



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μη Καταστροφικός Έλεγχος **Μέθοδος Υπερήχων**

Επιμέλεια: Κουσίδης Σάββας

Επιβλέπων: Θεοδουλίδης Θεόδωρος

Καθηγητής Π.Δ.Μ.

Κοζάνη 2013

Μη Καταστροφικός Έλεγχος

Μέθοδος Υπερήχων

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Μη Καταστροφικός Έλεγχος – Μέθοδος Υπερήχων» εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2012-2013.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Θεοδουλίδη Θεόδωρο, για την καθοδήγηση, τις υποδείξεις και την παροχή του εργαστηριακού εξοπλισμού. Επίσης, ευχαριστώ την υποψήφια Διδάκτορα κ. Βουλγαράκη Χαριτίμη για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε, όσον αφορά, την εξοικείωση και εκμάθηση του εργαστηριακού εξοπλισμού υπερήχων.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Βαφειάδη Κυριάκο, για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διεξαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και όλο το επιστημονικό προσωπικό του τμήματος που φοίτησα όλα αυτά τα χρόνια, για τις ανεκτίμητες γνώσεις που μου προσέφεραν.

Κλείνοντας, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη τους όλο αυτό το διάστημα.

Κουσίδης Σάββας

Περιεχόμενα

Πρόλογος – Ευχαριστίες.....	I
Περιεχόμενα.....	II
Ευρετήριο Σχημάτων.....	V
Ευρετήριο Πινάκων.....	VIII
Περίληψη.....	IX
Abstract.....	X
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά για το Μη Καταστροφικό Έλεγχο.....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή των υπερήχων.....	2
1.3 Γενικά για τους υπερήχους.....	3
2 Φυσική των υπερήχων.....	5
2.1 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες μηχανικών κυμάτων.....	5
2.2 Ήχος και Υπέρηχος.....	6
2.3 Τύποι ηχητικών κυμάτων.....	7
2.4 Ένταση ηχητικών κυμάτων.....	10
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάδοση των υπερήχων.....	11
2.6 Ανάκλαση, Διάθλαση και νόμος του Snell.....	13
3 Χαρακτηριστικά της δέσμης υπερήχων.....	17
3.1 Γεωμετρία δέσμης υπερήχων.....	17
3.2 Παλμός υπερήχων.....	19
3.3 Ευαισθησία και Διακριτική ικανότητα.....	20
4 Εξοπλισμός υπερήχων.....	23
4.1 Παραγωγή –Ανίχνευση υπέρηχων.....	23
4.2 Κεφαλές και συσκευές υπερήχων.....	24
4.3 Επιλογή κεφαλής.....	28

Περιεχόμενα

4.4	Συσκευή Υπερήχων.....	30
4.5	Δοκίμια Βαθμονόμησης	32
4.6	Υλικό Σύζευξης.....	34
4.7	Βασικές μέθοδοι υπερηχητικού ελέγχου.....	34
4.8	Τύποι απεικόνισης ατελειών.....	36
5	Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους	41
5.1	Έλεγχος Εξοπλισμού	41
5.2	Βαθμονόμηση συσκευής πριν τη διεξαγωγή ελέγχου	44
5.3	Εντοπισμός ασυνέχειας.....	52
5.4	Προσδιορισμός θέσης ασυνέχειας	54
5.5	Τεχνικές συγκριτικής αξιολόγησης ασυνεχειών	59
5.6	Τεχνικές διαστασιολόγησης ασυνεχειών.....	61
5.7	Τεχνική έκθεση.....	65
5.8	Πρότυπα και Προδιαγραφές.....	65
6	Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων.	67
6.1	Γενικά	67
6.2	Συγκολλήσεις.....	67
6.3	Υπερηχητικός ανιχνευτής σφαλμάτων (Epoch 1000i)	75
6.4	Έλεγχος συγκολλήσεων.....	81
6.4.1	Περιγραφή εξοπλισμού.....	81
6.4.2	Δοκίμια εξέτασης – Επιφάνειες ελέγχου	81
6.4.3	Βήματα πριν τον έλεγχο συγκολλήσεων.....	81
6.4.4	Έλεγχος δοκιμών συγκόλλησης.....	98
7	Συμπεράσματα.....	117
	Βιβλιογραφία	119
	Παραρτήματα.....	122

Περιεχόμενα

Λεξιλόγιο – Ορολογίες	123
Πρότυπα και Προδιαγραφές	127
Πίνακες από το πρότυπο AWS D1.1:2000.....	128
Χαρακτηριστικά συσκευής Epoch 1000i	131
Χαρακτηριστικά και DGS-Diagrams κεφαλών	133

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Αναπαράσταση λειτουργίας υπερήχων.....	3
Σχήμα 2.1: Στιγμιότυπο κύματος.....	5
Σχήμα 2.2: Μετατόπιση των σωματιδίων για ένα δεδομένο υπερηχητικό κύμα.....	6
Σχήμα 2.3: Ακουστικό φάσμα.....	6
Σχήμα 2.4: Διαμήκη και Εγκάρσια κύματα.....	8
Σχήμα 2.5: Επιφανειακά κύματα.....	8
Σχήμα 2.6: Εξασθένιση έντασης ήχου κατά τη διέλευση του σε μέσο.....	12
Σχήμα 2.7: Ανάκλαση και Διάθλαση του ήχου.....	13
Σχήμα 2.8: Κρίσιμες γωνίες μέσο 1 (C_1) – μέσο 2 (C_2).....	14
Σχήμα 2.9: Περίθλαση του ήχου.....	16
Σχήμα 3.1: Γεωμετρία δέσμης υπερήχου.....	17
Σχήμα 3.2: Ένταση ήχου ανά περιοχή δέσμης.....	18
Σχήμα 3.3: Στιγμιότυπο παλμού υπερήχου.....	19
Σχήμα 3.4: Απεικόνιση σε οθόνη-CRT δύο γειτονικών ασυνεχειών.....	20
Σχήμα 4.1: Πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος κατά τη συστολή και διαστολή του.....	23
Σχήμα 4.2: Πιεζοηλεκτρική κεφαλή.....	24
Σχήμα 4.3: Κάθετες κεφαλές μονού κρυστάλλου.....	25
Σχήμα 4.4: Δίδυμες κεφαλές.....	26
Σχήμα 4.5: Γωνιακές κεφαλές.....	26
Σχήμα 4.6: Κεφαλές πέλματος καθυστέρησης.....	27
Σχήμα 4.7: Ενισχυμένες κεφαλές.....	27
Σχήμα 4.8: Κεφαλές εμβάπτισης.....	28
Σχήμα 4.9: Κεφαλές υψηλής συχνότητας.....	28
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα ροής συσκευής υπερήχων.....	30
Σχήμα 4.11: Καθοδικός σωλήνας ακτίνων (CRT).....	31
Σχήμα 4.12: α) Αναλογικό σήμα β) Επεξεργασία σήματος με πλέγμα (raster) στο πεδίο του χρόνου γ) Επεξεργασία σήματος με πλέγμα – πλάτος σήματος δ) Αποτέλεσμα – ψηφιακό σήμα.....	31
Σχήμα 4.13: Υλικό σύζευξης μεταξύ κεφαλής – δοκιμίου.....	34
Σχήμα 4.14: Απεικόνιση μεθόδου διάβασης.....	35
Σχήμα 4.15: Απεικόνιση μεθόδου pitch-catch.....	36
Σχήμα 4.16: A-Scan.....	37
Σχήμα 4.17: B-Scan.....	37
Σχήμα 4.18: C-Scan.....	38
Σχήμα 4.19: Απεικόνιση σφάλματος (αριστερή πλευρά A-Scan /δεξιά πλευρά phased array 49°).....	39
Σχήμα 5.1: Σχέδιο απόκλισης δέσμης.....	43

Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων

Σχήμα 5.2: Δοκίμιο βαθμονόμησης τύπου: IIW, A2, V1, DIN54/120, (Ολλανδικό δοκίμιο).....	45
Σχήμα 5.3: Δοκίμιο βαθμονόμησης τύπου: A4, V2, DIN54/122, (σχήματος νεφρού).....	45
Σχήμα 5.4: Ανακλάσεις ήχου σε δοκίμιο 25mm, με προκαθορισμένο εύρος δοκιμής 100mm.....	47
Σχήμα 5.5: Βαθμονόμηση γωνιακών κεφαλών στο δοκίμιο V1.....	49
Σχήμα 5.6: Απεικονίζει το χρόνο της δέσμης μέσα στην κεφαλή (to) και τις αποστάσεις δύο ανακλαστήρων ...	49
Σχήμα 5.7: Αναπαράσταση στην οθόνη της συσκευής των δύο ανακλαστήρων.....	50
Σχήμα 5.8: Αναπαράσταση συνολικού χρόνου πριν τη διόρθωση zero offset ($t_n=t_o+t_1$).....	51
Σχήμα 5.9: Σάρωση κάθετης κεφαλής.....	53
Σχήμα 5.10: Σάρωση με γωνιακή κεφαλή.....	54
Σχήμα 5.11: Διαδρομή δέσμης και θέση ασυνέχειας.....	55
Σχήμα 5.12: Διαδρομή δέσμης γωνιακής κεφαλής.....	56
Σχήμα 5.13: Υπολογισμός βάθους και επιφανειακής απόστασης μέσω τριγωνομετρίας.....	56
Σχήμα 5.14: Επιφανειακή απόσταση μειωμένη κατά x-value.....	57
Σχήμα 5.15: Πραγματική και εικονική θέση σφάλματος.....	58
Σχήμα 5.16: Βηματική απόσταση και τριγωνομετρικές σχέσεις για τον υπολογισμό των αποστάσεων.....	58
Σχήμα 5.17: Δημιουργία καμπύλης διόρθωσης απόστασης-έντασης για κάθετες και γωνιακές κεφαλές.....	59
Σχήμα 5.18: Διαγράμματα Απόστασης-Ενίσχυσης-Μεγέθους (DGS).....	60
Σχήμα 5.19: Τεχνική πτώσης 20dB.....	63
Σχήμα 5.20: Τεχνική πτώσης 6dB.....	64
Σχήμα 5.21: Τεχνική Μέγιστου Εύρους.....	65
Σχήμα 6.1: Διάταξη συγκόλλησης τόξου.....	68
Σχήμα 6.2: Ορολογία περιοχής συγκόλλησης.....	69
Σχήμα 6.3: Κάτω αριστερά ρωγμή ρίζας / πάνω δεξιά ρωγμή στον πόδα διαμήκης αξονική στη ΘΕΖ.....	72
Σχήμα 6.4: Ρωγμή φυλλοειδής διαμήκης αξονική στη ΘΕΖ, συγκόλληση μορφής (T).....	72
Σχήμα 6.5: Ρωγμή κεντρικού άξονα, συγκόλληση μορφής (X).....	72
Σχήμα 6.6: Περιπτώσεις πορώδους.....	73
Σχήμα 6.7: Μη μεταλλικά εγκλείσματα.....	73
Σχήμα 6.8: Ατελής τήξη στα τοιχώματα.....	74
Σχήμα 6.9: Ελλιπής διείσδυση ρίζας, συγκόλληση μορφής (V).....	74
Σχήμα 6.10: Ελλιπής εσωτερική διείσδυση ρίζας, συγκόλληση μορφής (X).....	74
Σχήμα 6.11: Επίπεδος διαχωρισμός ελασματοποίησης.....	74
Σχήμα 6.12: Πρόσοψη EPOCH 1000i.....	75
Σχήμα 6.13: Πλήκτρα συντόμευσης EPOCH 1000i.....	76
Σχήμα 6.14: Στοιχεία κεντρικής οθόνης EPOCH 1000i.....	77
Σχήμα 6.15: Απεικόνιση συστήματος Μενού (Λειτουργία UT).....	77
Σχήμα 6.16: Λειτουργία PEAK MEM κατά την εύρεση σημείου BIP της κεφαλής 70°.....	85
Σχήμα 6.17: Εύρεση σημείου BIP στο δοκίμιο V1 για γωνιακή κεφαλή 70°.....	86
Σχήμα 6.18: Έλεγχος γωνίας εκπομπής δέσμης υπερήχων σε δοκίμιο V1, κεφαλή 70°.....	86

Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων

Σχήμα 6.19: Διαστάσεις και αποστάσεις στο δοκίμιο βαθμονόμησης V1	87
Σχήμα 6.20: Πύλη τοποθετημένη πάνω από το δεύτερο σήμα ανάκλασης (225 mm).....	88
Σχήμα 6.21: Κλιμακωτή πλάκα βαθμονόμησης 7 επιπέδων.....	89
Σχήμα 6.22: Οδηγητική γραμμή πρώτου σήματος που προέρχεται από το πάχος 3 mm.....	90
Σχήμα 6.23: Σήματα και μετρήσεις από το πάχος (3 & 12 mm) των σκαλοπατιών του κλιμακωτού δοκιμίου ...	91
Σχήμα 6.24: Εξεταζόμενο δοκίμιο συγκόλλησης τύπου V (κάτοψη - πλάγια όψη).....	92
Σχήμα 6.25: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και X (κάτοψη – πλάγια όψη)	93
Σχήμα 6.26: Έλεγχος μεταλλικής πλάκας συγκόλλησης τύπου V με δίδυμη κάθετη κεφαλή	94
Σχήμα 6.27: Στιγμιότυπο σήματος και μετρήσεων που απεικονίζουν το πάχος των μεταλλικών πλακών συγκόλλησης.....	94
Σχήμα 6.28: Στιγμιότυπο σήματος και μετρήσεων κατά τον εντοπισμό lamination.....	95
Σχήμα 6.29: Στιγμιότυπο σήματος και μετρήσεων κατά την εφαρμογή τεχνικής διαστασιολόγησης -6dB drop .	96
Σχήμα 6.30: Σκαρίφημα μεταλλικής πλάκας και αναπαράσταση ασυνέχειας lamination	96
Σχήμα 6.31: Υπολογισμός αποστάσεων στα δοκίμια συγκόλλησης πάχους T=10 mm.....	97
Σχήμα 6.32: Τρισδιάστατη αναπαράσταση δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V.....	98
Σχήμα 6.33: Τρισδιάστατη αναπαράσταση δοκιμίου συγκόλλησης τύπου X.....	99
Σχήμα 6.34: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 1	100
Σχήμα 6.35: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 1	101
Σχήμα 6.36: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ρωγμής στον πόδα.....	101
Σχήμα 6.37: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση από πλευρά A για την συγκόλληση 2	102
Σχήμα 6.38: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση από πλευρά B για την συγκόλληση 2	103
Σχήμα 6.39: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση από την πλευρά A για την συγκόλληση 2	103
Σχήμα 6.40: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ρωγμής ρίζας	104
Σχήμα 6.41: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 3	105
Σχήμα 6.42: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 3	105
Σχήμα 6.43: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ρωγμής κεντρικού άξονα	106
Σχήμα 6.44: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 4	107
Σχήμα 6.45: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 4	107
Σχήμα 6.46: Στιγμιότυπο σήματος στην ενδιάμεση περιοχή (βηματική απόσταση – μισή βηματική απόσταση) για την συγκόλληση 4	108
Σχήμα 6.47: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση πορώδους στο σώμα της συγκόλλησης.....	108
Σχήμα 6.48: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 5	109
Σχήμα 6.49: Στιγμιότυπο σήματος στην ενδιάμεση περιοχή (βηματική απόσταση - μισή βηματική απόσταση) για την συγκόλληση 5	110
Σχήμα 6.50: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση εγκλεισμάτων σκωρίας στο σώμα της συγκόλλησης.....	110
Σχήμα 6.51: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση για την συγκόλληση 6 ...	111

Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων

Σχήμα 6.52: Στιγμιότυπο σήματος σε απόσταση 18 mm από τον άξονα συγκόλλησης για την συγκόλληση 6..	112
Σχήμα 6.53: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ατελούς τήξης στο πλαϊνό τοίχωμα της συγκόλλησης.....	112
Σχήμα 6.54: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 7	113
Σχήμα 6.55: Στιγμιότυπο σήματος σε απόσταση 18 mm από τον άξονα συγκόλλησης για την συγκόλληση 7..	114
Σχήμα 6.56: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου X και αναπαράσταση ελλιπούς διείδυση ρίζας.....	114

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Ταχύτητες μετάδοσης του ήχου σε διάφορα υλικά.....	9
Πίνακας 2.2: Πίνακας σχετικών πτώσεων dB σε σχέση με το ύψος σήματος.....	10
Πίνακας 4.1: Επιλογή κεφαλής – Παράγοντας συχνότητα.....	29
Πίνακας 4.2: Επιλογή κεφαλής – Παράγοντας μεγέθους επιφάνειας κρυστάλλου κεφαλής	29
Πίνακας 4.3: Επιλογή κεφαλής – Παράγοντας εύρους πεδίου συχνότητας	29
Πίνακας 4.4: Πρότυπα δοκίμια βαθμονόμησης.....	33
Πίνακας 5.1: Συσχέτιση εύρους δοκιμής – ακρίβειας ανάγνωσης	46
Πίνακας 6.1: Είδη συγκολλήσεων, σχηματική αναπαράστασή και συμβολισμός της καθεμίας	70
Πίνακας 6.2: Δομή των μενού, υπομενού και παραμέτρων (Λειτουργία UT/A-scan).....	78
Πίνακας 6.3: Διαθέσιμα είδη μέτρησης και τα αντίστοιχα σύμβολα	79

Περίληψη

Το επιστημονικό θέμα με το οποίο θα ασχοληθεί η παρούσα διπλωματική εργασία, είναι ο Μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) με τη μέθοδο των υπερήχων. Πιο συγκεκριμένα, θα ελεγχθούν με τη βοήθεια ψηφιακής συσκευής υπερήχων, διάφοροι τύποι δοκιμίων συγκόλλησης με σκοπό την εύρεση και αξιολόγηση ατελειών.

Αρχικά, δίνεται εν συντομία ο ορισμός των ΜΚΕ καθώς και μια γενική περιγραφή της μεθόδου των υπερήχων.

Στα κεφάλαια δύο και τρία, γίνεται αναλυτική περιγραφή της κυματικής φύσης των υπερήχων, καθώς και των χαρακτηριστικών της δέσμης υπερήχων, που εκπέμπονται από μια κεφαλή.

Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται ο απαραίτητος εξοπλισμός για την διεξαγωγή υπερηχητικών ελέγχων, καθώς και οι αρχές λειτουργίας του κάθε εξοπλισμού.

Στο κεφάλαιο, «Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους», δίνεται βήμα προς βήμα η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί για τη διεξαγωγή ενός υπερηχητικού ελέγχου.

Στο έκτο κεφάλαιο, πραγματοποιείτε υπερηχητικός έλεγχος σε δοκίμια συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων. Στην ουσία, σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται εφαρμογή όλης της γνώσης που δόθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Η εργασία ολοκληρώνεται, με την παράθεση των συμπερασμάτων και την παρουσίαση θεμάτων που χρήζουν περαιτέρω έρευνας.

Abstract

The object of the current study is the Non – Destructive Testing (NDT) by the method of ultrasonic testing. More specifically, various types of weld specimens for finding and evaluating defects will be inspected, using flaw detector.

Firstly, the definition of NDT and a general description of ultrasonic testing are given briefly.

In chapters two and three, there is a detailed description of the wave nature of ultrasound, and the characteristics of the ultrasound beam, emitted by a probe.

The fourth chapter, which follows, presents the necessary equipment for conducting ultrasonic inspection, and the principles of operation of each equipment.

In chapter, “Methods and ultrasonic inspection techniques”, a step by step procedure, is given, to be followed for the conduct of an ultrasonic inspection.

In the sixth chapter, ultrasonic inspection in welding specimens is performed, using digital flaw detector. In essence, this chapter is applying all the knowledge given in the previous chapters.

The thesis concludes, with a statement of findings and presentation topics requiring further research.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά για το Μη Καταστροφικό Έλεγχο

Ως γενικός ορισμός του Μη Καταστροφικού Ελέγχου θεωρείται η εξέταση και αξιολόγηση ενός αντικειμένου με τεχνολογίες οι οποίες δεν επηρεάζουν τη λειτουργικότητα και τη μελλοντική του χρησιμότητα. Βασικός στόχος του ΜΚΕ είναι η εύρεση και ανάδειξη σφαλμάτων που βρίσκονται εσωτερικά σε υλικά και συνεπώς είναι αδύνατο να εντοπιστούν με γυμνό μάτι.

Οι μη καταστροφικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για την μέτρηση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών καθώς και για τον εντοπισμό ελαττωμάτων (π.χ. μεταβολές μέσα στη δομή, αλλαγές στην επιφάνεια, εσωτερικές ρωγμές κλπ) σε ένα σύστημα, χωρίς όμως να καταστρέψουν ούτε να επηρεάσουν τη λειτουργικότητα του. Η διαδικασία αυτή είναι ζωτικής σημασίας από άποψη οικονομίας στο σχεδιασμό κατασκευών με αντοχή σε βλάβες, καθώς κι όταν πιθανή αστοχία επιφέρει όχι μόνο υλικές ζημιές αλλά και θέτει σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.

Ο ΜΚΕ χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους, κάθε μια από τις οποίες βασίζεται σε συγκεκριμένη επιστημονική παραδοχή ή αρχή λειτουργίας και επίσης μπορεί να διακρίνεται σε περισσότερες από μια τεχνικές.

Οι κυριότερες κατηγορίες μεθόδων ΜΚΕ είναι :

- Οπτικές Μέθοδοι (Visual Inspection)
- Ραδιογραφικές Μέθοδοι (Radiographic Testing)
- Μέθοδοι Υπερήχων (Ultrasonic Inspection)
- Έλεγχος με Διεισδυτικά Υγρά (Dye Penetrant Inspection)
- Μέθοδος Θερμικών Εκπομπών (Thermal Emission)
- Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι (Electromagnetic Testing)
- Έλεγχοι Διαρροής (Leak Testing)
- Μικροκυματικές Μέθοδοι (Microwave Inspection)

Οι εφαρμογές των ΜΚΕ, σήμερα, καλύπτουν ένα τεράστιο φάσμα βιομηχανικών και κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και τις συναντάμε σχεδόν παντού:

- στην αυτοκινητοβιομηχανία (μηχανή, πλαίσιο)
- στην αεροδιαστημική (πλαίσια αεροπλάνων & διαστημοπλοίων, πύραυλοι, κινητήρες τζετ)
- στις κατασκευές (κτίρια, γέφυρες)
- στη βιομηχανία (μηχανικά εξαρτήματα, καλούπια, πρέσες)

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

- σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας (πιεστικά δοχεία, δεξαμενές, λέβητες, εναλλάκτες, τουρμπίνες, σωληνώσεις, συγκολλήσεις)
- στο σιδηρόδρομο (σιδηροτροχιές, τροχοί και άξονες)
- σε αγωγούς αερίου και πετρελαιοαγωγούς
- στα πάρκα αναψυχής (παιχνίδια και τραίνα μεγάλης ταχύτητας)
- στην ιατρική (τομογραφίες, υπέρηχοι, ακτινογραφίες, καρδιογραφήματα κλπ.).

1.2 Ιστορική αναδρομή των υπερήχων

Ο έλεγχος των υλικών με τη βοήθεια του ήχου είναι μια από τις παλαιότερες μη καταστροφικές μεθόδους δοκιμής.

Όλοι γνωρίζουμε ότι οι αγγειοπλάστες και οι κεραμοποιοί δοκιμάζουν τα προϊόντα τους χτυπώντας τα ελαφρά και ακούγοντας τον ήχο που παράγεται. Για παράδειγμα, η παρουσία σχετικά μεγάλων ατελειών σε χυτά αντικείμενα ή η σημαντική ελάττωση του πάχους των τοιχωμάτων των σωληνώσεων, λόγω διάβρωσης, αλλοιώνουν τον ήχο που θα παρήγαγαν εάν ήταν τέλεια. Αυτή η μέθοδος ελέγχου είναι πολύ πρωτόγονη και για αυτό έγιναν προσπάθειες να αντικατασταθεί ο ανθρώπινος παράγοντας, από συσκευές ακριβέστερες και πιο αξιόπιστες.

Οι πρώτες απόπειρες παραγωγής υπερήχων έγιναν με διατάξεις ακροφυσίων πεπιεσμένου αέρα καθώς και με υψίσυχνες ηλεκτρικές εκκενώσεις, αλλά το 1915 ο Paul Langevin έδωσε οριστική λύση στο πρόβλημα της παραγωγής και της ανιχνεύσεως των υπερήχων κάνοντας χρήση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου που ανακαλύφθηκε από τους Pierre & Jacques Currie. Την περίοδο 1929-1935 ο Ρώσος Sokolov ασχολήθηκε με την ανίχνευση ελαττωμάτων σε μεταλλικές πλάκες προσβάλλοντας τις με μια δέσμη υπερήχων και μετρώντας την ένταση που μεταδίδεται σε κάθε σημείο τους και συγκρίνοντας την με αυτή που μεταδίδεται από μια περιοχή χωρίς ελαττώματα. Το 1931 ο Milhauser απέκτησε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, χρησιμοποιώντας ζεύγος κεφαλών υπερήχων κατάφερε να ανιχνεύσει ατέλειες σε στερεά αντικείμενα με τη μέθοδο (Pitch-Catch). Λίγο αργότερα το 1942 ο Firestone και 1945 ο Simons εφάρμοσαν τη μέθοδο παλμού-ηχούς (Pulse-Echo) για τη μέτρηση του πάχους μεταλλικών υλικών.

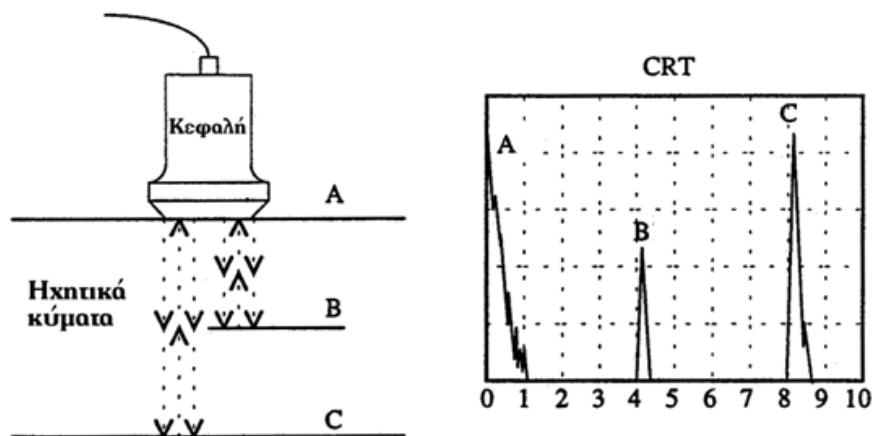
Από τότε, έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις στις συσκευές παραγωγής υπερήχων, με αποτέλεσμα το ευρύ πεδίο εφαρμογών τους: στον μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών, στην μεταλλουργία, στις υποβρύχιες τηλεπικοινωνίες, στη βιολογία, στην ιατρική κλπ.

1.3 Γενικά για τους υπερήχους

Η μέθοδος των υπερήχων εκμεταλλεύεται την ιδιότητα των ηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας, τυπικά άνω των 0.5MHz (500.000 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο), να μεταδίδονται μέσω των υλικών.

Χρησιμοποιείται μια κεφαλή που περιέχει πιεζο-ηλεκτρικό κρύσταλλο, για εκπομπή και λήψη παλμών υπερήχων «υπερηχητικός μεταλλάκτης». Ο μηχανισμός έχει ως εξής ο υπέρηχος εκπέμπεται από την κεφαλή και μεταδίδεται μέσα στο εξεταζόμενο υλικό μέχρι που προσκρούει σε επιφάνεια αέρα ή διαχωριστική επιφάνεια υλικών διαφορετικής πυκνότητας κάθετων στη δέσμη υπερήχων, ανακλάται και επιστρέφοντας απεικονίζεται στην οθόνη της συσκευής μας. Η ένδειξη έχει σχέση με τον χρόνο που κάνουν οι παλμοί, από την πρόσκρουση επί του ελαττώματος έως την επιστροφή τους, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο παλμών, τόσο περισσότερο απέχει το εμπόδιο (οριζόντιος άξονας). Επίσης έχει σχέση και με το μέγεθος του ελαττώματος, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του ελαττώματος τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ισχύς ή ένταση του σήματος που θα λάβουμε ως ένδειξη (κάθετος άξονας).

Για να μπορέσει ο υπέρηχος να διαδοθεί στο υλικό, ανάμεσα στην κεφαλή και στο δοκίμιο, παρεμβάλλεται ένα συνδετικό υλικό, π.χ. γράσο, βαζελίνη, λάδι, γλυκερίνη ή και νερό, επειδή ο υπέρηχος δυσκολεύεται να μεταδοθεί μέσω του αέρος.



Σχήμα 1.1: Αναπαράσταση λειτουργίας υπερήχων

Στο «σχήμα 1.1» αναπαριστάται η βασική λειτουργία των υπερήχων, η ηχητική ενέργεια εκπέμπεται από την κεφαλή στο δοκίμιο στην περιοχή “A” παράγοντας μία ηχώ που απεικονίζεται στην οθόνη σαν σημείο A αρχικός παλμός (initial pulse – I.P.). Μία ποσότητα ήχου ανακλάται από το σφάλμα στο “B” και το αποτέλεσμα απεικονίζεται στο B. Ο εναπομένον ήχος συνεχίζει μέσα από το δοκίμιο και ανακλάται από το οπίσθιο τοίχωμα “C”, και η ηχώ εμφανίζεται στο σημείο C της οθόνης (backwall-echo – BW.E.).

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Η μέθοδος των υπερήχων έχει ευρύ πεδίο εφαρμογών, οι συνηθέστερες είναι: παχυμέτρηση αντικειμένων (Ultrasonic Thickness Testing – UTT), χαρτογράφηση πάχους σωλήνων (Corrosion Mapping), εύρεση μεγέθους επίπεδης διαστρωμάτωσης (Lamination testing – ULT), ανίχνευση σφαλμάτων/ατελειών σε υλικά (συγκολλήσεις, προϊόντα χύτευσης και σφυρηλασίας) (Ultrasonic Flaw Detection – UFD), μέτρηση πυκνότητας υλικών, μέτρηση σκληρότητας υλικών, κτλ.

2 Φυσική των υπερήχων

2.1 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες μηχανικών κυμάτων

Γύρω μας υπάρχουν πολλά παραδείγματα μηχανικών κυμάτων όπως τα κύματα στην επιφάνεια της θάλασσας, τα σεισμικά, τα ηχητικά κλπ.

Γενικά κύμα είναι η διάδοση των περιοδικών κινήσεων (ταλαντώσεων) που κάνουν τα στοιχειώδη σωματίδια ενός υλικού γύρω από τη θέση ισορροπίας τους και που έχουν σαν αποτέλεσμα να μεταδίδουν την ταλάντωση τους αυτή από σημείο σε σημείο με ορισμένη ταχύτητα. Επομένως κατά τη διάδοση ενός κύματος μεταφέρεται ενέργεια και ορμή από το ένα σημείο του μέσου στο άλλο και όχι ύλη. Για τη δημιουργία μηχανικού κύματος χρειάζονται, μια πηγή που δημιουργεί τη διαταραχή και ένα μέσο για τη διάδοση αυτής.

Κάθε μηχανικό κύμα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

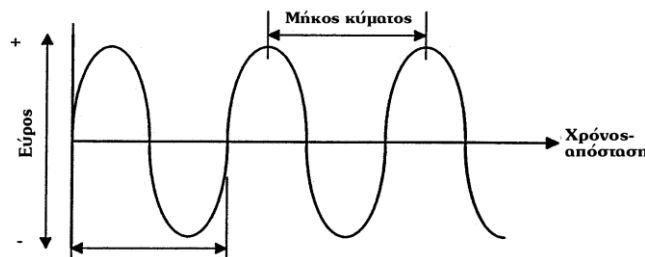
- Την ταχύτητα διάδοσης του, c , (m/s)
- Το μήκος κύματος, δηλαδή την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός κύματος λ , (m)
- Τη συχνότητα του κύματος, δηλαδή ο αριθμός των κύκλων ανά δευτερόλεπτο, f , (Hz)
- Την περίοδο του κύματος, ο χρόνος που απαιτείται για ένα πλήρη κύκλο, T , (sec)

Από τα παραπάνω καταλήγουμε στην θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής. Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος ισούται με το γινόμενο του μήκους κύματος επί της συχνότητας του κύματος:

$$(c = \lambda \times f) \quad 2.1$$

Η πυκνότητα και η ελαστικότητα ενός μέσου είναι επίσης παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του κύματος.

Το «σχήμα 2.1» αποτελεί αναπαράσταση του εύρους της ταλάντωσης των μορίων και του μήκους κύματος.

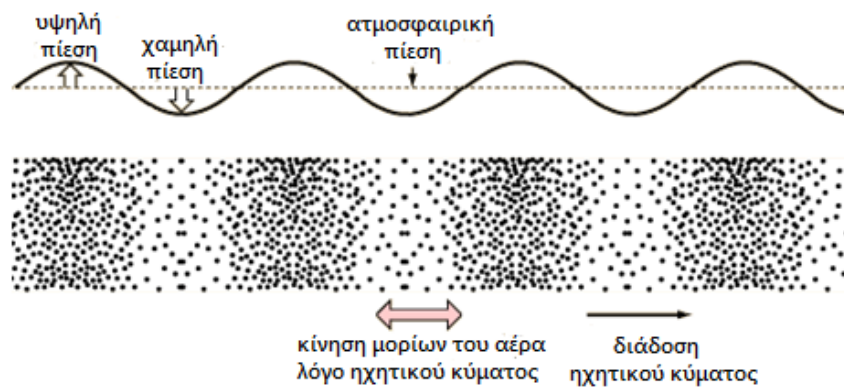


Σχήμα 2.1: Στιγμιότυπο κύματος

2.2 Ήχος και Υπέρηχος

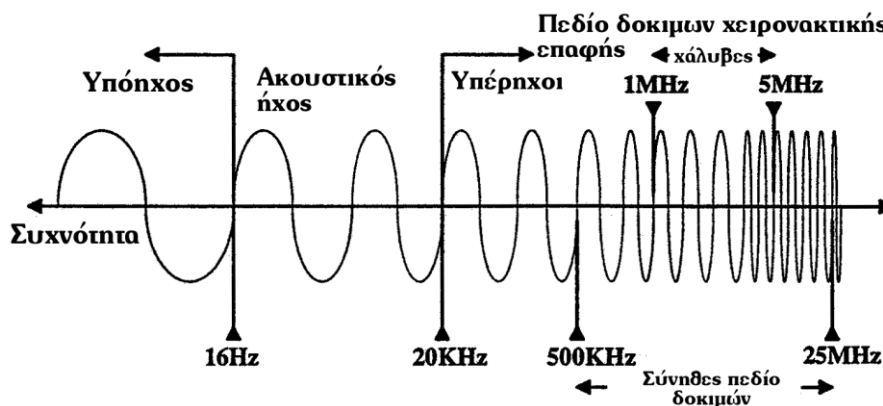
Ο ήχος (ηχητικό κύμα) προκαλείται από μηχανικές δονήσεις. Για να μεταδοθεί ο ήχος, πρέπει να υπάρχει κάποιο μέσο που θα διατηρήσει τις μηχανικές δονήσεις. Άρα, ο ήχος είναι ένα μηχανικό κύμα που μεταδίδεται σε στερεά, σε υγρά, σε αέρια αλλά δεν μπορεί να μεταδοθεί στο κενό.

Ο ήχος μεταδίδεται υπό μορφή ζωνών συμπίεσης (compression zone) και υποπίεσης (rarefied zone) των μορίων του σώματος που τον φέρει όπως φαίνεται και στο «σχήμα 2.2».



Σχήμα 2.2: Μετατόπιση των σωματιδίων για ένα δεδομένο υπερηχητικό κύμα

Όσον αφορά τους υπέρηχους, είναι ένα ηχητικό κύμα υψηλής συχνότητας που είναι αδύνατο για το ανθρώπινο αυτί να τους αντιληφθεί, αυτή την ικανότητα την έχουν ορισμένα ζώα και μηχανήματα υψηλής τεχνολογίας. Στο «σχήμα 2.3» παρατίθεται το ακουστικό φάσμα και η διάκριση των ήχων σε σχέση με την συχνότητα τους.



Σχήμα 2.3: Ακουστικό φάσμα

2.3 Τύποι ηχητικών κυμάτων

Η διάδοση των ηχητικών κυμάτων παρατηρούμε ότι γίνεται σε δύο κύριες διευθύνσεις, α) τη *διεύθυνση της ταλάντωσης* των στοιχειωδών σωματιδίων του μέσου και β) τη *διεύθυνση διάδοσης* των κυμάτων. Επίσης παρατηρούμε ότι λόγω της δομής τους τα στερεά επιτρέπουν τη διάδοση των κυμάτων προς οποιαδήποτε διεύθυνση είτε εγκάρσια είτε διαμήκη ή και συνδυασμό αυτών ενώ τα υγρά και τα αέρια επιτρέπουν μόνο τη διάδοση διαμηκών κυμάτων. Έτσι διακρίνουμε τους εξής τρόπους διάδοσης κυμάτων:

1. Διαμήκη κύματα

Στα διαμήκη κύματα (longitudinal/compression waves), η διεύθυνση της ταλάντωσης είναι ίδια με την διεύθυνση μετάδοσης του κύματος. Επίσης διαδίδονται και στις τρεις μορφές της ύλης (στερεά, υγρά, αέρια). Η ταχύτητα διάδοσής τους δίνεται από τον τύπο:

$$c_L \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ (m/sec)} \quad 2.2$$

Όπου: E = μέτρο ελαστικότητας υλικού (N/m^2)

ρ = πυκνότητα του υλικού (kg/m^3)

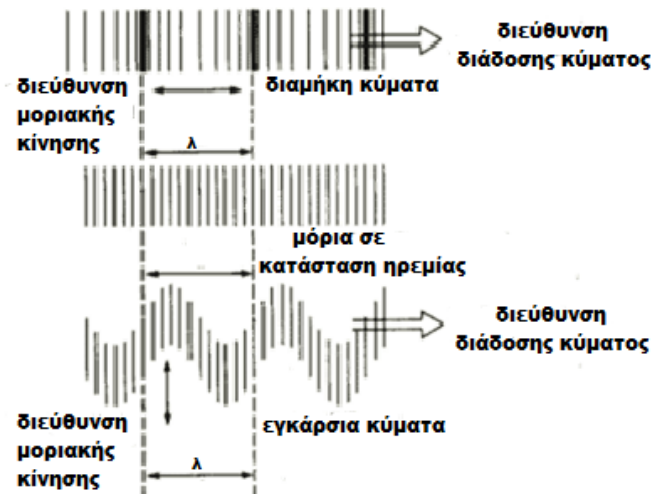
2. Εγκάρσια ή διατμητικά κύματα

Στα εγκάρσια κύματα (shear waves), η διεύθυνση της ταλάντωσης είναι κάθετη προς τη διεύθυνση της μετάδοσης του κύματος. Διαδίδονται μόνο σε υλικά που μπορούν να αναλάβουν διατμητικές τάσεις δηλαδή μόνο στα στερεά σώματα. Έχουν ταχύτητα διάδοσης περίπου τη μισή των διαμηκών με τύπο:

$$c_T \approx \sqrt{\frac{G}{\rho}} \text{ (m/sec)} \quad 2.3$$

Όπου: G = Εγκάρσιο μέτρο ελαστικότητας (N/m^2)

Κεφάλαιο 2 – Φυσική των υπερήχων



Σχήμα 2.4: Διαμήκη και Εγκάρσια κύματα

3. Επιφανειακά κύματα ή κύματα Rayleigh

Τα επιφανειακά κύματα (surface waves), αναπτύσσονται μόνο στην επιφάνεια των σωμάτων και έχουν βάθος διείσδυσης ενός περίπου μήκους κύματος. Δημιουργούνται, όταν τα εγκάρσια κύματα διαθλώνται στις 90° (2^η κρίσιμη γωνία). Ο τρόπος μετάδοσής τους είναι ελλειπτικός, κατά μήκος της επιφάνειας του υλικού. Ακολουθούν το περίγραμμα της επιφάνειας και ανακλώνται όπου συναντούν ακμές ή γωνίες. Η ταχύτητα μετάδοσής τους είναι περίπου 90% αυτής των εγκαρσίων κυμάτων ($c_R \approx 0.9c_T$).



Σχήμα 2.5: Επιφανειακά κύματα

4. Κύματα πλακών ή κύματα Lamb

Τα κύματα πλακών (plate waves), σχηματίζονται με την μετάδοση επιφανειακών κυμάτων, σε σχετικά λεπτά ελάσματα, πάχους μερικά μήκη κύματος. Είναι συνδυασμός συμπιεστικών και επιφανειακών, ή εγκαρσίων και επιφανειακών κυμάτων, προκαλώντας ελαστικές ταλαντώσεις στην πλάκα, διαπερνώντας τελείως το υλικό. Η ταχύτητα διάδοσής τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (υλικό διάδοσης, συχνότητα, πάχος ελάσματος).

Τέλος, στον «πίνακα 2.1», βλέπουμε τις σχετικές ταχύτητες μετάδοσης του ήχου σε διάφορα υλικά.

Κεφάλαιο 2 – Φυσική των υπερήχων

Πίνακας 2.1: Ταχύτητες μετάδοσης του ήχου σε διάφορα υλικά

Υλικό	Ταχύτητα συμπίεστικού ή διαμήκους κύματος (m/s)	Ταχύτητα διατμητικού ή εγκάρσιου κύματος (m/s)
Αλουμίνιο	6.400	3.130
Ορείχαλκος	4.372	2.100
Χυτοσίδηρος	3.500	2.200
Χαλκός	4.769	2.325
Χρυσός	3.240	1.200
Σίδηρος	5.975	3.224
Μόλυβδος	2.400	790
Λάδι	1.440	-
Πλεξιγκλάς	2.740	1.320
Χάλυβας 1018	5.918	3.251
Ανοξείδωτος Χάλυβας 347	5.740	3.130
Νερό	1.480	-
Βολφράμιο	5.174	2.880
Ψευδάργυρος	4.170	2.480
Ζιρκόνιο	4.650	2.300

Σημείωση: Οι ανωτέρω τύποι υπολογισμού της ταχύτητας είναι προσεγγιστικοί και όχι ακριβείς γιατί δεν έχει ληφθεί υπόψη ο λόγος του Poisson.

2.4 Ένταση ηχητικών κυμάτων

Η ένταση είναι βασικό μέγεθος της κυματικής, έτσι και ο ήχος σαν ηχητικό κύμα που είναι, έχει την ένταση σαν χαρακτηριστικό του. Ως ένταση ήχου ορίζεται η ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα (ενέργεια πίεσεως) ανά μονάδα επιφανείας και ανά μονάδα χρόνου και μετριέται σε (W/m^2).

Για τη μέτρηση της στάθμης της έντασης ενός ήχου χρησιμοποιείται η λογαριθμική κλίμακα decibel (dB), η οποία βασίζεται στις μεταβολές της πίεσης του αέρα, δηλαδή το πλάτος του κύματος το οποίο μεταφράζεται σε ύψος σήματος στην οθόνη συσκευής υπερήχων.

Άρα για τη σύγκριση της ηχητικής έντασης και ηχητικής πίεσης (ύψος σήματος) δύο ήχων καταλήγουμε στις εξής σχέσεις:

$$\Delta dB = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \quad \Delta dB = 20 \log \left(\frac{H_2}{H_1} \right) \quad \Delta dB = 20 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad 2.4$$

Όπου: I = Ένταση ήχου

P = Πίεση ήχου

H = Ύψος σήματος στην οθόνη

$\frac{P_2}{P_1}$ = Συντελεστής αύξησης (gain)

Από τους τύπους προκύπτει ότι διπλασιασμός του ύψους σήματος H , σημαίνει αύξηση (gain) 6 dB και δεκαπλασιασμός του αύξηση 20 dB. Στο «πίνακα 2.3», βλέπουμε αναλυτικότερα τι συμβαίνει στην οθόνη της συσκευής υπερήχων ανάλογα με την πτώση db που επιβάλλουμε στο μηχάνημα.

Πίνακας 2.2: Πίνακας σχετικών πτώσεων dB σε σχέση με το ύψος σήματος

dB (Πτώση)	H2 (Ύψος σήματος)	Πτώση %	H1:H2 (Λόγος μεγέθους)
20	10%	90%	10:1
14	20%	80%	5:1
12	25%	75%	4:1
10	33%	67%	3:1
6	50%	50%	2:1
2	80%	20%	5:4

2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάδοση των υπερήχων

Είδαμε προηγουμένως ότι η μετάδοση των υπερήχων σε ένα υλικό εξαρτάται από την πυκνότητα και τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού καθώς και από τον τύπο του μεταδιδόμενου κύματος. Πολύ σημαντικό ρόλο επίσης παίζουν:

- Το μέγεθος κόκκων του εξεταζόμενου υλικού
- Η απόσβεση/εξασθένιση (αποτέλεσμα απορρόφησης και διασκορπισμού)
- Η ακουστική αντίσταση του υλικού
- Η χαρακτηριστική αντίσταση των εγκλεισμάτων
- Η περίθλαση
- Η έλλειψη ομοιογένειας
- Η ανισοτροπία του υλικού δηλαδή οι κόκκοι είναι τυχαίου προσανατολισμού και έχουν διαφορετικές ελαστικές ιδιότητες κατά διαφορετικές διευθύνσεις.

Θα αναλύσουμε τους πιο σημαντικούς παράγοντες που είναι η *ακουστική αντίσταση* και η *απόσβεση* των ηχητικών κυμάτων.

Ακουστική αντίσταση

Ακουστική αντίσταση Z (Acoustic impedance), είναι η αντίσταση ενός υλικού στην μετάδοση του ήχου. Είναι το γινόμενο της πυκνότητας του υλικού ρ και της ταχύτητας του ήχου c .

$$Z = \rho \times c \text{ (kg/m}^2\text{/sec)} \quad 2.5$$

Η διαφορά της ακουστικής αντίστασης δύο διαφορετικών υλικών καθορίζει την ένταση του υπερήχου που ανακλάται από την διαχωριστική τους επιφάνεια. Με άλλα λόγια, η ποσότητα του υπερήχου που μεταδίδεται από το ένα υλικό στο άλλο εξαρτάται από αυτή την διαφορά μεταξύ τους. Η διαφορά αυτή, ονομάζεται *λόγος ακουστικής αντίστασης*.

Ο λόγος ακουστικής αντίστασης μας βοηθάει να βρούμε την ποσότητα της ενέργειας που ανακλάται από μια διαχωριστική επιφάνεια από την εξής σχέση:

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \times 100 \quad 2.6$$

Από την σχέση (2.6) συμπεραίνεται ότι:

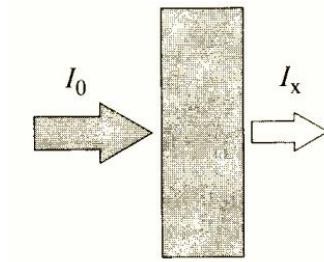
- Μεγάλος λόγος ακουστικής αντίστασης συνεπάγεται περισσότερη ανακλώμενη ενέργεια
- Μικρός λόγος ακουστικής αντίστασης συνεπάγεται περισσότερη μεταδιδόμενη ενέργεια

Κεφάλαιο 2 – Φυσική των υπερήχων

- Η ποσότητα ενέργειας που ανακλάται είναι ανεξάρτητη από την διεύθυνση μετάδοσης του ήχου κατά μήκος της διαχωριστικής επιφάνειας

Απόσβεση ηχητικών κυμάτων

Απόσβεση/Εξασθένηση ονομάζεται η απώλεια της εντάσεως δέσμης υπερήχων, καθώς περνάει μέσα από ένα υλικό και εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του υλικού.



Σχήμα 2.6: Εξασθένηση έντασης ήχου κατά τη διέλευση του σε μέσο

Η σχέση που μας δίνει την απόσβεση της εντάσεως της δέσμης κατά τη διέλευσή της από ένα μέσο είναι η εξής:

$$I_x = I_o e^{-ax} \quad 2.7$$

Όπου : I_x = Ένταση υπερήχου μετά την διέλευση του από σώμα πάχους x

I_o = Ένταση υπερήχου στην είσοδο

a = Συντελεστής απόσβεσης, (dB/mm) και εξαρτάται από υλικό και συχνότητα κύματος

Οι κύριες αιτίες απόσβεσης της έντασης του ήχου είναι η *σκέδαση* (scatter), η *απορρόφηση* (damping) και το *εύρους δέσμης* (beam spread). Έτσι κάθε υλικό, έχει ένα συγκεκριμένο συντελεστή απόσβεσης που είναι μετρήσιμο μέγεθος και εκφράζεται σε (dB/mm).

- Σκέδαση

Η σκέδαση, είναι η σπουδαιότερη αιτία εξασθένησης και οφείλεται σε ανακλάσεις του ήχου, είτε στα όρια κόκκων είτε στα όρια ασυνεχειών. Όταν τα μήκη κύματος της συσκευής ανίχνευσης είναι μικρότερα του 1/3 του μεγέθους των κόκκων του υλικού, η αποδυνάμωση γίνεται αισθητή.

Κεφάλαιο 2 – Φυσική των υπερήχων

- Απορρόφηση

Αντίστροφα όταν τα μήκη κύματος της συσκευής ανίχνευσης είναι μεγαλύτερα του μεγέθους των κόκκων του υλικού, τότε, καθώς ο ήχος διαπερνά ένα υλικό, μία ποσότητα ενέργειας καταναλώνεται για την δόνηση των μορίων, που μετατρέπεται σε θερμότητα λόγω τριβή.

- Εύρος δέσμης/Απόκλιση δέσμης

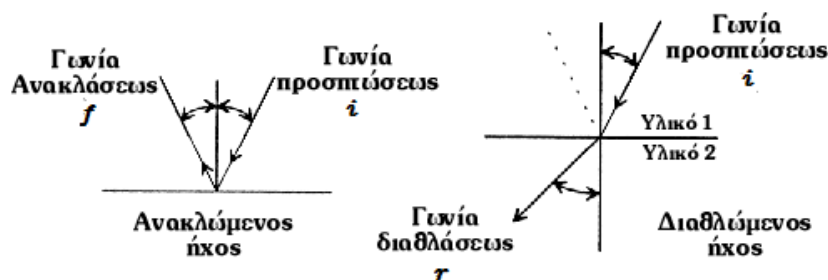
Αποδυνάμωση συμβαίνει επίσης, λόγω απόκλισης της δέσμης στην απώτερη ζώνη, δηλαδή η αρχική ενέργεια κατανέμεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια, άρα η ένταση του ήχου ελαττώνεται, όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο εκπομπής. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι χρησιμοποιούμε κεφαλή διαμήκων (συμπιεστικών) κυμάτων, το εύρος της ηχούς της οπίσθιας όψευς θα μειώνεται κατά το ήμισυ (-6dB) κάθε φορά που διπλασιάζεται η απόσταση από την κεφαλή.

2.6 Ανάκλαση, Διάθλαση και νόμος του Snell

Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπίπτει σε μία επιφάνεια διαφορετικής ακουστικής αντίστασης (Z), τότε συμβαίνουν ταυτόχρονα ανάκλαση (reflection), διάθλαση (refraction) και μετατροπή τύπου κύματος (mode conversion).

Σύμφωνα με τον νόμο της *ανάκλασης*, όταν μια δέσμη υπερήχων προσπέσει σε λεία και επίπεδη διεπιφάνεια, η γωνία πρόσπτωσης και η γωνία ανάκλασης είναι πάντα ίσες.

Διάθλαση ήχου ονομάζεται το φυσικό φαινόμενο της εκτροπής της ευθύγραμμης τροχιάς διάδοσης που υφίστανται τα ηχητικά κύματα όταν διέρχονται από υλικά διαφορετικών ακουστικών ταχυτήτων «σχήμα 2.7».



Σχήμα 2.7: Ανάκλαση και Διάθλαση του ήχου

Μετατροπή τύπου είναι η αλλαγή της κυματομορφής που συνοδεύεται από την αλλαγή της ταχύτητας, λόγω ανάκλασης και διάθλασης επάνω σε μία διαχωριστική επιφάνεια. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται στις *κρίσιμες γωνίες*. Η *πρώτη κρίσιμη γωνία* είναι εκείνη όπου το

Κεφάλαιο 2 – Φυσική των υπερήχων

διαθλώμενο διάμηκες κύμα εξαφανίζεται αφήνοντας μόνο εγκάρσια κύματα στο δεύτερο μέσον. Η *δεύτερη κρίσιμη γωνία* είναι εκείνη όπου το διαθλώμενο εγκάρσιο κύμα μετατρέπεται σε επιφανειακό. Οι κρίσιμες γωνίες υπολογίζονται με την εφαρμογή του «νόμου του Snell». Παράδειγμα μίας τέτοιας μετατροπής που εφαρμόζεται στην πράξη, είναι όταν το διάμηκες (συμπιεστικό) κύμα, που παράγεται από τον κρύσταλλο μίας γωνιακής κεφαλής, τέμνει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο πέλμα της κεφαλής και στο δοκίμιο, και μετατρέπεται σε εγκάρσιο κύμα.

Οι σχετικές γωνίες πρόσπτωσης (incidence), ανάκλασης και διάθλασης συσχετίζονται σύμφωνα με το νόμο του Snell:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_1}{c_2} \quad 2.8$$

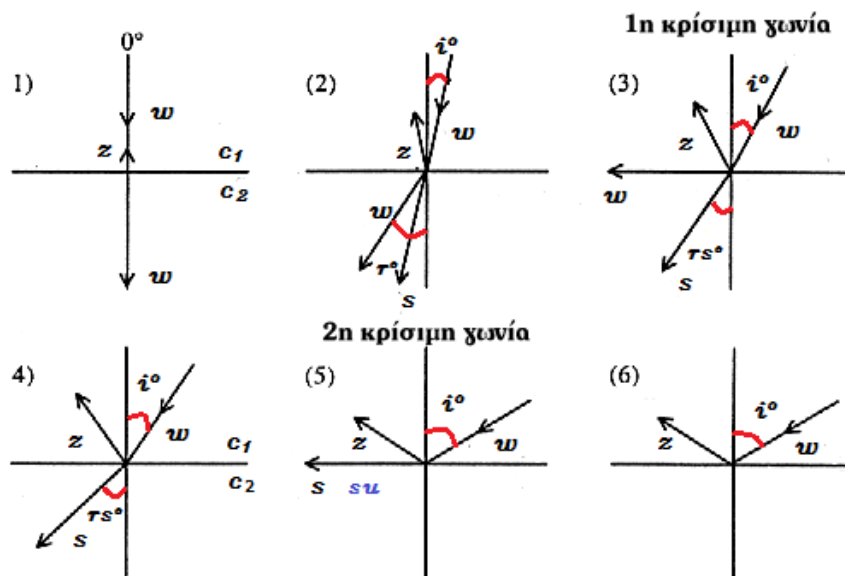
Όπου: i = Γωνία προσπτώσεως

r = Γωνία διαθλάσεως

c_1 = Ταχύτητα στο μέσο 1

c_2 = Ταχύτητα στο μέσο 2

Για να γίνουν όλα αυτά πιο κατανοητά θα αναλύσουμε το «σχήμα 2.8».



Σχήμα 2.8: Κρίσιμες γωνίες μέσο 1 (C_1) – μέσο 2 (C_2)

Κεφάλαιο 2 – Φυσική των υπερήχων

1) Ένα διάμηκες κύμα (w) προσπίπτει κάθετα στο όριο μεταξύ μέσου 1 – μέσου 2. Στην διαχωριστική επιφάνεια ένα μέρος της ενέργειας (z) ανακλάται και άλλο ένα μέρος (w) διαπερνά το μέσο 2, συνεχίζοντας την πορεία του καθέτως.

2) Καθώς αυξάνουμε την γωνία (i°) του προσπίπτοντος κύματος (w) μέσα στο μέσο 1 και εφόσον η γωνία (i°) μικρότερη της πρώτης κρίσιμης γωνίας το κύμα (w) στο μέσο 2 διαθλάται κατά γωνία (r°), λόγω της διαφοράς των ταχυτήτων μετάδοσης στο μέσο 1 (c_1) και στο μέσο 2 (c_2). Όμως, μαζί με το διαθλώμενο διάμηκες κύμα, θα υπάρχει και ένα αδύναμο εγκάρσιο κύμα (s).

3) Εάν αυξήσουμε επιπλέον την γωνία προσπτώσεως (i°) έως ότου το διαθλώμενο κύμα (w) φθάσει τις 90° , τότε η γωνία προσπτώσεως (i°) έχει φθάσει σε αυτό που ονομάζεται η *πρώτη κρίσιμη γωνία*. Ακολούθως το διαθλώμενο διάμηκες κύμα γίνεται εγκάρσιο (s) με γωνία (rs°).

4) Καθώς αυξάνουμε τη γωνία προσπτώσεως (i°) ακόμα περισσότερο, το διάμηκες κύμα (z) ανακλάται εσωτερικά και παραμένει στο μέσο 1, αφήνοντας μόνο εγκάρσια κύματα (s) μέσα στον μέσο 2.

5) Εάν αυξηθεί ακόμα περισσότερο η γωνία προσπτώσεως (i°) τότε το εγκάρσιο κύμα διαθλάται έως ότου φθάσει την τιμή των 90° . Αυτή είναι η *δεύτερη κρίσιμη γωνία*. Σε αυτό το σημείο το εγκάρσιο κύμα που διατρέχει την διαχωριστική επιφάνεια έχει μετατραπεί σε επιφανειακό κύμα (surface wave – su).

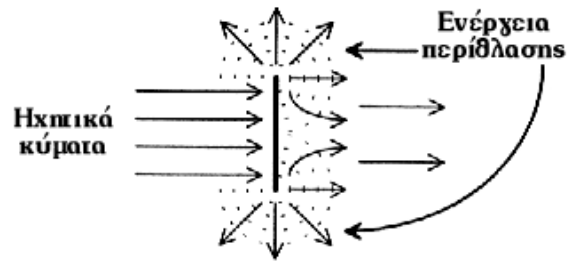
6) Πάνω από την τιμή της δεύτερης κρίσιμης γωνίας, όλες οι συμβατικές μορφές μετάδοσης ανακλώνται εσωτερικά.

Έτσι διαπιστώνουμε ότι :

- Διαμήκη και εγκάρσια κύματα συνυπάρχουν στο δεύτερο μέσον όταν η γωνία προσπτώσεως κυμαίνεται μεταξύ 0° και της πρώτης κρίσιμης γωνίας.
- Μόνο εγκάρσια κύματα υπάρχουν όταν η γωνία προσπτώσεως κυμαίνεται μεταξύ της πρώτης και δεύτερης κρίσιμης γωνίας
- Επιφανειακά κύματα υπάρχουν μόνο στην δεύτερη κρίσιμη γωνία.

Τέλος, στην περίπτωση πολύ μικρών ελαττωμάτων, όπου το μήκος κύματος των υπερήχων είναι πολλαπλάσιο σε μέγεθος σε σύγκριση με το ελάττωμα, τότε παρατηρείται το *φαινόμενο της περίθλασης*, δηλαδή τα κύματα των υπερήχων παρακάμπτουν το ελάττωμα χωρίς να ανακλαστούν «σχήμα 2.9».

Κεφάλαιο 2 – Φυσική των υπερήχων



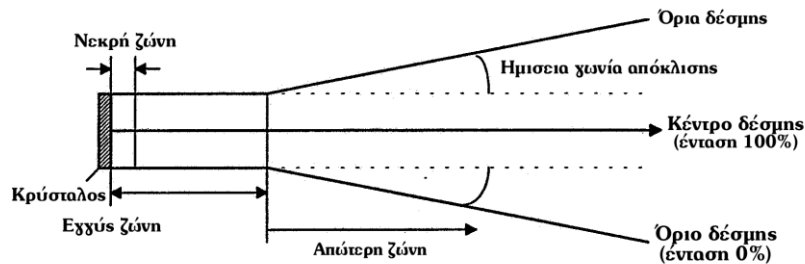
Σχήμα 2.9: Περίθλαση του ήχου

Σημείωση: Τα εγκάρσια κύματα παράγονται στο πλεξιγκλάς – χάλυβα σε γωνίες μεταξύ 38° και 80° και συνήθως σε τυποποιημένες τιμές 45° , 60° και 70° .

3 Χαρακτηριστικά της δέσμης υπερήχων

3.1 Γεωμετρία δέσμης υπερήχων

Η δέσμη υπερήχων που εκπέμπεται από μία κεφαλή παρουσιάζει τρεις ζώνες (περιοχές) όπως βλέπουμε στο «σχήμα 3.1».



Σχήμα 3.1: Γεωμετρία δέσμης υπερήχου

1. Νεκρή ζώνη: Σε αυτήν τη ζώνη είναι αδύνατο να γίνει ανίχνευση ασυνεχειών, καταλαμβάνεται από τον αρχικό παλμό και αυξάνεται όσο η συχνότητα της κεφαλής μειώνεται. Ένας τρόπος εξάλειψης της νεκρής ζώνης είναι η χρήση κεφαλών με μεγάλη απόσβεση ή δίδυμων κεφαλών.
2. Εγγύς ζώνη ή ζώνη Fresnel: Σε αυτή τη ζώνη, λόγω συμβολής κυμάτων, τα ύψη των ανακλάσεων που βλέπουμε στην οθόνη μας από ασυνέχειες ίδιων διαστάσεων και ίδιου βάθους μπορεί να διαφέρουν. Δηλαδή το ύψος σήματος που απεικονίζεται στην οθόνη είναι απρόβλεπτο έτσι είναι σκόπιμο να μειωθεί κατά το δυνατόν το μήκος της εγγύς ζώνης. Αυτό το μήκος μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Για κυκλικό κρύσταλλο: } N = \frac{D^2}{4\lambda} \quad 3.1$$

$$\text{Για τετράγωνο κρύσταλλο: } N = \frac{1,3Q^2}{4\lambda} \quad 3.2$$

Όπου: N = Μήκος εγγύς ζώνης (mm)

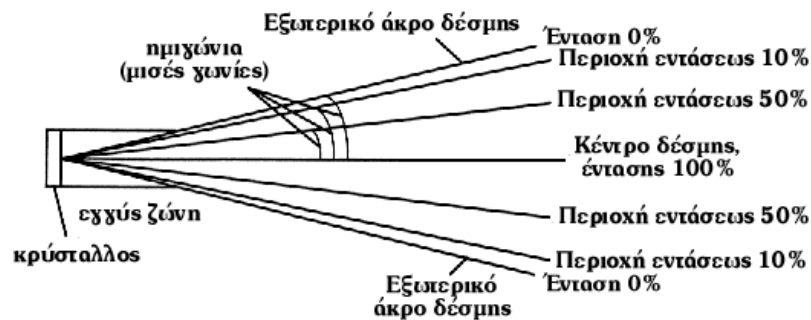
D = Λειτουργική διάμετρος κρυστάλλου (mm)

Q = Λειτουργική πλευρά κρυστάλλου (mm)

λ = Μήκος κύματος (mm)

Κεφάλαιο 3 – Χαρακτηριστικά της δέσμης υπερήχων

3. Η απώτατη ζώνη ή ζώνη Fraunhofer: Σε αυτή τη ζώνη, λόγω της απόκλισης της δέσμης, παρατηρούμε την εξασθένηση της έντασης του ήχου όσο η ασυνέχεια ή το σφάλμα απομακρύνονται από την κεφαλή. Πιο συγκεκριμένα στην απώτερη ζώνη της δέσμης υπερήχων δεν υπάρχει συμβολή κυμάτων γι αυτό η ένταση του ήχου σε αυτή τη ζώνη είναι προβλέψιμη. Η ένταση του ήχου μειώνεται από 100 % στο κέντρο έως 0% στην άκρη της δέσμης. Έτσι όταν το κέντρο της δέσμης χτυπάει έναν ανακλαστήρα η στάθμη του σήματος στην οθόνη θα έχει τη μέγιστη τιμή «σχήμα 3.2».



Σχήμα 3.2: Ένταση ήχου ανά περιοχή δέσμης

Ο βαθμός απόκλισης της δέσμης εξαρτάται από το μέγεθος του κρυστάλλου και από το μήκος του κύματος όπως φαίνεται στην σχέση:

$$\sin \theta = \frac{K\lambda}{D} \quad 3.3$$

Όπου: θ = Ημιγωνία απόκλισης (divergence angle)

K = Σταθερά (0.7 για -6 dB, 1.08 για -20 dB, 1.22 για μηδενισμό σήματος)

D = Λειτουργική διάμετρος κρυστάλλου (mm)

λ = Μήκος κύματος (mm)

Σημείωση: Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι στο σχεδιασμό των κεφαλών πρέπει να συνυπάρχουν η μικρότερη απόκλιση δέσμης με τη μικρότερη σε μήκος εγγύς ζώνη.

3.2 Παλμός υπερήχων

Στις σύγχρονες συσκευές υπερήχων, οι παλμοί των υπερήχων παράγονται με την βοήθεια πυκνωτή ο οποίος φορτίζεται και εκφορτίζεται απότομα διοχετεύοντας μέσα στην κεφαλή, ηλεκτρική ενέργεια περίπου 1 kV έως 2 kV αυτή την ηλεκτρική ενέργεια ο πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος της κεφαλής την μετατρέπει σε μηχανική δόνηση (παλμό). Οι παλμοί των υπερήχων περιέχουν μερικά μήκη κύματος και μπορούν να έχουν διάφορες μορφές όπως:

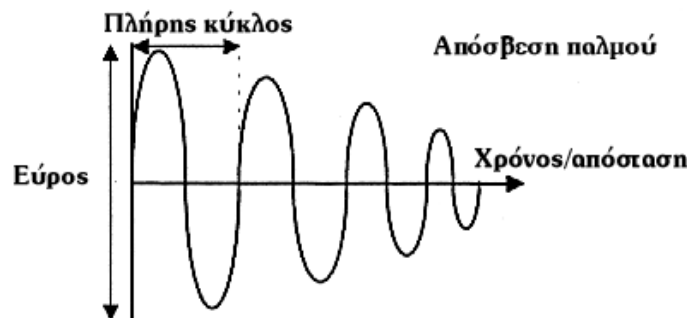
- Να αυξάνονται και να αποσβένονται ταχέως
- Να αυξάνονται και να αποσβένονται βαθμιαία
- Να αυξάνονται και να αποσβένονται εκθετικά

Σχεδόν όλες οι κεφαλές έχουν εξαναγκασμένη απόσβεση των παλμών του κρυστάλλου. Η μάζα αποσβέσεως που χρησιμοποιείται έχει ακουστική αντίσταση πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του κρυστάλλου.

Ο παλμός όπως είπαμε περιέχει μερικά μήκη κύματος, άρα γίνεται προφανές ότι το μήκος παλμού L , θα ισούται με το μήκος κύματος επί των αριθμό n των μηκών κυμάτων σε ένα παλμό, σχέση (3.4) και «σχήμα 3.3».

$$L = \lambda \cdot n$$

3.4



Σχήμα 3.3: Στιγμιότυπο παλμού υπερήχου

Ο παλμός υπερήχων εκπέμπεται με κάποια συχνότητα από την κεφαλή, αυτή ονομάζεται *Συχνότητα Επαναλήψεως Παλμού* (Pulse Repetition Frequency – P.R.F.), είναι ο αριθμός παλμών της υπερηχητικής ενέργειας που εγκαταλείπει την κεφαλή σε ορισμένο χρόνο ανά δευτερόλεπτο. Κάθε ενεργειακός παλμός που αφήνει την κεφαλή πρέπει να επιστρέψει, πριν φύγει ο επόμενος παλμός, αλλιώς συγκρούονται δημιουργώντας απατηλές αντηχήσεις που εμφανίζονται στην οθόνη της συσκευής μας. Ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει ο παλμός όλη την απόσταση από την

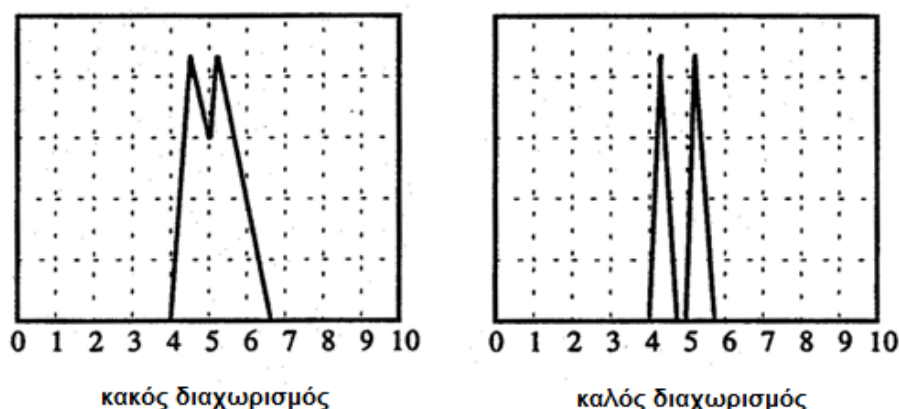
κεφαλή μέχρι την επιστροφή του, είναι γνωστός σαν χρόνος μετάβασης (transit time). Ο χρόνος μεταξύ δύο συνεχών παλμών που αφήνουν την κεφαλή, είναι γνωστός σαν μεσοδιάστημα (clock interval). Έτσι συμπεραίνεται ότι ο χρόνος μεταβίβασης πρέπει να είναι βραχύτερος από το μεσοδιάστημα, αλλιώς θα εμφανιστούν απατηλές ενδείξεις. Πρακτικά, το μεσοδιάστημα πρέπει να είναι περίπου πενταπλάσιο από τον χρόνο μεταβίβασης.

3.3 Ευαισθησία και Διακριτική ικανότητα

Η *ευαισθησία* (sensitivity) μιας κεφαλής υπερήχων χαρακτηρίζεται από τη μικρότερη ασυνέχεια που μπορεί να ανιχνεύσει.

Η *διακριτική ικανότητα* (resolution), είναι η ικανότητα διαχωρισμού στον άξονα του χρόνου/απόστασης (οριζόντιος άξονας) δυο πολύ κοντινών ανακλαστήρων «σχήμα 3.4».

Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά της συσκευής υπερήχων εξαρτώνται κυρίως από το *μήκος παλμού*. Έτσι για περιοχές μετά την εγγύς ζώνη όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος (άρα και το μήκος παλμού) τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ευαισθησία και η διακριτική ικανότητα. Έτσι με τη χρήση καλού αποσβεστήρα (ηχοαπορροφητικό υλικό) στην κεφαλή, μειώνουμε το μήκος παλμού (λιγότεροι πλήρεις κύκλοι n στο χρόνο) και έτσι αυξάνεται η ευαισθησία και η διακριτική ικανότητα όπως προκύπτει από την σχέση (3.4).



Σχήμα 3.4: Απεικόνιση σε οθόνη-CRT δύο γειτονικών ασυνεχειών

Στο πρακτικό κομμάτι, για εξέταση κοντά στην επιφάνεια ενός υλικού προτιμούμε μικρή διάμετρο κρυστάλλου κεφαλής (για μικρή εγγύς ζώνη), σχέση (3.1) και (3.2), δίδυμη κεφαλή (για αποφυγή νεκρής ζώνης) και μεγάλη συχνότητα (για μικρό μήκος κύματος). Για εξέταση μακριά από την

Κεφάλαιο 3 – Χαρακτηριστικά της δέσμης υπερήχων

επιφάνεια του υλικού, προτιμούμε μικρότερη συχνότητα (για μικρότερη αποδυνάμωση του ήχου), μεγαλύτερη διάμετρο κρυστάλλου (για στενότερη δέσμη), σχέση (3.3). Τέλος, για υλικά που παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα αποδυνάμωσης του ήχου όπως χονδρόκοκκα (χυτός χάλυβας, αλουμίνιο) προτιμούμε μεγάλη διάμετρο κρυστάλλου (στενότερη δέσμη) και χαμηλή συχνότητα.

Σημαντικό ρόλο στην ευαισθησία και διακριτική ικανότητα της συσκευής υπερήχων παίζει η *απόκριση δέκτη*, δηλαδή η επίδραση/ανάλυση του σήματος κατά την επιστροφή του στον κρυστάλλο. Η απόκριση δέκτη εξαρτάται από το *δείκτη ποιότητας του κρυστάλλου* Q και δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{f_o}{f_2 - f_1} \quad 3.5$$

Όπου: f_o = Ιδιοσυχνότητα υλικού

$f_2 - f_1$ = Εύρος συχνοτήτων (band width)

Όταν ο δείκτης Q μικρός συνεπάγεται μεγάλο εύρος συχνοτήτων (broad banded), δηλαδή ο παλμός αποσβένεται γρηγορότερα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μικρή νεκρή ζώνη, υψηλή διακριτική ικανότητα κοντά στην επιφάνεια, υψηλή ευαισθησία σε βάθος και πιστή απόκριση σήματος ενώ στα αρνητικά είναι η μικρή διείσδυση σε μεγάλο βάθος του υλικού και ο υψηλός θόρυβος.

Σημείωση: Στην εγγύς ζώνη λόγω παρεμβολής των κυμάτων υπερήχου δεν μπορώ να συσχετίσω την ένταση του επιστρεφόμενου σήματος με το μέγεθος της ασυνέχειας.

4 Εξοπλισμός υπερήχων

4.1 Παραγωγή –Ανίχνευση υπέρηχων

Η παραγωγή και ανίχνευση των υπερήχων γίνεται με διάφορες μεθόδους όπως η μηχανική μέθοδος, η μέθοδος της μαγνητοσυστολής (Magneto-strictive, Joule 1847), το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (Piezo-electric effect, Currie 1980). Εξ' αυτών των μεθόδων, η μηχανική μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για μη καταστροφικούς ελέγχους, επειδή δεν μπορεί να δώσει υπερήχους υψηλών συχνοτήτων. Η μέθοδος της μαγνητοσυστολής δεν έχει ευρεία εφαρμογή στην πράξη λόγω περιορισμών στην τεχνολογία. Τέλος, η βασικότερη μέθοδος παραγωγής υπερήχων, για το μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών, στηρίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι μια βασική ιδιότητα ορισμένων φυσικών ή συνθετικών κρυστάλλων, οι οποίοι όταν καταπονούνται εμφανίζουν ηλεκτρικά φορτία αντίθετου προσήμου στις απέναντι επιφάνειες τους δηλαδή τάση (δέκτης) και αντίστροφα όταν εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση (συνήθως εναλλασσόμενη) σε ένα κρύσταλλο τότε αυτός διαστέλλεται και συστέλλεται, παράγοντας δόνηση υψηλής συχνότητας (πομπός), «σχήμα 4.1».

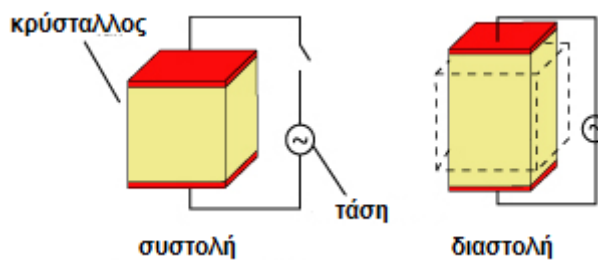
Η συχνότητα δόνησης ενός κρυστάλλου (ιδιοσυχνότητα) καθορίζεται από το πάχος του και την ταχύτητα που μεταδίδεται ο ήχος μέσα σε αυτόν και δίνεται από τη σχέση:

$$f_o = \frac{c}{2t} \quad 4.1$$

Όπου: f_o = Ιδιοσυχνότητα υλικού

c = Ταχύτητα διάδοσης ήχου στον κρύσταλλο

t = Πάχος κρυστάλλου (στον τύπο $2t$ γιατί για $t = \frac{\lambda}{2}$ μέγιστη ταλάντωση)



Σχήμα 4.1: Πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος κατά τη συστολή και διαστολή του

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

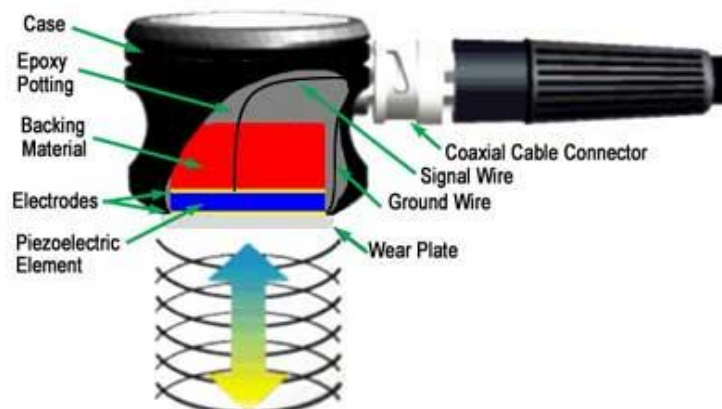
Οι γεννήτριες υπερήχων είναι ουσιαστικά πιεζοηλεκτρικά στοιχεία (κρύσταλλοι), τα στοιχεία αυτά διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Φυσικής προέλευσης: (Χαλαζίας SiO_2 , Τουρμαλίνης)
- Πολωμένα κεραμικά: (Τιτανικό Βάριο BaTiO_3 , Ζirkονικός Μόλυβδος PbZrO_3 , Ζirkονικοτιτανικός Μόλυβδος PZT, Μετανιοβικός Μόλυβδος PbNb_2O_6)
- Τεχνητά παρασκευασμένοι κρύσταλλοι: (Θειικό Λίθιο LiSO_4)

4.2 Κεφαλές και συσκευές υπερήχων

Η λειτουργία των υπερηχητικών κεφαλών (probes), στηρίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, εξού και το όνομα πιεζοηλεκτρικές κεφαλές. Στην πράξη τώρα, η κεφαλές κατασκευάζονται ως εξής :

Ο κρύσταλλος τοποθετείται σε κατάλληλο περίβλημα-κέλυφος (case) ώστε να προστατεύεται και είναι σε απόλυτη επαφή με υλικό υποστήριξης-αποσβεστήρας (backing material), για να αποσβένονται ταχύτατα οι παλμοί του υπέρηχου. Ο αποσβεστήρας συνήθως είναι πλαστικό epoxy. Η επιφάνεια εκπομπής του κρυστάλλου καλύπτεται από λεπτή πλάκα (wear plate) ακρυλικού υλικού (perspex), προκειμένου να διαφυλάσσεται ο κρύσταλλος από φθορά μέσω τριβής επιφανειών. Η ακρυλική πλάκα μπορεί να έχει και μορφή σφήνας εκτός από επίπεδη, έτσι επιτυγχάνεται γωνιακή δέσμη υπερήχων. Επίσης έχουμε τους μεταλλικούς σπλισμούς (electrodes) που εφάπτονται με τον κρύσταλλο για να του μεταδίδουν την απαραίτητη τάση. Τέλος το ηλεκτρικό σήμα από και προς τον κρύσταλλο οδηγείται μέσω ομοαξονικού καλωδίου (coaxial cable), για αποφυγή παρεμβολών και ηλεκτρικών θορύβων «σχήμα 4.2».



Σχήμα 4.2: Πιεζοηλεκτρική κεφαλή

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

Οι κεφαλές υπερήχων κατασκευάζονται για μια ποικιλία εφαρμογών, ανάλογα την εφαρμογή χρησιμοποιείται και διαφορετική φιλοσοφία στην κατασκευή της. Όπως είδαμε και σε προηγούμενη παράγραφο, το ζητούμενο όταν κάνουμε έναν έλεγχο για ατέλειες σε ένα υλικό, είναι να έχουμε καλή ευαισθησία και διακριτική ικανότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή ιδιοτήτων της κεφαλής όπως, η συχνότητα της, το εύρος συχνοτήτων της, η εστιακή της ικανότητα (πλάτος δέσμης). Παρακάτω θα αναλύσουμε και θα ασχοληθούμε με τους σημαντικότερους τύπους κεφαλών.

Κάθετες κεφαλές μονού κρυστάλλου

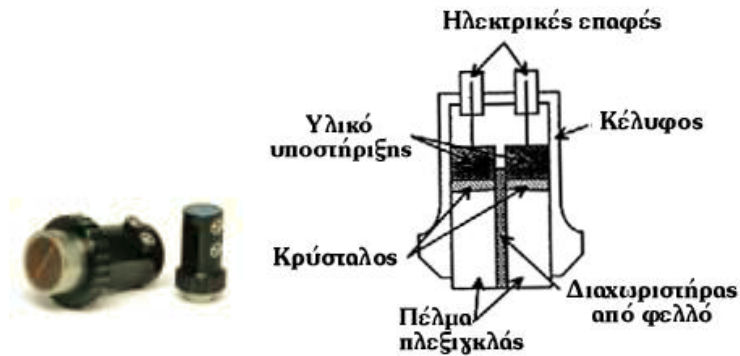
Οι κάθετες κεφαλές (straight beam probes) αποτελούνται από ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο που παράγει συνήθως ένα διάμηκες κύμα και το οποίο προορίζεται για την άμεση επαφή με το προς έλεγχο υλικό. Όλες οι κάθετες κεφαλές είναι εξοπλισμένες με ένα κάλυμμα που προσφέρει άριστη αντοχή για μακροχρόνια χρήση. Παρέχουν επίσης άριστη σύνθετη ακουστική αντίσταση που ταιριάζει στα περισσότερα μέταλλα.



Σχήμα 4.3: Κάθετες κεφαλές μονού κρυστάλλου

Κεφαλές διπλού κρυστάλλου

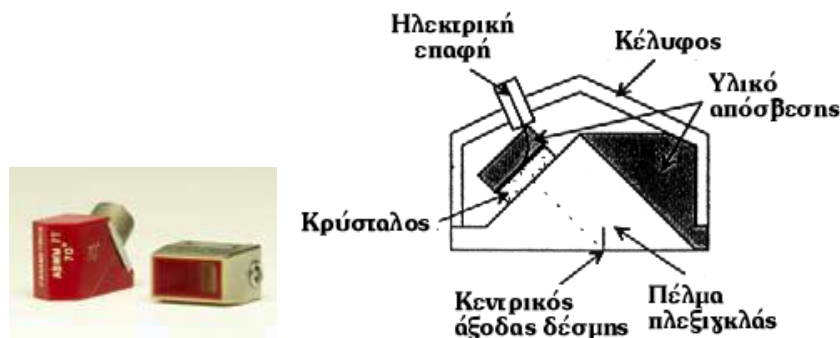
Μια κεφαλή διπλού κρυστάλλου ή δίδυμη κεφαλή (dual element transducer – TR probe) υπερήχων αποτελείται από δύο πιεζοηλεκτρικά στοιχεία διαμηκών κυμάτων (ένας πομπός και ένας δέκτης κυμάτων) και που απομονώνονται μεταξύ τους από ένα ακουστικό εμπόδιο. Τα στοιχεία ενώνονται ελαφρώς μεταξύ τους για να μεταδώσουν ένα σήμα σε σχήμα V. Οι δίδυμες κεφαλές προσφέρουν πολύ καλές μετρήσεις σε έντονα διαβρωμένα μέρη και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλον.



Σχήμα 4.4: Δίδυμες κεφαλές

Γωνιακές κεφαλές

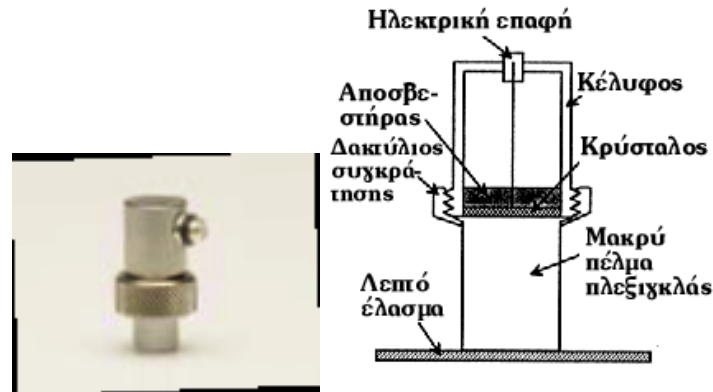
Οι γωνιακές κεφαλές (angle beam transducers) αποτελούνται από ένα πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο και συνδυάζονται με ένα ειδικό γωνιακό "παπουτσάκι" για να εισάγουν διαμήκη ή εγκάρσια κύματα σε ένα υλικό σε συγκεκριμένη γωνία. Επιτρέπουν ελέγχους σε περιοχές, που δεν είναι εύκολο να προσεγγιστούν από το μονοπάτι του υπέρηχου μιας κάθετης κεφαλής. Μια συνήθης χρήση των κεφαλών αυτών είναι στον έλεγχο συγκολλήσεων, όπου δεν είναι δυνατή η χρήση μιας κάθετης κεφαλής.



Σχήμα 4.5: Γωνιακές κεφαλές

Κεφαλές πέλματος καθυστέρησης

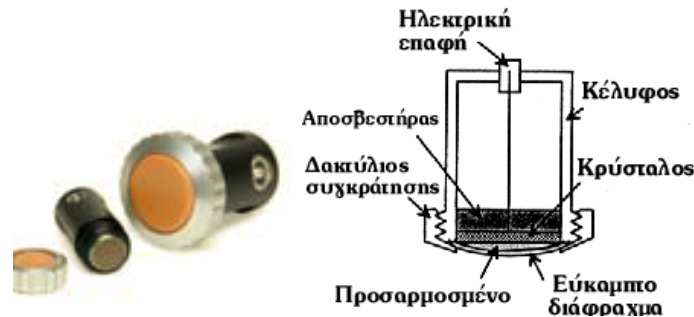
Οι κεφαλές πέλματος καθυστέρησης (delay line transducers), αποτελούνται από ένα ευρυζωνικό πιεζοηλεκτρικό στοιχείο και έχουν ενσωματωμένο ένα μικρό κομμάτι πλαστικού ή εποξικού υλικού στην άκρη τους. Προσφέρουν καλύτερη εικόνα των ατελειών που βρίσκονται πολύ κοντά στην επιφάνεια του προς εξέταση κομματιού. Οι κεφαλές καθυστέρησης μπορούν να καμπυλωθούν για να ταιριάξουν με τη γεωμετρία της επιφάνειας και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υψηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 4.6: Κεφαλές πέλατος καθυστέρησης

Ενισχυμένες κεφαλές

Οι ενισχυμένες κεφαλές (protected face transducers), υπερήχων έχουν ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο διαμήκων κυμάτων με ειδικό κάλυμμα. Είναι εξαιρετικά ευπροσάρμοστοι και ικανοί να καλύψουν ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως κάθετες κεφαλές σε υλικά με χαμηλότερη σύνθετη αντίσταση, όπως το λάστιχο ή το πλαστικό.



Σχήμα 4.7: Ενισχυμένες κεφαλές

Κεφαλές εμβάπτισης

Οι κεφαλές εμβάπτισης (immersion transducers), αποτελούνται από ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο διαμηκών κυμάτων και το κάλυμμα τους είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να συμφωνεί με τη σύνθετη αντίσταση του νερού. Οι κεφαλές αυτές είναι σφραγισμένες και μπορούν να βυθιστούν στο νερό όταν χρησιμοποιούνται με αδιάβροχο καλώδιο. Με τη χρήση του νερού ως υλικού σύζευξης, οι κεφαλές αυτές είναι ιδανικές για εφαρμογές ανίχνευσης ατελειών όπου η καλή σύζευξη είναι ουσιαστική. Σαν πρόσθετη επιλογή, οι μετατροπείς βύθισης μπορούν επίσης να εστιασθούν για να αυξήσουν την ένταση του κύματος σε μια συγκεκριμένη περιοχή και να μειώσουν το μέγεθος του σημείου που ανακλά στο προς εξέταση υλικό.



Σχήμα 4.8: Κεφαλές εμβάπτισης

Κεφαλές υψηλής συχνότητας

Οι κεφαλές υψηλών συχνοτήτων (high frequency transducers) διατίθενται είτε σαν καθυστέρησης, είτε σαν εμβάπτισης και είναι διαθέσιμες στις συχνότητες από 20 MHz έως 225 MHz. Οι κεφαλές καθυστέρησης αυτού του είδους είναι σε θέση να μετρήσουν λεπτά πάχη (π.χ. 0,010mm, εξαρτώμενο πάντα από το υλικό, την κεφαλή, τη θερμοκρασία κλπ.), ενώ οι κεφαλές εμβάπτισης υψηλών συχνοτήτων είναι ιδανικές για την υψηλής ανάλυσης απεικόνιση και ανίχνευση ατελειών σε πολύ λεπτά και χαμηλής εξασθένησης κομμάτια όπως είναι τα μικροσίπ πυριτίου.



Σχήμα 4.9: Κεφαλές υψηλής συχνότητας

4.3 Επιλογή κεφαλής

Λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που έχουμε αναφέρει προηγουμένως, καταλήγουμε στους παρακάτω συγκεντρωτικούς πίνακες, που σκοπό έχουν, να μας διευκολύνουν στην επιλογή της κατάλληλης κεφαλής.

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

Πίνακας 4.1: Επιλογή κεφαλής – Παράγοντας συχνότητα

Χαμηλή συχνότητα	Υψηλή συχνότητα
Μεγάλο μήκος κύματος	Μικρό μήκος κύματος
Περισσότερος διασκορπισμός δέσμης	Λιγότερος διασκορπισμός δέσμης
Μικρότερη εγγύς ζώνη	Μακρύτερη εγγύς ζώνη
Καλύτερη διεισδυτικότητα	Χειρότερη διεισδυτικότητα
Λιγότερη αποδυνάμωση	Περισσότερη αποδυνάμωση
Μεγαλύτερη νεκρή ζώνη	Μικρότερη νεκρή ζώνη
Λιγότερη ευαισθησία	Περισσότερη ευαισθησία

Πίνακας 4.2: Επιλογή κεφαλής – Παράγοντας μεγέθους επιφάνειας κρυστάλλου κεφαλής

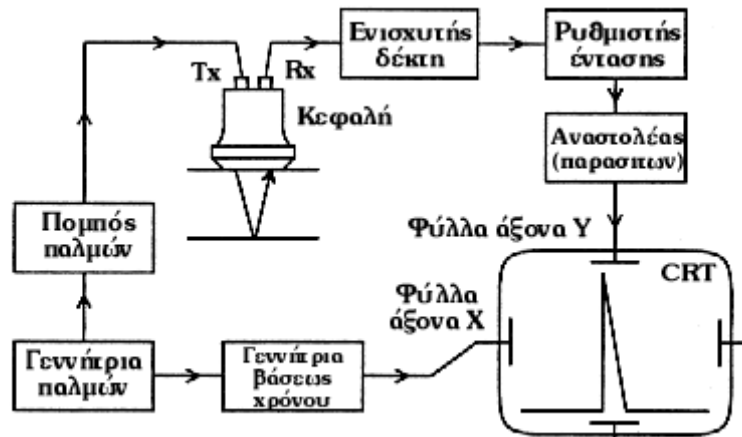
Μεγάλη επιφάνεια κρυστάλλου κεφαλής	Μικρή επιφάνεια κρυστάλλου κεφαλής
Λιγότερος διασκορπισμός δέσμης	Περισσότερος διασκορπισμός δέσμης
Μακρύτερη εγγύς ζώνη	Βραχύτερη εγγύς ζώνη
Καλύτερη διεισδυτικότητα	Χειρότερη διεισδυτικότητα
Λιγότερη αποδυνάμωση (λόγω διασκορπισμού)	Περισσότερη αποδυνάμωση
Δυσκολία σύζευξης σε καμπύλες επιφάνειες	Ευκολία σύζευξης σε καμπύλες επιφάνειες
Περισσότερη κάλυψη σε επίπεδες επιφάνειες	Λιγότερη επικάλυψη σε επίπεδες επιφάνειες

Πίνακας 4.3: Επιλογή κεφαλής – Παράγοντας εύρους πεδίου συχνοτήτων

Κεφαλές μεγάλου εύρους πεδίου συχνοτήτων	Κεφαλές μικρού εύρους πεδίου συχνοτήτων
Υψηλή απόσβεση	Χαμηλή απόσβεση
Μικρό μήκος παλμού (συνήθως 1 έως 2 κύκλοι)	Μεγαλύτερο μήκος παλμού (συνήθως 3 έως 4 κύκλοι)
Μικρή νεκρή ζώνη	Μεγάλη νεκρή ζώνη
Μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα	Ανεπαρκής διακριτική ικανότητα
Ανεπαρκής διείσδυση	Καλή διείσδυση

4.4 Συσκευή Υπερήχων

Η συσκευή υπερήχων ή αλλιώς *υπερηχητικός ανιχνευτής σφαλμάτων* (flaw detector), είναι το μηχάνημα που μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπίσουμε και να αναλύσουμε ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ενός υλικού αλλά και ατέλειες που βρίσκονται εντός αυτού. Για να γίνει κατανοητή η αρχή λειτουργίας της συσκευής στο «σχήμα 4.10» παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας συσκευής υπερήχων.

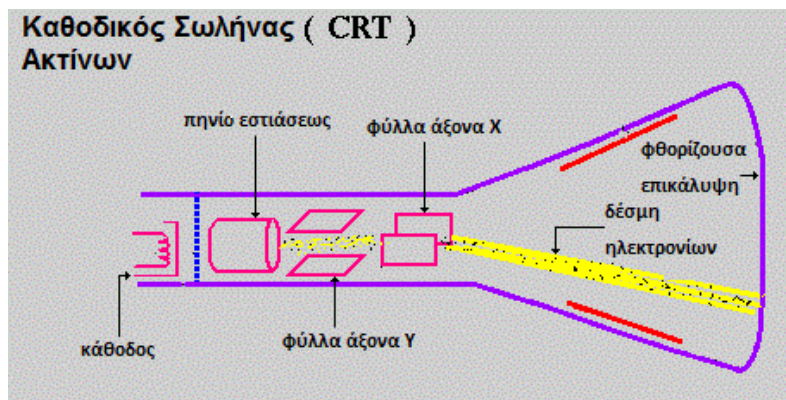


Σχήμα 4.10: Διάγραμμα ροής συσκευής υπερήχων

Η *σκανδάλη* (trigger/timer) με ελεγχόμενη συχνότητα επαναλήψεως παλμού δίνει το έναυσμα σε μια *γεννήτρια παλμών* (pulser), η οποία με τη σειρά της ενεργοποιεί ταυτόχρονα τον *πομπό παλμών* (50-800volts) που προκαλεί το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο στο κρύσταλλο της κεφαλής με αποτέλεσμα την εκπομπή υπερήχων και τη *γεννήτρια βάσεως χρόνου* που μόλις πάρει το σήμα από την γεννήτρια παλμών, το μετατρέπει σε γραμμική κίνηση της δέσμης ηλεκτρονίων και την απεικονίζει επί της οθόνης στην διεύθυνση του οριζοντίου άξονα (άξονα των X), σαν μία φωτεινή γραμμή. Μετά την διαδρομή μέσα στο εξεταζόμενο υλικό, ο υπέρηχος επιστρέφει στην κεφαλή, όπου πάλι μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια αποστέλλεται στον ενισχυτή. Ο *ενισχυτής* λαμβάνει και ενισχύει τους εισερχόμενους ηλεκτρικούς παλμούς. Η απαιτούμενη ενίσχυση είναι περίπου 10.000 έως 100.000 φορές και η είσοδος με την έξοδο του σήματος πρέπει να βρίσκονται σε γραμμική σχέση. Αμέσως μετά ο *ρυθμιστής κέρδους* (gain) αυξομειώνει την ενίσχυση, αυξομειώνοντας την τάση ή την φόρτιση στο κατακόρυφο άξονα της οθόνης (άξονα των Y) και ελέγχοντας το ύψος του σήματος ώστε αυτό να γίνει ορατό στην οθόνη. Οι ρυθμίσεις γίνονται σε λογαριθμική βάση και δεν επηρεάζουν την γραμμικότητα του ενισχυτή. Τέλος, καταλήγουμε στον *καθοδικό σωλήνα ακτίνων* (Cathode Ray Tube – CRT) η αρχή λειτουργίας είναι απλή, η εικόνα στις οθόνες σχηματίζεται με τον εξής τρόπο: μια δέσμη ηλεκτρονίων, η λεγόμενη

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

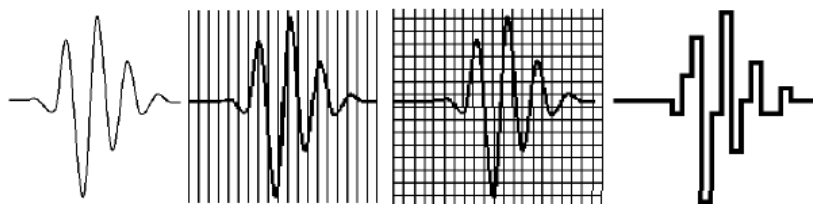
ακτίνα καθόδου, εστιάζεται και κατευθύνεται από ηλεκτρομαγνήτες σε μια μεγάλη γυάλινη επιφάνεια επιστρωμένη με φώσφορο, την οθόνη, όπου βρίσκεται η άνοδος. Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται και πέφτουν πάνω στα μόρια του φωσφόρου με πολύ μεγάλη ταχύτητα, αναγκάζοντάς τα έτσι να εκπέμπουν φως. Αυτό συμβαίνει πάρα πολλές φορές το δευτερόλεπτο με την ακτίνα να σαρώνει όλη την επιφάνεια της οθόνης από δεξιά προς τα αριστερά και από πάνω προς τα κάτω. Αναλόγως με αυτό που πρέπει να απεικονιστεί, η δέσμη ηλεκτρονίων καθώς σαρώνει την επιφάνεια της οθόνης αλλάζει ένταση με αποτέλεσμα, κάπου να εκλύεται λιγότερο και κάπου αλλού περισσότερο φως, σχηματίζοντας έτσι την εικόνα που πρέπει να παρουσιαστεί, «σχήμα 4.11».



Σχήμα 4.11: Καθοδικός σωλήνας ακτίνων (CRT)

Βέβαια, η τεχνολογία αναλογικών υπερηχητικών συσκευών με οθόνες-CRT έχει ξεπεραστεί και πλέον χρησιμοποιούνται ψηφιακές υπερηχητικές συσκευές με τεχνική (Video Graphics Array – VGA) με οθόνες LCD και EL. Η αρχή λειτουργίας έχει ως εξής, το αναλογικό σήμα: «σχήμα 4.12»

1. Χωρίζεται σε ίσα χρονικά διαστήματα t
2. Ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων ανά δευτερόλεπτο καλείται ρυθμός δειγματοληψίας f_s
3. Σε κάθε διάστημα $t = 1 / f_s$, το πλάτος του σήματος μετράται
4. Τέλος, το σήμα περιγράφεται από μια καμπύλη χρόνου – πλάτους, η οποία χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία



Σχήμα 4.12: α) Αναλογικό σήμα β) Επεξεργασία σήματος με πλέγμα (raster) στο πεδίο του χρόνου γ) Επεξεργασία σήματος με πλέγμα – πλάτος σήματος δ) Αποτέλεσμα – ψηφιακό σήμα

4.5 Δοκίμια Βαθμονόμησης

Στον υπερηχητικό έλεγχο των υλικών, πέρα από τον εξοπλισμό και τη γνώση μας, για να μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε και να μετρήσουμε της πληροφορίες που λαμβάνουμε από την συσκευή υπερήχων, πρέπει προηγουμένως να έχουμε βαθμονομήσει/ρυθμίσει τη συσκευή κατάλληλα με συγκεκριμένα *δοκίμια βαθμονόμησης* (calibration blocks). Κατά τη βαθμονόμηση της συσκευής, γίνεται αντιστοίχιση όλου του πλάτους της οθόνης με μια συγκεκριμένη απόσταση. Η απόσταση αυτή, μπορεί να είναι μία από τις τρεις διαστάσεις του υλικού που πρόκειται να εξεταστεί. Για τη βαθμονόμηση χρησιμοποιούνται ειδικά κατασκευασμένες πρότυπες πλάκες από φερριτικό μαλακό χάλυβα χαμηλής ή μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα επεξεργασμένο κατάλληλα ώστε να αποκτήσει λεπτόκοκκη και ομοιογενή δομή. Η βαθμονόμηση των κεφαλών και των συσκευών υπερήχων πρέπει να γίνεται πάντα σε υλικό όμοιο με το εξεταζόμενο, διαφορετικά οι ενδείξεις της οθόνης θα πρέπει να διορθώνονται σύμφωνα με την σχέση:

$$\frac{x}{B} = \frac{c_X}{c_B} \quad 4.2$$

Όπου: x = Πραγματικό πάχος εξεταζόμενου υλικού

B = Ένδειξη συσκευής υπερήχων

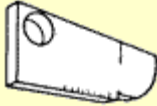
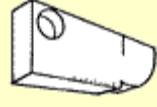
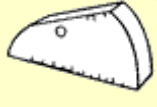

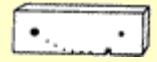
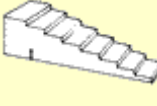


c_X = Ταχύτητα ήχου στο εξεταζόμενο υλικό

c_B = Ταχύτητα ήχου στο δοκίμιο βαθμονόμησης

Ανάλογα την περίπτωση/εφαρμογή που έχουμε να μελετήσουμε, επιλέγουμε και τα κατάλληλα πρότυπα δοκίμια για την βαθμονόμηση των συσκευών και κεφαλών. Στον «πίνακα 4.5» παρουσιάζονται τα συνήθως χρησιμοποιούμενα δοκίμια βαθμονόμησης.

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

Πίνακας 4.4: Πρότυπα δοκίμια βαθμονόμησης

Όνομασία DE/BS	Δοκίμια	Περιγραφή /Εφαρμογές	Προδιαγραφές /Πρότυπα	Διαστάσεις
V1 A2		Βαθμονόμηση κάθετων και γωνιακών κεφαλών. Εύρεση σημείου εξόδου δέσμης και γωνία διάθλασης για γωνιακές κεφαλές. Ρύθμιση ευαισθησίας.	ASTM E164 B.S. 2704 DIN 54120 IIW (International Institute of Welding)	Χάλυβας 25x100x300mm
V1/50 A2		Παρόμοιο με το V1. Μεγαλύτερο πάχος ελαχιστοποίηση παρεμβολών από τα πλαϊνά τοιχώματα.	BS 2704	Χάλυβας 50x100x300mm
V2 A4		Δοκίμιο-μινιατούρα για γωνιακές κεφαλές ίδιες χρήσεις με το V1 + οπή	ASTM E164 BS 2704 IOW (Institute of Welding)	Χάλυβας 12.5x43x75mm
BCB A5		Αποτύπωση απόκλισης δέσμης και διακριτικής ικανότητας για γωνιακές κεφαλές. Έλεγχος ευαισθησίας για κάθετες κεφαλές.	BS 2704 BS 4331 (part 1&3)	Χάλυβας 50x75x305 mm
A6		Αξιολόγηση διακριτικής ικανότητας για κάθετες και γωνιακές κεφαλές. Μέτρηση νεκρής ζώνης.	BS 2704 BS 4331 (part 1&3)	Χάλυβας 25x50x150 mm
LSW (Step Wedges)		Κλιμακωτή πλάκα βαθμονόμησης για κάθετες κεφαλές. Βαθμονόμηση για παχυμετρήσεις και γραμμικότητας.	Όριο απόκλισης +0.000mm- -0.040mm	Χάλυβας 8x15x120 mm
DAC (Navship)		Κατασκευή καμπύλης διόρθωσης απόστασης –έντασης (DAC) για κάθετες και γωνιακές κεφαλές. Οπές d=1.5mm	Όριο απόκλισης 0.01016 mm	Διαστάσεις ανάλογες με το υπό εξέταση υλικό
FBH ASTM Area Amplitude Set		Προσδιορισμός μεγέθους οπής. Σχέση μεταξύ βάθους οπής και ύψος σήματος. Ρύθμιση ευαισθησίας. Προσδιορισμός νεκρής ζώνης.	ASTM E127 ASTM E428	19 κυλινδρικά δοκίμια διαφόρων διαμέτρων

4.6 Υλικό Σύζευξης

Το υλικό σύζευξης (couplant) είναι ένα υλικό (συνήθως υγρό) που διευκολύνει τη μετάδοση της ενέργειας υπερήχων από τον μετατροπέα μέσα στο εξεταζόμενο δοκίμιο. Το υλικό σύζευξης είναι απαραίτητο για τη διεξαγωγή του ελέγχου, ο κυριότερος λόγος είναι η απομάκρυνση του αέρα ο οποίος έχει χαμηλή ακουστική αντίσταση και δεν επιτρέπει τη διάδοση του υπερήχου στο υλικό. Επίσης, το υλικό σύζευξης πρέπει να γεμίζει όλες τις επιφανειακές ανωμαλίες ή τραχύτητες ώστε η κεφαλή να γλιστράει ομαλά και να μην φθείρεται. Σαν μέσο σύζευξης συνήθως χρησιμοποιείται μία στρώση λαδιού ή γλυκερίνης.



Σχήμα 4.13: Υλικό σύζευξης μεταξύ κεφαλής – δοκιμίου

4.7 Βασικές μέθοδοι υπερηχητικού ελέγχου

Μέθοδος παλμού-ηχούς

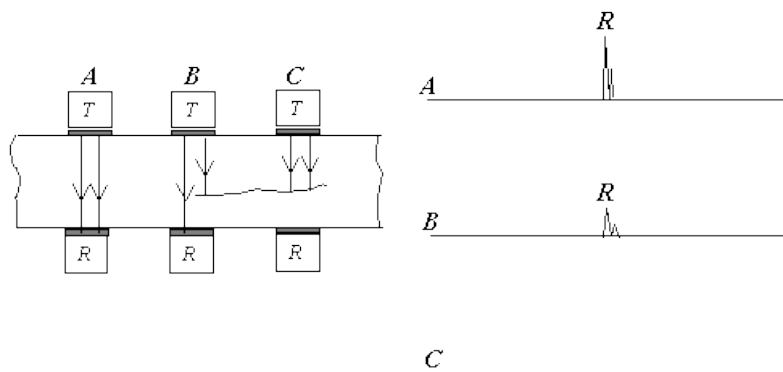
Η μέθοδος παλμού-ηχούς (pulse echo) είναι η σπουδαιότερη των υπολοίπων μεθόδων, για το λόγο ότι μας επιτρέπει να εξαγάγουμε πολλά και χρήσιμα συμπεράσματα για το εξεταζόμενο υλικό, όπως δομή, ιδιότητες, πάχος, ατέλειες. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου είναι απλή, η κεφαλή αποστέλλει παλμούς με μορφή ενέργειας υπερήχων και έπειτα συλλαμβάνει την ανακλώμενη ηχητική ενέργεια (ηχώ) είτε αυτή προέρχεται από ασυνέχεια είτε από το πίσω τοίχωμα του δοκιμίου. Οι κεφαλές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι μονού ή διπλού κρυστάλλου. Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου παλμού-ηχούς είναι ότι οι θέσεις των ελαττωμάτων μπορούν να εντοπιστούν με ακρίβεια και απαιτείται πρόσβαση μόνο από την μία πλευρά του δοκιμίου ενώ το μειονέκτημά της είναι ότι ο ήχος πρέπει να διατρέξει το υλικό δύο φορές (μπρος – πίσω) πράγμα που προκαλεί μεγαλύτερη αποδυνάμωση.

Μέθοδος διάβασης

Η μέθοδος διάβασης/διέλευσης (through transmission testing) είναι η παλαιότερη μέθοδος υπερηχητικού ελέγχου και εφαρμόζεται με επιτυχία σε λεπτές πλάκες με παράλληλες προς την

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

επιφάνεια ατέλειες. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται δύο κεφαλές, από μία για κάθε πλευρά του δοκιμίου, η πρώτη για να εκπέμπει (πομπός) παλμούς ενέργειας και η άλλη για να τους λαμβάνει (δέκτης). Το λαμβανόμενο ενεργειακό σήμα απεικονίζεται στην οθόνη της συσκευής και η παρουσία σφάλματος εξακριβώνεται με μείωση του ύψους ή πλήρη εξαφάνιση του σήματος. Όπως φαίνεται και στο «σχήμα 4.14», όταν στην πορεία της δέσμης δεν παρεμβάλλεται ατέλεια το ύψος του παλμού παίρνει μέγιστή τιμή, ενώ όταν παρεμβάλλεται παρατηρούμε μία αισθητή μείωση του ύψους σήματος. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής, βασίζονται στο γεγονός ότι ο ήχος διαπερνά το υλικό μόνο κατά την μία διεύθυνση, άρα μικρότερη αποδυνάμωση του παλμού, επίσης και στο ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν κεφαλές υψηλότερης συχνότητας, τέλος έχει τέλεια εφαρμογή σε αυτοματοποιημένα συστήματα εμβάπτισης. Όσο για τα μειονεκτήματα της είναι ότι, δεν υπάρχει ένδειξη του βάθους του ελαττώματος, πρέπει να υπάρχει πρόσβαση και από τις δύο πλευρές του δοκιμίου για την τοποθέτηση των κεφαλών, οι κεφαλές πρέπει να είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένες.



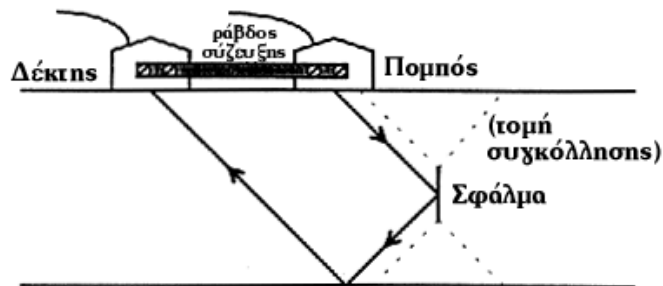
Σχήμα 4.14: Απεικόνιση μεθόδου διάβασης

Μέθοδος ζεύγους κεφαλών

Σε αυτήν την τεχνική χρησιμοποιείται ζεύγος κεφαλών (technique pitch-catch), μία εκπομπής ήχου και μία άλλη λήψεως, τη στιγμή που και οι δύο βρίσκονται στην ίδια επιφάνεια του δοκιμίου. Οι κεφαλές βρίσκονται σε συγκεκριμένη σταθερή απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε οι παλμοί από την κεφαλή εκπομπής, που θα ανακλαστούν από ένα ελάττωμα «σχήμα 4.15», να κατευθυνθούν προς την κεφαλή λήψεως και έτσι να δημιουργηθεί το σήμα επί της οθόνης. Η απόσταση μεταξύ των κεφαλών εξαρτάται από την γωνία της κεφαλής, το πάχος του υλικού και το βάθος των αναμενόμενων σφαλμάτων. Η τεχνική χρησιμοποιείται για ανίχνευση ατελειών προκαθορισμένου βάθους όπως είναι οι ατέλειες ρίζας σε συγκόλληση διπλής αύλακος. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι κατακόρυφα σφάλματα εξαιρετικά δύσκολα να εντοπιστούν με γωνιακές κεφαλές

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

0°, ανιχνεύονται εύκολα. Το μειονέκτημα είναι ότι εντοπίζονται μόνο ελαττώματα προκαθορισμένου βάθους.



Σχήμα 4.15: Απεικόνιση μεθόδου pitch-catch

4.8 Τύποι απεικόνισης ατελειών

Τα δεδομένα που λαμβάνονται κατά την διάρκεια ενός υπερηχητικού ελέγχου, μπορούν να παρουσιαστούν στην οθόνη της συσκευής σε διάφορες μορφές/τύπους. Ο κάθε τύπος παρουσίασης, προσφέρει μια διαφορετική οπτική γωνία στην εξέταση και αξιολόγηση του εξεταζόμενου υλικού. Οι τύποι παρουσίασης που υπάρχουν, θα αναλυθούν περαιτέρω και είναι οι εξής :

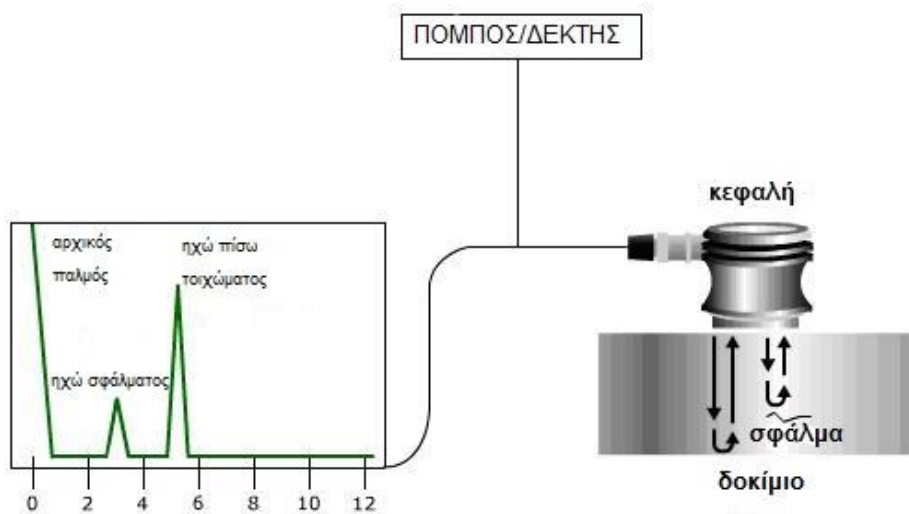
Σάρωση τύπου A

Η *σάρωση τύπου A* (A-Scan) είναι το συνηθέστερο σύστημα που χρησιμοποιείται στην επιθεώρηση με χρήση υπερήχων. Απεικονίζει το ποσό της ανακλώμενης ενέργειας σε μία οθόνη με μορφή σημάτων όπως φαίνεται στο «σχήμα 4.16». Ο οριζόντιος άξονας της οθόνης παριστάνει τον παρερχόμενο χρόνο δηλαδή το χρόνο που διανύει μέσα στο υλικό ο υπέρηχος μέχρι να επιστρέψει στην κεφαλή, ενώ ο κατακόρυφος άξονας το εύρος/πλάτος σήματος δηλαδή την ηχητική ενέργεια που επιστρέφει στην κεφαλή. Στην A-σάρωση, το σχετικό μέγεθος μίας τυχαίας ασυνέχειας μπορεί να εκτιμηθεί συγκρίνοντας το πλάτος του σήματος που μας δίνει η τυχαία ατέλεια με το πλάτος του σήματος που μας δίνει μια πρότυπη/γνωστή ατέλεια ενώ η θέση της ασυνέχειας μπορεί να προσδιοριστεί από την θέση του σήματος επί του άξονα της βάσεως του χρόνου (οριζόντιος άξονας). Τέλος από το σχήμα και την συμπεριφορά του σήματος κατά την κίνηση της κεφαλής συμπεραίνεται και ο τύπος του σφάλματος.

Η οθόνη της συσκευής έχει 10 διαιρέσεις και 10 υποδιαιρέσεις για κάθε διαίρεση, η κορυφή του σήματος θέλοντας και μη θα πέσει πάνω σε μια υποδιαίρεση ή μεταξύ αυτών άρα το πιθανό σφάλμα ανάγνωσης θα είναι της τάξης του 0.5% του συνολικού μήκους της οθόνης. Όμως και κατά

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

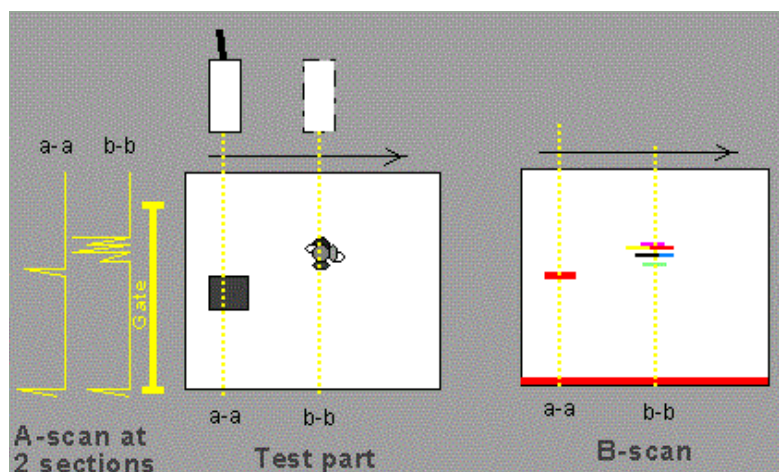
τη βαθμονόμηση της συσκευής, για τον ίδιο ακριβώς λόγο θα έχουμε 0.5% σφάλμα, άρα το αθροιστικό σφάλμα είναι 1% % του συνολικού μήκους της οθόνης.



Σχήμα 4.16: A-Scan

Σάρωση τύπου B

Η *σάρωση τύπου B* (B-Scan), μας δίνει την απεικόνιση της τομής του δοκιμίου «σχήμα 4.17», αυτό γίνεται με σάρωση κατά μήκος της επιφάνειας του. Στην οθόνη ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά την απόσταση που διανύει η κεφαλή κατά τη σάρωση ενώ ο κάθετος άξονας το βάθος της ατέλειας. Με την χρήση φωσφορίζουσας επικάλυψης υψηλής διάρκειας στην οθόνη, το είδωλο διατηρείται για κάποια χρονική περίοδο, και μπορεί να φωτογραφηθεί για μόνιμη καταγραφή. Το εύρος του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογο με την λαμπρότητα του ειδώλου, ενώ ο συγχρονισμός της κίνησης της κεφαλής με την απεικόνιση μπορεί να αναπαριστάνει πραγματικά τις διαστάσεις του σφάλματος.

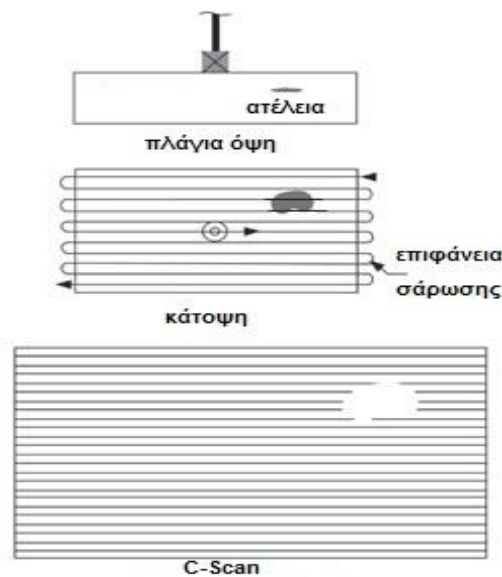


Σχήμα 4.17: B-Scan

Κεφάλαιο 4 – Εξοπλισμός υπερήχων

Σάρωση τύπου C

Η *σάρωση τύπου C* (C-Scan), μας δίνει την κάτοψη της επιφάνειας σαρώσεως (εξεταζόμενου δοκιμίου), δείχνοντας τα ελαττώματα σαν περιοχές διαφορετικής φωτεινότητας σε σύστημα εκτύπωσης ή αποτύπωσης, που συγχρονίζεται με την κίνηση της κεφαλής καθώς αυτή διατρέχει την επιφάνεια του υλικού «σχήμα 4.18». Το μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος είναι η άμεση και μόνιμη καταγραφή. Τα μειονεκτήματα είναι ότι δεν υπάρχει ένδειξη του βάθους ή του προσανατολισμού του σφάλματος και η προετοιμασία της εγκατάστασης είναι χρονοβόρα.



Σχήμα 4.18: C-Scan

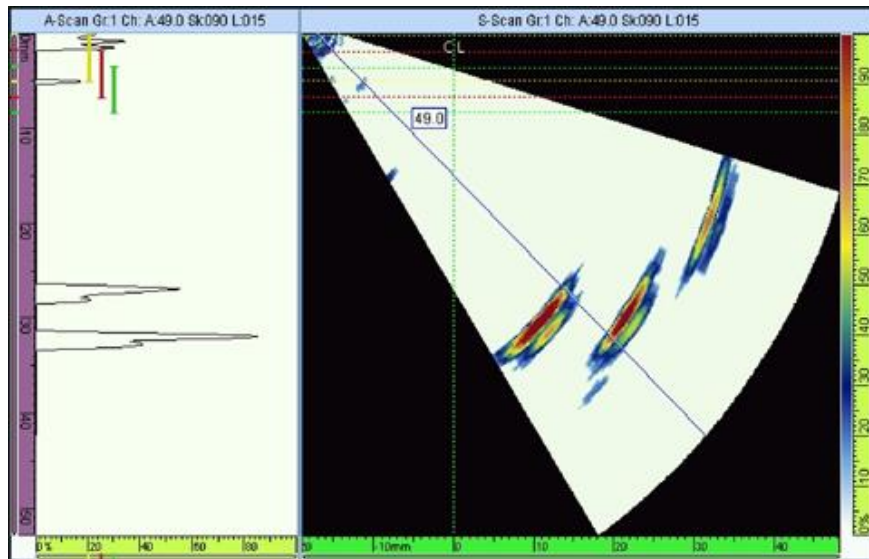
Σάρωση τύπου S (S-scan) ή Συστοιχία Φάσης με Υπερήχους (phased array ultrasonics)

Ο έλεγχος με συσκευές υπερήχων τύπου phased array αφορά την ανίχνευση ασυνεχειών, με χρήση κεφαλών πολλαπλών κρυστάλλων.

Στην κεφαλή, η ενεργοποίηση συγκεκριμένων κρυστάλλων με διαφορετική σειρά ή σε ελάχιστα διαφορετικούς χρόνους, μεταβάλλει τη διεύθυνση και την εστίαση της δέσμης των υπερήχων, ενώ παρέχεται πλήρης απεικόνιση της τομής, ακόμα και της κάτοψης του υπό εξέταση δοκιμίου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στο πάχος του δοκιμίου, ενώ ο κάθετος άξονας σε βάθος.

Ο ήχος δέσμη σαρώνει μέσα από μια σειρά γωνιών για να δημιουργήσει ένα περίπου κωνικό σχήμα διατομής. Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε ότι με τη σάρωση phased array, μπορούμε να χαρτογραφήσουμε την επιφάνεια και τις τρεις ατέλειες που υπάρχουν εντός του εξεταζόμενου δοκιμίου, με μια συγκεκριμένη θέση και γωνία κεφαλής, «σχήμα 4.19».

Ενδεικτικές εφαρμογές είναι ο έλεγχος συγκολλητών συνδέσεων, σφυρήλατων και χυτών.



Σχήμα 4.19: Απεικόνιση σφάλματος (αριστερή πλευρά A-Scan /δεξιά πλευρά phased array 49°)

5 Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Πριν από κάθε επιθεώρηση αλλά και κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης, ο χειριστής οφείλει να ακολουθήσει μια σειρά από μεθόδους και τεχνικές (πρότυπα και προδιαγραφές), ώστε να λάβει αξιοποιήσιμα αποτελέσματα. Οι ενέργειες που πρέπει να κάνει έχουν ως εξής :

1. Έλεγχος εξοπλισμού
2. Βαθμονόμηση συσκευής και κεφαλής ανάλογα με την επιθεώρηση/εφαρμογή
3. Εντοπισμός σφαλμάτων στο εξεταζόμενο δοκίμιο
4. Προσδιορισμός θέσης σφάλματος στο δοκίμιο (σχεδίαση σε σκαρίφημα)
5. Συγκριτική αξιολόγηση ασυνεχειών
6. Συγκεκριμένη διάγνωση ασυνέχειας (τύπος, διαστάσεις, προσανατολισμός)
7. Τεχνική έκθεση (στοιχεία εξεταζόμενου δοκίμιου, στοιχεία συσκευής υπερήχων, πρότυπα, μέθοδοι επιθεώρησης, αποτελέσματα, σκαρίφημα)

5.1 Έλεγχος Εξοπλισμού

Εκτός από την βαθμονόμηση που κάνουμε στη συσκευή υπερήχων πριν από κάποιο έλεγχο υλικού, ώστε να πάρουμε μετρήσιμα και ακριβή αποτελέσματα, πρέπει κατά περιόδους να ελέγχουμε και τη διατήρηση των χαρακτηριστικών αποδόσεως της συσκευής δηλαδή αν λειτουργεί όπως έχει σχεδιαστεί.

Μερικοί από αυτούς τους ελέγχους αναλύονται παρακάτω :

Έλεγχος γραμμικότητας της χρονικής βάσης (Time base linearity)

Εκτελείται τοποθετώντας την κάθετη κεφαλή, στο δοκίμιο βαθμονόμησης (A2 ή A4) ώστε να παραχθούν πολλαπλές ηχώ. Ρυθμίζουμε την οθόνη τοποθετώντας την πρώτη και τελευταία ηχώ στην απαιτούμενη κλίμακα, στη σωστή τους αντίστοιχη θέση επάνω στην βάση του χρόνου και ελέγχουμε αν τα ενδιάμεσα σήματα είναι επίσης στις αντίστοιχες σωστές θέσεις. Οι αποκλίσεις της γραμμικότητας δεν πρέπει να ξεπερνούν το $\pm 2\%$ του χρησιμοποιούμενου εύρους οθόνης.

Βαθμονόμηση (εύρους) της χρονικής βάσης (Time base range calibration)

Εκτελείται με δοκίμια (A2 ή A4). Ελέγχουμε την ικανότητα του εξοπλισμού για βαθμονόμηση στα απαιτούμενα εύρη. Θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στην «ενότητα 5.2», για κάθετες και για γωνιακές κεφαλές.

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Εύρεση σημείου εκπομπής δέσμης υπερήχων (Beam Index Point – BIP)

Πριν από τη χρήση μιας γωνιακής κεφαλής, είναι απαραίτητο να βρεθεί το σημείο εξόδου του κεντρικού άξονα της δέσμης από την κεφαλή. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνεται τακτικά, επειδή η φθορά του ακρυλικού πέλματος της κεφαλής, προκαλεί αλλαγή στο σημείο στο σημείο εξόδου της δέσμης. Χρησιμοποιούνται τα δοκίμια (A2 ή A4). Ανεκτή απόκλιση $\pm 1\%$ mm. Θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στην «ενότητα 5.2», για γωνιακές κεφαλές.

Έλεγχος γωνίας δέσμης υπερήχων κεφαλής (Probe angle check)

Επίσης λόγω φθοράς πέλματος, αλλάζει η γωνία διάθλασης του κεντρικού άξονα της δέσμης. Για απλό έλεγχο χρησιμοποιούνται τα δοκίμια (A2 ή A4). Ακριβέστερος έλεγχος γίνεται με αποτύπωση του σχήματος της δέσμης με την χρήση του δοκιμίου A5. Ανεκτή απόκλιση $\pm 1.5^\circ$. Η διαδικασία θα περιγραφεί αναλυτικότερα στην «ενότητα 5.2», για γωνιακές κεφαλές.

Έλεγχος γραμμικότητας της ενίσχυσης (Amplifier linearity)

Εκτελείται με χρήση οποιουδήποτε δοκιμίου βαθμονόμησης που περιέχει ένα μικρό ανακλαστήρα (οπή διαμέτρου 1,5mm του A2 ή 5mm του A4). Τοποθετούμε μία κεφαλή στο δοκίμιο βαθμονόμησης, ώστε να παραχθεί ανακλώμενο σήμα από την εγκάρσια οπή. Χρησιμοποιώντας την ρύθμιση κέρδους (Gain) φέρουμε το σήμα στο 80% του ολικού ύψους της οθόνης. Αυξάνουμε το κέρδος κατά 2 dB και το σήμα πρέπει να φθάσει στο 100% του ολικού ύψους της οθόνης. Εν συνεχεία μειώνουμε το κέρδος κατά 8 dB και το σήμα πρέπει να πέσει στο 40% του ύψους της οθόνης. Μειώνοντας ακόμη περισσότερο το κέρδος κατά 12 dB, πρέπει να δούμε το σήμα να πέφτει στο 10% του ύψους της οθόνης και ακόμα μεγαλύτερη μείωση κατά 6 dB, φέρνει το σήμα στο 5% του ύψους της οθόνης. Η απόκλιση στα ύψη σήματος μπορεί να βρεθεί στις ισχύουσες προδιαγραφές και δεν πρέπει να ξεπερνά $\pm 5\%$.

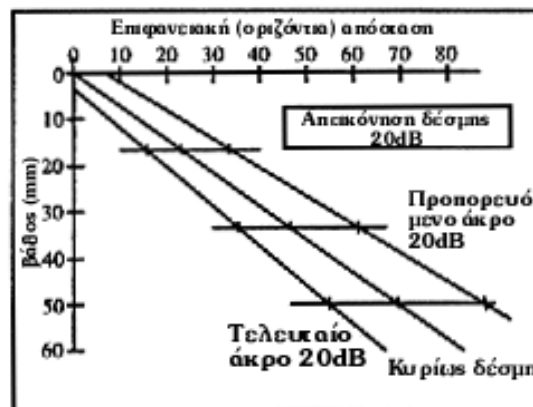
Έλεγχος ευαισθησίας και λόγος σήματος / θόρυβο (Signal to Noise ratio)

Τοποθετούμε την κεφαλή στο δοκίμιο βαθμονόμησης, ώστε να παραχθεί ανακλώμενο σήμα από κάποια εγκάρσια οπή. Χρησιμοποιώντας τον διακόπτη του κέρδους, ρυθμίζουμε το σήμα στα 20% του ολικού ύψους της οθόνης και σημειώνουμε την θέση του διακόπτη του κέρδους σε dB. Αυξάνουμε το κέρδος έως ότου η στάθμη του γρασιδιού (θορύβου) φθάσει το 20% του ύψους της οθόνης στο ίδιο σημείο της βάσης χρόνου και σημειώνουμε την νέα ένδειξη σε dB. Η διαφορά μεταξύ των δύο ενδείξεων κέρδους σε dB είναι ο λόγος σήματος/θορύβου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύγκριση διαφορετικού εξοπλισμού ή για έλεγχο του εν χρήσει εξοπλισμού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δοκίμια (A2, A4, A5) ενώ για επιφανειακές ασυνέχειες το (A6).

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Απόκλιση δέσμης (Beam spread)

Το σχέδιο απόκλισης δέσμης μπορεί να υπολογιστεί από τους τύπους που αναφέραμε στην «ενότητα 3.1», στην πράξη χαράζεται γραφικά με την χρήση δοκιμίου τύπου (A2, A4, A5) σε διάφορα βάθη οπών αναφοράς. Πριν από την χάραξη της μορφής της απόκλισης, πρέπει να ελέγχεται το κέντρο της εκπομπής των υπερήχων από την κεφαλή (BIP). Η κεφαλή τοποθετείται πάνω από μία από τις οπές και με παλινδρομικές κινήσεις το σήμα από αυτήν την οπή μεγιστοποιείται και το κέρδος μεταφέρεται στο 100% πλήρους ύψους οθόνης. Τότε η θέση του κέντρου εκπομπής σημαδεύεται πάνω στο ρυθμιστικό δοκίμιο. Κατόπιν η κεφαλή κινείται προς τα εμπρός έως ότου το σήμα πέσει στο 10% του ύψους της οθόνης και πάλι σημαδεύεται η νέα θέση του κέντρου εκπομπής επάνω στο δοκίμιο. Τώρα η οπή βρίσκεται στην οπίσθια ακτίνα της δέσμης που έχει ένταση 10% (-20 dB). Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων του δοκιμίου εκφράζει την απόσταση ανάμεσα στο κέντρο της δέσμης και την οπίσθια ακτίνα των 20 dB στο βάθος αυτής της οπής. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται κατά την αντίθετη διεύθυνση (προς τα πίσω) για να βρεθεί το προπορευόμενο όριο της δέσμης. Το ίδιο γίνεται μερικές φορές (τουλάχιστον τρεις) σε οπές διαφορετικού βάθους ώστε να βρεθεί η μορφή της δέσμης. Τα σημεία από το δοκίμιο μεταφέρονται σε διάγραμμα ώστε να δώσουν την αναπαράσταση της δέσμης «σχήμα 5.1» ή μεταφέρονται σε σύστημα απεικόνισης που θα χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό της μορφής και του μεγέθους των ελαττωμάτων.



Σχήμα 5.1: Σχέδιο απόκλισης δέσμης

Κατά (ASTM E-1065), ακολουθούμε ακριβώς την ίδια διαδικασία με την διαφορά ότι, το σήμα το ρυθμίζουμε στο 80% της οθόνης (όταν η κεφαλή στοχεύει το κέντρο της οπής) και μετά μετακινούμε αργά την κεφαλή μια με φορά προς τα δεξιά και μια προς τα αριστερά έως ότου το σήμα πέσει στο

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

40% ύψος οθόνης. Σε όλα τα σημεία που αναφερθήκαμε σημαδεύουμε το δοκίμιο με ένα μαρκαδόρο και έτσι ορίζουμε το σχέδιο απόκλισης δέσμης.

Διάρκεια παλμού (Pulse duration)

Εκτελείται με το δοκίμιο (A2 ή A4). Όσον αφορά κάθετες κεφαλές, χρησιμοποιούνται πολλαπλά σήματα πίσω ηχούς ενώ για γωνιακές κεφαλές η πλευρική οπή του δοκιμίου. Στην ουσία μετράται το πλάτος κάθε παλμού σε (mm) ή σε (μsec).

Διακριτική ικανότητα (Resolution)

Εκτελείται με το δοκίμιο A2. Η διακριτική ικανότητα της κάθετης κεφαλής μπορεί να βρεθεί με την χρήση των τριών περιοχών διαφορετικού πάχους γύρω από την εγκοπή που βρίσκεται κάτω από το κέντρο καμπυλότητας που έχει ακτίνα 100mm. Τοποθετούμε την κεφαλή επάνω από την εγκοπή και με βαθμονομημένη την οθόνη παρατηρούμε το διαχωρισμό σήματος των 85, των 91 και των 100mm. Το δοκίμιο (A7) είναι σχεδιασμένο για ακριβέστερους ελέγχους.

Σημείωση: Το βρετανικό πρότυπο BS 4331: 1978 μας δίνει πληροφορίες για τον έλεγχο του εξοπλισμού. Επίσης για να εκτελεστούν οι τεχνικές που περιγράφονται, απαιτούνται τα διάφορα δοκίμια βαθμονόμησης του βρετανικού προτύπου BS2704.

5.2 Βαθμονόμηση συσκευής πριν τη διεξαγωγή ελέγχου

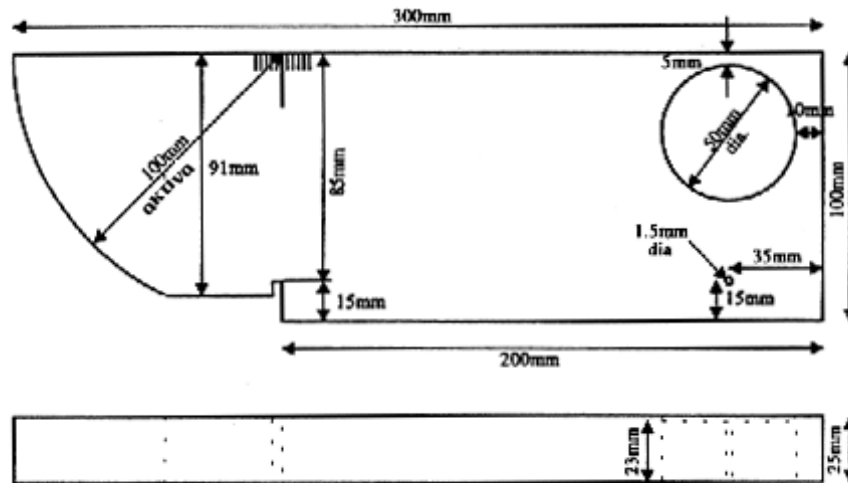
Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης πρέπει να δίνεται η ίδια προσοχή που δίνεται και κατά τη διάρκεια επιθεώρησης του εξεταζόμενου δοκιμίου. Στην ουσία, όλη η επιθεώρηση βασίζεται στην εγκυρότητα της βαθμονόμησης. Με τη βοήθεια της βαθμονόμησης, γίνεται δυνατό να κατανεμηθεί όλο το πλάτος/κλίμακα της οθόνης της συσκευής σε ένα καθορισμένο εύρος απόστασης που εμείς επιθυμούμε (range) π.χ. πάχος υλικού που πρόκειται να εξεταστεί. Αυτή η απόσταση καθορίζει το *εύρος δοκιμής (test range – TR)*.

Για τη βαθμονόμηση των υπερηχητικών συσκευών και κεφαλών χρησιμοποιούνται, ανάλογα με την περίπτωση, διαφόρων τύπων πρότυπες πλάκες βαθμονόμησης οι γνωστότερες των οποίων είναι οι V1 και V2 «σχήμα 5.2 - 5.3» και «πίνακας 4.5».

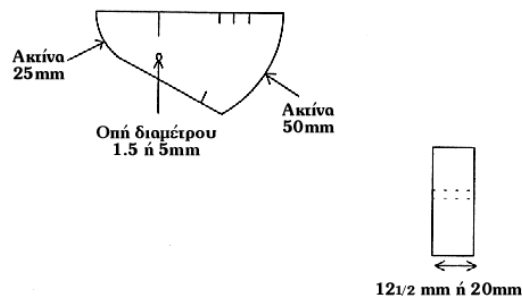
Μερικές από τις ακόλουθες τεχνικές βαθμονόμησης ασχολούνται με τη μέτρηση και την καταγραφή των χαρακτηριστικών της κεφαλής και της συσκευής υπερήχων. Όπως επίσης και με την κατάλληλη ευαισθησία που πρέπει να δοθεί στη συσκευή και η οποία πρέπει να διατηρηθεί σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της επιθεώρησης.

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Πριν φτάσουμε στη βαθμονόμηση της συσκευής και των κεφαλών (κάθετων μονού/διπλού κρυστάλλου και γωνιακών), είναι αναγκαίο να κατανοήσουμε κάποιες χρήσιμες έννοιες, όπως τη μέτρηση της νεκρής ζώνης, τον καθορισμό της απαιτούμενης ακρίβειας μέτρησης και το συντελεστή κλίμακας k (scale factor).



Σχήμα 5.2: Δοκίμιο βαθμονόμησης τύπου: IIW, A2, V1, DIN54/120, (Ολλανδικό δοκίμιο)



Σχήμα 5.3: Δοκίμιο βαθμονόμησης τύπου: A4, V2, DIN54/122, (σχήματος νεφρού)

Μέτρηση νεκρής ζώνης

Τοποθετούμε την κεφαλή επάνω στο σημείο των 5 mm. Εάν το σήμα είναι ορατό εκτός της νεκρής ζώνης, τότε η νεκρή ζώνη είναι μικρότερη από 5 mm. Εάν το σήμα δεν είναι ορατό, τοποθετούμε την κεφαλή στο σημείο των 10 mm. Εάν το σήμα γίνει τώρα ορατό, η νεκρή ζώνη ευρίσκεται μεταξύ 5 mm και 10 mm. Εάν όμως το σήμα δεν είναι ακόμα ορατό, τότε τοποθετούμε την κεφαλή στην περιοχή της οπής απόστασης 15 mm. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει σε αβαθμονόμητη οθόνη. Εναλλακτική μέθοδος είναι να βαθμονομήσουμε την οθόνη και να διαβάσουμε το μήκος της νεκρής ζώνης έξω από την διαβάθμιση της οθόνης του ανιχνευτή.

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Ακρίβεια μέτρησης και συντελεστής κλίμακας k

Για ακριβή μέτρηση της διαδρομής της δέσμης όπως είναι ο έλεγχος πάχους με ανιχνευτή σφάλματος, η ακρίβεια καθορίζεται από την επιλογή του εύρους δοκιμής TR (βάσεως χρόνου). Για παράδειγμα εάν ένα εύρος TR των 100 mm καταλαμβάνει όλη την οθόνη τότε κάθε μεγάλη υποδιαίρεση θα είναι 10 mm και κάθε μικρή υποδιαίρεση θα είναι 2mm. Αυτό σημαίνει ότι η μεγαλύτερη ακρίβεια που μπορούμε να διαβάσουμε επί της οθόνης εάν ισομοιάσουμε μία υποδιαίρεση είναι 1 mm. Με άλλα λόγια, ένα σήμα θα μπορούσε να είναι εκτός θέσεως κατά 1 mm σε πεδίο 100 mm. Έτσι η εγγυημένη ακρίβεια θα είχε φυσιολογική απόκλιση $\pm 1\%$ της κλίμακας. Στο «πίνακα 5.1», βλέπουμε για διάφορα εύροι δοκιμής την ακρίβεια ανάγνωσης που επιτυγχάνουμε.

Πίνακας 5.1: Συσχέτιση εύρους δοκιμής – ακρίβειας ανάγνωσης

Εύρος δοκιμής TR	Μεγάλη υποδιαίρεση	Μικρή υποδιαίρεση	Ακρίβεια ανάγνωσης
200mm	20mm	4mm	2mm
100mm	10mm	2mm	1mm
50mm	5mm	1mm	0.5mm
20mm	2mm	0.4mm	0.2mm
10mm	1mm	0.2mm	0.1mm

Επίσης, προκύπτει η σχέση για το συντελεστή κλίμακας k :

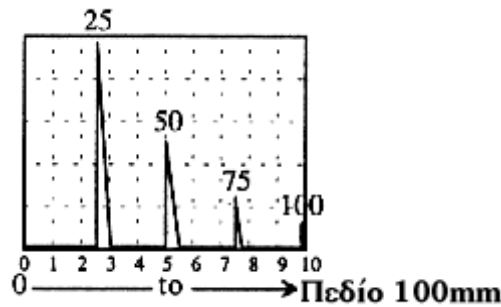
$$k = \frac{TR}{10} \text{ (mm/scale division)} \quad 5.1$$

Βαθμονόμηση κάθετων κεφαλών μονού κρυστάλλου

Για βαθμονόμηση κάθετης κεφαλής σε εύρος δοκιμής από 0 έως 100 mm Ακολουθούμε τη εξής διαδικασία: Απλώνουμε το υλικό σύζευξης στο δοκίμιο βαθμονόμησης τύπου V2 και τοποθετούμε την κεφαλή στο πάχος των 25 mm για να επιτύχουμε πολλαπλές ανακλάσεις ήχου. Στην οθόνη έχουμε κλίμακα 100 mm οπότε πρέπει να εμφανιστούν 4 ανακλάσεις ήχου σε αυτό το πεδίο ($4 \times 25 = 100$). Ρυθμίζουμε έτσι το πεδίο ώστε να μας δώσει 4 σήματα στην οθόνη. Εν συνεχεία,

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

χρησιμοποιώντας την καθυστέρηση κεφαλής (probe delay – zero offset) φέρνουμε το σήμα της πρώτης ηχούς, στο 1/4 του ολικού μήκους της κλίμακας και χρησιμοποιώντας τη καθυστέρηση απεικόνισης (delay control – display delay), τοποθετούμε το σήμα της τετάρτης ηχούς στο τέλος της οθόνης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου και τα 4 σήματα πάρουν τις αντίστοιχες θέσεις τους, όπως αναπαριστάται στο «σχήμα 5.4».



Σχήμα 5.4: Ανακλάσεις ήχου σε δοκίμιο 25mm, με προκαθορισμένο εύρος δοκιμής 100mm

Αυτή η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί και σε διαφορετικές κλίμακες με χρήση διαφορετικών παχών. Διαιρώντας το πεδίο δια του πάχους βρίσκουμε τον αριθμό των απαιτούμενων ανακλάσεων και κατανέμοντας σε ίσα διαστήματα στην οθόνη τα σήματα αυτών των ανακλάσεων επιτυγχάνουμε το επιθυμητό πεδίο. Πλέον, η νέας γενιάς συσκευές υπερήχων δεν απαιτούν την παραπάνω χειροκίνητη διαδικασία για τη ρύθμιση των σημάτων στην κατάλληλη θέση αλλά αυτό γίνεται αυτόματα με τη βοήθειά της συσκευής και τον αυτόματων υπολογισμών που κάνει (αυτόματη βαθμονόμηση).

Βαθμονόμηση κάθετων κεφαλών διπλού κρυστάλλου (δίδυμη κεφαλή)

Επιλέγουμε δύο σκαλοπάτια/πάχη της κλιμακωτής πλάκας βαθμονόμησης (step wedge), ανάλογα με το πάχος του εξεταζόμενου δοκιμίου. Πρώτον, τοποθετούμε την κεφαλή στο μικρότερο σκαλοπάτι και χρησιμοποιώντας το probe delay, μετατοπίζουμε το σήμα στο αντίστοιχο σημείο της κλίμακας της οθόνης. Κατόπιν, τοποθετούμε την κεφαλή στο μεγαλύτερο σκαλοπάτι και χρησιμοποιώντας το display delay, μετατοπίζουμε το σήμα στο αντίστοιχο σημείο της κλίμακας της οθόνης. Αυτά τα δύο βήματα ρύθμισης επαναλαμβάνονται μέχρις ότου τα δύο σήματα σταθούν στις σωστές θέσεις κλίμακας της οθόνης.

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Βαθμονόμηση γωνιακών κεφαλών

Η βαθμονόμηση των γωνιακών κεφαλών περιλαμβάνει τρία στάδια:

1. Σημείο εκπομπής δέσμης υπερήχων (BIP)

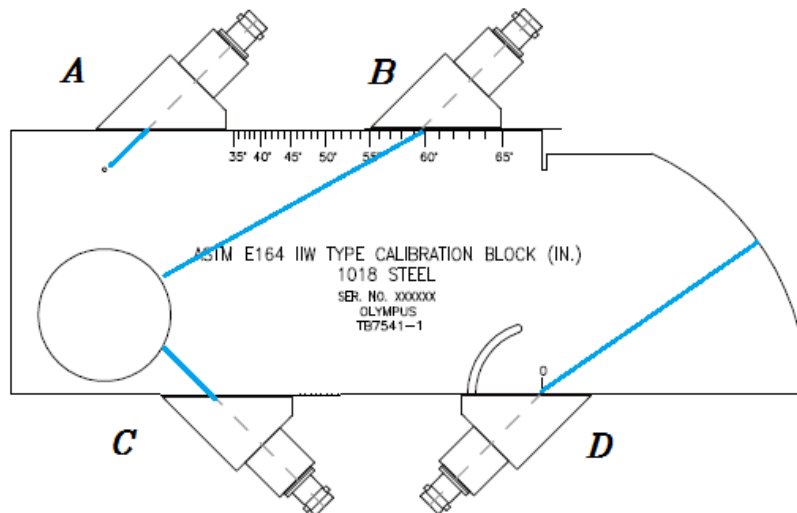
Τοποθετούμε την κεφαλή στο επάνω μέρος του δοκιμίου V1 βαθμονόμησης στο κέντρο του τόξου των 100 mm σημείο D στο «σχήμα 5.5», με τη δέσμη να μεταδίδεται κατά μήκος της ακτίνας. Μετακινούμε την κεφαλή μπρος – πίσω μέχρι να μεγιστοποιήσουμε το σήμα, και σταματούμε στο σημείο όπου το σήμα εμφανίζεται ισχυρότερο. Τότε σημαδεύουμε στην κεφαλή το σημείο εκπομπής της δέσμης υπερήχων. Οι χαραγμένες γραμμές από τις δύο πλευρές της μικρής εγκοπής (και αυτές της κεφαλής) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όταν συμβαίνει μετατόπιση του σημείου εκπομπής υπερήχων καθώς φθείρεται η κεφαλή.

2. Έλεγχος γωνίας εκπομπής δέσμης υπερήχων

Στο δοκίμιο V1, τοποθετούμε την κεφαλή ανάλογα με την γωνία του κατασκευαστή της στην ανάλογη σημαδεμένη γωνία πάνω στο δοκίμιο και στοχεύουμε το μεγάλο δίσκο (ο οποίος μπορεί να είναι γεμισμένος και με πλεξιγκλάς), διαμέτρου 50 mm, μεγιστοποιούμε το ανακλώμενο σήμα και σημειώνουμε την θέση της κεφαλής σε σχέση με τις ανάγλυφες διαβαθμίσεις στο δοκίμιο για ανάγνωση της τιμής της γωνίας.

3. Βαθμονόμηση (εύρους) της χρονικής βάσης

Αφού προσδιορίσουμε το σημείο εκπομπής και τη γωνία εκπομπής υπερήχων στην κεφαλή, μετά καθορίζουμε την οριζόντια κλίμακα (range) με δύο τουλάχιστον διαδοχικές ανακλάσεις που φτάνουν στο σημείο D. Η πρώτη ανάκλαση προέρχεται από το μήκος της ακτίνας 100 mm του δοκιμίου V1 και η δεύτερη ανάκλαση από το ημισέληνο κόψιμό της οποίας το μήκος της διαδρομής ισούται με 225 mm ($100+100+25=225$). Αυτές οι ανακλάσεις τοποθετούνται στο σωστό εύρος οθόνης με κατάλληλους χειρισμούς (Στις παλαιότερες συσκευές υπερήχων χωρίς τη λειτουργία auto-calibration η ρύθμιση probe delay και velocity γινόταν χειροκίνητα).



Σχήμα 5.5: Βαθμονόμηση γωνιακών κεφαλών στο δοκίμιο V1

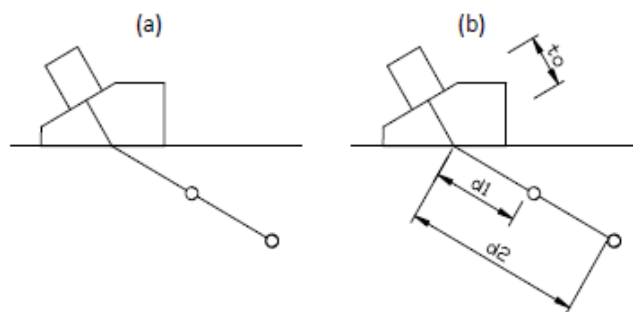
Σημείωση: Τις γωνιακές κεφαλές μεταξύ 40°-60° τις τοποθετούμε στο σημείο B ενώ τις κεφαλές άνω 60° στο σημείο C.

Αυτόματη βαθμονόμηση

Οι υπερηχητικές συσκευές νέας γενιάς διαθέτουν την λειτουργία της αυτόματης βαθμονόμησης (auto-calibration), δηλαδή ο χειριστής βγαίνει από τον κόπο της χειροκίνητης διαδικασίας βαθμονόμησης. Η αρχή λειτουργίας είναι απλή και είναι όμοια τόσο για κάθετες όσο και για γωνιακές κεφαλές. Το πρώτο βήμα είναι η είσοδος των αποστάσεων d_1 και d_2 στον πίνακα της συσκευής, όπως φαίνεται στο «σχήμα 5.6» περίπτωση γωνιακής κεφαλής. Η συσκευή μετά κάνει τον εξής υπολογισμό:

$$d_p = d_2 - d_1$$

5.2



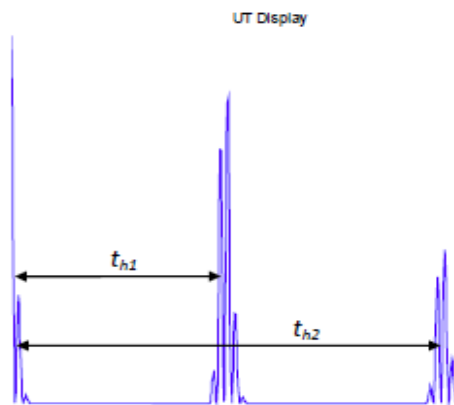
Σχήμα 5.6: Απεικονίζει το χρόνο της δέσμης μέσα στην κεφαλή (t_0) και τις αποστάσεις δύο ανακλαστήρων

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Η χρονική διαφορά μεταξύ των δύο σημάτων, όπως φαίνεται στο «σχήμα 5.7» μετράται εύκολα, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$t_p = t_{h2} - t_{h1} \quad 5.3$$

Όπου t_{h1} είναι ο χρόνος που μετράται από την στιγμή που ο παλμός υπερήχου εκπέμπεται μέχρι την άφιξη του στον πρώτο ανακλαστήρα και t_{h2} είναι το ίδιο, αλλά αναφέρεται στο δεύτερο ανακλαστήρα.



Σχήμα 5.7: Αναπαράσταση στην οθόνη της συσκευής των δύο ανακλαστήρων

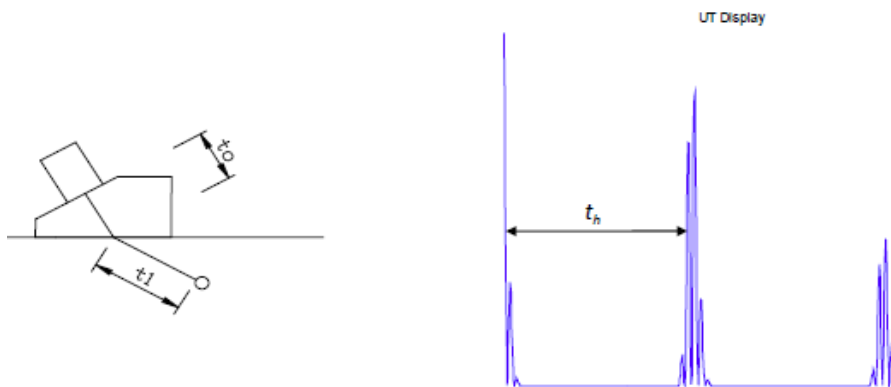
Σε αυτό το σημείο, είναι χρήσιμο να ξέρουμε ότι η μετρούμενη τιμή του χρόνου t_{h1} και t_{h2} εξαρτάται από την κατακόρυφη θέση της πύλης (Gate) που έχουμε καθορίσει. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι υπερηχητικές συσκευές έχουν τις λειτουργίες (peak και flank mode). Από την εμπειρία, καλύτερη βαθμονόμηση επιτυγχάνεται στη λειτουργία flank, με την πύλη να τοποθετείται στο 10% ύψους οθόνης (threshold). Επίσης συνιστάται η πύλη να παραμένει στο ίδιο ύψος οθόνης μέχρι το τέλος της βαθμονόμησης.

Η πραγματική ταχύτητα υλικού υπολογίζεται και ενημερώνεται αυτόματα χρησιμοποιώντας την ακόλουθη έκφραση:

$$c_{mat} = \frac{d_p}{t_p} \quad 5.4$$

Γνωρίζοντας πλέον την πραγματική ταχύτητα του υλικού, ο χρόνος t_1 που βλέπουμε στο «σχήμα 5.8» μπορεί να υπολογιστεί:

$$t_1 = \frac{d_1}{c_{mat}} \quad 5.5$$



Σχήμα 5.8: Αναπαράσταση συνολικού χρόνου πριν τη διόρθωση zero offset ($t_n = t_0 + t_1$)

Η τιμή, καθυστέρηση κεφαλής (zero offset / probe delay) δηλαδή ο χρόνος που διανύει η δέσμη μέσα στην κεφαλή μέχρι να εισέλθει στο υλικό διορθώνεται χρησιμοποιώντας της σχέση:

$$t_{offset} = t_{h1} - t_1 \quad 5.6$$

Η βαθμονόμηση της κλίμακας βάσεως χρόνου έγινε.

Ρύθμιση ευαισθησίας

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη ρύθμιση της ευαισθησίας, μεταξύ των οποίων οι ακόλουθες:

- Μέθοδος στάθμης πίσω-ηχούς (back-wall echo level)
- Μέθοδος στάθμης γρασιδιού (grass level)
- Χρησιμοποίηση ανακλαστήρα αναφοράς (reference reflector)
- Ρύθμιση με χρήση καμπύλων DAC και DGS (θα αναφερθούμε στην «ενότητα 5.5»)

➤ **Ηχώ της οπίσθιας όψης**

Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με κάθετες κεφαλές αφού οι ανακλάσεις από την οπίσθια επιφάνεια, δεν επιστρέφουν στην κεφαλή, σε περίπτωση χρησιμοποίησης γωνιακών κεφαλών.

Αφού η κεφαλή έρθει σε σύζευξη με το υλικό αυξάνεται η ενίσχυση (κέρδος) έως ότου η επιστρέφουσα ηχώ φθάσει στο προκαθορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο μπορεί να επιλεγεί κατά διάφορους τρόπους, π.χ. εάν η δευτέρας τάξεως ηχώ τεθεί σε πλήρες ύψος οθόνης θα προκύψει

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

μεγαλύτερη ευαισθησία από το αν τεθεί η πρώτη τάξεως ηχώ σε πλήρες ύψος οθόνης. Άλλος τρόπος είναι να τοποθετήσουμε το επίπεδο της επιστρέφουσας ηχούς χαμηλότερα (λιγότερη ευαισθησία) ή να το τοποθετήσουμε σε εκατοστιαίο ποσοστό του πλήρους ύψους της οθόνης και να προσθέσουμε τον προκαθορισμένο αριθμό dB στο κέρδος (αύξηση της ευαισθησίας).

➤ Γρασίδι

Η μέθοδος γρασίδι, όπως ονομάζονται οι παρεμβολές (θόρυβος) που οφείλονται στην συμβολή των ηχητικών κυμάτων μετά την ανάκλασή τους στα όρια των κόκκων, συνίσταται στην τοποθέτηση της κεφαλής επάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου και αύξηση του κέρδους έως ότου οι ανακλάσεις λόγω της δομής των κόκκων του υλικού φτάσουν ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Αυτό είναι συχνά ύψους 2 έως 3mm στο μέγιστο βάθος της δοκιμής, αλλά καλύτερα να εκφράζεται σε εκατοστιαία αναλογία πλήρους ύψους οθόνης (full screen height) (f.s.h.) επειδή όλοι οι ανιχνευτές σφάλματος δεν έχουν τις ίδιες διαστάσεις οθόνης. Η ευαισθησία μπορεί να ρυθμιστεί με αύξηση ή ελάττωση της στάθμης, ή προσθέτοντας ή αφαιρώντας dB στο κέρδος.

➤ Ανακλαστήρες αναφοράς

Συνηθισμένη μέθοδος ρύθμισης της ευαισθησίας, είναι να επιλέξουμε το μέγιστο σήμα ενός ανακλαστήρα αναφοράς σε συγκεκριμένο βάθος, σε προκαθορισμένη στάθμη, δηλαδή για ύψος πλήρους οθόνης ή 80% της οθόνης. Ο ανακλαστήρας αναφοράς είναι γνωστού σχήματος π.χ. μίας εγκάρσιας πλευρικής οπής (δοκίμιο βαθμονόμησης V1 με πλευρική οπή διαμέτρου 1.5 mm), μίας οπής επίπεδου πυθμένα, εγκοπής ή χαραγής μορφής V, ή θα μπορούσε να είναι πραγματικό ή προσομοιωμένο ελάττωμα γνωστού τύπου και μεγέθους.

***ΣΗΜΕΙΩΣΗ :** Οι μετρήσεις της νεκρής ζώνης, της διακριτικής ικανότητας και οι έλεγχοι των γωνιών των κεφαλών εγκαρσίων κυμάτων, μπορούν να γίνουν μόνο προσεγγιστικά με τα δοκίμια V1/V2. Για ακριβέστερα αποτελέσματα, πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά δοκίμια όπως το A5, A6 και A7, όπως αναφέρεται σε αναγνωρισμένες προδιαγραφές (π.χ. BS 4331 Parts 1 & 3).*

5.3 Εντοπισμός ασυνέχειας

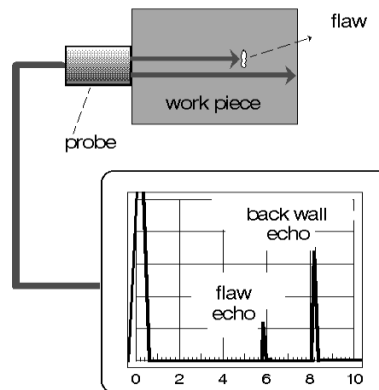
Η διαδικασία εντοπισμού της ασυνέχειας, ξεκινάει από τη στιγμή που θα έρθει σε επαφή, η κεφαλή με το εξεταζόμενο δοκίμιο (υλικό σύζευξης απαραίτητα). Από εκείνη τη στιγμή κι ύστερα, ο χειριστής πρέπει με μεθοδικότητα να σαρώσει την επιφάνεια του δοκιμίου μέχρι τον εντοπισμό ασυνέχειας. Ανάλογα το είδος της κεφαλής γίνεται και η ανάλογη σάρωση.

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Για τις γωνιακές κεφαλές, κατά τη διαδικασία της σάρωσης, υπάρχει ένα μεγάλο εύρος κινήσεων και χειρισμών της κεφαλής ενώ για τις κάθετες τα πράγματα είναι πιο απλά.

Σάρωση κάθετης κεφαλής

Σε αυτήν τη σάρωση, η κεφαλή κινείται στην επιφάνεια του δοκιμίου σε οριζόντιο ή κάθετο άξονα με αργό και σταθερό βήμα (λίγο μικρότερο του μεγέθους της κεφαλής συνήθως), μέχρι να συναντήσει κάποια ατέλεια, «σχήμα 5.9»



Σχήμα 5.9: Σάρωση κάθετης κεφαλής

Σάρωση γωνιακής κεφαλής

Η σάρωση με γωνιακή κεφαλή απαιτεί εμπειρία και επιδεξιότητα από την πλευρά του χειριστή. Σε περιπτώσεις γωνιακής σάρωσης π.χ. συγκολλήσεις, η ασυνέχεια πρέπει να βάλλεται από πολλές πλευρές ώστε να λάβουμε ξεκάθαρο συμπέρασμα για τα χαρακτηριστικά της ασυνέχειας. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να εφαρμόσουμε ένα εύρος κινήσεων όπως φαίνεται και στο «σχήμα 5.10».

- *Τροχιακή σάρωση*

Σ' αυτόν τον τύπο σάρωσης, ο χειρισμός της κεφαλής γίνεται κατά τοξοειδή κίνηση με προσπάθεια συνεχούς εστίασης της δέσμης σε σταθερό ανακλαστήρα. Συχνά χρησιμοποιείται για ανίχνευση πορώδους.

- *Περιστροφική σάρωση*

Εδώ η κεφαλή κινείται επάνω σε ένα σταθερό σημείο, εκπέμποντας την δέσμη γύρω από αυτό το σημείο. Χρησιμοποιείται για αναγνώριση πολυεδρικών ή πολλαπλών σφαλμάτων, καθώς και για την διαμήκη σάρωση συγκολλήσεων, στις οποίες δεν έχει αφαιρεθεί το μέτωπο (ατρόχιστες).

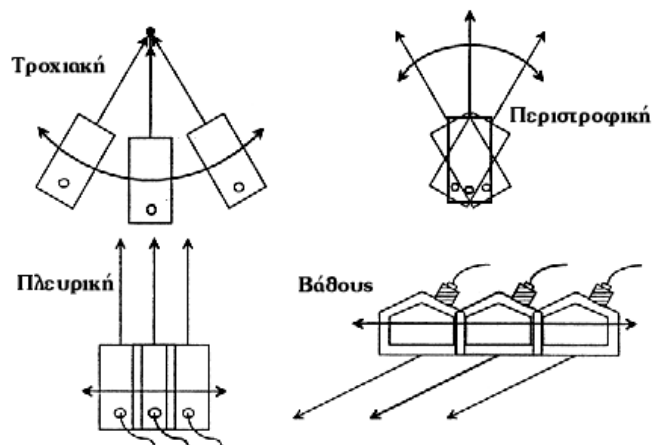
Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

- Πλευρική σάρωση

Η κεφαλή κινείται δεξιά-αριστερά κατά μήκος προκαθορισμένης σταθερής γραμμής. Χρησιμοποιείται για την σάρωση ρίζας, σε συγκολλήσεις απλής αύλακας τύπου V, ή για τον προσδιορισμό του μήκους διαμήκους σφάλματος.

- Σάρωση βάθους

Η κεφαλή κινείται εμπρός-πίσω σε ένα συγκεκριμένο σημείο, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως στην μεγιστοποίηση του σήματος μιας εγκάρσιας οπής για ρύθμιση της ευαισθησίας.



Σχήμα 5.10: Σάρωση με γωνιακή κεφαλή

5.4 Προσδιορισμός θέσης ασυνέχειας

Ο προσδιορισμός της θέσης μιας ασυνέχειας γίνεται μέσω μαθηματικών και γεωμετρικών σχέσεων, βέβαια οι σύγχρονες συσκευές υπερήχων κάνουν τους υπολογισμούς αυτούς αυτόματα και μας παρέχουν τα αποτελέσματα έτοιμα (readings). Παρόλα αυτά είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε πως γίνονται αυτοί οι υπολογισμοί.

Κάθετες κεφαλές

Η θέση μιας ασυνέχειας μέσα σε ένα δοκίμιο, με χρήση κάθετης κεφαλής, μπορεί να προσδιοριστεί ως εξής: υπολογίζοντας το χρόνο που απαιτείται για ένα υπερηχητικό παλμό που παράγεται από την κεφαλή, να ταξιδέψει μέσα στο υλικό, να ανακλαστεί από μια ασυνέχεια ή από την πίσω επιφάνεια του δοκιμίου και να επιστρέψει στην κεφαλή, «σχήμα 5.11». Στις περισσότερες εφαρμογές, αυτό το χρονικό διάστημα είναι λίγα (μSec). Ο χρόνος διέλευσης t διαιρείται δια δύο για να ληφθεί υπόψη η «πήγαινε – έλα» διαδρομή του παλμού και πολλαπλασιάζεται με την ταχύτητα διάδοσης του ήχου

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

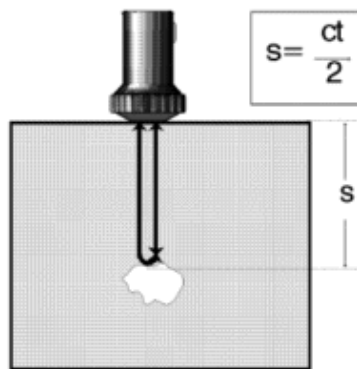
στο υλικό δοκιμής c . Το αποτέλεσμα μας δίνει τη διαδρομή δέσμης και εκφράζεται με τη γνωστή σχέση:

$$s = \frac{c \cdot t}{2} \quad 5.7$$

Όπου : S = διαδρομή δέσμης (sound path) (mm)

C = ταχύτητα διάδοσης ήχου στο δοκίμιο (km/s)

t = χρόνος διέλευσης παλμού στο δοκίμιο (μs)

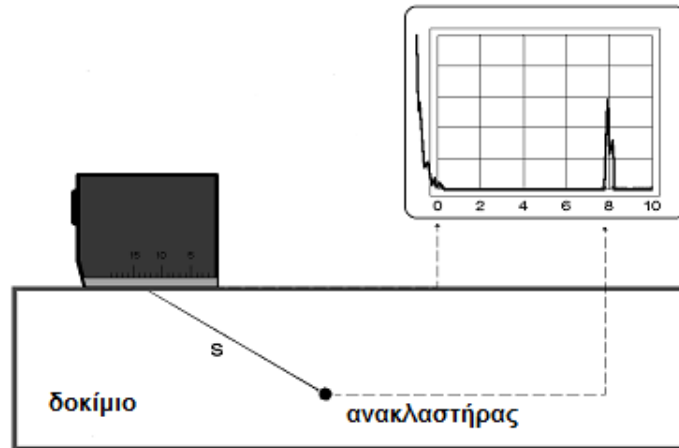


Σχήμα 5.11: Διαδρομή δέσμης και θέση ασυνέχειας

Γωνιακές κεφαλές

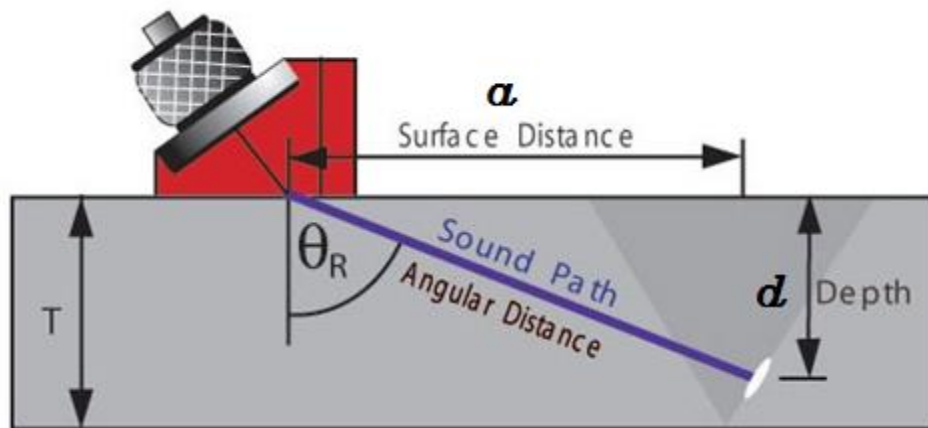
Το σήμα που λαμβάνουμε στην οθόνη από μια ασυνέχεια, δεν μας δίνει κάποια συγκεκριμένη πληροφορία για τη θέση της στο δοκίμιο. Η μόνη πληροφορία που παίρνουμε είναι για την διαδρομή δέσμης s (sound path), η οποία προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή κλίμακας k (mm/division), επί την ένδειξη SR (division), που βλέπουμε στην οθόνη. Αναλυτικότερα στην σχέση (5.8) και «σχήμα 5.12»

$$s = k \cdot SR \quad (\text{mm}) \quad 5.8$$



Σχήμα 5.12: Διαδρομή δέσμης γωνιακής κεφαλής

Μέσω της τριγωνομετρίας μας δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης της ασυνέχειας. Η τεχνική βασίζεται στον υπολογισμό των στοιχείων των ορθογωνίων τριγώνων έχοντας ως γνωστά τη γωνία της κεφαλής και το μήκος της διαδρομής δέσμης s . Στο «σχήμα 5.13» και τις σχέσεις (5.9) και (5.10) βλέπουμε αναλυτικά πως υπολογίζονται το βάθος d και η επιφανειακή απόσταση a (σημείο εξόδου δέσμης – κάθετη απόσταση από το σφάλμα).



Σχήμα 5.13: Υπολογισμός βάθους και επιφανειακής απόστασης μέσω τριγωνομετρίας

$$a = \sin \theta_R \cdot s \quad 5.9$$

$$d = \cos \theta_R \cdot s \quad 5.10$$

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Όπου : S = Διαδρομή δέσμης

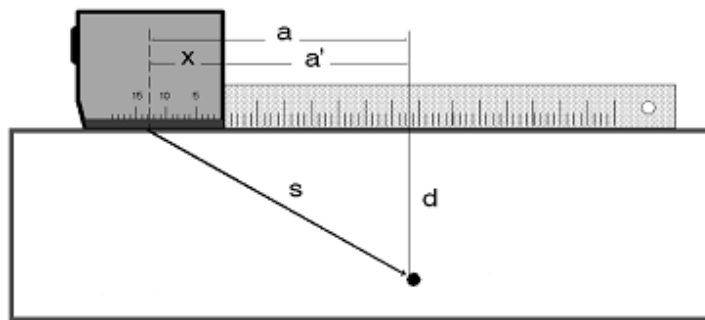
a = Επιφανειακή απόστασή (surface distance)

d = Βάθος ανακλαστήρα (depth reflector)

θ_R = Γωνία κεφαλής / Γωνία διάθλασης

T = Πάχος δοκιμίου

Πλέον είδαμε πως υπολογίζουμε την ακριβή θέση του ανακλαστήρα σε σχέση με το σημείο εξόδου της δέσμης. Παρόλα αυτά, είναι χρήσιμο για πρακτικούς λόγους να εισάγουμε μια νέα μεταβλητή την x -value (μήκος από αρχή της κεφαλής – σημείο εξόδου δέσμης), η x -value μας βοηθάει να βρίσκουμε τη θέση της ατέλειας ευκολότερα με χρήση χάρακα στην άκρη της κεφαλής, «σχήμα 5.14».

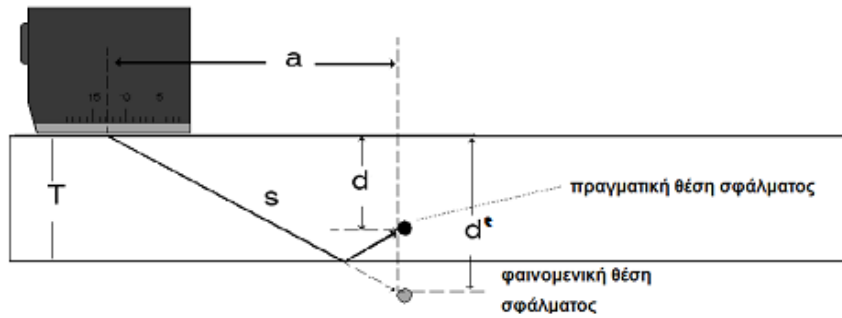


Σχήμα 5.14: Επιφανειακή απόσταση μειωμένη κατά x -value

$X = X$ -value = μήκος από (αρχή της κεφαλής – σημείο εξόδου δέσμης)

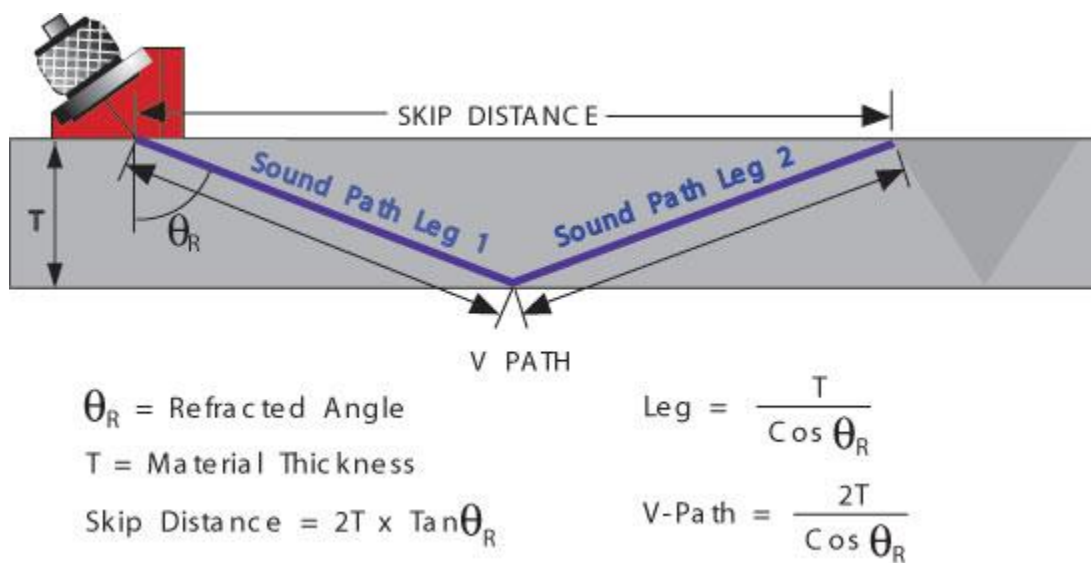
a' = μειωμένη κατά X επιφανειακή απόστασή

Πολλές φορές συμβαίνει, κατά των έλεγχο συγκολλήσεων να λαμβάνουμε εσφαλμένη ένδειξη για το βάθος του σφάλματος, δηλαδή μεγαλύτερο το βάθος d' από το πάχος του δοκιμίου T , αυτό συμβαίνει όταν ο υπερηχητικός παλμός ανακλάται από την πίσω πλευρά της ασυνέχειας, «σχήμα 5.15».



Σχήμα 5.15: Πραγματική και εικονική θέση σφάλματος

Για να κατανοήσουμε καλύτερα το τι συμβαίνει πρέπει να δούμε την έννοια της *βηματικής απόστασης p* (skip distance). Ως βηματική απόσταση, ορίζεται η απόσταση μεταξύ του σημείου εξόδου της δέσμης και του σημείου επιστροφής της δέσμης στην άνω επιφάνεια αφού πρώτα ανακλαστεί στην κάτω. Σε αυτή την περίπτωση η διαδρομή της δέσμης ονομάζεται διαδρομή-V (V-path) και αποτελείται από τα leg 1 και leg 2 «σχήμα 5.16».



Σχήμα 5.16: Βηματική απόσταση και τριγωνομετρικές σχέσεις για τον υπολογισμό των αποστάσεων

Η βηματική απόσταση υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$p = 2 \cdot T \cdot \tan \theta_R \quad 5.11$$

Ισχύει επίσης, ότι αν η επιφανειακή απόσταση a , είναι μεταξύ 0 και $p/2$ τότε το βάθος d υπολογίζεται όπως δείξαμε νωρίτερα, ενώ αν είναι μεταξύ $p/2$ και p το βάθος είναι εικονικό και πρέπει να υπολογιστεί σωστά από τη σχέση:

$$d = 2 \cdot T - d' \quad 5.12$$

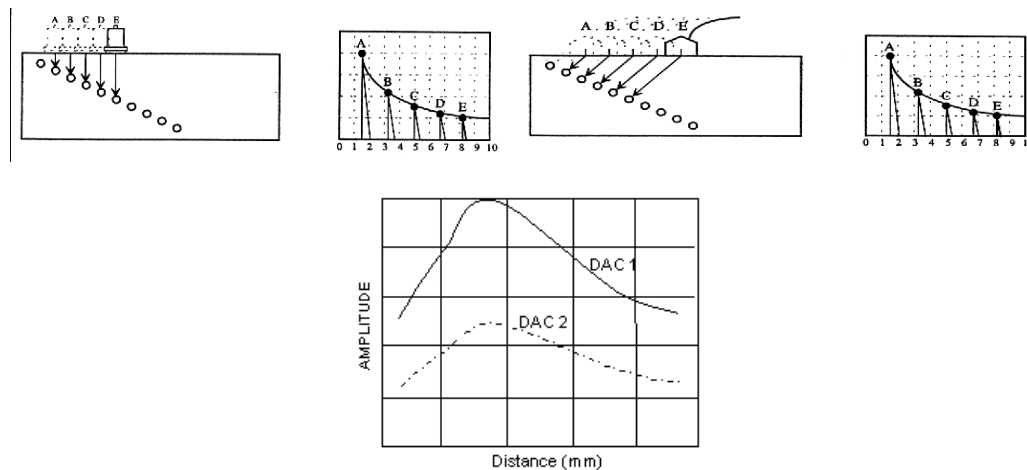
5.5 Τεχνικές συγκριτικής αξιολόγησης ασυνεχειών

Καμπύλη (Διόρθωσης-Απόστασης-Έντασης) – Καμπύλη (DAC)

Στην περίπτωση της Α-Σάρωσης η ένταση του ανακλώμενου ήχου είναι τόσο μικρότερη, όσο βαθύτερα στο υλικό βρίσκεται ο ανακλαστήρας (λόγω αποδυνάμωσης). Προκειμένου να μπορούμε να συγκρίνουμε μεγέθη ανακλαστήρων (ποιοτικά και όχι ποσοτικά) που βρίσκονται σε διαφορετικά βάθη, κατασκευάζουμε την καμπύλη (Distance-Amplitude-Correction – DAC), χρησιμοποιώντας είτε οπές επίπεδου πυθμένα (flat bottomed) holes), στην περίπτωση των κάθετων κεφαλών, είτε πλευρικές οπές (side drilled holes) στην περίπτωση των γωνιακών κεφαλών, «σχήμα 5.17».

Η οθόνη ρυθμίζεται στην κατάλληλη κλίμακα και η κεφαλή τοποθετείται επάνω από την πρώτη τρύπα, αυτή που δίνει και το ισχυρότερο σήμα (από την κοντινότερη οπή). Αυτό το σήμα μεγιστοποιείται και επιλέγεται η προκαθορισμένη στάθμη (συνήθως 80% ύψος οθόνης) με την χρήση του ρυθμιστή κέρδους. Η κορυφή του σήματος μαρκάρεται στην οθόνη και εν συνεχεία η κεφαλή μετακινείται προς την επόμενη οπή που βρίσκεται βαθύτερα. Το σήμα αυτής της οπής μεγιστοποιείται πάλι, αλλά χωρίς να γίνει μεταβολή του κέρδους, η κορυφή του σήματος μαρκάρεται στην οθόνη. Κατόπιν η κεφαλή τοποθετείται επάνω από την επόμενη οπή. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις οπές του ρυθμιστικού δοκιμίου. Τέλος οι κορυφές όλων των σημάτων ενώνονται και δημιουργούν την καμπύλη διόρθωσης απόστασης – έντασης. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται 100% καμπύλη DAC ενώ με μετάθεση της στο ήμισυ έχουμε την καμπύλη DAC 50% δηλαδή (-6dB).

Οι καμπύλες DAC (διαφορετική για κάθε συσκευή, κεφαλή και υλικό) χρησιμοποιούνται για την αποδοχή ή απόρριψη σφάλματος, βάσει των σχετικών οδηγιών της χρησιμοποιούμενης προδιαγραφής (π.χ. απορρίπτουμε ότι υπερβαίνει την καμπύλη DAC 100% ή ότι δεν ξεπερνάει την καμπύλη DAC 50%).



Σχήμα 5.17: Δημιουργία καμπύλης διόρθωσης απόστασης-έντασης για κάθετες και γωνιακές κεφαλές

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

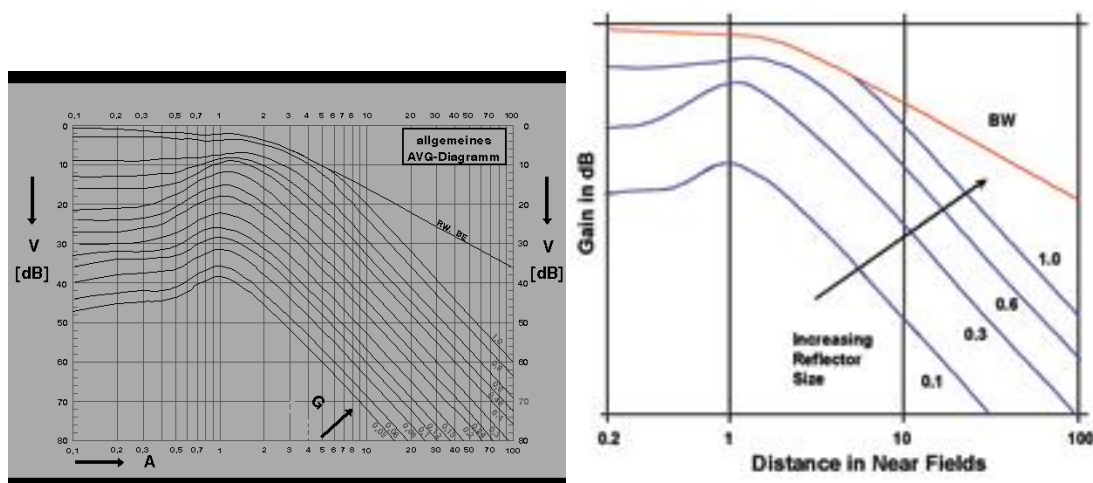
Διάγραμμα Απόστασης-Ενίσχυσης-Μεγέθους – Διάγραμμα DGS/AVG

Πρόκειται για διάγραμμα που χρησιμοποιεί το μέγεθος της εγγύς-ζώνης και τη διαφορά αποδυνάμωσης πίσω-ηχούς ή ασυνέχειας, προκειμένου να συγκρίνει το μέγεθος του πομπού και το μέγεθος της ασυνέχειας.

Για προσδιορισμό μεγέθους ενός ανακλαστήρα με διάγραμμα (Distance-Gain-Size – DGS) ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

Καταρχήν έχουμε το διάγραμμα D.G.S. της κεφαλής που χρησιμοποιούμε και έχουμε βαθμονομήσει το εύρος οθόνης. Μεγιστοποιούμε το σήμα από τον ανακλαστήρα και θέτουμε το ύψος σε προκαθορισμένο επίπεδο αναφοράς, χρησιμοποιώντας τον ρυθμιστή του κέρδους, και καταγράφουμε την θέση του κέρδους. Μετακινούμε την κεφαλή σε ένα σημείο της επιφάνειας όπου η πίσω όψη να βρίσκεται στην ίδια απόσταση με τον ανακλαστήρα που καταγράψαμε προηγουμένως. Αφού επιστρέψει το σήμα της πίσω-ηχούς, το φέρνουμε στην ίδια προκαθορισμένη στάθμη όπως προηγουμένως και σημειώνουμε την διαφορά μεταξύ των προηγούμενων και νέων τιμών κέρδους. Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα D.G.S. βρίσκουμε την τιμή των dB στην απόσταση της πίσω-ηχούς και προσθέτουμε αυτήν την τιμή στην προηγούμενη διαφορά. Η τελική τιμή των dB στο βάθος του ανακλαστήρα είναι το ισοδύναμο μέγεθος του ανακλαστήρα.

Από την εταιρεία Krautkraemer δίνονται και οι λεγόμενες κλίμακες (DGS/AVG scales), για κάθε κεφαλή ξεχωριστά, όπου γίνεται σύγκριση του μεγέθους της ασυνέχειας και πρότυπων ανακλαστήρων διαφόρων μεγεθών (π.χ. διαμέτρου 1,2,3 mm), υπό την προϋπόθεση φυσικά, ότι η φύση και η γωνία της ασυνέχειας (ως προς την προσπίπτουσα δέσμη) είναι ίδια με αυτές του πρότυπου ανακλαστήρα. Οι κλίμακες DGS είναι αποδεκτές από ορισμένες μόνο προδιαγραφές (κυρίως γερμανικές) για την αποδοχή ή απόρριψη ασυνέχειας υλικού, «σχήμα 5.18».



Σχήμα 5.18: Διαγράμματα Απόστασης-Ενίσχυσης-Μεγέθους (DGS)

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

Κριτήρια αποδοχής – απόρριψης σφαλμάτων μη κυλινδρικών συγκολλήσεων

Σύμφωνα με το πρότυπο AWS D1.1, δίνονται τα κριτήρια αποδοχής - απόρριψης (για στατικά φορτιζόμενες μη σωληνοειδής συνδέσεις). Το πρότυπο αυτό παρέχει στον επιθεωρητή την τεχνική να μπορεί να ταξινομή τις ασυνέχειες που εντοπίζει στις συγκολλήσεις και έπειτα να κρίνει αν είναι αποδεκτές ή όχι βάση του «πίνακα Table 6.2», ο οποίος βρίσκεται στο «παράρτημα Γ». Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί την ακόλουθη σχέση για να αναπτύξει μια μεταβλητή d , η οποία ονομάζεται αξιολόγηση ένδειξης/σήματος (indication rating) έχει μονάδες μέτρησης dB και στην ουσία είναι η αξιολόγηση της ένδειξης μιας ασυνέχειας που εντοπίζεται κατά τον έλεγχο μίας συγκόλλησης.

$$a - b - c = d \quad 5.13$$

Όπου : a = Ύψος σήματος από τυχαία ασυνέχεια στη συγκόλληση που εξετάζουμε (discontinuity indication level). Η τιμή παράγεται ως εξής: Όταν εμφανιστεί το σήμα της ασυνέχειας στην οθόνη το μεγιστοποιούμε μετακινώντας την κεφαλή κατάλληλα και μετά υπολογίζουμε τη διαφορά σε dB μεταξύ αυτού του σήματος και του σήματος αναφοράς που έχουμε ήδη ορίσει b .

b = Ύψος σήματος από ανακλαστήρα αναφοράς π.χ. από την οπή 1.5 mm του δοκιμίου βαθμονόμησης V1 (reference indication level) (dB)

c = Συντελεστής απόσβεσης (attenuation factor) (dB) και υπολογίζεται από τη σχέση (5.14)

$$c = 2 \times (\text{soundpath} - 25\text{mm}) \quad 5.14$$

Τέλος, ο επιθεωρητής πρέπει να πάρει την τιμή d που υπολογίστηκε και να την συγκρίνει με τις τιμές του «πίνακα Table 6.6» στο «παράρτημα Γ», με σκοπό να ορίσει τη σοβαρότητα της ασυνέχειας που εντόπισε.

5.6 Τεχνικές διαστασιολόγησης ασυνεχειών

Οι κυριότερες τεχνικές είναι αυτή της πτώσης κατά 6dB (6dB drop) και της πτώσης κατά 20 dB (20dB drop). Υπάρχει επίσης και η τεχνική μέγιστου εύρους, η οποία δεν χρησιμοποιείται συχνά .

Τεχνική πτώσης 20 dB (20 dB drop method)

Η τεχνική μέτρησης διαστάσεων ασυνέχειας με πτώση 20 dB βασίζεται στην ακριβή εύρεση των άκρων της, χρησιμοποιώντας τις ακμές της δέσμης υπερήχων για πτώση κατά 20 dB από τον κεντρικό άξονα.

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

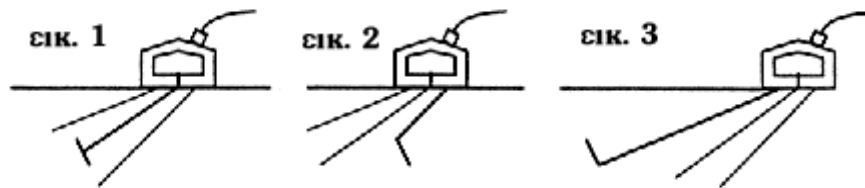
Αυτή η τεχνική όπως και η τεχνική μέγιστου εύρους, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ασυνεχειών κάθε μεγέθους, εφόσον αυτές προξενούν ηχώ μεταβλητού ύψους κατά τη διεύθυνση της μέτρησης.

Μπορεί να εφαρμοστεί για τη μέτρηση μήκους, πλάτους και βάθους ασυνέχειας.

Πρέπει να γίνει σωστή επιλογή της κατεύθυνσης σάρωσης και της γωνίας της δέσμης, ώστε να βρεθεί η ηχώ από τον τελευταίο ανακλαστήρα και να αναγνωριστεί στην οθόνη.

Λεπτομερής διαδικασία

1. Σχεδιάζουμε τον κεντρικό άξονα της δέσμης και τα όρια πτώσης 20 dB (1/10 του αρχικού ύψους) χρησιμοποιώντας δοκίμιο με πλευρικές σπές σε διαφορετικό βάθος από την επιφάνεια του δοκιμίου.
2. Βαθμονομούμε με ακρίβεια τη χρονική βάση
3. Εκτελούμε σάρωση κατά μήκος ή εγκάρσια στην ασυνέχεια (ανάλογα με τη διαστασιολογούμε) και βρίσκουμε την τελευταία σημαντική ηχώ σε κάθε άκρο της.
4. Σταματούμε στο ένα από τα δύο ακραία σήματα της ασυνέχειας. Μεγιστοποιούμε την τελευταία ηχώ, μετακινώντας την κεφαλή, και την ανεβάζουμε στο 80% έως 100% του πλήρους ύψους της οθόνης.
5. Ελαττώνουμε την ένταση κατά 20 dB, σημειώνουμε το ύψος της ηχούς στην οθόνη και επιστρέφουμε στα αρχικά dB.
6. Μετακινούμε την κεφαλή σιγά, ώστε να απομακρυνθεί η δέσμη από την ασυνέχεια, μέχρι να πέσει η ηχώ κατά 20 dB, δηλαδή στο ύψος της οθόνης που σημειώσαμε στο βήμα 5. Καταγράφουμε τη θέση της κεφαλής και τη διαδρομή της δέσμης.
7. Για να ελέγξουμε τη μέτρηση που έγινε στο προηγούμενο βήμα, συνεχίζουμε τη μετακίνηση της κεφαλής μέχρι να μηδενιστεί η ηχώ και κατόπιν μετακινούμε την κεφαλή προς την αντίθετη κατεύθυνση, μέχρι η ηχώ να φθάσει πάλι στο ύψος που σημειώσαμε στο βήμα 5 και καταγράφουμε πάλι τη θέση της κεφαλής και τη διαδρομή της δέσμης.
8. Σχεδιάζουμε τη θέση της ασυνέχειας στην κατάλληλη ακμή πτώσης 20 dB της δέσμης και γνωρίζοντας τη θέση της κεφαλής, σημειώνουμε αυτό το ακραίο σημείο σε σκαρίφημα του εξεταζόμενου αντικειμένου.
9. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 4 έως 9 και για το άλλο ακραίο σήμα της ασυνέχειας και ενώνουμε τα δύο σημεία, ώστε να έχουμε το μέγεθος, τη θέση και τον προσανατολισμό της ασυνέχειας. Όποτε είναι δυνατό, επανάληψη της μέτρησης θα εκτελεστεί είτε από άλλη διεύθυνση είτε με άλλη γωνία δέσμης, ώστε να βεβαιωθούμε ότι τα άκρα της ασυνέχειας έχουν βρεθεί σωστά.



Σχήμα 5.19: Τεχνική πτώσης 20dB

Τεχνική πτώσης 6 dB (6 dB drop method)

Η τεχνική πτώσης κατά 6 dB εκτελείται επιτυγχάνοντας ηχώ από μια θέση όπου ο ανακλαστήρας βρίσκεται μπροστά σε όλο το εύρος της δέσμης υπερήχων και μετακινώντας κατόπιν τη δέσμη, ώστε η ηχώ να πέσει στο μισό (-6 dB). Θεωρείται τότε ότι μόνον η μισή δέσμη κτυπά τον ανακλαστήρα και επομένως το άκρο του βρίσκεται πάνω στον άξονα της δέσμης.

Αυτή η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε ασυνέχειες μεγαλύτερες (στη διεύθυνση που εξετάζονται) από το εύρος της δέσμης υπερήχων και μόνο όταν παρουσιάζεται μικρή μεταβλητότητα του ύψους της ηχούς, κατά μήκος αυτής της διεύθυνσης.

Η τεχνική είναι κατάλληλη τόσο για κάθετες όσο και για γωνιακές κεφαλές. Χρησιμοποιείται κυρίως για εύρεση μεγέθους επίπεδης διαστρωμάτωσης (lamination), σε δοκίμια τύπου ελάσματος και για τη μέτρηση μήκους γραμμικών σφαλμάτων συγκολλήσεων.

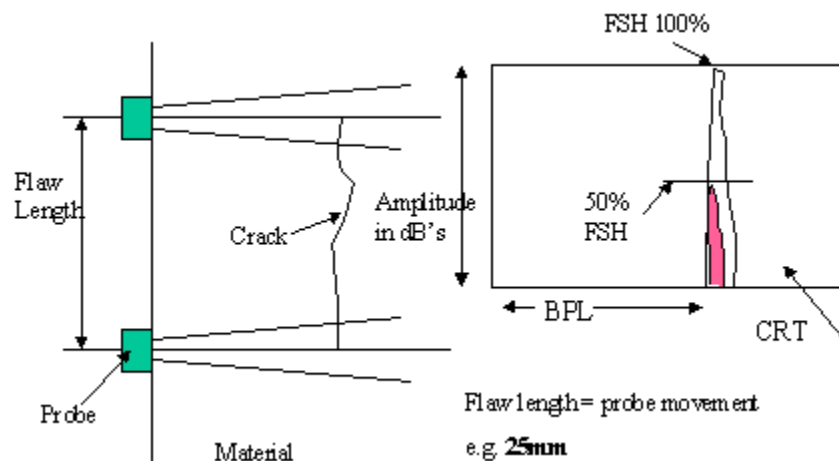
Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση του πλάτους των ασυνεχειών οι οποίες βρίσκονται κάθετα στον άξονα της δέσμης και οι οποίες εμφανίζουν μικρή μεταβλητότητα στο ύψος της ηχούς, π.χ. εκτεταμένη ατελής πλευρική τήξη συγκόλλησης.

Λεπτομερής διαδικασία

1. Βρίσκουμε τον ακριβή άξονα της δέσμης και το σημείο εξόδου από την κεφαλή. Το εύρος της δέσμης πρέπει να είναι συμμετρικό γύρω από τον άξονα της.
2. Βαθμονομούμε τη χρονική βάση
3. Σαρώνουμε κατά μήκος ή εγκάρσια στην ασυνέχεια και προσέχουμε το σχήμα των σημάτων στην οθόνη. Εάν η ηχώ μεταβάλλεται λίγο και η ένταση της πέφτει απότομα στα ακραία σήματα, τότε τα σημεία λίγο πριν πέσει απότομα η ηχώ λαμβάνονται ως σημεία εκκίνησης για τη μέθοδο -6 dB.
4. Σταματούμε την κεφαλή πάνω από ένα ακραίο σημείο, λίγο πριν πέσει απότομα το ύψος της ηχούς. Μετακινώντας την κεφαλή πηγαίνουμε στο σημείο με το μέγιστο ύψος σήματος και ρυθμίζουμε το ύψος σήματος στο 80% ή 100% του πλήρους ύψους οθόνης.

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

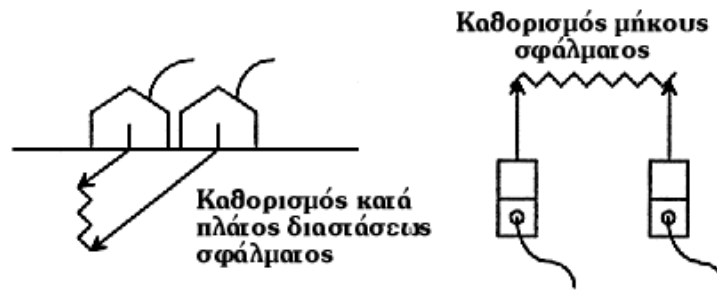
5. Μετά μετακινούμε την κεφαλή ώστε αυτό το ύψος να πέσει κατά 6 dB (στο μισό).
6. Σχεδιάζουμε τη θέση του άκρου της ασυνέχειας, γνωρίζοντας τη θέση της κεφαλής, τη γωνία της δέσμης (γωνιακή κεφαλή) και τη διαδρομή δέσμης.
7. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 4 έως 6 στο άλλο ακραίο σημείο της ασυνέχειας και ενώνουμε τα (σχεδιασμένα) σημεία, ώστε να έχουμε το μέγεθος και τη θέση της ασυνέχειας.
8. Στην περίπτωση μεγάλων επίπεδων ασυνεχειών, επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3 έως 6 σε διαφορετικές θέσεις, κατά μήκος της ασυνέχειας.



Σχήμα 5.20: Τεχνική πτώσης 6dB

Τεχνική Μέγιστου Εύρους (Crack Tip Diffraction)

Αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό μεγέθους ελαττωμάτων μικρής επιφάνειας, όπως είναι τα εγκλείσματα ή το πορώδες ή ακόμα τα πολυεδρικά σφάλματα, π.χ. οι ρωγμές. Η τεχνική συνίσταται στην κίνηση της κεφαλής εκτός επιφανείας σφάλματος έως πλήρους εξαφανίσεως του σήματος και της επαναφοράς προς τα πίσω με παρατήρηση του συνόλου των παραγομένων σημάτων, έως την πρώτη θέση όπου κάποιο από αυτά τα σήματα μεγιστοποιείται. Τότε το σφάλμα αποτυπώνεται στην κεντρική δέσμη στο σύστημα απεικόνισης. Εάν η διαδικασία αυτή εκτελεστεί και στις δύο διευθύνσεις τότε έχουμε τα δύο άκρα της κατά πλάτος διατομής του σφάλματος. Η τεχνική επαναλαμβάνεται κινώντας την κεφαλή πλαγίως για προσδιορισμό του μήκους του ελαττώματος με σημάδεμα της θέσης του κέντρου της κεφαλής. Με αυτή την τεχνική εξακριβώνουμε το τελευταίο μεμονωμένο έγκλεισμα μίας ομάδας εγκλεισμάτων ή την τελευταία έδρα μίας ρωγμής, καθώς και το ολικό μέγεθος του σφάλματος ή της επιφάνειας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για την αποτύπωση του σχήματος ενός σφάλματος καθώς και για την παρακολούθηση καταστάσεως, όπου απαιτείται κρίσιμος προσδιορισμός μεγέθους, με απεικόνιση κάθε μεμονωμένου σήματος μίας ομάδας ατελειών στην θέση της μεγιστοποίησής τους.



Σχήμα 5.21: Τεχνική Μέγιστου Εύρους

5.7 Τεχνική έκθεση

Η τεχνική έκθεση πρέπει να δίνει λεπτομέρειες, των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του στοιχείου, την περιοχή δοκιμής, την κατάσταση της επιφανείας, τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε, τις ρυθμίσεις ευαισθησίας και σκαρίφημα που να δείχνει τα σφάλματα και λεπτομέρειες όπως: είδος σφάλματος, μέγεθος, κατακόρυφη και οριζόντια απόσταση από καθορισμένα σημεία αναφοράς, κ.τ.λ.. Η τεχνική έκθεση πρέπει να έχει υπογραφή του επιθεωρητή, ημερομηνία επιθεώρησης καθώς και βεβαίωση προσόντων επιθεωρητή. Εναλλακτικά, όσον αφορά την παραδοχή ή την απόρριψη του εξεταζόμενου υλικού, αντί για σκαρίφημα μπορεί να ζητηθεί να δοθεί έγγραφη βεβαίωση συμμόρφωσης για το σχετικό επίπεδο παραδοχής σύμφωνα με τα εθνικά πρότυπα ή την διαδικασία που έχει εφαρμοστεί.

5.8 Πρότυπα και Προδιαγραφές

Στους μη καταστροφικούς ελέγχους με υπέρηχους, υπάρχει ανάγκη για πρότυπα αναφοράς. Τα πρότυπα αναφοράς χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ένα επίπεδο συνέπειας στις μετρήσεις και μας βοηθούν να ερμηνεύσουμε και να ποσοτικοποιήσουμε τις πληροφορίες που περιέχονται στο λαμβανόμενο σήμα. Στην ουσία, τα πρότυπα αναφοράς μπορούν να βοηθήσουν τον επιθεωρητή να εκτιμήσει το μέγεθος και τη θέση των ατελειών. Με τη σύγκριση του σήματος που λαμβάνεται από το δοκίμιο αναφοράς προς εκείνο που λαμβάνεται από το πραγματικό ελάττωμα, ο επιθεωρητής μπορεί να εκτιμήσει το μέγεθος του ελαττώματος. Επίσης, ο επιθεωρητής βάση των προτύπων, μπορεί να βαθμονομήσει και να ελέγξει τον εξοπλισμό υπερήχων για τυχόν απόκλιση στην απόδοση του.

Γενικότερα, τα πρότυπα είναι τεκμηριωμένες συμφωνίες ευρέως αποδεκτές που περιέχουν τεχνικές προδιαγραφές ή άλλα ακριβή κριτήρια που πρέπει να χρησιμοποιούνται με συνέπεια ως κανόνες, ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα υλικά, ο εξοπλισμός, οι διαδικασίες επιθεώρησης και τα

Κεφάλαιο 5 – Μέθοδοι και τεχνικές επιθεώρησης με υπερήχους

αποτελέσματα είναι έγκυρα. Τέτοια πρότυπα εκδίδουν είτε παγκόσμιοι, είτε εθνικοί οργανισμοί όπως :

- ASTM (American Society for Testing and Material)
- BS (British Standards)
- AWS (American Welding Society)
- DIN (German institute for standardization)
- ISO (International Organization for Standardization), κλπ

Για την εύκολη πρόσβαση και εύρεση προτύπων, στο «Παράρτημα Β», παρατίθενται οι βασικότεροι οργανισμοί προτύπων και οι ηλεκτρονικές διευθύνσεις τους.

6 Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων.

6.1 Γενικά

Στο έκτο κεφάλαιο, θα εφαρμοστεί όλη η γνώση που δόθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια όσον αφορά τον Μ.Κ.Ε. με τη μέθοδο των υπερήχων. Πιο συγκεκριμένα, για να επετεύχθη αυτό, εκτός από τη γνώση και την τεχνική, χρειάζεται ο κατάλληλος εξοπλισμός και τα κατάλληλα δοκίμια εξέτασης.

Ο έλεγχος που θα διεξαχθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία, αφορά την εύρεση και αξιολόγηση ασυνεχειών σε συγκολλήσεις. Οι συγκολλήσεις γενικότερα είναι ένας τεράστιος κλάδος της μεταλλουργίας και είναι η διαδικασία ενώσεως δύο ή περισσότερων κομματιών ενός υλικού και επιτυγχάνεται φέρνοντας τα άτομα του κάθε κομματιού τόσο κοντά με τα άτομα του άλλου ώστε να γίνει ατομικός δεσμός, δηλαδή τα ξεχωριστά κομμάτια να σχηματίσουν ένα.

Όπως γίνεται κατανοητό, είναι αδύνατο να αναλυθεί λεπτομερώς ο κλάδος των συγκολλήσεων σε αυτή τη διπλωματική, για το λόγο αυτό στην «ενότητα 6.2», θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των συγκολλήσεων και των σφαλμάτων που ενδέχεται να εμφανιστούν σε αυτές.

Επίσης, στην «ενότητα 6.3» θα περιγραφούν κάποιες βασικές λειτουργίες και οδηγίες χρήσεις της συσκευής υπερήχων, έτσι ώστε να γίνει κατανοητή στον αναγνώστη η πορεία του ΜΚΕ που θα διεξαχθεί.

6.2 Συγκολλήσεις

Μέθοδοι και Τεχνικές συγκολλήσεων

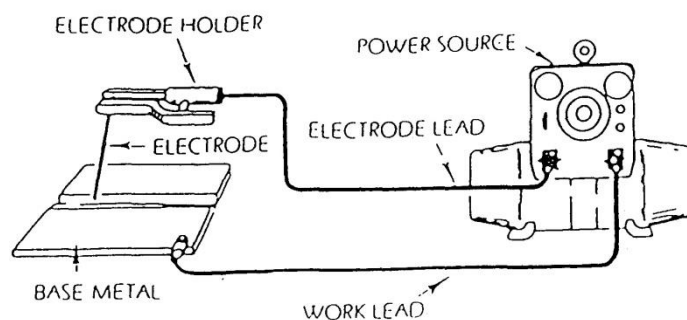
Στις περισσότερες περιπτώσεις συγκόλλησης μεταλλικών υλικών, η μέθοδος συγκολλήσεως είναι μέθοδος τήξεως, όπου οι διεπιφάνειες τήκονται και συνδέονται. Μια πρώτη κατηγοριοποίηση των συγκολλήσεων, είναι οι *αυτογενείς* και *ετερογενείς* συγκολλήσεις. Στις αυτογενείς συγκολλήσεις απαιτείται τοπικό λιώσιμο των προς συγκόλληση τεμαχίων και τοποθέτηση ίδιου συγκολλητικού μέσου (κόλληση) με τα προς συγκόλληση τεμάχια. Ενώ στις ετερογενείς δεν απαιτείται τοπική τήξη των τεμαχίων (μαλακά υλικά συνήθως), παρά μόνο θέρμανση και εναπόθεση λιωμένου

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

συγκολλητικού υλικού διαφορετικών ιδιοτήτων από τα αρχικά τεμάχια (π.χ. κασσίτερος ή μόλυβδος), με αυτές τις συγκολλήσεις δεν θα ασχοληθούμε περαιτέρω.

Οι αυτογενείς διακρίνονται στις *συγκολλήσεις τόξου* (arc welding) και *άνευ τόξου* (non arc welding). Η συγκόλληση άνευ τόξου είναι απλή στη λογική της, η διαδικασία στηρίζεται στην δημιουργία φλόγας (οξυγόνο – καύσιμο αέριο), τέτοιας θερμοκρασίας ώστε να λιώνουν τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν.

Έμφαση όμως, θα δοθεί στις συγκολλήσεις τόξου, μιας και τα δοκίμια που θα εξετάσουμε ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Η συγκόλληση τόξου βασίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου ανάμεσα στο κομμάτι, που θέλουμε να κολληθεί και σε ένα ηλεκτρόδιο. Η θερμότητα του τόξου τήκει τις διεπιφάνειες και το ηλεκτρόδιο ή κάποιο άλλο υλικό συγκόλλησης γεμίζει τη σύνδεση. Για να γίνει αυτό, το ηλεκτρόδιο και το κομμάτι συνδέονται με τους ακροδέκτες της ηλεκτρικής πηγής. Όλα αυτά αναπαριστώνται αναλυτικά στο «σχήμα 6.1».



Σχήμα 6.1: Διάταξη συγκόλλησης τόξου

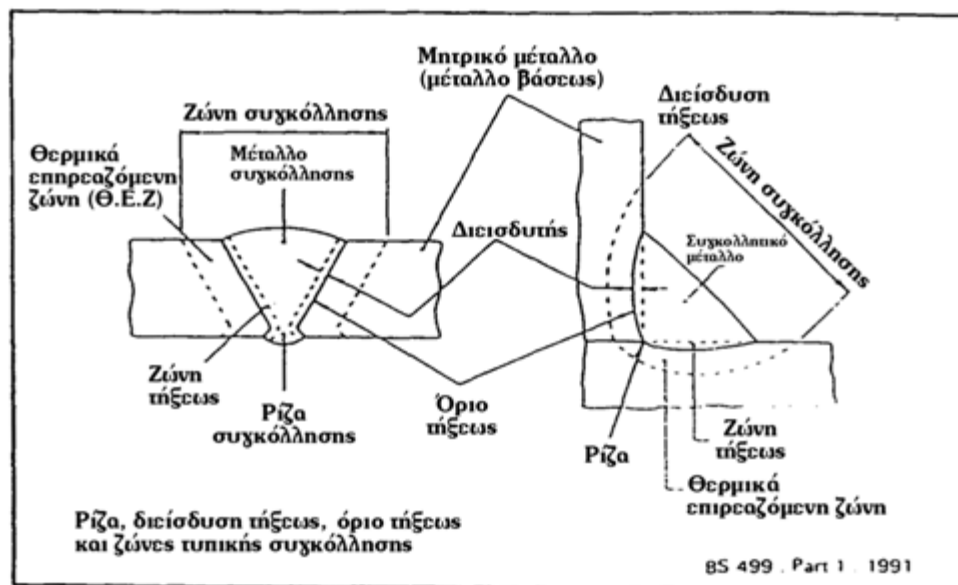
Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας αναφορικά είναι:

- Χειρωνακτική συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου (Manual Metal Arc – MMA)
- Μέθοδος τόξου Βολφραμίου-αδρανούς αερίου (Tungsten Inert Gas – TIG), (δύστηκτο ηλεκτρόδιο)
- Μέθοδος τόξου μετάλλου-αδρανούς αερίου (Metal Inert Gas – MIG) και μετάλλου-ενεργού αερίου (Metal Active Gas – MAG), (καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο)
- Βυθιζόμενου τόξου (Submerged Arc – SAW)
- Ηλεκτροσκωριακή συγκόλληση (Electro slag – ESW)

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Όροι περιοχής συγκόλλησης

Η περιοχή της συγκόλλησης είναι ένα σημείο με πολλές ιδιαιτερότητες. Για το λόγο αυτό, κάθε επιθεωρητής συγκολλήσεων ή συγκολλητής, οφείλει να έχει ένα κοινό κώδικά επικοινωνίας έτσι ώστε να μην συμβαίνουν παρανοήσεις, στο «σχήμα 6.2» σύμφωνα με το πρότυπο: BS 499, Part 1, δίνονται οι όροι στην περιοχή συγκόλλησης (μετωπικής και αυχενικής).



Σχήμα 6.2: Ορολογία περιοχής συγκόλλησης











Είδη συγκολλήσεων και συμβολισμοί

Κάθε συγκόλληση χαρακτηρίζεται με ένα σύμβολο, το οποίο γενικά, είναι αντιπροσωπευτικό της θέσης των επιφανειών προς συγκόλληση και του σχήματος των ακμών που θα συγκολληθούν, π.χ. μετωπική συγκόλληση μονού V. Ωστόσο οι βασικοί συμβολισμοί δεν δίνουν πληροφορίες για την μέθοδο συγκόλλησης που θα χρησιμοποιηθεί.



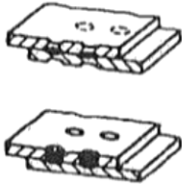

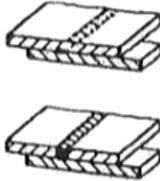









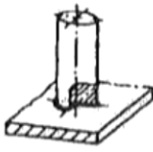






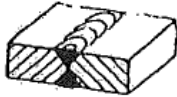



Στον «πίνακα 6.1» γίνεται αναλυτική περιγραφή των συγκολλήσεων και των συμβόλων τους. Ο πίνακας προκύπτει από το εξής πρότυπο: ISO 2553, «Ενώσεις συγκολλήσεων σκληρών και μαλακών κολλήσεων – Συμβολική απεικόνιση και σχέδια» (1992).

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Πίνακας 6.1: Είδη συγκολλήσεων, σχηματική αναπαράστασή και συμβολισμός της καθεμίας

No.	Είδος συγκόλλησης	Σχήμα	Σύμβολο
1	Μετωπική συγκόλληση με στρατζαρισμένες ακμές		∩
2	Μετωπική συγκόλληση κάθετης λάξευσης		
3	Μετωπική συγκόλληση λάξευσης μονού V		∇
4	Μετωπική συγκόλληση μονής λάξευσης		∟
5	Μετωπική συγκόλληση λάξευσης μονού V με ανοικτό πρόσωπο ρίζας		Y
6	Μετωπική συγκόλληση μονής λάξευσης με ανοικτό πρόσωπο ρίζας		└
7	Μετωπική συγκόλληση λάξευσης μονού U		Y
8	Μετωπική συγκόλληση λάξευσης μονού J		└
9	Συγκόλληση με υποστήριξη ρίζας		D
10	Αυχενική συγκόλληση T		△

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

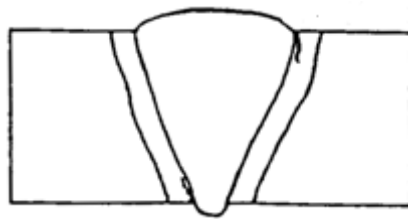
11	Συγκόλληση λουμπάρι		
12	Συγκόλληση σημειακή		
13	Συγκόλληση ραφής		
14	Μετωπική συγκόλληση απότομης λοξοτομής μονού V		
15	Μετωπική συγκόλληση απότομης μονής λοξοτομής		
16	Συγκόλληση άκρης		
17	Συγκόλληση επιμετάλλωσης		
18	Επιφανειακός σύνδεσμος		
			
19	Κεκλιμένος σύνδεσμος		
20	Σύνδεσμος αναδίπλωσης		
Designation		Illustration	Symbol
Μετωπική συγκόλληση διπλού V (συγκόλληση X)			
Μετωπική συγκόλληση διπλού V με πλατύ πρόσωπο ρίζας			

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

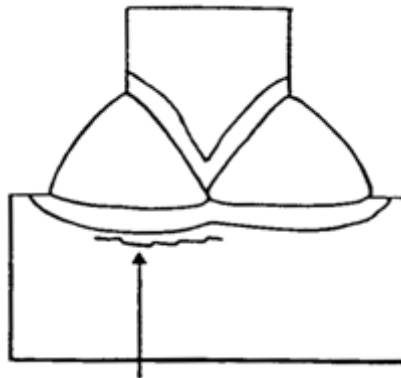
Σφάλματα συγκολλήσεων

➤ **Ρωγμές**

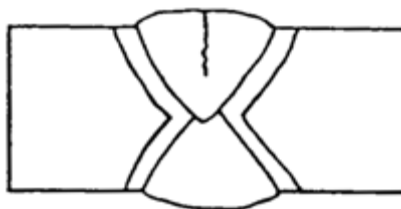
Λόγω του πλήθους των ειδών και αιτιών των ρωγμών, ο επιθεωρητής συγκολλήσεων συνήθως πρέπει να χρησιμοποιεί ορολογία αναφερόμενη μόνο στη θέση της ρωγμής. Για παράδειγμα οι ρωγμές οι οποίες διατρέχουν παράλληλα τον άξονα της συγκόλλησης. Μπορούν να βρεθούν σε διάφορες θέσεις, όπως στο υλικό συγκόλλησης, στη ζώνη μερικής τήξης (ZMT), στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (ΘΕΖ), στο μητρικό μέταλλο. Στα «σχήματα 6.3, 6.4, 6.5» βλέπουμε κάποιες πιθανές περιπτώσεις ρωγμών.



Σχήμα 6.3: Κάτω αριστερά ρωγμή ρίζας / πάνω δεξιά ρωγμή στον πόδα διαμήκης αξονική στη ΘΕΖ



Σχήμα 6.4: Ρωγμή φυλλοειδής διαμήκης αξονική στη ΘΕΖ, συγκόλληση μορφής (T)

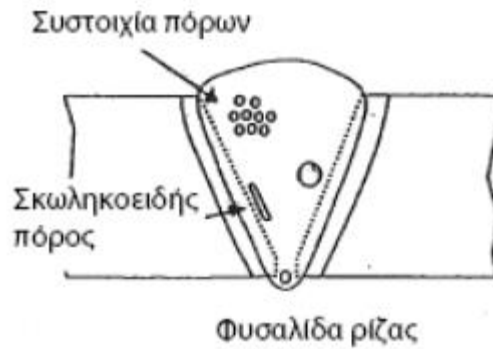


Σχήμα 6.5: Ρωγμή κεντρικού άξονα, συγκόλληση μορφής (X)

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

➤ Πορώδες

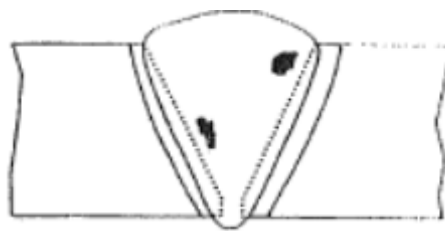
Το πορώδες (porosity) μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορες μορφές όπως φαίνεται και στο «σχήμα 6.6». Η δημιουργία του πορώδους οφείλεται στον εγκλωβισμό αερίων κατά τη στερεοποίηση του συγκολλητικού μέσου. Οι αέριοι πόροι είναι κενά, συνήθως μικρότερης διαμέτρου του 1.5 mm.



Σχήμα 6.6: Περιπτώσεις πορώδους

➤ Μη μεταλλικά εγκλείσματα

Τα μη μεταλλικά εγκλείσματα ή εγκλείσματα σκωρίας (slag inclusions), προκύπτουν επειδή είναι δύσκολο να διασφαλιστεί ότι απομακρύνονται όλες οι αποτιθέμενες σκωρίες από την επιφάνεια της συγκόλλησης. Έτσι κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, αυτά εγκλωβίζονται στο εσωτερικό του μέσου συγκόλλησης και μπορούν να βρεθούν σε οποιοδήποτε σημείο μέσα σε αυτό, όπως στο «σχήμα 6.7».

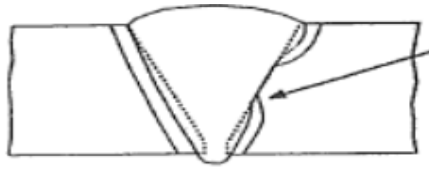


Σχήμα 6.7: Μη μεταλλικά εγκλείσματα

➤ Ατελής τήξη

Η ατελής τήξη (lack of fusion), συμβαίνει όταν το τόξο δεν διεισδύει επαρκώς ώστε να λιώσει το άκρο ή το προηγούμενο κορδόνι (πάσο). Στο «σχήμα 6.8» βλέπουμε περίπτωση ατελής τήξης μεταξύ μητρικού μετάλλου και μετάλλου συγκόλλησης.

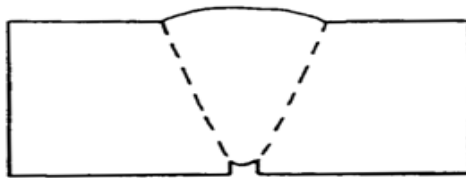
Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



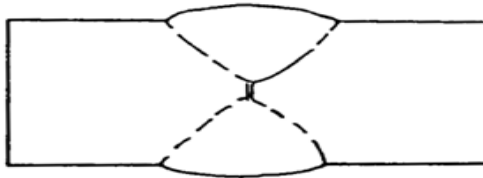
Σχήμα 6.8: Ατελής τήξη στα τοιχώματα

➤ *Ελλιπής διείσδυση ρίζας*

Η ελλιπής διείσδυση ρίζας (incomplete root penetration), ορίζεται ως η αποτυχία της εισχώρησης του υλικού συγκόλλησης στη ρίζα της σύνδεσης. Στα «σχήματα 6.9 & 6.10» βλέπουμε το φαινόμενο της ελλιπής διείσδυσης ρίζας σε δύο διαφορετικούς τύπους συγκολλήσεων.



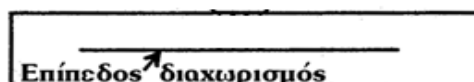
Σχήμα 6.9: Ελλιπής διείσδυση ρίζας, συγκόλληση μορφής (V)



Σχήμα 6.10: Ελλιπής εσωτερική διείσδυση ρίζας, συγκόλληση μορφής (X)

➤ *Επίπεδοι διαχωρισμοί ελασματοποίησης*

Ο ενδιάμεσος διαχωρισμός λόγω ελασματοποίησης (laminations) είναι ελάττωμα μεγαλύτερο από την δέσμη υπερήχων και εκτείνεται παράλληλα προς την επιφάνεια του ελάσματος, συνήθως στο μέσον του πάχους. Μπορεί να εμφανιστεί στο μητρικό έλασμα ή στην Θ.Ε.Ζ. χαλύβων με ανεπαρκή ολκιμότητα, όταν η γραμμή τήξεως της συγκόλλησης είναι παράλληλη με την επιφάνεια του ελάσματος και η κατεύθυνση του είναι πάντα παράλληλη προς την διεύθυνση έλασης του μητρικού υλικού.



Σχήμα 6.11: Επίπεδος διαχωρισμός ελασματοποίησης

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

6.3 Υπερηχητικός ανιχνευτής σφαλμάτων (Epoch 1000i)

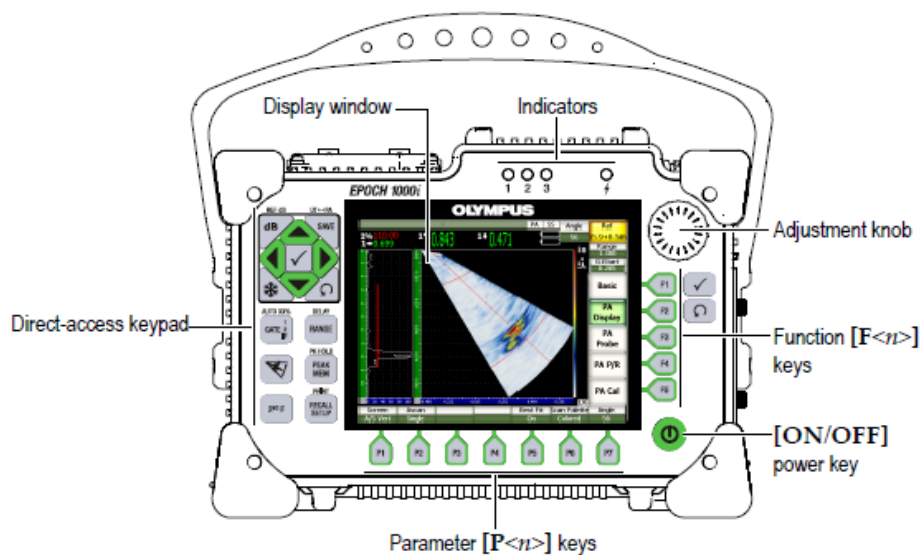
Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια γενική περιγραφή του μηχανήματος και των βασικών λειτουργιών του, περαιτέρω πληροφορίες για τη χρήση της συσκευής Epoch 1000i μπορούν να βρεθούν στο εγχειρίδιο χρήσης της, το οποίο αναφέρετε στη βιβλιογραφία και στο «παράρτημα Δ» όπου υπάρχουν λεπτομερείς πίνακες με τα χαρακτηριστικά της συσκευής.

Γενικά

Το μηχάνημα Epoch 1000i είναι μια φορητή συσκευή υπερήχων νέας γενιάς που κύρια της εφαρμογή είναι η ανίχνευση ελαττωμάτων σε συγκολλήσεις, σε σωληνώσεις και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Το Epoch 1000i μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ελέγχους τύπου A-Scan όσο και για ελέγχους τύπου phased array. Όσον αφορά, το επίπεδο απόδοσης της συσκευής, προσφέρει το υψηλότερο δυνατό σε ελέγχους τύπου A-Scan και ικανοποιητικό σε ελέγχους phased array. Οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά της συσκευής είναι πλήρως συμμορφωμένες με το πρότυπο EN 12668-1. Το όργανο διαθέτει έγχρωμη οθόνη LCD με πλήρη VGA ανάλυση (640 X 480 pixels).

Πρόσωση Epoch 1000i και πλήκτρα συντόμευσης

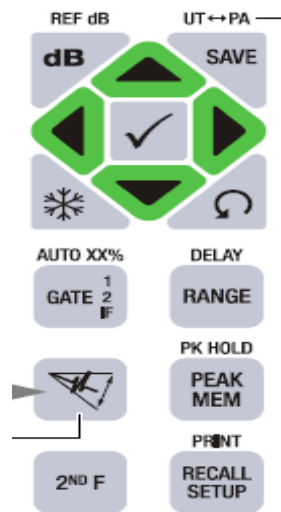
Στο «σχήμα 6.12» φαίνεται η πρόσωση του Epoch 1000i. Όπως παρατηρούμε, η πρόσωση εκτός από την οθόνη έχει μια σειρά από πλήκτρα τα οποία μας επιτρέπουν την εύκολη πλοήγηση και ρύθμιση παραμέτρων κατά τη διάρκεια του ελέγχου.



Σχήμα 6.12: Πρόσωση Epoch 1000i

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Πιο συγκεκριμένα στο «σχήμα 6.13» βλέπουμε τα πλήκτρα συντόμευσης και τα βελάκια πλοήγησης της συσκευής. Τα πλήκτρα αυτά είναι απαραίτητα και λύνουν τα χέρια του επιθεωρητή κατά τη διάρκεια του ελέγχου. Πάνω από κάποια πλήκτρα αναγράφονται και κάποιες επιπλέον λειτουργίες της συσκευής, αυτές για να ενεργοποιηθούν πρέπει να πατηθεί πρώτα το πλήκτρο 2nd F. Θα γίνει επιλεκτικά αναφορά στο **PEAK MEM**, γιατί είναι ένα σημαντικό εργαλείο του Epoch 1000i που χρησιμεύει στην εύρεση των υψηλότερων σημάτων που προέρχονται από έναν ανακλαστήρα κατά τη διάρκεια ενός ελέγχου. Περιληπτικά, καθώς μετακινούμε την κεφαλή η λειτουργία αυτή σκιάζει την οθόνη με τα υψηλότερα σήματα και δημιουργεί ένα φάκελο-εικόνα σημάτων.



Σχήμα 6.13: Πλήκτρα συντόμευσης Epoch 1000i

Στοιχεία που απεικονίζονται στην οθόνη του Epoch 1000i

Τα στοιχεία της κεντρικής οθόνης της συσκευής παρουσιάζονται λεπτομερώς στο «σχήμα 6.14».

Σε πρώτο πλάνο έχουμε τη 'live scan area', στην οποία απεικονίζεται ανάλογα με την επιλογή μας η σάρωση A-scan ή σάρωση phased array.

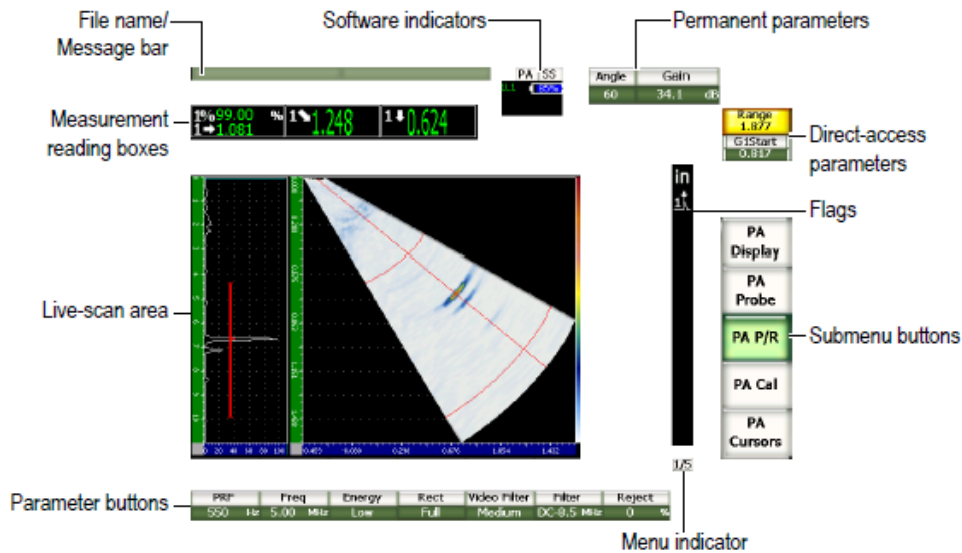
Στην δεξιά κάθετη περιοχή 'Flags area', εμφανίζονται κάποια σύμβολα (Flags) ανάλογα με την λειτουργία που είναι ενεργοποιημένη εκείνη την στιγμή (π.χ. Peak ή Edge mode).

Επίσης απεικονίζεται, το μενού (menu) στο οποίο βρισκόμαστε (π.χ. 1/5), το επιλεγμένο υπομενού (submenu) σε πράσινο χρώμα και οι παράμετροι (parameters) που ορίζουμε κάθε φορά ανάλογα την περίπτωση.

Στην πάνω αριστερά γωνία κάτω από το όνομα του αρχείου, αναγράφονται οι μετρήσεις που λαμβάνει η συσκευή κατά τη διεξαγωγή του ελέγχου. Δίπλα σε κάθε μέτρηση υπάρχει και ένα

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

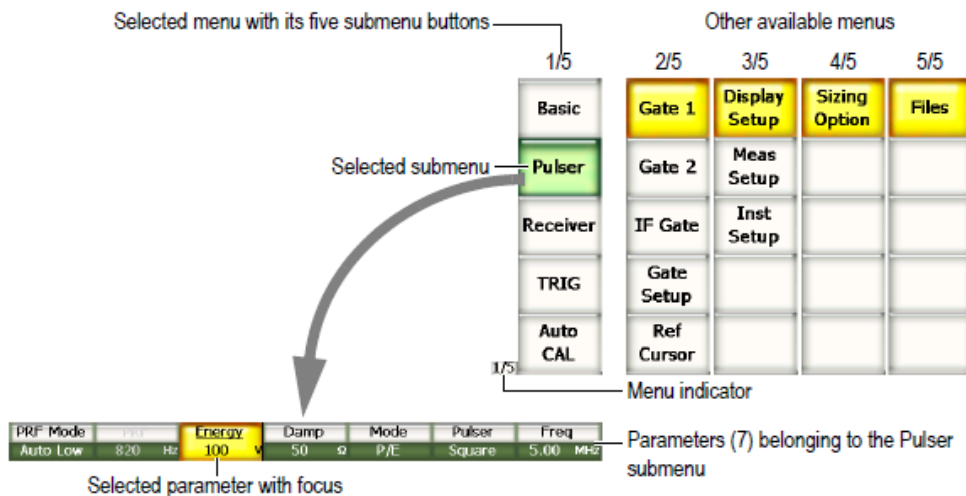
σύμβολο που την αντιπροσωπεύει, στον «πίνακα 6.2» περιγράφεται αναλυτικά κάθε μέτρηση και το αντίστοιχο σύμβολο.



Σχήμα 6.14: Στοιχεία κεντρικής οθόνης Epoch 1000i

Δομή μενού συσκευής Epoch 1000i

Η συσκευή υπερήχων Epoch 1000i χρησιμοποιεί ένα εύχρηστο σύστημα από μενού για την εύκολη διαχείριση των λειτουργιών της συσκευής. Το σύστημα αυτό διακρίνεται, σε 5 μενού, σε υπομενού και σε παραμέτρους, όπως φαίνεται και στο «σχήμα 6.15».



Σχήμα 6.15: Απεικόνιση συστήματος Μενού (Λειτουργία UT)

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Πληρέστερη ανάλυση για τη δομή και για το τι περιέχει το κάθε μενού και υπομενού δίνεται στον «πίνακα 6.2».

Στην πορεία της διπλωματικής όταν θα θέλουμε να αναφερθούμε σε μία τιμή, παράμετρο κλπ, θα χρησιμοποιούμε την εξής ακολουθία/έκφραση: **Μενού > Υπομενού > Παράμετρος = Τιμή**. Για παράδειγμα, στο «σχήμα 6.14» ισχύει: **1/5 > Pulser > Energy = 100**

Πίνακας 6.2: Δομή των μενού, υπομενού και παραμέτρων (Λειτουργία UT/A-scan)

Menu	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5
Submenu buttons	Basic	Gate 1	Display Setup	Sizing Option	Files
	Pulser	Gate 2	Meas Setup		
	Receiver	IF Gate	Inst Setup		
	TRIG	Gate Setup			
	Auto CAL	Ref Cursor			

Submenu	Parameters						
Basic	Velocity	Zero	Range	Delay			
Pulser	PRF Mode	PRD	Energy	Damp	Mode	Pulser	Freq
Receiver	Filter Group	Filter	Rect				Reject
TRIG	Angle	Thick	X Value	CSC	Diameter		
Auto Cal	CAL Mode	CAL Velocity	CAL Zero	Velocity	Zero		

Submenu	Parameters						
Gate 1	Zoom	Start	Width	Level	Alarm	Min Depth	Status
Gate 2	Zoom	Start	Width	Level	Alarm	Min Depth	Status
IF Gate	Zoom	Start	Width	Level	Alarm	Min Depth	Status
Gate Setup	Setup	G1 Tracks	G2 Tracks				
Ref Cursor	Cursor A	Cursor A	Cursor B	Cursor B			

Submenu	Parameters						
Display Setup	Color Setup	A-Scan Setup	VGA				
Meas Setup	Reading Setup	Unit	TH Res	% Res	Trigger	A-Out	
Inst Setup	General	Owner Info	Status				

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Submenu	Parameters						
Sizing Option	DAC/TVG	DCS	AWS D1.1				
Submenu	Parameters						
Files	Open	Create	Reset	Page Setup	First ID	Last ID	Id:

Αυτόματες μετρήσεις του Epoch 1000i

Όσον αφορά τις αυτόματες μετρήσεις (readings), στο **3/5 > Meas Setup > Reading Setup** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ **Manual** και **Auto**. Στην επιλογή **Manual** δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει αυτός τις μετρήσεις (Readings) που επιθυμεί να βλέπει στην οθόνη κατά τη διάρκεια ενός ελέγχου, ενώ στην επιλογή **Auto** η συσκευή επιλέγει τις μετρήσεις (readings) σύμφωνα με την ενεργοποιημένη λειτουργία της.

Στον «πίνακα 6.3» δίνεται ένας μικρός αριθμός από τα συνολικά readings που είναι διαθέσιμα στο λογισμικό της συσκευής. Τα συγκεκριμένα readings επιλέχτηκαν, γιατί θα χρησιμοποιηθούν κατά τον έλεγχο των συγκολλήσεων.

Πίνακας 6.3: Διαθέσιμα είδη μέτρησης και τα αντίστοιχα σύμβολα

Icon	Measurement readings	Description
	Gate 1 Thickness	Thickness in gate 1. Not used with Angle.
	Gate 1 Sound Path Distance	Sound path (Angular) distance in gate 1.
	Gate 1 Surface Distance	Horizontal distance to reflector in gate 1. Used with Angle.
	Gate 1 Surface Distance – X Value	Horizontal distance minus X-Value (distance from beam index point to front of wedge) in gate 1. Used with Angle.
	Gate 1 Minimum Depth	Minimum depth in gate 2. Resets on gate adjustment and on most pulser/receiver adjustments.
	Gate 1 Current Amplitude	Amplitude measurement in gate 1. Displays as % of full-screen height (FSH).
	AWS D1.1/D1.5 Weld Rating (D)	D rating calculated for the gated echo.
	Gate 1 Depth to Reflector	Depth to reflector in gate 1. Used with Angle.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Διαχείριση αρχείων στη συσκευή Epoch 1000i

Μία βασική και πολύ χρήσιμη λειτουργία της συσκευής Epoch 1000i είναι η ικανότητα δημιουργίας, αποθήκευσης, ανάκλησης και εξαγωγής αρχείων (παράμετροι, μετρήσεις, στιγμιότυπα σήματος, αναφορές, στιγμιαίες εικόνες οθόνης συσκευής).

Δημιουργία αρχείων γίνεται στη συσκευή Epoch 1000i ή στο GageView Pro, μπορεί να είναι δύο τύπων, είτε αρχεία βαθμονόμησης (calibration files) είτε επαυξητικά αρχεία (Incremental files). Τα αρχεία βαθμονόμησης αποθηκεύουν ρυθμίσεις που έχουν γίνει στη συσκευή π.χ. ρυθμίσεις σε μια βαθμονόμηση. Τα επαυξητικά αρχεία μπορούν να αποθηκεύσουν μια σειρά από υπό-αρχεία με διαφορετικά ID. Τα υπό-αρχεία αυτά έχουν πληροφορίες όπως μετρήσεις (readings), στιγμιότυπα σήματος/κυματομορφής, ρυθμίσεων συσκευής που επικρατούν την ώρα της αποθήκευσης. Σε αυτά τα αρχεία αποθηκεύουμε τις μετρήσεις των υπερηχητικών ελέγχων.

Ανάκληση αρχείων μπορεί να γίνει και στους δύο τύπους αρχείων, βέβαια τα αρχεία βαθμονόμησης μπορούν να ανακληθούν τάχιστα με το πλήκτρο **RECALL SETUP**. Όσο για τα επαυξητικά αρχεία ανακαλούνται πηγαίνοντας στο **5/5 > Files > Open** και επιλέγουμε το αρχείο που επιθυμούμε.

Εξαγωγή αρχείων επιτυγχάνεται με τρεις τρόπους: μέσω USB, μέσω εκτυπωτή και μέσω υπολογιστή (GageView Pro v5.2). Μέσω USB τα αρχεία αποθηκεύονται και εξάγονται σαν στιγμιαίες εικόνες της οθόνης της συσκευής. Μέσω εκτυπωτή τα αρχεία εξάγονται σαν έντυπες αναφορές (reports) και περιέχουν δεδομένα και μετρήσεις της συσκευής και του υπερηχητικού ελέγχου αντίστοιχα. Τελευταία και σημαντικότερη είναι η εξαγωγή αρχείων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός προγράμματος που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ της συσκευής Epoch 1000i και του Η/Υ. Το πρόγραμμα αυτό, επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ τους είτε στη μεταφορά αρχείων είτε στη ρύθμιση παραμέτρων/τιμών σε πραγματικό χρόνο. Το *GageView Pro v5.2* παρέχει στο χρήστη μια σειρά από δυνατότητες όπως, εξαγωγή μετρήσεων και δεδομένων σε αρχεία τύπου Excel και PDF, εξαγωγή στιγμιότυπων σήματος, δημιουργία αναφορών, συλλογή στιγμιαίων εικόνων από την οθόνη της συσκευής κλπ. Περισσότερες πληροφορίες παρατίθενται στο εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

6.4 Έλεγχος συγκολλήσεων

6.4.1 Περιγραφή εξοπλισμού

Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπερηχητικό έλεγχο των συγκολλήσεων είναι ο εξής:

- Ψηφιακός υπερηχητικός ανιχνευτής σφαλμάτων της **εταιρείας**: 'Olympus', **μοντέλο**: 'EPOCH 1000i'.
- Οι κεφαλές υπερήχων είναι της **εταιρείας**: 'Olympus', **σειρά**: 'Atlas European Standard Transducers'. Θα χρησιμοποιηθούν τρεις γωνιακές κεφαλές μονού κρυστάλλου (45°, 60°, 70°) και μία κάθετη διπλού κρυστάλλου (δίδυμη). Οι διαστάσεις του πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, για τις γωνιακές είναι (τετραγωνικός 8x9 mm) και για την κάθετη (κυκλικός διαμέτρου 16 mm. Επίσης όλες έχουν την ίδια συχνότητα 5 MHz. Στο «παράρτημα Ε» υπάρχουν λεπτομερείς πίνακες με τα χαρακτηριστικά της κάθε κεφαλής καθώς και τα αντίστοιχα DGS-διαγράμματα τους.
- Τα δοκίμια βαθμονόμησης είναι της **εταιρείας**: 'Olympus', **τύπου**: 'V1 & V2', **υλικό**: 'ανθρακούχος χάλυβας 1018' (carbon steel) και τις **εταιρείας**: 'SIUI', **τύπου**: 'κλιμακωτή πλάκα βαθμονόμησης 7 επιπέδων', **υλικό**: ανθρακούχος χάλυβας.
- Υλικό σύζευξης εγκεκριμένο για υπερηχητικούς ΜΚΕ, της **εταιρείας**: 'Karl Deutsch' **τύπου**: 'Echotrace'.

6.4.2 Δοκίμια εξέτασης – Επιφάνειες ελέγχου

Τα δοκίμια εξέτασης είναι της **εταιρείας**: 'Sonaspection', **σειρά**: 'NDE educational kit UT'. Τα δοκίμια είναι λεπτές πλάκες συγκόλλησης, **διαστάσεων**: 144x74 mm, **πάχους**: 10 mm, **υλικού**: ανθρακούχου χάλυβα. Η διαδικασία συγκόλλησης που εφαρμόστηκε μεταξύ των μεταλλικών πλακών είναι συνδυασμός δύο μεθόδων: Το επίπεδο της ρίζας συγκολλήθηκε με τη μέθοδο τόξου Βολφραμίου-αδρανούς αερίου (TIG), ενώ το γέμισμα του σώματος (κενού) έγινε με τη μέθοδο χειρωνακτικής συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου (MMA). Τα είδη συγκολλήσεων που θα εξεταστούν είναι σύμφωνα με «πίνακα 6.1»: α) μετωπική συγκόλληση μονού V, β) μετωπική συγκόλληση διπλού V δηλαδή Χ.

6.4.3 Βήματα πριν τον έλεγχο συγκολλήσεων

1^ο Βήμα

Εφαρμόζεται έλεγχος του εξοπλισμού, σύμφωνα με την «ενότητα 5.1» και με το πρότυπο «AWS D1.1/sections 6.22-6.26».

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Μετά τη διεκπεραίωση του ελέγχου δεν παρατηρήθηκε κάτι το μεμπτό στην λειτουργία του εξοπλισμού, η απόδοση του εξοπλισμού είναι στο 100% των προδιαγραφών του.

2^ο Βήμα

Βαθμονόμηση συσκευής Epoch 1000i και κεφαλών. Πριν ξεκινήσει η βαθμονόμηση της συσκευής, είτε για γωνιακή είτε για κάθετη κεφαλή, πρέπει πρώτα να οριστούν κάποιες παράμετροι στη συσκευή Epoch 1000i.

Ορισμός παραμέτρων πριν τη βαθμονόμηση:

- Ρυθμίζεται η παράμετρος: **Gain** έστω στα 40 dB. Αυτή η τιμή είναι σχεδόν αυθαίρετη και δεν παίζει κανέναν ρόλο στην αρχή, αργότερα θα ορισθεί σαν συγκεκριμένη τιμή.

Στο υπομενού 1/5 > Basic ρυθμίζονται τα εξής:

- Στην παράμετρο: **Velocity**, επιλογή κατάλληλης ταχύτητας. Η επιλογή γίνεται σύμφωνα με το υλικό βαθμονόμησης και ανάλογα τον τύπο κύματος διαφορετική ταχύτητα για διαμήκη και διαφορετική για εγκάρσια κύματα «πίνακας 2.1».

Ορίστηκε η τιμή: Υλικό steel 1018, για γωνιακή κεφαλή = 3251 (m/s) και για κάθετη κεφαλή 5918 (m/s)

- Στην παράμετρο: **Zero** δίνεται η τιμή 0 μs. Το Zero αναπαριστά το νεκρό χρόνο που βρίσκεται η δέσμη μέσα στην κεφαλή (zero offset / probe delay). Αυτή η τιμή θα υπολογιστεί αυτόματα από το μηχάνημα μας Epoch 1000i κατά τη βαθμονόμηση της χρονικής βάσης. Παλαιότερα αυτός ο μηχανισμός ήταν χειροκίνητος αλλά πλέον είναι αυτόματος (auto-calibration).
- Στην παράμετρο: **Range** επιλογή κατάλληλης τιμής. Η τιμή που θα επιλεχτεί πρέπει να υπερκαλύπτει όλες τις αποστάσεις που μπορεί να εμφανιστεί ηχώ ανάκλασης μέσα στο δοκίμιο δηλαδή όλες οι διαδρομές που διανύει ο ήχος μέσα στο δοκίμιο να απεικονίζονται μέσα στο εύρος της οθόνης.

Ορίστηκε η τιμή: Για τη γωνιακή κεφαλή στο δοκίμιο βαθμονόμησης V1 250 mm και για τη κάθετη κεφαλή στη κλιμακωτή πλάκα βαθμονόμησης 36 mm

- Στην παράμετρο: **Delay** δίνεται η τιμή 0 mm. Το Delay αναπαριστά την καθυστέρηση απεικόνισης το (display delay – delay control).

Στο υπομενού 1/5 > Pulser ρυθμίζονται τα εξής:

- Η παράμετρος: **PRF Mode** δηλαδή η *συχνότητα επαναλήψεως παλμού* ρυθμίζεται ανάλογα με το μήκος της διαδρομής που έχει να διανύσει η δέσμη. Όταν υπάρχουν μεγάλες διαδρομές δέσμης για να αποφευχθούν περιπτώσεις συμβολής κυμάτων και άρα εσφαλμένου σήματος

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συχνότητες ενώ σε μικρές διαδρομές δέσμης επιλέγεται **Auto High** για να υπάρχει γρήγορη live απεικόνιση του σήματος καθώς σκανάρεται η επιφάνεια με αποτέλεσμα να μη χάνεται καμία σύντομη/μικρή ατέλεια. Επιλέχτηκε: **Auto High**

- Στην παράμετρο: **Energy** ορίστηκε η τιμή 100 volt. Ορίστηκε σε ένα μέσο επίπεδο γιατί σε περίπτωση που δοθεί μεγάλη τιμή μειώνεται ο χρόνος διάρκειας της μπαταρίας όπως και ο χρόνος ζωής της κεφαλής. Παρόλα αυτά σε περιπτώσεις δύσκολων υλικών (π.χ. χονδρόκοκκα), δίνεται μεγάλη τιμή για να υπάρχει ικανή διείσδυση της δέσμης υπερήχων.
- Στην παράμετρο: **Damp** ορίστηκε η τιμή 50 Ω. Η επιλογή μικρής τιμής γίνεται γιατί όσο μικρότερη είναι η αντίσταση Ω τόσο αυξάνεται η απόσβεση του συστήματος με αποτέλεσμα καλύτερη διακριτική ικανότητα στην επιφάνεια του εξεταζόμενου δοκιμίου. Αντιθέτως, η μεγάλη τιμή Ω μειώνει την απόσβεση του συστήματος με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα της δέσμης.
- Η παράμετρος: **Mode** ρυθμίζεται ανάλογα με τον τύπο της κεφαλής που χρησιμοποιείται. Επιλέχτηκε: Για τις γωνιακές κεφαλές **P/E** (pulse/echo) και για την κάθετη δίδυμη κεφαλή **Dual**.
- Η παράμετρος: **Pulser** έχει δύο επιλογές **Spike** και **Square**. Αυτή η επιλογή αφορά τον τρόπο απεικόνισης της κυματομορφής του σήματος στην οθόνη της συσκευής «ενότητα 4.4». Επιλέχτηκε: **Square**
- Η παράμετρος: **Freq** στην ουσία ορίζει το μήκος παλμού. Αφορά την συχνότητα του κάθε παλμού που εκπέμπεται από την κεφαλή και συνιστάται να δίνεται σαν τιμή η συχνότητα που ορίζει ο κατασκευαστής της κεφαλής. Στο «παράρτημα Ε» υπάρχουν όλα τα στοιχεία κάθε κεφαλής που θα χρησιμοποιηθεί. Επιλέχτηκε τιμή 4 MHz.

Στο υπομενού **1/5 > Receiver** ρυθμίζονται τα εξής:

- Στην παράμετρο: **Filter Group** επιλέχτηκε **Standard**, καθώς είναι η μόνη από τις επιλογές που είναι ορισμένη βάση προτύπου «EN12668-1».
- Στην παράμετρο: **Filter** η τιμή επιλέγεται κάθε φορά ανάλογα, με το υλικό που πρόκειται να ελεγχθεί και με τη συχνότητα της κεφαλής. Επιλέχτηκε 1.5 – 8.5 MHz
- Στην παράμετρο: **Rect** επιλέχτηκε η τιμή **Full**
- Στην παράμετρο: **Reject** επιλέχτηκε 0% γιατί δεν απαιτείται να απορρίπτεται κανένα σήμα κατά τη βαθμονόμηση. Σε περιπτώσεις επιθεώρησης/ελέγχου σύμφωνα με κάποια πρότυπα, απαιτείται συγκεκριμένη τιμή στο **Reject level**.

Στο υπομενού **1/5 > TRIG** ρυθμίζονται τα εξής:

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

- Η παράμετρος: **Angle** ορίζεται σύμφωνα με την κεφαλή που χρησιμοποιείται εκείνη τη στιγμή. Επιλέχτηκε αντίστοιχα: 0°, 45°, 60°, 70°. Βέβαια κατά τον έλεγχο γωνίας εκπομπής δέσμης υπερήχων (γωνιακές κεφαλές μόνο), εάν διαπιστωθεί ότι αυτή η τιμή έχει μεταβληθεί (συνήθως μικρή μεταβολή) λόγω φθοράς του ακρυλικού, τότε επαναπροσδιορίζεται.
- Στην παράμετρο: **Thick** κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης ορίζεται η τιμή 0 mm. Τιμή δίνεται σε περιπτώσεις παραλληλεπίπεδων δοκιμίων που είναι γνωστές οι διαστάσεις τους (π.χ. πλάκα συγκόλλησης με πάχος 10 mm). Με λίγα λόγια, η τιμή Thick δίνει τη δυνατότητα στη συσκευή να υπολογίζει τη διαδρομή-V (V-path) της δέσμης και να αντιλαμβάνεται σε ποιο leg είναι. Αυτό συνεπάγεται σωστός υπολογισμός του βάθους της ασυνέχειας.
- Η παράμετρος: **X Value** ορίζεται για γωνιακές κεφαλές, αφού πρώτα εντοπιστεί το σημείο εκπομπής δέσμης υπερήχων (BIP).
- Η παράμετρος: **CSC** ρυθμίζεται στο **Off**, εκτός και αν το εξεταζόμενο δοκίμιο είναι κυλινδρικής ή σωληνοειδής μορφής.

Στο μενού **2/5** ρυθμίζονται τα εξής:

- Στην παράμετρο: **Gate 1 > Status** επιλέγεται **On**. Η πύλη ενεργοποιήθηκε και τώρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της επιθεώρησης.
- Στο υπομενού: **Gate Setup** υπάρχει επιλογή μεταξύ **Peak** και **Edge Measurement Mode** για την πύλη (Gate), στην επιλογή Peak οι μετρήσεις παίρνονται από το υψηλότερο σημείο της καμπύλης σήματος, ενώ στην επιλογή Edge οι μετρήσεις παίρνονται από το πρώτο σημείο τομής της καμπύλης σήματος με την πύλη. Στην «ενότητα 5.2 (Αυτόματη βαθμονόμηση)», διατυπώθηκε ότι το Edge/Flank Mode είναι ακριβέστερο στις μετρήσεις σε σχέση με το Peak Mode, παρόλα αυτά για τις γωνιακές κεφαλές επιλέχτηκε **Peak Mode**, ενώ για την κάθετη κεφαλή επιλέχτηκε **Edge**.

Στο υπομενού **3/5 > Meas Setup** ρυθμίζονται τα εξής:

- Στην παράμετρο: **Reading Setup** επιλέγονται τα εξής readings: Γωνιακή κεφαλή (Sound path distance, Surface distance, Surface distance – X value, Current Amplitude, Weld Rating D) Κάθετη κεφαλή (Current amplitude, Minimum depth, Depth to reflector), «πίνακας 6.3».
- Στην παράμετρο: **Unit** επιλέχτηκε σαν βασική μονάδα μέτρησης τα **mm**.

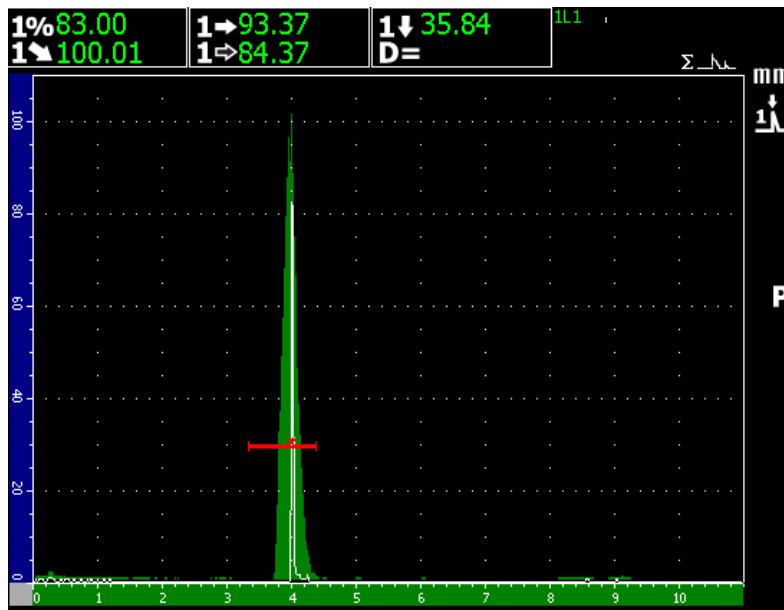
Βαθμονόμηση γωνιακών κεφαλών (45°, 60°, 70°)

Η βαθμονόμηση των γωνιακών κεφαλών θα γίνει σύμφωνα με την «ενότητα 5.2» και της οδηγίες του εγχειριδίου της συσκευής.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

1. Εύρεση σημείου εκπομπής δέσμης υπερήχων (BIP)

Είναι το σημείο εκείνο στο οποίο ο υπέρηχος αφήνει την κεφαλή και εισέρχεται στο εξεταζόμενο υλικό με τη μέγιστη ενέργεια. Ακολουθώντας τις οδηγίες της «ενότητας 5.2, σελ 45» και χρησιμοποιώντας την λειτουργία **PEAK MEM** της συσκευής «σχήμα 6.16», εντοπίζονται τα σημεία BIP των κεφαλών.



Σχήμα 6.16:Λειτουργία PEAK MEM κατά την εύρεση σημείου BIP της κεφαλής 70°

- A) Κεφαλή 45° το BIP είναι μετατοπισμένο 14 mm από την αρχή της κεφαλής.
Άρα X-Value = 14 mm
- B)Κεφαλή 60° το BIP είναι μετατοπισμένο 11 mm από την αρχή της κεφαλής.
Άρα X-Value = 11 mm
- Γ) Στην κεφαλή 70° το BIP είναι μετατοπισμένο 9 mm από την αρχή της κεφαλής.
Άρα X-Value = 9 mm

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.17: Εύρεση σημείου BIP στο δοκίμιο V1 για γωνιακή κεφαλή 70°

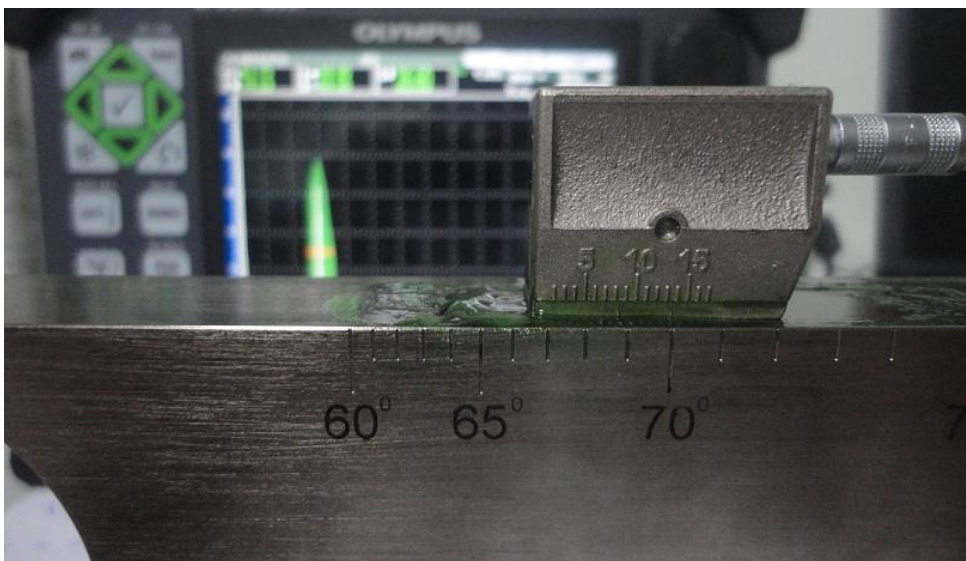
2. Έλεγχος γωνίας εκπομπής δέσμης υπερήχων

Για τον συγκεκριμένο έλεγχο ακολουθήθηκε η διαδικασία της «ενότητας 5.2, σελ 46». Στο «σχήμα 6.18» καθώς η κεφαλή 70° στοχεύει το μεγάλο δίσκο, κάποια στιγμή το ανακλώμενο σήμα μεγιστοποιείται, τότε παρατηρείται ότι το σημείο BIP 9 mm είναι ακριβώς πάνω από τις 69°.

A) Κεφαλή 45° δεν διαπιστώθηκε μεταβολή στις μοίρες

B) Κεφαλή 60° δεν διαπιστώθηκε μεταβολή στις μοίρες

Γ) Κεφαλή 70° διαπιστώθηκε μεταβολή 1°. Επανακαθορίζεται η παράμετρος: **Angle = 69°**



Σχήμα 6.18: Έλεγχος γωνίας εκπομπής δέσμης υπερήχων σε δοκίμιο V1, κεφαλή 70°

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

3. Βαθμονόμηση (εύρους) της χρονικής βάσης

Η βαθμονόμηση της χρονικής βάσης γίνεται σύμφωνα με την «ενότητα 5.2, σελ. 46».

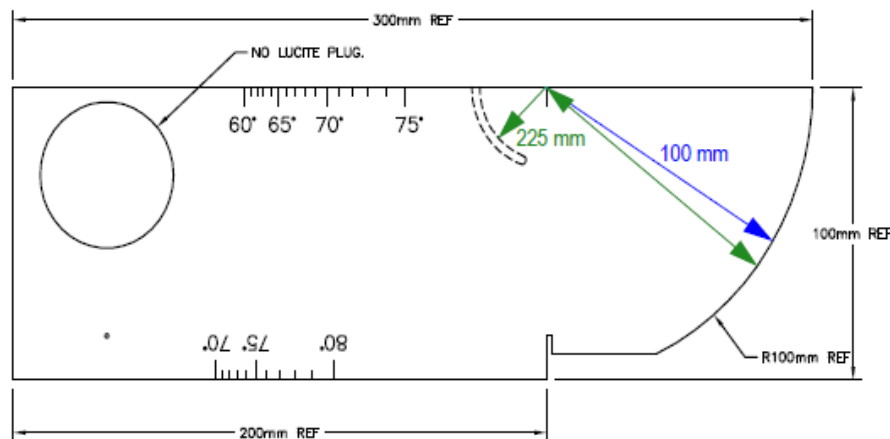
Πρώτα απ' όλα, ορίζονται οι παράμετροι όπως περιγράφηκαν στην «παράγραφο: Ορισμός παραμέτρων πριν τη βαθμονόμηση». Για συντομία, παρατίθενται μόνο οι παράμετροι που μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο της κεφαλής (γωνιακή κεφαλή):

α) **Basic > Velocity = 3251 m/s**, β) **Basic > Range = 250 mm**, γ) **Pulser > Mode = P/E**

δ) **Trig > Angle = 69°**

Στην παράμετρο: **1/5 > Auto CAL > CAL Mode** επιλέγεται η τιμή **Sound Path**.

Απλώνεται υλικό σύζευξης στην επιφάνεια του δοκιμίου και γίνεται τοποθέτηση του σημείου BIP (που έχει ήδη εντοπιστεί) της γωνιακής κεφαλής έστω 70° στο σημείο D «σχήμα 5.5». Στην οθόνη τώρα, εμφανίζονται δύο ανακλάσεις οι οποίες προέρχονται από το μήκος 100 και 225 mm «σχήμα 6.19». Αυτές οι ανακλάσεις είναι τοποθετημένες σε λάθος σημεία πάνω στην οριζόντια κλίμακα/εύρος της οθόνης.



Σχήμα 6.19: Διαστάσεις και αποστάσεις στο δοκίμιο βαθμονόμησης V1

Στην ουσία, τώρα ξεκινάει η αυτόματη βαθμονόμηση. Μετακινείται η πύλη (Gate 1), ώστε να περιλαμβάνει το πρώτο σήμα.

Με τον επιλογέα/ρυθμιστή ή το πλήκτρο [**AUTO XX%**], το ύψος του σήματος τοποθετείται στο 80% του ύψους της οθόνης.

Με προσοχή, χωρίς να μετακινηθεί η κεφαλή, εισάγεται στο υπομενού: **1/5 > CAL Zero**, σαν τιμή το πρώτο μήκος ανάκλασης 100 mm και επιλέγεται calculate.

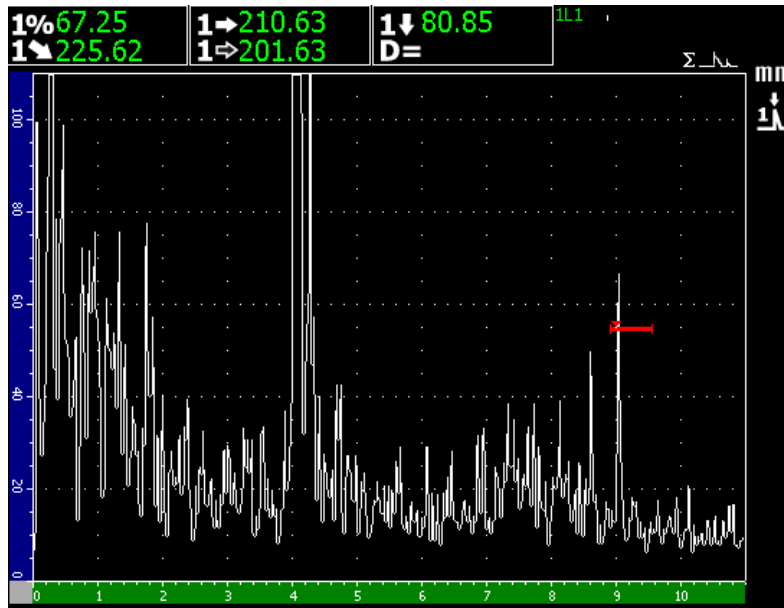
Μετακινείται ξανά η πύλη (Gate 1), ώστε να περιλαμβάνει το δεύτερο σήμα.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Το σήμα τοποθετείται στο 80% ύψος οθόνης.

Με προσοχή, χωρίς να μετακινηθεί η κεφαλή, εισάγεται στο υπομενού: **1/5 > CAL Velocity**, σαν τιμή το δεύτερο μήκος ανάκλασης 225 mm και επιλέγεται calculate.

Η συσκευή πλέον είναι βαθμονομημένη, στο «σχήμα 6.20» φαίνονται τα σήματα ότι είναι στις σωστές θέσεις πάνω στον οριζόντιο άξονα και τα readings το αποδεικνύουν.



Σχήμα 6.20: Πύλη τοποθετημένη πάνω από το δεύτερο σήμα ανάκλασης (225 mm)

4. Ρύθμιση ευαισθησίας με ανακλαστήρα αναφοράς

Η ρύθμιση της ευαισθησίας με ανακλαστήρα αναφοράς γίνεται σύμφωνα με την «ενότητα 5.2, σελ. 50».

Τοποθετείται η κεφαλή στο σημείο A του δοκιμίου V1 όπως στο «σχήμα 5.5».

Καθώς η γωνιακή κεφαλή στοχεύει την πλευρική οπή, με τη βοήθεια της λειτουργίας **PEAK MEM** εντοπίζεται το μέγιστο σήμα ανάκλασης.

Αφού εντοπιστεί το μέγιστο σήμα, η πύλη (Gate 1) μετακινείται πάνω σε αυτό.

Το σήμα τοποθετείται στο 80% ύψους οθόνης.

Τέλος, πατώντας τα πλήκτρα (**2nd F & dB**), ορίζεται επίπεδο αναφοράς κέρδους σε dB.

Για την γωνιακή κεφαλή 70°, η τιμή ορίστηκε: 61.4 dB.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Η ρύθμιση ευαισθησίας είναι αναγκαία σε ορισμένες περιπτώσεις που τα πρότυπα ζητούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο αναφοράς κέρδους αλλά και την προσθαφαίρεση dB κατά τη διάρκεια του ελέγχου (scanning gain).

Βαθμονόμηση κάθετης κεφαλής διπλού κρυστάλλου

Η βαθμονόμηση απαιτεί ένα δοκίμιο με γνωστά δύο του πάχη και υλικό ίδιο με το υπό εξέταση αντικείμενο (δηλαδή τις συγκολλήσεις). Επίσης το ιδανικότερο είναι αυτά τα δύο πάχη να καλύπτουν το εύρος του υπό εξέταση πάχους. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε κλιμακωτή πλάκα βαθμονόμησης 7 σκαλοπατιών (7-step wedges), από ανθρακούχο χάλυβα και με πάχη σκαλοπατιών (3, 12, 24, 30, 36, 42, 48 mm).



Σχήμα 6.21: Κλιμακωτή πλάκα βαθμονόμησης 7 επιπέδων

Ο έλεγχος για εύρεση σφαλμάτων θα γίνει σε πλάκες συγκόλλησης πάχους 10 mm, έτσι για τη βαθμονόμηση επιλέγονται τα σκαλοπάτια με πάχη 3 και 12 mm που εμπεριέχουν το πάχος της συγκόλλησης.

Η βαθμονόμηση της δίδυμης κάθετης κεφαλής γίνεται σύμφωνα με την «ενότητα 5.2, σελ. 45» και τις οδηγίες του εγχειριδίου της συσκευής.

1. Βαθμονόμηση (εύρους) της χρονικής βάσης.

Πρώτα απ' όλα, ορίζονται οι παράμετροι όπως περιγράφηκαν στην «παράγραφο: Ορισμός παραμέτρων πριν τη βαθμονόμηση». Για συντομία, παρατίθενται μόνο οι παράμετροι που μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο της κεφαλής (δίδυμη κάθετη κεφαλή):

α) Basic > Velocity = 5918 m/s, β) Basic > Range = 36 mm, γ) Pulser > Mode = Dual

δ) Trig > Angle = 0°

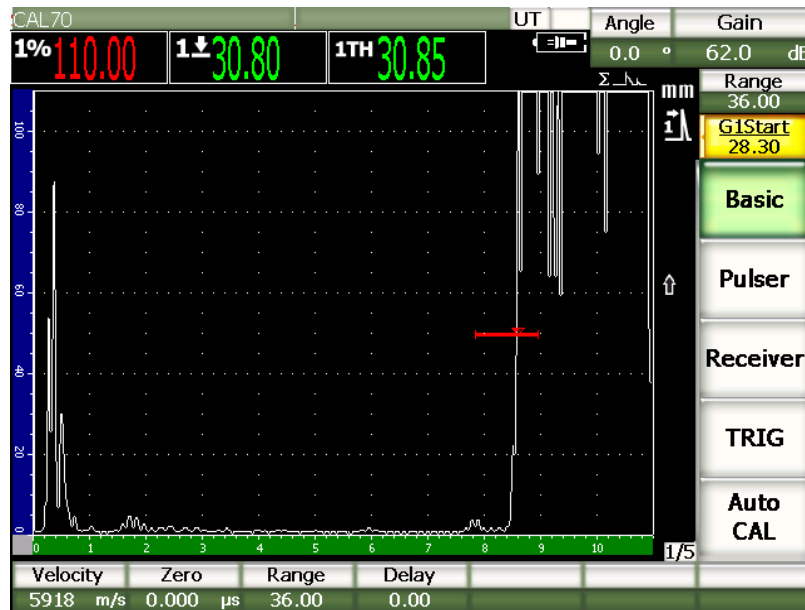
Στην παράμετρο: **1/5 > Auto CAL > CAL Mode** επιλέγεται η τιμή **Thickness**.

Στην παράμετρο: **2/5 > Gate Setup > Setup** ορίζεται για την πύλη (Gate 1) **Edge Mode**.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Απλώνεται υλικό σύζευξης στην επιφάνεια του δοκιμίου και τοποθετείται η κεφαλή στο μικρότερο πάχος δηλαδή στα 3 mm.

Επιβάλλεται μεγάλη αύξηση στο κέρδος dB της συσκευής σε τέτοιο σημείο, ώστε τα σήματα να ξεπερνούν το ύψος της οθόνης και να φαίνονται μόνο η οδηγητικές αρχικές γραμμές των σημάτων και πιο συγκεκριμένα του πρώτου σήματος «σχήμα 6.22».



Σχήμα 6.22: Οδηγητική γραμμή πρώτου σήματος που προέρχεται από το πάχος 3 mm

Αφού εντοπιστεί η οδηγητική γραμμή του πρώτου σήματος, η πύλη (Gate 1) τοποθετείται πάνω σε αυτή.

Με τον επιλογέα/ρυθμιστή ή το πλήκτρο [**AUTO XX%**], το ύψος του σήματος τοποθετείται στο 80% του ύψους της οθόνης.

Με προσοχή, χωρίς να μετακινηθεί η κεφαλή, εισάγεται στο υπομενού: **1/5 > CAL Zero**, σαν τιμή το πάχος του σκαλοπατιού 3 mm και επιλέγεται calculate.

Στη συνέχεια, η κεφαλή τοποθετείται στο μεγαλύτερο πάχος δηλαδή στα 12mm.

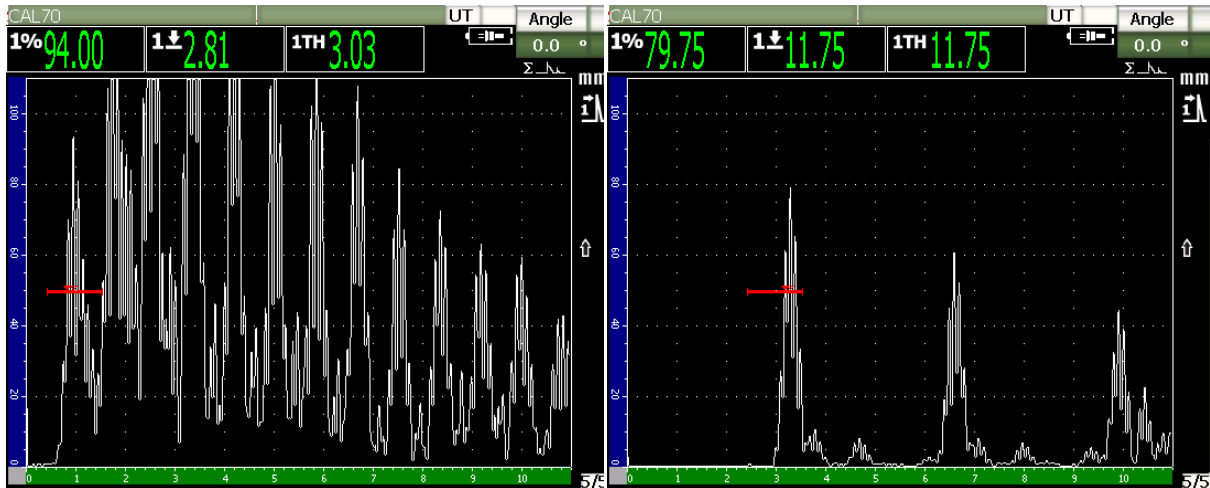
Αφού εντοπιστεί η οδηγητική γραμμή του πρώτου σήματος, η πύλη (Gate 1) τοποθετείται πάνω σε αυτή.

Το σήμα τοποθετείται στο 80% ύψος οθόνης.

Με προσοχή, χωρίς να μετακινηθεί η κεφαλή, εισάγεται στο υπομενού: **1/5 > CAL Velocity**, σαν τιμή το πάχος του σκαλοπατιού 12 mm και επιλέγεται calculate.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Η συσκευή πλέον είναι βαθμονομημένη, στο «σχήμα 6.23» φαίνονται τα σήματα από το πάχος 3 mm και 12 mm ότι είναι στις σωστές θέσεις πάνω στον οριζόντιο άξονα και τα readings το αποδεικνύουν.



Σχήμα 6.23: Σήματα και μετρήσεις από το πάχος (3 & 12 mm) των σκαλοπατιών του κλιμακωτού δοκιμίου

Για να αποφευχθεί η επανάληψη της ίδιας διαδικασίας κάθε φορά που κλείνει η συσκευή ή αλλάζει η κεφαλή, είναι συνετό να αποθηκεύεται η κάθε βαθμονόμηση κεφαλής ως αρχείο **CAL** και να ανακαλείται ανά πάσα στιγμή (π.χ. τα συγκεκριμένα αρχεία ονομάστηκαν CAL70 & CAL0 αντίστοιχα).

Σημείωση: Στη βαθμονόμηση δίδυμων κεφαλών ισχύει μια εξαίρεση όσον αφορά τη βαθμονόμηση χρονικής βάσης της συσκευής, διότι δεν μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε εύρος αλλά μόνο σε συγκεκριμένο εύρος που καλύπτει το προς μελέτη εύρος (πάχος). Αυτό συμβαίνει λόγω έλλειψης γραμμικότητας στον οριζόντιο άξονα (*horizontal linearity*) και λόγω δημιουργίας “*v-path*” μεταξύ των δύο κρυστάλλων της κεφαλής.

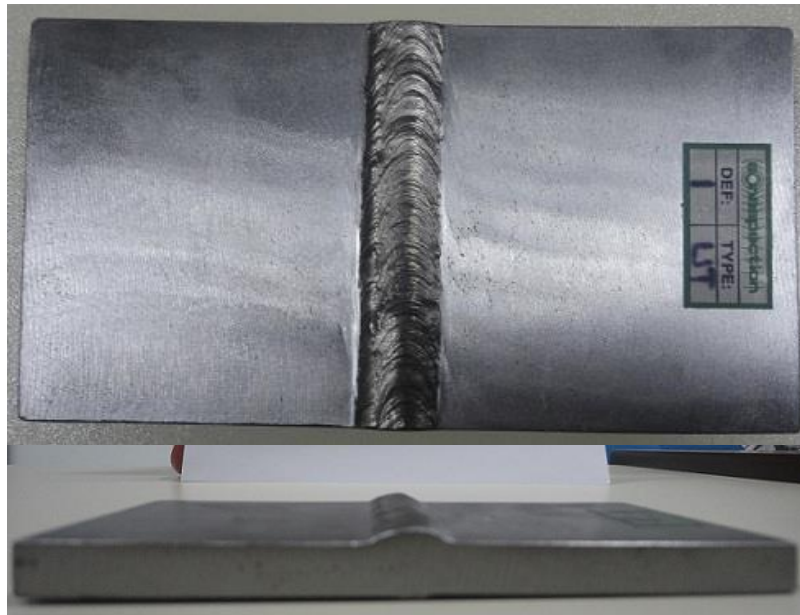
3^ο Βήμα

Οπτικός έλεγχος συγκολλήσεων. Πριν ξεκινήσει ο υπερηχητικός έλεγχος σε μια συγκόλληση, πρέπει πρώτα να ελεγχθεί οπτικά για τυχόν επιφανειακές ατέλειες όπως ρήγματα, υποσκάμματα, επιφανειακούς πόρους, οξειδώσεις κλπ. Τα κύρια σημεία οπτικού ελέγχου είναι το μητρικό μέταλλο (πλάκες συγκόλλησης) και η ίδια η συγκόλληση.

Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε με ειδικό μεγεθυντικό φακό σε όλη την έκταση της συγκόλλησης και των εκατέρωθεν επιφανειών. Από τον έλεγχο δεν προέκυψε κάποια σοβαρή ατέλεια. Επίσης, η τραχύτητα της επιφάνειας δεν υπερβαίνει τα 6μm και άρα η κεφαλή μπορεί να ολισθαίνει

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

ελεύθερα. Στο «σχήμα 6.24» παρουσιάζεται η κάτοψη και η πλάγια όψη, ενός από τα δοκίμια συγκόλλησης.



Σχήμα 6.24: Εξεταζόμενο δοκίμιο συγκόλλησης τύπου V (κάτοψη - πλάγια όψη)

4^ο Βήμα

Σκαριφήμα – Σχέδιο. Για την διεξαγωγή του ελέγχου κρίνεται απαραίτητη η σχεδίαση των εξεταζόμενων δοκιμίων σε κάτοψη (πρόοψη) και πλάγια όψη. Αν είναι δυνατό, τα σκαριφήματα πρέπει να είναι στο φυσικό μέγεθος των δοκιμίων και σε χαρτί μιλιμετρέ, έτσι ώστε να γίνεται εύκολα η μεταφορά των μετρήσεων από τη συσκευή πάνω στο χαρτί. Πιο συγκεκριμένα, όταν λαμβάνεται στην οθόνη της συσκευής μια μέτρηση από μια ασυνέχεια (π.χ. επιφανειακή απόσταση – βάθος), ο επιθεωρητής οφείλει να σημειώσει την παρούσα θέση της κεφαλής πάνω στο σκαριφήμα συγκεκριμένα στην πλάγια όψη και από εκείνο το σημείο με χάρακα να σημειώσει τις αποστάσεις (επιφανειακή απόσταση – βάθος). Επόμενο βήμα είναι η διαστασιολόγηση της ασυνέχειας, αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνική πτώσης 6 dB «ενότητα 5.6 σελ. 60», αφού εφαρμοστεί η τεχνική και βρεθούν τα άκρα της ασυνέχειας γίνεται η μεταφορά των μετρήσεων στην κάτοψη του σκαριφήματος αυτή τη φορά. Με αυτόν τον τρόπο, ορίζεται και αναπαριστάται η ακριβής θέση της ασυνέχειας στο δοκίμιο.

Στο «σχήμα 6.25», παρατίθενται τα σκαριφήματα των δοκιμίων συγκόλλησης στο φυσικό τους μέγεθος.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

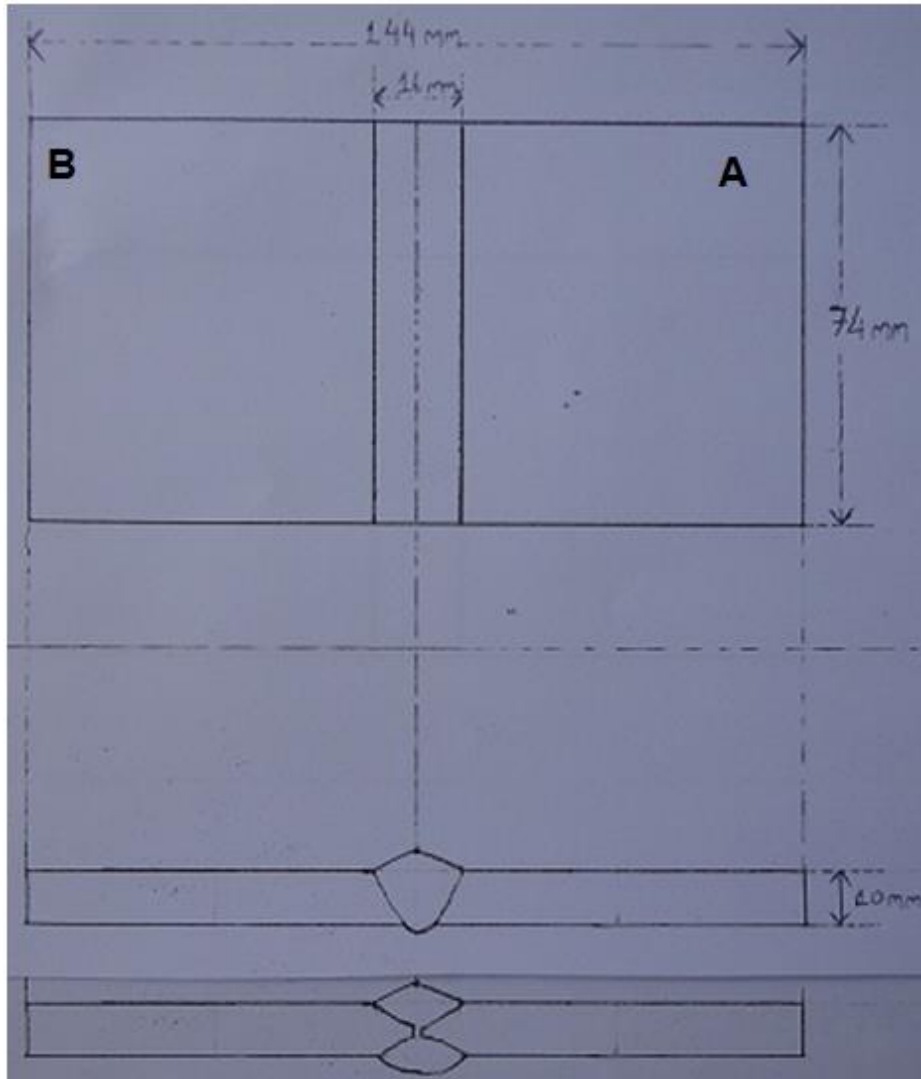
Διαστάσεις δοκιμίων τύπου V και X:

Μήκος x Πλάτος (συγκολλημένου τεμαχίου) = 144 x 74 mm

Πάχος μεταλλικών πλακών = 10 mm

Πλάτος προσώπου συγκόλλησης = 16 mm

Ύψος καπάκι συγκόλλησης = 0.3 mm



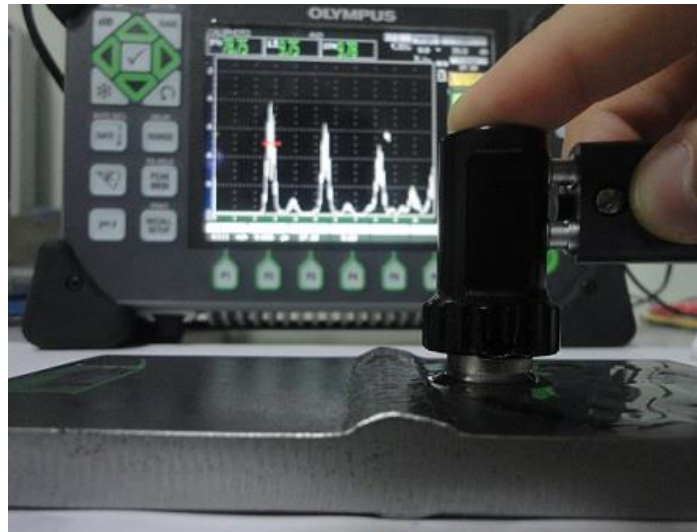
Σχήμα 6.25: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και X (κάτοψη – πλάγια όψη)

5^ο Βήμα

Έλεγχος επιφανειών μεταλλικών πλακών με κάθετη κεφαλή. Ο έλεγχος με κάθετη κεφαλή γίνεται για την εύρεση ανακλαστήρων σε όλη τη ζώνη του υλικού από όπου θα περάσει η γωνιακή δέσμη. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχονται τα σημεία κατά μήκος του άξονα της συγκόλλησης και όλη η

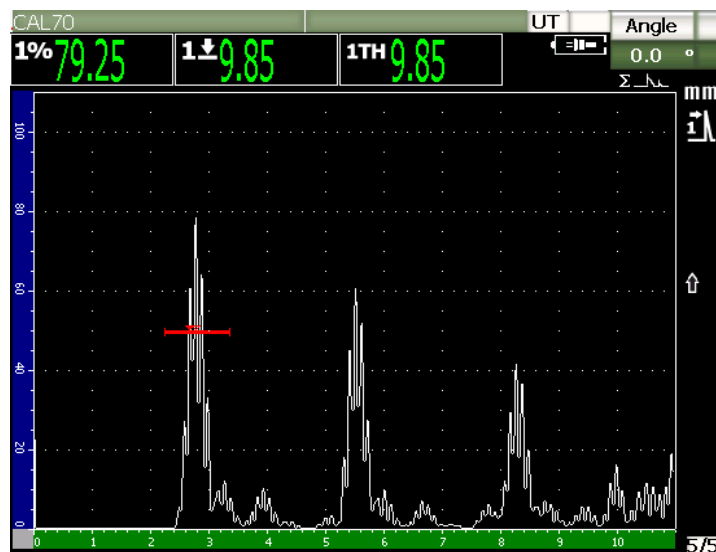
Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

επιφάνεια της πλάκας σε απόσταση (1.25 x βηματική απόσταση) από τον άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, εκτός από τον εντοπισμό ανακλαστήρων το μητρικό μέταλλο ελέγχεται και για το πάχος του.



Σχήμα 6.26: Έλεγχος μεταλλικής πλάκας συγκόλλησης τύπου V με δίδυμη κάθετη κεφαλή

Στον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στα δοκίμια συγκόλλησης δεν παρατηρήθηκε κάποιο σφάλμα ή μεταβολή του πάχους των πλακών. Στο «σχήμα 6.27», απεικονίζεται το στιγμιότυπο που λαμβάνεται καθώς η κεφαλή σαρώνει την επιφάνεια των μεταλλικών πλακών. Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) δείχνουν το ακριβές πάχος των μεταλλικών πλακών και τα διαδοχικά σήματα είναι οι ανακλάσεις πίσω-τοιχώματος μέχρι να αποσβεστεί τελείως ο ήχος. Το στιγμιότυπο αυτό (ισχύει για όλα τα δοκίμια καθώς έχουν όλα το ίδιο πάχος), δεν μεταβάλλεται κατά τη σάρωση των επιφανειών μέχρι η κεφαλή να συναντήσει κάποιο σφάλμα.

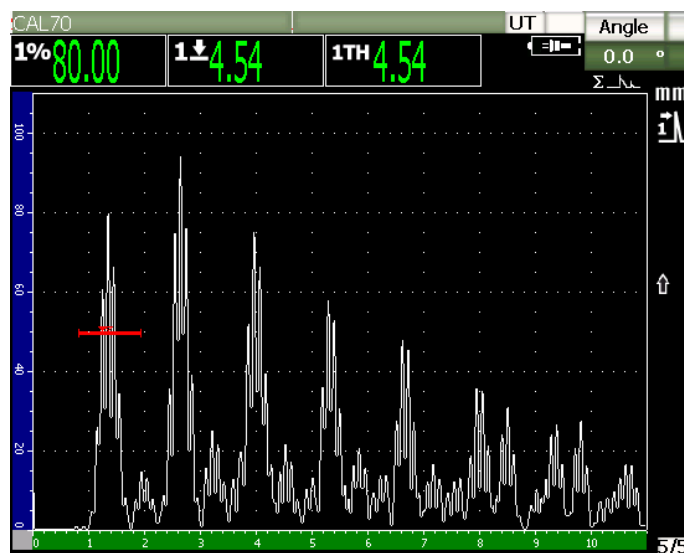


Σχήμα 6.27: Στιγμιότυπο σήματος και μετρήσεων που απεικονίζουν το πάχος των μεταλλικών πλακών συγκόλλησης

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Εκτός των δοκιμών συγκόλλησης, ελέγχθηκε και μία μεταλλική πλάκα διαστάσεων ίδια με τα δοκίμια τύπου V και X. Αυτή η πλάκα ελέγχθηκε για εύρεση σφαλμάτων που εμφανίζονται συνήθως στο μητρικό μέταλλο της συγκόλλησης όπως επίπεδοι διαχωρισμοί ελασματοποίησης, αναδιπλώσεις, σοβαρά εγκλείσματα κλπ.

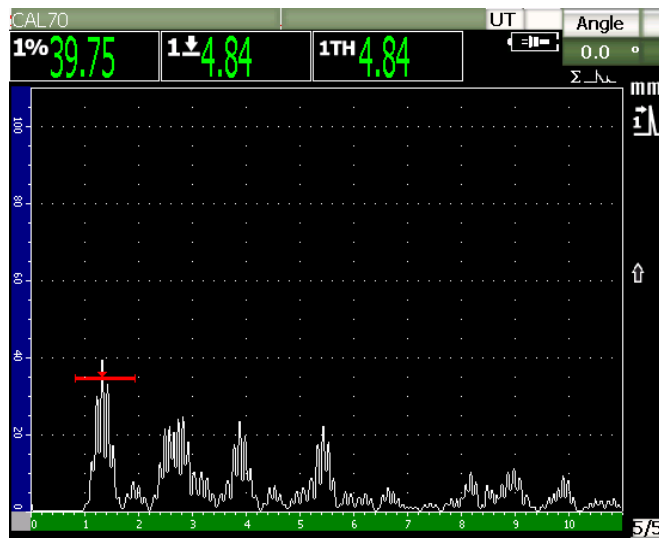
Κατά τη σάρωση της επιφάνειας το σήμα έχει τη μορφή του «σχήματος 6.27», κάποια στιγμή η κεφαλή συναντάει έναν ανακλαστήρα ο οποίος μεταβάλλει το σήμα κατά τρόπο, όπως φαίνεται στο «σχήμα 6.28». Αυτό σημαίνει ότι ο ήχος ανακλάται ολικά από το σφάλμα, έτσι δεν υπάρχει η ηχώ της οπίσθιας όψης. Οι ανακλώμενοι από το σφάλμα ήχοι συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο π.χ. αλλαγή στον τρόπο σύζευξης προκαλεί αυξομείωση στο σύνολο των ήχων της επανάληψης. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι το σφάλμα είναι επίπεδος διαχωρισμός ελασματοποίησης.



Σχήμα 6.28: Στιγμιότυπο σήματος και μετρήσεων κατά τον εντοπισμό lamination

Μετά τον εντοπισμό της ασυνέχειας, κύριο μέλημα είναι, ο ορισμός της θέσης του σφάλματος και η διαστασιολόγηση του. Η θέση του σφάλματος ορίζεται, από το βάθος το οποίο δίνεται στις αυτόματες μετρήσεις 4.54 mm (readings) και από τη θέση της κεφαλής εκείνη τη στιγμή. Ενώ το μέγεθος, εφαρμόζοντας την τεχνική πτώσης 6 dB «ενότητα 5.6, σελ. 60». Η τεχνική πτώσης 6dB στη συγκεκριμένη περίπτωση, εφαρμόζεται και οριζόντια και κάθετα, δηλαδή όταν η κεφαλή φτάνει στο σημείο με το μέγιστο ύψος σήματος, στο σκαρίφημα ορίζεται με αρχή το συγκεκριμένο σημείο ένας άξονας συντεταγμένων (x-y). Τότε εκτελείται και προς τις δύο διεύθυνσης η τεχνική -6 dB «σχήμα 6.29» και εντοπίζονται τα άκρα του επίπεδου διαχωρισμού ελασματοποίησης. Στο «σχήμα 6.30» αναπαριστάται σε κάτοψη και πλάγια όψη, η μεταλλική πλάκα και η θέση του σφάλματος.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.29: Στιγμιότυπο σήματος και μετρήσεις κατά την εφαρμογή τεχνικής διαστασιολόγησης -6dB drop



Σχήμα 6.30: Σκαρίφημα μεταλλικής πλάκας και αναπαράσταση ασυνέχειας lamination

6° Βήμα

Η επιλογή της γωνιακής κεφαλής θα γίνει σύμφωνα με τον «πίνακα Table 6.6», ο οποίος βρίσκεται στο «παράρτημα Γ».

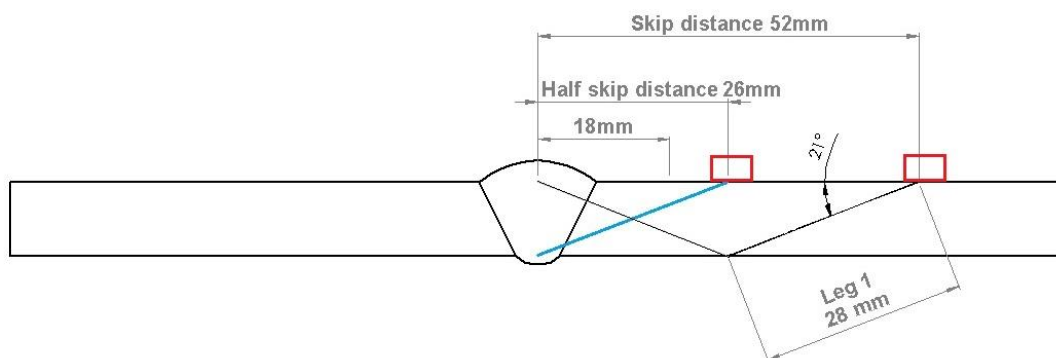
Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Το πάχος των εξεταζόμενων δοκιμίων είναι 10 mm. Άρα βάση πίνακα για τον έλεγχο συγκολλήσεων τύπου (V και X), απαιτείται γωνιακή κεφαλή 70°.

Ανακαλούμε το αρχείο βαθμονόμησης CAL70 για να συνεχιστεί ο έλεγχος.

7° Βήμα

Υπολογισμός αποστάσεων στα δοκίμια συγκόλλησης, βάση του πάχους τους και της γωνίας της κεφαλής. Σύμφωνα με τις σχέσεις της «ενότητας 5.4, σελ. 55», υπολογίζονται οι παρακάτω αποστάσεις. Οι αποστάσεις αυτές αναπαριστώνται στο «σχήμα 6.31».



Σχήμα 6.31: Υπολογισμός αποστάσεων στα δοκίμια συγκόλλησης πάχους T=10 mm

$$T = 10 \text{ mm}$$

$$\theta_R = 69^\circ$$

$$\text{Skip distance} = 2 \cdot T \cdot \tan \theta_R = 2 \cdot 10 \cdot \tan 69^\circ = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Half skip distance} = 26 \text{ mm}$$

$$\text{Leg1} = \text{Leg2} = \frac{T}{\cos \theta_R} = \frac{10}{\cos 69^\circ} = 28 \text{ mm}$$

$$\text{V-Path} = 2 \cdot \frac{T}{\cos \theta_R} = 56 \text{ mm}$$

8° Βήμα

Ο καθορισμός του εύρους (range), στο οποίο θα γίνει ο έλεγχος των συγκολλήσεων, γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο AWS D1.1. Το πρότυπο ορίζει ότι, στο εύρος της οθόνης επιτρέπεται το ελάχιστο να εμφανίζονται δύο ή τρία leg.

Για τον έλεγχο των συγκολλήσεων η τιμή του εύρους ορίστηκε ως:

$$\text{Range} = 3 \cdot 28 = 84 \approx 100 \text{ mm}$$

9° Βήμα

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Χρήση λειτουργίας **AWS D1.1** της συσκευή Epoch 1000i. Η λειτουργία αυτή βασίζεται στο πρότυπο “AWS D1.1 – Structural Welding code for steel” και στόχο έχει να απαλλάξει τον επιθεωρητή από τους πολλούς υπολογισμούς. Η ενεργοποίηση της λειτουργίας αυτής δίνει την δυνατότητα στον επιθεωρητή να ταξινομεί τις ασυνέχειες που εντοπίζει στις συγκολλήσεις, βάση της τιμής **D** (indication rating) και έπειτα να κρίνει εάν είναι αποδεκτές ή όχι βάση του «πίνακα Table 6.2», ο οποίος βρίσκεται στο «παράρτημα Γ». Η τιμή D υπολογίζεται αυτόματα από τη συσκευή σύμφωνα με την σχέση (5.13) και μπορεί να επιλεγεί από το χρήστη σαν αυτόματη μέτρηση (reading).

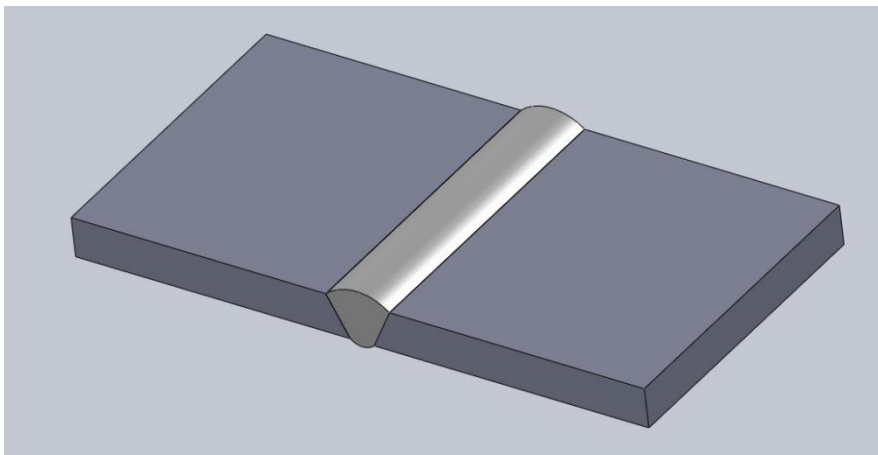
Η ενεργοποίηση της λειτουργίας AWS D1.1 γίνεται στην παράμετρο: **4/6 > Sizing Option > AWS D1.1** και επιλέγεται η τιμή **On**.

Αμέσως μετά την ενεργοποίηση της λειτουργίας, για να μπορεί η συσκευή να υπολογίζει την τιμή D, πρέπει να καθοριστεί ένα επίπεδο αναφοράς της ευαισθησίας (reference indication level). Το επίπεδο αναφοράς καθορίζεται με ανακλαστήρα αναφοράς την πλευρική οπή του δοκιμίου V1 «ενότητα 5.2 σελ. 49». Στην παράμετρο: **6/6 > AWS > Ref B** ορίστηκε **60.8 dB**.

Σύμφωνα με τον «πίνακα Table 6.2», ο οποίος βρίσκεται στο «παράρτημα Γ», ορίζονται ενδεικτικά τα επίπεδα σάρωσης (scanning gain) σε dB ανάλογα τη διαδρομή δέσμης (sound path).

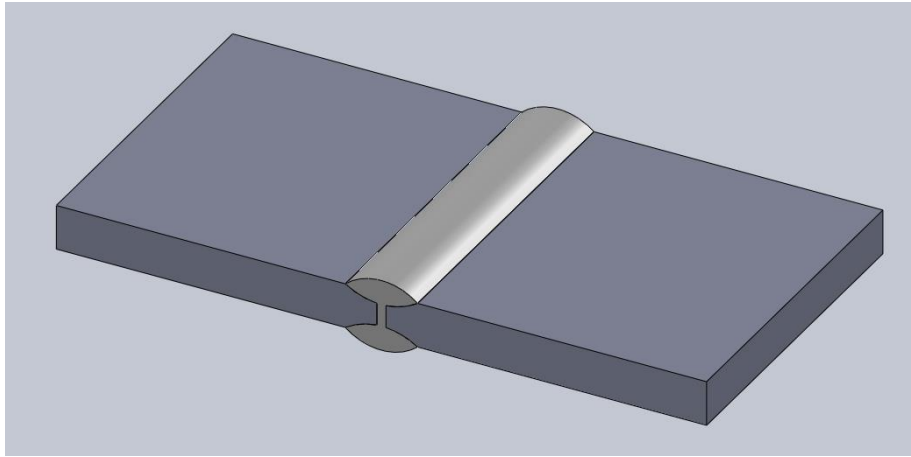
6.4.4 Έλεγχος δοκιμών συγκόλλησης

Ο έλεγχος για την εύρεση σφαλμάτων, αφορά 7 δοκίμια συγκόλλησης από τα οποία τα έξι είναι τύπου V και το ένα τύπου X. Στα «σχήματα 6.32 & 6.33» μέσω του λογισμικού Solidworks αναπαριστώνται σε τρισδιάστατη μορφή τα δοκίμια συγκόλλησης τύπου V και X, όπου φαίνεται ξεκάθαρα το μέταλλο (μέσο) συγκόλλησης καθώς και το μητρικό μέταλλο (μέταλλο βάσεως).



Σχήμα 6.32: Τρισδιάστατη αναπαράσταση δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.33: Τρισδιάστατη αναπαράσταση δοκιμίου συγκόλλησης τύπου X

Πριν ξεκινήσει η σάρωση της επιφάνειας, πρέπει πρώτα να καθαριστεί καλά από τυχόν ακαθαρσίες και να τοποθετηθεί ικανοποιητική ποσότητα υλικού σύζευξης.

Η σάρωση της επιφάνειας, απαιτεί ένα μεγάλο εύρος κινήσεων που αναλύονται στην «ενότητα 5.3». Οι σαρώσεις συνήθως γίνονται σε συγκεκριμένες αποστάσεις από τον οριζόντιο άξονα της συγκόλλησης και όποτε είναι εφικτό/αναγκαίο και από τις δύο πλευρές της συγκόλλησης.

Οι αποστάσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι:

α) η βηματική απόσταση κατά την οποία η δέσμη στοχεύει την άνω περιοχή της συγκόλλησης (καπάκι συγκόλλησης) (skip distance = 52 mm)

β) η μισή βηματική απόσταση κατά την οποία η δέσμη στοχεύει την κάτω περιοχή της συγκόλλησης (ρίζα συγκόλλησης) (half skip distance = 26 mm)

γ) η απόσταση όταν η κεφαλή είναι κολλητά στο μέτωπό της συγκόλλησης (18 mm) κατά την οποία η δέσμη στοχεύει το μέσο της συγκόλλησης (σώμα συγκόλλησης).

Όταν κατά τη σάρωση εντοπιστεί κάποιο σήμα που κατά πάσα πιθανότητα είναι σφάλμα, αμέσως για το σήμα αυτό πρέπει να ελεγχθούν οι αυτόματες μετρήσεις της συσκευής και να συγκριθούν με τις αποστάσεις του εξεταζόμενου δοκιμίου, που έχουν ήδη υπολογιστεί και τοποθετηθεί σε σκαριφήμα. Εάν όντως το σήμα προέρχεται από σφάλμα και όχι από κάποια συνηθισμένη ανάκλαση (π.χ. ρίζα, καπάκι συγκόλλησης, πίσω τοίχωμα μεταλλικής πλάκας), τότε οι μετρήσεις, αφού μεγιστοποιηθεί το σήμα με απαλή μετακίνηση της κεφαλής, μεταφέρονται στην πλάγια όψη του σκαριφήματος.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

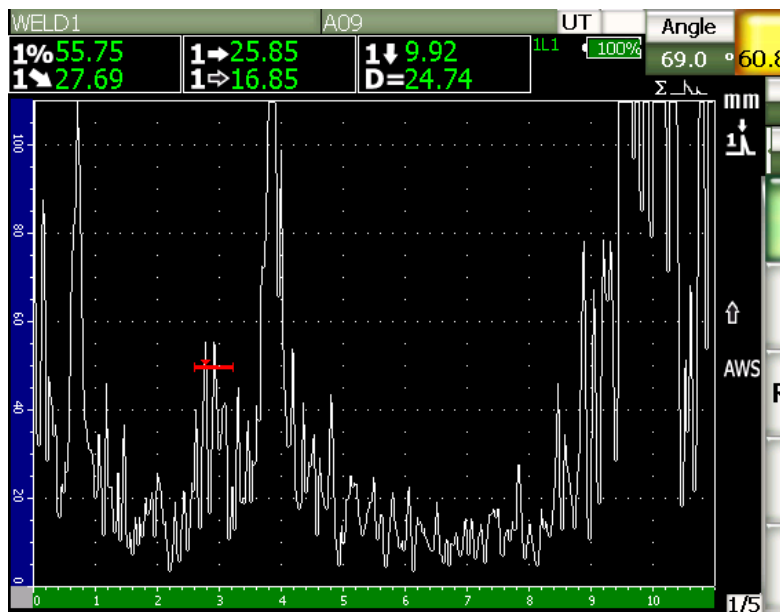
Επόμενο βήμα είναι η διαστασιολόγηση του σφάλματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνική πτώσης 6 dB «ενότητα 5.6». Αφού εφαρμοστεί η τεχνική, τα αποτελέσματα μεταφέρονται στην κάτοψη του σκαριφήματος.

Γνωρίζοντας πλέον, τα πιθανά σφάλματα, τη συμπεριφορά του σήματος κατά την σάρωση, τη θέση και το μέγεθος του σφάλματος καθίσταται δυνατή η διαπίστωση του τύπου του σφάλματος.

Τέλος, εφαρμόζονται τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης του σφάλματος που βασίζονται στο πρότυπο AWS D1.1.

➤ Συγκόλληση 1

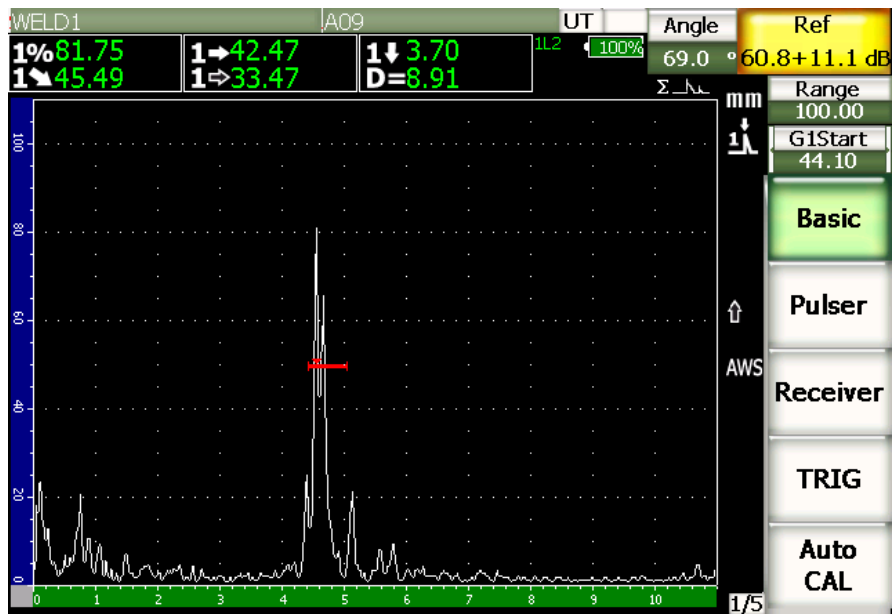
Έλεγχος σε μισή βηματική απόσταση: Ο έλεγχος έγινε από την πλευρά Α. Στο «σχήμα 6.34», το σήμα στο οποίο είναι τοποθετημένη η πύλη είναι η ανάκλαση από τη ρίζα της συγκόλλησης, κατά την πλευρική σάρωση το σήμα αυτό παραμένει σταθερό. Το δεύτερο και αρκετά υψηλό σήμα που είναι περίπου στα (sound path = 37 mm) είναι το σήμα από πιθανή ρωγμή καθώς η δέσμη ανακλάται στη ρίζα και μετά πέφτει στο πίσω μέρος της ρωγμής.



Σχήμα 6.34: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 1

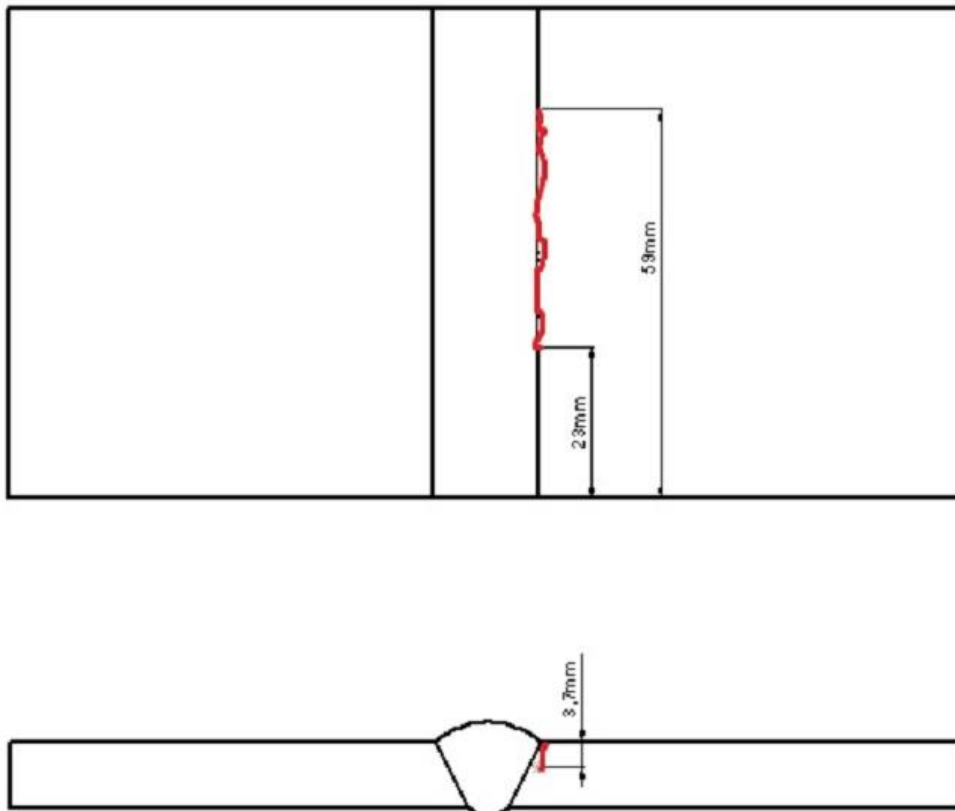
Έλεγχος σε βηματική απόσταση: Ο έλεγχος έγινε από την πλευρά Α. Κατά την πλευρική σάρωση εντοπίζονται κοντινοί οξείς παλμοί αφού μεγιστοποιηθεί το σήμα με μετακίνηση της κεφαλής λαμβάνεται το εξής σήμα όπως φαίνεται στο «σχήμα 6.35».

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.35: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 1

Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) καθώς και τα αποτελέσματα της τεχνικής πτώσης 6 dB, μεταφέρονται στο σκαρίφημα «σχήμα 6.36».



Σχήμα 6.36: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ρωγμής στον πόδα

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Όσον αφορά την διαπίστωση του σφάλματος:

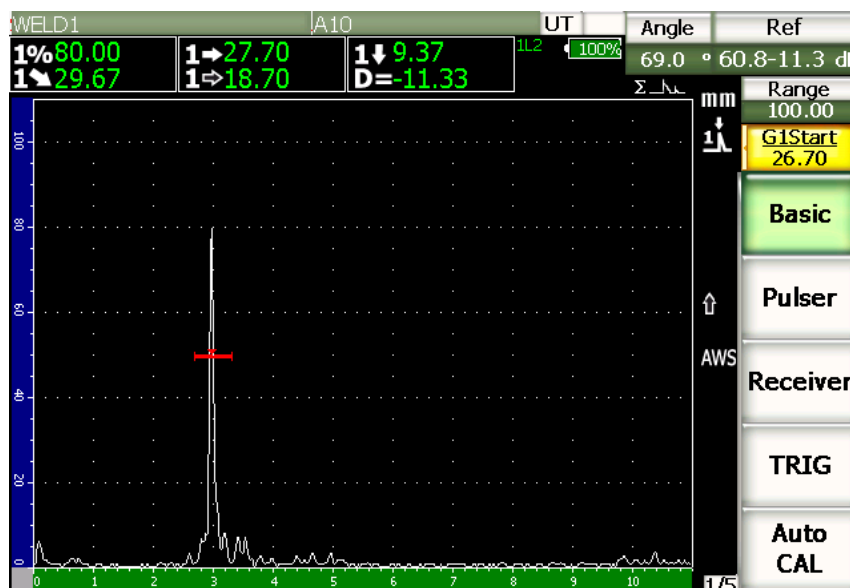
- α) Το σήμα παρουσιάζει πολλούς κοντινούς οξείς παλμούς ενωμένους
- β) Το εύρος του σήματος αυξομειώνεται σε περιστροφική σάρωση και ελαττώνονται σε τροχιακή.
- γ) Το σφάλμα εντοπίζεται σε άνω θέση της συγκόλλησης κοντά στη ΘΕΖ

Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι είναι ρωγμή στον πόδα κατά μήκος του άξονα συγκόλλησης στη ΘΕΖ.

Τέλος, από τις αυτόματες μετρήσεις λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής, αξιολόγηση σήματος (indication rating) $D = 8.91$ και συγκρίνεται με τις τιμές του «πίνακα Table 6.2» του «παραρτήματος Γ». Το σφάλμα κατατάσσεται στην κατηγορία Δ, δηλαδή το σφάλμα είναι αποδεκτό ανεξαρτήτως του μήκους του.

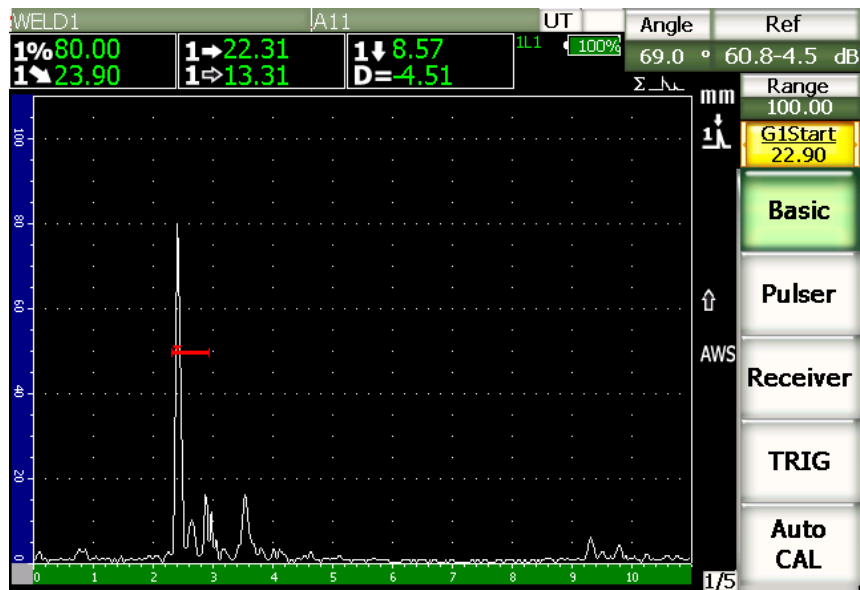
➤ Συγκόλληση 2

Έλεγχος σε μισή βηματική απόσταση: Κατά την πλευρική σάρωση από την πλευρά Α, το σήμα παραμένει σταθερό μέχρι τη στιγμή που εντοπίζεται ένα οξύ παλμός, αφού μεγιστοποιηθεί το σήμα με μετακίνηση της κεφαλής λαμβάνεται το εξής σήμα, όπως φαίνεται στο «σχήμα 6.37». Το ίδιο συμβαίνει και από την άλλη πλευρά Β, μόνο που οι αυτόματες μετρήσεις (readings) δείχνουν μικρότερες αποστάσεις, αυτό είναι λογικό γιατί η κεφαλή είναι πιο κοντά στην ατέλεια. Επίσης το σήμα είναι χαμηλότερου εύρους, λόγω μη κάθετης ανάκλασης της δέσμης, «σχήμα 6.38».



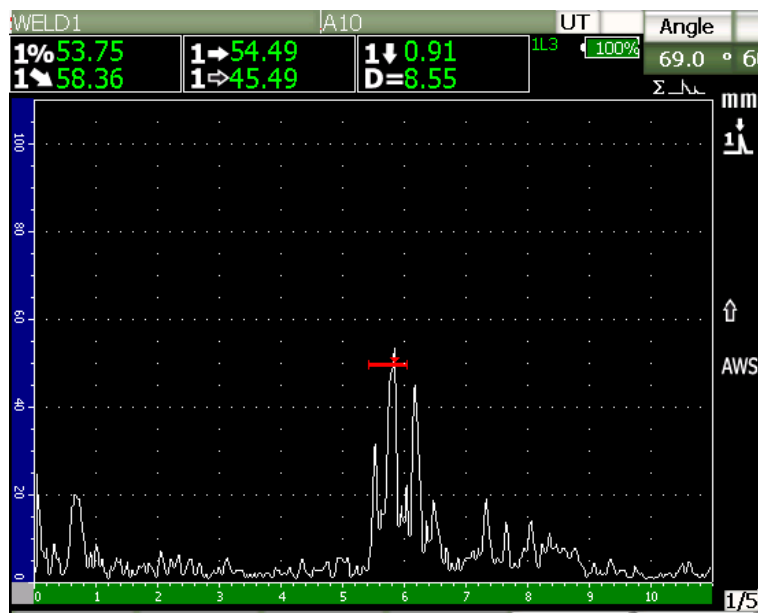
Σχήμα 6.37: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση από πλευρά Α για την συγκόλληση 2

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.38: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση από πλευρά Β για την συγκόλληση 2

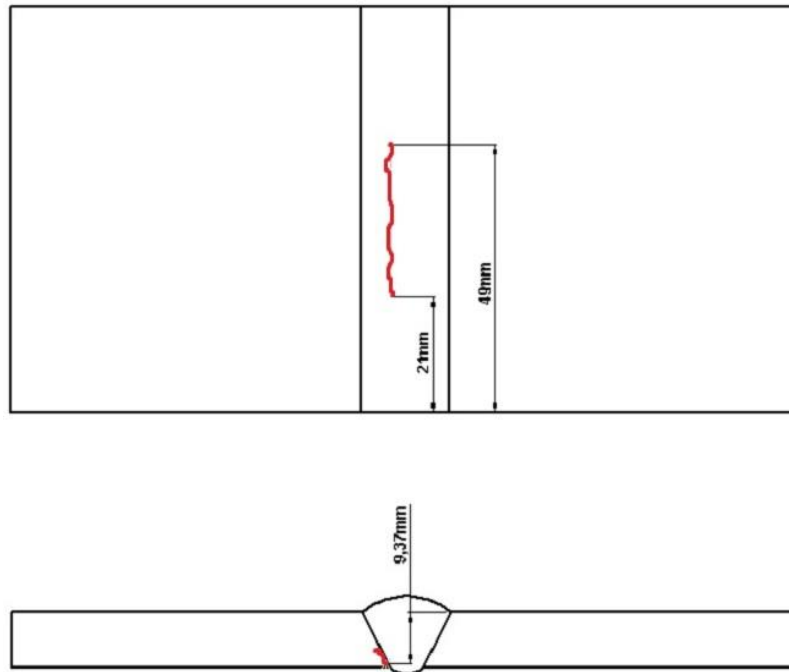
Έλεγχος σε βηματική απόσταση: Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και από τις δύο πλευρές. Κατά την πλευρική σάρωση το σήμα παραμένει σταθερό και προέρχεται από το καπάκι της συγκόλλησης «σχήμα 6.39».



Σχήμα 6.39: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση από την πλευρά Α για την συγκόλληση 2

Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) καθώς και τα αποτελέσματα της τεχνικής πτώσης 6 dB, μεταφέρονται στο σκαρίφημα «σχήμα 6.40».

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.40: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ρωγμής ρίζας

Όσον αφορά την διαπίστωση του σφάλματος:

- α) Το σήμα παρουσιάζει έναν οξύ παλμό πολύ υψηλού εύρους και από τις δύο πλευρές της συγκόλλησης.
- β) Το εύρος του σήματος αυξομειώνεται σε περιστροφική σάρωση και σε σάρωση βάθους ενώ ελαττώνονται σε τροχιακή.
- γ) Το σφάλμα εντοπίζεται στη κάτω θέση της συγκόλλησης κοντά στη ΘΕΖ

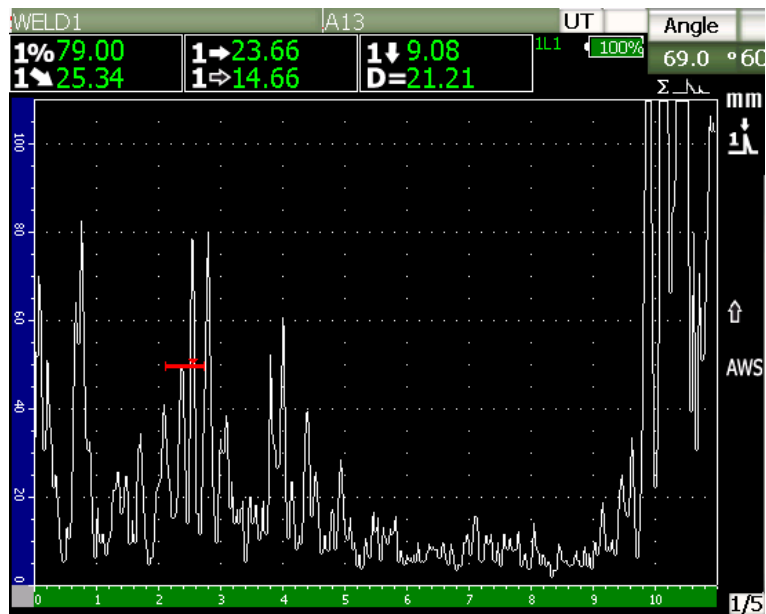
Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι είναι ρωγμή στη ρίζα κατά μήκος του άξονα συγκόλλησης στη ΘΕΖ.

Τέλος, από τις αυτόματες μετρήσεις λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής, αξιολόγηση σήματος (indication rating) $D = -4.51$ και συγκρίνεται με τις τιμές του «πίνακα Table 6.2» του «παραρτήματος Γ». Το σφάλμα κατατάσσεται στην κατηγορία A, δηλαδή το σφάλμα απορρίπτεται ανεξαρτήτως του μήκους του.

➤ Συγκόλληση 3

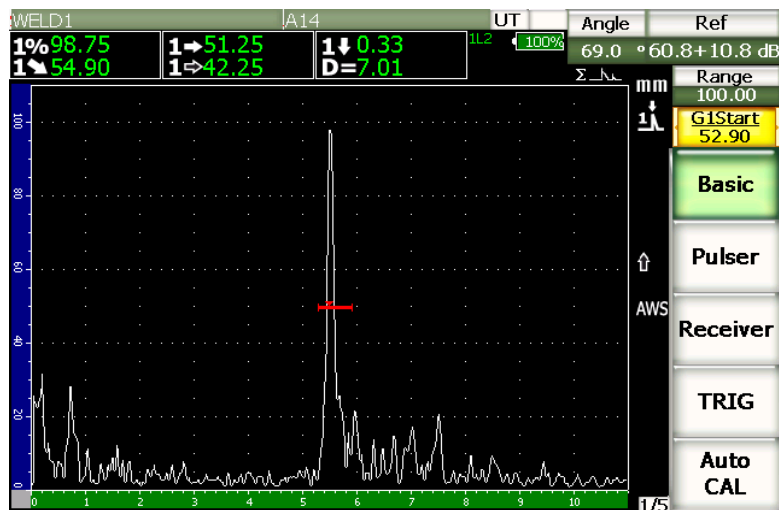
Έλεγχος σε μισή βηματική απόσταση: Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και από τις δύο πλευρές με τα ίδια αποτελέσματα. Κατά την πλευρική σάρωση το σήμα παραμένει σταθερό και προέρχεται από τη ρίζα της συγκόλλησης «σχήμα 6.41».

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.41: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 3

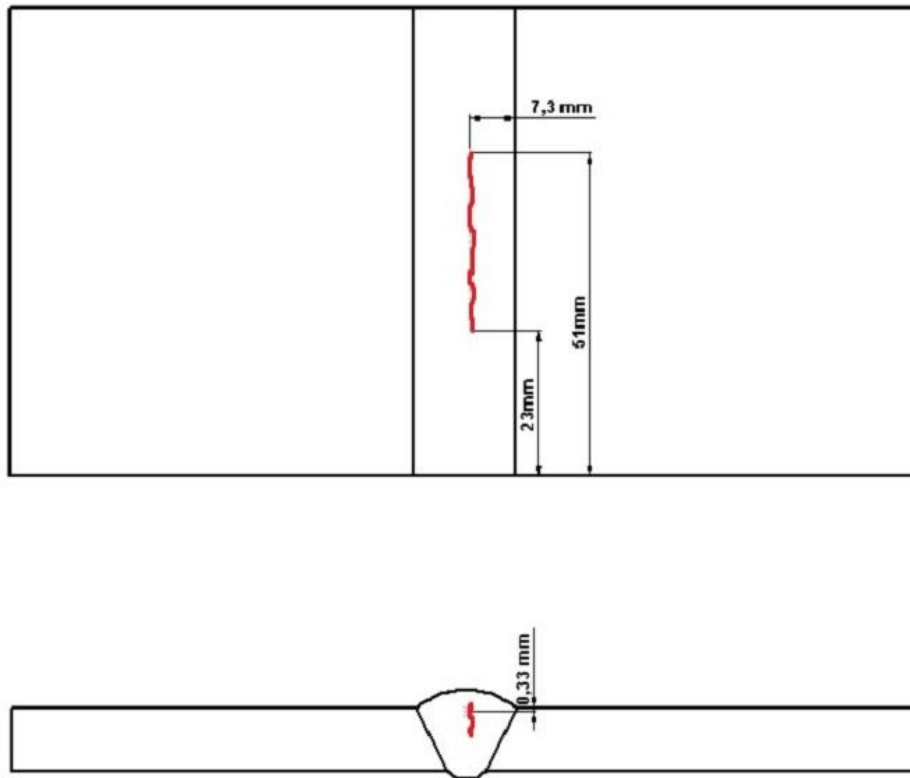
Έλεγχος σε βηματική απόσταση: Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και από τις δύο πλευρές με παραπλήσια αποτελέσματα. Κατά την πλευρική σάρωση εντοπίζεται ένα οξύ παλμός, αφού μεγιστοποιηθεί το σήμα με μετακίνηση της κεφαλής λαμβάνεται το εξής σήμα, όπως φαίνεται στο «σχήμα 6.42».



Σχήμα 6.42: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 3

Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) καθώς και τα αποτελέσματα της τεχνικής πώσης 6 dB, μεταφέρονται στο σκαρίφημα «σχήμα 6.43».

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.43: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ρωγμής κεντρικού άξονα

Όσον αφορά την διαπίστωση του σφάλματος:

- α) Το σήμα παρουσιάζει ένα οξύ παλμό υψηλού εύρους.
- β) Το εύρος του σήματος αυξομειώνονται σε περιστροφική σάρωση και ελαττώνονται σε τροχιακή.
- γ) Το σφάλμα εντοπίζεται στο κεντρικό άξονα της συγκόλλησης δηλαδή στο σώμα της συγκόλλησης.

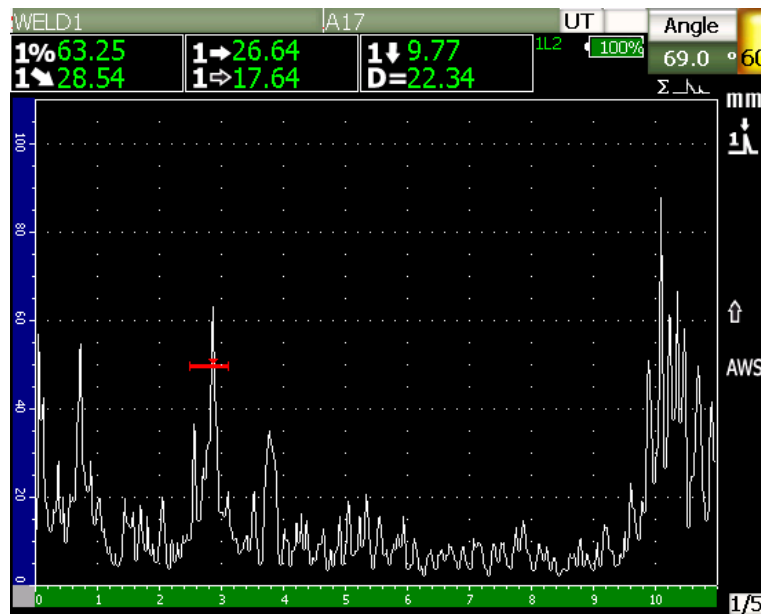
Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι είναι ρωγμή κεντρικού άξονα συγκόλλησης.

Τέλος, από τις αυτόματες μετρήσεις λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής, αξιολόγηση σήματος (indication rating) $D = 7.01$ και συγκρίνεται με τις τιμές του «πίνακα Table 6.2» του «παραρτήματος Γ». Το σφάλμα κατατάσσεται στην κατηγορία Γ, δηλαδή το σφάλμα είναι αποδεκτό, εφόσον το μήκος του δεν υπερβαίνει τα 50 mm. Το σφάλμα που εντοπίστηκε είναι 28 mm, άρα αποδεκτό.

➤ Συγκόλληση 4

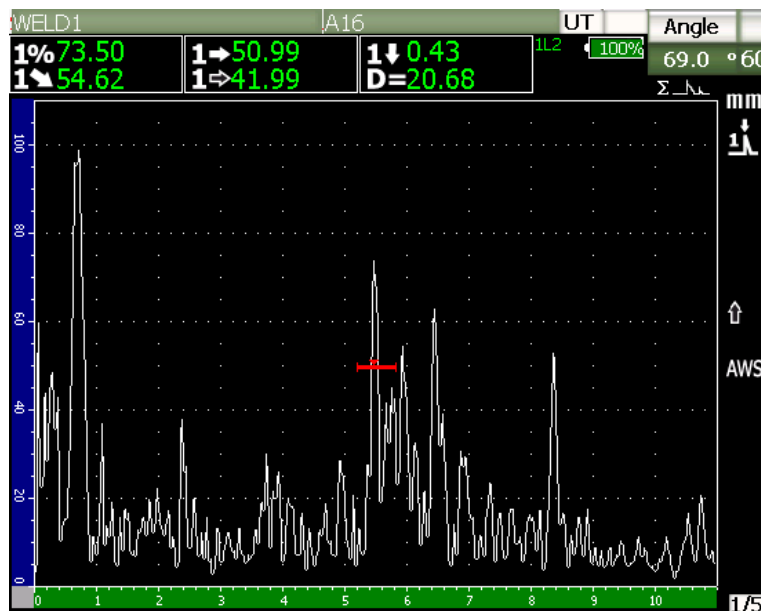
Έλεγχος σε μισή βηματική απόσταση: Ο έλεγχος εφαρμόστηκε και από τις δύο πλευρές. Κατά την πλευρική σάρωση υπάρχει σταθερό σήμα ρίζας «σχήμα 6.44».

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων



Σχήμα 6.44: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 4

Έλεγχος σε βηματική απόσταση: Ο έλεγχος εφαρμόστηκε και από τις δύο πλευρές με παραπλήσια σήματα. Κατά την πλευρική σάρωση, εντοπίζεται σήμα με πολλούς διαδοχικούς παλμούς, οι οποίοι προέρχονται από το καπάκι της συγκόλλησης «σχήμα 6.45».

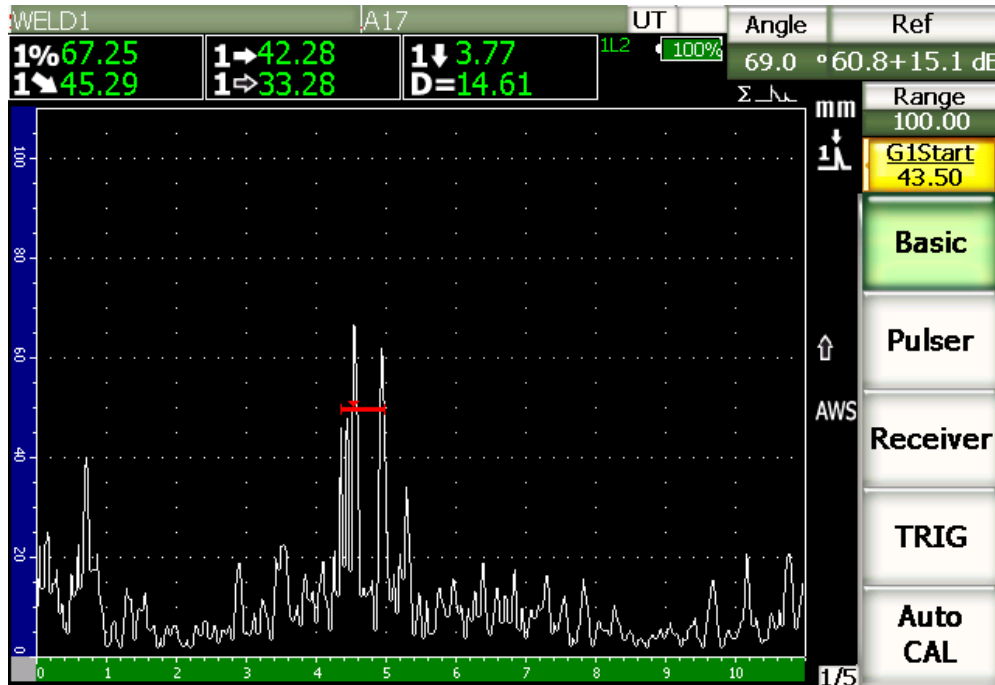


Σχήμα 6.45: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 4

Έλεγχος στην ενδιάμεση περιοχή (μεταξύ Skip – Half skip): Ο έλεγχος εφαρμόστηκε και από τις δύο πλευρές A και B με παρόμοια αποτελέσματα. Κατά την πλευρική σάρωση εντοπίζονται σήματα με

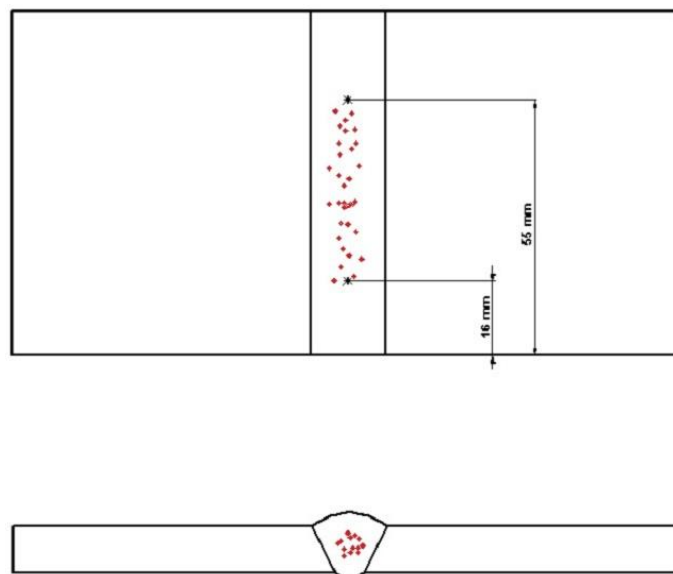
Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

διαδοχικές κορυφές (μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των κορυφών σε σχέση με τις ρωγμές) και υψηλή αποδυνάμωση σημάτων (scanning gain=15.1 dB, στην ενδιάμεση περιοχή και το εύρος σήματος χαμηλό) όπως φαίνεται και στο «σχήμα 6.46».



Σχήμα 6.46: Στιγμιότυπο σήματος στην ενδιάμεση περιοχή (βηματική απόσταση – μισή βηματική απόσταση) για την συγκόλληση 4

Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) καθώς και τα αποτελέσματα της τεχνικής διαστασιολόγησης, μεταφέρονται στο σκαρίφημα «σχήμα 6.47».



Σχήμα 6.47: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση πορώδους στο σώμα της συγκόλλησης

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Όσον αφορά την διαπίστωση του σφάλματος:

α) Το σήμα παρουσιάζει πολλούς ξεχωριστούς διαδοχικούς παλμούς σε μικρή απόσταση.

β) Το εύρος του σήματος δεν μεταβάλλεται κατά την τροχιακή σάρωση.

γ) Το σφάλμα εντοπίζεται στο μέσο του σώματος συγκόλλησης.

δ) Το σφάλμα ανιχνεύσιμο από όλες τις εφικτές θέσεις και κατευθύνσεις

ε) Πολύ μικρή απόκριση σήματος, λόγω αποδυνάμωσης. (σκέδαση της δέσμης)

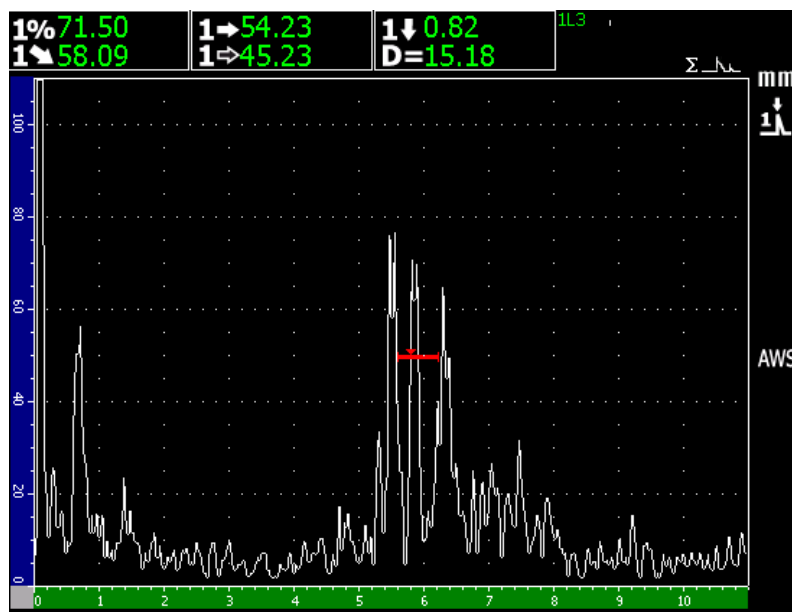
Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το σφάλμα είναι πορώδες και πιο συγκεκριμένα συστοιχία πόρων στο σώμα της συγκόλλησης.

Τέλος, από τις αυτόματες μετρήσεις λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής, αξιολόγηση σήματος (indication rating) $D = 14.61$ και συγκρίνεται με τις τιμές του «πίνακα Table 6.2» του «παραρτήματος Γ». Το σφάλμα κατατάσσεται στην κατηγορία Δ, δηλαδή το σφάλμα είναι αποδεκτό ανεξαρτήτως του μήκους του.

➤ Συγκόλληση 5

Έλεγχος σε μισή βηματική απόσταση: Κατά την πλευρική σάρωση και από τις δύο πλευρές, δεν διακρίνεται κάτι το ιδιαίτερο παρά μόνο σταθερό σήμα από τη ρίζα της συγκόλλησης.

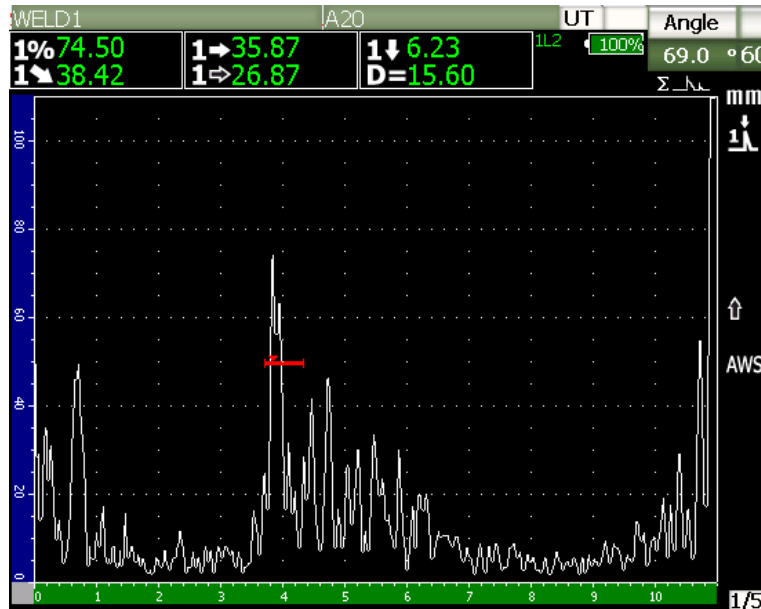
Έλεγχος σε βηματική απόσταση: Ο έλεγχος εφαρμόστηκε και από τις δύο πλευρές με παραπλήσια σήματα. Κατά την πλευρική σάρωση, εντοπίζεται σήμα με πολλούς διαδοχικούς παλμούς, οι οποίοι προέρχονται από το καπάκι της συγκόλλησης «σχήμα 6.48».



Σχήμα 6.48: Στιγμιότυπο σήματος σε βηματική απόσταση για την συγκόλληση 5

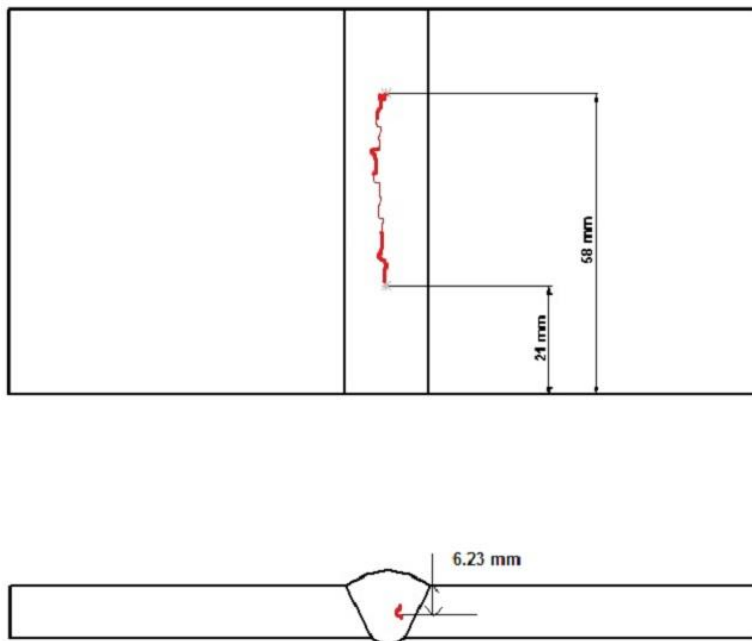
Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Έλεγχος στην ενδιάμεση περιοχή (μεταξύ Skip – Half skip): Ο έλεγχος εφαρμόστηκε και από τις δύο πλευρές με παρόμοια αποτελέσματα. Κατά την πλευρική σάρωση λαμβάνεται το στιγμιότυπο του «σχήματος 6.49», στο οποίο εμφανίζεται ένα φαρδύ σήμα με δύο κορυφές ακολουθούμενο από σήματα χαμηλότερου εύρους.



Σχήμα 6.49: Στιγμιότυπο σήματος στην ενδιάμεση περιοχή (βηματική απόσταση - μισή βηματική απόσταση) για την συγκόλληση 5

Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) καθώς και τα αποτελέσματα της τεχνικής διαστασιολόγησης, μεταφέρονται στο σκαρίφημα «σχήμα 6.50».



Σχήμα 6.50: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση εγκλεισμάτων σκωρίας στο σώμα της συγκόλλησης

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Όσον αφορά την διαπίστωση του σφάλματος:

α) Το στιγμιότυπο παρουσιάζει ένα φαρδύ σήμα με στρογγυλεμένη μορφή. Κατά τη σάρωση βάθους το εμπρός άκρο του σήματος πέφτει καθώς ανασηκώνεται το πίσω άκρο και αντιστρόφως.

β) Το εύρος του σήματος παραμένει σταθερό κατά την τροχιακή σάρωση.

γ) Το σφάλμα εντοπίζεται στο σώμα της συγκόλλησης.

δ) Το σφάλμα ανιχνεύσιμο από όλες τις εφικτές θέσεις και κατευθύνσεις λόγω της τρισδιάστατης φύσης του.

Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το σφάλμα είναι εγκλείσματα σκωρίας που παγιδεύτηκαν στο σώμα της συγκόλλησης.

Τέλος, από τις αυτόματες μετρήσεις λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής, αξιολόγηση σήματος (indication rating) $D = 15.60$ και συγκρίνεται με τις τιμές του «πίνακα Table 6.2» του «παραρτήματος Γ». Το σφάλμα κατατάσσεται στην κατηγορία Δ, δηλαδή το σφάλμα είναι αποδεκτό ανεξαρτήτως του μήκους του.

➤ Συγκόλληση 6

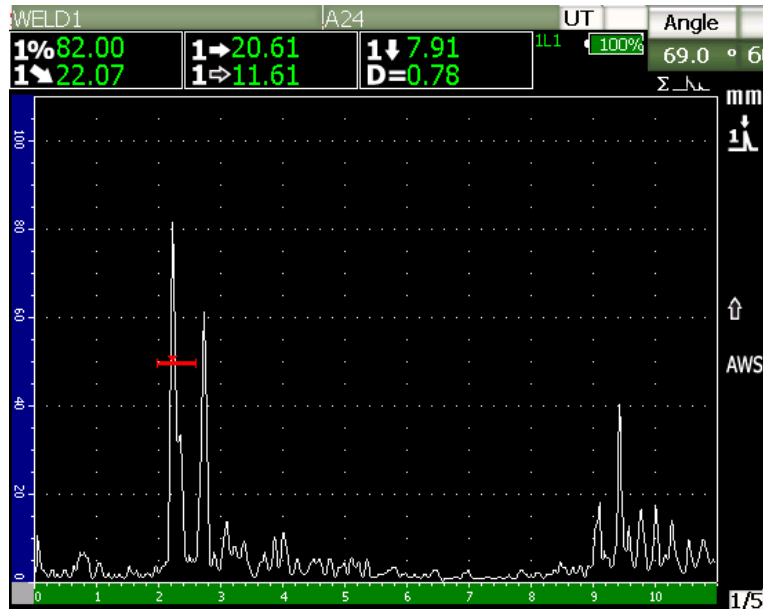
Έλεγχος σε μισή βηματική απόσταση: Κατά την πλευρική σάρωση από την πλευρά Α, το σήμα παραμένει σταθερό μέχρι τη στιγμή που εντοπίζεται ένα οξύ παλμός, αφού μεγιστοποιηθεί το σήμα με μετακίνηση της κεφαλής λαμβάνεται το εξής σήμα, όπως φαίνεται στο «σχήμα 6.51». Ο πρώτος οξύ παλμός προέρχεται από ατέλεια ενώ ο δεύτερος πιθανότατα από κάποια εσωτερική ανάκλαση.



Σχήμα 6.51: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση για την συγκόλληση 6

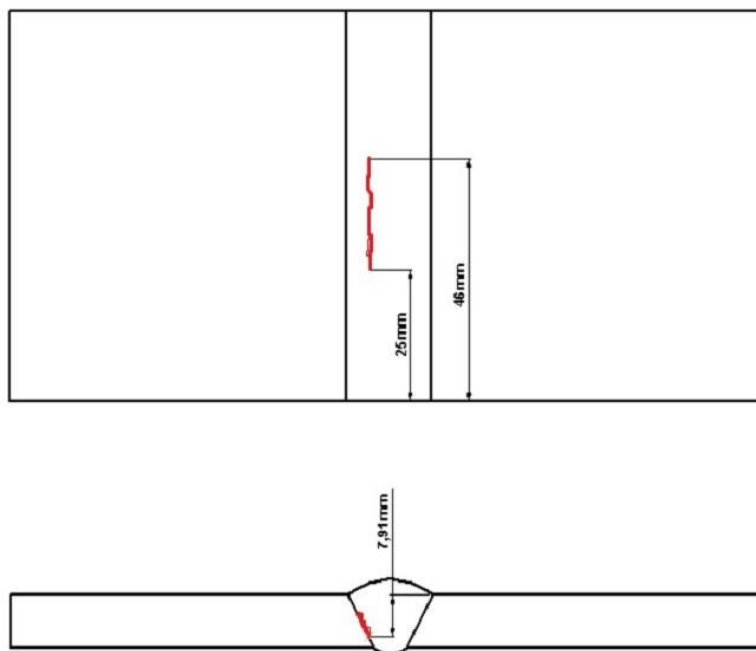
Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Έλεγχος σε απόσταση 18 mm από τον άξονα της συγκόλλησης (κολλητά με καπάκι συγκόλλησης): Το σήμα που λαμβάνεται είναι το ίδιο με αυτό που λαμβάνεται και από τη μισή βηματική απόσταση με τη διαφορά ότι πλέον το σήμα του σφάλματος διακρίνεται καλύτερα και είναι υψηλότερου εύρους.



Σχήμα 6.52: Στιγμιότυπο σήματος σε απόσταση 18 mm από τον άξονα συγκόλλησης για την συγκόλληση 6

Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) καθώς και τα αποτελέσματα της τεχνικής πώσης 6 dB, μεταφέρονται στο σκαρίφημα «σχήμα 6.53».



Σχήμα 6.53: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου V και αναπαράσταση ατελούς τήξης στο πλαϊνό τοίχωμα της συγκόλλησης

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Όσον αφορά την διαπίστωση του σφάλματος:

α) Το στιγμιότυπο απεικονίζει ένα οξύ παλμός υψηλής εντάσεως, όταν η δέσμη πέφτει κάθετα στο σφάλμα, δηλαδή από την πλευρά Α για Half skip ενώ για την πλευρά Β για Skip distance.

β) Το σήμα είναι καθαρό, υψηλής απόκρισης και πέφτει ομαλά καθώς η κεφαλή απομακρύνεται πλευρικά από το σημείο του σφάλματος.

γ) Το εύρος του σήματος μειώνεται απότομα σε περιστροφική σάρωση.

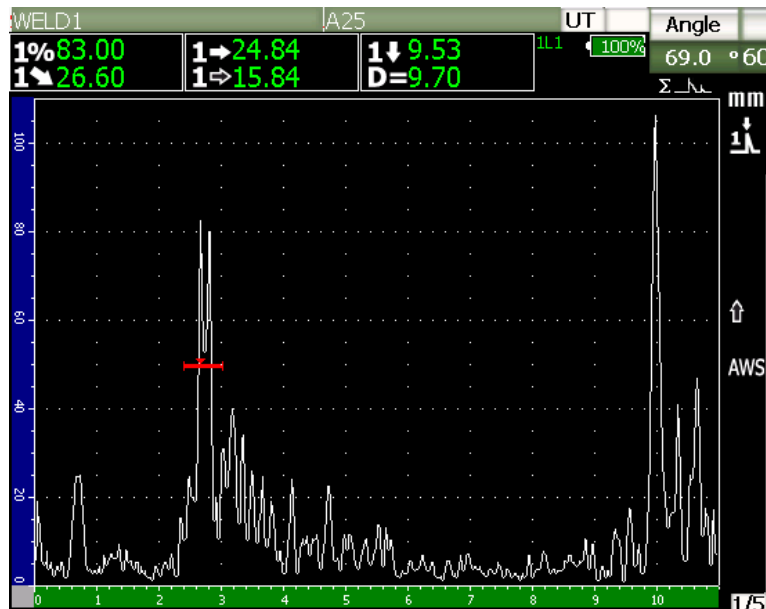
δ) Το σφάλμα εντοπίζεται σε κάτω θέση της συγκόλλησης κοντά στη ZMT.

Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι το σφάλμα είναι ατελής τήξη κατά μήκος του πλαϊνού τοιχώματος της συγκόλλησης στη ZMT.

Τέλος, από τις αυτόματες μετρήσεις λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής, αξιολόγηση σήματος (indication rating) $D = 7.91$ και συγκρίνεται με τις τιμές του «πίνακα Table 6.2» του «παραρτήματος Γ». Το σφάλμα κατατάσσεται στην κατηγορία Γ, δηλαδή το σφάλμα είναι αποδεκτό, εφόσον το μήκος του δεν ξεπερνάει τα 50 mm. Το σφάλμα που εντοπίστηκε είναι 21 mm, άρα αποδεκτό.

➤ Συγκόλληση 7

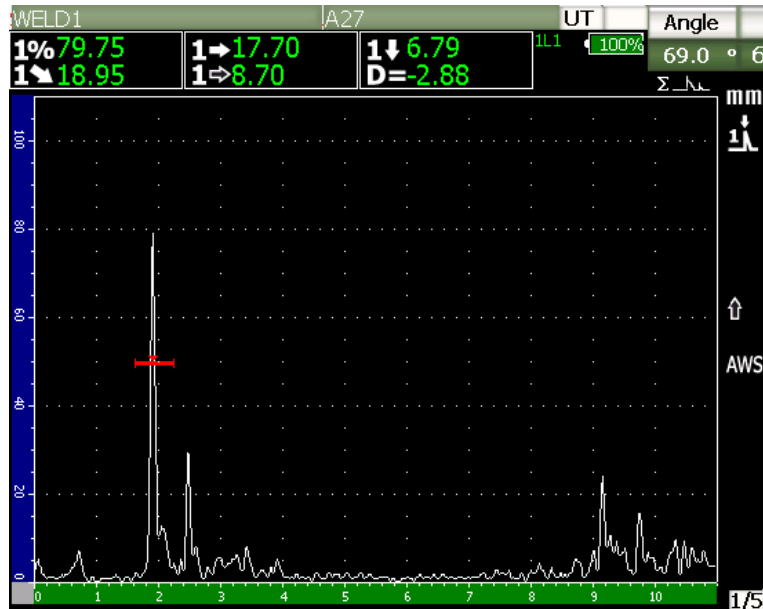
Έλεγχος σε μισή βηματική απόσταση: Κατά την πλευρική σάρωση από τις πλευρές Α και Β, εντοπίζεται το σήμα του «σχήματος 6.54», το οποίο προέρχεται πιθανότατα από ατέλεια.



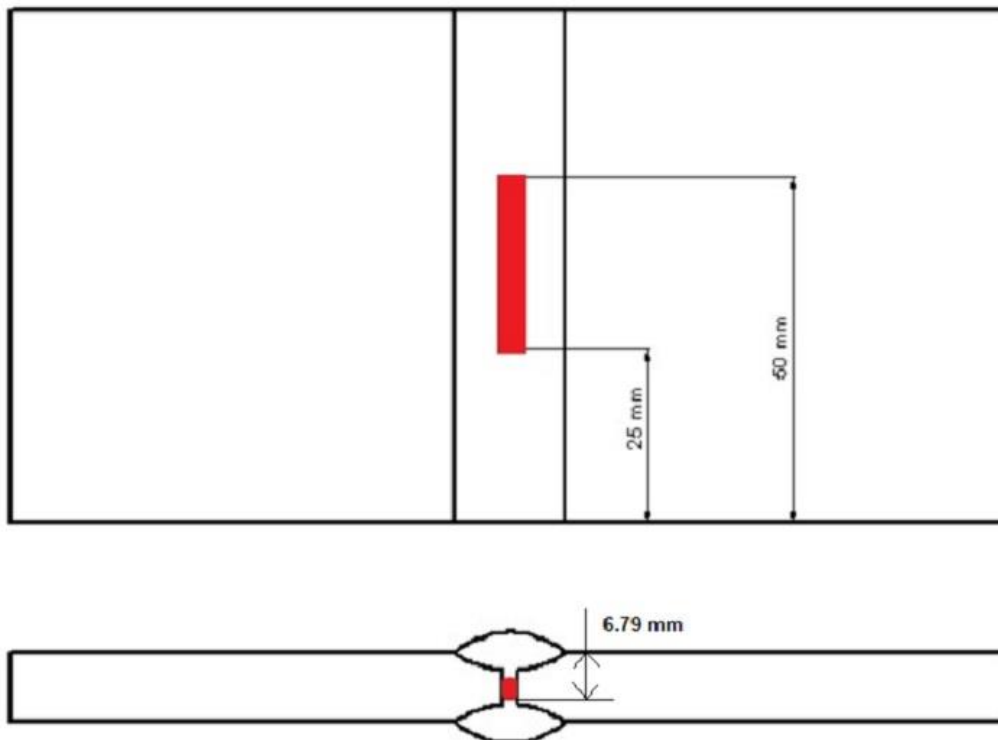
Σχήμα 6.54: Στιγμιότυπο σήματος σε μισή βηματική απόσταση για την συγκόλληση 7

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Έλεγχος σε απόσταση 18 mm από τον άξονα της συγκόλλησης (κολλητά με καπάκι συγκόλλησης): Σε εκείνο το σημείο εντοπίζονται δυο σήματα τα οποία προέρχονται το πρώτο από κάποιο σφάλμα και το δεύτερο από το πλαϊνό τοίχωμα της κάτω συγκόλλησης.



Σχήμα 6.55: Στιγμιότυπο σήματος σε απόσταση 18 mm από τον άξονα συγκόλλησης για την συγκόλληση 7. Οι αυτόματες μετρήσεις (readings) καθώς και τα αποτελέσματα της τεχνικής πτώσης 6 dB μεταφέρονται στο σκαρίφημα «σχήμα 6.56».



Σχήμα 6.56: Σκαρίφημα δοκιμίου συγκόλλησης τύπου X και αναπαράσταση ελλειπούς διεύθυνσης ρίζας

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

Όσον αφορά την διαπίστωση του σφάλματος:

- α) Το σήμα παρουσιάζει έναν οξύ παλμό υψηλού εύρους.
- β) Στην περιστροφική σάρωση το σήμα πέφτει απότομα ενώ στην στροφική σάρωση διατηρείτε.
- γ) Το σφάλμα εντοπίζεται στο μέσο της συγκόλλησης και πιο συγκεκριμένα στο διάκενο της ρίζας.
- δ) Το σήμα που λαμβάνεται είναι ίδιο και από της δύο πλευρές της συγκόλλησης.

Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι το σφάλμα είναι ελλιπής εσωτερική διείδυση ρίζας και βρίσκεται στο διάκενο της ρίζας.

Τέλος, από της αυτόματες μετρήσεις λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής, αξιολόγηση σήματος (indication rating) $D = -2.88$ και συγκρίνεται με της τιμές του «πίνακα Table 6.2» του «παραρτήματος Γ». Το σφάλμα κατατάσσεται στην κατηγορία A, δηλαδή το σφάλμα απορρίπτεται ανεξαρτήτως του μήκους του.

Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο συγκολλήσεων με τη βοήθεια ψηφιακού ανιχνευτή σφαλμάτων

7 Συμπεράσματα

Από το περιεχόμενο των παραπάνω κεφαλαίων και από την εκπόνηση του πειράματος μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί ότι για την επιτυχία της διεξαγωγής ενός ΜΚΕ με την μέθοδο των υπερήχων θα πρέπει:

- Πριν τη διεξαγωγή του ελέγχου να έχει προηγηθεί ένας έλεγχος καλής λειτουργίας, ώστε η απόδοση του εξοπλισμού να είναι στο 100% των προδιαγραφών.
- Η διαδικασία συγκόλλησης που ακολουθήθηκε να είναι γνωστή στον επιθεωρητή, ώστε βάσει και της εμπειρίας του, να είναι σε θέση να εκτιμήσει τα πιθανά σφάλματα τα οποία αναμένεται να εντοπιστούν.
- Κατά τη σάρωση της εξεταζόμενης επιφάνειας να γίνεται συνεχής και επισταμένη παρακολούθηση του σήματος και ο χειριστής να διαθέτει καλή παρατηρητικότητα (ώστε να μη προσπερνάται κανένα σήμα).
- Ο χρήστης της μεθόδου να διαθέτει, όσο το δυνατόν ακριβέστερο σκαρίφημα του εξεταζόμενου δοκιμίου, ώστε να γίνεται ορθή τοποθέτηση της εκτιμώμενης ατέλειας κατά τον εντοπισμό της. Το καλό σκαρίφημα μπορεί να βοηθήσει και στην εκτίμηση ενός σήματος κατά τον εντοπισμό του, ώστε να καθοριστεί αν αυτό είναι πραγματική ένδειξη σφάλματος ή ψευδής.
- Ο χρήστης της μεθόδου να διαθέτει σημαντική εμπειρία ανάλυσης και εκτίμησης των λαμβανόμενων σημάτων, καθώς αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από ατέλειες είτε από δευτερογενείς παράγοντες (π.χ. γεωμετρία εξεταζόμενου δοκιμίου, συμβολή κυμάτων, μετατροπή εγκάρσιων σε διαμήκη κύματα – απατηλές ενδείξεις, κλπ).

Στη παρούσα εργασία έγινε χρήση της συμβατικής μεθόδου απεικόνισης με υπερήχους (A-Scan) σε δοκίμια συγκολλήσεων. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου έχουν μεγάλη ακρίβεια και ικανή να παρέχει έγκυρες πληροφορίες. Ωστόσο, ταυτόχρονη χρήση της μεθόδου απεικόνισης με συστοιχία φάσης (phased array), θα μείωνε το χρόνο εξέτασης και θα παρείχε καλύτερη απεικόνιση και ερμηνεία σφάλματος. Η χρήση της μεθόδου phased array μπορεί να είναι ευκολότερη για την εξέταση περίπλοκων γεωμετριών, όμως προϋποθέτει και την ύπαρξη της μεθόδου A – Scan, ώστε να εντοπίζεται το βάθος της ατέλειας. Για τους παραπάνω λόγους, χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία η τεχνική A – Scan και τα αποτελέσματα των ενδείξεων που προέκυψαν έχουν πολύ καλή συμφωνία με τις υπάρχουσες ατέλειες στο εσωτερικό των δοκιμίων του εργαστηρίου.

Κεφάλαιο 7 – Συμπεράσματα

Σε αυτό το σημείο θα να αναφερθούν επιγραμματικά θέματα που χρήζουν περαιτέρω έρευνας:

- Μη Καταστροφικός Έλεγχος υπερήχων με την μέθοδο phased array
- Μη Καταστροφικός Έλεγχος υπερήχων σε δοκίμια διαφορετικού γεωμετρικού σχήματος π.χ. κυλινδρικά δοκίμια, σωληνοειδής δοκίμια
- Εφαρμογή τεχνικών ποιοτικής διαστασιολόγησης DAC ή DGS
- Ανάπτυξη υπολογιστικού κώδικα για την προσομοίωση της μεθόδου υπερήχων σε διάφορα υλικά και σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά των πειραματικών μετρήσεων.

Βιβλιογραφία

- ❖ Applied Test Systems–Inc, «*Ultrasonic reference blocks*», Brochure, Butler U.S.A.
- ❖ Auld B. A., «*Acoustic Fields and Waves in Solids*», Vol.2, 2nd ed. Krieger Publishing Company, (1990)
- ❖ Berke M. & Hoppenkamps U., «*Testing materials ultrasonically*», Level 2, Krautkramer training system, 3rd edition, Cologne Germany (1986)
- ❖ Berke M. & Kleinert W., «*Testing materials ultrasonically*», Level 1, Krautkramer training system, 1st edition, Cologne Germany (1983)
- ❖ Berke M., «*Nondestructive material testing with ultrasonics*», Introduction to the basic principles, Vol.5/No.9, Krautkramer, Cologne Germany (2000)
- ❖ Correia C., «*Ultrasonic calibration details*», Paper, Institute of Engineering–Materials Technology Center, Caracas Venezuela (2008)
- ❖ Hellier Charles J., «*Handbook of nondestructive evaluation*», McGraw–Hill, USA (2003)
- ❖ Johannes Büchler & Michael Berke, «*Applications in ultrasonic testing using improved signal processing methods*», Vol.7/No.10, 8th ECNDT Proceedings, Barcelona Spain (2002)
- ❖ Lavender J. D., «*Ultrasonic testing of steel castings*», Steel Founders' Society of America, Ohio U.S.A. (1976)
- ❖ Olympus–NDT & Panametrics–NDT, «*Ultrasonic transducers for nondestructive testing*», Brochure, Envirocoustics Athens Greece.
- ❖ Olympus–NDT, «*Epoch 1000 series*», User' s manual, 2nd ed. Waltham USA (2011)
- ❖ Panametrics–NDT, «*GageView Pro Interface Program*», Instruction manual, USA (2005)
- ❖ PH Tool Reference Standards, «*Reference standards calibration blocks*», Brochure, Telford U.S.A.
- ❖ Ruane & T. P. O' Neil, «*Ultrasonic Inspection*», Issue:5, U.K. (2005)
- ❖ Suresh K. R. & Senthil Murugan P., «*Use of DGS Scale in Ultrasonic Testing Method, to Ensure Weld Soundness of Rotating Parts*», National seminar on NDE, Trichy India (2009)

Βιβλιογραφία

- ❖ Βλάχος Δ. Ι., «Υπέρηχοι», Σεμινάριο: Μη Καταστροφικών Δοκιμών (Τ.Ε.Ε.), Αθήνα (1980)
- ❖ Γεωργιάδου Α. Ν., «Έλεγχος των συγκολλήσεων με υπερήχους», (Ε.Μ.Π.) Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα (1993)
- ❖ ΚΕΚ ΙΒΕΠΕ, «Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές - Επιθεώρηση Συγκολλήσεων», Αθήνα
- ❖ Κουτσούκος Ε., «Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές - Βασική Μεταλλουργία», Μετάφραση σημειώσεων της Ruane & T. P. O'Neill
- ❖ Κουτσούκος Ε., «Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές - Επιθεώρηση με τη μέθοδο των υπερήχων», Μετάφραση σημειώσεων της Ruane & T. P. O'Neill
- ❖ Κωτούζας Μ.Κ., «Μη καταστρεπτικές δοκιμές ταξινόμηση ασυνεχειών», Σημειώσεις θεωρίας, Κέντρο τεχνολογίας και ποιοτικού ελέγχου, Βόλος (2000)
- ❖ Κωτούζας Μ.Κ., «Τεχνολογία διεργασιών», Σημειώσεις θεωρίας, Κέντρο τεχνολογίας και ποιοτικού ελέγχου, Βόλος (2004)
- ❖ Κωτούζας Μ.Κ., «Υπέρηχοι/Ultrasonic testing», Σημειώσεις θεωρίας, Κέντρο τεχνολογίας και ποιοτικού ελέγχου, Βόλος (2000)
- ❖ Λάμπρου Θ. Π., «Σχεδίαση και κατασκευή συστήματος μέτρησης απόστασης με χρήση υπερήχων», (Ε.Μ.Π.) Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Επιβλέπων: Αβαριτσιώτης Ι., Αθήνα (2004)
- ❖ Πρασιανάκης Ι. Ν., «Μη καταστροφικός έλεγχος των υλικών η μέθοδος των υπερήχων», Αθήνα (1993)
- ❖ Τζιάρας Β. & Χατζηνικολάου Ι., «Μη καταστροφικός έλεγχος με τη χρήση μη γραμμικών ακουστικών τεχνικών», (Α.Π.Θ) Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Επιβλέπων: Τροχίδης Αθανάσιος, Θεσσαλονίκη (2011)

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις/Πηγές

- ❖ <http://www.huatecgroup.com/china-ultrasonic-test-block-calibration-blocks-test-blocks-ut-blocks-standard-test-blocks-8844.html>
- ❖ http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.htm
- ❖ http://www.ndt-ed.org/index_flash.htm
- ❖ <http://www.ndt.net/index.php>
- ❖ <http://www.olympus-ims.com/en/ut-flaw/epoch1000/>
- ❖ http://www.envirocoustics.gr/products/ultrasonic/ut_trans_gr.htm
- ❖ http://www.envirocoustics.gr/index_gr.htm
- ❖ <http://www.aws.org/itrends/2005/01/021/>
- ❖ http://www.ndtnews.org/On_The_Job/What_the_Hec?!/DGS.html
- ❖ <http://www.olympus-ims.com/en/ultrasonic-transducers/atlas/>
- ❖ <http://www.lmats.com.au/resource-centre/ndt-non-destructive-testing/ndt-ultrasonic-testing-utufdultutt.html>
- ❖ <http://www.olympus-ims.com/en/pdf-library/157-catId.268435497.html>
- ❖ http://www.sonaspection.com/sona_nde.html
- ❖ <http://www.sonaspection.com/>

Παραρτήματα

Λεξιλόγιο – Ορολογίες

Θεωρήθηκε αναγκαίο να δοθεί το παρακάτω λεξιλόγιο, διότι το αγγλικό λεξιλόγιο καλύπτει όλο το φάσμα των υπερήχων, καθώς σχεδόν όλα τα επίσημα έγγραφα (πρότυπα) και εγχειρίδια χρήσης εξοπλισμού έχουν αγγλική ορολογία. Σε πολλές των περιπτώσεων, η απόδοση των λέξεων και των εκφράσεων δεν είναι ακριβής για το λόγο ότι, η επιστήμη των υπερήχων απαιτεί συγκεκριμένη ορολογία.

Ακουστική αντίσταση = Acoustic impedance

Ανάκλαση = Reflection

Ανακλαστήρας = Reflector

Ανίχνευση σφαλμάτων/ατελειών σε υλικά = Ultrasonic Flaw Detection (UFD)

Ανακλαστήρας αναφοράς = Reference reflector

Ανθρακούχος χάλυβας = Carbon steel

Ανιχνευτής σφαλμάτων = Flaw detector

Αξιολόγηση ένδειξης = Indication rating

Απορρόφηση / Απώλεια = Damping

Απόκλιση δέσμης = Beam spread

Απόσβεση = Attenuation

Απότατη ζώνη = Far field

Αρχικός Παλμός = Initial Pulse (I.P.)

Ατέλεια / Σφάλμα = Defect

Ατελής τήξη = Lack of fusion

Βάθος ανακλαστήρα = Depth reflector

Βαθμονόμηση εύρους της χρονικής βάσης = Time base range calibration

Βηματική απόσταση = Skip distance

Βυθιζόμενου τόξου = Submerged Arc (SAW)

Γεννήτρια παλμών = Pulser

Γραμμικότητα της χρονικής βάσης = Time base linearity

Γραμμικότητας της ενίσχυσης = Amplifier linearity

Γωνία πρόσπτωσης = Angle incidence

Γωνιακές κεφαλές = Angle beam transducers

Δίδυμη κεφαλή = Dual element transducer (TR probe)

Διάγραμμα (Απόστασης-Ενίσχυσης-Μεγέθους) = Distance-Gain-Size scales (DGS)

Διάθλαση = Refraction

Διάρκεια παλμού = Pulse duration

Διαδρομή δέσμης = Sound path

Διακριτική ικανότητα = Resolution

Διακριτική ικανότητα = Resolution

Διαμήκη κύματα = Longitudinal / Compression waves

Δοκίμια βαθμονόμησης = Calibration blocks

Παράρτημα Α – Λεξιλόγιο-Ορολογίες

Εγγύς ζώνη = Near field	Ηλεκτροσκοριακή συγκόλληση = Electro slag (ESW)
Εγκάρσια κύματα = Shear waves	Ημιγωνία απόκλισης = Divergence angle
Εγκλείσματα σκωρίας = Slag inclusions	Κάθετες κεφαλές = Straight beam probes
Εγχειρίδιο χρήσης = User' s manual	Καθοδικό σωλήνα ακτίνων = Cathode Ray Tube (CRT)
Ελάττωμα = Flaw	Καθυστερήση απεικόνισης = Delay control – Display delay
Έλεγχος γωνίας δέσμης κεφαλής = Probe angle check	Καθυστερήση κεφαλής = Probe delay – Zero offset
Έλεγχος διαρροής = Leak testing	Καμπύλη (Διόρθωσης-Απόστασης-Έντασης) = Distance-Amplitude-Correction curve (DAC)
Έλεγχος με διεισδυτικά υγρά = Dye penetrant inspection	Κεφαλές εμβάπτισης = Immersion transducers
Ελλιπής διείσδυση ρίζας = Incomplete root penetration	Κεφαλές πέλματος καθυστέρησης = Delay line transducers
Επίπεδο αναφοράς κέρδους = Reference gain level	Κεφαλές υψηλής συχνότητας = High frequency transducers
Επίπεδοι διαχωρισμοί ελασματοποίησης = Laminations	Κλιμακωτής πλάκας βαθμονόμησης = Step wedge
Επιφανειακά κύματα = Surface waves	Κρίσιμη γωνία = Critical angle
Επιφανειακή απόστασή = Surface distance	Κύματα πλακών = Plate waves
Ευαισθησία = Sensitivity	Λεπτή πλάκα = Wear plate
Εύρεση μεγέθους επίπεδης διαστρωμάτωσης = Lamination testing (ULT)	Λόγος σήματος / θόρυβο = Signal to Noise ratio
Εύρος / Απόκλιση δέσμης = Beam spread	Μέθοδος διάβασης/διέλευσης = Through transmission testing
Εύρος δοκιμής = Test Range (TR)	Μέθοδος ζεύγους κεφαλών = Pitch-Catch technique
Εύρος συχνοτήτων = Band width	
Ζώνη συμπίεσης = Compression zone	
Ζώνη υποπίεσης = Rarefied zone	
Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι = Electromagnetic testing	

Παράρτημα Α – Λεξιλόγιο-Ορολογίες

Μέθοδος ζεύγους κεφαλών = Technique Pitch-Catch	Περίβλημα / Κέλυφος = Case
Μέθοδος θερμικών εκπομπών = Thermal emission technique	Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο = Piezo-electric effect
Μέθοδος παλμού-ηχούς = Pulse-Echo technique	Πίσω –Ηχώ / Ηχώ οπίσθιας όψης = Back/Backwall-Echo (BW.E.)
Μέθοδος παλμούς-ηχούς = Technique Pulse-Echo	Πλάτος / Εύρος = Amplitude
Μέθοδος τόξου Βολφραμίου-αδρανούς αερίου = Tungsten Inert Gas (TIG)	Πλευρικές οπές = Side drilled holes
Μέθοδος τόξου μετάλλου-αδρανούς αερίου Metal Inert Gas (MIG) και μετάλλου-ενεργού αερίου Metal Active Gas (MAG)	Πορώδες = Porosity
Μήκος κύματος = Wavelength	Πρότυπα = Standards
Μεγάλο εύρος συχνοτήτων = Broad banded	Πύλη = Gate
Μεσοδιάστημα = Clock interval	Ραδιογραφικές μέθοδοι = Radiographic testing
Μετατροπή τύπου = Mode conversion	Ρυθμιστής κέρδους = Gain
Μη Καταστροφικός Έλεγχος (M.K.E.) = Non Destructive Testing (N.D.T.)	Ρωγμή = Crack
Μικροκυματικές μέθοδοι = Microwave inspection	Σημείου εξόδου δέσμης γωνιακής κεφαλής = Angle Beam Index Point (BIP)
Νεκρή ζώνη = Dead zone	Σκέδαση = Scatter
Οθόνη Καθοδικών Ακτίνων = Cathode Ray Tube (C.R.T.)	Σκανδάλη = Trigger / Timer
Ομοαξονικού καλωδίου = Coaxial cable	Στάθμη γρασιδιού = Grass level
Οπτικοί έλεγχοι = Visual inspection	Στάθμη πίσω-ηχούς = Back-wall echo level
Παράμετροι = Parameters	Συγκόλληση τόξου = Arc welding
Παχυμέτρηση αντικειμένων = Ultrasonic Thickness Testing (UTT)	Συγκόλληση άνευ τόξου = Non arc welding
	Συντελεστής κλίμακας = Scale factor
	Συστοιχία Φάσης με υπερήχους = Phased Array ultrasonics
	Συχνότητα Επαναλήψεως Παλμού = Pulse Repetition Frequency (P.R.F.)

Παράρτημα Α – Λεξιλόγιο-Ορολογίες

Τεχνική Μέγιστου Εύρους = Crack Tip
Diffraction

Υλικό σύζευξης = Couplant

Υλικό υποστήριξης / Αποσβεστήρας =
Backing material

Υπερηχητικές κεφαλές = Probes

Υπερηχητικός μεταλλάκτης/
μορφοτροπέας = Ultrasonic transducer

Υπομενού = Submenu

Ύψος οθόνης = Threshold

Ύψος σήματος από ανακλαστήρα
αναφοράς = Reference indication level

Ύψος σήματος από ασυνέχεια =
Discontinuity indication level

Χαρτογράφηση πάχους σωλήνων =
Corrosion mapping

Χειρωνακτική συγκόλληση ηλεκτρικού
τόξου = Manual Metal Arc (MMA)

Χρόνος μετάβασης = Transit time

Πρότυπα και Προδιαγραφές

Οι παρακάτω οργανισμοί εκδίδουν κάθε είδους πρότυπα και για κάθε εφαρμογή. Τα πρότυπα αυτά είναι ικανά να καλύψουν κάθε επιστημονικό πεδίο, όπως και το πεδίο των Μ.Κ.Ε. με τη μέθοδο υπερήχων.

Οι ηλεκτρονικές διευθύνσεις των οργανισμών παρατίθενται παρακάτω:

- ❖ **American Society for Testing and Materials (ASTM)**, *available at:*
<http://www.astm.org/>
- ❖ **The Society of Automotive Engineers (SAE)**, *available at:*
http://www.sae.org/servlets/techtrack?PROD_TYP=STD
- ❖ **ASME International**, *available at:* <https://www.asme.org/shop/standards>
- ❖ **The American Welding Society (AWS)**, *available at:* <http://www.aws.org/w/a/>
- ❖ **The International Organization for Standardization (ISO)**, *available at:*
<http://www.iso.org/iso/home.html>
- ❖ **The Air Transport Association (ATA)**, *available at:*
<http://www.airlines.org/Pages/Home.aspx>
- ❖ **The Aerospace Industries Association**, *available at:* <http://www.aia-aerospace.org/>
- ❖ **The American National Standards Institute (ANSI)**, *available at:*
<http://www.ansi.org/>
- ❖ **The American Society for Non Destructive Testing (ASNT)**, *available at:*
<https://www.asnt.org/Home>
- ❖ **The National Physical Laboratory (NPL)**, *available at:* <http://www.npl.co.uk/>
- ❖ **British Standards Institute (BSi)**, *available at:* <http://www.bsigroup.com/>
- ❖ **German Institute for Standardization (DIN)**, *available at:*
<http://www.din.de/cmd?level=tpl-home&contextid=din>

Πίνακες από το πρότυπο AWS D1.1:2000

Το πρότυπο AWS D1.1 με τίτλο “Structural Welding Code – Steel”, μας δίνει ακριβείς οδηγίες για τον έλεγχο μεταλλικών συγκολλήσεων.

Στον «πίνακα Table 6.2» παρατίθενται, τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης μιας μη κυλινδρικής συγκόλλησης με τη μέθοδο υπερήχων. Στο πίνακα αυτό δίνονται οι τιμές/όρια της μεταβλητής *d* σε dB (αξιολόγηση ένδειξης – indication rating), σύμφωνα με το πάχος της συγκόλλησης (πάχος λεπτότερης πλάκας συγκόλλησης) και τη γωνία ελέγχου της κεφαλής. Ανάλογα την τιμή *d* το σφάλμα κατατάσσεται σε μια κατηγορία (Class A,B,C,D) Στην κατηγορία A το σφάλμα απορρίπτεται, στην B και C απορρίπτονται μόνο όταν ξεπερνούν κάποιο συγκεκριμένο όριο μήκους ενώ στην κατηγορία D το σφάλμα είναι αποδεκτό.

**Table 6.2
Ultrasonic Acceptance-Rejection Criteria (Statically Loaded Nontubular Connections)
(see 6.13.1)**

Discontinuity Severity Class	Weld Thickness* in in. (mm) and Search Unit Angle													
	5/16 (8) through 3/4 (20)		3/4 (20) through 1-1/2 (38)			1-1/2 (38) through 2-1/2 (65)			2-1/2 (65) through 4 (100)			> 4 (100) through 8 (200)		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°			
Class A	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower			
Class B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1			
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3			
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up			

Notes:

- Class B and C discontinuities shall be separated by at least 2L, L being the length of the longer discontinuity, except that when two or more such discontinuities are not separated by at least 2L, but the combined length of discontinuities and their separation distance is equal to or less than the maximum allowable length under the provisions of Class B or C, the discontinuity shall be considered a single acceptable discontinuity.
- Class B and C discontinuities shall not begin at a distance less than 2L from weld ends carrying primary tensile stress, L being the discontinuity length.
- Discontinuities detected at “scanning level” in the root face area of complete joint penetration double groove weld joints shall be evaluated using an indicating rating 4 dB more sensitive than described in 6.26.6.5 when such welds are designated as “tension welds” on the drawing (subtract 4 dB from the indication rating “d”).
- Electroslag or electrogas welds: discontinuities detected at “scanning level” which exceed 2 in. (50 mm) in length shall be suspected as being piping porosity and shall be further evaluated with radiography.
- For indications that remain on the display as the search unit is moved, refer to 6.13.1.

*Weld thickness shall be defined as the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

Class A (large discontinuities)
Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

Class B (medium discontinuities)
Any indication in this category having a length greater than 3/4 inch (20 mm) shall be rejected.

Class C (small discontinuities)
Any indication in this category having a length greater than 2 inches (50 mm) shall be rejected.

Class D (minor discontinuities)
Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

Scanning Levels	
Sound path** in in. (mm)	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 (65 mm)	14
> 2-1/2 through 5 (65–125 mm)	19
> 5 through 10 (125–250 mm)	29
> 10 through 15 (250–380 mm)	39

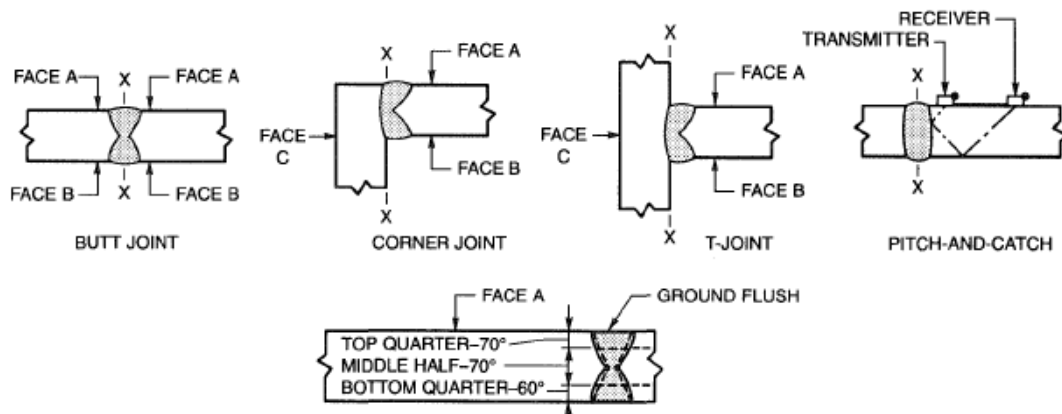
**This column refers to sound path distance; NOT material thickness.

Παράρτημα Γ – Πίνακες από το πρότυπο AWS D1.1:2000

Στον «πίνακα Table 6.6» παρατίθενται, η διαδικασία εξέτασης που πρέπει να ακολουθήσουμε, ο ορισμός των επιφανειών συγκόλλησης καθώς και η επιλογή της κατάλληλης γωνίας της κεφαλής. Όλα αυτά επιλέγονται σύμφωνα με τον τύπο συγκόλλησης και με το πάχος των πλακών συγκόλλησης.

Table 6.6
Testing Angle (see 6.26.5.2)

Procedure Chart																		
Material Thickness, in. (mm)																		
Weld Type	5/16 (8)		> 1-1/2 (38)		> 1-3/4 (45)		> 2-1/2 (60)		> 3-1/2 (90)		> 4-1/2 (110)		> 5 (130)		> 6-1/2 (160)		> 7 (180)	
	to		to		to		to		to		to		to		to		to	
1-1/2 (38)		1-3/4 (45)		2-1/2 (60)		3-1/2 (90)		4-1/2 (110)		5 (130)		6-1/2 (160)		7 (180)		8 (200)		
* * * * *																		
Butt	1	O	1	F	1G or 4	F	1G or 5	F	6 or 7	F	8 or 10	F	9 or 11	F	12 or 13	F	12	F
T-	1	O	1	F or XF	4	F or XF	5	F or XF	7	F or XF	10	F or XF	11	F or XF	13	F or XF	—	—
Corner	1	O	1	F or XF	1G or 4	F or XF	1G or 5	F or XF	6 or 7	F or XF	8 or 10	F or XF	9 or 11	F or XF	13 or 14	F or XF	—	—
Electrogas & Electroslag	1	O	1	O	1G or 4	1**	1G or 3	P1 or P3	6 or 7	P3	11 or 15	P3	11 or 15	P3	11 or 15	P3	11 or 15**	P3



Notes:

1. Where possible, all examinations shall be made from Face A and in Leg I, unless otherwise specified in this Table.
2. Root areas of single groove weld joints which have backing not requiring removal by contract, shall be tested in Leg I, where possible, with Face A being that opposite the backing. (Grinding of the weld face or testing from additional weld faces may be necessary to permit complete scanning of the weld root.)
3. Examination in Leg II or III shall be made only to satisfy provisions of this table or when necessary to test weld areas made inaccessible by an unground weld surface, or interference with other portions of the weldment, or to meet the requirements of 6.26.6.2.
4. A maximum of Leg III shall be used only where thickness or geometry prevents scanning of complete weld areas and heat affected zones in Leg I or Leg II.
5. On tension welds in cyclically loaded structures, the top quarter of thickness shall be tested with the final leg of sound progressing from Face B toward Face A, the bottom quarter of thickness shall be tested with the final leg of sound progressing from Face A toward Face B; i.e., the top quarter of thickness shall be tested either from Face A in Leg II or from Face B in Leg I at the contractor's option, unless otherwise specified in the contract documents.
6. The weld face indicated shall be ground flush before using procedure 1G, 6, 8, 9, 12, 14, or 15. Face A for both connected members shall be in the same plane.

Table 6.6 (Continued)

Legend:

X — Check from Face “C.”

G — Grind weld face flush.

O — Not required.

A Face — the face of the material from which the initial scanning is done (on T- and corner joints, follow above sketches).

B Face — opposite the “A” face (same plate).

C Face — the face opposite the weld on the connecting member or a T- or corner joint.

* — Required only where display reference height indication of discontinuity is noted at the weld metal-base metal interface while searching at scanning level with primary procedures selected from first column.

** — Use 15 in. (400 mm) or 20 in. (500 mm) screen distance calibration.

P — Pitch and catch shall be conducted for further discontinuity evaluation in only the middle half of the material thickness with only 45° or 70° transducers of equal specification, both facing the weld. (Transducers must be held in a fixture to control positioning—see sketch.) Amplitude calibration for pitch and catch is normally made by calibrating a single search unit. When switching to dual search units for pitch and catch inspection, there should be assurance that this calibration does not change as a result of instrument variables.

F — Weld metal-base metal interface indications shall be further evaluated with either 70°, 60°, or 45° transducer—whichever sound path is nearest to being perpendicular to the suspected fusion surface.

Procedure Legend

Area of Weld Thickness

No.	Top Quarter	Middle Half	Bottom Quarter
1	70°	70°	70°
2	60°	60°	60°
3	45°	45°	45°
4	60°	70°	70°
5	45°	70°	70°
6	70°G A	70°	60°
7	60° B	70°	60°
8	70°G A	60°	60°
9	70°G A	60°	45°
10	60° B	60°	60°
11	45° B	70°**	45°
12	70°G A	45°	70°G B
13	45° B	45°	45°
14	70°G A	45°	45°
15	70°G A	70°A B	70°G B

Παράρτημα Δ – Χαρακτηριστικά συσκευής Epoch 1000i

Χαρακτηριστικά συσκευής Epoch 1000i

General Specifications	
Overall Dimensions (W x H x D)	252 mm x 177 mm x 107 mm (9.92 in. x 6.97 in. x 4.2 in.)
Weight	3.67 kg (8.1 lb), including lithium-ion battery
Keypad	English, International, Japanese, Chinese
Languages	English, Spanish, French, German, Japanese, Chinese, Russian, Italian, Polish
Transducer Connections	BNC or Number 1 LEMO
Data Storage	Onboard up to 10,000 IDs with waveform, standard 4 GB compact flash card (removable)
Battery Type	Single lithium-ion rechargeable standard
Battery Life	8 hours (conventional UT mode); 7 hours (phased array mode)
Power Requirements	AC Mains: 100 VAC to 120 VAC, 200 VAC to 240 VAC, 50 Hz to 60 Hz
Standby Mode	Adjustable from 15 minutes to 120 minutes with 50% less battery consumption.
Display Type	Full VGA (640 x 480 pixels) Transflective Color LCD, 60 Hz update rate
Display Dimensions (W x H, Diag.)	132.5 mm x 99.4 mm, 165.1 mm (5.2 in. x 3.9 in., 6.5 in.)
Inputs/Outputs	
USB Ports	1 USB Client, 3 USB Host ports
RS-232	Yes
Video Output	VGA output standard
Analog Output	4 analog outputs, Selectable 1V/10V Full Scale, 4 mA max
Alarm Output	6 alarm outputs, 5V TTL, 10 mA
Trigger I/O	Trigger input 5V TTL; trigger output, 5 V TTL, 10 mA
Encoder Inputs	2-axis encoder line (quadrature)
Environmental Ratings	
IP Rating	Designed to meet requirements of IP66
Explosive Atmosphere	Tested to MIL-STD-810F, Method 511.4, Procedure 1. Atmosphere defined per NFPA 70, Article 500 as Class I, Division 2, Group D.
Shock Tested	IEC 600689-2-27, 60 g's, 6 µsec Half-Sine, 18 Axes total
Vibration Tested	Sine vibration, IEC 60068-2-6, 5 Hz to 150 Hz @ 0.03 in. or 2 g's Displacement Amplitude, 20 sweep cycles
Operating Temperature	-10 °C to 50 °C (-14 °F to 122 °F)
Battery Storage Temperature	-20 °C to 60 °C (-4 °F to 140 °F)
Battery Recharge Temperature	0 °C to 40 °C (32 °F to 104 °F)

Παράρτημα Δ – Χαρακτηριστικά συσκευής Epoch 1000i

EPOCH 1000 Series Conventional/Phased Array Specifications*

	EPOCH® 1000, EPOCH 1000iR, EPOCH 1000i (conventional UT mode)	EPOCH 1000i (PA mode)
Pulser		
Pulser Type	Tunable Square Wave	
PRF	5 Hz to 6,000 Hz in 5 Hz increments	Manually adjustable. Maximum 1,520 Hz
Energy Settings	50 V to 475 V in 25 V increments	40 V or 80 V
Pulse Width	Adjustable from 25 ns to 5,000 ns (0.1 MHz) with PerfectSquare™ Technology	Adjustable from 40 ns to 1,000 ns with PerfectSquare™ Technology
Damping	50 Ω, 100 Ω, 200 Ω, 400 Ω	Not applicable
Pulser Delay	Not applicable	0 to 10 μs, 2.5 ns resolution
Receiver		
Gain	0 to 110 dB	0 to 80 dB
Maximum Input Signal	20 Vp-p	250 mVp-p per channel
Receiver Input Impedance	400 Ω ± 5%	50 Ω ± 10%
Receiver Bandwidth	0.2 MHz to 26.5 MHz @ -3 dB	0.5 MHz to 12.5 MHz @ -3 dB
Receiver Delay	NA	0 μs to 10 μs, 2.5 ns resolution
Digital Filter Settings	Standard filter set (EN12668-1 Test & Compliant): 7 filters Advanced filter set (not tested to EN12668-1): 30 filters	6 filters
Rectification	Full wave, positive half wave, negative half wave, RF	
Reject	0 to 80% FSH with visual warning	
Amplitude Measurement	0% to 110% full-screen height with 0.25% resolution	
Measurement Rate	Equivalent to PRF in all modes	
Calibration		
Automated Calibration	<ul style="list-style-type: none"> • Velocity, Zero Offset • Straight Beam (first back wall or echo-to-echo) • Angle Beam (Soundpath or Depth) 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocity, Zero Offset, Sensitivity • Soundpath or Depth (Zero Offset)
Test Modes	Pulse Echo, Dual, or Through Transmission	Pulse Echo
Units	Millimeters, inches, or microseconds	
Range	3.60 mm to 26,808 mm (0.143 in. to 1055 in.) Longitudinal velocity in steel	31 focal laws, 2.58 mm to 37.5 mm (0.101 in. to 14.76 in.) Longitudinal velocity in steel
Velocity	635 to 15, 240 m/s (0.0250 to 0.6000 in./μs)	
Zero Offset	0 μs to 750 μs	Not applicable
Display Delay	-59 mm to 25,400 mm (-2.323 in. to 1000 in.)	0 to max range
Refracted Angle	0° to 85° in 0.1° increments	61 angular focal laws, 0.5°, 1.0, 1.5°, or 2.0° increments Adjustable from -80° to +80°
Gates		
Measurement Gates	Two fully independent gates for amplitude and time-of-flight measurements	
Measurement Mode	Soundpath	Soundpath, Depth
Interface Gate	Optional, with Gate 1 and Gate 2 tracking	Not applicable
Gate Start	Variable over entire displayed range	
Gate Width	Variable from gate start to end of displayed range	
Gate Height	Variable from 2% to 95% full-screen height	
Alarms	<ul style="list-style-type: none"> • Positive and negative threshold • Minimum depth 	<ul style="list-style-type: none"> • Positive and negative threshold (for selected focal law) • Minimum depth (for selected focal law)
Reference Cursors	Two reference cursors for A-scans	Two reference cursors for A-scans; four reference cursors for images
Measurements		
Displayed Measurement	Six locations available (manual or auto selection)	
Gate 1	Thickness, soundpath, projection, depth, amplitude, time-of-flight, min./max. depth, min./max. amplitude	
Gate 2	Same as Gate 1	
IF Gate (optional)	Thickness	Not applicable
Echo-to-Echo	Standard. Choose between Gate2-1, Gate2-IF, and Gate1-IF	Standard
Other Measurements	Overshoot (dB) value for DGS/AVG, ERS (equivalent reflector size) for DGS/AVG, AWS D1.1/D1.5 rating (D), reject value DAC/TVG Standard	
DAC Points	Up to 50 points, 110 dB dynamic range	Up to 20 points, 40 dB dynamic
Special DAC Modes	20% to 80% DAC, Custom DAC (up to 6 curves)	Not applicable
TVG Table	Up to 50 points, 110 dB dynamic range, compatible with IF Gate at all PRF settings	Up to 20 points, 40 dB dynamic
Curved Surface Correction	Standard. Tube or bar OD correction for angle beam measurements	

Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών

Χαρακτηριστικά και DGS-Diagrams κεφαλών

Data sheet parameters

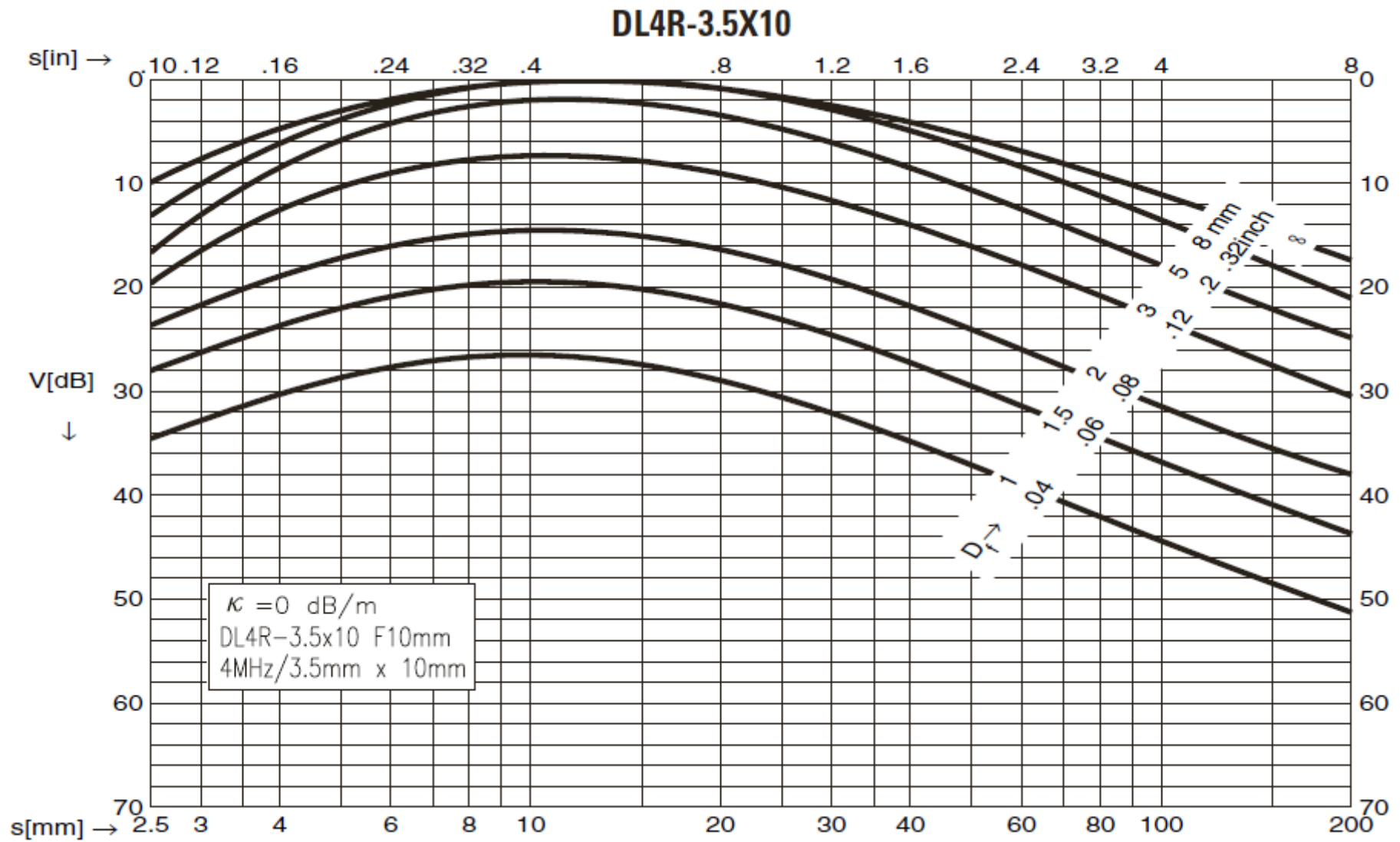
	Symbols	unit	
1	f_c	MHz	Frequency
2	%BW	%	%BW
3	Z	ohm	Electrical impedance at nominal frequency
4	Φ	Degree	Phase angle of electrical impedance at nominal frequency
5	N	mm	Near field
6	W_{a6}	mm	Focal width in horizontal dimension
7	W_{b6}^+ / W_{b6}^-	mm	(Upper / Lower) Focal width in vertical dimension
8	a	mm	Actual length of the crystal in horizontal dimension
9	a_{eff}	mm	Effective length of the crystal in horizontal dimension
10	b	mm	Actual length of the crystal in vertical dimension
11	b_{eff}	mm	Effective length of the crystal in vertical dimension
12	α_v	Degree	Incident angle
13	α	Degree	Refraction angle
14	$\Delta\alpha/\Delta T$	Degree/10°C	The change of refraction angle with the temperature
15	l_v	mm	Delay path
16	δ	Degree	Squint angle
17	e	mm	Offset
18	γ_{a6}	Degree	Half divergence angle in horizontal dimension
19	$\gamma_{b6}^+ / \gamma_{b6}^-$	Degree	(Upper / Lower) Half divergence angle in vertical dimension
20	T_r	°C	Temperature operation range

DGS curve parameters

21	x	mm	Probe index
22	a'	mm	Distance from the front of the probe to the project position of the reflector in to horizontal axis
23	s_v	mm	Steel equivalent of delay path length (l_v)
24	s	mm	Steel path length
25	s_A	mm	Total sonic path length (include steel path length and steel equivalent of delay path length)
28	κ	dB/m	Attenuation
31	ΔVK_1	dB	Shows how many dB the echo from a radius target of reference block K1(r=100mm) is higher (+) or lower (-) than the echo from a back wall
32	ΔVK_2	dB	Shows how many dB the echo from a radius target of reference block K2(r=25mm) is higher (+) or lower (-) than the echo from a back wall

*Reference standards: ASTM E1065-99, DIN 25 450 Sept. 1990, DIN 54 127 Part 1- Jan. 1989, prEN 12668-2 April 1998

Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών



Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών

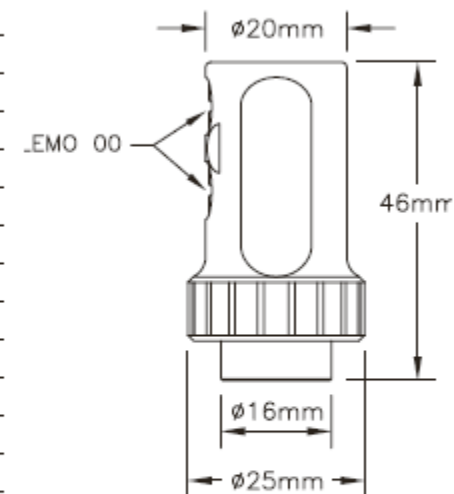
PARAMETER parameter/paramètre	NOMINAL nennwert/nominal	UPPER (+) ober bereich/supérieure	LOWER (-) unterer bereich/inférieure	UNIT meßeinheit/unité
f_c^1, f_0^2	4.0	4.4	3.6	MHz
$BW^1, \Delta f_{rel}^2$	45	60	30	%
F	10	12	8	mm
W_{a6}	3.5	4.2	2.8	mm
W_{b6}	2.2	2.7	1.7	mm
a	10.0	10.0	9.9	mm
b	3.5	3.5	3.4	mm
T_r	-20/60	n/a	n/a	°C
C_r	46	50	42	dB
Z_t	215	265	165	W
ϕ_t	-70	-50	-90	°
Z_r	120	150	90	W
ϕ_r	70	90	50	°
Waveform duration ¹ , Echo width ² , Echobreite ² , Largeur de l'écho ²				
-14dB	0.70	1.05	n/a	us
-20dB	0.96	1.44	n/a	us

1: ASTM E1065;

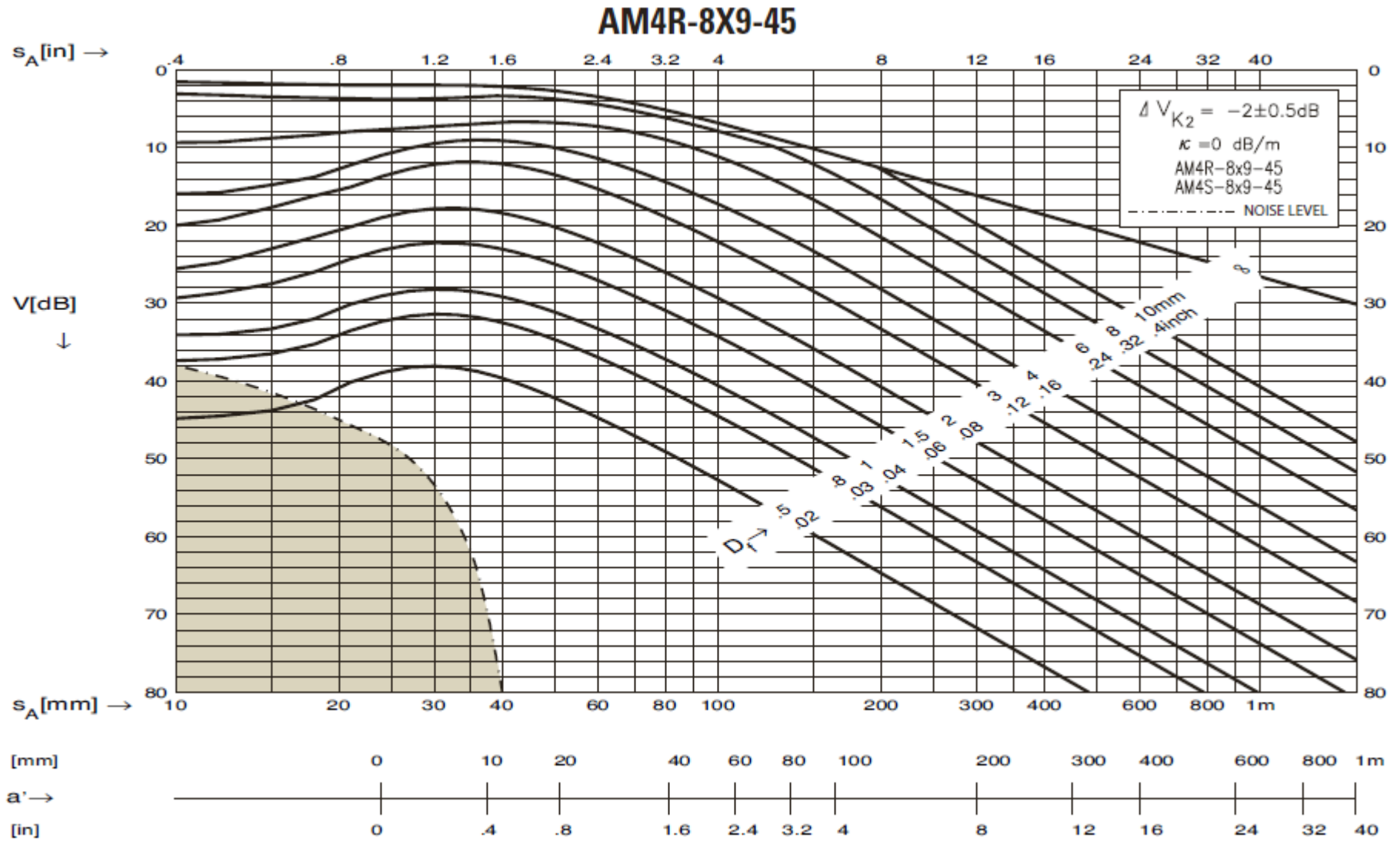
2: prEN 12668-2

3: EN 1330-4:2000

DL4R-3.5X10



Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών



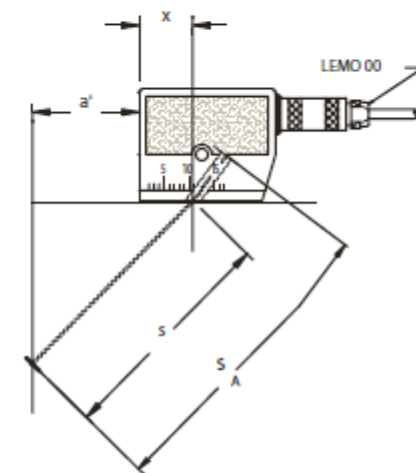
Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών

PARAMETER parameter/paramètre	NOMINAL nennwert/nominal	UPPER (+) ober bereich/supérieure	LOWER (-) unterer bereich/inférieure	UNIT meßeinheit/unité
f_c^1, f_0^2	4.0	4.4	3.6	MHz
$BW^1, \Delta f_{rel}^2$	40	55	25	%
Z	75	100	50	Ω
Φ	60	80	40	°
N	30	34.5	26.5	mm
W_{a6}	1.6	1.8	1.4	mm
W_{b6^+} / W_{b6^-}	1.7 / 1.7	1.9 / 1.9	1.5 / 1.5	mm
a	9.0	9.0	8.9	mm
a_{eff}	8.6	8.8	8.4	mm
b	8.0	8.0	7.9	mm
b_{eff}	7.6	7.8	7.4	mm
$\alpha_{(3255m/s)}$	45	47	43	°
$\Delta\alpha/\Delta T$	0.5	0.6	0.4	°/10°C
$lv_{(2743m/s)}$	7.0	8.0	6.0	mm
δ	0	+1	-1	°
e	0	+1	-1	mm
x	12	14	10	mm
γ_{a6}	2.3	2.8	1.8	°
γ_{b6}	5.9	6.9	4.9	°
$\gamma_{b6^+} / \gamma_{b6^-}$	3.0 / 2.9	3.5 / 3.4	2.5 / 2.4	°
M	2	n/a	n/a	mm
T_r	-20/+60	n/a	n/a	°C
Waveform duration ¹ , Echo width ² , Echobreite ² , Largeur de l'écho ² -20dB	1.0	1.5	n/a	us

1: ASTM E1065; 2: prEN 12668-2; 3: EN 1330-4:2000; 4: EN 583-2:2001

AM4R-8X9-45

AM4R HAS RIGHT LEMO CONNECTOR
AM4S HAS STRAIGHT LEMO CONNECTOR



$$s_V = 6.0 \pm 1 \text{ mm}$$

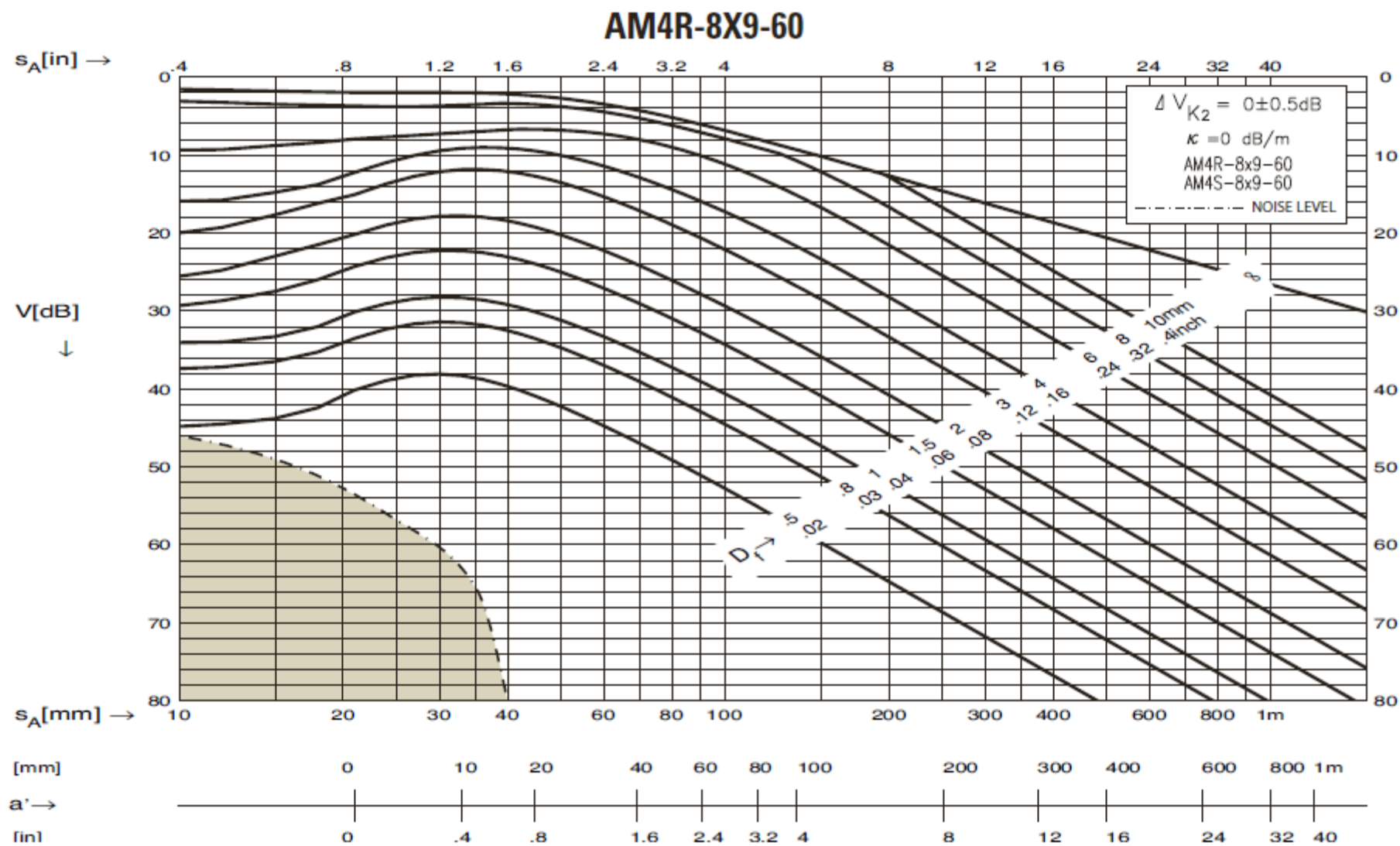
$$s = s_A - s_V$$

s_V is the sound field equivalent of delay path length (lv)

s_V entspricht im Schallfeld der Länge der Vorlaufstrecke lv

s_V est l'équivalent du champ acoustique de la longueur de la ligne de retard

Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών



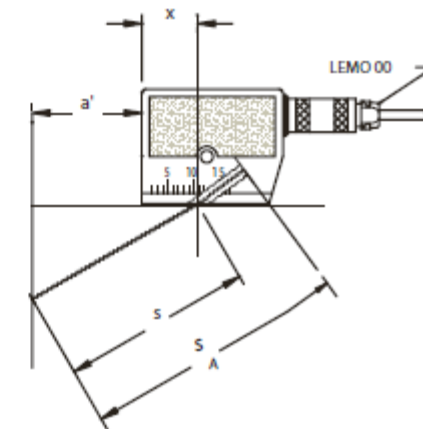
Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών

PARAMETER parameter/paramètre	NOMINAL nennwert/nominal	UPPER (+) ober bereich/supérieure	LOWER (-) unterer bereich/inférieure	UNIT meßeinheit/unité
f_c^1, f_0^2	4.0	4.4	3.6	MHz
BW^1, Δ_{frel}^2	40	55	25	%
Z	75	100	50	Ω
Φ	60	80	40	°
N	30	34.5	26.5	mm
Wa6	1.6	1.8	1.4	mm
W_{bs}^+ / W_{bs}^-	2.0 / 2.0	2.2 / 2.2	1.8 / 1.8	mm
a	9.0	9.0	8.9	mm
a_{eff}	8.6	8.8	8.4	mm
b	8.0	8.0	7.9	mm
b_{eff}	7.6	7.8	7.4	mm
$\alpha_{(325m/s)}$	60	62	58	°
$\Delta\alpha/\Delta T$	0.7	0.8	0.6	°/10°C
$lv_{(2743m/s)}$	7.0	8.0	6.0	mm
δ	0	+1	-1	°
e	0	+1	-1	mm
x	13	15	11	mm
γ_{a6}	2.3	2.8	1.8	°
γ_{b6}	7.1	8.1	6.1	°
$\gamma_{bs}^+ / \gamma_{bs}^-$	3.7 / 3.4	4.2 / 3.9	3.2 / 2.9	°
M	2	n/a	n/a	mm
T_r	-20/+60	n/a	n/a	°C
Waveform duration ¹ , Echo width ² , Echobreite ² , Largeur de l'echo ² -20dB	1.0	1.5	n/a	us

1: ASTM E1065; 2: prEN 12668-2; 3: EN 1330-4:2000; 4: EN 583-2:2001

AM4R-8X9-60

AM4R HAS RIGHT LEMO CONNECTOR
AM4S HAS STRAIGHT LEMO CONNECTOR



$$s_v = 6.0 \pm 1 \text{ mm}$$

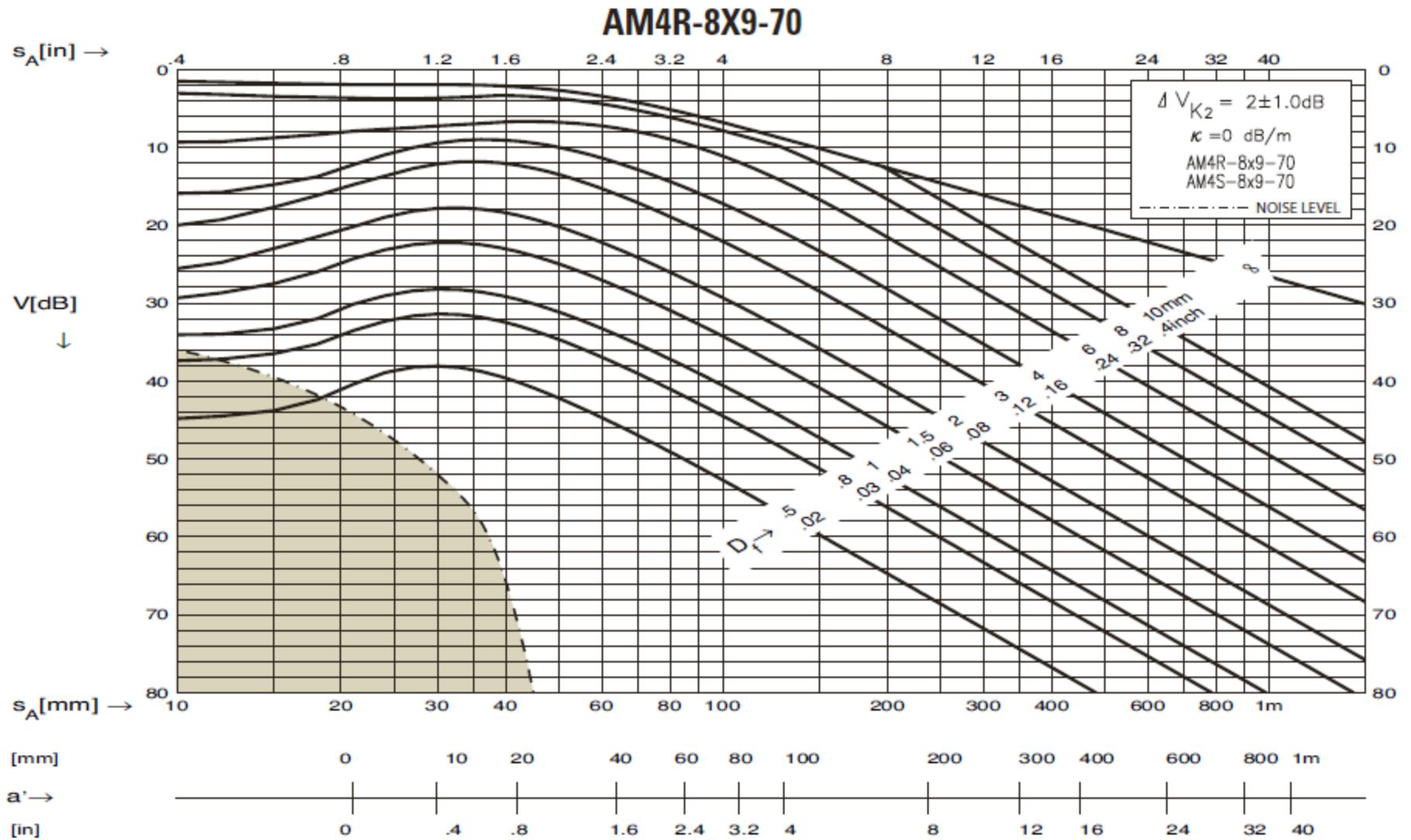
$$s = s_A - s_v$$

s_v is the sound field equivalent of delay path length (lv)

s_v entspricht im Schallfeld der Länge der Vorlaufstrecke lv

s_v est l'équivalent du champ acoustique de la longueur de la ligne de retard

Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών



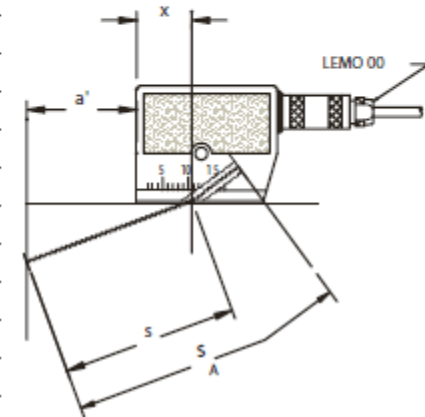
Παράρτημα E – Χαρακτηριστικά και DGS-diagrams κεφαλών

PARAMETER parameter/paramètre	NOMINAL nennwert/nominal	UPPER (+) ober bereich/supérieure	LOWER (-) unterer bereich/inférieure	UNIT meßeinheit/unité
f_c^1, f_0^2	4.0	4.4	3.6	MHz
BW1, Δf_{rel}^2	40	55	25	%
Z	75	100	50	Ω
Φ	60	80	40	°
N	30	34.5	26.5	mm
W_{a6}	1.6	1.8	1.4	mm
W_{b6+} / W_{b6-}	2.5 / 2.5	2.7 / 2.7	2.3 / 2.3	mm
a	9.0	9.0	8.9	mm
a_{eff}	8.6	8.8	8.4	mm
b	8.0	8.0	7.9	mm
b_{eff}	7.6	7.8	7.4	mm
$\alpha_{(3255m/s)}$	70	72	68	°
$\Delta\alpha/\Delta T$	0.8	0.9	0.7	°/10°C
$lv_{(2743m/s)}$	8.0	9.0	7.0	mm
δ	0	+1	-1	°
e	0	+1	-1	mm
x	13	15	11	mm
γ_{a6}	2.3	2.8	1.8	°
γ_{b6}	9.3	10.3	8.3	°
$\gamma_{b6+} / \gamma_{b6-}$	5.1 / 4.2	5.6 / 4.7	4.6 / 3.7	°
M	2	n/a	n/a	mm
T_r	-20/+60	n/a	n/a	°C
Waveform duration ¹ , Echo width ² , Echobreite ² , Largeur de l'écho ²				
-20dB	1.8	2.7	n/a	us

1: ASTM E1065; 2: prEN 12668-2; 3: EN 1330-4:2000; 4: EN 583-2:2001

AM4R-8X9-70

AM4R HAS RIGHT LEMO CONNECTOR
AM4S HAS STRAIGHT LEMO CONNECTOR



$$s_v = 7.0 \pm 1 \text{ mm}$$

$$s = s_A - s_v$$

s_v is the sound field equivalent of delay path length (lv)

s_v entspricht im Schallfeld der Länge der Vorlaufstrecke lv

s_v est l'équivalent du champ acoustique de la longueur de la ligne de retard