

Θέλω να σας πω ακόμα, ότι υπάρχει μια ειδική σελίδα, στις σημειώσεις που πήρατε, που συμπληρώνεται για τις ερωτήσεις και τις παρεμβάσεις.

Όποιος συνάδελφος έχει να κάνει κάποια παρέμβαση για αργότερα, συγκεκριμένα στο τέλος της τρίτης συ-

νεδρίασης το μεσημέρι, καθώς επίσης και το βράδυ, να συμπληρώσει αυτή τη σελίδα και ας την αφήσει στη γραμματεία έξω, να τις μαζέψουμε όλες μαζί και μια μικρή περίληψη της ερώτησης και της παρέμβασης που θέλει να κάνει.

Θέμα: Ραδιογραφικός έλεγχος και οι εφαρμογές του στην Ελλάδα.

Εισηγητής: **Χ. Γαλατσάνος, ΜΜ.**

1. Εισαγωγή

Ο ραδιογραφικός έλεγχος αποτελεί μια από τις κυριότερες μεθόδους Μ.Κ.Ε. με ευρύτερη εφαρμογή. Χρησιμοποιούνται ακτίνες Χ ή γ για να παραχθεί ραδιογραφία από το ελεγχόμενο αντικείμενο. Επί της ραδιογραφίας αποτυπώνονται μεταβολές πάχους του αντικειμένου, ασυνέχειες (εσωτερικές και εξωτερικές) ή άλλες μεταβολές της δομής του υλικού.

Πλεονεκτήματα από τη χρήση ραδιογραφικού ελέγχου:

- α. Χρησιμοποιείται με πολλά υλικά σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους Μ.Κ.Ε.
- β. Η ραδιογραφία δίνει άμεση οπτική εικόνα, ερμηνεύεται εύκολα και διατηρείται ως αρχείο.
- γ. Αποκαλύπτει εσωτερικά σφάλματα.

Μειονεκτήματα από τη χρήση ραδιογραφικού ελέγχου:

- α. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αντικείμενα πολύπλοκου σχήματος.
- β. Απαιτείται πρόσβαση και από τις δύο πλευρές του ελεγχόμενου αντικειμένου.
- γ. Απαιτούνται αυστηρές διαδικασίες εργασίας για λόγους ακτινοπροστασίας.
- δ. Αναλόγως του είδους και του προσανατολισμού του

σφάλματος υπάρχει κίνδυνος μη εντοπισμού.

Η ραδιογραφία είναι φωτογραφικό αρχείο το οποίο παράγεται όταν ακτινοβολία Χ ή γ διαπεράσει αντικείμενο και προσπέσει επί φιλμ.

Όταν το φιλμ εκτεθεί σε ακτινοβολία Χ ή γ επί της επίστρωσης του φιλμ παράγεται το αφανές είδωλο. Οι εκτεθειμένες περιοχές του φιλμ σκουραίνουν όταν το φιλμ εμβαπτισθεί σε μπάνια κατεργασίας.

2. Ακτινοβολία Χ ή γ

Η απαιτούμενη ακτινοβολία παράγεται από μηχανές ακτίνων Χ από 50 έως 400 ΚΥ (περίπου) ή από ισότοπα Ir-192 και Co-60 (συνήθως).

2.1. Πλεονεκτήματα χρήσεως ακτινοβολίας - γ

- α. Εύκολη εργοταξιακή χρήση διότι δεν απαιτούν σύστημα ψύξης και ηλεκτρική ενέργεια.
- β. Ορισμένα ισότοπα έχουν ακτινοβολία πολύ υψηλής ενέργειας που επιτρέπει τη ραδιογράφιση υλικών μεγάλου πάχους.
- γ. Παράγονται πηγές μικρών διαστάσεων, το οποίο επιτρέπει τη χρήση μικρών αποστάσεων πηγής-φιλμ.

2.2. Μειονεκτήματα χρήσεως ακτινοβολίας

- α. Λόγω της υψηλής ενέργειας των ισοτόπων παράγονται είδωλα με χαμηλή ραδιογραφική αντίθεση, επειδή μειώνεται η αντίθεση του αντικειμένου. Επομένως, παράγονται ραδιογραφίες μικρότερης ευαισθησίας.
- β. Δεν διακόπτεται η εκπομπή ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να απαιτείται συνεχής θωράκιση του ισοτόπου και η αγορά νέου ισοτόπου μετά την εξάντλησή του.
- γ. Δεν ρυθμίζεται η ενέργεια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.

3. Γεωμετρικές αρχές εκθέσεως

Ο τρόπος προετοιμασίας της πηγής ακτινοβολίας του αντικειμένου προς έλεγχο και του φιλμ επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα του ραδιογραφικού ειδώλου.

Κατά την προετοιμασία προς ραδιογράφηση ισχύουν οι παρακάτω απλοί κανόνες:

1. Το σημείο εστίασεως της μηχανής ή το μέγεθος της πηγής γ πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερα. Σημείο εστίασεως μεγάλων διαστάσεων αντέχει μεγαλύτερα θερμικά φορτία, αλλά το παραγόμενο είδωλο δεν έχει την αυτή σαφήνεια με το είδωλο που παράγεται με μικρό σημείο εστίασεως. Αύξηση της απόστασης πηγής-φιλμ συνιστάται όταν χρησιμοποιείται σημείο εστίασεως μεγάλων διαστάσεων. Πάντα συνιστάται η χρήση του μικρότερου επιτρεπτού σημείου εστίασεως.
2. Η απόσταση μεταξύ πηγής ακτινοβολίας και ελεγχόμενου αντικείμενου πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή. Μεγάλες αποστάσεις πηγής-φιλμ πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη ραδιογράφιση υλικών μεγάλου πάχους. Έτσι, ελαχιστοποιείται το γεγονός ότι οι παροχές του αντικείμενου που ευρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από το φιλμ αποτυπώνονται με μικρότερη σαφήνεια από αυτές που ευρίσκονται πλησιέστερα στο φιλμ. Με τη χρήση μεγάλων αποστάσεων πηγής-αντικείμενου ο ραδιογραφικός ορισμός βελτιώνεται και το μέγεθος του ειδώλου πλησιάζει το μέγεθος του αντικείμενου.
3. Το φιλμ πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο ελεγχόμενο αντικείμενο. Στην πράξη η κασέτα του φιλμ σχεδόν πάντα εφάπτεται του αντικείμενου.
4. Η κεντρική ακτίνα της δέσμης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κάθετη στο επίπεδο του φιλμ.
5. Το επίπεδο μεγίστου ενδιαφέροντος του αντικείμενου πρέπει να είναι παράλληλο προς το φιλμ.

4. Το φιλμ

Το φιλμ αποτελείται από πολυεστερική βάση επενδεδυμένη συνήθως και από τις δύο πλευρές. Σκοπός της επίστρωσης με την οποία είναι επενδεδυμένο το φιλμ είναι να συγκρατεί τους κρυστάλλους του βρωμιούχου αργύρου.

Η προσοπίπουσα ακτινοβολία X ή γ διαεισδύει μέσω της

επίστρωσης και της πολυεστερικής βάσεως. Όταν διαπερνά την επίστρωση ιονίζει τους κρυστάλλους του βρωμιούχου αργύρου τους οποίους συναντά, επίσης δημιουργείται και η έμφυτη ασάφεια του ειδώλου.

Όταν το φιλμ υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία το βρώμιο των επηρεασμένων, από την ακτινοβολία, κρυστάλλων του βρωμιούχου αργύρου, καθώς και οι κρυστάλλοι οι οποίοι δεν έχουν επηρεαστεί αφαιρούνται από το φιλμ και παραμένει μόνο ο μαύρος μεταλλικός άργυρος.

Όταν επί του κατεργασμένου φιλμ προσπέσει φως, μέρος του απορροφάται από τον άργυρο, έτσι αποκτάει το φιλμ αμαύρωση και δημιουργείται το είδωλο.

Όσο πιο πολλή ακτινοβολία προσπέσει επί του φιλμ ιονίζονται περισσότεροι κρυστάλλοι, το κατεργασμένο φιλμ θα περιέχει περισσότερο άργυρο και επομένως θα έχει μεγαλύτερη αμαύρωση.

Οι κατασκευαστές των φιλμ καταβάλλουν μεγάλες προσπάθειες για την επίτευξη ομοιομορφίας στους κρυστάλλους του βρωμιούχου αργύρου ως προς το μέγεθός τους και την ομοιομορφία στην κατανομή τους. Τέλεια κατανομή όμως δεν μπορεί να επιτευχθεί. Αυτή η μη τέλεια κατανομή δημιουργεί τους κόκκους του φιλμ. Τα φιλμ με μεγάλες μεταβολές στην κατανομή παρουσιάζουν μεγάλους κόκκους -χοινοτρόκοκκα-. Αυτά τα φιλμ λόγω του μεγέθους του κόκκου τους είναι πιθανόν να μην αποτυπώσουν μικρών διαστάσεων ασυνέχειες του αντικείμενου.

Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση φιλμ με λεπτό κόκκο. Οι κατασκευαστές έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τον κόκκο του φιλμ μειώνοντας τη μέση διάμετρο των κρυστάλλων του βρωμιούχου αργύρου. Με τους κρυστάλλους μικρότερης διαμέτρου όμως, απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός τους για την επίτευξη της αυτής αμαυρώσεως η οποία θα επιτυγχάνετο με κρυστάλλους μεγαλύτερης διαμέτρου. Επομένως, απαιτείται περισσότερος ιονισμός, δηλαδή μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας, η οποία απαιτεί μεγαλύτερη έκθεση.

5. Ποιότητα ραδιογραφικού ειδώλου

Ο σκοπός της ραδιογραφίας είναι ο έλεγχος της ομοιογένειας του αντικείμενου. Η ποιότητα της ραδιογραφίας επομένως εξαρτάται από το μέγεθος και την ευκρίνεια των λεπτομερειών που περιέχονται στο είδωλο του αντικείμενου.

5.1. Ποιότητα ειδώλου

Η ποιότητα ειδώλου είναι ένας γενικός ποιοτικός όρος ο οποίος αναφέρεται στο πλήθος των πληροφοριών που περιέχονται στη ραδιογραφία. Εξαρτάται από το μέγεθος της μικρότερης λεπτομέρειας που περιέχεται και από την ευκολία με την οποία αυτή η λεπτομέρεια γίνεται αντιληπτή.

5.2. Ραδιογραφική αντίθεση

Η ραδιογραφική αντίθεση ορίζεται ως η διαφορά αμαυρώσεως δύο περιοχών μιας ραδιογραφίας. Η ραδιογραφική αντίθεση εξαρτάται από την αντίθεση α-

ντικειμένου και την αντίθεση φιλμ. Η ραδιογραφική αντίθεση επιτρέπει τον εντοπισμό των λεπτομερειών επί του φιλμ λόγω της διαφοράς στην αμαύρωσή τους. Υψηλή ραδιογραφική αντίθεση είναι επιθυμητή έως ένα ορισμένο σημείο. Εάν αυξηθεί υπερβολικά η ραδιογραφική αντίθεση, τα μεγάλα πάχη θα έχουν μικρές αμαυρώσεις μη αποδεκτές, τα δε μικρά πάχη θα έχουν υψηλές αμαυρώσεις μη ελέγξιμες από τα διαφανοσκόπια.

5.3. Ραδιογραφικός ορισμός

Ο ραδιογραφικός ορισμός αναφέρεται στην οξύτητα των ορίων του ειδώλου, των λεπτομερειών που περιέχονται στη ραδιογραφία (η ομαλότητα στα σημεία μεταβολής της αμαύρωσης).

Ο ραδιογραφικός ορισμός εξαρτάται από τους γεωμετρικούς παράγοντες έκθεσης και το μέγεθος κόκκου του φιλμ.

5.4. Αντίθεση αντικειμένου

Αντίθεση αντικειμένου είναι ο λόγος της έντασης δύο ακτινοβολιών οι οποίες διαπερνούν δύο διαφορετικές περιοχές του αντικειμένου.

Η αντίθεση αντικειμένου εξαρτάται από την ομοιομορφία πάχους και σύνθεσης του αντικειμένου, από την ενέργεια της χρησιμοποιηθείσας ακτινοβολίας και από την ένταση της σκεδασμένης ακτινοβολίας. Η αντίθεση αντικειμένου δεν επηρεάζεται από την έκθεση (χρόνο, milliamper, ισχύς πηγής), απόσταση έκθεσης και από την κατεργασία του φιλμ.

Η αντίθεση του αντικειμένου μειώνεται όσο αυξάνεται η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Όσο αυξάνεται η τάση ανόδου ή χρησιμοποιείται ισότοπο υψηλότερης ενέργειας, μειώνεται ο λόγος των εντάσεων των ακτινοβολιών που διαπερνούν διαφορετικές περιοχές του αντικειμένου. Μετά την έκθεση του φιλμ σε ακτινοβολία ομοιόμορφης εντάσεως παράγεται ραδιογραφία με ομοιόμορφη αμαύρωση.

5.5. Αντίθεση φιλμ

Η αντίθεση φιλμ αναφέρεται στην κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης του φιλμ (έχει γίνει αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο). Γενικώς η αντίθεση του φιλμ αυξάνεται αναλόγως της αμαύρωσης του φιλμ στην περιοχή χρήσιμης αμαύρωσης του φιλμ. Για τα φιλμ τα οποία παρουσιάζουν την επιθυμητή αύξηση αντίθεσης με την αμαύρωση συνιστάται η χρήση της ανώτερης τιμής αμαύρωσης η οποία επιτρέπεται από το χρησιμοποιούμενο διαφανοσκόπιο.

Η αντίθεση του φιλμ εξαρτάται από την κατεργασία του φιλμ, εντός ορισμένων ορίων, αύξηση των συνθηκών κατεργασίας του φιλμ (χρόνος, θερμοκρασία, ισχύς διαλυμάτων) και αυξάνει την ταχύτητα και την αντίθεση της ραδιογραφίας.

Η αντίθεση του φιλμ εξαρτάται από τις χρησιμοποιούμενες ενισχυτικές επιφάνειες. Η αντίθεση του φιλμ, ουσιαστικά, δεν εξαρτάται από την ενέργεια και την ένταση της ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει επί του φιλμ.

5.6. Γεωμετρικοί παράγοντες

Έχουν ήδη αναπτυχθεί.

6. Αξιολόγηση ραδιογραφιών

Η αξιολόγηση των ραδιογραφιών αποτελεί το τελευταίο στάδιο του ραδιογραφικού ελέγχου. Για την αξιολόγηση απαιτείται μεγάλη εμπειρία, στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται βασικές αρχές αξιολόγησης ραδιογραφιών.

Ραδιογραφία προς αξιολόγηση πρέπει να δίνει τη δυνατότητα για πλήρη αναγνωρισιμότητα της ραδιογραφίας και του ελεγχόμενου τεμαχίου, οι απαιτούμενες διαστάσεις του διεισδυτόμετρου να είναι ορατές, η τεχνική εκθέσεως να είναι ικανοποιητική και τα φιλμ να έχουν υποστεί την απαιτούμενη κατεργασία.

Προ του ελέγχου ο αξιολογητής πρέπει να έχει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για τη διαδικασία εκθέσεως και συγκολλήσεως. Ως ελάχιστο συνιστάται η ύπαρξη των κατωτέρω πληροφοριών:

- α) KV για ακτίνες X, ισότοπο για ακτίνες γ
- β) mA για ακτίνες X, curies για ακτίνες γ
- γ) Μέγεθος σημείου εστίασεως για ακτίνες X, μέγεθος πηγής για ακτίνες γ
- δ) Χρόνος έκθεσης
- στ) Απόσταση πηγής φιλμ
- ζ) Είδος και πάχος ενισχυτικών επιφανειών
- η) Περιγραφή χρησιμοποιούμενων φίλτρων
- θ) Διεύθυνση έκθεσης
- ι) Τύπος διεισδυτόμετρου
- ια) Περιγραφή ελεγχόμενου τεμαχίου
- ιβ) Διαδικασία συγκόλλησης ή άλλη διαδικασία παραγωγής.

Τα ανωτέρω στοιχεία, καθώς και τα απαιτούμενα στοιχεία επί της αναφοράς ραδιογραφικών ελέγχων πρέπει να ορίζονται από την προδιαγραφή ελέγχου.

Ο αξιολογητής, μετά την επεξεργασία των ως άνω πληροφοριών, ενεργεί ως ακολούθως:

- α) αξιολογεί την ποιότητα του ραδιογραφικού ειδώλου
- β) εξετάζει το είδωλο για τον εντοπισμό του είδους και του μεγέθους υπαρχουσών ασυνεχειών.
- γ) αξιολογεί τις υπάρχουσες ασυνέχειες βάσει των απαιτήσεων των σχετικών προδιαγραφών.
- δ) κάνει γραπτή αναφορά για τα αποτελέσματα, με όλα τα στοιχεία του ελέγχου.

Η δυνατότητα αναγνώρισης της ραδιογραφίας σε σχέση με το ελεγχόμενο τεμάχιο και την ακριβή περιοχή ελέγχου είναι απαραίτητη και για τη δημιουργία των αρχείων ελέγχου.

Μη αποδεκτές ραδιογραφίες ως προς την ποιότητα του ειδώλου πρέπει να δίνονται προς επανέκθεση. Η αξιολόγηση ασυνεχειών από μη αποδεκτή ραδιογραφία δεν είναι επιτρεπτή.

7. Εφαρμογές του ραδιογραφικού ελέγχου

– Έλεγχος συγκολλήσεων σε διυλιστήρια, ναυπηγεία και άλλες μεταλλικές κατασκευές.

- Έλεγχος χυτών για να διαπιστωθεί η ομοιογένειά των.
- Έλεγχος σιδήρων τα οποία περιέχονται σε κατασκευές με μπετόν.
- Έλεγχος των συρμάτων που περιέχονται στα ελαστικά αυτοκινήτων.
- Έλεγχος της ομοιογένειας της εκρηκτικής ύλης σε οβίδες.

Πρόεδρος: Ευχαριστούμε το συνάδελφο Γαλατσάνο. Και θα ήθελα να καλέσω το συνάδελφο Τσιρώνη, διδάκτορα μηχανολόγο μηχανικό, καθηγητή της Σχολής Ικάρων.

Θα μας παρουσιάσει εισήγηση με θέμα: «Εφαρμογές υπερήχων για την εύρεση επιφανειακών ρωγμών με τη βοήθεια των κυμάτων Rayleigh».

Θέμα: Εφαρμογές υπερήχων για την εύρεση επιφανειακών ρωγμών με τη βοήθεια των κυμάτων Rayleigh.

Εισηγητής: Ι. Τσιρώνης, δρ ΜΜ, καθηγητής Σχολής Ικάρων.

Συμβολισμοί

A_R συντελεστής ανακλάσεως
 A_T συντελεστής μεταδόσεως
 c ταχύτητα μετάδοσης κυμάτων στο εξεταζόμενο υλικό (με δείκτες L, R, T)
 d μήκος ρωγμής
 f συχνότητα
 L διαμήκη κύματα
 R κύματα Rayleigh
 T εγκάρσια κύματα
 λ μήκος κύματος $\lambda = c/f$
 ν λόγος Poisson

1. Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι η εφαρμογή των συγχρόνων μεθόδων σχεδιασμού, συντήρησης και επέκτασης της ζωής των κατασκευών εξαρτάται από την ανάπτυξη αξιόπιστων μεθόδων ποσοτικού μη καταστροφικού ελέγχου και αξιολόγησης (QNDE: Quantitative Non-Destructive Evaluation Methods) [1, 9, 14, 18, 19, 22]. Η εξέταση με υπερήχους είναι μια κατάλληλη μέθοδος ποσοτικής αξιολόγησης των ατελειών του υλικού, και ειδικότερα των ρωγμών. Τα αποτελέσματα μπορούν να αποτελέσουν τη βάση της μελέτης της ατομικής και της απομένουσας ζωής του στοιχείου με

βάση τις μεθόδους της Μηχανικής Θραύσης και της θεωρίας της Κόπωσης.

Κατά την εξέταση ενός υλικού με υπερήχους, ο σκοπός είναι να βρεθεί το μήκος της ρωγμής, ο προσανατολισμός και το σχήμα της και τελικά το βάθος της ρωγμής κάτω από την επιφάνεια του υλικού, το οποίο φυσικά δεν είναι απαραίτητο να ταυτίζεται με το μήκος της στην περίπτωση μη καθέτων στην επιφάνεια ρωγμών [2, 4, 10, 20]. Ένα χρήσιμο μέγεθος γι' αυτό το σκοπό, πέρα από τις κλασικές μεθόδους μέτρησης του χρόνου διαδρομής του κύματος, είναι ο ποσοτικός χαρακτηρισμός της ρωγμής συναρτήσει του συντελεστή ανακλάσεως αυτής. Το πρόβλημα αυτό, πολλές φορές καλούμενο ως το «αντίστροφο πρόβλημα», έχει ήδη βρει εφαρμογή στα radars και sonars, και ήδη χρησιμοποιείται στο μη καταστροφικό έλεγχο [17, 21].

Η χρησιμοποίηση των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh για την εξέταση ρωγμών με υπερήχους είναι ιδιαίτερα ελκυστική. Αυτά έχουν την ιδιότητα να διεισδύουν ελάχιστα μέσα στο υλικό (περίπου 1,5 μήκη κύματος) και να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς αξιόλογη μείωση του πλάτους τους και διάχυση της ενέργειάς τους. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός της αξιοποίησης των κυμάτων Rayleigh για το