

2.8.4 Τόρνευση

Η τόρνευση είναι μια κατεργασία με εργαλείο που έχει γεωμετρικά καθορισμένη κόψη και κυκλική κίνηση κοπής. Συνήθως την κυκλική κίνηση την εκτελεί το αντικείμενο. Το εργαλείο με μία κόψη είναι σταθεροποιημένο και εκτελεί κίνηση κατά μήκος της κατεργαζόμενης επιφάνειας. Σε ιδιαίτερες περιπτώσεις μπορεί επίσης το εργαλείο να εκτελεί την περιστροφική κίνηση (εργαλείο επιπέδου εσωτερικής τόρνευσης και κατασκευή σπειρώματος, σελ. 152).

Ως **τορνευτά αντικείμενα** χαρακτηρίζει κανείς τα αντικείμενα που κατασκευάζονται κυρίως με τόρνευση (**σχήμα 1**). Εδώ, μπορούν κατά τη διάρκεια της κατεργασίας στον τόρνο να παραχθούν και επίπεδες επιφάνειες, οπές, αυλάκια κατά μήκος, εγκάρσια και ελικοειδή. Αυτό το είδος κατεργασίας σε έναν τόρνο ονομάζεται πλήρης κατεργασία (σελ. 160).

2.8.4.1 Μέθοδοι τόρνευσης

Ανάλογα με την επιφάνεια που κατασκευάστηκε, οι μέθοδοι τόρνευσης διακρίνονται σε κυκλική τόρνευση, επίπεδη τόρνευση, σπειροτόμηση, έκκεντρη τόρνευση, τόρνευση προφίλ και τόρνευση με αντιγραφή (**σχήμα 1, σελ. 135**).

Στην **κυκλική τόρνευση** παράγεται μία κυλινδρική επιφάνεια (σελ. 135). Η κίνηση της πρόωσης μπορεί να γίνεται κατά τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής (κυκλική κατά μήκος τόρνευση) ή κάθετα προς τον άξονα (κυκλική εγκάρσια τόρνευση). Στην αποπεράτωση με πλατύ εργαλείο η κατεργασία εκτελείται με μεγάλη πρόωση και μικρές γωνίες θέσης.

Στην **επίπεδη τόρνευση** παράγεται μία επίπεδη επιφάνεια κάθετη προς τον άξονα περιστροφής. Διακρίνουμε εγκάρσια επίπεδη τόρνευση, εγκάρσια τόρνευση αποκοπής και κατά μήκος επίπεδη τόρνευση (σελ. 135).

Η **σπειροτόμηση** είναι μία τόρνευση με ειδικό εργαλείο για την παραγωγή ελικοειδών επιφανειών, κατά την οποία η πρόωση ανά στροφή είναι ίση με το βήμα της έλικας (σελ. 135).

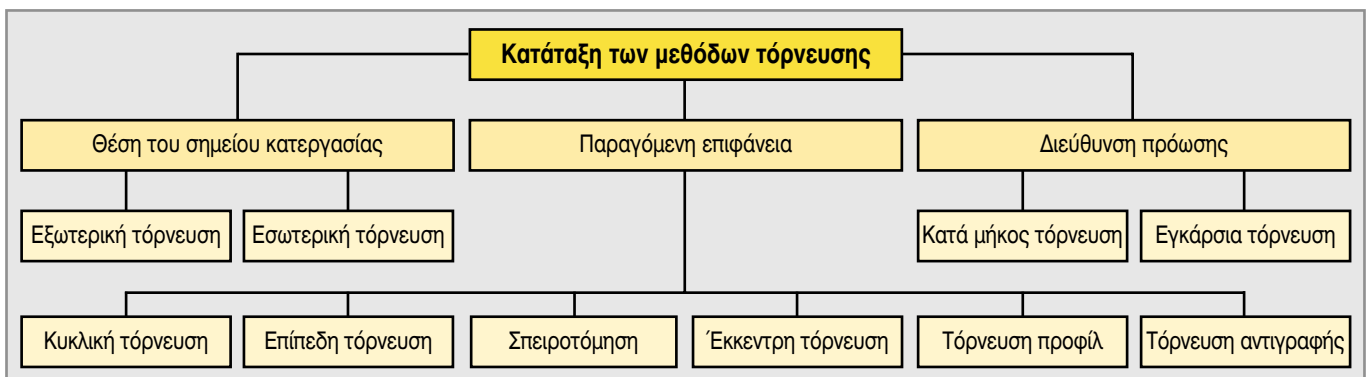
Στην **έκκεντρη τόρνευση**, κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής του αντικειμένου μεταβάλλεται η θέση της κόψης του εργαλείου, ανάλογα με τη διατομή που θα παραχθεί (σελ. 135).

Στην **τόρνευση προφίλ** μεταφέρεται η μορφή του εργαλείου επάνω στο αντικείμενο (σελ. 135).

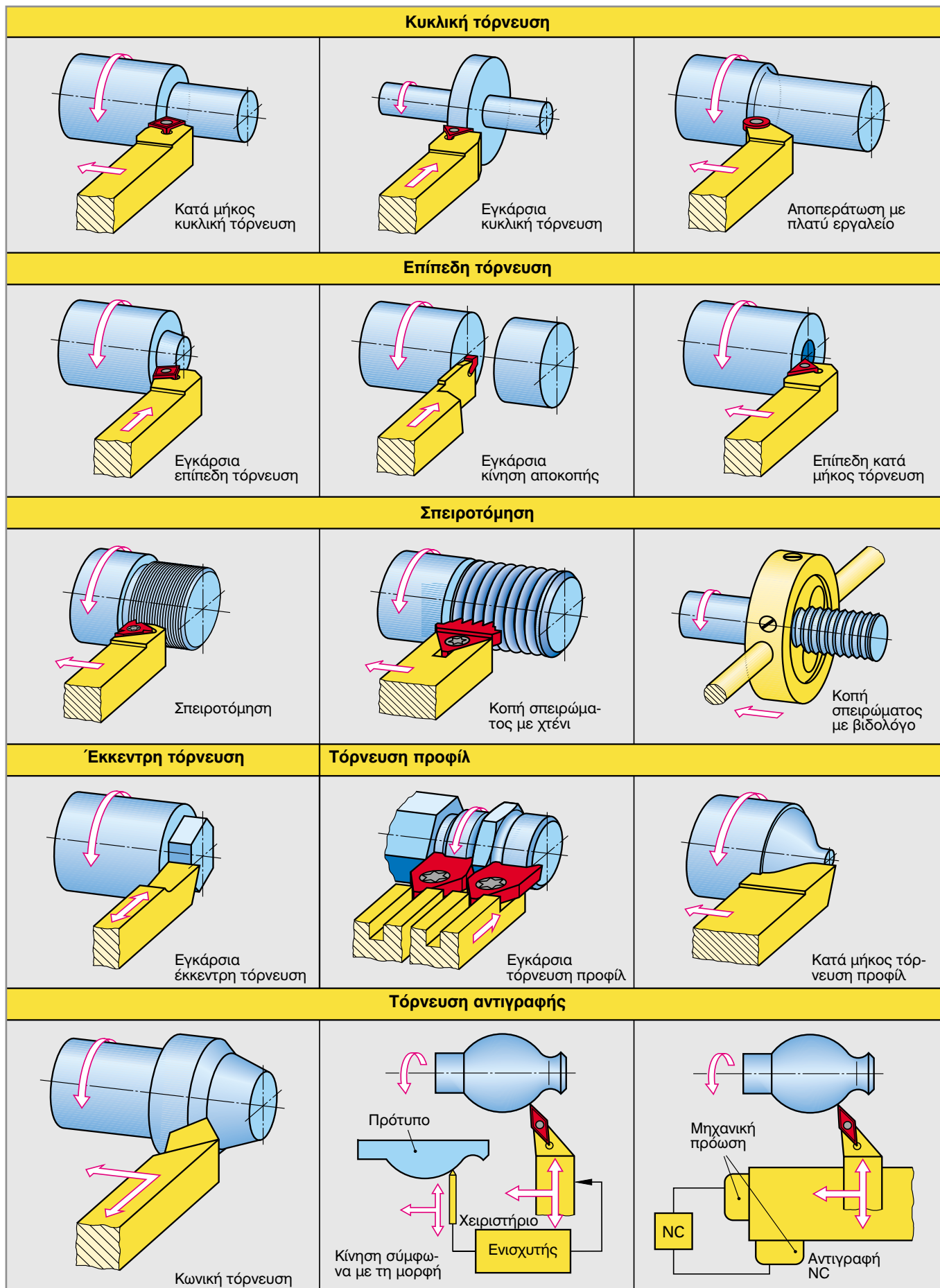
Τόρνευση αντιγραφής είναι μία μέθοδος κατά την οποία με έλεγχο της κίνησης πρόωσης παράγεται η μορφή του αντικειμένου (σελ. 135). Ο έλεγχος της πρόωσης μπορεί να γίνει με το χέρι (ελεύθερη αντιγραφή), από ένα πρότυπο (αντιγραφή από πρότυπο) ή με αριθμητικό έλεγχο (αντιγραφή NC).



Σχήμα 1: Τορνευτά αντικείμενα



Σχήμα 1: Κατάταξη των μεθόδων τόρνευσης



Σχήμα 1: Κατάταξη των μεθόδων τόνρευσης

Ανάλογα με τη θέση του σημείου κατεργασίας επάνω στο αντικείμενο, διακρίνουμε **εσωτερική** και **εξωτερική τόννευση** (σχήμα 1). Ανάλογα με τη διεύθυνση πρόωσης διακρίνουμε **κατά μήκος τόννευση** και **εγκάρσια τόννευση** (σχήμα 2).

2.8.4.2 Διαδικασία κοπής και στοιχεία κοπής κατά την τόννευση

Για το σχεδιασμό και την εκτέλεση εργασιών στον τόρνο, είναι απαραίτητη η γνώση της διαδικασίας κοπής στον τόρνο.

Ταχύτητα κοπής και στροφές

Η κίνηση κοπής παράγεται με την περιστροφή του αντικειμένου. Η ταχύτητα κοπής v_c στην τόννευση δίνεται σε m/min. Η εκλογή της ταχύτητας κοπής εξαρτάται από το υλικό του αντικειμένου, από το υλικό του εργαλείου, την ψύξη, την επιθυμητή ποιότητα επιφάνειας και από την ισχύ της εργαλειομηχανής.

Συνιστώμενες τιμές για την ταχύτητα κοπής βρίσκονται σε πίνακες (πίνακας 1), ή με τη βοήθεια εξισώσεων υπολογίζονται τα ζητούμενα με βάση τις συνιστώμενες τιμές που δίνουν οι κατασκευαστές. Στις μηχανές NC μπορεί να προγραμματιστεί η υπολογισμένη ταχύτητα κοπής (συνθήκες διαδρομής G96, σελ. 412).

Για άλλες μηχανές οι στροφές που θα τεθούν στον τόρνο, διαβάζονται σε ένα διάγραμμα που βρίσκεται στον τόρνο (σχήμα 3), ή βρίσκονται σε πίνακες ή υπολογίζονται από την ταχύτητα κοπής v_c και τη διάμετρο του αντικειμένου d .

Στροφές

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

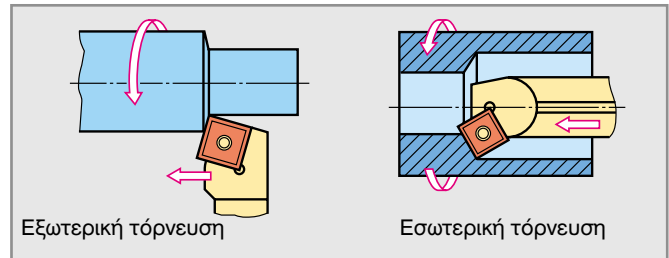
Παράδειγμα: Ένας άξονας από C35E με διάμετρο $d=125$ mm θα τόννευτεί με πρόωση $f = 0,15$ mm, βάθος κοπής $a_p = 1$ mm. Το υλικό του εργαλείου είναι ένα επιστρωμένο πλακίδιο σκληρομέταλλου HC-P20. Ζητούνται οι στροφές του τόρνου για την κατεργασία αυτή.

Λύση: Από τον πίνακα 1 προκύπτει μία ταχύτητα κοπής $v_c = 390$ m/min. Από το διάγραμμα στροφών (σχήμα 3) βρίσκονται οι στροφές $n = 1000$ /min.

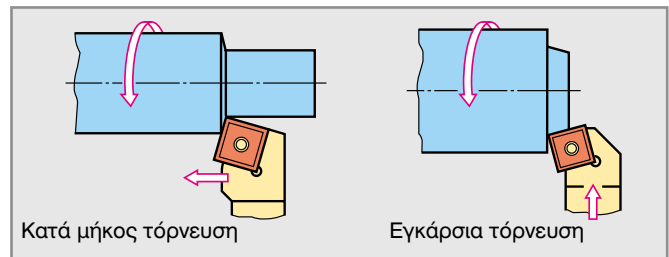
Παράδειγμα: Να υπολογιστούν οι στροφές για την κατασκευή σπειρώματος σε τόρνο. Ταχύτητα κοπής 35 m/min και $d = 150$ mm.

Λύση: $n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{35 \text{ m/min}}{\pi \cdot 150 \text{ m}} = 74/\text{min}$

Οι στροφές n καθορίζονται από την ταχύτητα κοπής v_c και τη διάμετρο d του αντικειμένου.



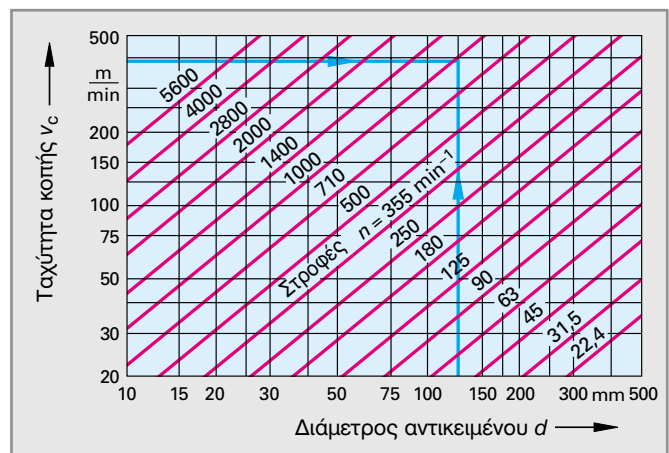
Σχήμα 1: Θέση του σημείου κατεργασίας στην τόννευση



Σχήμα 2: Διεύθυνση πρόωσης στην τόννευση

Πίνακας 1: Συνιστώμενες τιμές για τόννευση με πλακίδια σκληρομέταλλου HC-P20

Υλικό	Βάθος κοπής a_p mm	Ταχύτητα κοπής v_c σε m/min για πρόωση f σε mm			
		0,16	0,25	0,40	0,63
C15E (Ck 15) 15S10 9SMn28	1	474	447	420	—
	2	442	417	392	—
	4	412	389	366	345
S235 (St 37) C35E (Ck 35) GS-38 N	1	390	358	328	—
	2	364	334	306	—
	4	340	312	285	262
E295 (St 50) C45E (Ck 45) 34CrMo4	1	335	300	267	—
	2	311	278	247	—
	4	288	258	229	202
E360 (St 70) C60E (Ck 60) 28Mn6	1	268	233	202	—
	2	248	216	187	—
	4	230	200	173	150



Σχήμα 3: Διάγραμμα στροφών ενός τόρνου

Πρόωση

Η πρόωση f , δίνεται σε mm (mm ανά στροφή) εκλέγεται σύμφωνα με την ισχύ του τόρνου και τη ζητούμενη ποιότητα επιφάνειας. Η ταχύτητα πρόωσης v_f υπολογίζεται από τις στροφές n και την πρόωση f .

Ταχύτητα πρόωσης

$$v_f = n \cdot f$$

Παράδειγμα: Ένας άξονας με $d = 600$ mm θα υποστεί κατεργασία με ταχύτητα κοπής $v_c = 95$ m/min, πρόωση $f = 5$ mm. Η κατεργασία είναι αποπεράτωση με πλατύ εργαλείο (σχήμα 1). Ζητείται η ταχύτητα πρόωσης v_f .

$$\text{Λύση: } n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{95 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0,6 \text{ m}} = 50/\text{min}$$

$$v_f = n \cdot f = 50/\text{min} \cdot 5 \text{ mm} = 250 \text{ mm/min}$$

Μέγεθος και μορφή της διατομής αποβλήτου

Το **βάθος κοπής** a_p (πλάτος κοπής) καθορίζεται στην κυκλική και στην επίπεδη τόννευση από την προσέγγιση του εργαλείου, ενώ στην εγκάρσια κίνηση αποκοπής (ή αυλακιού), από το πλάτος του εργαλείου (σχήμα 2). Το γινόμενο του βάθους κοπής a_p επί την πρόωση f δίνει το μέγεθος της διατομής A του αποβλήτου (σχήμα 3).

Διατομή αποβλήτου

$$A = a_p \cdot f$$

Η **γωνία θέσης** κ είναι η γωνία μεταξύ της κυρίας κόψης του εργαλείου τόννευσης και της διεύθυνσης πρόωσης. Η γωνία θέσης καθορίζει τη **μορφή της διατομής του αποβλήτου** (σχήμα 3).

Το **πλάτος** b του αποβλήτου και το **πάχος** h του αποβλήτου εξαρτώνται από το βάθος κοπής a_p , από την πρόωση f και τη γωνία θέσης κ (σχήμα 3).

Πλάτος αποβλήτου

$$b = \frac{a_p}{\eta \mu \kappa}$$

Πάχος αποβλήτου

$$h = f \cdot \eta \mu \kappa$$

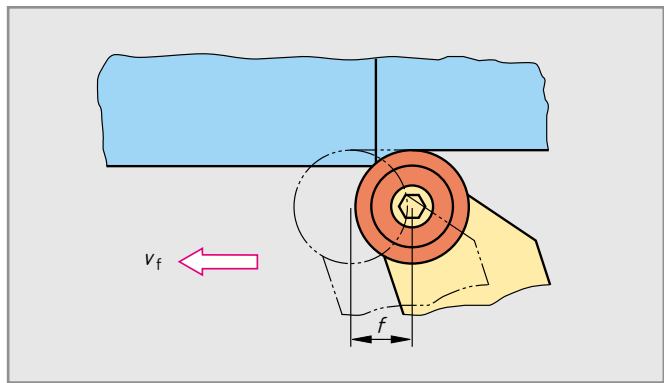
Παράδειγμα: Ένας άξονας τόννεύεται με πρόωση $f = 0,3$ mm και βάθος κοπής $a_p = 3,5$ mm (σχήμα 4). Αν $\kappa = 45^\circ$, ζητούνται το πλάτος b του αποβλήτου, το πάχος του h και η διατομή A του αποβλήτου.

$$\text{Λύση: } b = \frac{a_p}{\eta \mu \kappa} = \frac{3,5 \text{ mm}}{\eta \mu 45^\circ} \approx 5 \text{ mm}$$

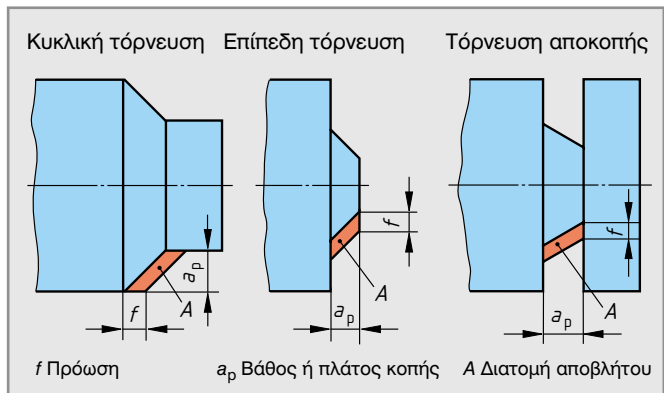
$$h = f \cdot \eta \mu \kappa = 0,3 \text{ mm} \cdot \eta \mu 45^\circ \approx 0,2 \text{ mm}$$

$$A = a_p \cdot f = 3,5 \text{ mm} \cdot 0,3 \text{ mm} \approx 1 \text{ mm}^2$$

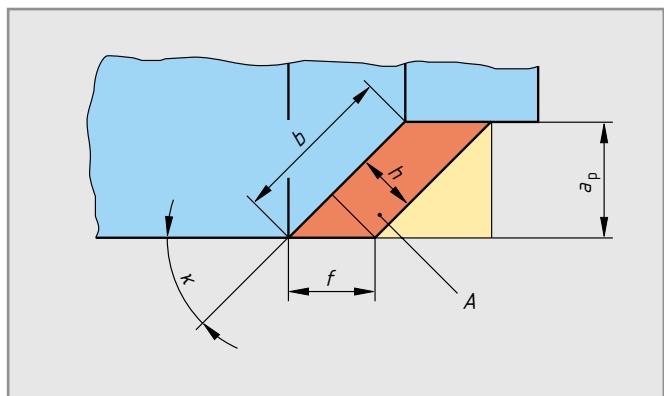
Οι στροφές n , η πρόωση f και το βάθος κοπής a_p είναι τα σπουδαιότερα στοιχεία που πρέπει να τοποθετηθούν στην τόννευση.



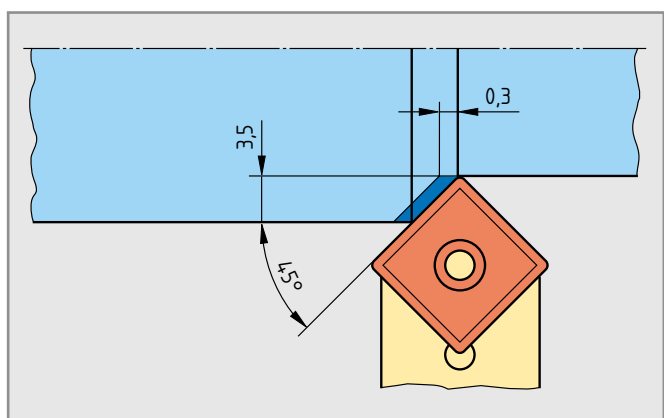
Σχήμα 1: Αποπεράτωση με πλατύ εργαλείο



Σχήμα 2: Πλάτος και βάθος κοπής



Σχήμα 3: Μέγεθος και μορφή της διατομής του αποβλήτου



Σχήμα 4: Τόννευση πατούρας άξονα

Δυνάμεις και ισχύς κατά την τόννευση

Οι δυνάμεις στην τόννευση δημιουργούνται από τη διεύθυνση της κόψης του εργαλείου μέσα στο περιστρεφόμενο αντικείμενο.

Η **δύναμη κοπής** F_c είναι η δύναμη που ενεργεί εφαιπτομενικά (σχήμα 1). Μαζί με τη **δύναμη πρόωσης** F_f σχηματίζει τη **δρώσα δύναμη** F_a . Η **παθητική δύναμη** F_p (ή απώθησης) προσπαθεί να απωθήσει το εργαλείο από τη θέση κοπής. Η αντίρροπη δύναμη ενεργεί κάθετα προς τη διεύθυνση πρόωσης. Η δρώσα δύναμη και η παθητική δύναμη δίνουν το μέγεθος και τη φορά της ολικής δύναμης **κατεργασίας** F (σχήμα 2).

Η αναγκαία για την τόννευση δύναμη κοπής F_c υπολογίζεται από την **ειδική δύναμη κοπής** k_c και τη διατομή A του αποβλήτου.

Δύναμη κοπής

$$F_c = k_c \cdot A$$

Η ειδική δύναμη κοπής k_c είναι η δύναμη που είναι αναγκαία για την κατεργασία ενός υλικού με εμβαδόν αποβλήτου $A = 1 \text{ mm}^2$. Η k_c εξαρτάται από την κατεργασιμότητα του υλικού, το πάχος h του αποβλήτου, την ταχύτητα κοπής v_c και τη γεωμετρία της κόψης του εργαλείου και μπορεί να ληφθεί από πίνακες (πίνακας 1). Από τη δύναμη κοπής F_c και το βαθμό απόδοσης η του τόννου μπορεί να υπολογιστεί η αναγκαία ισχύς κίνησης του τόννου P_e .

Ισχύς κίνησης

$$P_e = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta}$$

Παράδειγμα: Ζητείται η ισχύς κίνησης ενός τόννου για την κατεργασία του άξονα του **σχήματος 3**. Δίνεται $\eta = 0,8$ και εργαλείο σκληρομετάλλου με επίστρωση.

Λύση: Εκλέγεται η ταχύτητα κοπής v_c (από πίνακα 1 σελ. 136).

$$v_c = 202 \text{ m/min} = 3,37 \text{ m/s}$$

$$h = f \cdot \eta \cdot z = 0,6 \text{ mm} \cdot \eta \cdot 60^\circ \approx 0,5 \text{ mm}$$

$$k_c = 1845 \text{ N/mm}^2 \text{ (από πίνακα 1)}$$

$$F_c = k_c \cdot A$$

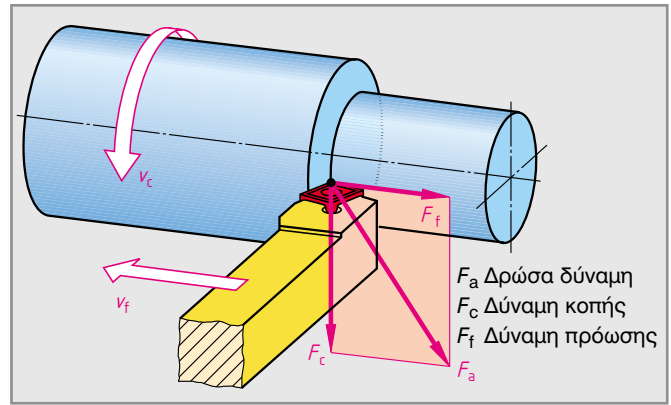
$$= 1845 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}$$

$$= 4428 \text{ N}$$

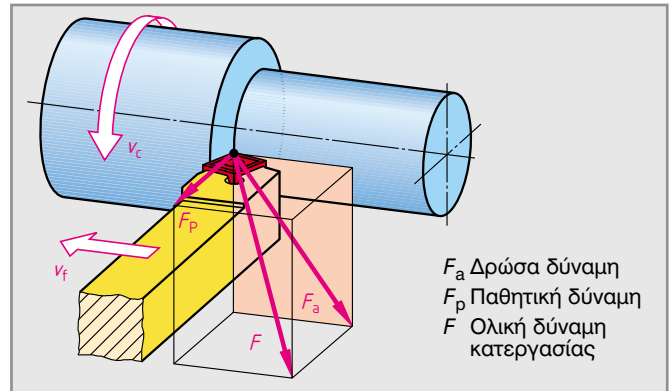
$$P_e = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta} = \frac{4428 \text{ N} \cdot 3,37 \text{ m/s}}{0,8}$$

$$= 18653 \text{ W} \approx 18,7 \text{ kW}$$

Η αναγκαία ισχύς P_e του τόννου εξαρτάται από το κατεργαζόμενο υλικό, τη διατομή του αποβλήτου A , την ταχύτητα κοπής v_c και το βαθμό απόδοσης η .



Σχήμα 1: Δρώσα δύναμη κατά την τόννευση

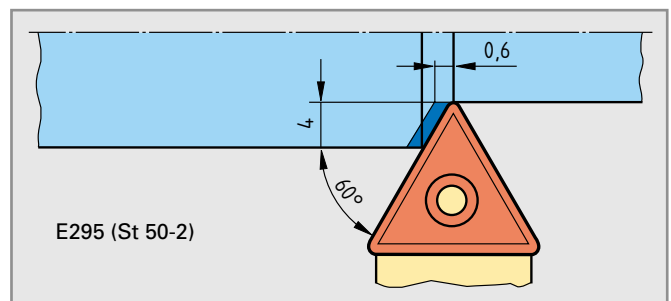


Σχήμα 2: Ολική δύναμη κατεργασίας κατά την τόννευση

Πίνακας 1: Συνιστώμενες τιμές για την ειδική δύναμη κοπής k_c στην τόννευση

Υλικό	Ειδ. δύναμη κοπής k_c σε N/mm^2 για πάχος αποβλήτου h σε mm				
	0,1	0,16	0,3	0,5	0,8
E295 (St 50-2)	2995	2600	2130	1845	1605
C35E (Ck 35)	2700	2380	1990	1750	1540
C60E (Ck 60)	2805	2530	2185	1970	1775
9SMn28 (Ck 60)	1985	1820	1615	1485	1365
16MnCr5	2795	2425	1990	1725	1495
37MnSi5	2810	2500	2115	1880	1670
42CrMo4	2850	2520	2120	1875	1660

Οι τιμές ισχύουν για πλακίδια από σκληρομέταλλο με γωνία αποβλήτου $\gamma = +6^\circ$ και για ταχύτητα κοπής $v_c = 80$ έως 400 m/min



Σχήμα 3: Παράδειγμα τόννευσης

2.8.4.3 Αλληλοεξάρτηση των στοιχείων κατεργασίας

Μορφή της διατομής του αποβλήτου

Με την κατάλληλη εκλογή του βάθους κοπής, της πρόωσης και της γωνίας θέσης είναι δυνατόν να επηρεαστούν η διαμόρφωση του αποβλήτου στην κόψη του εργαλείου και κατά συνέπεια η διάρκεια ζωής του εργαλείου και η ποιότητα της επιφάνειας.

Βάθος κοπής και πρόωση. Αν εκλέξει κανείς το βάθος κοπής $a_p=2$ mm και την πρόωση $f = 1$ mm, τότε προκύπτει μία διατομή αποβλήτου ίση με αυτήν που προκύπτει όταν $a_p = 4$ mm και $f = 0,5$ mm (σχήμα 1). Μία ικανοποιητική διαμόρφωση αποβλήτου λαμβάνεται, όμως, μόνον αν ο λόγος $a_p : f$ βρίσκεται μεταξύ 4:1 και 10:1.

Σχέση μεγεθών αποβλήτου $a_p : f = 4:1$ έως $10:1$

Παράδειγμα: Για μία τόννευση ρυθμίζεται βάθος κοπής 5 mm. Μέσα σε ποια όρια θα κυμανθεί η πρόωση;

Λύση: $a_p : f = 4:1$ έως $10:1$

$$f_1 = \frac{a_p}{4} = \frac{5 \text{ mm}}{4} = 1,25 \text{ mm} \quad f_2 = \frac{a_p}{10} = \frac{5 \text{ mm}}{10} = 0,5 \text{ mm}$$

Γωνία θέσης. Αν ελαττωθεί η γωνία θέσης κ , π.χ. από 90° σε 45° , τότε θα ελαττωθεί και το πάχος h του αποβλήτου, ενώ το πλάτος b θα αυξηθεί (σχήμα 2). Ταυτόχρονα, όμως, θα αυξηθούν η παθητική δύναμη F_p και η ειδική δύναμη κοπής k_c (σχήμα 3). Αν τα τερνευόμενα αντικείμενα είναι αρκετά στιβαρά, τότε η κατεργασία γίνεται με $\kappa = 45^\circ$, ενώ για λεπτούς άξονες και τόννευση σε τόνρους NC, συνηθισμένες γωνίες είναι από 75° έως 95° . Αν τα αντικείμενα έχουν στερεωθεί καλά, είναι στιβαρά και η αφαίρεση του υλικού είναι μικρή, τότε μπορεί να τεθεί γωνία θέσης πολύ μικρή (σχήμα 4).

Μέγεθος της διατομής του αποβλήτου

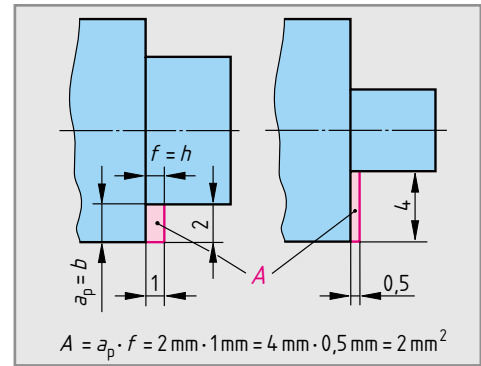
Ο μικρότερος χρόνος κατεργασίας θα προκύψει αν η διατομή του αποβλήτου γίνει μεγάλη και η ταχύτητα κοπής πολύ υψηλή. Και οι δύο τιμές όμως, περιορίζονται από την ισχύ της μηχανής και τη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Γι' αυτόν το λόγο συνήθως, η κατεργασία γίνεται σε περισσότερες φάσεις (σχήμα 5).

Ξεχόνδρισμα. Σκοπός του ξεχονδρίσματος ή προτόρνευσης είναι η επίτευξη ενός, κατά το δυνατόν, μεγάλου όγκου αποβλήτων (σελ. 150). (Βλ. σχήμα 5, φάση κατεργασίας I). Για το ξεχόνδρισμα εκλέγονται μεγάλες προώσεις, αντίστοιχα βάθη κοπής και μικρές ταχύτητες κοπής, από ό,τι στην αποπεράτωση (φινίρισμα).

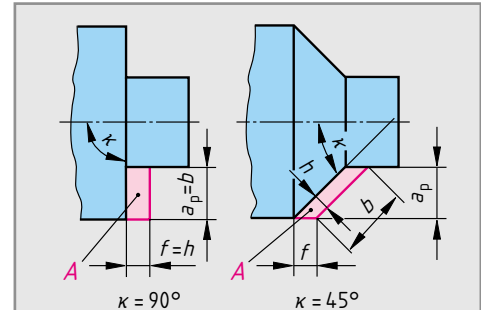
Το ξεχόνδρισμα γίνεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πρόωση και ανάλογο βάθος κοπής.

Αποπεράτωση (φινίρισμα). Με την αποπεράτωση θα πρέπει να επιτευχθούν οι ζητούμενες ακρίβειες στις διαστάσεις και στη μορφή, καθώς και η επιθυμητή ποιότητα επιφάνειας (σχήμα 5, φάση II). Εδώ, η πρόωση και το βάθος κοπής είναι μικρά, ενώ η ταχύτητα κοπής εκλέγεται μεγάλη. Η πρόωση δεν επιτρέπεται να γίνει μεγαλύτερη των 0,05 mm, διότι το εργαλείο πιέζει και η φθορά του θα ήταν μεγάλη. Πολλές φορές, μικρές λεπτομέρειες του περιγράμματος, π.χ. ξεθυμάσματα, στρογγυλέματα και γωνίες, ετοιμάζονται κατά το φινίρισμα.

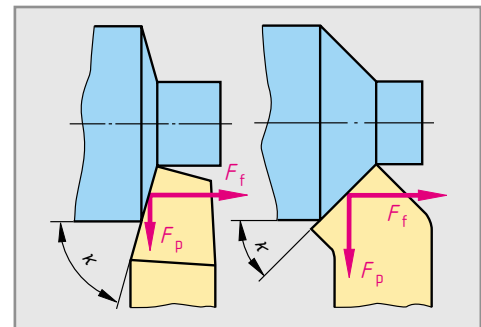
Η αποπεράτωση (φινίρισμα) εκτελείται με μικρή διατομή αποβλήτου και μεγάλη ταχύτητα κοπής.



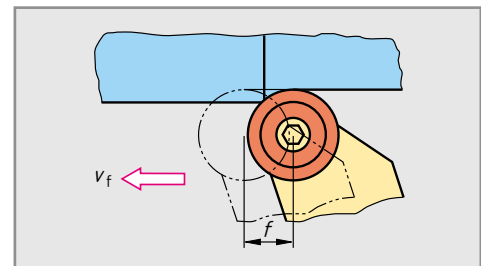
Σχήμα 1: Βάθος κοπής και πρόωση



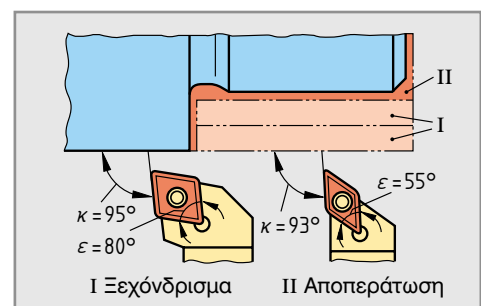
Σχήμα 2: Επίδραση της γωνίας θέσης στις διαστάσεις του αποβλήτου



Σχήμα 3: Επίδραση της γωνίας θέσης στην παθητική δύναμη



Σχήμα 4: Αποπεράτωση με πλατύ εργαλείο



Σχήμα 5: Σειρά φάσεων κατεργασίας κατά την τόννευση

2.8.4.4 Εκλογή κατάλληλων συνθηκών κατεργασίας

Οι συνθήκες κατεργασίας που εκλέγονται στον τόρνο (μεγέθη εισόδου) καθορίζουν την ποιότητα και την οικονομικότητα της παραγωγής (μεγέθη εξόδου). Επειδή οι τιμές που θα τοποθετηθούν αλληλοεξαρτώνται, πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπόψη όλες μαζί.

Με την ορθή εκλογή των συνθηκών κατεργασίας, κυρίως της ταχύτητας κοπής, καθορίζονται η ποιότητα και η οικονομικότητα της κατεργασίας στον τόρνο.

Παράδειγμα: Από τα διαγράμματα του **σχήματος 1** μπορεί να φανεί η επίδραση μιας αύξησης της ταχύτητας κοπής.

Διάγραμμα 1: Η μέγιστη τραχύτητα παρουσιάζεται όταν η ταχύτητα κοπής είναι μικρή, διότι τότε δημιουργείται μία ψευδοακμή (σελ. 101). Η ταχύτητα κοπής, κατά συνέπεια, για όλες τις κατεργασίες στον τόρνο, ιδιαίτερα στην αποπεράτωση, πρέπει να εκλεγεί τόσο μεγάλη, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία μιας ψευδοακμής.

Διάγραμμα 2: Οι δυνάμεις κοπής αρχικά αυξάνονται, στη συνέχεια, όμως, γίνονται μικρότερες. Επομένως, στις υψηλές ταχύτητες κοπής, η κατεργασία μπορεί να γίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια (αποπεράτωση) ή ακόμη και να πραγματοποιηθεί μία παραγωγή μεγαλύτερου όγκου αποβλήτων ανά μονάδα χρόνου (εξεχόνδρισμα).

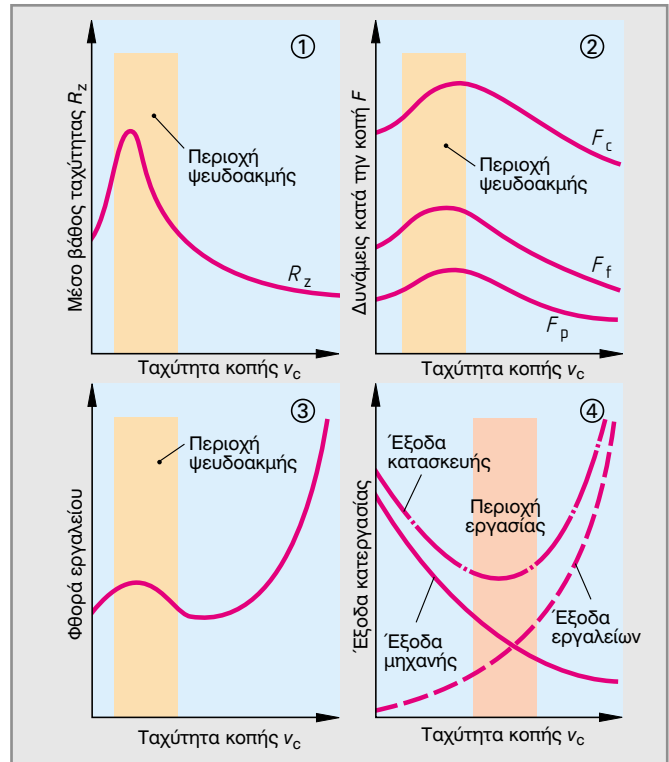
Διάγραμμα 3: Η φθορά του εργαλείου στις μεγάλες ταχύτητες κοπής αυξάνεται σημαντικά, με αντίστοιχη μείωση της διάρκειας ζωής του εργαλείου. Η ταχύτητα κοπής επιτρέπεται να αυξηθεί τόσο, ώστε η διάρκεια ζωής του εργαλείου, η οποία θα προκύψει, να βρίσκεται σε οικονομικά όρια. Οι συνιστώμενες τιμές για την ταχύτητα κοπής βασίζονται συνήθως σε διάρκεια ζωής εργαλείου ίση με 15 min.

Διάγραμμα 4: Με τη επιλογή της σωστής ταχύτητας για την κοπή επιτυγχάνεται μία οικονομία στην παραγωγή εφόσον βέβαια διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα και τα ανάλογα έξοδα για τη μηχανή, τις αμοιβές και τα εργαλεία.

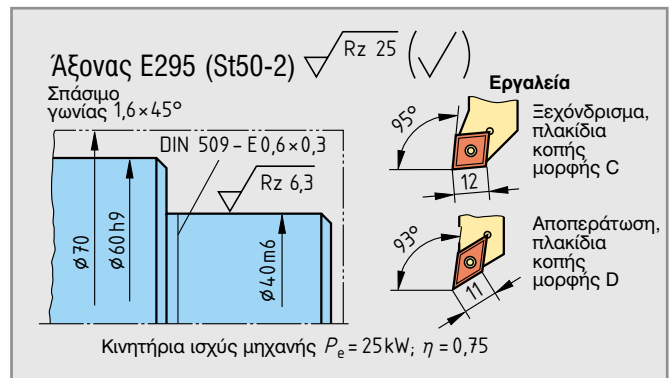
Παράδειγμα: Εκλογή των συνθηκών κατεργασίας για έναν άξονα (σχήμα 2)

Εκλογή εργαλείων

Τα εργαλεία τόννευσης εκλέγονται σύμφωνα με το είδος του υλικού, το μέγεθος και τη μορφή του αντικειμένου καθώς και από το μέγεθος και την ισχύ της μηχανής (σχήμα 2 και σελ. 138). Στο παράδειγμα έχουν εκλεγεί τα εργαλεία τόννευσης με πλακίδια από σκληρομέταλλο HC-P20 και βαθμίδα διαμόρφωσης αποβλήτου (σελ. 100) τύπου M, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Με την επιλογή των εργαλείων υπεισέρχεται και ο περιορισμός για το βάθος κοπής και για την πρόωση (**πίνακας 1**).



Σχήμα 1: Επίδραση της ταχύτητας κοπής



Σχήμα 2: Παράδειγμα τόννευσης

Πίνακας 1: Επιτρεπόμενη φόρτιση στις κόψεις για πλακίδια σκληρομετάλλου				
Πλακίδιο	Μέγεθος	Βάθος κοπής a_p	Πρόωση f	Δύναμη κοπής F_c
Μορφή	l mm	mm	mm	N
C	9	6	0,4	5000
	12	8	0,6	10000
	16	10	0,8	16000
S	9	7	0,4	5000
	12	9	0,6	10000
	15	12	0,8	16500
	19	14	1,0	23000
T	11	5	0,4	4000
	16	8	0,6	9000
	22	11	0,8	15000

Εκλογή της διατομής του αποβλήτου

Στην επιλογή αυτή, πρέπει να προσεχθούν το εργαλείο (πίνακας 1, σελ. 140) και η μορφή του ακατέργαστου τεμαχίου. Σ' αυτό το παράδειγμα εκλέγονται 3 φάσεις ξεχονδρίσματος με αρχικό βάθος κοπής $a_p = 5 \text{ mm}$ και πρόωση $f = 0,5 \text{ mm}$ και μία φάση αποπεράτωσης με $a_p = 1 \text{ mm}$ και $f = 0,08 \text{ mm}$.

Η πρόωση και το βάθος κοπής ελέγχονται είτε από διάγραμμα είτε με υπολογισμό της δύναμης κοπής.

$$F_c = k_c \cdot A = 1845 \text{ N/mm}^2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 0,5 \text{ mm} = \mathbf{4613 \text{ N}}$$

(από πίνακα 1, σελ. 140, επιτρέπεται 10000 N)

Επιλογή της ταχύτητας κοπής

Η συνιστώμενη τιμή της ταχύτητας κοπής λαμβάνεται από πίνακες. Στο παράδειγμα αυτό επιλέγονται 200 m/min για ξεχόνδρισμα και 350 m/min για αποπεράτωση (πιν. 1, σελ. 136). Αυτή η τιμή πρέπει να διορθωθεί σύμφωνα με τις συνθήκες κατεργασίας (πίνακας 2).

1. Φάση ξεχονδρίσματος (επιφάνεια από έλαση): $v_{c1} = 200 \text{ m/min} \cdot 0,75 = \mathbf{150 \text{ m/min}}$
 2. και 3. φάση ξεχονδρίσματος (τιμή): $v_{c2} = \mathbf{200 \text{ m/min}}$
- Φάση αποπεράτωσης (διάρκεια ζωής $T = 60 \text{ min}$): $v_{c3} = 350 \text{ m/min} \cdot 0,7 = \mathbf{245 \text{ m/min}}$

Οι συνιστώμενες τιμές κατεργασίας είναι μέσες τιμές οι οποίες πρέπει να διορθωθούν σύμφωνα με τις συνθήκες κατεργασίας, είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω.

Τέλος οι τιμές που θα τεθούν στο μηχάνημα πρέπει να υποβληθούν και στους εξής ελέγχους:

- Είναι εφικτή η διαθέσιμη ισχύς της μηχανής;

$$P_e = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta} = \frac{4613 \text{ N} \cdot 200 \text{ m}}{60 \text{ s} \cdot 0,75} = 20502 \text{ W} = \mathbf{20,5 \text{ kW}}$$

(Διαθέσιμη $P_e = 25 \text{ kW}$)
- Οι στροφές κατεργασίας βρίσκονται στην περιοχή στροφών της μηχανής και των μέσων στερέωσης;
- Είναι η μηχανή, η στερέωση, το εργαλείο και το αντικείμενο αρκετά στιβαρά;
- Σε ποιες φάσεις κατεργασίας χρειαζόμαστε ψυκτικό; (ψυκτικά - λιπαντικά, βλ. σελ. 102);

Ερωτήσεις επανάληψης

1. Ποιες μέθοδοι τόννευσης υπάρχουν ανάλογα με τη διεύθυνση της πρόωσης;
2. Πώς υποδιαιρούνται οι μέθοδοι τόννευσης ανάλογα με την παραγόμενη μορφή του αντικειμένου;
3. Σε ποια σχέση πρέπει να βρίσκεται το βάθος κοπής με την πρόωση στην τόννευση;
4. Πώς πρέπει να εκλεγούν στην αποπεράτωση η ταχύτητα κοπής και η πρόωση;
5. Ποιοι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την εκλογή της ταχύτητας κοπής;

Πίνακας 1: Συντελεστές διόρθωσης για συνιστώμενες τιμές ταχύτητας κοπής	
Επίδραση στην κατεργασία	Συντελεστής διορθώσεως
Εξωτερική επιφάνεια από σφυρηλασία, έλαση, χύτευση	0,7...0,8
Διακοπτόμενη κοπή	0,8...0,9
Εσωτερική τόννευση	0,75...0,85
Τεμάχιο μικρής στιβαρότητας	0,8...0,95
Πολύ στιβαρό τεμάχιο	1,05...1,2
Κακή κατάσταση μηχανής	0,8...0,95
Πολύ καλή κατάσταση μηχανής	1,05...1,2
Επιθυμητή διάρκεια ζωής $T = 8 \text{ min}$	1,1...1,3
$T = 30 \text{ min}$	0,8...0,9
$T = 60 \text{ min}$	0,6...0,8

Πίνακας 1: Πορεία σχεδιασμού για την εκλογή των συνθηκών κατεργασίας στην τόννευση			
Σχεδιασμός		Οδηγίες επιλογής για:	
a/a	Φάση	Ξεχόνδρισμα	Αποπεράτωση
1	Εκλογή βάθους κοπής	Όσο το δυνατόν περισσότερο, προσοχή στις οριακές τιμές του εργαλείου	Σύμφωνα με το περιθώριο αποπεράτωσης
2	Εκλογή πρόωσης	Όσο το δυνατόν περισσότερο, προσοχή στις οριακές τιμές του εργαλείου	Μέγιστη τιμή σύμφωνα με τη μέγιστη τραχύτητα, ελάχιστη τιμή 0,05 mm
3	Έλεγχος	Έλεγχος θραύσης αποβλήτου από διάγραμμα. Σε ασύμφορη εκλογή, αλλαγή τιμών ή αλλαγή πλακιδίου κοπής	Υπολογισμός δύναμη κοπής F_c και σύγκριση με επιτρεπόμενη μέγιστη τιμή
4	Εκλογή ταχύτητας κοπής	Επιλογή ταχύτητας κοπής προσέχοντας διατομή αποβλήτου, υλικό και υλικό εργαλείου. Διόρθωση με συντελεστές	
5	Προσοχή στην επίδραση της μηχανής	Κινητήρια ισχύς, ροπή στρέψης, περιοχή στροφών, έλεγχος στιβαρότητας	Έλεγχος περιοχής στροφών και στιβαρότητας

6. Για την τόννευση υλικού 9SMn28, δίνονται: $d = 120 \text{ mm}$, $a_p = 4 \text{ mm}$, $f = 0,4 \text{ mm}$, $\alpha = 75^\circ$, η μηχανής = 0,8 και εργαλείο από επιστρωμένο σκληρομέταλλο. Ζητούνται: η ταχύτητα κοπής v_c , οι στροφές n , η δύναμη κοπής F_c και η κινητήρια ισχύς P_e .
7. Ποιες τιμές έχουν τα στοιχεία κοπής για το ξεχόνδρισμα ακατέργαστου άξονα από C45E (Ck45) με επιστρωμένα πλακίδια σκληρομετάλλου;

2.8.4.5 Εργαλεία τόννου

Υλικά εργαλείων τόννου

Ως υλικά εργαλείων τόννου χρησιμοποιούνται κυρίως επιστρωμένα σκληρομέταλλα και κεραμικά υλικά (σελ. 98, 99), συνήθως ως αναστρεφόμενα πλακίδια σε σφιγκτήρες. Τα εργαλεία για τόννευση προφίλ ή μικρών εσωτερικών λεπτομερειών, έχουν πολλές φορές κόψεις από ταχυχάλυβα. Για λεπτές κατεργασίες μη σιδηρούχων υλικών ή ενισχυμένων πλαστικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πολυκρυσταλλικό διαμάντι. Για σκληρά υλικά, π.χ. σκληρό χυτοσίδηρο και βαμμένο χάλυβα χρησιμοποιείται το αζωτούχο βόριο, ενώ για χυτοσίδηρο το αζωτούχο πυρίτιο.

Γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου τόννου

Κοπτικό άκρο. Η βασική μορφή του κοπτικού εργαλείου τόννου είναι μία σφήνα με γωνία ελευθερίας α , γωνία σφήνωσης β και γωνία αποβλήτου γ (σχήμα 1). Με τις βαθμίδες αποβλήτων αποσκοπεί κανείς στη θραύση των αποβλήτων και την ομαλή απομάκρυνσή τους. Οι κατάλληλες για την κάθε κατεργασία γωνίες, εξαρτώνται από το υλικό του αντικειμένου, το υλικό του εργαλείου και τη μέθοδο κατεργασίας. Ενδεικτικές τιμές μπορούν να ληφθούν από πίνακες.

Οι γωνίες στην κόψη του εργαλείου τόννευσης, εξαρτώνται από το υλικό, το υλικό εργαλείου και τη μέθοδο κατεργασίας.

Κύρια και δευτερεύουσα κόψη. Η κοπτική σφήνα αποτελείται από την κύρια κόψη, η οποία είναι στραμμένη προς τη διεύθυνση πρόωσης και τη δευτερεύουσα κόψη (σχήμα 2). Η δευτερεύουσα κόψη έχει, όπως και η κύρια, μία γωνία ελευθερίας, μία επιφάνεια ελευθερίας και μία γωνία θέσης (σχήμα 2). Το όριο μεταξύ κυρίας και δευτερεύουσας κόψης βρίσκεται στη θέση, στην οποία έχουμε $\kappa=0^\circ$ (σχήμα 3). Η κύρια κόψη αναλαμβάνει την κυρίως κατεργασία.

Γωνία κορυφής. Η κύρια και η δευτερεύουσα κόψη σχηματίζουν τη γωνία κορυφής ε (σχήμα 3). Οι γωνίες κορυφής για τα πλακίδια κοπτικών τόννου βρίσκονται μεταξύ 35° και 90° . Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία κορυφής στα σκληρομέταλλα, τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος θραύσης.

Κορυφή κόψεων και ακτίνα κορυφής. Η κύρια και η δευτερεύουσα κόψη συναντώνται στην κορυφή (σχήμα 2). Αυτή η κορυφή είναι στρογγυλεμένη (σχήμα 3). Τα στρογγυλέματα είναι τυποποιημένα με ακτίνες από 0,4 mm έως 2,4 mm. Το μέγεθος της ακτίνας r και η πρόωση f έχουν άμεση επίδραση στο βάθος των ιχνών κατεργασίας και συνεπώς στην ποιότητα επιφάνειας (σχήμα 4). Το δημιουργούμενο βάθος τραχύτητας R_{th} μπορεί να υπολογιστεί.

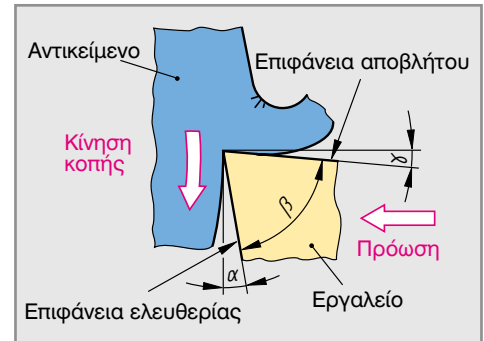
Θεωρητικό βάθος τραχύτητας

$$R_{th} \approx \frac{f^2}{8 \cdot r}$$

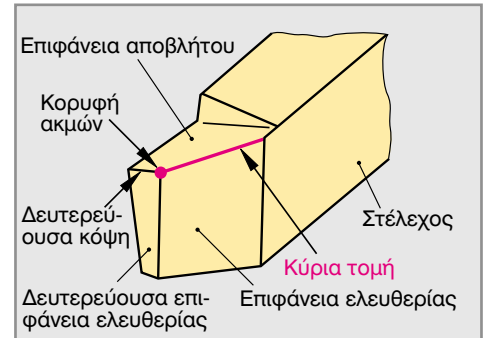
Παράδειγμα: Ποιο το αναμενόμενο θεωρητικό βάθος τραχύτητας R_{th} για ακτίνα κορυφής $r = 1,2$ mm και πρόωση $f = 0,8$ mm;

Λύση:
$$R_{th} = \frac{f^2}{8 \cdot r} = \frac{0,8^2}{8 \cdot 1,2} = 0,067 \text{ mm} = 67 \mu\text{m}$$

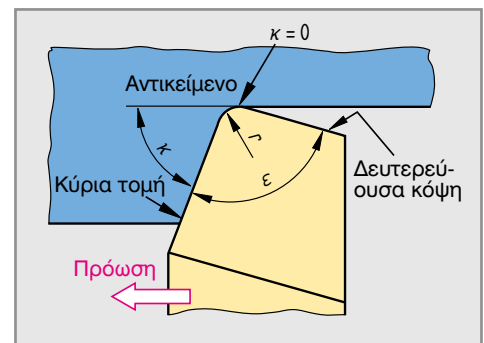
Οι πραγματικές τιμές τραχύτητας, ιδίως για μικρές προώσεις, μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις υπολογιζόμενες, διότι στην περιοχή της ακτίνας της κορυφής, το πάχος h του αποβλήτου, είναι πολύ μικρό λόγω πίεσης από το εργαλείο. Αυτό αφορά ιδιαίτερα τις μεγάλες ακτίνες κορυφής. Γι' αυτόν το λόγο στην αποπεράτωση, για να προκύψουν ανεκτά απόβλητα και μικρές τιμές τραχύτητας χρειάζεται, εκτός από μικρή πρόωση και μία μικρή ακτίνα κορυφής (πίνακας 1).



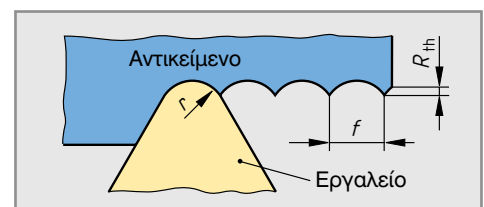
Σχήμα 1: Γωνίες στη σφήνα κόψης



Σχήμα 2: Κοπτικό άκρο εργαλείου τόννου



Σχήμα 3: Κορυφή κόψεων



Σχήμα 4: Επίδραση του στρογγυλέματος κορυφής

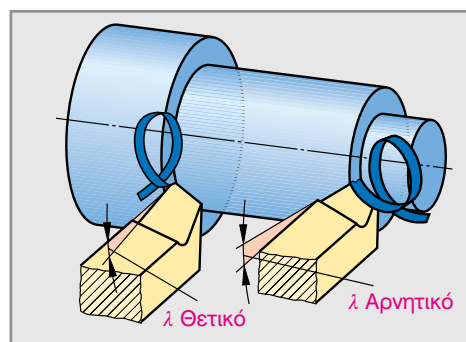
Πίνακας 1: Μέγιστες τιμές τραχύτητας και πρόωσης στην τόννευση

Μέγιστη επιτρ. τιμή τραχύτητας		Μέγιστη πρόωση f σε mm για στρογγύλεμα κορυφής r σε mm			
R_z μm	R_a μm	0,4	0,8	1,2	1,6
100	25	—	—	0,9	1,2
63	12,5	0,3	0,4	0,6	0,7
40	6,3	0,2	0,3	0,4	0,5
16	3,2	0,1	0,15	0,2	0,25

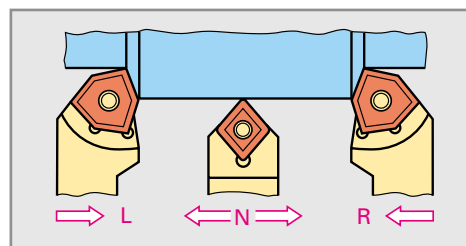
Γωνία κλίσης. Ως γωνία κλίσης λ θεωρούμε τη γωνία μεταξύ της κύριας κόψης και μίας καθέτου προς τη διεύθυνση κοπής (**σχήμα 1**). Η γωνία κλίσης είναι θετική αν η κόψη του εργαλείου ανέρχεται προς τη διεύθυνση της κορυφής. Αν κατέρχεται, η γωνία είναι αρνητική.

Αν η γωνία είναι αρνητική, τότε, κατά την έναρξη της κοπής, η κορυφή καταπονείται λιγότερο και συνεπώς μικραίνει ο κίνδυνος θραύσης. Έτσι, στο ξεχόνδρισμα, ή σε διακοπτόμενη κατεργασία επιλέγεται αρνητική γωνία κλίσης.

Η θετική γωνία κλίσης επιδρά έτσι, ώστε το απερχόμενο απόβλητο να διευκολύνεται κατά την απομάκρυνσή του. Προτιμάται η θετική γωνία στην αποπεράτωση για προστασία της κατεργαζόμενης επιφάνειας. Στα πλακίδια με βαθμίδα αποβλήτου η πορεία του αποβλήτου καθορίζεται από τα αυλάκια και την πλοκή του αποβλήτου.



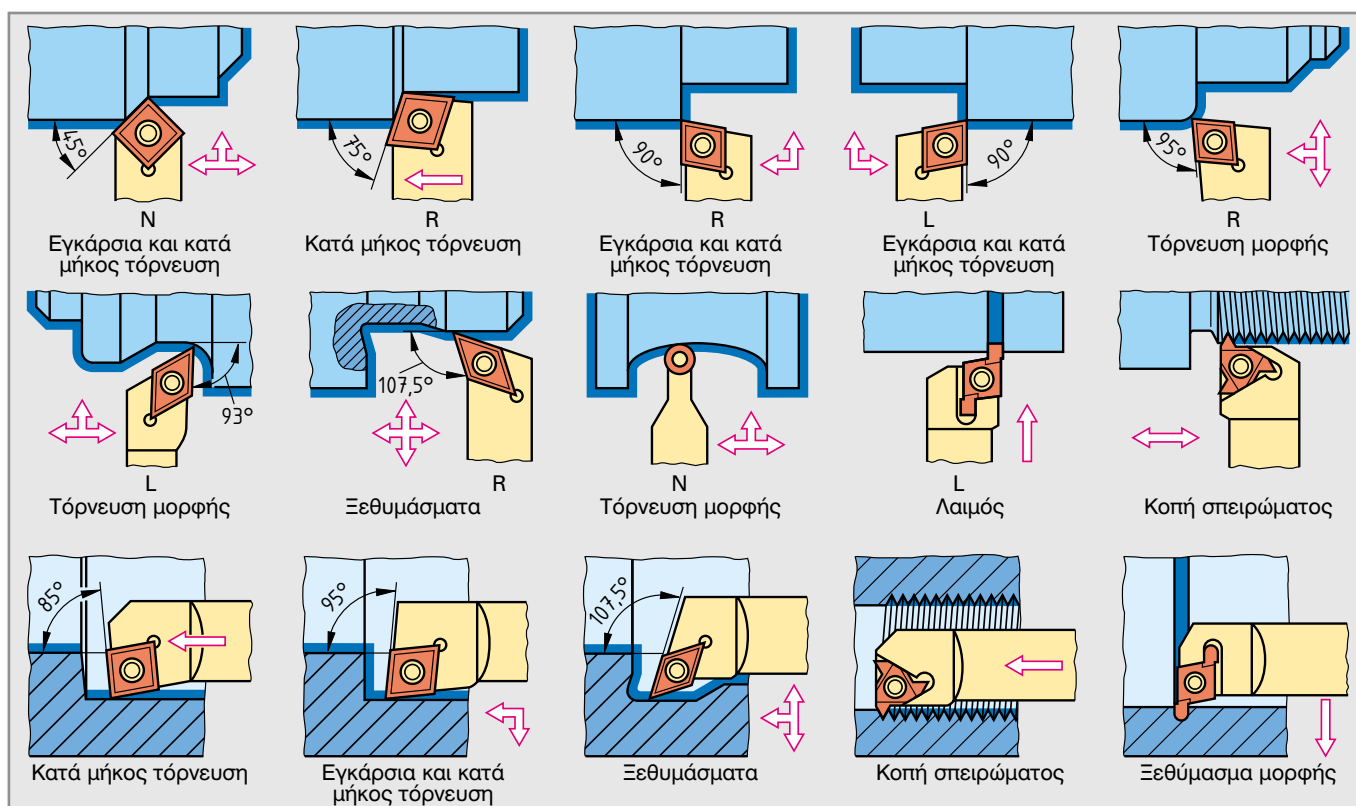
Σχήμα 1: Γωνία κλίσης και απομάκρυνση αποβλήτου



Σχήμα 2: Διεύθυνση κοπής

Μορφές εργαλείων τόνρευσης

Διεύθυνση κοπής. Η θέση της κύριας κόψης ως προς το στέλεχος καθορίζει τη διεύθυνση κοπής (**σχήμα 2**). Διακρίνει κανείς την κατασκευή R (δεξιόκοπη) L (αριστερόκοπη) και N (ουδέτερη).



Σχήμα 3: Χρησιμοποίηση εργαλείων εξωτερικής τόνρευσης

Εργαλεία εσωτερικής και εξωτερικής τόνρευσης. Ανάλογα με τη θέση του σημείου κοπής διακρίνει κανείς εργαλεία εξωτερικής και εσωτερικής τόνρευσης. Η γωνία θέσης, καθώς και η μορφή, το μέγεθος και το είδος κατασκευής του πλακιδίου κοπής επιλέγονται ανάλογα με τη μορφή του αντικειμένου στο οποίο θα γίνει η κατεργασία, τη διεύθυνση πρόωσης, τη διατομή του αποβλήτου και το είδος του υλικού (**σχήμα 3**).

Τα εργαλεία τόνρευσης κατατάσσονται, σύμφωνα με το σημείο κοπής, σε εργαλεία εξωτερικής κοπής και εσωτερικής κοπής. Σύμφωνα με τη μορφή τους κατατάσσονται σε δεξιόκοπα, αριστερόκοπα και ουδέτερα (αριστερόκοπα και δεξιόκοπα).

Εργαλεία διάτρησης. Για τρύπημα, βύθισμα και γλύφανση σε τόρνο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ίδια εργαλεία που χρησιμοποιούνται και στα δράπανα (σελ. 122). Σε αντίθεση με το τρύπημα, στην τόννευση, το τεμάχιο εκτελεί την περιστροφική κίνηση. Εδώ πρέπει να ταυτίζεται ο άξονας του εργαλείου με τον άξονα του αντικειμένου. Τα εργαλεία διάτρησης με πλακίδια σκληρομετάλλου μπορούν να ρυθμιστούν έκκεντρα και να χρησιμοποιούνται και για διάτρηση σε συμπαγές υλικό, αλλά και για εσωτερική τόννευση (σχήμα 1).

Τα **συστήματα εργαλείων** επιτρέπουν την ανταλλαγή κοπτικών κεφαλών επάνω σε ένα βασικό φορέα (σχήμα 2). Είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τόννους με εργαλειοθήκες.

Στερέωση των εργαλείων τόννευσης

Είδος στερέωσης. Η δύναμη κοπής, η δύναμη πρόωσης και η παθητική δύναμη, προσπαθούν να παραμορφώσουν και να απωθήσουν το εργαλείο. Συνεπώς, πρέπει το εργαλείο να έχει ένα στιβαρό στέλεχος και όσο το δυνατόν πιο μικρό ελεύθερο μήκος και να είναι σφιχτά δεμένο πάνω στον εργαλειοδέτη.

Θέση κατά το ύψος. Η κατά το ύψος θέση του εργαλείου, πρέπει κανονικά να είναι έτσι, ώστε να βρίσκεται στο ύψος του άξονα περιστροφής (άξονας αντικειμένου). Σ' αυτήν τη θέση οι γωνίες ελευθερίας και αποβλήτου έχουν το κανονικό τους μέγεθος (σχήμα 3). Σ' αυτή τη ρύθμιση (στον άξονα του αντικειμένου) αντιστοιχεί σε βάθος κοπής 1 mm μεταβολή της διαμέτρου κατά 2 mm. Έτσι δημιουργούνται τόννευτά αντικείμενα με ακρίβεια στις διαστάσεις και στη μορφή.

Τα εργαλεία τόννου πρέπει να έχουν στιβαρό στέλεχος, να έχουν μικρό ελεύθερο μήκος και να στερεώνονται στο κέντρο του αντικειμένου.

Για τη ρύθμιση κατά το ύψος χρησιμοποιούνται επίπεδες λάμες για την έδραση ή ρυθμιστικοί κοχλίες (σχήμα 4). Η ορθή κατά το ύψος θέση μπορεί να ελεγχθεί με την πόντα του κεντροφορέα (κουκουβάγια), με κατάλληλο ελεγκτήρα ή με μία εγκάρσια δοκιμαστική τόννευση.

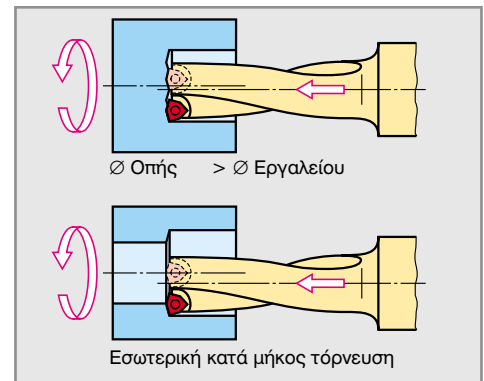
Οι πυργίσκοι εργαλείων (σελ. 160), οι φορείς ταχείας αλλαγής και τα συστήματα εργαλείων (σχήμα 2) επιτρέπουν μία ταχεία αλλαγή εργαλείου με διατήρηση της ρύθμισης κατά το ύψος.

Στερέωση πλακιδίων κοπής

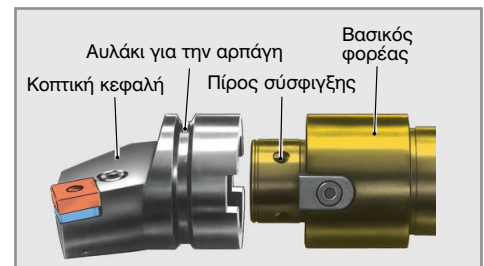
Τα πλακίδια κοπής στερεώνονται σε ειδικούς σφικτήρες. Συχνά χρησιμοποιούνται πλακίδια κοπής με οπή. Μέσω της οπής, τα πλακίδια στερεώνονται με κοχλία ή με διάταξη σύσφιξης επάνω στη μανέλα (σχήμα 5).

Ερωτήσεις επανάληψης

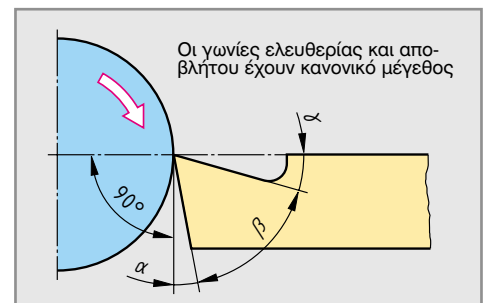
1. Ποια υλικά χρησιμοποιούνται για εργαλεία τόννου;
2. Για ποιο λόγο έχουν τα εργαλεία ξεχονδρίσματα μεγάλης ακτίνα κορυφής;
3. Πώς κατατάσσονται τα εργαλεία τόννου σύμφωνα με τη διεύθυνση κοπής;
4. Για ποιο λόγο, στις περισσότερες περιπτώσεις τόννευσης, έχει μεγάλη σπουδαιότητα να βρίσκεται το εργαλείο ακριβώς στο κέντρο;
5. Ποιοι κανόνες ισχύουν για τη στερέωση των εργαλείων στον τόρνο;
6. Πώς στερεώνονται τα πλακίδια κοπής με οπή στις μανέλες;



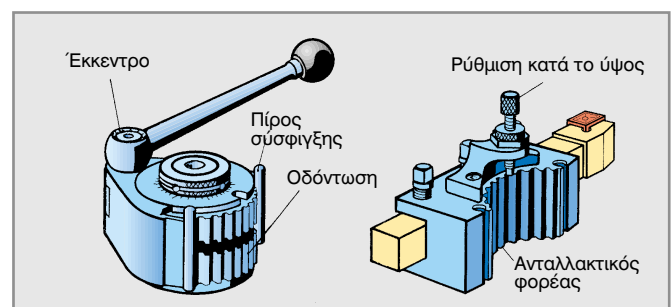
Σχήμα 1: Εργασίες τόννευσης με τρυπά- νι από πλακίδια



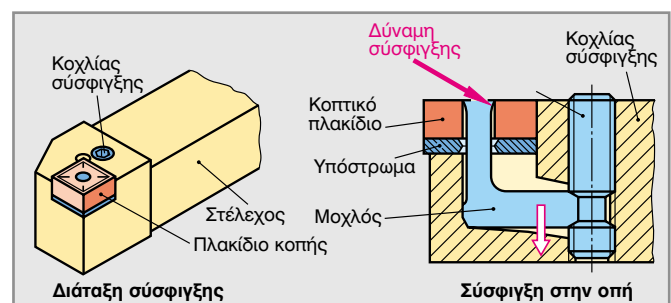
Σχήμα 2: Σύστημα εργαλείων



Σχήμα 3: Εργαλείο στο κέντρο



Σχήμα 4: Φορείς ταχείας αλλαγής

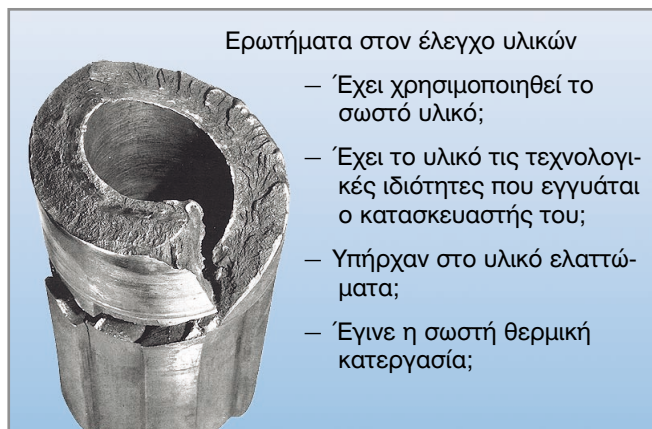


Σχήμα 5: Τρόποι στερέωσης των πλακιδίων κοπής

7.7 Έλεγχος υλικών

Ο έλεγχος των υλικών έχει κυρίως τρεις αποστολές:

- **Καθορισμός τεχνολογικών ιδιοτήτων των υλικών**, π.χ. της αντοχής, της σκληρότητας και της κατεργασιμότητας. Έτσι, αποκτά κανείς γνώσεις σχετικά με την ικανότητα χρήσεως των υλικών.
- **Έλεγχος έτοιμων τεμαχίων**, π.χ. για ρωγμές ή ακατάλληλη θερμική κατεργασία. Με αυτόν τον τρόπο επιζητείται η αποφυγή χρησιμοποίησης ελαττωματικών τεμαχίων, τα οποία θα προκαλέσουν ζημιές.
- **Εξακρίβωση αιτιών βλάβης σε τεμάχια**, τα οποία έχουν θραυσθεί (**σχήμα 1**). Έτσι, αποφεύγονται στο μέλλον παρόμοιες ζημιές.



Ερωτήματα στον έλεγχο υλικών

- Έχει χρησιμοποιηθεί το σωστό υλικό;
- Έχει το υλικό τις τεχνολογικές ιδιότητες που εγγυάται ο κατασκευαστής του;
- Υπήρχαν στο υλικό ελαττώματα;
- Έγινε η σωστή θερμική κατεργασία;

Σχήμα 1: Θραύση κοίλου άξονα και πιθανές αιτίες θραύσεως οφειλόμενες στο υλικό

7.7.1 Έλεγχος στο Μηχανουργείο

Οι έλεγχοι στο μηχανουργείο είναι απλοί έλεγχοι, οι οποίοι μπορούν να γίνουν σε κάθε μηχανουργείο χωρίς ιδιαίτερες συσκευές ή μηχανές. Δίνουν πληροφορίες σχετικές με το είδος του υλικού, τη σύνθεσή του, τις ιδιότητες και τη δυνατότητα χρησιμοποίησης. Οι έλεγχοι στο μηχανουργείο δεν δίνουν αριθμητικά αποτελέσματα.

Κρίση σύμφωνα με την εμφάνιση. Τα υλικά μπορούν να εκτιμηθούν χονδρικά ανάλογα με την εμφάνισή τους (**πίνακας 1**). Γι' αυτόν το σκοπό καθαρίζει κανείς με τη λίμα ένα μικρό κομμάτι του υλικού, ώστε να φανεί το μεταλλικό χρώμα. Στους χάλυβες και στα χυτοσίδηρα υλικά, μπορεί με βάση την επιφάνεια και τη σύστασή της, να κατατάξει κανείς το υλικό σε μία υποομάδα.

Έλεγχος σπινθήρων. Στον έλεγχο σπινθήρων, το προς έλεγχο μεταλλικό τεμάχιο, πιέζεται σε έναν περιστρεφόμενο λειαντικό τροχό, ο οποίος βρίσκεται σε έναν σκοτεινό χώρο. Από την εικόνα των σπινθήρων μπορεί να καταλάβει κανείς το είδος του χάλυβα (έγχρωμος πίνακας, σελ. 539).

Έλεγχος σε κάμψη και έλεγχος επιφάνειας θραύσεως. Ένα ραβδόμορφο δοκίμιο συσφίγγεται στη μέγγενη και κάμπτεται. Τα ψαθυρά υλικά δεν κάμπτονται αλλά θραύονται χωρίς να προηγηθεί παραμόρφωση. Τα σκληρά, ελαστικά υλικά κάμπτονται αλλά δεν θραύονται. Επανερχονται στην αρχική τους θέση. Τα μαλακά υλικά κάμπτονται εύκολα, αλλά θραύονται ύστερα από επανειλημμένες εναλλασσόμενες κάμψεις. Η εμφάνιση της επιφάνειας θραύσεως του δοκιμίου επιτρέπει την εκτίμηση του είδους και της σύνθεσης του υλικού και ενδεχόμενα τη θερμική του κατεργασία (πίνακας 1).

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά αναγνωρίσεως υλικών	
Εμφάνιση	Πιθανολογούμενο υλικό
Διάφορα μεταλλικά χρώματα: Στιλπνό μεταλλικό, κόκκινο, κίτρινο, αργυρόχρωμο	Μέταλλα Fe, Cu, CuZn (Ms), Al
Καμένη επιφάνεια, στρογγυλεμένες ακμές, κυρτές επιφάνειες	Χάλυβας κατασκευών , ελασμένος εν θερμώ
Στιλπνή επιφάνεια, αιχμηρές ακμές, επίπεδες επιφάνειες	Χάλυβας κατασκευών , ελασμένος εν ψυχρώ
Λεία, αργυρόχρωμη επιφάνεια, Ακριβής διατομή	Χάλυβας εργαλείων με διέλαση
Γκριζόμαυρη, τραχιά επιφάνεια, στρογγυλεμένες ακμές	Χυτοσίδηρος
Συμπεριφορά στην κάμψη	Πιθανολογούμενο υλικό
Δεν κάμπτεται, θραύεται σε ισχυρή φόρτιση	Σκληρό, ψαθυρό υλικό, π.χ. χυτοσίδηρος ή χάλυβας βαμμένος χωρίς επαναφορά
Κάμπτεται με μεγάλη δύναμη, επανέρχεται	Σκληρό, ελαστικό υλικό, π.χ. βελτιωμένος χάλυβας για πριονόλαμες
Κάμπτεται εύκολα, θραύεται ύστερα από πολλές εναλλασσόμενες κάμψεις	Μαλακό υλικό, π.χ. χάλυβας με ανόπτηση ολκιμότητας
Επιφάνεια θραύσεως	Πιθανολογούμενο υλικό
Χονδρόκοκη, ινώδης επιφάνεια θραύσεως	Άβαφος χάλυβας
Λεπτόκοκη, βελουδίνη	Βαμμένος και βελτιωμένος χάλυβας
Χονδρόκοκκος, ινώδης πυρήνας και λεπτόκοκη επιφανειακή στοιβάδα	Χάλυβας με επιφανειακή βαφή ή με ενανθράκωση

7.7.2 Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων

Οι μέθοδοι ελέγχου με κρουστική φόρτιση, η φόρτιση εφαρμοζόμενη γρήγορα ή εναλλασσόμενη φόρτιση λέγονται **δυναμικοί έλεγχοι**, π.χ. κάμψη με κρούση, η δυναμική αντοχή και ο έλεγχος σε εξαρτήματα με φορτία λειτουργίας.

Αν, όμως, η φόρτιση αυξάνεται αργά ή παραμένει σταθερή, τότε πρόκειται για **στατικούς ελέγχους**. Σ' αυτούς ανήκουν η δοκιμή σε εφελκυσμό, η δοκιμή σε θλίψη, η δοκιμή σε διάτμηση και οι δοκιμές σκληρότητας.

7.7.2.1 Δοκιμή σε εφελκυσμό

Η δοκιμή σε εφελκυσμό εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών τιμών ενός υλικού σε εφελκυστική καταπόνηση. Η δοκιμή εκτελείται συνήθως με ένα στρογγυλό δοκίμιο (σχήμα 1, δεξιά πάνω). Το αρχικό του μήκος L_0 είναι πενταπλάσιο της διαμέτρου του d .

Εκτός αυτών υπάρχουν και επίπεδα δοκίμια.

Εκτέλεση της δοκιμής

Η δοκιμή γίνεται σε **μηχανή ελέγχου γενικής χρήσεως** (σχήμα 1).

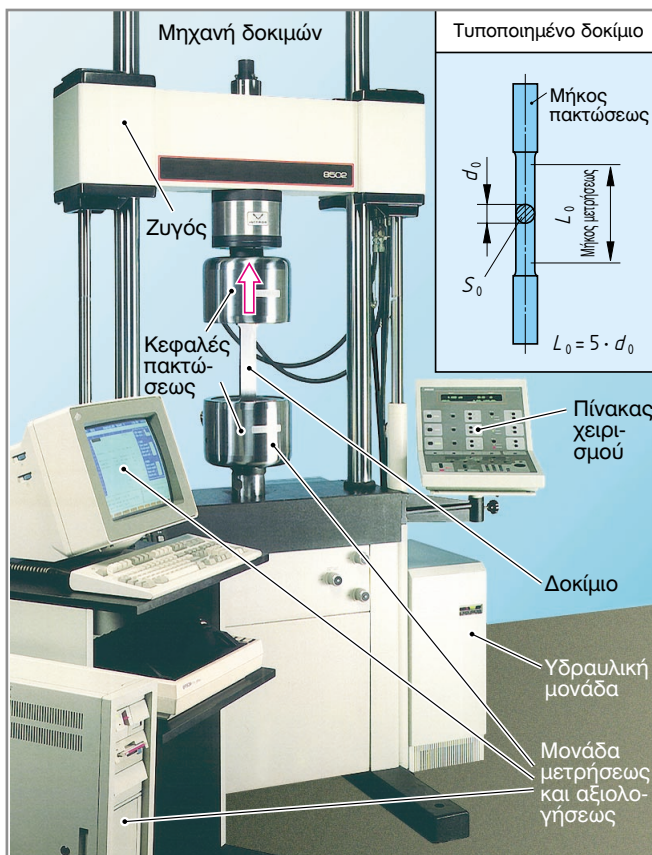
Το δοκίμιο πακτώνεται σε ειδικές κεφαλές της μηχανής (πάνω και κάτω). Κατόπιν τίθεται σε λειτουργία η μηχανή. Έτσι, ο ζυγός με την πάνω κεφαλή ανέρχεται σιγά-σιγά, ενώ το δοκίμιο φορτίζεται με μία συνεχώς αυξανόμενη δύναμη εφελκυσμού. Με τη δράση αυτής της δύναμης επιμηκύνεται το δοκίμιο (σχήμα 2, πάνω τμήμα της εικόνας). Έως τη μέγιστη τιμή της εφελκυστικής δύναμης επιμηκύνεται το δοκίμιο χωρίς ορατή μεταβολή της διατομής του. Κατόπιν, παρουσιάζεται σε κάποια θέση, περίπου στη μέση, μία στένωση της διατομής. Μετά το δοκίμιο επιμηκύνεται σημαντικά και θραύεται στη θέση αυτή. Κατά τη διάρκεια της σμίκρυνσης της διατομής του δοκιμίου, η δύναμη εφελκυσμού μειώνεται συνεχώς και μηδενίζεται με τη θραύση.

Αξιολόγηση της δοκιμής

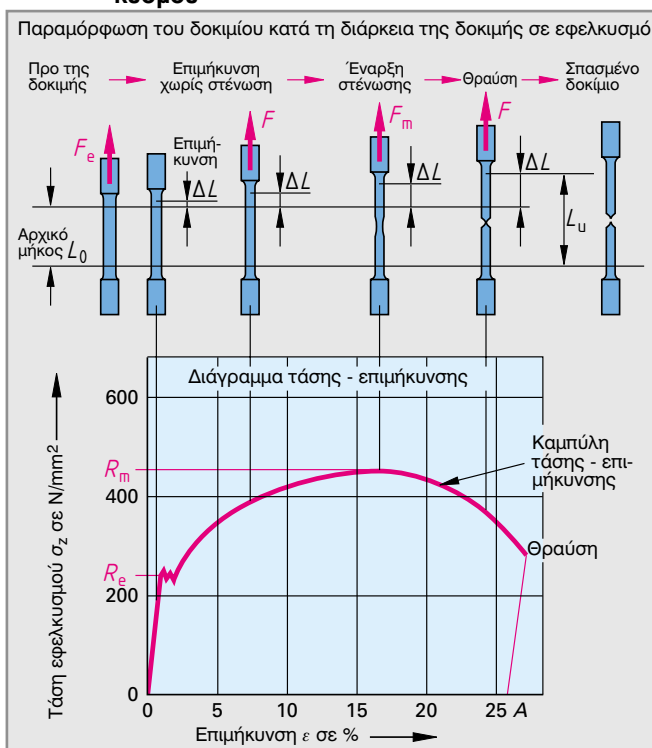
Κατά τη διάρκεια της δοκιμής μετρώνται συνεχώς η δύναμη F που ενεργεί στο δοκίμιο και η επιμήκυνση ΔL του δοκιμίου. Στη μονάδα αξιολόγησης της μηχανής προσδιορίζεται από την εφελκυστική δύναμη F και τη διατομή S_0 του δοκιμίου η **εφελκυστική τάση σ_z** . Με την επιμήκυνση $\Delta L = L - L_0$ υπολογίζεται η **ανηγμένη επιμήκυνση ε** .

Εφελκυστική τάση	$\sigma_z = \frac{F}{S_0}$
Ανηγμένη επιμήκυνση	$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100\%$

Με μία γραφίδα σχεδιάζονται τα δύο αυτά μεγέθη, σ_z και ε , ως καμπύλη στο **διάγραμμα τάσεως-επιμηκύνσεως** (σχήμα 2, κάτω τμήμα εικόνας).



Σχήμα 1: Μηχανή ελέγχου γενικής χρήσεως, δοκιμή εφελκυσμού



Σχήμα 2: Διάγραμμα τάσης - επιμηκύνσεως με πολύ εμφανές όριο ροής

Χαρακτηριστικές τιμές υλικών με εμφανές όριο ροής

Ο καθαρός χάλυβας κατασκευών, π.χ. S235JR (St 37-2) έχει μία καμπύλη τάσης - επιμήκυνσης με **εμφανές όριο ροής** (σχήμα 2, σελ. 545). Εδώ αυξάνεται η τάση σ_z , στην αρχική περίοδο, ανάλογα με την επιμήκυνση ϵ . Γι' αυτόν το λόγο, στην αρχική περίοδο, η καμπύλη είναι μία ευθεία.

Αυτή η αναλογική σχέση μεταξύ τάσης και επιμήκυνσης περιγράφεται με το **νόμο του Hooke**. Ο συντελεστής **E** λέγεται **μέτρο ελαστικότητας** και είναι ένα γνώρισμα για την ακαμψία του υλικού. Για χάλυβες είναι $E = 210000 \text{ N/mm}^2$.

Κατά την άφιξη στο **όριο ροής** R_e (σχήμα 2, σελ. 545), επιμηκύνεται το δοκίμιο σημαντικά, ενώ η δύναμη εφελκυσμού παραμένει σταθερή: το δοκίμιο "διαστέλλεται".

Μετά την περιοχή του ορίου ροής, αυξάνεται η τάση αργά έως το ανώτατο σημείο της καμπύλης. Αυτή η μέγιστη τιμή της τάσεως, ονομάζεται **αντοχή σε εφελκυσμό** R_m .

Κατόπιν η καμπύλη κατέρχεται. Η στένωση στο δοκίμιο αυξάνεται και τελικά το δοκίμιο θραύεται. Η παραμένουσα επιμήκυνση, την οποία υπέστη το υλικό μέχρι την θραύση του, ονομάζεται **επιμήκυνση θραύσεως** **A** (σχήμα 2, σελ. 545).

Παράδειγμα: Ένα στρογγυλό δοκίμιο, αρχικής διαμέτρου $d = 8 \text{ mm}$ και αρχικού μήκους $L_0 = 40 \text{ mm}$ δοκιμάζεται σε εφελκυσμό. Η εφελκυστική δύναμη στο όριο ροής είναι $F_e = 11810 \text{ N}$, η μέγιστη εφελκυστική δύναμη $F_m = 18095 \text{ N}$. Ύστερα από τη θραύση του δοκιμίου μετρήθηκε μία παραμένουσα επιμήκυνση του αρχικού μήκους $L_u = 50,8 \text{ mm}$. Ζητούνται: α) το όριο ροής, β) η αντοχή σε εφελκυσμό και γ) η επιμήκυνση θραύσεως.

Λύση:

$$S_0 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (8 \text{ mm})^2 = 50,265 \text{ mm}^2 \quad \alpha) R_e = \frac{F_e}{S_0} = \frac{11810 \text{ N}}{50,265 \text{ mm}^2} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta) R_m = \frac{F_m}{S_0} = \frac{18095 \text{ N}}{50,265 \text{ mm}^2} = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \gamma) A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\% = \frac{50,8 \text{ mm} - 40 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} \cdot 100\% = 27\%$$

Νόμος του Hooke

$$\sigma_z = E \cdot \frac{\epsilon}{100\%}$$

Όριο ροής

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

Αντοχή εφελκυσμού

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

Επιμήκυνση θραύσεως

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

Χαρακτηριστικές τιμές υλικών με μη εμφανές όριο ροής

Στα **υλικά χωρίς εμφανές όριο ροής**, π.χ. στο αλουμίνιο και στο χαλκό και στα κράματά τους ή στο βαμμένο χάλυβα, η καμπύλη δεν έχει όριο ροής. Η καμπύλη ανέρχεται συνεχώς από την αρχή και κατέρχεται πάλι συνεχώς, αφού περάσει μία μέγιστη τιμή, μέχρι τη θραύση του δοκιμίου (σχήμα 1).

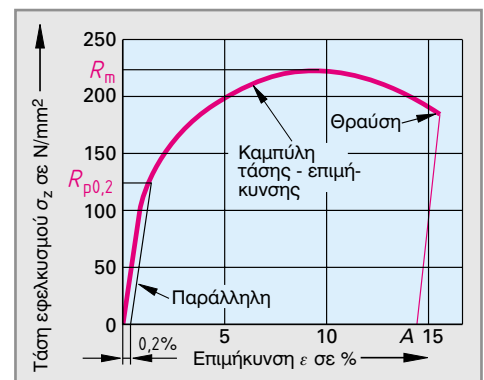
Η τάση στο μέγιστο σημείο της καμπύλης ονομάζεται και εδώ **αντοχή εφελκυσμού** R_m και η παραμένουσα επιμήκυνση κατά τη θραύση ονομάζεται **επιμήκυνση θραύσεως** **A** (τύπος υπολογισμού, βλ. παραπάνω).

Επειδή σ' αυτά τα υλικά δεν υπάρχει το όριο ροής όμως, αυτό έχει μεγάλη σημασία για τους υπολογισμούς αντοχής, έχει εισαχθεί ο όρος "**όριο επιμήκυνσης 0,2%**" ($R_{p0,2}$). Αυτό είναι η τάση, η οποία προκαλεί στο δοκίμιο, ύστερα από την εκφόρτισή του, μία παραμένουσα επιμήκυνση 0,2%. Αυτό το όριο 0,2% ορίζεται στο διάγραμμα με μία παράλληλη προς την ευθεία που χαράσσεται στην αρχή της καμπύλης, και διέρχεται από το σημείο $\epsilon = 0,2\%$ (σχήμα 1).

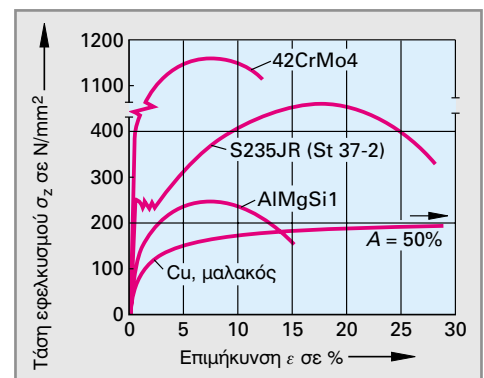
Παράδειγμα: Το υλικό που παρουσιάζεται στο σχήμα 1 έχει "όριο ροής 0,2%", της τάξεως $R_{p0,2} = 120 \text{ N/mm}^2$.

Συγκρινόμενα υλικά

Η καμπύλη τάσης - επιμήκυνσης έχει για κάθε υλικό μία τυπική μορφή. Αν σχεδιάσει κανείς τις καμπύλες των διαφόρων υλικών σε ένα διάγραμμα, τότε αναγνωρίζεται η διαφορετική συμπεριφορά τους στην παραμόρφωση (σχήμα 2).



Σχήμα 1: Διάγραμμα τάσης - επιμήκυνσης χωρίς εμφανές όριο ροής



Σχήμα 2: Διάγραμμα τάσης - επιμήκυνσης διαφόρων υλικών

7.7.2.2 Δοκιμή σε θλίψη

Η δοκιμή σε θλίψη χρησιμεύει για τον καθορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών τιμών σε θλιπτική φόρτιση.

Σε μία μηχανή δοκιμών γενικής χρήσεως (σχήμα 1, σελ. 545) φορτίζεται ένα δοκίμιο με μία θλιπτική δύναμη F , η οποία αυξάνεται σιγά-σιγά, έως ότου αυτό εμφανίσει ρωγμές ή θραύση (σχήμα 1).

Γενικά, χρησιμοποιούνται κυλινδρικά δοκίμια με διάμετρο 10 mm έως 30 mm, ενώ το ύψος είναι ίσο με το 1,5 της διαμέτρου. Ανάλογα με το υλικό, η μορφή των θλιπτικών δοκιμών στο τέλος της δοκιμής είναι διαφορετική. Τα σκληρά - ψαθυρά υλικά, π.χ. ο χυτοσίδηρος ή ο βαμμένος χάλυβας, θραύονται σε πολλά μεγάλα κομμάτια. Τα συνεκτικά υλικά, π.χ. ο άβαφος χάλυβας, παραμορφώνονται παίρνοντας μία βαρελοειδή μορφή, η οποία παρουσιάζει ρωγμές κατά τη φορά της δυνάμεως.

Η μέγιστη εμφανιζόμενη τάση στο δοκίμιο θλίψεως λέγεται **αντοχή σε θλίψη** σ_{dB} . Αυτή υπολογίζεται από τη μέγιστη θλιπτική δύναμη F_m και την αρχική διατομή S_0 του δοκιμίου.

Παράδειγμα: Ένα θλιπτικό δοκίμιο με διάμετρο 20 mm θραύεται στη μέγιστη δύναμη $F_m = 264523$ N. Ζητείται η αντοχή του σε θλίψη.

$$\text{Λύση: } S_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (20 \text{ mm})^2}{4} = 314 \text{ mm}^2, \quad \sigma_{dB} = \frac{F_m}{S_0} = \frac{264500 \text{ N}}{314 \text{ mm}^2} = 842 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

7.7.2.3 Δοκιμή σε διάτμηση

Με τη δοκιμή σε διάτμηση ελέγχεται η ικανότητα του υλικού σε φόρτιση με διάτμηση.

Ένα κυλινδρικό δοκίμιο φορτίζεται σε μία διάταξη διατμήσεως σε μία μηχανή δοκιμών. Η δύναμη διατμήσεως αυξάνεται σιγά-σιγά και συνεχώς μέχρι τη διάτμηση του δοκιμίου (σχήμα 2).

$$\text{Αντοχή σε διάτμηση } \tau_{aB} = \frac{F_m}{2 \cdot S_0}$$

Η αναγκαία για τη διάτμηση μέγιστη δύναμη F_m μετριέται και η αντοχή σε διάτμηση τ_{aB} υπολογίζεται από τις δύο διατενόμενες επιφάνειες ($2 \cdot S_0$).

Παράδειγμα: Ένα δοκίμιο με διάμετρο 5 mm ($S_0 = 19,63 \text{ mm}^2$) υποβάλλεται σε διάτμηση και θραύεται με μία δύναμη 14100 N. Ζητείται η αντοχή σε διάτμηση του υλικού.

$$\text{Λύση: } \tau_{ab} = \frac{F_m}{2 \cdot S_0} = \frac{14100 \text{ N}}{2 \cdot 19,63 \text{ mm}^2} = 359 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

7.7.3 Έλεγχος ιδιοτήτων κατεργασίας

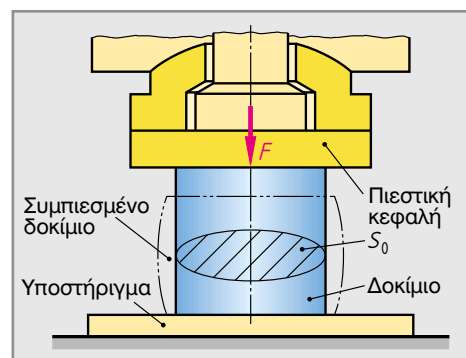
Για τον έλεγχο της καταλληλότητας ενός υλικού, ή ενός ημιέτοιμου τεμαχίου, για κάποια ορισμένη εφαρμογή ή για μία μέθοδο κατεργασίας, χρησιμεύουν οι τεχνολογικές δοκιμές.

Τεχνολογικός έλεγχος σε κάμψη (έλεγχος αναδιπλώσεως)

Αυτός ο έλεγχος βοηθά στην εξακρίβωση της δυνατότητας διαμορφώσεως. Αποτελείται από δύο βαθμίδες (σχήμα 3). Στον **έλεγχο κάμψεως** το δοκίμιο κάμπτεται γρήγορα έως ότου επιτευχθεί μια ορισμένη γωνία ή έως ότου εμφανισθεί η πρώτη ρωγμή. Η επιτευχθείσα γωνία α είναι ένα μέτρο ποιότητας. Στη δοκιμή αναδιπλώσεως γίνεται μια προκαταρκτική κάμψη και κατόπιν αναδιπλώνεται έως $\alpha = 180^\circ$.

Στην έκθεση δοκιμής σημειώνονται η γωνία κάμψεως α και οι παρουσιαζόμενες ρωγμές.

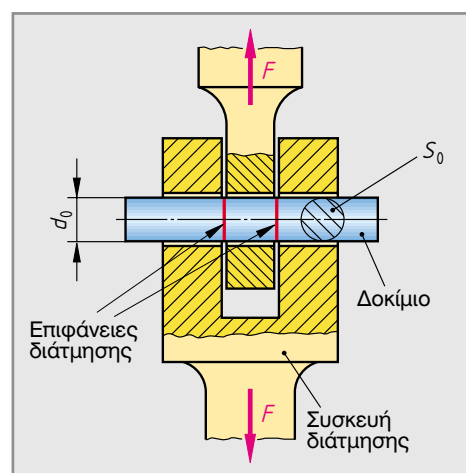
Παράδειγμα: Δοκίμιο XYZ, κάμπτεται σε γωνία 90° , καμία ρωγμή.



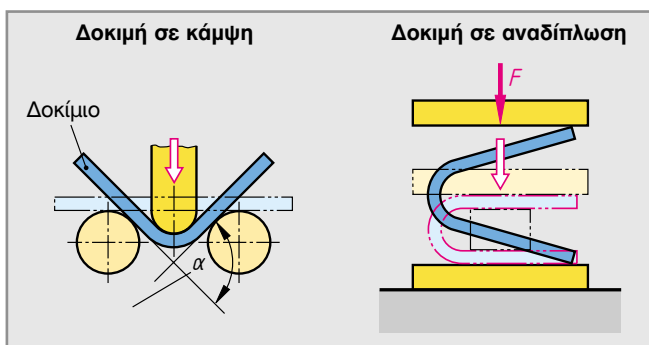
Σχήμα 1: Δοκιμή σε θλίψη

Αντοχή σε θλίψη

$$\sigma_{dB} = \frac{F_m}{S_0}$$



Σχήμα 2: Δοκιμή σε διάτμηση



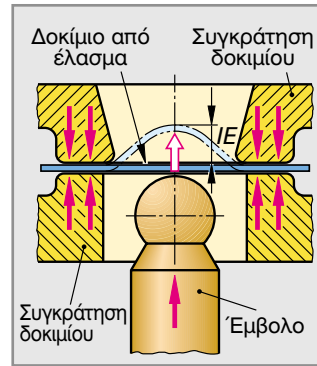
Σχήμα 3: Δοκιμή σε κάμψη (δοκιμή σε αναδίπλωση)

Έλεγχος σε κοίλωση

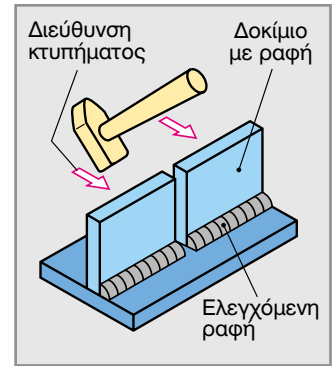
Η δοκιμή σε κοίλωση δίνει ενδεικτικές τιμές σχετικά με την καταλληλότητα των ελασμάτων (σχήμα 1). Η κεφαλή ενός εμβόλου πιέζεται βραδέως στο έλασμα, έως ότου προκληθεί μία ρωγμή. Το πραγματοποιούμενο βάθος διεισδύσεως σε mm (κοίλωμα Erichsen IE) εκφράζει έναν αριθμό ποιότητας.

Έλεγχος ραφής συγκολλήσεως

Οι έλεγχοι των ραφών συγκολλήσεως χρησιμεύουν για την κρίση μιας ραφής και την καταλληλότητα του πρόσθετου υλικού (κολλήσεως). Ένα δοκίμιο με μία ραφή κάμπτεται με κτύπηματα σφυριού έως ότου θραυσθεί η ραφή (σχήμα 2). Ελέγχεται η κρυσταλλική δομή στη θέση θραύσεως και τα σφάλματα συγκολλήσεως.



Σχήμα 1: Δοκιμή σε κοίλωση



Σχήμα 2: Έλεγχος ραφής από συγκόλληση

7.7.4 Έλεγχος σε κάμψη με κτύπημα

Η δοκιμή σε κάμψη με κτύπημα δίνει μια εικόνα σχετική με τη συνεκτικότητα ενός υλικού.

Στη δοκιμή, ένα τυποποιημένο δοκίμιο εδράζεται με τα άκρα του σε δύο στηρίγματα ενός κρουστικού εκκρεμούς (σχήμα 3). Η σφύρα του εκκρεμούς φέρεται στην αφετηρία της (στο ψηλότερο σημείο) και αφήνεται ελεύθερη. Η σφύρα διαγράφει μια κυκλική τροχιά κατά την πτώση της και κτυπά το δοκίμιο κατά οριζόντια διεύθυνση. Το δοκίμιο θραύεται ή παραμορφωμένο παρασύρεται από τη σφύρα και διέρχεται μεταξύ των στηριγμάτων εδράσεως. Κατά τη δοκιμή αυτή, ένα μέρος της δυναμικής ενέργειας της σφύρας αναλύσκεται κατά την κρούση. Η σφύρα του εκκρεμούς συνεχίζει την κυκλική κίνησή της έως το σημείο αναστροφής της κίνησης, στο οποίο συμπαρασύρεται και ένας δείκτης. Όσο συνεκτικότερο είναι το υλικό του δοκιμίου, τόσο περισσότερο ανακόπτεται η κίνηση της σφύρας.

Η διαφορά των υψών της αφετηρίας και του σημείου αναστροφής είναι ένα μέτρο της **καταναλωθείσας ενέργειας κρούσεως W_v** . Αυτή μπορεί να αναγνωσθεί στη συσκευή ενδείξεων και το αποτέλεσμα της δοκιμής δίνεται σε Joule (J).

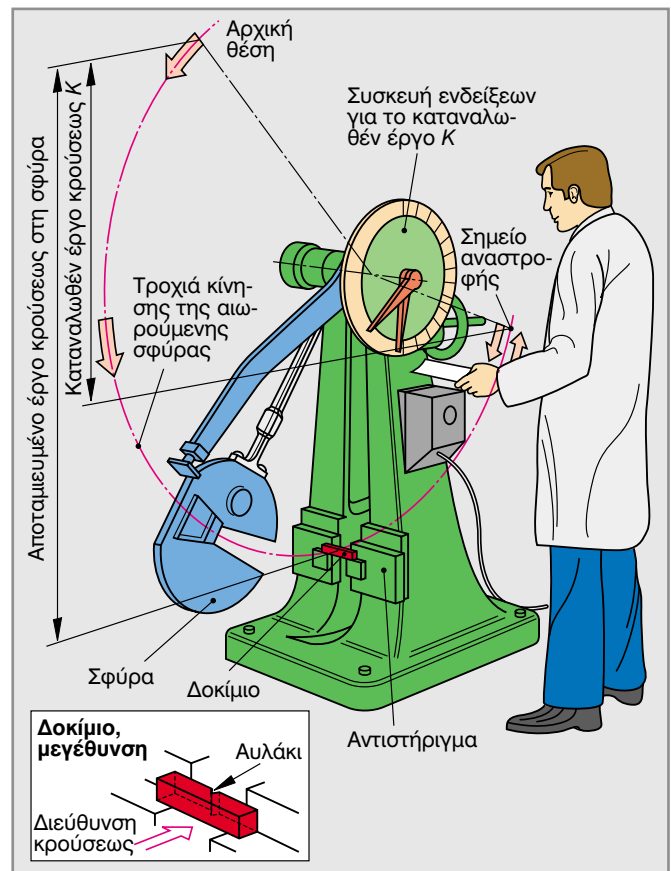
Παράδειγμα: Καταχώριση ενός αποτελέσματος ελέγχου:

$$KU = 68 \text{ J}$$

(Το έργο κρούσεως που καταναλώθηκε είναι 68J, μετρημένο με ένα τυποποιημένο δοκίμιο με αυλάκι σχήματος U).

Ερωτήσεις επανάληψης

1. Ποια αποστολή έχει ο έλεγχος των υλικών;
2. Ποιο διάγραμμα παίρνει κανείς στη δοκιμή σε εφελκυσμό;
3. Ποιες χαρακτηριστικές τιμές δίνει η δοκιμή σε εφελκυσμό ενός υλικού με εμφανές όριο ροής;
4. Τι δηλώνει το όριο επιμηκύνσεως 0,2%;
5. Πώς υπολογίζεται η αντοχή σε διάτμηση;
6. Για ποιο σκοπό γίνονται οι τεχνολογικοί έλεγχοι;
7. Πώς διενεργείται η δοκιμή σε κάμψη με κτύπημα;



Σχήμα 3: Δοκιμή σε κάμψη με κτύπημα

8. Η δοκιμή σε εφελκυσμό ενός δοκιμίου από καθαρό χάλυβα κατασκευών S275JR (St 44-2) με αρχική διάμετρο 16 mm και αρχικό μήκος μετρήσεως 80 mm έδωσε τα εξής αποτελέσματα: Εφελκυστική δύναμη στο όριο ροής $F_e = 55\,292 \text{ N}$, μέγιστη δύναμη εφελκυσμού $F_m = 96\,510 \text{ N}$, μήκος μετά τη θραύση $L_u = 96,8 \text{ mm}$. Να υπολογιστούν το όριο ροής, η αντοχή σε εφελκυσμό και η επιμήκυνση θραύσεως.
9. Σε μία δοκιμή εφελκυσμού σε δοκίμιο αρχικής διαμέτρου 10 mm και αρχικού μήκους 50 mm λαμβάνεται επιμήκυνση 0,015 mm, ενώ η δύναμη είναι 5000 N. Ποιο μέτρο ελαστικότητας έχει το ελεγχόμενο υλικό;

7.7.5 Έλεγχοι σκληρότητας

Σκληρότητα είναι η αντίσταση, την οποία προβάλλει ένα υλικό κατά τη διείσδυση ενός σώματος.

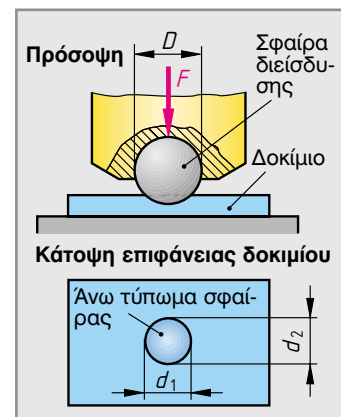
Έλεγχος Σκληρότητας κατά Brinell

Στον έλεγχο σκληρότητας κατά Brinell πιέζεται στο δοκίμιο μια σφαίρα από σκληρομέταλλο ή βαμμένο χάλυβα και μετρείται η διάμετρος του παραχθέντος αποτυπώματος της σφαίρας (σχήμα 1).

Η τιμή της σκληρότητας κατά Brinell υπολογίζεται από τη δύναμη δοκιμής F (σε N) και την επιφάνεια του αποτυπώματος στο δοκίμιο. Στην πράξη, η τιμή της σκληρότητας HB δίνεται από πίνακες από τη δύναμη F και τη διάμετρο d του αποτυπώματος. Οι πίνακες προσφέρονται μαζί με το μηχάνημα. Η δύναμη δοκιμής ρυθμίζεται στη μηχανή (σχήμα 1), ενώ η διάμετρος d είναι η μέση τιμή των d_1 και d_2 (σχήμα 1):

$$HB = \frac{0,102 \cdot \text{Δύναμη δοκιμής}}{\text{Επιφάνεια αποτυπώματος}}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



Σχήμα 1: Έλεγχος σκληρότητας κατά Brinell

Παράδειγμα: Κατά τον έλεγχο σκληρότητας κατά Brinell με σφαίρα διαμέτρου $D = 2,5$ mm και δύναμη δοκιμής $F = 1839$ N, μετρήθηκε μία μέση διάμετρος αποτυπώματος $d = 1,35$ mm. Ανατρέχουμε στους πίνακες και με τα παραπάνω δεδομένα διαβάζουμε τη σκληρότητα κατά Brinell, η οποία είναι 121 HB. Αυτήν την τιμή μπορούμε να τη βρούμε και από έναν τύπο υπολογισμού.

Με τον έλεγχο σκληρότητας κατά Brinell, μπορούν να ελεγχθούν μόνο μαλακά και μέσης σκληρότητας υλικά.

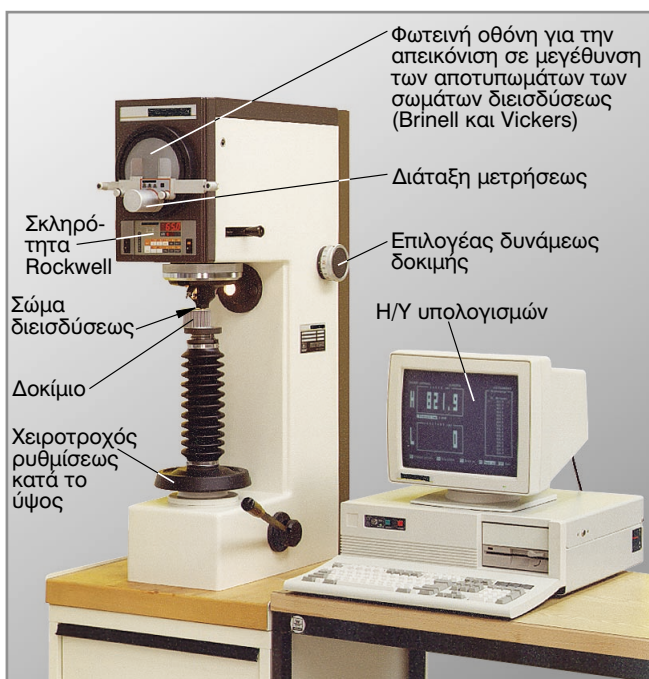
Εκτέλεση της δοκιμής. Η δοκιμή της σκληρότητας γίνεται συνήθως σε μηχανές ελέγχου σκληρότητας (σχήμα 2). Το δοκίμιο τοποθετείται στην κατάλληλη επιφάνεια ή πακτώνεται σε ένα φορέα. Με ένα χειροτροχό αναβιβάζεται το δοκίμιο έως τη δοκιμαστική σφαίρα. Κατόπιν απελευθερώνεται η δύναμη δοκιμής. Ύστερα από 10 έως 15 δευτερόλεπτα ανασηκώνεται η σφαίρα και σταματά σε πλάγια θέση. Με μία μεγεθυντική διάταξη προβάλλεται το αποτύπωμα σε μια φωτεινή οθόνη. Εκεί μετρείται με ακρίβεια με τη βοήθεια κατάλληλης μετρητικής διατάξεως.

Η δοκιμή μπορεί να γίνει με σφαίρες διαφόρων διαμέτρων: 1 mm, 2 mm, 2,5 mm, 5 mm και 10 mm. Οι δυνάμεις δοκιμής, όμως, πρέπει να εκλεγούν έτσι, ώστε ο **βαθμός φορτίσεως** $0,102 \cdot F/D^2$ να παραμένει σταθερός. Γι' αυτόν το λόγο, έχει καθοριστεί για κάθε ομάδα της περίπτωσης ίδιας σκληρότητας ένας βαθμός φορτίσεως. Από πίνακες μπορεί κανείς να ρυθμίσει τη δύναμη δοκιμής σύμφωνα με τη διάμετρο της σφαίρας.

Συντομογραφία. Η τιμή της σκληρότητας κατά Brinell δίδεται συμβολικά. Ο συμβολισμός αποτελείται από την τιμή της σκληρότητας, τα χαρακτηριστικά γράμματα HBW (σφαίρα από σκληρομέταλλο) ή HBS (χαλύβδινη σφαίρα) και τις συνθήκες δοκιμής (βλ. παράδειγμα παραπλεύρως).

Αν η διάρκεια διείσδυσης είναι 10 έως 15 δευτερόλεπτα, τότε δεν αναφέρεται στο συμβολισμό.

Σκληρότητα και αντοχή σε εφελκυσμό. Στον καθαρό χάλυβα μπορεί να υπολογιστεί η αντοχή σε εφελκυσμό R_m από τη σκληρότητα HBS ή HBW, προσεγγιστικά. Ο τύπος υπολογισμού είναι $R_m \approx 3,5 \cdot HB$.



Σχήμα 2: Μηχανή ελέγχου σκληρότητας

Παράδειγμα καταχωρίσεως σκληρότητας κατά Brinell

229	HBW	2,5 /	187,5 /	30
Τιμή σκληρότητας	Σκληρότητα κατά Brinell (σφαίρα από σκληρομέταλλο)	Διάμετρος σε mm της σφαίρας δοκιμής	Δύναμη δοκιμής $F = 187,5 \cdot 9,81$ N = 1839 N	Διάρκεια διείσδυσης σε δευτερόλεπτα

Έλεγχος σκληρότητας κατά Vickers

Στον έλεγχο σκληρότητας κατά Vickers διεισδύει η κορυφή μιας τετραπλής πυραμίδας από διαμάντι (γωνία κορυφής 136°) στο δοκίμιο και μετρώνται οι διαγώνιες του δημιουργημένου αποτυπώματος (σχήμα 1).

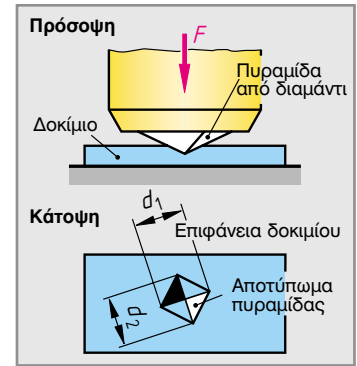
Η τιμή της σκληρότητας κατά Vickers υπολογίζεται από τη δύναμη δοκιμής F (σε N) και τη διαγώνιο d του αποτυπώματος (σε mm), σύμφωνα με τον τύπο:

$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2}$$

Η διαγώνιος d υπολογίζεται από μέτρηση των δύο διαγωνίων d_1 και d_2 του αποτυπώματος (σχήμα 1) και υπολογισμό της μέσης τιμής $d = d_1 + d_2/2$.

Παράδειγμα: Ένα αποτύπωμα πυραμίδας με $d = 0,47$ mm και δύναμη δοκιμής $F = 490,3$ N δίνει μία σκληρότητα κατά Vickers ίση προς:

$$HV\ 50 = 0,189 \cdot \frac{490,3}{0,47^2} = 419$$



Σχήμα 1: Έλεγχος σκληρότητας κατά Vickers

Στην πράξη η τιμή HV διαβάζεται σε πίνακες **εκτέλεση δοκιμής**. Η μέτρηση της σκληρότητας κατά Vickers συνήθως γίνεται στη μηχανή ελέγχου σκληρότητας γενικής χρήσεως (σχήμα 2, σελ. 549), με όμοιο τρόπο όπως και η μέτρηση κατά Brinell.

Το αποτύπωμα της πυραμίδας δίνει πάντοτε ευκρινή όρια, τα οποία μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια. Ως δυνάμεις στη μέτρηση για **μακροσκοπικό έλεγχο** εφαρμόζονται: 49,03 N (HV 5), 98,07 N (HV 10), 196,1 N (HV 20), 294,2 N (HV 30), 490,3 N (HV 50) και 980,7 N (HV 100).

Στον έλεγχο σκληρότητας κατά Vickers χρησιμοποιείται για τη διεύθυνση μόνον ένα σώμα, με το οποίο ελέγχονται και τα μαλακά και τα σκληρά υλικά.

Συνομογραφία. Η σκληρότητα κατά Vickers δίνεται συμβολικά. Ο συμβολισμός περιλαμβάνει την τιμή της σκληρότητας, τα συμβολικά γράμματα HV και τις συνθήκες μέτρησης (παράδειγμα).

Αν η διάρκεια διεισδύσεως είναι 10 έως 15 δευτερόλεπτα, τότε δεν αναφέρεται αυτό στο συμβολισμό, δηλ. π.χ. 360 HV50.

Για μαλακά και μέσης σκληρότητας υλικά (έως 350 HV) οι μετρήσεις κατά Brinell και Vickers δίνουν τα ίδια αριθμητικά αποτελέσματα. Σε σκληρότερα όμως υλικά οι τιμές διαφέρουν μεταξύ τους.

Μικροσκοπικός έλεγχος σκληρότητας κατά Vickers με μικρά φορτία. Αν πρέπει το αποτύπωμα της πυραμίδας να είναι μικρό, τότε χρησιμοποιούνται συσκευές μέτρησης σκληρότητας με μικρές δυνάμεις. Οι δυνάμεις δοκιμής σ' αυτήν την περίπτωση είναι 2 N έως 50 N (HV 0,2 έως HV 5) και δίνουν αποτυπώματα, τα οποία μετρώνται με ένα μικροσκόπιο, το οποίο είναι ενσωματωμένο στη συσκευή. Η μέτρηση σκληρότητας εφαρμόζεται για τον έλεγχο σκληρότητας λεπτών στρωμάτων και σε έτοιμα αντικείμενα. Αν ο έλεγχος περιορίζεται σε **μικροσκοπικές περιοχές** π.χ. σε μεμονωμένους κόκκους της δομής, εφαρμόζονται τότε δυνάμεις μικρότερες των 2 N.

Έλεγχος σκληρότητας κατά Knoop. Ο έλεγχος αυτός γίνεται όπως και ο έλεγχος κατά Vickers και χρησιμεύει για τον έλεγχο σκληρών-ψαθυρών υλικών, π.χ. κεραμικών. Το σώμα διεισδύσεως είναι μία πυραμίδα διαμαντιού με βάση ρόμβο.

Έλεγχος σκληρότητας κατά Rockwell

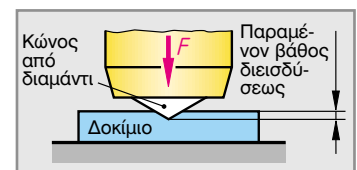
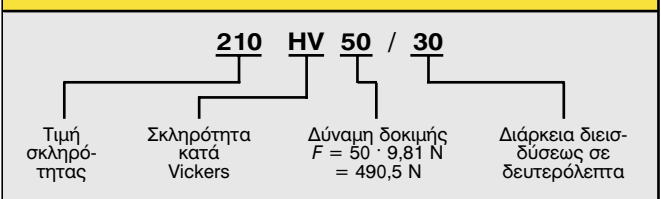
Στις μετρήσεις σκληρότητας κατά Rockwell (σχήμα 2), αρχικά φορτίζεται το σώμα διεισδύσεως, μορφής κώνου ή πυραμίδας, με μία προκαταρκτική δύναμη (98 N) και μηδενίζεται το μετρητικό ρολόι (σχήμα 1, σελ. 551). Κατόπιν εφαρμόζεται η κυρίως δύναμη π.χ. 1373 N στη μέθοδο Rockwell C και ύστερα από μικρό χρόνο αυτό διακόπτεται. Η παραμένουσα διεισδύση h του σώματος μπορεί να διαβαστεί κατευθείαν στο μετρητικό ρολόι σαν σκληρότητα Rockwell.

Για σκληρά υλικά χρησιμοποιούνται ως σώμα διεισδύσεως ένας κώνος από διαμάντι με γωνία κορυφής 120° (π.χ. **μέθοδοι HRC και HRA**).

Για μαλακά υλικά χρησιμοποιούνται χαλύβδινες βαμμένες σφαίρες διαμέτρου 1,59 mm ή 3,175 mm (π.χ. **μέθοδοι HRB και HRF**).

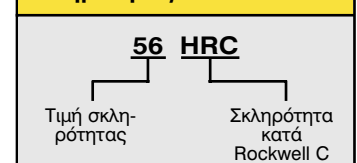
Συνομογραφία: Η συνομογραφία της σκληρότητας κατά Rockwell περιλαμβάνει την τιμή της σκληρότητας και το χαρακτηριστικό της μεθόδου που εφαρμόστηκε (παράδειγμα).

Παράδειγμα καταχώρησης σκληρότητας κατά Vickers



Σχήμα 2: Έλεγχος κατά Rockwell

Παράδειγμα καταχώρησης σκληρότητας κατά Rockwell



Η πορεία εργασίας σε όλα τα είδη μετρήσεως της σκληρότητας κατά Rockwell είναι η ίδια. Αποτελείται από 4 φάσεις (σχήμα 1).

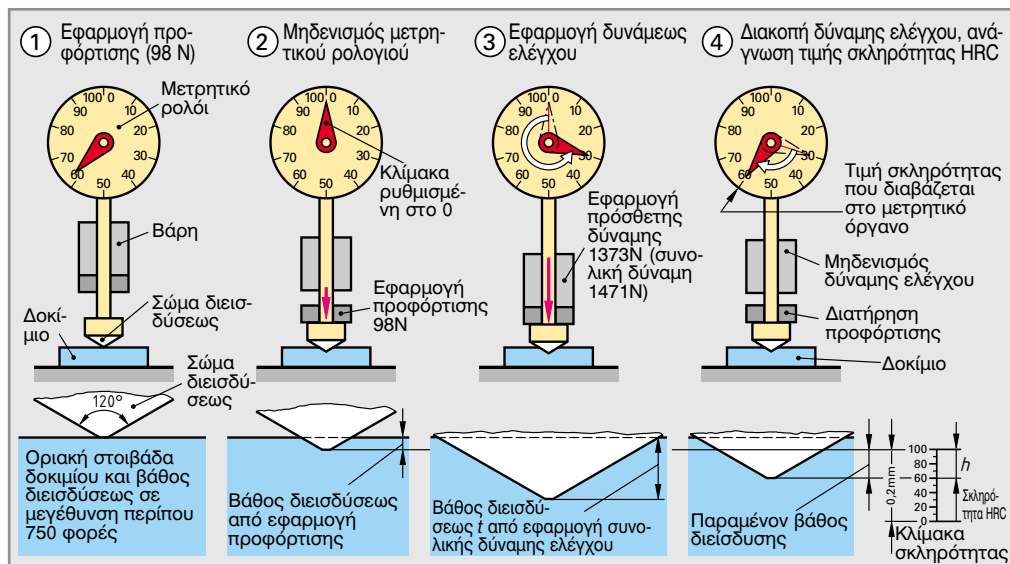
Στο παραπλεύρω σχήμα φαίνεται το παράδειγμα δοκιμής HRC. Οι δυνάμεις δοκιμής είναι για:

HRC: $F = 1373 \text{ N}$

HRA: $F = 490,3 \text{ N}$

HRB: $F = 882,6 \text{ N}$

HRF: $F = 490,3 \text{ N}$

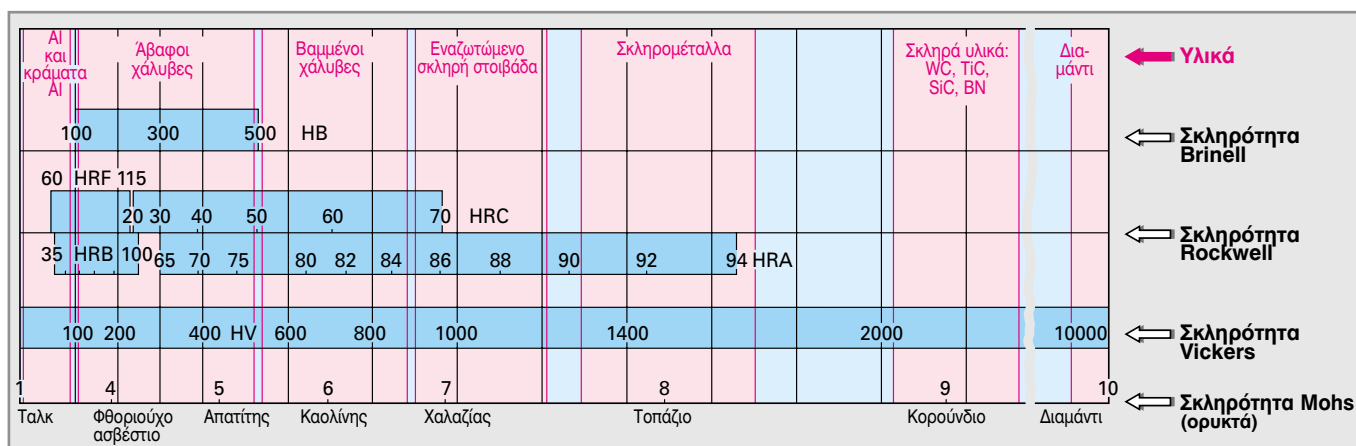


Σχήμα 1: Πορεία εργασίας κατά τον έλεγχο σκληρότητας κατά Rockwell (HRC)

Σύγκριση μεθόδων μέτρησης σκληρότητας

Μέθοδος	Σώμα διεισδύσεως	Μετρούμενη τιμή	Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της μεθόδου, εφαρμογή
Brinell HB	Χαλύβδινη σφαίρα	Διάμετρος αποτυπώματος	Ακριβείς, αναπαραγόμενες τιμές. Μόνον για μαλακά και μέσης σκληρότητας υλικά, π.χ. για ανοιπημένο και βελτιωμένο χάλυβα, Al, Cu και κράματά τους.
Vickers HV	Πυραμίδα διαμαντιού	Διαγώνιος αποτυπώματος	Εφαρμόσιμος σε κάθε περίπτωση, ακόμη και για μετρήσεις μικρού φορτίου και μικροσκοπικού μεγέθους. Για μαλακά έως πολύ σκληρά υλικά, επιφανειακές στιβάδες, τμήματα κρυσταλλικής δομής.
Rockwell	HRC	Κώνος διαμαντιού	Άμεση ένδειξη της σκληρότητας. Για σκληρά υλικά, π.χ. βαμμένοι χάλυβες και κράματα, σκληρομέταλλα.
	HRA	Κώνος διαμαντιού	
	HRB HRF	Χαλύβδινη σφαίρα	

Στο σχήμα 2 φαίνεται ένα συγκριτικό γράφημα, από το οποίο μπορεί κανείς να καθορίσει τη μέθοδο που θα χρησιμοποιήσει και για ποιο υλικό. Από εδώ φαίνεται η περιορισμένη περιοχή εφαρμογής των μεθόδων Brinell και Rockwell και η δυνατότητα χρησιμοποίησης της μεθόδου Vickers για κάθε περίπτωση.



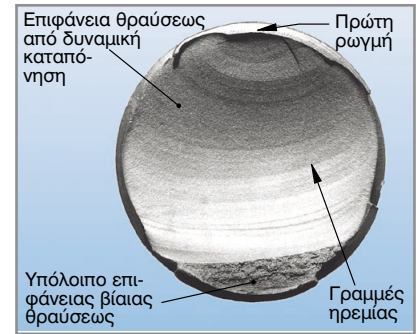
Σχήμα 2: Περιοχές εφαρμογής και σύγκριση των τιμών σκληρότητας των διαφόρων μεθόδων ελέγχου σκληρότητας

Ερωτήσεις επανάληψης

1. Τι εννοείται με τον όρο σκληρότητα;
2. Πώς εκτελείται η μέτρηση της σκληρότητας κατά Brinell;
3. Για ποιο λόγο γίνεται ο μικροσκοπικός έλεγχος σκληρότητας;
4. Για ποια υλικά είναι κατάλληλος ο έλεγχος της σκληρότητας κατά Brinell ή κατά Vickers;
5. Ποια πλεονεκτήματα έχει ο έλεγχος σκληρότητας κατά Rockwell έναντι του ελέγχου κατά Brinell ή Vickers;
6. Ο έλεγχος σκληρότητας κατά Vickers HV 50 ενός τεμαχίου από βαμμένο χάλυβα δίνει μήκη διαγώνιων αποτυπώματος 0,35 mm και 0,39 mm. Ζητείται η σκληρότητα του χάλυβα κατά Vickers.

7.7.6 Έλεγχος δυναμικής αντοχής

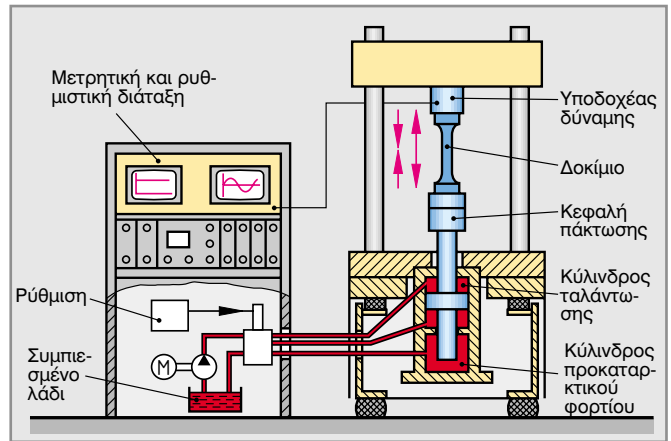
Τα εξαρτήματα των μηχανών συχνά υφίστανται φορτίσεις, οι οποίες μέσα σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα επαναλαμβάνονται. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για στοιχεία μηχανών, όπως κοχλίες, άξονες και ατράκτους. Αυτά τα εξαρτήματα μπορεί να σπάσουν, ακόμη και αν η εναλλασσόμενη φόρτιση βρίσκεται πολύ κάτω από το όριο αντοχής του υλικού. Αυτό το είδος θραύσεως ονομάζεται δυναμική θραύση ή θραύση λόγω κοπώσεως του υλικού. Η θραύση λόγω κοπώσεως αναγνωρίζεται από την τυπική εμφάνιση της επιφάνειας θραύσεως (σχήμα 1).



Σχήμα 1: Δυναμική θραύση μιας ατράκτου

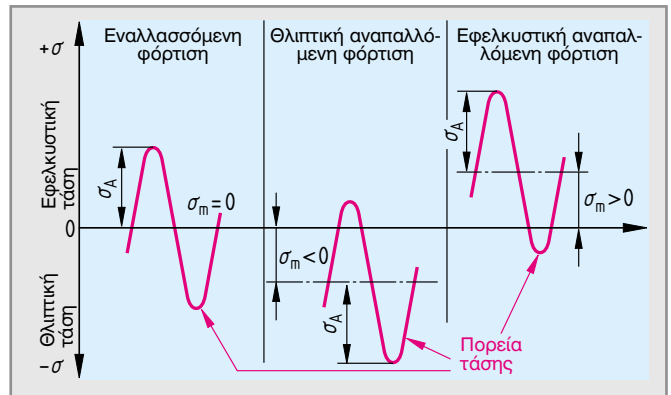
Έχει μία πρώτη ρωγμή, μια επιφάνεια δυναμικής θραύσεως με γραμμές ηρεμίας και ένα υπόλοιπο επιφάνειας με βίαιη θραύση.

Ο δυναμικός έλεγχος γίνεται σε μια μηχανή, η οποία φορτίζει το δοκίμιο με εναλλασσόμενες δυνάμεις σε ταχύ ρυθμό (π.χ. με συχνότητα 50 εναλλαγές δονήσεων ανά δευτερόλεπτο). Οι εναλλασσόμενες δυνάμεις είναι θλιπτικές - εφελκυστικές (σχήμα 2).



Σχήμα 2: Μηχανή δυναμικών ταλαντώσεων

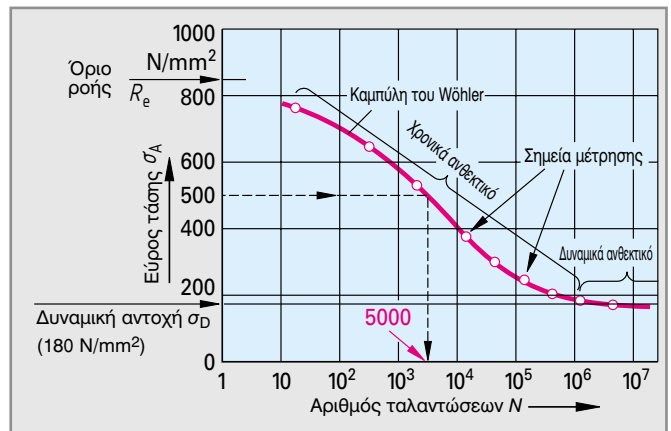
Στον έλεγχο της δυναμικής καταπόνησεως είναι δυνατές διάφορες περιοχές καταπόνησεως (σχήμα 3). Η καταπόνηση μπορεί να κυμαίνεται γύρω από το μηδέν ($\sigma_m < 0$), οπότε καλείται **εναλλασσόμενη φόρτιση**. Αν η μέση τιμή της τάσεως βρίσκεται στη θλιπτική περιοχή ($\sigma_m < 0$) ή στην εφελκυστική ($\sigma_m > 0$), τότε η φόρτιση καλείται **θλιπτική αναπαλλόμενη** και αντίστοιχα **εφελκυστική αναπαλλόμενη**. Η μέγιστη τιμή της τάσεως καλείται **εύρος τάσεως σ_A** .



Σχήμα 3: Περιοχή της ταλαντούμενης φορτίσεως

Η κάθε μία δυναμική δοκιμή συνεχίζεται τόσο, έως τη θραύση του δοκιμίου ή αντίστοιχα, αν το δοκίμιο αντέξει $10^7 = 10\,000\,000$ εναλλαγές φορτίου. Πάντοτε μετρείται ο αριθμός των εναλλαγών, τις οποίες μπορεί να αντέξει το δοκίμιο και ο οποίος καλείται **αριθμός εναλλαγών θραύσεως N** .

Μια σειρά δοκιμών δυναμικής συμπεριφοράς αποτελείται από δέκα περίπου δοκίμια του ίδιου υλικού. Το εύρος σ_A της εναλλασσόμενης τάσεως, με αφετηρία το όριο ροής R_e , μειώνεται από δοκιμή σε δοκιμή. Σε ένα διάγραμμα καταχωρούνται τα αποτελέσματα των επιμέρους δοκιμών (σχήμα 4). Ενώνοντας τα σημεία προκύπτει η **καμπύλη του Wöhler** (August Wöhler: Ερευνητής υλικών). Η καμπύλη στην αρχή είναι πτωτική και κατόπιν, περίπου από $10^6 = 1.000.000$ εναλλαγές φορτίου, γίνεται οριζόντια. Η τάση που αντιστοιχεί σ' αυτόν τον κλάδο λέγεται **δυναμική αντοχή σ_D** .



Σχήμα 4: Καμπύλη του Wöhler για έναν κραματοχάλυβα

Όταν το υλικό φορτιστεί με εναλλασσόμενη τάση, η οποία βρίσκεται κάτω από τη δυναμική αντοχή σ_D , τότε το υλικό αντέχει και σε άπειρο πλήθος εναλλαγών φορτίου. Είναι ανθεκτικό στη δυναμική καταπόνηση. Ο κραματοχάλυβας π.χ., που φαίνεται στο σχήμα 4 είναι ανθεκτικός στη δυναμική καταπόνηση, αν αυτή είναι μικρότερη των 180 N/mm^2 . Αν φορτιστεί με εναλλασσόμενη τάση, μεγαλύτερη της δυναμικής αντοχής του, τότε θα σπάσει σύμφωνα με τον αριθμό εναλλαγών θραύσεως. Στην περίπτωση αυτή ο κραματοχάλυβας έχει χρονική αντοχή. Το υλικό του σχήματος 4 έχει, π.χ. σε εναλλασσόμενη φόρτιση 500 N/mm^2 , μόνον 5000 εναλλαγές χρονική αντοχή.

Αντοχή μορφής. Οι χαρακτηριστικές τιμές ενός υλικού, οι οποίες έχουν προσδιοριστεί με δοκιμή σε δυναμική αντοχή, ισχύουν για δοκίμια με λεία επιφάνεια και μορφή ράβδου. Όμως, τα διάφορα εξαρτήματα έχουν μορφή σύμφωνα με τη λειτουργία που εκτελούν. Για να μπορέσει να πει κανείς κάτι σχετικό με την ικανότητα σε φόρτιση ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος, πρέπει να υποβάλλει σε δοκιμασία δοκίμια με τη μορφή του εξαρτήματος. Η δυναμική αντοχή, η οποία προσδιορίζεται έτσι, λέγεται αντοχή μορφής.

7.7.7 Έλεγχος εξαρτήματος με δυνάμεις λειτουργίας

Τα διάφορα εξαρτήματα, στην κανονική τους λειτουργία, είναι εκτεθειμένα σε έναν αριθμό δυνάμεων, οι οποίες ενεργούν ταυτόχρονα. Ένας βραχίονας εκσκαφέα, για παράδειγμα, είναι φορτισμένος ταυτόχρονα σε εφελκυσμό, θλίψη, στρέψη και ταλαντώσεις. Αυτές οι αλληλοεπικαλυπτόμενες φορτίσεις και η επίδρασή τους στα εξαρτήματα, δεν μπορούν να αξιολογηθούν σε ένα δοκίμιο, αλλά μόνον στο έτοιμο εξάρτημα.

Στον έλεγχο εξαρτήματος με δυνάμεις λειτουργίας δοκιμάζονται έτοιμα τεμάχια μηχανών με φορτία, τα οποία θα εμφανιστούν αργότερα στην κανονική λειτουργία.

Γι' αυτόν το σκοπό, ένα εξάρτημα υποβάλλεται σε φορτίσεις στο δοκιμαστήριο, οι οποίες μπορούν να εξομοιωθούν με αυτές της κανονικής λειτουργίας. Ένας βραχίονας εκσκαφέα, για παράδειγμα, με τη βοήθεια υδραυλικών κυλίνδρων, υποβάλλεται σε εναλλασσόμενες φορτίσεις κατά τη διεύθυνσή του και εγκάρσια (σχήμα 1). Τα ασθενή σημεία του εξαρτήματος φαίνονται από τις παραμορφώσεις ή τη θραύση τους.

7.7.8 Έλεγχος χωρίς καταστροφή του υλικού

Χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση σφαλμάτων (ρωγμών, φυσαλίδων, εγκλωβισμών) στις πρώτες ύλες και στα έτοιμα τεμάχια. Στην προκειμένη περίπτωση δεν χρειάζεται η λήψη δοκίμιου από το εξεταζόμενο υλικό, ούτε η πρόκληση ζημιών στο ελεγχόμενο εξάρτημα.

Έλεγχος με μεθόδους διεισδύσεως

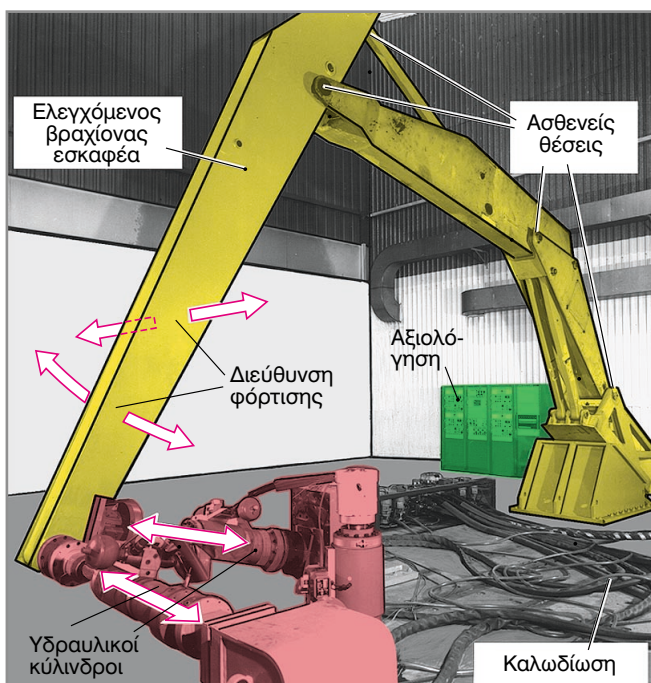
Αυτές οι μέθοδοι, γνωστές και με τα ονόματα: **τριχοειδική μέθοδος**, **μέθοδος αναρροφήσεως** και **μέθοδος διαπερατότητας**, είναι κατάλληλες για την ανεύρεση λεπτών τριχοειδών ρωγμών, οι οποίες φθάνουν έως την επιφάνεια του αντικειμένου.

Στη **μέθοδο Met-L-Chek**, ψεκάζεται κόκκινο χρώμα στην επιφάνεια του ελεγχόμενου τεμαχίου. Το χρώμα διεισδύει σε υπάρχουσες τροχοειδείς ρωγμές. Κατόπιν το εξάρτημα πλένεται καλά και κατόπιν ψεκάζεται πάλι με λευκό χρώμα, το οποίο φέρει προς τα έξω το κόκκινο χρώμα, το οποίο βρίσκεται στις ρωγμές. Έτσι, γίνονται ορατές ρωγμές, οι οποίες δεν ήταν ορατές ούτε με μεγεθυντικό φακό.

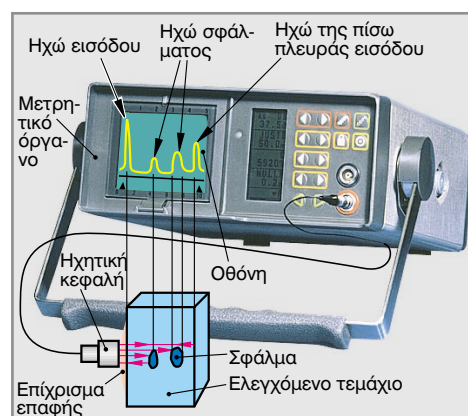
Στη **μέθοδο της φθοριώσεως**, η οποία εκτελείται όπως και η μέθοδος Met-L-Chek, χρησιμοποιείται ως υγρό διεισδύσεως φθορίζοντα υλικά, τα οποία σε σκοτεινό χώρο και με την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας, ακτινοβολούν στις θέσεις σφαλμάτων.

Έλεγχος με υπερήχους

Στον έλεγχο με υπερήχους μπορούν να διαπιστωθούν σφάλματα στο εσωτερικό των τεμαχίων. Η συσκευή υπερήχων αποτελείται από την ηχητική κεφαλή και ένα μικρό φορητό μετρητικό όργανο με οθόνη (σχήμα 2). Κατά τον έλεγχο τοποθετείται η ηχητική κεφαλή στο τεμάχιο. Η κεφαλή εκπέμπει υπερήχους, οι οποίοι διεισδύουν στο τεμάχιο. Η συχνότητά τους είναι τόσο μεγάλη, που δεν γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί. Τα ηχητικά κύματα διαπερνούν το τεμάχιο και ανακλώνται στην εμπρόσθια επιφάνειά του, στην πίσω και στα τυχόν σφάλματα στο εσωτερικό του. Τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα φαίνονται στην οθόνη ως κορυφές. Η θέση και το μέγεθος των σφαλμάτων μέσα στο τεμάχιο, μπορούν να διαβαστούν στην οθόνη από τη θέση και το μέγεθος των κορυφών. Κατά τον έλεγχο με ακτίνες γ, ως πηγή της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ραδιενεργό υλικό, όπως κοβάλτιο 60. Οι ακτίνες γ μπορούν να διαπεράσουν υλικά μεγάλου πάχους, όπως χάλυβα έως 200 mm. Ο χειρισμός των ακτίνων Röntgen και γ επαφίεται στον ειδικό, διότι αυτές μπορούν να δημιουργήσουν βαρείες σωματικές βλάβες.



Σχήμα 1: Έλεγχος με δυνάμεις λειτουργίας ενός βραχίονα εκσκαφέα



Σχήμα 2: Έλεγχος με υπερήχους

Έλεγχος με ακτίνες X (Röntgen) και γ

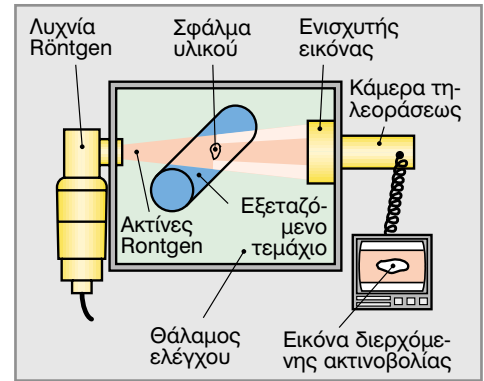
Για τον έλεγχο με ακτίνες Röntgen τοποθετείται το αντικείμενο στην πορεία των ακτίνων μιας λυχνίας Röntgen (σχήμα 1). Με μία κάμερα τηλεόρασης γίνεται λήψη του δοκιμίου, η οποία προβάλλεται σε μία οθόνη. Οι θέσεις με ελαττώματα στο εξεταζόμενο τεμάχιο παρουσιάζονται σαν φωτεινότερες θέσεις. Οι ακτίνες Röntgen διαπερνούν πάχος χάλυβα έως 80 mm και αλουμινίου έως 400 mm.

Στον έλεγχο με ακτίνες γ χρησιμοποιούνται, ως πηγή ακτινοβολίας, ραδιενεργά υλικά, π.χ. κοβάλτιο 60. Επάνω σε ένα φιλμ προβάλλεται το αντικείμενο που εξετάζεται. Τα ελαττώματα παρουσιάζονται ως φωτεινότερες θέσεις. Οι ακτίνες γ διαπερνούν χάλυβα έως 200 mm πάχους.

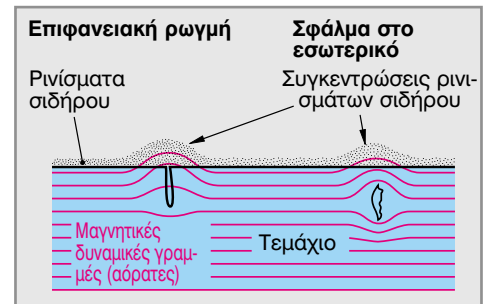
Ο έλεγχος με ακτίνες Röntgen και γ επιτρέπεται να εκτελείται μόνον από ειδικευμένο προσωπικό. Προσοχή: Κίνδυνος από ακτινοβολία.

Έλεγχος με τη μέθοδο της μαγνητικής σκόνης

Εδώ μαγνητίζεται το αντικείμενο. Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα στις θέσεις σφαλμάτων ή ρωγμών. Κατά τον έλεγχο χύνεται πετρέλαιο στο αντικείμενο. Μέσα στο πετρέλαιο έχουν αναμιχθεί λεπτά ρινίσματα σιδήρου. Αυτά συγκεντρώνονται κυρίως γύρω από τις θέσεις σφαλμάτων, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας των μαγνητικών γραμμών εκεί, και έτσι γίνονται ορατές οι ρωγμές (σχήμα 2).



Σχήμα 1: Έλεγχος με ακτίνες Röntgen



Σχήμα 2: Μέθοδος με μαγνητική σκόνη

7.7.9 Μεταλλογραφικές εξετάσεις

Οι μεταλλογραφικές εξετάσεις καθιστούν ορατή τη δομή των υλικών.

Εικόνες της κρυσταλλικής δομής χωρίς μεγέθυνση

Αν πιέσει κανείς μια πρόσφατα στιλβωμένη επιφάνεια επάνω σε προπαρασκευασμένο φωτογραφικό χαρτί, τότε γίνεται ορατή η κατανομή του φωσφόρου και του θείου μέσα στο χάλυβα (σχήμα 3). Αυτό το “**αποτύπωμα Baumann**” χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ανομοιομορφίας της δομής του υλικού λόγω αποχωρισμών.

Αν, πάλι, επαλειφθεί η επιφάνεια τομής με κατάλληλο καυστικό υγρό, τότε γίνεται ορατός ο προσανατολισμός των κρυσταλλιτών και η διεύθυνση των “**ινών**” (σχήμα 3). Αυτό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο διαμορφωμένων τεμαχίων.

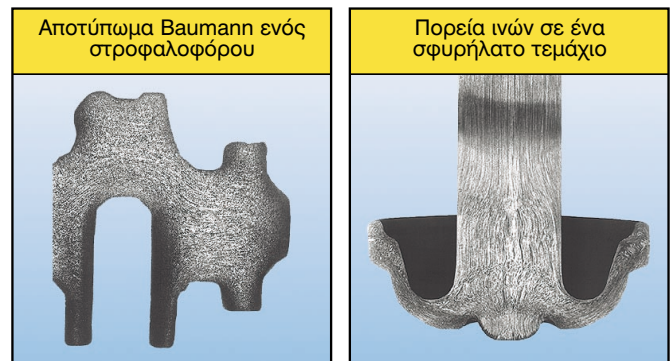
Εικόνες της κρυσταλλικής δομής με μικροσκόπιο

Αν παρατηρήσει κανείς μια στιλβωμένη και παρασκευασμένη με καυστικό υγρό επιφάνεια, τότε έχει μια εικόνα της δομής (σχήμα 4). Τέτοια δοκίμια χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της δομής και της ορθής θερμικής κατεργασίας αντικειμένων.

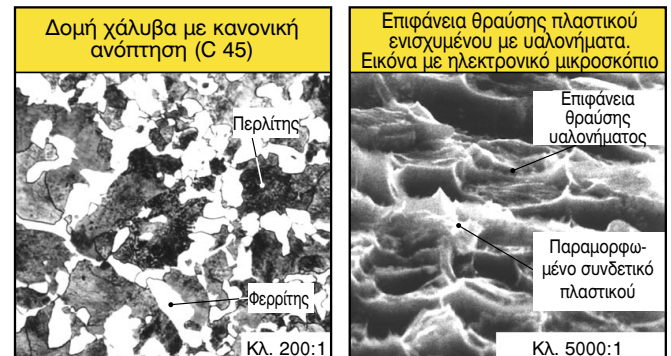
Με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο επιτυγχάνονται ακόμη και σε ανώμαλες επιφάνειες, ευκρινέστερες εικόνες σε μεγέθυνση έως 10000 φορές (σχήμα 4). Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται π.χ. η εξέλιξη μιας θραύσεως.

Ερωτήσεις επανάληψης

1. Πώς φαίνεται μια επιφάνεια θραύσεως από κόπωση του υλικού;
2. Ποιο σκοπό έχει ο έλεγχος εξαρτήματος με δυνάμεις λειτουργίας;



Σχήμα 3: Εικόνες κρυσταλλικής δομής χωρίς μεγέθυνση



Σχήμα 4: Εικόνες κρυσταλλικής δομής με μικροσκόπιο

3. Πώς εκτελείται ο έλεγχος με υπερήχους;
4. Τι δείχνει μια διεύθυνση “ινών” ή ένα λείψαμα;

7.8 Διάβρωση και προστασία από διάβρωση

Με τον όρο **διάβρωση** εννοείται η προσβολή και η καταστροφή μεταλλικών υλικών, λόγω χημικών ή ηλεκτροχημικών αντιδράσεων με στοιχεία του περιβάλλοντος.

Υλικά διαβρώσεως (δραστικά υλικά) είναι τα υλικά, τα οποία περιβάλλουν το αντικείμενο, επιδρούν στο υλικό του και προκαλούν τη διάβρωση. Π.χ. ο αέρας σε ένα χώρο, ο ελεύθερος αέρας με ή χωρίς βιομηχανική ρύπανση, ο αέρας της θάλασσας, το νερό, το έδαφος ή τα χημικά.

Οι ζημιές που προκαλούνται από τη διάβρωση σε αυτοκίνητα και μηχανές είναι πολύ μεγάλες (**σχήμα 1**). Ένα μέρος αυτών των ζημιών μπορεί να αποφευχθεί με εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων προστασίας.



Σχήμα 1: Άχρηστο αντικείμενο λόγω διαβρώσεως

7.8.1 Αιτίες της διαβρώσεως

Η διάβρωση εξελίσσεται, ανάλογα με τα δεδομένα, κατά διαφορετικούς τρόπους δράσεως. Ύστερα, διακρίνει κανείς την ηλεκτροχημική ή τη χημική διάβρωση.

Οι συχνότερες ζημιές από τη διάβρωση των μηχανών προέρχονται από ηλεκτροχημική διάβρωση.

Ηλεκτροχημική διάβρωση

Στην ηλεκτροχημική διάβρωση, τα φαινόμενα της διαβρώσεως εξελίσσονται στην επιφάνεια του μετάλλου, μέσα σε μία στοιβάδα νερού, η οποία είναι αγωγός του ηλεκτρισμού, τον **ηλεκτρολύτη**. Ως ηλεκτρολύτης αρκεί ένα λεπτότατο στρώμα υγρασίας ή κατάλοιπα νερού σε μία σχισμή, ή ακόμη και ο ιδρώτας των χεριών.

Ηλεκτροχημική διάβρωση από οξυγόνο σε υγρές χαλύβδινες επιφάνειες

Οι επιφάνειες των μεταλλικών εξαρτημάτων, είτε αυτά βρίσκονται σε υγρούς χώρους είτε ελεύθερα, έξω, σε υγρή ατμόσφαιρα, περιβάλλονται από μία υγρή στοιβάδα. Τα γυμνά αντικείμενα από καθαρούς χάλυβες ή χάλυβες με μικρές προσμειξεις, κάτω από αυτές τις συνθήκες, μετά από μερικές ημέρες παρουσιάζουν σημάδια σκουριάς (**σχήμα 2**). Οι μεταβολές, οι οποίες είναι η βάση γι' αυτήν τη διάβρωση, στηρίζονται στην επίδραση του οξυγόνου του αέρα, σε συνδυασμό με το νερό, επάνω στο σίδηρο.

Τα φαινόμενα μπορούν να εξηγηθούν αν παρατηρήσει κανείς μία περιοχή του υλικού κάτω από μία σταγόνα νερού (**σχήμα 3**):

Στη μέση της σταγόνας διαλύεται ο σίδηρος ως ιόν Fe^{2+} . Αυτή η περιοχή του υλικού λειτουργεί σαν μία **τοπική άνοδος**.

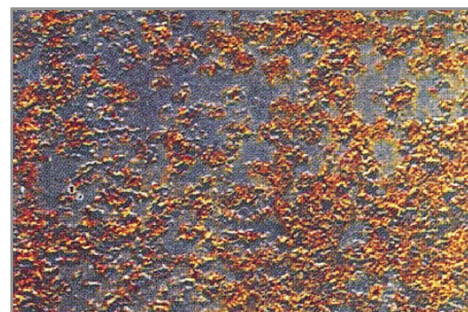
Στα όρια της σταγόνας αντιδρούν ιόντα OH^- , που προέρχονται από το οξυγόνο του αέρα με τα ιόντα του σιδήρου Fe^{2+} και σχηματίζουν αρχικά υδροξειδίο του σιδήρου $Fe(OH)_3$ και από αυτό **σκουριά $FeO(OH)$** .

Αυτή η σκουριά κατακάθεται κυκλικά στην περίμετρο της σταγόνας.

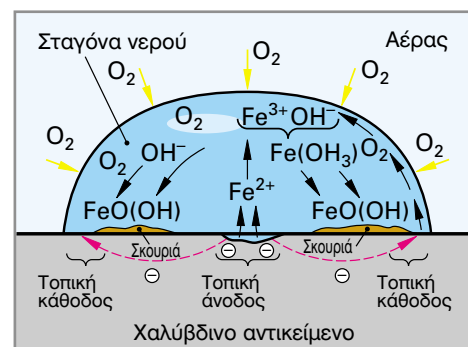
Τα στίγματα της σκουριάς, που ήδη έχει αρχίσει, μπορεί κανείς να τα παρατηρήσει στην επιφάνεια του χάλυβα (**σχήμα 2**). Στην περαιτέρω εξέλιξη της διάβρωσης, με αφετηρία αυτές τις θέσεις, καλύπτεται ολόκληρη η επιφάνεια από σκουριά.

Ηλεκτροχημική διάβρωση σε στοιχεία διαβρώσεως

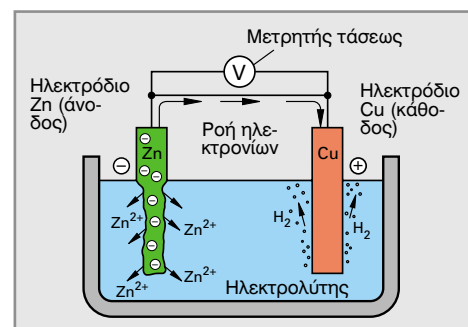
Αυτή η διάβρωση έχει ως αιτία τα ίδια φαινόμενα, τα οποία εξελίσσονται σε ένα **ηλεκτρολυτικό στοιχείο**. Ένα ηλεκτρολυτικό στοιχείο απαρτίζεται από δύο ηλεκτρόδια από διαφορετικά μέταλλα, τα οποία εμβαπτίζονται σε ένα ηλεκτρικά αγωγίμο υγρό, τον ηλεκτρολύτη (**σχήμα 4**). Με αυτή τη διάταξη διαλύεται το λιγότερο "ευγενές" μέταλλο από τα δύο (ηλεκτρόδια). Αυτό διαβρώνεται.



Σχήμα 2: Σκουριά στην απροστάτευτη επιφάνεια χάλυβα



Σχήμα 3: Εξέλιξη της ηλεκτροχημικής διάβρωσης με το οξυγόνο



Σχήμα 4: Ηλεκτρολυτικό στοιχείο