

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ



ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑ ΥΓΡΑ

Δρ. Βουλγαράκη Χαριτίνη

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
&
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2016



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	3
1.1. Οπτική Οξύτητα	3
1.2. Βασικές Εφαρμογές των Διεισδυτικών Υγρών	5
1.3. Μορφή Ασυνέχειας	6
1.4. Διεισδυτικά Υλικά	6
1.5. Μέθοδος Απομάκρυνσης Διεισδυτή	7
1.6. Εμφανιστής	8
1.7. Βασικά Βήματα Εφαρμογής της Μεθόδου	8
1.8. Αναλυτική Περιγραφή των Απαραίτητων Διαδικασιών για την Επιθεώρηση με Διεισδυτικά Υγρά	12
1.9. Βιβλιογραφικές Αναφορές	12

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΗ...



1. Εισαγωγή

Το πλεονέκτημα χρήσης των διεισδυτικών υγρών είναι η βοήθεια που προσφέρουν στον οπτικό έλεγχο που κάνει τις ασυνέχειες εύκολα ορατές στον επιθεωρητή. Η μέθοδος παράγει μια ασυνέχεια πολύ μεγαλύτερη και ευκολότερα ανιχνεύσιμη στο μάτι σε σχέση με την ίδια την ασυνέχεια. Πολλές ασυνέχειες είναι πολύ μικρές ή έχουν στενό άνοιγμα που τις περισσότερες φορές είναι μη ανιχνεύσιμες με γυμνό μάτι. Χάρη στα φυσικά χαρακτηριστικά του ματιού, υπάρχει ένα όριο κάτω από το οποίο τα αντικείμενα δεν είναι ορατά. Το όριο αυτό είναι περίπου στις 0.003 ίντσες για κάποιον που έχει άριστη όραση 20/20. Επίσης, τα διεισδυτικά υγρά βελτιώνουν την ανίχνευση των ασυνεχειών, καθώς αυξάνουν την οπτική αντίθεση ανάμεσα στην ασυνέχεια και το φόντο. Συνήθως χρησιμοποιείται κόκκινο χρώμα στα διεισδυτικά υγρά που δίνει τη μέγιστη αντίθεση με το λευκό εμφανιστή. Επομένως, ο εμφανιστής συμβάλλει στην αύξηση του επιπέδου της οπτικής αντίθεσης και συγχρόνως αποδεδειγμένα το παγιδευμένο διεισδυτικό υγρό που έχει εγκλωβιστεί μέσα στην ασυνέχεια. Όταν διεξάγεται έλεγχος με φθορίζοντα διεισδυτικά υγρά, τότε φθορίζουν και δίνουν φως σε όλο το μήκος της ασυνέχειας. Επισημαίνεται ότι το μάτι είναι πιο ευαίσθητο σε συνθήκες φθορίζοντος φωτισμού.



Εικόνα 1. Επιθέωση μαγνητικών σωματιδίων.

1.1. Οπτική Οξύτητα

Όταν διεξάγεται ένας οπτικός έλεγχος με διεισδυτικά υγρά, η ευαισθησία και η οπτική αντίθεση είναι κρίσιμα για το μάτι.

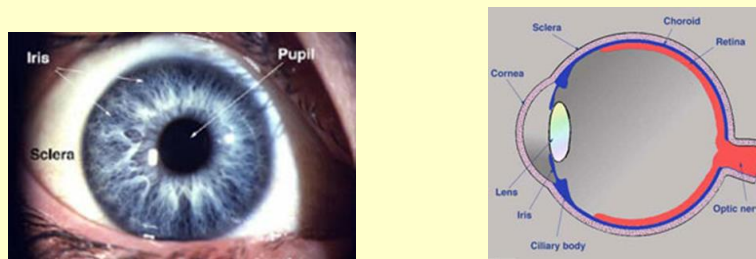
Ως οπτική οξύτητα ορίζεται η ικανότητα του οφθαλμού να διακρίνει (διακριτική ικανότητα) με την καλύτερη δυνατή διαθλαστική διόρθωση (μυωπία, υπερμετρωπία, αστιγματισμός) δύο σημεία στο χώρο σαν ξεχωριστά στη μέγιστη δυνατή απόσταση από αυτόν.

Ο ανθρώπινος οφθαλμός έχει ένα όριο οπτικής οξύτητας κάτω από το οποίο ένα αντικείμενο δεν μπορεί να ανιχνευτεί. Το όριο αυτό ποικίλει από άνθρωπο σε άνθρωπο. Καθώς το φως εισέρχεται στο μάτι μέσω της κόρης, διέρχεται μέσω του

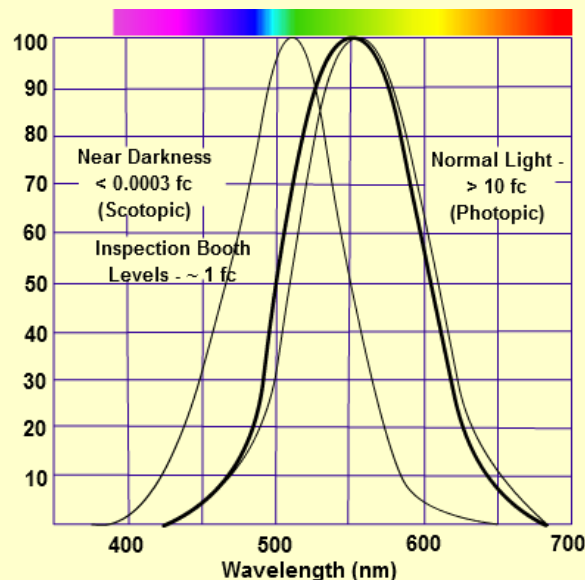


κρυσταλλοειδούς χιτώνα του ματιού και προβάλλεται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα στο πίσω μέρος του ματιού. Οι εξωτερικοί προσοφθαλμιοί μύες μετακινούν το βολβό του ματιού σε τροχιά και επιτρέπουν το είδωλο να εστιαστεί στον κεντρικό αμφιβληστροειδή.

Ο αμφιβληστροειδής είναι ένα μωσαϊκό δύο βασικών ειδών φωτεινών αποδεκτών (φωτοευαίσθητα κύτταρα αμφιβληστροειδούς): τα ροδιά και τα κωνία. Τα ροδιά είναι ευαίσθητα στο μπλέ-πράσινο φως με μέγιστη ευαισθησία στα 498nm μήκος κύματος και χρησιμοποιούνται σε συνθήκες σκοτεινές ή θολές. Υπάρχουν τρία είδη κονίων που δίνουν τη βασική χρωματολογία στην ανθρώπινη όραση: Τα L-κωνία (κόκκινα) με μέγιστη ευαισθησία τα 564 nm, τα M-κωνία (πράσινα) με μέγιστη ευαισθησία τα 533 nm και τα S-κωνία (μπλε) με μέγιστη ευαισθησία τα 437 nm. Οι τρεις καμπύλες στην Εικ.3, δείχνει την ανταπόκριση του ανθρώπινου ματιού σε ποικίλες ποσότητες επαρκούς φωτισμού.



Εικόνα 2. Οφθαλμός



Εικόνα 3. Ανταπόκριση του ανθρώπινου ματιού σε ποικίλες ποσότητες επαρκούς φωτισμού



1.2. Βασικές Εφαρμογές των Διεισδυτικών Υγρών

Τα διεισδυτικά υγρά είναι μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους Μη Καταστροφικού Ελέγχου εξαιτίας της εύκολης σχετικής χρήσης τους. Τα διεισδυτικά μπορούν να επιθεωρήσουν σχεδόν όλα τα υλικά με τη βασική προϋπόθεση να μην έχουν πορώδη ή τραχιά επιφάνεια. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

- Μέταλλα (αλουμίνιο, χαλκός, χάλυβας, τιτάνιο, κ.α.)
- Γυαλί
- Πολλά Κεραμικά Υλικά
- Ελαστικά
- Πλαστικά

Την επιθεώρηση με διεισδυτικά υγρά δεν θα την εφαρμόσουμε στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Στοιχεία με σκληρή επιφάνεια, όπως τα υλικά που προκύπτουν από χύτευση σε άμμο και παγιδεύουν διεισδυτικό υγρό.
- Πορώδη Κεραμικά.
- Υλικά με επικαλύψεις που δεν επιτρέπουν τη διείσδυση και επομένως την ανάδειξη ασυνεχειών.



Εικόνα 4. Οι ενδείξεις των ασυνεχειών γίνονται λιγότερο διακριτές καθώς αυξάνει το επίπεδο “θορύβου”.



1.3. Μορφή Ασυνέχειας

Η φύση της ασυνέχειας επηρεάζει πάρα πολύ την ευαισθησία των διεισδυτικών υγρών. Ευαισθησία χαρακτηρίζεται η μικρότερη ασυνέχεια που μπορεί να ανιχνευτεί με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Το μήκος της ρωγμής σε μια επιφάνεια ενός δοκιμίου μπορεί να καθορίσει το ακριβές μέγεθος της ασυνέχειας. Σίγουρα το μήκος της ρωγμής παίζει ρόλο στην ευαισθησία της μεθόδου αλλά δε διασφαλίζει αν αυτή η ασυνέχεια θα ανιχνευτεί ή όχι. Ο όγκος της ασυνέχειας είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας καθώς η ασυνέχεια πρέπει να έχει επαρκή όγκο ώστε να εισχωρήσει στο εσωτερικό της αρκετό διεισδυτικό υγρό και κατά την εφαρμογή του εμφανιστή να εξαχθεί επαρκές παγιδευμένο διεισδυτικό υγρό για να γίνει ορατό στο ανθρώπινο μάτι.

- Μικρές στρόγγυλες ασυνέχειες. (Είναι πιο εύκολα ανιχνεύσιμες σε σχέση με τις γραμμικές καθώς μπορούν να παγιδέψουν μεγάλη ποσότητα διεισδυτικού υγρού.)
- Βαθιές ασυνέχειες. (Είναι σχετικά πιο εύκολα ανιχνεύσιμες σε σχέση με τις επιφανειακές, καθώς εγκλωβίζουν περισσότερο διεισδυτικό υγρό και δεν είναι τόσο ευαίσθητες στον καθαρισμό).
- Ασυνέχειες με στενό άνοιγμα. (Υπερτερούν σε σχέση με τις ασυνέχειες με ευρύ άνοιγμα καθώς δεν είναι τόσο ευαίσθητες στον καθαρισμό-χρήση νερού)

1.4. Διεισδυτικά Υλικά

Τα διεισδυτικά υλικά για τη μέγιστη απόδοσή τους πρέπει να:

- Απλώνονται πολύ εύκολα στην επιφάνεια που επιθεωρείται.
- Διεισδύουν στην επιφάνεια και εισχωρούν στις ασυνέχειες με τη μέθοδο των τριχοειδών αγγείων ή άλλων μηχανισμών.
- Παραμένουν στην ασυνέχεια αλλά μετακινούνται εύκολα από την επιφάνεια του δοκιμίου.
- Παραμένουν σε υγρή μορφή ακόμη και κατά τη διαδικασία της “ξήρανσης” για να μπορούν να επιστρέψουν στην επιφάνεια.



- Γίνονται εύκολα διακριτά ώστε να συμβάλλουν στον εύκολο εντοπισμό των ασυνεχειών.

- Δεν πρέπει να είναι επιβλαβή στον επιθεωρητή είτε στην επιφάνεια που θα ελέγχουν.

Τα διεισδυτικά υγρά είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να παράγουν μια ποικιλία από επίπεδα ευαισθησίας. Όσο υψηλότερό είναι το επίπεδο ευαισθησίας, τόσο μικρότερο είναι και το μέγεθος της ασυνέχειας που μπορεί να ανιχνευθεί.

Τα τέσσερα επίπεδα έλεγχου είναι:

Level 4 – Πολύ Υψηλή Ευαισθησία

Level 3 – Υψηλή Ευαισθησία

Level 2 – Μέτρια Ευαισθησία

Level 1 – Χαμηλή Ευαισθησία

Ένας διεισδυτής χρειάζεται να επιλεγεί ώστε να μπορεί να εντοπίζει τις ασυνέχειες αλλά να μην παράγει πολλές μη σχετικές ενδείξεις.

Η επιθεώρηση μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας Ορατά (TYPE II) ή Φθορίζοντα (TYPE I) διεισδυτικά υγρά. Τα φθορίζοντα απαιτούν τη χρήση υπεριώδους φωτός σε σκοτεινή περιοχή. Τα φθορίζοντα είναι πιο ευαίσθητα από τα οπτικά καθώς το μάτι είναι πιο ευαίσθητο σε μια φωτεινή ένδειξη στο σκοτάδι. Η ευαισθησία ποικίλει από 1 έως 4.

1.5. Μέθοδος Απομάκρυνσης Διεισδυτή

Τα διεισδυτικά ταξινομούνται ανάλογα με τη μέθοδο απομάκρυνσής τους.

- Water Washable, όταν τα διεισδυτικά απομακρύνονται με τη χρήση νερού. Είναι πολύ εύκολα στην εφαρμογή τους και τα πιο οικονομικά στην επιθεώρηση μεγάλων περιοχών. (Μέθοδος Α)

- Solvent Removable, όταν τα διεισδυτικά απομακρύνονται με τη χρήση πανιού με διαλύτη πάνω τους. (Μέθοδος C)

- Post-Emulsifiable, όταν τα διεισδυτικά απαιτούν μια αντίδραση με ειδικό γαλάκτωμα και στη συνέχεια πλύση με νερό. Ο γαλακτωματοποιητής δίνει



χρόνο στο να αντιδράσει με το διεισδυτή αλλά δεν επιτρέπει τη δέσμευση του διεισδυτή μέσα στην ασυνέχεια. (Μέθοδος B, Lipophilic & D, Hydrophilic)

1.6. Εμφανιστής

•Ο ρόλος του εμφανιστή είναι να παγιδέψει το διεισδυτικό υγρό στην ασυνέχεια και να το βγάλει στην επιφάνεια ώστε η ασυνέχεια να γίνει ορατή. Επίσης, αυξάνει την οπτική αντίθεση.

- Σκόνη, Dry Powder η οποία παράγει πολύ ξεκάθαρες ενδείξεις.

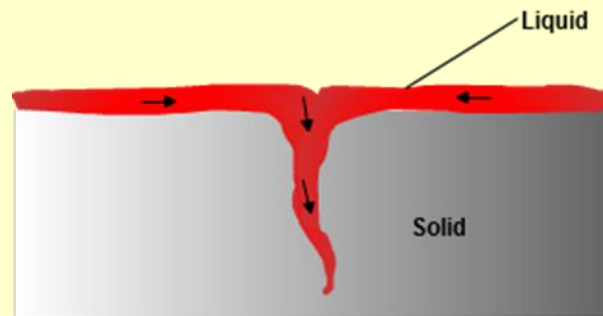
•Υγρός, Water Suspendable είναι μια σκόνη που διαλύεται στο νερό και καλύπτει την επιφάνεια με ένα σχετικά ανομοιόμορφο στρώμα εμφανιστή, όταν το νερό εξατμίζεται. Δεν μπορεί να διατηρηθεί για πολύ ώρα η ένδειξη καθώς η σκόνη με το πέρασμα του χρόνου διαλύεται.

•Υγρός, Water Soluble είναι μια κρυσταλλική σκόνη που αναμυγνύεται με το νερό. Όταν το νερό εξατμίζεται επανα-κρυσταλλώνεται. Οι ενδείξεις πολλές φορές δεν είναι τόσο ξεκάθαρες. Δεν συνιστώνται στη χρήση σε συνδυασμό με το water-washable διεισδυτή.

•Υγρός, Non-Aqueous – σε μορφή spray. Είναι ο πιο ευαίσθητος εμφανιστής για ανίχνευση μικρών περιοχών. Είναι ακριβός και εφαρμόζεται δύσκολα σε μεγάλες επιφάνειες.

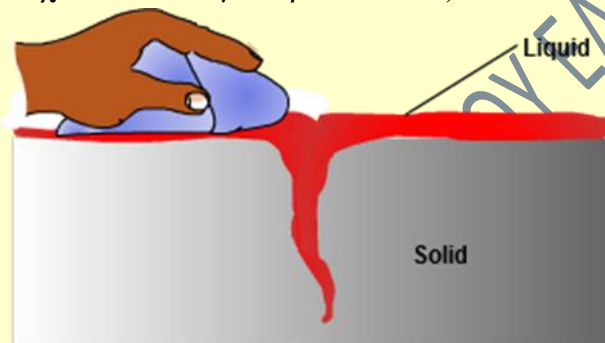
1.7. Βασικά Βήματα Εφαρμογής της Μεθόδου

- **Προετοιμασία επιφάνειας:** Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα στη χρήση των διεισδυτικών υγρών είναι ο καθαρισμός της επιφάνειας που θα ελεγχθεί. Η επιφάνεια θα είναι ελεύθερη από λάδι, γράσο, νερό ή οποιοδήποτε άλλο υλικό που μπορεί να εμποδίσει το διεισδυτικό υγρό να εισέρθει μέσα σε πιθανές ασυνέχειες. Τα κομμάτια πρέπει να είναι απαλλαγμένα από σκόνη, λάδι, γράσο ώστε να διεξαχθεί μια αξιόπιστη επιθεώρηση. Η διαδικασία καθαρισμού απομακρύνει τις τυχόν ακαθαρσίες χωρίς να “ταπώνει” τις ασυνέχειες. Μερικές διαδικασίες, όπως το φινίρισμα, μπορεί να δημιουργήσουν λεπτό μεταλλικό στρώμα στην επιφάνεια και εμποδίζουν το διεισδυτή να εισέρθει στις τυχόν ασυνέχειες. Το δοκίμιο μπορεί να χρειαστεί εγχάραξη εάν έχει προϋπάρξει μηχανουργική κατεργασία, χύτευση, κ.α., καθώς επηρεάζεται η επιφάνεια και μπορεί να καλυφθεί η πιθανή ανοιχτή ασυνέχεια και να μην μπορεί να διεισδύσει το διεισδυτικό υγρό.

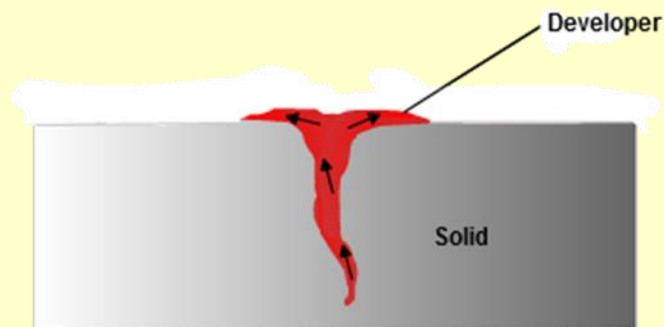


- **Εφαρμογή Διεισδυτή:** Όταν η επιφάνεια έχει καθαριστεί καλά και ξηραθεί, το διεισδυτικό υγρό εφαρμόζεται σε διάφορες μορφές (spray, βούρτσισμα ή βύθιση).
- **Παραμονή του Διεισδυτή:** Ο διεισδυτής μένει στην επιφάνεια για επαρκή χρόνο ώστε να επιτρέψει όσο το δυνατόν περισσότερο τη διείσδυση στο εσωτερικό της ασυνέχειας. Ο χρόνος που απαιτείται είναι ο συνολικός χρόνος που παραμένει ο διεισδυτής στην επιφάνεια. Οι χρόνοι αυτοί είναι προτεινόμενοι από τους κατασκευαστές. Ο χρόνος ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή, τα διεισδυτικά υγρά που θα χρησιμοποιήσουμε, το υλικό του δοκιμίου που θα επιθεωρήσουμε. Οι ελάχιστοι χρόνοι που παραμένουν τα διεισδυτικά υγρά είναι από 5 έως 60 λεπτά. Γενικά, δεν είναι επιβλαβές να παρατείνουμε το χρόνο παραμονής του διεισδυτικού αρκεί να μην επιτρέψουμε την ξήρανση του διεισδυτή. Ο ιδανικός χρόνος παραμονής καθορίζεται από την εμπειρία και επίσης εξαρτάται και από το είδος της εφαρμογής.
- **Απομάκρυνση του επιπλέον διεισδυτή:** Αυτό αποτελεί το πιο ευαίσθητο μέρος της επιθεώρησης καθώς με την μετακίνηση του επιπλέον διεισδυτικού υγρού από την επιφάνεια μετακινείται και μικρή ποσότητα διεισδυτικού από πιθανές ασυνέχειες. Ανάλογα με το διεισδυτή, η μετακίνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με καθαριστικό ή με χρήση νερού ή με γαλακτοποιητή και στη συνέχεια με νερό. Η τεχνική απομάκρυνσης εξαρτάται από το είδος του διεισδυτή που χρησιμοποιείται και επομένως οι αντίστοιχες ονομασίες είναι:
 1. Solvent Removable (Το υλικό σκουπίζεται με ένα στεγνό πανάκι το οποίο νωρίτερα έχει ψεκαστεί με διαλύτη. Απαιτείται κάποιος συγκεκριμένος χρόνος για να δράσει ο διαλύτης.)

2. Water Washable (Η διαδικασία αυτή απαιτεί το νερό να έχει μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (περίπου 50-100°F) και πίεση (τυπικά όχι πάνω από 40 psi), κ.α.)
3. Post Emulsifiable (Για την απομάκρυνση του πλεονάζοντα διεισδυτικού υγρού από την ασυνέχεια, χρησιμοποιείται ο γαλακτωματοποιητής. Αυτό περιλαμβάνει ένα επιπλέον βήμα όπου ο γαλακτωματοποιητής εφαρμόζεται στην επιφάνεια του δοκιμίου μετά το πέρασμα του απαραίτητου χρόνου για τη δράση του διεισδυτή. Ο γαλακτωματοποιητής εφαρμόζεται ώστε να αντιδράσει με το διεισδυτή στην επιφάνεια, αλλά ο χρόνος αυτός δεν είναι αρκετός για να εισέρθει μέσα στην ασυνέχεια και να εγκλωβιστεί εκεί.)



- **Εφαρμογή εμφανιστή:** Ένα λεπτό στρώμα εμφανιστή εφαρμόζεται στο δοκίμιο όπου θα εμφανίσει την πιθανή ασυνέχεια αποδεδειγμένα το παγιδευμένο υγρό του διεισδυτή και αναδεικνύοντας στην επιφάνεια την ασυνέχεια. Η μέθοδος του εμφανιστή είναι άμεσα συνυφασμένη με τον τύπο του εμφανιστή που θα χρησιμοποιηθεί. Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:
 1. Dry (Ξηρή). Πριν την εφαρμογή του το υλικό πρέπει να το στεγνώσουμε. Στη συνέχεια θα βυθίσουμε το υλικό στον εμφανιστή.
 2. Wet (Υγρή). Οι εμφανιστές αυτοί εφαρμόζονται είτε με τη βύθιση του αντικειμένου μέσα σε αυτούς είτε με ψεκασμό καθώς το υλικό είναι ακόμη βρεγμένο από τη διαδικασία απομάκρυνσης του διεισδυτή. Στη συνέχεια στεγνώνουμε το δοκίμιο.
 3. Nonaqueous Wet (Μη Υγρή Μέθοδος). Ο εμφανιστής Nonaqueous εφαρμόζεται με ένα spray σε ένα στεγνό δοκίμιο. Μια λεπτή επικάλυψη πρέπει να χρησιμοποιηθεί, η οποία πρέπει να είναι άσπρη, ελαφρώς διάφανη όταν χρησιμοποιούνται τα οπτικά και ακόμη λεπτότερη όταν χρησιμοποιούνται φθορίζοντα διεισδυτικά.



- **Ένδειξη Ασυνέχειας:** Ο εμφανιστής παραμένει στην επιφάνεια ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της τάξεως των 10 λεπτών περίπου, ώστε να επιτρέψει την εξαγωγή του εγκλωβισμένου διεισδυτικού υγρού από τις επιφανειακές ασυνέχειες. Σε μερικές περιπτώσεις ο χρόνος που απαιτείται μπορεί να είναι και μεγαλύτερος των 10 λεπτών.
- **Επιθεώρηση:** Ο επιθεωρητής, αξιολογεί τις ενδείξεις. Διάκριση σχετικής-μη σχετικής ασυνέχειας. Η επιθεώρηση πραγματοποιείται σε κατάλληλο φωτισμό ώστε να αξιολογηθούν όλες οι ενδείξεις από πιθανές ασυνέχειες. Στη συνέχεια με κριτήρια αποδοχής/ απόρριψης καθορίζει το αν μια ασυνέχεια είναι αποδεκτή και στη συνέχεια προσπαθεί να καθορίσει την ασυνέχεια (όρια, θέση, διαστάσεις). Ένα πολύ σημαντικό βήμα στην αξιολόγηση είναι η αποτύπωση του ελεγχόμενου αντικειμένου και η λεπτομερής αναφορά και καταγραφή της κατάστασής του σε τεχνικό έντυπο. Σημειώνεται ότι η επιθεώρηση γίνεται με φορητό ή στάσιμο εξοπλισμό.
- **Καθαρισμός Επιφανείας:** Το τελικό βήμα στη διαδικασία είναι ο λεπτομερής καθαρισμός της επιφάνειας του υπό –εξέταση δοκιμίου για την απομάκρυνση του εμφανιστή και διεισδυτή. Τα εναπομείναντα υλικά μπορούν να επηρεάσουν την οπτική εμφάνιση του υλικού και τη χρήση του.



1.8. Αναλυτική Περιγραφή των Απαραίτητων Διαδικασιών για την Επιθεώρηση με Διεισδυτικά Υγρά

Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί της Μεθόδου

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των διεισδυτικών υγρών είναι:

- Σχετικά Εύκολα στη Χρήση.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές περιπτώσεις μετάλλου.
- Μεγάλες περιοχές μπορεί να ελεγχθούν γρήγορα και σε χαμηλό κόστος.
- Πολύπλοκα σχήματα ελέγχονται με τη μέθοδο αυτή.
- Οι ενδείξεις εμφανίζονται κατευθείαν στην επιφάνεια σχηματίζοντας μια οπτική εικόνα ασυνέχειας.
- Χαμηλό κόστος εξοπλισμού.
- Φορητότητα εξοπλισμού.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης των διεισδυτικών υγρών, τα οποία περιορίζουν την εφαρμογή της μεθόδου είναι:

- Ανίχνευση μόνο επιφανειακών ασυνεχειών,
- Απαιτείται σχετικά μαλακά, μη πορώδη υλικά.
- Ο προκαθαρισμός είναι Κρίσιμος.
- Πρέπει να τηρηθεί σωστά η διαδικασία ελέγχου.
- Πρέπει να δίνεται Προσοχή στις Προδιαγραφές των Χημικών.
- Ο μετά-Καθαρισμός είναι απαραίτητος για τη μετακίνηση των χημικών.

1.9.Βιβλιογραφικές Αναφορές

Όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές στα Μαγνητικά Σωματίδια είναι από το www.nde-ed.org και από το βιβλίο:

Hellier C., “Handbook of Non Destructive Evaluation”, McGRAW-HILL, 2013.