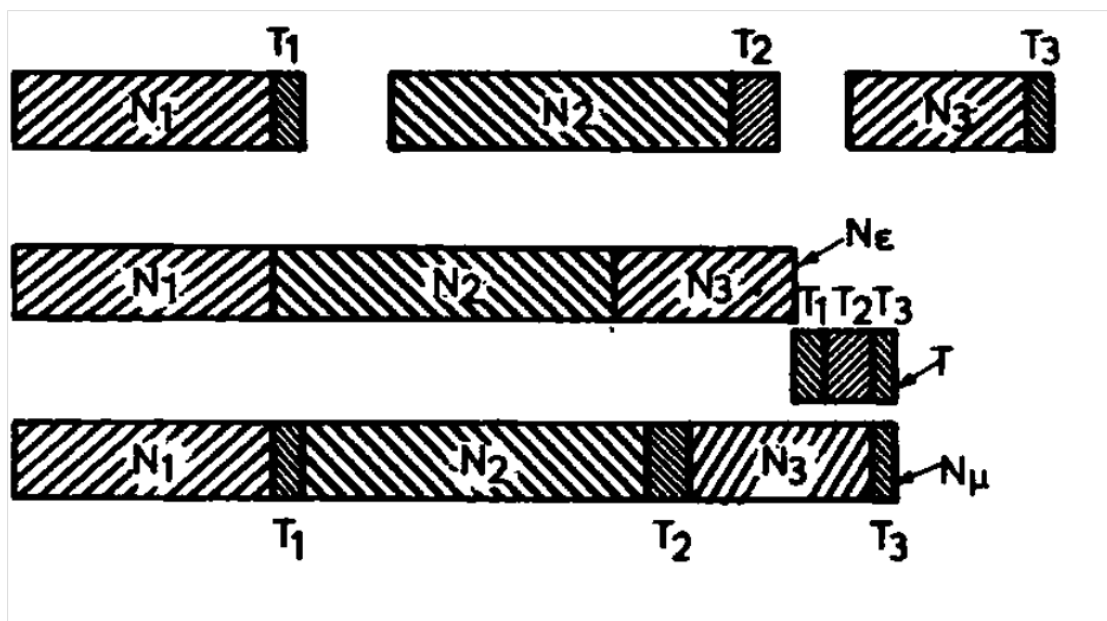
$$N_\epsilon = N_{1\epsilon} + N_{2\epsilon} + N_{3\epsilon} \quad \text{και}$$

$$N_\mu = N_{1\mu} + N_{2\mu} + N_{3\mu} = (N_{1\epsilon} + N_{2\epsilon} + N_{3\epsilon}) + (T_1 + T_2 + T_3) \quad (1.11)$$

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:

$N_1 = 30^{+1,0}_0$ ,  $N_2 = 40_{-0,5}^0$  και  $N_3 = 20_{-1,0}^0$  (οι ανοχές δίνονται σε mm). Σύμφωνα με τις σχέσεις που δώσαμε, οι οριακές τιμές της συνολικής διάστασης προκύπτουν ως:



Σχ.1.3.δ

### Η σύνθετη ανοχή προστιθεμένων διαστάσεων.

$N_\epsilon = 30,0 + 39,5 + 19,0 = 88,5$  mm και  $N_\mu = 31,0 + 40,0 + 20,0 = 91,0$  mm

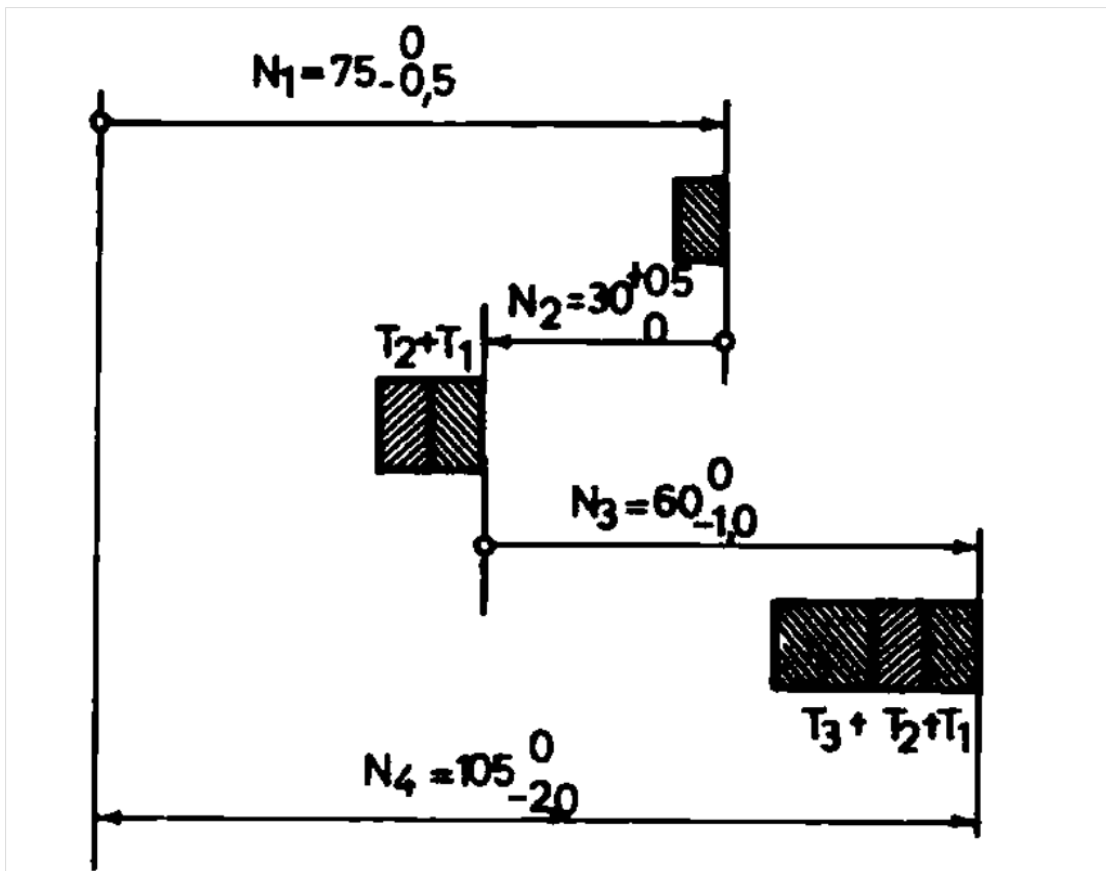
και η ανοχή της συνολικής διαστάσεως:

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

### ΣΤ.2.. Περίπτωση αλγεβρικού αθροίσματος διαστάσεων.

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να προσδιορίσουμε τις οριακές τιμές (και από αυτές την ανοχή) της διαστάσεως  $N_4$  στο σχήμα 1.3.ε. Η διάσταση  $N_4$  μπορεί να εκφραστεί σε συνάρτηση με τις άλλες ως:





Σχ.1.3.ε

Η σύνθετη ανοχή αλγεβρικού αθροίσματος διαστάσεων

$$N_4 = N_1 - N_2 + N_3 \quad (1.12)$$

Οι οριακές της τιμές θα είναι:

$$N_{4\varepsilon} = N_{1\varepsilon} - N_{2\mu} + N_{3\varepsilon} \quad \text{και} \quad N_{4\mu} = N_{1\mu} - N_{2\varepsilon} + N_{3\mu} \quad (1.13)$$

$$\text{Η ανοχή της } T_a \text{ θα προκύψει : } T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1.14)$$

Από τις σχέσεις (1.13) και (1.14) συνάγουμε τους ακόλουθους δύο χρήσιμους κανόνες για τον προσδιορισμό συνθέτων ανοχών:

α) Για να υπολογίσουμε την ελάχιστη τιμή της σύνθετης διαστάσεως ( $N_{4ε}$  στην περίπτωση μας), λαμβάνουμε υπ' όψη 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 ( $N_{4μ}$ ), 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 διάστασης (σύνθετη ανοχή) είναι ίση με το άθροισμα των ανοχών των μερικών διαστάσεων, ανεξάρτητα αν οι αντίστοιχες μερικές διαστάσεις προσθέτονται ή αφαιρούνται στο αλγεβρικό άθροισμα. Αυτό θα επαληθευθεί και στο αριθμητικό παράδειγμά μας αμέσως παρακάτω.

Εφαρμόζοντας τώρα τις σχέσεις (1.12), (1.13) και (1.14) με τα αριθμητικά δεδομένα του σχήματος 1.3.ε. θα έχουμε:

$$N_4 = 75_{-0,5}^0 - 30_{0}^{+0,5} + 60_{-1,0}^0$$

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

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

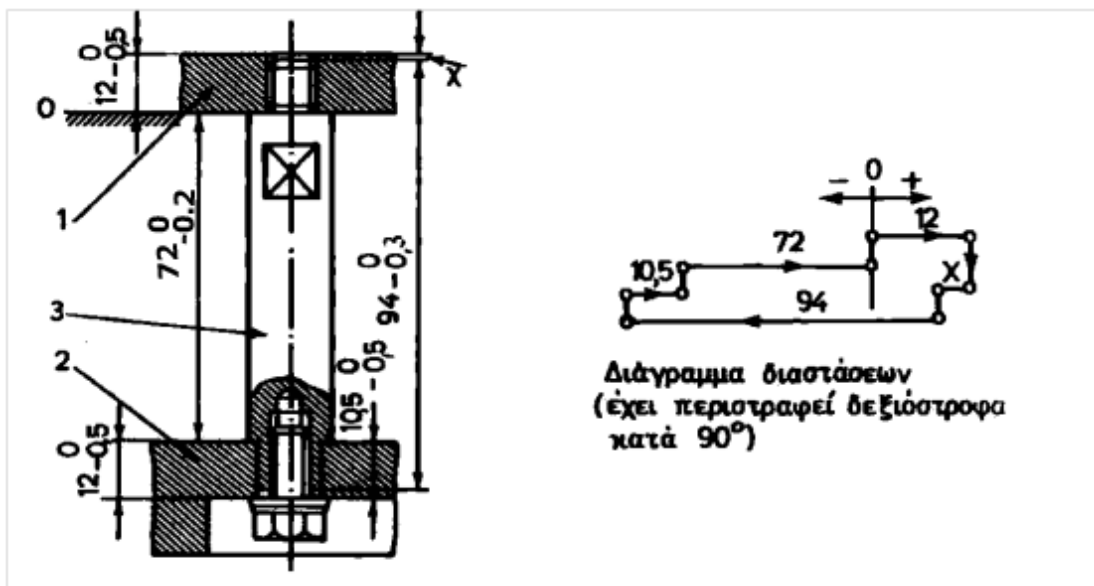
$$T = N_{4μ} - N_{4ε} = 105,0 - 103,0 = 2,0 \text{ mm ή}$$

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

### **ΣΤ.3. Προσδιορισμός σύνθετων ανοχών με τη βοήθεια του διαγράμματος διαστάσεων.**

Σε περίπλοκες περιπτώσεις στη πράξη υπολογίζουμε 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 θέλουμε να υπολογίσουμε τις οριακές τιμές της διαστάσεως  $X$  στο σχήμα 1.3.δ, όπου τα δύο ελάσματα 1 και 2 συναρμολογούνται μεταξύ τους με το βλήτρο 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 ( $12_{-0,5}^0$ ,  $X$ ,  $94_{-0,3}^0$  κλπ). ώσπου να επανέλθουμε στην επιφάνεια 0 σχηματίζοντας έτσι το αλγεβρικό τους άθροισμα λαμβάνοντας υπόψη, για το πρόσημο των όρων του αθροίσματος, τη φορά (θετική ή αρνητική), την οποία έχουμε καθορίσει. Το αλγεβρικό αυτό άθροισμα των διαστάσεων το εξισώνουμε με το μηδέν και επιλύοντας ως προς την άγνωστη διάσταση (ως προς  $X$  στην περίπτωση μας) προσδιορίζουμε κατά τα γνωστά τις οριακές της τιμές και την ανοχή της.



Σχ. 1.3.δ

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

Εφαρμόζοντας τον κανόνα αυτόν στο παράδειγμά μας θα έχουμε:

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

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

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

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

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

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

#### 1.4 Υπολογισμός συναρμογών σύσφιγξης.

Οι συναρμογές σύσφιγξης επιλέγονται με βάση τις εξής αρχές:

1. Η ελάχιστη σύσφιγξη πρέπει να είναι τέτοια ώστε η συναρμογή να μην λύνεται κάτω από την επίδραση των αξονικών δυνάμεων και των ροπών στρέψης που εξασκούνται στον αρμό της συναρμογής.

2. Στην περίπτωση της συναρμογής μέγιστης σύσφιγξης οι αναπτυσσόμενες μέγιστες τάσεις στα μέρη της συναρμογής δεν θα πρέπει να ξεπεράσουν το όριο διαρροής των υλικών της συναρμογής (ελαστική περιοχή).

Με βάση τις σχέσεις που ακολουθούν υπολογίζεται η ελάχιστη σύσφιγξη που απαιτείται για δεδομένη αξονική δύναμη και ροπή στρέψης και θα πρέπει η συναρμογή να παρουσιάζει αντίσταση στην αξονική και περιφερειακή μετατόπιση των συναρμοζόμενων τεμαχίων. Κατόπιν υπολογίζεται η μέγιστη σύσφιγξη λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις δεν θα ξεπεράσουν το όριο διαρροής του λιγότερο ανθεκτικού τεμαχίου με βάση το κριτήριο της μέγιστης διατμητικής τάσης.

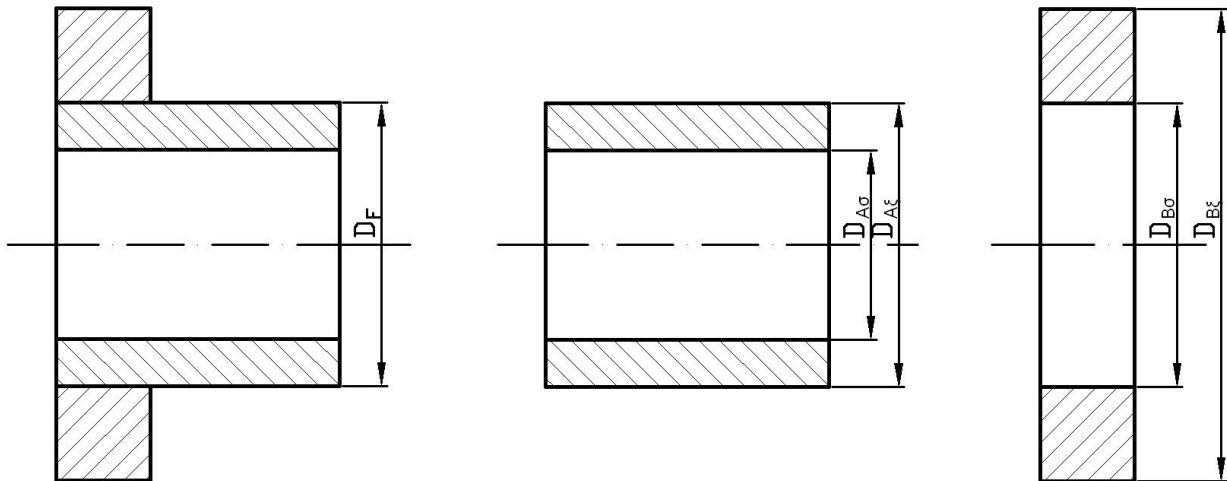
Από την μέγιστη και την ελάχιστη σύσφιγξη υπολογίζεται η ανοχή της συναρμογής από την σχέση 1.12 :

$$T = T_A + T_B = \Sigma_{\mu} - \Sigma_{\epsilon}$$

Η ανοχή αυτή κατανέμεται μεταξύ άξονα και τρήματος με βάση την αποδεκτή ποιότητα τρήματος και άξονα, συνήθως ποιότητας 7 για τον άξονα, εκτός εάν απαιτείται διαφορετική ποιότητα.

Στο σχήμα 1.4.a τα συναρμοζόμενα τεμάχια **A** και **B** συνιστούν σφιχτή συναρμογή «**αξονικής άρμωσης**». Κατά την συναρμολόγηση, δηλαδή, άξονας και τρήμα πιέζονται το ένα μέσα στο

άλλο κατά την διεύθυνση του κοινού τους άξονα στην συνήθη θερμοκρασία έτσι ώστε να αναπτυχθούν οι αναγκαίες τάσεις σύσφιγξης.



Σχ. 1.4.α

**Ο Άξονας A και το τμήμα B συναρμολοζόμενα αποτελούν σφιχτή συναρμογή A+B.**

Η διαδικασία υπολογισμού περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

**A) Υπολογισμός ελάχιστης πίεσης  $P_{\epsilon}$  στον αρμό της συναρμογής**

$$P_{ru} = \frac{2M_r}{D_F} \text{ όπου}$$

–  $P_{ru}$  = Η αναπτυσσόμενη περιφερειακά δύναμη που οφείλεται στην  $M_r$

–  $M_r$  = Η ροπή στρέψης που μεταφέρει η συναρμογή

–  $D_F$  = Η διάμετρος άρμωσης της συναρμογής

$$P_r = \sqrt{P_{ru}^2 + P_{rl}^2} \text{ όπου}$$

–  $P_r$  = Η συνισταμένη δύναμη στον αρμό της συναρμογής

–  $P_{rl}$  = Η αξονική δύναμη την οποία φέρει η συναρμογή

$$P_{\varepsilon} = \frac{P_r}{\mu_r \pi D_F L_F}$$

–  $L_F$  = Το μήκος άρμωσης της συναρμογής

–  $\mu_r$  = συντελεστής τριβής μετά την λύση της συναρμογής

$$\mu_r = 0,7 \mu_s$$

–  $\mu_s$  = συντελεστής τριβής αρχικής λύσης της συναρμογής (πίνακας 1.4.1)

**Πίνακας 1.4.1**

**Τιμές συντελεστών τριβής  $\mu_{pr}$  και  $\mu_s$  για συναρμογές σύσφιξης αξονικής άρμωσης**

Τεμάχιο <b>A</b> από Χάλυβα με όριο θραύσης 50 kp/mm <sup>2</sup> Τεμάχιο <b>B</b> :	$\mu_{pr}$		$\mu_s$		Παρατηρήσεις
	Περιοχή		Περιοχή		
	Ελαστική	Πλαστική	Ελαστική	Πλαστική	
Χάλυβα με όριο θραύσης 50 kp/mm <sup>2</sup>	0,1-0,08	0,08-0,05	0,1-0,08	0,08-0,05	Μηχανέλαιο
Χυτοσίδηρος	0,1-0,07	-----	0,11-0,075	-----	Μηχανέλαιο
Ορείχαλκος	0,1	0,08-0,05	0,1	0,08-0,04	Στεγνό
Τεχνητές ύλες	-----	0,54	0,33	-----	Στεγνό

**Β)Υπολογισμός ελάχιστης σύσφιξης  $\Sigma_{\varepsilon}$  της συναρμογής**

$$\Sigma_{\varepsilon} = P_{\varepsilon} (K_B + K_A) D_F \times 10^3 + \Delta_{\varepsilon} \quad [\mu\text{m}] \quad \text{όπου}$$

$$-K_B = \frac{(m_B + 1) + (m_B - 1)Q_B^2}{m_B E_B (1 - Q_B^2)}$$

$$-K_A = \frac{(m_A - 1) + (m_A + 1)Q_A^2}{m_A E_A (1 - Q_A^2)}$$

–  $m_A, m_B$  = 0 λόγος Poisson του υλικού του άξονα και του τρήματος αντίστοιχα

– $E_A, E_B$  = Το μέτρο Ελαστικότητας του υλικού του άξονα και του τρήματος αντίστοιχα

– $Q_A = \frac{D_{A\sigma}}{D_{A\xi}}$  Λόγος εσωτερικής προς εξωτερική διάμετρο του άξονα

– $Q_B = \frac{D_{B\sigma}}{D_{B\xi}}$  Λόγος εσωτερικής προς εξωτερική διάμετρο του τρήματος

– $\Delta_\varepsilon = 1,2 \times (R_{t_A} + R_{t_B})$  Απώλεια σύσφιγξης λόγω της τραχύτητας των τεμαχίων

– $R_{t_A}, R_{t_B}$  = Μέγιστη τραχύτητα επιφάνειας άξονα και τρήματος αντίστοιχα

### Γ)Υπολογισμός μέγιστης πίεσης $P_\mu$ στον αρμό της συναρμογής

Με βάση το κριτήριο της μέγιστης διατμητικής τάσης

$$P_{\mu_A} = \sigma_{s_A} \frac{(1 - Q_A^2)}{2}$$

$$P_{\mu_B} = \sigma_{s_B} \frac{(1 - Q_B^2)}{(1 + Q_B^2)}$$

όπου

– $P_{\mu_A}, P_{\mu_B}$  = Μέγιστη πίεση στον άξονα και το τρήμα αντίστοιχα

– $\sigma_{s_A}, \sigma_{s_B}$  = Όριο διαρροής του υλικού του άξονα και του τρήματος αντίστοιχα

– $P_\mu$  = Επιλέγεται η μικρότερη από τις  $P_{\mu_A}$  και  $P_{\mu_B}$

### Δ)Υπολογισμός μέγιστης σύσφιγξης $\Sigma_\mu$ της συναρμογής

$$\Sigma_\mu = P_\mu (K_B + K_A) D_F \times 10^3 + \Delta_\varepsilon \quad [\mu\text{m}]$$

$P_{\pi\rho} = P_\mu \mu_{\pi\rho} \pi D_F L_F$  Δύναμη συναρμολόγησης – πρεσαρίσματος

– $\mu_{\pi\rho}$  = συντελεστής τριβής κατά την συναρμολόγηση (πρεσάρισμα) (πίνακας 1.4.1)

$T = \Sigma_\mu - \Sigma_\varepsilon = T_A + T_B$  Ανοχή Συναρμογής

### **Παράδειγμα.**

Δίνονται:

$$P_{r1} = 400 \text{ Kp}$$

$$M_r = 4000 \text{ Kp} \times \text{mm}$$

$$D_F = 60 \text{ mm}$$

$$L_F = 90 \text{ mm}$$

$$D_{B\xi} = 100 \text{ mm}$$

$$D_{A\sigma} = 0 \text{ (Συμπαγής άξονας)}$$

$$R_{tA}, R_{tB} = 4 \text{ } \mu\text{m}$$

Υλικό άξονα και τρήματος : **Χάλυβας St 50**

$$E_A, E_B = 2,2 \times 10^4 \text{ kp/mm}^2$$

$$m_A, m_B = 3,33$$

$$\sigma_{sA}, \sigma_{sB} = 27,5 \text{ kp/mm}^2$$

Επιλέγονται :

$$\mu_{\pi\rho} = 0,09 \text{ (πίνακας 1.4.1 – μηχανέλαιο)}$$

$$\mu_s = 0,1 \text{ (πίνακας 1.4.1 – μηχανέλαιο)}$$

$$\mu_r = 0,7 \mu_s = 0,7 \times 0,1 = 0,07$$



Λύση

Α) Υπολογισμός ελάχιστης πίεσης  $P_\epsilon$  στον αρμό της συναρμογής

$$P_{ru} = \frac{2M_r}{D_F} = \frac{2 \times 4000}{60} = 133 \text{ kp}$$

$$P_r = \sqrt{P_{ru}^2 + P_{rl}^2} = \sqrt{133^2 + 400^2} = 421 \text{ kp}$$

$$P_\epsilon = \frac{P_r}{\mu_r \pi D_F L_F} = \frac{421}{0,07 \times \pi \times 60 \times 90} = 0,35 \text{ kp/mm}^2$$

Β) Υπολογισμός ελάχιστης σύσφιγξης  $\Sigma_\epsilon$  της συναρμογής

$$Q_A^2 = 0$$

$$Q_B^2 = \frac{D_F^2}{D_{B\xi}^2} = \frac{60^2}{100^2} = 0,36$$

$$K_A = \frac{(m_A - 1) + (m_A + 1)Q_A^2}{m_A E_A (1 - Q_A^2)} = \frac{(3,33 - 1)}{3,33 \times 2,2 \times 10^4} = 0,032 \times 10^{-3}$$

$$K_B = \frac{(m_B + 1) + (m_B - 1)Q_B^2}{m_B E_B (1 - Q_B^2)} = \frac{(3,33 + 1) + (3,33 - 1) \times 0,36}{3,33 \times 2,2 \times 10^4 \times (1 - 0,36)} = 0,11 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_\epsilon = 1,2 \times (R_{tA} + R_{tB}) = 1,2(4 + 4) = 9,6 \text{ }\mu\text{m}$$

$$\begin{aligned} \Sigma_\epsilon &= P_\epsilon (K_B + K_A) D_F \times 10^3 + \Delta_\epsilon \\ &= 0,35 \times (0,11 + 0,032) \times 10^{-3} \times 60 \times 10^3 + 9,6 \\ &= 12,6 \text{ }\mu\text{m} \end{aligned}$$

Γ) Υπολογισμός μέγιστης πίεσης  $P_\mu$  στον αρμό της συναρμογής

$$P_{\mu A} = \sigma_{sA} \frac{(1 - Q_A^2)}{2} = \frac{27,5}{2} = 13,75 \text{ kp/mm}^2$$

$$P_{\mu B} = \sigma_{sB} \frac{(1 - Q_B^2)}{(1 + Q_B^2)} = 27,5 \times \frac{0,64}{1,36} = 12,9 \text{ kp/mm}^2$$

$P_\mu = 12,9 \text{ kp/mm}^2$  Επιλέγεται η μικρότερη από τις  $P_{\mu A}$  και  $P_{\mu B}$

Δ)Υπολογισμός μέγιστης σύσφιγξης  $\Sigma_{\mu}$  της συναρμογής

$$\begin{aligned}\Sigma_{\mu} &= P_{\mu}(K_B + K_A)D_F \times 10^3 + \Delta_{\varepsilon} \\ &= 12,9 \times (0,11 + 0,032) \times 10^{-3} \times 60 \times 10^3 + 9,6 \\ &= 119,5 \mu m\end{aligned}$$

Επιλέγουμε αρχικά άξονα ποιότητας 7 όπως συνηθίζεται. Οπότε

$$T_A = 30 \mu m$$

Για συναρμογή βασικού άξονα έχουμε :

$$\Phi 60h7 = 60_{-30}^0$$

Η επιλογή του τμήματος θα πρέπει να γίνει από κατηγορίες  $\geq P$  (επιβάλλεται σφιχτή συναρμογή) και θα πρέπει η ελάχιστη σύσφιγξη της συναρμογής  $\Sigma_{\varepsilon\sigma}$  να είναι μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα  $\Sigma_{\varepsilon}$ , δηλαδή:

$$\begin{aligned}\Sigma_{\varepsilon\sigma} = \Lambda_{\varepsilon A} - \Lambda_{\mu B} \geq \Sigma_{\varepsilon} \Rightarrow \Lambda_{\mu B} \leq \Lambda_{\varepsilon A} - \Sigma_{\varepsilon} \Rightarrow \Lambda_{\mu B} \leq -30 - 12,6 \Rightarrow \\ \Lambda_{\mu B} \leq -32,6 \mu m\end{aligned}$$

Από τους πίνακες ανοχών τρημάτων (πίνακας 1.3.3) προκύπτει ότι τέτοιο τρήμα δεν υπάρχει. Το ίδιο ισχύει για όλους τους βασικούς άξονες όλων των ποιότητων.

Επιλέγουμε τρήμα ποιότητας 7. Οπότε

$$T_B = 30 \mu m$$

Για συναρμογή βασικού τρήματος έχουμε :

$$\Phi 60H7 = 60_0^{+30}$$

Η επιλογή του άξονα θα πρέπει να γίνει από κατηγορίες  $\geq p$  (επιβάλλεται σφιχτή συναρμογή) και θα πρέπει η ελάχιστη σύσφιγξη της συναρμογής  $\Sigma_{\varepsilon\sigma}$  να είναι μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα  $\Sigma_{\varepsilon}$ , δηλαδή:

$$\begin{aligned}\Sigma_{\varepsilon\sigma} = \Lambda_{\varepsilon A} - \Lambda_{\mu B} \geq \Sigma_{\varepsilon} \Rightarrow \Lambda_{\varepsilon A} \geq \Lambda_{\mu B} + \Sigma_{\varepsilon} \Rightarrow \Lambda_{\varepsilon A} \geq 30 + 12,6 \Rightarrow \Lambda_{\varepsilon A} \geq \\ 42,6 \mu m\end{aligned}$$

Από τους πίνακες ανοχών αξόνων (πίνακας 1.3.3) προκύπτει ότι τέτοιος άξονας δεν υπάρχει.

Επιλέγουμε τμήμα ποιότητας 6. Οπότε

$$T_B = 19 \mu m$$

Για συναρμογή βασικού τμήματος έχουμε :

$$\Phi 60H6 = 60_0^{+19}$$

Η επιλογή του άξονα θα πρέπει να γίνει από κατηγορίες  $\geq p$  (επιβάλλεται σφιχτή συναρμογή) και θα πρέπει η ελάχιστη σύσφιξη της συναρμογής  $\Sigma_{\epsilon\sigma}$  να είναι μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα  $\Sigma_{\epsilon}$ , δηλαδή:

$$\Sigma_{\epsilon\sigma} = \Lambda_{\epsilon A} - \Lambda_{\mu B} \geq \Sigma_{\epsilon} \Rightarrow \Lambda_{\epsilon A} \geq \Lambda_{\mu B} + \Sigma_{\epsilon} \Rightarrow \Lambda_{\epsilon A} \geq 19 + 12,6 \Rightarrow \Lambda_{\epsilon A} \geq 31,6 \mu m$$

Από τους πίνακες ανοχών αξόνων (πίνακας 1.3.3) προκύπτει ότι τέτοιος άξονας υπάρχει και είναι ο άξονας

$$\Phi 60p7 = 60_{+32}^{+62}$$

Άρα η συναρμογή θα είναι:

$$\Phi 60H6/p7 \text{ ή } 60_0^{+19}/60_{+32}^{+62}$$

Επαλήθευση

$\Sigma_{\epsilon\sigma} = \Lambda_{\epsilon A} - \Lambda_{\mu B} = 32 - 19 = 13 > \Sigma_{\epsilon} = 12,6 \mu m$  υπάρχει οριακά η απαιτούμενη ελάχιστη σύσφιξη για μεταφορά των φορτίων

$\Sigma_{\mu\sigma} = \Lambda_{\mu A} - \Lambda_{\epsilon B} = 62 - 0 = 62 < \Sigma_{\mu} = 119,5 \mu m$  η μέγιστη σύσφιξη δεν πρόκειται να δημιουργήσει διαρροή των υλικών (ελαστική περιοχή λειτουργίας πολύ κάτω από το όριο διαρροής)

Στην περίπτωση της μέγιστης πραγματικής σύσφιξης της συναρμογής η πίεση στον αρμό της συναρμογής είναι η μέγιστη και επαναυπολογίζεται:

$$\Sigma_{\mu\sigma} = P_{\mu\sigma}(K_B + K_A)D_F \times 10^3 + \Delta_\varepsilon \Rightarrow P_{\mu\sigma} = \frac{\Sigma_{\mu\sigma} - \Delta_\varepsilon}{(K_B + K_A)D_F \times 10^3}$$

$$= \frac{62 - 9,6}{(0,11 + 0,032) \times 10^{-3} \times 60 \times 10^3} = 6,15 \text{ kp/mm}^2$$

Άρα η μέγιστη δύναμη συναρμολόγησης (μέγιστη δύναμη πρεσαρίσματος) υπολογίζεται

$$P_{\pi\rho} = P_{\mu\sigma}\mu_{\pi\rho}\pi D_F L_F = 6,15 \times 0,09 \times \pi \times 60 \times 90 = 9385 \text{ kp}$$

### 1.5 Ερωτήσεις και ασκήσεις.

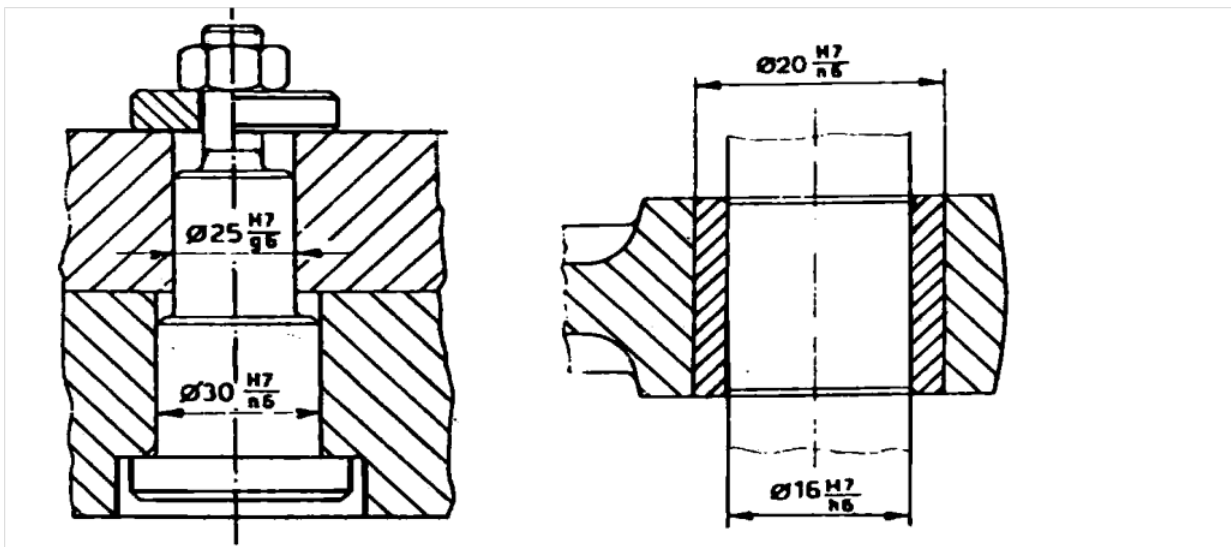
1. Τι ονομάζουμε συναρμογή;
2. Ποια συναρμογή καλούμε απλή και ποια πολλαπλή;
3. Τι εννοούμε με τους παρακάτω όρους: **Εναλλαξιμότητα, ανοχή μιας διάστασης, ονομαστική διάσταση, διάσταση κατεργασίας, πεδίο ανοχής, όρια ανοχής, χάρη και σύσφιγξη.**
4. Ποιο είναι το συμμετρικό και ποιο το μονόπλευρο σύστημα ανοχών;
5. Σε τι διακρίνονται ανάμεσά τους οι συναρμογές ως προς το βαθμό ελευθερίας τους;
6. Τι είναι συναρμογή βασικού άξονα και τι βασικού τρήματος;
7. Τι εννοούμε λέγοντας ποιότητα και κατηγορία ενός μέλους μιας συναρμογής;
8. Πόσες ποιότητες και πόσες κατηγορίες προβλέπει το σύστημα συναρμογών ISO και πώς συμβολίζονται αντίστοιχα;
9. Για σύστημα συναρμογών βασικού άξονα να δώσετε συμβολίζοντας τες τέσσερις ελεύθερες συναρμογές, δύο συναρμογές αμφίβολης σύσφιγξης και τέσσερις συναρμογές σύσφιγξης.
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  $\Phi 100H7$ ,  $60g10$ ,  $\Phi 80i8$ ,  $\Phi 50D8/h7$  και  $\Phi H7/r6$ ;

12. Δίνονται οι συναρμογές:  $\Phi 45H8/g7$  και  $\Phi 30G7/k6$ .

Να προσδιορίσετε τις οριακές διαστάσεις άξονα και τρήματος, τα όρια των ανοχών τους όπως και τη μέγιστη, μέση και ελάχιστη χάρη.

13. Για τις συναρμογές των κομματιών που εικονίζονται στο παρακάτω σχήμα 1.3.στ να κάνετε τη γραφική τους παράσταση μαζί με το διάγραμμα διακύμανσης της χάρης (και σύσφιγξης) και



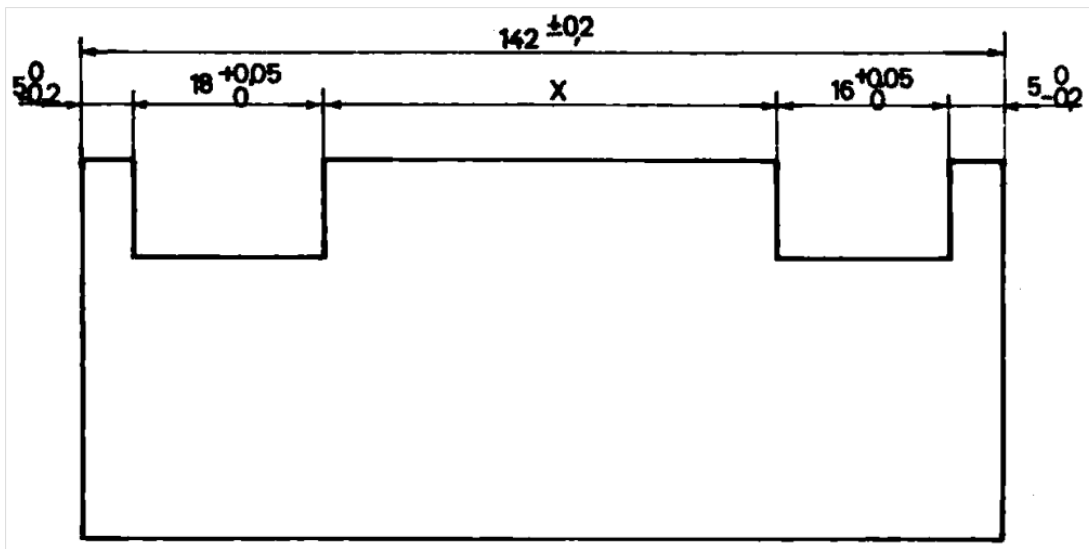
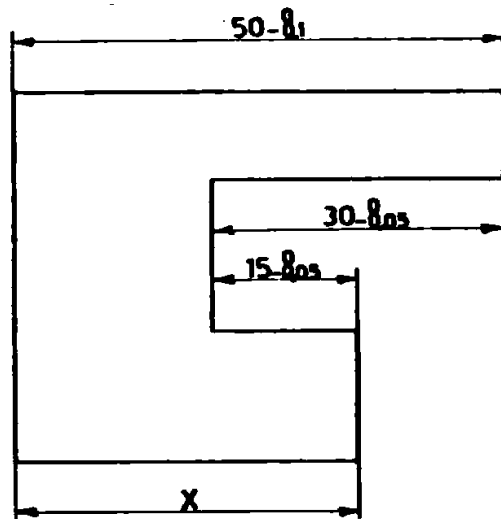
Σχ. 1.3.στ

να δώσετε υπό μορφή πινακιδίου τα όρια των ανοχών. Την κλίμακα για την παράσταση των ανοχών και της χάρης (και σύσφιγξης) να τη διαλέξετε κατά την κρίση σας.

14. Με τη βοήθεια σκίτσων να δώσετε παραδείγματα αναγραφής διαστάσεων με ανοχές στο μηχανολογικό σχέδιο.

15. Ποιους βασικούς κανόνες εφαρμόζουμε στον προσδιορισμό συνθέτων ανοχών και των ορίων τους;

16. Να υπολογίσετε την ανοχή και τις οριακές τιμές της άγνωστης διάστασης για τις περιπτώσεις του παρακάτω σχήματος 1.3.ζ, χαράσσοντας κάθε φορά και το αντίστοιχο διάγραμμα διαστάσεων. (οι ανοχές δίνονται σε mm).



Σχ. 1.3.ζ