

# Εισαγωγή στις Μεθόδους μη Καταστροφικού Ελέγχου

Θεόδωρος Τσαγκάρης  
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ  
Μηχανικός Πωλήσεων  
ΤΕΧΝΙΚΟΝ ΓΡΑΦΕΙΟΝ Δ. ΒΡΕΚΟΣΙΣ

Magnetic Particle Testing

MT Agents and Penetrants

Ultrasonic Testing Systems

**KARL DEUTSCH**  
More Than 50 Years In NDT

Coating Thickness Gauges

Crack Depth Gauges

UT Flaw Detectors and Probes

Wall Thickness Gauges

Ο μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) ανήκει στις πιο σημαντικές ομάδες μεθόδων ελέγχου ασφαλείας. Ο βασικός στόχος του ΜΚΕ είναι η εύρεση και η ανάδειξη σφαλμάτων και ανομοιογενειών που είτε βρίσκονται εσωτερικά σε υλικά, είτε είναι αδύνατο να εντοπιστούν με γυμνό μάτι. Αυτό επιτυγχάνεται με διαδικασίες οι οποίες δεν επηρεάζουν το εξεταζόμενο υλικό, ενώ παράλληλα οι εκτίμηση των μετρήσεων που λαμβάνονται οδηγεί εύκολα στην απόφαση για την αξιοπιστία των υλικών και για το αν αυτά είναι κατάλληλα ή όχι για χρήση.



Μερικά από τα βασικότερα επιχειρήματα που υπάρχουν ώστε να εντάξει μια επιχείρηση κάποιες από τις μεθόδους ΜΚΕ (ή και όλες) στον ποιοτικό της έλεγχο είναι τα παρακάτω:

1. αναβάθμιση της θέσης της στην Ελληνική αλλά και τη παγκόσμια αγορά
2. εξασφάλιση υψηλής ποιότητας τελικού προϊόντος
3. συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα (ISO, κλπ)
4. δικαίωμα διεκδίκησης συμβολαίων συνεργασίας με πελάτες μεγάλης εμβέλειας που απαιτούν τέτοιους ελέγχους

Οι διαδικασίες ελέγχου που ακολουθούνται σε κάθε μέθοδο περιγράφονται με τη μορφή αυστηρών οδηγιών οι οποίες ορίζονται στα Πρότυπα που έχει υιοθετήσει ο κάθε κατασκευαστής – ελεγκτής. Υπάρχουν πάρα πολλά πρότυπα που μπορεί να ακολουθήσει κάποιος και αναγνωρίζονται από τα αρχικά τους όπως DIN (Γερμανικά), EN (Ευρωπαϊκά) και ISO (Παγκόσμια). Η επιλογή του καλύτερου προτύπου δεν είναι κάτι που

μπορεί να γίνει εύκολα και ο κύριος παράγοντας που το καθορίζει αυτό είναι η αγορά και οι πελάτες που απευθύνεται ο κάθε κατασκευαστής.

Οι ΜΚΕ πρέπει να πραγματοποιούνται από εξειδικευμένους τεχνικούς, οι οποίοι έπειτα από την παρακολούθηση της κατάλληλης εκπαίδευσης και τη συμμετοχή σε ειδικές εξετάσεις, λαμβάνουν την απαραίτητη πιστοποίηση από Οργανισμούς με παγκόσμια αποδοχή και αναγνώριση. Δύο από τους πιο γνωστούς φορείς που χορηγούν πιστοποιήσεις είναι ο ASNT (Αμερικανική Ένωση ΜΚΕ) και ο BINDT (Βρετανικό Ινστιτούτο ΜΚΕ που χορηγεί τα πιστοποιητικά PCN). Η επιλογή του φορέα πιστοποίησης είναι πολύ σημαντική και πρέπει να συμβαδίζει με τα πρότυπα ελέγχου που έχουν επιλεγεί από την εταιρία που καλείται να τα εφαρμόσει. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες πιστοποιήσεων για κάθε μέθοδο που μπορεί να έχει κάποιος:



1. Η χαμηλότερη κατηγορία γνωστή ως Level 1, δίνει τη δυνατότητα στον τεχνικό να εφαρμόζει σωστά τις μεθόδους, να χρησιμοποιεί τις συσκευές και τα υλικά ΜΚΕ και να καταγράφει τα αποτελέσματα των μετρήσεων, χωρίς όμως να δίνει το δικαίωμα για τη λήψη της απόφασης σχετικά με την καταλληλότητα ή μη του εξεταζόμενου υλικού
2. Η μεσαία και πιο διαδεδομένη κατηγορία είναι γνωστή ως Level 2. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλα εκείνα που έχει η πρώτη





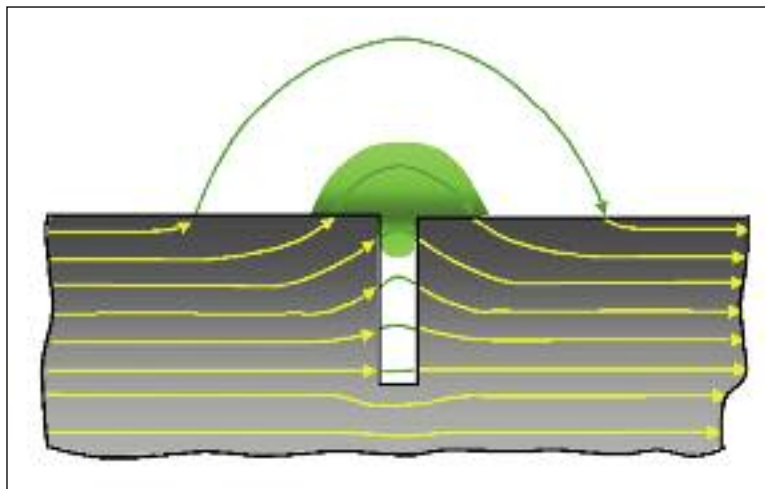
και επιπλέον δίνει τη δυνατότητα της εκτίμησης των αποτελεσμάτων και της λήψης αποφάσεων, ενώ παράλληλα επιτρέπει την εκπαίδευση των χειριστών της πρώτης κατηγορίας βάσει των προτύπων που ακολουθεί η κάθε επιχείρηση 3. Τέλος, η ανώτερη κατηγορία που είναι γνωστή ως Level 3, περιλαμβάνει ότι και η μεσαία, δίνοντας

επιπλέον το δικαίωμα εκπαίδευσης στους ελεγκτές Level 2, ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μεθόδου σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα και καθορισμού όλων των λεπτομερειών που θα πρέπει να ακολουθηθούν για να εφαρμοστεί σωστά. Τα παραπάνω πιστοποιητικά αποδεικνύουν ότι ο Ελεγκτής έχει λάβει την εκπαίδευση που αναλογεί στο καθένα από αυτά και παράλληλα ότι έχει την πρακτική εμπειρία πάνω στη μέθοδο που ορίζουν. Για αυτό ακριβώς το λόγο και απαιτείται ανανέωση αυτών (όχι του τίτλου σπουδών που δεν έχει ημερομηνία λήξης) σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο ελεγκτής είναι ενεργός και γνώστης του αντικειμένου. Ο ευρωπαϊκός τίτλος

σπουδών είναι το EN 473 και μερικές από τις κυριότερες μεθόδους που καλύπτει είναι οι παρακάτω:

- Εύρεση επιφανειακών ρωγμών με Μαγνητικά Σωματίδια (MT – Magnetic Particle Testing)
- Εύρεση επιφανειακών ρωγμών με Διεσδυτικά Υγρά (PT – Penetrant Testing)
- Δινορεύματα (ET – Eddy Current Testing)
- Δοκιμές Ραδιογραφίας (RT – Radioscopy Testing)
- Υπέρηχοι (UT – Ultrasonic Testing)
- Οπτικός Έλεγχος (VT – Visual Testing)

Σε συνέχεια των παραπάνω, ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των εφαρμοσμένων μεθόδων των ΜΚΕ που κυρίως ενδιαφέρουν τις Ελληνικές Επιχειρήσεις όπως επίσης και κάποια παραδείγματα εφαρμογών τους. Η



παρακάτω ομαδοποίηση έγινε όχι τόσο με γνώμονα τον αυστηρό διαχωρισμό βάσει της φυσικής αλλά περισσότερο βασισμένη στις τεχνικές λήψης των μετρήσεων.

### Μέθοδοι Βασισμένοι στην Οπτική Εκτίμηση

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι εκείνες που βασίζονται στην εκτίμηση μετά από την εξωτερική εξέταση του δοκιμίου και στην απόφαση της καταλληλότητας ή μη αυτού. Η βασικότερη προϋπόθεση για αυτήν την κατηγορία είναι η καλή λειτουργία της όρασης του ελεγκτή, επομένως κρίνεται απαραίτητη μια οφθαλμολογική εξέταση για όποιον προορίζεται να εφαρμόσει αυτές τις μεθόδους ώστε να εξασφαλιστεί η σιγουριά των αποτελεσμάτων. Οι τρεις πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι:

**1. Οπτικός έλεγχος**

Αυτή η μέθοδος είναι θεωρητικά η πιο απλή και είναι η πρώτη που πρέπει να εντάσσεται στην παραγωγική διαδικασία, διότι τόσο η διαδικασία όσο και ο



εξοπλισμός για την εφαρμογή της δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες απαιτήσεις. Όσον αφορά τη διαδικασία ελέγχου, θα πρέπει να υπάρχει τυποποιημένος έλεγχος των τυπικών χαρακτηριστικών για το κάθε είδος, όπως:

- Έλεγχος για το αν το είδος είναι όσο ολοκληρωμένο πρέπει για την παρούσα φάση (πχ αν έχει γίνει η λείανση, αν έχει γίνει η βαφή, κλπ)
- Έλεγχος για τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά (πχ αν μοιάζουν για τετράγωνα τα δοκίμια, αν έχει τον αριθμό των οπών που πρέπει, κλπ)
- Έλεγχος βασικών χαρακτηριστικών επιφανείας για παραμορφώσεις και

αποχρωματισμούς. Όσον αφορά τον εξοπλισμό, θα πρέπει να υπάρχουν:

- απαραίτητως το σωστό επίπεδο φωτισμού το οποίο θα αναδεικνύει τα προβλήματα της επιφάνειας, χωρίς όμως να τυφλώνει τον ελεγκτή
- προαιρετικά βοηθήματα όπως μεγεθυντικοί φακοί για ενίσχυση της εικόνας ή





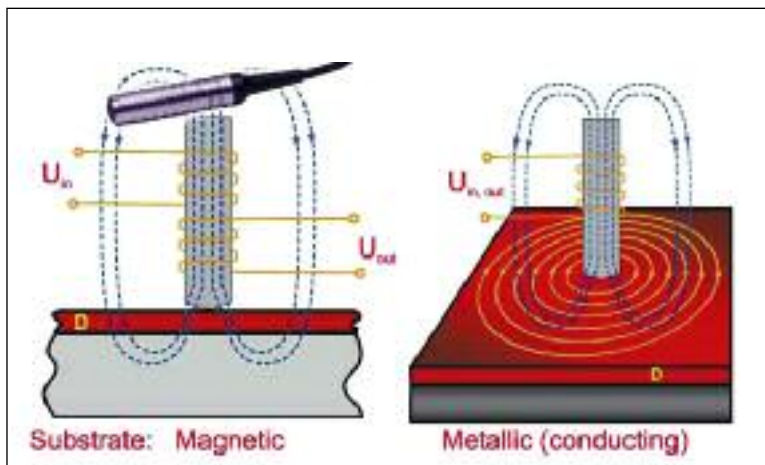
ενδοσκόπια για πρόσβαση σε δύσκολα σημεία

Τα πλεονεκτήματα του οπτικού ελέγχου σε σύγκριση με άλλες μεθόδους είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλες τις επιφάνειες και μάλιστα στις περισσότερες περιπτώσεις χωρίς τη χρήση ακριβού εξοπλισμού, ενώ τα μειονεκτήματά του είναι ότι δεν μπορούμε να βρούμε ελαττώματα κάτω από την επιφάνεια όπως επίσης και

πολύ λεπτές επιφανειακές ρωγμές.

## **2. Εύρεση επιφανειακών ατελειών με Διεισδυτικά Υγρά**

Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά απλή και βασίζεται στη χρήση ειδικών υγρών με τα οποία αναδεικνύονται εύκολα οι επιφανειακές ρωγμές. Η μέθοδος που ακολουθείται περιγράφεται στα εξής βήματα:



1. Πρώτα καθαρίζεται πολύ καλά η επιφάνεια ώστε να φύγουν οι ακαθαρσίες από τις ρωγμές και να είναι δυνατή η διείσδυση του υγρού
2. Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή του Διεισδυτικού Υγρού το οποίο και το αφήνουμε για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να εισχωρήσει στις ρωγμές
3. Καθαρίζουμε πάλι ώστε να φύγει από την επιφάνεια το πλεονάζον υγρό
4. Εφαρμόζουμε τον Εμφανιστή ο οποίος αναδεικνύει τις ρωγμές τραβώντας προς τα έξω το διεισδυτικό υγρό.

Προκειμένου να είναι πιο εύκολο για το μάτι να αναγνωρίσει τις ρωγμές, χρησιμοποιούμε υγρά ευδιάκριτα ή με έντονη διαφορά μεταξύ τους ώστε να διευκολύνεται ο ελεγκτής. Επομένως τα διεισδυτικά υγρά είναι είτε φθορίζοντα και οι ατέλειες αναδεικνύονται με UV λάμπα, είτε κόκκινα και ο εμφανιστής λευκός για να υπάρχει έντονη αντίθεση και να τα βλέπουμε ακόμα και στο φως της μέρας.



Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου σε σύγκριση με άλλες είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα στερεά αντικείμενα, ανεξαρτήτως σχήματος και υλικού ενώ παράλληλα και τα αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη των σφαλμάτων είναι χαμηλού κόστους. Αντιθέτως τα μειονεκτήματά της είναι ότι η μέθοδος βασίζεται πολύ στη σωστή εφαρμογή από τον ελεγκτή, οι ρωγμές θα πρέπει να είναι καθαρές και οι ποσότητες των υγρών θα πρέπει να είναι σε τέτοιο βαθμό ώστε το αποτέλεσμα να είναι ξεκάθαρο.

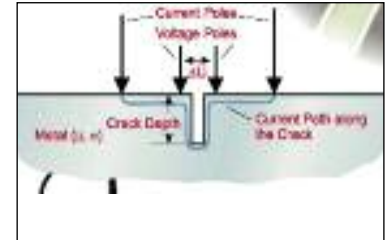
### **3. Εύρεση επιφανειακών ατελειών με Μαγνητικά Σωματίδια**

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε μαγνητιζόμενα υλικά για να αναδείξει επιφανειακές ρωγμές που δεν φαίνονται με γυμνό μάτι. Ο αρχή λειτουργίας της μεθόδου είναι αρκετά απλή και βασίζεται στη μαγνήτιση του υλικού και την ταυτόχρονη εφαρμογή κάποιου μέσου που περιέχει μαγνητικά σωματίδια. Η μαγνήτιση αυτή πρέπει να

γίνεται σε όσο το δυνατό περισσότερες από τις διαστάσεις του ώστε σε κάθε εφαρμογή η φορά του μαγνητικού πεδίου να είναι όσο το δυνατόν πιο κάθετη στις ρωγμές. Στα σημεία που υπάρχει ρωγή δημιουργείται τοπικά ένα έντονο μαγνητικό πεδίο το οποίο έλκει τα σωματίδια αυτά και τα συγκεντρώνει κατά μήκος της ρωγμής. Αυτά τα σωματίδια είναι είτε φθορίζοντα και αναδεικνύονται με χρήση λάμπας UV, είτε περιέχονται σε υγρά με έντονη χρωματική αντίθεση ώστε να είναι δυνατό να τα δούμε στο φως της ημέρας (γνωστή ως μέθοδος άσπρο – μαύρο).

Για τη μαγνήτιση των εξεταζόμενων επιφανειών χρησιμοποιούνται φορητοί μαγνήτες όταν εξετάζονται μεγάλα κομμάτια με απλά γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως άξονες, σωλήνες, κλπ ενώ αν τα κομμάτια είναι μικρά συστήνεται η χρήση σταθερών σταθμών με ειδικά στηρίγματα που βοηθάνε στη γρήγορη εξέτασή τους.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου σε σύγκριση με



άλλες είναι ότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία – καθαρισμό το αντικείμενο, οι ρωγμές αναδεικνύονται ευκρινώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου είναι ξεκάθαρα και αναπαραγόμενα. Το κύριο μειονέκτημά της είναι ότι η εφαρμογή της είναι δυνατή μόνο στα μαγνητιζόμενα υλικά.

### **Μέθοδοι Βασισμένες στον Ηλεκτρομαγνητισμό (εκτός της μεθόδου των Μαγνητικών Σωματιδίων)**

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι εκείνες που βασίζονται στην παρατήρηση και μέτρηση όπου αυτό είναι εφικτό των διαφόρων ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων τα οποία αναπτύσσονται στα δοκίμια με τη χρήση κατάλληλων συσκευών και αισθητήρων. Οι πιο σημαντικές και διαδεδομένες μέθοδοι – εφαρμογές σε αυτήν την



κατηγορία είναι οι παρακάτω:

### **1. Μέτρηση πάχους**

#### **επικαλύψεων**

Αυτή η μέθοδος δεν υπάγεται στις κλασικές ομάδες των ΜΚΕ μιας και δεν οδηγεί στην εύρεση σφαλμάτων όπως ρωγμές και πόροι. Εν' τούτοις χρησιμεύει στη μέτρηση ενός κρίσιμου παράγοντα για την αντοχή του δοκιμίου, όπως είναι ο πάχος της επικάλυψης πάνω σε μαγνητιζόμενα και μη μέταλλα μέσω σημαντικών φυσικών φαινομένων. Ο βασικός διαχωρισμός μεταξύ των μεθόδων μέτρησης γίνεται μεταξύ των αποκαλούμενων μαγνητικών μεθόδων και των μεθόδων δινορευμάτων. Η επιλογή για το ποια θα εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση γίνεται βάσει του υποστρώματος πάνω στο οποίο έχει γίνει η επικάλυψη, επομένως έχουμε:

**a.** Μέτρηση πάχους επικάλυψης μέσω της Διαδικασίας Αποκόλλησης (Adhesive Force Procedure)



Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε σιδηρούχα υποστρώματα και βασίζεται στη μέτρηση της δύναμης που χρειάζεται για να αποκολληθεί ένας μόνιμος μαγνήτης από την επικαλυμμένη επιφάνεια. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο πάχος έχει η μη μαγνητική επιφάνεια τόσο μικρότερη δύναμη χρειάζεται. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται με κατάλληλα όργανα τα οποία είναι αναλογικά και φτηνά αλλά δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματά τους.

**b.** Μέτρηση πάχους επικάλυψης με τη μέθοδο της Μαγνητικής Επαγωγής (Magnetic Inductive Layer Thickness Gauge)

Και αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο σε μαγνητιζόμενα υλικά (δηλαδή εκείνα που περιέχουν σίδηρο). Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται επαγωγικά όταν εφαρμόζουμε τον αισθητήρα της συσκευής πάνω στο σημείο που θέλουμε να μετρήσουμε. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι έχει πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με την πρώτη (σε κατάλληλες επιφάνειες μπορεί να φτάσει στο  $\pm 0,1 \mu\text{m}$ ) και ότι υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστούν αισθητήρες διαφόρων σχημάτων και γεωμετριών με τους οποίους



μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις ακόμα και σε δύσκολα προσβάσιμες επιφάνειες (όπως εσωτερικά σε οπές και σωλήνες). Το μειονέκτημά της είναι ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της είναι ακριβότερες σε σχέση με την πρώτη μέθοδο.

Κύρια εφαρμογή αυτών των οργάνων γίνεται σε Γαλβανιστήρια, Βαφεία, Αυτοκινητοβιομηχανίες, Επισκευαστήρια και γενικότερα σε όλους τους χώρους παραγωγής και ελέγχου όπου υπάρχει ανάγκη μέτρησης του πάχους της επικάλυψης σε χάλυβα και γενικότερα σιδηρούχα υποστρώματα.

c. Μέτρηση πάχους

επικάλυψης με τη μέθοδο των Δινορευμάτων (Eddy-current Method Layer Thickness Gauge)  
Η μέθοδος αυτή είναι η μόνη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση του πάχους διαφόρων επικαλύψεων σε μη σιδηρούχα υποστρώματα. Είναι ιδιαίτερα ακριβής, όπως και η δεύτερη, ενώ δεν μπορούν να οριστούν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μιας και δεν υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι για την εφαρμογή αυτή. Παραδείγματα εφαρμογής της έχουμε στην μέτρηση μπιγιάς, πλαστικού, μόνωσης, κλπ πάνω σε αλουμίνιο, χαλκό και λοιπά μη σιδηρούχα υποστρώματα.

## **2. Εύρεση επιφανειακών ατελειών με δινορεύματα (Flaw Testing with Eddy-current ET)**

Μια ακόμα εφαρμογή των Δινορευμάτων είναι η εύρεση επιφανειακών και υποεπιφανειακών ατελειών (κυρίως ρωγμών) που υπάρχουν σε ηλεκτροαγωγίμα υλικά. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εφαρμογή εναλλασσόμενου

μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζεται κάθετα σε μια επιφάνεια το οποίο δημιουργεί δινορεύματα παράλληλα προς την επιφάνεια που εξετάζουμε. Τα δινορεύματα αυτά με τη σειρά τους δημιουργούν δεύτερο μαγνητικό πεδίο το οποίο αντιτίθεται στο πρώτο και το αδυνατίζει. Στα σημεία που υπάρχουν ρωγμές γίνεται παράκαμψη των δινορευμάτων με αποτέλεσμα σε εκείνο το σημείο το δεύτερο μαγνητικό πεδίο να μην είναι αρκετά ισχυρό και να γίνεται εντοπισμός της ατέλειας.

Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει βρει κυρίως εφαρμογή στην αεροπορική βιομηχανία και χρησιμοποιείται σε απλά γεωμετρικά σχήματα.

## **3. Μέτρηση βάθους ρωγμής (The potential probe method)**

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνουμε τη μέτρηση του βάθους της επιφανειακής ρωγμής που έχει εντοπιστεί με μια από τις προαναφερθείσες μεθόδους. Χρησιμοποιείται σε ηλεκτροαγωγίμα υλικά και η αρχή λειτουργίας της είναι η





μέτρηση με κατάλληλους αισθητήρες της διαφοράς δυναμικού που παρατηρείται σε μια ρωγμή σε σχέση με κάποιο σημείο που είναι χωρίς ελάττωμα. Για τη μέτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, αν και συστήνεται η χρήση του εναλλασσόμενου μιας και τα αποτελέσματά του είναι ακριβέστερα. Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους που μπορούν να δώσουν το βάθος μιας ρωγμής (υπέρηχοι και δινορεύματα) η μέθοδος αυτή είναι πολύ καλύτερη διότι έχει μεγαλύτερο εύρος (στα σιδηρούχα μέχρι 100mm και

στο αλουμίνιο και στο χαλκό μέχρι 12mm) και πολύ καλύτερη ακρίβεια ενώ παράλληλα μας δίνει και μια καλή ένδειξη για το αν η ρωγμή είναι κάθετη ή έχει γωνία σε σχέση με την επιφάνεια.

#### **Μέθοδοι βασισμένες στην Ακτινοβολία**

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται εκείνες οι μέθοδοι ΜΚΕ οι οποίες βασίζονται στην λήψη ακτινογραφιών όπως ακριβώς και στην Ιατρική και διαχωρίζονται σε αυτές που αποτυπώνουν το αποτέλεσμα είτε σε φιλμ γνωστές ως

Ραδιογραφία, είτε σε άλλο μέσο αποτύπωσης (πχ αποτύπωση σε οθόνη) γνωστή ως Ραδιοσκοπία. Ένας ακόμα διαχωρισμός έχει να κάνει με τη πηγή που γεννά την ακτινοβολία που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση και είναι αυτή που ορίζει και τη μέθοδο. Για το ΜΚΕ ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέθοδος που βασίζεται σε ακτίνες Χ και η μέθοδος που βασίζεται σε ακτίνες γ.

#### **1. Έλεγχος με ακτινοβολία Χ (X-ray)**

Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να βρεθούν ατέλειες και ελαττώματα τόσο στο εσωτερικό όσο και στην επιφάνεια του αντικειμένου που εξετάζεται. Σημαντικό ρόλο στην επιλογή του εξοπλισμού έχει να κάνει το πάχος των αντικειμένων που πρόκειται να εξεταστούν μιας και με όσο μεγαλύτερο πάχος εξετάζουμε, τόσο αδυνατίζει η ακτινοβολία μέσα σε αυτό και επομένως απαιτείται ισχυρότερη πηγή. Για τη δημιουργία αυτής της ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται ειδικές Χ-ray Λυχνίες. Οι λυχνίες αυτές είναι κενές και περιέχουν μία



θερμαινόμενη κάθοδο από την οποία ξεκινάνε επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια και προσκρούουν στην άνοδο η οποία είναι φτιαγμένη από βολφράμιο. Από τη πρόσκρουση αυτή έχουμε τη δημιουργία ακτινοβολίας X-ray την οποία και χρησιμοποιούμε στους ελέγχους μας. Η όλη συσκευή απαιτεί την ύπαρξη καλής ψύξης (λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά τη πρόσκρουση των ηλεκτρονίων) και ειδικών διαφραγμάτων τα οποία καθοδηγούν τις ακτίνες στο σημείο που θέλουμε να εξετάσουμε. Λόγω της επικινδυνότητας που παρουσιάζουν οι ακτίνες X για τον ανθρώπινο οργανισμό (επειδή αλλοιώνουν τα κύτταρα), απαιτείται πολύ καλή εκπαίδευση και ειδική προστασία για τους ελεγκτές που εφαρμόζουν αυτές τις μεθόδους ώστε να μην παρεμβάλλονται ανάμεσα στην πηγή και στο εξεταζόμενο αντικείμενο.

## **2. Έλεγχος με ακτινοβολία γ (Gamma-ray)**

Η βασική διαφορά αυτής της

μεθόδου από την άλλη είναι η πηγή της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται. Στην ακτινοβολία γ χρησιμοποιούνται ραδιοϊσότοπα τα οποία διαφέρουν στην έντασή τους και στο χρόνο ημισείας ζωής (το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να πέσει η έντασή τους στο μισό). Τρία από τα πιο κοινά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι:

- Το Σελήνιο (Se) 75, που έχει χρόνο ημισείας ζωής 120 μέρες
- Το Ιρίδιο (Ir) 192, που έχει χρόνο ημισείας ζωής 75 μέρες
- Το Κοβάλτιο (Co) 60, που έχει χρόνο ημισείας ζωής 5,2 χρόνια

Από αυτά το Σελήνιο έχει την ασθενέστερη ακτινοβολία και η ποιότητα των ακτινογραφιών που λαμβάνονται με αυτό δεν διαφέρουν ιδιαίτερα σε σχέση με τις X-ray, ενώ το Κοβάλτιο έχει την ισχυρότερη και χρησιμοποιείται για τα μεγαλύτερα πάχη.

Αυτό που διακρίνει τη μια πηγή από την άλλη είναι ότι τα ισότοπα δεν μπορούν να σβήσουν όπως μια Λυχνία και επομένως εκπέμπουν

συνεχώς ακτινοβολία. Για αυτό το λόγο απαιτούνται ειδικές διατάξεις φύλαξης και αξιοποίησης αυτών ώστε να αποφεύγεται διαρροή ακτινοβολίας. Επίσης η αγορά του εξοπλισμού και η συντήρηση – διατήρησή του είναι αρκετά πιο πολύπλοκες από ότι στα X-ray.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των παραπάνω μεθόδων είναι ότι μας δίνουν μια ξεκάθαρη εικόνα της κατάστασης του εξεταζόμενου αντικειμένου, ενώ παράλληλα η αποτύπωση σε φιλμ (ή σε κάποιο ψηφιακό μέσο) γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποδεικνύεται η ποιότητα της λήψης και οι συνθήκες που έγινε αυτή και να μην επιδέχεται καμία αμφισβήτηση.

Από την άλλη, το κυριότερο μειονέκτημά τους αποτελεί η επικινδυνότητα που παρουσιάζει η ακτινοβολία για τον ελεγκτή και τους εργαζόμενους, γεγονός που γεννά επιπλέον κόστος όπως εξοπλισμός ασφαλείας και εκπαίδευση εργαζομένων. Επιπλέον μειονεκτήματα είναι ότι υπάρχει όριο στο πάχος του δοκιμίου που μπορούμε



να ελέγξουμε και ότι σφάλματα ειδικής μορφής όπως ρωγμές που είναι παράλληλες με την ακτινοβολία είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν.

#### **Μέθοδοι Βασισμένες στην Ακουστική**

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν τον ήχο, και πιο συγκεκριμένα τους υπέρηχους, ως το μέσο μέτρησης, διάγνωσης και εύρεσης ατελειών έχουν εφαρμογή σε όλα τα αποκαλούμενα ηχοαγωγά υλικά. Η αρχή λειτουργίας είναι αρκετά απλή και

συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι χρησιμοποιούνται αισθητήρες (probes) με δυνατότητα εκπομπής και λήψης υπέρηχων οι οποίοι εισάγουν παλμούς μέσα στο εξεταζόμενο υλικό. Ακριβώς όπως συμβαίνει και με τους ήχους που μπορούμε να ακούσουμε, μόλις κάποιος από τους παλμούς αυτούς βρει κάποιο εμπόδιο το οποίο ιδανικά είναι κάθετο σε αυτόν (πχ την επιφάνεια άλλου μη ηχοαγωγίμου υλικού) ανακλάται προς τα πίσω και ο μετατροπέας που εμπεριέχεται στον αισθητήρα που τον εξέπεμψε τον

μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια και ούτω καθεξής. Με αυτή τη διαδικασία οι συσκευές υπέρηχων μετράνε πρακτικά το χρόνο που χρειάζεται ένας παλμός για να διανύσει την απόσταση από το σημείο που μπαίνει μέχρι το εμπόδιο και έχοντας δεδομένη την ταχύτητα που ταξιδεύει ο ήχος μέσα στο υλικό υπολογίζουν και μας δίνουν την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων. Λόγω του γεγονότος ότι ενδέχεται να υπάρχουν πολλών ειδών ατέλειες, με διάφορα σχήματα, γεωμετρίες και θέση μέσα στα υλικά που εξετάζονται, βρίσκονται στη διάθεση του ελεγκτή πολλών ειδών αισθητήρες οι οποίοι επιλέγονται κατά περίπτωση. Επομένως υπάρχουν οι αισθητήρες ευθείας δέσμης και οι γωνιακοί αισθητήρες οι οποίοι χαρακτηρίζονται από τη γωνία με την οποία ξεκινάει ο παλμός από αυτούς. Σε κάθε περίπτωση και ανεξαρτήτως του τι είδους αισθητήρα χρησιμοποιεί ο ελεγκτής, είναι απαραίτητη η



**ΗσπΗ**  
**Διασποράση**  
Παμπούνας

**Εκδόσεις**  
**ΜΩΥΣΙΑΔΗ**

**Στο τεύχος Μαρτίου - Απριλίου:**  
Ενημερωθείτε για:

- Την κάμψη ελασμάτων - Στράντζα
- Τα βιομηχανικά δάπεδα
- Ποιοτικά συστήματα συγκολλήσεων

χρήση ενός ενδιάμεσου υλικού γνωστού ως couplant (gel, νερό, γράσο, κλπ) το οποίο αντικαθιστά τον αέρα που παρεμβάλλεται μεταξύ του αισθητήρα και του δοκιμίου, διότι αυτός παρουσιάζει μεγάλη ακουστική αντίσταση μην επιτρέποντας την εισαγωγή του παλμού στο υλικό.

### **Κύριες εφαρμογές**

#### **των ΜΚΕ με χρήση υπερήχων είναι:**

1. η εύρεση ατελειών σε συγκολλήσεις μικρών και μεγάλων κατασκευών (σωλήνες, πλάκες, κλπ)
2. η εύρεση εσωτερικών ατελειών σε χυτά (πόροι, κλπ)
3. η μέτρηση πάχους τοιχωμάτων σε σημεία που δεν είναι δυνατή η χρήση των κλασικών οργάνων (παχύμετρα, κλπ)

#### **Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους που έχουν παρόμοιο πεδίο εφαρμογής οι υπέρηχοι πλεονεκτούν**

##### **στο ότι:**

1. δεν παρουσιάζουν κανένα κίνδυνο για το προσωπικό
2. εφαρμόζονται ακόμα και αν το δοκίμιο έχει μεγάλο πάχος
3. εντοπίζουν όλων των ειδών τις ατέλειες
4. δεν αποτελούν ιδιαίτερα δαπανηρή επένδυση, ειδικότερα στα μη αυτόματα συστήματα που έχουν κυρίως πρακτική εφαρμογή στη χώρα μας.

#### **Τα μειονεκτήματα που συναντάμε σε αυτούς είναι ότι:**

1. απαιτείται πολύ καλή εκπαίδευση του προσωπικού για σωστή εφαρμογή της μεθόδου και ερμηνεία των αποτελεσμάτων
2. είναι πιο δύσκολη η αποτύπωση και η αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε σχέση με άλλες μεθόδους
3. απαιτείται χρήση επιπλέον υλικών – αναλωσίμων, όπως ποικιλία αισθητήρων και couplant για την εφαρμογή τους

Σε επόμενα τεύχη θα ακολουθήσουν επιπλέον δημοσιεύσεις σχετικά με τις ΜΚΕ, όπου θα υπάρξει περαιτέρω ανάλυση για κάποιες από τις παραπάνω μεθόδους. Σε αυτές θα γίνει εκτενής παρουσίαση εφαρμογών και συσκευών.

# ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ

## ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

# ΤΕΥΧΟΣ 71