

Εισαγωγή στους Μη Καταστροφικούς Ελέγχους



Απόστολος Μ.Μ. Κωτούζας

4 Οκτωβρίου 2015

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Ορολογία ΜΚΕ	1
1.2	Πεδία εφαρμογής	2
1.3	Πλεονεκτήματα ΜΚΕ	2
1.4	Μειονεκτήματα ΜΚΕ	2
2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΚΕ	3
2.1	Οπτικός Έλεγχος (VT)	3
2.2	Διεσδυτικά Υγρά (PT)	4
2.3	Μαγνητικά Σωματίδια (MT)	5
2.4	Υπέρηχοι (UT)	6
2.4.1	Phased Array (PA)	7
2.4.2	Time Of Flight Diffraction (TOFD)	8
2.5	Δινορρέυματα (ET)	9
2.6	Βιομηχανική Ραδιογραφία (RT)	11
2.7	Ακουστική Εκπομπή (AE)	12
2.8	Δοκιμές Διαρροής (LT)	13

Κατάλογος σχημάτων

2.1	Οπτικός έλεγχος συγκόλλησης ¹ .	3
2.2	Έλεγχος χυτού με διεισδυτικά υγρά ² .	4
2.3	Έλεγχος με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια ³ .	5
2.4	Έλεγχος με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια ⁴ .	6
2.5	Έλεγχος με Phased Array ⁵ .	7
2.6	Έλεγχος με Time Of Flight Diffraction ⁶ .	8
2.7	Έλεγχος με δινορρεύματα ⁷ .	9
2.8	Βιομηχανική ραδιογραφία ⁸ .	11
2.9	Ακουστική Εκπομπή ⁹ .	12

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορολογία ΜΚΕ

Οι Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές (ΜΚΔ) ή Μη Καταστρεπτικοί Έλεγχοι (ΜΚΕ) είναι μέθοδοι αξιολόγησης της κατάστασης ενός δοκιμίου (υλικό, εξάρτημα ή κατασκευή), χωρίς να βλαπτεί η λειτουργικότητά του, δηλαδή η ικανότητα μελλοντικής χρησιμοποίησης του.

Οι βασικές μέθοδοι ΜΚΕ είναι οι εξής:

1. ο οπτικός έλεγχος (VT),
2. τα μαγνητικά σωματίδια (MT),
3. τα διεισδυτικά υγρά (PT),
4. τα δινορρέυματα (ET),
5. ο υπέρηχος (UT),
6. η ραδιογραφία (RT).

Άλλες μέθοδοι ΜΚΕ είναι: η ακουστική εκπομπή (ΑΕΤ), η θερμογραφία υπερύθρων (IRT) και η δοκιμή διαρροής (LT). Στα σύγχρονα πρότυπα τα Δινορρευμάτων (ET), η Μέτρηση Πεδίου Εναλλασσόμενου Ρεύματος (alternating current field measurement - ACFM), ο Έλεγχος Απομακρυσμένου Πεδίου (remote field testing – RFT) και ο έλεγχος μαγνητικής διαρροής (magnetic flux leakage-MFL) εντάσσονται στην ίδια γενική κατηγορία των Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων (Electromagnetic methods - EM). Οι τεχνικές Phased Array (PA) και Time Of Flight Diffraction (TOFD) συμπεριλαμβάνονται στην γενική κατηγορία του έλεγχου μέσω υπερήχων [1].

Το αποτέλεσμα εφαρμογής ενός ΜΚΕ ονομάζεται ένδειξη (indication) και υποδηλώνει την ύπαρξη μιας ασυνέχειας στο εξεταζόμενο δοκίμιο. Αυτή μπορεί να είναι, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο: διαφορά πυκνότητας στο ραδιογράφημα, διεισδυτής, σήμα ανακλώμενων υπερήχων, σήμα μεταβολής σύνθετης αντίστασης, συσσώρευση μαγνητικών σωματιδίων κ.α. .

Μια ένδειξη μπορεί να είναι αληθής (true) ή ψευδής (false). Μη ψευδής ένδειξη σχηματίζεται από αίτια άσχετα με τις φυσικές αρχές μιας μεθόδου ΜΚΕ, σε αντίθεση με μια αληθή. Μια αληθής ένδειξη μπορεί να είναι σχετική (relevant) ή μη σχετική (non relevant). Οφείλεται σε γνωστή και συνήθως προσχεδιασμένη ασυνέχεια, όπως π.χ. αλλαγή διατομής, συγκόλληση διαφορετικών υλικών, ύπαρξη σφηνοδρόμων και οπών ή φαινόμενο άκρου.

Μια αληθής και σχετική ένδειξη αποτελούν μια προς ερμηνεία ασυνέχεια (discontinuity), η οποία εάν, μετά την αξιολόγηση (evaluation) της, είναι απορριπτέα με βάση την εφαρμοζόμενη προδιαγραφή χαρακτηρίζεται ως ατέλεια (flaw), ενώ εάν δεν απορρίπτεται χαρακτηρίζεται ως ελάττωμα (defect). Στόχος των ΜΚΕ είναι η ανίχνευση ατελειών και -κυρίως- σφαλμάτων.

Τα αντικείμενα που ελέγχονται με ΜΚΕ είναι συνήθως μεταλλικά (π.χ. χάλυβας), σπανιότερα κεραμικά (π.χ. τσιμέντο), ενώ έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζει η όλο και πιο έντονη χρήση τους στο έλεγχο σύνθετων υλικών. Η ύπαρξη ασυνεχειών σε ένα δοκίμιο και ειδικότερα άμα αυτό είναι όλκιμο οδηγεί σε πειραματικές τιμές αντοχής σε θραύσης πολύ κατώτερες της θεωρητικής συνεκτικής αντοχής του, αυξάνοντας έτσι κατά πολύ την πιθανότητα αστοχίας του. Με βάση αυτό το σκεπτικό οι ΜΚΕ έχουν χαρακτηριστεί και ως επιστήμη της ασφάλειας, καθώς η εφαρμογή τους μειώνει κατά πολύ την πιθανότητα αστοχίας υλικού [2].

Αποτελεί γεγονός, ότι δεν είναι όλες οι μέθοδοι ΜΚΕ το ίδιο αποτελεσματικές, ευαίσθητες και οικονομικές για την ίδια εφαρμογή. Ανάλογα με τον τύπο υλικού που πρέπει να ελεγχθεί, την γεωμετρία του, την προσβασιμότητά του, τη λειτουργία του και το είδος των αναμενόμενων ασυνεχειών, η καταλληλότερη μέθοδος ΜΚΕ διαφέρει. Ένας ακόμα παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η οικονομία χρόνου και χρημάτων, πρέπει δηλαδή ο ΜΚΕ στην πράξη να είναι παραγωγικός και να εξοικονομεί πόρους.

1.2 Πεδία εφαρμογής

Οι ΜΚΕ μπορούν να εφαρμοστούν στις εξής περιπτώσεις:

- Έλεγχος ομοιογένειας υλικών.
- Έλεγχος ακεραιότητας εξαρτημάτων πριν τη κατασκευή.
- Έλεγχος εξαρτημάτων και κατασκευών που βρίσκονται σε λειτουργία.
- Έλεγχος αποτελεσμάτων διεργασιών (συγκόλληση, χύτευση, έλαση, σφυρηλάτηση).
- Έλεγχος συναρμολογήσεων.

1.3 Πλεονεκτήματα ΜΚΕ

1. Είναι αβλαβείς για τα δοκίμια.
2. Μπορούν να εφαρμοστούν επανειλημμένα στο ίδιο δοκίμιο.
3. Έχουν συνήθως χαμηλό κόστος.
4. Έχουν συνήθως στοιχειώδη εξοπλισμό.
5. Ο εξοπλισμός είναι συνηθέστερα φορητός.
6. Υπάρχει πληθώρα προτύπων και προδιαγραφών που καλύπτει τους ελέγχους.

1.4 Μειονεκτήματα ΜΚΕ

1. Η παρατήρηση γίνεται συνήθως με έμμεσο τρόπο.
2. Δεν γίνεται μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων του αντικειμένου.
3. Η αξιολόγηση γίνεται βάσει κριτηρίων καταλληλότητας.
4. Σε πολλές μεθόδους δεν είναι δυνατή η μόνιμη καταγραφή των αποτελεσμάτων.
5. Η ερμηνεία των ενδείξεων ενός ΜΚΕ είναι δύσκολη.
6. Το αποτέλεσμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα και εμπειρία του τεχνικού ή μηχανικού ΜΚΕ.
7. Οι ΜΚΕ δρουν συμπληρωματικά, καμία μέθοδος από μόνη της δεν μπορεί να δώσει βέβαιες πληροφορίες για την κατάσταση όλου του δοκιμίου.
8. Πρέπει να υπάρχει γνώση των αναμενόμενων ενδείξεων.

Κεφάλαιο 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΚΕ

2.1 Οπτικός Έλεγχος (VT)

Η μέθοδος οπτικού ελέγχου (VT), χρησιμοποιώντας σαν βασικό εργαλείο το ανθρώπινο μάτι και σε συνδυασμό με κατάλληλες τεχνικές και εξοπλισμό (μεγεθυντικούς φακούς, ενδοσκόπια, καθρέπτες κλπ) μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε στάδιο κατασκευής ή λειτουργίας των εξαρτημάτων και να αποκαλύψει σημαντικές κατασκευαστικές είτε λειτουργικές ατέλειες[3].

Ο οπτικός έλεγχος συχνά θεωρείται η πρώτη αλλά και η τελική μέθοδος που πρέπει να εφαρμοστεί σε έναν ΜΚΕ.

Οι τεχνικοί θα πρέπει όχι μόνο να αναζητούν και να καταγράφουν ασυνέχειες στα δοκίμια και τις κατασκευές που ελέγχουν, αλλά και να υποδεικνύουν τις συμπληρωματικές μεθόδους για περαιτέρω έλεγχο ¹.

Συνοπτικά ο οπτικός έλεγχος:

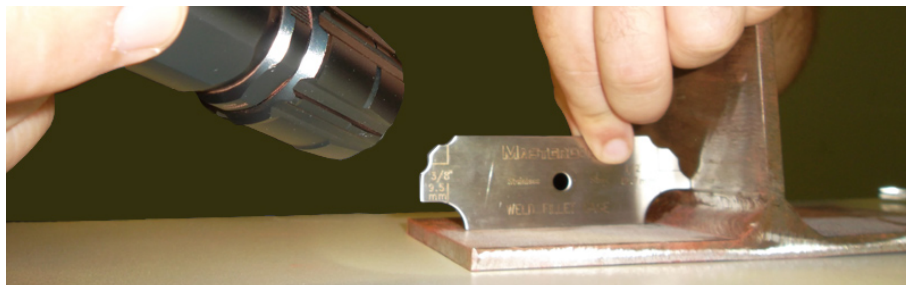
- Εφαρμόζεται από την αρχαιότητα.
- Είναι σχετικά απλή μέθοδος, αλλά εξαιρετικά σημαντική.
- Είναι το πρώτο στάδιο κάθε ελέγχου και συχνά και το τελευταίο.
- Λόγω της φαινομενικής του απλότητας συχνά διεξάγεται επιπόλαια.

Πλεονεκτήματα του οπτικού ελέγχου:

1. Απαιτείται στοιχειώδης εξοπλισμός (φωτισμός, καθρεφτάκι).
2. Η σωστή διεξαγωγή του μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος του ποιοτικού ελέγχου και να υποδείξει την κατάλληλη συμπληρωματική μέθοδο ελέγχου.

Μειονεκτήματα του οπτικού ελέγχου:

1. Ανιχνεύει μόνο επιφανειακές ασυνέχειες.
2. Ενίοτε απαιτείται ακριβός εξοπλισμός (ενδοσκόπιο, βίντεο-ενδοσκόπιο).



Σχήμα 2.1: Οπτικός έλεγχος συγκόλλησης ¹.

¹www.globalndtinternational.com

2.2 Διεισδυτικά Υγρά (PT)

Βασικά βήματα εφαρμογής της μεθόδου των Διεισδυτικών Υγρών (PT):

1. Προκαθαρισμός της επιφάνειας
2. Εφαρμογή διεισδυτή.
3. Χρόνος διείσδυσης.
4. Εφαρμογή εμφανιστή.
5. Παρατήρηση - Καταγραφή των ενδείξεων

Η μέθοδος ελέγχου με Διεισδυτικά Υγρά (PT) εύκολη και απλή τεχνική, αρκεί να τηρηθούν ορισμένοι ουσιώδεις κανόνες. Δεν απαιτεί πολύπλοκο ή πολυδάπανο εξοπλισμό. Δεν χρειάζεται παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (στη περίπτωση ορατών διεισδυτικών και επαρκούς φυσικού φωτισμού) ².

Τρία φιαλίδια (καθαριστικό, διεισδυτής, εμφανιστής) αρκούν για τη διεξαγωγή του ελέγχου. Εφαρμόζεται σε αγωγίμα όσο και σε μη αγωγίμα, σιδηρομαγνητικά είτε μη σιδηρομαγνητικά υλικά, για έλεγχο επιφανειακών ασυνεχειών και ιδίως ρωγμών και πόρων. Πρόκειται για μέθοδο που χάνει εύκολα την ευαισθησία της, αν δεν ακολουθήσουμε με αυστηρότητα τα προκαθορισμένα βήματα. Ανιχνεύει μόνον ασυνέχειες ανοικτές στην επιφάνεια.[4].

Συνοπτικά η μέθοδος των διεισδυτικών υγρών:

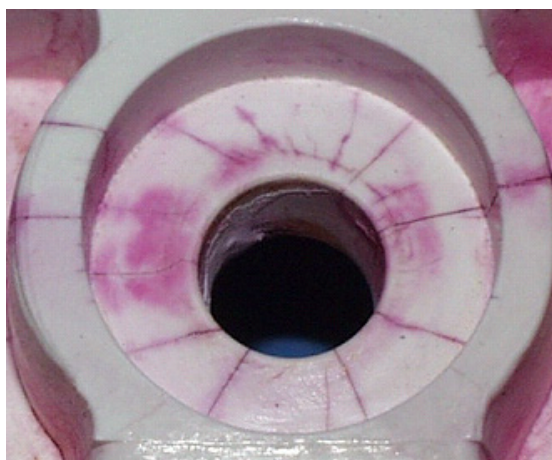
- Βασίζεται στο τριχοειδές φαινόμενο.
- Παλιά μέθοδος - πρώτη εφαρμογή το 1930 για την ανίχνευση ρωγμών σε τροχαίο υλικό με τη χρήση λαδιού και κιμωλίας

Πλεονεκτήματα των διεισδυτικών υγρών:

1. Μπορεί να εφαρμοστεί σε σχεδόν όλα τα υλικά.
2. Είναι σχετικά απλή μέθοδος.
3. Έχει χαμηλό κόστος.
4. Ο εξοπλισμός είναι φορητός.

Μειονεκτήματα των διεισδυτικών υγρών:

1. Είναι δυνατή μόνο η ανίχνευση ασυνεχειών που είναι ανοικτές στην επιφάνεια.
2. Απαιτείται πολύ καλός προκαθαρισμός του δοκιμίου.
3. Έχει μικρότερη ευαισθησία και πιθανότητα ανίχνευσης από τις μεθόδους των μαγνητικών σωματιδίων και των δινορρευσμάτων.
4. Η ευαισθησία της μεθόδου μειώνεται με κάθε επανάληψη.



Σχήμα 2.2: Έλεγχος χυτού με διεισδυτικά υγρά ².

²www.cqacademy.com

2.3 Μαγνητικά Σωματίδια (MT)

Η μέθοδος ελέγχου με μαγνητικά σωματίδια βασίζεται στα εξής βήματα [5]:

1. Μαγνήτιση του δοκιμίου που θα ελεγχθεί.
2. Εφαρμογή/ρίψη μαγνητικών σωματιδίων (ρινισμάτων).
3. Σχηματισμός της ένδειξης στην θέση διαρροής του μαγνητικού πεδίου.

Η πλέον κατάλληλη και ευαίσθητη μέθοδος εντοπισμού επιφανειακών και ελαφρώς υποεπιφανειακών ασυνεχειών και ιδίως ρηγμάτων³. Δεν απαιτείται επιμελής προκαθαρισμός και εντοπίζονται ακόμη και ασυνέχειες γεμάτες από ξένες ύλες (σκουριά, σκόνη, άλατα κλπ). Γρήγορη και απλή στην εφαρμογή της. Φθηνή μέθοδος, ένας ηλεκτρομαγνήτης και δύο φιαλίδια αρκούν για τη διεξαγωγή του ελέγχου.

Εφαρμόζεται μόνο σε σιδηρομαγνητικά υλικά.

Φυσική της Μεθόδου

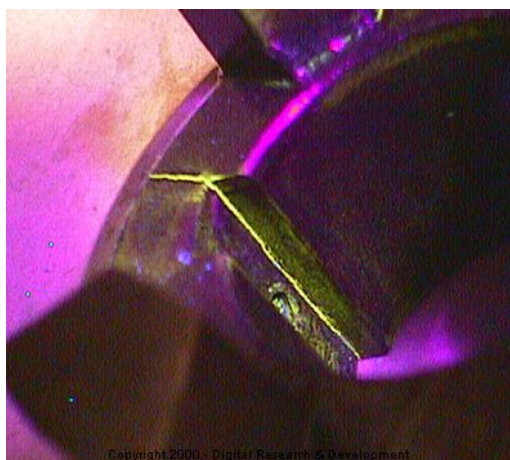
- Εφαρμόζεται μαγνητικό πεδίο στο υπό εξέταση δοκίμιο.
- Η παρουσία ασυνεχειών στην εγγύς περιοχή της επιφάνειας του δοκιμίου διαταράσσει τη ροή των μαγνητικών πεδίου.
- Η επιφάνεια καλύπτεται με μαγνητιζόμενα ρινίσματα.
- Τα ρινίσματα συγκεντρώνονται στο σημείο παραμόρφωσης του μαγνητικού πεδίου δημιουργώντας ένδειξη.

Πλεονεκτήματα των μαγνητικών σωματιδίων:

1. Υψηλότετη ευαισθησία.
2. Ανίχνευση επιφανειακών και ελαφρά υποεπιφανειακών ασυνεχειών.
3. Είναι η πιο εύκολη μέθοδος.
4. Είναι η πιο ασφαλής μέθοδος.

Μειονεκτήματα των μαγνητικών σωματιδίων:

1. Εφαρμόζεται μόνο σε σιδηρομαγνητικά υλικά.
2. Απαιτείται ηλεκτρικό ρεύμα.
3. Ο εξοπλισμός δεν είναι πάντοτε φορητός.



Σχήμα 2.3: Έλεγχος με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια³.

³www.jsntservices.com

2.4 Υπέρηχοι (UT)

Η μέθοδος των Υπερήχων (UT) βασίζεται στην αρχή ότι κάθε ασυνέχεια, εντός ενός στερεού μέσου διάδοσης, λειτουργεί σαν ανακλαστήρας του ήχου. Ευαίσθητη και αποτελεσματική μέθοδος εντοπισμού ασυνεχειών κοντά στην επιφάνεια αλλά και σε μεγάλα βάθη μέσα στο υλικό. Ιδανική για εσωτερικές επίπεδες ασυνέχειες (ρήγματα, ατελής τήξη). Μετρήσεις για την εύρεση ελάττωσης του πάχους των υλικών (π.χ. από διάβρωση ή μηχανική φθορά) είναι δυνατό να διεξαχθούν με τη μέθοδο υπερήχων [6].

Απαιτεί πολύ καλή εκπαίδευση του χειριστή. Το αρχικό κόστος συσκευής, κεφαλών και δοκιμών βαθμονόμησης είναι αρκετά υψηλό. Εξαιρετικά χρήσιμη είναι η παχυμέτρηση και ο έλεγχος διάβρωσης με παχύμετρο υπερήχων είτε συσκευή υπερήχων και κάθετη κεφαλή⁴.

Φυσική της Μεθόδου

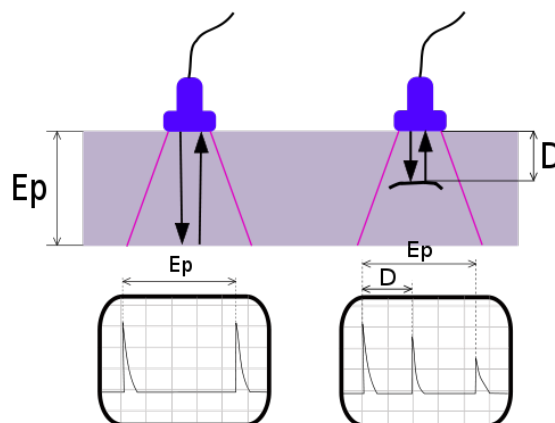
- Δέσμη υπερήχων υψηλής συχνότητας διαπερνά το υλικό.
- Η δέσμη ανακλάται σε διεπιφάνειες και επιστρέφει.
- Η χρονική διαφορά μεταξύ του εκπεμπόμενου και ανακλώμενου παλμού προσδιορίζει τη θέση στην οποία βρίσκεται η ασυνέχεια.
- Η ένταση του ανακλώμενου παλμού βοηθά στον χαρακτηρισμό της ασυνέχειας.
- Η μορφολογία του σήματος βοηθά, επίσης, στον χαρακτηρισμό της ασυνέχειας.

Πλεονεκτήματα των υπερήχων:

1. Ασφαλής μέθοδος.
2. Οικονομική στην εφαρμογή.
3. Μπορεί να εφαρμοστεί με ευκολία σε εργοταξιακές συνθήκες.
4. Είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την ανίχνευση εσωτερικών επίπεδων ασυνεχειών (π.χ. ατελής τήξη)

Μειονεκτήματα των υπερήχων:

1. Δεν ανιχνεύονται επίπεδες ασυνέχειες παράλληλες στη δέσμη υπερήχων.
2. Ασυνέχειες με μικρή επιφάνεια ανάκλασης είναι μη ανιχνεύσιμες.
3. Το κόστος του εξοπλισμού είναι σχετικά υψηλό.
4. Η ανίχνευση και η ερμηνεία των ενδείξεων εξαρτώνται στον μέγιστο βαθμό από τον χειριστή.



Σχήμα 2.4: Έλεγχος με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια⁴.

⁴www.alumeco.com

2.4.1 Phased Array (PA)

Ο έλεγχος με Phased Array (PA) βασίζεται στις ίδιες φυσικές αρχές με τον υπέρηχο [7]. Με την τεχνική Phased Array χρησιμοποιούμε πολλές κεφαλές υπερήχων σε μία. Ο όρος phased αναφέρεται στον χρόνο και ο όρος array αναφέρεται στα πολλαπλά στοιχεία.

Οι κεφαλές Phased Array αποτελούνται από πολλούς πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους, που διεγείρονται με χρονοκαθυστέρηση και παράγουν ηχητικά κύματα (συχνότητας 0,5MHz – 15MHz) που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους δημιουργώντας μια δέσμη με συγκεκριμένη γωνία είτε συγκεκριμένη εστίαση μέσω της φασικής πρόσθεσης των επί μέρους κυμάτων. Με την τεχνική Phased Array έχουμε τη δυνατότητα οπτικοποίησης και μόνιμης καταγραφής των αποτελεσμάτων του ελέγχου⁵.

Οι αυξημένες δυνατότητες που προσφέρει η τεχνική Phased Array απαιτούν ένα υψηλό επίπεδο δεξιοτήτων από μέρους των χειριστών.

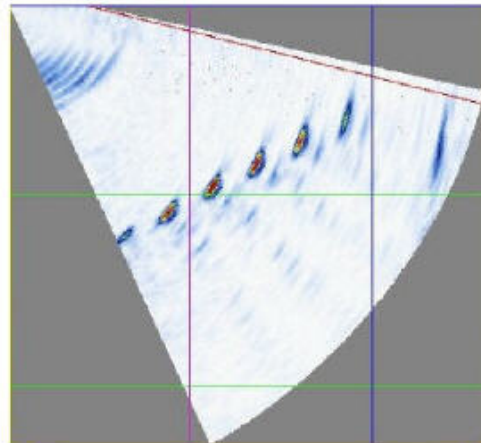
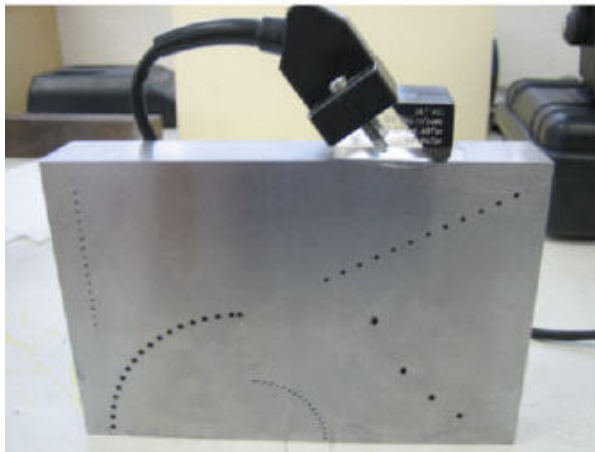
Πλεονεκτήματα Phased Array:

1. Έχει όλα τα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών υπερήχων.
2. Ο έλεγχος είναι πολύ γρήγορος.
3. Η ευαισθησία είναι μεγάλη.
4. Η πιθανότητα ανίχνευσης είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τον παραδοσιακό υπέρηχο.
5. Η διαστασιολόγηση και η ερμηνεία είναι ευκολότερη και ακριβέστερη.
6. Δυνατότητα οπτικοποίησης και μόνιμης καταγραφής των αποτελεσμάτων.

Μειονεκτήματα Phased Array:

1. Έχει όλα τα μειονεκτήματα των παραδοσιακών υπερήχων.
2. Έχει υψηλό κόστος εξοπλισμού.
3. Η χρήση της συσκευής απαιτεί υψηλό επίπεδο δεξιοτήτων από τον χειριστή.

⁵www.nde.com/



Σχήμα 2.5: Έλεγχος με Phased Array⁵.

2.4.2 Time Of Flight Diffraction (TOFD)

Η τεχνική TOFD (Time Of Flight Diffraction) ανήκει και αυτή στον έλεγχο με υπερήχους, αν και βασίζεται σε ελαφρώς διαφορετικές αρχές. Για τον εντοπισμό και την διαστασιολόγηση των ασυνεχειών, στηρίζεται στην περίθλαση που συμβαίνει στα άκρα της ασυνέχειας. Η τεχνική TOFD χρησιμοποιεί διαμήκη κύματα διότι, λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητάς τους, φθάνουν πρώτα στον δέκτη και έτσι απλοποιούν την ερμηνεία της προέλευσής τους⁶. Έχει τυφλή ζώνη, δηλαδή δεν μπορεί να ανιχνεύσει ασυνέχειες κοντά στη επιφάνεια του δοκιμίου. Έχει και αυτή την δυνατότητα οπτικοποίησης και μόνιμης καταγραφής των αποτελεσμάτων.

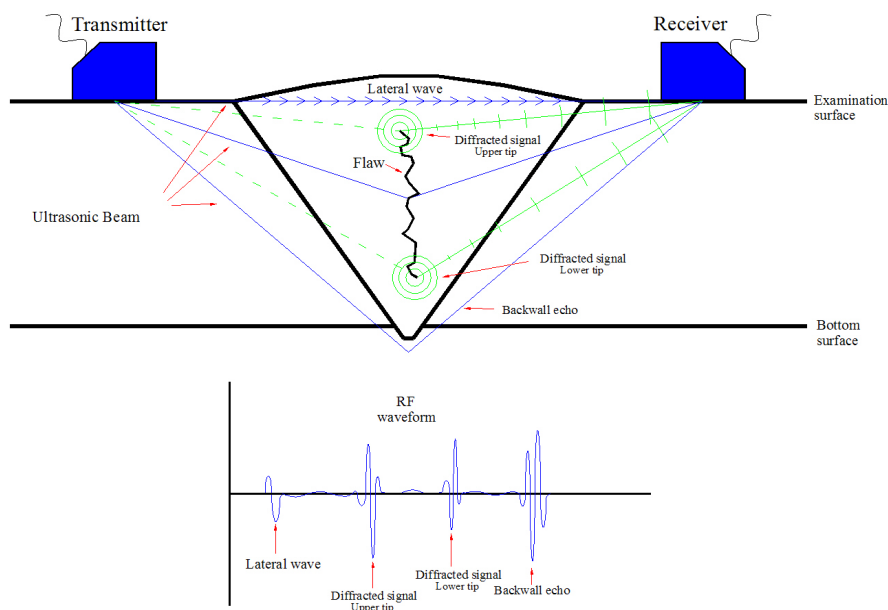
Η τεχνική Time Of Flight Diffraction (TOFD) χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα ταυτόχρονα με την τεχνική Phased Array (PA).

Πλεονεκτήματα TOFD:

1. Ο έλεγχος είναι γρήγορος.
2. Η ευαισθησία είναι μεγάλη.
3. Η πιθανότητα ανίχνευσης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τον παραδοσιακό υπέρηχο.
4. Η διαστασιολόγηση, ιδίως του ύψους της ασυνέχειας, είναι ακριβέστατη.
5. Δυνατότητα οπτικοποίησης και μόνιμης καταγραφής των αποτελεσμάτων.

Μειονεκτήματα TOFD:

1. Έχει τυφλή ζώνη.
2. Έχει υψηλό κόστος εξοπλισμού.
3. Απαιτείται πρόσβαση και από τις δύο πλευρές του δοκιμίου.
4. Η χρήση της συσκευής και η ερμηνεία των ενδείξεων απαιτεί υψηλό επίπεδο δεξιοτήτων από τον χειριστή.



Σχήμα 2.6: Έλεγχος με Time Of Flight Diffraction⁶.

⁶www.autsolutions.net/

2.5 Δινορρεύματα (ET)

Στη μέθοδο των δινορρευμάτων επάγεται ηλεκτρικό ρεύμα (δινορρεύματα) εντός του δοκιμίου. Στην περίπτωση της παρουσίας ασυνέχειας η ροή των επαγόμενων δινορρευμάτων διαταράσσεται και ένας δέκτης (πηνίο) λαμβάνει αυτή τη μεταβολή, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε σήμα [8].

Ο έλεγχος με δινορρεύματα έχει πληθώρα εφαρμογών και σε κάποιες περιπτώσεις αποτελεί μονόδρομο (π.χ. έλεγχος σωλήνων [9]). Το βάθος ελέγχου των δινορρευμάτων είναι εν γένει σχετικά μικρό και εξαρτάται από το πηνίο, τη συχνότητα ελέγχου και το υλικό που εξετάζεται. Η μέγιστη ευαισθησία στον έλεγχο με δινορρεύματα επιτυγχάνεται όταν η διεύθυνση των δινορρευμάτων είναι κάθετη στην ασυνέχεια, καθώς τότε μειώνεται μέγιστα η ροή των δινορρευμάτων στο δοκίμιο.

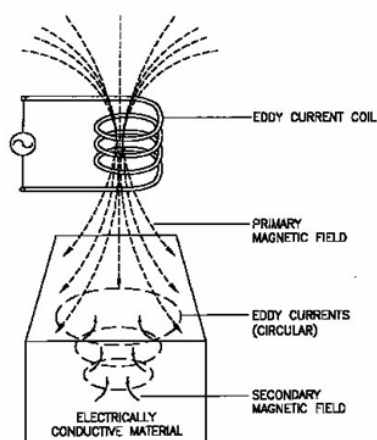
Στα σύγχρονα πρότυπα τα Δινορρευμάτων (ET), η Μέτρηση Πεδίου Εναλλασσόμενου Ρεύματος (alternating current field measurement - ACFM), ο Έλεγχος Απομακρυσμένου Πεδίου (remote field testing - RFT) και ο έλεγχος μαγνητικής διαρροής (magnetic flux leakage-MFL) εντάσσονται στην ίδια γενική κατηγορία των Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων (Electromagnetic methods - EM) [1]. Όλες αυτές οι τεχνικές ανήκουν στην ουσία στη μέθοδο των δινορρευμάτων.

Τα υλικά που ελέγχονται με δινορρεύματα πρέπει να είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού.

Φυσική της μεθόδου

Ο έλεγχος με δινορρεύματα στηρίζεται στα εξής φαινόμενα:

- Εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει ένα πηνίο.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πρωτεύοντος (μεταβαλλόμενου) μαγνητικού πεδίου.
- Το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο διαπερνάει το υπό εξέταση δοκίμιο έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δινορρευμάτων μέσα σε αυτό.
- Τα δινορρεύματα δημιουργούν με τη σειρά τους ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο, μικρότερου μέτρου και αντίθετης φοράς σε σχέση με αυτή του πρωτεύοντος.
- Το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο ελαττώνεται σε μέτρο, άρα το ίδιο και η μεταβαλλόμενη σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος.
- Η μεταβολή της ροής των δινορρευμάτων μέσα στο δοκίμιο επηρεάζει, άρα, τη σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος.
- Η παρουσία ασυνέχειας μέσα στο δοκίμιο, μειώνει τη πυκνότητα ρεύματος σε αυτό, ενδυναμώνοντας το τελικό μαγνητικό πεδίο, αφού ελαττώνει το δευτερεύον⁷.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άρση της ισορροπίας στο κύκλωμα γέφυρας της συσκευής, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ένδειξης στον μετρητή.



Σχήμα 2.7: Έλεγχος με δινορρεύματα.⁷

⁷www.onlinetutoring.zohosites.com/

Πλεονεκτήματα των δινορρευμάτων:

1. Πληθώρα εφαρμογών (έλεγχος χυτών, σφυρήλατων, συγκολλήσεων, σωλήνων).
2. Αποτελούν την πλέον ιδανική μέθοδο για των έλεγχο σωλήνων/τούμπο μικρού πάχους.
3. Δυνατότητα ελέγχου σε δοκίμια με επικάλυψη ή βαφή.
4. Δυνατότητα μέτρησης επικάλυψης επικάλυψης.
5. Δυνατότητα ελέγχου ποιότητας θερμικής κατεργασίας.
6. Ευαίσθητη και γρήγορη μέθοδος.

Μειονεκτήματα των δινορρευμάτων:

1. Σχετικά υψηλό κόστος εξοπλισμού.
2. Μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε αγωγίμα υλικά.
3. Απαιτείται προσωπικό υψηλών δεξιοτήτων.

2.6 Βιομηχανική Ραδιογραφία (RT)

Η Ραδιογραφία (RT) είναι μία από τις πρώτες και πιο γνωστές μεθόδους Μη Καταστροφικού Ελέγχου των υλικών. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για ιατρικούς σκοπούς ενώ δεν άργησε να γίνει αντιληπτή η χρησιμότητα τους ως μέσο ελέγχου κρίσιμων κατασκευών. Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής διεισδυτικότητας [10]. Οι ακτίνες -X και οι ακτίνες -γ διαφέρουν μόνο στον τρόπο παραγωγής τους.

Οι ακτίνες -X παράγονται όταν ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια προσκρούουν σε υλικά υψηλού ατομικού αριθμού. Οι ακτίνες -γ παράγονται από ραδιενεργά ισότοπα και διάσπαση πυρήνων. Τέτοια υλικά είναι το Ιρίδιο 192 και το Κοβάλτιο 60. Η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι η ακτινοβολία διαπερνά σε διαφορετικό βαθμό τα υλικά. Η ποσότητα της εξερχόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από το πάχος διείσδυσης και την πυκνότητα του υλικού. Πάνω σε ένα βιομηχανικό φιλμ, το οποίο τοποθετείται πίσω από το δοκίμιο ελέγχου, θα αποτυπωθεί η ραδιογραφική εικόνα η οποία είναι ανάλογη του βαθμού απορρόφησης της ακτινοβολίας από το προς εξέταση υλικό ⁸.

Απαιτείται εκπαίδευση όχι μόνο για την ορθή εφαρμογή της μεθόδου αλλά ιδιαίτερα για την ασφαλή διεξαγωγή του ελέγχου. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προστασίας και να εφαρμόζονται οι διεθνείς κανονισμοί ακτινοπροστασίας.

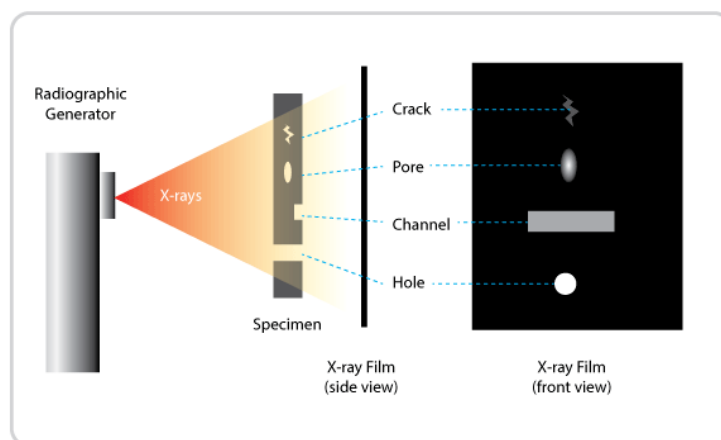
Πλέον υπάρχει και η τεχνική της ψηφιακής ραδιογραφίας (Computed Radiography Testing-CRT).

Πλεονεκτήματα ραδιογραφίας:

1. Μπορεί να εφαρμοστεί σε σχεδόν όλα τα υλικά.
2. Παρέχει μόνιμη καταγραφή των ενδείξεων.
3. Δίνει εικόνα των εσωτερικών ασυνεχειών.
4. Αποκαλύπτει κατασκευαστικές και λειτουργικές ατέλειες.
5. Είναι ιδανική μέθοδος για την ανίχνευση τρισδιάστατων ασυνεχειών.

Μειονεκτήματα ραδιογραφίας:

1. Δοκίμια με πολύπλοκη γεωμετρία είναι δύσκολο να ραδιογραφηθούν.
2. Είναι απαραίτητη η πρόσβαση σε δύο απέναντι πλευρές.
3. Οι επίπεδες ασυνέχειες είναι δύσκολα ανιχνεύσιμες.
4. Σοβαρά θέματα ασφάλειας.
5. Σχετικά ακριβή μέθοδος.



Σχήμα 2.8: Βιομηχανική ραδιογραφία ⁸.

⁸www.axt.com.au/

2.7 Ακουστική Εκπομπή (ΑΕ)

Μικρές ρωγμές ή διάβρωση οι οποίες επεκτείνονται, είναι δηλαδή ενεργές, μέσα σε ένα υλικό εκπέμπουν υπερηχητικά κύματα. Στη μέθοδο της Ακουστικής Εκπομπής (Acoustic Emission) αισθητήρες λαμβάνουν και αναλύουν τα σήματα αυτά, τα οποία στη συνέχεια αναλύονται και αξιολογούνται⁹.

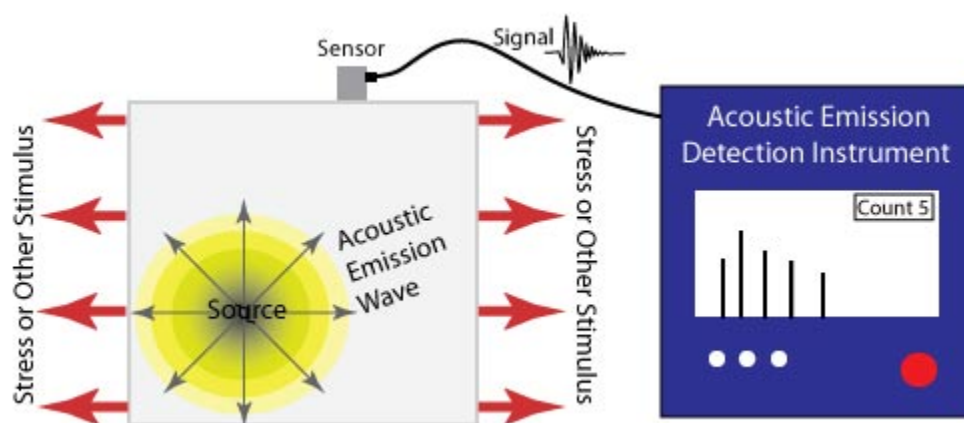
Πλεονεκτήματα ραδιογραφίας:

1. Μπορούν να ελεγχθούν ολόκληρες κατασκευές, χωρίς να τεθούν εκτός λειτουργίας (π.χ. δεξαμενές καυσίμων).
2. Ανιχνεύονται οι ενεργές ασυνέχειες.
3. Μπορεί να ελεγχθεί σχεδόν κάθε είδος υλικού.

Μειονεκτήματα ραδιογραφίας:

1. Ο εξοπλισμός είναι ακριβός.
2. Απαιτείται πολύ καλή γνώση και εμπειρία από τον ελεγκτή.
3. Αξιολογεί μια κατασκευή συγκριτικά στο χρόνο.

⁹www.nde-ed.org/



Σχήμα 2.9: Ακουστική Εκπομπή⁹.

2.8 Δοκιμές Διαρροής (LT)

Οι Δοκιμές Διαρροής εφαρμόζονται σε κατασκευές που δέχονται κανονικές ή υψηλές πιέσεις. Διαρρέοντα μέσα (υγρά ή αέρια) διεισδύουν από το εσωτερικό ενός εξαρτήματος ή κατασκευής προς το εξωτερικό και αντίστροφα. Η διαρροή είναι αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης μεταξύ των δύο περιοχών.

Μέθοδοι Δοκιμών Διαρροής:

1. *Υδραυλικές μέθοδοι*: υγρό εισέρχεται με πίεση σε ένα απομονωμένο σύστημα. Η διαρροή ανιχνεύεται με πτώση πίεσης στο πιεσόμετρο.
2. *Πνευματικές μέθοδοι*: αέρας ή αέριο εισέρχεται με πίεση σε ένα απομονωμένο σύστημα. Η διαρροή ανιχνεύεται οπτικά ή ακουστικά.
3. *Έλεγχος Φυσαλίδων*: πρεσσοαρσιμένα δοχεία βυθίζονται σε ένα λουτρό υγρού. Οι αναδυόμενες φυσαλίδες από τη διαρροή εντοπίζονται οπτικά.
4. *Χρήση ανιχνευτών αερίου*: πολλοί ανιχνευτές διαρροής αντιδρούν σε ένα ειδικό αέριο ή σε μία ομάδα αερίων με ειδικές φυσικοχημικές ιδιότητες.

Τύποι ανιχνευτών αερίου:

1. Αλλαγή χρώματος.
2. Λυχνία αλογόνου.
3. Δίοδος αλογόνου.
4. Ανιχνευτής εξαφθορίου του θείου.
5. Ανιχνευτής καύσιμου αερίου.
6. Μετρητές θερμικής αγωγιμότητας.
7. Αναλυτές αερίων υπέρυθρης ακτινοβολίας.
8. Φασματομέτρο μάζας.
9. Ανιχνευτές ραδιοϊσοτόπων.
10. Μετρητής ιονισμού.
11. Χρωματογραφία αερίων.

Βιβλιογραφία

- [1] ASME. *ASME BPVC Section V: Nondestructive Examination*. ASME, 2010.
- [2] Μ. Κ. Κωτούζας. *Ταξινόμηση Ασυνεχειών*. ΤQCC, 1999.
- [3] Μ. Κ. Κωτούζας. *Οπτικός Έλεγχος*. ΤQCC, 2002.
- [4] Μ. Κ. Κωτούζας. *Διεισδυτικά Υγρά*. ΤQCC, 2003.
- [5] Μ. Κ. Κωτούζας. *Μαγνητικά Σωματίδια*. ΤQCC, 1998.
- [6] Μ. Κ. Κωτούζας. *Υπέρηχοι*. ΤQCC, 2010.
- [7] Π. Φουσιάνης. *Τεχνική Ελέγχου Phased Array*. ΤQCC, 2012.
- [8] T. Theodoulidis. *Θεωρία Δινορρευμάτων*. ΤQCC, 2010.
- [9] T. Theodoulidis. *Eddy Current Inspection of Heat Exchanger Tubing*. ΤQCC, 1999.
- [10] Μ. Κ. Κωτούζας. *Βιομηχανική Ραδιογραφία*. ΤQCC, 2008.