



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ – ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ»

«Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος ποιότητας υλικών»

Δρ. Νεκτάριος Κ. Νασίκας

Επίκουρος Καθηγητής
Τομέας Μαθηματικών και Επιστημών Μηχανικού
Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων

Αθήνα, 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- ✓ Βασικές αρχές της χρήσης ΔΥ και οπτικού ελέγχου
- ✓ Εφαρμογές των αντίστοιχων τεχνικών
- ✓ Παραδείγματα
- ✓ Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Βασικές αρχές

Τα Διεισδυτικά Υγρά (ΔΥ) είναι μια **μη καταστροφική μέθοδος** η οποία βασίζεται στην **οπτική παρατήρηση**. Τα ΔΥ αυξάνουν την πιθανότητα να παρατηρηθούν ενδείξεις επιφανειακής βλάβης οι οποίες θα ήταν αδύνατο να επισημανθούν με το ανθρώπινο μάτι.



Η ρωγμή στο πιάτο της φωτογραφίας είναι δυνατό να παρατηρηθεί λόγω προσρόφησης χρωματισμένου υγρού σε αυτή

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Βασικές αρχές

Η βασική αρχή της μεθόδου των ΔΥ είναι η εφαρμογή ενός υγρού με υψηλή «διαβροχή»

Υψηλή διαβροχή σημαίνει να έχουν την τάση να καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια όταν έρθουν σε επαφή με ένα υλικό.



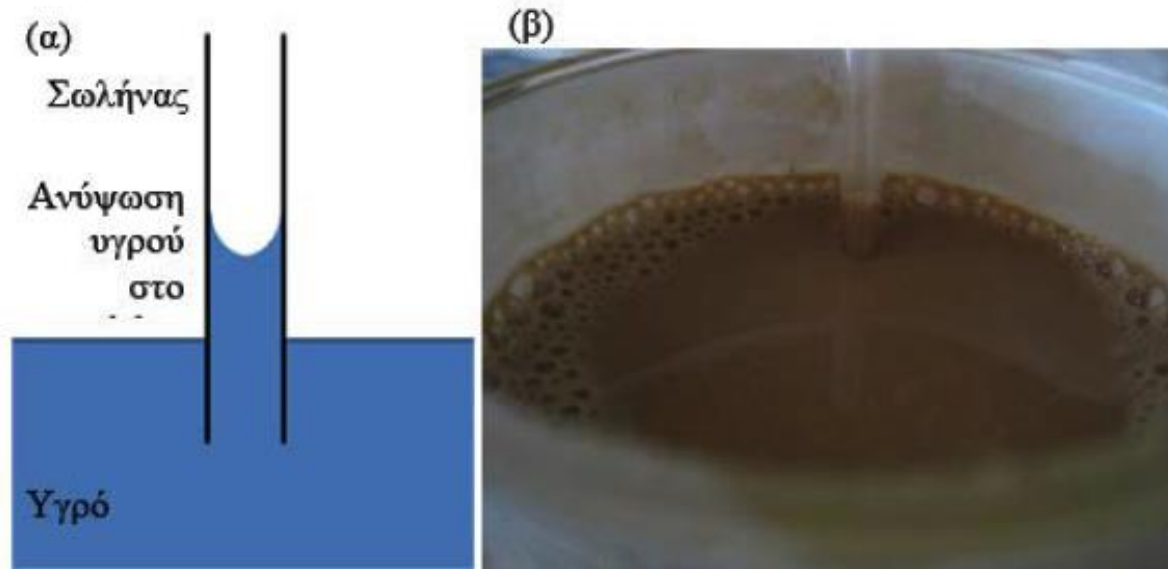
Σχήμα 7.2 Υγρό πάνω σε λεία επιφάνεια (α) υψηλή διαβροχή, (β) χαμηλή διαβροχή.

Για τον έλεγχο με ΔΥ πρέπει να χρησιμοποιούνται λεπτόρρευστα υγρά με υψηλή διαβροχή ώστε να καλύπτουν με ευκολία την επιφάνεια του προς εξέταση αντικειμένου.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Βασικές αρχές

Το φαινόμενο εκείνο το οποίο εκμεταλλεύεται η μέθοδος των ΔΥ είναι αυτό των «τριχοειδών αγγείων». Όταν ένας λεπτός σωλήνας εισέρχεται σε ένα ρευστό, τότε η στάθμη μέσα στο σωλήνα ανεβαίνει υψηλότερα από τη στάθμη έξω από αυτό (Στα παχύρευστα υγρά συμβαίνει στο αντίθετο)



Σχήμα. 7.3 Ανύψωση στάθμης σε λεπτό σωλήνα μέσα σε υγρό. (α) Σχηματική αναπαράσταση, (β) Φωτογραφία από ρόφημα καφέ με «καλαμάκι».

Αυτό καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων συνοχής (μεταξύ των μορίων του υγρού), συνάφειας (μεταξύ των μορίων του υγρού και του στερεού που το περιβάλλει) και την ατμοσφαιρική πίεση.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Καταλληλότητα των υλικών

Υλικά τα οποία μπορούν να ελεγχθούν με ΔΥ είναι σχεδόν όλα όσα έχουν σχετικά λεία επιφάνεια και χαμηλό πορώδες. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κατά κόρον σε μέταλλα.

Υλικά στα οποία δεν ενδείκνυται η χρήση ΔΥ είναι πορώδη κεραμικά, ξύλο και μέταλλα που κατασκευάζονται με χύτευση από άμμο.

Σε αυτά τα υλικά η προσρόφηση του ΔΥ θα γίνει σε πολλά σημεία, λόγω των πόρων και της τραχύτητας με αποτέλεσμα να υπάρξουν λανθασμένα αποτελέσματα.

Επίσης πλαστικά που απορροφούν το ΔΥ ή αντιδρούν με αυτό δεν μπορούν να ελεγχθούν με αυτή τη μέθοδο.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Ιδιότητες ΔΥ και έλεγχος

Τα ΔΥ πρέπει να χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιότητες προκειμένου να χρησιμοποιηθούν:

- ✓ Απλώνονται εύκολα στην επιφάνεια του προς εξέταση υλικού
- ✓ Προσροφώνται εύκολα σε επιφανειακές ρωγμές
- ✓ Παραμένουν σε αυτές αλλά να αφαιρούνται από την υπόλοιπη επιφάνεια
- ✓ Παραμένουν υγρά σε όλη τη διάρκεια του ελέγχου ώστε να μπορούν να προωθηθούν στην επιφάνεια μέσω τριχοειδών φαινομένων
- ✓ Είναι εύκολα οπτικά ανιχνεύσιμα
- ✓ Μην είναι επιβλαβή για το χειριστή και για το προς εξέταση υλικό

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Ιδιότητες ΔΥ και έλεγχος

Υπάρχουν 4 επίπεδα ευαισθησίας της μεθόδου:

Επίπεδο 4- υπερυψηλή ευαισθησία

Επίπεδο 3 – υψηλή ευαισθησία

Επίπεδο 2 – μεσαία ευαισθησία

Επίπεδο 1 – χαμηλή ευαισθησία

Όσο υψηλότερο το επίπεδο τόσο μικρότερο το μέγεθος της ρωγμής που μπορεί να ανιχνευθεί.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Εφαρμογή και τρόποι αφαίρεσης των ΔΥ

Τα ΔΥ κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με τον τρόπο αφαίρεσης της περίσσειας ΔΥ, σε δυο βασικές κατηγορίες:

1. ΔΥ που αφαιρούνται με ειδικό διαλύτη, ο οποίος εμποτίζει ένα ύφασμα με το οποίο καθαρίζεται η επιφάνεια του υλικού. Το ΔΥ που έρχεται σε επαφή με το διαλύτη απομακρύνεται αλλά το ΔΥ που έχει προσροφηθεί μέσα σε ατέλειες, παραμένει εκεί.
2. ΔΥ διαλυτά σε νερό τα οποία αφαιρούνται με απλή πλύση.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Εμφανιστής

Ο ρόλος του εμφανιστή είναι να έλκει το παγιδευμένο ΔΥ έξω από τη ρωγμή και να το απλώνει στην επιφάνεια ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση του. Επίσης παρέχει ένα ανοιχτόχρωμο φόντο για να αυξήσει την οπτική αντίθεση με το χρώμα του ΔΥ. Εμφανιστές μπορεί να υπάρξουν σε διάφορες μορφές:

1. Σκόνη η οποία υγραίνεται και αλλάζει χρώμα όταν έρθει σε επαφή με το ΔΥ υποδεικνύοντας το σημείο της ρωγμής.
2. Αιώρημα σε νερό που καλύπτει την επιφάνεια και αφήνει ομοιόμορφο στρώμα σκόνης όταν το νερό εξατμιστεί
3. Διάλυμα σε νερό όπου όταν το νερό εξατμίζεται παραμένει κρυσταλλική σκόνη
4. Υγρός εμφανιστής σε σπρέι που είναι ο πιο ευαίσθητος και ακριβός για μικρές επιφάνειες.

Διεσδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Βήματα της μεθόδου

Η διαδικασία των ΔΥ πραγματοποιείται μέσω των ακόλουθων βημάτων:

Βήμα 1^ο Καθαρισμός και στέγνωμα της επιφάνειας του προς εξέταση υλικού

Βήμα 2^ο Εφαρμογή του ΔΥ

Βήμα 3^ο Αφαίρεση της περίσσειας του ΔΥ από την επιφάνεια

Βήμα 4^ο Εφαρμογή «εμφανιστή» που χρωματίζεται όταν έρθει σε επαφή με το ΔΥ

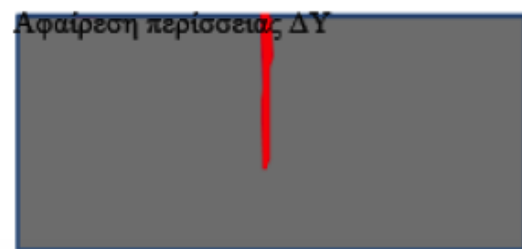
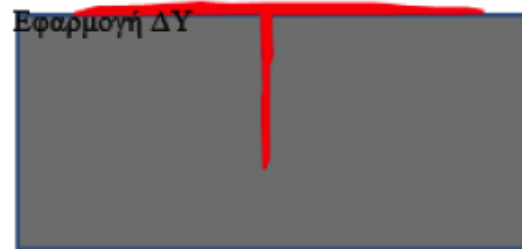
Βήμα 5^ο Οπτική επιθεώρηση του τεμαχίου και απόφαση για την καταλληλότητα χρήσης με βάση τις ενδείξεις βλάβης

Βήμα 6 Καθαρισμός του υλικού

Διεσδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Βήματα της μεθόδου

Επιφανειακή ρωγμή με
μικρό άνοιγμα – μη ορατή
με γυμνό μάτι ?

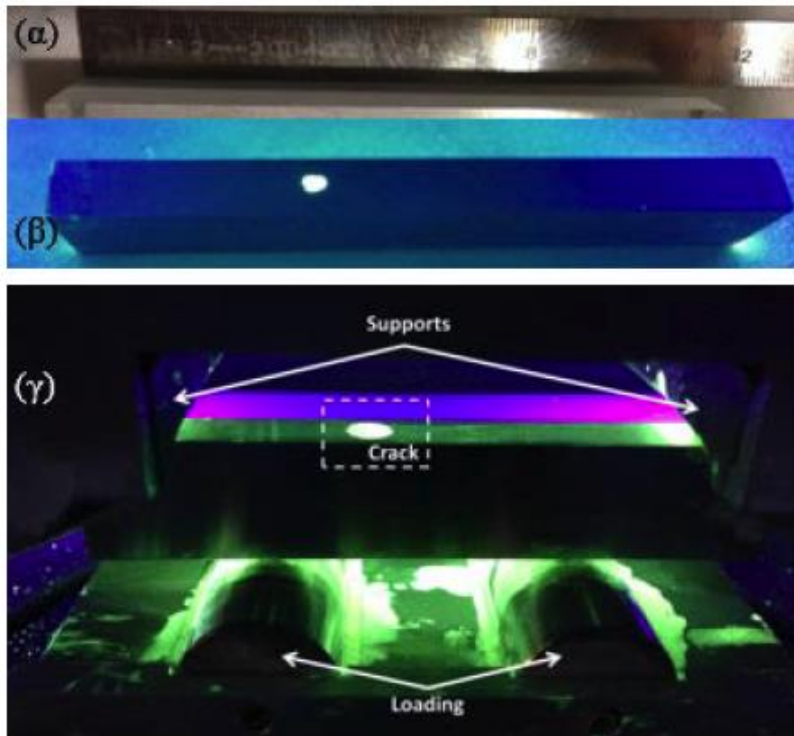


Σημια 7.4 Αναπαράσταση μεθόδου ΔY .

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Εφαρμογές

Παράδειγμα ελέγχου μεταλλικού τεμαχίου με ΔΥ σε υπεριώδες φως, όπου εμφανίζονται ρωγμές λόγω κάμψης

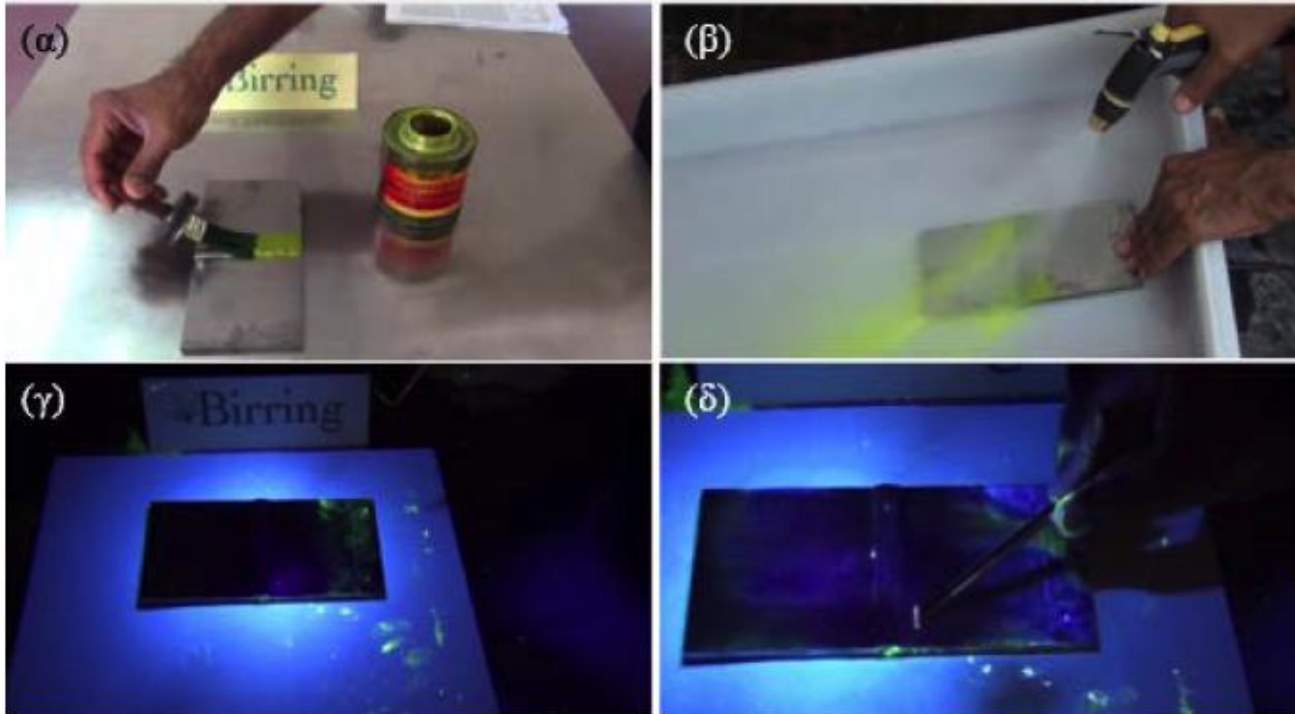


Σχήμα 7.5 Επιφανειακή ρωγμή σε δοκίμιο χάλυβα (α) δύσκολα ορατή σε κανονικό φως, (β) ορατή με τη μέθοδο ΔΥ σε υπεριώδες φως⁶, (γ) ορατή με τη μέθοδο ΔΥ σε υπεριώδες φως υπό εφαρμογή φορτίου⁷.

Διεσδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Εφαρμογές

Παράδειγμα ελέγχου συγκόλλησης μετά την διαδικασία είναι εμφανής μια ρωγμή

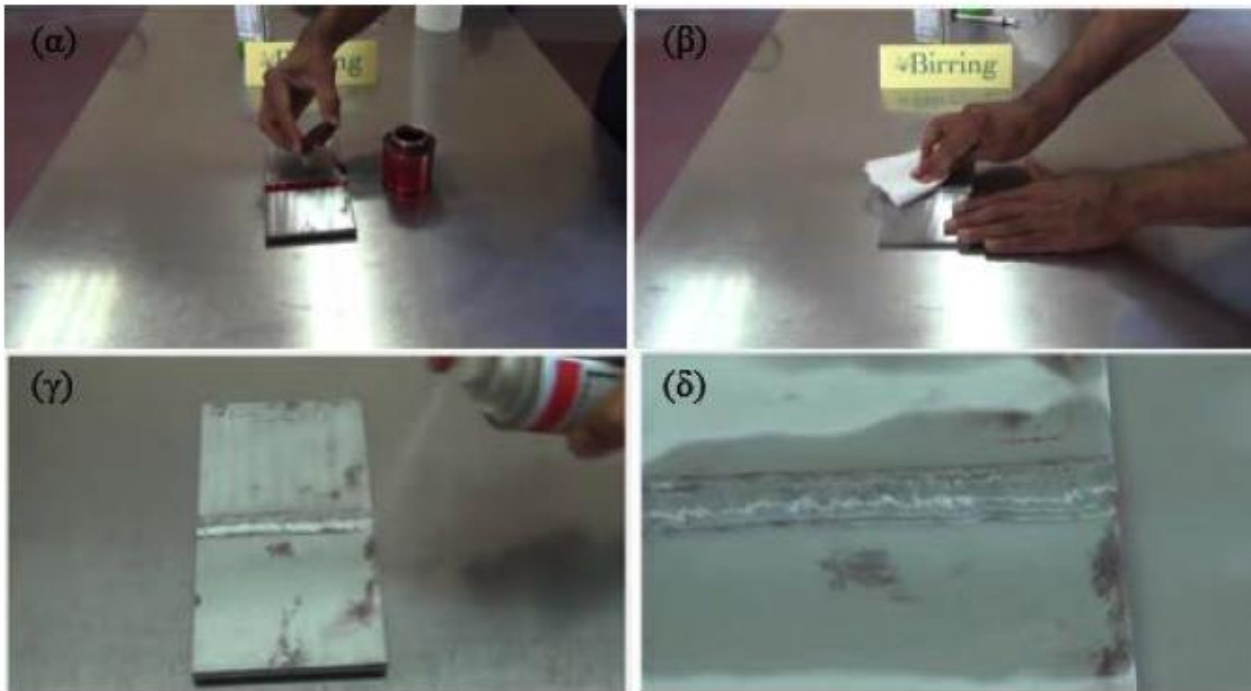


Σχήμα. 7.6 Έλεγχος σε συγκόλληση με υδατοδιαλυτά ΔΥ. (α) Εφαρμογή ΔΥ με βουρτσάκι, (β) ξέπλυμα της περίσσειας με νερό υπό πίεση, (γ) η πλάκα σε υπεριώδες φως, (δ) η πλάκα σε υπεριώδες φως μετά την εφαρμογή developer (Courtesy Birring NDE Center)⁸.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Εφαρμογές

Παράδειγμα ελέγχου συγκόλλησης μετά την διαδικασία είναι εμφανής μια ρωγμή

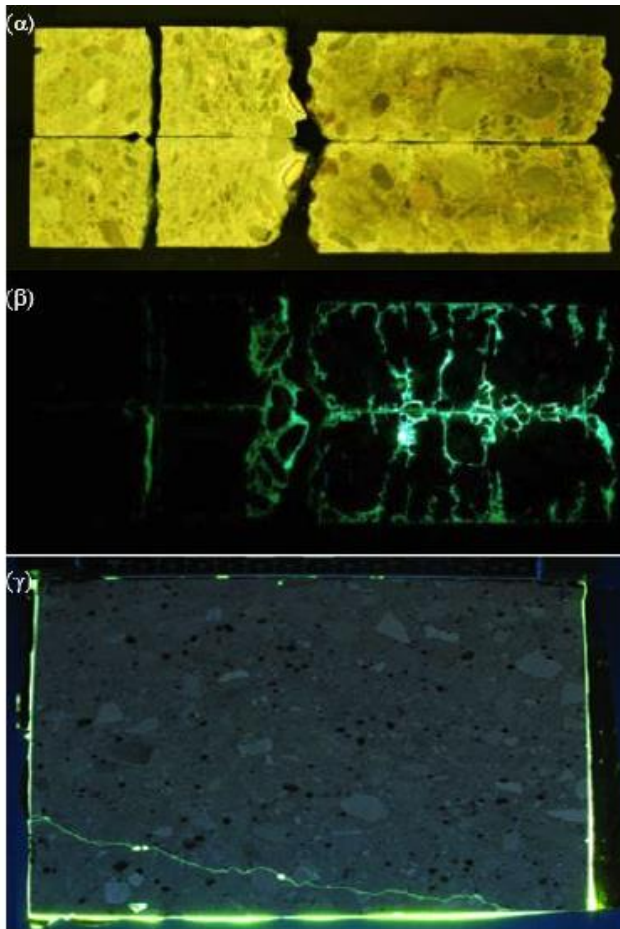


Σχήμα. 7.7 Έλεγχος σε συγκόλληση με ΔΥ. (α) Εφαρμογή ΔΥ με πινέλο, (β) σκούπισμα της περίσσειας ΔΥ με πανί εμποτισμένο με διαλύτη, (γ) ψεκασμός developer, (δ) η οριζόντια ρωγμή πάνω από τη συγκόλληση είναι εμφανής (Courtesy Birring NDE Center) ⁸.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Εφαρμογές

Έλεγχος σκυροδέματος



Σχήμα 7.8 Πορήνες σκυροδέματος σε τομή σε: (α) απλό φως, (β) υπεριώδες φως, όπου το δίκτυο ρωγμών είναι εμφανές⁹, (γ) Τομή πυρήνα σκυροδέματος με διαγώνια ρωγμή σε υπεριώδες φως¹⁰.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Διεισδυτικά Υγρά

Πλεονεκτήματα της μεθόδου

1. Σχετικά απλή εφαρμογή
2. Εφαρμόζεται σε μεγάλο εύρος υλικών
3. Μεγάλες επιφάνειες μπορούν να ελεγχθούν γρήγορα και με χαμηλό κόστος
4. Δεν επηρεάζει η πολύπλοκη γεωμετρία
5. Οι ενδείξεις [παρέχονται ακριβώς εκεί που βρίσκονται οι ρωγμές, χωρίς να χρειάζεται περεταίρω ανάλυση (άμεση οπτικοποίηση της βλάβης)
6. Μικρό κόστος αγοράς εξοπλισμού
7. Φορητή μέθοδος

Διεσδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Διεσδυτικά Υγρά

Μειονεκτήματα της μεθόδου

1. Μόνο για επιφανειακές ατέλειες
2. Χρειάζεται σχετικά λείες και όχι πορώδεις επιφάνειες
3. Χρειάζεται αρχικό καθάρισμα
4. Πολλά βήματα της διαδικασίας υπο καθορισμένες συνθήκες
5. Χρειάζεται και τελικό καθάρισμα

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Οπτικός έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος ΟΕ συνήθως ορίζεται ως η εξέταση ενός υλικού, αντικειμένου ή προϊόντος για εύρεση δομικών ή άλλων σφαλμάτων χρησιμοποιώντας τα μάτια αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με οπτικά βοηθήματα. Πολλές φορές ο ΟΕ περιλαμβάνει τη δόνηση, την ακοή και την αφή ή ακόμα και την όσφρηση του τεμαχίου που ελέγχεται.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του ΟΕ

Ποιότητα του ανιχνευτή (ανθρώπινο μάτι ή κάμερα)

Συνθήκες φωτισμού

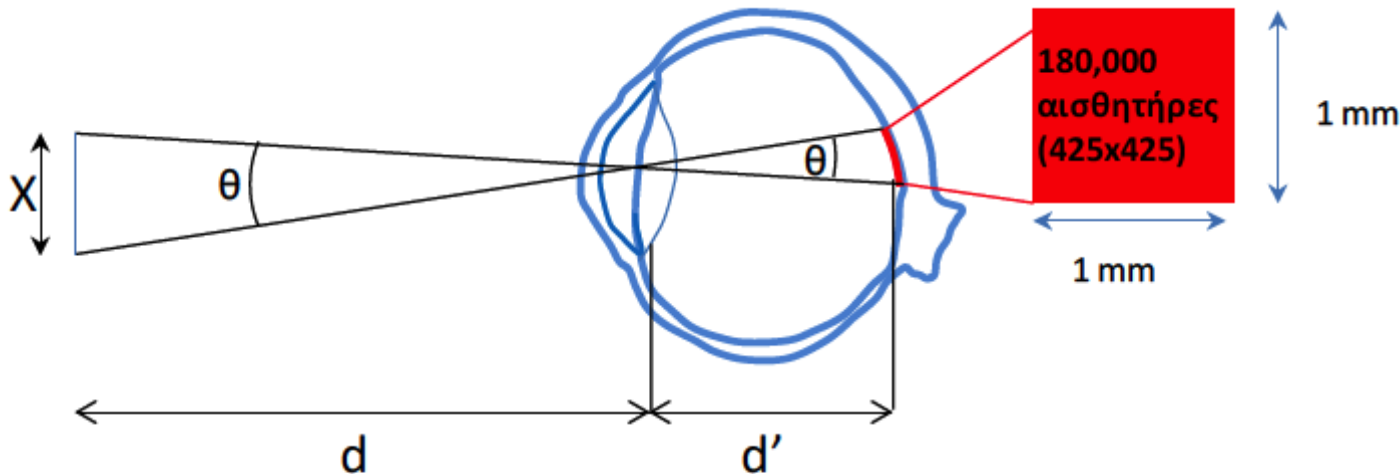
Δυνατότητα επεξεργασίας των οπτικών δεδομένων

Το επίπεδο εκπαίδευσης και η προσοχή στη λεπτομέρεια

Διεσδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Οπτικός έλεγχος

Εφόσον ο οπτικός έλεγχος γίνεται με τα μάτια είναι σκόπιμο να αναλύσουμε την λειτουργία του οφθαλμού.



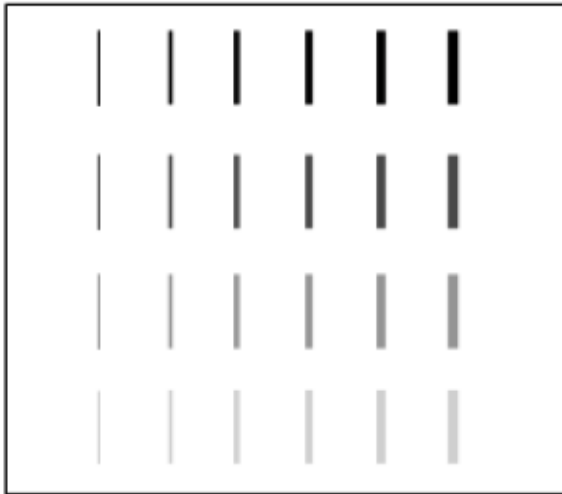
Σχήμα 8.1 Το μέγεθος που γίνεται αντιληπτό από το μάτι μας εξαρτάται από την πυκνότητα των δεκτών και την απόσταση του αντικειμένου.

Το ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να αντιληφθεί ο οφθαλμός εξαρτάται από την απόσταση d μεταξύ σημείου εισόδου και σημείου προβολής. Σε συνθήκες ελέγχου μια άνετη απόσταση είναι γύρω στα 30 cm. Σε αυτή την απόσταση η διακριτική ικανότητα του ματιού μας είναι 90 μm σε καλές συνθήκες φωτισμού και οπτικής αντίθεσης.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Οπτική αντίθεση

Οπτική αντίθεση (contrast) είναι ένα μέτρο του πόσο ξεχωρισμένο ή μη μπορεί να είναι ένα αντικείμενο στο να ή μη διακρίνεται σε ένα ομοιόμορφο φόντο. Έχει αποδειχθεί ότι η μικρότερη ανιχνεύσιμη διαφοροποίηση για το ανθρώπινο μάτι είναι 2% της κλίμακας από λευκό σε μαύρο



Σχήμα 8.2 Το πάχος των γραμμών αυξάνει προς τα δεξιά και η αντίθεση μειώνεται προς τα κάτω. Η ανίχνευση των γραμμών δυσκολεύει για χαμηλή αντίθεση και μικρό πάχος (κάτω αριστερά)

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Οπτική αντίθεση

Πριν διεξαχθεί ο ΟΕ πρέπει να γίνει μέτρηση των συνθηκών φωτισμού. Η ένταση του φωτός μετράται σε «ποδοκήρια». Ένα ποδοκήριο (foot candle) είναι η ποσότητα του φωτός που φτάνει σε απόσταση ενός ποδός από πηγή ενός κηρίου (κεριού). Ο ΟΕ απαιτεί φωτισμό τουλάχιστον 100 fc.

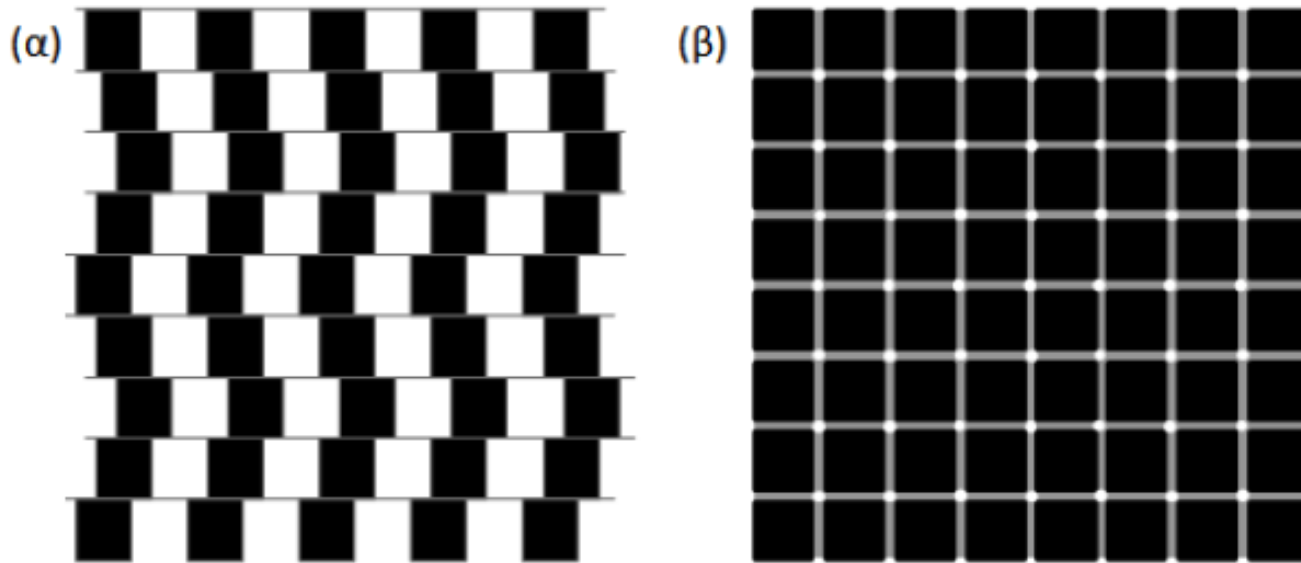


Σχήμα 8.3 Σε κανονικές συνθήκες φωτισμού η ρωγμή είναι εμφανής στο πιάτο (α). Σε συνθήκες έντονου φωτισμού (φλας) η ρωγμή δεν είναι εμφανής (β).

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Οπτικές απάτες

Πολλές φορές ενώ η οπτική πληροφορία είναι συγκεκριμένη ο ανθρώπινος εγκέφαλος δεν μπορεί να την επεξεργαστεί κατάλληλα. Ο ελεγκτής πρέπει να είναι σε θέση να ξεχωρίσει πότε πρόκειται για περίπτωση οφθαλμαπάτης και πότε όχι



Σχήμα 8.5 α) Οι οριζόντιες γραμμές είναι παράλληλες παρότι δημιουργείται η αίσθηση ότι είναι κεκλιμένες. (β) Όταν εστιάζουμε σε ένα σημείο δημιουργείται η εντύπωση ότι υπάρχουν πολλές μαύρες κουκίδες.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Προϋποθέσεις πετυχημένου ελέγχου

Για βέλτιστα αποτελέσματα κατά τον οπτικό έλεγχο των υλικών ο ελεγκτής πρέπει να έχει:

- 1. Βασική γνώση του υλικού και των κατεργασιών που έχει δεχθεί**
- 2. Κατανόηση των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών και των αναγκών χρήσης**
- 3. Σαφείς οδηγίες ως προς το ζητούμενο και τα κριτήρια αποδοχής/απόρριψης.**

Δεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Εφαρμογές του ΟΕ

Ανίχνευση επιφανειακών ασυνεχειών και αποχρωματισμών

Ανίχνευση ρωγμών πορώδους και διάβρωσης

Διαστασιολογική συμμόρφωση

Ανίχνευση ξένων σωμάτων

Έλεγχος συναρμολόγησης

Διεσδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

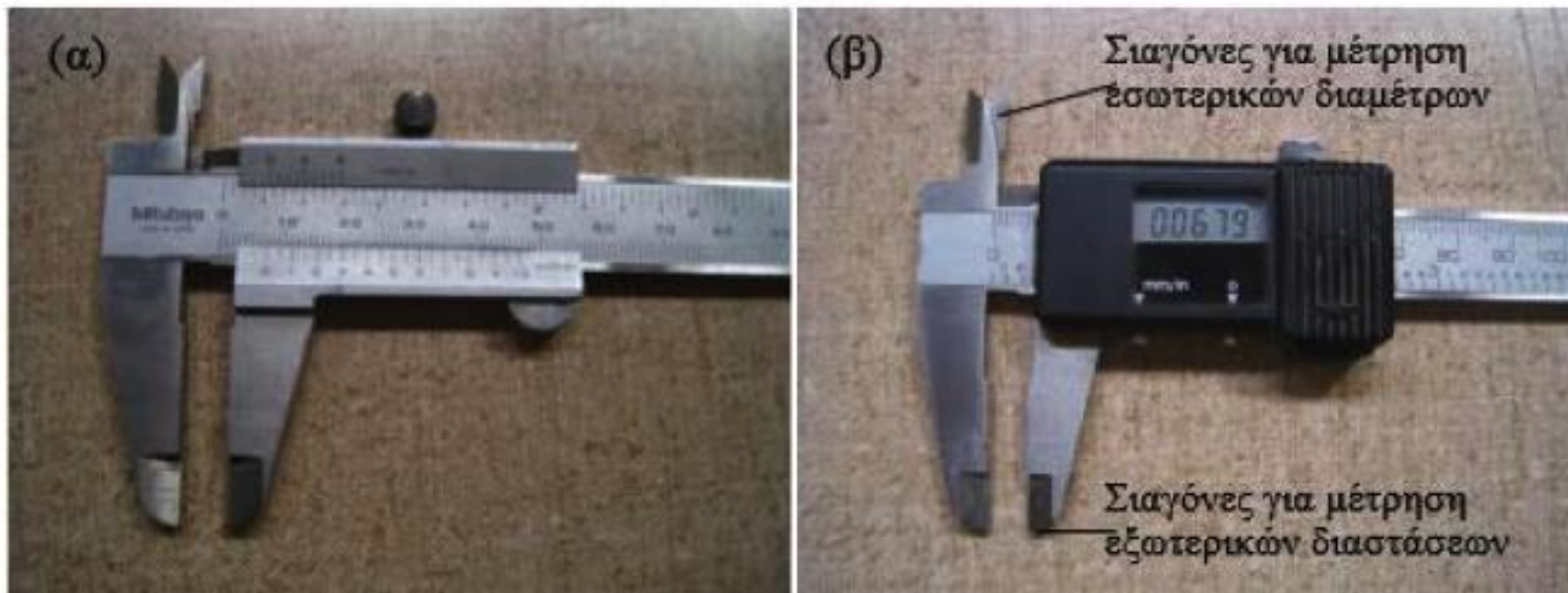
Εφαρμογές του ΟΕ



Σχήμα 8.6 (α) Έλεγχος σε πυλώνα της νέας γέφυρας του Ευρίπου, Χαλκίδα. Οι ελεγκτές βρίσκονται στο καλάθι που αναρτάται από γερανό (<http://geotest.gr/>). Ενδείξεις σκουριάς (β) , αλάτων (γ) και υγρασίας (δ) σε κατασκευή από σκυρόδεμα (<http://www.tobi-tech.com/en/index.htm>).

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Όργανα ΟΕ



Σχήμα 8.7 Παχύμετρο αναλογικό (α) και ψηφιακό (β).

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

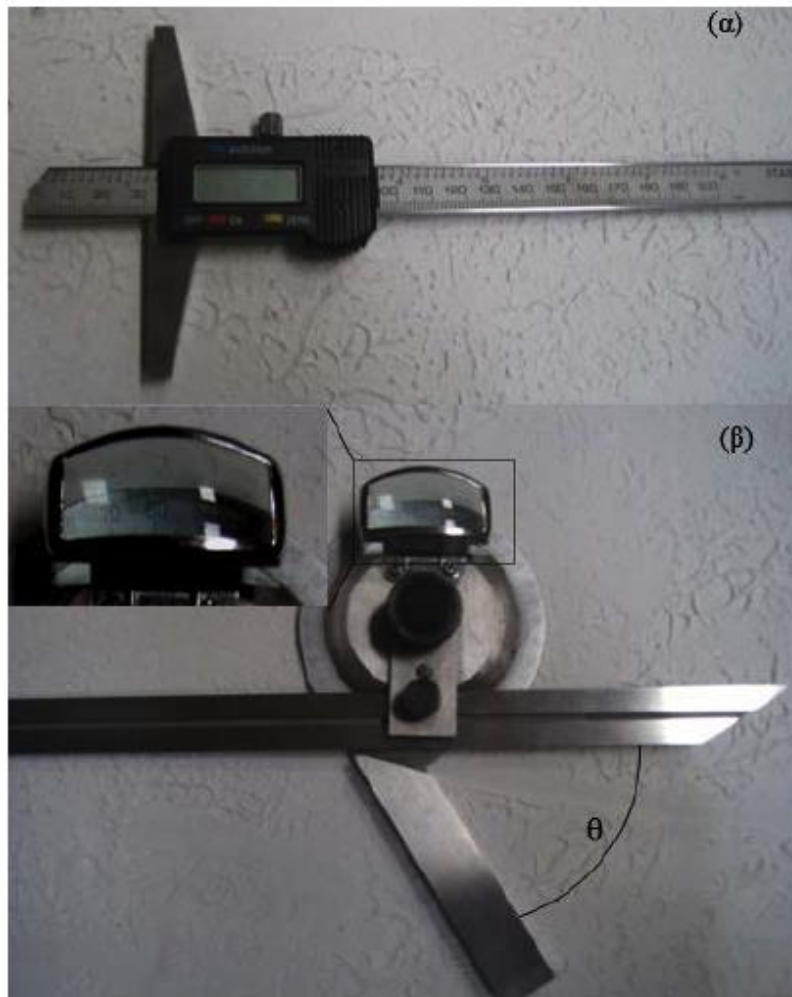
Όργανα ΟΕ



Σχήμα 8.8 Μικρόμετρο.

Διεσδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Όργανα ΟΕ



Σχήμα 8.9 (α) Παχύμετρο για μέτρηση βάθους. (β) Μετρητής γωνίας.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Όργανα ΟΕ

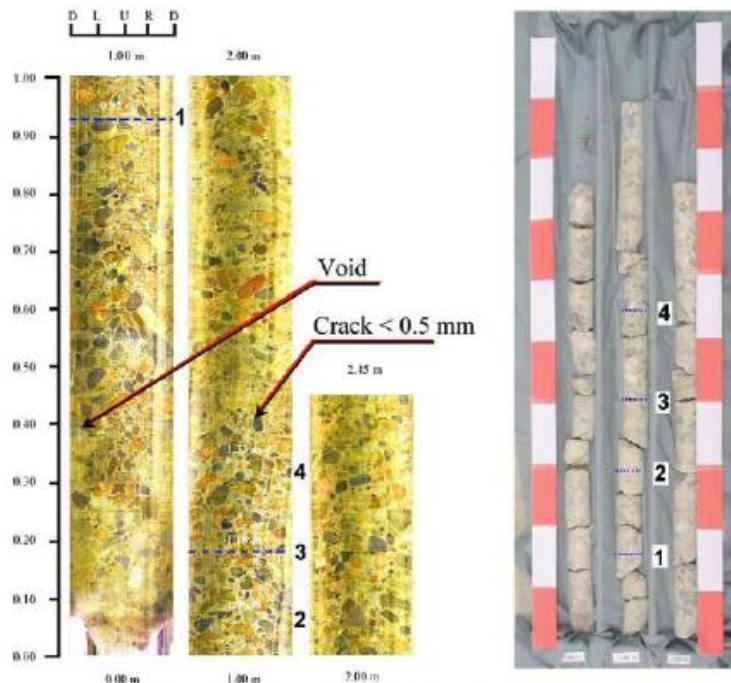


Σχήμα 8.10 Μέτρηση ανοίγματος επιφανειακής ρωγμής με απλό πλαστικό δείκτη (α) και μετρητή με μεγεθυντικό φακό ενσωματωμένη κλίμακα και φωτεινή πηγή (β).

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

8.6 Ειδική εφαρμογή – εσωτερικό κατασκευών από σκυρόδεμα

Σε πολλές περιπτώσεις γίνεται λήψη πυρήνων (κυλινδρικών δοκιμίων) από την κατασκευή για τη μέτρηση μηχανικών ιδιοτήτων. Στο κενό που αφήνει η διαδικασία (και πριν πληρωθεί με κονίαμα) εισάγεται κάμερα (borehole camera) με δυνατότητα περιστροφής. Έτσι με τη βοήθεια φωτεινής πηγής γίνεται εγγραφή σε γωνία 360° σε διαφορετικά βάθοι με συνέπεια να μπορεί να ελεγχθεί το εσωτερικό της κατασκευής για ρωγμές (βλ. Σχ. 8.12)



Σχήμα 8.12 Στα αριστερά απεικόνιση του εσωτερικού της κυλινδρικής οπής και στα δεξιά οι πυρήνες που αφαιρέθηκαν για να σχηματιστεί η οπή³.

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Πλεονεκτήματα της μεθόδου ΟΕ

Εφαρμόζεται σε όλα τα υλικά

Συνήθως απλή εφαρμογή

Χαμηλό κόστος

Σχετικά γρήγορος έλεγχος

Τα αποτελέσματα μπορούν να καταγραφούν σε μόνιμο αρχείο

Μπορεί να αυτοματοποιηθεί με τη βοήθεια κάμερας και ηλεκτρονικού υπολογιστή

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Μειονεκτήματα της μεθόδου ΟΕ

Περιορίζεται στην επιφάνεια

Σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται εμπειρία από τον χρήστη ενώ το αποτέλεσμα εξαρτάται από τις γνώσεις και την οπτική οξύτητα του

Δεν είναι εύκολη η απόκτηση του απαραίτητου επιπέδου για έναν χειριστή

Διεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος

Ποια είναι η ΚΑΛΥΤΕΡΗ μέθοδος οπτικού ελέγχου;;;

Δεισδυτικά υγρά και οπτικός έλεγχος



Ευχαριστώ για την προσοχή σας.

