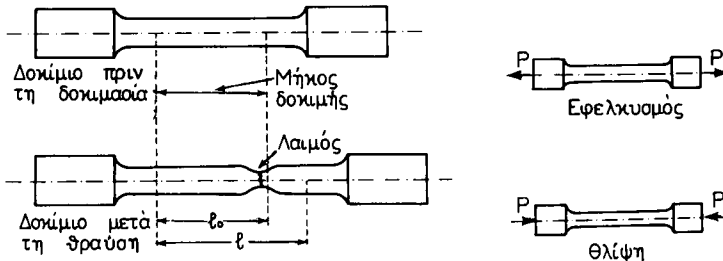


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### Η ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΛΙΨΕΩΣ

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

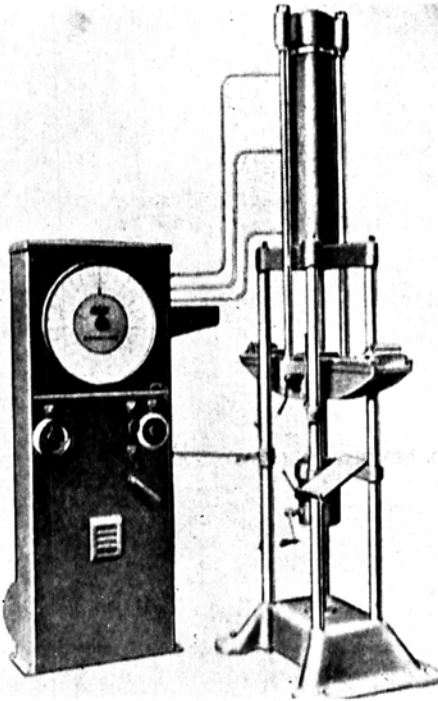


Σχ. 6α.  
Δοκίμιο εφελκυσμού.

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

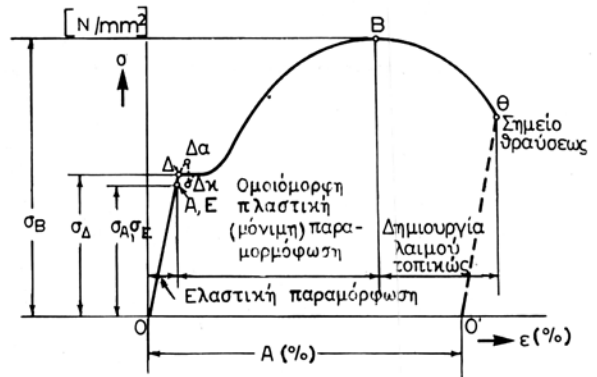
Κατά τη δοκιμασία του εφελκυσμού, σε κάθε τιμή της εφαρμοζόμενης δυνάμεως εφελκυσμού, που μετράται από το ειδικό όργανο, αντιστοιχεί και ορισμένη επιμήκυνση, η οποία μετράται από το μηκυνσιόμετρο. Από τις μετρούμενες τιμές της δυνάμεως εφελκυσμού και της επιμηκύνσεως μπορούμε να χαράξουμε το λεγόμενο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

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



Σχ. 66.  
Μηχάνημα εφελκυσμού και θλίψεως.

Σχ. 6γ.  
Το διάγραμμα εφελκυσμού  
μαλακού χάλυβα.



$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

όπου:  $l_0$  είναι το μήκος δοκιμής του δοκιμίου (σχ. 6α) σε mm και  $l$  σε mm είναι το μήκος αυτό μετά την εφαρμογή της δύναμης εφελκυσμού  $P$ .

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

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

όπου: P σε N είναι η δύναμη εφελκυσμού και  $F_0$  σε  $\text{mm}^2$  είναι η αρχική διατομή του δοκιμίου.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

όπου:  $F_0$  σε  $mm^2$  η αρχική διατομή του δοκιμίου και  $F_\theta$  σε  $mm$  η ελάχιστη διατομή αυτού μετά τη θραύση.

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

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

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