



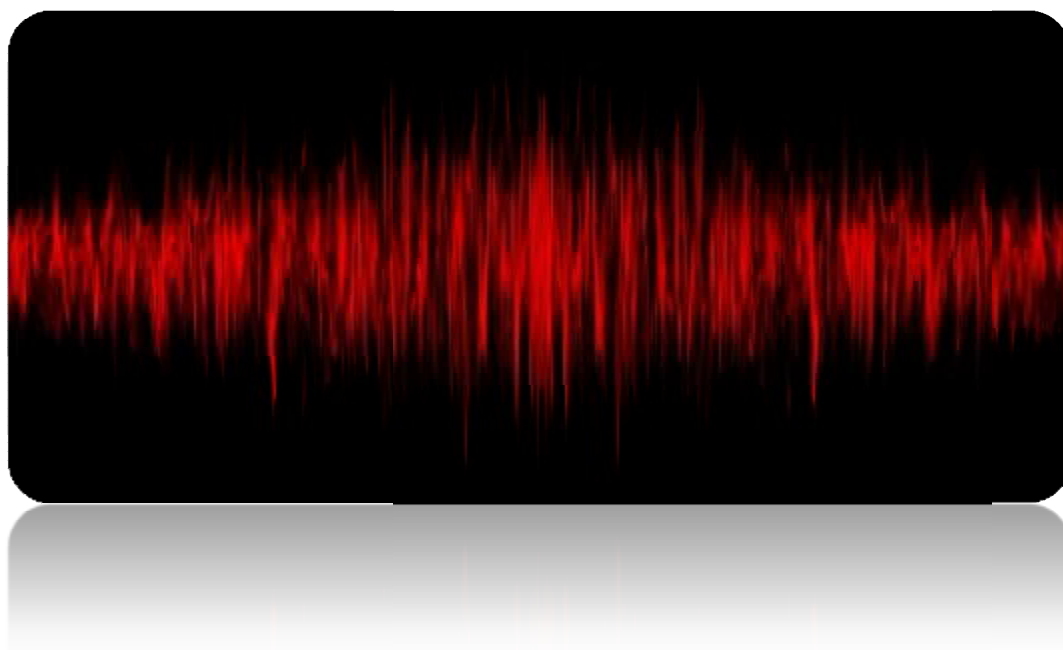
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΣΤΟ ΜΗ
ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**



ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΡΤΙΝΟΣ

Α.Μ: 3502

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘ/ΤΗΣ:

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	6
Περίληψη.....	7
Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 1 - Θεωρία των Υπερήχων.....	19
1.1 Ο Ήχος.....	19
1.2 Βασική αρχή δοκιμής με υπερήχους.....	21
1.3 Δέσμη των υπερήχων.....	23
1.3.1 Ανακλαστήρες.....	25
1.3.2 Πλευρικοί λοβοί.....	26
1.4 Ο παλμός των υπερήχων.....	27
1.5 Διαχωριστική ικανότητα.....	29
1.5.1 Συχνότητα επαναλήψεως παλμού.....	30
1.5.2 Ακουστική αντίσταση και ένταση του υπερήχου.....	31
Κεφάλαιο 2 - Μετάδοση των Υπερήχων.....	32
2.1 Γενικά.....	32
2.1.1 Διαμήκη ή Συμπιεστικά κύματα.....	32
2.1.2 Εγκάρσια ή Διατμητικά κύματα.....	33
2.1.3 Επιφανειακά κύματα ή κύματα Rayleigh.....	34
2.1.4 Κύματα πλακών ή κύματα lamb.....	35
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την μετάδοση των υπερήχων.....	36
2.3 Ανάκλαση – Διάθλαση – Νόμος του Snell.....	37
2.3.1 Κάθετη πρόσπτωση – Συντελεστής ανάκλασης.....	37
2.3.2 Πλάγια πρόσπτωση – νόμος του Snell.....	39
2.4 Κρίσιμες γωνίες.....	40
2.5 Σκέδαση – Περίθλαση – Συμβολή.....	42
2.6 Εξασθένιση.....	43

Κεφάλαιο 3 – Παραγωγή των Υπερήχων.....	46
3.1 Γενικά.....	46
3.2 Παραγωγή υπερήχων.....	46
3.2.1 EMATS.....	47
3.2.2 Μαγνητοσυστολή (Magnetostrictive elements).....	48
3.2.3 Laser.....	50
3.2.4 Πιεζοηλεκτρισμός.....	51
3.3 Πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος.....	53
3.3.1 Επιλογή πιεζοκρυστάλλου.....	54
3.4 Χαρακτηριστικά πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων.....	56
3.5 πόλωση κεραμικών κρυστάλλων.....	62
Κεφάλαιο 4 – Μετατροπείας, Μετρητικές διατάξεις και τεχνικές.....	64
4.1 Εισαγωγή.....	64
4.2 Κατασκευή και λειτουργία μετατροπέα.....	64
4.3 Χαρακτηριστικά του μετατροπέα.....	66
4.4 Πιεζοηλεκτρικές κεφαλές.....	70
4.4.1 κεφαλές καθέτου δέσμης ή κεφαλές 0°	71
4.4.2 Κεφαλές πλάγιας δέσμης.....	72
4.4.3 Εμβαπτιζόμενες κεφαλές ή κεφαλές βύθισης.....	73
4.4.4 Κεφαλές ειδικού τύπου.....	75
4.5 Επιλογή κεφαλής.....	78
4.6 Υλικά σύζευξης.....	80
Κεφάλαιο 5 – Υπερηχητική συσκευή και τρόπος λειτουργίας της.....	83
5.1 Αρχή λειτουργίας της Υπερηχητικής συσκευής.....	83
5.2 Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων με υπερήχους.....	84

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

5.3 Έλεγχοι του εξοπλισμού.....	88
5.4 Βαθμονόμηση της συσκευής.....	91
5.4.1 Δοκίμια βαθμονόμησης.....	92
5.4.2 Βαθμονόμηση κεφαλής 0°.....	96
5.4.3 -//- γωνιακής κεφαλής.....	98
5.4.4 -//- κεφαλής διπλού κρυστάλλου.....	99
5.5 ρύθμιση της ευαισθησίας των κεφαλών.....	101
5.6 Προσδιορισμός του μεγέθους ενός σφάλματος.....	103
5.7 Μέθοδοι Υπερηχητικού ελέγχου.....	106
5.7.1 Μέθοδος της διεύλευσης.....	107
5.7.2 -//- του συντονισμού.....	109
5.7.3 -//- της παλμοηγούς.....	111
5.8 Μέθοδοι απεικόνισης με τη μέθοδο της παλμοηγούς.....	117
5.8.1 Απεικόνιση εύρους A-Scan (Amplitude Scan).....	118
5.8.2 -//- αντίθεσης B-Scan (Brightness Scan).....	122
5.8.3 -//- αντίθεσης C-Scan (Contrast Scan).....	123
Κεφάλαιο 6 – Εφαρμογές των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών.....	125
6.1 Γενικά.....	125
6.2 Εύρεση των ελαστικών σταθερών E,G,v.....	125
6.3 Προσδιορισμός της σκληρότητας.....	127
6.4 Παχυμέτρηση.....	129
6.5 Εφαρμογή των υπερήχων σε ελάσματα.....	131
6.6 Υπερηχητικός έλεγχος των συγκολλήσεων.....	135
6.6.1.....	136
6.7.....	140

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Συμπεράσματα.....	141
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	142

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο: “**Η χρήση των υπερήχων στο Μη Καταστροφικό Έλεγχο των Υλικών**”, πραγματοποιήθηκε στο Τεχνολογικό εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πατρών, στη σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, στο τμήμα Μηχανολογίας. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η κατανόηση του αναγνώστη σχετικά με τη χρήση των υπερήχων και πως αυτοί χρησιμοποιούνται στην Μηχανολογία γενικότερα.

Θέλω να ευχαριστήσω κατ’ αρχήν τον καθηγητή μου Κο Στέφανο Τσινόπουλο για τις γνώσεις που μου παρείχε γύρω από αντικείμενο τις εργασίας. Επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου απέναντι στους γονείς μου και τον αδερφό μου που με στήριξαν και με στηρίζουν στην πορεία της ζωής μου και τέλος θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο υποστηρικτή και σύμβουλο μου Νίκο Κωτούλια ο οποίος πίστεψε σε εμένα και με βοήθησε να επιστρέψω στην πραγματικότητα και να πατήσω ξανά στα πόδια μου ώστε να συνεχίσω τη ζωή μου καθαρός πλέον.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρακάτω εργασία προσπαθεί να εξηγήσει όσο πιο αναλυτικά γίνεται, τι είναι οι υπέρηχοι, πώς χρησιμοποιούνται και σε τι εξυπηρετούν τον άνθρωπο στις κατασκευές, στα οδικά έργα και τη βιομηχανία γενικότερα και τι επιτυγχάνεται με τη χρήση τους. Ξεκινάμε την περιγραφή για το πώς ανακαλύφθηκαν στη συνέχεια περιγράφουμε στο πρώτο κεφάλαιο το οποίο είναι αρκετά σημαντικό και έχει άμεση σχέση με τους υπέρηχους και είναι οι μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου των υλικών. Εδώ αναφέρεται η χρησιμότητα του να ελεγχθεί μια κατασκευή, μια μηχανή ή ένα τμήμα της χωρίς να τεθεί σε κίνδυνο η λειτουργία της, χωρίς να προκληθούν ζημιές σε αυτή.

Στη συνέχεια προχωρώντας στα επόμενα κεφάλαια γίνεται περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών ενός υπέρηχου ώστε να κατανοήσουμε πώς παράγεται και πώς διαδίδεται. Περιγράφουμε χαρακτηριστικά στοιχεία του, όπως τις μορφές των κυμάτων με τα οποία γίνεται η διάδοση, πώς ανακλάται και πώς εξασθενεί. Η παραγωγή των υπέρηχων ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο πραγματοποιείται με διάφορες μεθόδους αλλά εμείς θα μείνουμε στο φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού διότι είναι η πιο εύχρηστη μέθοδος, η πιο διαδεδομένη και η πιο ασφαλή για την ανθρώπινη υγεία.

Πιο κάτω μπαίνουμε στο πρακτικό κομμάτι που είναι η υπερηχητική συσκευή που παράγει τους υπέρηχους, τα μέρη από τα οποία αποτελείται και η λειτουργία τους κάθε τμήματος ξεχωριστά. Περιγράφεται πιεζοηλεκτρική κεφαλή, τα μέρη από τα οποία αποτελείται και τα είδη των κεφαλών που χρησιμοποιούνται καθώς και σε τι εξυπηρετεί η επιλογή της μιας ή της άλλης

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

κεφαλής. Αφού εξηγήσουμε τα όλα τα μέρη της διάταξης. Προχωράμε και περιγράφουμε τις διάφορες μεθόδους ελέγχου που μπορούμε να πραγματοποιήσουμε με την υπερηχητική συσκευή και ποια είναι ή καταλληλότερη.

Τέλος κλείνοντας αναφέρουμε περιληπτικά στο που εφαρμόζεται η υπερηχητική μέθοδος και σε εξηγούμε με λίγα λόγια την κάθε περίπτωση ξεχωριστά, όπως είναι ή μέτρηση του πάχους ενός υλικού ή η εύρεση ατελειών σε μια συγκόλληση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναγκαιότητα ώστε να ελέγχονται οι κατασκευές ή σημαντικά στοιχεία αυτών ώστε να εντοπίζεται έγκαιρα η ύπαρξη ή η δημιουργία απρόβλεπτων ανωμαλιών ή περιοχών συγκέντρωσης τάσεων που να προκαλέσουν την αστοχία τους, αλλά και η αναγκαιότητα του να μπορούν να προσδιοριστούν οι μηχανικές ιδιότητες ορισμένων υλικών όσο αυτά βρίσκονται σε λειτουργία, οδήγησε στην ανάπτυξη των Μη Καταστροφικών Μεθόδων Ελέγχου (Μ.Κ.Ε.) των υλικών.

Οι μέθοδοι μη καταστροφικού έλεγχου των υλικών αναπτύχθηκαν μετά τον Β παγκόσμιο πόλεμο και ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, μετά την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και της ηλεκτρονικής και εφαρμόζονται ευρύτατα στον έλεγχο των υλικών, παράλληλα ή και σε αντικατάσταση των καταστροφικών μεθόδων (εφελκυσμός, κάμψη, στρέψη κτλ). Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι ΜΚΕ των υλικών οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε δυο κύριες κατηγορίες, στις βασικές μεθόδους που εφαρμόζονται ευρύτατα στον έλεγχο των υλικών και στις άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

Αυτή που χρησιμοποιείται ευρύτατα στον έλεγχο των υλικών είναι η **Μέθοδος των Υπερήχων**. Ο ήχος και τα ηχητικά κύματα είχαν χρησιμοποιηθεί από αρχαιοτάτων χρόνων στον έλεγχο υλικών και κατασκευών. Με την εξέλιξη όμως των επιστημών και ιδιαίτερα της ηλεκτρονικής αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι και κατασκευάστηκαν προηγμένης τεχνολογίας συσκευές, μέσω των οποίων γίνεται ο έλεγχος των υλικών με γρήγορο, οικονομικό και ασφαλή τρόπο. Στην περίπτωση αυτή,

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα εάν αντί για τα ηχητικά κύματα χρησιμοποιηθεί μια άλλη κατηγορία κυμάτων, τα όποια λόγω της συχνότητας τους ονομάζονται υπέρηχοι.

Ο υπερηχητικός έλεγχος των υλικών, είναι ένας ΜΚΕ, ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανίχνευση επιφανειακών ή εσωτερικών ατελειών των υλικών, για τον προσδιορισμό ορισμένων από τις μηχανικών ιδιοτήτων (σκληρότητα, μέτρο ελαστικότητας, λόγος Poisson, διάτμηση, αντοχή, κ.α), χωρίς να χρειάζεται η κατασκευή και η θραύση ειδικών δοκιμίων και τέλος για τη μέτρηση του πάχους των κατασκευών. Ειδικά η μέτρηση του πάχους είναι πολύ σημαντική, σε μεγάλες κατασκευές, που δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με μηχανικά μικρόμετρα ή παχύμετρα, όπως σε λέβητες, πλοία, σωλήνες, αντιδραστήρες. Επίσης με τη μέθοδο των υπερήχων ελέγχουμε τις συγκολλήσεις (προσδιορισμός της ποιότητας).

Η μέθοδος των υπερήχων εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τον Solokon το 1929 για την ανίχνευση ατελειών, ενώ το 1942 εφαρμόστηκε από τον Firestone για τον έλεγχο των υλικών. Η μέθοδος αυτή βρίσκει ιδιαίτερα μεγάλη εφαρμογή στις κατασκευές υψηλού κινδύνου, όπως είναι τα αεροπλάνα, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, οι δεξαμενές καυσίμων και χημικών ουσιών και σε πολλές άλλες κατασκευές. Παρουσιάζει επίσης μεγάλο ενδιαφέρον διότι είναι απλή, χρησιμοποιεί φορητές συσκευές (όχι υψηλού κόστους και βάρους), είναι ευαίσθητη, δεν επηρεάζει τις ιδιότητες των ελεγχόμενων υλικών και το σημαντικότερο είναι εντελώς ακίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου. Τέλος να επισημάνουμε ότι με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός ατελειών με μεγάλη ακρίβεια.

Ο μη καταστροφικός έλεγχος (Μ.Κ.Ε.) μεταφράζεται με την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εξέτασης, για τον έλεγχο υλικών ή συστημάτων, χωρίς να

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

αλλοιώνεται ή να επηρεάζεται η μελλοντική τους χρησιμότητα. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται δεν αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά των υλικών, ούτε επηρεάζουν τις φυσικές ή τις μηχανικές τους ιδιότητες και οι περισσότερες από αυτές είναι ακίνδυνες για τον άνθρωπο. Μπορούν να εφαρμοστούν και σε κατασκευές που βρίσκονται σε λειτουργία, γι' αυτό ο μη καταστροφικός έλεγχος έχει ιδιαίτερη αξία σε κατασκευές υψηλού κινδύνου (αεροπλάνα, πυρηνικοί αντιδραστήρες, δεξαμενές καυσίμων, πλοία). Με τη βοήθειά του, αποφασίζεται η ακεραιότητα υλικών, συστημάτων, και κατασκευών. Διάφοροι παράγοντες συνέβαλαν, ώστε να καθιερωθεί ως έλεγχος και να πάρει τη μορφή που έχει σήμερα.

Η χρήση του μη καταστροφικού ελέγχου στην ασφάλεια των κατασκευών είναι πάρα πολύ σημαντική. Σήμερα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, δεν περιορίζεται απλά στον εντοπισμό των ελαττωμάτων-βλαβών, αλλά δίνει και ποσοτικοποιημένες μετρήσεις. Μπορεί, δηλαδή, όχι μόνο να εντοπίσει τα ελαττώματα-βλάβες, αλλά και να μετρήσει το μέγεθος τους, να εντοπίσει τη θέση τους και να προσδιορίσει το σχήμα τους. Συνεπώς, με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων, μια αστοχία μπορεί να προβλεφθεί χωρίς να προκαλέσει καταστροφικά αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αποφευχθούν οι περιβαλλοντικές καταστροφές, οι απώλειες ζωών και να ελαχιστοποιηθεί το κόστος που μπορεί να επιφέρει μια αστοχία υλικού σε μια κατασκευή. Το κόστος αυτό αυξάνεται συνεχώς, καθώς οι κατασκευές είναι πολυπλοκότερες και αποτελούνται από περισσότερα υποσυστήματα. Η αστοχία ενός υποσυστήματος μπορεί να συμπαρασύρει και άλλα συστήματα, μεγαλύτερης ίσως αξίας, αλλά και ολόκληρη την κατασκευή. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι, για να αξιοποιηθούν οι υπηρεσίες του μη καταστροφικού ελέγχου, οι κατασκευές θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να ελεγχθούν.

Εφαρμογές Μη καταστροφικών Ελέγχων.

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 και διαστημοπλοίων, κινητήρες τζετ, πυράλους)
- στις κατασκευές (κτίρια, γέφυρες)
- στη βιομηχανία (μηχανικά εξαρτήματα, καλούπια, πρέσες)
- σε εγκαταστάσεις πετροχημικές, πυρηνικές, παραγωγής ρεύματος, ορυχεία (πιεστικά δοχεία, δεξαμενές, λέβητες, εναλλάκτες, τουρμπίνες, σωληνώσεις, συγκολλήσεις)
- στο σιδηρόδρομο (τραίνα, σιδηροτροχιές, τροχοί και άξονες)
- σε αγωγούς αερίου και πετρελαιοαγωγούς
- στην ιατρική τομογραφίες υπέρηχοι ακτινογραφίες, καρδιογραφήματα, εγκεφαλογραφήματα, κλπ.

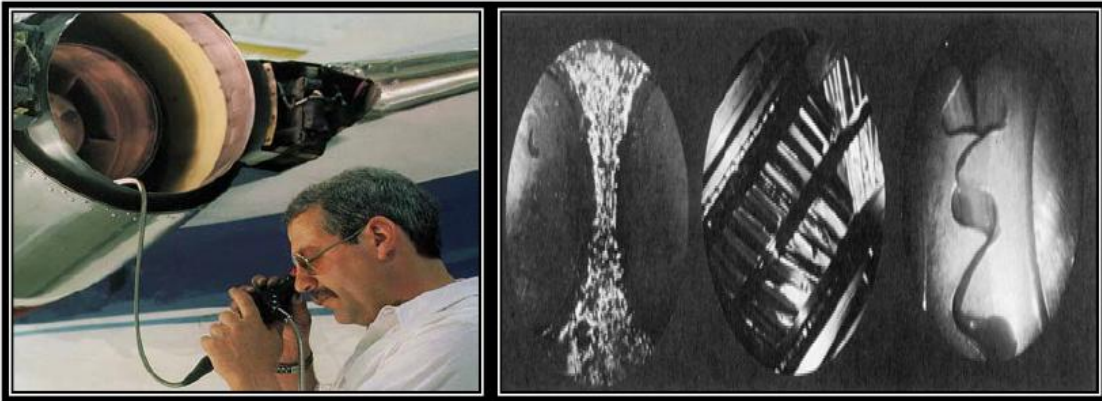
Μέθοδοι Μη καταστροφικών Ελέγχων.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου. Κάθε μέθοδος έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και εφαρμόζεται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Οι κυριότερες μέθοδοι είναι :

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικώνκαι Κατασκευών.

- Οπτική επιθεώρηση

Είναι μια μη καταστροφική μέθοδος η οποία παρέχει τα μέσα για τον έλεγχο επιφανειακών ατελειών – βλαβών, όπως είναι η διάβρωση, οι ρωγμές και άλλες επιφανειακές ασυνέχειες. Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στον εντοπισμό και την εξέταση επιφανειακών ρωγμών. Μπορεί να γίνει με γυμνό μάτι ή με τη χρήση οπτικού εξοπλισμού. Μεγάλη συνεισφορά σε αυτή τη μέθοδο έχει η χρήση εύκαμπτων και άκαμπτων ενδοσκοπίων. Τα ενδοσκόπια είναι συσκευές που χρησιμοποιούν σύστημα οπτικών ινών για να μεταφέρουν την εικόνα στο μάτι.



Σχήμα: Οπτική επιθεώρηση. [πηγή:6]

- Μέθοδος των διεισδυτικών υγρών

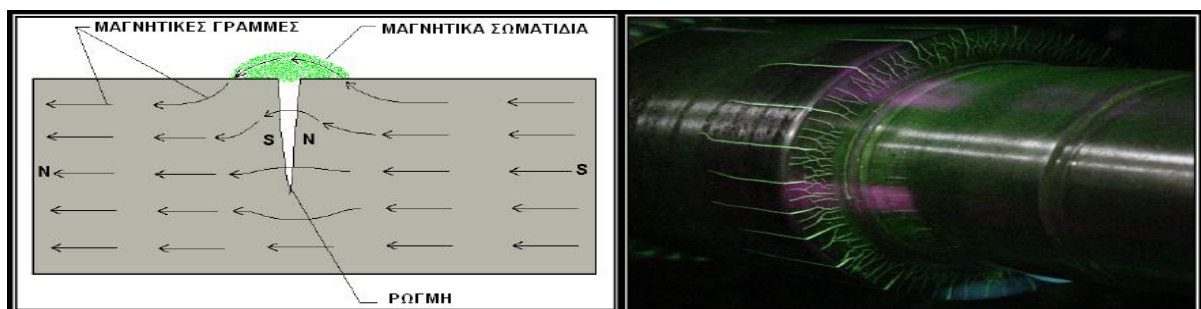
Στη μέθοδο αυτή η επιφάνεια που βρίσκεται υπό έλεγχο ψεκάζεται με υγρό διάλυμα το οποίο αφήνεται να εμποτίσει τις διάφορες ατέλειες που καταλήγουν στην επιφάνεια. Στη συνέχεια, η επιφάνεια ψεκάζεται με υγρό η στερεό εμφανιστή, με την ιδιότητα να εμφανίσει το διεισδυτικό υγρό που έχει εισχωρήσει στις ατέλειες. Η οπτική επιθεώρηση είναι το τελικό βήμα, ώστε να ολοκληρωθεί η εξέταση. Για καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται φθορίζοντα διεισδυτικά υγρά και η επιθεώρηση γίνεται σε υπεριώδες φως.



Σχήμα: Μέθοδος των διεισδυτικών υγρών. [πηγή 6]

- Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων

Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων είναι μια μη καταστροφική μέθοδος ανίχνευσης, εντοπισμού και κατά προσέγγιση προσδιορισμού επιφανειακών, ή κοντά στην επιφάνεια, ατελειών, σε υλικά που μπορούν να μαγνητιστούν (φερρομαγνητικά). Βασίζεται στο γεγονός ότι όταν ένα υλικό μαγνητίζεται, οι ασυνέχειες που υπάρχουν και βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του, προκαλούν την απόκλιση του μαγνητικού πεδίου. Στα σημεία που υπάρχει ασυνέχεια οι μαγνητικές γραμμές εξέρχονται από την επιφάνεια του υλικού. Η απόκλιση αυτή, και κατά συνέπεια η ύπαρξη της ασυνέχειας, γίνεται αντιληπτή με την εφαρμογή φερρομαγνητικών σωματιδίων είτε με τη μορφή σκόνης είτε ως σωματίδια μέσα σε υγρό φορέα (νερό, λάδι) πάνω στην επιφάνεια. Τα σωματίδια έλκονται, στα σημεία που παρουσιάζεται η απόκλιση, και δίνουν προσεγγιστικά το μέγεθος, τη θέση και το σχήμα της ασυνέχειας.

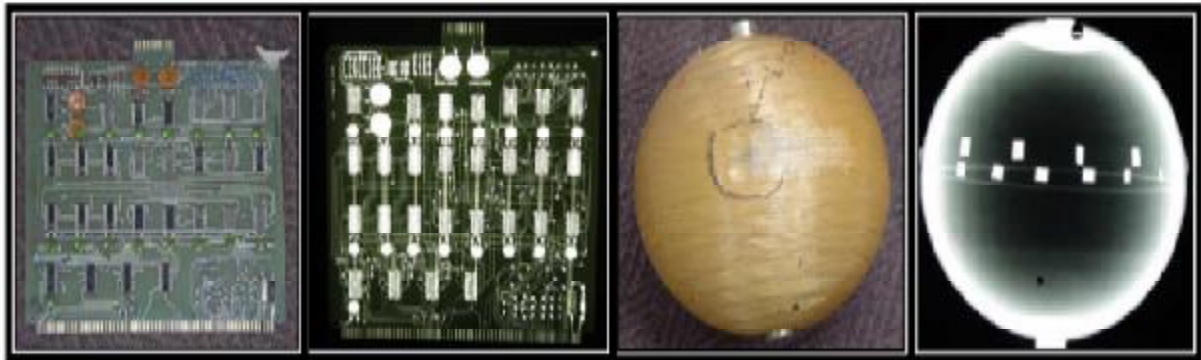


Σχήμα: Μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων. [πηγή:6]

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

- Ραδιογραφικές μέθοδοι

Με τον όρο αυτό περιγράφονται οι μέθοδοι εξέτασης υλικών που βασίζονται στην απορρόφηση ακτινοβολίας, είτε αυτή είναι ηλεκτρομαγνητική είτε είναι πυρηνική. Το υπό εξέταση υλικό τοποθετείται μεταξύ της πηγής ακτινοβολίας και του μέσου αποτύπωσης. Η ύπαρξη ατελειών, οι διαφορές στην πυκνότητα και στο πάχος δίνουν διαφορετικά χαρακτηριστικά απορρόφησης στο υλικό, το οποίο εξετάζεται. Οι διαφοροποιήσεις, στην εξερχόμενη από το υλικό ακτινοβολία, καταγράφονται σε ραδιογραφικό film ή άλλα μέσα. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να ανιχνευθούν ατέλειες (πχ ρωγμές) και να καθοριστεί το μέγεθος τους. Η θέση των ατελειών αυτών, όμως, δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς μέσα στον όγκο του υλικού. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται περισσότερες από μια λήψεις.



Σχήμα: Ραδιογραφική μέθοδος. [πηγή:6]

- Η μέθοδος των δινορευμάτων

Η μέθοδος των δινορευμάτων ή επαγωγικών ρευμάτων είναι μια μη καταστροφική μέθοδος ελέγχου μεταλλικών (ηλεκτρικά αγώγιμων) υλικών. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ιδιοτήτων και διαστάσεων των υλικών, καθώς και για τον εντοπισμό επιφανειακών ή κοντά στην επιφάνεια ατελειών.

Κατά τον έλεγχο με δινορεύματα, εναλλασσόμενο ρεύμα επιλεγμένης συχνότητας εφαρμόζεται σε ένα πηνίο. Το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

παράγει μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο στο πηνίο. Έτσι, όταν το πηνίο έρθει σε επαφή με το αγωγίμο εξάρτημα, το μαγνητικό του πεδίο διαπερνά το υλικό και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ίδιας συχνότητας μέσα στο εξάρτημα, προκαλώντας ροή δινορευμάτων σε αυτό. Η ροή αυτή των δινορευμάτων στο εξάρτημα παράγει το δικό της μαγνητικό πεδίο, το οποίο επηρεάζει με τη σειρά του το αρχικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του πηνίου. Το επακόλουθο μαγνητικό πεδίο αποτελεί την πηγή πληροφοριών που αναλύεται ηλεκτρονικά για να δώσει το ζητούμενο αποτέλεσμα. Μια ασυνέχεια στο υλικό διαταράσσει τη συνεχή ροή των δινορευμάτων και το σχετικό μαγνητικό πεδίο. Αυτή η διαταραχή αναλύεται ηλεκτρονικά και αποτυπώνεται στο μετρητή του οργάνου ή στην καθοδική λυχνία. Η επιφάνεια που πρόκειται να ελεγχθεί πρέπει να είναι προσβάσιμη από τον αισθητήρα-κεφαλή.



Σχήμα: Μέθοδος των δινορευμάτων. [πηγή:6]

- Η ακουστική εκπομπή

Πρόκειται για μια Μη-καταστροφική μέθοδο ελέγχου κατασκευών υψηλού κινδύνου, όπως μεταλλικές κατασκευές, αεροσκάφη, δεξαμενές εύφλεκτων υγρών, πυρηνικοί αντιδραστήρες κλπ. Η σημασία λοιπόν της μεθόδου αυτής είναι πολύ μεγάλη.

Η τεχνική αυτή βασίζεται στο ότι όλα τα υλικά και ιδιαίτερα τα μέταλλα και τα κράματα τους, εκπέμπουν ήχο όταν συμβαίνει κάποια μεταβολή στο εσωτερικό τους. Έτσι, για να ελέγξουμε ένα υλικό με την μέθοδο της ακουστικής εκπομπής, το υποβάλλουμε είτε σε πίεση είτε σε άλλου είδους κόπωση και με

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

ειδικά αισθητήρια (κυρίως πιεζοηλεκτρικές κεφαλές) εντοπίζουμε τα ηχητικά κύματα. Μάλιστα, έχει διαπιστωθεί ότι οι ηχητικές πηγές προέρχονται κυρίως από «αδύναμες» περιοχές, που είναι ευκολότερο να αστοχήσουν ή που περιέχουν κάποια ρωγμή ή ατέλεια. Εντοπίζονται λοιπόν τα πιο επικίνδυνα σημεία μιας κατασκευής, που στην συνέχεια μπορούν να εξεταστούν και με άλλες μεθόδους ΜΚΕ, για να καταλήξουμε σε ένα ασφαλέστερο συμπέρασμα.

Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα της ακουστικής μεθόδου είναι πως μας παρέχει την δυνατότητα να παρακολουθούμε ένα υλικό σε βάθος χρόνου, κάτι που δεν είναι εύκολο να γίνει με τις υπόλοιπες μη-καταστροφικές μεθόδους.



Σχήμα: Μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων. [πηγή:2]

- Η μέθοδος των υπερήχων

Πρόκειται ίσως για την δημοφιλέστερη μέθοδο Μη-καταστροφικού ελέγχου υλικών, που βασίζεται στους νόμους της διάδοσης των υπερηχητικών κυμάτων. Και αυτό διότι πρόκειται για μέθοδο που είναι απλή, εύκολα εφαρμόσιμη με την χρήση φορητών και λιγότερο ακριβών συσκευών ελέγχου, ενώ είναι απόλυτα ασφαλής και ακίνδυνη για τον άνθρωπο.

Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ορισμένων από τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών (μέτρο ελαστικότητας E , λόγος του Poisson ν , μέτρο διάτμησης G , αντοχή σ , κ.ά.), χωρίς να απαιτείται η κατασκευή και η θραύση ειδικών

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

δοκιμιών, ενώ ακόμα μετράται με ικανοποιητική ακρίβεια το πάχος των κατασκευών. Η τελευταία εφαρμογή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μέτρηση πάχους κατασκευών μεγάλων διαστάσεων, όπως σε πλοία, σωλήνες, κλπ. Χρησιμοποιείται, ακόμη, για τον έλεγχο και τον προσδιορισμό της ποιότητας των συγκολλήσεων και επιπλέον αποτελεί μια μη συμβατική μέθοδο κατεργασίας, αφαίρεσης και κοπής μετάλλων. Στις επόμενες σελίδες θα αναφερθούμε αναλυτικά στην υπερηχητική Μη-Καταστροφική μέθοδο.



Σχήμα: Μέθοδος των υπερήχων. [πηγή:2]

- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Θεωρία των Υπερήχων.

1.1 Ο Ήχος.

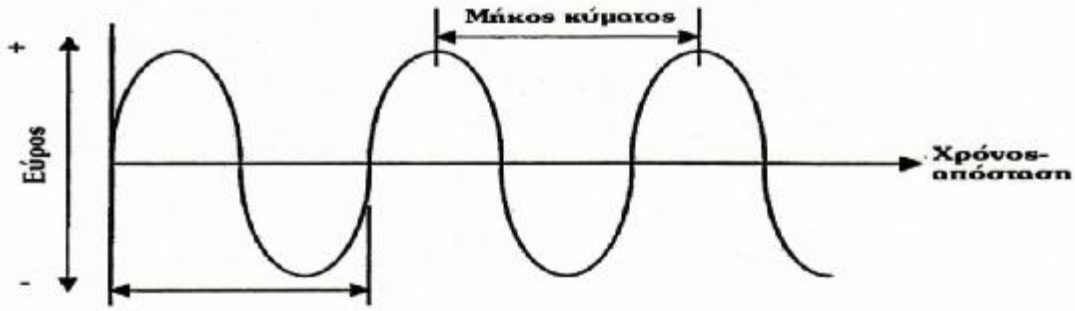
Πριν ασχοληθούμε με τους υπέρηχους ας μιλήσουμε λίγο για τον ήχο και με τον οποίο είμαστε εξοικειωμένοι. Οι υπέρηχοι βασίζονται στις ίδιες αρχές με τους ήχους που ακούμε.

- *Ήχος ονομάζεται η περιοδική μεταβολή της πίεσης του αέρα, η συχνότητα της οποίας είναι ικανή να ερεθίσει το αυτί και να προκαλέσει το άκουσμα του.*

Δηλαδή ο ήχος προκαλείται από μηχανικές δονήσεις και για να μεταδοθεί χρειάζεται κάποιο υλικό (στερεό-υγρό-αέριο) το οποίο θα διατηρήσει τις δονήσεις αυτές. Συμπεραίνουμε ότι ο ήχος δεν μπορεί να μεταδοθεί στο κενό.

Καθώς τα μόρια ενός υλικού δονούνται, η ενέργεια μεταδίδεται από το ένα στο άλλο και έτσι ο ήχος διατρέχει το υλικό. Η ικανότητα διατήρησης του ήχου εξαρτάται από την πυκνότητα και από την ελαστικότητα ενός υλικού (αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν και την ταχύτητα του). Η επιστήμη που εξετάζει τα φαινόμενα σχετικά με τους ήχους είναι η **ακουστική**.

- **Μήκος κύματος :** *είναι η συνάρτηση της συχνότητας και της ταχύτητας.*



Σχήμα 1.1: Μήκος κύματος. [πηγή:7]

Χαρακτηριστικά στοιχεία:

- **Μήκος κύματος (λ):** η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός κύματος.
- **Ταχύτητα (c):** η απόσταση που διανύεται στη μονάδα του χρόνου.
- **Περίοδος (T):** ο χρόνος που απαιτείται για ένα πλήρη κύκλο.
- **Συχνότητα (f):** ο αριθμός των κύκλων ανά δευτερόλεπτο.

Η σχέση που συνδέει τα παραπάνω στοιχεία είναι:

$$\text{Μήκος κύματος} = \frac{\text{Ταχύτητα}}{\text{Συχνότητα}} \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad \text{οπότε} \quad c = f \cdot \lambda \quad \text{και} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

Μονάδα μέτρησης του ήχου είναι το **Hertz (Hz)**:

$1\text{Hertz} = 1$ κύκλος ανά δευτερόλεπτο (cycle/sec)

$1\text{Kilohertz (KHz)} = 1000 \text{ Hz}$ και $1 \text{Megahertz (MHz)} = 1.000.000 \text{ (Hz)}$

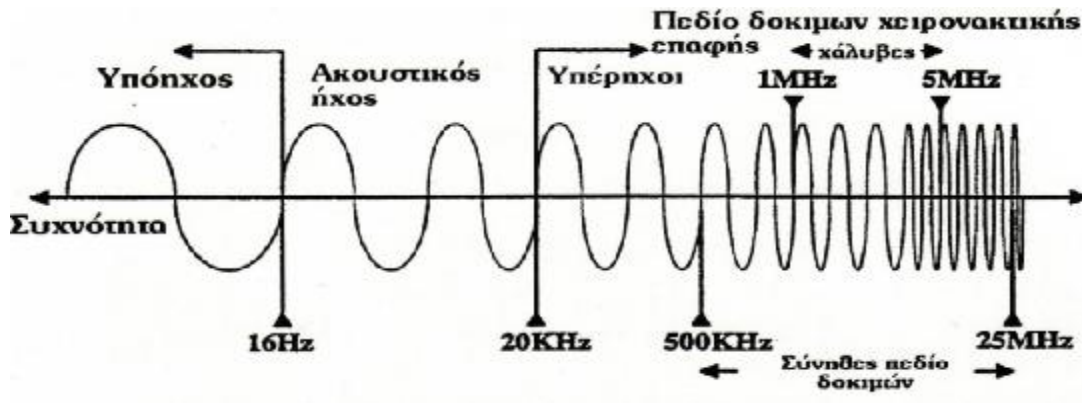
- **Ακουστικό Φάσμα**

Το φάσμα των μηχανικών ελαστικών κυμάτων περιλαμβάνει:

- Τους *υπόηχους* με συχνότητες $f < 16 \text{ Hz}$.

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

- Τους ακουστικούς ήχους με συχνότητες $16 \text{ Hz} < f < 20 \text{ Hz}$.
- Τους υπερήχους με συχνότητες $f > 20 \text{ MHz}$



Σχήμα 1.2: Ακουστικό φάσμα. [πηγή:7]

1.2 Βασική Αρχή Δοκιμής με Υπερήχους.

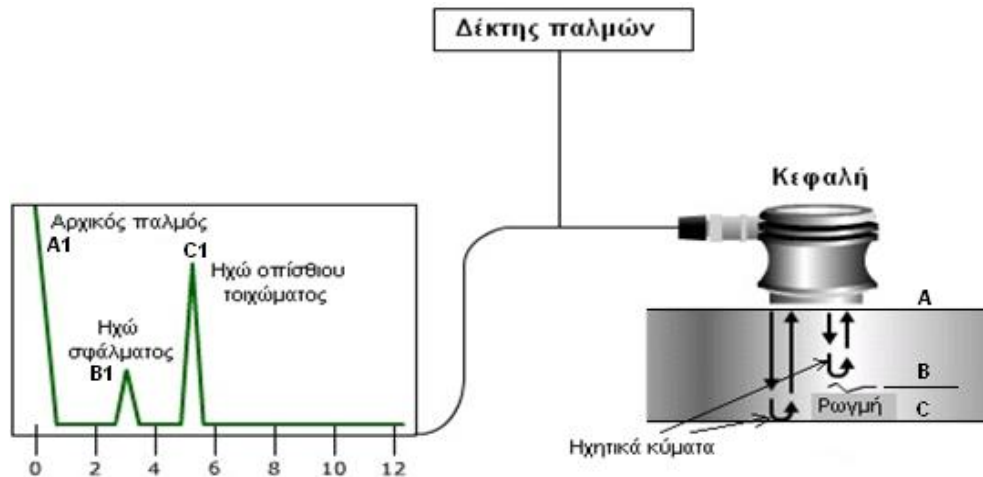
Η συνηθέστερη τεχνική που εφαρμόζεται στη μέθοδο των υπερήχων, είναι η **τεχνική των ηχητικών παλμών**. Εδώ εφαρμόζεται η ιδιότητα των ηχητικών παλμών που μεταδίδονται απ' ευθείας και ανακλώνται όταν κάποιο εμπόδιο βρεθεί στο δρόμο τους.

Ο μηχανισμός είναι εντελώς ίδιος με αυτόν, των ακουστικών κυμάτων που προσπίπτουν σε τοίχο και επιστρέφουν με τη μορφή αντήχησης. Η ισχύς της αντήχησης καθορίζεται από το μέγεθος του τοίχου. Επίσης είναι δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης από τον τοίχο, εάν μετρηθεί το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ εκπομπής του ήχου και λήψεως της αντήχησης.

Με κατάλληλα όργανα μπορούμε να στείλουμε ηχητικά κύματα μέσα σε στερεά υλικά και να παραλάβουμε ηχώ από την οπίσθια επιφάνεια του υλικού. Εάν ένα ελάττωμα βρίσκεται μέσα στο υλικό, τότε η ηχητική ενέργεια θα ανακλαστεί δίνοντας μια ηχώ που επειδή έχει διανύσει μικρότερο διάστημα θα επιστρέψει

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

νωρίτερα. Η ισχύς ή η ένταση αυτού του ήχου θα είναι ανάλογη του μεγέθους του σφάλματος, ενώ το διάστημα που διανύθηκε από τον ήχο, θα μας δώσει το βάθος σφάλματος. Αυτή ακριβώς είναι η **βασική αρχή της δοκιμής με υπερήχους**.

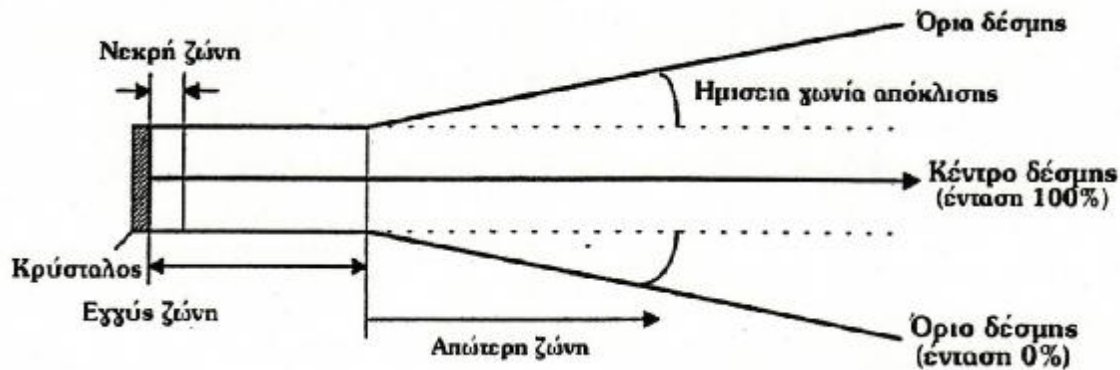


Σχήμα 1.3: Τρόπος λειτουργίας των υπερήχων.

Το όργανο που παράγει την ενέργεια του ήχου ονομάζεται κεφαλή (υπερηχητικός μεταλλάκτης) και η ηχώ απεικονίζεται σε οθόνη καθοδικών ακτίνων (C.R.T. Cathode Ray Tube), ενός ανιχνευτή σφαλμάτων.

Η ηχητική ενέργεια μεταβιβάζεται από την κεφαλή στο δοκίμιο στην περιοχή “A” παράγοντας μια ηχώ που απεικονίζεται στην οθόνη σαν σημείο **A1**. Μια ποσότητα ήχου ανακλάται από το σφάλμα (ρωγμή) “B” και το αποτέλεσμα εμφανίζεται την οθόνη σαν σημείο **B1** (ηχώ σφάλματος). Ο ήχος που απομένει συνεχίζει μέσα στο δοκίμιο και ανακλάται από το οπίσθιο τοίχωμα “C”: και η ηχώ εμφανίζεται σαν σημείο **C1** στην οθόνη (σχήμα 1.3).

1.3 Δέσμη των υπερήχων.



Σχήμα 1.4: Διασκορπισμός δέσμης υπερήχων. [πηγή:7]

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι μια δέσμη υπερήχων “χωρίζεται” σε τρία μέρη:

- Νεκρή ζώνη: είναι ο χρόνος ηγήσεως (κρούσης) του κρυστάλλου και ελαχιστοποιείται από τον αποσβεστήρα πίσω από τον κρύσταλλο. Σε αυτή την περιοχή δεν ανιχνεύονται σφάλματα. Η νεκρή ζώνη μπορεί να φανεί στην οθόνη μόνο με κεφαλές μονού κρυστάλλου. Η νεκρή ζώνη αυξάνεται όσο μειώνεται η συχνότητα της κεφαλής.
- Εγγύς ζώνη ή ζώνη Fresnel: σ’ αυτή τη περιοχή της δέσμης η ένταση του ήχου μεταβάλλεται λόγω συμβολής της κυμάνσεως, γι’ αυτό ανακλαστήρες ή σφάλματα αυτής της ζώνης μπορεί να εμφανιστούν μικρότερα ή μεγαλύτερα από το πραγματικό τους μέγεθος. Το ύψος σήματος που εμφανίζεται στην οθόνη είναι απρόβλεπτο με αποτέλεσμα να πρέπει να μειωθεί όσο το δυνατόν το μήκος της εγγύς ζώνης.

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

$$\text{Μήκος εγγύς ζώνης} = \frac{D^2}{4\lambda} \quad \text{ή} \quad \frac{D^2 \cdot f}{4c}$$

D: διάμετρος κρυστάλλου (mm).

λ : μήκος κύματος (mm).

f: συχνότητα κεφαλής (Hz).

c : ταχύτητα μετάδοσης του ήχου
μέσα στο δοκίμιο (mm/sec).

Από τον παραπάνω τύπο συμπεραίνουμε ότι το μήκος της εγγύς ζώνης μειώνεται όταν μειωθεί η διάμετρος του κρυστάλλου ή η συχνότητα της κεφαλής.

- Απώτερη ζώνη ή ζώνη Fraunhofer: σ' αυτή την ζώνη η δέσμη αποκλίνει με αποτέλεσμα την εξασθένιση της έντασης του ήχου ανάλογα με την απόσταση από τον κρύσταλλο, ακριβώς όπως μια φωτεινή δέσμη εξασθενεί καθώς απομακρύνεται από το φακό. Ο βαθμός απόκλισης της δέσμης εξαρτάται από το μέγεθος του κρυστάλλου και από το μήκος του κύματος όπως φαίνεται και στον παρακάτω τύπο:

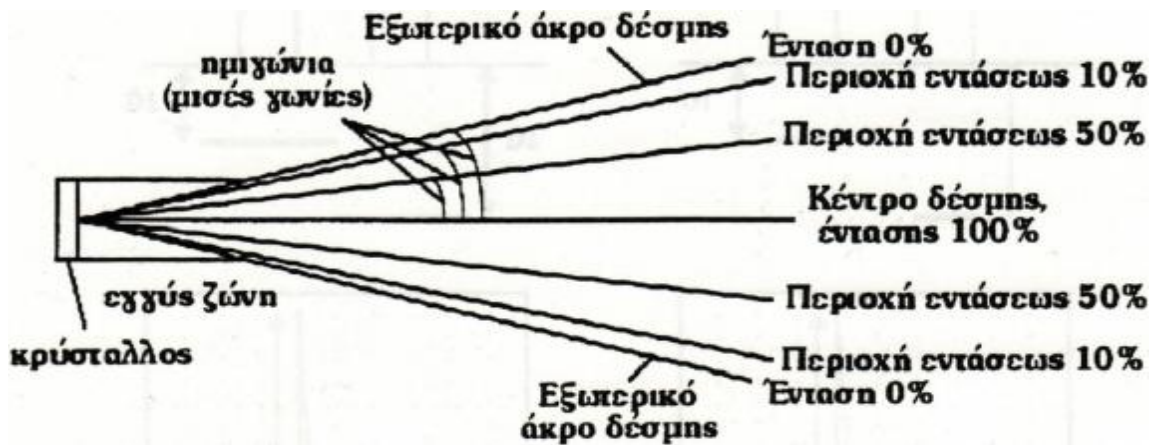
$$\eta\mu\theta = \frac{K \cdot \lambda}{D} \quad \text{ή} \quad \frac{K \cdot c}{D \cdot f} \quad (\theta: \text{το ήμισυ της γωνίας, } K: \text{σταθερά})$$

Εξωτερικό άκρο της δέσμης (ένταση 0%) = 1,22

Περιοχή εντάσεως 50% ή πτώση στάθμης κατά 6 dB = 0,56

Περιοχή εντάσεως 10% ή πτώση στάθμης κατά 20dB = 1,08

Από τον παραπάνω τύπο διασκορπισμού της δέσμης φαίνεται ότι η απόκλιση. Μπορεί να μειωθεί εάν αυξηθεί η διάμετρος του κρυστάλλου ή εάν αυξηθεί η συχνότητα της κεφαλής. Επειδή αυτό θα μεγάλωνε το μήκος της εγγύς ζώνης, στο σχεδιασμό των κεφαλών πρέπει να συνυπάρχουν η μικρότερη απόκλιση δέσμης με τη μικρότερου δυνατού μήκους εγγύς ζώνη.



Σχήμα 1.5 : Περιοχές εντάσεως της δέσμης. [πηγή:7]

Στην απώτερη ζώνη της δέσμης υπερήχων δεν υπάρχει συμβολή κυμάτων γι' αυτό η ένταση του ήχου σε αυτή τη ζώνη είναι προβλέψιμη. Η δέσμη του ήχου από 100% που είναι στο κέντρο μειώνεται έως 0% στην άκρη της. Άρα όταν το κέντρο της δέσμης χτυπάει έναν ανακλαστήρα ή σφάλμα η στάθμη του σήματος στην οθόνη θα έχει τη μέγιστη τιμή. Η ένταση του ήχου μειώνεται όταν ο ανακλαστήρας ή το σφάλμα απομακρύνονται.

1.3.1 Ανακλαστήρες.

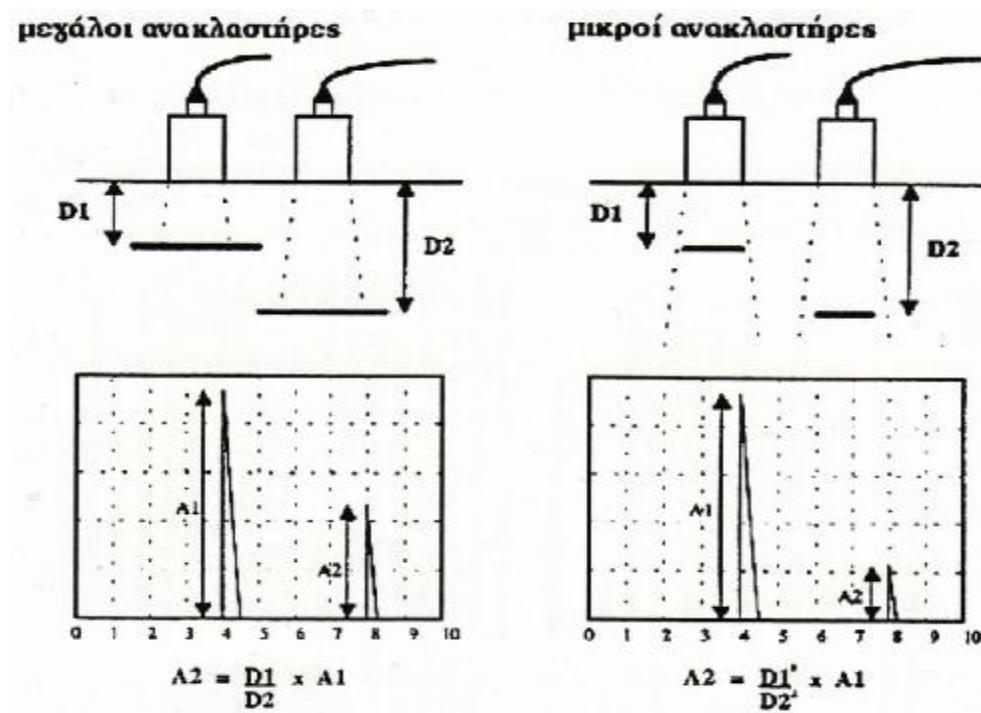
Επίσης στη απώτερη ζώνη οι στάθμες του ανακλώμενου ήχου ακολουθούν διαφορετικούς νόμους άλλους για μικρούς και άλλους για μεγάλους ανακλαστήρες:

- Μεγάλοι ανακλαστήρες (μεγαλύτεροι από το πλάτος της δέσμης). Ακολουθούν τον **αντίστροφο νόμο**. Δηλαδή η στάθμη είναι αντιστρόφως

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

ανάλογη της απόστασης. Αν διπλασιαστεί η απόσταση τότε η στάθμη του σήματος θα μειωθεί κατά το ήμισυ (6dB).

- Μικροί ανακλαστήρες: (μικρότεροι από το πλάτος της δέσμης). Ακολουθούν το **νόμο των αντίστροφων τετραγώνων**. Δηλαδή η στάθμη είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης. Αν η αντίσταση διπλασιαστεί τότε η στάθμη από τον δεύτερο ανακλαστήρα είναι το ένα τέταρτο της στάθμης του κοντινότερου (12 dB).



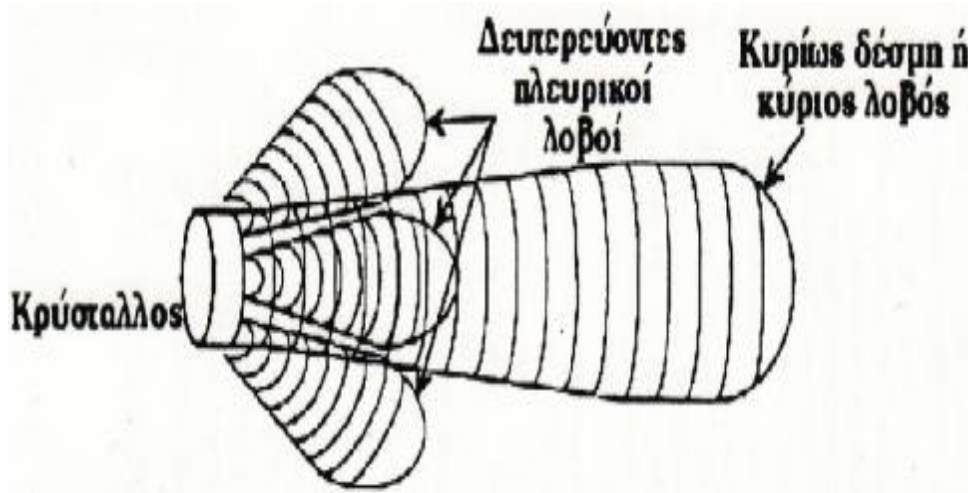
Σχήμα 1.6: Ανακλαστήρες. [πηγή:7]

1.3.2 Πλευρικοί λοβοί.

Οι πλευρικοί λοβοί είναι δευτερεύοντες λοβοί στην κύρια δέσμη των υπερήχων ή τον κύριο λοβό και σχηματίζονται στο μέτωπο μιας διπλής κεφαλής εκπέμποντας μακριά από τον κύριο λοβό (Σχήμα 1.7). Εμφανίζουν περιοχές

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

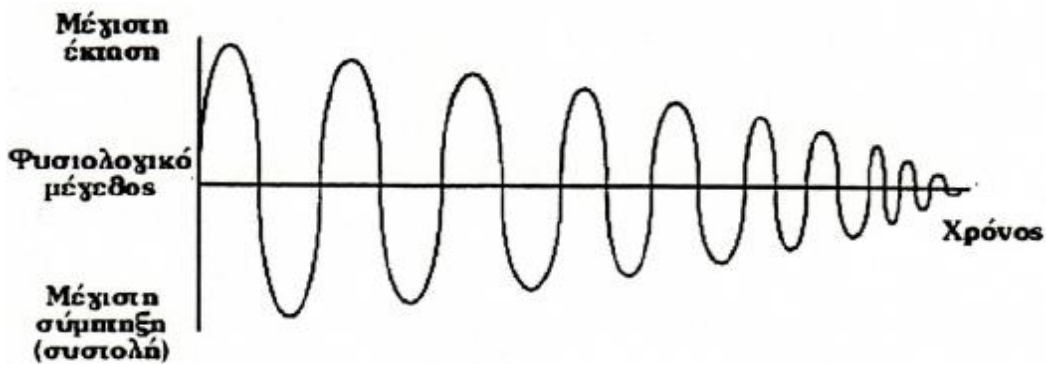
υψηλής και χαμηλής έντασης και μπορεί να προκαλέσουν ανεπιθύμητες ηχώ. Συλλαμβάνονται από την κεφαλή ειδικά σε τραχείες επιφάνειες και μπορεί να εμφανίσουν λάθος ενδείξεις.



Σχήμα 1.7: Πλευρικοί λοβοί. [πηγή:7]

1.4 Ο παλμός των υπερήχων.

Ο παλμός του υπερήχου παράγεται με τη βοήθεια πυκνωτή ο οποίος φορτίζεται και αποφορτίζεται απότομα διοχετεύοντας στην κεφαλή ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική δόνηση από τον πιεζοκρύσταλλο που βρίσκεται στη κεφαλή. Οι δονήσεις προκαλούνται από την ταλάντωση του κρυστάλλου όταν παύει η ηλεκτρική ενέργεια.

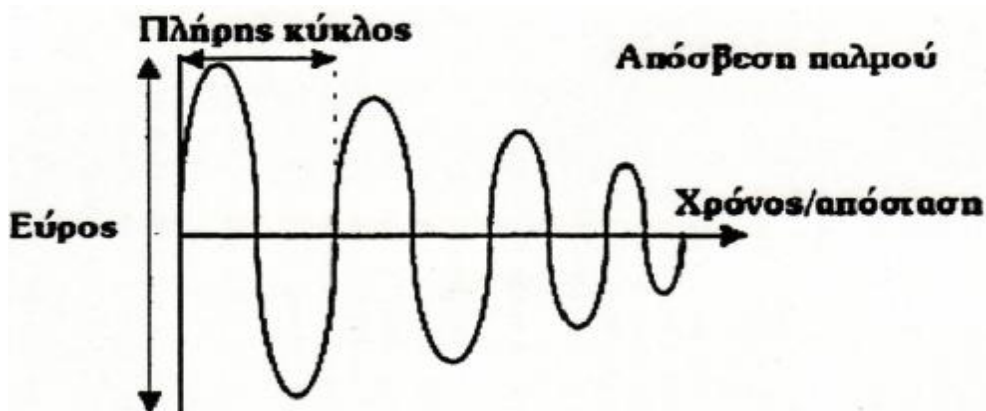


Σχήμα 2.8: Παλμός υπερήχου. [πηγή:7]

Η συμπεριφορά του κρυστάλλου στην ταλάντωση είναι παρόμοια με αυτή του ελατηρίου, όταν το τεντώνουμε και το αφήνουμε ελεύθερο. Δηλαδή θα αρχίσει να ταλαντώνεται (να μαζεύεται και να εκτείνεται) έως ότου επανέλθει στο αρχικό του σχήμα. Η έκταση και η σύμπτυξη είναι η αιτία δημιουργίας του υπερηχητικού παλμού.

Μήκος παλμού.

Το μήκος του παλμού είναι προσεγγιστικά δύο κύκλοι, αλλά είναι δύσκολο να φτάσουμε σε αυτό το επίπεδο απόσβεσης με κρυστάλλους και ηχοαπορροφητικά μέσα που υπάρχουν στο εμπόριο.



Σχήμα 1.8: Μήκος παλμού. [πηγή:7]

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

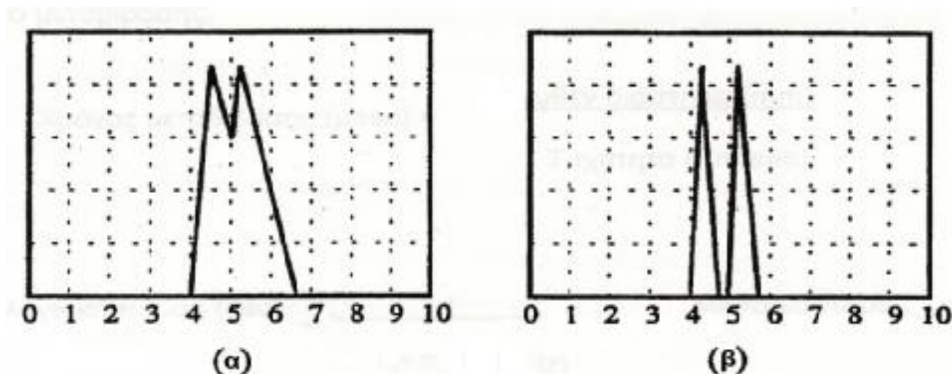
Με λίγα λόγια το μήκος του παλμού καθορίζεται από την απόσβεση. Άλλος ένας παράγοντας που καθορίζει το μήκος είναι η συχνότητα της κεφαλής. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα τόσο βραχύτερο είναι το μήκος του παλμού.

$$\text{Μήκος παλμού} = \text{μήκος κύματος} \times \text{αριθμός παλμών}$$

1.5 Διαχωριστική ικανότητα.

Διαχωριστική είναι η ικανότητα διαχωρισμού στον άξονα του χρόνου, δύο ή περισσότερων ανακλαστήρων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, όσον αφορά την πορεία της δέσμης.

Θεωρούμε ότι έχουμε δύο ανακλαστήρες μέσα σε μια δέσμη σε απόσταση μεταξύ τους 3 mm. Εάν το μήκος του παλμού ήταν μεγαλύτερο από 3mm τότε τα σήματα από τους δύο ανακλαστήρες θα ενώνονταν στο ίδιο είδωλο (σχήμα 1.9α). Εάν όμως το μήκος του παλμού ήταν μικρότερο από 3mm τότε στην πράξη τα σήματα θα χωρίζονταν (σχήμα 1.9β).



Σχήμα 1.9: Ανακλαστήρες. [πηγή:7]

Συμπέρασμα: Όσο πιο μικρό είναι το μήκος του παλμού τόσο μεγαλύτερη είναι η διαχωριστική ικανότητα.

1.5.1 Συχνότητα επαναλήψεως παλμού (P.R.F.).

Συχνότητα επαναλήψεως παλμού (P.R.F.) ή ρυθμός παλμού (P.R.R.), είναι ο αριθμός των παλμών που εγκαταλείπει την κεφαλή σε ορισμένο χρόνο (sec.). Κάθε παλμός που φεύγει από την κεφαλή πρέπει να επιστρέψει για να φύγει ο επόμενος, ειδάλλως οι δύο παλμοί θα συγκρουστούν και θα δημιουργήσουν φαντάσματα (απατηλές ενδείξεις) στην οθόνη.

Ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει ο παλμός όλη την απόσταση από την κεφαλή και πάλι πίσω ονομάζεται **χρόνος μεταβίβασης**. Επίσης ο χρόνος μεταξύ δύο συνεχόμενων παλμών που αφήνουν την κεφαλή είναι γνωστός σαν **ωρολογιακή παύση**. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο χρόνος μεταβίβασης πρέπει να είναι μικρότερος από την ωρολογιακή παύση.

$$\text{Χρόνος μεταβίβασης (}\mu\text{sec)} = \frac{\text{Διανυθέν διάστημα (mm)}}{\text{Ταχύτητα (}\frac{\text{Km}}{\text{sec}})}$$

$$\text{Ωρολογιακή παύση (sec)} = \frac{1}{\text{P.R.F (MHz)}}$$

**Στην πράξη η ωρολογιακή παύση πρέπει να είναι πενταπλάσια του χρόνου μεταβίβασης.*

1.5.2 Ακουστική αντίσταση και ένταση του υπερήχου.

- Ακουστική αντίσταση

Εάν ένα ηχητικό κύμα συναντήσει κάθετα τη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών τότε το ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας του περνά στο άλλο υλικό, ενώ ένα άλλο μέρος της ανακλάται σ' αυτήν.

Το ποσοστό του ανακλώμενου ή του διερχόμενου ήχου εξαρτάται από την ακουστική αντίσταση Z , των δύο υλικών. Είναι αποτέλεσμα της πυκνότητας του υλικού (ρ) και της ταχύτητας του ήχου (c).

$$Z = \rho \cdot c$$

- Ένταση

Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο μέγεθος είναι η ένταση του ήχου και εκφράζει τη ροή της ηχητικής ενέργειας. Επειδή δεν γνωρίζουμε την πραγματική ενέργεια που εκπέμπεται από μια κεφαλή, αυτό που κάνουμε είναι να συγκρίνουμε διαφορετικές εντάσεις ήχου. Η μονάδα μέτρησης είναι το (dB).

$$db = 20 \log_{10} \frac{H_1}{H_2} \quad (H_1, H_2): \text{ύψη σήματος}$$

Εάν γνωρίζουμε την διαφορά σε dB, μπορούμε να υπολογίσουμε το λόγο του μεγέθους των σημάτων.

$$H_2 = \frac{H_1}{\text{antilog}[\frac{dB}{20}]}$$

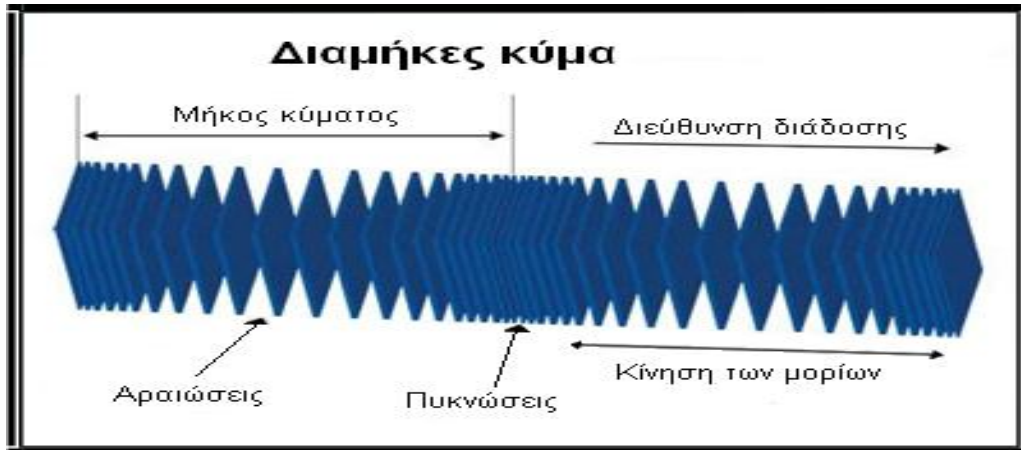
- Κεφάλαιο 2 - Μετάδοση των υπερήχων.

2.1 Γενικά.

Όπως σε όλα τα κύματα έτσι και για τα ηχητικά κύματα υπάρχουν δύο βασικές διευθύνσεις. Η διεύθυνση της ταλάντωσης των μορίων και η διεύθυνση διαδόσεως των κυμάτων. Στα υγρά και τα αέρια διαδίδονται μόνο διαμήκη (επιμήκη ή συμπιεστικά). Ενώ στα στερεά σώματα διαδίδονται όλα τα είδη των κυμάτων (διαμήκη, εγκάρσια ή συνδυασμός αυτών). Τα μόρια του ελαστικού μέσου, ταλαντώνονται γύρω από μια θέση ισορροπίας και μεταφέρουν τη δόνηση τους σε άλλα γειτονικά, κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

2.1.1 Διαμήκη ή Συμπιεστικά κύματα.

Τα διαμήκη (επιμήκη) ή συμπιεστικά κύματα υπερηχητικά κύματα, είναι ο τύπος κυμάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην εξέταση των υλικών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι διαδίδονται και στις τρεις μορφές ύλης. Στα διαμήκη κύματα, η διεύθυνση διάδοσης του κύματος και η διεύθυνση ταλάντωσης των μορίων συμπίπτουν.

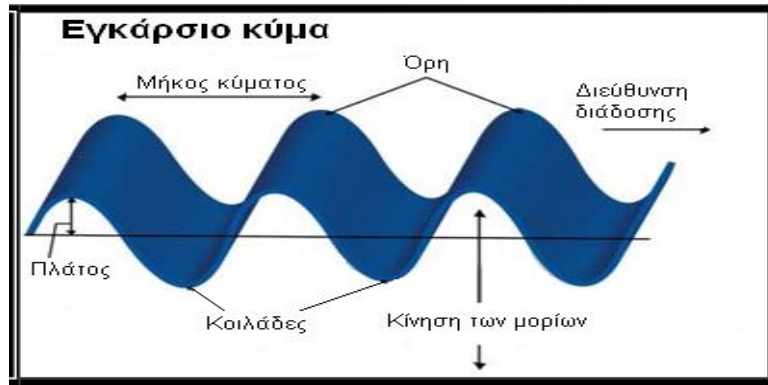


Σχήμα 2.1: Διαμήκης ή Συμπιεστικό κύμα. [πηγή:6]

Οι κεφαλές που παράγουν συμπιεστικά κύματα έχουν συνήθως γωνία προσπτώσεως και διαθλάσεως περίπου ή ακριβώς 0° . Το χαρακτηριστικό των διαμηκών κυμάτων είναι ότι δημιουργούνται στα μόρια του μέσου διάδοσης, πυκνώσεις (compressions) και αραιώσεις (rarefactions) (σχήμα 2.1). Στο χάλυβα δημιουργούνται εάν η γωνία προσπτώσεως της δέσμης στην μεμβράνη είναι μικρότερη από $27,4^\circ$. Συμπιεστική ταχύτητα χάλυβα = 5960 m/sec.

2.1.2 Εγκάρσια ή διατμητικά κύματα.

Στα εγκάρσια κύματα, η διεύθυνση ταλάντωσης των στοιχειωδών σωματιδίων είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (σχήμα 2.2). Διαδίδονται μόνο σε υλικά που μπορούν να αναλάβουν διατμητικές τάσεις όπως ο χάλυβας, γι' αυτό ονομάζονται και διατμητικά κύματα.

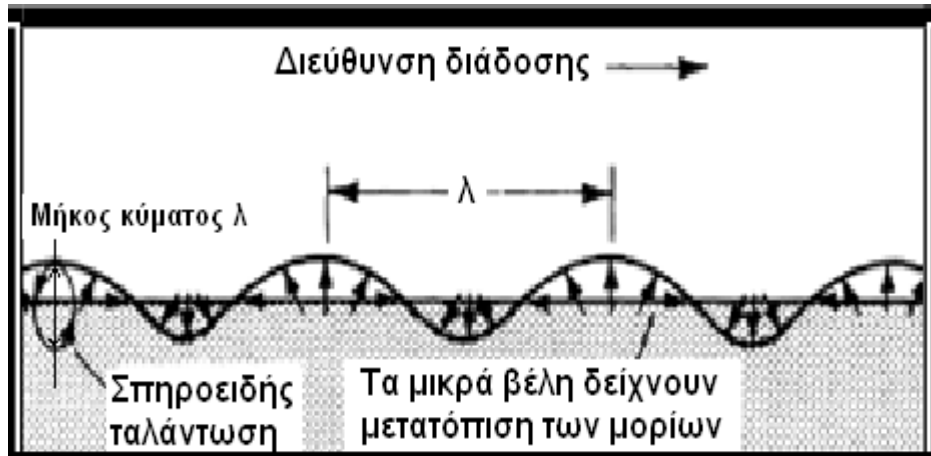


Σχήμα 2.2: Εγκάρσιο κύμα. [πηγή:6]

Το χαρακτηριστικό των εγκαρσίων κυμάτων είναι η δημιουργία ορέων (crests) και κοιλάδων (trough) στα μόρια του μέσου διάδοσης. Ως **μήκος κύματος** ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ορέων ή κοιλάδων. Τα εγκάρσια κύματα εφαρμόζονται σε πολλές περιπτώσεις στο μη καταστροφικό έλεγχο και είναι απαραίτητα, κατά τον προσδιορισμό των ελαστικών σταθερών ενός υλικού με τη μέθοδο των υπερήχων.

2.1.3 Επιφανειακά κύματα ή κύματα Rayleigh.

Τα επιφανειακά κύματα δημιουργούνται όταν τα εγκάρσια κύματα διαθλώνται στις 90° . Τα μόρια συνδυάζουν την εγκάρσια και τη διαμήκη κίνηση, με αποτέλεσμα να κινούνται σε ελλειπτική τροχιά. Παράγονται, όταν τα διαμήκη προσπίπτουν σε μια επιφάνεια υπό γωνία, που η τιμή της είναι ίση ή μεγαλύτερη της δεύτερης κρίσιμης γωνίας.

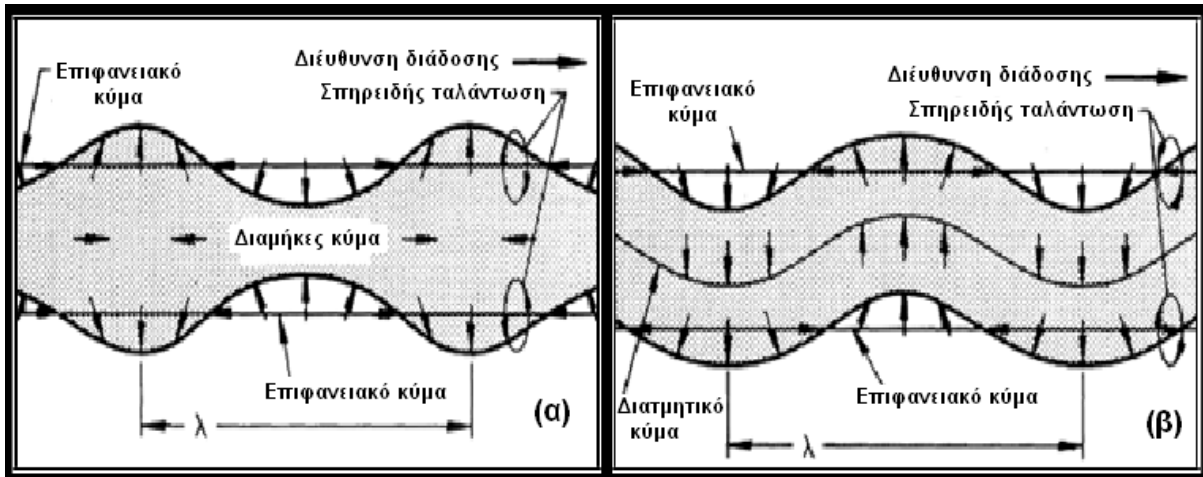


Σχήμα 2.3: Επιφανειακό κύμα. [πηγή:6]

Διεισδύουν μέσα στο στερεό υλικό, σε βάθος που είναι ίσο με ένα μήκος κύματος και έχουν την ιδιότητα να ακολουθούν το προφίλ της επιφάνειας στην οποία διαδίδονται. Διαδίδονται με ταχύτητα που είναι περίπου ίση με το 90% αυτής των εγκάρσιων κυμάτων στο ίδιο υλικό. Τα κύματα Rayleigh είναι πολύ χρήσιμα στο μη καταστροφικό έλεγχο καθώς είναι πολύ ευαίσθητα στις επιφανειακές ατέλειες και ανακλώνται από απότομες αλλαγές στο προφίλ, όπως είναι οι ρωγμές. Τέλος, μπορούν να φτάσουν σε περιοχές που άλλα είδη κυμάτων συναντούν δυσκολία.

2.1.4 Κύματα πλακών ή κύματα Lamb.

Παράγονται, όμως, σε πλάκες, των οποίων το πάχος είναι ίσο με μερικά μήκη κύματος και καταλαμβάνουν όλο το πάχος της πλάκας (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Κύματα Lamb: α) Διασταλτικά β) Καμπτικά. [πηγή:6]

Η διάδοση τους εξαρτάται από την πυκνότητα και τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού, ενώ παράλληλα επηρεάζεται από τη συχνότητα του κύματος και το πάχος της πλάκας. Υπάρχουν δύο τύποι κυμάτων πλακών, που ορίζονται από το είδος της κίνηση των δομικών σωματιδίων. Εάν τα δομικά σωματίδια κινούνται συμμετρικά, ως προς τον ουδέτερο άξονα της πλάκας, έχουμε τα διασταλτικά κύματα (σχήμα 2.4 α), ενώ εάν κινούνται ασύμμετρα, έχουμε τα καμπτικά (σχήμα 2.4 β).

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάδοση των υπερήχων.

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. Οι μεταβλητές που επηρεάζουν στη μετάδοση είναι:

- Το μέγεθος των κόκκων του υλικού προς δοκιμή.
- Η εξασθένιση, αποτέλεσμα απορρόφησης και διασκορπισμού.
- Η ακουστική αντίσταση του υλικού προς δοκιμή.

- Η χαρακτηριστική αντίσταση των εγκλεισμάτων.
- Η παράθλαση.
- Η έλλειψη ομοιογένειας.
- Η ανισοτροπία του υλικού, όταν οι κόκκοι είναι προσανατολισμένοι τυχαία στο υλικό και έχουν διαφορετικές ελαστικές ιδιότητες σε διαφορετικές κατευθύνσεις.

2.3 Ανάκλαση – Διάθλαση – Νόμος του Snell.

- **Ανάκλαση:** Τα κύματα των υπερήχων ανακλώνται από αντικείμενα ή διαχωριστικές επιφάνειες που παρεμβάλλονται στο πέρασμα τους. Όταν προσπέσουν σε λείο και επίπεδο ανακλαστήρα, η γωνία υπό την οποία γίνεται η ανάκλαση, καθορίζεται από τον νόμο της ανάκλασης.

$$\text{γωνία προσπτώσεως} = \text{γωνία ανακλάσεως}$$

- **Διάθλαση:** Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, μια δέσμη υπερήχων που διέρχεται διαδοχικά από δύο υλικά διαφορετικών ακουστικών ταχυτήτων, αλλάζει την κατεύθυνση της ως προς το κατακόρυφο επίπεδο.

2.3.1 Κάθετη πρόσπτωση - Συντελεστής ανάκλασης.

Όταν ένα ηχητικό κύμα διαδίδεται σ' ένα υλικό ακουστικής αντίστασης Z_1 και συναντήσει κάθετα τη διαχωριστική επιφάνεια με ένα άλλο υλικό ακουστικής αντίστασης Z_2 . Η γωνία ανάκλασης και διάδοσης σύμφωνα με

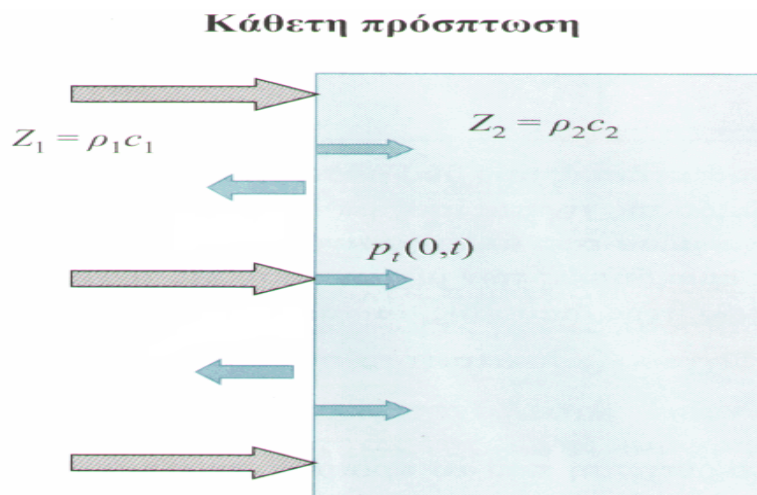
Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

την κυματική θεωρία για κάθετη πρόσπτωση θα είναι 90° . Από την παρακάτω σχέση ορίζεται ο **συντελεστής ανάκλασης** (Reflection coefficient) **R**:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} (\%)$$

Ο **συντελεστής διάδοσης** (Transmission coefficient) **T** εκφράζει το ποσοστό της ακουστικής πίεσης που εισέρχεται στο εξεταζόμενο υλικό:

$$T = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} (\%)$$



Σχήμα 2.5: Κάθετη πρόσπτωση. [πηγή:3]

Οι συντελεστές ανάκλασης και διάθλασης δίνουν το ποσοστό της ηχητικής πίεσης που ανακλάται ή διαθλάται στο δεύτερο υλικό. Εάν οι ακουστικές αντιστάσεις δύο υλικών είναι ίσες ($Z_1 = Z_2$), τότε δεν υπάρχει ανάκλαση ($R = 0$), ενώ όλος ο ήχος περνά ανεμπόδιστα μέσα από τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών ($T = 1$).

Έτσι, προκύπτει ότι κατά τη μετάβαση των υπερηχητικών κυμάτων από το χάλυβα στο αέρα ανακλάται το 99.96% της ενέργειάς τους, ενώ από χάλυβα

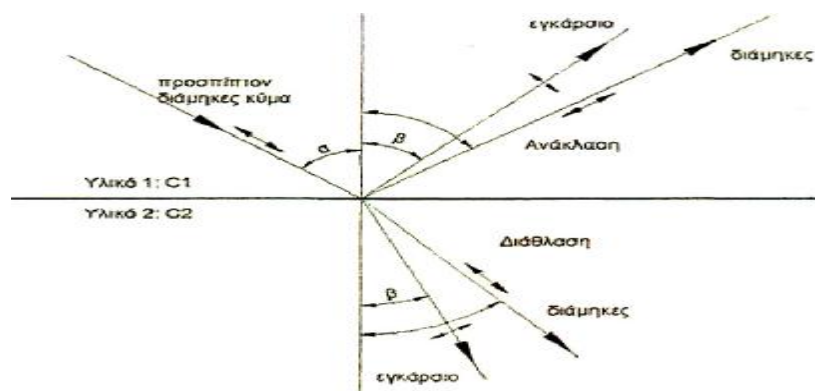
Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

σε Plexiglas το 68%, από αλουμίνιο σε νερό το 70% και τέλος από χαλαζία σε αλουμίνιο το 0.64% της ενέργειάς τους.

Για λόγους ακουστικής επαφής κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη κάποιου υγρού στην επιφάνεια μεταξύ κεφαλής - εξεταζόμενου υλικού, το οποίο θα εξουδετερώνει το στρώμα αέρα που κανονικά θα υπήρχε μεταξύ των δύο υλικών. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται διάφορες πάστες, γράσο ή λάδι μηχανής.

2.3.2 Πλάγια πρόσπτωση - Νόμος του Snell.

Στην περίπτωση αυτή δεν έχουμε μόνο διάδοση και ανάκλαση, πράγμα που συμβαίνει στην κάθετη πρόσπτωση, αλλά έχουμε αλλαγή στη διεύθυνση και στο είδος των κυμάτων που διαδίδονται, τόσο στο ανακλώμενο μέρος του υπερηχητικού κύματος όσο και στο διαθλώμενο. Τα φαινόμενα αυτά επηρεάζουν ολόκληρη την ηχητική δέσμη, ή μέρος της, και το συνολικό αποτέλεσμα των αλλαγών που παρατηρούνται εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και από την ταχύτητα των υπερηχητικών κυμάτων, που συναντούν τη διαχωριστική επιφάνεια.



Σχήμα 2.6: Πλάγια πρόσπτωση. [πηγή:2]

Η σχέση μεταξύ γωνίας προσπτώσεως (α) και γωνίας ανακλάσεως (β) ορίζεται από το νόμο του Snell:

$$\frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\beta} = \frac{c_1}{c_2} \quad (c_1, c_2: \text{ταχύτητα στο μέσο 1, 2})$$

Μετατροπή του είδους κύματος

Όταν έχουμε αλλαγή της κυματομορφής έχουμε και αλλαγή της ταχύτητας, λόγω ανάκλασης και διάθλασης επάνω σε μια διαχωριστική επιφάνεια. π.χ. όταν το διαμήκης κύμα, που παράγεται από τον κρύσταλλο μιας γωνιακής κεφαλής, τέμνει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο πέλμα της κεφαλής και στο δοκίμιο και μετατρέπεται σε εγκάρσιο κύμα.

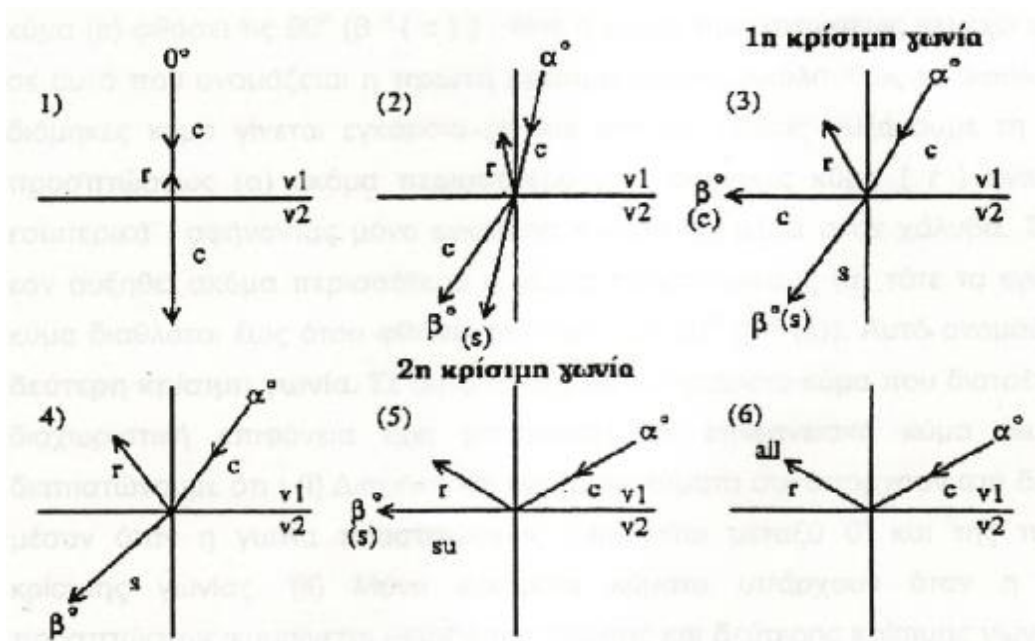
Μια δεύτερη περίπτωση αλλαγής της κυματομορφής, είναι η μετατροπή εγκάρσιων κυμάτων σε συμπιεστικά.

2.4 Κρίσιμες γωνίες.

Είναι οι γωνίες προσπτώσεως από το πρώτο μέσον, κατά τις οποίες τα προσπίπτοντα κύματα μέσα στο δεύτερο μέσον, διαθλώνται και συγχρόνως αλλάζουν κυματομορφή. Η πρώτη κρίσιμη γωνία είναι εκείνη που το διαθλώμενο διαμήκης κύμα εξαφανίζεται αφήνοντας μόνο εγκάρσια κύματα στο δεύτερο μέσον. Η δεύτερη κρίσιμη γωνία είναι εκείνη όπου το διαθλώμενο εγκάρσιο

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

κύμα μετατρέπεται σε επιφανειακό. Οι κρίσιμες γωνίες υπολογίζονται με το νόμο του Snell.



Σχήμα 2.7: Κρίσιμες γωνίες. [πηγή:7]

Παράδειγμα πλεξιγκλάς-χάλυβα

Διάγραμμα 1: ένα διαμήκες κύμα (c) προσπίπτει στο όριο πλεξιγκλάς – χάλυβα υπό γωνία 0° (κάθετα). Στην διαχωριστική επιφάνεια ένα μέρος της ενέργειας (r) ανακλάται και ένα άλλο μέρος (c) διαπερνά το χάλυβα, συνεχίζοντας την πορεία του κάθετα.

Διάγραμμα 2: Καθώς αυξάνουμε την γωνία (α) του προσπίπτοντος κύματος (c) μέσα στο πλεξιγκλάς (πρέπει $\alpha^0 <$ πρώτη κρίσιμη γωνία) το κύμα στο χάλυβα (c) διαθλάται κατά γωνία β^0 , λόγω της διαφοράς των ταχυτήτων μετάδοσης στο πλεξιγκλάς (V_1) και στο χάλυβα (V_2). Όμως μαζί με το διαθλώμενο διαμήκες κύμα θα υπάρχει και ένα αδύναμο εγκάρσιο κύμα (s).

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Διάγραμμα 3: Εάν αυξήσουμε ακόμα την γωνία προσπτώσεως μέχρι το διαθλώμενο κύμα (c) φτάσει τις 90^0 ($\beta^0 = c$), τότε η γωνία προσπτώσεως (α) έχει φτάσει στο σημείο που ονομάζεται **πρώτη κρίσιμη γωνία**.

Διάγραμμα 4: καθώς συνεχίζουμε να αυξάνουμε την γωνία προσπτώσεως (α), το διαμήκες κύμα (r) ανακλάται εσωτερικά, αφήνοντας μέσα στο χάλυβα μόνο εγκάρσια κύματα (s).

Διάγραμμα 5: αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την γωνία προσπτώσεως (α), το εγκάρσιο κύμα διαθλάται μέχρι να φτάσει την τιμή των 90^0 ($\beta^0 = s$). Το σημείο αυτό ονομάζεται **δεύτερη κρίσιμη γωνία**. Στο σημείο αυτό το εγκάρσιο κύμα έχει μετατραπεί σε επιφανειακό (su).

Διάγραμμα 6: από την τιμή της δεύτερης κρίσιμης γωνίας και πάνω, όλες οι συμβατικές μορφές μετάδοσης ανακλώνται εσωτερικά.

Συμπέρασμα: - **Διαμήκη** και εγκάρσια κύματα συνυπάρχουν στο δεύτερο μέσον όταν η γωνία προσπτώσεως κυμαίνεται μεταξύ 0^0 και της πρώτης κρίσιμης γωνίας - **Εγκάρσια** κύματα υπάρχουν μόνο όταν η γωνία προσπτώσεως κυμαίνεται μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης κρίσιμης γωνίας - **Επιφανειακά** κύματα υπάρχουν μόνο στη δεύτερη κρίσιμη γωνία.

2.5 Σκέδαση - Περίθλαση – Συμβολή.

Όταν ένα ηχητικό κύμα, συναντά ένα εμπόδιο, τότε ανάλογα με το μέγεθός του εμποδίου σε σχέση με το μήκος κύματος του ήχου, το ηχητικό κύμα μπορεί να υποστεί *σκέδαση, περίθλαση ή συμβολή*.

- *Εάν η διάμετρος (d) του εμποδίου είναι μικρότερη από το μήκος*

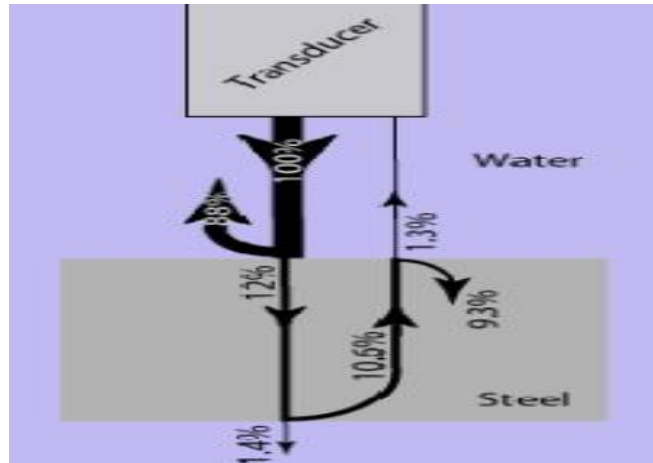
κύματος (λ) του ηχητικού κύματος ($d < \lambda$), τότε το εμπόδιο δεν επηρεάζει τη διάδοση του κύματος.

- Εάν $d = \lambda$, τότε το εμπόδιο επηρεάζει έντονα τη διάδοση του κύματος. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των εμποδίων, το κύμα υφίσταται ανακλάσεις και διαδίδεται προς διάφορες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα την εξασθένηση του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σκέδαση.
- Εάν $d > \lambda$ (και όχι $d \gg \lambda$), τότε το ηχητικό κύμα παρακάμπτει το εμπόδιο και διαδίδεται μέσα στο υλικό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται περίθλαση.

Στην περίπτωση που το εξ' ανακλάσεως ηχητικό κύμα υπερτίθεται στο αρχικό, έχουμε **το φαινόμενο της συμβολής** δύο κυμάτων. Αναλόγως με την διαφορά φάσης και συχνότητας των δύο κυμάτων, μπορούμε να έχουμε ενίσχυση ή εξασθένηση του τελικού κύματος.

2.6 Εξασθένηση.

Η ένταση της υπερηχητικής δέσμης που επιστρέφει στην πιεζοηλεκτρική κεφαλή, μετά τη διάδοση της στο εξεταζόμενο υλικό, είναι πολύ μικρότερη από την ένταση της αρχικά εκπεμπόμενης δέσμης. Όλα τα υλικά παρουσιάζουν την τάση να εξασθενούν την ένταση των υπερηχητικών κυμάτων, άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο. Στο σχήμα 2.8 φαίνεται η ακουστική πίεση, η οποία τελικά φτάνει στην υπερηχητική κεφαλή, κατά τον έλεγχο με εμβάπτιση ενός μεταλλικού δοκιμίου.



Σχήμα 2.8: Απώλειες υπερηχητικής δέσμης. [πηγή:6]

Η εξασθένιση αυτή, είναι αποτέλεσμα της **διασποράς** (scattering) και της **απορρόφησης** (absorption) που περιγράφονται συνολικά με τον όρο **απόσβεση** (attenuation).

- Η **απορρόφηση** των υπερήχων από διάφορα υλικά οφείλεται κυρίως σε δύο φαινόμενα:
 - i. Καθώς το υπερηχητικό κύμα εισχωρεί στο υλικό που είναι συνήθως πορώδες, το μέσο διάδοσης (συνήθως ο αέρας) κατά την εκτέλεση των ταλαντώσεων λόγω τριβών με το υλικό χάνει ενέργεια. Έχουμε δηλαδή μετατροπή ηχητικής ενέργειας σε θερμική.
 - ii. Το υπερηχητικό κύμα διεγείρει προς ταλάντωση (και συνεπώς προσφέρει ενέργεια) τα μόρια του απορροφητικού υλικού, οπότε η ενέργεια του υπερηχητικού κύματος μειώνεται. Τα απορροφητικά υλικά μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα πορώδη, τα απορροφητικά τύπου μεμβράνης και οι συντονιστές. Τέλος να επισημάνουμε ότι ο συντελεστής απορρόφησης που εκφράζει την απορρόφηση, εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης.

- Ο **διασκορπισμός**, οφείλεται στην ανομοιογένεια και την ανισοτροπία κάποιων υλικών, όταν αυτά περιέχουν εγκλείσματα, κόκκους ή πόρους. Ο διασκορπισμός συμβαίνει όταν το μήκος κύματος του υπερήχου πλησιάζει το μέγεθος ενός κόκκου ή ενός πόρου μέσα στο υλικό διάδοσης. Ουσιαστικά πρόκειται για μια ακανόνιστη ανάκλαση και διάθλαση των κυμάτων, που οδηγεί στην εξασθένιση του αρχικού ήχου.

Και η απορρόφηση και ο διασκορπισμός, δυσκολεύουν το έργο ενός υπερηχητικού ελέγχου. Για τον λόγο αυτό, χρειάζεται προσοχή κατά την επιλογή της καταλληλότερης δυνατής συχνότητας του υπερηχητικού κύματος κατά την διάρκεια μιας διαδικασίας υπερηχητικού Μ.Κ.Ε. Μια ατέλεια μπορεί να ανιχνευθεί όταν το μέγεθος της είναι μεγαλύτερο ή ίσο προς το $1/5$ του μήκους κύματος λ του υπερηχητικού κύματος.

Τρεις βασικές κατηγορίες υλικών υπάρχουν, όσον αφορά το κατά πόσον εξασθενεί ένα υπερηχητικό κύμα:

- Υλικά με **χαμηλή απόσβεση**, μικρότερη των 10 dB/m. Πρόκειται για τον χάλυβα και τα χαμηλά κράματα του, τον σφυρήλατο σίδηρο, το γυαλί, την πορσελάνη κα.
- Υλικά με **μέση απόσβεση** μέχρι 100 dB/m, όπως τα υψηλά κράματα χάλυβα, ο χυτοσίδηρος, ο ορείχαλκος, ο μόλυβδος κα.
- Υλικά με **υψηλή απόσβεση**, πάνω από 100 dB/m. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα πλαστικά, το λάστιχο, το σκυρόδεμα, το ξύλο κλπ. Αυτά τα υλικά είναι και τα πλέον δύσκολα για να εξεταστούν. Συνήθως χρησιμοποιούμε πολύ λεπτά δοκίμια αυτών των υλικών, έτσι ώστε η συνολική απόσβεση να είναι περιορισμένη και να μπορούμε να προβούμε σε ασφαλή συμπεράσματα.

- Κεφάλαιο 3 - Παραγωγή Υπερήχων.

3.1 Γενικά.

Έχοντας βρει την σχέση κυματικών και ελαστικών μεγεθών είναι εύκολο πλέον να χαρακτηρίσουμε ένα υλικό μετρώντας την ταχύτητα διαμηκών και εγκάρσιων κυμάτων σε ένα δοκίμιο. Οι *τρόποι παραγωγής υπερήχων* διαφοροποιούνται ανάλογα με τα φαινόμενα στα οποία βασίζονται (μαγνητοσυστολή, πιεζοηλεκτρισμός, ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα) καθώς και από τις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται. Κατ' αυτό τον τρόπο, η επιλογή της πλέον κατάλληλης μεθόδου παραγωγής υπερήχων για μια συγκεκριμένη εφαρμογή είναι συνάρτηση της αξιοπιστίας, της ακρίβειας, του κόστους αλλά και της αντοχής των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και των εκλεπτυσμένων ηλεκτρονικών διατάξεων που απαιτούνται σε ορισμένους τρόπους παραγωγής υπερήχων (μέθοδος παραγωγής υπερήχων με laser).

3.2 Παραγωγή υπερήχων.

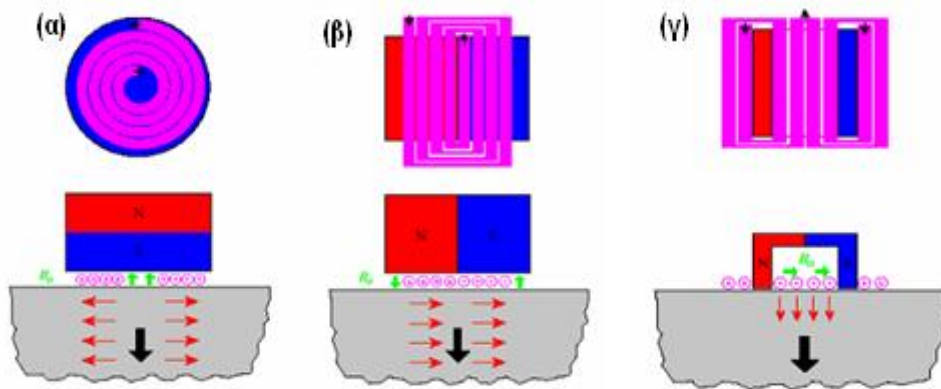
Για την παραγωγή υπερήχων χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε μηχανική. Γενικότερα οι πιο γνωστές είναι οι διατάξεις παραγωγής υπερήχων χρησιμοποιώντας

ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα (Electromagnetic-Acoustic Transducer, EMATS), διατάξεις με υλικά που εμφανίζουν φαινόμενα *μαγνητοσυστολής* (magneto restrictive elements) , διατάξεις με *παλμικά Laser* και φυσικά διατάξεις με υλικά που εμφανίζουν το φαινόμενο του *πιεζοηλεκτρισμού* (piezoelectric elements).

3.2.1 EMATS.

Από την ηλεκτροδυναμική είναι γνωστό πως μπορούμε να παράγουμε δύναμη από έναν *ρευματοφόρο αγωγό* όταν αυτός βρίσκεται σε *μαγνητικό πεδίο*. Αυτό το φαινόμενο μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε ώστε να δημιουργήσουμε ελαστικά κύματα σε ένα δοκίμιο, αρκεί αυτή η παραγομένη δύναμη / τάση να είναι της επιθυμητής μορφής. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορες διατάξεις πηνίων διαφόρων μορφών σε κατάλληλο μαγνητικό πεδίο, ώστε να παράγουμε ελαστικά κύματα είτε διαμήκη είτε εγκάρσια. Για την ανίχνευση αυτών των κυμάτων χρησιμοποιείται το αντίστροφο φαινόμενο, δηλαδή το ελαστικό κύμα θέτει σε κίνηση τον αγωγό οπότε εμφανίζεται ηλεκτροδυναμική δύναμη στα άκρα του αγωγού. Για καλύτερη *ευαισθησία* αυξάνουμε τον αριθμό των *σπειρών* του *πηνίου* σε συμβιβασμό πάντα με την αύξηση της επαγωγής που επιθυμούμε να κρατηθεί σε μικρά επίπεδα αφού συνήθως το πηνίο δουλεύει σε υψηλές συχνότητες. Συνήθως σε αγωγή δείγματα αντί για εξωτερικό πηνίο επάγουμε δινορεύματα στην επιφάνεια του δείγματος έχοντας έτσι το κύριο πλεονέκτημα να μην χρειάζεται να έρθουμε σε επαφή με αυτό αλλά σε μια απόσταση μερικών χιλιοστών. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι ότι συνήθως εργαζόμαστε με μεγάλες συχνότητες που επιτρέπουν μεγάλη ευκρίνεια και ακρίβεια στις

μετρήσεις αλλά ταυτόχρονα και μεγάλες απώλειες σε υλικά με μεγάλη απόσβεση.

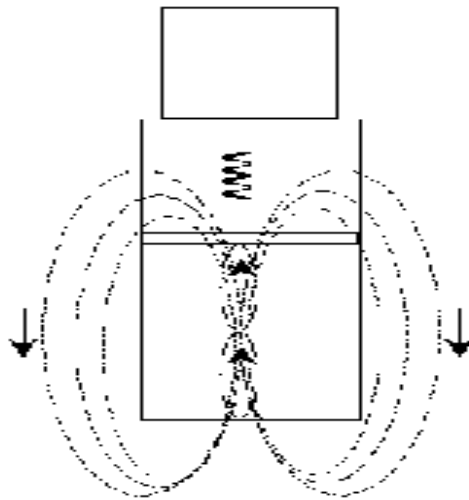


Σχήμα 3.1: Δυο τρόποι δημιουργίας εγκάρσιων κυμάτων, ο πρώτος παράγει ακτινικά πολωμένα κύματα (α), ενώ ο δεύτερος γραμμικά (β) και (γ) παραγωγή διαμηκών κυμάτων.

[πηγή:1]

3.2.2 Μαγνητοσυστολή (Magneto restrictive elements).

Τα υλικά που εμφανίζουν το φαινόμενο της **μαγνητοσυστολής** μετατρέπουν μαγνητική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια και αντίστροφα. Καθώς ένα υλικό που εμφανίζει το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής μαγνητισθεί, μεταβάλλει τις διαστάσεις του παρατηρείται δηλαδή μια αλλαγή του μήκους του ανά μονάδα μήκους. Αντιθέτως, εάν μια εξωτερική δύναμη παραγάγει μια πίεση σε υλικό που εμφανίζει το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής, η μαγνητική κατάσταση του υλικού θα αλλάξει. Αυτή η αμφίδρομη σχέση μεταξύ των μαγνητικών και μηχανικών καταστάσεων ενός υλικού που εμφανίζει το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής παρέχει μια ικανότητα μεταγωγής που χρησιμοποιείται για την κατασκευή πομπών και δεκτών υπερήχων.

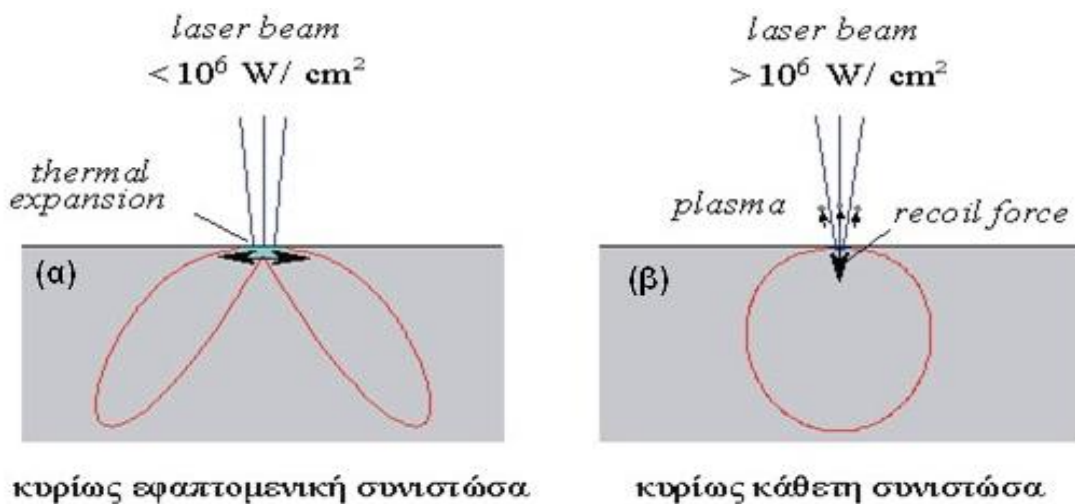


Σχήμα 3.2: Το γράφημα δείχνει τις γραμμές μαγνητικής ροής που συνδέονται με τη μαγνήτιση του οδηγού. [πηγή:1]

Η μαγνητοσυστολή είναι μια έμφυτη ιδιότητα του υλικού η οποία δεν υποβαθμίζεται με τον χρόνο. Υλικά που εμφανίζουν το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής χρησιμοποιούνται ως τηλεφωνικοί δέκτες, ταλαντωτές μαγνητοσυστολής, μετρητές ροπής, σόναρ κ.α.. Μερικά από τα πιο γνωστά υλικά που εμφανίζουν το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής είναι το **κοβάλτιο**, το **νικέλιο**, ο **σίδηρος**, ο **φερρίτης** κ.α.. Έχοντας ένα υλικό το οποίο εμφανίζει το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής είναι σχετικά εύκολο να παράγουμε ελαστικά κύματα. Συνήθως ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί μεταβολές στην γεωμετρία του υλικού οι οποίες μεταδίδονται στο δοκίμιο. Φυσικά το υλικό πρέπει να έχει το σωστό προσανατολισμό ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός τρόπος διάδοσης κύματος.

3.2.3 Laser.

Γενικά υπάρχουν δύο τρόποι δημιουργίας ελαστικών κυμάτων με Laser, με τον πρώτο τρόπο προκαλούμε *θερμική εκτόνωση* (σχήμα 3.3α) στην περιοχή εστίασης του Laser οπότε αυτή η θερμική διαταραχή διαδίδεται σαν ελαστικό κύμα μέσα στο υλικό, και με το δεύτερο τρόπο χρησιμοποιώντας ένα πιο ισχυρό Laser προκαλούμε *επιφανειακή εξάχνωση* (σχήμα 3.3β) στο υλικό οπότε έχουμε μεταβολή στην επιφανειακή τάση. Για την λήψη του σήματος χρησιμοποιούνται οπτικές τεχνικές με συμβολόμετρα. Έτσι δεν έχουμε ουσιαστικό περιορισμό στην απόσταση της συσκευής παραγωγής υπερήχων με το δείγμα και είναι δυνατή η παραγωγή αρκετά μμεγάλων συχνοτήτων οπότε έχουμε και μμεγάλη ακρίβεια. Μοναδικά ίσως μειονεκτήματα είναι το κόστος, και η δυσκολία μέτρησης ορισμένων υλικών (π.χ. υλικά με μεγάλη ανακλαστικότητα ή θερμική αγωγιμότητα).

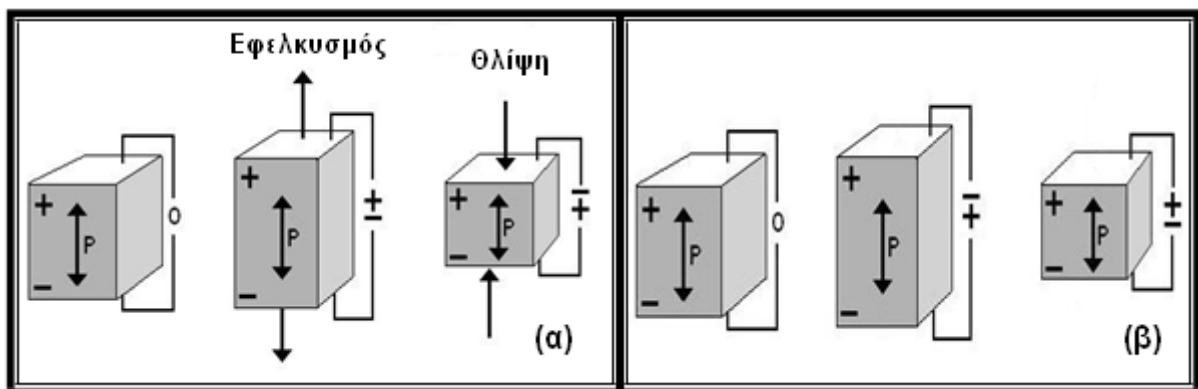


Σχήμα 3.3: Παραγωγή υπερήχων με Laser. [πηγή:1]

3.2.4 Πιεζοηλεκτρισμός.

Η εκπομπή και η λήψη των υπερήχων στηρίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή στη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια και αντίστροφα από ειδικούς κρυστάλλους. Η πιεζοηλεκτρική ιδιότητα οφείλεται στην μετατόπιση και σχετική αναδιάταξη φορτίων που προκαλείται στην δομή των κρυστάλλων με την εφαρμογή μηχανικής πίεσης.

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τους Jacques και Pierre Curie το 1880. Εάν ορισμένα κρύσταλλα υποβληθούν σε μηχανική πίεση, πολώνονται ηλεκτρικά και ο βαθμός πόλωσης ήταν ανάλογος με την εφαρμοσμένη πίεση. Επίσης παρατήρησαν ότι τα ίδια υλικά παραμορφώνονται όταν εκτίθενται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό έχει γίνει γνωστό ως αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Για την κατανόηση του φαινομένου θεωρούμε τον κύβο από πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο του σχήματος 3.4.



Σχήμα 3.4: α) Ευθύ πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο β) Ανάστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

[πηγή:6]

Όταν ο πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος καταπονείται διαδοχικά σε εφελκυσμό και θλίψη (εναλλάξ) παράγει εναλλασσόμενο ηλεκτρικό δυναμικό στις

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

απέναντι επιφάνειές του (σχήμα 3.4α). Έτσι όταν ένα ακουστικό κύμα, στην περίπτωση μας υπερηχητικό, φτάσει σε ένα πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο τον υποβάλλει σε κατάσταση εναλλασσόμενου εφελκυσμού και θλίψης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αναπτύσσεται εναλλασσόμενο ηλεκτρικό δυναμικό, του οποίου πολικότητα αλλάζει με τη συχνότητα του κύματος και η τάση είναι ανάλογη της ακουστικής πίεσης. Η διαδικασία αυτή αποτελεί το ευθύ πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο και τότε ο κρύσταλλος λειτουργεί ως δέκτης υπερηχητικών κυμάτων, μετατρέποντας τις μηχανικές ταλαντώσεις σε ηλεκτρική τάση (ηλεκτρικά σήματα).

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο όμως είναι αναστρέψιμο. Δηλαδή, εάν εφαρμόσουμε ένα ηλεκτρικό δυναμικό στις απέναντι πλευρές ενός πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, ο κρύσταλλος θα παραμορφωθεί εφελκυστικά ή θλιπτικά ανάλογα με την πολικότητα του ηλεκτρικού δυναμικού (σχήμα 3.4β). Εάν το δυναμικό αυτό είναι εναλλασσόμενο, τότε ο κρύσταλλος θα εφελκύεται ή θα θλίβεται με την συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης. Εάν με κάποιο τρόπο εμποδιστεί η αλλαγή των δύο διαστάσεων του κύβου, τότε με την τρίτη του διάσταση θα ασκεί θλιπτικές δυνάμεις στο μέσο (νερό, αέρας, μέταλλο), που συνορεύει η τρίτη διάσταση και οι οποίες θα είναι ανάλογες με την τάση που εφαρμόζεται στον κύβο. Στην περίπτωση που η τάση είναι εναλλασσόμενη, προκαλούνται μεταβολές στην πίεση που ασκείται στο μέσο και έχουμε σαν αποτέλεσμα την παραγωγή διαμηκών κυμάτων. Το ανάστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται για την παραγωγή διαμηκών υπερηχητικών κυμάτων.

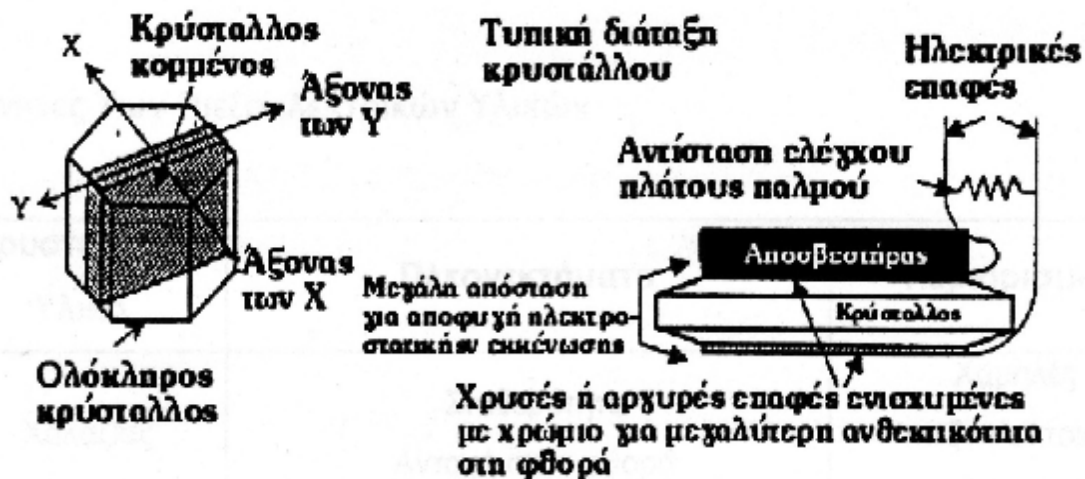
Χρησιμοποιώντας τους πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους να λειτουργούν είτε με τον ευθύ είτε με τον ανάστροφο τρόπο κατασκευάζονται οι πιεζοηλεκτρικές κεφαλές (transducers), οι οποίες είναι ίσως το πιο σημαντικό στοιχείο ενός

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

συστήματος υπερήχων. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η πιο ενδεδειγμένη επιλογή του τρόπου παραγωγής υπερήχων είναι αυτή των *πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων* συγκριτικά με τους αισθητήρες μαγνητοσυστολής, παλμικών laser και EMATs.

3.3 Πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος.

Ο φυσικός κρύσταλλος έχει τη μορφή εξαγωνικού πρίσματος. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο εμφανίζεται μόνο σε πλάκες που είναι κομμένες κάθετα προς τον άξονα X ή προς τον άξονα Y. Οι κρύσταλλοι που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές υπερήχων έχουν κοπεί κάθετα προς τον άξονα X λόγω του είδους της δόνησης που παράγουν (συμπιεστικοί).



Σχήμα 3.5: Πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος. [πηγή:7]

Η συχνότητα δόνησης ενός κρυστάλλου καθορίζεται από το πάχος του και την ταχύτητα που μεταδίδεται ο ήχος μέσα σε αυτόν και δίνεται από τον τύπο:

$F_t = \frac{V}{2t}$ (F_t : βασική συχνότητα, V : ταχύτητα υλικού του κρυστάλλου, t : πάχος κρυστάλλου)

(Από το παραπάνω τύπο προκύπτει ότι, όσο πιο λεπτός είναι ο κρύσταλλος τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα.)

3.3.1 Επιλογή πιεζοκρυστάλλου.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των πιεζοηλεκτρικών μετατροπέων είναι η μεγάλη *ευαισθησία* τους καθώς και η καλή *απόδοση* μετατροπής ενέργειας που οφείλεται στην φύση και τα χαρακτηριστικά του υλικού. Επίσης το χαμηλό *κόστος* είναι ένα πολύ σημαντικό πλεονεκτήματα ώστε να χρησιμοποιούνται οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες. Από την άλλη μεριά, το μόνο μειονέκτημα που εμφανίζουν οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες, που περιορίζει την ακρίβεια του, είναι η επαφή με το δείγμα και η απαραίτητη χρήση *υλικών σύζευξης* κυρίως για τις εφαρμογές άμεσης επαφής. Παρ' όλα αυτά όμως για την συγκεκριμένη εφαρμογή τα σφάλματα μετρήσεων που εμφανίζονται λόγω της χρήσης υλικών σύζευξης είναι σχεδόν αμελητέα.

Πιεζοηλεκτρικά υλικά

Φυσικής προέλευσης:

Χαλαζίας: Το πλεονέκτημα του είναι ότι αντέχει στη φθορά αλλά έχει χαμηλές πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες.

Τεχνητά παρασκευασμένοι:

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Θεικό Λίθιο ($LiSO_4$): Είναι άριστος δέκτης με εύκολη απόσβεση, αλλά έχει το αρνητικό ότι είναι υδροδιαλυτός.

Κεραμικοί:

Τιτανικό Βάριο ($BaTiO_3$): Είναι άριστος πομπός με καλές πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες και μπορεί να σχηματίσει εστιασμένη δέσμη. Έχει όμως το μειονέκτημα να είναι ευαίσθητος σε αύξηση της θερμοκρασίας.

Ζirkονικός Μόλυβδος($PbZrO_3$): Έχει καλές πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες.

Ζirkοτιτανικός Μόλυβδος(PZT): Είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο πιεζοηλεκτρικό υλικό σήμερα. Διατηρεί καλές ιδιότητες εκπομπής αλλά είναι δύσκολη η επαργύρωση του. Το PZT έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, μπορεί να λάβει διάφορα σχήματα και μεγέθη, μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες υψηλότερες των $100^{\circ}C$ και είναι σταθερό για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι ιδιότητες του μπορούν να ρυθμιστούν με την τροποποίηση της αναλογίας ζirkονίου / τιτανίου και την προσθήκη μικρής ποσότητας άλλων ουσιών π.χ. λανθάνιο.



Σχήμα 3.6: Κρύσταλλοι πιεζοηλεκτρικών υλικών όπως απαντώνται στην φύση .Στα αριστερά κρύσταλλοι $LiTaO_3$, στο κέντρο κρύσταλλοι $LiNbO_3$, ενώ δεξιά κρύσταλλοι χαλαζία.

[πηγή:1]

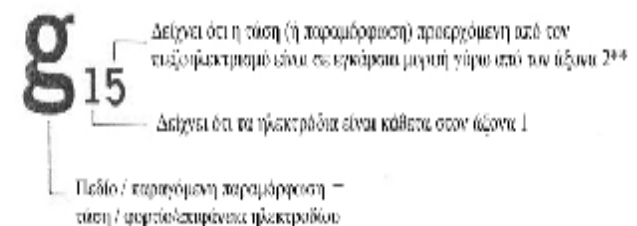
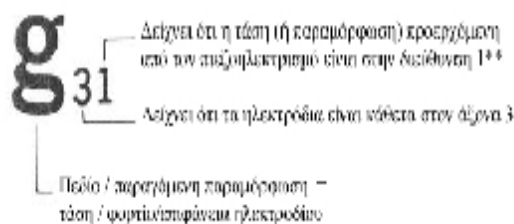
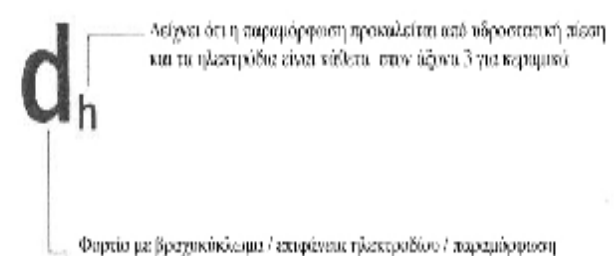
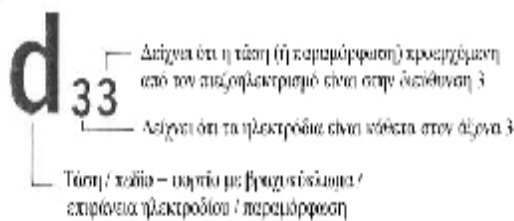
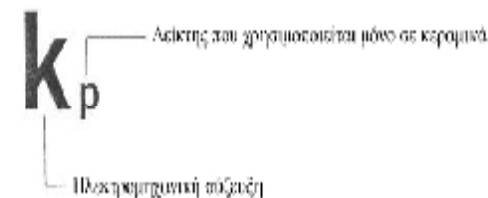
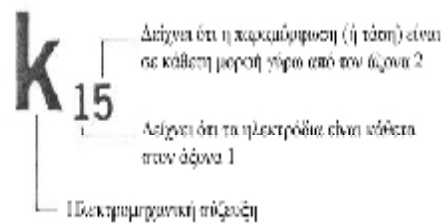
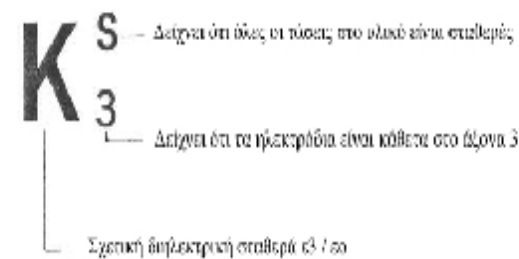
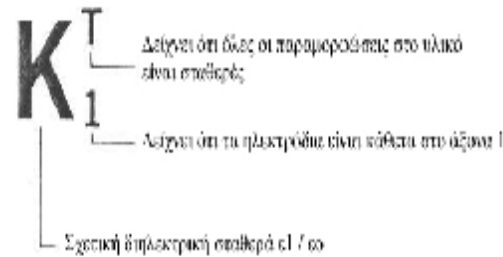
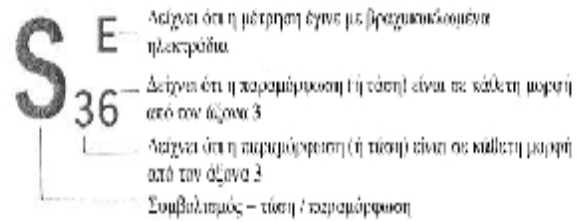
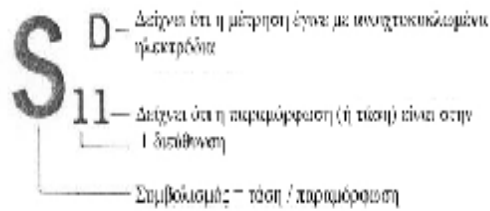
3.4 Χαρακτηριστικά πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων.

Για την περιγραφή των ιδιοτήτων των πιεζοηλεκτρικών υλικών έχουν οριστεί, σύμφωνα με διεθνείς κανονισμούς, ορισμένα μεγέθη η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για την κατανόηση της συμπεριφοράς του πιεζοηλεκτρικού υλικού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Σύμφωνα με αυτά τα μεγέθη γίνεται η επιλογή του κατάλληλου πιεζοηλεκτρικού υλικού για την εκάστοτε εφαρμογή ώστε να έχουμε αύξηση της αποδοτικότητας της συναρτήσεως των συνθηκών που επικρατούν καθώς και περαιτέρω βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών του.

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται μόνο στο *ενεργό υλικό* και όχι στον τελικό πιεζοηλεκτρικό μετατροπέα του οποίου οι τα χαρακτηριστικά μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Γενικά τα πιεζοηλεκτρικά υλικά είναι ανισότροπα ή γίνονται ανισότροπα αφού πολωθούν όπως γίνεται με τα πιεζοηλεκτρικά υλικά. Στα πιεζοηλεκτρικά υλικά οι ηλεκτρικές, μηχανικές και ηλεκτρομηχανικές ιδιότητες τους διαφέρουν ανάλογα με το ηλεκτρικό ή μηχανικό ερέθισμα που υφίστανται στις διάφορες διευθύνσεις.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η συστηματική κατάταξη των ιδιοτήτων καθώς και η τυποποίηση των κατευθύνσεων για πιο εύκολη αναγνώριση. Κατά κανόνα οι άξονες X, Y, Z του κρυσταλλικού πλέγματος αντιστοιχίζονται στα νούμερα $1, 2, 3$, ενώ με τα νούμερα $4, 5, 6$ συμβολίζουμε *εγκάρσιες* τάσεις ή παραμορφώσεις γύρω από τους άξονες X, Y, Z αντίστοιχα.

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.



Σχήμα 3.7: Τυπικά σύμβολα που περιγράφουν διάφορα πιεζοηλεκτρικά υλικά. [πηγή:1]

Τα πιο σημαντικά μεγέθη των πιεζοηλεκτρικών υλικών είναι τα εξής:

ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ:

Μας πληροφορούν για την *ελαστική συμπεριφορά* του πιεζοηλεκτρικού υλικού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Συμβολίζονται με το γράμμα S καθώς και με κατάλληλα γράμματα σε δείκτη και εκθέτη αντίστοιχα. Με αυτόν τον τρόπο, η κατεύθυνση της τάσης και της παραμόρφωσης ή της παραμόρφωσης και της τάσης υποδεικνύεται στον δείκτη ως 1,2,3 τα οποία αναφέρονται στους άξονες X,Y,Z και αν έχουμε εγκάρσιες τάσεις ή παραμορφώσεις συμβολίζονται με 4,5,6. Παράλληλα, αν η μέτρηση έγινε με τα ηλεκτρόδια του πιεζοκρυσταλλικού υλικού ανοιχτοκυκλωμένα συμβολίζουμε με D στον εκθέτη ενώ αν κατά την μέτρηση τα ηλεκτρόδια ήταν βραχυκυκλωμένα συμβολίζεται με το E . Για παράδειγμα το S_{13}^D συμβολίζει ότι έχουμε τάση στην 1 διεύθυνση και παραμόρφωση στην 3 διεύθυνση καθώς και ότι τα ηλεκτρόδια ήταν ανοιχτοκυκλωμένα.

ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ :

Σε ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό, η *διηλεκτρική σταθερά* (ϵ) εξαρτάται από την διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και την διεύθυνση της διηλεκτρικής μετατόπισης. Για αυτό τον λόγο δείκτες έχουν προστεθεί στον συμβολισμό αυτό για να υποδηλώσουν τις διευθύνσεις αυτές. Ο πρώτος δείκτης αναφέρεται στην διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου ή της διηλεκτρικής μετατόπισης και ο δεύτερος στην διεύθυνση της ηλεκτρικής μετατόπισης ή του ηλεκτρικού πεδίου αντίστοιχα. Όμως στα περισσότερα πιεζοηλεκτρικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στους πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς το πεδίο που ασκείται σε έναν άξονα οδηγεί σε διηλεκτρική μετατόπιση στον ίδιο

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

άξονα άρα οι δυο δείκτες συμπίπτουν. Παράλληλα, γνωρίζουμε ότι τα πιεζοηλεκτρικά υλικά μετασχηματίζουν ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια οπότε οι ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού εξαρτώνται από τους μηχανικούς περιορισμούς που τίθενται στο σύστημα. Έτσι, όταν ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό είναι εντελώς ελεύθερο να δονείται, η διηλεκτρική σταθερά είναι μεγαλύτερη από του αντιστοίχου που περιορίζεται μηχανικά. Με αυτόν τον τρόπο, θέτουμε τον έκθετη T για μέτρηση σε σταθερή παραμόρφωση και S για σταθερή τάση. Τέλος, ορίζουμε την σχετική **διηλεκτρική σταθερά**, η οποία συμβολίζεται με το γράμμα K , που είναι ο λόγος της διηλεκτρικής σταθεράς του υλικού (ϵ) προς την διηλεκτρική σταθερά του κενού (ϵ_0).

ΣΥΖΕΥΞΗ:

Με τον όρο σύζευξη εννοούμε την **ικανότητα** του υλικού να **μετασχηματίζει** μια **μορφή ενέργειας** (ηλεκτρική ή μηχανική) **σε μια άλλη** (μηχανική ή ηλεκτρική). Το τετράγωνο του μεγέθους αυτού ισούται με τον βαθμό απόδοσης του υλικού, δηλαδή τον λόγο της μετασχηματιζόμενης ενέργειας προς την ολική ενέργεια που έχει προσφερθεί. Συνήθως η σύζευξη συμβολίζεται με k_{13} με τον πρώτο δείκτη να συμβολίζει τον άξονα του ηλεκτρικού πεδίου και τον δεύτερο να συμβολίζει τον άξονα της μηχανικής παραμόρφωσης δεδομένου ότι οι υπόλοιπες παραμορφώσεις είναι σταθερές. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδίως σε κεραμικά πιεζοηλεκτρικά υλικά, μια ηλεκτρική τάση μπορεί να προκαλέσει μηχανική παραμόρφωση σε περισσότερους άξονες με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παραπάνω συμβολισμός.

ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΤΑΣΕΙΣ:

Οι σταθερές τάσεις δηλώνουν τον λόγο των τάσεων που αναπτύσσονται κατά μήκος ή τριγύρω από συγκεκριμένο άξονα προς το πεδίο που ασκείται παράλληλα στον συγκεκριμένο άξονα όταν όλες οι εξωτερικές παραμορφώσεις είναι σταθερές. Για παράδειγμα το d31 υποδηλώνει τον λόγο της τάσης στην διεύθυνση 1 προς το πεδίο που ασκείται στην διεύθυνση 2 όταν το πιεζοηλεκτρικό υλικό είναι μηχανικά ελεύθερο προς όλες τις διευθύνσεις. Στην περίπτωση της υδροστατικής πίεσης ορισμένα κεραμικά δημιουργούν τάση και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ο συμβολισμός dh.

ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ:

Οι σταθερές παραμόρφωσης εκφράζουν τον λόγο του πεδίου που δημιουργείται κατά μήκος συγκεκριμένου άξονα προς την παραμόρφωση κατά μήκος ή τριγύρω από συγκεκριμένο άξονα όταν όλες οι εξωτερικές τάσεις είναι σταθερές. Οι σταθερές παραμόρφωσης συμβολίζονται με το γράμμα g και τους αντίστοιχους εκθέτες.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ:

Ορισμένα πιεζοηλεκτρικά υλικά, συμπεριλαμβανομένου και του χαλάζια, είναι υψηλής ποιότητας διηλεκτρικά σε αντίθεση με άλλα πιεζοηλεκτρικά υλικά κυρίως κεραμικά τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες. Οι διηλεκτρικές απώλειες εκφράζονται σαν παράγοντας υστέρησης και ορίζονται ως τον λόγο της ισοδύναμης αντίστασης σειράς προς την φανταστική εμπέδηση σειράς.

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ:

Όταν ένα ελαστικό σώμα παραμορφώνεται, ένα μεγάλο μέρος της ασκούμενης μηχανικής ενέργειας, που συμβάλει στην παραμόρφωση του, αποθηκεύεται σαν ελαστική ενέργεια. Παράλληλα, ένα μικρό κομμάτι της ασκούμενης ενέργειας διαχέεται ως θερμότητα, ως αποτέλεσμα της τριβής μεταξύ των ατόμων του κρυσταλλικού πλέγματος. Οι μηχανικές απώλειες έχουν σχέση με τον συντελεστή ποιότητας Q και ορίζονται ως ο λόγος της απόκρισης της μηχανικής δυσκαμψίας προς την μηχανική αντίσταση.

ΓΗΡΑΝΣΗ:

Η γήρανση αφορά κυρίως σύνθετα κεραμικά πιεζοηλεκτρικά υλικά τα οποία μεταβάλλουν τις ιδιότητες τους με τον χρόνο. Οι μεταβολές αυτές τείνουν να ακολουθούν λογαριθμική τροχιά ως προς τον χρόνο μετά την αρχική τους πόλωση και γίνονται πιο σταθερά με την πάροδο του χρόνου. Η γήρανση εξαρτάται τόσο από την σύσταση του κεραμικού όσο και από την διαδικασία παραγωγής.

ΣΗΜΕΙΟ CURIE (T_c):

Για κάθε πιεζοηλεκτρικό υλικό, υπάρχει μια χαρακτηριστική τιμή θερμοκρασίας (T_c), που καλείται σημείο Curie, θέρμανση πέραν της οποίας οδηγεί το υλικό σε μόνιμη και ολοκληρωτική απώλεια των πιεζοηλεκτρικών ιδιοτήτων του. Πρακτικά η θερμοκρασία λειτουργίας ενός πιεζοηλεκτρικού υλικού πρέπει να είναι κατά ένα παράγοντα μικρότερη από την T_c αφού αυξάνοντας τη θερμοκρασία αυξάνουν οι απώλειες, μικραίνει η αντοχή του υλικού σε τάσεις και επιταχύνεται η γήρανση του.

3.5 Πόλωση κεραμικών κρυστάλλων.

Στη φυσική τους μορφή, οι κρύσταλλοι ενός κεραμικού πολυκρυσταλλικού υλικού, είναι ατάκτως προσανατολισμένοι με αποτέλεσμα οι πιεζοηλεκτρικές τους ιδιότητες να αλληλοαναιρούνται. Για να γίνει η πόλωση αυτών των κεραμικών, πρέπει να θερμανθούν στην αντίστοιχη θερμοκρασία Curie και να υποβληθούν σε ηλεκτροστατικό πεδίο. Οι κρύσταλλοι ευθυγραμμίζονται κατά την κατεύθυνση του πεδίου, του οποίου η διατήρηση συνεχίζεται και κατά τη διάρκεια της ψύξεως. Ύστερα από αυτή τη διαδικασία, το πολωμένο κεραμικό υλικό συμπεριφέρεται σαν πιεζοηλεκτρικός μεταλλάκτης και διατηρεί αυτήν του την ιδιότητα έως ότου θερμανθεί εκ νέου, μέχρι την θερμοκρασία Curie.

- *Οι συνήθεις κεφαλές δεν χρησιμοποιούνται σε υλικά θερμοκρασίας άνω των 50° C, διότι πρώτον είναι πιθανή η μείωση των ικανοτήτων του κρυστάλλου και δεύτερον τα χαρακτηριστικά του πέλματος της κεφαλής αρχίζουν να μεταβάλλονται, επηρεάζοντας την ταχύτητα και κατά συνέπεια και την γωνία δέσμης στις γωνιακές κεφαλές.*

Ο μετατροπέας (transducer) αποτελεί ίσως το σημαντικότερο στοιχείο σε ένα σύστημα υπερήχων. Η λειτουργία του βασίζεται στο να μετατρέπει ηλεκτρικά σήματα σε κύματα πίεσης τα οποία διαδίδονται μέσα στο μέσο διάδοσης (εκπομπή υπερήχων) και να παράγει το ηλεκτρικό αντίστοιχο οποιασδήποτε λαμβανόμενης ακουστικής κυματομορφής (λήψη υπερήχων).

Ο πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος τοποθετείται ανάμεσα σε δύο λεπτά επίπεδα ηλεκτρόδια. Η εφαρμογή μιας διαφοράς δυναμικού σε αυτά προκαλεί τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού πεδίου εντάσεως E και τη μεταβολή του πάχους z του κρυστάλλου:

$$\frac{dz}{z} = C_c \cdot E$$

Όπου C_c : η αντίστροφη πιεζοηλεκτρική σταθερά.

Η εφαρμογή μηχανικής πίεσης (στη συγκεκριμένη περίπτωση υπερηχητικής πίεσης p) στον κρύσταλλο δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο εντάσεως E .

$$E = C_d \cdot p$$

Όπου C_d : είναι η πιεζοηλεκτρική σταθερά.

- Κεφάλαιο 4 -

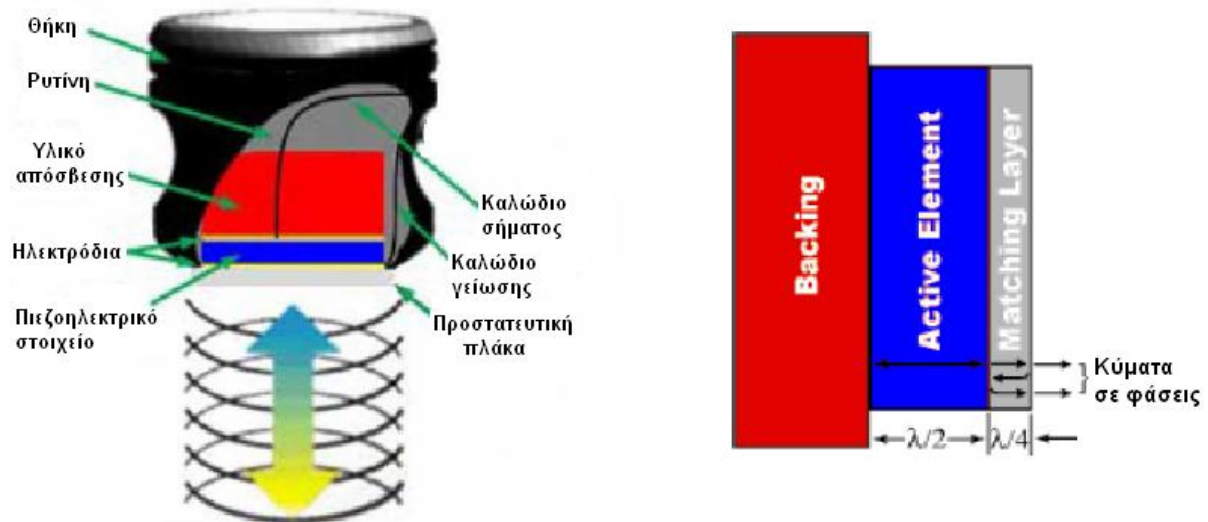
Μετατροπέας, Μετρητικές διατάξεις και Τεχνικές.

4.1 Εισαγωγή.

Για την σωστή κατασκευή ενός μετατροπέα υπέρηχων δεν αρκεί μόνο η επιλογή του ενεργού υλικού. Οι ιδιότητες ενός μετατροπέα υπέρηχων είναι συνάρτηση όλων των στοιχείων που τον αποτελούν. Παράλληλα, για την μέτρηση τόσο των ελαστικών ιδιοτήτων υλικών όσο και για τον μη καταστροφικό έλεγχο τους χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές και διατάξεις μετατροπέων υπέρηχων οι οποίες αποτελούν, μαζί με τα χαρακτηριστικά τους, τα περιεχόμενα του κεφαλαίου αυτού.

4.2 Κατασκευή και λειτουργία του μετατροπέα.

Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά σχεδίασης όπως εικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.1: Πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας. [πηγή:6]

Το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο μετατρέπει τα ηλεκτρικά σήματα σε μηχανικές ταλαντώσεις, οπότε έχουμε την παραγωγή υπερηχητικών κυμάτων. Αντίστροφα έχει την ικανότητα να μετατρέπει τις μηχανικές ταλαντώσεις, όταν δέχεται υπερηχητικά κύματα, σε ηλεκτρικά σήματα (receive mode). Το πάχος του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου (active element) καθορίζεται από την επιθυμητή συχνότητα της πιεζοηλεκτρικής κεφαλής και από το επιθυμητό μήκος κύματος. Ένας δίσκος πιεζοηλεκτρικού στοιχείου ταλαντώνεται και παράγει υπερήχους με μήκος κύματος διπλάσιο του πάχους του. Οπότε κατασκευάζονται με πάχος ίσο με το μισό του επιθυμητού μήκους κύματος. Επίσης, μπορεί να έχει κυκλικό ή ορθογώνιο σχήμα, οπότε ανάλογη θα είναι και η μορφή της παραγόμενης ηχητικής δέσμης.

Πίσω από το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο υπάρχει το υλικό απόσβεσης (backing material). Αυτό κατασκευάζεται από ένα μείγμα μεταλλικών κόκκων σε ρητίνη. Ο ρόλος του υλικού απόσβεσης (σχήμα 4.1) είναι να απορρόφα την ενέργεια του ηχητικού σήματος, η οποία περνά πίσω από τον κρύσταλλο προς το εσωτερικό της κεφαλής. Η ύπαρξη υλικού απόσβεσης με

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

ακουστική αντίσταση (acoustic impedance) παρόμοια με αυτή του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου, έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση της ακουστικής ενέργειας, που παράγεται από την πίσω πλευρά του κρυστάλλου.

Καθώς μειώνεται η ακουστική αντίσταση του υλικού απόσβεσης σε σχέση με αυτή του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου, λιγότερη ακουστική ενέργεια απορροφάται από το υλικό απόσβεσης και περισσότερη ακτινοβολείται προς το υπό εξέταση υλικό (narrow band transducer). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα της υπερηχητικής δέσμης, αλλά ταυτόχρονα την μείωση της ευαισθησίας της πιεζοηλεκτρικής κεφαλής.

Μπροστά από το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο υπάρχει μια προστατευτική πλάκα (wear plate). Η πλάκα αυτή (σχήμα 4.1) έχει διπλό ρόλο. Πρώτον, αναλαμβάνει να προστατέψει το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο από φθορά με την επαφή του με το περιβάλλον. Δεύτερον, έχει ακουστική αντίσταση τέτοια, ώστε να διευκολύνει την διάδοση των υπερηχητικών κυμάτων στο μέσο που έρχεται σε επαφή.

4.3 Χαρακτηριστικά του μετατροπέα.

Γενικά για τον καθορισμό και την μέτρηση των χαρακτηριστικών των μετατροπέων ακολουθούνται από τους κατασκευαστές διεθνείς προδιαγραφές σύμφωνα με το πρότυπο E1065 κατά ASTM (American Society for Testing Materials). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μετατροπέων υπέρηχων είναι:

Ευαισθησία (S):

Ευαισθησία είναι η ικανότητα ενός μετατροπέα υπέρηχων να ανιχνεύουν ανακλώμενες ακτίνες σε δεδομένο βάθος εντός ενός μέσου. Όσο πιο δυνατό είναι το σήμα που ανιχνεύεται τόσο πιο ευαίσθητος είναι ο μετατροπέας. Η ευαισθησία μετριέται σε dB.

Ανάλυση:

Αξονική ανάλυση είναι η ικανότητα του μετατροπέα να αντιλαμβάνεται ανακλάσεις από δευτερογενείς πηγές μέσα από το υλικό. Επίσης υπάρχει και η ανάλυση κοντινού πεδίου η οποία έχει σχέση με την με την διακριτότητα του μετατροπέα σε ανακλάσεις που είναι κοντά στην επιφάνεια του μετατροπέα.

Απόκριση στο πεδίο του χρόνου:

Με την απόκριση στο πεδίο του χρόνου γίνεται η εκτίμηση της διάρκειας της κυματομορφής, της απόσβεσης του συστήματος και γενικότερα της ανάλυσης του, αφού με μικρές σε διάρκεια αποκρίσεις έχουμε καλύτερη ανάλυση.

Απόκριση στο πεδίο της συχνότητας:

Σε σχέση με την ιδιοσυχνότητα του (που καθορίζεται από το πάχος του), ένας κρύσταλλος αποκρίνεται και σε άλλες συχνότητες γύρω από την κεντρική. Ένα χαρακτηριστικό του συστήματος υπέρηχων είναι το εύρος των συχνοτήτων που μεταδίδονται στην οθόνη του παλμογράφου. Ένα σύστημα χαρακτηρίζεται σαν μεγάλο εύρους (Broad banded), όταν αυτό το πεδίο συχνοτήτων είναι μεγάλο, οπότε έχουμε πιστή αναπαράσταση του ανακλώμενου ήχου, υψηλή διακριτική ικανότητα αλλά και υψηλό θόρυβο. Μικρή διάρκεια παλμού δίνει μεγάλο εύρος

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

απόκρισης. Αντίθετα, όταν η απόκριση είναι σημαντική μόνο πολύ κοντά στην ιδιοσυχνότητα, τότε μιλάμε για στενό εύρος (Narrow-banded) και υπάρχει σημαντική παραμόρφωση σημάτων αλλά μεγαλύτερη διείσδυση στο υλικό. Ο δείκτης ποιότητας Q ενός κρυστάλλου ορίζεται σαν:

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

(Όπου f_0 η ιδιοσυχνότητα και f_2, f_1 οι συχνότητες που δίνουν ένταση σήματος ίση με το 70% της εντάσεως που δίνει η συχνότητα)

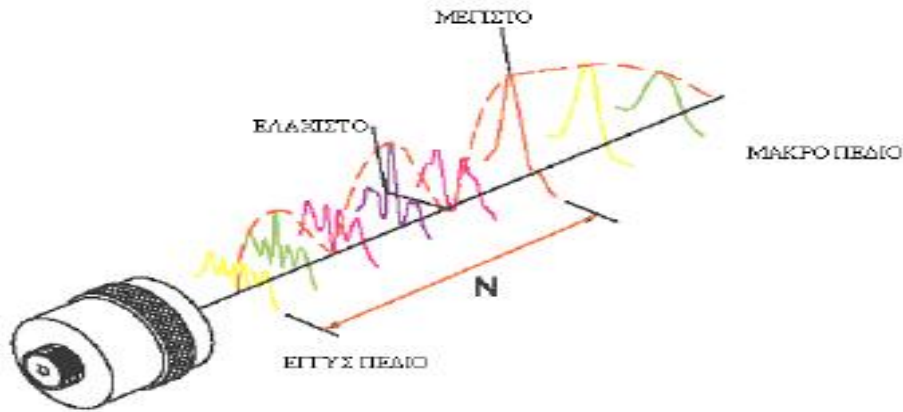
Το μέγεθος $f_2 - f_1$ ονομάζεται "εύρος συχνοτήτων" (Band width). Όσο γρηγορότερα αποσβένει ο παλμός, τόσο μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων έχουμε, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα αλλά και μικρότερη η διάβαση στο υλικό. Επίσης, συστήματα με μεγάλο εύρος συχνοτήτων παρουσιάζουν μεγάλο θόρυβο και επομένως πρακτικά μικρότερη ευαισθησία. Συστήματα μικρού εύρους συχνοτήτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία, μικρότερη διάβαση, μικρότερο θόρυβο αλλά και μεγαλύτερη παραμόρφωση σήματος, που οδηγεί σε χειρότερη διακριτική ικανότητα σε βάθος. Το διάγραμμα της απόκρισης στο πεδίο της συχνότητας είναι ένα αρκετά χρήσιμο διάγραμμα αφού μας δίνει μια πληθώρα από πληροφορίες για το εύρος ζώνης, την κεντρική συχνότητα λειτουργίας και την ευαισθησία του μετατροπέα.

Χαρακτηριστικά του πεδίου υπερήχων:

Υπάρχουν μια σειρά παραμέτρων του πεδίου υπερήχων που είναι χρήσιμα για να περιγραφούν τα χαρακτηριστικά ενός μετατροπέα. Το πεδίο υπερήχων ενός μετατροπέα είναι χωρισμένο σε δυο περιοχές το εγγύς πεδίο και το μακρό πεδίο (απώτερο πεδίο). Το εγγύς πεδίο είναι η περιοχή ακριβώς μπροστά από τον μετατροπέα όπου το πλάτος της δέσμης περνά από μια σειρά μέγιστα και

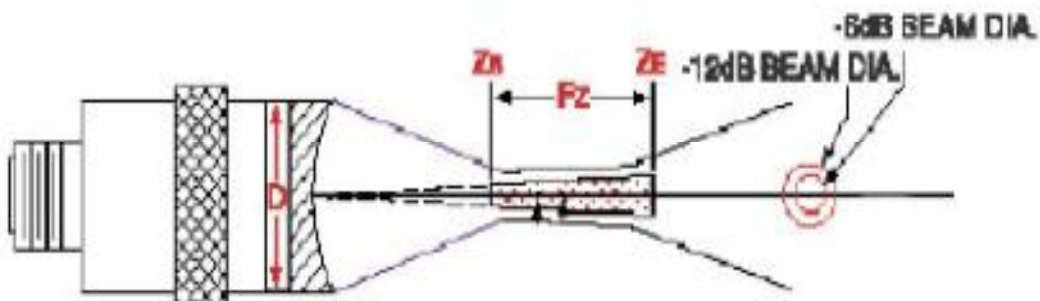
Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

ελάχιστα ώσπου να φτάσει στο τελικό μέγιστο σε απόσταση N από τον μετατροπέα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2. Το αιώτερο πεδίο είναι πέρα από την απόσταση N όπου η ένταση του ήχου σταδιακά μειώνεται έως το μηδέν.



Σχήμα 5.2: Πεδίο υπερήχων. [πηγή:1]

Παράλληλα με την απόσταση του εγγύς πεδίου, η γνώση του πλάτους της δέσμης καθώς και της ζώνης εστίασης είναι αναγκαίες γνώσεις για την χρήση συγκεκριμένου μετατροπέα για μια εφαρμογή βάσει των χαρακτηριστικών του. Η ευαισθησία ενός μετατροπέα είναι συνάρτηση της διαμέτρου της δέσμης. Όσο μικρότερη είναι η δέσμη, τόσο περισσότερη ενέργεια μεταφέρεται.



Σχήμα 4.3: Διάμετρος δέσμης. [πηγή:1]

4.4 Πιεζοηλεκτρικές κεφαλές.

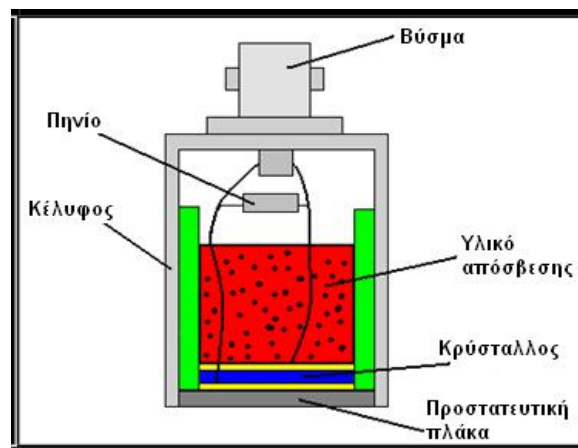
Οι κεφαλές υπερήχων (ultrasonic transducers) αποτελούν το αισθητήριο όργανο των συστημάτων υπερήχων που χρησιμοποιούνται στο μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών. Από το είδος, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες μιας κεφαλής υπερήχων, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η αξιοπιστία και η εγκυρότητα ενός ελέγχου. Στο Μ.Κ.Ε. των υλικών χρησιμοποιούνται αποκλειστικά πιεζοηλεκτρικές κεφαλές, δηλαδή κεφαλές που για την παραγωγή των υπερήχων στηρίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

Δεν χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι παραγωγής υπερήχων, π.χ. μαγνητοσυστολή, καθώς δεν μπορούν να παράξουν υπερήχους υψηλών συχνοτήτων. Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται μόνο πιεζοηλεκτρικές κεφαλές, ωστόσο υπάρχουν διάφοροι τύποι. Η κατηγοριοποίηση των πιεζοηλεκτρικών κεφαλών είναι ένα θέμα που αλλάζει, ανάλογα με την μέθοδο ελέγχου που ακολουθείται και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους. Κάθε τύπος κεφαλής λειτουργεί σύμφωνα με συγκεκριμένη μέθοδο ελέγχου και τα κατασκευαστικά της στοιχεία, της προσδίδουν συγκεκριμένες ιδιότητες, που την καθιστούν κατάλληλη να ανταπεξέλθει σε ορισμένες μόνο εφαρμογές. Δεν υπάρχουν κεφαλές, οι οποίες να ικανοποιούν όλα τα είδη ελέγχου και όλες τις εφαρμογές.

Η αναγκαιότητα μελέτης των υλικών επέβαλε τη δημιουργία μιας γκάμας κεφαλών, που περιλαμβάνει κεφαλές καθέτου δέσμης, κεφαλές πλαγίας δέσμης, εμβαπτιζόμενες κεφαλές, κεφαλές διπλού κρυστάλλου και κεφαλές ειδικού τύπου. Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες μπορεί να περιλαμβάνει κεφαλές που είναι είτε πομποί, είτε δέκτες, είτε και τα δύο ταυτόχρονα.

4.4.1 Κεφαλές καθέτου δέσμης ή κεφαλές 0°.

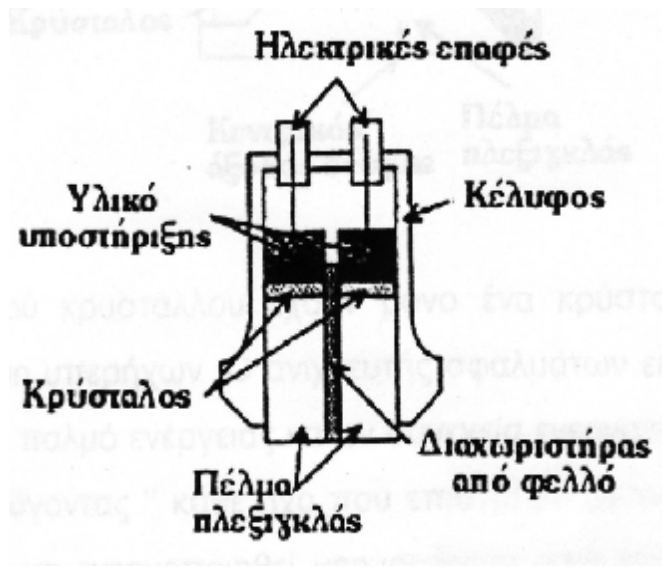
Οι κεφαλές καθέτου δέσμης εφαρμόζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε να προβούμε στην παχυμέτρηση κάποιου υλικού, να εντοπίσουμε ατέλειες της δομής του ή να προσδιορίσουμε τις ελαστικές σταθερές και την απόσβεση του αρκεί να είναι επίπεδη η κάτω επιφάνειά του. Η γωνία της κεφαλής που χρησιμοποιείται στις δοκιμές υπερήχων μετράται από γραμμή κάθετη προς την επιφάνεια του δοκιμίου, που λέγεται κατακόρυφος. Όταν λέμε ότι μια κεφαλή είναι 0° εννοούμε ότι μεταδίδει τον ήχο κατά 90° προς την επιφάνεια του δοκιμίου.



Σχήμα 4.4: Λεπτομέρειες κεφαλής καθέτου δέσμης. [πηγή:6]

- Μια τέτοια κεφαλή είναι αυτή των διδύμων κρυστάλλων:

Οι διπλές κεφαλές έχουν δύο κρυστάλλους, ο ένας λειτουργεί σαν πομπός και ο άλλος σαν δέκτης. Ένα χώρισμα από φελλό ανάμεσα στα πέλματα εμποδίζει παρεμβολές ή παράσιτα μεταξύ κρυστάλλων. Επιλέγονται τα ενεργά υλικά που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις ιδιότητες τους ως πομπός ή δέκτης αντίστοιχα. Τέτοιου είδους μετατροπείς χρησιμοποιούνται για την μέτρηση πάχους λεπτών υλικών και για την εύρεση ατελειών κοντά στην επιφάνεια.



Σχήμα 4.5: Κεφαλή διδύμων κρυστάλλων. [πηγή:7]

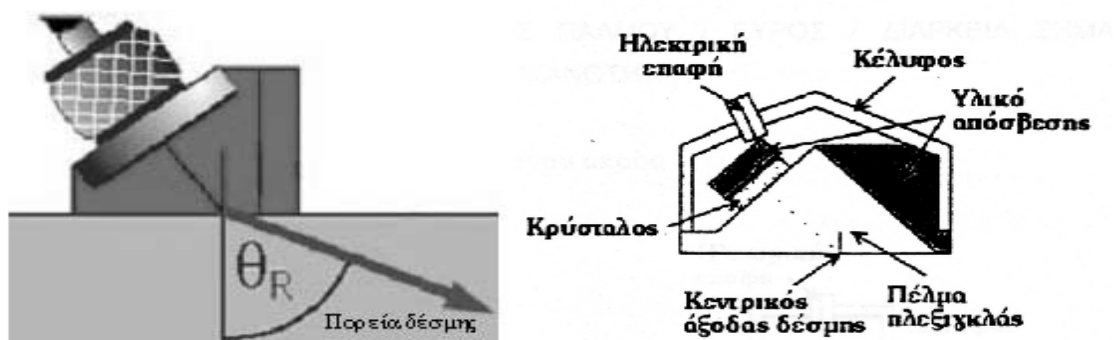
4.4.2 Κεφαλές πλάγιας δέσμης.

Σε περιπτώσεις, όπου είναι αδύνατη η χρήση της κεφαλής καθέτου δέσμης, χρησιμοποιούνται κεφαλές πλάγιας δέσμης. Για παράδειγμα, όταν θέλουμε να μελετήσουμε κάποια συγκόλληση, όπου μας ενδιαφέρει τι συμβαίνει στο εσωτερικό της (χοροί, εγκλείσματα, ρωγμές κτλ), δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κεφαλή καθέτου δέσμης διότι αφενός δεν θα υπάρχει καλή επαφή ανάμεσα στην κεφαλή και στην τραχιά επιφάνεια της συγκόλλησης, κάτι που εμποδίζει την διείσδυση του υπερήχου στο υλικό και αφετέρου η κάτω επιφάνεια της συγκόλλησης που θα ανακλαστεί ο υπερήχος είναι κεκλιμένη, οπότε και δεν θα έχουμε σήμα επιστροφής.

Σε αυτή την περίπτωση βρίσκουν εφαρμογή οι κεφαλές πλάγιας δέσμης, όπου τοποθετούνται στην επιφάνεια του κυρίως υλικού και στέλνοντας τον

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

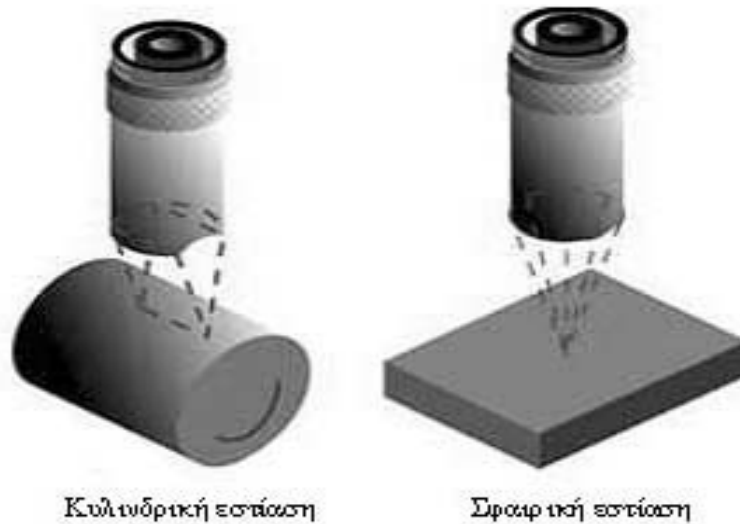
υπέρηχο υπό γωνία μπορούμε να λάβουμε τη σημαντική πληροφορία για την κατάσταση της συγκόλλησης. Επίσης, μπορούμε να ανιχνεύσουμε ατέλειες κεκλιμένες ως προς την επιφάνεια του δοκιμίου. Έχουμε την γωνιακή κεφαλή 60° , που μεταδίδει ήχο υπό γωνία 60° ως προς ην κατακόρυφο, δηλ. 30° ως προς την επιφάνεια. Οι συνηθέστερες γωνιακές κεφαλές μεταδίδουν εγκάρσια κύματα.



Σχήμα 4.6: Γωνιακή κεφαλή. [πηγή:7]

4.4.3 Εμβαπτιζόμενες κεφαλές ή κεφαλές βύθισης.

Οι κεφαλές βύθισης είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε *υγρό περιβάλλον*. Έχουν συνήθως ένα στρώμα εμπέδησης που βοηθάει σε περισσότερη ενέργεια να μεταφερθεί στο νερό και εν συνεχεία στο υπό εξέταση υλικό. Είναι διαθέσιμοι σε τρεις μορφές μη εστιασμένων, *σφαιρικά* εστιασμένων και *κυλινδρικά* εστιασμένων.



Σχήμα 4.7: Εμβαπτιζόμενες κεφαλές για κυλινδρική και σφαιρική εστίαση. [πηγή:1]

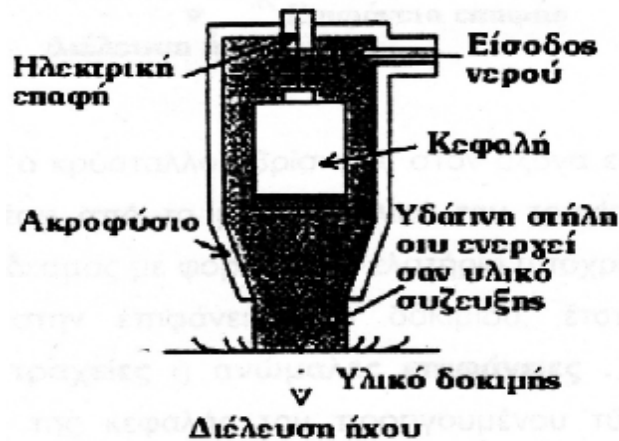
Οι μετατροπείς βύθισης προσφέρουν τρία βασικά πλεονεκτήματα σχετικά με τους

μετατροπείς επαφής:

- *Ομοιόμορφη σύζευξη, μειώνει τις μεταβολές της ευαισθησίας.*
- *Μείωση του χρόνου έλεγχου λόγω αυτοματοποιημένων εφαρμογών.*
- *Η ευαισθησία των μετατροπέων μπορεί να αυξηθεί με κατάλληλη εστίαση.*

- Μια τέτοια κεφαλή είναι με ακροφύσιο ύδατος:

Αποτελείται από ένα κέλυφος μέσα στο οποίο βρίσκεται η κεφαλή. Το κέλυφος τροφοδοτείται με νερό που εκτοξεύεται από το ακροφύσιο σχηματίζοντας στήλη νερού προς την επιφάνεια του δοκιμίου. Αυτή η κεφαλή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τραχείες ή ανομοιόμορφες επιφάνειες. Χρησιμοποιείται κυρίως σε αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου, όπως η σάρωση σημείου προς σημείο (C-Scan).

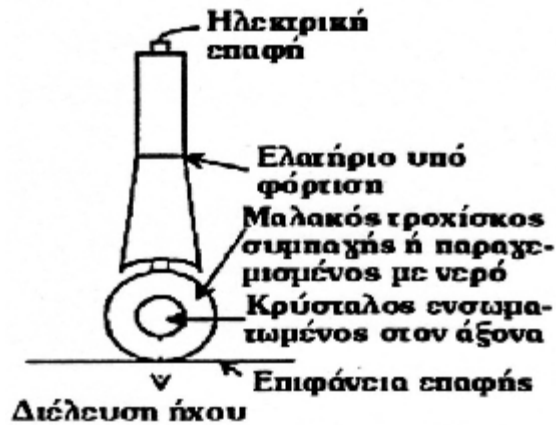


Σχήμα 4.8: Κεφαλή με ακροφύσιο ύδατος. [πηγή:7]

4.4.4 Κεφαλές ειδικού τύπου.

- Κυλιόμενη κεφαλή (τροχήλατη):

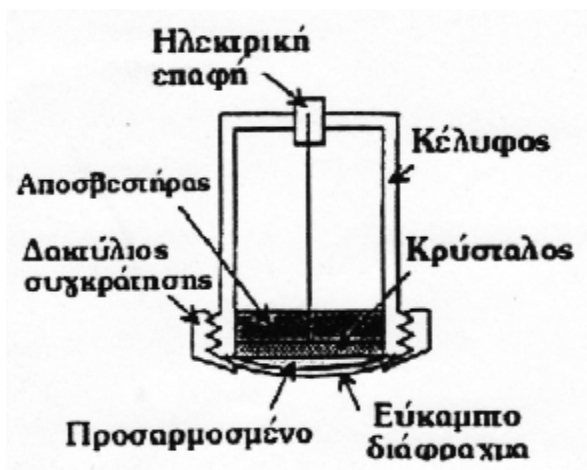
Ο κρύσταλλος βρίσκεται στον άξονα ενός μικρού τροχού και ο ήχος μεταδίδεται μέσα από το μαλακό υλικό του τροχού, στο δοκίμιο. Ένας σύνδεσμος φορτισμένος με ελατήριο υποχρεώνει την κεφαλή να ακολουθεί τροχιά στην επιφάνεια του δοκιμίου, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τραχείς ή ανώμαλες επιφάνειες. Να σημειώσουμε ότι δεν χρειάζεται εξωτερικό υλικό σύζευξης.



Σχήμα 4.9: Τροχήλατη κεφαλή. [πηγή:7]

- Κεφαλές εύκαμπτου άκρου:

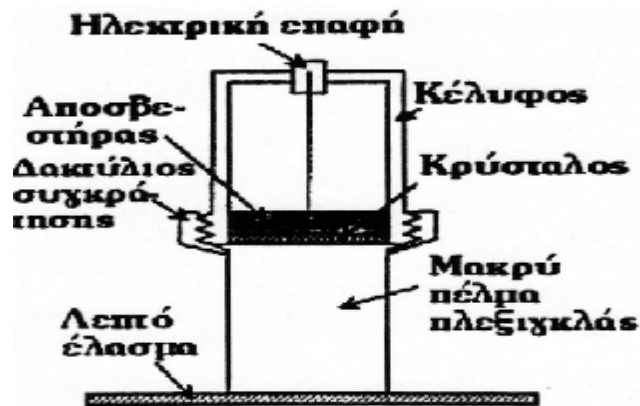
Αποτελείται από μαλακό διάφραγμα προσαρμοσμένο στην εμπρόσθια όψη του κρυστάλλου με τη βοήθεια βιδωτού δακτυλίου. Μεταξύ του διαφράγματος και του κρυστάλλου παρεμβάλλεται υλικό σύζευξης για την απομάκρυνση του αέρα. Το μαλακό διάφραγμα προσαρμόζεται στις ανώμαλες επιφάνειες του δοκιμίου μετατρέποντας την ιδανική για επιφάνειες τέτοιου είδους.



Σχήμα 4.10: Κεφαλή εύκαμπτου άκρου. [πηγή:7]

- Κεφαλές πέλματος καθυστέρησης:

Παρόμοια με τη κεφαλή εύκαμπτου άκρου, αλλά με τη διαφορά ότι αντί για διάφραγμα έχει μακρύ άκρο από πλεξιγκλάς. Το μήκος (του άκρου) υπερκαλύπτει το χρόνο που απαιτείται για την ηχώ, από την άνω επιφάνεια του δοκιμίου να επιστρέψει στον κρύσταλλο. Αυτό φέρνει την ηχώ από της εμπρόσθιας επιφάνειας σε μεγαλύτερη απόσταση στον οριζόντιο άξονα της απεικόνισης, δηλαδή πέρα από τη νεκρή ζώνη. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η ανίχνευση σφαλμάτων που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια ή ο έλεγχος λεπτών ελασμάτων, με χρήση κεφαλής απλού κρυστάλλου. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι λόγω της μικρής νεκρής ζώνης, έχουμε υψηλή συχνότητα = μεγάλη εγγύς ζώνη, αλλά η εγγύς ζώνη παραμένει στη κεφαλή και όχι στο δοκίμιο, έτσι είναι δυνατή η ανίχνευση σφαλμάτων κοντά στην επιφάνεια.



Σχήμα 4.11: Κεφαλή με πέλμα καθυστέρησης. [πηγή:7]

4.5 Επιλογή κεφαλής.

Η κεφαλή υπερήχων μεταδίδει ήχο διαφόρων συχνοτήτων και ανάλογα το πεδίο συχνοτήτων που κυμαίνεται επηρεάζει και τον συντελεστή απόσβεσης. Έχουμε δύο κατηγορίες, της κεφαλές με μεγάλο εύρος πεδίου και αυτές με μικρό εύρος.

ΚΕΦΑΛΕΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΠΕΔΙΟΥ	ΚΕΦΑΛΕΣ ΜΙΚΡΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΠΕΔΙΟΥ
Υψηλή απόσβεση	Χαμηλή απόσβεση
Μικρό μήκος παλμού (συνήθως 1 έως 2 κύκλοι)	Μεγαλύτερο μήκος παλμού (συνήθως 3 έως 4 κύκλοι)
Μικρή νεκρή ζώνη (Βραχύς Χρόνος Κρούσης)	Μεγάλη νεκρή ζώνη (Μακρύς Χρόνος Κρούσης)
Περισσότερη διακριτική ικανότητα	Ανεπαρκής διακριτική ικανότητα
Ανεπαρκής διείσδυση	Καλή διείσδυση

- Επιλογή κεφαλής.

Η σωστή επιλογή κεφαλής επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος και το μέγεθος των ελαττωμάτων ή το είδος του προς εξέταση υλικού. Τα δύο πιο βασικά κριτήρια επιλογής είναι η **συχνότητα** και η **διάμετρος** μιας κεφαλής.

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

α) Συχνότητα.

ΧΑΜΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΥΨΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
Μεγάλο μήκος κύματος	Μικρό μήκος κύματος
Περισσότερος διασκορπισμός δέσμης	Λιγότερος διασκορπισμός δέσμης
Βραχύτερη εγγύς ζώνη	Μακρύτερη εγγύς ζώνη
Καλύτερη διεισδυτικότητα	Χειρότερη διεισδυτικότητα
Λιγότερη αποδυνάμωση	Περισσότερη αποδυνάμωση
Μεγαλύτερη νεκρή ζώνη	Μικρότερη νεκρή ζώνη
Λιγότερη ευαισθησία	Περισσότερη ευαισθησία

β) Διάμετρος.

ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ
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	Ευκολότερη σύζευξη σε καμπύλες επιφάνειες
Περισσότερη κάλυψη σε επίπεδες επιφάνειες	Λιγότερη κάλυψη σε επίπεδες επιφάνειες

Ένα άλλο κριτήριο επιλογής κεφαλής είναι μονού ή διπλού κρυστάλλου. Η κεφαλή μονού κρυστάλλου έχει καλύτερη διεισδυτικότητα (για το ίδιο μέγεθος κεφαλής), επειδή η διάμετρος του πομπού είναι μεγαλύτερη, λειτουργεί αποδοτικότερα σε μεγαλύτερο πεδίο και είναι φθηνότερη. Από την άλλη η κεφαλή διπλού κρυστάλλου έχει το πλεονέκτημα ότι δεν εμφανίζει νεκρή

ζώνη στην οθόνη, άρα και **μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα** σε σφάλματα που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια.

Από όλα τα παραπάνω βγάζουμε το συμπέρασμα ότι περισσότερη ευαισθησία έχουν οι κεφαλές μονού κρυστάλλου. Δηλαδή μεγαλύτερη ικανότητα ανίχνευσης μικρών σφαλμάτων. όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος καθώς και το μέγεθος του ανακλαστήρα που μπορεί να ανιχνευθεί από αυτήν την κεφαλή.

Γενικά ισχύει ότι, **ο πιο μικρός ανιχνεύσιμος ανακλαστήρας είναι αυτός που το μέγεθος του (διάμετρος) είναι ίσο με το μισό μήκος κύματος της κεφαλής.** Μια κεφαλή με μεγάλο μήκος κύματος εισχωρεί βαθύτερα στο υλικό και δεν ανακλάται σε αυτά τα μικρά σφάλματα.

4.6 Υλικά σύζευξης.

Για να εξασφαλιστεί η διάδοση του υπερήχου από τον μετατροπέα στο εξεταζόμενο δοκίμιο, πρέπει να παρεμβληθεί ένα υλικό σύζευξης (couplant) για τους εξής λόγους:

1. Ο κυριότερος λόγος είναι η απομάκρυνση του ***αέρα*** (ακόμα και σε μορφή μικρών φυσαλίδων), ο οποίος έχει χαμηλή ακουστική αντίσταση.
2. Το υλικό σύζευξης πρέπει να "γεμίζει" όλες τις επιφανειακές ανωμαλίες ή τραχύτητες και έτσι να επιτρέπει το ομαλό "γλίστρημα" της κεφαλής

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

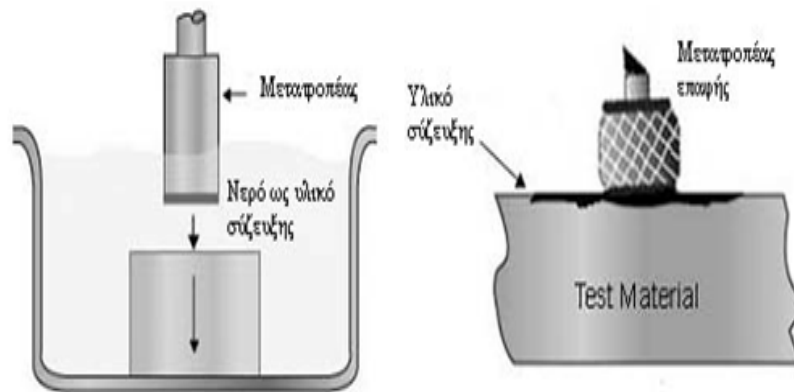
πάνω στο δοκίμιο, όταν χρησιμοποιούμε μετατροπείς επαφής, και επιπλέον να μην προκαλείται γρήγορα *φθορά* στην κεφαλή.

Οι κυριότερες ιδιότητες ενός καλού υλικού σύζευξης είναι οι εξής :

- i. Ακουστική αντίσταση ενδιάμεση της κεφαλής και του δοκιμίου (και μάλλον πιο κοντά προς το δοκίμιο).*
- ii. Εύκολη εφαρμογή του πάνω στο δοκίμιο, χωρίς να φεύγει (ή να "τρέχει") πολύ εύκολα, αλλά επιπλέον να είναι σχετικά εύκολη η απομάκρυνση του.*
- iii. Να μην είναι διαβρωτικό.*
- iv. Να μην είναι τοξικό ή επικίνδυνο για την υγεία γενικά.*
- v. Να διαβρέχει καλά όλες τις επιφάνειες (του δοκιμίου και της κεφαλής) και να μην επιτρέπει την δημιουργία ακόμα και πολύ μικρών φυσαλίδων.*

- Στην μέθοδο με βύθιση (immersion method) χρησιμοποιείται *νερό* σαν μέσο σύζευξης.
- Στην μέθοδο με επαφή χρησιμοποιείται λάδι, λίπος, γλυκερίνη. Χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά στην επιλογή των οποίων μεγάλο ρόλο παίζει η κατάσταση της επιφάνειας του δοκιμίου. Όσο πιο ανώμαλη ή τραχιά είναι η επιφάνεια του δοκιμίου, τόσο πιο παχύρρευστο (ή μεγαλύτερου ιξώδους) πρέπει να είναι το υλικό σύζευξης. Υλικό σύζευξης μπορεί να υπάρχει και σε μορφή τζελ ή πάστας, για πολύ τραχιές επιφάνειες ή ακόμα και λεπτό φύλλο

ελαστικού.



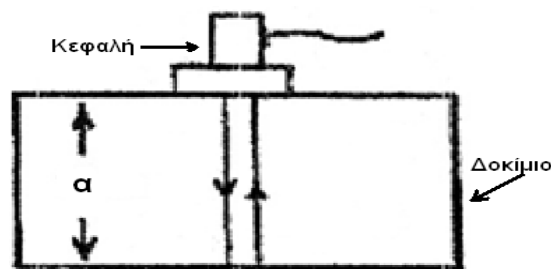
Σχήμα 4.12: Χρήση υλικού σύζευξης. [πηγή:1]

- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 -

Υπερηχητική Συσκευή και τρόπος λειτουργίας της.

5.1 Αρχή λειτουργίας της υπερηχητικής συσκευής.

Όπως έχουμε αναφέρει στα προηγούμενα κεφάλαια, η υπερηχητική κεφαλή μέσω του πιεζοκρυστάλλου, παράγει και εκπέμπει υπερηχητικούς παλμούς στις επιφάνειες διαφόρων υλικών. Εάν οι επιφάνειες ενός υλικού (εμπρός και οπίσθια) είναι επίπεδες και παράλληλες ο υπέρηχος μπορεί να ανακλαστεί στην πίσω επιφάνεια και να επιστρέψει στην κεφαλή. Σκοπός είναι να υπολογιστεί ο χρόνος (t) που χρειάζεται ο παλμός για να διατρέξει δύο φορές το πάχος του υλικού. Ο υπολογισμός του γίνεται από τον τύπο:



Σχήμα 5.1: Αρχή υπερηχητικής λειτουργίας [πηγή:5]

$$a = \frac{tc}{2} \Leftrightarrow t = \frac{2a}{c}$$

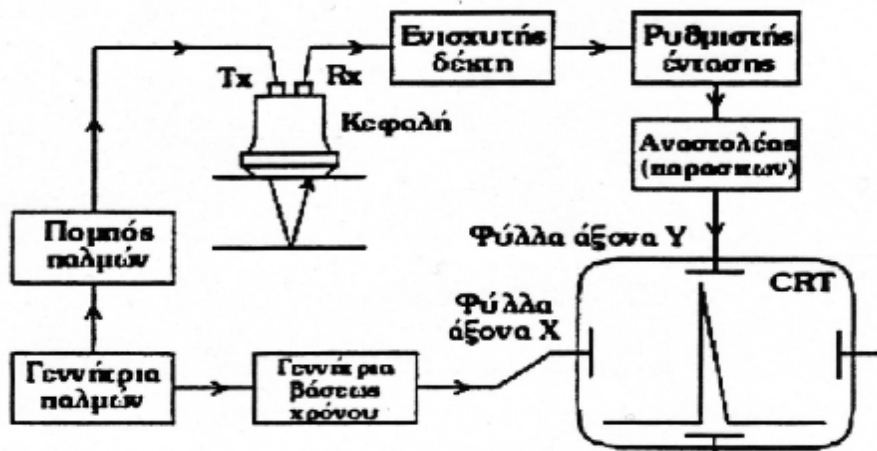
(a = πάχος υλικού, c = ταχ. του ηχου στο υλικό)

Ο χρόνος αυτός μπορεί να υπολογισθεί από τον υπερηχητικό ανιχνευτή σφαλμάτων.

5.2 Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων με υπερήχους.

Στο πιο κάτω σχήμα 5.2, απεικονίζεται μια διάταξη ενός υπερηχητικού ανιχνευτή σφαλμάτων σαρώσεως τύπου Α.

Οι συσκευές που την αποτελούν είναι (σύμφωνα με τη σειρά που συνδέονται) η γεννήτρια παλμών, η γεννήτρια βάσεως χρόνου, η κεφαλή, ο ενισχυτής, ο ρυθμιστής έντασης, η αναστολέα (παράσκιων), η φύλλα άξονα Y και η φύλλα άξονα X.



Σχήμα 5.2: Υπερηχητικός ανιχνευτής. [πηγή:7]

Γεννήτρια παλμών: είναι ένα κύκλωμα που ελέγχει το συγχρονισμό του ανιχνευτή. Στέλνει συγχρόνως ένα ηλεκτρικό σήμα στη γεννήτρια βάσεως χρόνου και στον πομπό παλμών. Οι συχνότητες των σημάτων αυτών ονομάζονται PRF/PRR (Pulse Petition Frequency/ pulse Repetition Rate –

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Συχνότητα επαναλήψεως παλμού/Ρυθμός επαναλήψεως παλμού). Συνήθως ελέγχεται αυτόματα έπειτα από κατάλληλη ρύθμιση πεδίου και καθορίζει το μεγαλύτερο βάθος ελέγχου και την βέλτιστη ταχύτητα σάρωσης.

Γεννήτρια βάσεως χρόνου: παίρνει το σήμα από την γεννήτρια παλμών και το μετατρέπει σε γραμμική κίνηση της δέσμης ηλεκτρονίων και την απεικονίζει επί της οθόνης (C.R.T.), στην διεύθυνση του οριζόντιου άξονα.

Πομπός παλμών: είναι το κύκλωμα που παίρνει το ηλεκτρικό σήμα από την γεννήτρια παλμών και στέλνει ένα στιγμιαίο σήμα ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 1 έως 2 KV, για ενεργοποίηση της κεφαλής.

Κεφαλή: Μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που παίρνει από τον πομπό παλμών, σε παλμούς υπερήχων μέσω ενός πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου. Ο υπέρηχος που επιστρέφει από το υλικό του δοκιμίου μετατρέπεται πάλι σε ηλεκτρική ενέργεια από την κεφαλή (Rx) και στέλνεται στον ενισχυτή.

Ενισχυτής: λαμβάνει και ενισχύει του εισερχόμενους ηλεκτρικούς παλμούς. Η ενίσχυση που πρέπει να παρέχει είναι από 10.000 έως 100.000 και η είσοδος με την έξοδο να βρίσκονται σε γραμμική σχέση. Επίσης πρέπει να επεξεργάζεται σήματα διαφόρων συχνοτήτων, ώστε να καλύπτει όλο το φάσμα των κεφαλών που χρησιμοποιούνται. Οι ενισχυτές χωρίζονται σε μεγάλου εύρους και σε μικρού εύρους.

Οι *μεγάλου εύρους* ενισχυτές δέχονται ευρύ φάσμα συχνοτήτων και παρουσιάζουν ακριβή αναπαραγωγή σήματος. Αυτό βελτιστοποιεί τον

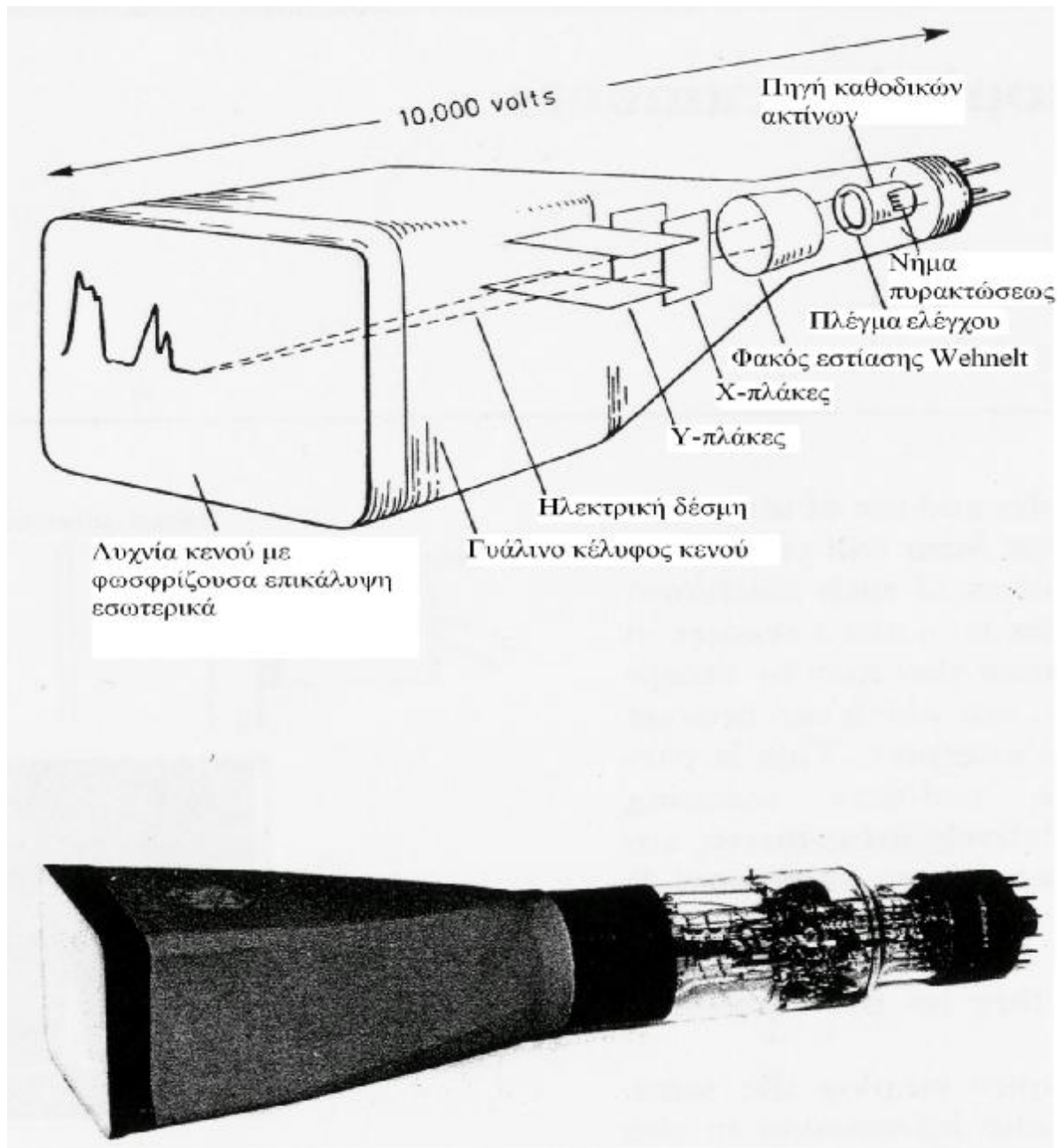
Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

εντοπισμό των ελαττωμάτων αλλά μειώνει την ευαισθησία λόγω υψηλής στάθμης θορύβου.

Οι μικρού εύρους ενισχυτές παραλείπουν τα σήματα που είναι εκτός συχνότητας λειτουργίας. Αυτό είναι θετικό διότι δημιουργεί καθαρότερο σήμα, πράγμα που σημαίνει ότι η ενίσχυση μπορεί να αυξηθεί και έτσι αυξάνεται και η ευαισθησία. Το μειονέκτημα είναι ότι ένα παραμορφωμένο σήμα δυσκολεύει την αξιολόγηση των σφαλμάτων.

Ρυθμιστής κέρδους: μειώνει την ενίσχυση, μειώνοντας την τάση ή την φόρτιση στον κατακόρυφο άξονα (Y) της οθόνης και ελέγχει το ύψος σήματος ώστε να είναι ορατό στην οθόνη.

Λυχνία καθοδικών ακτινών (C.R.T - Cathodic Ray Tube): αποτελείται από μια λυχνία κενού με φωσφορίζουσα επικάλυψη φορτισμένη θετικά στο εσωτερικό της εμπρόσθιας επιφάνειας, μια πηγή καθοδικών ακτινών στην άλλη άκρη, ένα φακό εστίασεως (Wehnelt) και δύο ζεύγη αντίθετων πλακών (X και Y) για έλεγχο της κατακόρυφης και της οριζόντιας απόκλισης της δέσμης των ηλεκτρονίων. (οι κατακόρυφες πλάκες δημιουργούν οριζόντια μετακίνηση της δέσμης ηλεκτρονίων ενώ οι οριζόντιες την κατακόρυφη).



Σχήμα 5.3: Λυχνία καθοδικών ακτίνων ή C.R.T οθόνη. [πηγή:5]

Η πηγή παράγει ένα πλήθος αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων που έλκονται από τη θετικά φορτισμένη επικάλυψη στο εμπρός μέρος της λυχνίας. Καθώς τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται (και χωρίς να συναντήσουν αντίσταση λόγω του κενού), περνούν μέσα από το φακό εστίασεως που τα συγκεντρώνει σε ευθεία δέσμη και τα στέλνει μεταξύ των οριζόντιων και των κατακόρυφων πλακών,

όπου έλκονται όσες από αυτές έχουν θετικό φορτίο ή υπόκεινται σε ηλεκτρική τάση. Αυτό προκαλεί την αντίστοιχη εκτροπή της δέσμης η οποία αποκλίνει προς την αντίστοιχη πλάκα καταλήγοντας στην εμπρόσθια όψη της λυχνίας (οθόνη C.R.T.) κάνοντας την να λάμπει και να φαίνεται μια φωτεινή κουκίδα. Αυτή η κουκίδα μετατρέπεται σε σήματα με την απόκλιση της δέσμης από τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες πλάκες.

5.3 Έλεγχοι του εξοπλισμού.

Κατά περιόδους ο εξοπλισμός πρέπει να ελέγχεται για εξακρίβωση της διατήρησης των χαρακτηριστικών αποδόσεως. Μερικοί από αυτούς τους ελέγχους περιλαμβάνουν:

Τη γραμμικότητα βάσεως χρόνου. Αυτή επιτυγχάνεται τοποθετώντας την κεφαλή διαμηκών κυμάτων, στο δοκίμιο βαθμονόμησης ώστε να παραχθούν πολλαπλές ηχώ και εφαρμόζεται για τα πεδία που θα χρησιμοποιηθούν. Ρυθμίζουμε την οθόνη τοποθετώντας την πρώτη και τελευταία ηχώ στην απαιτούμενη κλίμακα, στη σωστή τους αντίστοιχη θέση επάνω στη βάση του χρόνου και ελέγχουμε αν τα ενδιάμεσα σήματα είναι επίσης στις αντίστοιχες σωστές θέσεις. Οι αποκλίσεις της γραμμικότητας βρίσκονται στις ισχύουσες προδιαγραφές.

Η απόκλιση της γραμμικότητας της βάσεως χρόνου κατά BS4331 είναι $\pm 2\%$ ολόκληρου του μήκους της βάσεως χρόνου.

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Τη γραμμικότητα του ενισχυτή. Τοποθετούμε μια κεφαλή στο δοκίμιο βαθμονόμησης, ώστε να παραχθεί ανακλώμενο σήμα από εγκάρσια οπή διαμέτρου 1,5 ή 5mm. Χρησιμοποιώντας την ρύθμιση κέρδους φέρνουμε το σήμα στο 80% του ολικού ύψους οθόνης. Αυξάνουμε το κέρδος κατά 2 dB και το σήμα πρέπει να φτάσει στο 100% του ολικού ύψους οθόνης. Στη συνέχεια μειώνουμε το κέρδος κατά 8 dB και το σήμα πρέπει να πέσει στο 40% του ύψους της οθόνης. Μειώνοντας ακόμη περισσότερο το κέρδος κατά 12dB, 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.

Η απόκλιση για τη γραμμικότητα του ενισχυτή κατά BS4331 να κάθε βήμα ελέγχου, κυμαίνεται περίπου στο $\pm 5\%$.

Τη ρύθμιση της κλίμακας βάσεως χρόνου. Ελέγχουμε την ικανότητα του εξοπλισμού για βαθμονόμηση στα απαιτούμενα πεδία.

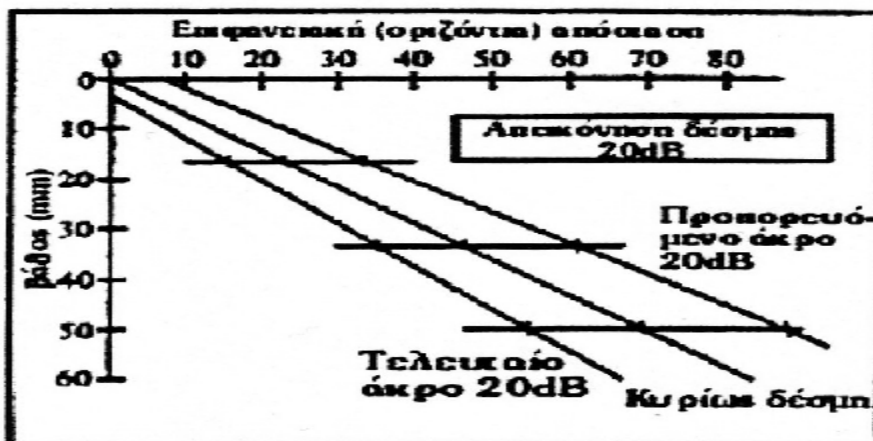
Το λόγο σήματος / θορύβου. Τοποθετούμε τη κεφαλή στο δοκίμιο βαθμονόμησης, ώστε να παραχθεί ανακλώμενο σήμα από κάποια εγκάρσια οπή. Χρησιμοποιώντας τον διακόπτη του κέρδους, ρυθμίζουμε το σήμα στα 20%β του ολικού ύψους οθόνης, στο ίδιο σημείο της βάσεως χρόνου και σημειώνουμε τη νέα ένδειξη σε dB. Η διαφορά μεταξύ των ενδείξεων κέρδους σε dB είναι ο λόγος σήματος / θορύβου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύγκριση διαφορετικού εξοπλισμού ή για τον έλεγχο του εν χρήσει εξοπλισμού.

Το κέντρο εκπομπής υπερήχων γωνιακής κεφαλής. Αυτός ο έλεγχος καλύπτεται από επόμενο κεφάλαιο .

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Τον έλεγχο της γωνίας της κεφαλής. Καλύπτεται από επόμενο κεφάλαιο (βαθμονομήσεις δοκιμίων).

Το καθορισμό της μορφής της δέσμης. Η απόκλιση της δέσμης δεν μπορεί να υπολογιστεί λογιστικά. Στη πράξη χαράζεται γραφικά με τη χρήση ρυθμιστικού δοκιμίου 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. Η κεφαλή τοποθετείται πάνω σε μια από αυτές τις οπές και με παλινδρομικές κινήσεις το σήμα από αυτή την οπή μεγιστοποιείται και το κέρδος μεταφέρεται στο 100% πλήρους ύψους οθόνης. Τότε η θέση του κέντρου εκπομπής σημαδεύεται πάνω στο ρυθμιστικό δοκίμιο. Στη συνέχεια η κεφαλή κινείται προς τα εμπρός μέχρι το σήμα να 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% (-20dB). 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 για να βρεθεί το προπορευόμενο όριο της δέσμης.



Το ίδιο γίνεται για τουλάχιστον τρεις οπές ακόμα (διαφορετικού βάθους) ώστε να βρεθεί η μορφή της δέσμης. Τα σημεία από το δοκίμιο μεταφέρονται σε σύστημα απεικόνισης που θα χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό της μορφής και του μεγέθους των ελαττωμάτων.

5.4 Βαθμονόμηση της συσκευής.

Για είναι αξιοποιημένες οι πληροφορίες που λαμβάνονται από μια υπερηχητική συσκευή, κατά τον έλεγχο των υλικών, πρέπει προηγουμένως η συσκευή να έχει ρυθμιστεί κατάλληλα, δηλαδή να έχει βαθμονομηθεί.

Βαθμονόμηση (Calibration) μιας υπερηχητικής συσκευής είναι η αντιστοίχιση όλου του πλάτους της CRT οθόνης σε ένα καθορισμένο βάθος του υλικού που πρόκειται να ελεγχθεί. Έτσι όλες οι ενδείξεις των ατελειών του υλικού συγκρίνονται με ένα πρότυπο δοκίμιο αναφοράς.

Τα χαλύβδινα δοκίμια κατασκευάζονται από φερριτικό καθησυχασμένο χάλυβα χαμηλής ή μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα επεξεργασμένο κατάλληλα ώστε να αποκτήσει λεπτόκοκκη και ομοιογενή δομή. Οι επιτρεπτές ανοχές του είναι της τάξεως του $\pm 1\text{mm}$ επί των διαστάσεων.

Αυτές χρησιμοποιούνται στον υπερηχητικό έλεγχο για τη βαθμονόμηση των συσκευών αλλά και για τον υπολογισμό π.χ. των ατελειών. Συγκρίνουμε το σήμα που λαμβάνουμε στην οθόνη της συσκευής με αντίστοιχα σήματα που προέρχονται από ατέλειες στα δοκίμια αναφοράς. Οι πλάκες αυτές είναι κατασκευασμένες από ειδικά κράματα χάλυβα, έχουν ελέγχει ώστε να έχουν προκαθορισμένη ηχητική απόσβεση και μέγεθος κόκκου και έχουν υποστεί

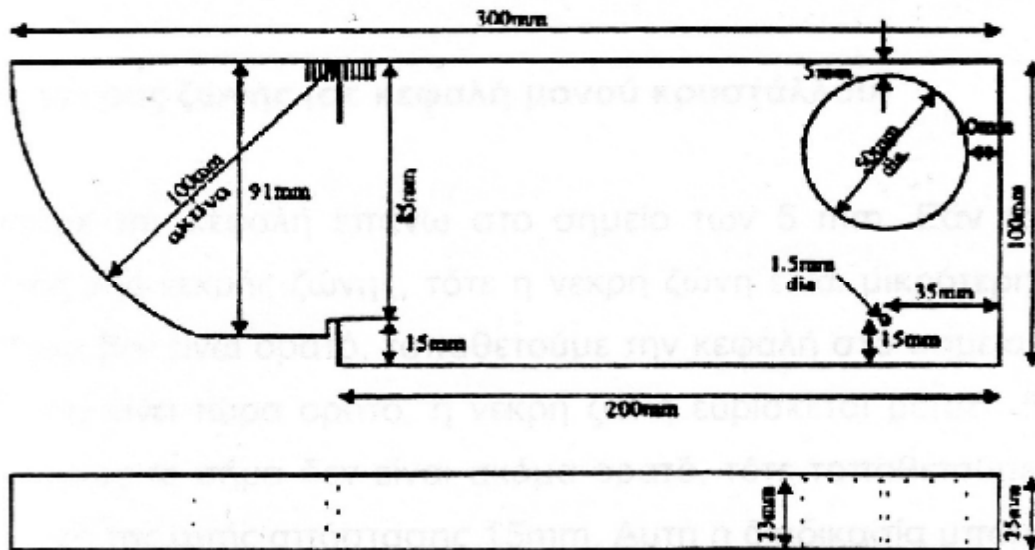
κατάλληλη θερμική επεξεργασία. Επίσης φέρουν διαφόρων ειδών ατέλειες (οπές και εγχοπές) διαφόρων σχημάτων και θέσεων. Τις περισσότερες φορές οι πλάκες αυτές είναι κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό με αυτό που είναι προς εξέταση.

Η χρήση πρότυπων πλακών βαθμονόμησης εξασφαλίζει αξιόπιστα, και αντικειμενικά αποτελέσματα ακόμα και σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (ελέγχους) και επίσης μπορούμε να ελέγξουμε και τη σωστή λειτουργία της υπερηχητικής συσκευής και των διαφόρων κεφαλών. Το πρότυπο που ισχύει για τα ρυθμιστικά δοκίμια των υπερήχων είναι το Βρετανικό BS 2704.

5.4.1 Δοκίμια βαθμονόμησης.

- Δοκίμιο Βαθμονόμησης V1.

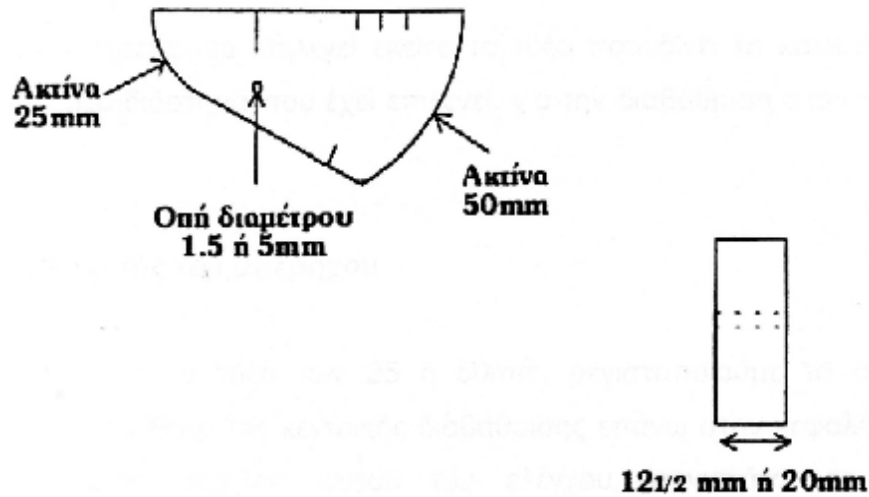
Είναι το δοκίμιο βαθμονόμησης του I.I.W. (International Institute of Welding – Διεθνές Ινστιτούτο Τεχνολογίας Συγκόλλησης). Αναφέρεται και ως **δοκίμιο τύπου A2** ή Ολλανδικό δοκίμιο. Είναι κατασκευασμένο από λεπτόκοκκο μαλακό χάλυβα σύμφωνα με την προδιαγραφή **DIN 54/120**. Χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλο δοκίμιο στους ελέγχους ιδιαίτερα για κεφαλές καθέτου και γωνιακής δέσμης. Η ταχύτητα διαμηκών κυμάτων είναι $c = 5920$ m/s και εγκάρσιων $c = 3250$ m/s. Έχει πάχος 25mm και φέρει δίσκο από Plexiglas διαμέτρου 50mm.



Σχήμα 5.4: Δοκίμιο V1. [πηγή:7]

- Δοκίμιο Βαθμονόμησης V2.

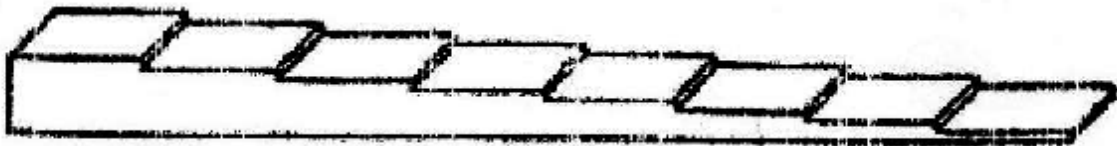
Δοκίμιο τύπου A4 με DIN 54/122, σχήματος νεφρού, κατασκευασμένο και αυτό από λεπτόκοκκο μαλακό χάλυβα, είναι ομοιογενής και απαλλαγμένη ατελειών. Αποτελείται από δύο ενωμένα στο κέντρο τεταρτοκύκλια ακτινών $R_1=25\text{mm}$ και $R_2=50\text{mm}$. Δεν επαρκεί για πλήρη έλεγχο, αλλά επειδή είναι ελαφρύ και εύκολο στη μεταφορά χρησιμοποιείται συχνά για απλούς ελέγχους όπως στη βαθμονόμηση γωνιακών κεφαλών και κεφαλών διπλού κρυστάλλου. Για να εμποδιστούν παρασιτικά φαινόμενα το βάθος των ενδείξεων της χαραγμένης κλίμακας είναι της τάξεως $0,1\text{mm} - 0,05\text{mm}$ και το μήκος τους 3mm .



Σχήμα 5.5: Δοκίμιο V2. [πηγή:7]

- Κλιμακωτό δοκίμιο βαθμονόμησης VW.

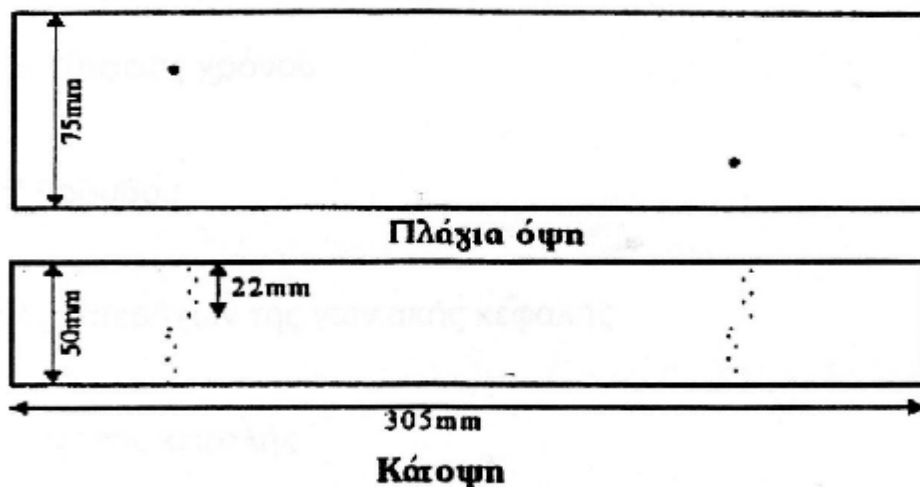
Χρησιμοποιείται για υπερηχητικούς ελέγχους και μετρήσεις υλικών με πολύ μικρό πάχος ή για την ανίχνευση ασυνεχειών που βρίσκονται πολύ κοντά στην επιφάνεια των υλικών. Αυτή η πλάκα προσφέρεται ιδιαίτερα για βαθμονόμηση κεφαλών διπλού κρυστάλλου, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στον έλεγχο επίπεδων επιφανειών ή σε επιφάνειες με πολύ μικρή καμπυλότητα.



Σχήμα 5.6: Κλιμακωτό δοκίμιο VW, κατά DIN 54120. [πηγή:7]

- Δοκίμιο I.O.W. τύπου A5 (Institute of Welding – Ίδρυμα συγκολλήσεων).

Αυτό το δοκίμιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δοκίμιο ρυθμίσεως κεφαλής εγκάρσιων κυμάτων, καθώς επίσης και σαν δοκίμιο αναφοράς αυτών ή κεφαλών διαμηκών κυμάτων. Οι δύο συνηθέστερες χρήσεις του είναι η αποτύπωση της μορφής της δέσμης και η ρύθμιση της ευαισθησίας με τη βοήθεια διαφόρων πλευρικών οπών σαν ανακλαστήρων αναφοράς. Οι πέντε οπές που έχουν ανοιχθεί στη μια πλευρά του δοκιμίου, σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της διακριτικής ικανότητας των γωνιακών κεφαλών.



Σχήμα 5.7: Δοκίμιο τύπου A5. [πηγή:7]

Τέλος να αναφέρουμε ότι υπάρχουν και άλλοι τύποι πρότυπων πλακών βαθμονομήσεως διαφορετικού διαφορετικού σχήματος και μεγέθους από τα παραπάνω.

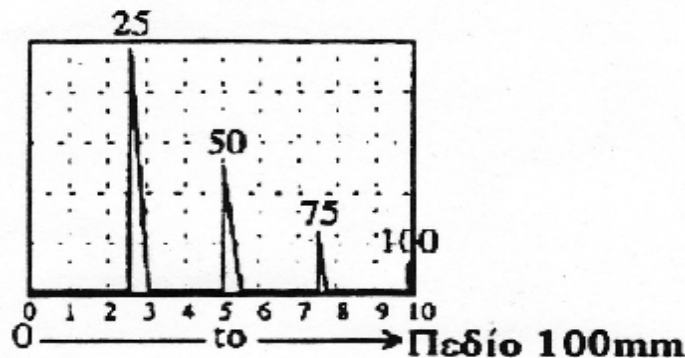
5.4.2 Βαθμονόμηση κεφαλής 0°.

Βαθμονόμηση σε πεδίο 0-100mm.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι βαθμονόμησης:

- Η τεχνική της πολλαπλής ηχούς
- Η τεχνική της καθυστέρησης.

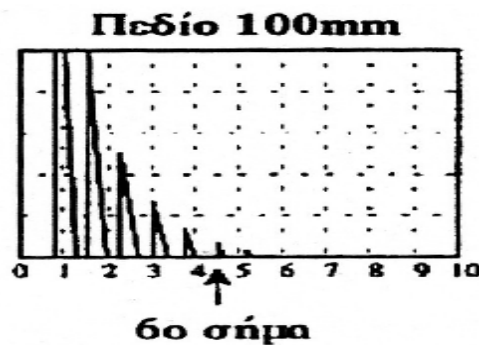
Απλώνουμε το υλικό σύζευξης στο δοκίμιο τύπου Α2 και τοποθετούμε τη κεφαλή στο πάχος των 25mm για επιτύχουμε πολλαπλές ανακλάσεις ήχου. Στην οθόνη απαιτείται κλίμακα 100mm οπότε αρκούν τέσσερις ανακλάσεις ήχου για αυτό το πεδίο. ($4 \times 25=100$). Ρυθμίζουμε έτσι το πεδίο ώστε να μας δώσει 4 σήματα στην οθόνη. Στη συνέχεια με τη χρήση της καθυστέρησης φέρνουμε το σήμα της πρώτης ηχούς, στο $\frac{1}{4}$ της συνολικής κλίμακας και το σήμα της τέταρτης ηχούς στο τέλος της οθόνης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι τα σήματα να πάρουν τις αντίστοιχες θέσεις τους (σχήμα 5.8). Σε διαφορετικά πάχη χρησιμοποιούνται διαφορετικές κλίμακες. Διαιρούμε δηλαδή το πεδίο που θέλουμε να πετύχουμε δια του πάχους του δοκιμίου και βρίσκουμε τον αριθμό των απαιτούμενων ηχώ και χωρίζοντας τα σήματα στην οθόνη σε ίσα διαστήματα, επιτυγχάνουμε το επιθυμητό πεδίο.



Σχήμα 5.8: Πεδίο 4 σημάτων στην οθόνη με κλίμακα 100mm. [πηγή:7]

Ακρίβεια των μετρήσεων

Για να υπολογίσουμε την ακρίβεια μιας μέτρησης και συγκεκριμένα για το παραπάνω παράδειγμα (κλίμακα 100mm), εφόσον η οθόνη χωρίζεται (πάντα) σε 10 υποδιαίρεσεις, η μεγάλη υποδιαίρεση θα είναι 10mm και η μικρή υποδιαίρεση θα είναι 2mm. Αυτό σημαίνει ότι η μικρότερη τιμή που μπορεί να αναγνωστεί στην οθόνη θα είναι 1mm. Η απόκλιση που δίνεται από τους κατασκευαστές αναλογικών ανιχνευτών είναι της τάξεως του $\pm 2\%$.



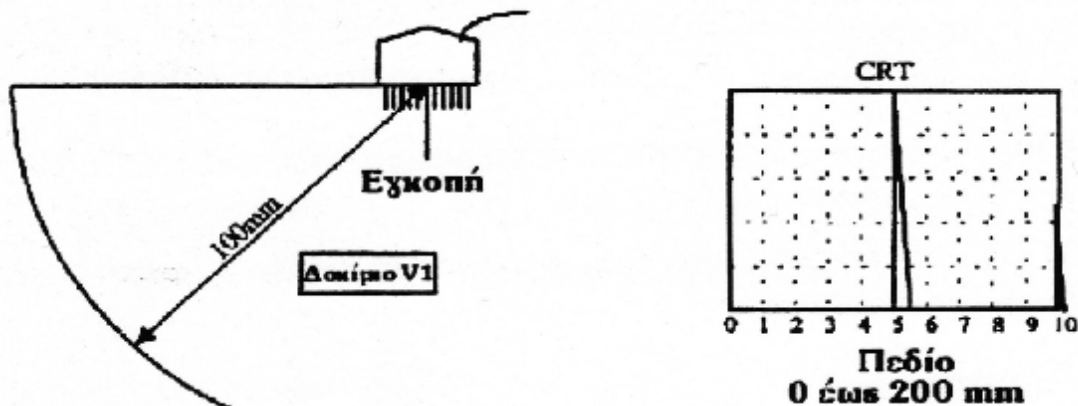
Σχήμα 5.9: Παράδειγμα νιοστού σήματος. [πηγή:7]

Μια άλλη μέθοδος μέτρησης ακριβείας (παχυμετρήσεων) είναι η μέθοδος της **πολλαπλής ηχούς**. Σε αυτή τη μέθοδο η βαθμονόμηση της οθόνης γίνεται σε μεγαλύτερη κλίμακα και αναγνωρίζεται το **νιοστό** σήμα επανάληψης. Στη συνέχεια η ένδειξη (επί της βάσεως χρόνου) διαιρείται δια n . Όπου n το καθαρότερο (τελευταίο) σήμα που μπορούμε να αναγνωρίσουμε στην οθόνη. Για παράδειγμα (σχήμα 6.9) το έκτο σήμα μπορεί εύκολα να διαβαστεί στη θέση των 45mm, άρα $45/6 = 7,5\text{mm}$.

5.4.3 Βαθμονόμηση γωνιακής κεφαλής.

Για γωνιακές κεφαλές χρησιμοποιούνται συνήθως τα πρότυπα δοκίμια **V1** και **V2**. Ο ανακλαστήρας πρέπει να είναι κάθετος στη δέσμη καθώς και να χρησιμοποιείται μια μέθοδος λήψεως με επαναλαμβανόμενα σήματα.

- Το δοκίμιο **V1** έχει ένα τόξο ακτίνας 100mm για αντανάκλαση του ήχου και μια εγκοπή για τη λήψη των επαναλαμβανόμενων σημάτων. Τα σήματα λαμβάνονται κάθε 100mm και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση της οθόνης. Π.χ. για να βαθμονομήσουμε μια οθόνη σε κλίμακα 0-200mm, τοποθετούμε την πρώτη ηχώ στην θέση της κλίμακας που αντιστοιχεί το 5 και την δεύτερη στη θέση που αντιστοιχεί το 10 (σχήμα 5.10).

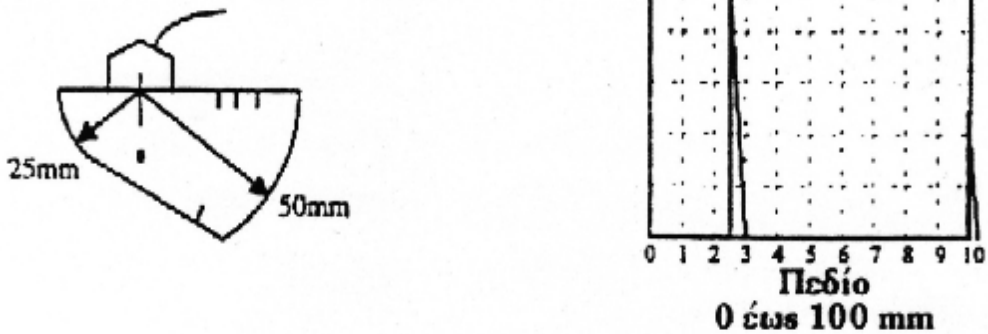


Σχήμα 5.10: Βαθμονόμηση με το δοκίμιο V1. [πηγή:7]

- Το δοκίμιο **V2** διαθέτει δύο ομόκεντρα τόξα κύκλου, το ένα ακτίνας 25mm και το άλλο 50mm (σχήμα 5.11). Η κεφαλή εκτελεί παλινδρομική μετάδοση του ήχου μέχρι του κέντρου, από το ένα τόξο στο άλλο, με επαναλαμβανόμενες αντηχήσεις. Έπειτα από την πρώτη ηχώ που βρίσκεται σε ικανοποιητική

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

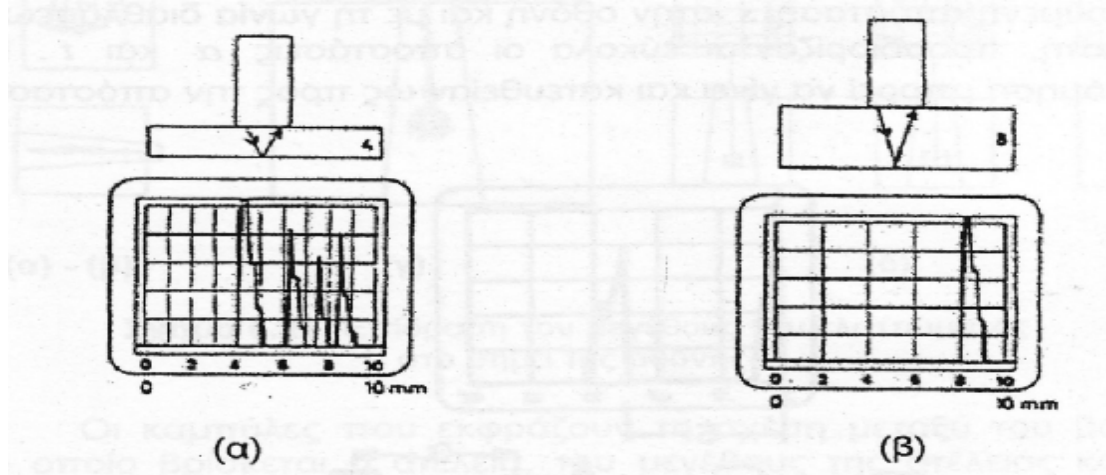
απόσταση της ακτίνας του τόξου που σκοπεύει η κεφαλή, οι αντηχήσεις συμβαίνουν κάθε 75mm. π.χ για κλίμακα 0-100mm η κεφαλή πρέπει να αντικρίζει το τόξο ακτίνας 25mm, όπου τα σήματα αυτά μπορούν να ευθυγραμμιστούν εύκολα. Ενώ για κλίμακα 0-200mm η κεφαλή θα πρέπει να αντικρίζει το τόξο ακτίνας 50mm.



Σχήμα 5.11: Βαθμονόμηση με δοκίμιο V2. [πηγή:7]

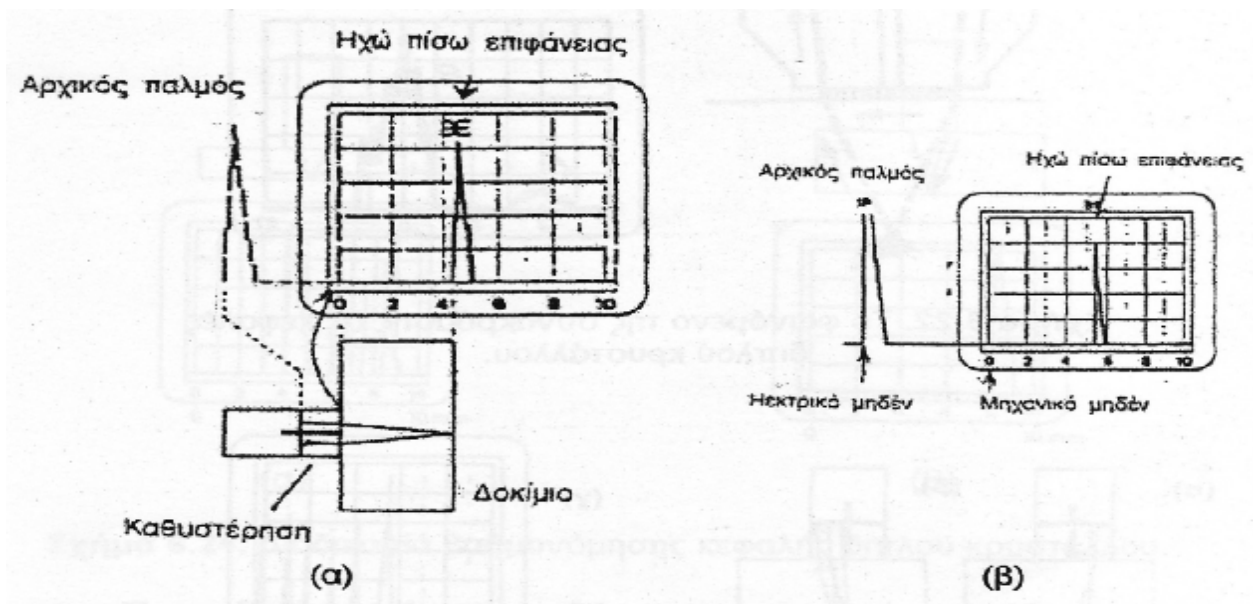
5.4.4 Βαθμονόμηση κεφαλής διπλού κρυστάλλου.

Για την βαθμονόμηση μιας κεφαλής διπλού κρυστάλλου χρησιμοποιούμε δύο βαθμίδες του δοκιμίου VW, 1mm και 8mm (σχήμα 5.12).



Σχήμα 5.12: βαθμονόμηση κεφαλής διπλού κρυστάλλου. [πηγή:5]

Τοποθετούμε τη κεφαλή στα 4mm της πλάκας βαθμονόμησης (σχήμα 5.13α), στη συνέχεια τοποθετούμε την πρώτη ηχώ στη θέση της κλίμακας που αντιστοιχεί στο 4 στην CRT οθόνη. Στην συνέχεια τοποθετούμε την κεφαλή στα 8mm και φέρνουμε την πρώτη ηχώ στην θέση της κλίμακας στην οθόνη που αντιστοιχεί στο 8 (σχήμα 5.13β).



Σχήμα 5.13: Βαθμονόμηση με κεφαλή διπλού κρυστάλλου. [πηγή:5]

5.5 Ρύθμιση της ευαισθησίας των κεφαλών.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ρύθμισης της ευαισθησίας μιας δοκιμής μερικές από τις οποίες είναι και οι παρακάτω:

i. Μέθοδος στάθμης ηχούς οπίσθιας όψης .

Όταν η κεφαλή έρθει σε σύζευξη με το υλικό αυξάνεται η ενίσχυση (κέρδος) μέχρι η επιστρεφόμενη ηχώ φτάσει στο προκαθορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο που θα επιλέξουμε εξαρτάται από το πόση ευαισθησία θέλουμε να έχουμε κατά την σάρωση. Έτσι αν θέλουμε να έχουμε μεγάλη ευαισθησία τοποθετούμε την πρώτη ηχώ μη την δεύτερη σε πλήρες ύψος (στην οθόνη), ενώ για λιγότερη ευαισθησία μπορούμε να χαμηλώσουμε το ύψος του σήματος της επιστρεφόμενης ηχώ. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο σε κεφαλές καθέτου δέσμης διότι σε γωνιακές κεφαλές οι ανακλάσεις από την πίσω επιφάνεια δεν επιστρέφουν στην κεφαλή.

ii. Μέθοδος ελέγχου στάθμης παρασίτων (Χλόης).

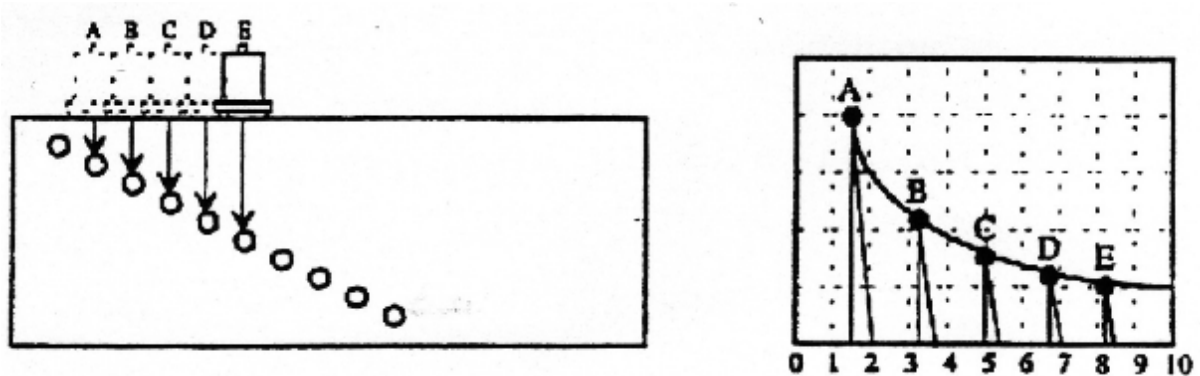
Παράσιτα ονομάζονται οι παρεμβολές που εμφανίζουν τα ηχητικά κύματα που ανακλούν επάνω στα όρια των κόκκων. Για να αποφύγουμε αυτό το φαινόμενο τοποθετούμε τη κεφαλή επάνω στο δοκίμιο και αυξάνουμε την ενίσχυση (κέρδος), μέχρι οι ανακλάσεις φτάσουν σε μια ορισμένη στάθμη 2-3mm σύμφωνα με το αντίστοιχο βάθος της κάθε δοκιμής. Η ευαισθησία ρυθμίζεται με αύξηση ή ελάττωση της στάθμης ή με πρόσθεση ή αφαίρεση dBs.

iii. Ανακλαστήρας αναφοράς.

Είναι μια συνηθισμένη μέθοδος ρύθμισης της ευαισθησίας. Επιλέγουμε το μέγιστο σήμα ενός ανακλαστήρα αναφοράς στο βάθος που βρίσκεται π.χ για πλήρες ύψος οθόνη. Ο ανακλαστήρας αναφοράς που παίρνουμε μπορεί να είναι πραγματικός ή προσομοιωμένος με ένα ελάττωμα γνωστού τύπου και μεγέθους.

iv. Διάγραμμα διόρθωσης-απόστασης D.A.C. (Distance-Amplitude Correction)

Εδώ για να ρυθμίσουμε την ευαισθησία χρησιμοποιούμε ένα πρότυπο δοκίμιο, που στο εσωτερικό του έχει οπές ίδιου μεγέθους σε διαφορετικά βάθη. Ρυθμίζουμε κατάλληλα την οθόνη και τοποθετούμε τη κεφαλή στη πρώτη οπή που δίνει το ισχυρότερο σήμα. Μεγιστοποιούμε το σήμα και σημειώνουμε στην οθόνη τη κορυφή του σήματος στη συνέχεια προχωράμε στην επόμενη οπή που βρίσκεται πιο βαθιά και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία. Αυτό το κάνουμε για όλες τις οπές του δοκιμίου. Στο τέλος ενώνουμε τις κορυφές των σημάτων και σχηματίζεται μια καμπύλη (σχήμα 5.14).



Σχήμα 5.14: Καμπύλη D.A.C. [πηγή:7]

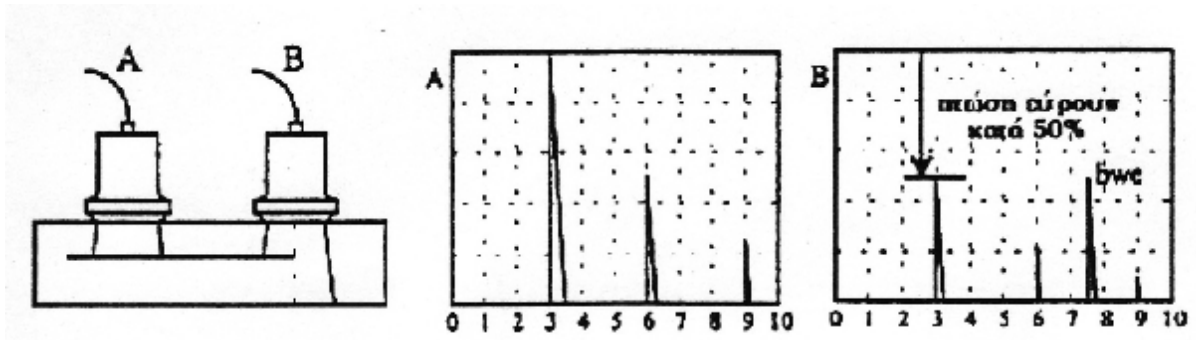
Η καμπύλη που σχηματίζεται αφορά τη συγκεκριμένη κεφαλή που χρησιμοποιήσαμε και αν χρειαστεί να την αλλάξουμε πρέπει να ξανακάνουμε την ίδια διαδικασία χαράζοντας νέα καμπύλη.

5.6 Προσδιορισμός του μεγέθους ενός σφάλματος.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του μεγέθους ενός σφάλματος. Ορισμένες από αυτές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για κεφαλές καθέτου δέσμης ή για γωνιακές κεφαλές αντίστοιχα και κάποιες άλλες και χρησιμοποιούνται για τα δύο είδη κεφαλών.

i. Τεχνική της πτώσεως στάθμης κατά 6dB.

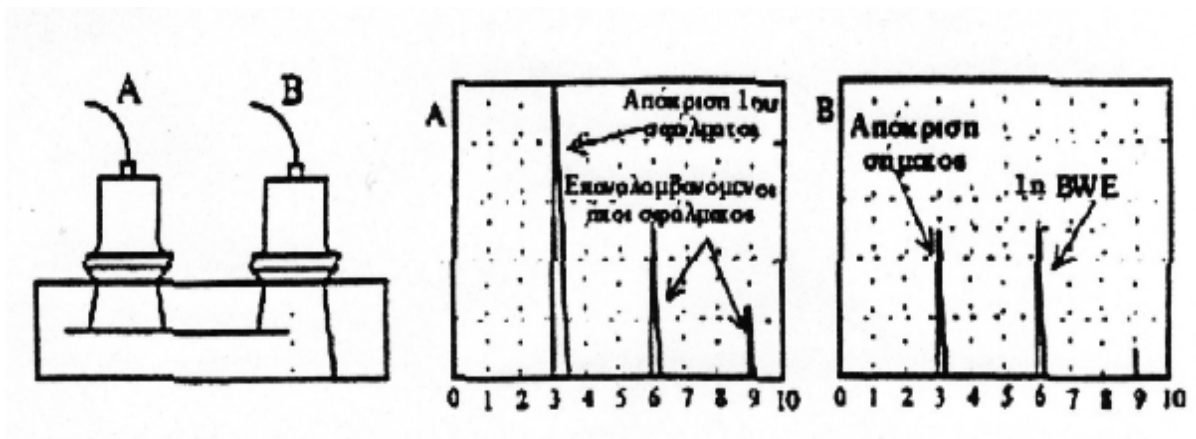
Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του μεγέθους μεγάλων ελαττωμάτων. Η κεφαλή κινείται εκτός ορίου του ανακλαστήρα (σχήμα 5.15) μέχρι ή στάθμης της να μειωθεί στο 50% (6dB). Σημειώνουμε την θέση αυτή (του κέντρου) της κεφαλής επάνω στη επιφάνεια του υλικού. Αν αυτό το επαναλάβουμε γύρω από τον ανακλαστήρα, στο τέλος θα έχουμε αποτυπωμένο το μέγεθος και το σχήμα του επάνω στην επιφάνεια του υλικού.



Σχήμα 5.15: Πτώση στάθμης κατά 6dB. [πηγή:7]

ii. Τεχνική της εξισώσεως (για κεφαλές καθέτου δέσμης).

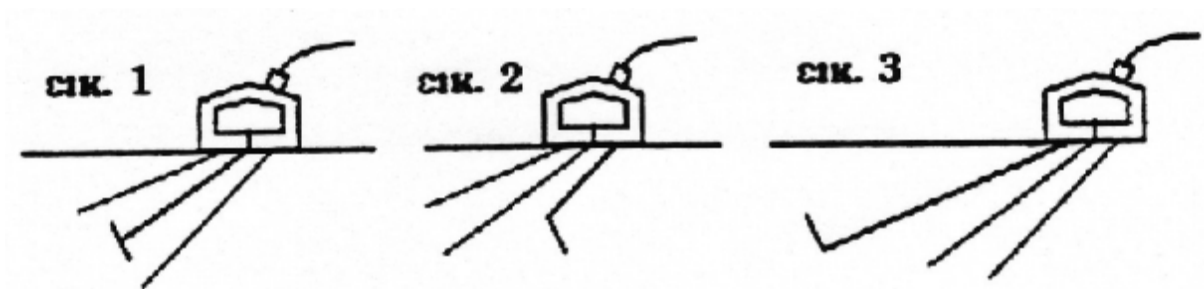
Αυτή η τεχνική είναι παρόμοια με τη πτώση στάθμης κατά 6dB. Η διαφορά εδώ είναι ότι η κεφαλή κινείται έξω από το περίγραμμα του ελαττώματος (σχήμα 5.16) μέχρι το σήμα να εξισωθεί με το σήμα της πίσω όψης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να αποτυπωθεί το ελάττωμα κατά σχήμα και μέγεθος.



Σχήμα 6.16: Τεχνική της εξισώσεως. [πηγή:7]

iii. Τεχνική της πτώσεως στάθμης κατά 20 dB (για κεφαλές πλάγιας δέσμης).

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για ελαττώματα μικρότερα από το πλάτος της δέσμης. Ρυθμίζουμε την δέσμη της κεφαλής στα 20 dB, καθώς σαρώνουμε, μεγιστοποιούμε το σήμα, όταν βρούμε το ελάττωμα και η θέση του σημειώνεται επάνω στην πορεία της κεντρικής δέσμης. (σχήμα 5.17). Στη συνέχεια κινούμε την κεφαλή προς τα έξω από το ελάττωμα μέχρι η στάθμη του σήματος να πέσει στο 10%. Εκεί καταλαβαίνουμε ότι έχουμε βρεί το άνω άκρο του ελαττώματος. Μετακινούμε πάλι τη κεφαλή στην αντίθετη κατεύθυνση μέχρι το σήμα να ξαναπέσει στο 10% (εφόσον πρώτα αυξηθεί). Σε αυτό το σημείο θα έχουμε το κάτω άκρο του ελαττώματος.



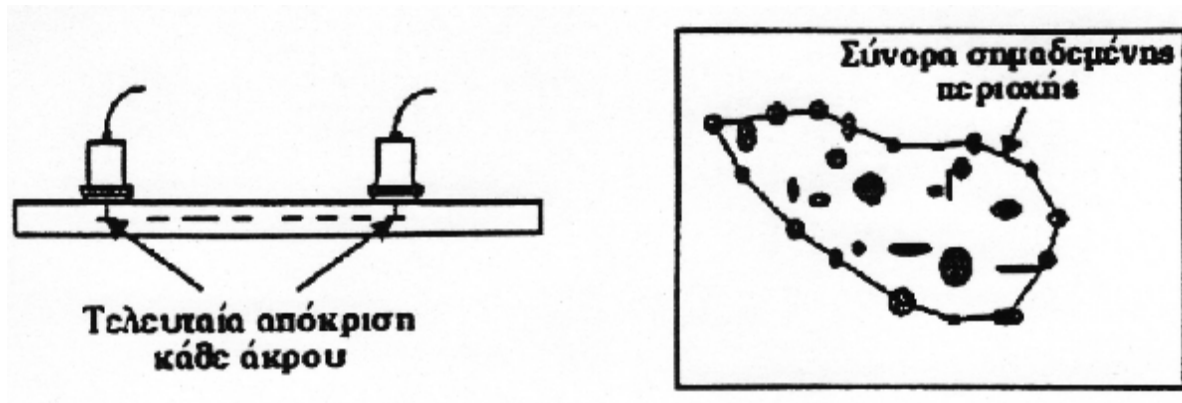
Σχήμα 6.17: Πτώση στάθμης κατά 20 dB. [πηγή:7]

iv. Τεχνική του μεγίστου εύρους.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό σφαλμάτων μικρού μεγέθους ή για πολυεδρικά σφάλματα (ρωγμές). Καθώς ξεκινάμε τη σάρωση απομακρύνουμε τη κεφαλή από το ελάττωμα μέχρι να εξαφανιστεί οποιοδήποτε σήμα. Στη συνέχεια πλησιάζοντας την κεφαλή, παρακολουθούμε τα σήματα και σημειώνουμε το πιο δυνατό. Σημειώνουμε τη θέση της κεφαλής

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

και προχωράμε να βρούμε και τα υπόλοιπα σημεία της ελαττωματικής περιοχής. (σχήμα 5.18).



Σχήμα 5.18: Τεχνική του μεγίστου εύρους. [πηγή:7]

vi. Διάγραμμα Απόστασης-κέρδους-μεγέθους D.G.S. (Distance-Gain-Sizing).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τις ανακλάσεις της πίσω όψης από επίπεδες οπές διαφορετικών μεγεθών, που βρίσκονται σε διαφορετικά βάθη. Συγκρίνουμε τη στάθμη του σήματος ενός σφάλματος με αυτή του διαγράμματος και λαμβάνουμε υπ' όψη το μικρότερο ανακλώμενο μέγεθος του ελαττώματος. Τα διαγράμματα τα παίρνουμε έτοιμα από τον κατασκευαστή ή τα αποτυπώνουμε για κάθε κεφαλή ξεχωριστά.

5.7 Μέθοδοι υπερηχητικού ελέγχου.

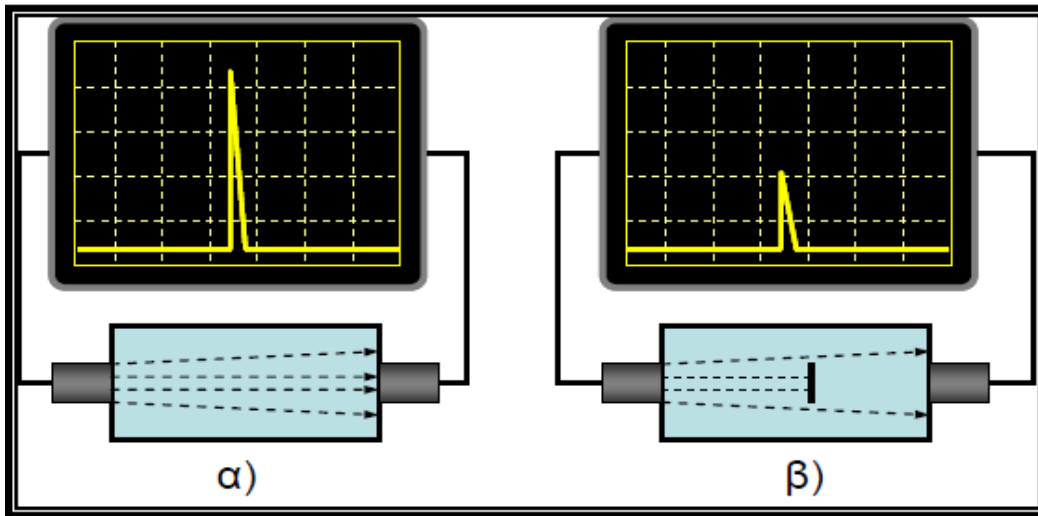
Ο υπερηχητικός έλεγχος των υλικών βασίζεται στον τρόπο που τα ηχητικά κύματα επηρεάζονται κατά την διέλευσή τους από ένα δοκίμιο που

ελέγχεται. Τα ηχητικά κύματα υφίστανται αισθητές αλλαγές, από τις οποίες μπορούμε να εκτιμήσουμε την κατάσταση ή τις μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού. Η παρεμπόδιση του ηχητικού κύματος μπορεί να προέλθει είτε από ενδιάμεσες επιφάνειες του δοκιμίου, είτε από την απορρόφηση του ήχου, λόγω της ανάπτυξης εσωτερικών τριβών. Βάσει των παραπάνω λοιπόν, έχουν αναπτυχθεί τρεις βασικές μέθοδοι υπερηχητικού ελέγχου: η μέθοδος της διελύσεως, η μέθοδος του συντονισμού και η μέθοδος της παλμοχούς.

5.7.1 Μέθοδος της διέλευσης.

Η μέθοδος της διέλευσης χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ατελειών-βλαβών, για τον χαρακτηρισμό υλικών και για την παχυμέτρηση κατασκευών με μεγάλο πάχος και υψηλό συντελεστή απόσβεσης. . Οι διατάξεις ελέγχου που λειτουργούν με τη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιούν δύο πιεζοηλεκτρικές κεφαλές, οι οποίες είναι τοποθετημένες της απέναντι επιφάνειες του εξεταζόμενου υλικού και είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένες μεταξύ της. Οι κεφαλές κινούνται ταυτόχρονα σαρώνοντας την εξεταζόμενη επιφάνεια. Η μια κεφαλή εκπέμπει τα υπερηχητικά κύματα (Transmitting search unit), ενώ η άλλη έχει παθητικό ρόλο και λειτουργεί ως δέκτης της δέσμης των υπερήχων (Receiving search unit), που διέρχεται μέσα από το εξεταζόμενο υλικό.

Η μέθοδος στηρίζεται στην καταγραφή της έντασης της υπερηχητικής δέσμης, που διέρχεται μέσα από το υλικό που εξετάζεται. Μετράται δηλαδή η απόσβεση των υπερηχητικών κυμάτων, που μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, της είναι η ύπαρξη ατελειών-βλαβών, η ύπαρξη διαχωριστικών επιφανειών και η ακουστική αντίσταση του υλικού.



Σχήμα 5.19: Η μέθοδος της διέλευσης α) στο πρότυπο αναφοράς β) το ίδιο υλικό που περιέχει ατέλεια. [πηγή:6]

Της φαίνεται στο Σχήμα 5.19, όταν η υπερηχητική δέσμη συναντήσει μια ατέλεια ή μια επιφάνεια ανάκλασης, ένα μέρος της ανακλάται και έτσι η ένταση της, που φτάνει στην κεφαλή-δέκτη είναι μικρότερη από αυτή της αρχικά εκπεμπόμενης δέσμης. Έτσι οι ατέλειες-βλάβες ανιχνεύονται συγκρίνοντας την ένταση της υπερηχητικής δέσμης που περνά μέσα από το υπό εξέταση υλικό, με την ένταση της υπερηχητικής δέσμης που περνά μέσα από ένα πρότυπο αναφοράς (reference standard) κατασκευασμένο από το ίδιο υλικό και με την ίδια διαδικασία με το εξεταζόμενο. Όταν υπάρξει ατέλεια-βλάβη το ύψος του παλμού, που εμφανίζεται στην οθόνη είναι μικρότερο από το ύψος του παλμού από την εξέταση του προτύπου αναφοράς (Σχήμα 6.19 β).

Για να είναι αποτελεσματική η μέθοδος πρέπει οι ανιχνευόμενες ατέλειες να είναι μεγαλύτερου μεγέθους από το μήκος κύματος της υπερηχητικής δέσμης, γιατί διαφορετικά λόγω του φαινομένου της περίθλασης η δέσμη περνά κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της πίσω από τα εμπόδια .

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να προσδιορίσει σε πιο σημείο ως της το πάχος του εξεταζόμενου υλικού βρίσκεται η ατέλεια-βλάβη. Της δεν έχει την δυνατότητα να ξεχωρίσει ατέλειες-βλάβες που παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά απόσβεσης. Για παράδειγμα, όταν εφαρμόζεται η μέθοδος για την εξέταση σύνθετων υλικών δεν μπορεί να ξεχωρίσει της αποκολλήσεις από τα εγκλείσματα αέρα, καθώς παρουσιάζουν την ίδια απόσβεση.

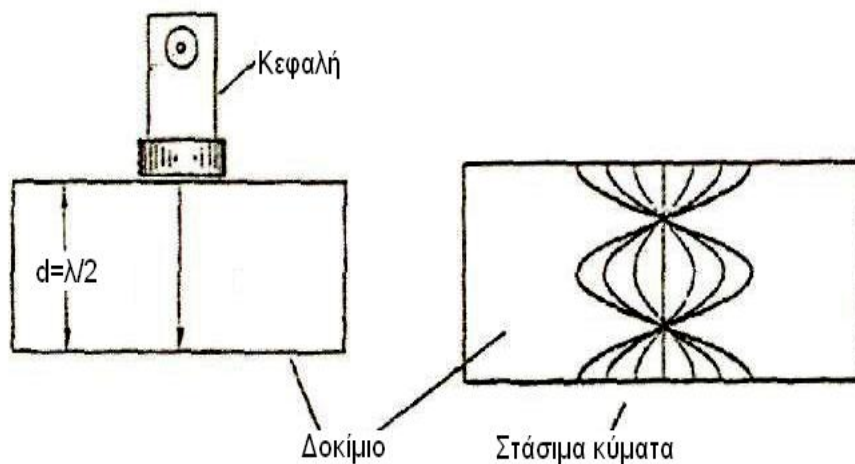
Δύο ακόμα μειονεκτήματα παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Τα μειονεκτήματα αυτά είναι πρώτον, η επίτευξη ιδανικής σύζευξη μεταξύ των κεφαλών και του εξεταζόμενου υλικού και δεύτερον η ευθυγράμμιση των δύο κεφαλών μεταξύ της. Στην πρώτη περίπτωση, η ελλιπής σύζευξη των κεφαλών προκαλεί διαφοροποιήσεις στη ένταση της υπερηχητικής δέσμης, οι οποίες λαμβάνονται από την κεφαλή δέκτη και οδηγούν σε εσφαλμένα συμπεράσματα για την κατάσταση του υλικού. Ομοίως η λανθασμένη ευθυγράμμιση οδηγεί στη λήψη υπερηχητικής δέσμης μειωμένης έντασης που δεν αποδίδεται σε ελάττωμα του υλικού.

5.7.2 Μέθοδος του συντονισμού.

Κατά την μέθοδο του συντονισμού, ένα συνεχές υπερηχητικό κύμα που διοχετεύεται σε μία επίπεδη πλάκα με επίπεδες επιφάνειες, μπορεί να διεγείρει σε ταλάντωση την πλάκα με την φυσική της συχνότητα. Για να συμβεί αυτό, πρέπει η πλάκα να είναι σε θέση να πάλλεται ελεύθερα και στις δύο επιφάνειές της. Αυτό συμβαίνει όταν και στις δύο πλευρές της

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

πλάκας υπάρχει υλικό με χαμηλή ακουστική αντίσταση. Έχει αποδειχθεί ότι ο συντονισμός μπορεί να περιγραφεί ως ένα στάσιμο κύμα, κατά το οποίο υπάρχουν κάποια μέρη του υλικού που παραμένουν συνεχώς ακίνητα. Η συχνότητα του προσπίπτοντος υπερηχητικού κύματος μεταβάλλεται μέχρι την στιγμή που εμφανίζεται μία ταλάντωση συντονισμού στην πλάκα. Σε αυτή την περίπτωση απορροφά από τον πομπό περισσότερη ισχύ από ότι θα απορροφούσε εάν δεν είχε συντονιστεί. Στη συνέχεια, η συχνότητα αυξάνει μέχρι να εμφανιστεί ο επόμενος πρώτος συντονισμός.



Σχήμα 5.20: Μέθοδος του συντονισμού. [πηγή:5]

Τότε από τη διαφορά των δύο συχνοτήτων συντονισμού Δf , υπολογίζεται το πάχος του εξεταζόμενου δοκιμίου από τον τύπο $d = C / 2Df$. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό του πάχους και των ελαστικών σταθερών ενός υλικού. Όμως, δεν προσφέρεται για την ανίχνευση ατελειών.

5.7.3 Η μέθοδος της παλμοηγούς.

Η μέθοδος της παλμοηγούς είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ατελειών-βλαβών για τον υπολογισμό των ελαστικών σταθερών (E,ν,G) υλικών και για παχυμετρήσεις.

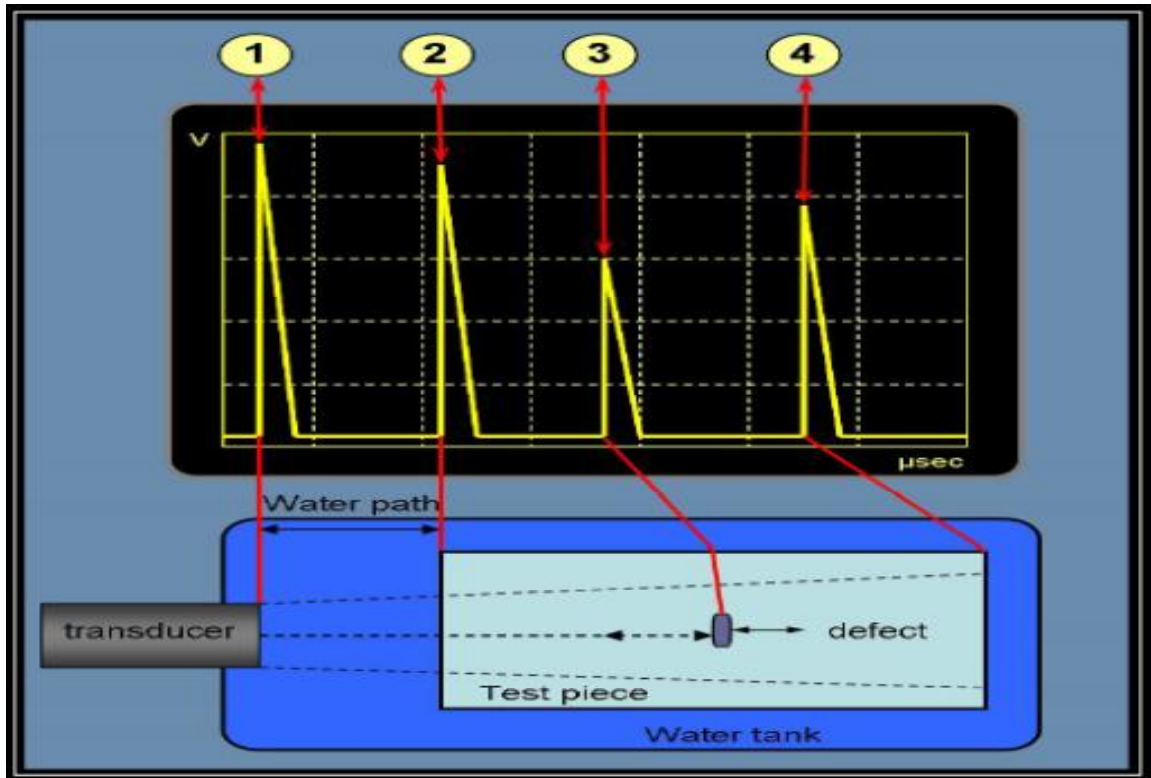
Στη μέθοδο της παλμοηγούς μικρής διάρκειας υπερηχητικοί παλμοί εισάγονται στο εξεταζόμενο υλικό, σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Εάν οι υπερηχητικοί παλμοί στην πορεία τους συναντήσουν μια επιφάνεια ανάκλασης, ολόκληρο το ποσό της ενέργειας τους ή μέρος της ανακλάται. Το ποσό της ανακλώμενης ενέργειας καταγράφεται καθώς και η χρονική καθυστέρηση μεταξύ του αρχικού παλμού και της λαμβανόμενης ανάκλασης.

Πιο αναλυτικά, οι περισσότερες διατάξεις υπερήχων που λειτουργούν με τη μέθοδο της παλμοηγούς αποτελούνται σε γενικές γραμμές από τις παρακάτω συσκευές :

- Ηλεκτρονικό κύκλωμα μέτρησης χρόνου (electronic clock).
- Ηλεκτρονική γεννήτρια παραγωγής σημάτων (ηλεκτρικών παλμών) εναλλασσόμενου δυναμικού (electronic signal generator or pulser).
- Πιεζοηλεκτρική κεφαλή (transducer, probe).
- Συσκευή εξομάλυνσης και ανόρθωσης σημάτων (echo-signal amplifier).
- Συσκευή απεικόνισης (display device).

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Μια διάταξη εμβαπτιζόμενου ελέγχου με τη μέθοδο της παλμοχούς λειτουργεί σύμφωνα με τα παρακάτω και απεικονίζεται στο Σχήμα 5.21.



Σχήμα 5.21: Αρχή λειτουργίας της μεθόδου της παλμοχούς. [πηγή: 6]

Σε δεδομένα χρονικά διαστήματα το ηλεκτρικό κύκλωμα μέτρησης χρόνου ενεργοποιεί τη γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικών παλμών, η οποία μέσω καλωδίου τροφοδοτεί με υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενη τάση την πιεζοηλεκτρική κεφαλή. Ταυτόχρονα η ίδια τάση ανορθώνεται και ενισχύεται κατάλληλα και οδηγείται στο οριζόντιο ζεύγος πλακών της συσκευής απεικόνισης (οθόνη). Έτσι η δέσμη των ηλεκτρονίων της οθόνης δέχεται την κατακόρυφη απόκλιση και εμφανίζεται ο παλμός 1 (Σχήμα 5.21), ο οποίος ονομάζεται αρχικός παλμός (initial pulse).

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Στη συνέχεια η πιεζοηλεκτρική κεφαλή δεχόμενη τους ηλεκτρικούς παλμούς παράγει υπερηχητικά κύματα, τα οποία διαδίδονται στο μέσο σύζευξης μέχρι να φτάσουν στην πάνω επιφάνεια του δοκιμίου (test piece). Η απόσταση από την κεφαλή παραγωγής υπερήχων μέχρι την πάνω επιφάνεια του δοκιμίου, στον εμβαπτιζόμενο έλεγχο καταλαμβάνεται από το μέσο σύζευξης και στην αγγλική ορολογία ονομάζεται <<water path>> (Σχήμα 5.21). Φτάνοντας τα υπερηχητικά κύματα στην πάνω επιφάνεια, ένα μέρος τους ανακλάται και ένα μέρος τους εισέρχεται στο εξεταζόμενο υλικό. Το ποσό της ενέργειας των υπερηχητικών κυμάτων που εισέρχεται στο εξεταζόμενο υλικό εξαρτάται από την ακουστική του αντίσταση.

Το ανακλώμενο μέρος του υπερηχητικού κύματος, ακολουθώντας την ίδια διαδρομή αλλά με αντίθετη κατεύθυνση φτάνει στην κεφαλή υπερήχων. Το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο της κεφαλής μετατρέπει την ενέργεια του ανακλώμενου υπερηχητικού κύματος σε ηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο περνώντας από τη συσκευή εξομάλυνσης και ανόρθωσης, οδηγείται όπως και προηγουμένως στη συσκευή απεικόνισης και εμφανίζεται ο παλμός **2** (Σχήμα 5.21). Ο παλμός **2** της πάνω επιφάνειας εμφανίζεται με χρονική καθυστέρηση (delay), η οποία εκφράζεται από την απόσταση στην οθόνη, μεταξύ του αρχικού παλμού **1** και του παλμού της πάνω επιφάνειας **2**. Ο χρόνος αυτός είναι ίσος με το χρόνο που χρειάζονται τα υπερηχητικά κύματα για να καλύψουν δύο φορές την απόσταση του μέσου σύζευξης μεταξύ κεφαλής και δοκιμίου.

Το μέρος της υπερηχητικής δέσμης που εισέρχεται μέσα στο εξεταζόμενο υλικό διαδίδεται με ταχύτητα, η οποία εξαρτάται από το υλικό. Στην πορεία της η δέσμη ενδέχεται να συναντήσει κάποια ατέλεια-ανακλαστήρα, η οποία να είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της δέσμης. Τότε ένα ποσό

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

της ενέργειας της εισερχόμενης στο υλικό υπερηχητικής δέσμης ανακλάται πίσω προς την πιεζοηλεκτρική κεφαλή. Το ποσό αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του ανακλαστήρα, από το είδος της πιεζοηλεκτρικής κεφαλής και από άλλους παράγοντες που θα αναφερθούν σε επόμενες παραγράφους. Μέσω της ίδιας διαδικασίας που αναφέρθηκε για τους παλμούς **1** και **2** εμφανίζεται στην οθόνη ο παλμός **3** (Σχήμα 5.21) ο οποίος αντιστοιχεί στην ανάκλαση που δημιουργεί η ατέλεια. Παρατηρείται ότι το ύψος του παλμού **3** (amplitude) είναι μικρότερο από το ύψος των προηγούμενων παλμών. Αυτό εξαρτάται από το είδος της ατέλειας, από την ακουστική της αντίσταση, από το μέγεθος της και από τον προσανατολισμό της ως προς την υπερηχητική δέσμη.

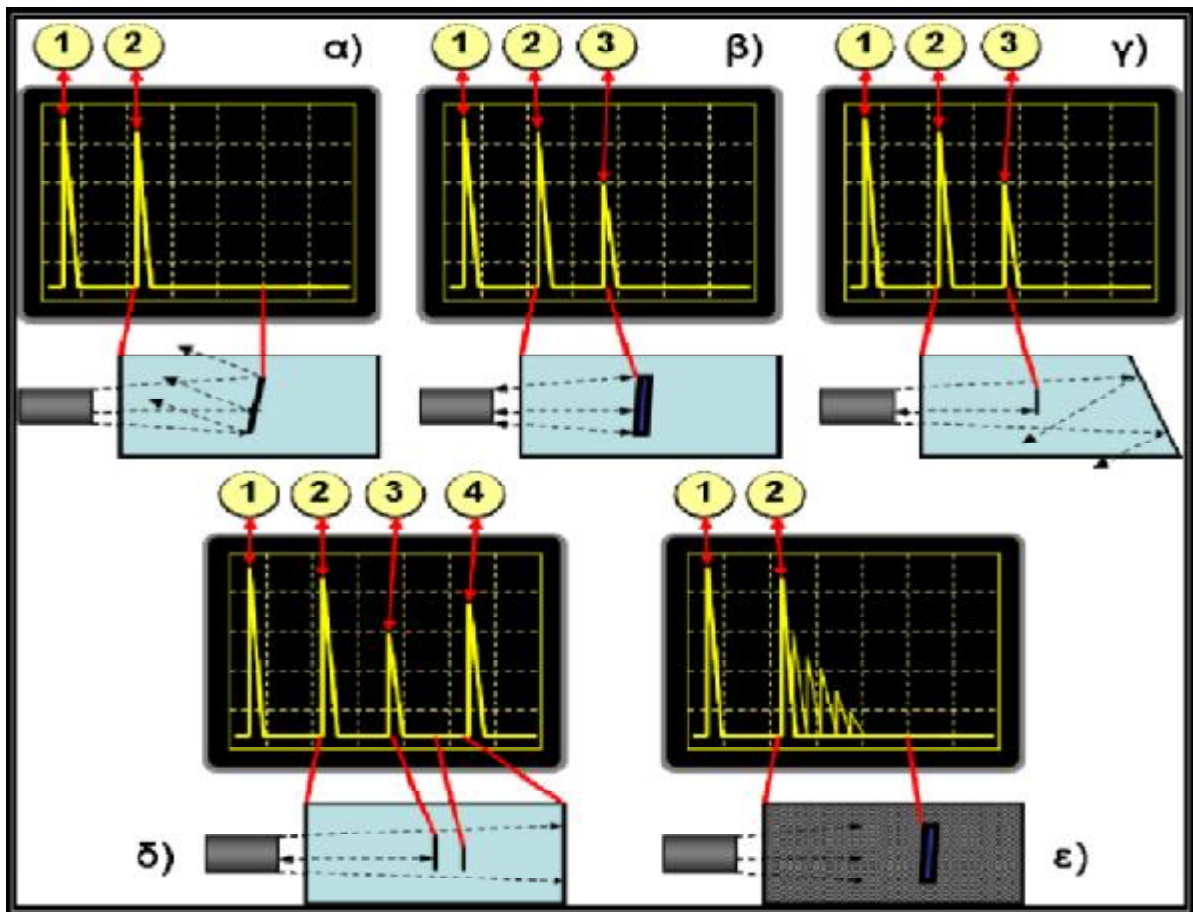
Τέλος η υπερηχητική δέσμη συνεχίζει τη διαδρομή της μέσα στο εξεταζόμενο υλικό και συναντά την πίσω επιφάνεια, όπου ανακλάται και διατρέχοντας την αντίθετη πορεία φτάνει στην πιεζοηλεκτρική κεφαλή. Εμφανίζεται έτσι ο παλμός **4** (Σχήμα 5.21) της πίσω επιφάνειας που στην αγγλική ορολογία ονομάζεται <<back wall echo>>. Ο παλμός της πίσω επιφάνειας είναι πολύ σημαντικός κατά το έλεγχο με υπερήχους, καθώς από την εμφάνιση του ή όχι εξαρτάται η αξιοπιστία ενός ελέγχου. Η συνεισφορά της εμφάνισης του κατά τον έλεγχο με υπερήχους θα αναλυθεί σε ξεχωριστή παράγραφο.

Η λειτουργία της μεθόδου περιγράφηκε χρησιμοποιώντας ένα ιδανικό παράδειγμα που μπορεί να συναντήσει κανείς στα μέταλλα.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν ορισμένες περιπτώσεις απεικονίσεων κατά την ανίχνευση ατελειών με τη μέθοδο της παλμοηχούς που η εμφάνιση τους, είτε μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμό δημιουργούν τις προαναφερθείσες δυσκολίες, ιδιαίτερα στον έλεγχο των σύνθετων υλικών. Στο

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

παρακάτω Σχήμα 5.22 φαίνονται πέντε απεικονίσεις οι οποίες όταν εμφανίζονται προκαλούν αβεβαιότητα κατά την ανίχνευση ατελειών.



Σχήμα 5.22: Γραφική παράσταση διάφορων απεικονίσεων με τη μέθοδο της παλμοηχούς. **α)** Ατέλεια που δεν είναι κάθετη ως προς τον ηχητικό άξονα της κεφαλής. **β)** Ατέλεια συγκρίσιμη με τη διάμετρο της υπερηχητικής δέσμης, απώλεια της ανάκλασης της πίσω επιφάνειας. **γ)** Η πίσω επιφάνεια δεν είναι κάθετη στον ηχητικό άξονα της δέσμης, απώλεια της ανάκλασης της πίσω επιφάνειας. **δ)** Αδυναμία ανίχνευσης ατέλειας λόγω της ύπαρξης μεγαλύτερης που την υπερκαλύπτει. **ε)** Ισχυρή απόσβεση της υπερηχητικής δέσμης, παρουσία θορύβου δεν υπάρχουν ανακλάσεις της ατέλειας και της πίσω επιφάνειας. [πηγή: 6]

Σχήμα 5.22α) έχουμε την περίπτωση στην οποία ο προσανατολισμός της ατέλειας είναι τέτοιος ώστε να ανακλά την υπερηχητική δέσμη εκτός του

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

ηχητικού άξονα της κεφαλής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται παλμός στην οθόνη που να υποδηλώνει την ύπαρξη της ατέλειας. Επίσης όταν το μέγεθος της ατέλειας είναι συγκρίσιμο με τη διάμετρο της ηχητικής δέσμης, τότε δεν εμφανίζεται ούτε η ανάκλαση της πίσω επιφάνειας.

Στο Σχήμα 5.22β) παρουσιάζεται μια όμοια περίπτωση μόνο που τώρα η ατέλεια είναι κάθετη στον ηχητικό άξονα της δέσμης και είναι αρκετά μεγάλου μεγέθους ώστε να ανακλά εξολοκλήρου την υπερηχητική δέσμη. Η διάταξη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ισχυρής ανάκλασης με παλμό ανάλογου ύψους **3**, αλλά και ταυτόχρονα την εξαφάνιση του παλμού της πίσω επιφάνειας.

Σχήμα 5.22γ) όπου εμφανίζονται ο αρχικός παλμός **1**, ο παλμός της πάνω επιφάνειας **2** και ο παλμός από την ατέλεια **3**. Η ατέλεια στην περίπτωση αυτή είναι μικρού μεγέθους, προσανατολίζεται κάθετα στην ηχητική δέσμη και αφήνει μεγάλο μέρος της να φτάσει στην πίσω επιφάνεια του δοκιμίου. Παρά ταύτα λόγω της έλλειψης παραλληλίας της πάνω και της πίσω επιφάνειας η ανάκλαση της πίσω επιφάνειας δεν φτάνει στην πιεζοηλεκτρική κεφαλή και έτσι δεν εμφανίζεται ο παλμός της.

Σχήμα 5.22δ) υπάρχουν δύο ατέλειες που η μια υπερκαλύπτει την άλλη και εμποδίζει την ανίχνευση της. Το φαινόμενο αυτό στην αγγλική ορολογία ονομάζεται *masking*. Στο ίδιο φαινόμενο μπορεί να αναχθεί και η περίπτωση (β) όπου το μέγεθος της ατέλειας εμποδίζει την υπερηχητική δέσμη να φτάσει στην πίσω επιφάνεια. Η κατάσταση αυτή αντιμετωπίζεται πολύ συχνά κατά τον έλεγχο των σύνθετων υλικών ιδιαίτερα σε υλικά που αποτελούνται από στρώσεις μεγάλου βάρους. Οι ισχυρές ανακλάσεις των

στρώσεων αυτών δεν επιτρέπει την ανίχνευση ατελειών, οι οποίες βρίσκονται στις επόμενες στρώσεις.

Σχήμα 5.22ε) η υπερηχητική δέσμη διαδίδεται σ' ένα υλικό που παρουσιάζει υψηλή απόσβεση. Στην περίπτωση αυτή λόγω την διασποράς και της απορρόφησης η ηχητική δέσμη δεν φτάνει να ανιχνεύσει την ατέλεια όπως επίσης δεν φτάνει στην πίσω επιφάνεια. Οι κοντινές ανακλάσεις των οποίων το πλάτος (amplitude) μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση μέσα στο υλικό. Οι κοντινές αυτές ανακλάσεις ονομάζονται «θόρυβος» ή «γρασίδι» (grass). Μέσα στους παλμούς αυτούς ενδεχομένως να βρίσκεται και παλμός που προέρχεται από την ανάκλαση κάποιας ατέλειας. Σε αυτό το ενδεχόμενο επειδή είναι δύσκολο να διαχωριστεί από τον υπόλοιπο θόρυβο δεν μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την ύπαρξη ατέλειας.

Όλη η παραπάνω ανάλυση στηρίχθηκε στην απεικόνιση των παλμών σε μια οθόνη. Η απεικόνιση αυτή ονομάζεται απεικόνιση εύρους (Amplitude-scan or A-scan). Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφεί αναλυτικά η απεικόνιση αυτή όπως και άλλες που χρησιμοποιούν τα σύγχρονα συστήματα υπερήχων για τον μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών.

5.8 Μέθοδοι απεικόνισης με τη μέθοδο της παλμοηχούς.

Στα αυτοματοποιημένα συστήματα εμβαπτιζόμενου ελέγχου με υπερήχους υπάρχουν τρεις μορφές απεικόνισης δεδομένων. Οι μορφές αυτές είναι :

- Η απεικόνιση εύρους (Amplitude-scan) **A-scan**.
- Η απεικόνιση αντίθεσης (Contrast-scan) **C-scan**.
- Η απεικόνιση λαμπρότητας (Brightness-scan) **B-scan**.

5.8.1 Απεικόνιση εύρους A-Scan (Amplitude Scan).

Με αυτή τη μέθοδο τόσο ο αρχικός παλμός όσο και οι ανακλώμενες ηχώ (από ατέλειες ή από την οπίσθια όψη) απεικονίζονται στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα. Μ' αυτή τη μέθοδο στον άξονα των X απεικονίζονται οι αποστάσεις ενώ στον άξονα Y τα ύψη των ανακλάσεων. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από τα διάφορα σφάλματα μετρήσεως τα οποία οφείλονται στις εξής αιτίες:

1. Στην ακρίβεια αναγνώσεως. Η οθόνη χωρίζεται σε δέκα υποδιαιρέσεις και η κάθε μια από αυτές χωρίζεται πάλι σε 10 υποδιαιρέσεις. Έτσι το πιο πιθανό ελάχιστο σφάλμα είναι της τάξεως του 1%, σύμφωνα με τη βαθμονόμηση της οθόνης κάθε φορά.

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

2. Στο σφάλμα κορυφών. Οι κορυφές ενός παλμού, στην οθόνη του παλμογράφου επηρεάζουν την ακρίβεια της μετρήσεως, γιατί ανάλογα με την ενίσχυση μια ή περισσότερες κορυφές είναι πιθανό να εμφανίζονται στην οθόνη, με αποτέλεσμα όταν μεταβάλεται η ενίσχυση, η αρχή της ανακλάσεως μετατοπίζεται. Γι' αυτό η ενίσχυση πρέπει να αυξάνεται μέχρι να μην εμφανίζονται άλλες κορυφές πάνω από την οριζόντια γραμμή της οθόνης.

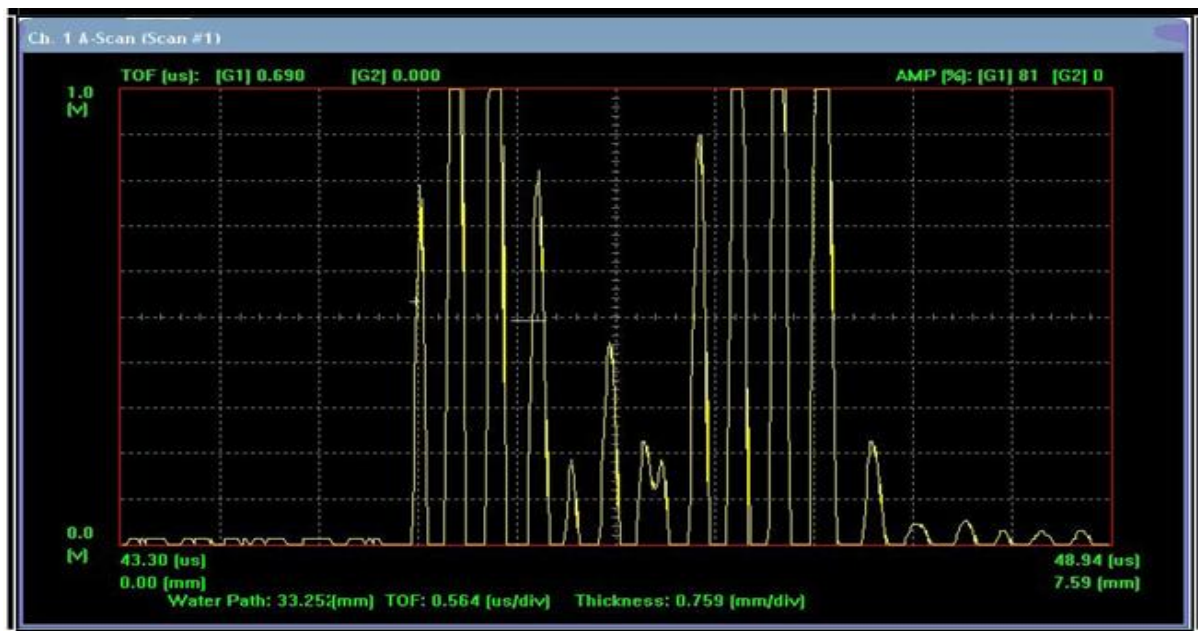
3. Στην παραμόρφωση λόγω της γεωμετρίας της C.R.T. οθόνης. Αυτό οφείλεται στο ότι η οθόνη του καθοδικού σωλήνα είναι επίπεδη και όχι σφαιρική. Έτσι ή δέσμη των ηλεκτρονίων που περιστρέφεται γύρω από το κέντρο των κατακόρυφων και οριζόντιων πλακών, συναντά την οθόνη σε σημεία που απέχουν διαφορετικές αποστάσεις, ανάλογα με την απόστασή τους. Η απεικόνιση εύρους αποτελεί την παρουσίαση του πλάτους των σημάτων, που λαμβάνονται από την πιεζοηλεκτρική σε συνάρτηση με το χρόνο διάδοσης τους και προέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο ως προς την επιφάνεια του δοκιμίου.

Στο Σχήμα 5.23 φαίνεται ένα τυπικό παράδειγμα A-scan. Ο οριζόντιος άξονας είναι ο άξονας του χρόνου και μετράται σε msec. Ο κατακόρυφος άξονας μετρά το πλάτος (amplitude) των σημάτων-παλμών και είναι βαθμονομημένος σε volt. Τόσο ο οριζόντιος άξονας, όσο και ο

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

κατακόρυφος είναι χωρισμένοι σε δέκα υποδιαστήματα (divisions).

Όταν ένας παλμός εμφανίζεται στην οθόνη του A-scan καταγράφεται το πλάτος του, σε volt και ο χρόνος στον οποίο εμφανίζεται μετά την εκπομπή του αρχικού παλμού, σε msec. Ο χρόνος αυτός στην αγγλική ορολογία ονομάζεται time of flight (TOF). Στην οθόνη του A-scan εμφανίζονται και άλλες πληροφορίες εκτός από το TOF. Στο πάνω μέρος του παραθύρου αναγράφεται το TOF που μετράται σε κάθε gate [G1] και [G2], καθώς και το πλάτος των παλμών (AMP) που κόβουν κάθε gate [G1] και [G2], μετρημένοι επί τοις εκατό του ύψους της οθόνης (% FSH). Στο κάτω μέρος του παραθύρου αναγράφεται το Water Path το TOF σε κάθε υποδιάστημα και το πάχος κάθε υποδιαστήματος.



Σχήμα 5.23: Απεικόνιση A-scan. [πηγή: 6]

Η απεικόνιση A-scan μπορεί να μετακινηθεί ως προς τον άξονα των χρόνων και έτσι ο χειριστής να παρακολουθεί συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Στο παράδειγμα του Σχήματος 5.23 παρακολουθείται το χρονικό διάστημα από 43.30 έως 48.94 μsec . Μέσα στο χρονικό αυτό διάστημα εμφανίζεται το πρώτο σείτ ανακλάσεων από το δοκίμιο. Γενικά κατά την εξέταση υλικών εμφανίζονται και άλλα σείτ ανακλάσεων μετά το πρώτο, καθώς η δέσμη των υπερήχων υφίσταται πολλαπλές ανακλάσεις στο εσωτερικό των υλικών και σε κάθε ανάκλαση μόνο ένα μικρό ποσό της ακουστικής ενέργειας επιστρέφει στην πιεζοηλεκτρική κεφαλή. Τα διαδοχικά σείτ ανακλάσεων εμφανίζονται με σταθερή διαφορά χρόνου και όσο αυξάνει ο αριθμός τους μειώνεται το πλάτος τους, λόγω της απόσβεσης των κυμάτων μέσα στο υλικό. Το χρονικό διάστημα από 0 έως 43.30 μsec αποτελεί την καθυστέρηση (delay) μεταξύ του αρχικού παλμού και της πάνω επιφάνειας του δοκιμίου. Είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε η δέσμη των υπερήχων να διανύσει δύο φορές την απόσταση μεταξύ της κεφαλής και της πάνω επιφάνειας του δοκιμίου και να επιστρέψει στην κεφαλή για να εμφανιστεί ο παλμός της πάνω επιφάνειας.

Από εκεί και πέρα, το εύρος των υποδιαστημάτων στον άξονα του χρόνου μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί, ανάλογα με τις ανάγκες του ελέγχου. Έτσι

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

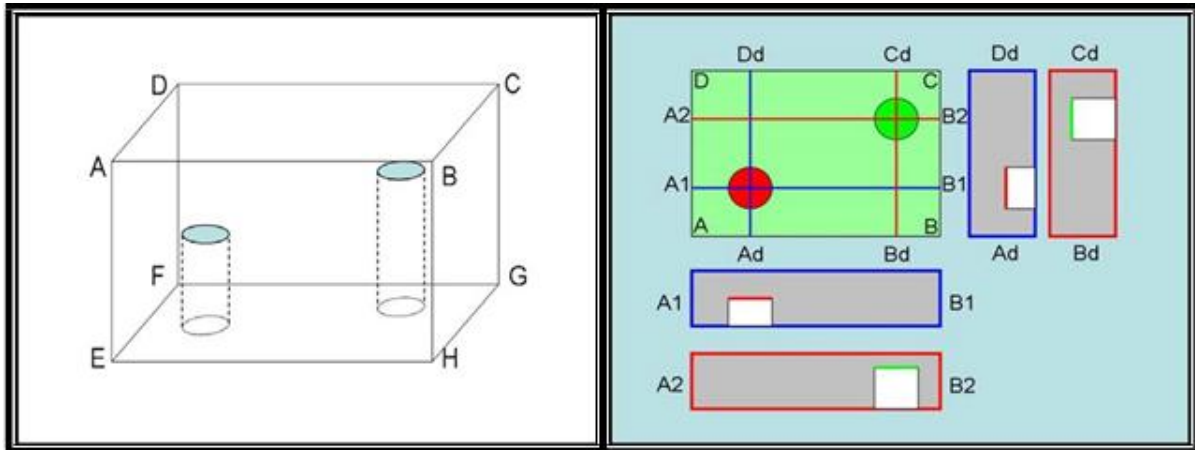
στο A-scan του σχήματος 5.23 το εύρος των υποδιαστημάτων έχει οριστεί σε 0.759 mm/div.

Η απεικόνιση A-scan γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό ατελειών, για την παχυμέτρηση υλικών και για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ήχου σε υλικά με γνωστό πάχος. Όλα αυτά μπορούν να συμβούν μόνο στα μέταλλα ακόμα και με φορητές συσκευές που παρέχουν μόνο την απεικόνιση A-scan. Στα σύνθετα υλικά η απεικόνιση A-scan μας δίνει τις ανακλάσεις που προέρχονται από συγκεκριμένο σημείο του υλικού.

5.8.2 Απεικόνιση αντίθεσης B-scan (Brightnens Scan).

Η απεικόνιση λαμπρότητας είναι μια δισδιάστατη απεικόνιση της τομής του εξεταζόμενου δοκιμίου. Στον κάθετο άξονα παρουσιάζεται η κατανομή του TOF ή του Amplitude και στον οριζόντιο άξονα καταγράφεται η θέση της πιεζοηλεκτρικής κεφαλής. Από την απεικόνιση μπορεί να προσδιοριστεί η θέση ως προς το πάχος του εκάστοτε ανακλαστήρα και οι γραμμικές του διαστάσεις κατά την διεύθυνση της κίνησης της κεφαλής (σχήμα 5.24). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η αξιοπιστία της συγκεκριμένης απεικόνισης είναι περιορισμένη, καθώς ο ανακλαστήρας μπορεί να <<κρυφτεί>> τελείως ή μερικώς εάν υπάρχει μεγαλύτερος στα πιο πάνω

στρώματα του υλικού στην ίδια περιοχή.



Σχήμα 5.24: Απεικονήσεις C-scan και B-scan υλικού που περιέχει δύο ατέλειες στο εσωτερικό του. [πηγή: 6]

5.8.3 Η απεικόνιση αντίθεσης C-scan (Contrast Scan).

Η απεικόνιση αντίθεσης C-scan είναι μια δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής μιας παραμέτρου (time of flight ή amplitude), η οποία προβάλλεται στην πάνω επιφάνεια του ελεγχόμενου υλικού και ουσιαστικά αποτελεί την χαρτογράφηση της περιοχής ενδιαφέροντος. Ως περιοχή ενδιαφέροντος ορίζεται το τμήμα του εξεταζόμενου υλικού από το οποίο συλλέγονται δεδομένα, μέσω της τοποθέτησης του gate στο A-scan.

Πιο αναλυτικά, το C-scan καταγράφει τις ανακλάσεις που προέρχονται από το εσωτερικό του υλικού ως συνάρτηση της θέσης τους, τόσο ως προς την επιφάνεια σάρωσης όσο και ως προς το πάχος του υλικού. Έτσι παρουσιάζεται μια επίπεδη απεικόνιση της στρώσης του δοκιμίου, η οποία είναι παράλληλη με την επιφάνεια σάρωσης. Στην επίπεδη αυτή απεικόνιση

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

καταγράφεται το amplitude ή το time of flight των ανακλάσεων που λαμβάνει το gate όπως έχει οριστεί στο A-scan. Οι ανακλάσεις καταγράφονται με διαφορετικά χρώματα. Έτσι στην περίπτωση που στο C-scan έχουμε αναπαράσταση του amplitude. Οι διαφορετικοί χρωματισμοί υποδηλώνουν διαφορές στην ένταση του λαμβανόμενου σήματος και αναλόγως στην περίπτωση που έχουμε αναπαράσταση του time of flight υποδηλώνουν διαφορές στο βάθος από όπου προέρχεται η εκάστοτε ανάκλαση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στο Σχήμα 5.24, η ατέλεια κόκκινου χρώματος βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος, ως προς την επιφάνεια σάρωσης (ABCD) οπότε η κόκκινη απόχρωση στην περίπτωση του time of flight δηλώνει περισσότερο χρόνο για να επιστρέψουν οι υπέρηχοι στην κεφαλή και κατά συνέπεια μικρότερο amplitude. Ακριβώς τα αντίθετα συμβαίνουν με την ατέλεια πράσινου χρώματος.

Τέλος γίνεται εμφανές ότι το C-scan αποτελεί την οπτικοποίηση της καταγραφής των προαναφερθέντων παραμέτρων και πάνω σε αυτή την απεικόνιση θα βασιστεί ο έλεγχος των δοκιμίων και η εξαγωγή των οποιονδήποτε συμπερασμάτων.

- Κεφάλαιο 6 -

Εφαρμογές των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των υλικών.

6.1 Γενικά.

Ο πρωταρχικός ρόλος των δοκιμών με υπερήχους, όπως αναφέραμε στα πιο πάνω κεφάλαια, ήταν η ανίχνευση και ο προσδιορισμός ατελειών μέσα σε ένα υλικό. Όμως με την εξέλιξη της μεθόδου αναπτύχθηκαν μέθοδοι για τη μη καταστροφική μελέτη συμπεριφοράς των υλικών, καθώς και τον προσδιορισμό ορισμένων εκ των μηχανικών τους συμπεριφορών.

Η μη καταστροφική μέθοδος των υπερήχων πέρα από την ανίχνευση των ατελειών, εφαρμόζεται σήμερα και σε πολλές άλλες περιπτώσεις. Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε μια περιγραφή σε διάφορες εφαρμογές των υπερήχων.

6.2 Εύρεση των ελαστικών σταθερών E , G , ν των υλικών.

Επειδή οι ελαστικές ιδιότητες περιγράφουν τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών, η μελέτη τους είναι σημαντική σε περιπτώσεις μηχανολογικού σχεδιασμού. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού για μια συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτεί τη γνώση της μηχανικής του συμπεριφοράς.

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

Όταν σε ένα υλικό επιδρούν εξωτερικές δυνάμεις, τότε αυτό παραμορφώνεται. Δηλαδή, εάν εφαρμόσουμε σε αυτό εξωτερικές δυνάμεις, μπορούμε να μεταβάλλουμε το σχήμα και το μέγεθος του. Για την μελέτη των ελαστικών ιδιοτήτων των στερεών χρησιμοποιούνται οι έννοιες της τάσης και της παραμόρφωσης. Η τάση είναι ποσότητα ανάλογη προς την δύναμη στην οποία οφείλεται η παραμόρφωση, είναι η εξωτερική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας διατομής.

Παραμόρφωση είναι το μέτρο της μεταβολής του αρχικού σχήματος και μεγέθους. Γνωρίζουμε πειραματικά ότι για μικρές τάσεις, η τάση είναι ανάλογη προς την παραμόρφωση. Ελαστικές είναι οι ιδιότητες αυτές που διέπουν τη συμπεριφορά ενός υλικού που υπόκειται σε εξωτερικές δυνάμεις μέσα σε ένα πεδίο τάσης όπου το υλικό συμπεριφέρεται ελαστικά. Για να υπολογίσουμε τις ελαστικές σταθερές πρέπει να γνωρίζουμε τη πυκνότητα (ρ) του υλικού και την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων (c_t) και των διαμήκων (c_l) υπερηχητικών κυμάτων.

- **Μέτρο ελαστικότητας E.**

$$E = \rho c_t^2 \frac{3c_l^2 - 4c_t^2}{c_l^2 - c_t^2} = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \rho c_l^2 = 1(1 + \nu) \rho c_t^2$$

- **Μέτρο διάτμησης G.**

$$G = \rho c_t^2$$

- **Λόγος του Poisson (ν).**

$$\nu = \frac{1/2(c_l / c_t)^2 - 1}{(c_l / c_t)^2 - 1} = \frac{c_l^2 - 2c_t^2}{2c_l^2 - 2c_t^2}$$

6.3 Προσδιορισμός της σκληρότητας.

Η μέθοδος των υπερήχων εφαρμόζεται και για τον προσδιορισμό της σκληρότητας κατά Vickers. Η σκληρομέτρηση αυτή διεξάγεται με την εφαρμογή πολύ μικρών φορτίων τα οποία δημιουργούν αντίστοιχα πολύ μικρές ουλές χωρίς να απαιτείται λείανση της ελεγχόμενης επιφάνειας. Οι ενδείξεις της σκληρότητας λαμβάνονται απ' ευθείας με τη βοήθεια κατάλληλου μετρητή, χωρίς να είναι απαραίτητο να μετρηθούν οι διαστάσεις των ουλών με οπτικές διατάξεις όπως γίνεται στις συμβατικές σκληρομετρήσεις κατά Vickers. Με τη μέθοδο αυτή ο αδαμάντινος διεισδυτής προσαρμόζεται στην άκρη μιας ράβδου, η οποία διεγείρεται σε ταλάντωση με μια αρχική συχνότητα. Η ταλάντωση της ράβδου επιτυγχάνεται με βάση το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

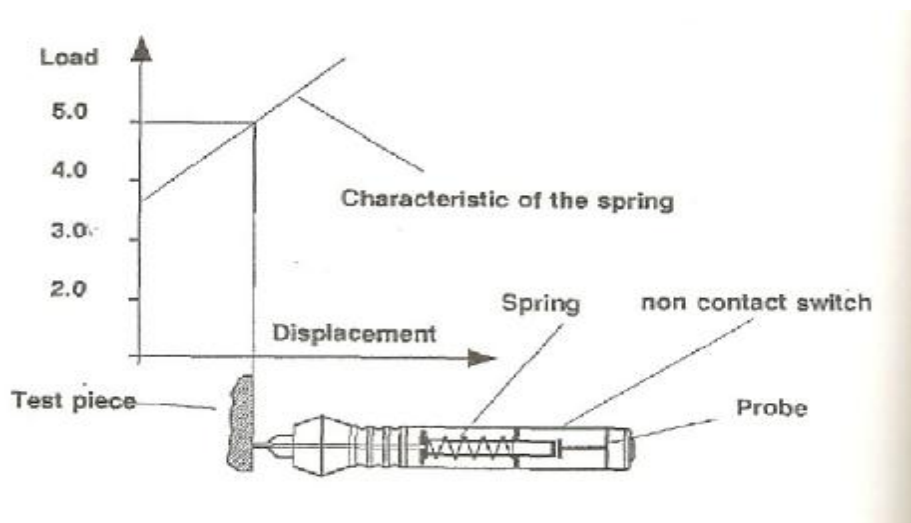
Καθώς ο διεισδυτής προχωράει στο ελεγχόμενο υλικό η συχνότητα της ταλάντωσης μεταβάλλεται. Το μέγεθος της διείσδυσης και η μεταβολή της συχνότητας εξαρτώνται από τη σκληρότητα του ελεγχόμενου υλικού. Έτσι μετρώντας τη συχνότητα ταλάντωσης της ράβδου προσδιορίζουμε την επιφανειακή σκληρότητα. Η συσκευή είναι εφοδιασμένη με κατάλληλο μετατροπέα, ώστε με την κίνηση ενός διακόπτη η σκληρότητα Vickers να μετατρέπεται σε σκληρότητα Rockwell.

Τα πλεονεκτήματα του προσδιορισμού της σκληρότητας με τη μέθοδο των υπερήχων (Ultrasonic Contact Impedance –USI), έγκειται στο ότι χρησιμοποιείται μια εύχρηστη ελαφριά φορητή συσκευή, οι ενδείξεις της οποίας δίνουν αμέσως σε μια ψηφιακή οθόνη τη σκληρότητα Vickers ή Rockwell. Επίσης η μέθοδος προσφέρεται για πολύ μικρές επιφάνειες και για όλα τα είδη των μετάλλων.

Αρχή λειτουργίας υπερηχητικού σκληρόμετρου

Η βασική διαφορά στον τρόπο της υπερηχητικής μέτρησης της σκληρότητας από τις συμβατικές μεθόδους σκληρομέτρησης, είναι η τεχνική Ultra Sonic Contact Impedance (UCI), η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διείσδυσης του διεισδυτή και κατ' επέκταση της τιμής της σκληρότητας.

Στο υπερηχητικό σκληρόμετρο ο διεισδυτής τύπου Vickers είναι τοποθετημένος στην κορυφή ενός κυλινδρικού μεταλλικού στελέχους, το οποίο ταλαντώνεται ημιτονοειδώς από ένα πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο, σε μια συγκεκριμένη συχνότητα (σχήμα 6.1). Καθώς ο διεισδυτής πιέζεται στην επιφάνεια του δοκιμίου, ένα ειδικά διαμορφωμένο ελατήριο εφαρμόζει μια συνεχώς αυξανόμενη δύναμη. Όταν η δύναμη αυτή φτάσει την προκαθορισμένη τιμή των 5 Kgr, χαρακτηριστικό φορτίο της σκληρομέτρησης, η συχνότητα ταλάντωσης του στελέχους μεταβάλλεται. Αυτή η μεταβολή της συχνότητας είναι ανάλογη με την επιφάνεια της διείσδυσης και η οποία κατ' επέκταση προσδιορίζει την τιμή της σκληρότητας.



Σχήμα 6.1: Υπερηχητικό σκληρόμετρο. [πηγή: 2]

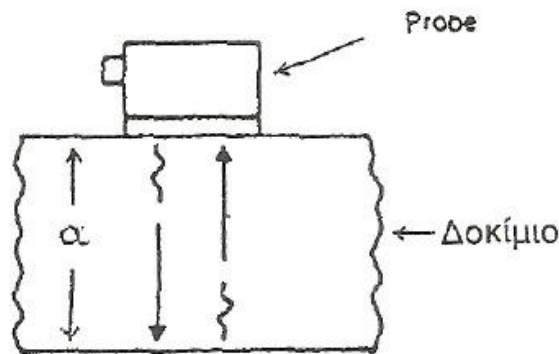
6.4 Παχυμέτρηση.

Είναι όμως πολύ δύσκολο και δαπανηρό να γίνει έλεγχος μεγάλων επιφανειών και κατασκευών μεγάλων διαστάσεων, όπως π.χ. σε λαμαρίνες, σωλήνες, λέβητες, δεξαμενές, πλοία κ.λ.π. Για τον έλεγχο π.χ. του πάχους πλοίων με μηχανικά παχύμετρα, πρέπει πρώτα το πλοίο αφού τεθεί εκτός λειτουργίας, να βγει σε δεξαμενή, να ανοιχθούν τρύπες στα σημεία της επιφάνειάς του όπου θα ελεγχθεί το πάχος, για να περάσει το παχύμετρο, και στη συνέχεια να κλείσουν αυτές οι τρύπες με ηλεκτροσυγκόλληση. Είναι προφανές το μεγάλο κόστος, όπως και η επίδραση στη στερεότητα της κατασκευής, αφού μια τέτοια επέμβαση θα δημιουργήσει πολλά ελαττώματα στην κατασκευή και θα απαιτήσει αρκετό χρόνο. Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και για τις παχυμετρήσεις άλλων κατασκευών, όπως π.χ. εκείνες που προαναφέρθηκαν.

Όλες αυτές οι δυσκολίες αντιμετωπίζονται με τη χρήση του υπερηχητικού παχυμέτρου, μιας σύγχρονης συσκευής προηγμένης τεχνολογίας, που μας παρέχει τη δυνατότητα της εύκολης, ταχείας και με υψηλή ακρίβεια μέτρησης.

Αρχή λειτουργίας υπερηχητικού παχυμέτρου

Συνήθως η λειτουργία του υπερηχητικού παχυμέτρου στηρίζεται στη χρήση υπερήχων και ιδιαίτερα της τεχνικής της παλμοηχούς, παρόμοιας εκείνης του ηχοσκοπίου (sonar), εικόνα 6.2.



Σχήμα 6.2: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του υπερηχητικού παχυμέτρου. [πηγή:5]

Η υπερηχητική κεφαλή εκπέμπει υπερηχητικό παλμό μικρής διάρκειας, ο οποίος διοχετεύεται στο δοκίμιο με το οποίο βρίσκεται σε επαφή στη μια πλευρά του. Όταν ο παλμός φτάσει στην πίσω επιφάνεια του δοκιμίου, ανακλάται και γυρίζει πίσω, όπου συλλαμβάνεται από τον πομπό, ο οποίος λειτουργεί τώρα ως δέκτης. Ο χρόνος διέλευσης t του υπερηχητικού σήματος από τη στιγμή της εισόδου μέχρι την έξοδό του από το δοκίμιο, διαιρούμενος δια δύο και πολλαπλασιαζόμενος επί την ταχύτητα c του ήχου (σ' αυτό το υλικό) μας καθορίζει το ζητούμενο πάχος του δοκιμίου, από την επόμενη σχέση που είναι:

$$\alpha = \frac{tc}{2}$$

Για να γίνει αυτή η μέτρηση, πρέπει να είναι γνωστή η ταχύτητα του ήχου c στο ελεγχόμενο υλικό. Τότε ο χρόνος t διέλευσης μετριέται από το παχύμετρο και από τη παραπάνω σχέση προσδιορίζεται εύκολα το πάχος α . Τα χρησιμοποιούμενα υπερηχητικά παχύμετρα είναι συνήθως ψηφιακά και εκτελούν αυτόματα αυτή τη διαδικασία, αφού προηγουμένως έχουμε εισαγάγει σ' αυτά την ταχύτητα του ήχου στο υλικό, παρέχοντας στην ψηφιακή οθόνη τους την ένδειξη του πάχους.

Η ταχύτητα του ήχου για κάθε υλικό δίδεται από ειδικούς πίνακες. Εάν όμως η ταχύτητα του ήχου στο ελεγχόμενο υλικό, είναι άγνωστη μπορούμε με το ίδιο όργανο να την προσδιορίσουμε χρησιμοποιώντας ένα σημείο του υλικού στο οποίο να μπορούμε να μετρήσουμε με μηχανικό παχύμετρο το ακριβές του πάχος. Στη συνέχεια τοποθετούμε στο σημείο την κεφαλή υπερήχων του παχυμέτρου και με κατάλληλη ρύθμιση αφού προηγουμένως εισαγάγουμε το προσδιορισθέν πάχος, παίρνουμε στην οθόνη του παχυμέτρου την τιμή της άγνωστης ταχύτητας.

Συνήθως το υπερηχητικό παχύμετρο λειτουργεί με διαμήκη κύματα και προσφέρεται για οποιοδήποτε υλικό μέταλλο, πολυμερές, μάρμαρο, σκυρόδεμα, σύνθετο υλικό, γυαλί, κεραμικό υλικό κ.ά. Ανάλογα με την απόσβεση όμως του ελεγχόμενου υλικού, πρέπει να τοποθετείται και η κατάλληλη κεφαλή. Το μεγάλο πλεονέκτημα του υπερηχητικού παχυμέτρου (εκτός της μεγάλης ακρίβειας και της μεγάλης ταχύτητας στο πείραμα). είναι ότι τοποθετείται μόνο από τη μια πλευρά του δοκιμίου και γι' αυτό το λόγο προσφέρεται για παχυμετρήσεις μεγάλων επιφανειών, όπως είναι οι λέβητες, οι δεξαμενές, οι σωλήνες, τα πλοία και άλλες κατασκευές.

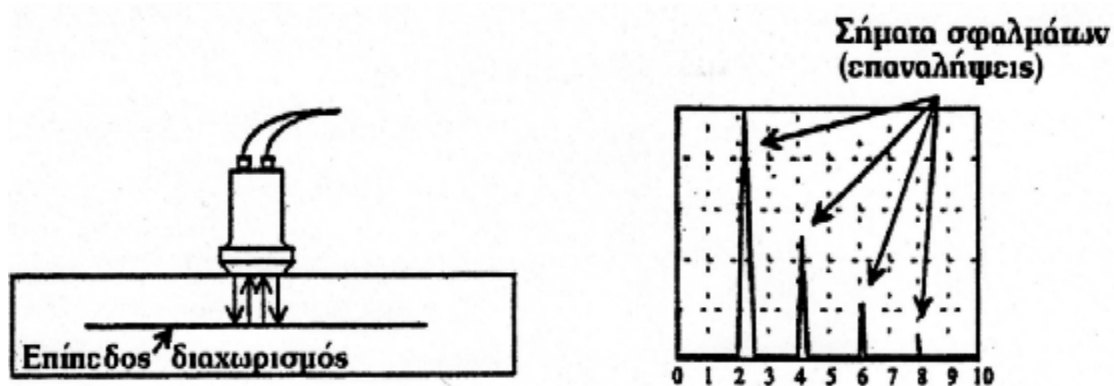
6.5 Εφαρμογή των υπερήχων σε ελάσματα.

Όταν θέλουμε να ελέγξουμε για σφάλματα σε κατεργασμένα ελάσματα πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου και την επιφάνεια που θα ελέγξουμε. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνει σε ολόκληρη την επιφάνεια του δοκιμίου ή μόνο σε μερικά τμήματα. Τα σφάλματα που θα βρεθούν, αξιολογούνται ώστε να καθοριστεί αν το κομμάτι που ελέγχθηκε είναι κατάλληλο προς χρήση. Ορισμένα από τα ελαττώματα που παρουσιάζονται

στα ελάσματα είναι:

- Ενδιάμεσοι διαχωρισμοί.

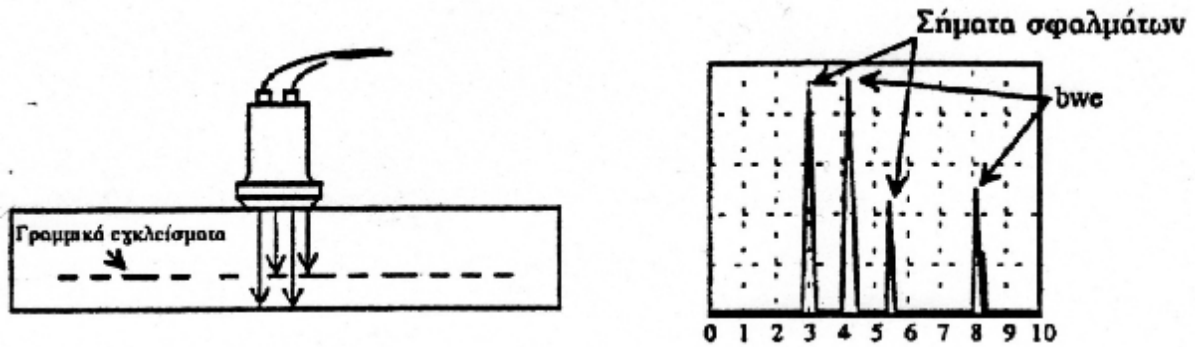
Είναι ένα ελάττωμα μεγαλύτερο από τη δέσμη υπερήχων και εκτείνεται παράλληλα προς την επιφάνεια του ελάσματος (σχήμα 6.3). Σχηματίζεται από αέρα και σκουριά που εγκλωβίζεται κατά τη χύτευση μέσα στο υλικό και προκαλεί ακουστικό φράγμα (ανακλάται ολικά ο ήχος).



Σχήμα 6.3: Διαχωρισμός. [πηγή: 7]

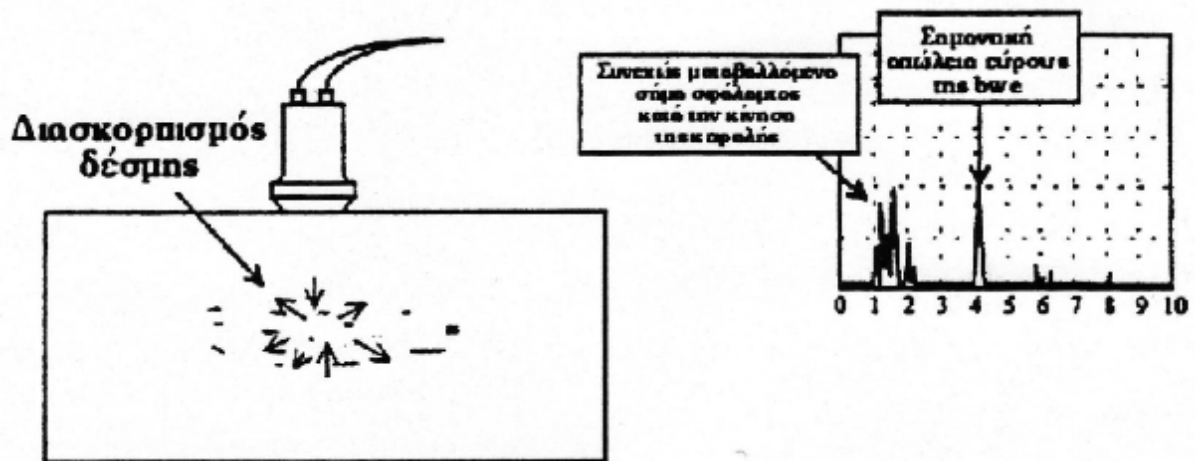
- Εγκλείσματα.

Σχηματίζονται από σβολιάσματα που παγιδεύτηκαν στο πλίνθιο της χύτευσης και ύστερα από την έλαση μετατρέπονται σε μικρά και πλατιά σχήματα. Χωρίζονται σε γραμμικά και διάσπαρτα. Τα **γραμμικά** (σχήμα 6.4) είναι ένα έγκλεισμα ή ομάδα εγκλεισμάτων στο ίδιο βάθος του ελάσματος. Καθώς κινείται η κεφαλή, κατά τον έλεγχο, επάνω στην επιφάνεια του υλικού, το σήμα εναλλάσσεται μεταξύ της πίσω επιφάνειας και των σφαλμάτων, με αποτέλεσμα το σήμα να εμφανίζεται άλλοτε ισχυρό και άλλοτε ασθενές.



Σχήμα 6.4: Γραμμικά εγκλείσματα. [πηγή:7]

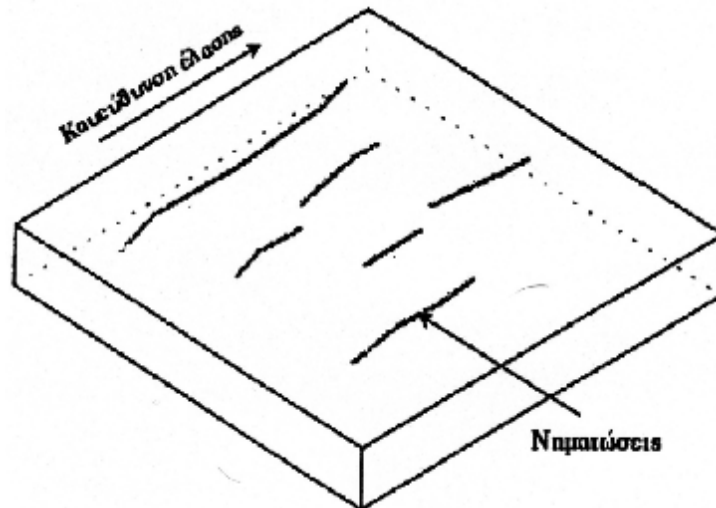
Τα **διάσπαρτα** (σχήμα 6.5) βρίσκονται σε όλη τη μάζα του πλίνθιου και μετά την ελασματοποίηση εμφανίζονται σε όλη τη μάζα του υλικού σε διάφορα σχήματα, μεγέθη, και σημεία μέσα στο υλικό. Η ποικιλομορφία των σφαλμάτων αυτών έχουν ως αποτέλεσμα το διασκορπισμό της ηχητικής δέσμης καθώς συναντά τα εγκλείσματα και διασκορπίζεται εκ νέου καθώς επιστρέφει. Έτσι έχουμε αποδυναμωμένη την ηχώ από την πίσω επιφάνεια του υλικού και στην οθόνη τα σήματα εναλλάσσονται συνεχώς καθώς κινείται η κεφαλή κατά μήκος της επιφάνειας.



Σχήμα 6.5: Διάσπαρτα εγκλείσματα. [πηγή:7]

- Νηματώσεις.

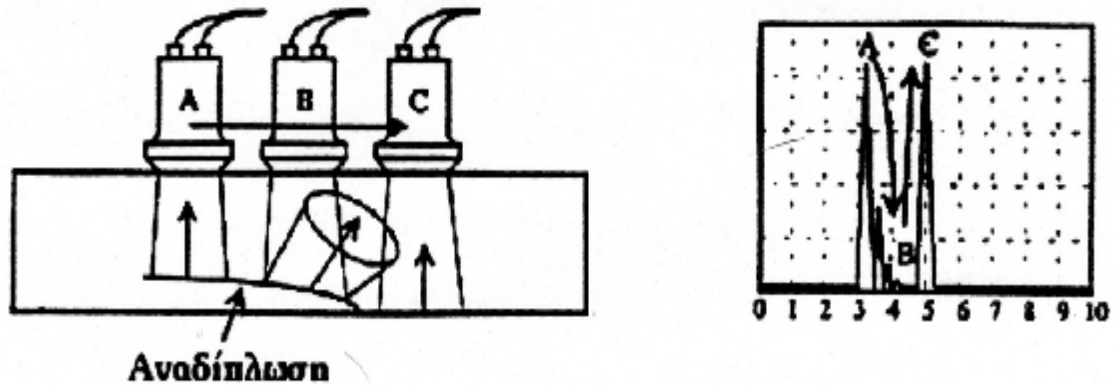
Προέρχονται από μη μεταλλικά εγκλείσματα στο πλίνθιο της χύτευσης. Η σάρρωση τους γίνεται κατά πλάτος της κατεύθυνσης ελασματοποίησης και το σήμα που εμφανίζεται την οθόνη μοιάζει πολύ με αυτό των γραμμικών εγκλεισμάτων.



Σχήμα 6.6: Νηματώσεις. [πηγή:7]

- Αναδίπλωση.

Δημιουργείται κατά τη διάρκεια της έλασης όταν κάποιο σημείο της επιφάνειας ουλικού που προεξέχει επιπεδοποιείται. Κατά την σάρωση στο σημείο A, εμφανίζεται κανονικά η ηχώ της πίσω όψης, στη συνέχεια προς σημείο B, η ηχώ αυτή αρχίζει να εξασθενεί ή εξαφανίζεται και από το σημείο C και μετά επιστρέφει.



Σχήμα 6.7: Αναδίπλωση. [πηγή:7]

6.6 Υπερηχητικός έλεγχος συγκολλήσεων.

Οι περισσότερες ατέλειες των συγκολλήσεων, έχουν την ικανότητα να αντανακλούν τα υπερηχητικά κύματα. Πριν από κάθε έλεγχο πρέπει να ελέγχεται το μέταλλο γύρω από τη συγκόλληση για τυχόν εγκλείσματα και αναδιπλώσεις, να μετριέται το πάχος του μετάλλου καθώς και η απόσβεση των υπερηχητικών κυμάτων. Η τεχνική που θα εφαρμοστεί σε έναν έλεγχο εξαρτάται από το είδος της συγκόλλησης, τις διαστάσεις της και την κατασκευή της. Η ευαισθησία του ελέγχου εξαρτάται κυρίως από την ανίχνευση της μικρότερης επιτρεπόμενης ατέλειας και τον προσδιορισμό της θέσης της μέσα στην συγκόλληση. Όλες οι ενδείξεις πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν να είναι πραγματικά σφάλματά, με την απαραίτητη αλλαγή κεφαλών.

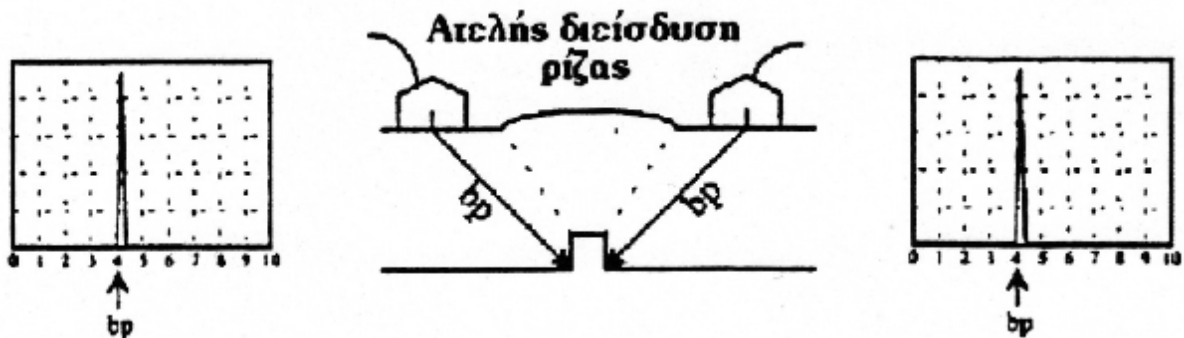
Για να βρεθούν όλες οι ατέλειες η συγκόλληση πρέπει να εξετάζεται σε όλο της το μήκος και τη διατομή. Ένας έλεγχος θεωρείται πλήρης όταν προσδιοριστεί ή ακριβής θέση της ατέλειας, ο προσανατολισμός της μέσα στο μέταλλο, η μορφή της ανακλάσεως της στη CRT-οθόνη και η συμπεριφορά

της ανακλάσεως κατά την κίνηση της κεφαλής. Όταν η ατέλεια είναι μικρή υπάρχει καλή ανάκλαση ενώ όταν η ατέλεια είναι μεγάλη ίσως να παρουσιάζει πολλές ανακλώμενες επιφάνειες άρα και πολλές ηχώ στην οθόνη οι οποίες κάνουν πιο δύσκολο τον έλεγχο.

6.6.1 Είδη σφαλμάτων.

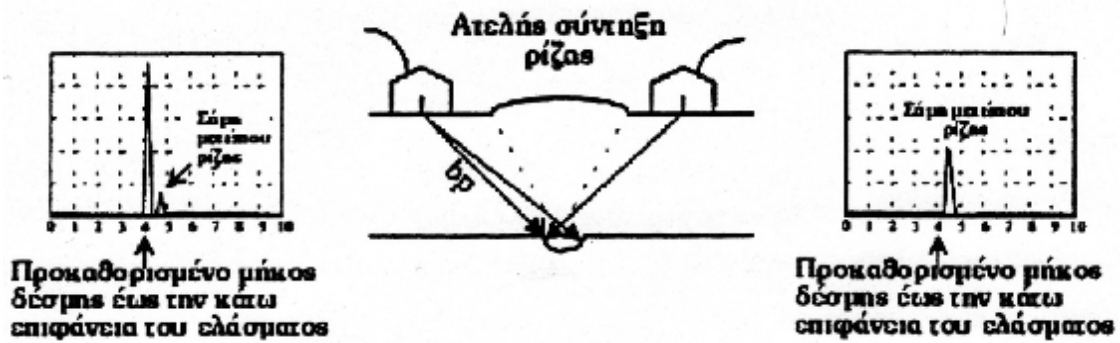
α) Σφάλματα ρίζας

- *Ατελής διείσδυση*: γωνιακά σήματα που εμφανίζονται και από τις δύο πλευρές της συγκόλλησης. Παρουσιάζουν απότομη πτώση σε μια περιστροφική σάρωση και εμφανίζονται στο βάθος του πάχους του ελάσματος εκτός από την περιοχή του διάκενου της ρίζας χωρίς να διασταυρώνονται.



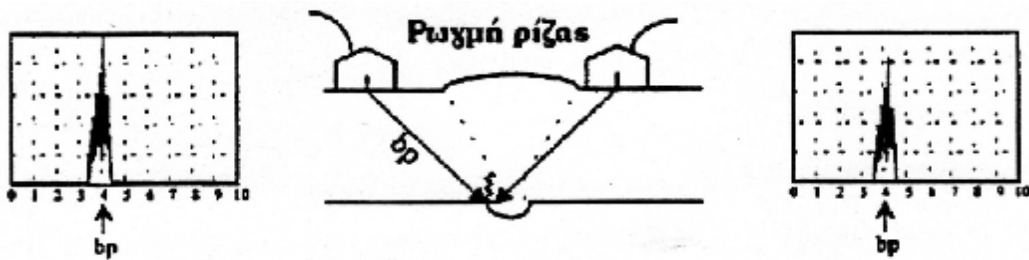
Σχήμα 6.8: Σφάλμα ατελούς διείσδυσης. [πηγή:7]

- *Έλλειψη τήξης της ρίζας*: κατά τη σάρωση το σήμα που εμφανίζεται στην οθόνη είναι υψηλού εύρους λόγω της σταγόνας που υπάρχει στη ρίζα, ενώ το σήμα του μετώπου της ρίζας μεταβάλλεται ανάλογα με την κίνηση της κεφαλής.



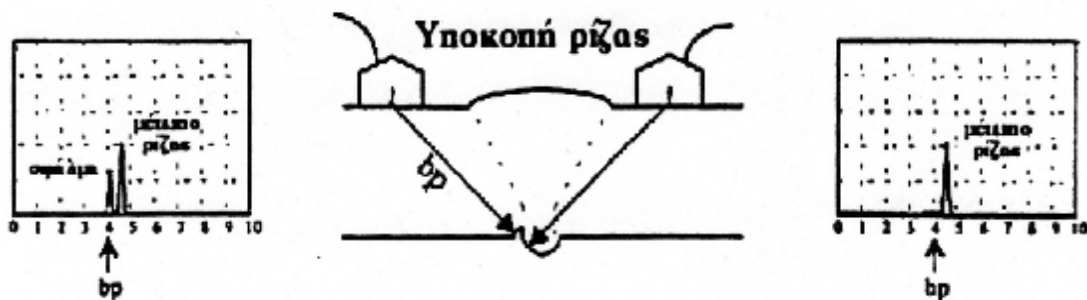
Σχήμα 6.9: Ατελής τήξη της ρίζας. [πηγή:7]

- *Ρωγμή της ρίζας*: Λόγο της ανομοιομορφίας της ρωγμής το σήμα είναι συνήθως υψηλού εύρους, εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την ανομοιομορφία της ρωγμής. Η ένταση αυξομειώνεται κατά την κίνηση της κεφαλής λόγω αυτών των ανομοιομορφιών.



Σχήμα 7.10: Ρωγμή της ρίζας. [πηγή:7]

- *Υποκοπή της ρίζας*: Η ένταση του σήματος σε αυτό το σφάλμα εξαρτάται από το μέγεθος της υποκοπής. Στην οθόνη εμφανίζεται ταυτόχρονα και το σήμα του μετώπου της ρίζας.

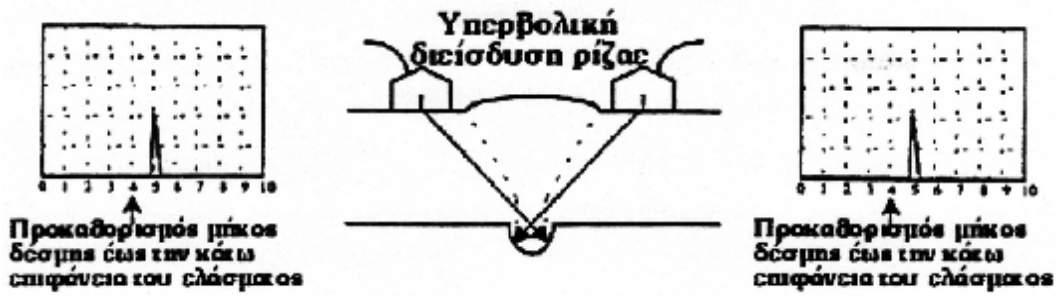


Σχήμα 6.11: Υποκοπή της ρίζας. [πηγή: 7]

- *Διείσδυση της ρίζας*: Τα σήματα εδώ παίρνουν τη μορφή μετώπου της ρίζας

Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικώνκαι Κατασκευών.

είναι μεγαλύτερου μήκους από αυτά του μετώπου και διασταυρώνονται.



Σχήμα 6.12: Υπερβολική διείδυση της ρίζας. [πηγή: 7]

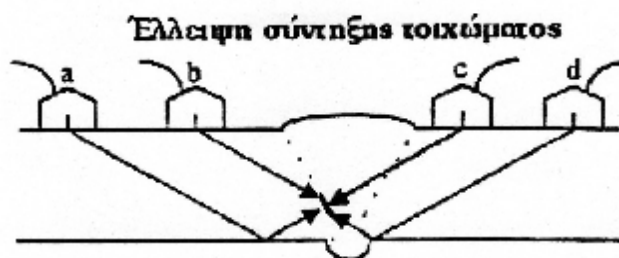
- *Κοιλότητα της ρίζας*: Τα σήματα που εμφανίζονται στην οθόνη είναι χαμηλού εύρους και από τις δύο πλευρές της κόλλησης σε θέση μικρότερη από το πάχος του ελάσματος.



Σχήμα6.13: Κοίλωμα της ρίζας. [πηγή:7]

β) Σχφάλαματα στη περιοχή της συγκόλλησης

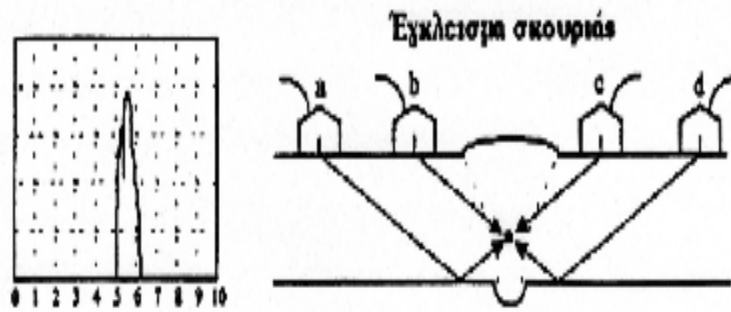
- *Ατελής τήξη πλευράς*: Το σήμα εδώ είναι καθαρό και υψηλής απόκρισης. Το σήμα επηρεάζεται από το αν υπάρχουν σκουριές παγιδευμένες μέσα στο υλικό και από τη γωνία σάρωσης της κεφαλής.



Σχήμα 6.14: Έλλειψη σύντηξης τοιχώματος. [πηγή: 7]

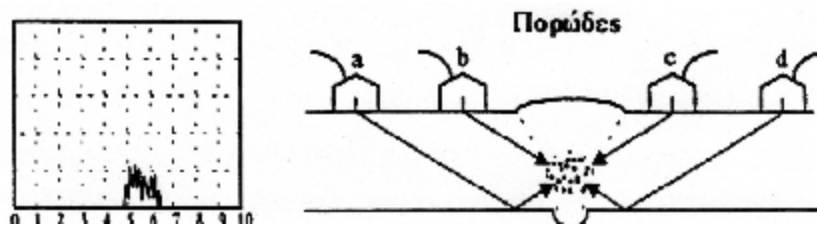
Η Χρήση των Υπερήχων στο Μ.Κ.Ε. των Υλικών και Κατασκευών.

- *Εγκλείσματα σκουριάς*: το σήμα παρουσιάζει στρογγυλεμένη κορυφή. Τα σφάλματα αυτά μπορούν να ανιχνευθούν με οποιαδήποτε κεφαλή και από διάφορες θέσεις.



Σχήμα 6.15: Εγκλείσματα σκουριάς. [πηγή:7]

- *Σύμπλεγμα πόρων ή εγκλεισμάτων*: Το σήμα έχει μικρή απόκριση λόγω αποδυνάμωσης με πολλαπλά σήματα ταυτόχρονα.



Σχήμα 6.16: Πορώδες. [πηγή:7]

- *Ρωγμές*: Οι ρωγμές μπορούν να εμφανιστούν σε διάφορα σημεία του υλικού όπως στο κέντρο της κόλλησης ή στη ρίζα της. Το σήμα που εμφανίζεται στην οθόνη είναι σχεδόν ίδιο με αυτό του σφάλματος της ρίζας (πιο πάνω). Η θέση της ρωγμής επηρεάζει την ένταση και το εύρος του σήματος.

6.7 Άλλες εφαρμογές υπερήχων.

Εκτός από τις παραπάνω εφαρμογές που περιγράψαμε υπάρχουν πάρα πολλές ακόμα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των υπερήχων και συνεχώς λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας εμφανίζονται και νέες. Χωρίς να μπούμε σε λεπτομέρειες ονομαστικά θα αναφέρουμε τις εξής:

- Δοκιμές σφυρήλατων με υπερήχους.
- Δοκιμές χυτών με υπερήχους.
- Προσδιορισμός των τάσεων.
- Ποιοτικός έλεγχος σκυροδέματος.
- Έλεγχος της δομής του υλικού.
- Έλεγχος ης ψαθυρότητας των υλικών.
- Υπερηχητικός καθαρισμός των υλικών.
- Υπερηχητική συγκόλληση αλουμινίου.
- Αποραφίνωση του πετρελαίου.
- Εξαέρωση λιωμένων μετάλλων και άλλων υγρών.
- Έλεγχος ξύλινων κατασκευών.
- Εφαρμογές υπερήχων στην Ιατρική και την Κτηνοτροφία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την παραπάνω εργασία, ακόμα και ένας άνθρωπος που δεν έχει σχέση με το αντικείμενο μπορεί να αποκτήσει βασικές γνώσεις για τους υπερήχους και τη χρήση τους στις κατασκευές γενικότερα. Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε δεν είναι και πολλά αλλά είναι σημαντικά καθώς η εργασία αυτή δεν έχει πειραματικό κομμάτι. Το πιο σημαντικό που έχουμε αναφέρει και στην αρχή είναι ότι μπορούμε να ελέγξουμε ένα υλικό ή μια κατασκευή χωρίς να την καταστρέψουμε. Επίσης η χρήση των υπερήχων στις κατασκευές είναι αρκετά χαμηλού κόστους και δεν είναι επιβλαβής για την υγεία του ανθρώπου. Αυτά τα τρία θετικά είναι σημαντικά διότι και αμφιβολία να έχουμε για την αστοχία ενός υλικού ή μιας κατασκευής δεν μας στοιχίζει κάτι να την ελέγξουμε όσες φορές χρειαστεί και σε όποιο σημείο εμείς θέλουμε μέχρι να βεβαιωθούμε ότι δεν θα έχουμε κάποιο πρόβλημα στο μέλλον. Άρα με πολύ μικρό κόστος προλαμβάνουμε τυχόν ζημιές που ίσως να στοιχίζαν εκτός από χρήματα, περιβαλλοντικές καταστροφές ή ανθρώπινες ζωές που είναι πιο σημαντικές.

Με τους υπερήχους μπορούμε να ελέγξουμε σχεδόν όλα τα υλικά που υπάρχουν με πολύ μεγάλη ακρίβεια για τυχόν σφάλματα και σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Με μια έρευνα που μπορούμε να κάνουμε στο διαδίκτυο ή γενικότερα μπορούμε να βρούμε πλήθος εφαρμογών των υπερήχων σε πολλές επιστήμες όπως η Ιατρική. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας νομίζω ότι θα εξελιχθεί και θα απλοποιηθεί και ακόμα πιο πολύ η μέθοδος των υπερήχων στις κατασκευές, τόσο που θα μπορεί ο καθένας να χρησιμοποιήσει αυτή τη μέθοδο ίσως και για να λύσει απλά καθημερινά προβλήματα στη ζωή του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Διψάκης, Δημήτριος. Μετρήσεις των ελαστικών ιδιοτήτων μεταλλικών και κεραμικών υλικών συναρτήσει της θερμοκρασίας με υπερήχους. [Διπλωματική εργασία], Πανεπιστήμιο Πατρών, 2005.
[http://www.lhtm.des.upatras.gr/lhtm/images/CVs_Docs/Thesis%20A%20\(Dipsakis\).pdf](http://www.lhtm.des.upatras.gr/lhtm/images/CVs_Docs/Thesis%20A%20(Dipsakis).pdf)
2. Κοτσανάκης, Παναγιώτης. Μελέτη και αξιολόγηση λειτουργικότητας στοιχείων μηχανών με χρήση μη καταστροφικών ελέγχων. [Διπλωματική εργασία], Ε.Μ.Π., 2012.
<http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/6835>
3. Λάμπρου, Π., Θεοφάνης. Σχεδίαση και κατασκευή συστήματος μέτρησης απόστασης με χρήση υπερήχων. [Διπλωματική εργασία] Ε.Μ.Π., 2004.
<http://www2.ucy.ac.cy/~faniseng/publications/myNTUAThesis.pdf>
4. Στέλιος, Ορφανουδάκης. Κώστας, Μαρίας. Βασικές αρχές υπέρηχων [Διαδίκτυο], 2004. <http://www.csd.uoc.gr/~hy571/NOTES/ultrasound.pdf>
5. Πρασιανάκης, Ιωάννης. Μη Καταστροφικός Έλεγχος των Υλικών: Η Μέθοδος των Υπερήχων. Αθήνα: Ε.Μ.Π, 1997.
6. Χασιώτης, Θεόδωρος. Μη καταστροφικός έλεγχος πολύστρωτων σύνθετων υλικών ναυπηγικών εφαρμογών με τη χρήση αυτοματοποιημένης διάταξης υπερήχων εμβαπτιζομένου ελέγχου. [Διπλωματική εργασία] Ε.Μ.Π., 2012.
<http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/7109>
7. O'Neil, Ruane & TP. Μη Καταστρεπτικές Μέθοδοι – Επιθεώρηση με τη Μέθοδο των Υπερήχων [Μετάφραση, Επιμέλεια. Κουτσούκος, Ευάγγελος.], ΚΕΚ ΙΒΕΠΕ.