



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ



ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΥΠΕΡΗΧΟ

Δρ. Βουλγαράκη Χαριτίνη

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
&
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2016



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.Μέθοδος των Υπερήχων	3
1.1. Φυσική των Υπερήχων	3
1.2. Τύποι Κυμάτων	4
1.3. Πιεζοηλεκτρικό Φαινόμενο	8
1.4.Υλικό Σύζευξης	8
1.5.Ακουστική Αντίσταση	9
1.6. Ανάκλαση και Διάθλαση	11
1.7. Αρχές της Επιθεώρησης με Υπέρηχους	12
1.8. Τεχνική Παλμού-Ηχους, Pulse-Echo	13
1.9. Δοκιμή– Διάβασης	13
1.10. Εξοπλισμός	13
1.11. Πλεονεκτήματα της Μεθόδου	14
1.12. Περιορισμοί της Μεθόδου	14
1.13.Βιβλιογραφικές Αναφορές	14



1. Μέθοδος των Υπερήχων

1.1. Φυσική των Υπερήχων

Σαν ήχος χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε μηχανικό ελαστικό κύμα ή γενικότερα μία μηχανική διαταραχή που διαδίδεται σε ένα υλικό μέσο και είναι δυνατό να ανιχνευθεί από τον άνθρωπο μέσω της αίσθησης της ακοής. Χαρακτηριστικό όλων των κυμάτων είναι η μεταβολή της ταχύτητάς τους ανάλογα με το υλικό του μέσου που διαδίδονται, η οποία είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα διάδοσης. Επίσης, ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό των κυμάτων είναι ότι μεταφέρουν ενέργεια από την πηγή σε όλα τα μέρη του ελαστικού μέσου, χωρίς όμως να μεταφέρουν μάζα. Τα μέρη δηλαδή του μέσου δεν εκτελούν μεταφορική κίνηση, αλλά ταλαντώνονται γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους. Ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί ήχους στο λεγόμενο ακουστικό φάσμα συχνοτήτων που περιλαμβάνει συχνότητες από 20 Hz έως 20 kHz. Οι ήχοι χαμηλότερης συχνότητας από το ακουστικό φάσμα ονομάζονται υπόηχοι ενώ πάνω από τα 20 kHz υπέρηχοι. Η χρήση των υπέρηχων αποτελεί μια χρήσιμη μέθοδο στο Μη Καταστροφικό Έλεγχο καθώς επιτρέπει την απεικόνιση εσωτερικών δομών μηχανολογικού εξοπλισμού.

Ο ήχος διαδίδεται μέσα στην ύλη και στις τρεις φάσεις της, δηλ. τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια. Η διάδοση αυτής της διαταραχής γίνεται με πεπερασμένη ταχύτητα που είναι χαρακτηριστική ιδιότητα του μέσου.

Κύμα ονομάζουμε τη διαταραχή που διαδίδεται (με ορισμένη ταχύτητα) από μια πηγή προς το μέσο που την περιβάλλει, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας από σημείο σε σημείο. Ανάλογα με τον τρόπο διάδοσης τους τα κύματα χωρίζονται σε εγκάρσια και διαμήκη ή ενέργεια εκείνη που διαδίδεται και μεταφέρεται (μέσω των ταλαντώσεων των μορίων) και όχι η ύλη. Σε ένα ομογενές σώμα στο οποίο μεταδίδεται ελαστικό κύμα, όλα τα μέρη έχουν την ίδια συχνότητα ταλάντωσης και παρουσιάζουν την ίδια ταχύτητα μετάδοσης του κύματος (δηλαδή η συχνότητα, το μήκος κύματος και η ταχύτητα μετάδοσής του είναι σταθερά για το συγκεκριμένο σώμα και κύμα).



1.2. Τύποι Κυμάτων

- **Διαμήκη Κύματα ή Κύματα Συμπίεσης**

Η διεύθυνση της ταλάντωσης είναι ίδια με τη διεύθυνση της μετάδοσης του κύματος. Μεταδίδονται σε στερεά, υγρά και αέρια σώματα. Η ταχύτητα μετάδοσης δίδεται από τον τύπο

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

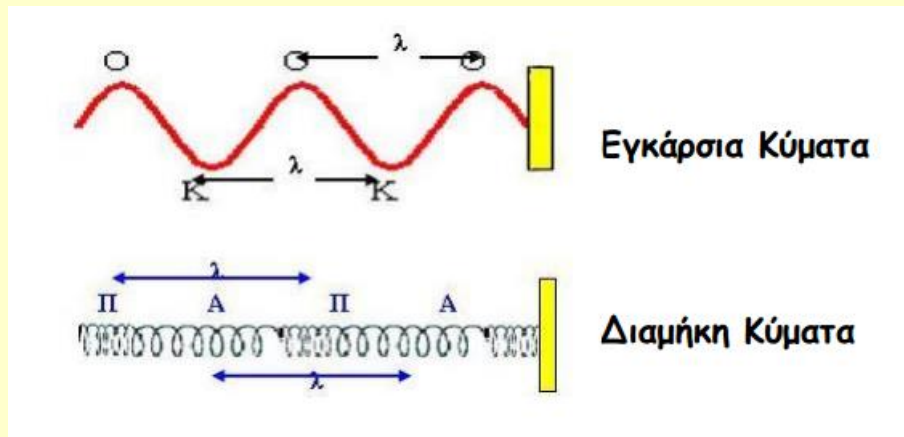
Όπου E το μέτρο ελαστικότητας του υλικού και ρ η πυκνότητά του. Έχουν τη μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης από όλους τους τύπους κυμάτων. Άρα για δεδομένη συχνότητα και υλικά διάδοσης προκύπτει από τον τύπο $c = \lambda \cdot f$ ότι έχουν μεγαλύτερο μήκος κύματος και επομένως τη μικρότερη αποδυνάμωση του ήχου αλλά και τη μικρότερη (χειρότερη) ευαισθησία. Παρουσιάζουν επίσης την μικρότερη εγγύς ζώνη N και τη μεγαλύτερη γωνία απόκλισης δέσμης (για δεδομένη διάμετρο κρυστάλλου, υλικό και συχνότητα διάδοσης).

- **Εγκάρσια ή Διατμητικά Κύματα**

Η διεύθυνση της ταλάντωσης είναι κάθετη προς τη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος. Μεταδίδονται μόνο σε στερεά σώματα, διότι τα υγρά και αέρια δεν παρουσιάζουν ελαστικότητα σε εγκάρσια φόρτιση. Έχουν ταχύτητα διάδοσης περίπου τη μισή των διαμήκων (στο ίδιο υλικό) και επομένως, για τη ίδια συχνότητα, έχουν τη διπλάσια περίπου ευαισθησία και πολύ μεγαλύτερη αποδυνάμωση. Για την ίδια διάμετρο κρυστάλλου, έχουν μεγαλύτερη εγγύς ζώνη N και μικρότερη γωνία απόκλισης δέσμης. Η ταχύτητα μετάδοσης δίνεται από τον τύπο:

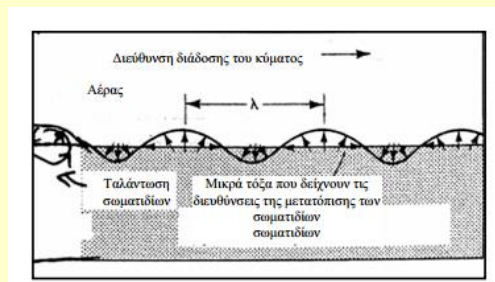
$$C_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

όπου G το εγκάρσιο μέτρο ελαστικότητας του υλικού και ρ η πυκνότητά του.



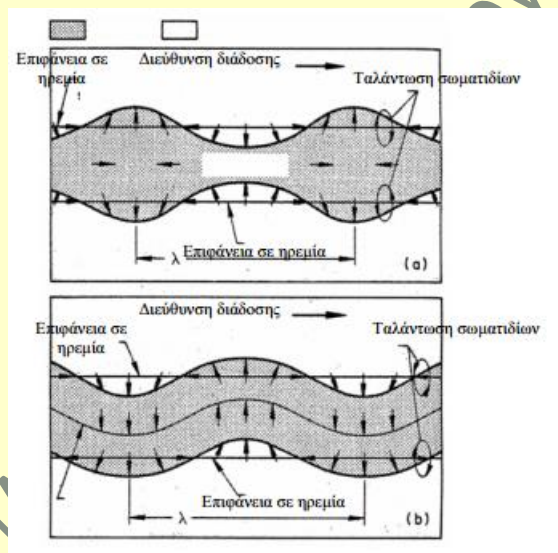
- **Επιφανειακά Κύματα ή κύματα Rayleigh**

Επιφανειακά κύματα Αυτά τα κύματα ταξιδεύουν κατά μήκος μιας επίπεδης επιφάνειας σε στερεά μέρη τα οποία έχουν σχετικά μεγάλο πάχος. Για την διάδοση αυτού του τύπου κύματος θα πρέπει αυτό να οδεύει κατά μήκος της επιφάνειας του κυματοδηγού, που θα χαρακτηρίζεται στη μια μεριά από τις ισχυρές ελαστικές δυνάμεις ενός στερεού και στην άλλη μεριά από τις πρακτικά αμελητέες ελαστικές δυνάμεις μεταξύ μορίων αερίου. Στην περίπτωση αυτή, το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου υπερήχου είναι πολύ μικρότερο των διαστάσεων (κυρίως του πάχους) του ακουστικού κυματοδηγού. Η ταχύτητά τους στο ίδιο υλικό φθάνει το 90% των εγκαρσίων κυμάτων, ενώ υφίστανται κι αυτά εξασθένηση μέσα στο υλικό. Η περιοχή που τα επιφανειακά κύματα διαδίδονται με αρκετή ενέργεια δεν είναι μεγαλύτερη από ένα μήκος κύματος κάτω από την επιφάνεια του μετάλλου. Σε αυτό το βάθος η ενέργεια του κύματος φθάνει το 4% της ενέργειας επιφανείας και το πλάτος των ταλαντώσεων μειώνεται απότομα σε πολύ μικρές τιμές για μεγαλύτερο βάθος. Τα επιφανειακά κύματα ακολουθούν περιμετρικές επιφάνειες και εμποδίζονται από απότομα σύνορα όπως π.χ. τα όρια των πλευρών ενός κύβου. Αν όμως αυτά είναι στρογγυλοποιημένα τότε η διάδοσή τους συνεχίζεται κανονικά. Χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση αντικειμένων με πολύπλοκες καμπύλες. Μια σχηματική αναπαράσταση είναι η αυτή του σχήματος.



- **Κύματα Ελασμάτων (Plate) ή κύματα Lamb**

Γνωστά και ως κύματα πλάκας διαδίδονται σε πλάκες με πάχος μόνο μερικά μήκη κύματος. Το κύμα lamb αποτελείται από μια σύνθετη ταλάντωση που λαμβάνει χώρα σε ολόκληρο το πάχος του υλικού. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του είναι η πυκνότητα, οι ελαστικές ιδιότητες, η δομή και το πάχος του δοκιμίου, καθώς επίσης και η συχνότητα. Η συμπεριφορά τους γενικότερα ομοιάζει με εκείνη που παρατηρείται στη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από κυματοδηγούς. Υπάρχουν δύο τύποι κυμάτων lamb: α) τα συμμετρικά και β) τα ασύμμετρα. Η κατηγοριοποίηση εξαρτάται από το αν η κίνηση είναι συμμετρική ή ασύμμετρη ως προς τον ουδέτερο άξονα του δοκιμίου όπως δείχνεται στο παρακάτω σχήμα.



ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Κύματα των οποίων η ταχύτητα εξαρτάται και από τη συχνότητα ονομάζονται 'dispersive'.



Τα ηχητικά κύματα είναι πάντοτε διαμήκη στα αέρια και στα υγρά ενώ στα στερεά μπορεί να είναι διαμήκη και εγκάρσια. Βασικά χαρακτηριστικά του ήχου στην περίπτωση των απλών αρμονικών ήχων είναι η συχνότητα, η ταχύτητα διάδοσης, το μήκος κύματος και η ένταση. Η συχνότητα, η περίοδος, το πλάτος κύματος και η ένταση εξαρτώνται από την πηγή των υπερήχων, η ταχύτητα είναι χαρακτηριστική του μέσου διάδοσης και το μήκος κύματος εξαρτάται τόσο από την πηγή των υπερήχων όσο και από το μέσο διάδοσης. Η συχνότητα του κύματος, δηλαδή το πόσες φορές στη μονάδα του χρόνου ένα ταλαντούμενο μόριο περνά από το αρχικό σημείο (ή το ίδιο σημείο) (f). Η περίοδος (T) είναι η διάρκεια ενός κύκλου δηλαδή ο χρόνος μιας πλήρους ταλάντωσης ενός μορίου και ισούται με το αντίστροφο της συχνότητας ($T=1/f$). Μήκος κύματος είναι η απόσταση που διανύει ένα κύμα, στο διάστημα που ένα μόριο εκτελεί μια πλήρη ταλάντωση (λ). Επομένως, είναι η απόσταση, κατά την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος, μεταξύ γειτονικών σωματιδίων του μέσου διάδοσης, που έχουν το ίδιο πλάτος μετατόπισης από τη θέση ηρεμίας. Επομένως προκύπτει ότι η ταχύτητα διάδοσης είναι το γινόμενο της απόστασης που διανύει το κύμα σε κάθε ταλάντωση ενός μορίου επί τον αριθμό των ταλαντώσεων που συντελούνται στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή ταχύτητα διάδοσης = μήκος κύματος * συχνότητα ($c=\lambda*f$).

Στο Διεθνές Σύστημα (S.I.) η συχνότητα f ενός κύματος (άρα και του ήχου/υπέρηχου) μετράται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (cps) ή Hertz (Hz).

1 Hz: 1 κύκλος / δευτερόλεπτο

1kHz: 1000 κύκλοι/ δευτερόλεπτο

1MHz: 1.000.000 κύκλοι/ δευτερόλεπτο

Το μήκος κύματος λ μετράται σε μέτρα (m) και επειδή είναι πολύ μικρό, συνήθως σε χιλιοστά του μέτρου (mm). Η ταχύτητα μετάδοσης c μετράται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec).

Η κύρια συχνότητα του υπέρηχου εξαρτάται από τη χρησιμοποιούμενη κεφαλή (και αναγράφεται πάνω σε αυτή), η ταχύτητα μετάδοσης εξαρτάται από το υλικό και επομένως το μήκος κύματος προκύπτει από τα ανωτέρω, για κάθε χρησιμοποιημένη κεφαλή και μέσο διάδοσης του υπέρηχου.

Το μήκος κύματος μας ενδιαφέρει, διότι το μικρότερο ανιχνεύσιμο σφάλμα θεωρείται πρακτικά ίσο με το ήμισυ του μήκους κύματος.



1.3. Πιεζοηλεκτρικό Φαινόμενο

Οι υπέρηχοι παράγονται από ειδικούς μεταλλάκτες (transducers). Γενικά μεταλλάκτης είναι κάθε συσκευή που μετατρέπει την ενέργεια από μια μορφή σε άλλη. Για παράδειγμα ο ηλεκτρικός λαμπτήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε φωτεινή ενέργεια και θερμότητα. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τους υπέρηχους όπου η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε υπερηχητικά κύματα (μηχανική ενέργεια). Τα σημαντικότερα συστατικά των μεταλλακτών των υπέρηχων είναι τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, τα οποία κατασκευάζονται από ειδικό υλικό - φυσικοί κρύσταλλοι όπως ο χαλαζίας ή κατάλληλα κεραμικά όπως το τιτανιούχο βάριο - ώστε όταν εφαρμοστούν σ' αυτά ηλεκτρικά σήματα να παράγονται τις μηχανικές δονήσεις (υπέρηχοι) ενώ όταν εφαρμοστούν μηχανικές δονήσεις να παράγονται ηλεκτρικά σήματα. Έτσι αν τα υλικά αυτά βρίσκονται μέσα σε ελαστικό μέσο και τους εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση με συχνότητα μεγαλύτερη των 20 KHz θα έχουμε παραγωγή και διάδοση υπερηχητικών κυμάτων. Αν αντίθετα υπερηχητικό κύμα που διαδίδεται σε υλικό μέσο συναντήσει την επιφάνεια πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου (μεταλλάκτης) θα την θέσει σε ταλάντωση με αποτέλεσμα την εμφάνιση αντίστοιχης διαφοράς δυναμικού, δηλαδή ηλεκτρικού σήματος σ' αυτόν. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Οι μεταλλάκτες των υπερηχογράφων κατασκευάζονται από κρυστάλλους κομμένους σε κατάλληλο πάχος και σε δύο απέναντι έδρες τους εφαρμόζονται δύο μεταλλικές πλάκες (ηλεκτρόδια) μέσω των οποίων εφαρμόζεται εναλλασσόμενη ηλεκτρική τάση ίσης συχνότητας με τη συχνότητα συντονισμού των κρυστάλλων.

1.4. Υλικό Σύζευξης

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των υπέρηχων είναι η εξασθένιση του κύματος λόγω της απορρόφησης και του σκεδασμού (αντανάκλαση του κύματος από μικρές δομές). Η εξασθένιση, σε αντίθεση με την ταχύτητα, είναι ανάλογη της συχνότητας του κύματος με αποτέλεσμα οι υπέρηχοι (υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα) να υφίστανται μεγαλύτερη εξασθένιση σε σχέση με τους ήχους που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Η αντανάκλαση της υπερηχητικής δέσμης αποτελεί τη βάση για την απεικόνιση των δομών που διερευνώνται στην οθόνη του μηχανήματος. Έτσι κάθε φορά που ένα ηχητικό κύμα συναντάει διαχωριστικές επιφάνειες διαφορετικών υλικών κατά τη διέλευσή του από τις δομές ένα μικρό μέρος της ενέργειάς του αντανακλάται ως «ηχώ». Ο αέρας έχει χαμηλή ακουστική αντίσταση. Μια διεπιφάνεια αέρα ανακλά και δεν επιτρέπει τη συνέχιση της διάδοσης του υπέρηχου. Γι' αυτό το λόγο γίνεται και η χρήση του gel (υλικό σύζευξης), ώστε να εξαλειφθεί ο αέρας ανάμεσα σ' αυτό και στην επιφάνεια του υπό-εξέταση δοκιμίου. Πρέπει να



γεμίζουμε όλες τις επιφανειακές ανωμαλίες ή τραχύτητες ώστε να μην προκαλείται φθορά στην κεφαλή.

Χαρακτηριστικά του υλικού σύζευξης:

Ακουστική Αντίσταση ενδιάμεση εκείνης της κεφαλής και του δοκιμίου.

Εύκολη εφαρμογή.

Να μην είναι διαβρωτικό.

Να μην είναι τοξικό.

Να διαβρέχει καλά όλες τις επιφάνειες για την αποφυγή δημιουργίας μικρών φυσαλίδων.

1.5. Ακουστική Αντίσταση

Το ποσοστό του κύματος που θα ανακλαστεί εξαρτάται και από τη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης, γιατί όσο αυτή αυξάνει μειώνεται η πιθανότητα να επιστρέψει ο ανακλώμενος ήχος στον μεταλλάκτη. Η ένταση του ανακλώμενου ήχου εξαρτάται επίσης και από την ακουστική εμπίεση των υλικών, που ορίζεται ως το γινόμενο της πυκνότητας του υλικού (ρ) επί την ταχύτητα του ήχου (v) κατά τη διέλευσή του ($Z = \rho \times c$) και είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα των ηχητικών κυμάτων. Στις επιφάνειες που διαχωρίζουν δύο μέσα διάδοσης με διαφορετική ειδική ακουστική αντίσταση Z παρατηρείται μερική έως και σχεδόν ολική ανάκλαση της δέσμης υπερήχων.

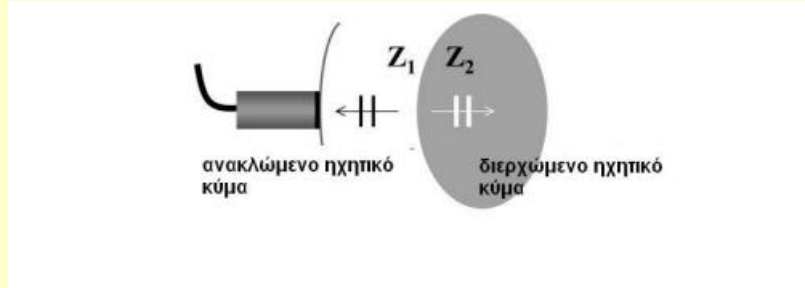
$$Z = \rho \times c$$

Η εμπίεση ($Z = \rho \times c$) ενός υλικού δεν είναι μέτρο της δυσκολίας διέλευσης ενός ηχητικού κύματος από αυτόν αλλά μετρά το ποσό της ταχύτητας που κατανέμεται στα μόρια καθώς αυτά ανταποκρίνονται στην κάθε αύξηση των ηχητικών πιέσεων. Καθώς, λοιπόν, τα ηχητικά κύματα διέρχονται από υλικά με διαφορετική εμπίεση, τα μόρια του κάθε υλικού κινούνται με διαφορετική ταχύτητα και αντανακλούν διαφορετικό ποσοστό ενέργειας.

Έτσι, η ακουστική εμπίεση καθορίζει το ποσοστό του ενεργειακού ποσού που θα ανακλαστεί από μία διαχωριστική επιφάνεια και αυτό φαίνεται και από τον μαθηματικό τύπο: Ποσοστό Ανακλώμενης Ενέργειας



$\frac{R}{R_0} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$, όπου $\frac{R}{R_0}$ είναι ο δείκτης ανάκλασης και Z_1 και Z_2 οι εμπεδήσεις των υλικών που βρίσκονται εκατέρωθεν της διαχωριστικής επιφάνειας.



Από το ποσοστό ανάκλασης βγαίνει εύκολα το συμπέρασμα ότι, στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μέσων διάδοσης με ίσες περίπου ειδικές ακουστικές αντιστάσεις ($Z_1 \sim Z_2$), ο συντελεστής ανάκλασης είναι πολύ μικρός και ελάχιστη ενέργεια ανακλάται προς τα πίσω. Αντίθετα, όταν η μια ειδική ακουστική αντίσταση είναι πολύ μεγαλύτερη της άλλης ($Z_1 \gg Z_2$ ή $Z_2 \gg Z_1$), ο συντελεστής ανάκλασης είναι πολύ μεγάλος ($\sim 100\%$) και το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας της δέσμης ανακλάται.

Ο συντελεστής μετάδοσης (T), δηλαδή το ποσοστό ενέργειας της δέσμης υπερήχων που μεταδίδεται πέρα από την ανακλαστική επιφάνεια και επιτρέπει την απεικόνιση βαθύτερων περιοχών, είναι ίσος με $(100-R)\%$, μια και το άθροισμα της ενέργειας που ανακλάται και αυτής που μεταδίδεται, πρέπει να ισούται με την ολική ενέργεια της δέσμης πριν από την ανάκλαση. Επομένως, επιφάνειες με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης περιορίζουν σημαντικά την ακτίνα δράσης της δέσμης υπερήχων.

Ποσοστό Μεταδιδόμενης Ενέργειας

$$\frac{R_t}{R_0} = 1 - \frac{R}{R_0} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}, \text{ όπου } \frac{R_t}{R_0} \text{ δείκτης μετάδοσης.}$$

Πέρα από την κάθετη πρόσπτωση μιας δέσμης υπερήχων σε μια επιφάνεια, είναι δυνατό να γίνει και πρόσπτωση υπό γωνία. Τότε, παρατηρούνται φαινόμενα παρόμοια με εκείνα της οπτικής. Συγκεκριμένα, όπως και στην περίπτωση κάθετης πρόσπτωσης, ένα μέρος (της ενέργειας) της δέσμης ανακλάται και η υπόλοιπη συνεχίζει να διαδίδεται, αλλά όχι στην ίδια κατεύθυνση με την αρχική δέσμη. Η δέσμη υπερήχων, που σχηματίζεται πίσω από την ανακλαστική επιφάνεια, παρουσιάζει το φαινόμενο της διάθλασης, δηλαδή αλλάζει κατεύθυνση ως προς την αρχική δέσμη, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας του ήχου στα δύο μέσα διάδοσης.

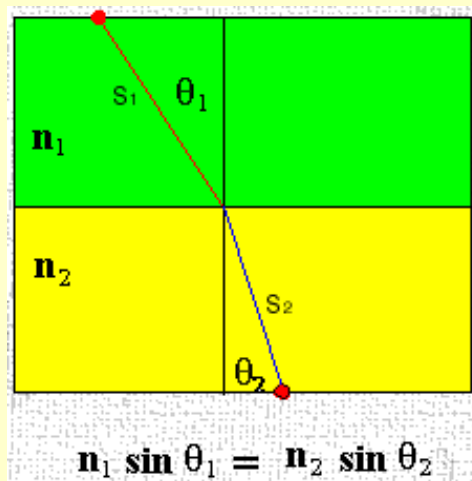


1.6. Ανάκλαση και Διάθλαση

Όταν ένα επίπεδο κύμα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 , ένα μέρος του φωτός ανακλάται και το υπόλοιπο διαδίδεται στο δεύτερο μέσο. Το διαδιδόμενο φως λέγεται **διαθλώμενο** κύμα. Η γωνία που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετο στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων λέγεται **γωνία διάθλασης**.

Ο βασικός νόμος που χαρακτηρίζει το φαινόμενο της διάθλασης είναι ο **νόμος του Snell**.

Η γωνία που σχηματίζει η ανακλώμενη δέσμη ως προς την κάθετο στην επιφάνεια, είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης, ενώ η γωνία της διαθλώμενης δέσμης δίνεται από το νόμο του Snell:



όπου θ_1 είναι η γωνία πρόσπτωσης, θ_2 η γωνία διάθλασης. Η διάθλαση της δέσμης υπερήχων είναι η κύρια πηγή τεχνικών σφαλμάτων γεωμετρικής φύσης, τα οποία συχνά αλλοιώνουν το σχήμα των ασυνεχειών ή τα εμφανίζουν σε λάθος θέση. Όπως εξηγείται και παρακάτω, το μηχάνημα των υπερήχων ξεγελιέται από τη διάθλαση, όπως ξεγελιέται και το ανθρώπινο μάτι, όταν βλέπει ένα ίσιο ξύλο, βυθισμένο μερικά στο νερό, σαν λυγισμένο. Η παραπάνω γεωμετρική θεώρηση των φαινομένων της ανάκλασης και της διάθλασης προϋποθέτει ότι το μήκος κύματος των υπερήχων είναι πολύ μικρό σε σχέση με τις διαστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών. Οι ανακλάσεις αυτού του τύπου ονομάζονται κατοπτρικές (specular) ανακλάσεις και μοιάζουν με την ανάκλαση μιας δέσμης φωτός από την επιφάνεια ενός καθρέφτη. Αν, όμως, οι διαστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών και των ανωμαλιών, που πιθανώς έχουν, είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος των υπερήχων, τότε παρατηρείται σκέδαση (scattering) της δέσμης υπερήχων, όπως και στην περίπτωση μιας δέσμης



φωτός, που διαχέεται, καθώς περνά μέσα από ομίχλη και περιορίζει την όραση μας. Η ένταση του μέρους εκείνου της δέσμης, που σκεδάζεται προς τα πίσω (backscatter) από ανώμαλες επιφάνειες ή ετερογενή μέσα διάδοσης, εξαρτάται περισσότερο από τη συχνότητα των υπερήχων και τα χαρακτηριστικά των σκεδαστών, ενώ είναι σχετικά ανεξάρτητη από τη γωνία πρόσπτωσης. Η σκέδαση, λοιπόν, της δέσμης και ειδικά η σκέδαση μέρους της δέσμης προς τα πίσω, δηλαδή προς τον πομποδέκτη (οπισθοσκέδαση), επιτρέπει την απεικόνιση και το χαρακτηρισμό ασυνεχειών με κάποια κατανομή σκεδαστών και ακόμη την καλύτερη απεικόνιση ανακλαστικών επιφανειών που περιβάλλουν ασυνέχειες και συμβαίνει να μην είναι κάθετες στη δέσμη υπερήχων, ούτως ώστε να δώσουν ισχυρές κατοπτρικές ανακλάσεις. Λόγω του μεγάλου αριθμού σκεδαστών, που συναντά η δέσμη υπερήχων, καθώς διαδίδεται μέσα στις μεταλλικές δομές, είναι δυνατό πολλές ανακλάσεις μαζί να φθάσουν στο μετατροπέα ενέργειας με τέτοιο τρόπο που ή να συμβάλουν προσθετικά στην παραγωγή του ολικού σήματος ή να αλληλοαναιρεθούν και να παράγουν ένα ασθενές σήμα. Οι κατοπτρικές ανακλάσεις και η σκέδαση μέρους της δέσμης υπερήχων από τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος αφαιρούν ενέργεια από τη δέσμη ελαττώνοντας, έτσι, σταδιακά το πλάτος και την ένταση των υπερήχων. Ένα τρίτο φαινόμενο που συμβάλλει στη σταδιακή εξασθένηση της δέσμης υπερήχων είναι η απορρόφηση (absorption) ενέργειας στους ιστούς, με τη μετατροπή ακουστικής (μηχανικής) ενέργειας σε θερμότητα. Μια λεπτομερής εξέταση των μάλλον πολύπλοκων μηχανισμών απορρόφησης της ενέργειας των υπερήχων από τους μαλακούς ιστούς ξεφεύγει από το περιεχόμενο ενός κεφαλαίου βασικών αρχών. Έτσι, στο υπόλοιπο αυτής της παραγράφου εξετάζεται συνολικά το φαινόμενο εξασθένησης της δέσμης υπερήχων, λόγω κατοπτρικών ανακλάσεων, σκέδασης και απορρόφησης.

1.7. Αρχές της Επιθεώρησης με Υπέρηχους

Τα υπερηχητικά κύματα εισάγονται μέσα στο υλικό όπου ταξιδεύουν με μια σταθερή ταχύτητα μέχρι να συναντήσουν μια επιφάνεια.

Στην επιφάνεια ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται και ένα μέρος μεταδίδεται.

Ο χρόνος που απαιτείται για να ταξιδέψει ο ήχος μπορεί να μετρηθεί και παρέχει πληροφορίες για την απόσταση που συνάντησε την επιφάνεια.



1.8. Τεχνική Παλμού-Ηχους, Pulse-Echo

Στην τεχνική παλμού-ηχούς, ένας μετατροπέας στέλνει έναν παλμό ενέργειας και ταυτόχρονα ένας δεύτερος μετατροπέας δέχεται την ανακλώμενη ενέργεια.

Χρησιμοποιεί την επιστρεφόμενη ηχώ (πίσω ηχώ είτε ηχώ από ασυνέχεια στο δοκίμιο).

Οι ανακλάσεις συμβαίνουν εξαιτίας της παρουσίας ασυνεχειών.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ενέργειας δίνει πληροφορίες για το μέγεθος και την τοποθεσία όπου έγινε η ανάκλαση του ήχου.

1.9. Δοκιμή- Διάβασης

Δύο μετατροπείς τοποθετούνται σε αντίθετες πλευρές πάνω στο δοκίμιο εξέτασης. Ο ένας λειτουργεί σαν πομπός και ο άλλος σαν δέκτης.

Οι ασυνέχειες θα εμφανιστούν σαν μερική ή ολική μείωση του πλάτους του μεταδιδόμενου ήχου.

Δεν παρέχει πληροφορίες για το βάθος.

1.10. Εξοπλισμός

Ο κατάλληλος εξοπλισμός είναι απαραίτητος και πολύ σημαντικός για να διασφαλιστεί αξιόπιστος έλεγχος.

Τρία είναι τα πιο βασικά στοιχεία:

- Μηχάνημα (Μηχάνημα Συμβατικού Υπέρηχου ή Phased Array).
- Κεφαλές (Μετατροπείς, Κάθετη και Γωνιακές Κεφαλές).

Στην κάθετη κεφαλή ο ήχος εισέρχεται με γωνία 90 μοίρες. Στη γωνιακή ο ήχος εισέρχεται με γωνία διαφορετική των 90μοιρών. (45°,60°,70°). Η επιλογή κάθετης ή γωνιακής κεφαλής εξαρτάται:

1. Τον προσανατολισμό της ασυνέχειας.
 2. Τυχόν εμπόδια στην επιφάνεια που θέλουμε να ελέγξουμε.
- Δοκίμια Βαθμονόμησης (V1 και V2).



1.11. Πλεονεκτήματα της Μεθόδου

Ευαίσθητη σε επιφανειακές και μη επιφανειακές ασυνέχειες.

Υψηλή ακρίβεια στην εκτίμηση του μεγέθους και της θέσης της ασυνέχειας.

Μικρή προετοιμασία του υπό εξέταση δοκιμίου.

Ηλεκτρονικός εξοπλισμός μας δίνει άμεσα αποτελέσματα και εικόνες.

Έχει και άλλες χρήσεις όπως μέτρηση πάχους.

1.12. Περιορισμοί της Μεθόδου

Εμπειρία και Εκπαίδευση πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά.

Απαιτείται οπωσδήποτε Υλικό Σύζευξης για τη μεταφορά ήχου μέσα στο υπό εξέταση υλικό.

Υλικά πολύ μικρά, εξαιρετικά λεπτά ή μη ομογενοποιημένα δυσκολεύουν την ανίχνευση ασυνεχειών.

Γραμμικές ασυνέχειες παράλληλες στη μετάδοση ήχου μπορούν να μην ανιχνευτούν.

Απαιτείται αναφορά στα πρότυπα για τη βαθμονόμηση και τον έλεγχο καθώς και για το χαρακτηρισμό των ασυνεχειών.

1.13. Βιβλιογραφικές Αναφορές

Όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές στους Υπέρηχους είναι από το www.nde-ed.org.