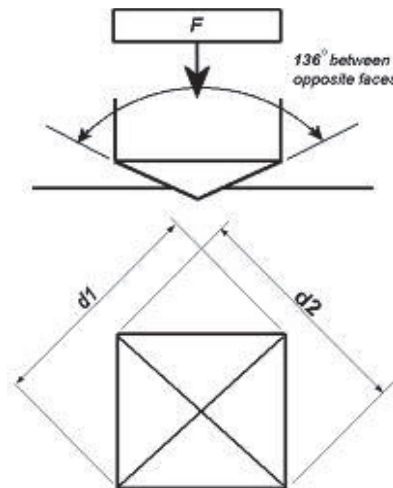




Τ.Ε.Ι ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ
STRUERS DURAMIN 500**

ΟΙ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΛΙΑΚΡΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΤΥΧΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΜΠΙΖΡΕΜΗΣ Π.

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ, 2011

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τις βασικές έννοιες και τις μεθόδους σκληρομέτρησης διάφορων υλικών καθώς και των πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων αυτών. Οι μέθοδοι που μελετήθηκαν είναι: Vickers, Brinell, Rockwell, Rockwell Superficial, Κnoop ή Μικροσκληρομέτρηση, Shore A & Shore D και οι Δυναμικές μέθοδοι ή μέθοδος Equotip.

Στη συνέχεια αφού αναλύθηκαν οι παραπάνω μέθοδοι ακολούθησε η πειραματική διαδικασία. Αυτή περιλαμβάνει σκληρομέτρηση κατά Vickers, Brinell Rockwell σε τρία υλικά (αλουμίνιο, χάλυβα ορείχαλκο) τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο στην κατασκευή γεωργικών μηχανημάτων.

Τα στάδια για την προετοιμασία των δοκιμίων τους για σκληρομέτρηση είναι :

- Κοπή Δοκιμίου
- Εγκιβωτισμός Δοκιμίου
- Λείανση Δοκιμίου
- Στίλβωση Δοκιμίου

Με την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων σκληρομέτρησης που βρήκαμε για την κάθε μέθοδο και υλικό ξεχωριστά σε σχέση με την τιμή σκληρότητας που δίνει ο κατασκευαστής. Παρατηρήσαμε ότι οι τιμές έχουν μικρή απόκλιση μεταξύ τους και αυτό συνέβη λόγω της μηχανικής επεξεργασίας (λείανση, στίλβωση) των δοκιμίων πριν την τελική φάση της σκληρομέτρησης και της μετρητικής αβεβαιότητας.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον εισηγητή και επιβλέποντα της πτυχιακής μας εργασίας κ Μπιζρέμη Παναγιώτη Ε.Τ.Π του τμήματος καθώς και τον κ Καφετζιδάκη Ιωάννη οι οποίοι μας βοήθησαν να διεκπεραιώσουμε τη παρούσα εργασία. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την οικογένεια μας και τους φίλους μας που μας στήριξαν καθ'όλη την διάρκεια φοίτησής μας.

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας	Σελίδα
2 : Κλίμακες Rockwell ανάλογα με τον τύπο διεισδυτή και τα ασκούμενα φορτία	4
2.1: Κλίμακες Rockwell, υλικό εφαρμογών ανάλογα με τον τύπο διεισδυτή και τα ασκούμενα φορτία	6
2.2: Ενδεικτικές εφαρμογές σε σχέση με τις κλίμακες Rockwell και τον χρησιμοποιούμενο διεισδυτή	7
2.3: Μέθοδοι σκληρομέτρησης κατά Rockwell διαφορετικής γεωμετρίας διεισδυτή και τιμές επιβαλλόμενου φορτίου	7
2.4: Rockwell- Ελάχιστο απαιτούμενο πάχος δοκιμίου	11
2.5: Γενική επισκόπηση για τις μεθόδους Superficial Rockwell και τις πιο κοινές τους εφαρμογές	12
2.6: Σύγκριση τιμών σκληρότητας κατά Brinell (BHN) και αντοχής εφελκυσμού για διάφορα κράματα	13
2.7: Σφαίρες δοκιμής Brinell ανάλογα με το πάχος του δοκιμίου	17
2.8: Τιμές σταθεράς K κατά Brinell	17
2.9 : Τιμές φορτίου κατά Brinell ανάλογα με την διάμετρο του διεισδυτή	18
2.10: Ελάχιστη τιμή σκληρότητας Brinell ανάλογα με το πάχος του δοκιμίου και τα επιβαλλόμενα φορτία	21
2.11: Δοκιμές σκληρομέτρησης που γίνονται συνήθως στην πράξη	24
2.12: Μετατροπή αριθμού σκληρότητας για τις μεθόδους Vickers Brinell και Rockwell	25
2.13: Προτερήματα και μειονεκτήματα μεθόδων	28
2.14: Σχέσεις μεταξύ της σκληρότητας (Brinell, & Rockwell C) και της αντοχής σε εφελκυσμό σ_t	32
4 : Ολίσθηση ένδειξης μερικών μετρητικών οργάνων / προτύπων	38
4.1 : Συχνότητα χρήσης και μετρητική αβεβαιότητα μετρητικού εξοπλισμού κατά μέσο όρο	39
4.2 : Παραδείγματα προτεινόμενης μέγιστης περιόδου επαναδιακρίβωσης κάποιων μετρητικών οργάνων	40
4.3 : Κατηγοριοποίηση κ συχνότητα επαναδιακρίβωσης εξοπλισμού	40
8 : Αποτελέσματα σκληρομέτρησης των δοκιμίων αναλόγως της χρησιμοποιούμενης μεθόδου	80

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα	Σελίδα
2 : Διεισδυτής αδαμάντινου κώνου 120° Rockwell	3
2.1: Σκληρόμετρο Rockwell	4
2.2: Διεισδυτής Rockwell C	9
2.3: Διεισδυτής Rockwell B 1/16" (ASTM E18-08a)	10
2.4: Δοκιμή σκληρότητας κατά Brinell	14
2.5: Σκληρόμετρο Brinell	15
2.6: Διαδικασία εφαρμογής φορτίου κατά Vickers	22
2.7: Μικρόμετρο για μικροσκληρομέτρηση	29
2.8: Σκληρόμετρο Shore A	30
2.9: Σκληρόμετρο Shore D	31
3 : Φορητό σκληρόμετρο Equotip	33
3.1: Αισθητήρας Equotip	33
3.2: Σκληρόμετρο EQUOTIP, με χρήση του αισθητήρα EQUOSTAT	35
3.3: Φορητό σκληρόμετρό που βασίζεται στη μέθοδο σκληρομέτρησης με υπερήχους (Μέθοδος UCI)	36
5 : Κοπτικό Εργαστηρίου Υλικών	50
5.1: Λειαντικοί δίσκοι	51
5.2: Συσκευή στίλβωσης	52
7 : Οπτικό μεταλλογραφικό μικροσκόπιο	59
7.1: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης (TEM)	59
7.2: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)	60
7.3: Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)	66
8 : Μηχάνημα κοπής	67
8.1: Τροχοί κοπής	68
8.2: Υλικό προς κοπή στην βάση στήριξης	69
8.3: Πρέσα εγκιβωτισμού εργαστηρίου CitoPress-10	69
8.4: Θερμός εγκιβωτισμός	70

8.5: Ρητίνη Bakelite	70
8.6: Τοποθέτηση δείγματος στην πρέσα εγκιβωτισμού	70
8.7: Προσθήκη ρυτίνης στο καλούπι	71
8.8: Εγκιβωτισμένο δοκίμιο από ρητίνη multifast	71
8.9: Συσκευή TegraPoll-15 του εργαστηρίου	72
8.10: Δίσκος MD και δίσκοι λείανσης MD	72
8.11: Χαρτιά λείανσης από ανθρακοπυρίτιο (SiC paper)	73
8.12: Τοποθέτηση δοκιμίου στην συσκευή για στίλβωση	73
8.13: Μηχανή σκληρομέτρησης εργαστηρίου Duramin 500	74
8.14: Τοποθέτηση αδαμάντινου διείσδυτη Vickers	75
8.15: Διαδικασία εφαρμογής φορτίου κατά Vickers	76
8.16: Αποτέλεσμα σκληρομέτρησης κατά Vickers	76
8.17: Αποτέλεσμα σκληρομέτρησης κατά Rockwell B	77
8.18: Αποτέλεσμα σκληρομέτρησης κατά Rockwell C	78
8.19: Αδαμάντινος διείσδυτης Vickers 136 ⁰	78

Περιεχόμενα σχημάτων

Σχήμα	Σελίδα
2 : Διαδικασία εφαρμογής μεθόδου Rockwell	8
2.1: Διαδικασία σκληρομέτρησης κατά Rockwell C	10
2.2: Διαδικασία σκληρομέτρησης κατά Rockwell B	11
2.3: Ανεβασμένο χείλος ουλής δοκιμίου	20
2.4: Κατεβασμένο χείλος ουλής δοκιμίου	20
2.5: Διεσδυτής Vickers	22
2.6: Διεσδητής Knoop	29
2.7: Διαδικασία εφαρμογής φορτίου κατά Shore	31
3 : Αισθητήρας μεθόδου Leeb	34
3.1: Διαδικασία σκληρομέτρησης με χρήση του αισθητήρα EQUOSTAT που βασίζεται στην ίδια φιλοσοφία με αυτή της Rockwell.	34
4 : Ο ρόλος της εκτίμησης της αβεβαιότητας μετρητικών αποτελεσμάτων στον καθορισμό της συμμόρφωσης τους με την ανώτατη επιτρεπτή τιμή	42
7 : Εξαρτήματα οπτικού μικροσκοπίου	61

Περιεχόμενα διαγραμμάτων

Διάγραμμα	Σελίδα
2 : Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας κατά Brinell (BHN) και της ανοχής σε εφελκυσμό ανθρακούχων χαλύβων	14
2.1: Δύναμης - χρόνου κατά τη δοκιμή σκληρομέτρησης	20

Περιεχόμενα γραφημάτων

Γράφημα	Σελίδα
4 : Ρυθμός ολίσθησης ένδειξης /τιμής μετρητικών οργάνων/προτύπων σε αυθαίρετα όρια ανοχής	37

Γλωσσάριο

Acryfix	Ειδική εποξική ρητίνη εγκιβωτισμού δοκιμίων.
ASTM	Αμερικανική εταιρία τυποποίησης για δοκιμές και υλικά (American Society for Testing And Materials).
BSS	Βρετανική εταιρία προτύπων (British Standard Society).
BHN	Αριθμός σκληρότητας κατά Brinell (Brinell Hardness Number).
CHD	Απόσταση βάθους σκληρότητας (Case Hardness Depth).
DIN	Γερμανικό ινστιτούτο τυποποίησης (Deutsches Institut für Normung), (German Institute for Standardization).
DPN	Αριθμός σκληρότητας διαμαντένιας πυραμίδας (Diamond-Pyramide hardness Number).
DP	Στίλβωση με προϊόντα από διαμάντι (Diamond polishing).
FG	Τελική λείανση (Fine grinding).
Grit	Είναι η ένδειξη σε Grit ή η διάμετρος κόκκων σε μm του λειαντικού που χρησιμοποιούμε.
GUM	Οδηγός για την αβεβαιότητα της μέτρησης (Guide for Uncertainty of measurement).
HLD	Μέθοδος σκληρομέτρησης που βασίζονται στην μέθοδο αναπήδησης (Leeb rebound hardness).
HL	Όριο σκληρότητας (Hardness limit).
HR	Σκληρότητα Rockwell (Rockwell Hardness).
ISO	Διεθνής οργανισμός τυποποίησης (International Organization for Standardization).
Knoop	Αριθμός σκληρότητας κατά Knoop (μια παλαιότερη σημασία KHN) (Knoop Hardness Number).
VHN	Αριθμός σκληρότητας κατά Vickers (Vickers Hardness Number).
VIM	Διεθνές Λεξιλόγιο Μετρολογίας (International Vocabulary of Metrology).
Nital	Διάλυμα αλκοόλης και νιτρικού οξέος που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συνήθη χάραξη των μετάλλων.
OP	Στίλβωση με χρήση οξειδίων (Oxide polishing).

PG	Προλείανση (Plane grinding).
Ppm	Μέρη στο εκατομμύριο (Ppm). Συμβολίζεται με "ppm" και δηλώνει το ποσό μιας δεδομένης ουσίας σε ένα συνολικό ποσό του 1000000, ανεξάρτητα από τις μονάδες μέτρησης, εφόσον αυτές παραμένουν ίδιες.
Rpm	Ταχύτητα περιστροφής δίσκου στίλβωσης/λείανσης.
SEM	Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope).
TEM	Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δέσμης (Transmission Electron Microscope).
UCI	Μέθοδος σκληρομέτρησης με υπέρηχους (Ultrasonic Contact Impedance)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

1.1	Ορισμοί, βασικές έννοιες.....	1
-----	-------------------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1	Μέθοδος Rockwell.....	3
2.1.1	Μέθοδος Rockwell C.....	9
2.1.2	Μέθοδος Rockwell B.....	10
2.1.3	Μέθοδος Rockwell superficial.....	12
2.2	Μέθοδος Brinell.....	13
2.3	Μέθοδος Vickers.....	22
2.4	Σύγκριση των μεθόδων Vickers, Brinell, Rockwell.....	24
2.5	Μέθοδος Knoop ή μέτρηση μικροσκληρότητας.....	29
2.6	Μέθοδος Shore - Μέτρηση ελαστικών και πλαστικών υλικών.....	30
2.7	Συσχέτιση σκληρότητας και αντοχή σε εφελκυσμό.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ Ή ΜΕΘΟΔΟΣ EQUOTIP

3.1	Φορητά σκληρόμετρα που βασίζονται στην μέθοδο αναπήδησης (Leeb's)....	33
3.2	Φορητά σκληρόμετρα στατικής και δυναμικής σκληρομέτρησης.....	35
3.3	Φορητά σκληρόμετρα που βασίζονται στη μέθοδο σκληρομέτρησης με υπερήχους (Μέθοδος UCI).....	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

4.1	Γενικά για την Διακρίβωση Μετρητικών Οργάνων και Προτύπων.....	37
4.1.1	Αιτίες της επαναδιακρίβωσης.....	37
4.2	Συχνότητα διακρίβωσης Μετρητικών Οργάνων.....	39
4.3	Αβεβαιότητα μετρητικών αποτελεσμάτων σύμφωνα με τον οδηγό ISO GUM.....	41
4.4	Συστηματική προσέγγιση εκτίμησης της αβεβαιότητας κατά τον οδηγό ISO GUM.....	43
4.5	Εφαρμοζόμενοι κανονισμοί – Πρότυπα.....	45
4.6	Συμπεράσματα.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

5.1	Εισαγωγή.....	49
5.2	Δειγματοληψία.....	49

5.3	Κοπή δοκιμίων.....	50
5.4	Εγκιβωτισμός δοκιμίων.....	51
5.5	Λείανση - Στίλβωση δοκιμίων.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΗΜΙΚΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ		
6.1	Εισαγωγή.....	54
6.2	Η Θεωρία της προσβολής.....	54
6.2.1	Τεχνικές προσβολής – Διαλύματα.....	56
6.2.2	Χρόνοι προσβολής.....	57
6.2.3	Θερμοκρασία προσβολής.....	57
6.2.4	Σφάλματα.....	58
6.2.5	Καθαρισμός.....	58
6.2.6	Αποθήκευση δοκιμίων.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ		
7.1	Οπτικό μικροσκόπιο.....	59
7.2	Τα εξαρτήματα του μικροσκοπίου.....	61
7.2.1	Το σύστημα φωτισμού.....	61
7.2.2	Συγκεντρωτικός φακός.....	62
7.2.3	Φίλτρα φωτός.....	62
7.2.4	Αντικειμενικός φακός.....	62
7.2.5	Προσοφθάλμιος φακός.....	63
7.2.6	Αντικειμενοφόρος πλάκα.....	63
7.2.7	Οι ατέλειες των φακών.....	64
7.2.8	Ανάλυση.....	64
7.2.9	Βάθος πεδίου.....	65
7.3	Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ		
8.1	Πειραματικό στάδιο διαδικασίας κοπής δοκιμίων.....	67
8.1.1	Υγρή κοπή με χρήση λειαντικών.....	67
8.1.2	Επιλογή τροχού κοπής.....	68
8.2	Πειραματικό στάδιο διαδικασίας εγκιβωτισμού δοκιμίων.....	69
8.3	Πειραματικό στάδιο διαδικασίας μηχανικής επεξεργασίας δοκιμίων.....	72
8.4	Πειραματικό στάδιο διαδικασίας εύρεσης αριθμού σκληρότητας δοκιμίων.....	74

8.4.1	Εισαγωγή.....	74
8.4.2	Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (χάλυβα) κατά Vickers.....	75
8.4.3	Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (χάλυβα) κατά Rockwell B.....	77
8.4.4	Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (χάλυβα) κατά Rockwell C.....	77
8.4.5	Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (ορείχαλκου) κατά Vickers.....	78
8.4.6	Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (αλουμινίου) κατά Vickers.....	79
8.5	Συμπεράσματα – Αποτελέσματα.....	79
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	84
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	129
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.....	130
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.....	133

Εισαγωγή

Η μηχανική συμπεριφορά των υλικών είναι πολύ σημαντική, τόσο για την απευθείας χρήση τους σε μηχανολογικές κατασκευές, όσο και για την επιλογή του τρόπου διαμόρφωσής τους σε συγκεκριμένη γεωμετρία. Οι μηχανικές δοκιμές ή δοκιμασίες των υλικών έχουν ως σκοπό τον έλεγχο των μηχανικών τους ιδιοτήτων και χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες :

(α) στις καταστρεπτικές μεθόδους (άμεσοι μέθοδοι), στις οποίες απαιτείται καταστροφή του δοκιμίου και (β) στις μη καταστρεπτικές μεθόδους (έμμεσοι μέθοδοι), στις οποίες δεν απαιτείται καταστροφή του δοκιμίου.

Στην κατηγορία των δοκιμών με καταστροφή του δοκιμίου ανήκουν βασικά οι μηχανικές δοκιμές, που έχουν ως αντικειμενικό στόχο τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών. Στην συγκεκριμένη κατηγορία ανήκει και η δοκιμή σκληρότητας.

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα είναι αποδεδειγμένη η τεράστια σπουδαιότητα για την βιομηχανία μετάλλου και πλαστικού της μέτρησης της σκληρότητας ενός μεταλλικού ή πλαστικού δοκιμίου.

Η σκληρομέτρηση δίνει αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τον έλεγχο των εισερχομένων, των πρώτων υλών, των ενδιάμεσων όπως και των τελικών προϊόντων και έτσι συμβάλει ουσιαστικά στον ολοκληρωμένο Ποιοτικό Έλεγχο και την Διασφάλιση Ποιότητας μιας επιχείρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

1.1 Ορισμοί, βασικές έννοιες

Σκοπός της εργασίας είναι η μέτρηση της σκληρότητας των μετάλλων με διάφορες μεθόδους. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι σκληρομέτρησης, που παρέχουν την δυνατότητα προσδιορισμού της σκληρότητας σε οποιοδήποτε υλικό, όλκιμο ή ψαθυρό, μέταλλο ή αμέταλλο. Οι μέθοδοι αυτές αντιστοιχούν και σε ανάλογους ορισμούς της σκληρότητας, όπως :

Κατά τον H. Hertz σκληρότητα είναι η ορθή τάση που αναπτύσσεται στο κέντρο της κυκλικής επιφάνειας επαφής δύο συνθλιβομένων σφαιρών την στιγμή που αρχίζει να εμφανίζεται η πλαστική παραμόρφωση. Ευνόητο είναι ότι η πρακτική εφαρμογή του ορισμού αυτού είναι αδύνατη.

Σκληρότητα ονομάζεται η ιδιότητα των στερεών σωμάτων να αντιστέκονται στη διείσδυση άλλων σωμάτων σε αυτά.

Σκληρότητα επίσης ορίζεται ως ο βαθμός αντίστασης ενός υλικού στην πλαστική παραμόρφωση που προκαλείται από την διείσδυση άλλων σωμάτων σε αυτό.

Επίσης ως σκληρότητα ορίζεται σύμφωνα με μια άλλη μέθοδο σκληρομέτρησης το ύψος αναπήδησης κατάλληλης μάζας όταν προσπέσει από ορισμένο ύψος στην επιφάνεια του ελεγχόμενου υλικού.

Γι'αυτό όλες οι μέθοδοι, σκληρομέτρησης χρησιμοποιούν σκληρές διεισδυτικές μορφές εμβόλων (από σκληρό χάλυβα ή διαμάντι) που δημιουργούν στο εξεταζόμενο υλικό τοπικές πλαστικές παραμορφώσεις και αποτυπώματα.

Συνήθως το διεισδυτικό έμβολο επιδρά με μια ορισμένη δύναμη πάνω στο εξεταζόμενο δοκίμιο για ένα χρονικό διάστημα και εκτιμάται, το μέγεθος του αποτυπώματος. Θα μπορούσε μαθηματικά η σκληρότητα να εκφρασθεί όπως φαίνεται στην σχέση (1) ως εξής :

$$H = P/A \quad (1)$$

όπου P : η εφαρμοζόμενη δύναμη και

A: η επιφάνεια του αποτυπώματος

Η δοκιμή γενικά είναι πολύ απλή και οδηγεί σε συμπεράσματα που χαρακτηρίζουν την κατάσταση του υλικού. Ως μέτρο μέτρησης παίρνεται, η δύναμη διείσδυσης αναγόμενη στην επιφάνεια του αποτυπώματος ή το βάθος διείσδυσης.

Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά

με διάφορα θέματα που χαρακτηρίζουν τα υλικά όπως για παράδειγμα :

- ✓ Προσδιορισμός υλικού.
- ✓ Έλεγχος ορθής διαδικασίας θερμικής κατεργασίας.
- ✓ Έλεγχος ποιότητας επιφανειακών κατεργασιών
- ✓ Συμπεριφορά και αντοχή του υλικού κατά την διάρκεια του χρόνου.
- ✓ Συμπεριφορά του υλικού σε συνθήκες φθοράς και καταπόνησης.
- ✓ Έλεγχος μείωσης αντοχής μετά από θερμική κατεργασία
- ✓ Πληροφορίες σχετικά με αντοχή σε εφελκυσμό
- ✓ Τις δυνατότητες κατεργασίας μεταλλικών υλικών σε τόνους και φρέζες (π.χ. ταχύτητα κοπής, κλπ.)
- ✓ Τη σύγκριση όμοιων υλικών
- ✓ Την ποιότητα συγκολλήσεων, κλπ.

Γενικά η σκληρομέτρηση έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Είναι μια γρήγορη, απλή, εύκολη και αξιόπιστη μέτρηση
- Δίνει στοιχεία σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και έτσι μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με την αντοχή σε εφελκυσμό (Tensile Strength), την πλαστικότητα (επιμήκυνση κατά τη θραύση) και τη δυσθραυστότητα. Όταν αυξάνεται η σκληρότητα ενός υλικού, αυξάνεται η αντοχή του και μειώνονται η πλαστικότητα και η δυσθραυστότητά του. Άρα, ένα πολύ σκληρό υλικό είναι πολλές φορές και ψαθυρό (εύθραυστο). Μια προσεγγιστική σχέση (1.1) που συνδέει τη σκληρότητα με το όριο διαρροής είναι :

$$H=3\sigma_{\Delta} \quad (1.1)$$

- Είναι ένας Μη - Καταστροφικός έλεγχος

Η σκληρότητα είναι ένα χαρακτηριστικό του υλικού και η τιμή της έχει άμεση σχέση με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εύρεση της. Οι μέθοδοι σκληρομέτρησης, αναλόγως με το αν θα εφαρμοστούν στατικά ή κρουστικά φορτία, χωρίζονται στις παρακάτω πιο διαδεδομένες μεθόδους:

A) Στατικές μέθοδοι

B) Δυναμικές μέθοδοι ή μέθοδος EQUOTIP

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η βασική αρχή των Στατικών μεθόδων έγκειται στην αρχή του ότι μέσω μιας συσκευής που λέγεται διεισδυτής, ασκείται στο δοκίμιο στατικά, ένα συγκεκριμένο φορτίο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και δημιουργεί ένα αποτύπωμα πάνω σε αυτό. Η τιμή της σκληρότητας προκύπτει από την ανάγνωση των στοιχείων του αποτυπώματος.

Οι πλέον γνωστές Στατικές Μέθοδοι σκληρομέτρησης είναι:

- **ROCKWELL**
- **ROCKWELL SUPERFICIAL**
- **BRINELL**
- **VICKERS**
- **KNOOP Ή ΜΙΚΡΟΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗ**
- **SHORE A & SHORE D**

2.1 Μέθοδος Rockwell

Η μέθοδος σκληρομέτρησης ROCKWELL είναι η πλέον διαδεδομένη. Χρησιμοποιείται κυρίως για σιδηρούχα αλλά και μη σιδηρούχα δοκίμια καθώς είναι απλή, γρήγορη και οικονομική. Σε γενικές γραμμές η φιλοσοφία της μεθόδου στηρίζεται στην μέτρηση του βάθους αποτυπώματος ενός διεισδυτή κάτω από την επίδραση ενός φορτίου.

Ο διεισδυτής έχει την μορφή αδαμάντινου κώνου γωνίας 120° όπως φαίνεται στην εικόνα 2 (για μετρήσεις σε σκληρά μέταλλα) ή χαλύβδινης σφαίρας συγκεκριμένης διαμέτρου (για μετρήσεις σε μαλακά μέταλλα).



Εικόνα 2: Δεισδυτής αδαμάντινου κώνου 120° Rockwell

Οι σφαίρες που χρησιμοποιούνται σαν διεισδυτές έχουν τις εξής διαμέτρους που είναι : $1/2$, $1/4$, $1/8$ και $1/16$ inch (ίντσες).

Η πλέον συνήθης είναι αυτή του 1/16" in = 1,59 mm.

Το φορτίο είναι δύο τύπων, το αρχικό 10Kgr και το τελικό 50, 90 ή 140Kgr (αναλόγως τον τύπο σκληρομέτρησης). Στην εικόνα 2.1 φαίνεται μια μηχανή σκληρομέτρησης της μεθόδου Rockwell.



Εικόνα 2.1: Σκληρόμετρο Rockwell

Ο τύπος του διεισδυτή και του ασκούμενου φορτίου καθορίζει την κλίμακα σκληρότητας (A, B, C, E, D, F, G, H, K, L, M, P, R, S, V). Για παράδειγμα για την κλίμακα C (που είναι και η πλέον διαδεδομένη) χρησιμοποιείται αδαμάντινος κωνικός διεισδυτής γωνίας 120° με αρχικό φορτίο 10Kgr και τελικό 140 Kgr.

Στους πίνακες 2, 2.1, 2.2 και 2.3 που ακολουθούν δίνονται παραδειγματικά κάποιες χαρακτηριστικές τιμές σχετικά με τις κλίμακες Rockwell, τον τύπο του διεισδυτή, τα ασκούμενα φορτία και την εφαρμογή αυτών.

Πίνακας 2: Κλίμακες Rockwell ανάλογα με τον τύπο διεισδυτή και τα ασκούμενα φορτία. (Πηγή: <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/rockwell.htm>)

Κλίμακα	Τύπος διεισδυτή	Αρχικό φορτίο F_0 kgf	Τελικό φορτίο F_1 kgf	Ολικό φορτίο F kgf	Τιμή σταθεράς E
A	Κώνος διαμαντιού	10	50	60	100
B	1/16" Χαλύβδινη σφαίρα	10	90	100	130
C	Κώνος διαμαντιού	10	140	150	100
D	Κώνος διαμαντιού	10	90	100	100
E	1/8" Χαλύβδινη σφαίρα	10	90	100	130

F	1/16" Χαλύβδινη σφαίρα	10	50	60	130
G	1/16" Χαλύβδινη σφαίρα	10	140	150	130
H	1/8" Χαλύβδινη σφαίρα	10	50	60	130
K	1/8" Χαλύβδινη σφαίρα	10	140	150	130
L	1/4" Χαλύβδινη σφαίρα	10	50	60	130
M	1/4" Χαλύβδινη σφαίρα	10	90	100	130
P	1/4" Χαλύβδινη σφαίρα	10	140	150	130
R	1/2" Χαλύβδινη σφαίρα	10	50	60	130
S	1/2" Χαλύβδινη σφαίρα	10	90	100	130
V	1/2" Χαλύβδινη σφαίρα	10	140	150	130

Πίνακας 2.1: Κλίμακες Rockwell, υλικό εφαρμογών ανάλογα με τον τύπο διεισδυτή και τα ασκούμενα φορτία. (Πηγή: <http://www.struers.com>)

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ Κλίμακα (Διεισδυτής /Φορτίο)	ΕΦΑΡΜΟΓΗ / ΥΛΙΚΟ
HRA (Dia / 60)	Καρβίδιο σκυροδέματος, λεπτός χάλυβας και μικρή case ¹ σκληρού χάλυβα
HRB (1/16"/ 100)	Κράματα χαλκού, μαλακοί χάλυβες, κράματα αλουμινίου, ελάσματα σιδήρου
HRC (Dia / 150)	Χάλυβας, σκληροί χυτοσίδηροι, περλιτικά ελάσματα σιδήρου, τιτάνιο, μεγάλη case σκληρού χάλυβα, δοκιμή jominy ²
HRD (Dia / 100)	Λεπτός χάλυβας και μέτρια case σκληρού χάλυβα και ελάσματα περλιτικού σιδήρου
HRE ³ (1/8"/ 100)	Χυτοσίδηρος, αλουμίνιο και κράματα μαγνησίου, σιδηρούχα μέταλλα
HRF (1/16"/ 60)	Ανοπτημένα κράματα χαλκού, ελαφριά μαλακά μεταλλικά φύλλα
HRG (1/16"/ 150)	Φωσφορούχος ορείχαλκος, βηρύλλιο χαλκού, ελατοί σίδηροι
HRH (1/8"/ 60)	Αλουμίνιο, ψευδάργυρος , μόλυβδος
HRK (1/8"/ 150) HRL (1/4"/ 60) HRM (1/4"/ 100) HRP (1/4"/ 150) HRR (1/2"/ 60) HRS (1/2"/ 100) HRV (1/2"/ 150)	Σιδηρούχα μέταλλα και άλλα πολύ λεπτά ή μαλακά υλικά, συμπεριλαμβάνοντας τα πλαστικά. Χρησιμοποιήστε την μικρότερη σφαίρα και το μεγαλύτερο φορτίο ώστε να μην έχει επίδραση στην βάση στήριξης

¹ Case Hardness Depth (CHD) Measurement (Απόσταση βάθους σκληρότητας)

Επιφανειακή σκληρότητα

Μια κοινή εφαρμογή των δοκιμών σκληρότητας είναι η αξιολόγηση του βάθους σκληρότητας της επιφάνειας σκληρών υλικών. Αυτό γίνεται με την εκτέλεση μιας σειράς σκληρομετρήσεων από το άκρο του δοκιμίου προς το κέντρο. Η εξέλιξη της σκληρότητας παριστάνεται σε ένα γράφημα και υπολογίζεται η απόσταση από την επιφάνεια προς το λεγόμενο όριο σκληρότητας (HL).

² Jominy Test: Η Jominy Test (End Quench Test-Δοκιμή τελικής ψύξης) είναι μια τυποποιημένη διαδικασία δοκιμής, προκειμένου να καθοριστεί η σκλήρυνση στα υλικά. Η διαδικασία περιγράφεται στις ακόλουθες προδιαγραφές: ASTM A255 / ISO 642 / DIN 50191 / BS 4437.

³ HRE (Κλίμακα-Rockwell E): Διεισδυτής σφαίρας από καρβίδιο βολφραμίου διαμέτρου 1/8 ίντσας, για μεγάλα φορτία 100 kgf

Πίνακας 2.2: Ενδεικτικές εφαρμογές σε σχέση με τις κλίμακες Rockwell και τον χρησιμοποιούμενο διεισδυτή.

Κλίμακα	Διεισδυτής	Εφαρμογή
HRA	Αδαμάντινος κώνος	Χαλύβδινα ελάσματα, Ρηχή επιφανειακή ενανθράκωση
HRB	1/16" χαλύβδινη σφαίρα	Κράματα Χαλκού (Cu) ή Αλουμινίου (Al) Ανοπτημένος χάλυβας χαμηλής περιεκτικότητας σε C
HRC	Αδαμάντινος κώνος	Χάλυβας, σκληρός χυτοσίδηρος, χάλυβας που έχει δεχθεί επιφανειακή βαφή κ.α.
HRE	1/8" χαλύβδινη σφαίρα	Χυτοσίδηρος, Αλουμίνιο, Μαγνήσιο
HRF	1/16" χαλύβδινη σφαίρα	Ανοπτημένα κράματα χαλκού, λεπτά μαλακά μεταλλικά ελάσματα

Πίνακας 2.3: Μέθοδοι σκληρομέτρησης κατά Rockwell διαφορετικής γεωμετρίας διεισδυτή και τιμές επιβαλλόμενου φορτίου. (Πηγή: Δρ. Κ. Μέντρεα, 2010)

Κλίμακα	Τύπος διεισδυτή	Ολικό Φορτίο (kgf)	Εφαρμογή
B	Σφαίρα(D=1,588mm)	100	Ανοπτημένοι χάλυβες, ορείχαλκοι
C	Κώνος	150	Σκληροί χάλυβες, Ti
A	Κώνος	60	Πολύ σκληρά υλικά
D	Κώνος	100	Σκληροί χάλυβες λεπτού πάχους
E	Σφαίρα (D=3,175mm)	100	Πολύ μαλακά υλικά (Κράματα Al, Mg, χυτοσίδηρος)
F	Σφαίρα (D=1,588mm)	60	Μαλακά υλικά (Al, Cu, μπρούντζος)
L	Σφαίρα (D=6,350mm)	60	Pb, πλαστικά
N	Κώνος	15/30/45	Λεπτά δείγματα

Η διαδικασία έγκειται στην εφαρμογή δύο τύπων φορτίων σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο εφαρμόζεται ένα αρχικό φορτίο $F_0=10\text{Kgr}$ για κάποια δευτερόλεπτα και επιτυγχάνεται ένα αρχικό βάθος διείσδυσης το οποίο και θεωρείται μηδενικό βάθος. Αφού επέλθει ηρεμία στο σύστημα, παράλληλα με το αρχικό φορτίο, ασκείται το τελικό φορτίο F_1 με το οποίο δημιουργείται μια περαιτέρω διείσδυση στο υλικό. Αφού επέλθει πάλι ηρεμία στο σύστημα αφαιρείται το τελικό φορτίο F_1 και παραμένει μόνο το αρχικό φορτίο F_0 . Η τιμή της σκληρότητας δίνεται από την διαφορά του τελικού βάθους διείσδυσης μείον το αρχικό βάθος διείσδυσης. Οπότε σύμφωνα με την μέθοδο Rockwell, το αποτέλεσμα της σκληρομέτρησης είναι μήκος και πιο συγκεκριμένα το βάθος διείσδυσης μετρούμενο με μονάδα μέτρησης τα 0,002mm.

Ο μαθηματικός τύπος (2) που δίνει την τιμή της σκληρότητας είναι:

$$HR = E - e \quad (2)$$

Η όλη διαδικασία σκληρομέτρησης φαίνεται στο σχήμα 2 όπου:

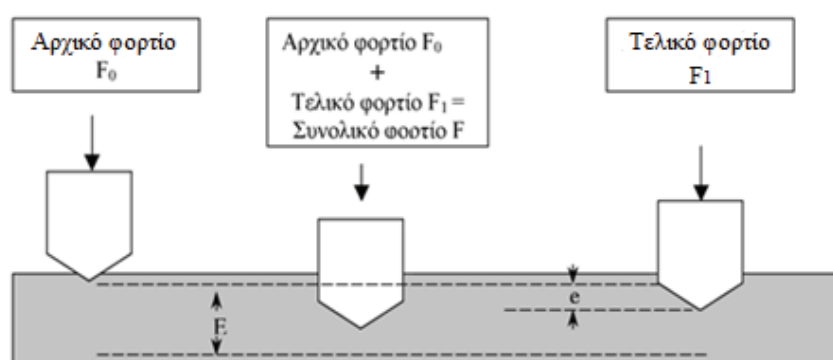
F_0 : Αρχικό φορτίο σε Kgr

F_1 : Τελικό φορτίο σε Kgr

F : Συνολικό φορτίο σε Kgr

E : Σταθερά η οποία εξαρτάται από την μορφή του διεισδυτή.

e : Το επιπλέον βάθος διείσδυσης το οποίο δημιουργήθηκε λόγω εφαρμογής του τελικού φορτίου F_1 μετρούμενο σε μονάδες 0,002mm.



Σχήμα 2: Διαδικασία εφαρμογής μεθόδου Rockwell

Η τιμή σκληρομέτρησης διαβάζεται ψηφιακά ή αναλογικά χωρίς να απαιτείται ο χρήστης να κάνει την ανάλογη αφαίρεση βάθους.

Για την ονοματολογία της μεθόδου Rockwell χρησιμοποιούνται οι χαρακτήρες

H.R (Hardness Rockwell-Σκληρότητα κατά Rockwell). Για παράδειγμα 45HRC σημαίνει ότι το υλικό έχει μια σκληρότητα 45 κατά την κλίμακα C. Στην επιλογή του σωστού τύπου κλίμακας μέτρησης κατά Rockwell είναι σημαντικό να έχουν μελετηθεί οι παρακάτω παράμετροι:

- Τύπος του υλικού
- Επιφάνεια του υλικού (λεία, επίπεδη και καθαρή)
- Πάχος του δείγματος (τουλάχιστον 10 φορές το βάθος του αποτυπώματος)
- Θέση που θα γίνει η μέτρηση
- Περιορισμοί της κλίμακας

2.1.1 Μέθοδος Rockwell C

Η κλίμακα C χρησιμοποιείται για την μέτρηση της σκληρότητας πιο σκληρών υλικών, όπως σκληρός χυτοσίδηρος και πολλά κράματα χάλυβα κ.α. Ο διεισδυτής είναι ένας αδαμάντινος κώνος 120° όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2 και ασκείται ένα φορτίο 50kgf.



Εικόνα 2.2: Διεισδυτής Rockwell C

Στη δοκιμή σκληρότητας Rockwell C η επιφάνεια του δοκιμίου που πρόκειται να εξεταστεί είναι κάθετη στον άξονα του διεισδυτικού οργάνου. Το δοκίμιο καταπονείται, με μια αρχική δύναμη $P_0 = 10\text{kp}$, γνωστή σαν προένταση και μετράται, το αντίστοιχο βάθος διείδυσης x_1 . Στη συνέχεια και σε χρόνο από 3sec έως 6sec, προστίθεται, το κύριο φορτίο P , οπότε το ολικό φορτίο που ασκείται, πλέον στο σώμα είναι: $P_{ολ} = P_0 + P$. Οι τιμές που παίρνει το $P_{ολ}$ είναι 60kp, 100kp ή 150kp, ανάλογα με το υλικό και το πάχος του σκληρομετρούμενου δοκιμίου.

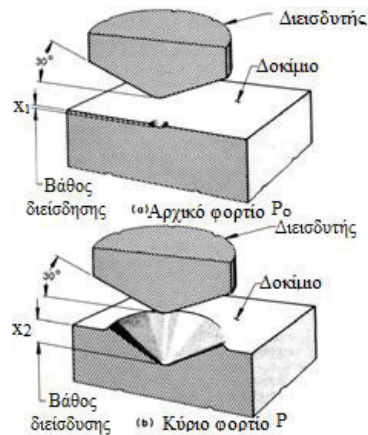
Το φορτίο διατηρείται σταθερό για 5sec έως 10sec, μέχρι να σταθεροποιηθεί ο δείκτης του μετρητή. Αφαιρείται το πρόσθετο φορτίο P και μετράται το βάθος διείδυσης x_2 (σχήμα 2.1). Ο μετρητής συνοδεύεται, από μια σκάλα που είναι,

χωρισμένη σε 100 τμήματα, όπου κάθε τμήμα αντιστοιχεί σε 0,002mm.

Η σκληρότητα Rockwell C ορίζεται από την σχέση (2.1) ως εξής:

$$HRC = 100 - x_2 - x_1 / 0,002 \quad (2.1)$$

και η τιμή γράφεται, πριν το HRC, π.χ. 45 HRC.



Σχήμα 2.1: Διαδικασία σκληρομέτρησης κατά Rockwell C

Έχει συμφωνηθεί οι δοκιμές HRC (Hardness Rockwell C) να γίνονται σε υλικά με σκληρότητα HRC στην περιοχή:

$$20 \leq HRC \leq 68$$

2.1.2 Μέθοδος Rockwell B

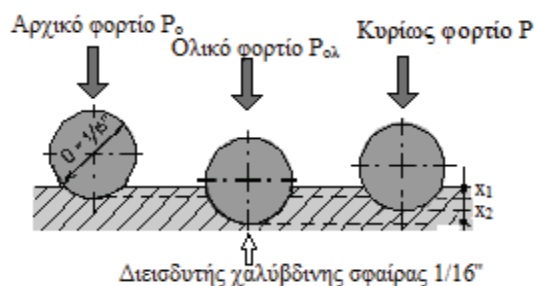
Η κλίμακα B χρησιμοποιείται για μαλακά υλικά όπως κράματα χαλκού, μαλακός χάλυβας, κράματα αλουμινίου κ.α. Ο διεσδυτής είναι μια χαλύβδινη σφαίρα διαμέτρου 1/16" όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3 και ασκείται φορτίο 100kgf.



Εικόνα 2.3: Διεσδυτής Rockwell B 1/16" (ASTME18-08a)

(Πηγή: <http://www.brystartools.com/servlet/the-Indenters/Categories>)

Στη δοκιμή Rockwell με χαλύβδινη σφαίρα (Rockwell B) ακολουθείται βασικά η ίδια διαδικασία όπως και στη Rockwell C (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Διαδικασία σκληρομέτρησης κατά Rockwell B

Η σκληρότητα Rockwell B συμβολίζεται με HRB (σχέση 2.2) όπου :

$$HRB = 130 - x_1 - x_2 / 0,002 \quad (2.2)$$

και η τιμή της σκληρότητας γράφεται πριν από το HRB π.χ 80 HRB.

Οι δοκιμές HRB επιτρέπονται μόνο στην περιοχή:

$$35 \leq HRB \leq 100$$

Τέλος η τιμή της σκληρότητας κατά Rockwell γίνεται αποδεκτή αν ικανοποιούνται οι συνθήκες ελάχιστου απαιτούμενου πάχους του δοκιμίου όπως περιγράφεται στον πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4: Rockwell - Ελάχιστο απαιτούμενο πάχος δοκιμίου. (Πηγή: Γ. Μπαράκος, 2009)

Τιμή σκληρότητας HR (Rockwell)	Κλίμακες C/A/D (mm)	Κλίμακες B / E / F (mm)
100	0,000	0,889
90	0,762	1,016
80	1,016	1,270
70	1,270	1,524
60	1,524	1,778
50	1,651	2,032
40	1,778	2,286
30	1,905	2,540
20	2,032	2,794
10	2,286	3,098
0	2,540	3,302

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου Rockwell είναι η ταχύτητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων όπως και ο μικρός χρόνος διεξαγωγής της μέτρησης. Σαν μειονεκτήματα θεωρούνται οι πολλές αυθαίρετες κλίμακες και τα λανθασμένα αποτελέσματα που προκύπτουν από την λανθασμένη στήριξη του δοκιμίου. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι οι HRB, HRC καθώς και οι ROCKWELL SUPERFICIAL HR30N και HR30T οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

2.1.3 Μέθοδος Rockwell Superficial

Μία άλλη μέθοδος σκληρομέτρησης είναι η ROCKWELL SUPERFICIAL (επιφανειακή σκληρομέτρηση Rockwell). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ίδια φιλοσοφία με την Rockwell αλλά χρησιμοποιείται κυρίως για την μέτρηση σκληρότητας σε πολύ λεπτά ελάσματα, ελαφρά ενανθρακωμένες επιφάνειες, μικρά δοκίμια ή δοκίμια τα οποία θα έσπαζαν κάτω από την πίεση του φορτίου της μεθόδου Rockwell. Ο πίνακας 2.5 μας δείχνει ορισμένες εφαρμογές της μεθόδου Rockwell Superficial ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο διεισδυτή.

Πίνακας 2.5: Γενική επισκόπηση για τις μεθόδους Superficial Rockwell και τις πιο κοινές τους εφαρμογές. (Πηγή: <http://www.struers.com>)

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ Κλίμακα (Διεισδυτής /Φορτίο)	ΕΦΑΡΜΟΓΗ / ΦΟΡΤΙΟ
HR15N (Dia)	Καρβίδιο, λεπτός χάλυβας και case σκληρού χάλυβα
HR30N ⁴ (Dia)	Χάλυβας, σκληροί χυτοσίδηροι, περλιτικός ελατός σιδήρος, τιτάνιο, βαθιά case σκληρού χάλυβα ,
HR45N (Dia)	Λεπτός χάλυβας και μέτρια case σκληρού χάλυβα και ελάσματα περλιτικού σιδήρου
HR15T (1/16")	Κράματα χαλκού, μαλακοί χάλυβες, κράματα αλουμινίου, ελατός σιδήρος
HR30T (1/16")	Ανοπτημένα κράματα χαλκού, λεπτά μαλακά μεταλλικά φύλλα
HR45T (1/16")	Φωσφορούχος ορείχαλκος, βηρύλλιο χαλκού, ελατοί σιδηροί
HR15W (1/8")	Αλουμίνιο, ψευδάργυρος , μόλυβδος
HR30W (1/8")	Χάλυβας, σκληροί χυτοσίδηροι, περλιτικά ελάσματα
HR45W (1/8")	

⁴ HR30N : Superficial Rockwell 30N-κλίμακα): Αδαμάντινος κωνικός διεισδυτής, μεγάλων φορτίων 30 kgf

HR15X (1/4") HR30X (1/4") HR45X (1/4") HR15Y (1/2") HR30Y (1/2") HR45Y (1/2")	Λεπτά, μαλακά επιστρωμένα ελάσματα
--	------------------------------------

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, στην αρχική φάση εφαρμόζεται ένα μικρότερο αρχικό φορτίο 3Kgr και στην τελική ένα φορτίο 15, 30 ή 45 Kgr αναλόγως τον διεισδυτή.

Αν για την σκληρομέτρηση χρησιμοποιηθεί μία χαλύβδινη σφαίρα διαμέτρου 1/16" τότε θα πρέπει να προστεθεί το γράμμα T στην ονοματολογία HR εννοώντας την σκληρομέτρηση λεπτών μεταλλικών φύλλων. Για παράδειγμα ο συμβολισμός 22HR30T δηλώνει, σκληρότητα Rockwell Superficial (επιφανειακή) 22 με άσκηση φορτίου 30 kgr και χρήση διεισδυτή μορφής χαλύβδινης σφαίρας.

Αν χρησιμοποιηθεί για διεισδυτής αδαμάντινος κώνος τότε προστίθεται το γράμμα N. Για παράδειγμα με τον συμβολισμό 60 HR30N δηλώνεται σκληρότητα Rockwell Superficial 60 με εφαρμογή φορτίου 30Kgr με χρήση αδαμάντινου κώνου.

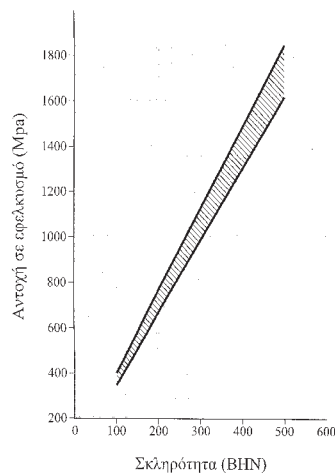
2.2 Μέθοδος Brinell

Η μέθοδος Brinell χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου για την μέτρηση της σκληρότητας του οπλισμού. Στην μέθοδο Brinell μια κλίμακα καλύπτει μια ευρεία περιοχή σκληρότητας υλικών (πίνακας 2.6) και παρατηρείται καλή γραμμική συσχέτιση με την αντοχή σε εφελκυσμό όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.

Πίνακας 2.6: Σύγκριση τιμών σκληρότητας κατά Brinell (BHN) και αντοχής εφελκυσμού για διάφορα κράματα. (Πηγή: Α. Βακάλης, 2009).

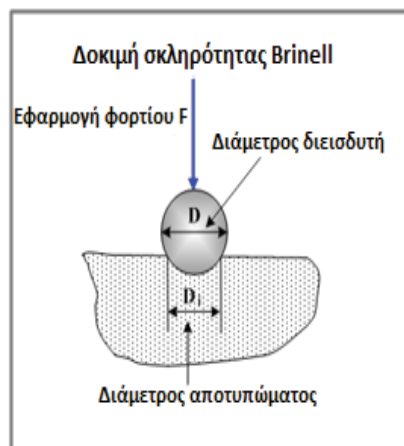
Κράμα	Αριθμός σκληρότητας Brinell (BHN)	Αντοχή σε εφελκυσμό (Mpa)
Απλός ανθρακούχος χάλυβας 1040	235	750
Ελαφρώς κραματοποιημένος χάλυβας 8630	220	800
Ανοξείδωτος χάλυβας τύπου 410	250	800
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη 60-40-18	167	461
Κράμα αλουμινίου 3003-H14	40	150

Κράμα διαμόρφωσης μαγνησίου AZ31B	73	290
Κράμα χύτευσης μαγνησίου AM100A	53	150
Κράμα τιτανίου alpha (5Al-2,5Sn)	335	862
Μπρούντζος αλουμινίου, 9% (κράμα χαλκού)	165	652
Monel 400 (κράμα νικελίου)	110-150	579
Κράμα ψευδάργυρου AC41A	91	328
Συγκολλητικό κράμα μολύβδου 50Pb-50Sn	14,5	42
Οδοντικό κράμα χρυσού	80-90	310-380



Διάγραμμα 2: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας κατά Brinell (BHN) και της αντοχής σε εφελκυσμό ανθρακούχων χαλύβων. (Πηγή: Α. Βακάλης, 2009).

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην κάθετη, αργή και σταθερή διείσδυση στο δοκίμιο, μιας πολύ σκληρής χαλύβδινης σφαίρας, με διάμετρο D , υπό την εφαρμογή ενός σταθερού φορτίου F για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Δοκιμή σκληρότητας κατά Brinell. (Πηγή: www.tutorvista.com)

Μετά την αποφόρτιση και εφόσον ελήφθη η πρόνοια ώστε η φόρτιση να διαρκέσει αρκετά ώστε να δημιουργηθεί πλαστική παραμόρφωση στο δοκίμιο, περίπου 15 δευτερόλεπτα μετρείται με μικροσκόπιο η διάμετρος του αποτυπώματος D_i που σχηματίστηκε.

Αναλόγως το προς μέτρηση υλικό εφαρμόζεται και το ανάλογο φορτίο 500Kgr, 1500 ή 3.000Kgr. Το φορτίο των 500 Kgr χρησιμοποιείται για πιο μαλακά υλικά όπως χαλκός, αλουμίνιο και άλλα μη σιδηρούχα. Το φορτίο των 1500 Kgr για κράματα αλουμινίου, ενώ των 3.000 Kgr για χάλυβα, χυτοσίδηρο και άλλα σκληρά υλικά. Ο χρόνος εφαρμογής του φορτίου είναι περίπου 10 έως 15 δευτερόλεπτα ενώ για μέτρηση πιο σκληρών υλικών είναι τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα.

Στην εικόνα 2.5 βλέπουμε την μορφολογία ενός σκληρόμετρου Brinell.



Εικόνα 2.5: Σκληρόμετρο Brinell

Η σκληρότητα BHN (Brinell = Brinell Hardness Number) υπολογίζεται από το πηλίκο της εφαρμοζόμενης δύναμης προς την επιφάνεια του προκαλούμενου αποτυπώματος, όπως φαίνεται στον παρακάτω μαθηματικό τύπο (2.3):

$$BHN = F / \pi/2 D \times (D - \sqrt{D^2 - d_i^2}) \quad (2.3)$$

ή παρομοίως ορίζεται ο λόγος του φορτίου P προς το εμβαδόν του σφαιρικού τμήματος της επιφανείας της ουλής σχέση (2.4), δηλαδή:

$$BHN = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.4)$$

όπου h είναι το μέγιστο βάθος της ουλής, δηλαδή το βέλος του σφαιρικού τμήματος, D η διάμετρος του διεισδυτή σε mm και d η διάμετρος του αποτυπώματος σε mm.

Για να είναι ακριβή τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει η επιφάνεια του δοκιμίου να έχει λειανθεί καλά πριν από το πείραμα για δύο κυρίως λόγους α) οι μικρές ανωμαλίες να μην επιφέρουν αλλοίωση στην εκτίμηση των διαστάσεων της ουλής και β) για να μπορεί να ανακλάται το φως πράγμα αναγκαίο για την παρατήρηση του κομματιού.

Επίσης το φορτίο πρέπει να επιβάλλεται κάθετα προς την σκληρομετρουμένη επιφάνεια και με βραδύ ρυθμό (όχι κρουστικά), ενώ τέλος θα πρέπει η αποφόρτιση να γίνεται μετά από κάποιο χρόνο, απαραίτητο για να δημιουργηθεί η πλαστική παραμόρφωση. Εξάλλου η διάμετρος της ουλής δεν θα πρέπει να είναι ούτε πολύ μικρή ούτε πολύ μεγάλη σε σχέση με τη διάμετρο του διεισδυτή γιατί τα χείλη της θα είναι τότε είτε ασαφή είτε θα υπερχειλίζουν, πράγματα που δεν θα μας επιτρέπουν την ακριβή εκτίμηση των διαστάσεών της.

Έτσι δεχόμαστε ότι θα πρέπει να ισχύει η σχέση (2.5).

$$d/D = 0,2 \text{ ως } 0,7 \quad (2.5)$$

ή η ισοδύναμή της (2.6)

$$h/D = 0,01 \text{ ως } 0,15 \quad (2.6)$$

Η σχέση (2.5) εκφράζει εξάλλου το γεγονός ότι για δεδομένη διάμετρο D του διεισδυτή, το επιβαλλόμενο φορτίο P θα πρέπει να υπακούει σε κάποιο αντίστοιχο περιορισμό.

Από τα πειράματα που έχουν εκτελεστεί στο μάθημα πειραματική αντοχή υλικών του τμήματος μηχανολόγων μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, έχει αποδειχτεί ότι η σχέση μεταξύ P και D είναι βασική δεδομένου ότι για να είναι συγκρίσιμες δύο δοκιμές σκληρομετρήσεως με διεισδυτές διαφόρων διαμέτρων θα πρέπει να ικανοποιείται μια συνθήκη γεωμετρικής ομοιότητας μεταξύ των διαμέτρων των διεισδυτών και των διαμέτρων των αντιστοίχων ουλών, δηλαδή

$$\frac{d_1}{D_1} = \frac{d_2}{D_2} = c = \text{σταθ.} \quad (2.7)$$

όπου σύμφωνα με τη σχέση (2.5) η σταθερά c θα πρέπει να έχει τιμή μεταξύ 0,2 και 0,7.

Μετά από αυτά, σύμφωνα και με την σχέση (2.4) θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$(\text{BHN}) = \frac{2P_1}{\pi D_1 (D_1 - \sqrt{D_1^2 - c^2 D_1^2})} = \frac{2P_2}{\pi D_2 (D_2 - \sqrt{D_2^2 - c^2 D_2^2})} \quad \text{ή} \quad \frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \lambda = \text{σταθ.} \quad (2.8)$$

Στην πράξη χρησιμοποιούνται διεισδυτές με διαμέτρους $D=10\text{mm}$, $D=5\text{mm}$, $D=2,5\text{mm}$, ενώ για το λ χρησιμοποιούνται επίσης τρεις τιμές $\lambda=30$, $\lambda=10$, $\lambda=5$.

Στη δοκιμή κατά Brinell χρησιμοποιούνται, ανάλογα με το πάχος του εξεταζόμενου δοκιμίου, σφαίρες με διαφορετική διάμετρο. Στον πίνακα 2.7 φαίνεται η χρήση των διεισδυτών ανάλογα με το πάχος (h) του δοκιμίου.

Πίνακας 2.7: Σφαίρες δοκιμής Brinell ανάλογα με το πάχος του δοκιμίου.

Πάχος δοκιμίου h (mm)	Διάμετρος σφαίρας D (mm)
$h > 6$	10
$3 < h < 6$	5
$h < 3$	2,5

Από πειράματα έχουμε καταλήξει πως για να αποφευχθεί μερικώς η εξάρτηση της σκληρότητας κατά Brinell από το εκάστοτε ασκούμενο φορτίο θα πρέπει να ισχύει η σχέση (2.9):

$$K = P/D^2 \quad (2.9)$$

Όπου K είναι μια σταθερά που ονομάζεται και συντελεστής φόρτισης και παίρνει τις τιμές του παρακάτω πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Τιμές σταθεράς K κατά Brinell.

Ομάδα υλικών	Συντελεστής K	Όρια BHN
Χάλυβας- χυτοσίδηρος	30	67- 450
Ni και κράματα Ni ⁵ Cu και κράματα Cu ⁶	10	22-315

⁵ Ni = Νικέλιο (Nickel)

⁶ Cu = Χαλκός (Λατινική: cuprum)

κράματα Al ⁷	10	22-315
Ag ⁸ , Mg ⁹ , Zn ¹⁰	5	11-158
Μέταλλα εδράνων	2,5	-
Pb ¹¹ , Sn ¹²	1,25	-

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί διεισδυτές όπως είπαμε με διαμέτρους D = 10 ή 5 ή 2,5 mm. Τότε το φορτίο μπορεί να πάρει τις τιμές που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα 2.9.

Πίνακας 2.9: Τιμές φορτίου κατά Brinell ανάλογα με την διάμετρο του διεισδυτή.

P(k/p) / D(mm)	30D ²	10D ²	5D ²	2,5D ²	1,5D ²	0,5D ²
10	3000	1000	500	250	125	50
5	750	250	125	62,5	31,25	12,5
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625	7,812	3,125

⁷ Al = Αλουμίνιο (Aluminum)

⁸ Ag = Ασήμι (Λατινική: argentum,)

⁹ Mg = Μαγνήσιο (Magnesium)

¹⁰ Zn = Ψευδάργυρος(Γερμανική: Zink)

¹¹ Pb = Μόλυβδος (Λατινική: plumbum)

¹² Sn = Κασσίτερος (Λατινική: Stannum)

Προκύπτουν έτσι εννέα συνδυασμοί μεταξύ P και D που μπορούν να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος των συνήθων σκληρομετρήσεων. Στους χάλυβες χρησιμοποιείται η τιμή $\lambda=30$, ενώ για μαλακά υλικά, η τιμή $\lambda=5$. Για αυτό τα αποτελέσματα της σκληρομετρήσεως δίνονται στην μορφή $BHN_{(\lambda, D, t)} = \alpha$, όπου τα (λ, D, t) γράφονται με την σειρά που αναφέρονται με τη μορφή κάτω δεικτών.

Ο αριθμός σκληρότητας ενός υλικού συνδέεται κατά κάποιο τρόπο με την αντοχή του. Πράγματι, η τριαξονική εντατική κατάσταση που δημιουργείται στην περιοχή της ουλής προκαλεί τοπική αστοχία του υλικού και επομένως σύμφωνα με τα κριτήρια αστοχίας του υλικού πρέπει να είναι ισοδύναμη με την τάση θραύσης σε μοναξονικό εφελκυσμό, σ_{θ} .

Από τα πειράματα που εκτελέστηκαν στο εργαστήριο πειραματικής αντοχής υλικών, του τμήματος μηχανολόγων μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου απεδείχθη ότι ο αριθμός σκληρότητας κατά Brinell συνδέεται γραμμικά με την τάση θραύσης (σ_{θ}) του υλικού με την σχέση (2.10).

$$\sigma_{\theta} = k (BHN)_{30} \quad (2.10)$$

όπου k σταθερά του υλικού η οποία όμως εξαρτάται και από το λόγο $\sigma_{\Delta}/\sigma_{\theta}$.

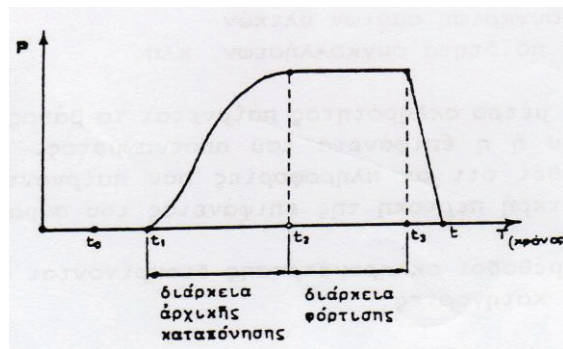
Επομένως η σχέση (2.10) δεν μπορεί να θεωρηθεί πολύ πρακτική για τον προσδιορισμό της σ_{θ} αφού προϋποθέτει γνωστό λόγο $\sigma_{\Delta}/\sigma_{\theta}$. Αντιθέτως είναι χρήσιμη για τον προσεγγιστικό προσδιορισμό της σκληρότητας κατά Brinell, χωρίς πείραμα σκληρομέτρησης.

Η δοκιμή Brinell είναι η περισσότερο διαδεδομένη στις εφαρμογές (κατά την οποία ελέγχονται μαλακά έως ημίσκληρα υλικά), εφόσον βεβαίως δοκιμάζονται υλικά με σχετικά σημαντικό πάχος (δεδομένου ότι οι ουλές που δημιουργούνται έχουν σημαντικές διαστάσεις) και τα υλικά δεν είναι πολύ σκληρά. Ο τελευταίος περιορισμός μπαίνει γιατί οι διεισδυτές στις διάφορες συσκευές Brinell κατασκευάζονται από χάλυβα με σκληρότητα κατά Brinell περίπου 450 kp/mm^2 , πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να σκληρομετρήσουμε υλικά με σκληρότητα μέχρι 400 kp/mm^2 ώστε να αποφεύγονται μόνιμες παραμορφώσεις στον ίδιο το διεισδυτή.

(<http://egnatia.ee.auth.gr/~achrono/pay/Sklhroth.html>)

Μετά από χρόνο 10 sec, η δύναμη φτάνει στην ονομαστική της τιμή και διατηρείται σταθερή επί ένα χρονικό διάστημα (t_3-t_2), όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.1. Ο χρόνος καταπόνησης (t_3-t_2) για υλικά με σημείο τήξης $T > 600^{\circ}\text{C}$ είναι τουλάχιστον 10 sec, ενώ για υλικά με $T_s < 600^{\circ}\text{C}$ είναι, τουλάχιστον 30 sec.

Η προδιαγραφή είναι αναγκαία για να αποκλειστούν παραμορφώσεις που εξαρτώνται, από το χρόνο (ερπυσμός) .



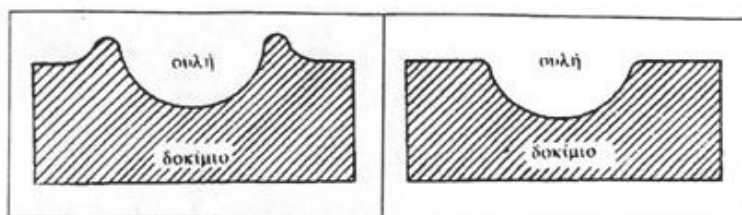
Διάγραμμα 2.1: Δύναμης - χρόνου κατά τη δοκιμή σκληρομέτρησης.

Το αποτέλεσμα στην κλίμακα HB δίνεται με την μορφή, για παράδειγμα "75 HB 10/500/30". Αυτό ερμηνεύεται ως Σκληρότητα 75 Brinell με χρήση σφαίρας διαμέτρου 10mm, υπό φορτίο 500Kgr, για χρόνο εφαρμογής (διάρκεια φόρτισης) 30 δευτερόλεπτα.

Η μέθοδος Brinell εφαρμόζεται κυρίως σε χυτά ή χυτοπρεσαριστά υλικά που δεν είναι πολύ σκληρά και με σχετικά μεγάλο πάχος (τουλάχιστον 10 φορές το βάθος του αποτυπώματος). Το δοκίμιο μετά την σκληρομέτρηση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω του βάθους του αποτυπώματος. Για μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων θα πρέπει το δοκίμιο να έχει αρκετά μεγάλο πάχος. Επίσης θα πρέπει να έχει λειανθεί καλά με σκοπό αφενός να είναι εύκολή η μέτρηση του αποτυπώματος και αφετέρου οι διάφορες μικροανωμαλίες της επιφάνειας να μην επηρεάσουν την μέτρηση.

Συμπερασματικά, τα σφάλματα στον προσδιορισμό της σκληρότητας κατά Brinell μπορεί να οφείλονται:

- Στην κακή λείανση της ελεγχόμενης επιφάνειας, οπότε η περιφέρεια της ουλής είναι ασαφής και επομένως δεν προσδιορίζεται με ακρίβεια η διάμετρος της.
- Στο ότι σε μερικά υλικά το χείλος της ουλής ανεβαίνει (σχήμα 2.3) και σε άλλα αντιστρόφως κατεβαίνει (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3: Ανεβασμένο χείλος ουλής δοκιμίου

Σχήμα 2.4: Κατεβασμένο χείλος ουλής δοκιμίου

Στο σχήμα της ουλής, όπως όταν είναι ελλειπτικό ή ωοειδές, που παρατηρείται όταν ο διεισδυτής έχει φθαρεί ή όταν λόγω της έλασης το μέταλλο έχει καταπονηθεί με διαμήκεις ή εγκάρσιες τάσεις. Γι' αυτό πάντα παίρνουμε τη μέση τιμή δύο κάθετων διαμέτρων της ουλής.

- Στο σφάλμα της μεγεθυντικής διόπτρας.
- Στον ασθενή φωτισμό της ουλής.
- Στη φθορά του διεισδυτή λόγω μακροχρόνιας χρήσης.
- Στην επίδραση κραδασμών και ταλαντώσεων στο σκληρόμετρο.

Το σφάλμα μετρήσεως της διαμέτρου της ουλής δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,02 mm, γιατί τότε το σφάλμα στη μέτρηση της σκληρότητας ξεπερνάει τη μονάδα. Ψαθυροί χάλυβες δεν πρέπει να σκληρομετρώνται με τη μέθοδο Brinell γιατί τότε στην περιοχή της ουλής δημιουργούνται ρωγμές ακτινικά διατεταγμένες.

Θα πρέπει να ελέγχουμε αν ικανοποιούνται οι συνθήκες του πίνακα 2.10 προκειμένου να αποδεχθούμε την ευρεθείσα τιμή της σκληρότητας.

Πίνακας 2.10: Ελάχιστη τιμή σκληρότητας Brinell (HB) ανάλογα με το πάχος του δοκίμιου και τα επιβαλλόμενα φορτία. (Πηγή: Γ. Μπαράκος, 2009).

Ελάχιστη HB			
πάχος (mm)	HB		
	P = 3000 kp	P = 1000 kp	P = 500 kp
1,6	602	301	100
3,2	301	150	50
4,8	201	100	33
6,4	150	75	26
8,0	120	60	20
9,6	100	50	17

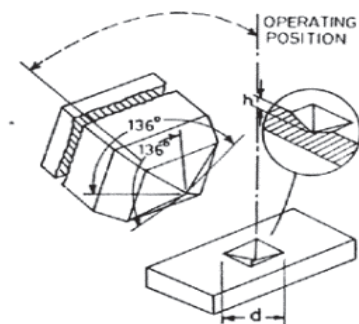
Τελειώνοντας την αναφορά στη μέθοδο σκληρομέτρησης αυτή θα πρέπει να πούμε ότι οι συνηθισμένες συσκευές που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια για τον υπολογισμό της σκληρότητας κατά Brinell έχουν σύστημα μοχλών μέσω των οποίων επιβάλλεται το φορτίο στο δοκίμιο, ενσωματωμένο χρονόμετρο καθώς και σύστημα φακών που μας επιτρέπουν τον υπολογισμό των διαστάσεων με ακρίβεια εκατοστού του χιλιοστού.

Τις διαστάσεις της διαμέτρου της ουλής τις μετρούμε κατά δύο (ή και περισσότερες) κάθετες διευθύνσεις και παίρνουμε το μέσο όρο των ενδείξεων, ενώ για ένα τυπικό πείραμα σκληρομέτρησης κάνουμε τουλάχιστον τρεις διαδοχικές σκληρομετρήσεις στο υπό εξέταση δοκίμιο σε απομακρυσμένες θέσεις.

2.3 Μέθοδος Vickers

Η μέθοδος Vickers είναι παρεμφερής της μεθόδου Brinell. Θεωρείται ιδιαίτερα αξιόπιστη και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου τα δοκίμια είναι λεπτά και από πολύ σκληρό υλικό όπως επίσης και αν έχουν δεχθεί οποιαδήποτε επιφανειακή θερμική κατεργασία και η επιφάνεια τους έχει καταστεί πολύ σκληρή.

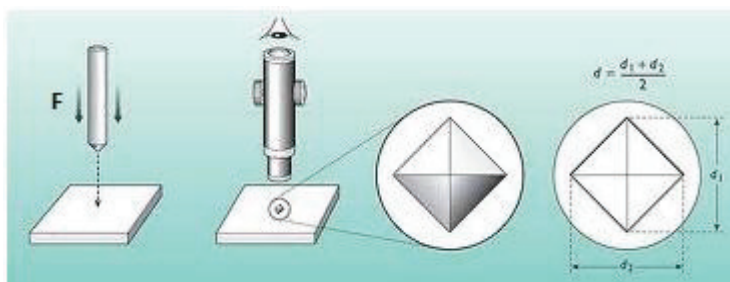
Βασίζεται στην αργή επιβολή ενός φορτίου, μέσω ενός αδαμάντινου διεισδυτή, σε ένα δοκίμιο το οποίο έχει υποστεί πολύ καλή λείανση. Ο διεισδυτής έχει σχήμα κανονικής τετραγωνικής πυραμίδας με γωνία απέναντι εδρών 136° όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Διεισδυτής Vickers

(Πηγή: http://www.instron.us/wa/home/default_en.aspx)

Το φορτίο κυμαίνεται από 1 έως 120 Kgr και ο χρόνος εφαρμογής του είναι περίπου 10-15 δευτερόλεπτα. Τα τυποποιημένα σκληρόμετρα Vickers έχουν σύστημα αυτόματης επιβολής και απελευθέρωσης του εκλεγόμενου κάθε φορά φορτίου. Η μέτρηση της σκληρότητας του δοκιμίου γίνεται από την μέτρηση των διαστάσεων του αποτυπώματος μέσω ενός ενσωματωμένου συστήματος φωτισμού και μεγεθυντικών φακών. Η τιμή της σκληρότητας κατά Vickers προκύπτει από την χρήση του τύπου $HV=1,854 (F/d^2)$ Όπου F είναι το φορτίο εφαρμογής (σε Kgr) και d^2 ο μέσος όρος της επιφάνειας των διαγωνίων $(d_1+d_2)/2$ του αποτυπώματος (σε mm^2). Η όλη διαδικασία φαίνεται στην εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6: Διαδικασία εφαρμογής φορτίου κατά Vickers

Παρομοίως κατά Vickers, ο αριθμός σκληρότητας θα είναι ο λόγος του επιβαλλόμενου φορτίου προς το εμβαδόν της παράπλευρης επιφάνειας του κοίλου αποτυπώματος της ουλής και όπως προκύπτει από την στοιχειώδη στερεομετρία, θα ισχύει η σχέση (2.11):

$$VHN = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \cos 22}} = 18544 \frac{P}{d^2} \quad (2.11)$$

όπου d η διαγώνιος της βάσης του αποτυπώματος της ουλής. Η γεωμετρία του διεισδυτή, η επιλογή δηλαδή της γωνίας των 136° έγινε έτσι ώστε να αντιστοιχεί σε δοκιμή Brinell με λόγο $d/D=3/8=0.375$. Είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι στη δοκιμή Vickers η σχέση μεταξύ βάθους h της ουλής και της μέσης τιμής d των διαγωνίων της βάσης του αποτυπώματος είναι $h/d=1/7=0.143$.

Τα μικρά βάθη διεισδύσεως που οφείλονται στην αμβλεία γωνία των 136° επιτρέπουν την σκληρομέτρηση λεπτών δοκιμίων. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρειάζεται λείανση του δοκιμίου διότι το σύστημα παρατήρησης λειτουργεί με ανάκλαση του φωτός και ακόμη γιατί το μέγεθος του διεισδυτή είναι πολύ μικρό. Οι εργαστηριακές συσκευές για τον υπολογισμό της σκληρότητας Vickers έχουν σύστημα επιβολής του εκλεγμένου κάθε φορά φορτίου συγκεκριμένου βάρους, ενώ ταυτόχρονα έχουν σύστημα φωτισμού του αποτυπώματος και μεγεθυντική διόπτρα παρατηρήσεως με σταυρόνημα έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί το μήκος d των διαγωνίων της βάσης του αποτυπώματος με μεγάλη ακρίβεια. (Π. Θεοχάρης, 1975).

Και εδώ όπως στη μέθοδο Brinell για την εκτίμηση της σκληρότητας ενός υλικού γίνονται συνήθως τρεις σκληρομετρήσεις και λαμβάνεται ο μέσος όρος τους, ενώ και αυτές θα πρέπει να γίνονται σε θέσεις που απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από το διπλάσιο των διαστάσεων της βάσης του διεισδυτή. Η σκληρότητα κατά Vickers δίνεται υπό την μορφή, για παράδειγμα, 800HV/10 που δηλώνει σκληρότητα 800 Vickers με χρήση φορτίου 10Kgr.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι οι ιδιαίτερα αξιόπιστες μετρήσεις, η χρήση μόνο ενός τύπου διεισδυτή η δυνατότητα μέτρησης σκληρών, μαλακών ακόμα και κεραμικών υλικών.

Σαν μειονεκτήματα μπορούν να θεωρηθούν το μεγάλο κόστος αγοράς καθώς και η ανάγκη για πολύ καλή προετοιμασία - λείανση του δοκιμίου.

2.4 Σύγκριση των μεθόδων Vickers, Brinell, Rockwell

Στον πίνακα 2.11 παριστάνονται οι δοκιμές σκληρομέτρησης που γίνονται συνήθως στην πράξη. Κάθε μέθοδος παρουσιάζει, ανάλογα με το πρόβλημα, προτερήματα και μειονεκτήματα. Ορισμένα από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω στον πίνακα 2.13. Γενικά οι δοκιμές Brinell και Vickers χρησιμοποιούνται ισοδύναμα σε μαλακά υλικά. Ο έλεγχος λεπτών αντικειμένων γίνεται με τη δοκιμή Vickers. Σε σκληρά υλικά χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι Vickers και Rockwell.

Πίνακας 2.11: Δοκιμές σκληρομέτρησης που γίνονται συνήθως στην πράξη.

Είδος	Διεισδυτής	Μέτρηση	Σύμβολο	Μονάδες	Όριο ισχύος
BRINELL	Σφαίρα από σκληρό χάλυβα	P / F Τάση	HB	Kp /mm ²	HB ≤ 400
VICKERS	Τετράγωνη διαμαντένια πυραμίδα	P / F Τάση	HV	Kp/mm ²	Δεν υπάρχουν
ROCKWELL	Κώνος από διαμάντι ή σφαίρα από χάλυβα	Βάθος διείσδυσης	HRC HRB	Καθαρός αριθμός	20 ≤ HRC ≤ 67 35 ≤ HRB ≤ 100

Οι τιμές της σκληρότητας για κάθε μια από τις δοκιμές Brinell, Vickers και Rockwell είναι διαφορετικές και δεν υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ τους. Παρόλα αυτά για λόγους ευκολίας έχουν καταρτιστεί πίνακες με αντιστοιχίες των HB, HV, HRC, HRB οι οποίοι είναι προσεγγιστικοί καθώς βασίζονταν στην εμπειρία και μόνο. Ακόμα υπάρχουν πίνακες μετατροπής αριθμού σκληρότητας των μεθόδων για συγκεκριμένο φορτίο όπως φαίνεται στον πίνακα 2.12.

Πίνακας 2.12: Μετατροπή αριθμού σκληρότητας για τις μεθόδους Vickers Brinell και Rockwell. (Πηγή: <http://www.struers.com/>)

Σκληρότητα Vickers	Σκληρότητα Brinell Σφαίρα 10 mm από καρβίδιο βολφραμίου	Σκληρότητα Rockwell		
		B Κλίμακα φορτίο 100 kg	C Κλίμακα φορτίο 150 kg	D Κλίμακα φορτίο 100 kg
-	Φορτίο 3000 kg			
940	-	-	68.0	76.9
920	-	-	67.5	76.5
900	-	-	67.0	76.1
880	(767)	-	66.4	75.7
860	(757)	-	65.9	75.3
840	(745)	-	65.3	74.8
820	(733)	-	64.7	74.3
800	(722)	-	64.0	73.8
780	(710)	-	63.3	73.3
760	(698)	-	62.5	72.6
740	(684)	-	61.8	72.1
720	(670)	-	61.0	71.5
700	(656)	-	60.1	70.8
690	(647)	-	59.7	70.5
680	(638)	-	59.2	70.1
670	(630)	-	58.8	69.8
660	620	-	58.3	69.4
650	611	-	57.8	69.0
640	601	-	57.3	68.7
630	591	-	56.8	68.3
620	582	-	56.3	67.9
610	573	-	55.7	67.5
600	564	-	55.2	67.0
590	554	-	54.7	66.7
580	545	-	54.1	66.2
570	535	-	53.6	65.8
560	525	-	53.0	65.4
550	517	-	52.3	64.8
540	507	-	51.7	64.4

530	497	-	51.1	63.9
520	488	-	50.5	63.5
510	479	-	49.8	62.9
500	471	-	49.1	62.2
490	460	-	48.4	61.6
480	452	-	47.7	61.3
470	442	-	46.9	60.7
460	433	-	46.1	60.1
450	425	-	45.3	59.4
440	415	-	44.5	58.8
430	405	-	43.6	58.2
420	397	-	42.7	57.5
410	388	-	41.8	56.8
400	379	-	40.8	56.0
390	369	-	39.8	55.2
380	360	(110.0)	38.8	54.4
370	350	-	37.7	53.6
360	341	(109.0)	36.6	52.8
350	331	-	35.5	51.9
340	322	(108.0)	34.4	51.1
330	313	-	33.3	50.2
320	303	(107.0)	32.2	49.4
310	294	-	31.0	48.4
300	284	(105.0)	29.8	47.5
295	280	-	29.2	47.1
290	275	(104.5)	28.5	46.5
285	270	-	27.8	46.0
280	265	(103.5)	27.1	45.3
275	261	-	26.4	44.9
270	256	(102.0)	25.6	44.3
265	252	-	24.8	43.7
260	247	(101.0)	24.0	43.1
255	243	-	23.1	42.2
250	238	99.5	22.2	41.7
245	233	-	21.3	41.1
240	228	98.1	20.3	40.3
230	219	96.7	(18.0)	-
220	209	95.0	(15.7)	-
210	200	93.4	(13.4)	-
200	190	91.5	(11.0)	-
190	181	89.5	(8.5)	-

180	171	87.1	(6.0)	-
170	162	85.0	(3.0)	-
160	152	81.7	(0.0)	-
150	143	78.7	-	-
140	133	75.0	-	-
130	124	71.2	-	-
120	114	66.7	-	-
110	105	62.3	-	-
100	95	56.2	-	-
95	90	52.0	-	-
90	86	48.0	-	-
85	81	41.0	-	-

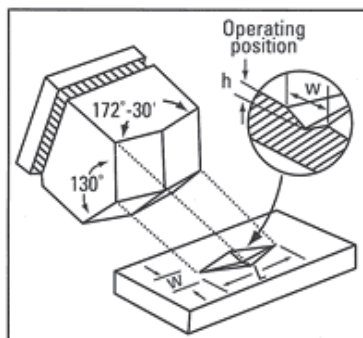
Πίνακας 2.13: Προτερήματα και μειονεκτήματα μεθόδων

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<u>HB (ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL)</u>	<u>HB (ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL)</u>
α) Δυνατότητα σύγκρισης των HB με HV	α) Μεγάλος χρόνος δοκιμής
β) Απλή σχέση σύνδεσης HB με $\sigma_{\theta\rho}$ για πολλούς χάλυβες	β)Επιρροή της HV από την ποιότητα επιφάνειας του εξεταζόμενου σώματος
γ) Μικρή παραμόρφωση του εξεταζόμενου σώματος	γ)Επίπονη και κουραστική για μεγάλο αριθμό δοκιμών
δ) Μεταφερόμενη συσκευή	
<u>HV (ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ VICKERS)</u>	<u>HV (ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ VICKERS)</u>
α)Δυνατότητα σύγκρισης των μικρών τιμών HV με HB	α) Μεγάλος χρόνος δοκιμής
β)Μετρήσεις σε πολύ λεπτά σώματα	β) Καμία σχέση σύνδεσης HV με $\sigma_{\theta\rho}$ για $HV > 400\text{kp/mm}^2$
γ)Καμία παραμόρφωση της πυραμίδας	γ)Επίπονη και κουραστική για μεγάλο αριθμό δοκιμών
δ)Μικρή παραμόρφωση του εξεταζόμενου σώματος	δ)Μη μεταφερόμενη συσκευή
ε) Η τιμή της HV είναι ανεξάρτητη της δύναμης δοκιμής	
<u>HR (ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ROCKWELL)</u>	<u>HR (ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ROCKWELL)</u>
α)Απευθείας μέτρηση της σκληρότητας	α)Υψηλές απαιτήσεις στήριξης του σώματος
β)Μικρός χρόνος δοκιμής	β)Δύσκολη διαπίστωση φθοράς του διεισδυτή
γ)Σχετική ακρίβεια για συγκριτικούς σκοπούς	γ)Τιμές HR εξαρτώμενες από την δύναμη δοκιμής και τον διεισδυτή
δ)Η τιμή της HR είναι ανεξάρτητη της ποιότητας επιφάνειας του σώματος	
ε)Κατάλληλη για μεγάλες σειρές δοκιμών	
ζ)Μεταφερόμενη συσκευή	

2.5 Μέθοδος Κnoop ή μέτρηση μικροσκληρότητας

Η σχετική μικροσκληρότητα ενός υλικού καθορίζεται από την μέθοδο Κnoop η οποία ανακαλύφθηκε από τον F. Κnoop το 1939.

Πρόκειται για μια στατική μέθοδο σκληρομέτρησης σύμφωνα με την οποία η διείσδυση γίνεται με εφαρμογή μικρών φορτίων από 10gr έως 1Kgr με ένα πυραμιδοειδούς μορφής διεισδυτή με γωνίες 130° $172^{\circ} 30'$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6 (διαφορετικού από αυτόν της μεθόδου Vickers) ο οποίος και ονομάζεται διεισδυτής Κnoop.



Σχήμα 2.6: Δεισδυτής Κnoop

(Πηγή: http://www.instron.us/wa/home/default_en.aspx)

Η διαδικασία είναι παρόμοια της μεθόδου Vickers, εκτός του ότι λόγω των μικρότερων διαστάσεων του αποτυπώματος απαιτούνται πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας όργανα για την μέτρηση του βάθους του αποτυπώματος.

Το μικροσκόπιο όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7 που χρησιμοποιείται για την μέτρηση του αποτυπώματος έχει συνήθως μεγέθυνση x500 και ακρίβεια μέτρησης $\pm 0,5\mu\text{m}$.



Εικόνα 2.7: Μικρόμετρο για μικροσκληρομέτρηση

(Πηγή: <http://www.apmtesting.com/testing-services/test-methods/ASTM-E384.php>)

Ο μαθηματικός τύπος που δίνει την σκληρότητα είναι: $HK=14.229 (F/D^2)$ Όπου F είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη σε kgf και D^2 είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του αποτυπώματος μετρούμενο σε mm^2 . Η μέτρηση σκληρότητας κατά Κποορ έχει, για παράδειγμα, την εξής μορφή 200 HK 500/15 που ερμηνεύεται ως σκληρότητα 200 Κποορ με εφαρμογή φορτίου 500gr για χρόνο 15 δευτερολέπτων.

Η μικροσκληρομέτρηση χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να μελετηθεί η συμπεριφορά επικαλυμμένων επιφανειών ως προς π.χ. την φθορά ή την τριβή. Επίσης χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να μελετηθούν παράγοντες που μετέβαλαν απότομα την σκληρότητα ενός υλικού όπως π.χ. η επιφανειακή βαφή. Ακόμα η μέθοδος Κποορ επιτρέπει την σκληρομέτρηση εύθραυστων υλικών όπως π.χ. κεραμικών, υάλινων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι το δοκίμιο να έχει υποστεί μια πάρα πολύ καλή προετοιμασία λείανσης.

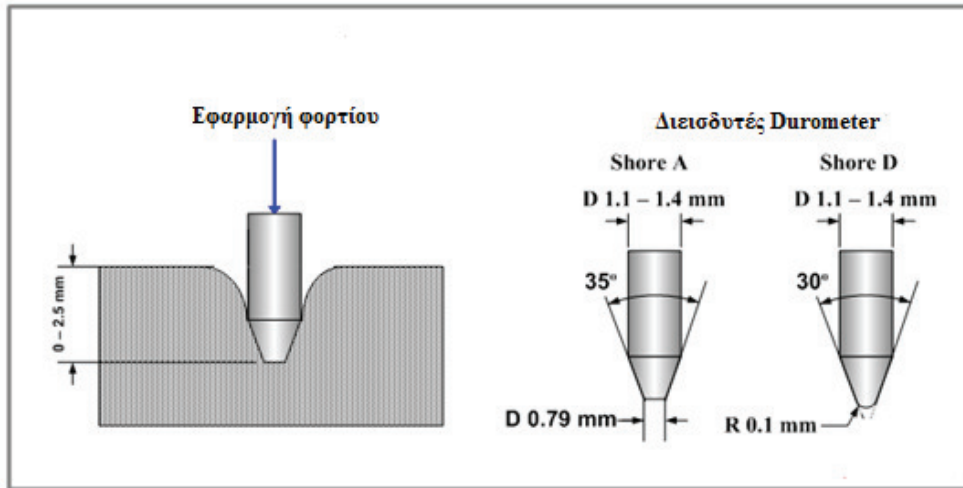
2.6. Μέθοδος Shore – Μέτρηση πλαστικών και ελαστικών υλικών

Η μέτρηση της σκληρότητας ενός πλαστικού υλικού πραγματοποιείται κυρίως με τις μεθόδους Rockwell ή Shore. Αμφότερες οι μέθοδοι μετράνε την αντίσταση ενός πλαστικού δοκιμίου στην διείσδυση. Έχει όμως επικρατήσει η σκληρότητα των πλαστικών να μετριέται κυρίως με την μέθοδο Shore. Η μέτρηση με την μέθοδο Shore γίνεται κυρίως σε δύο κλίμακες, την κλίμακα Shore A για μαλακά ελαστικά και την κλίμακα Shore D για πιο σκληρά πλαστικά. Η σκληρότητα κατά Shore A (εικόνα 2.8) ή Shore D (εικόνα 2.9) μετριέται με ένα φορητό όργανο γνωστό και ως Durometer.



Εικόνα 2.8: Σκληρόμετρο Shore A

Η τιμή της σκληρότητας προκύπτει από την αντίσταση του υλικού στην διείσδυση μιας ακίδας. Η ακίδα είναι προσαρμοσμένη στην βάση του οργάνου και μπορεί να είναι είτε σφαιρική (Shore A) είτε κωνική (Shore D) όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7: Διαδικασία εφαρμογής φορτίου κατά Shore.

(Πηγή: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hardness_test_methods)



Εικόνα 2.9: Σκληρόμετρο Shore D

Η δύναμη διείσδυσης, η οποία είναι προκαθορισμένη (822gr για Shore A και 4550gr για Shore D) θα πρέπει να ασκηθεί για περίπου 15 δευτερόλεπτα πάνω στο δοκίμιο. Από το βάθος της διείσδυσης προκύπτει η τιμή της σκληρότητας η οποία και αναγράφεται πάνω στο όργανο υπό την μορφή ωρολογιακής ή ηλεκτρονικής ένδειξης σε κλίμακα. Η μέτρηση σκληρότητας κατά Shore έχει, για παράδειγμα, την εξής μορφή A/50/15 που ερμηνεύεται ως σκληρότητα 50 Shore A με εφαρμογή φορτίου για χρόνο 15 δευτερολέπτων.

2.7 Συσχέτιση σκληρότητας και αντοχή σε εφελκυσμό

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η σκληρότητα είναι δυνατόν να συσχετιστεί κατά προσέγγιση με την αντοχή σε εφελκυσμό (σ_t) ενός υλικού. Ο συσχετισμός αυτός εφαρμόζεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου ο προσδιορισμός της τιμής σ_t με πείραμα εφελκυσμού δεν είναι εφικτός.

Οι προσεγγιστικές σχέσεις που εφαρμόζονται για κάποιες κατηγορίες μεταλλικών υλικών είναι:

- **Χάλυβες** χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (<1%) (HB 120-175): $\sigma_t=0,34$ HB (kg/mm^2)

- **Χαλκός, ορείχαλκος, μπρούτζος ανοπτημένος:** $\sigma_t = 0,55$ HB (kg/mm^2)

- **Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου** (HB μεταξύ 20-25): $\sigma_t=0,33 - 0,36$ HB

Στον πίνακα 2.14 που ακολουθεί αναγράφονται μερικές προσεγγιστικές σχέσεις μεταξύ της σκληρότητας (στις δύο βασικές κλίμακες μέτρησης Brinell, & Rockwell C) και της αντοχής σε εφελκυσμό (σ_t).

Πίνακας 2.14: Σχέσεις μεταξύ της σκληρότητας (Brinell, & Rockwell C) και της αντοχής σε εφελκυσμό (σ_t).

Σκληρότητα Brinell	Σκληρότητα Rockwell Κλίμακα C	Αντοχή σε εφελκυσμό(Kg/mm^2)
415	44,5	144,4
388	41,8	135,6
363	39,1	124,4
341	36,6	114,6
321	34,3	106,8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ Ή ΜΕΘΟΔΟΣ EQUOTIP

3.1 Φορητά Σκληρόμετρα που βασίζονται στη δυναμική μέθοδο αναπήδησης (Leeb's).

Οι στατικές μέθοδοι όπως Brinell (1900), Rockwell (1919) και Vickers (1925) εξυπηρέτησαν την βιομηχανία για πάνω από 100 χρόνια, είναι εντυπωσιακό όμως ότι για πολλές δεκαετίες δεν είχε ανακαλυφθεί καμία νέα μέθοδος σκληρομέτρησης.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα όλων των παραπάνω μεθόδων ήταν ότι οι συσκευές ήταν επιτραπέζιες-σταθερές οπότε καθιστούσαν την σκληρομέτρηση ασύμφορη και χρονοβόρα λόγω του κόστους και του απαιτούμενου χρόνου μεταφοράς των δοκιμών στην συσκευή.

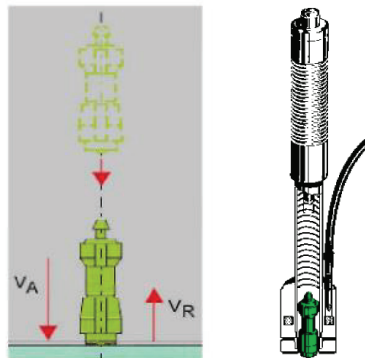
Το 1975 ανακαλύφθηκε η μέθοδος EQUOTIP που βασίζεται στην δυναμική μέθοδο αναπήδησης (μέθοδο Leeb's) η οποία και έγινε συνώνυμη με τα **Φορητά Σκληρόμετρα** (εικόνα 3).



Εικόνα 3: Φορητό σκληρόμετρο Equotip

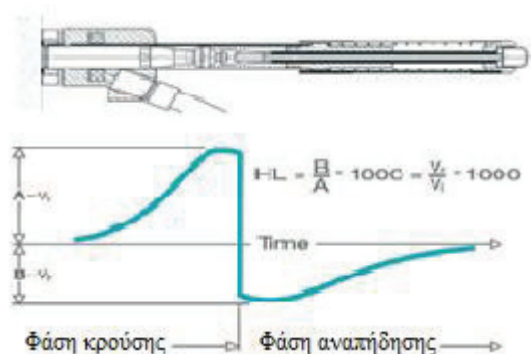
Χάρη σε αυτή την μέθοδο η σκληρομέτρηση μπορεί πλέον να γίνει επιτόπου, εύκολα μα κυρίως εξίσου αξιόπιστα με τις σταθερές μεθόδους.

Η λειτουργία της μεθόδου είναι απλή. Συνοπτικά, το σώμα πρόσκρουσης (το οποίο βρίσκεται εσωτερικά στον αισθητήρα όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1) απελευθερώνεται από ένα ελατήριο και προσπίπτει πάνω στο δοκίμιο.



Εικόνα 3.1: Αισθητήρας Equotip

Η ταχύτητα πτώσης και αναπήδησης του μετρούνται (εσωτερικά του αισθητήρα) σε απόσταση 1mm από το δοκίμιο. Από την διαφορά στις ταχύτητες, πριν και μετά την αναπήδηση, προκύπτει η τιμή της σκληρότητας του μετάλλου. Τα περισσότερα σύγχρονα σκληρόμετρα αυτής της κατηγορίας μετατρέπουν απευθείας τη μέτρηση από την HLD κλίμακα (Μέθοδος Leeb's) στην κλίμακα σκληρομέτρησης που ενδιαφέρει το χρήστη, ενώ τα πιο καλά μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να την μετατρέπουν και σε όριο θραύσης Rm. (σχήμα 3).



Σχήμα 3: Αισθητήρας μεθόδου Leeb's

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου αυτής είναι:

- Άνετη μεταφορά.
- Ευκολία στην χρήση.
- Άμεση ανάγνωση του αποτελέσματος της μέτρησης.
- Υψηλή ακρίβεια των μετρήσεων.
- Υψηλή επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.
- Δυνατότητα αυτόματης μετατροπής σε όλες τις άλλες γνωστές κλίμακες σκληρομέτρησης όπως HRC, HRB, HV, HB, Shore D.
- Μέτρηση προς κάθε κατεύθυνση .
- Μέτρηση καμπύλων & κοίλων επιφανειών .
- Χρήση για όλα τα μεταλλικά υλικά καθώς και τα σκληρά πλαστικά.
- Μεγάλο εύρος μετρήσεων, σε όλες τις γνωστές κλίμακες HRC, HRB, HV, HB, SHORE D όπως και εύρεση της τιμής σ_t.
- Μεγάλη σειρά από αισθητήρες για κάλυψη των περισσότερων εφαρμογών.

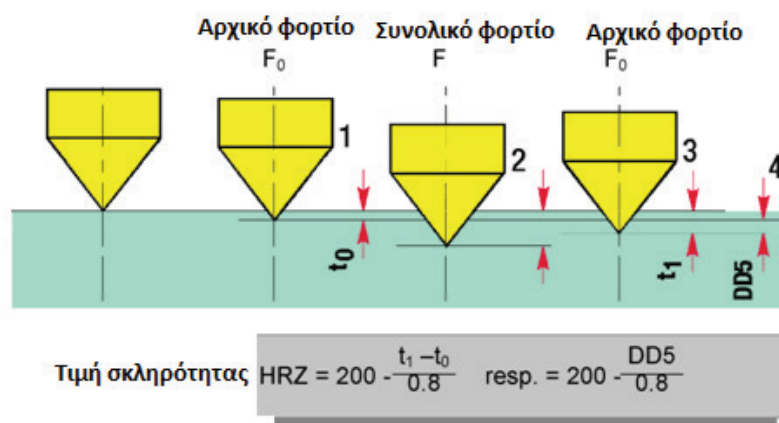
3.2 Φορητά σκληρόμετρα στατικής και δυναμικής σκληρομέτρησης

Η προσθήκη ενός αισθητήρα EQUOSTAT (Εικ.3.2) επέτρεψε στον χρήστη, παράλληλα με την Δυναμική σκληρομέτρηση, να μπορεί να πραγματοποιεί και **ΣΤΑΤΙΚΗ** σκληρομέτρηση.



Εικόνα 3.2: Σκληρόμετρο EQUOTIP, με χρήση του αισθητήρα EQUOSTAT

Βασιζόμενο στην ίδια περίπου φιλοσοφία της μεθόδου Rockwell, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1 το σκληρόμετρο EQUOTIP, με χρήση του αισθητήρα EQUOSTAT, μπορεί να σκληρομετρήσει μικρά ή και λεπτά τεμάχια. Η αξιοπιστία της συσκευής όπως και της διαδικασίας μέτρησης καθιερώθηκε και στην Αμερική αφού δημιουργήθηκε και το ανάλογο πρότυπο.(ASTM A 956-96 Standard Test Method for Equotip Hardness testing).



Σχήμα 3.1: Διαδικασία σκληρομέτρησης με χρήση του αισθητήρα EQUOSTAT.

3.3 Φορητά σκληρόμετρα που βασίζονται στη μέθοδο σκληρομέτρησης με υπερήχους (Μέθοδος UCI)

Σε αυτήν την κατηγορία των φορητών σκληρομέτρων περιλαμβάνονται φορητά σκληρόμετρα (εικόνα 3.3) των οποίων η λειτουργία τους βασίζεται στη μέθοδο UCI (Ultrasonic Contact Impedance), η οποία πρακτικά μετράει τις δονήσεις που προκαλούνται από την εφαρμογή υπερήχων σε κατάλληλο αισθητήρα με διαμάντι που εφάπτεται στο δοκίμιο. Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί σε σχέση με τις υπόλοιπες στο ότι εφαρμόζεται χωρίς να αφήνει σημάδια στις επιφάνειες, ενώ είναι κατάλληλη για όλα τα δοκίμια. Μειονεκτεί στο ότι για να εφαρμοστεί χρειάζεται αρκετά προσεκτική βαθμονόμηση με κατάλληλα δοκίμια και στο ότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερα οικονομικές λύσεις για τις συσκευές που δουλεύουν σύμφωνα με αυτή.



Εικόνα 3.3: Φορητό σκληρόμετρο που βασίζεται στη μέθοδο σκληρομέτρησης με υπερήχους (Μέθοδος UCI).

4.1 Γενικά για την Διακρίβωση Μετρητικών Οργάνων και Προτύπων

Τα συστήματα διασφάλισης ποιότητας απαιτούν τον τακτικό μετρολογικό έλεγχο του μετρητικού εξοπλισμού που επηρεάζει την ποιότητα των προϊόντων. Ο μόνος τρόπος που εξασφαλίζει την ιχνηλασιμότητα σε διεθνή (και εθνικά) πρότυπα είναι η διακρίβωση. Η μετρητική αβεβαιότητα βρίσκεται μόνο με την διαδικασία της διακρίβωσης. Η χρονική συμπεριφορά της αβεβαιότητας, δηλαδή ο ρυθμός αβεβαιότητας ενός μετρητικού οργάνου, είναι ο κύριος παράγοντας για τον προσδιορισμό της επαναδιακρίβωσης.

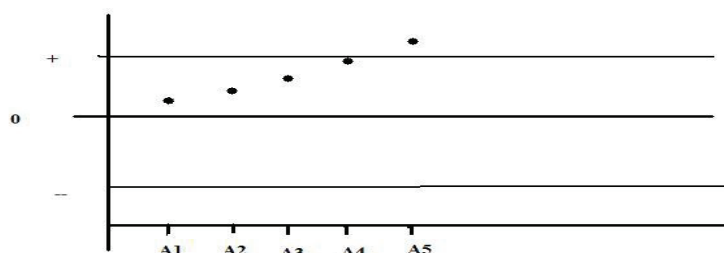
4.1.1 Αιτίες της επαναδιακρίβωσης

Η ένδειξη ενός μετρητικού οργάνου για μια ορισμένη τιμή μεγέθους δεν παραμένει ή ίδια με τον χρόνο, ακόμα και όταν οι συνθήκες δεν έχουν αλλάξει, για διάφορους λόγους, (τρόπος κατασκευής του – χρησιμοποιηθέντα υλικά κατασκευής – τρόπος λειτουργίας του οργάνου), η τιμή του ολισθαίνει. Το πόσο θα ολισθαίνει ένα συγκεκριμένο όργανο εξαρτάται από την συχνότητα και τον τρόπο-τόπο χρήσης του καθώς και από τον τρόπο αποθήκευσής του.

Η ολίσθηση αυτή γίνεται προς μια ορισμένη κατεύθυνση και σηματοδοτεί την συστηματική απόκλιση από την αρχική κατάσταση του οργάνου, οι οποία αποκαλύπτεται μόνο αν συγκριθεί το όργανο με ένα πρότυπο μικρότερης αβεβαιότητας.

Θεωρητική εκτίμηση της ολίσθησης δεν μπορεί να προσδιοριστεί, η πρακτική εμπειρία για συγκεκριμένα όργανα μπορεί να δώσει αξιόπιστες τιμές για την ποσοτική πρόβλεψη της. Στον πίνακα 4 γίνονται εκτιμήσεις για την τιμή της ολίσθησης.

Παρατηρούμε στο γράφημα 4, ότι μετά την τρίτη διακρίβωση οι μετρήσεις αρχίζουν και γίνονται αμφίβολες. Η ρύθμιση στο όργανο πρέπει να γίνει πριν το διάστημα A4 ή το αργότερο μετά το διάστημα A4



Γράφημα 4 : Ρυθμός ολίσθησης ένδειξης /τιμής μετρητικών οργάνων/προτύπων σε

αυθαίρετα όρια ανοχής. (Πηγή: Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων Αθήνα 2003).

Πίνακας 4 : Ολίσθηση ένδειξης μερικών μετρητικών οργάνων / προτύπων.

Κατηγορία οργάνων	Αιτίες ολίσθησης	Εκτιμώμενη ολίσθηση
Πρότυπα πλακίδια μήκους (κεραμικά η ανοξειδωτα)	Μηχανική φθορά/ τριβή Αντίδραση επιφάνειας με ουσίες περιβάλλοντος Μόλυνση επιφάνειας	0,01....20 ppm/έτος (V.Mudronia etc ,Vienna 2000)
Πρότυπα βάρη άνω των 10 κιλών (χυτοσίδηρο)	Μηχανική φθορά/ τριβή Αντίδραση επιφάνειας με ουσίες περιβάλλοντος Μόλυνση επιφάνειας	1....20 ppm/έτος (R.Schwartz , Braunschweig,1995)
Πρότυπα βάρη έως 10 κιλά (ανοξειδωτα)	Μηχανική φθορά/ τριβή Αντίδραση επιφάνειας με ουσίες περιβάλλοντος Μόλυνση επιφάνειας	0,01 ...0,5 ppm/έτος (R.Balhorn, Braunschweig,1996)
Όργανα με μηχανικό μηχανισμό π.χ ζυγοί , μανόμετρα, θερμομέτρα	Μηχανική φθορά/ τριβή Μόλυνση μηχανισμού Γήρανση υλικού	Εμπειρικά εκτιμάται ολίσθηση μερικών ppm/έτος
Ηλεκτρικές /ηλεκτρονικές συσκευές πχ πολύμετρα	Γήρανση υλικού	50....1000 ppm/έτος Τεχνικά εγχειρίδια κατασκευαστών
Γυάλινα αραιόμετρα, θερμομέτρα, ογκομετρικά δοχεία, κύλινδροι από γυαλί	Αλλαγή μορφής γυαλιού Μηχανική φθορά κλίμακας βαθμονόμησης	Δεν υπάρχουν εκτιμήσεις, παρατηρείται μεγάλη σταθερότητα.

Η τιμή η οποία είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό της αρχικής περιόδου επαναδιακρίβωσης ονομάζεται αναπαραγωγιμότητα (reproducibility), αναφέρεται στα εγχειρίδια χρήσης των μετρητικών οργάνων και είναι συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων.

4.2 Συχνότητα διακρίβωσης Μετρητικών Οργάνων

Η προσδιοριζόμενη ως κατάλληλη συχνότητα της επαναδιακρίβωσης αντανακλά το χρόνο εμπιστοσύνης για την ορθή ένδειξη του μετρητικού οργάνου σχετικά με την απαιτούμενη ακρίβειά του. Πρέπει να εκτιμηθεί δηλαδή η σταθερότητα του οργάνου, η αβεβαιότητά του και το επιτρεπόμενο ανεκτό εύρος της μετρούμενης τιμής. Κατά την προμήθεια του οργάνου εξασφαλίζουμε ότι το ανεκτό εύρος της μετρούμενης τιμής είναι τρεις φορές μεγαλύτερο από την αβεβαιότητα της μέτρησης βάση της ακρίβειας του οργάνου.

Ο χρόνος επαναδιακρίβωσης (πίνακας 4.2) στηρίζεται και στην εμπειρία και στα στοιχεία της μετρολογικής συμπεριφοράς ομοειδών οργάνων του εργαστηρίου. Οι σταθερά καλές περιβαλλοντικές συνθήκες επιμηκύνουν τον χρόνο επαναδιακρίβωσης σε αντίθεση χρήσης ενός μετρητικού οργάνου σε συνθήκες υγρασίας, σκόνης, κραδασμών κ.ά.

Ανάλογα με την συχνότητα χρήσης των οργάνων η μετρητική αβεβαιότητα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 4.1 (σε μέσο όρο).

Πίνακας 4.1 : Συχνότητα χρήσης και μετρητική αβεβαιότητα μετρητικού εξοπλισμού κατά μέσο όρο. (Πηγή: Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων, Αθήνα 2003)

Φορέας εφαρμογής	Συχνότητα χρήσης	Επιθυμητή μετρητική αβεβαιότητα
Εθνικό ινστιτούτο Μετρολογίας Βασικές μονάδες (S.I) Παράγωγες μονάδες	Μια φορά ανά μήνα	<10 ppm <100 ppm
Εργαστήρια Διακριβώσεων και Δοκιμών Ερευνητικά Ιδρύματα και Πανεπιστήμια	Δέκα φορές ανά μήνα	100 ppm....< 1%
Βιομηχανική παραγωγή & Εργαστήρια Ποιοτικού Ελέγχου	Μερικές φορές την ημέρα	0,1%....10%

Πίνακας 4.2 : Παραδείγματα προτεινόμενης μέγιστης περιόδου επαναδιακρίβωσης κάποιων μετρητικών οργάνων. (Πηγή: Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων Αθήνα 2003)

Μετρητικό όργανο / πρότυπο	Συχνότητα και περιβάλλον χρήσης	Προτεινόμενη περίοδος επαναδιακρίβωσης
Αναλυτικός Ηλεκτρονικός ζυγός έως 200 gr ακρίβειας 0,01 mg	2-3 φορές την εβδομάδα , χημείο ερευνητικού ιδρύματος	Ένα έτος
Πρότυπο βάρος ελέγχου 100 gr κλάσης E2 κατά OIML	Μια φορά την εβδομάδα, εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου	Δύο έτη
Υδραργυρικό βαρόμετρο	Καθημερινά, εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου	Τρία έτη
Υδραργυρικό θερμόμετρο -10 ⁰ C εως 150 ⁰ C με ακρίβεια 1 K	Καθημερινά, εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου	Πέντε έτη
Σετ προτύπων βαρών 1mg-500 gr	Δυο φορές ανά μήνα ,σε διάφορους χώρους εργαστηρίων και βιομηχανικής Παραγωγής	Έξι μήνες

Πίνακας 4.3 : Κατηγοριοποίηση κ συχνότητα επαναδιακρίβωσης εξοπλισμού .

<u>Μετρητικός βοηθητικός εξοπλισμός</u>	Συχνότητα	Τρόπος
Υγρόμετρα	1 φορά ανά έτος	Υγρόμετρο αναφοράς
Υγρόμετρο αναφοράς	1 φορά ανά 5 έτη	Διακρίβωση ενός σημείου με πρότυπο γνωστού ειδικού βάρους
Βαρόμετρο	1 φορά ανά 5 έτη	Διακρίβωση ενός σημείου
Χρονόμετρα	1 φορά ανά 2 έτη	
Θερμόμετρα	1 φορά ανά έτος	Θερμόμετρο αναφοράς
Θερμόμετρο αναφοράς	1 φορά ανά 5 έτη	Διακρίβωση ορισμένων σημείων
Επωαστήρες	1 φορά ανά έτος	
Σκληρόμετρα	1 φορά ανά έτος	Σύγκριση διακριβωμένων πρότυπων πλακιδίων

4.3 Αβεβαιότητα μετρητικών αποτελεσμάτων σύμφωνα με τον οδηγό ISO GUM

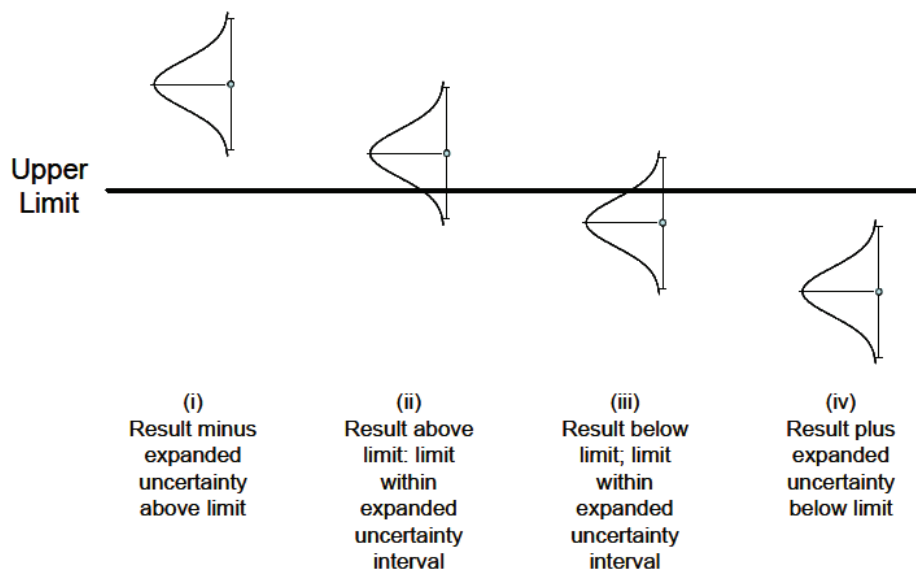
Σε αντιδιαστολή με τον αφηρημένο χαρακτήρα του σφάλματος, η αβεβαιότητα ορίζεται στο ISO GUM (Guide for the Uncertainty of Measurement) πρακτικά και συγκεκριμένα ως:

«παράμετρος συνδεδεμένη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στο μετρούμενο μέγεθος», και παρόμοια στο VIM (International Vocabulary of Metrology) ως:

«παράμετρος που συνδέεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσαν εύλογα να αποδοθούν στο μετρούμενο μέγεθος. Η αβεβαιότητα περιλαμβάνει γενικά πολλά συστατικά που μπορούν να αξιολογηθούν από τις πειραματικές σταθερές αποκλίσεις που βασίζονται στις επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις (αξιολόγηση αβεβαιότητας τύπων A) ή από τις σταθερές αποκλίσεις που αξιολογούνται από τις υποτιθέμενες κατανομές πιθανότητας βασισμένες στην εμπειρία ή άλλες πληροφορίες (αξιολόγηση αβεβαιότητας τύπων B). Η αβεβαιότητα προτιμάται ως όρος από το σφάλμα μέτρησης επειδή αυτό δεν μπορεί να γίνει ποτέ γνωστό.»

Με την παραπάνω θεώρηση αποδίδονται στο αποτέλεσμα της παρατήρησης, στην περίπτωση μας της μέτρησης, στοιχεία εγγενούς μεταβλητότητας, τα οποία ξεφεύγουν από τον έλεγχο του παρατηρητή. Η μετατόπιση από την έννοια του σφάλματος σε αυτήν της αβεβαιότητας, ως βασική θεώρηση για το χαρακτηρισμό της ποιότητας της μέτρησης, συνδέεται έτσι με μια σημαντική αλλαγή στη μεθοδολογική προσέγγιση του ζητήματος αυτού. Η πληροφορία επομένως που διαθέτουμε για το αποτέλεσμα μιας μέτρησης αφορά όχι μόνο στην εκτιμώμενη καλύτερη προσέγγιση της τιμής του μετρούμενου μεγέθους, αλλά και στη διασπορά των πιθανών λογικών τιμών που το μέγεθος αυτό θα μπορούσε έχει, με επίγνωση της αδυναμίας να εντοπιστεί η μία και μοναδική αληθής τιμή. Συμπερασματικά, με τον τρόπο αυτό αποδίδεται μια κάπως θολή αλλά ρεαλιστική εικόνα για την τιμή του μετρούμενου μεγέθους, αξιοποιώντας το σύνολο της διαθέσιμης πληροφόρησης. Αναφερόμαστε στην εκτίμηση μιας περιοχής τιμών, συνήθως γύρω από την μετρούμενη τιμή, η οποία - με μία πιθανότητα, π.χ. 95%, ή 99% - περιέχει την “αληθινή” τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Η αβεβαιότητα κατά συνέπεια μιας μέτρησης κρίνει και την αξιοπιστία αλλά και την εγγύτητα της στην πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους, παρέχοντας ποσοτική αλλά και ποιοτική περιγραφή, και έτσι η έννοια της συμπεριλαμβάνει το νόημα των όρων, αξιοπιστία-πιστότητα και ακρίβεια-ορθότητα.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται διαγραμματικά ο ρόλος της εκτίμησης της αβεβαιότητας μετρητικών αποτελεσμάτων στον καθορισμό της συμμόρφωσης τους με την ανώτατη επιτρεπτή τιμή.



Σχήμα 4: Ο ρόλος της εκτίμησης της αβεβαιότητας μετρητικών αποτελεσμάτων στον καθορισμό της συμμόρφωσης τους με την ανώτατη επιτρεπτή τιμή

Τα φαινόμενα τα οποία συμβάλλουν στην αβεβαιότητα και κατ' αυτό τον τρόπο στο γεγονός ότι το αποτέλεσμα μίας μέτρησης δεν μπορεί να χαρακτηριστεί από μία μοναδική τιμή, ονομάζονται πηγές ή παράγοντες αβεβαιότητας. Κατά περίπτωση είναι δυνατός ο εντοπισμός μιας σειράς παραγόντων αβεβαιότητας, όχι κατ' ανάγκη ανεξάρτητων μεταξύ τους, οι οποίοι περιλαμβάνουν π.χ. ατελώς γνωστές επιδράσεις περιβαλλοντικών συνθηκών ή ατελείς μετρήσεις αυτών των επιδράσεων, πεπερασμένη διακριτότητα του μετρητικού οργάνου ή πεπερασμένο κατώφλι διάκρισης, ανακριβείς τιμές των μετρητικών προτύπων και των υλικών αναφοράς, προσεγγίσεις και παραδοχές οι οποίες ενσωματώνονται στην μετρητική μέθοδο και στην μετρητική διαδικασία κ.α.

Χωρίς να απαντάει σε όλα τα — συχνά πολύπλοκα — προβλήματα μετρολογικής αβεβαιότητας, ο οδηγός GUM θέτει το πλαίσιο και δίνει τα βασικά μεθοδολογικά εργαλεία για τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων. Η αξία του έγκειται κυρίως στο ότι αποτελεί προϊόν σύγκλισης απόψεων σε διεθνές επίπεδο και σήμερα τυγχάνει καθολικής σχεδόν αποδοχής ως κείμενο αναφοράς από μετρολόγους, φορείς διαπίστευσης και εργαστήρια. Η προσέγγιση του οδηγού GUM για την ποσοτική

εκτίμηση και την έκφραση της αβεβαιότητας, για λόγους οικονομίας παρουσίασης της εργασίας αυτής, συνοψίζεται στα ακόλουθα βασικά σημεία:

- Η αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης αποτελείται γενικά από πολλές συνιστώσες, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους: οι αβεβαιότητες Τύπου A, που υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους και οι αβεβαιότητες Τύπου B, που υπολογίζονται με άλλα μέσα. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν αντιστοιχεί στη διάκριση μεταξύ "τυχαίων" και "συστηματικών" αβεβαιοτήτων, εννοιών που προκαλούν παρανοήσεις και πρέπει να αποφεύγονται.
- Οι συνιστώσες Τύπου A προκύπτουν από την (υπολογιζόμενη ή εκτιμώμενη) μεταβλητότητα (variance) ή την τυπική απόκλιση και τους βαθμούς ελευθερίας του αποτελέσματος. Η γνώση της συμμεταβλητότητας (covariance) είναι επίσης συχνά απαραίτητη και αποτελεί αντικείμενο λεπτομερέστερης και εκτενούς διερεύνησης.
- Οι συνιστώσες Τύπου B, παρά το ότι δεν προκύπτουν απευθείας από κάποια στατιστική επεξεργασία, οφείλουν να παρουσιάζονται με όρους τυπικής αβεβαιότητας. Για τον υπολογισμό τους αξιοποιούνται πληροφορίες που προέρχονται από πιστοποιητικά διακρίβωσης, χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης, εμπειρία ή επιστημονική ανάλυση κ.α. Η τυπική αυτή αβεβαιότητα (το τετράγωνο της) μπορεί να θεωρηθεί ως προσέγγιση της αντίστοιχης μεταβλητότητας, η ύπαρξη της οποίας υφίσταται ως υπόθεση.
- Η τελική συνδυασμένη αβεβαιότητα (combined uncertainty) προκύπτει από το συνδυασμό όλων των επιμέρους συνιστωσών, εκφραζόμενων με τη μορφή τυπικών αποκλίσεων.
- Όταν απαιτείται, για τις ανάγκες συγκεκριμένων εφαρμογών, ο υπολογισμός μιας συνολικής διευρυμένης αβεβαιότητας (expanded uncertainty) σε καθορισμένο βαθμό εμπιστοσύνης, η τυπική αβεβαιότητα πολλαπλασιάζεται με ένα σαφώς οριζόμενο συντελεστή.

4.4 Συστηματική προσέγγιση εκτίμησης της αβεβαιότητας κατά τον οδηγό ISO GUM

Στόχος είναι ο καθορισμός μιας εύχρηστης και εύκολα εφαρμόσιμης σε πραγματικό περιβάλλον (βιομηχανικό - εργαστηριακό) μεθοδολογίας που θα μπορεί παράλληλα να

παρέχει με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο την εκτίμηση της αβεβαιότητας. Η εν λόγω προσέγγιση περιλαμβάνει τέσσερα διαδοχικά βήματα:

i. Εκτίμηση τυπικής αβεβαιότητας Τύπου A

Η μετρητική αβεβαιότητα Τύπου A, u_A , καθορίζεται από τη στατιστική ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων. Με την κατ' αρχήν παραδοχή της κανονικής κατανομής, η ακόλουθη σχέση (4) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (4)$$

όπου :

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (4.1)$$

και n ο αριθμός των μετρήσεων.

ii. Εκτίμηση τυπικής αβεβαιότητας Τύπου B

Η αβεβαιότητα Τύπου B, u_B , δεν προκύπτει από στατιστική επεξεργασία και εντοπίζεται σε μια σειρά από παράγοντες, οι οποίοι ποικίλλουν σημαντικά σε κάθε μετρητική διαδικασία. Οι παρακάτω παράγοντες μπορούν να θεωρηθούν καταρχήν ως σημαντικοί για την εκτίμηση της αβεβαιότητας Τύπου B:

α) Διακριτική ικανότητα του οργάνου μέτρησης, R. Η αβεβαιότητα που συνδέεται με την διακριτική ικανότητα του οργάνου μέτρησης, u_{RES} , καθορίζεται σύμφωνα με τον οδηγό GUM από τη σχέση (4.2):

$$u_{RES} = \frac{R}{\sqrt{12}} \quad (4.2)$$

β) Πιστοποιητικό διακρίβωσης του μετρητικού οργάνου. Στο εν λόγω πιστοποιητικό δηλώνεται η αβεβαιότητα της διακρίβωσης, U_{CAL} , καθώς και ο συντελεστής επικάλυψης k ή το διάστημα εμπιστοσύνης. Η τυπική αβεβαιότητα που οφείλεται στον παράγοντα αυτό, u_{CAL} , δίνεται από τη σχέση (4.3):

$$u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{k} \quad (4.3)$$

γ) Προδιαγραφή ακρίβειας του μετρητικού οργάνου σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Με την υπόθεση ότι η αβεβαιότητα που οφείλεται στον παράγοντα αυτό, u_{SPEC} , ακολουθεί κανονική κατανομή και A_c είναι η τεχνική προδιαγραφή για την επίδοση ακρίβειας του μετρητικού οργάνου όπως καθορίζεται από τον κατασκευαστή

$$u_{\text{SPEC}} = \frac{Ac}{\sqrt{3}} \quad (4.4)$$

Η συνδυασμένη αβεβαιότητα Τύπου Β υπολογίζεται από το σύνολο των παραπάνω παραγόντων με την ακόλουθη σχέση (4.5):

$$u_B = \sqrt{u_{\text{RES}}^2 + u_{\text{CAL}}^2 + u_{\text{SPEC}}^2} \quad (4.5)$$

iii. Υπολογισμός της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας, u_C ,

από τον συνδυασμό των Τύπου Α και Τύπου Β αβεβαιοτήτων που υπολογίστηκαν στα παραπάνω βήματα (i) και (ii):

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (4.6)$$

iv. Υπολογισμός της διευρυμένης αβεβαιότητας

Για τον υπολογισμό της διευρυμένης αβεβαιότητας, U , η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα πολλαπλασιάζεται με τον κατάλληλο συντελεστή επικάλυψης, k :

$$U_{95} = k_{95} \cdot u_C(1) \quad (4.7)$$

Για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, η τιμή του συντελεστή k δίνεται από τους πίνακες της στατιστικής t-κατανομής, $k_{95} = 2$.

4.5 Εφαρμοζόμενοι κανονισμοί - Πρότυπα

Ο υπολογισμός της συμπεριφοράς ενός μεταλλικού υλικού καθώς και ο προσδιορισμός των αποδεκτών καταπονήσεων είναι εφικτοί μόνο όταν είναι γνωστά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού. Δηλαδή θα πρέπει να είναι γνωστό από ποιο φορτίο και πέρα το υλικό θα παραμορφωθεί κατά αναντίστροφο τρόπο προκαλώντας αλλαγές στη γεωμετρία του και ποιο είναι το οριακό φορτίο που είναι δυνατόν να αντέξει πριν την οριστική του θραύση. Οι μηχανικές δοκιμές πρέπει να είναι απλές, αναπαραγωγίσιμες και τα αποτελέσματα ερμηνεύσιμα και αξιοποιήσιμα, κατά τον ίδιο τρόπο από όλους. Για το λόγο αυτό, εθνικοί οργανισμοί όπως η ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (German Institute for Standardization), BSS (British Standards Society) και ο ISO (International Standardization Organization) κανονικοποιούν τις δοκιμές τους. Η κανονικοποίηση αυτή των δοκιμών αφορά στη γεωμετρία των δοκιμίων και των ενδείξεων, στις συσκευές των δοκιμών και τη βαθμονόμηση τους, στις πειραματικές τεχνικές και στην αξιοποίηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας σύμφωνα με τις μεθόδους Brinell, Vickers, Rockwell, Rockwel Superficial, Knoop, Leeb, UCI και Shore καθορίζεται από τους κανονισμούς ASTM, ISO, DIN και BSS :

Τα αντίστοιχα πρότυπα DIN - BSS

1. Brinell: **DIN 50351**¹³, **DIN 51225**, **DIN 51200**
2. Vickers: **DIN 50133**, **DIN 51200**
3. Rockwell: **DIN 50103**, **DIN 51200**, **BSS-891**, **BSS - 860 / 67**
- 4 Leeb: **DIN 50156** “Metallic materials – Leeb hardness test”

Τα αντίστοιχα πρότυπα ASTM

1. **ASTM E10-01** , **ASTM E 10 - 78**, **ASTM A - 370**, **ASTM E 140 -79**¹⁴, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials
2. **ASTM E18-03**, **ASTM E 18 - 79**, **ASTM A - 370**, **ASTM E 140-79**, Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
3. **ASTM E 140-79**, **ASTM E 92-72**, Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials
4. **ASTM E140-02** Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness
5. **ASTM A370-03a** Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
6. **ASTM E384-99** Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials
7. **ASTM E1842-96** Standard Test Method for Macro-Rockwell Hardness Testing of Metallic Materials
8. **ASTM D2240** Standard Test Method for Shore Hardness scales type A and type D
9. **ASTM D1474** Standard Test Method for Knoop Hardness
10. **ASTM A956** Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products

¹³ Στην προδιαγραφή **DIN 50351** περιγράφονται τρόποι στήριξης των δοκιμών και για τις τρεις δοκιμές.

¹⁴ Στην προδιαγραφή **ASTM E 140 - 79** περιέχονται πίνακες της σκληρότητας μετάλλων.

11. **ASTM A1038 - 10a** Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method

Τα αντίστοιχα πρότυπα ISO

1. **ISO 6506-1:2005** Metallic materials -- **Brinell** hardness test -- Part 1: Test method
2. **ISO 6506-2:2005** Metallic materials -- Brinell hardness test -- Part 2: Verification and calibration of testing machines
3. **ISO 6506-3:2005** Metallic materials -- Brinell hardness test -- Part 3: Calibration of reference blocks
4. **ISO 6506-4:2005** Metallic materials -- Brinell hardness test -- Part 4: Table of hardness values
5. **ISO 6507-1:2005** Metallic materials -- **Vickers** hardness test -- Part 1: Test method
6. **ISO 6507-2:2005** Metallic materials -- Vickers hardness test -- Part 2: Verification and calibration of testing machines
7. **ISO 6507-3:2005** Metallic materials -- Vickers hardness test -- Part 3: Calibration of reference blocks
8. **ISO 6507-4:2005** Metallic materials -- Vickers hardness test -- Part 4: Tables of hardness values
9. **ISO 6508-1:2005** Metallic materials -- **Rockwell** hardness test -- Part 1: Test method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
10. **ISO 6508-2:2005** Metallic materials -- Rockwell hardness test -- Part 2: Verification and calibration of testing machines (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
11. **ISO 6508-3:2005** Metallic materials -- Rockwell hardness test -- Part 3: Calibration of reference blocks (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

To ASTM E92-82 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials αποσύρθηκε και αντικαταστάθηκε από το E384. (Δρ. Κ. Μέντρεα κ.α, 2010).

4.6 Συμπεράσματα

Για την σύγχρονη μετρολογία το «μετρητικό σφάλμα» είναι μια μη προσδιορίσιμη αφηρημένη έννοια που αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους. Αν και η έννοια της αβεβαιότητας είναι σχετικά πρόσφατη, σήμερα είναι διεθνώς αποδεκτό ότι μια ποσοτική δήλωση σχετική με οποιοδήποτε μετρούμενο μέγεθος δεν μπορεί να είναι πλήρης εάν δεν περιλαμβάνει, εκτός από το αποτέλεσμα της μέτρησης, μια αναφορά στην αβεβαιότητα που συνοδεύει

το αποτέλεσμα αυτό. Το ότι η αβεβαιότητα σπάνια αναφέρεται μαζί με την ποσοτική έκφραση των μεγεθών που υπεισέρχονται στις καθημερινές συναλλαγές, δεν αναιρεί ούτε την ύπαρξη της ούτε την αναγκαιότητα προσδιορισμού της. (Γ. Καϊσαρλής, 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός της πειραματικής διαδικασίας αφορά την εύρεση του αριθμού σκληρότητας τριών υλικών (αλουμίνιο, χάλυβας και ορείχαλκος) με την εφαρμογή των μεθόδων Vickers, Brinell και Rockwell. Αφού γίνει η δειγματοληψία των υλικών για την εκτέλεση του πειράματος της σκληρομέτρησης, τα δοκίμια θα πρέπει να επεξεργαστούν κατάλληλα με μια συγκεκριμένη διαδικασία.

Η διαδικασία επεξεργασίας των δοκιμίων χωρίζεται σε ορισμένα στάδια τα οποία πρέπει να εκτελούνται σωστά για να εξασφαλίζουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Τα τρία στάδια που αναλύονται παρακάτω είναι: η κοπή, ο εγκιβωτισμός και η μηχανική επεξεργασία (λείανση-στίλβωση) των δοκιμίων.

5.2 Δειγματοληψία

Η αξιολόγηση ενός υλικού στο Εργαστήριο προϋποθέτει την αφαίρεση από μια μάζα του υλικού ενός δείγματος το οποίο μπορεί να το χειριστεί ο μελετητής και θα έχει κατάλληλες διαστάσεις για να τοποθετηθεί μέσα ή πάνω στα όργανα του εργαστηρίου που θα χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη του.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το δείγμα που θα εξεταστεί θα πρέπει να αντιπροσωπεύει σωστά το υλικό που μελετάται και να χαρακτηρίζεται από μια ή δυο ιδιότητες με τον πρόσθετο περιορισμό να αντιπροσωπεύεται η ιδιότητα που πρέπει να μελετηθεί. Αυτά τα διασφαλίζει η σωστή δειγματοληψία για την οποία υπάρχουν ξεκάθαρα διατυπωμένοι κανόνες στη βιβλιογραφία όπως οι εκδόσεις της ASTM και ορισμένα από τα πρότυπα που έχει εκδώσει ο ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης). Στο παρόν κείμενο κρίνεται σκόπιμο να μη συμπεριληφθούν οι κανόνες δειγματοληψίας. Θα αποτελέσει αντικείμενο όμως συζήτησης η σωστή μεθοδολογία αφαίρεσης και ο χειρισμός του δείγματος για την περίπτωση μεταλλικών υλικών. Η προετοιμασία των δοκιμίων για το οπτικό μικροσκόπιο είναι ακριβώς η ίδια είτε πρόκειται για σιδηρούχα, είτε για μη σιδηρούχα υλικά και αποτελείται από την κοπή, τον εγκιβωτισμό, την λείανση και την στίλβωση.

5.3 Κοπή

Πριν από οποιαδήποτε άλλη διαδικασία για την αποκάλυψη της δομής, τέμνουμε το δοκίμιο στο κατάλληλο μέγεθος. Η μικροδομή είναι πολύ ευαίσθητη σε αλλαγή κατά την διαδικασία της κοπής παρά σε κάποιο άλλο βήμα της προετοιμασίας. Η αλλαγή μπορεί να επέλθει από υπερβολική θερμότητα, μηχανική παραμόρφωση ή και τα δύο. Οι λεγόμενες «τεχνητές μικροδομές» που προκύπτουν σ' αυτήν την περίπτωση είναι πιθανόν να μην επιτρέψουν την αποκάλυψη της πραγματικής δομής. Εάν συμβεί κάτι τέτοιο, πρέπει η ζώνη παραμόρφωσης να αφαιρεθεί με μεγάλη προσοχή, με την χρήση λειαντικού τροχού εκχόνδρισης.

Η καλύτερη τεχνική κοπής του χάλυβα είναι ο αποξεστικός τροχός. Παρέχει επιφάνειες που είναι λείες, με ελάχιστη παραμόρφωση, και δεν παρουσιάζονται αλλαγές στην δομή από υπερθέρμανση. Τα δοκίμια τέμνονται με τροχούς από οξειδίο του αργιλίου (Al_2O_3), με την απαιτούμενη ελαστικότητα του συνδετικού υλικού. Το δοκίμιο διατηρείται κρύο κατά την διάρκεια της κοπής, με την συνεχή ροή λαδιού, διαλυτού στο νερό. Επιλέγουμε την δύναμη κοπής που θα εφαρμόσουμε, καθώς και την σκληρότητα του υλικού κοπής. Επιλέγουμε τροχό ο οποίος αποσυντίθεται γρήγορα και αποκαλύπτει νέους κοπτικούς κόκκους. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην δύναμη κοπής, στην αφθονία του ψυκτικού υγρού και στην σταθερή συγκράτηση του δοκιμίου κατά την διάρκεια της κοπής, όλες οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν την τελική δομή του υλικού που θα παρατηρήσουμε στο μικροσκόπιο. Τα κοπτικά που διαθέτουν τα εργαστήρια υλικών φαίνεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5: Κοπτικό υλικών εργαστηρίων

5.4 Εγκιβωτισμός δοκιμίων

Μετά την κοπή των δοκιμίων στο κατάλληλο μέγεθος ακολουθεί ο εγκιβωτισμός τους. Για τον εγκιβωτισμό του δοκιμίου επιλέγουμε ένα υλικό που μπορεί να χυτευθεί, έτσι ώστε να μην επηρεασθεί η επιφάνεια του δοκιμίου από θερμότητα ή πίεση. Συνήθως χρησιμοποιούνται εποξικά υλικά. Στο εργαστήριο χρησιμοποιείται η ρητίνη Acryfix. Τοποθετούμε το δοκίμιο μέσα σε ένα ειδικό κυλινδρικό καλούπι, προσθέτουμε το μίγμα που ετοιμάσαμε και περιμένουμε μερικά λεπτά, έως ότου στερεοποιηθεί η ρητίνη. Αφαιρούμε το καλούπι από το δοκίμιο το οποίο είναι πλέον έτοιμο για τις περαιτέρω διεργασίες.

5.5 Λείανση-Στίλβωση δοκιμίων

Όπως αναφέραμε παραπάνω ανεξαρτήτως της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για το κόψιμο του υλικού, η δομή της επιφάνειας έχει αλλοιωθεί σε κάποιο βαθμό. Το κατεστραμμένο στρώμα απομακρύνεται χρησιμοποιώντας σταδιακά λειαντικούς τροχούς με λεπτότερους λειαντικούς κόκκους (εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Λειαντικοί δίσκοι

Για τα σιδηρούχα υλικά χρησιμοποιούμε ανθρακοπυρίτιο (SiC). Με πρώτο μέγεθος κόκκου 120 grit, και με ακολουθία 320, 500, 800 και 1000 grit. Κατά την διάρκεια της λείανσης είναι απαραίτητη η συνεχόμενη παροχή νερού, για τον καθαρισμό του δίσκου καθώς και την ψύξη του δοκιμίου.

Για να έχουμε ένα επίπεδο δοκίμιο με ελάχιστη παραμόρφωση συγκρατούμε το δοκίμιο με τα ακροδάκτυλα, όσο το δυνατόν πιο κοντά στον λειαντικό τροχό, χρησιμοποιούμε μέτρια δύναμη και μετακινούμε το δοκίμιο πέρα δώθε από το κέντρο προς την άκρη του χαρτιού και αντίστροφα. Εξετάζουμε την επιφάνεια περιοδικά για να καθορίσουμε εάν έχουν εξαλειφθεί οι γρατσουνιές από τον προηγούμενο δίσκο. Η λείανση συνεχίζεται

δύο με τρεις φορές από τον χρόνο που απαιτείται για την εξαφάνιση των προηγούμενων γρατσουνιών προκειμένου να εξασφαλιστεί η εξάλειψη της ζώνης παραμόρφωσης. Αν κατά την διάρκεια της λείανσης προκύψει κάποιο σφάλμα πρέπει να αυξηθεί η ασκούμενη δύναμη και να μην χρησιμοποιηθεί πιο λεπτόκοκκος δίσκος. Το δοκίμιο πρέπει να παραμείνει στον δίσκο που δημιουργήθηκε το ελάττωμα ή να επιστρέψει στον προηγούμενο. Το δοκίμιο πρέπει να περιστρέφεται κατά 45 έως 90° μεταξύ των σταδίων.

Κατά την αλλαγή των χαρτιών λείανσης το δοκίμιο πρέπει να είναι υγρό για να αποφύγουμε τυχόν ολίσθηση. Επίσης πρέπει να ξεπλένεται πριν προχωρήσει στο επόμενο στάδιο, για να μην μολυνθούν τα λειαντικά χαρτιά με κόκκους από τους πιο χονδρόκοκκους λειαντικούς τροχούς. Μετά την τελική λείανση το δοκίμιο καθαρίζεται με βαμβάκι και νερό, περιχύνεται με οινόπνευμα και στεγνώνεται σε ρεύμα θερμού αέρα. Η **στίλβωση** γίνεται σε δύο πάνινους τροχούς (εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2 Συσκευή στίλβωσης

Ο πρώτος περιέχει κόκκους διαμαντιού διαμέτρου 3μm και ο δεύτερος κόκκους διαμαντιού διαμέτρου 1μm. Για σιδηρούχα υλικά το γυάλισμα απαιτεί μικρό χρόνο, με σχετικά μεγάλη ασκούμενη δύναμη και μικρή περιστροφική ταχύτητα.

Κατά την διάρκεια του γυαλίσματος περιστρέφουμε το δοκίμιο κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού. Κατά την μετάβαση από τον ένα δίσκο στον άλλο το δοκίμιο καθαρίζεται με ένα βρεγμένο βαμβάκι και ξεπλένεται με οινόπνευμα. Επίσης το δοκίμιο πρέπει να περιστρέφεται αντίστροφα από τον δίσκο, γιατί αλλιώς δημιουργείται το φαινόμενο της ουράς του κομήτη. Το δοκίμιο στεγνώνεται στο τέλος της διαδικασίας με ρεύμα θερμού αέρα. Στην περίπτωση στίλβωσης μη σιδηρούχου μαλακού κράματος, όπως το αλουμίνιο τα δοκίμια χρειάζονται επιπλέον γυάλισμα.

Το αλουμίνιο είναι ένα μαλακό υλικό, και χαράζεται με το παραμικρό. Ως αποτέλεσμα η παρατήρηση του δοκιμίου στο μικροσκόπιο μετά την λείανση στο δίσκο με τους κόκκους διαμαντιού 1μm, αποκαλύπτει γρατσουνιές. Οι γρατσουνιές αυτές εξαλείφονται με γυάλισμα του δοκιμίου με το υλικό **OP-U**, για μη σιδηρούχα υλικά. Το **OP-U** είναι υγρό και τροφοδοτείται στον κατάλληλο πάνινο δίσκο. Στη διάρκεια της λείανσης παίζει τον ρόλο του λειαντικού υλικού καθώς και του υγρού ψύξης. Το δοκίμιο είναι πλέον έτοιμο για χημική προσβολή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΧΗΜΙΚΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ

6.1 Εισαγωγή

Η χημική προσβολή χρησιμοποιείται στην μεταλλογραφία, για την αποκάλυψη της μικροδομής ενός δοκιμίου και την παρατήρηση του στο οπτικό μικροσκόπιο. Το δοκίμιο, για να είναι κατάλληλο για χημική προσβολή, πρέπει να έχει μια προσεκτικά γυαλισμένη επίπεδη επιφάνεια, από υλικό ελεύθερο από τις αλλαγές που μπορεί να προκλήθηκαν από επιφανειακή παραμόρφωση, από ροή των υλικών ή από γρατσουνιές.

Παρ' ότι μερικές πληροφορίες μπορούν να συλλεχθούν από το γυαλισμένο δοκίμιο, η μικροδομή συνήθως αποκαλύπτεται (γίνεται ορατή) μόνο μετά από χημική προσβολή. Μόνο χαρακτηριστικά, τα οποία παρουσιάζουν διαφορά στην αντανakλαστικότητα τους 10% ή περισσότερο, είναι δυνατόν, να είναι ορατά χωρίς χημική προσβολή. Αυτό ισχύει για μικροδομικά χαρακτηριστικά με μεγάλες χρωματικές διαφορές ή μεγάλες διαφορές στην σκληρότητα, οι οποίες προκαλούν τον σχηματισμό ανάγλυφης επιφάνειας. Ρωγμές, πόροι, οπές και μη μεταλλικά εγκλείσματα μπορούν επίσης να παρατηρηθούν χωρίς χημική προσβολή.

Ένα δοκίμιο, το οποίο είναι μόνο γυαλισμένο, συχνά δεν αποκαλύπτει την μικροδομή του, διότι το φως αντανakλάται προς όλες τις κατευθύνσεις ομοιόμορφα. Το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να ξεχωρίσει πολύ μικρές διαφορές στην αντανakλαστικότητα, οπότε πρέπει να δημιουργηθεί στην εικόνα αντίθεση (contrast). Παρ' ότι αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως χημική προσβολή (etching), δεν αναφέρεται πάντα στην επιλεκτική χημική διαλυτοποίηση, των διαφόρων δομικών χαρακτηριστικών. Οι μεταλλογραφικές μέθοδοι αντίθεσης συμπεριλαμβάνουν ηλεκτροχημικές και χημικές τεχνικές προσβολής.

6.2 Η θεωρία της προσβολής

Η προσβολή είναι κατά κύριο λόγο μια ελεγχόμενη διαδικασία διάβρωσης η οποία είναι αποτέλεσμα της ηλεκτρολυτικής αντίδρασης ανάμεσα σε επιφάνειες του δοκιμίου με διαφορετικό δυναμικό. Τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται για την χημική προσβολή έχουν αναπτυχθεί κυρίως με την μέθοδο της δοκιμής και του λάθους, με κάποια βοήθεια από την γνώση της συμπεριφοράς του υλικού κατά την διάρκεια της διάβρωσης. Η προσβολή συμβαίνει με ηλεκτρολυτική δράση σε δομικές διαφοροποιήσεις στην επιφάνεια του δοκιμίου. Η ηλεκτρολυτική δράση προέρχεται

από τοπικές φυσικές ή χημικές ετερογένειες, οι οποίες καθιστούν κάποια χαρακτηριστικά ανοδικά και άλλα καθοδικά κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες προσβολής.

Τα χημικά διαλύματα προσβολής παράγουν μεταλλογραφική αντίθεση είτε μέσω των κρυσταλλικών εδρών (δηλαδή τα όρια προσβάλλονται με μεγαλύτερη ταχύτητα λόγω των διαφοροποιήσεων στον κρυσταλλογραφικό τους προσανατολισμό), η οποία παράγει βαθμίδες στα όρια των κόκκων και διαφορές αντανακλαστικότητας είτε με την προσβολή ορίων κόκκων ή ορίων φάσεων, η οποία προκαλεί αυλακώσεις. Η επιλεκτική διαλυτοποίηση φάσεων είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί, καθώς απαιτεί μια επιλεκτική χημική αντίδραση. Τα καθιερωμένα χημικά προσβολής έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Τα διαλύματα αυτά έχουν συνήθως τρία κύρια συστατικά: ένα διαβρωτικό μέσο (όπως υδροχλωρικό οξύ), μετατροπέα (όπως το οινόπνευμα) που μειώνει τον ιονισμό και ένα οξειδωτικό μέσο (όπως το υπεροξειδίο του υδρογόνου). Σε ορισμένα διαλύματα το ένα συστατικό έχει ταυτόχρονα δύο από τις παραπάνω λειτουργίες, όπως το νιτρικό οξύ στο Nital, (διάλυμα αλκοόλης και νιτρικού οξέος). Στα ηλεκτρολυτικά διαλύματα προσβολής, το ασκούμενο ρεύμα παίζει τον ρόλο του οξειδωτικού μέσου. Η χρήση του οξειδωτικού μέσου στα διαλύματα πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά και καθώς το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό της βρύσης, αυξάνει τον ρυθμό διαλυτοποίησης, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται στην παρασκευή των διαλυμάτων αποσταγμένο νερό. Με τα καθαρά μέταλλα και τα μονοφασικά κράματα, διαφορά δυναμικού παράγεται ανάμεσα στους κόκκους που έχουν διαφορετικό προσανατολισμό, ανάμεσα στα όρια των κόκκων και το εσωτερικό τους, ανάμεσα στις ακαθαρσίες και την μητρική φάση ή ανάμεσα σε βαθμίδες συγκέντρωσης στα μονοφασικά κράματα.

Στην περίπτωση των δι-φασικών ή πολύ-φασικών κραμάτων, οι διαφορές δυναμικού παρουσιάζονται επίσης ανάμεσα σε φάσεις με διαφορετική σύσταση. Αυτές οι διαφορές δυναμικού χρησιμοποιούνται για να παράγουν ελεγχόμενη διαλυτοποίηση. Η μικροδομή αποκαλύπτεται με την επιλεκτική διαλυτοποίηση της δομής, ξεκινώντας από την επιφάνεια και συνεχίζοντας προς το εσωτερικό. Οι διαφορές στον ρυθμό προσβολής αποκαλύπτουν την δομή. Κατά την διάρκεια της προσβολής, προσβάλλεται η περισσότερο ηλεκτροθετική ανοδική φάση, ενώ η ηλεκτροαρνητική δεν προσβάλλεται σχεδόν καθόλου. Καθώς η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο φάσεις μεγαλώνει, ο χρόνος προσβολής πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά, για να μην υπάρξουν φαινόμενα υπερβολικής διάβρωσης (overetching).

Εξαιτίας του μεγέθους του δυναμικού, ανάμεσα σε διαφορετικές φάσεις, τα διπλά κράματα συνήθως προσβάλλονται πιο γρήγορα απ' ό,τι τα καθαρά μέταλλα και τα μονοφασικά κράματα. Η απρόσβλητη καθοδική φάση είναι υπερυψωμένη και φαίνεται φωτεινή, ειδικά αν έχει σχετικά μεγάλο μέγεθος. Η ανοδική φάση έχει υποχωρήσει κάτω από το αρχικό επίπεδο της γυαλισμένης επιφάνειας και φαίνεται να έχει τραχιά επιφάνεια ανάλογα με το διάλυμα και την σύσταση του κράματος. Η επιφανειακή τραχύτητα θα παρουσιάζει το ανοδικό συστατικό σκοτεινό.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στον χρόνο προσβολής. Καθώς μεγαλώνει η μεγέθυνση στο μικροσκόπιο ο βαθμός προσβολής πρέπει να μειωθεί. Η προσβολή των μονοφασικών καθαρών μετάλλων και κραμάτων συμβαίνει χωρίς την βοήθεια των μεγάλων διαφορών δυναμικού που υπάρχουν στα διφασικά κράματα. Οι διαφορές δυναμικού ανάμεσα στα όρια των κόκκων και στο εσωτερικό τους είναι μικρότερες και ασκούν λιγότερη επιρροή στην προσβολή. Οι ακαθαρσίες οι οποίες επικάθονται στα όρια των κόκκων μπορούν να βελτιώσουν αισθητά την απόδοση της προσβολής. Στα μονοφασικά κράματα και τα καθαρά μέταλλα ένα διάλυμα μπορεί να προσβάλλει τα όρια των κόκκων ή επιλεκτικά να διαλύσει διαφορετικά προσανατολισμένους κόκκους, το οποίο παράγει προσβολή αντίθεσης κόκκων. Το φως που πέφτει κάθετα στα επίπεδα των κόκκων θα αντανακλαστεί με διαφορετικές γωνίες, παράγοντας αντίθεση γκρι επιπέδων στους διαφορετικά προσανατολισμένους κόκκους.

Οπότε, όταν προσβάλλονται μονοφασικά κράματα, ορισμένοι κόκκοι φαίνονται ανοιχτόχρωμοι και φωτεινοί ενώ άλλοι είναι πιο σκουρόχρωμοι με διαφορετικές αποχρώσεις του γκριζου. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από την γωνία που σχηματίζει ο κάθε κόκκος με το προσπίπτον φως. Οι κόκκοι που είναι κάθετοι στο προσπίπτον φως παρουσιάζονται φωτεινοί, ενώ αυτοί που σχηματίζουν γωνία σκοτεινοί. Η σκοτεινότητα των κόκκων εξαρτάται από την γωνία των εδρών τους. Πολλά διαλύματα είναι μίγματα οξέων με κάποιον διαλύτη όπως το νερό. Γενικά, η σύσταση των διαλυμάτων προσβολής δεν είναι κρίσιμη. Αλλά η αποτελεσματικότητα του διαλύματος μπορεί να επηρεασθεί από την σειρά ανάμειξης των χημικών, την καθαρότητά τους ή τυχόν αλλαγές λόγω 'γήρανσής' τους.

6.2.1 Τεχνικές προσβολής – Διαλύματα

Η χημική προσβολή των δοκιμίων είναι μία απλή διαδικασία. Τα αποτελέσματα της χρήσης απλών, γνωστών διαλυμάτων σε συνηθισμένα μέταλλα είναι συνήθως προβλέψιμα και μπορούν να αναπαραχθούν, έστω και με μικρές αλλαγές στην

σύσταση, τον χρόνο ή την θερμοκρασία. Όταν κάποιο ασυνήθιστο κράμα ή μέταλλο πρόκειται να υποστεί προσβολή, πρέπει πρώτα να επιλεγεί το κατάλληλο αντιδραστήριο. Στη βιβλιογραφία είναι διαθέσιμη μεγάλη ποικιλία αντιδραστηρίων συμπεριλαμβανομένου οξέων, βάσεων, μιγμάτων διαλυμάτων, λιωμένα άλατα και αέρια. Οι περισσότερες φόρμουλες έχουν προκύψει εμπειρικά. Επειδή η σύσταση και ο τρόπος χρήσης τους μπορεί να τροποποιηθεί πολύ εύκολα, είναι χρήσιμα και για υλικά άλλα εκτός από αυτά για τα οποία προτείνονται. Ο ρυθμός προσβολής καθορίζεται κυρίως από τον βαθμό διαχωρισμού του αντιδραστηρίου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Και τα δύο συχνά επηρεάζονται από μικρές προσθήκες από άλλα χημικά. Αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί πολλές φόρμουλες περιέχουν μικρές ποσότητες από ουσίες των οποίων η σημασία δεν γίνεται αμέσως εμφανής. Η σταθερότητα πολλών διαλυμάτων προσβολής είναι περιορισμένη. Τα δυναμικά οξειδωσης-αναγωγής ποικίλουν με τον χρόνο.

Τα χημικά αντιδραστήρια συνήθως αναμειγνύονται σε μικρές ποσότητες, γενικά 50 -200mL και τοποθετούνται σε ρηγά δοχεία. Συνήθως εμβαπτίζεται το δοκίμιο μέσα στο διάλυμα. Το δοκίμιο συγκρατείται πάντοτε με λαβίδες, ποτέ με τα χέρια, και ανακινείται ελαφρά, έτσι ώστε τα προϊόντα της αντίδρασης να μην επικαθίσουν πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου.

6.2.2 Χρόνοι προσβολής

Οι χρόνοι προσβολής ποικίλουν από μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες. Όταν δεν δίνονται οδηγίες, η πρόοδος κρίνεται από την εμφάνιση της επιφάνειας κατά την διάρκεια της προσβολής. Η επιφάνεια θα γίνει, συνήθως, λιγότερο αντανάκλαστική (πιο θολή) καθώς η προσβολή προχωράει.

6.2.3 Θερμοκρασία προσβολής

Η θερμοκρασία προσβολής και ο χρόνος προσβολής είναι πολύ στενά συνδεδεμένα. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως επιτρέπει μείωση της διάρκειας. Ωστόσο, αυτό μπορεί να μην είναι συνετό, επειδή η αντίθεση μπορεί να μη είναι ομαλή όταν ο ρυθμός προσβολής γίνεται πολύ γρήγορος. Τις περισσότερες φορές η προσβολή γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

6.2.4 Σφάλματα

Οι πηγές σφαλμάτων είναι πολλές, ειδικά στην ηλεκτροχημική προσβολή. Τα σφάλματα στην προσβολή μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένη ερμηνεία της μικροδομής. Για παράδειγμα, ιζήματα από τα διαλύματα προσβολής και πλυσίματος μπορεί να μεταφραστούν ως μια επιπλέον φάση.

6.2.5 Καθαρισμός

Με το τέλος της χημικής ή ηλεκτροχημικής προσβολής, το δοκίμιο πρέπει να ξεπλένεται σε καθαρό νερό έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα χημικά και να σταματήσει η αντίδραση. Στη συνέχεια ξεπλένεται με οινόπνευμα και στεγνώνεται σε ρεύμα θερμού αέρα. Το οινόπνευμα επιταχύνει το στέγνωμα και εμποδίζει την δημιουργία λεκέδων από το νερό.

6.1.6 Αποθήκευση των δοκιμίων

Όταν τα γυαλισμένα και χημικά προσβεβλημένα δοκίμια πρόκειται να διατηρηθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, πρέπει να προστατευθούν από την ατμοσφαιρική διάβρωση. Οι συσκευές αποξήρανσης είναι ο πιο προσιτός τρόπος αποθήκευσης των δοκιμίων, παρότι μερικές φορές χρησιμοποιούνται πλαστική επίστρωση ή διαφανή μεμβράνη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

7.1 Οπτικό μικροσκόπιο

Το οπτικό μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (εικόνα 7) αποτελεί το πιο σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη της μεταλλογραφίας.



Εικόνα 7: Οπτικό μεταλλογραφικό μικροσκόπιο

Ενώ, το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης (TEM), (εικόνα 7.1) και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), (εικόνα 7.2) ξεπερνούν δύο από τους σημαντικότερους περιορισμούς του οπτικού μικροσκοπίου-την ανάλυση και το βάθος του πεδίου-δεν έχουν καταφέρει να μειώσουν την σημασία του.



Εικόνα 7.1: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης (TEM)
(Πηγή: <http://www.vcbio.science.ru.nl/en/image-gallery/preptem/>)

Όντως, οι περιορισμοί των μικροσκοπίων TEM και SEM αποτελούν τα ισχυρά σημεία του οπτικού μικροσκοπίου και αντίστροφα, έτσι ώστε οι τεχνικές οπτικής και ηλεκτρονικής μικροσκοπίας να είναι συμπληρωματικές και όχι ανταγωνιστικές.



Εικόνα 7.2: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)
(Πηγή: http://electronmicroscopy.org/FE_Form_Function.htm)

Σε κάθε μελέτη υλικών, η πιο σωστή διαδικασία είναι η αρχή της εξέτασης να γίνει πρώτα σε μακροσκοπικό επίπεδο, πριν προχωρήσει σε μικροσκοπικές λεπτομέρειες. Η απλή οπτική εξέταση, ίσως μακροσκοπικής προσβολής, πρέπει να προηγείται της μεγέθυνσης. Όλες οι παρατηρήσεις στο μικροσκόπιο πρέπει να ξεκινάνε με μια μικρή μεγέθυνση όπως αυτή των 100X, η οποία θα ακολουθηθεί σταδιακά από μεγαλύτερες μεγεθύνσεις, έτσι ώστε να εκτιμηθούν ικανοποιητικά τα βασικά χαρακτηριστικά της μικροδομής. Με αυτόν τον τρόπο, τα συνήθη ή μη χαρακτηριστικά της δομής μπορούν να διακριθούν και να αναγνωρισθεί η σπουδαιότητά τους. Η οπτική μικροσκοπία έχει άπειρες εφαρμογές. Η πιο σημαντική εφαρμογή της είναι ο καθορισμός των δομικών φάσεων και η σύσταση της κύριας μάζας του μετάλλου. Αυτές οι παρατηρήσεις είναι τόσο μεγάλης σπουδαιότητας, επειδή η δομή και η σύσταση του υλικού, έχει πολύ μεγάλη επίδραση στις ιδιότητες και την συμπεριφορά του.

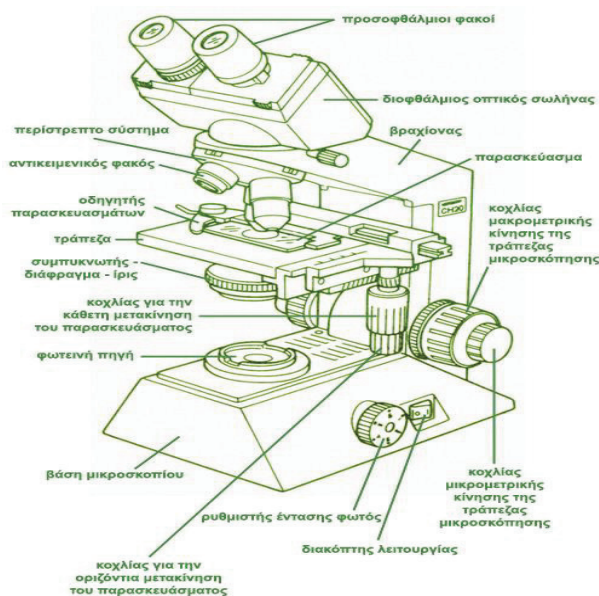
Στην μελέτη με το οπτικό μικροσκόπιο, η επιφάνεια ενός κατάλληλα προετοιμασμένου δοκιμίου εξετάζεται είτε πριν από προσβολή, είτε μετά από προσβολή ή και στις δύο καταστάσεις. Συγκεκριμένα συστατικά μπορούν να παρατηρηθούν πιο εύκολα αν είναι απλώς γυαλισμένη η επιφάνεια, επειδή δεν σκιαγραφούνται με την χημική προσβολή. Εγκλείσματα, νιτρίδια, ορισμένα καρβίδια και ενδομεταλλικές φάσεις μπορούν να παρατηρηθούν και χωρίς χημική προσβολή. Εκτός από τα εγκλείσματα, οι υπόλοιπες φάσεις μπορούν να εξεταστούν με μεγαλύτερη ευκολία αν κατά την διάρκεια το τελικού σταδίου γυαλισματος επέλθει κάποιος βαθμός αποκατάστασης της επιφάνειας του δοκιμίου.

Το δοκίμιο πρέπει να είναι σωστά προετοιμασμένο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σωστή παρατήρηση και μετάφραση της μικροδομής, χωρίς επιπλοκές από σφάλματα

(artifacts). Τα δοκίμια τα οποία αντιδρούν στο πολωμένο φως, όπως τα υλικά με μη-κυβικές δομές, γενικά εξετάζονται χωρίς χημική προσβολή. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις η χημική προσβολή πρέπει γίνει, για είναι δυνατή η παρατήρηση της μικροδομής. Αρχικά χρησιμοποιείται ένα διάλυμα προσβολής γενικής χρήσης, για την αποκάλυψη των ορίων των κόκκων και των φάσεων που υπάρχουν και στην συνέχεια ακολουθεί επιλεκτική προσβολή των φάσεων που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Υπάρχουν αμέτρητες μικροσκοπικές τεχνικές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση της μικροδομής των υλικών, και αυτές οι τεχνικές παράγουν εικόνες οι οποίες έχουν την ανάλυση και την αντίθεση που είναι απαραίτητη για την παρατήρηση των μικροσκοπικών δομικών λεπτομερειών.

7.2 Τα εξαρτήματα του μικροσκοπίου

Τα οπτικά μικροσκόπια διαφέρουν πολύ σε κόστος και ικανότητες. Για την μελέτη των μετάλλων χρησιμοποιείται ανακλώμενο φως. Τα οπτικά μικροσκόπια ταξινομούνται σε 'όρθια' και 'ανεστραμμένα', αυτοί οι όροι αναφέρονται στον προσανατολισμό του γυαλισμένου επιπέδου του δοκιμίου κατά την διάρκεια της παρατήρησης. Τα βασικά εξαρτήματα του οπτικού μικροσκοπίου όπως φαίνεται στο σχήμα 7 είναι:



Σχήμα 7 :Εξαρτήματα οπτικού μικροσκοπίου

(Πηγή: <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/leaf/microscope/microscope.htm>)

7.2.1 Το σύστημα φωτισμού

Μια ποικιλία από πηγές φωτός είναι διαθέσιμες για το οπτικό μικροσκόπιο. Οι χαμηλής τάσης λάμπες βολφραμίου, είναι συνήθως αρκετά καλές για παρατήρηση

αλλά δεν παρέχουν αρκετή ένταση για την φωτογράφιση. Οι λυχνίες βολταϊκού τόξου ξένου, προτιμώνται λόγω της μεγάλης τους έντασης και την ομοιότητα με το φως της ημέρας. Επίσης πολύ συχνή είναι η χρήση λαμπτήρων νήματος πυρακτώσεως βολφραμίου- αλογόνου.

7.2.2 Συγκεντρωτικός φακός

Ένας ρυθμιζόμενος φακός ελεύθερος από σφαιρική παρέκκλιση και κόμη, τοποθετείται μπροστά από την φωτεινή πηγή για να εστιάσει το φως στο επιθυμητό σημείο, στην οπτική διαδρομή. Ένα διάφραγμα πεδίου τοποθετείται μπροστά από αυτόν τον φακό για να μειώσει την εσωτερική ακτινοβολία και τις αντανακλάσεις μέσα στο μικροσκόπιο.

Ένα δεύτερο ρυθμιζόμενο διάφραγμα κάμερας, το διάφραγμα οπής, τοποθετείται στην διαδρομή του φωτός πριν από τον κάθετο φωτιστή. Το άνοιγμα ή το κλείσιμο αυτό του διαφράγματος αλλάζει την ποσότητα του φωτός και την γωνία του κώνου φωτός που εισέρχεται στον αντικειμενικό φακό.

Η βέλτιστη ρύθμιση για αυτήν την οπή ποικίλει ανάλογα με τον αντικειμενικό φακό και είναι ένας συμβιβασμός ανάμεσα στην αντίθεση της εικόνας, την ακρίβεια και το βάθος του πεδίου. Καθώς η μεγέθυνση μεγαλώνει, το διάφραγμα της οπής μειώνεται. Το άνοιγμα αυξάνει την οξύτητα της εικόνας, αλλά μειώνει την αντίθεση. Το κλείσιμο της οπής λειτουργεί αντίστροφα.

7.2.3 Φίλτρα φωτός

Τα φίλτρα φωτός χρησιμοποιούνται για να τροποποιήσουν το φως, για πιο εύκολη παρατήρηση, καλύτερη ποιότητα στις φωτογραφίες ή για την αλλαγή της αντίθεσης.

7.2.4 Αντικειμενικός φακός

Ο αντικειμενικός φακός σχηματίζει την πρωταρχική εικόνα της μικροδομής και είναι το πιο σημαντικό εξάρτημα του οπτικού μικροσκοπίου. Ο αντικειμενικός φακός συλλέγει όσον το δυνατόν περισσότερο φως από το δοκίμιο και συνδυάζει αυτό το φως για να παράγει την εικόνα.

Το αριθμητικό άνοιγμα του αντικειμενικού φακού (NA), ένα μέτρο της ικανότητας του φακού να συγκεντρώνει φως, ορίζεται από την σχέση (7.1) ως εξής:

$$NA = n \sin a \quad (7.1)$$

Όπου n ο μικρότερο δείκτης διάθλασης του υλικού (αέρας ή λάδι) ανάμεσα στο δοκίμιο και τον φακό, και a είναι η μισή γωνία των περισσότερο πλάγιων ακτινών φωτός οι οποίες εισέρχονται στο μπροστινό φακό του αντικειμενικού. Η ικανότητα συλλογής φωτός αυξάνεται με το a .

Οι αντικειμενικοί φακοί συνήθως τοποθετούνται σε μία περιστρεπτή πλάκα, η οποία μπορεί να συγκρατήσει τέσσερις με έξι αντικειμενικούς φακούς.

7.2.5 Προσοφθάλμιος φακός

Ο προσοφθάλμιος φακός, μεγεθύνει την πρωταρχική εικόνα που παράγεται από τον αντικειμενικό φακό. Το μάτι μπορεί να χρησιμοποιήσει την πλήρη ανάλυση του αντικειμενικού φακού. Το μικροσκόπιο παράγει ένα κατ' έμφαση είδωλο του δοκιμίου, στο σημείο της πιο ευκρινής όρασης, γενικά 250 mm από το μάτι. Ο προσοφθάλμιος μεγεθύνει αυτή την εικόνα, επιτρέποντας την επίτευξη χρήσιμων μεγεθύνσεων. Ο τυπικός προσοφθάλμιος έχει πεδίο όρασης διαμέτρου 24 mm.

Απλά προβλήματα όρασης όπως η μυωπία μπορούν να εξομαλυνθούν με την χρήση της ρύθμισης λεπτής εστίασης. Προβλήματα όρασης όπως ο αστιγματισμός δεν μπορούν να διορθωθούν από το μικροσκόπιο και είναι απαραίτητη η χρήση γυαλιών. Οι προσοφθάλμιοι είναι συνήθως εξοπλισμένοι με διάφορα πλέγματα, τετραγωνίδια για την εύρεση, την μέτρηση, αρίθμηση ή σύγκριση των μικροδομών. Ο προσοφθάλμιος μεγαλώνει το πλέγμα και την πρωταρχική εικόνα. Και οι δύο εικόνες πρέπει να εστιαστούν ταυτόχρονα.

Συνήθως χρησιμοποιείται ένας προσοφθάλμιος μεγέθυνσης 10x. Η συνολική μεγέθυνση βρίσκεται με τον πολλαπλασιασμό της μεγέθυνσης του αντικειμενικού φακού, M_o , με την μεγέθυνση του προσοφθάλμιου, M_e . Εάν χρησιμοποιείται επίσης σύστημα μεταβλητού εστιακού μήκους (zoom system), η μεγέθυνση πρέπει να μεταβληθεί ανάλογα.

7.2.6 Αντικειμενοφόρος πλάκα

Μια μηχανική πλάκα παρέχεται για την εστίαση και την μετατόπιση του δοκιμίου, το οποίο τοποθετείται πάνω στην πλάκα και στερεώνεται με κλιπ. Η γυαλισμένη επιφάνεια τοποθετείται κάτω από την οπή για την παρατήρηση. Ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθεί το σύνολο της επιφάνειας και σε υψηλές μεγεθύνσεις είναι δυνατόν να μην μπορεί να γίνει καλή εστίαση, λόγω της απόστασης

λειτουργίας. Το δοκίμιο τοποθετείται πάνω σε ολισθητήριο πάνω στην πλάκα. Επειδή η γυαλισμένη επιφάνεια πρέπει να είναι κάθετη στην ακτίνα φωτός, χρησιμοποιείται πηλός ανάμεσα στην κάτω επιφάνεια του δοκιμίου και το ολισθητήριο. Ένα κομμάτι από τσιγαρόχαρτο τοποθετείται πάνω από την γυαλισμένη επιφάνεια και το δοκίμιο πιέζεται πάνω στον πηλό (πλαστελίνη).

Η πλάκα πρέπει να είναι αρκετά σταθερή και χωρίς δονήσεις. Η κίνησή της ελέγχεται από x - και y - micrometers πρέπει να είναι απαλή και ακριβής. Πολλές πλάκες έχουν κλίμακες μέτρησης των αποστάσεων x - και y -. Επίσης υπάρχουν πλάκες που επιτρέπουν και την κυκλική κίνηση.

7.2.7 Οι ατέλειες των φακών

Πολλές ατέλειες των φακών είναι αποτελέσματα των νόμων της αντανάκλασης και της διάθλασης. Ο δείκτης διάθλασης ενός φακού ποικίλει με το μήκος κύματος του φωτός, και το μήκος εστίασης με τον δείκτη διάθλασης. Οπότε το μήκος εστίασης αλλάζει για διαφορετικά χρώματα φωτός. Μια διαφορετική εικόνα για κάθε μήκος κύματος εστιάζεται σε διαφορετικές αποστάσεις από τον φακό. Αυτή είναι η κατά μήκος χρωματική παρέκκλιση.

Επιπλέον, η μεγέθυνση ποικίλει με το μήκος εστίασης, μεταβάλλοντας έτσι το μέγεθος της εικόνας. Αυτή είναι η παράπλευρη χρωματική παρέκκλιση. Αυτές οι διαφορές πρέπει να εξαιρεθούν για την παραγωγή έγχρωμων φωτογραφιών. Επειδή η επίπεδη επιφάνεια της βέλτιστης εστίασης είναι καμπύλη, χρησιμοποιούνται προσοφθάλμιοι με ίση αλλά αντίθετη καμπυλότητα για την παραγωγή μιας επίπεδης εικόνας.

7.2.8 Ανάλυση

Για να γίνουν ορατές οι μικροδομικές λεπτομέρειες, το οπτικό σύστημα πρέπει να παρέχει αρκετά καλή ανάλυση, αναλυτική ισχύ και καλή αντίθεση εικόνας. Εάν η ανάλυση είναι αποδεκτή αλλά υπάρχει έλλειψη αντίθεσης δεν θα είναι δυνατή η παρατήρηση των λεπτομερειών. Γενικά, η ικανότητα ανάλυσης δύο σημείων ή γραμμών οι οποίες διαχωρίζονται από μία απόσταση d είναι συνάρτηση του μήκους κύματος, λ , του προσπίπτοντος φωτός και του αριθμητικού ανοίγματος, NA , του αντικειμενικού φακού, σχέση (7.2).

$$d = \lambda / NA \quad (7.2)$$

όπου το k είναι 0.5 ή 0.61

Η παραπάνω εξίσωση δεν περιέχει άλλου παράγοντες που επηρεάζουν την ανάλυση όπως ο βαθμός διόρθωσης των αντικειμενικών φακών και η οπτική οξύτητα του μικροσκοπίου. Βασίστηκε στην εργασία του Abbe κάτω από συνθήκες οι οποίες δεν υπάρχουν στην μεταλλογραφία, όπως αυτοφωτιζόμενα σημεία, τέλεια ασπρόμαυρη αντίθεση, εξέταση διερχόμενης δέσμης φωτός, μια ιδανική σημειακή φωτεινή πηγή και απουσία ατελειών των φακών. Για φως μήκους κύματος περίπου 0.55 μm, η απαιτούμενη μεγέθυνση είναι 1100 το NA του αντικειμενικού. Αυτή είναι η αρχή του κανόνα 1000NA για την μέγιστη χρήσιμη μεγέθυνση. Οποιαδήποτε μεγέθυνση μεγαλύτερη από 1000NA θεωρείται άχρηστη.

7.2.9 Βάθος πεδίου

Βάθος πεδίου είναι η απόσταση κατά μήκος του οπτικού άξονα πάνω από την οποία οι λεπτομέρειες της εικόνα παρατηρούνται με αρκετή καθαρότητα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάλυση επηρεάζουν και το βάθος του πεδίου, αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οπότε πρέπει να γίνει ένας συμβιβασμός ανάμεσα σ' αυτές τις δύο παραμέτρους, ο οποίος γίνεται όλο και πιο δύσκολος καθώς η μεγέθυνση μεγαλώνει. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι προτιμότερη μια πολύ μικρή προσβολή για την παρατήρηση σε πολύ μεγάλες μεγεθύνσεις.

Το βάθος πεδίου, T_f , μπορεί να εκτιμηθεί από την σχέση (7.3):

$$T_f = \lambda n^2 - NA^2 / NA \quad (7.3)$$

όπου n είναι ο δείκτης διάθλασης του μέσου ανάμεσα στο δοκίμιο και τον αντικειμενικό ($n \sim 1.0$ για τον αέρα), το λ είναι το μήκος κύματος του φωτός και το NA είναι το αριθμητικό άνοιγμα.

7.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (εικόνα 7.3) έδωσε λύση στο πρόβλημα της μικρής μεγέθυνσης του οπτικού μικροσκοπίου. Η λειτουργία του στηρίζεται στην αρχή ότι υπό ορισμένες συνθήκες ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν φως πολύ μικρού μήκους κύματος.



Εικόνα 7.3: Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)

Η ηλεκτρονική δέσμη έχει μήκος κύματος περίπου 100.000 φορές μικρότερο από το μήκος κύματος του ορατού φωτός. Αυτό σημαίνει ότι η ευκρίνεια μπορεί να αυξηθεί σημαντικά ακόμη και για πολύ μεγάλες μεγεθύνσεις.

Αν και η αρχή του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι όμοια με αυτή του οπτικού η εμφάνισή του είναι εντελώς διαφορετική. Είναι πολύ μεγαλύτερο σε μέγεθος επειδή χρειάζονται τα συγκροτήματα παραγωγής και ελέγχου της ηλεκτρονικής δέσμης. Το όλο σύστημα πρέπει να βρίσκεται σε υψηλό κενό διότι ο αέρας επηρεάζει την κίνηση των ηλεκτρονίων. Οι φακοί του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι ισχυρά μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται από πηνία και η εικόνα εστιάζεται με μεταβολή της εντάσεως των μαγνητικών πεδίων, ενώ στο οπτικό μικροσκόπιο η εστίαση γίνεται διά μεταβολής της αποστάσεως μεταξύ των φακών.

Τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται από θερμαινόμενη κάθοδο κάθοδο βολφραμίου επιταχύνονται από την άνοδο και σχηματίζουν δέσμη υψηλής ταχύτητας. Ένα Σύγχρονο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο μπορεί να δώσει μεγεθύνσεις έως 350.000X.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συσκευές που χρησιμοποιούμε:

1. Ηλεκτρικό μηχάνημα κοπής Discotom 6 της Struers
2. Ηλεκτρική πρέσα εγκιβωτισμού Citopress -10, μεταλλικών δοκιμίων.
3. Ηλεκτρική συσκευή λείανσης / στίλβωσης Tegra – roll 15 system της Struers.
4. Ηλεκτρική μηχανή σκληρομέτρησης Duramin 500 της Struers στην οποία εξετάζονται διάφορα υλικά όπως μέταλλα, κεραμικά ,πλαστικά με όρια φορτίου ($P = 9.8 \text{ N (1 kgf)}$ έως 2452 N (250 kgf) ή 29 N (kgf) έως 7355 N (750 kgf)).

8.1 Πειραματικό στάδιο διαδικασίας κοπής δοκιμίων

Τα αντιπροσωπευτικά δείγματα υλικών προς κοπή που χρησιμοποιούμε έχουν τις εξής διαστάσεις:

- 1 πλακίδιο χάλυβα επιφάνειας $40 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ και πάχους 6 mm .
- 1 πλακίδιο ορείχαλκου επιφάνειας $40 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$ και πάχους 5 mm .
- 1 πλακίδιο αλουμινίου επιφάνειας $40 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$ και πάχους 7 mm .

Η κοπή των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων θα πραγματοποιηθεί με το μηχάνημα κοπής του εργαστηρίου όπως φαίνεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8: Μηχάνημα κοπής

Για τη διευκόλυνση και επιτάχυνση της συνολικής διαδικασίας απαιτείται μία όσο το δυνατόν επίπεδη επιφάνεια με την μικρότερη δυνατή παραμόρφωση. Επομένως η πιο κατάλληλη μέθοδος τεμαχισμού είναι η υγρή κοπή με χρήση λειαντικών, η οποία τελικά θα εισαγάγει τις λιγότερες ζημιές σε σχέση με τον απαιτούμενο χρόνο διεξαγωγής της.

8.1.1 Υγρή κοπή με χρήση λειαντικών

Στην υγρή κοπή με χρήση λιπαντικών θα χρησιμοποιήσουμε ένα τροχό κοπής ο οποίος αποτελείται από το υλικό απόξεσης και το κυρίως ‘‘σώμα’’. Ψυκτικό υγρό

ρίχνεται στον τροχό κατά την διάρκεια της κοπής για να αποφευχθούν ζημιές από την θερμότητα που αναπτύσσεται λόγω τριβής. Το ψυκτικό υγρό επίσης απομακρύνει τα σωματίδια που αποξαινούνται από την επιφάνεια κοπής.

8.1.2 Επιλογή τροχού κοπής

Ανάλογα με το υλικό που έχουμε να τεμαχίσουμε μπορεί να χρειαστούν τροχοί διαφορετικής σύνθεσης. Η σκληρότητα και η ελατότητα του υλικού οπωσδήποτε επιδρούν στην επιλογή του τροχού κοπής (εικόνα 8.1).

A) Για το πλακίδιο χάλυβα θα χρησιμοποιήσουμε τροχό 40A25 με διαστάσεις 250mm (διάμετρος) × 1,5mm (πάχος) × 32mm (οπή) από οξείδιο αλουμινίου σαν υλικό απόξεσης με σώμα από βακελίτη που χρησιμοποιείται για μεσαίας σκληρότητας σιδηρούχα υλικά, (βλέπε παράρτημα 2).



Εικόνα 8.1: Τροχοί κοπής

B) Για το πλακίδιο ορείχαλκου θα χρησιμοποιήσουμε τροχό 30A25 με διαστάσεις 250mm (διάμετρος) × 1,5mm (πάχος) × 32mm (τρύπα) πάλι από οξείδιο αλουμινίου σαν υλικό απόξεσης με σώμα από βακελίτη που χρησιμοποιείται για μεσαίας σκληρότητας σιδηρούχα υλικά, (βλέπε παράρτημα 2).

Γ) Για το πλακίδιο αλουμινίου θα χρησιμοποιήσουμε τροχό 10525 με διαστάσεις 250mm (διάμετρος) × 1,5mm (πάχος) × 32mm (οπή) από Ανθρακοπυρίτιο (Silicon Carbide) σαν υλικό απόξεσης με σώμα από βακελίτη που χρησιμοποιείται για μαλακά σιδηρούχα υλικά, (βλέπε παράρτημα 2).

Τοποθετούμε το υλικό προς κοπή στην βάση στήριξης όπως φαίνεται στην εικόνα 8.2 και προχωρούμε στην διαδικασία της κοπής αυτού στις διαστάσεις που επιθυμούμε για να πραγματοποιηθεί στην συνέχεια ο απαραίτητος εγκιβωτισμός του δοκιμίου. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα τρία δοκίμια (αφού επιλέξουμε τον κατάλληλο τροχό όπως προαναφέραμε).



Εικόνα 8.2: Υλικό προς κοπή στην βάση στήριξης

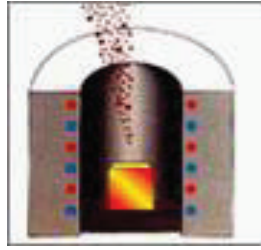
8.2 Πειραματικό στάδιο διαδικασίας εγκιβωτισμού δοκιμίων

Για τον εγκιβωτισμό των δοκιμίων θα χρησιμοποιήσουμε την πρέσα εγκιβωτισμού εργαστηρίου CitoPress-10, (εικόνα 8.3). Τα δείγματα μπορούν να εγκιβωτιστούν σε ρητίνη για να γίνει πιο εύκολη η επεξεργασία τους και για να βελτιωθεί το τελικό αποτέλεσμα. Για καλύτερα αποτελέσματα τα δείγματα πρέπει να καθαρίζονται πριν υποστούν την τεχνική του καθαρισμού. Η επιφάνεια πρέπει να είναι ελεύθερη από ακαθαρσίες και λιπαρές ουσίες για την επίτευξη καλύτερης πρόσφυσης δείγματος-ρητίνης.



Εικόνα 8.3: Πρέσα εγκιβωτισμού εργαστηρίου CitoPress-10

Στο πείραμα επιλέγουμε την τεχνική του θερμού εγκιβωτισμού όπως φαίνεται στην εικόνα 8.4 που συνίσταται για δείγματα υψηλής ποιότητας, ομοιόμορφου μεγέθους και σχήματος και μικρό χρόνο επεξεργασίας.



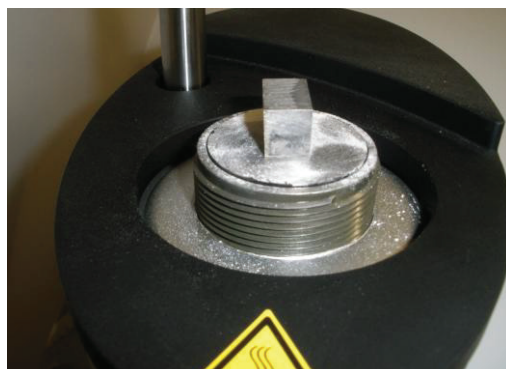
Εικόνα 8.4: Θερμός εγκιβωτισμός.

Θα χρησιμοποιήσουμε θερμοσκληρυνόμενη (thermosetting) φαινολική ρητίνη Bakelite με wood filler (εικόνα 8.5). Για τον εγκιβωτισμό των δοκιμίων από χάλυβα και ορείχαλκο αναμειγνύονται 2 μέρη σκόνης multifast, (βλέπε παράρτημα 3) 1πράσινο (green) και 1καφέ (brown), η οποία ενδείκνυται για μαλακά έως μέτρια σκληρά υλικά. Για το δοκίμιο του αλουμινίου προσθέτουμε 1 μέρος σκόνης multifast black, (βλέπε παράρτημα 3).



Εικόνα 8.5: Ρητίνη Bakelite

Το δείγμα τοποθετείται στην πρέσα εγκιβωτισμού του εργαστηρίου, (σε ένα ειδικό κυλινδρικό καλούπι) όπως φαίνεται στην εικόνα 8.6



Εικόνα 8.6: Τοποθέτηση δείγματος στην πρέσα εγκιβωτισμού

Στην συνέχεια προστίθεται η ρητίνη (εικόνα 8.7) και αφού ρυθμίσουμε τις παραμέτρους εγκιβωτισμού (χρόνος, θερμοκρασία, πίεση κτλ.) για δοκίμια με διάμετρο το μέγιστο 40mm που ενδύκνεται για την συγκεκριμένη πρέσα εγκιβωτισμού (βλέπε παράρτημα 3), το δείγμα υποβάλλεται σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Περιμένουμε μερικά λεπτά, έως ότου στερεοποιηθεί η ρητίνη.



Εικόνα 8.7: Προσθήκη ρητίνης στο καλούπι

Όλες οι πρέσες εγκιβωτισμού της Struers χρησιμοποιούν το νερό σαν ψυκτικό μέσο για να εξασφαλίσουν έτσι το συντομότερο χρόνο εγκιβωτισμού. Αφαιρούμε το καλούπι από το δοκίμιο το οποίο είναι πλέον έτοιμο για τις περαιτέρω διεργασίες. Τα δοκίμια παίρνουν την τελική μορφή τους όπως φαίνεται στην εικόνα 8.8. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα τρία δείγματα.



Εικόνα 8.8: Εγκιβωτισμένο δοκίμιο από ρητίνη multifast

8.3 Πειραματικό στάδιο διαδικασίας μηχανικής επεξεργασίας δοκιμίων

Η μηχανική επεξεργασία δηλαδή η απομάκρυνση υλικού, με χρήση λιπαντικών χωρίζεται σε δυο διαδικασίες : α) την λείανση και β) την στίλβωση οι οποίες πραγματοποιούνται με το μηχάνημα TegraPoll system του εργαστηρίου (εικόνα 8.9).



Εικόνα 8.9: Συσκευή TegraPoll-15 του εργαστηρίου.

A) Για την **λείανση** του δοκιμίου από **γάλυβα** θα χρησιμοποιήσουμε χαρτί με κοκκομετρική διάσταση (Grit): 120 - 220 - 320 - 500 - 800 - 1000 - 1200 -2400. (βλέπε παράρτημα 4).

Για την **στίλβωση** του δοκιμίου θα χρησιμοποιήσουμε δίσκους λείανσης MD (εικόνα 8.10). Ξεκινώντας με Md-dur διαμάντι 6μm στην συνέχεια Md-mol διαμάντι 3 μm και τέλος Md-nap διαμάντι 1 μm. (βλέπε παράρτημα 4).



Εικόνα 8.10: Δίσκος MD και δίσκοι λείανσης MD

B) Για την **λείανση** του δοκιμίου από **ορείγαλκο** θα χρησιμοποιήσουμε χαρτί από ανθρακοπυρίτιο (SiC paper), όπως φαίνεται στην εικόνα 8.11, με κοκκομετρική διάσταση (Grit): 320-500-800-1200-2400. (βλέπε παράρτημα 4).



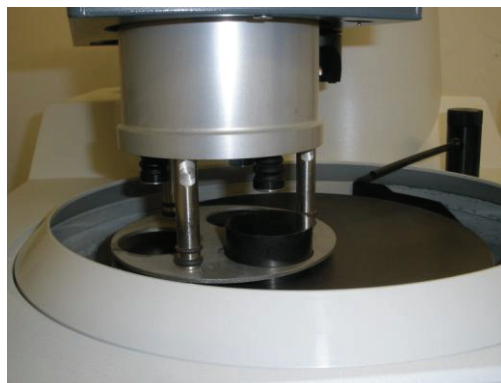
Εικόνα 8.11: Χαρτιά λείανσης από ανθρακοπυρίτιο (SiC paper)

Για την **στύλβωση** του δοκιμίου θα χρησιμοποιήσουμε Md-dac διαμάντι 3μm και OP-Chem. (βλέπε παράρτημα 4).

Γ) Για την **λείανση** του δοκιμίου από **αλουμίνιο** θα χρησιμοποιήσουμε (χαρτί από ανθρακοπυρίτιο) SiC paper, με Grit: 500-800- 1200- 4000. (βλέπε παράρτημα 4).

Για την **στύλβωση** του δοκιμίου θα χρησιμοποιήσουμε Md-mol διαμάντι 3μm και Md-chem με αιώρημα ανθρακοπυρίτιου (coloidal silica) 0,04μm. (βλέπε παράρτημα 4).

Η διαδικασία είναι απλή και έχει ως εξής: Αφού έχουμε τοποθετήσει το κατάλληλο χαρτί λείανσης-στύλβωσης εισάγουμε το δοκίμιο στην κυκλική βάση στήριξης όπως φαίνεται στην εικόνα 8.12 και ρυθμίζουμε τις παραμέτρους λείανσης-στύλβωσης (βλέπε παράρτημα 4), αναλόγως του υλικού προς επεξεργασία όπως προαναφέραμε.



Εικόνα 8.12: Τοποθέτηση δοκιμίου στην συσκευή για στύλβωση

Μετά από μερικά λεπτά τα δοκίμια αποκτούν την τελική μορφή τους και είναι έτοιμα για το τελικό πειραματικό στάδιο της σκληρομέτρησης.

8.4 Πειραματικό στάδιο διαδικασίας εύρεσης αριθμού σκληρότητας δοκιμίων

8.4.1 Εισαγωγή

Τα υλικά των δοκιμίων προς σκληρομέτρηση αποτελούνται από:

- 1) Χάλυβα με τιμή κατασκευαστή 300HV
- 2) Ορείχαλκο με τιμή κατασκευαστή 50 - 100HV
- 3) Αλουμίνιο με τιμή κατασκευαστή 20HV

Για την διευκόλυνση της εύρεσης του αριθμού σκληρότητας των δοκιμίων κρίθηκε κατάλληλο να γίνει σαφής και λεπτομερής μετάφραση του εγχειριδίου της μηχανής σκληρομέτρησης STRUERS DURAMIN-500 από την Αγγλική στην Ελληνική γλώσσα έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για διάφορα πειράματα και από τις επόμενες γενιές φοιτητών.

Η μηχανή σκληρομέτρησης που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η Duramin 500 της Struers όπως φαίνεται στην εικόνα 8.13.



Εικόνα 8.13: Μηχανή σκληρομέτρησης εργαστηρίου, Duramin 500

Τεχνικά χαρακτηριστικά της Duramin 500 (βλέπε παράρτημα 1).

- Μοναδικά όρια φορτίου δοκιμής από 9.8 N (1 kgf) έως 2452 N (250 kgf) ή 29 N (kgf) έως 7355 N (750 kgf), (υπενθυμίζεται ότι 1 kgf = 1000 gf = 1000 p = 9.81 N) δίνει την δυνατότητα στην Duramin-500 να αντικαταστήσει ορισμένες απλές μηχανές
- Κατάλληλη για Vickers, Brinell, Rockwell και Superficial Rockwell δοκιμές
- Μοναδικός πατενταρισμένος - κρεμαστός, αυτόματος 5-θέσιος πυργίσκος (προαιρετικός) ο οποίος μπορεί να εργαστεί σε πεδίο φορτίου ≥ 3 kgf
- Προαιρετική αυτόματη διόρθωση ύψους της τράπεζας δοκιμής (z-axis)
- Μεγάλη, έγχρωμη οθόνη αφής για εύκολο χειρισμό

- Διαισθηση του χρήστη υποδοχής με εύκολη επιλογή των παραμέτρων από τα μενού pull-down
- Καινοτομική, αιωρούμενη-πατενταρισμένη τεχνολογία κλειστού-βρόχου, που εξασφαλίζει ακριβή φορτία δοκιμής
- Ο καθορισμός της τεχνολογίας τεχνικής εστίασης επιτρέπει στο σύστημα να εστιάσει αυτόματα και γρήγορα
- Πλήρης αυτόματοι κύκλοι δοκιμής που απαλλάσσουν την επίδραση του χειριστή
- Αυτόματη αλλαγή του διεισδυτή και του αντικειμενικού φακού που εξαλείφει την υπ 'αριθμόν ένα αιτία απόκλισης της μηχανής
- Αυτόματη εκτίμηση της εικόνας (option) αποτυπώματος για Vickers και Brinell που εξασφαλίζει την ψηλότερη δυνατή επανάληψη και αναπαραγωγή
- Προσαρμοσμένος led φωτισμός για βέλτιστη αντίθεση της εικόνας
- Δυνατότητα διόρθωσης για τα μετρούμενα δείγματα με κοίλες / κυρτές επιφάνειες
- Ενσωματωμένη στατιστική εκτίμηση και αναφορές για εκτύπωση
- USB και Ethernet θύρες για σύνδεση με εκτυπωτή, ποντίκι και LAN

8.4.2 Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (χάλυβα) κατά Vickers

Η διαδικασία της σκληρομέτρησης κατά Vickers είναι η εξής:

Αρχικά τοποθετούμε τον αδαμάντινο διεισδυτή Vickers στην μηχανή (εικόνα 8.14) ο οποίος έχει σχήμα κανονικής τετραγωνικής πυραμίδας με γωνία απέναντι εδρών 136° .



Εικόνα 8.14: Τοποθέτηση αδαμάντινου διεισδυτή Vickers

Στην συνέχεια βάζουμε το δοκίμιο το οποίο έχει υποστεί πολύ καλή λείανση, στην βάση στήριξης. Το επόμενο βήμα είναι η σταθερή συγκράτηση του δοκιμίου με τον κώνο μύτης της μηχανής, η οποία επιτυγχάνεται με το ανέβασμα της βάσης στήριξης

του δοκιμίου. Εισάγουμε τα κατάλληλα δεδομένα στην συσκευή, δηλαδή:

A) Επιθυμητή μέθοδος σκληρομέτρησης : **HV10 (VICKERS HARDNESS 10)**

B) Δύναμη φορτίου: **98.10 N (Newton)**

Γ) Χρόνος εφαρμογής φορτίου **3 sec (δευτερόλεπτα)**

και στην συνέχεια πατάμε το πλήκτρο της μέτρησης (measure), ο διεισδυτής έρχεται κάθετα σε επαφή με το δοκίμιο (εικόνα 8.15) και αφήνει το αποτύπωμα του πάνω σ' αυτό.



Εικόνα 8.15: Διαδικασία εφαρμογής φορτίου κατά Vickers

Η μηχανή σκληρομέτρησης έχει σύστημα αυτόματης επιβολής και απελευθέρωσης του εκλεγόμενου κάθε φορά φορτίου. Η μέτρηση της σκληρότητας του δοκιμίου γίνεται αυτόματα από την μέτρηση των διαστάσεων του αποτυπώματος μέσω ενός ενσωματωμένου συστήματος φωτισμού και μεγεθυντικών φακών και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη (εικόνα 8.16) . Κατά Vickers, ο αριθμός σκληρότητας θα είναι ο λόγος του επιβαλλόμενου φορτίου προς το εμβαδόν της παράπλευρης επιφάνειας του κοίλου αποτυπώματος της ουλής .



Εικόνα 8.16: Αποτέλεσμα σκληρομέτρησης κατά Vickers

Ο αριθμός σκληρότητας κατά **Vickers10** είναι ο εξής: **333HV10**

8.4.3 Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (χάλυβα) κατά Rockwell B

Η διαδικασία της σκληρομέτρησης κατά Rockwell B είναι η εξής:

Επιλέγουμε και τοποθετούμε την κατάλληλη σφαίρα διείδυσης διαμέτρου 1/16" Brinell στην μηχανή και εισάγουμε τα κατάλληλα δεδομένα:

A) Επιθυμητή μέθοδος σκληρομέτρησης : **HRB-STANDARD**

B) Αρχικό φορτίο: **98.10 N (Newton)**

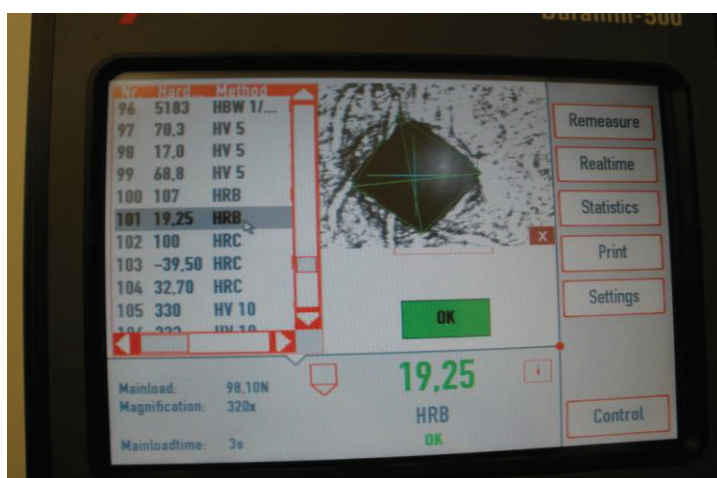
Γ) Κυρίως φορτίο: **981,00 N**

Δ) Χρόνος εφαρμογής αρχικού φορτίου: **1 sec**

Ε) Χρόνος εφαρμογής κύριου φορτίου **3 sec (δευτερόλεπτα)**

στην συνέχεια πατάμε το πλήκτρο της μέτρησης (measure), ο διείδυτής έρχεται κάθετα σε επαφή με το δοκίμιο και αφήνει ένα αποτύπωμα (το οποίο έχει σχήμα ουλής) πάνω σ' αυτό, μετά από λίγα δευτερόλεπτα εμφανίζεται το αποτέλεσμα στην οθόνη (εικόνα 8.17).

Ο αριθμός σκληρότητας κατά **Rockwell B** είναι ο εξής: **19,25HRB**



Εικόνα 8.17: Αποτέλεσμα σκληρομέτρησης κατά Rockwell B

8.4.4 Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (χάλυβα) κατά Rockwell C

Η διαδικασία της σκληρομέτρησης κατά Rockwell B είναι η εξής:

Επιλέγουμε και τοποθετούμε την κατάλληλο διείδυτή (αδαμάντινο κώνο 120°) στην μηχανή και εισάγουμε τα κατάλληλα δεδομένα:

A) Επιθυμητή μέθοδος σκληρομέτρησης : **HRC-STANDARD**

B) Αρχικό φορτίο: **98.10 N**

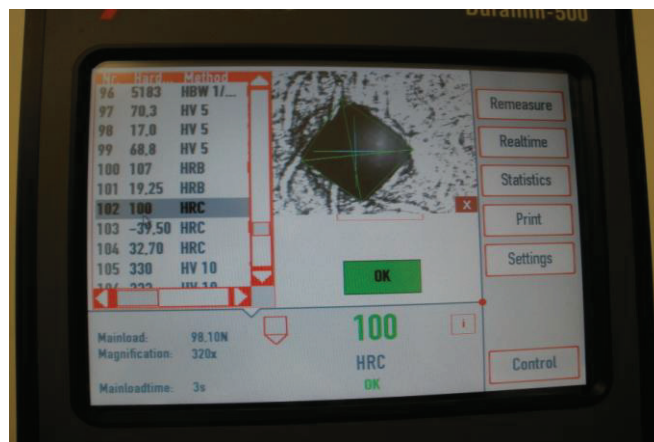
Γ) Κυρίως φορτίο: **1471,50 N**

Δ) Χρόνος εφαρμογής αρχικού φορτίου: **1 sec**

Γ) Χρόνος εφαρμογής κύριου φορτίου **3 sec**

στην συνέχεια πατάμε το πλήκτρο της μέτρησης (measure), ο διεισδυτής έρχεται κάθετα σε επαφή με το δοκίμιο και αφήνει ένα αποτύπωμα πάνω σ' αυτό. Στην μηχανή επιδεικνύεται κατευθείαν η σκληρότητα κατά Rockwell C σε kp / mm^2 συναρτήσει του αποτυπώματος και του φορτίου επιβολής, (εικόνα 8.18).

Ο αριθμός σκληρότητας του δοκιμίου από **χάλυβα** κατά **Rockwell C** είναι ο εξής: **100HRC**.



Εικόνα 8.18: Αποτέλεσμα σκληρομέτρησης κατά Rockwell C

8.4.5 Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (ορείχαλκου) κατά Vickers

Η διαδικασία για την εύρεση του αριθμού σκληρότητας του ορείχαλκου κατά Vickers (HV10) είναι η ίδια με αυτήν του χάλυβα κα έχει ως εξής:

Τοποθετούμε ξανά τον αδαμάντινο διεισδυτή Vickers στην μηχανή ο οποίος έχει σχήμα κανονικής τετραγωνικής πυραμίδας με γωνία απέναντι εδρών 136° (εικόνα 8.19).



Εικόνα 8.19: Αδαμάντινος διεισδυτής Vickers 136°

Στην συνέχεια βάζουμε το δοκίμιο το οποίο έχει υποστεί πολύ καλή λείανση, στην βάση στήριξης. Το επόμενο βήμα είναι η σταθερή συγκράτηση του δοκιμίου με τον κώνο μύτης της μηχανής, η οποία επιτυγχάνεται με το ανέβασμα της τράπεζας δοκιμής. Εισάγουμε τα ίδια δεδομένα στην μηχανή, όπως και στην διαδικασία του δοκιμίου από χάλυβα, δηλαδή:

A) Επιθυμητή μέθοδος σκληρομέτρησης : **HV10 (VICKERS HARDNESS 10)**

B) Δύναμη φορτίου: **98.10 N (Newton)**

Γ) Χρόνος εφαρμογής φορτίου **3 sec (δευτερόλεπτα)**

και στην συνέχεια πατάμε το πλήκτρο της μέτρησης (measure), ο διεισδυτής έρχεται κάθετα σε επαφή με το δοκίμιο και αφήνει το αποτύπωμα του πάνω σ' αυτό.

και τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Ο αριθμός σκληρότητας κατά **Vickers10** είναι ο εξής: **95HV10**

8.4.6 Εύρεση αριθμού σκληρότητας δοκιμίου (αλουμινίου) κατά Vickers

Η διαδικασία για την εύρεση του αριθμού σκληρότητας του δοκιμίου από αλουμίνιο κατά Vickers (HV10) είναι η ίδια με αυτήν του χάλυβα και ορείχαλκου (ίδιες τιμές δεδομένων) έτσι ώστε να διαπιστωθεί η απόκλιση των αριθμών σκληρότητας για την ορθή σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των τριών αυτών δοκιμίων, και τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Ο αριθμός σκληρότητας κατά **Vickers10** είναι ο εξής: **25HV10**

8.5 Συμπεράσματα - Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (πίνακας 8) της σκληρότητας των τριών δοκιμίων (χάλυβας, ορείχαλκος και αλουμίνιο) αφενός μεν επαλήθευσαν τα όρια των τιμών της σκληρότητας που δίνει η κατασκευάστρια εταιρία και αφετέρου την μεγάλη απόκλιση των αριθμών σκληρότητας που υπάρχει μεταξύ τους καθώς το δοκίμιο του χάλυβα απεδείχθη ότι έχει την μεγαλύτερη σκληρότητα σε σχέση με αυτό του ορείχαλκου και του αλουμινίου που ακολουθεί τελευταίο στην κατάταξη.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα σκληρομέτρησης των δοκιμίων αναλόγως της χρησιμοποιούμενης μεθόδου

Υλικό δοκιμίου	Χρησιμοποιούμενη μέθοδος	Φορτίο εφαρμογής (Newton)		Χρόνος εφαρμογής φορτίου (sec)		Αποτέλεσμα σκληρομέτρησης
Χάλυβας	HV10	98.10		3		333HV10
Χάλυβας	HRB - STANDARD	98.10	981,00	1	3	19,25HRB
Χάλυβας	HRC - STANDARD	98.10	1471,50	1	3	100HRC
Ορείχαλκος	HV10	98.10		3		95HV10
Αλουμίνιο	HV10	98.10		3		25HV10

Σπουδαίο ρόλο στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων έπαιξε και η μηχανική επεξεργασία των δοκιμίων (λείανση-στίλβωση) καθώς και η μετρητική αβεβαιότητα.

Συμπερασματικά επιβεβαιώνεται η μεγάλη σπουδαιότητα της χρησιμοποίησης του χάλυβα σαν υλικό κατασκευής γεωργικών μηχανημάτων, διότι κατά την εργασία των μηχανημάτων στο χωράφι (π.χ. όργωμα) αναπτύσσονται μεγάλες εξωτερικές δυνάμεις που επιδρούν αρνητικά σε αυτά φθείροντας τα και μειώνοντας την διάρκεια ζωής τους.

Βιβλιογραφία

- ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM, 2004.
- Metals Handbook, Desk Edition, ASM, 1997.
- Ätzverfahren, M. Beckert und H. Klemm, Handbuch der metallographischen, VEB
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1976.
- Hetenyi, John Wiley & Sons, Inc Handbook of Experimental Stress Analysis,, 1950,
pp 22-25
- E. Weck, E. Leistner, Metallographische Anleitung zum Farbätzen nach dem
Tauchverfahren, , Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf, 1982
- Metals Handbook, Ninth Edition, Vol. 8 "Mechanical Testing", American Society for
Metals, 1985, Hardness Testing pp 71-113.
- M. ASHBY and D.JONES, Engineering Materials 1, Pergamon Press 1987
- D. Bartley and G. Liden, Measurement Uncertainty, Annals of Occupational Hygiene,
Vol. 52, No. 6, pp. 413–417, 2008
- Tabor, D; The Hardness of Metals, Oxford University Press, 2007
- Vander Voort, Georg F., Metallography Principles and Practice, ASM
International, 1999
- Palmqvist, S: Method for determining the toughness of brittle materials, particularly
sintered carbides, Jernkontorets annaler, volume 141, 1957
- Hardness Testing, 2nd Ed., ASM International, 1999, pp 29, 121
- Kay Geels, “Metallographic and Materialographic specimen preparation,
light microscopy, image analysis and hardness testing”, ASTM International,
2006
- A. Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά, 8η εκδ, Πάτρα, 2008.
- A. Βακάλης, Επιστήμη και τεχνολογία υλικών, Θεσσαλονίκη, 2009).
- Γ. Χρυσουλάκης, Δ. Παντελής, Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών,
εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 2003.
- A. Κορωναίος, Γ. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 4, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006.
- A. Κορωναίος, Γ. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 3, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005.
- Θ. Κερμανιδη, Ε.Μαστρογιαννη, Εισαγωγή στην επιστήμη των υλικών, Πάτρα 1991
- Π. Θεοχαρη, Πειραματική Αντοχή Υλικών, Αθήνα 1975
- KTX 2008 Έγκριση Νέου Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού
Σκυροδέματος (ΦΕΚ 1416B/17.7.2008)

- Μ. Ε. Μαθιουλάκης, Μέτρηση, Ποιότητα Μέτρησης και Αβεβαιότητα, Έκδοση Ελληνικής Ένωσης Εργαστηρίων, Αθήνα, 2004.
- Π. Μπιζρέμης, Γενικές Απαιτήσεις για την Ικανότητα των Εργαστηρίων Δοκιμών και Διακριβώσεων σύμφωνα με το Πρότυπο ISO 17025 : 2005 και Εφαρμογή αυτού σε Εργαστήριο Υπολειμμάτων Παρασιτοκτόνων σε Τρόφιμα, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αγρίνιο 2010.
- Γ. Ν. Χαϊδεμενόπουλος, Σημειώσεις εργαστηρίου Φυσικής Μεταλλουργίας Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Εργαστήριο Υλικών, Βόλος, 2005
- Γ. Κ. Μπαράκος, , Σημειώσεις εργαστηρίου αντοχής υλικών, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πάτρας, 2009
- Κ. Μέντρεα ,Π. Παναζοπούλου, Έλεγχος Ποιότητας και Τεχνολογία Δομήσιμων Υλικών, Οπτική Μικροσκοπία, Σημειώσεις εργαστηρίου Έλεγχου Ποιότητας και Τεχνολογίας Δομήσιμων Υλικών, Τ.Ε.Ι Πειραιά
- Γ. Καϊσαρλής, Συστηματική Προσέγγιση Εκτίμησης της Αβεβαιότητας κατά τη Διεξαγωγή Μετρήσεων Βλαπτικών Παραγόντων σε Βιομηχανικό Περιβάλλον, Νοέμβριος 2010.

Πηγές Διαδικτύου

<http://www.mee-inc.com/microhar.html>

<http://www.britannica.com/bcom/eb/article/2/0,5716,212+1,00.html>

<http://users.skynet.be/gentec/thrmsel.htm>

<http://www.hardnesstesters.com/>

<http://www.engineering.usu.edu/mae/faculty/thfronk/mae2060/chap6/sld033>

http://www.calce.umd.edu/TSFA/Hardness_ad_.htm

http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hardness_test_methods

<http://www.gordonengland.co.uk/hardness/rockwell.htm>

<http://www.struers.com>

<http://www.tutorvista.com>

<http://www.neng.usu.edu/>

<http://www.brystartools.com/servlet/the-Indenters/Categories>

http://www.instron.us/wa/home/default_en.aspx

<http://www.apmtesting.com/testing-services/test-methods/ASTM-E384.php>

<http://www.dowcorning.com> a: Ref. By Pecht Handbook of Electronic Package Design

<http://www.vcbio.science.ru.nl/en/image-gallery/preptem/>

http://electronmicroscopy.org/FE_Form_Function.htm

<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/leaf/microscope/microscope.htm>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ DURAMIN 500.
(ΑΝΑΛΥΟΝΤΑΙ ΤΡΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΤΟΥ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ
ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ DURAMIN 500)

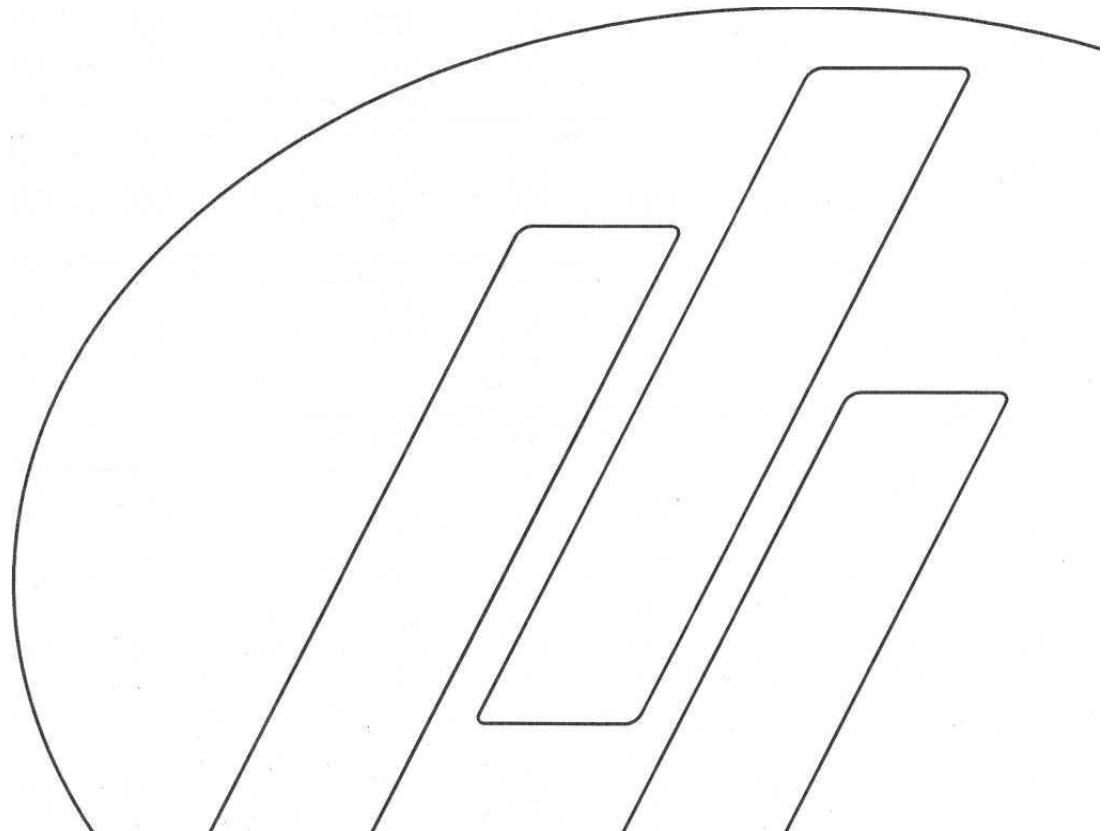
Duramin – 500



Εγχειρίδιο οδηγιών

Εγχειρίδιο No.: 15837001

Ημερομηνία έκδοσης 01.08.2006



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ

Προοριζόμενη χρήση

Τεχνικά στοιχεία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΞΕΚΙΝΗΜΑ

Παραλαβή της μηχανής

Έλεγχος του περιεχομένου της συσκευασίας

Χειρισμός της μηχανής

Χειρισμός με το ανυψωτικό μηχανήμα

Χειρισμός με το γερανό

Κορυφή πάγκου μηχανής

Απαιτήσεις χώρου

Ο χώρος εργασίας

Διαστάσεις της μηχανής

Οι διαστάσεις της βάσης στήριξης (εξάρτημα)

Ηλεκτρικές συνδέσεις

Θέση σε λειτουργία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Σχέδιο της μηχανής σκληρομέτρησης

Διεισδυτές

Τοποθετώντας τον διεισδυτή

Κώνος μύτης

Τοποθετώντας τον κώνο μύτης

Αποσυναρμολόγηση του κώνου μύτης

Τράπεζα δοκιμής (χειροκίνητη)

Τράπεζα δοκιμής (αυτόματη)

Οπτικά

Αντικατάσταση φακού

Αντικατάσταση φακού χωρίς το επίγειο σώμα

Αντικατάσταση φακού με το επίγειο σώμα

Συνδέσεις
Θύρα USB 2.0
Θύρα RJ 45
Θύρα RS 232

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Γενικά
Καθαρισμός του συστήματος φακών
Αντικαταστάσεις ασφαλειών
Ρύθμιση της τάσης ιμάντα στην κίνηση τράπεζας δοκιμής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Οθόνη και εισαγωγή στοιχείων
Διακόπτης - σύνδεση
Σχεδιάγραμμα οθόνης
Περιοχή ελέγχου και πληροφοριών
Τρέχουσα λειτουργία μεθόδου
Πλήκτρα (softkeys)
Έλεγχος των τμημάτων μηχανής
Σβήστε την μηχανή
Σβήσιμο
Κατάσταση αναμονής
Πίνακας μετατροπών
Δομή μενού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Γενικά
Στερέωση ενάντια στον κώνο μύτης
Μέτρηση με σύσφιξη
Μέτρηση χωρίς σύσφιξη
Αξιολόγηση αποτυπώματος δοκιμής
Εστίαση εικόνας
Ρύθμιση θέσης
Επίδειξη επιλογών

Ζουμ
Χειροκίνητη αξιολόγηση
Αυτόματη αξιολόγηση
Επανάληψη μέτρησης
Μέτρηση μήκους
Ταξινόμηση των μετρημένων τιμών
Οπτική μέτρηση με τη χειροκίνητη αξιολόγηση
Οπτική μέτρηση με την αυτόματη αξιολόγηση
Μέτρηση διαφοράς βάθους
Διαδικασία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ

Προγραμματισμός των στατιστικών
Παράμετροι εισαγωγής
Ελάχιστο σκληρότητας
Μέγιστο σκληρότητας
Χαμηλότερο όριο στατιστικών
Ανώτερο όριο στατιστικών
Εικόνες στατιστικών
Χρονική εξέλιξη
Ιστόγραμμα
Τιμές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΝΑΦΟΡΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Σχέδιο
Πεδία χρηστών
Δημιουργία της αναφοράς δοκιμής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Σύνδεση
Διαχείριση χρηστών
Γενικά
Πυργίσκος
Εξοπλισμός του πυργίσκου / αλλαγή εξοπλισμού

Πυργίσκος αναφοράς
Πεδία
Μέθοδοι
Νέες μέθοδοι
Επεξεργασία μεθόδων
Διαγραφή μεθόδων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Διαγράψτε μια τιμή
Διαγραφή όλων
Διαχείριση δεδομένων
Φόρτωμα δεδομένων
Αποθήκευση
Εγγραφή σειράς μετρήσεων
Διαγραφή επιλογής
Αρχειοθέτηση επιλογής
Αρχειοθέτηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΡΗΣΤΩΝ

Νέος χρήστης
Αλλαγή Χρήστη
Διαγραφή χρήστη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

«Τριπλή Διόρθωση»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13: ΜΥΝΗΜΑΤΑ ΛΑΘΟΥΣ

Παράδειγμα
Ανίχνευση λάθους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14: ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Τράπεζες δοκιμής
Επίπεδη τράπεζα δοκιμής (τράπεζα διαμαντιού τύπου PKD)
Τράπεζα δοκιμής σχήματος V

Τράπεζες δοκιμής σχήματος V, μειωμένων διαστάσεων

Τράπεζες δοκιμής σχήματος V, στενά

Τράπεζες δοκιμής για τη δοκιμή σφαιρών

Δεισδυτές

Διαμάντια δοκιμής σκληρότητας

Συγκρατητής σφαίρας (σκληρή σφαίρα μετάλλου που εφαρμόζεται υπό πίεση)

Συγκρατητής σφαίρας (σκληρή σφαίρα μετάλλου εναλλάξιμη)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Σχέδιο της μηχανής σκληρομέτρησης

Η μηχανή σκληρομέτρησης M4 αποτελείται ουσιαστικά από το πλαίσιο, την κάθετη τράπεζα δοκιμής, την βάση στήριξης και το σύστημα ελέγχου με την δυνατότητα οπτικής μέτρησης, ανάλογα με την έκδοση που αγοράζεται.

Πλαίσιο μηχανής

Το πλαίσιο μηχανής κατασκευάζεται από γκρίζο χυτοσιδήρο. Ενσωματωμένα στο πλαίσιο μηχανής είναι όλα τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα καθώς επίσης και όλες οι συσκευές κίνησης.

Βάση στήριξης

Στη βάση στήριξης, παρέχονται τα συρτάρια με κλειδαριά για την τοποθέτηση εξαρτημάτων, καθώς επίσης και για τη χρήση τους ως αποθηκευτικοί χώροι.

Τράπεζα δοκιμής

Η τράπεζα δοκιμής έχει διάμετρο $d = 90$ χιλ. και προσαρμόζονται σ' αυτήν τα δοκίμια που το μέγιστο βάρος τους φτάνει τα 50 κιλά. Η κάθετη ρύθμιση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός άξονα τραπεζοειδούς σπειρώματος που χρησιμοποιείται από τον χειριστή με την βοήθεια ενός χειροτροχού. Ο άξονας προστατεύεται με τη βοήθεια ενός καλύμματος.

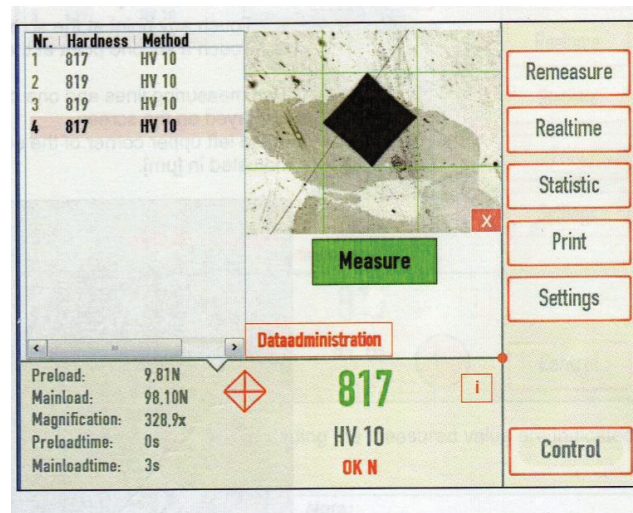
Οπτικά

Τα οπτικά εκτελούν μια οπτική ανάλυση του αποτυπώματος στο όργανο ελέγχου. Τα οπτικά είναι βαθμολογημένα στο εργοστάσιο. 6 εναλλάξιμοι φακοί είναι διαθέσιμοι (βλ. κατωτέρω σε αυτό το κεφάλαιο). Μετά από τον κύκλο μέτρησης, τα οπτικά γυρίζουν αυτόματα μέσα. Μια αυτόματα εστιασμένη εικόνα του αποτυπώματος δοκιμής εμφανίζεται στην οθόνη. Η μέτρηση εκτελείται αυτόματα και μπορεί επίσης να εκτελεσθεί με το χέρι κατόπιν.

Έλεγχοι

Η λειτουργία και ο προγραμματισμός της μηχανής ελέγχεται με ένα αριθμητικό πληκτρολόγιο με τρεις βασικές ομάδες πλήκτρων και μια οθόνη TFT με δυνατότητα γραφικών (8,4" LCD μόνιτορ).

Το λογισμικό είναι ελεγχόμενο από το μενού επιλογής και προσφέρει πολυάριθμες επιλογές για μεθόδους δοκιμών και μετατροπές καθώς επίσης και στατιστική ανάλυση. Επίσης ενσωματώνονται δύο θύρες USB 2.0, 1 σειριακή RS232 και μια σύνδεση Ethernet RJ45 για τη μετάδοση δεδομένων ή για σκοπούς τηλεχειρισμού. Ο έλεγχος προσαρμόζεται με το SPC 100%.



Συσκευές ασφάλειας

Ένα κουμπί έκτακτης διακοπής (EMERGENCY-STOP) βρίσκεται στη δεξιά πλευρά της μηχανής. Η μηχανή είναι αυτόματα σβησμένη όταν το κουμπί είναι πιεσμένο.

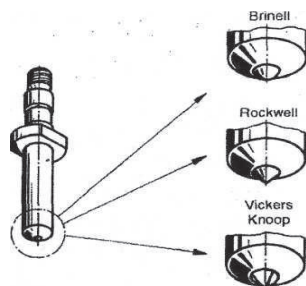
- Για να απελευθερώσετε, γυρίστε το κουμπί δεξιόστροφα.

Κίνδυνος:

Πιέστε το κουμπί ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ (EMERGENCY-STOP) σε περίπτωση κατάστασης κινδύνου. Δεν επιτρέπονται τροποποιήσεις των συσκευών ασφάλειας της μηχανής από αναρμόδιους.

Διεισδυτές

Η μηχανή μπορεί να εφοδιαστεί με ποικίλους διαφορετικούς διεισδυτές.



Σημείωση:

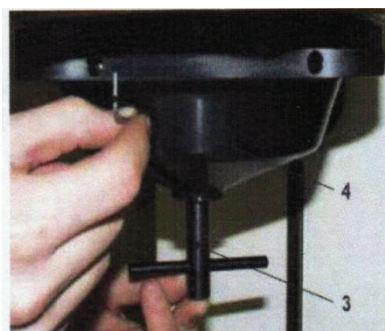
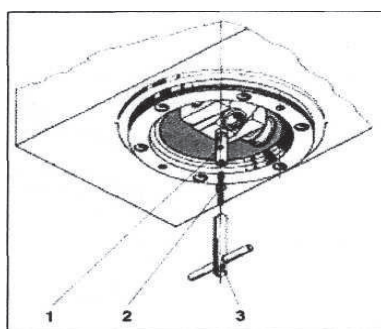
Κρατήστε πάντα τους διεισδυτές στην πλαστική θήκη όταν δεν είναι σε χρήση για να αποφύγετε τη ζημία.

Τοποθετώντας τον διεισδυτή

Κίνδυνος:

Πριν να τοποθετήσετε ή να αφαιρέσετε έναν διεισδυτή, εξασφαλίστε ότι η μηχανή σκληρομέτρησης είναι σβησμένη από τον κεντρικό διακόπτη!

- Εισαγάγετε τον διεισδυτή (2) στην υποδοχή (1) χρησιμοποιώντας το κλειδί (3).
- Σφίξτε με το παρεχόμενο κλειδί άλεν SW 2,5 (4).



Σημείωση :

Ο κώνος μύτης δεν είναι απαραίτητο να αποσυναρμολογηθεί για την πραγματοποίηση των αλλαγών του διεισδυτή .

Κώνος μύτης

Κατά την εκτέλεση των δοκιμών σκληρότητας, ο κώνος μύτης απαιτείται για τη στερέωση του δοκιμίου στη σωστή θέση. Επιπλέον, ο κώνος μύτης παρέχει τα μέσα της προστασίας των διεισδυτών και τους εναλλάξιμους φακούς. Για αυτόν τον λόγο, πρέπει να αποσυναρμολογηθεί μόνο εάν η μέτρηση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τον τοποθετημένο κώνο μύτης.

Σημείωση:

Καμία μέτρηση με τη στερέωση του δοκιμίου δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί αν ο κώνος μύτης δεν είναι τοποθετημένος.

Τοποθετώντας τον κώνο μύτης

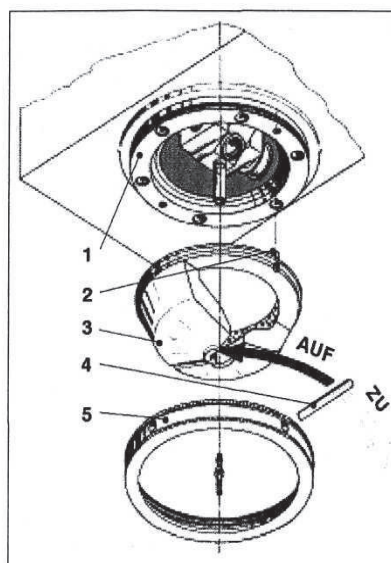
Κίνδυνος:

Πριν από τη συναρμολόγηση ή το λύσιμο του κώνου μύτης, εξασφαλίστε ότι η μηχανή σκληρομέτρησης είναι σβησμένη από τον κεντρικό διακόπτη!

Εισαγωγή κώνου μύτης (3) με το παξιμάδι (5).

Ανύψωση κώνου μύτης (3) και παξιμάδι καλύμματος (5) προς τη φλάντζα οδηγό (1) σημειώνοντας τη θέση της χαραγμένης ακίδας οδηγού (2)

Βιδώστε την κεφαλή κοχλία (5) στη φλάντζα οδηγό (1) και σφίξτε με δύναμη (4).



Αποσυναρμολόγηση του κώνου μύτης

Η αποσυναρμολόγηση του κώνου μύτης προχωρά σε αντίστροφη σειρά από αυτή της συναρμολόγησης.

Σημείωση:

Όταν συναρμολογείτε ή αποσυναρμολογείτε τον κώνο μύτης προσέξτε να μην κάνετε ζημιά στον διεισδυτή ή στους φακούς. Για να διευκολύνετε τη συναρμολόγηση ή την αποσυναρμολόγηση του κώνου μύτης, η τράπεζα δοκιμής μπορεί να σηκωθεί ως μέσο υποστήριξης.

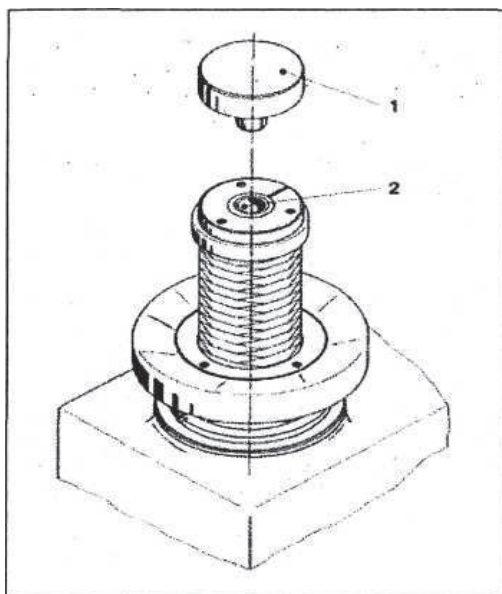
Τράπεζα δοκιμής (χειροκίνητη)

Η τράπεζα δοκιμής παρέχει μια υποστήριξη για τα δοκίμια, που ζυγίζουν μέχρι 50 κιλά, ενεργώντας ως επιφάνεια για την εφαρμογή της δύναμης κατά τη διάρκεια της δοκιμής σκληρότητας.

Για την εκτέλεση της δοκιμής σκληρότητας σε ειδικά δοκίμια, (ελατήρια) συστήνεται η χρήση πρόσθετης τράπεζας δοκιμής η οποία προσαρμόζεται στην τρύπα (2) του άξονα της τράπεζας δοκιμής.

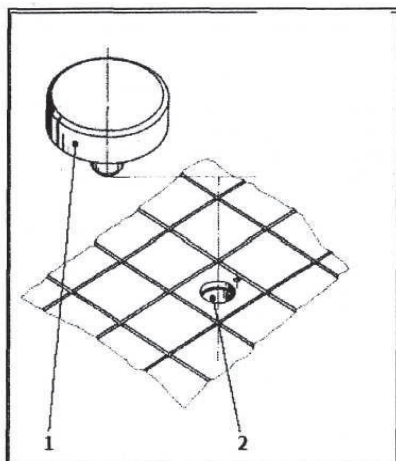
Ο βασικός εξοπλισμός της μηχανής είναι μια επίπεδη τράπεζα δοκιμής (1).

Μια πρόσθετη τράπεζα δοκιμής μπορεί να παρασχεθεί σαν επιπλέον εξάρτημα για να ταιριάζει με την τράπεζα δοκιμής που περιγράφηκε προηγουμένως (π.χ. τράπεζα δοκιμής συμπιεζόμενου ελατηρίου).



Τράπεζα δοκιμής (αυτόματη)

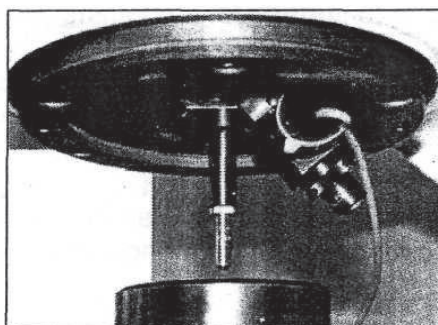
Η αυτόματη τράπεζα δοκιμής στηρίζει δοκίμια που ζυγίζουν το μέγιστο 50 κιλά. Για την εκτέλεση της δοκιμής σκληρότητας σε μικρά δοκίμια καθώς επίσης και τα εξαρτήματα που έχουν ένα κυκλικό προφίλ, συνίσταται η χρήση των μικρότερων τραπεζών δοκιμής που τοποθετούνται στην τρύπα υποδοχής (2) στην τράπεζα δοκιμής. Η βασικός εξοπλισμός της μηχανής περιλαμβάνει μια επίπεδη τράπεζα (1).



Μια γκάμα από επιπρόσθετες τράπεζες δοκιμής μπορούν να παρασχεθούν ως έξτρα για να ταιριάζουν με τις τράπεζες δοκιμής που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Οπτικά

Μαζί με την ενσωματωμένη φωτογραφική μηχανή και το φωτισμό LED, τα οπτικά που χρησιμοποιούνται στη μηχανή επιτρέπουν την επίδειξη σε πραγματικό χρόνο στο μόνιτορ TFT για την αυτόματη ή χειροκίνητη μέτρηση του αποτυπώματος του δοκιμίου. Τα οπτικά είναι βαθμονομημένα στο εργοστάσιο - κάθε φακός είναι ρυθμισμένος από το λειτουργικό σύστημα.



Οι συντελεστές μεγέθυνσης που απαριθμούνται παρακάτω έχουν τυπικές τιμές. Ο καθορισμένος συντελεστής μεγέθυνσης είναι χαραγμένος στο φακό.

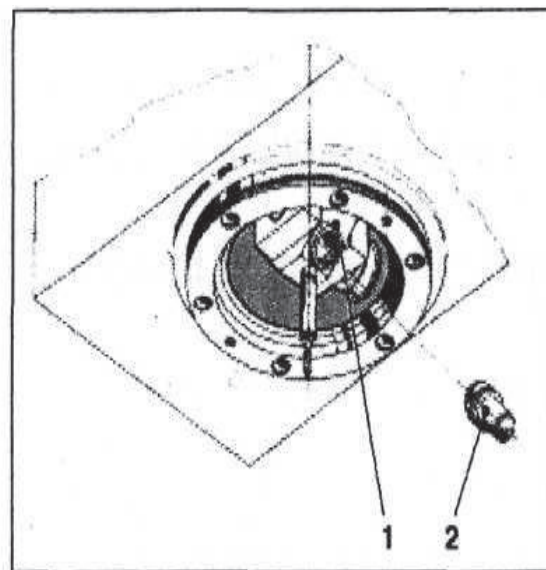
Αντικατάσταση φακού

Η αντικατάσταση φακού είναι δυνατόν να γίνει μόνο με το σύστημα περιστροφής φακού έξω ή περιστροφής του διεισδυτή μέσα. Ο κώνος μύτης δεν είναι απαραίτητο να μετακινηθεί.

Αντικατάσταση φακού χωρίς το επίγειο σώμα

Περιστρέψτε έξω τον φακό/περιστρέψτε τον διερευνητή αποτυπώματος με το κλειδί στον κεντρικό λειτουργικό πίνακα επιλογών.

- Ξεβιδώστε τον φακό (2) από το προσάρτημα στήριξης του περιστρεφόμενου στοιχείου (1) με το χέρι και αποθηκεύστε στη πλαστική θήκη.
- Πάρτε τον επιθυμητό φακό από την θήκη και βιδώστε κρατώντας το εξάρτημα του περιστρεφόμενου στοιχείου (1) σφίξτε με το χέρι ασκώντας μέτρια δύναμη.



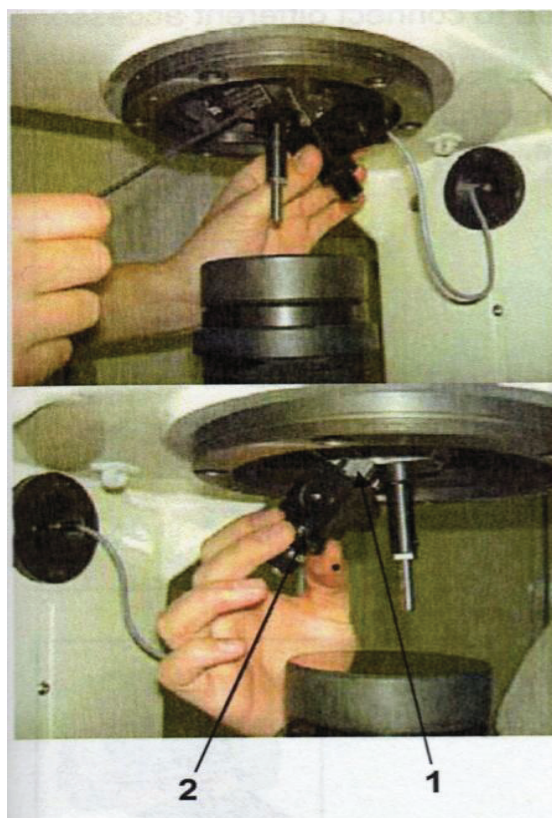
Σημειώσεις:

Κατά την αλλαγή των φακών δώστε ιδιαίτερη προσοχή στην καθαρότητα! Οι φακοί πρέπει να πιαστούν μόνο από την οδόντωση!

Αντικατάσταση φακού με επίγειο σώμα

Η αντικατάσταση φακού μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν το σύστημα περιστροφής του φακού είναι προς τα έξω ή όταν ο διεισδυτής είναι περιστραμμένος προς τα μέσα. Ο κώνος μύτης δεν είναι απαραίτητο να αφαιρεθεί.

- Περιστρέψτε προς τα έξω τον φακό/περιστρέψτε προς τα μέσα τον διερευνητή αποτυπώματος με το κλειδί, στον κεντρικό λειτουργικό πίνακα επιλογών.
- Ξεβιδώστε το επίγειο σώμα (2) με το εξαγωνικό γαλλικό κλειδί (που παρέχεται με την μηχανή), και βγάλτε το καλώδιο.
- Πάρτε τον επιθυμητό φακό από την θήκη και βιδώστε μέσα το εξάρτημα του περιστρεφόμενου στοιχείου (1) σφίξτε με το χέρι ασκώντας μέτρια δύναμη.



Σημαντικό:

Κατά την αλλαγή των φακών δώστε ιδιαίτερη προσοχή στην καθαρότητα!

Οι φακοί πρέπει να πιαστούν μόνο από την οδόντωση!

Συνδέσεις

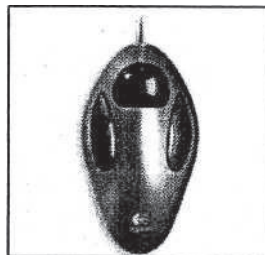
Στην μηχανή σκληρομέτρησης υπάρχουν είναι 2 USB 2.0, 1 RS232 και μια θύρα RJ45 100 Mbit. Η θύρα Ethernet είναι στάνταρ.

Η Θύρα - USB 2.0

Οι δύο θύρες USB μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν διαφορετικά αξεσουάρ στην μηχανή σκληρομέτρησης.

Το ποντίκι USB

Ολόκληρη η επιφάνεια χειρισμού της μηχανής σκληρομέτρησης μπορεί να χειριστεί με ένα ποντίκι.



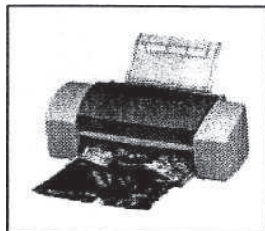
Πληκτρολόγιο USB

Χρησιμεύει ως βοήθεια εισαγωγής αντί του εικονικού πληκτρολογίου.



Εκτυπωτής USB

Άμεση εκτύπωση μετρημένων τιμών.



Παρακαλώ δώστε ιδιαίτερη προσοχή στην ρύθμιση του χειρισμού η οποία μπορεί να γίνει μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό.

Θύρα RJ 45

Η θύρα RJ45 Ethernet 100 Mbit είναι προσαρμοσμένη για να συνδεθεί η μηχανή σκληρομέτρησης σε ένα δίκτυο για την αρχειοθέτηση δεδομένων. (Για περισσότερες πληροφορίες παρακαλώ ανατρέξτε στο κεφάλαιο σχετικά με τη διαχείριση δεδομένων). Παρακαλώ προσέξτε ότι η ρύθμιση της λειτουργίας μπορεί να γίνει μόνο από εξουσιοδοτημένο προσωπικό.

Θύρα RS 232

Ρυθμός μετάδοσης.....9600 Baud

Bits δεδομένων..... 8

Ισοτιμία.....Αριθ.

Διακοπή bits.....1

Περιγραφή

Μετά από κάθε μέτρηση ο κύκλος έχει επιτύχει την ολοκλήρωση, το ηλεκτρονικό σύστημα στην μηχανή σκληρομέτρησης επιδρά στην τμηματική παραγωγή αποτελεσμάτων της μετρούμενης - τιμής στο ASCII.

Η μετάδοση δεδομένων αρχίζει με το ψηφίο 4 της μετρούμενης – τιμής του αριθμού. Κατόπιν ένα άλλο κενό διαβιβάζεται ακολουθούμενο από τη μέθοδο δοκιμής.

Η ένδειξη της μετρούμενης τιμής συνεχίζει σύμφωνα με τη μέθοδο δοκιμής στις εκατοντάδες με ένα δεκαδικό σημείο (999,9) ή στις χιλιάδες (9999).

Οι χαρακτήρες είναι διαθέσιμοι ταξινομώντας τη μετρούμενη τιμή με "<" που αντιπροσωπεύει σε μαλακή, ">" που αντιπροσωπεύει για σκληρή και "=" για σωστή. Μετά από τα μετρημένα δεδομένα η συσκευή διαβιβάζει μια "επιστροφή μεταφορών" και μια "αλλαγή γραμμής".

Τηλεγράφημα:

1112333334455555678

1. αριθμός μέτρησης

2. Άνοιγμα

3. μέθοδος δοκιμής

4. Άνοιγμα

5. μετρούμενη τιμή

6. υψηλό, χαμηλό, εντάξει (>, <, =)

7. CR 0×0D

8. LF 0 × 0A

Διαμόρφωση ακίδων:

θηλυκό 9 pol.

θηλυκό 9 pol.

Ακίδα	2.....	3
	3.....	2
	5.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται το βασικό σχέδιο του λογισμικού χρηστών και της λειτουργίας του. Επομένως διαβάστε αυτό το κεφάλαιο λεπτομερώς.

Οθόνη και εισαγωγή στοιχείων

Όλα τα στοιχεία και οι πληροφορίες επιδεικνύονται στην οθόνη. Δεδομένου ότι αυτή η οθόνη είναι μια λεγόμενη «οθόνη αφής», η εισαγωγή των στοιχείων μεταφέρονται άμεσα στην οθόνη αγγίζοντας με το δάχτυλο ή μία γραφίδα.

Σημείωση:

Μην χρησιμοποιήσετε ποτέ αιχμηρά εργαλεία ή κοινά μολύβια για την εισαγωγή στοιχείων, γιατί αυτό μπορεί να βλάψει την οθόνη.

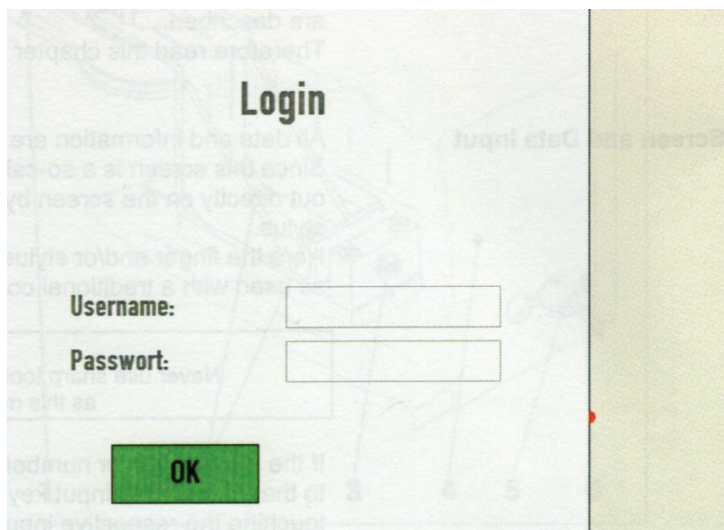
Εάν απαιτείται η εισαγωγή του κειμένου ή των αριθμών, ένα εικονικό πληκτρολόγιο, παρόμοιο με αυτό ενός κανονικού πληκτρολογίου, ανοίγει αυτόματα όταν αγγίζετε τον αντίστοιχο τομέα εισαγωγής.



- Για να δεχτεί τα στοιχεία που εισάγονται πρέπει πάντα να πιάσετε το πλήκτρο, 'Enter', διαφορετικά τα στοιχεία δεν καταγράφονται. Κατόπιν το εικονικό πληκτρολόγιο διαγράφεται από την οθόνη.
- Οι ειδικές γραφίδες είναι διαθέσιμες ως πρόσθετα εξαρτήματα.

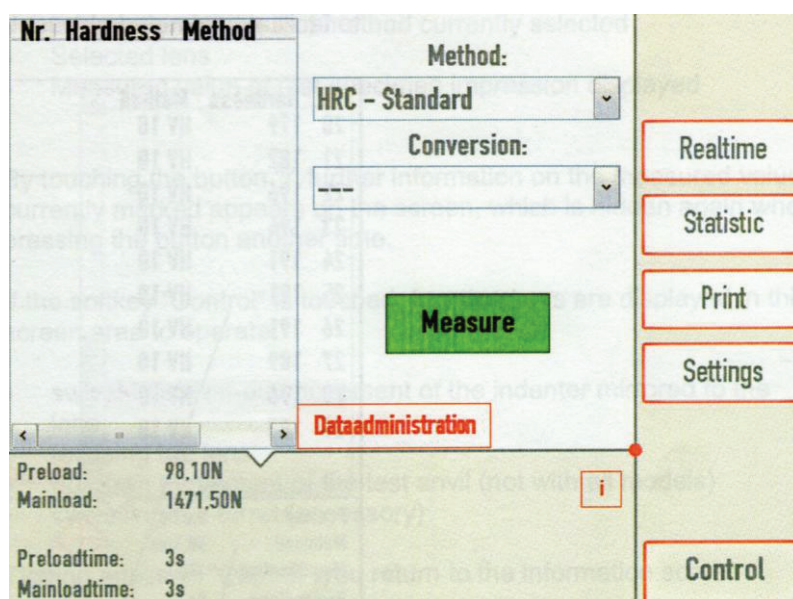
Διακόπτης - σύνδεση

Ανάψτε τη μηχανή (το λογισμικό μονάδας και χρηστών οργανώνεται μέσω μιας στερεότυπης εξέτασης). Η οθόνη σύνδεσης, αποκαλούμενη επίσης ως "σύνδεση" / "Login" παρουσιάζεται αμέσως μετά.



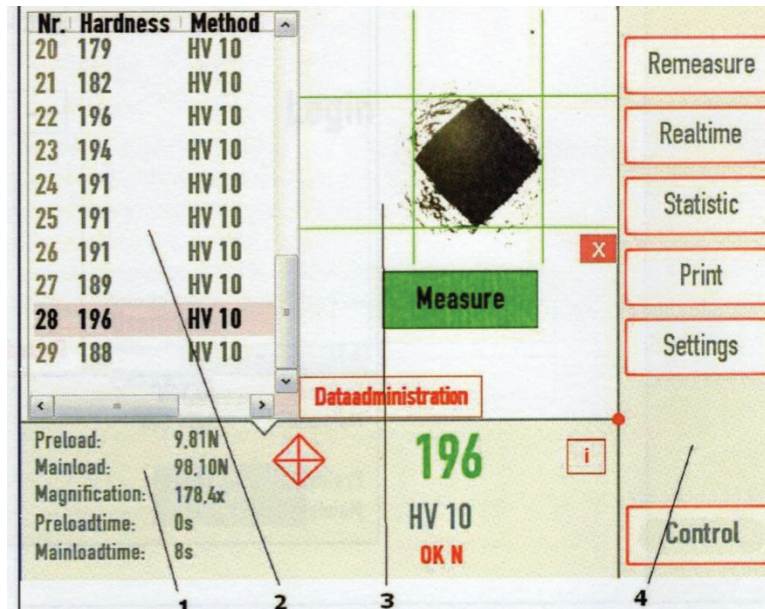
- Εισάγετε το όνομα χρήστη - "Username" και τον προσωπικό κωδικό (λαμβάνεται από το διαχειριστή).
- Κλείστε την εισαγωγή αγγίζοντας "OK."

Η τυποποιημένη οθόνη εμφανίζει:



Σχεδιάγραμμα οθόνης

Το σχεδιάγραμμα της οθόνης μπορεί να αλλάξει ελαφρώς σύμφωνα με τη θέση εργασίας, αλλά βασικά, η οθόνη έχει πάντα το ίδιο σχεδιάγραμμα για να διευκολύνει την ήρεμη και ευχάριστη εργασία.



- 1 Περιοχή ελέγχου και πληροφοριών
- 2 Λίστα μετρημένων τιμών της σειράς μέτρησης προσφάτως καταγραμμένη
- 3 Τρέχουσα μέθοδος δοκιμής, εικόνα του αποτυπώματος δοκιμής
- 4 Πλήκτρα (Softkey)

Περιοχή ελέγχου και πληροφοριών

Οι ακόλουθες πληροφορίες παρουσιάζονται σε αυτήν την περιοχή της οθόνης:

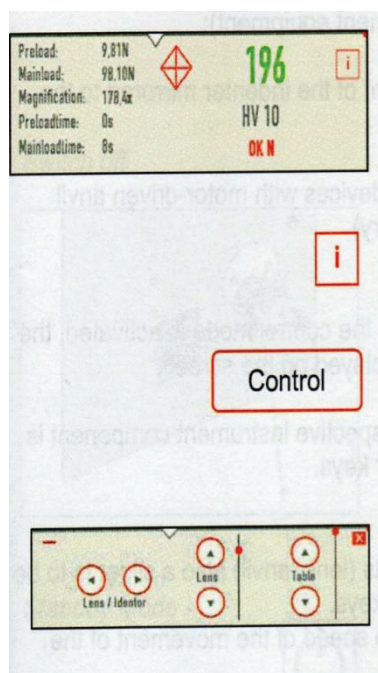
- Πληροφορίες για τη μέθοδο δοκιμής που επιλέχθηκε πρόσφατα
- Επιλεγμένος φακός
- Προβάλλεται η μετρημένη τιμή του αποτυπώματος της δοκιμής.

Αγγίζοντας το κουμπί "i" επιπλέον πληροφορίες για την μετρημένη τιμή που σημειώθηκε πρόσφατα εμφανίζονται στην οθόνη, οι οποίες εξαφανίζονται όταν πιεστεί το κουμπί άλλη μια φορά.

Αν αγγίξετε κουμπί αφής "Control", τα βέλη λειτουργίας επιδεικνύονται σε αυτήν την περιοχή οθόνης για να λειτουργήσουν:

- Μετακίνηση διεισδυτή, (περιστροφή μέσα/ έξω)
- Εστίαση του φακού
- Μετακίνηση της τράπεζας δοκιμής επάνω / κάτω (όχι σε όλα τα μοντέλα)
- Μετακίνηση του πυργίσκου (εξάρτημα)

Πατώντας πάλι "Control" επιστρέφετε στην οθόνη πληροφοριών.



Σημείωση:

Για την εφαρμογή των μεμονωμένων κουμπιών παρακαλώ ανατρέξτε "στον Έλεγχο των τμημάτων οργάνων".

Τρέχουσα λειτουργία μεθόδου

Η αντίστοιχη πληροφορία αναφέρεται στο αντίστοιχο κουμπί αφής που επιλέχτηκε πρόσφατα και επιδεικνύεται στην περιοχή της οθόνης.

Πλήκτρο (Softkey)

Το πλήκτρο (softkey) μπορεί να συγκριθεί με τη εύρεση επιλογών ενός παραδοσιακού προγράμματος PC. Όταν αγγίζετε μια εντολή (softkey), η αντίστοιχη διαδικασία αρχίζει από τον έλεγχο ή έχετε πρόσβαση σε ένα δευτερεύον μενού με τα περαιτέρω softkeys διαθέσιμα για την επιλογή.

Σημείωση:

Η έννοια των μεμονωμένων (softkeys) περιγράφεται στις ξεχωριστές λειτουργικές ακολουθίες.

Έλεγχος των τμημάτων μηχανής

Τα ακόλουθα τμήματα της μηχανής μπορούν να ελεγχθούν μέσω του λογισμικού χρηστών (σύμφωνα με τον εξοπλισμό οργάνων):

- Μετακίνηση διεισδυτή, μέσα / έξω
- Εστίαση του φακού
- Ανύψωση τράπεζας δοκιμής αυτόματα
- Μετακίνηση πυργίσκου (εξάρτημα)

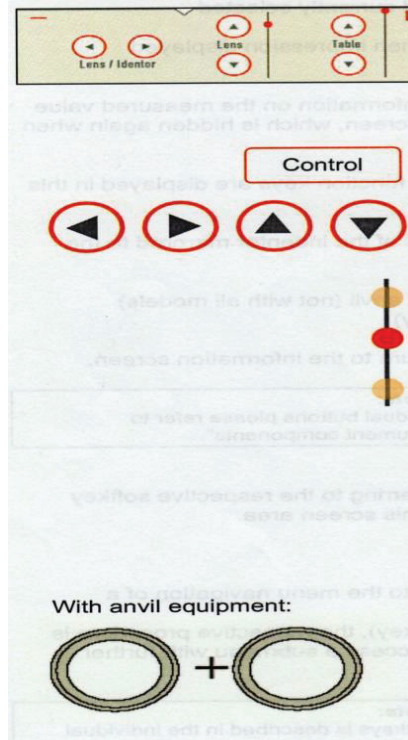
Διαδικασία:

Με το πάτημα του πλήκτρου αφής "Control" ο τρόπος ελέγχου ενεργοποιείται, τα σύμβολα ελέγχου διαθέσιμα επιδεικνύονται στην οθόνη.

Η εγκάρσια μετακίνηση του αντίστοιχου τμήματος οργάνων πραγματοποιείται αγγίζοντας τα βέλη (cursor keys). Σε μερικά τμήματα οργάνων (φακός, τράπεζα δοκιμής) εμφανίζεται ένας κέρσορας πλευρικά δίπλα στα βέλη.

Με αυτόν τον κέρσορα μπορείτε να ρυθμίσετε την ταχύτητα της μετακίνησης του αντίστοιχου τμήματος οργάνων.

- Ο κέρσορας αυξάνει προς τα πάνω την ταχύτητα
- Ο κέρσορας μειώνει προς τα κάτω την ταχύτητα



Κίνδυνος:

Προτού να αυξήσετε την ταχύτητα ενός τμήματος οργάνων, πάντα σιγουρευτείτε ότι δεν υπάρχει κανένα μέρος του σώματος, των αντικειμένων δοκιμής ή εξαρτήματα της μηχανής (διεισδυτής, φακός) στην περιοχή κινδύνου. Μετά από τη μετακίνηση στη σύντομη κίνηση ο κέρσορας πρέπει να ωθηθεί πίσω στη βασική θέση.

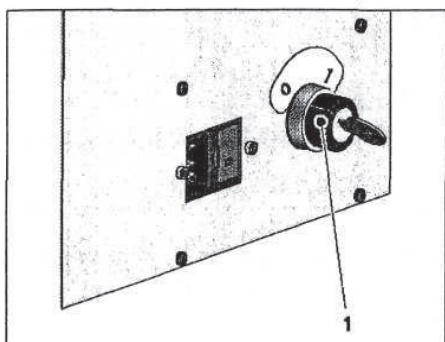
- Βάλτε ένα δοκίμιο στην τράπεζα δοκιμής, κατόπιν κρατήστε τα πλήκτρα πιέζοντας στην άκρη έως ότου στερεωθεί το δοκίμιο με τον κώνο μύτης. (Συμφωνία CE)

Σβήστε την μηχανή

Το σβήσιμο της μηχανής μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

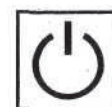
- Τερματίστε το λογισμικό χρήστη και σβήστε την μηχανή από τον κεντρικό διακόπτη.
- Σβήστε την μηχανή με εφεδρικό τρόπο "Standby mode".
- Σβήστε την μηχανή με τον κεντρικό διακόπτη στην οπίσθια πλευρά.

Σβήσιμο



Εφεδρικός τρόπος

- Πιέστε το πλήκτρο αναμονής κάτω από την οθόνη.
Η μηχανή γυρίζει στην κατάσταση αναμονής.
- Πιέστε το πλήκτρο για να επανεκκινήσετε το λογισμικό του χρήστη.



ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ

Οι μέθοδοι δοκιμής είναι διαθέσιμες στη μηχανή και παρατίθενται στη μετατροπή του παρακάτω πίνακα. Ο πίνακας προσδιορίζει επίσης ποιες δυνατότητες ανατίμησης είναι διαθέσιμες (Μετατροπή) σύμφωνα με το DIN 50150. Τα αποτελέσματα μπορούν περαιτέρω να μετατραπούν βασισμένα στη νέα μετατροπή του τυποποιημένου EN ISO 18265. (οι πρόσθετες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στο κεφάλαιο 9, "Ρυθμίσεις").

Πίνακας Μετατροπών

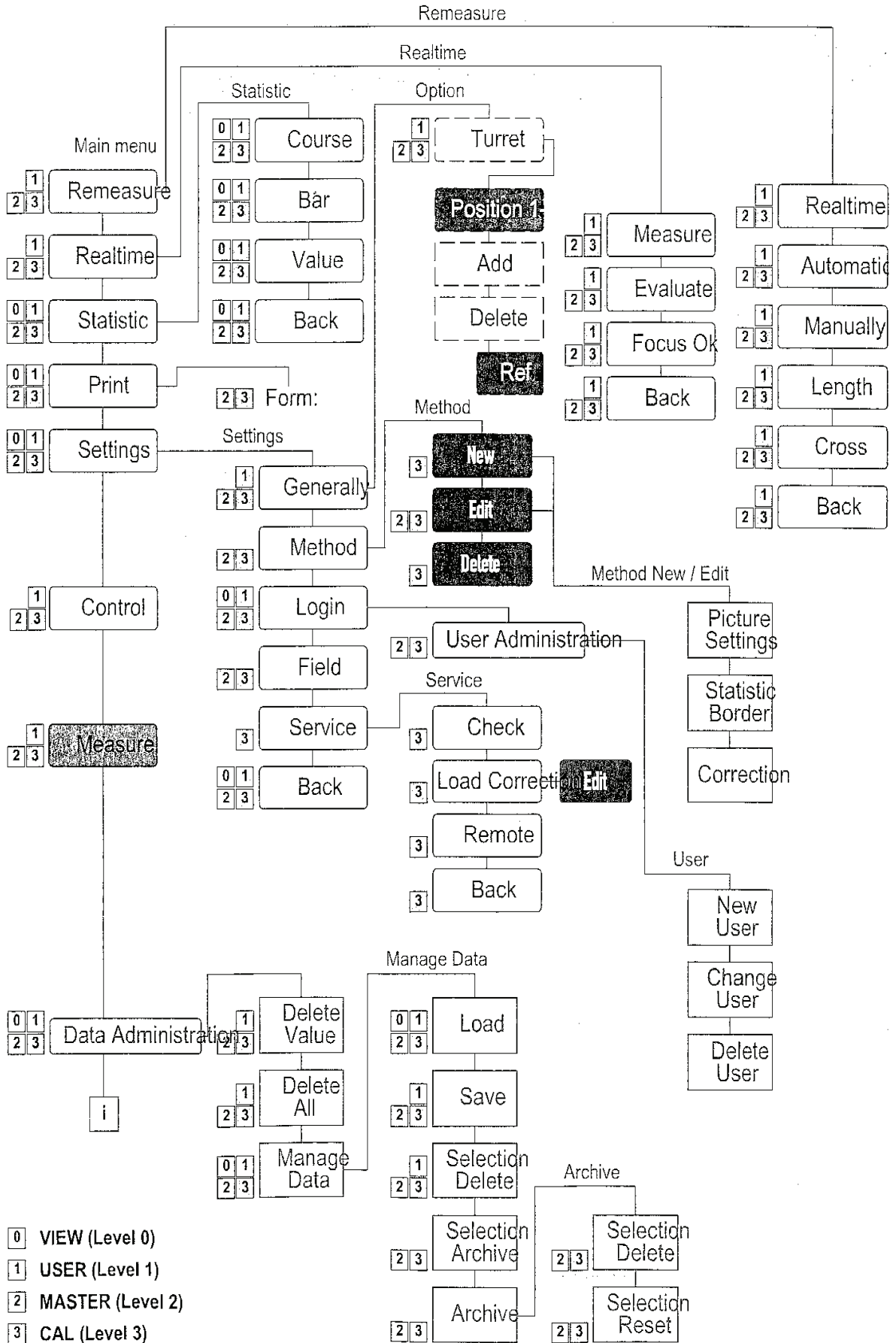
Μέθοδος δοκιμής	HB30	HB10	HB5	HB2,5	HRC	HV	N/mm ²
					X	X	X
HV1	X				X	X	X
HV2	X				X	X	X
HV3	X				X	X	X
HV5	X				X	X	X
HV10	X				X	X	X
HV20	X				X	X	X
HV30	X				X	X	X

HV50	X				X	X	X
HV100	X				X	X	X
HR15N	X				X	X	X
HR30N	X				X	X	X
HR45N	X				X	X	X
HR15T	X		X		X	X	X
HR30T	X		X		X	X	X
HR45T	X		X		X	X	X
HRA	X				X	X	X
HRB	X		X		X	X	X
HRC	X					X	X
HRD	X				X	X	X
HRE	X						
HRF	X		X		X	X	X
HRG	X				X	X	X
HRH							
HRK	X					X	
HBW 1/2,5				X			
HBW1/5			X				
HBW1/10		X					
HBW 1/30	X				X	X	X
HBW2,5/15,625				X			
HBW2,5/31,25			X				
HBW2,5/62,5		X					
HBW2,5/187,5	X				X	X	X
HBW5/62.5				X			

HBW5/125			X				
HBW5/250		X					
HBW5/750	X				X	X	X
HBW 10/250				X			
HBW10/500			X				
HBW 10/1000		X					
HBW 10/1500							
HBW 10/3000	X				X	X	X
HK1							
HRL							
HRM							
HRR							
HRP							
HRS							
HRV							

Δομή μενού

Σύμφωνα με την εγγραφή σε ένα ορισμένο πεδίο χρήστη, διάφορα μενού επιλογής είναι στην διάθεση του χειριστή:



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι διάφοροι τύποι μετρήσεων ενός δοκιμίου. Σε γενικές γραμμές διακρίνουμε μεταξύ των ακόλουθων μεθόδων μέτρησης:

- Οπτική μέτρηση με τη χειροκίνητη ρύθμιση
- Οπτική μέτρηση με την αυτόματη ρύθμιση
- Μέτρηση βάθους
- Μέτρηση με στερέωση στον κώνο μύτης
- Μέτρηση χωρίς στερέωση στον κώνο μύτης

Όλες οι ρυθμίσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν στην μηχανή για την ορθή διαδικασία της μέτρησης περιγράφονται στα ακόλουθα κεφάλαια.

Μια μέτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί από το επίπεδο χρήστη (USER)1.

Η εγκάρσια κίνηση της τράπεζας δοκιμής πραγματοποιείται με το χέρι ή μέσω χειροτροχού, ή μέσω του χειριστηρίου, ανάλογα με το σχεδιασμό της μηχανής.

Σημαντικό

- Πριν από μια μέτρηση πάντα θυμηθείτε ότι η μηχανή είναι εξοπλισμένη επαρκώς σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μέτρησης (μέθοδος μέτρησης), διαφορετικά μπορεί να εμφανιστεί ανακριβής μέτρηση ή ακόμα και ζημία των εξαρτημάτων.
- Πριν αρχίσει ένας κύκλος μέτρησης, εξασφαλίστε ότι δεν υπάρχουν μέρη του σώματος ή άλλων αντικειμένων μεταξύ του δοκιμίου και της μύτης κώνου ή μεταξύ του δοκιμίου και του διεισδυτή.
- Σε κατάσταση κινδύνου πιέστε αμέσως το κουμπί έκτακτης- διακοπής (EMERGENCY – STOP)!
- Χρησιμοποιήστε τον απαραίτητο φακό ανάλογα με το μέγεθος του αποτυπώματος του δείγματος δοκιμής που αναμένεται.

Όσο χαμηλότερο το φορτίο δοκιμής, τόσο υψηλότερος πρέπει να είναι ο παράγοντας ενίσχυσης του φακού.

Στερέωση ενάντια στον κώνο μύτης

Γενικά, κατά τη διάρκεια της δοκιμής σκληρότητας το δοκίμιο στερεώνεται ενάντια κώνο μύτης. Εντούτοις, εάν η στερέωση δεν είναι δυνατή (π.χ. λόγω γεωμετρίας του δοκιμίου), το δοκίμιο μπορεί επίσης να εξεταστεί χωρίς στερέωση κόντρα στον κώνο μύτης.

Η ρύθμιση πραγματοποιείται μέσω των επιλογών Ρυθμίσεις / Γενικά - Settings / General με την παράμετρο "χρήση στερέωσης κεφαλής".

Μέτρηση με σύσφιξη

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μέτρησης με σύσφιξη ο κώνος μύτης στερεώνεται κόντρα στην τράπεζα δοκιμής με το δοκίμιο. Η πραγματική μέτρηση αρχίζει μετά από τη στερέωση. Το δοκίμιο απελευθερώνεται πάλι μόνο όταν η μέτρηση ολοκληρωθεί.

Γενικά, η μέτρηση με το στερεωμένο δοκίμιο προτιμάται στη αντί του μη στερεωμένου δοκιμίου.

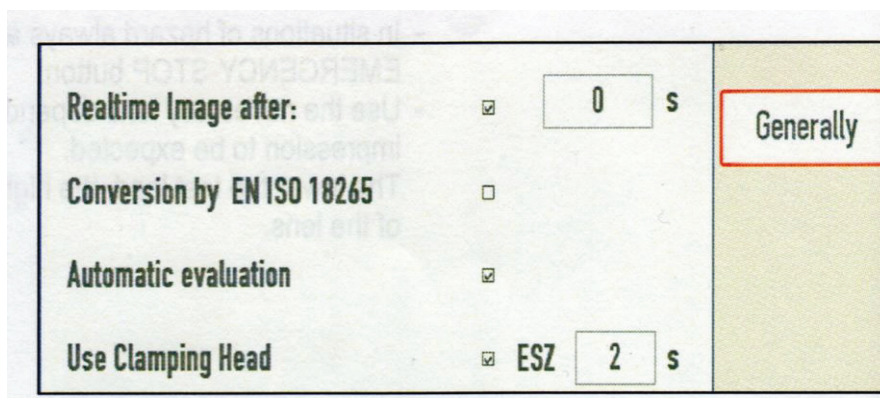
Πλεονεκτήματα:

Το δοκίμιο παραμένει απρόσβλητο από τις εξωτερικές επιρροές και τις δονήσεις.

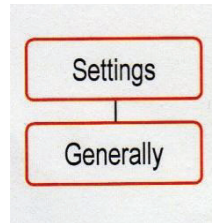
Το δοκίμιο παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια ολόκληρης της δοκιμής, επομένως δεν είναι δυνατό να μετατοπιστεί η εικόνα του αποτυπώματος του δοκιμίου στην οθόνη TFT.

Με τις διάφορες γεωμετρικές μορφές δοκιμίων όπου είναι δυνατό να ανατραπούν, τα δοκίμια παραμένουν σταθερά στη θέση τους κατά τη διάρκεια ολόκληρης της δοκιμής.

- Αγγίξτε τα κουμπιά αφής Ρυθμίσεις / Γενικά - "Settings / General" για να ανακαλέσει τη ρύθμιση παραμέτρου.

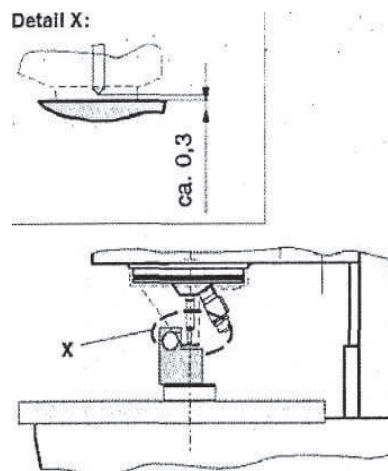


- Ξεμαρκάρετε "την χρήση στερεωμένης κεφαλής " (Use Clamping Head).
- Στην παράμετρο, ESZ "εισάγετε τον χρόνο που η τράπεζα δοκιμής πρέπει να διαπεράσει κάθετα προς τα κάτω μετά από τη μέτρηση σε σύντομη κίνηση.



Μέτρηση χωρίς σύσφιξη

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στις οποίες ο κώνος μύτης δεν πρόκειται να στερεωθεί ενάντια στο δοκίμιο, ο κώνος μύτης πρέπει να διασχίσει εγκάρσια τη μηχανή δοκιμής πριν από την έναρξη κύκλων μέτρησης έως ότου η απόσταση μεταξύ διεισδυτή και της επιφάνειας του δοκιμίου να είναι περ.0,3 χιλ. Αυτή η ρύθμιση είναι απαραίτητη επειδή μια πάρα πολύ μεγάλη απόσταση (η πορεία που διαγράφει ο διεισδυτής) δεν επαρκεί για την πραγματοποίηση μιας μέτρησης ή / τον κύκλο μέτρησης και παίρνει πάρα πολύ χρόνο.



Σημείωση:

Με αυτό το είδος μέτρησης μπορείτε να βιδώσετε τον κώνο μύτης. Γενικά, ο κώνος μύτης πρέπει να παραμείνει σταθερός.

Εφαρμογές για τη διαδικασία μέτρησης με το ξεσφιγμένο δοκίμιο:

- Μόνο για φορτία δυνάμεων μέχρι 1500 N.
- Τα δοκίμια είναι πολύ μικρά και δεν μπορούν να στερεωθούν με τον κώνο μύτης.
- Οι δυνάμεις στερέωσης δεν πρέπει να εφαρμοστούν στο δοκίμιο .

- Το δοκίμιο πρόκειται να εξεταστεί σε ένα σημείο που δεν είναι συμβατό με τον κώνο μύτης που τοποθετείται.
- Η επιφάνεια δοκιμής του δοκιμίου είναι τόσο μικρή που η χρήση του φακού είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της θέσης.

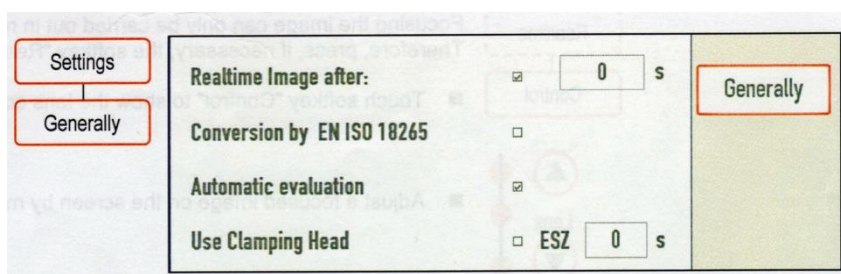
Μια εικόνα προβάλλεται στην οθόνη εάν η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας δοκιμής του δοκιμίου και διεισδυτή είναι περ. 0,3 χιλ. Η τελική εστίαση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της αυτόματης εστίασης (βλ. "εστίαση εικόνας"). Σε αυτήν την ρύθμιση ο κύκλος δοκιμής αρχίζει χωρίς το σήκωμα της τράπεζας δοκιμής. Κατά συνέπεια, το δοκίμιο παραμένει ξεσφιγμένο.

Σημείωση για την αυτόματη τράπεζα δοκιμής.

Εάν ο διεισδυτής ή ο φακός προσεγγίζεται όταν διαπερνά την τράπεζα δοκιμής μέσω του κέρσορα, η ανυψωτική μετακίνηση σταματά αυτόματα από μια προεπιλεγμένη δύναμη επαφής για να αποφύγει τη ζημία ο διεισδυτής ή ο φακός.

Ρυθμίσεις για τα όργανα με την αυτόματη τράπεζα δοκιμής

Αγγίξτε το κουμπί αφής Ρυθμίσεις / Γενικά - Settings / Generally) για τις ρυθμίσεις παραμέτρου.



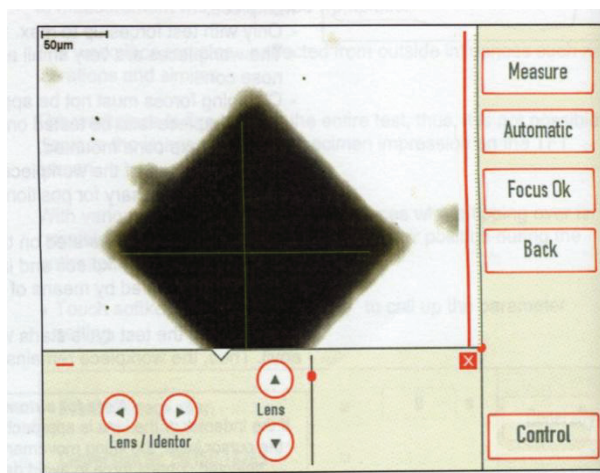
Αξιολόγηση αποτυπώματος δοκιμής

Μια εικόνα του αποτυπώματος δοκιμής καταγράφεται από τον έλεγχο μετά από έναν κύκλο μέτρησης. Ανάλογα με τη ρύθμιση αυτό το αποτύπωμα αξιολογείται αυτόματα ή με το χέρι από τον χρήστη.

Παρομοίως κάθε εικόνα του αποτυπώματος αποθηκεύεται στη μνήμη. Κατά συνέπεια, είναι δυνατό να ξαναμετρηθεί (αυτόματα ή με το χέρι) το αποτύπωμα σε μια μεταγενέστερη ημερομηνία απλά ανακαλώντας το από τη μνήμη.

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης των δειγμάτων αποτυπωμάτων της δοκιμής οι διάφορες ρυθμίσεις και ευθυγραμμίσεις του φακού μπορούν να

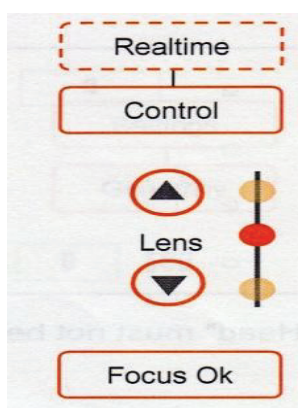
διευθετηθούν εκ νέου και να αποθηκευτούν. Μετά τον κύκλο μέτρησης μια εικόνα εμφανίζεται στην οθόνη σε πραγματικό χρόνο με το αποτύπωμα της δοκιμής.



Εστίαση εικόνας

Γενικά η εστίαση του αποτυπώματος δοκιμής είναι απαραίτητη μόνο μια φορά διότι οι καθορισμένες τιμές αποθηκεύονται στην μνήμη. Η εστίαση της εικόνας μπορεί μόνο να πραγματοποιηθεί σε πραγματικό-χρόνο εικόνας. Επομένως, πιάστε, εάν είναι απαραίτητο, το κουμπί αφής "Πραγματικός χρόνος" - "Realtime".

- Αγγίξτε το κουμπί αφής Έλεγχος / Control για να παρουσιάσει τον έλεγχο φακών .
- Ρυθμίστε μια εικόνα εστίασης στην οθόνη με τη βοήθεια των βελών του φακού.
- Αποθηκεύστε τη ρύθμιση αγγίζοντας "Εστίαση / Fokus O.k."

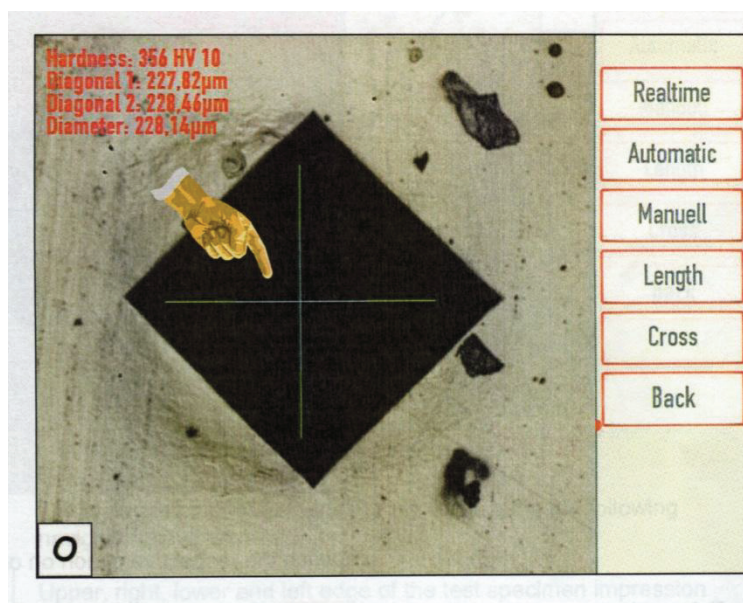


Ρύθμιση θέσης

Αυτή η επιλογή είναι συνήθως απαραίτητη μετά από μια αλλαγή διεισδυτή για να αναδιαρρυθμίσει τη θέση του μετρούμενου σταυρού με τις μετρούμενες γραμμές (κέντρο του μετρούμενου σταυρού).

Σταυρός

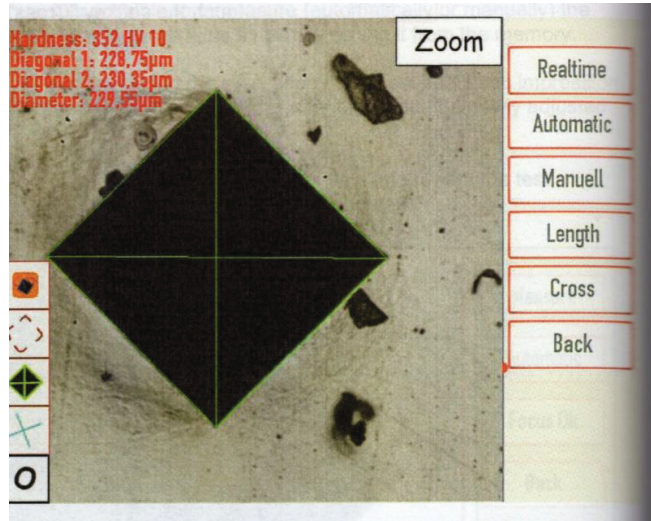
- Μετά από τη διαδικασία μέτρησης ή / και κατά τη διάρκεια της επαναμέτρησης αγγίξτε το κουμπί αφής "Σταυρός / Cross".
- Αγγίξτε το κέντρο του αποτυπώματος δοκιμής στην οθόνη.







- Η νέα θέση του μετρούμενου σταυρού επιδεικνύεται στην οθόνη και αποθηκεύεται από το κοντρόλ.

Επίδειξη επιλογών

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης των δειγμάτων δοκιμής υπάρχουν άλλες πρόσθετες δυνατότητες της αναπαράστασης. Οι επιλογές υποδεικνύονται αγγίζοντας το κουμπί αφής "O" στο κατώτατο σημείο αριστερά της οθόνης.



Αλλάξτε την αντίστοιχη επιλογή στη θέση on ή στη θέση off αγγίζοντας τα κουμπιά αφής.

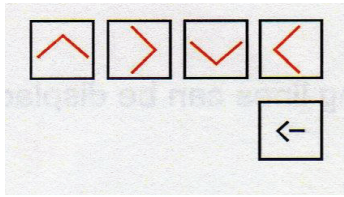
-  Εσφαλμένα χρώματα: Τα χρώματα στην οθόνη αλλάζουν σύμφωνα με την τραχύτητα επιφάνειας: Όσο βαθύτερη η επιφάνεια, τόσο σκοτεινότερο το χρώμα
-  Αναγνώριση της άκρης on/off: Οι άκρες των αποτυπωμάτων των δειγματος δοκιμής είναι χαρακτηρισμένες.
-  Αποτύπωμα αναγνώρισης on/off: Το αποτύπωμα εντοπίζεται αυτόματα από το λογισμικό που εμφανίζεται.
-  Σταυρός on /off: Ο σταυρός των μετρούμενων γραμμών εμφανίζεται.

Ζουμ

Η λειτουργία ζουμ εξυπηρετεί για την μεγέθυνση του αποτυλώματος του δείγματος δοκιμής κατά την διάρκεια της αξιολόγησης. Η λειτουργία αρχίζει αγγίζοντας το κουμπί "Zoom" στην κορυφή δεξιά.



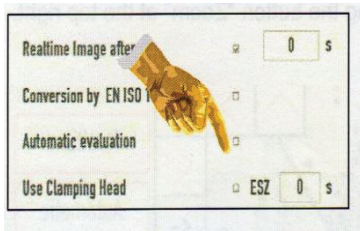
Για να επιδείξει τις μεμονωμένες άκρες του αποτυπώματος χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα βέλη πλοήγησης:



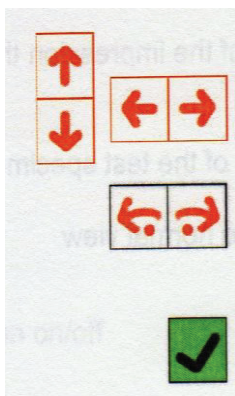
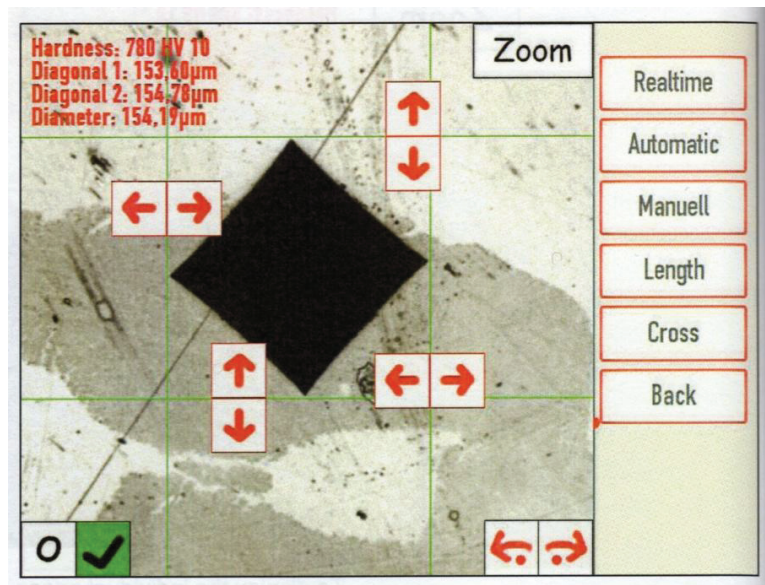
Η ανώτερη, δεξιά, χαμηλότερη και αριστερή άκρη του αποτυπώματος δοκιμής.

Ολοκληρώνει τη λειτουργία ζουμ, πίσω στην κανονική θέση.

Χειροκίνητη αξιολόγηση



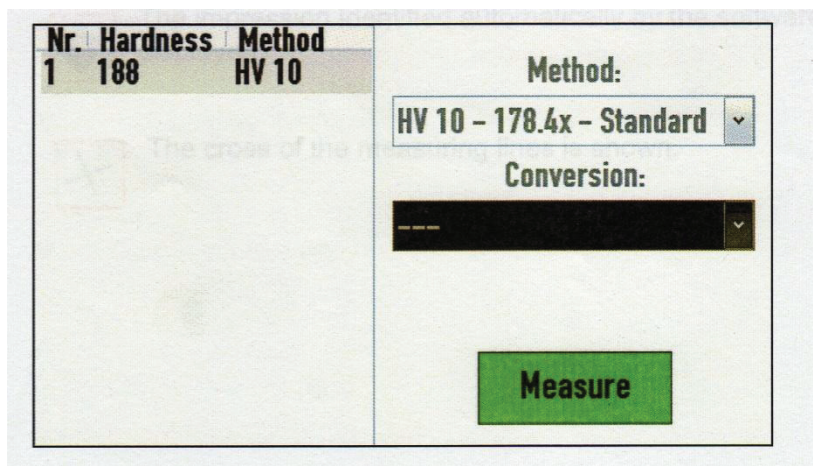
Κατά τη διάρκεια της χειροκίνητης αξιολόγησης το αποτύπωμα δοκιμής μετρίεται από το χειριστή με την κίνηση των μετρούμενων γραμμών στην οθόνη. Το αποτύπωμα δοκιμής με τις μετρούμενες γραμμές εμφανίζεται στην οθόνη μετά από τον κύκλο μέτρησης.



Αγγίζοντας τα βέλη στις μετρούμενες γραμμές, μπορούν να μετατοπιστούν χωριστά.

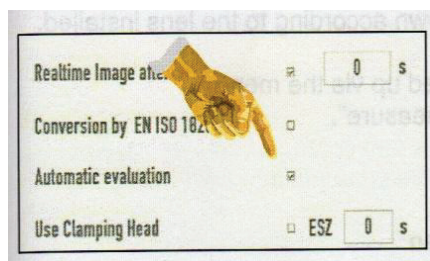
Η κλίση και των 4 μετρούμενων γραμμών μπορούν να μετατοπιστούν αγγίζοντας τα κουμπιά στο κάτω μέρος δεξιά.

Ολοκληρώνοντας όλες τις ρυθμίσεις, η διαδικασία μέτρησης ολοκληρώνεται αγγίζοντας το πράσινο κουμπί με το "Tick". Στην οθόνη επιδεικνύεται ο κατάλογος τιμής μέτρησης με την πρόσφατη καθορισμένη τιμή σκληρότητας που αντιστοιχεί στις προεπιλογές για την μέθοδο και την μετατροπή μέτρησης .

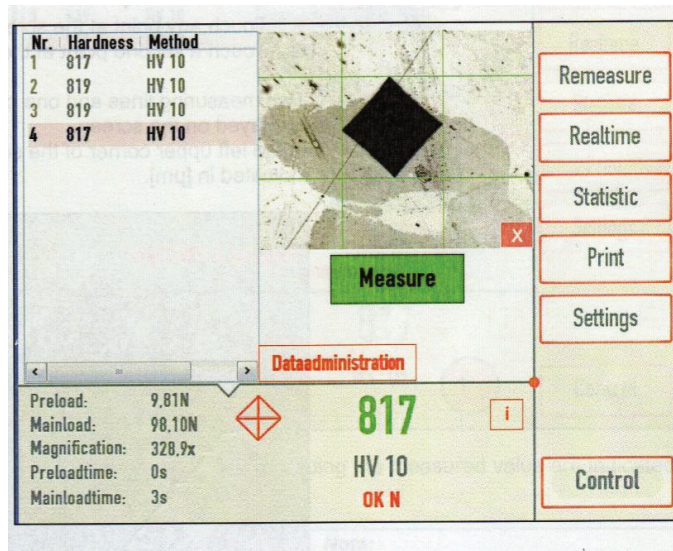


Αυτόματη αξιολόγηση (Automatic evaluation)

Κατά τη διάρκεια της αυτόματης αξιολόγησης το αποτύπωμα αναγνωρίζεται αυτόματα από το λογισμικό του οργάνου και μετρίεται αυτόματα.



Μετά από την ολοκλήρωση του κύκλου δοκιμής η αξιολόγηση αρχίζει και η λίστα μετρήσιμων τιμών με την εικόνα του αποτυπώματος της δοκιμής προβάλλεται στην οθόνη. Η αυτόματη αξιολόγηση προβάλλεται μόνο εάν αυτή έχει επιλεγεί. Η αυτόματη αξιολόγηση μπορεί να ανακαλεστεί οποτεδήποτε και απενεργοποιείται μόνο αν την επιλέξετε. Παρακαλώ ελάτε σε επαφή με τον αντιπρόσωπο Struers των πωλήσεων σας.



Επανάληψη μέτρησης

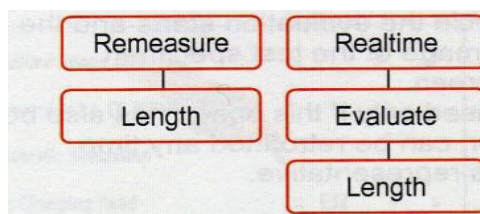
Με τη λειτουργία "Ξαναμετρήστε / Remeasure" οι μετρημένες τιμές από τις οπτικές μετρήσεις μπορούν να μετρηθούν πάλι. Όταν πατάτε μια μετρημένη τιμή από τον κατάλογο τιμών μέτρησης, η αντίστοιχη εικόνα που σώζεται από το αποτύπωμα δείγματος δοκιμής είναι φορτωμένη και επιδεικνύεται στην οθόνη. Το αποτύπωμα μπορεί να ξαναμετρηθεί αυτόματα ή με το χέρι.

Με την επιλογή του πλήκτρου αφής "Ξαναμετρήστε / Remeasure", όλες οι λειτουργίες είναι διαθέσιμες όπως "αξιολόγηση του αποτυπώματος δοκιμής".

Εάν καμία αξιολόγηση δεν πραγματοποιείται ή σας προτρέπει σε χειροκίνητη μέτρηση, κάντε κλικ σε κάθε γωνία του αποτυπώματος. Ξεκινήστε με την γωνία κορυφής και συνεχίστε δεξιόστροφα (κορυφή, δεξιά, στο κατώτατο σημείο, αριστερά). Όταν όλες οι γωνίες μαρκαριστούν, οι χάρακες αξιολόγησης εμφανίζονται και μπορείτε να συνεχίσετε όπως περιγράφονται στη χειροκίνητη μέτρηση.

Μέτρηση μήκους

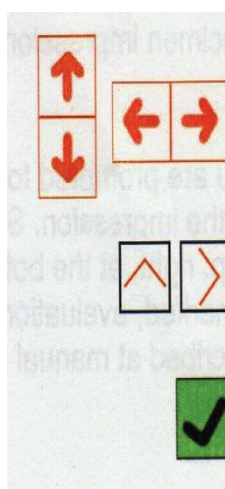
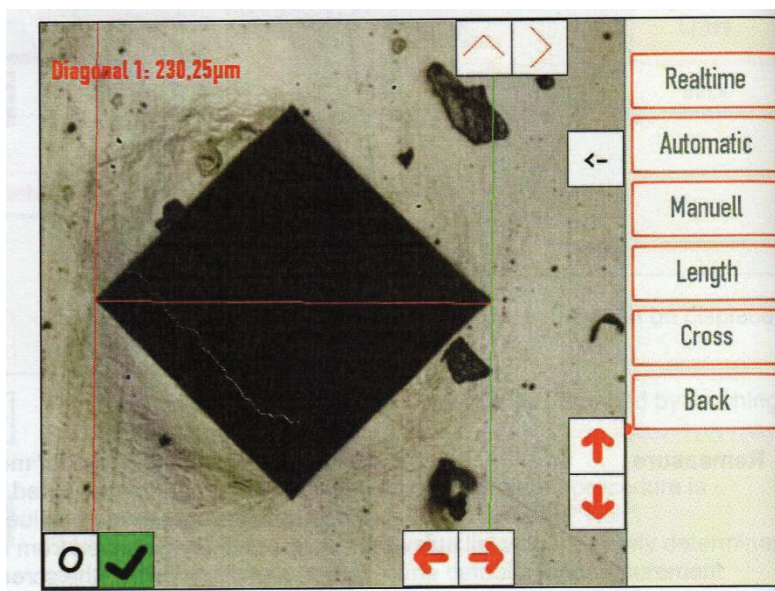
Κατά την διάρκεια της μέτρησης του μήκους, η απόσταση των δυο σημείων μετρείται στην οθόνη. Η λειτουργία του μήκους μπορεί να γίνει από το μενού "Realtime / Evaluate" ή "Remeasure".



- Αγγίξτε οποιοδήποτε σημείο στην οθόνη.
- Αγγίξτε ένα δεύτερο σημείο στη οθόνη.

Δύο γραμμές μετρήσεως και μια γραμμή ένωσης ανάμεσα στα σημεία επιδεικνύονται στην οθόνη.

Στην πάνω δεξιά γωνία το μετρημένο μήκος αναγράφεται σε (μm).



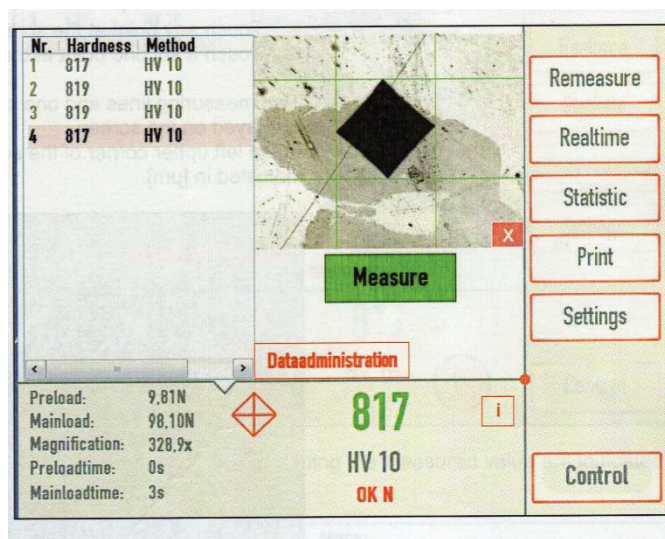
Για την επόμενη διόρθωση οι μετρούμενες γραμμές μπορούν να μετατοπιστούν κοντά μέσω των βελών. Η μετρούμενη γραμμή που χαρακτηρίζεται σε πράσινο είναι η ενεργός.

Η λειτουργία ζουμ ενεργοποιείται αγγίζοντας τα βέλη στην κορυφή δεξιά στην οθόνη.

Λήξη της μέτρησης αγγίζοντας το πράσινο "Tick" στο κατώτατο σημείο αριστερά στην οθόνη .

Ταξινόμηση των μετρημένων τιμών

Μετά από την αξιολόγηση των αποτυπωμάτων του δοκιμίου, τα αποτελέσματα μέτρησης αναγράφονται στη μάσκα μέτρησης. Η ταξινόμηση των μετρημένων τιμών πραγματοποιείται βάσει των παραμέτρων που καθορίζονται για την αντίστοιχη μέθοδο.



Επιπλέον, τα περαιτέρω στοιχεία σχετικά με τη μετρημένη τιμή είναι υποδειγμένα στην περιοχή πληροφοριών:

Σημείωση:

Τα στοιχεία αναφέρονται πάντα στις προεπιλογές παραμέτρου όσον αφορά τη μέθοδο που φορτώνεται αυτήν την στιγμή που εμφανίζεται στην οθόνη.

Χρώμα μέτρησης

Πράσινο: Η μετρημένη τιμή είναι μέσα στη σκληρότητα ανοχών, ελάχιστη σκληρότητα και μέγιστη σκληρότητα.

κόκκινο: Η μετρημένη τιμή είναι έξω από τα όρια ανοχής

Η πρόσθετη πληροφορία εμφανίζεται στη χαμηλότερη περιοχή της οθόνης (1):

OK : Μετρημένη τιμή μέσα στην ανοχή σκληρότητας

ΥΨΗΛΗ: Η μετρημένη τιμή είναι επάνω από το μέγιστο σκληρότητας

ΧΑΜΗΛΗ: Η μετρημένη τιμή είναι κάτω από το ελάχιστο σκληρότητας

N: Η μετρημένη τιμή ξαναμετρήθηκε

***** : Το αποτύπωμα δειγμάτων δοκιμής δεν αναγνωρίστηκε

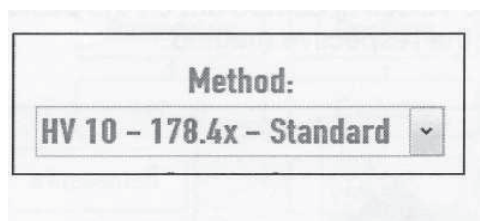
! : Οι διαγώνιες είναι 5% χωριστά.

i : Οι επιπλέον πληροφορίες μπορούν να προσεγγιστούν αγγίζοντας το "i".

Αγγίζοντας το δεύτερη φορά ακυρώνει την οθόνη με τις εκτεταμένες πληροφορίες.

Οπτική μέτρηση με τη Χειροκίνητη αξιολόγηση

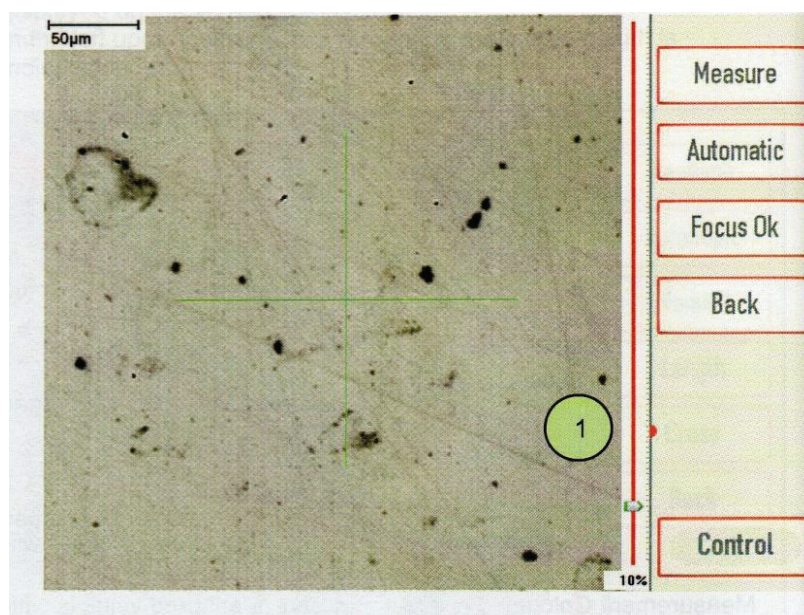
- Εξοπλίστε την μηχανή σύμφωνα με τη μέθοδο δοκιμής και το επιλεγμένο δοκίμιο. (δισδουτή και φακό).



- Επιλέξτε την αντίστοιχη μέθοδο μέτρησης από το μενού pull-down .
- Τοποθετήστε το δοκίμιο στην τράπεζα δοκιμής.
- Κινήστε την τράπεζα δοκιμής προς τα πάνω .
- Σύμφωνα με τις ρυθμίσεις της μηχανής, στερεωμένο ή όχι δοκίμιο κόντρα στον κώνο μύτης (απόσταση 0,3 χιλ.>).
- Πίεσε το κουμπί αφής **Realtime** .

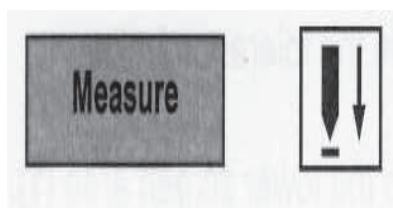
Μια εικόνα της επιφάνειας του δοκιμίου εμφανίζεται στην οθόνη.

Τώρα η βέλτιστη ποιότητα εικόνας μπορεί να προσαρμοστεί με τον κέρσορα (1)

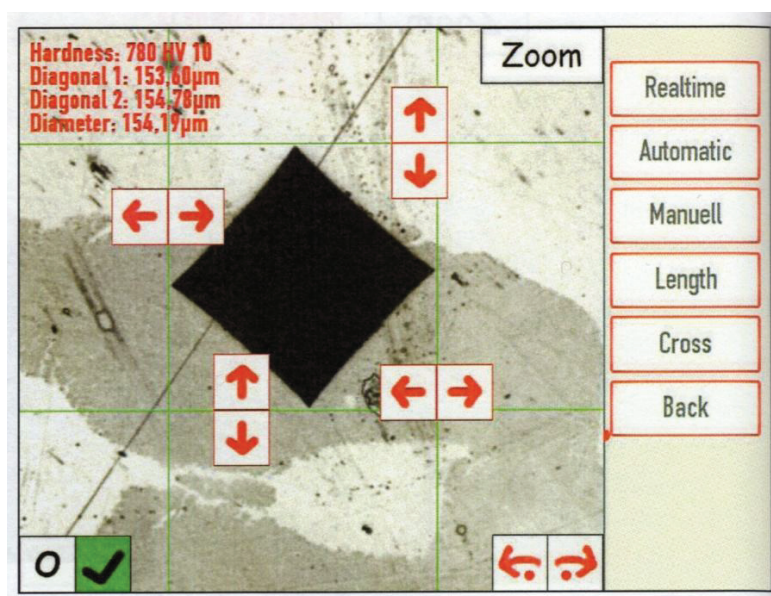


Ξεκινήστε την διαδικασία μέτρησης:

Αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί προαιρετικά αγγίζοντας το κουμπί αφής "Μέτρηση"/Measure ή πιέζοντας το πλήκτρο έναρξης κύκλων κάτω από την οθόνη.



Ο κύκλος μέτρησης πραγματοποιείται σύμφωνα με την προεπιλογή της επιλεγμένης μεθόδου μέτρησης. Ο φακός γυρίζει μέσα αυτόματα και τα εξής εμφανίζονται στην οθόνη:



Οι γραμμές μέτρησης υποδεικνύονται εκτός από το αποτύπωμα δοκιμής.

Το αποτύπωμα **δοκιμής** μπορεί να μετρηθεί μόνο με το χέρι. Εν προκειμένω δείτε τη "Χειροκίνητη Αξιολόγηση" σε αυτό το κεφάλαιο. Μετά από την αξιολόγηση του αποτυπώματος δοκιμής, η μετρημένη τιμή παρουσιάζεται στον κατάλογο μετρημένων τιμών.

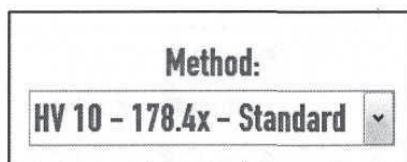
Σημείωση:

Η επαναμέτρηση του αποτυπώματος του δείγματος δοκιμής είναι δυνατή οποτεδήποτε. Η εικόνα του αποτυπώματος σώζεται από το λογισμικό οργάνων μαζί με τη μετρημένη τιμή και μπορεί να επιδειχθεί πάλι στην οθόνη οποτεδήποτε.

Οπτική μέτρηση με την αυτόματη αξιολόγηση

Ρυθμίστε την μηχανή σκληρομέτρησης σύμφωνα με τη μέθοδο δοκιμής και το φορτίο δοκιμής που επιλέγεται (διεισδυτής και φακός).

Επιλέξτε την αντίστοιχη μέθοδο μέτρησης από το μενού pull-down.



Τοποθετήστε το δοκίμιο στην τράπεζα δοκιμής.

Κινήστε την τράπεζα δοκιμής προς τα πάνω. Ανάλογα με τη ρύθμιση οργάνων στερεώστε ή μην στερεώνετε το δοκίμιο κόντρα στον κώνο μύτης (απόσταση 0,3 χιλ.).

Μηχανή σκληρομέτρησης με την αυτόματη τράπεζα δοκιμής:

Η έναρξη της διαδικασίας μέτρησης εξαρτάται από τη ρύθμιση της παραμέτρου "ESZ":

ESZ = 0: Το δοκίμιο στερεώνεται, η διαδικασία μέτρησης αρχίζει από το χειριστή.

ESZ > 0: Μετά την στερέωση του δοκιμίου η διαδικασία μέτρησης αρχίζει αυτόματα.

Έναρξη διαδικασίας μέτρησης

Η διαδικασία μέτρησης αρχίζει βάσει των καθορισμένων παραμέτρων.

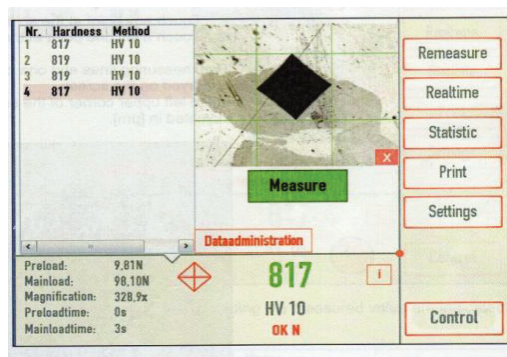
Σημείωση:

Ο καθορισμός της έκθεσης, πραγματοποιείται επίσης αυτόματα σύμφωνα με τις προεπιλογές από τις ρυθμίσεις επιλογών "Settings / Methods / Picture", οι οποίες σώζονται με τη μέθοδο που πρόσφατα φορτώθηκε.

Αρχίστε τη διαδικασία μέτρησης αγγίζοντας το κουμπί αφής "Measure" ή πιέζοντας το πλήκτρο έναρξης κύκλων κάτω από την οθόνη.



Το αποτύπωμα δοκιμής **αξιολογείται αυτόματα** και παρουσιάζεται στον κατάλογο τιμών μέτρησης. Η εικόνα του αποτυπώματος της δοκιμής αποθηκεύεται και προβάλλεται στην οθόνη.



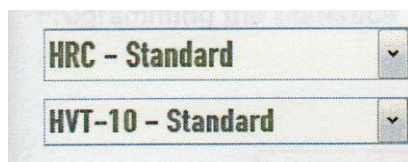
Μέτρηση διαφοράς βάθους

Η μέτρηση διαφοράς βάθους πραγματοποιείται χωρίς οπτική αξιολόγηση. Το αποτύπωμα δοκιμής δεν ανιχνεύεται από το φακό ούτε αποθηκεύεται. Κατά συνέπεια, δεν είναι δυνατή η επαναμέτρηση των μετρημένων τιμών από τη μέτρηση διαφοράς βάθους.

Η αλλαγή στη μέτρηση διαφοράς βάθους πραγματοποιείται στις επιλογές " Settings / Methods " (βλ. το κεφάλαιο "Ρυθμίσεις / Μέθοδοι").

Διαδικασία

- **Εξοπλίστε την μηχανή** σύμφωνα με τη διαδικασία δοκιμής και την δύναμη φορτίου που επιλέγεται (διεισδυτής και φακός).
- Επιλέξτε **τη μέθοδο μέτρησης** από το Pull-Down μενού.
(οι επίλεκτες οπτικές μέθοδοι μέτρησης τοποθετούνται με το όνομα „T”).



- **Τοποθετήστε το δοκίμιο στην τράπεζα δοκιμής.**
- **Κινήστε την τράπεζα δοκιμής προς τα πάνω.**

Ανάλογα με τη ρύθμιση οργάνων στερεώστε ή μην στερεώνετε το δοκίμιο κόντρα στον κώνο μύτης (απόσταση 0,3 χιλ.).

Μηχανή σκληρομέτρησης με την αυτόματη τράπεζα δοκιμής:

Η έναρξη της διαδικασίας μέτρησης εξαρτάται από τη ρύθμιση της παραμέτρου "ESZ":

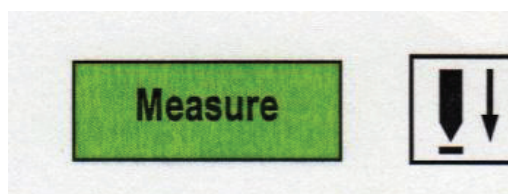
ESZ=0: Το δοκίμιο στερεώνεται, η διαδικασία μέτρησης αρχίζει από τον χειριστή.

ESZ > 0: Μετά από την στερέωση του δοκιμίου η διαδικασία μέτρησης αρχίζει αυτόματα.

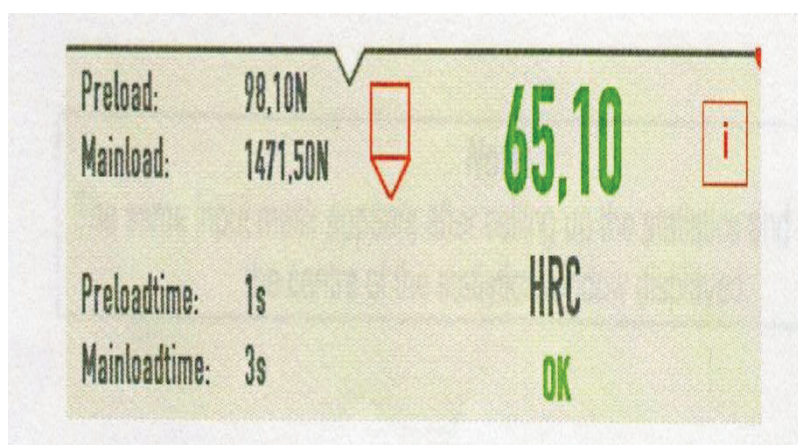
Διαδικασία έναρξης μέτρησης

Η διαδικασία μέτρησης αρχίζει βάσει των καθορισμένων παραμέτρων.

Η έναρξη της διαδικασίας μέτρησης μπορεί να πραγματοποιηθεί προαιρετικά αγγίζοντας το κουμπί αφής "Μέτρηση / Measure" ή πιέζοντας το κλειδί έναρξης κύκλων κάτω από την οθόνη.



Το αποτύπωμα της δοκιμής **αξιολογείται αυτόματα** και παρουσιάζεται στην λίστα μετρημένων τιμών. π.χ.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Πίνακας 2: Επιλογή κατάλληλου μεγέθους τροχού κοπής αναλόγως του χρησιμοποιούμενου μηχανήματος και του επιθυμητού υλικού προς κοπή

Μηχάνημα κοπής	Std.Μέγεθος τροχού*(mm)	Μη-σιδηρούχα μαλακά μέταλλα	Πολύ ελατά μέταλλα (Ti)	Μαλακά σιδηρούχα μέταλλα	Μετρίως μαλακά σιδηρούχα μέταλλα	Μετρίως σκληρά σιδηρούχα μέταλλα	Σκληρά σιδηρούχα μέταλλα	Πολύ σκληρά σιδηρούχα μέταλλα	Υπερβολικά σκληρά σιδηρούχα μέταλλα	Πορώδη καρβίδια Σκληρά κεραμικά	Μεταλλικά και κεραμικά	Πλαστικά και ρητίνες, εγκιβωτισμένα υλικά
Exotom-100/-150	432 x 3.0 x 32	10S43	10S43		30A43	40A43 42A4310	50A43 52A4310	60A43 62A4310	B0C411	B0D352	MOD352	E0D363
Axitom/-5 (1,950 rpm)	350 x 2.5 x 32	10S35	20S35	20A35	20A35	30A35	40A35	50A35 56A3512	B0C366	B0D352 B7D352/15	MOD352	E0D363
Exotom/Unitom-2/-5/-50 (2,775 rpm)		10S35	30S35	20A35	30A35	40A35	50A35 56A3512	60A35 66A3512	B0C366	B0D352 B7D352/15	MOD352	E0D363
Unitom/Discotom-50/-60/-65	300 x 2.0 x 32	10S30	20S30		30A30	40A30	50A30	60A30	B0C314	B0D314	M0D315	E0D315
Discotom-5/-6/Labotom-3	250 x 1.5 x 32	10S25	20S25	20A25	30A25 33A259	40A25 46A2512	54A25 50A2511 56A2512	60A25 66A2512	B0C257	B0D258	M0D258	E0D25
Discotom/Labotom	235 x 1.5 x 22	10S24	20S24		30A24	40A24	50A24	60A24				
Discoplan-TS	200 x 1.0 x 22									B4D20	M4D20	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΘΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟΥ

Πίνακας 3: Επιλογή κατάλληλης ρητίνης εγκιβωτισμού δοκιμίων

Προϊόν	Εφαρμογή	Επακριβή ιδιότητα	Υλικό	Περιεχόμενα	Αρ. Κατ.
ClaroFast	Πορώδη δείγματα Επιφανειακά ηλεκτρικά αγωγίμα για Condu-Fast	Διαφανή Μεσαία συρρίκνωση	Ακρυλικά Θερμοπλαστικά	1 kg 7.5 kg 25 kg	40100055 40100054 40100053
ConduFast	Ηλεκτρολυτική στίλβωση	Ηλεκτρικά αγωγίμα Πολύ μικρή συρρίκνωση	Ακρυλική ρητίνη με πλήρωση σιδηρόσκονης, Θερμοπλαστική , Γκρίζα	1 kg	40100039
DuroFast	Διατήρηση άκρων Επίπεδα δείγματα	Πολύ μικρή συρρίκνωση Καλή πρόσφυση Πολύ χαμηλό ιξώδες	Εποξική με μεταλλική και γυάλινη πλήρωση, Θερμοσκληρυνόμενη, Μαύρη	1 kg 7.5 kg	40100044 40100045
IsoFast	Διατήρηση άκρων Επίπεδα δείγματα	χαμηλή συρρίκνωση χαμηλό ιξώδες	Diallylphtalate με γυάλινη πλήρωση ιών, Θερμοσκληρυνόμενη, Πράσινη	1 kg 7.5 kg	40100042 40100043
LevoFast	Διατήρηση άκρων για υλικά μέσης σκληρότητας	Πολύ μικρή συρρίκνωση Υψηλό ιξώδες	Φθαλική με μεταλλική και γυάλινη πλήρωση, Θερμοσκληρυνόμενη, ελαφρώς κίτρινη	1 kg 7.5 kg	40100057 40100058
MultiFast black	Routine examination Ρυτίνη back -up	Μεσαία συρρίκνωση Μεσαίο ιξώδες	Φαινολική ρυτίνη με πλήρωση σκόνης ξύλου Θερμοσκληρυνόμενη, Μαύρη	2.5 kg 7.5 kg 25 kg 75 kg	40100027 40100028 40100029 40100063

MultiFast Green	Δοκιμή ρουτίνας Επισήμανση χρώματος	Μεσαία συρρίκνωση Μεσαίο ιξώδες	Φαινολική ρυτίνη με πλήρωση σκόνης ξύλου Θερμοσκληρυνόμενη, Πράσινη	2.5 kg 7.5 kg	40100030 40100031
MultiFast Red	Δοκιμή ρουτίνας Επισήμανση χρώματος	Μεσαία συρρίκνωση Μεσαίο ιξώδες	Φαινολική ρυτίνη με πλήρωση σκόνης ξύλου Θερμοσκληρυνόμενη, Κόκκινη	2.5 kg 7.5 kg 25 kg	40100060 40100061 40100062
PolyFast	Διατήρηση άκρων Εξέταση σε ηλεκτρικό μικροσκόπιο σάρωσης	Πολύ χαμηλή συρρίκνωση Μεσαίο ιξώδες Ηλεκτρικά αγωγιμο Χαμηλή διαβροχή υπό κενό	Φαινολική ρυτίνη με πλήρωση σκόνης άνθρακα Θερμοσκληρυνόμενη, Μαύρη	1 kg 7.5 kg	40100036 40100037
Pre-Mount	Συνεχής εγκιβωτισμός για μη πολύπλοκα σχήματα	Εύκολος χειρισμός Πολύ χαμηλή συρρίκνωση Μεσαίο ιξώδες	Φαινολική ρυτίνη με πλήρωση σκόνης ξύλου . Εντός σχήματος πλακιδίου Θερμοσκληρυνόμενη, Μαύρη	25 mm / 1" dia. approx. 1100 pcs. 10 kg 30 mm / 1." dia. approx. 760 pcs. 10 kg 40 mm / 1." dia. approx. 460 pcs. 10 kg	40101001 40101003 40101005

Πίνακας 3: Δεδομένα εγκιβωτισμού για τις μηχανές CitoPress-1/-10/-20

Διάμετρος κυλίνδρου	Ρυθίση		Θερμότητα			Ψύξη		Χρόνος (min)
	Τύπος	(ml)	(min)	(C°)	(bar)	(min)		
40mm	ClaroFast	35	4	180	350	6,5	Χαμηλός	10,5
	ConduFast	40	3,5	180	250	2	Υψηλός	5,5
	DuroFast	40	4,5	180	350	2,5	Υψηλός	7
	IsoFast	40	4,5	180	250	2,5	Υψηλός	7
	LevoFast	50	5	180	250	2	Υψηλός	7
	MultiFast	45	4	180	250	2,5	Υψηλός	6,5
	PolyFast	35	4	180	250	2	Υψηλός	6
	Pre-Mount	1pc.	4,5	180	250	3	Υψηλός	7,5

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΘΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΛΕΙΑΝΣΗ –ΣΤΙΛΒΩΣΗ)

Πίνακας 4: Χαλκός και κράματα χαλκού με μικρές ποσότητες χαλκού.

Λείανση

Βαθμίδα λείανσης:	PG	F 1	F 2	FG 3	FG 4
Επιφανειακά :	SiC- Paper	SiC- Paper	SiC- Paper	SiC- Paper	SiC- Paper
Grit:	320	500	800	1200	2400
Λιπαντικό :	Νερό	Νερό	Νερό	Νερό	Νερό
Ταχύτητα (rpm):	300	300	300	300	300
Δύναμη (N):	150	150	150	150	150
Χρόνος:	Όσος χρειαστεί	1 Min	1 Min	1 Min	1 Min

Στίλβωση

Βαθμίδα στίλβωσης:	DP1	OP
Επιφανειακά:	md-dac 3μm	OP-Chem
Εναιώρημα:	Dia Pro Mol	Iron (III)Nitrate
Ταχύτητα (rpm):	150	150
Δύναμη (N): /	150	90
Χρόνος:	4 min	1 min

Πίνακας 4.1: Χάλυβας.

Λείανση

Βαθμίδα λείανσης:	PG	F G
Επιφανειακά :	SiC- Paper 120- 220-320-500-800-1000-1200-2400	MD-Largo
Εναιώρημα:	-	DiaPro Allergo/Largo
Λιπαντικό :	Νερό	-
Ταχύτητα (rpm):	210	210
Δύναμη (N):	300	300
Χρόνος:	Όσος χρειαστεί	5 Min

Στίλβωση

Βαθμίδα στίλβωσης:	DP1	DP2	DP3
Επιφανειακά:	Md-dur 6μm	Md-mol 3 μm	Md-nap 1 μm
Εναιώρημα:	Dia Pro Dac	OP-S/OP-AA	
Ταχύτητα (rpm):	150	150	
Δύναμη (N):	210	150	
Χρόνος:	4 min	2 min	

Πίνακας 4.2: Αλουμίνιο

Λείανση

Βαθμίδα λείανσης:	PG	FG1	FG 2	FG3
Επιφανειακά:	SiC- Paper	SiC- Paper	SiC- Paper	SiC- Paper
Grit/Εναιώρημα	: 320 or 500	800	1200	4000
Λιπαντικό:	Νερό	Νερό	Νερό	Νερό
Ταχύτητα (rpm):	300	300	300	300
Δύναμη (N):	150	150	150	150
Χρόνος:	μέχρι να γίνει επίπεδο	30 sec	30 sec	30 sec

Στίλβωση

Βαθμίδα στίλβωσης:	DP	OP
Επιφανειακά:	MD-Mol 3μm ¹⁵	OP-Chem
Εναιώρημα:	DiaPro Mol	OP-U or OP-S
Ταχύτητα (rpm) :150 /	150	150
Δύναμη (N): 150/	150	90
Χρόνος:	4 min	2-5 min

¹⁵ Για να αποφευχθούν χαραγές, το SiC χαρτί μπορεί να τριφτεί με κερί πριν την λείανση. Εναλλακτικά χρησιμοποιούμε MD-Dac.