

ΘΕΩΡΙΑ

Μη Καταστροφικού Ελέγχου



Δρ. Βουλγαράκη
Χαριτίνη

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
&
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2016



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	3
1.1.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	5
1.2. ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	8
1.3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ	10
1.3.1. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΗΞΗΣ	10
1.3.1.1. ΑΥΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ	11
1.3.1.2. ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ	12
1.3.2. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΠΙΕΣΗΣ	13
1.4. ΘΕΡΜΙΚΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ	14
1.5. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ	15
1.6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	27



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο Μη Καταστροφικού Έλεγχος (ΜΚΕ NDT) είναι μια επιθεώρηση ή έλεγχος ενός δοκιμίου χωρίς να επηρεάζεται καθόλου το ίδιο το υπό-εξέταση δοκίμιο ώστε να καθοριστεί η παρουσία ή η απουσία ασυνεχειών που μπορεί να επηρεάσουν τη χρήση ή το ίδιο το δοκίμιο. Επιπλέον, οι ΜΚΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση και άλλων χαρακτηριστικών των υπό-εξέταση δοκιμίων, όπως διαστασιολόγηση, σκληρότητα (Hellier 2013).

Είναι μια εξέταση που διεξάγεται για να καθορίσει την παρουσία ή απουσία ασυνεχειών και να εκτιμήσει άλλα μεταλλικά χαρακτηριστικά.

Μη Καταστροφικός Έλεγχος (NDE), Μη Καταστροφική Επιθεώρηση (NDI), και Μη Καταστροφική Εκτίμηση, είναι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως για να περιγράψουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Παρόλο που η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για δεκαετίες, είναι σχετικά άγνωστη στο ευρύ κοινό το οποίο θεωρεί δεδομένο το γεγονός της μη πτώσης των κτιρίων, τη μη σύγκρουση των αεροσκαφών και την μη αστοχία των προϊόντων.

Εν τούτοις, ο ΜΚΕ δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι δεν θα προκύψει αστοχία, αλλά παίζει καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση της εμφάνισης της αστοχίας. Βέβαια, άλλες συνθήκες, όπως η ανεπαρκής σχεδίαση και η ακατάλληλη χρήση του υπό-εξέταση δοκιμίου μπορεί να συμβάλλουν στην αστοχία ακόμη και όταν έχει εφαρμοστεί κατάλληλος έλεγχος ΜΚΕ.

Ο ΜΚΕ, σαν τεχνολογία, έχει σημαντική ανάπτυξη τα τελευταία 50 χρόνια. Σήμερα, οι πρόσφατες εξελίξεις και τροποποιήσεις στον εξοπλισμό, την καθιστούν μία από τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες. Η τεχνολογία αυτή επηρεάζει άμεσα την καθημερινότητά μας καθώς σχετίζεται άμεσα με την ασφάλεια περισσότερο από κάθε άλλη τεχνολογία. Κάποιος μπορεί να αναλογιστεί τον μεγάλο αριθμό ατυχημάτων και τυχαίων αστοχιών που θα προέκυπταν αν δεν εφαρμόζοταν ο ΜΚΕ, για αυτό και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι εσωτερικού ελέγχου στη βιομηχανία.

Ο ΜΚΕ, είναι μια διαδικασία, η οποία διεξάγεται καθημερινώς και από το ευρύ κοινό. π.χ. όταν θέλουμε να αγοράσουμε ένα αντικείμενο από αυτόματους πωλητές, χρησιμοποιούμε κέρμα και η επιλογή γίνεται άμεσα, καθώς τα κέρμα υποβάλλεται σε μια σειρά από μη καταστροφικούς ελέγχους. Συγκεκριμένα, οι έλεγχοι πραγματεύονται πολύ γρήγορα το μέγεθος, το βάρος, το σχήμα και τις



μεταλλουργικές ιδιότητες του κέρματος και αν οι έλεγχοι είναι επιτυχείς τότε το προϊόν που επιλέχτηκε μπορεί να αγοραστεί (Hellier 2013).

Το ανθρώπινο σώμα έχει χαρακτηριστεί ως το πιο χαρακτηριστικό υπό-εξέταση δοκίμιο για το ΜΚΕ. Η θερμότητα μπορεί να γίνει αισθητή τοποθετώντας το χέρι μας κοντά σε ένα θερμό αντικείμενο χωρίς να το ακουμπήσουμε (καθορίζοντας με αυτό τον τρόπο την σχετικά υψηλότερη θερμοκρασία που έχει). Με την αίσθηση της όσφρησης μπορεί να καθοριστεί η παρουσία μιας ουσίας που προκαλεί άσχημη μυρωδιά. Με την αίσθηση της αφής μπορεί να χαρακτηριστεί η σκληρότητα, το σχήμα και το μέγεθος ενός δοκιμίου. Η αίσθηση της ακοής επιτρέπει την ανάλυση διαφόρων ήχων και θορύβων βάσει της οποίας μπορεί να εκτιμηθεί η θέση της πηγής που τους παράγει. Π.χ. κατά τη διάβαση ενός δρόμου, μπορεί να ακουστεί ο θόρυβος ενός φορτηγού που πλησιάζει. Είναι προφανές ότι ο πεζό δεν θα περάσει μπροστά από το μεγάλο κινούμενο φορτηγό. Όλες οι ανθρώπινες αισθήσεις είναι σημαντικές αλλά η πιο καθοριστική είναι η αίσθηση της όρασης, η οποία δίνει τη μέγιστη πληροφορία ιδιαίτερα αν γίνει με λεπτομερή παρατήρηση. Για παρόμοιους λόγους η μέθοδος του Οπτικού Ελέγχου (Visual Testing-VT) είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος ΜΚΕ (Hellier 2013).. Οι πιο διαδεδομένοι μέθοδοι ΜΚΕ είναι οι Ακτίνες Χ και γ, οι Υπέρηχοι, τα Μαγνητικά Σωματίδια, τα Διεισδυτικά Υγρά, η Θερμογραφία, η Ακουστική Εκπομπή. Κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους στηρίζεται σε διαφορετικό φυσικό φαινόμενο, έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και το δικό της συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών.

Παρακάτω αναφέρονται οι έξι πιο διαδεδομένες μέθοδοι του ΜΚΕ:

Οπτικός Έλεγχος: Η πιο διαδεδομένη μέθοδος, που έχει χρησιμοποιηθεί στους ΜΚΕ. Είναι ο πρώτος έλεγχος που γίνεται εξετάζοντας οπτικώς ένα δοκίμιο με γυμνό μάτι ή εξειδικευμένο οπλισμό όπως: ενδοσκόπια, μετρητές συγκολλήσεων, μεγεθυντικούς φακούς, καθρεφτάκια.

Διεισδυτικά Υγρά: Το υπο-εξέταση δοκίμιο καλύπτεται από ορατό ή φθορίζον διεισδυτή. Στη συνέχεια αφαιρείται αλλά αν υπάρχουν ασυνέχειες ανοιχτές στην επιφάνεια τότε παραμένει μέσα σε αυτές. Στη συνέχεια εφαρμόζεται εμφανιστής όπου εμφανίζει τις όποιες ασυνέχειες. Η διαφορά στα φθορίζοντα και ορατά είναι η ένταση της αντίθεσης στο μάτι.

Μαγνητικά Σωματίδια: Στη μέθοδο αυτή εισάγουμε ένα μαγνητικό πεδίο σε σιδηρομαγνητικό υλικό και στη συνέχεια ρίχνουμε ρινίσματα σιδήρου. Επιφανειακές και υπο-επιφανειακές αλλά κοντά στην επιφάνεια ασυνέχειες διακόπτουν τη ροή του



μαγνητικού πεδίου μέσα στο υλικό και το αναγκάζουν ένα μέρος του πεδίου να βγει στην επιφάνεια.

Δινορρεύματα: Στηρίζονται στη μέθοδο του μαγνητισμού και δημιουργούνται σε ένα αγωγίμο δοκίμιο με την αλλαγή του μαγνητικού πεδίου. Η δύναμη αυτών των δινορρευμάτων μπορεί να μετρηθεί. Οι ασυνέχειες του υλικού δημιουργούν παρεμβολές στη ροή των δινορρευμάτων οι οποίες δίνουν ένα ανάλογο σήμα που παραπέμπει σε εύρεση ασυνέχειας.

Υπέρηχοι: Στους υπέρηχους, ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας διαχέουν μέσα στο υλικό και ανιχνεύουν ασυνέχειες ή εντοπίζουν αλλαγές στις ιδιότητες των υλικών. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος υπέρηχων είναι η μέθοδος της παλμού-ηχούς (pulse –echo), στην οποία ο ήχος εισάγεται στο εξεταζόμενο δοκίμιο από τον παλμό εκπομπής και ανακλάσεις από εσωτερικές ασυνέχειες επιστρέφουν στο δέκτη.

Ραδιογραφία: Χρησιμοποιούν ακτίνες γ ή ακτίνες Χ στα υλικά ώστε να εντοπίσουν εσωτερικές ασυνέχειες. Το πάχος του υλικού και η πυκνότητά του φαίνονται σαν πιο ανοιχτές ή σκούρες επιφάνειες.

1.1.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Αεροπορική Βιομηχανία:

Η σημασία του ΜΚΕ στον έλεγχο των αεροσκαφών είναι πολύ κρίσιμη. Τα συστατικά στοιχεία ενός αεροπλάνου ελέγχονται πριν συναρμολογηθούν και επίσης γίνονται περιοδικοί έλεγχοι κατά τη διάρκεια ζωής αεροσκαφών. Τα επιμέρους στοιχεία των αεροσκαφών καταπονούνται από το βάρος που μεταφέρουν και πολλές φορές εμφανίζουν ρωγμές. Οι ρωγμές μπορεί να είναι κόπωσης είτε να προέρθουν από χτύπημα κεραυνού. Στα αεροσκάφη υπάρχει σύστημα προστασίας από κεραυνούς αλλά πολλές φορές αυτό είναι αναπόφευκτο. Επίσης, ένα άλλο πρόβλημα είναι τα προβλήματα που προκύπτουν από διάβρωση. Συνήθως κατά την προσγείωση, εάν η πόρτα είναι ανοιχτή γεμίζει με ζεστό γεμάτο υγρασία αέρα. Επίσης, όταν το αεροπλάνο απογειώνεται και πιάνει υψηλό υψόμετρο, η επιφάνεια του αεροσκάφους γίνεται πολύ κρύα εξαιτίας της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα. Αυτό δημιουργεί



υγρασία, η οποία διατηρείται μέσα στην καμπίνα και συμβάλει στη δημιουργία διάβρωσης. Τα αεροσκάφη σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν μικρές ασυνέχεις ή διαβρώσεις ώστε οι επιθεωρητές ΜΚΕ να βρουν εγκαίρως τις όποιες ασυνέχειες πριν δημιουργήσουν μοιραίο πρόβλημα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στους ελέγχους αεροσκαφών είναι ο οπτικός έλεγχος. Πρώτα λοιπόν ξεκινάει ο οπτικός έλεγχος αλλά αυτός δεν είναι επαρκής ώστε να καλύψει όλες τις περιπτώσεις ανίχνευσης ρωγμών. Με τις υπόλοιπες μεθόδους γίνεται εφικτή η ανίχνευση πολύ μικρών ασυνεχειών που δεν γίνονται αντιληπτές με τη μέθοδο του οπτικού ελέγχου. Συγκεκριμένα, τα δινορρέυματα και οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πολύ μικρών ασυνεχειών που θα ήταν αδύνατο να εντοπιστούν με άλλο τρόπο. Επίσης, μετράται το πάχος του υλικού και διαπιστώνεται αν υπάρχει διάβρωση. Η ραδιογραφία χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ρωγμών που βρίσκονται βαθιά μέσα στο υλικό και να διαπιστωθεί η είσοδος του νερού σε συγκεκριμένη δομή. Επομένως απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό που μπορεί να χρησιμοποιήσει τις κατάλληλες μεθόδους ώστε να υπάρχει συνολική σωστή εικόνα του εξεταζόμενου δοκιμίου. Η επιτυχία της αεροπροϊκής βιομηχανίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον ΜΚΕ. Χωρίς τον ΜΚΕ το κόστος συντήρησης των αεροσκαφών θα ήταν πολύ υψηλό καθώς και τα επίπεδα ασφάλειας δεν θα ήταν τόσο αυστηρά. Με τον ΜΚΕ, η μεταφορά με αεροπλάνο είναι η πιο ασφαλής.

Έλεγχος αγωγών:

Στις ΗΠΑ εκατομμύρια μήκους σωλήνων μεταφέρουν πλήθος ρευστών, όπως νερό έως και πετρέλαιο. Ο σωλήνας είναι πολύ ευαίσθητος στην εσωτερική και εξωτερική διάβρωση, σε διάφορα είδη ρηγμάτωσης κ.α. Εάν ένας σωλήνας που μεταφέρει νερό παρουσιάσει πρόβλημα και έχει διαρροή, δεν επιβαρύνεται με μόλυνση το περιβάλλον, αλλά εάν ο αγωγός μεταφέρει πετρέλαιο τότε μπορεί να απροκληθεί και περιβαλλοντική καταστροφή. Για να διατηρείται ασφαλής η λειτουργία των σωλήνων, περιοδικές επιθεωρήσεις πραγματοποιούνται ώστε να εντοπίζονται εγκαίρως ρωγμές και ασυνέχειες ώστε να μην προκληθούν πολλά ατυχήματα. Όταν κατασκευάζεται ένας σωλήνας, οι επιθεωρητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν για τον έλεγχο οπτικό, ραδιογραφία, μαγνητικά σωματίδια, υπέρηχο και άλλες μεθόδους ώστε να επιβεβαιώσουν ότι η συγκόλληση έγινε σωστά και είναι υψηλής ποιότητας. Σε πολλές περιπτώσεις, οι σωλήνες είναι θαμμένοι και είναι υψηλής ποιότητας. Σε πολλές περιπτώσεις, οι σωλήνες είναι θαμμένοι και για τον έλεγχό τους χρησιμοποιούνται συσκευές που αποκαλούνται “rigs”. Οι συσκευές αυτές στέλνονται εντός των σωλήνων για να διεξάγουν ελέγχους και να καθαρίσουν τους σωλήνες. Συνήθως, έχουν την ίδια διάμετρο με το σωλήνα και μπορούν να κάνουν πειθεωρήσεις για πολύ μεγάλες αποστάσεις. Μπορούν να μπαίνουν στον ένα σωλήνα και να βγαίνουν και να εισέρχονται στον άλλο. Επιπλέον, έχουν μαζί τους H/Y για να συλλέγουν, αποθηκεύουν και να μεταφέρουν τα



δεδομένα. Τα “pigs” χρησιμοποιούν διάφορες ΜΚΕ για έλεγχο όπως υπέρηχους ή διαρροή μαγνητικής ροής.

Έλεγχος γέφυρας:

Οι γέφυρες παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης, ρηγμάτωσης, κ.α. Ο οπτικός έλεγχος είναι η κύρια μέθοδος ελέγχου της γέφυρας μαζί με τα μαγνητικά σωματίδια και τους υπέρηχους. Μια ακόμη μέθοδος ελέγχου είναι η μέθοδος της Ακουστικής εκπομπής, όπου ειδικά συστήματα ελέγχου μπορούν να εφαρμοστούν μόνιμα στις γέφυρες ώστε να μεταφέρουν πληροφορίες για τη συνεχή κατάσταση της γέφυρας. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ανιχνεύσουν τον ήχο που παράγεται καθώς μια ρωγμή μεγαλώνει.

Έλεγχος Σιδηροδρομικών Γραμμών:

Ιστορικά, οι επιθεωρήσεις στις σιδηροδρομικές γραμμές, ξεκίνησαν από οπτικά μέσα. Ο οπτικός έλεγχος μπορεί να ανιχνεύσει μόνο εξωτερικές ασυνέχειες. Η ανάγκη για καλύτερη επιθεώρηση έγινε προτεραιότητα. Η μέθοδος των υπερήχων είναι πολύ διαδεδομένη, η οποία σε συνδυασμό με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους ελέγχου για να ανιχνεύσουν ρωγμές.

Έλεγχος Δεξαμενών:

Οι μεγάλες δεξαμενές χημικών, πετρελαίου, οι οποίες μπορούν να περιλαμβάνουν πολλούς τόνους επικίνδυνων εύφλεκτων υγρών πρέπει να ελέγχονται τόσο στα κομμάτια των συγκολλήσεων όσο και στο σύνολο του μετάλλου όχι μόνο για κατασκευαστικές ασυνέχειες αλλά και κατά τη διάρκεια της ζωής τους καθώς κινδυνεύουν από διάβρωση και εμφάνιση ρωγμών. Εδώ χρησιμοποιείται συνήθως οπτικός έλεγχος, ραδιογραφία και υπέρηχοι. Οι επιθεωρήσεις γίνονται είτε με το προσωπικό να αναρριχάται σε διάφορα σημεία των δεξαμενών είτε με τη χρήση αυτοματοποιημένων μηχανών (ρομπότ). Οι συσκευές αυτές έχουν μαγνητικούς τροχούς που τους επιτρέπουν να μπορούν να προσκολλούνται πάνω στα τοιχώματα και να διεξάγουν τον έλεγχο. Οι χειριστές στέλνουν εντολές για την κίνηση που απαιτείται για τη σάρωση των επιφανειών και την καταγραφή του σήματος.

Έλεγχος Συρματόσχοινα:

Οι έλεγχοι σε χιονοδρομικά κέντρα είναι υποχρεωτικοί από την νομοθεσία και συνεπώς σε τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται υποχρεωτικός έλεγχος. Ένα στοχείο του βασικού εξοπλισμού που ελέγχεται είναι το συρματόσχοινο. Το συρματοσχοινο αποτελείται από μια σειρά ξεχωριστών καλωδίων που βρίσκονται ενωμένα ώστε να δημιουργήσουν ένα δυνατό και ευλύγιστο προϊόν. Το συρματόσχοινο ελέγχεται για φθορά, διάβρωση, κόπωση, κ.α. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι ο οπτικός



έλεγχος και στη συνέχεια συγκεκριμένες συσκευές που λειτουργούν με το μαγνητισμό. Συγκεκριμένα, τυλίγονται γύρω από το συρματοσχοινο και μετακινούνται κατά μήκος, του καθώς καταγράφουν το σήμα του.

(Σημειώνεται ότι όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές στις εφαρμογές του ΜΚΕ είναι από το www.nde-ed.org.)

1.2. ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Παρακάτω αναφέρεται η ορολογία των ασυνεχειών, η οποία είναι απαραίτητη για την κατανόηση των εννοιών που χρησιμοποιούνται ευρέως στο ΜΚΕ.

ΕΝΔΕΙΞΗ (INDICATION)

Το αποτέλεσμα εφαρμογής μιας μεθόδου ΜΚΕ, που υποδηλώνει την πιθανότητα ύπαρξης ασυνέχειας στο εξεταζόμενο δοκίμιο (και επομένως απαιτεί ερμηνεία).

ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ / ΑΤΕΛΕΙΑ (DISCONTINUITY / FLAW)

Ευρύτατος όρος που σημαίνει τη διακοπή της κανονικής δομής του υλικού, είτε την ύπαρξη ξένων σωμάτων σ' αυτό. Προκαλεί τη δημιουργία αληθούς ενδείξεως. Συνήθως ως ατέλεια (flaw) χαρακτηρίζεται μία ασυνέχεια (discontinuity) που δεν αποτελεί ελάττωμα (defect).

ΕΛΑΤΤΩΜΑ (DEFECT)

Μία ασυνέχεια που καθιστά το δοκίμιο ακατάλληλο για τη συγκεκριμένη χρήση του.

ΕΡΜΗΝΕΙΑ (INTERPRETATION)

Η εύρεση της αιτίας που δημιούργησε μία ένδειξη.

Σαν πρώτο βήμα, η ερμηνεία της ένδειξης την κατατάσσει ως ψευδή, μη σχετική είτε σχετική.

Σαν δεύτερο βήμα και εφόσον χρειάζεται, βρίσκεται η κατάσταση (ασυνέχεια) μέσα στο υλικό, που δημιούργησε την ένδειξη.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (EVALUATION)

Η (τεκμηριωμένη) απόφαση για το εάν μία ασυνέχεια αποτελεί σφάλμα (απορριπτέα ασυνέχεια) είτε όχι, προκειμένου για τη συγκεκριμένη χρήση του δοκιμίου.

ΨΕΥΔΗΣ ΕΝΔΕΙΞΗ (FALSE INDICATION)

Πρόκειται για ένδειξη που σχηματίζεται από αίτια άσχετα με τις φυσικές αρχές μιας μεθόδου ΜΚΕ.

Ο όρος χρησιμοποιείται κυρίως στις μεθόδους Διεσδυτικών Υγρών και Μαγνητικών Σωματιδίων.

Μία ψευδής ένδειξη MT δεν οφείλεται στην ύπαρξη μαγνητικού πεδίου διαρροής αλλά ενδεχόμενα σε μηχανική είτε βαρυτική συγκράτηση των σωματιδίων.



Αντίστοιχα, μία ένδειξη PT δεν οφείλεται στο τριχοειδές φαινόμενο και την εξόγκηση διεισδυτή, αλλά συνήθως σε κακή εφαρμογή της μεθόδου (ιδιαίτερα στα στάδια προκαθαρισμού είτε αφαίρεσης πλεονάζοντος διεισδυτή).

Η παρουσία ψευδούς ενδείξεως απαιτεί συνήθως επανάληψη της δοκιμής, αφού αφαιρεθούν τα πιθανά αίτια, διότι ενδέχεται να καλύπτει αληθείς σχετικές ενδείξεις.

ΜΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΝΔΕΙΞΗ (NON - RELEVANT INDICATION)

Πρόκειται για Αληθή (True) ένδειξη, με την έννοια της δημιουργίας της, βάσει των φυσικών αρχών της μεθόδου. Οφείλεται όμως σε γνωστή (και συνήθως προσχεδιασμένη) ασυνέχεια, όπως π.χ. αλλαγές διατομής, συγκόλληση διαφορετικών υλικών, ύπαρξη σφηνοδρόμων και οπών, γνωστό μεγάλο πορώδες του υλικού.

Η μη σχετική ένδειξη ενδέχεται και αυτή να σκεπάζει σχετικές ενδείξεις αλλά σπάνια απαιτεί την επανάληψη της δοκιμής (καθώς το αίτιο δεν μπορεί να απομακρυνθεί τελείως).

ΑΛΗΘΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΝΔΕΙΞΗ (TRUE RELEVANT INDICATION)

Πρόκειται για ένδειξη που σχηματίζεται λόγω της ύπαρξης άγνωστης ασυνέχειας στο εξεταζόμενο δοκίμιο.

Μία αληθής σχετική ένδειξη απαιτεί αξιολόγηση, προκειμένου το δοκίμιο να γίνει αποδεκτό ως έχει, να επισκευαστεί είτε να απορριφθεί (πάντα σε σχέση με την προβλεπόμενη χρήση του).

ΣΥΜΦΥΤΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ (INHERENT DISCONTINUITY)

Πρόκειται για ασυνέχεια που δημιουργήθηκε στο στάδιο της αρχικής τήξης και στερεοποίησης του μετάλλου.

ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ / ΑΡΧΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ (PRIMARY PROCESSING DISCONTINUITY)

Πρόκειται για ασυνέχεια που δημιουργήθηκε στην αρχική επεξεργασία του πλινθώματος (πρωτόχυτου, ingot), σε κατεργασίες όπως η έλαση (rolling), η σφυρηλάτηση (forging) και η χύτευση (casting). Η συγκόλληση (welding) ενίοτε ταξινομείται επίσης σαν πρωτογενής διεργασία, αν και συχνότερα απαντάται σαν δευτερογενής.

ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ / ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ (SECONDARY / FINISHING PROCESSING DISCONTINUITY)

Ασυνέχεια που δημιουργήθηκε κατά την τελική επεξεργασία υλικών, δοκιμίων και κατασκευών, όπως η θερμική κατεργασία, η τórνευση, η λείανση και η επιμετάλλωση.

ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ (SERVICE DISCONTINUITY)

Δημιουργήθηκε μετά το πέρας όλων των κατεργασιών και κατά τη διάρκεια (και εξ αιτίας) της λειτουργίας του δοκιμίου.

(Σημειώνεται ότι όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές στην ορολογία ασυνεχειών είναι από τις εκπαιδευτικές σημειώσεις του Welding & NDT Institute.)



1.3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Με τον τεχνικό όρο συγκόλληση εννοούμε την ένωση δύο ή περισσότερων μεταλλικών κομματιών με τη βοήθεια της θέρμανσης ή της πίεσης ή, ακόμη, και με ταυτόχρονη εφαρμογή και των δύο.

Οι συγκολλήσεις κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μέσο. Έτσι έχουμε:

1. Τις συγκολλήσεις τήξης
2. Τις συγκολλήσεις πίεσης
3. Τις ειδικές συγκολλήσεις

1.3.1. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΤΗΞΗΣ

Οι συγκολλήσεις τήξης συνοδεύονται από το φαινόμενο της τήξης των μετάλλων στο σημείο συγκόλλησής τους. Η θερμοκρασία αυξάνεται μέχρι του σημείου τήξης των μετάλλων στα σημεία συγκόλλησής τους, με συνέπεια τα μόρια του ενός μετάλλου να εισχωρούν στα μόρια του άλλου και έτσι να πραγματοποιείται η σύνδεσή τους, μετά την επαναφορά τους στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η συγκόλληση τήξης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

- Με την τήξη και των δύο μεταλλικών κομματιών στη θέση της συγκόλλησης. Σ' αυτήν την περίπτωση τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια θα πρέπει να είναι από το ίδιο μέταλλο ή από κράμα της ίδιας ή παρόμοιας χημικής σύστασης.
- Με την τήξη των δύο μεταλλικών κομματιών στη θέση συγκόλλησης και την ταυτόχρονη τήξη ενός τρίτου υλικού που το ονομάζουμε συγκολλητικό ή κόλληση. Η κόλληση έχει την ίδια χημική σύσταση με τα κομμάτια που θέλουμε να συγκολλήσουμε ή παρόμοια.
- Με τήξη μόνο της κόλλησης. Η κόλληση είναι από υλικό εντελώς διαφορετικό από τα υλικά των μεταλλικών κομματιών που θα συγκολληθούν και έχει πάντα θερμοκρασία τήξης μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης των συγκολλούμενων κομματιών. Τα κομμάτια που θα συγκολληθούν με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να είναι από το ίδιο είδος μέταλλο ή από διαφορετικό μέταλλο.



Σκοπός του συγκολλητικού υλικού (κόλλησης) είναι να γεμίσει το διάκενο μεταξύ των δύο μεταλλικών κομματιών που θα συγκολληθούν, ώστε, όταν κρυώσει, να αποτελέσει τη συνδετική τους γέφυρα.

Οι συγκολλήσεις τήξης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος της κόλλησης που χρησιμοποιείται. Έτσι έχουμε:

- Τις αυτογενείς κολλήσεις
- Τις ετερογενείς κολλήσεις

1.3.1.1. ΑΥΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Αυτογενείς ονομάζονται οι συγκολλήσεις τήξης στις οποίες τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια είναι από το ίδιο ή από παρόμοιο υλικό. Στις αυτογενείς συγκολλήσεις περιλαμβάνονται και οι συγκολλήσεις τήξης χωρίς τη χρήση κόλλησης, εφόσον τα συγκολλούμενα τεμάχια είναι από το ίδιο υλικό ή από κράμα της ίδιας χημικής σύστασης. Για παράδειγμα, η συγκόλληση δύο τεμαχίων από μαλακό χάλυβα είναι μία αυτογενής συγκόλληση, γιατί τα προς συγκόλληση τεμάχια και η κόλληση είναι της ίδιας χημικής σύστασης.

Στις αυτογενείς συγκολλήσεις, όταν στερεοποιηθούν τα τηχθέντα σημεία των μετάλλων (κομματιών και κόλλησης), πραγματοποιείται η εσωτερική κρυσταλλική σύνδεσή τους και, έτσι, η κόλληση και τα προς συγκόλληση τεμάχια αποτελούν πλέον μία ισχυρή σύνδεση. Γίνονται δηλαδή «ένα σώμα». Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τις αυτογενείς συγκολλήσεις είναι συνήθως υψηλές και εξαρτώνται από το είδος των μετάλλων που θα συγκολληθούν.

Ενδεικτικά δίνονται πιο κάτω οι θερμοκρασίες τήξης μερικών γνωστών μας μετάλλων:

- Χάλυβας: 1450-1530°C
- Χυτοσίδηρος: 1150-1250°C
- Χαλκός: 1083°C
- Μπρούντζος: 900°C
- Ορείχαλκος: 900-1000°C
- Άργυρος (ασήμι): 960°C
- Κασσίτερος: 230°C

Για να επιτύχουμε τόσο υψηλές θερμοκρασίες τήξης, θα πρέπει να διαθέτουμε ισχυρές πηγές θερμότητας. Τέτοιες πηγές θερμότητας μπορούμε να έχουμε είτε με καύση αερίου, είτε με ηλεκτρική ενέργεια. Η συνηθέστερη πηγή θερμότητας στις αυτογενείς συγκολλήσεις είναι η καύση ασετιλίνης. Στην περίπτωση αυτή η καύση



της ασετιλίνης συντελείται με τη βοήθεια καθαρού οξυγόνου. Γι' αυτό και η συσκευή συγκόλλησης ονομάζεται και συσκευή οξυγονοασετιλίνης και το είδος της συγκόλλησης οξυγονοσυγκόλληση.

Στις περιπτώσεις που οι απαιτούμενες θερμοκρασίες συγκόλλησης εξασφαλίζονται από ηλεκτρική πηγή, οι συγκολλήσεις ονομάζονται ηλεκτροσυγκολλήσεις και οι συσκευές με τις οποίες πραγματοποιούνται ονομάζονται συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ MMA:

Η MMA είναι μία καθαρά χειρωνακτική διαδικασία. Εκτελείται με ηλεκτρόδια επενδυμένα συνήθως με βόρακα, για προστασία του λουτρού από την οξείδωση στον ατμοσφαιρικό αέρα. (Ηλεκτρόδια ρουτιλίου, κυταρρίνης και βασικά).

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ MIG/MAG :

Αυτή γίνεται με συμπαγές σύρμα κάτω από προστατευτική ατμόσφαιρα κάποιου αερίου. Όταν το αέριο είναι αδρανές (π.χ. Ήλιο, Αργό), τότε η διαδικασία αυτή είναι γνωστή με την ονομασία MIG. Όταν το αέριο είναι δραστικό (π.χ. CO₂, άζωτο, μείγμα αργού και οξυγόνου κτλ.), τότε η διαδικασία ονομάζεται MAG. Συνήθως είναι μίγμα αργού με διοξείδιο του άνθρακα. Για αυτό εφαρμόζεται ο όρος MIG/MAG. Στην πράξη όμως, έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται σχεδόν μόνο ο όρος MIG.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ TIG :

Εκτελείται με ακίδα βολφραμίου σε τσιμπίδα προσελάνης για τη δημιουργία τόξου.

Η προστασία του λουτρού γίνεται με Αργό (και σπάνια He).

Χρησιμοποιείται σε λεπτά ελάσματα και σε δύσκολες περιπτώσεις (ρίζα σωλήνων)

Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι είναι ευπαθής σε ρεύματα αέρα (χαλάει η προστασία και παρουσιάζονται πόροι).

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ SAW, Βυθιζόμενου Τόξου:

Χρησιμοποιείται σύρμα ως ηλεκτρόδιο και σκόνη βόρακα, μέσα στην οποία είναι βυθισμένο το σύρμα και το λουτρό. Χρησιμοποιείται και για μεγαλύτερα πάχη.

1.3.1.2. ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Ετερογενείς ονομάζονται οι συγκολλήσεις στις οποίες τα προς συγκόλληση μεταλλικά κομμάτια είναι διαφορετικής χημικής σύστασης από τη χημική σύσταση τη κόλλησης. Η θερμοκρασία τήξης της κόλλησης που χρησιμοποιείται είναι πάντα μικρότερη από εκείνη των προς συγκόλληση κομματιών. Όταν η θερμοκρασία φθάσει στο σημείο τήξης της κόλλησης, η κόλληση λειώνει και απλώνεται στις επιφάνειες που θα συγκολληθούν. Έτσι, στην περιοχή της συγκόλλησης δημιουργείται ένα κράμα από στοιχεία της κόλλησης και των μεταλλικών κομματιών. Όταν το κράμα αυτό στερεοποιηθεί, πραγματοποιείται κρυσταλλική σύνδεση των κομματιών, με αποτέλεσμα τη συγκόλλησή τους.

Η σύνδεση των κομματιών στις ετερογενείς κολλήσεις ενισχύεται και από τη διείσδυση της ρευστής κόλλησης μέσα στους πόρους των επιφανειών συγκόλλησης, δημιουργώντας, έτσι, ένα είδος αγκίστρωσης στην επιφάνεια των μεταλλικών κομματιών. Γι' αυτό στις ετερογενείς συγκολλήσεις οι επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν πρέπει να καθαρίζονται σχολαστικά με ειδικά υλικά καθαρισμού, πράγμα που δεν είναι απαραίτητο στις αυτογενείς συγκολλήσεις. Στην κατηγορία των ετερογενών συγκολλήσεων ανήκουν οι ασημοκολλήσεις, οι μπρουντζοκολλήσεις, οι κασσιτεροκολλήσεις κτλ.



1.3.2. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΠΙΕΣΗΣ

Οι συγκολλήσεις πίεσης πραγματοποιούνται με ταυτόχρονη θέρμανση της θέσης συγκόλλησης των δύο κομματιών σε θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης τους και με εφαρμογή ισχυρής πίεσης στη θέση της συγκόλλησης.

Οι συγκολλήσεις πίεσης διακρίνονται σε:

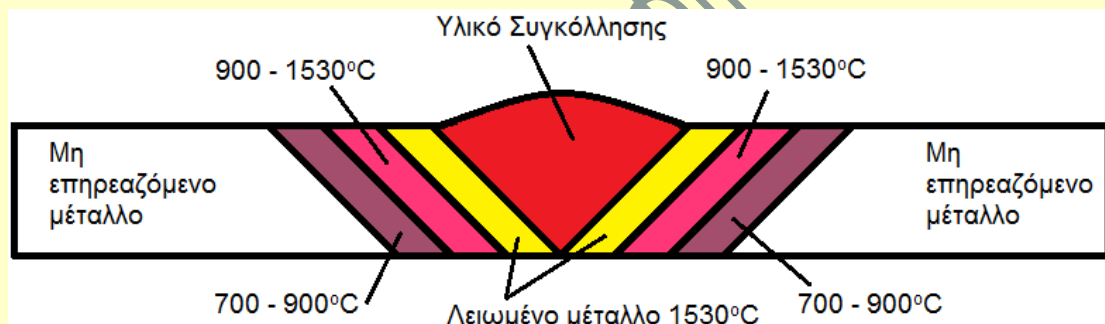
- Ψυχρές συγκολλήσεις.
- Συγκολλήσεις τριβής.
- Καμινοσυγκολλήσεις.
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντίστασης.

1.4. ΘΕΡΜΙΚΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ

Αν ένα μέταλλο θερμανθεί πάνω από μία ορισμένη θερμοκρασία, αρχίζει η ανακρυστάλλωσή του. Αυτή μπορεί, μετά την ψύξη, να οδηγήσει σε άλλη κρυσταλλική δομή και να αλλάξει τις ιδιότητες του μετάλλου. Η αλλαγή αυτή μπορεί να είναι προς το καλύτερο, όταν γίνεται κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Όταν όμως γίνεται τυχαία, συνήθως, το αποτέλεσμα είναι η μείωση της αντοχής.

Η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ΘΕΖ)

Η συγκόλληση των μετάλλων γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Κατά την ψύξη γίνεται ανακρυστάλλωση γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Η ζώνη επιρροής επεκτείνεται μέχρι το σημείο που η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από ένα όριο που αποτελεί προϋπόθεση για την εμφάνιση της ανακρυστάλλωσης, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα. Η περιοχή αυτή ονομάζεται Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη και συμβολίζεται ως ΘΕΖ.



Ο κανόνας είναι:

Η αντοχή του μετάλλου στην ΘΕΖ συνήθως μειώνεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας η οποία προκαλεί την αλλαγή της κρυσταλλικής δομής του.

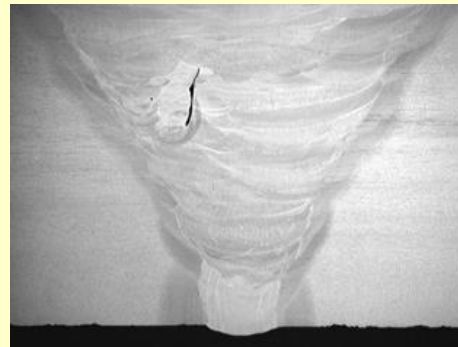
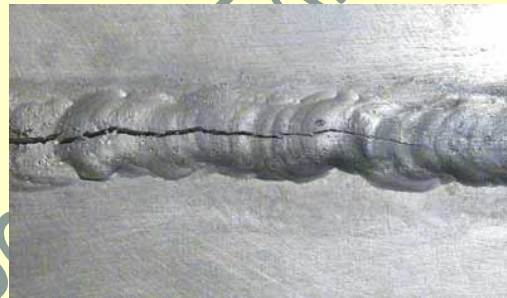
(Σημειώνεται ότι όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές στις Συγκολλήσεις είναι από τις σημειώσεις “Τεχνικός Συγκολλήσεων” Εμπορικό & Βιομηχανικό Επιμελητήριο Πειραιώς, ΕΣΠΑ 2007-2013).



1.5. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

• ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ (CRACKS)

Οι ρηγματώσεις αποτελούν γραμμικές ασυνέχειες που οφείλονται κυρίως λόγω παραμενουσών τάσεων. Οι ρηγματώσεις μπορεί να είναι διαμήκεις, εγκάρσιες. Επίσης, οι ρηγματώσεις μπορεί να βρίσκονται στους πόδες του καπακιού ή της ρίζας, στο κέντρο της συγκόλλησης, στην περιοχή του λουτρού, στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη ή στο μητρικό υλικό.



Οι ρηγματώσεις που προκαλούνται κατά τη συγκόλληση κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Ρηγματώσεις στερεοποίησης (Solidification Cracking)

Ρηγματώσεις λόγω παρουσίας υδρογόνου (Hydrogen Induced Cracking)

Ρηγματώσεις Υγρού Μετάλλου (Liquid Metal Cracking)

Ρηγματώσεις λόγω του service της γραμμής (Environmental Cracking)

Ρηγματώσεις ελάσματος (Lamellar Tearing Cracking)

Ρηγματώσεις αναθερμανσης (Reheat Cracking)



- **ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ (SOLIDIFICATION CRACKING)**

Η ρηγμάτωση στερεοποίησης συμβαίνει κατά τη διάρκεια στερεοποίησης της συγκόλλησης και αποκαλείται και θερμή ρηγμάτωση (hot cracking). Παρουσιάζεται σε χάλυβες που περιέχουν μεγάλο ποσοστό θείου, το οποίο προκαλεί μείωση της ολκιμότητας του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες. Για τη δημιουργία της ρηγμάτωσης πρέπει να υπάρχουν υψηλές εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες δημιουργούνται από τη συστολή του μετάλλου της συγκόλλησης. Οι ρωγμές αυτές παρουσιάζονται συνήθως σε διαμήκη μορφή, στο κέντρο της συγκόλλησης, λόγω του διαφορισμού των ακαθαρσιών που υπάρχουν.



- **ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (HYDROGEN INDUCED CRACKING)**

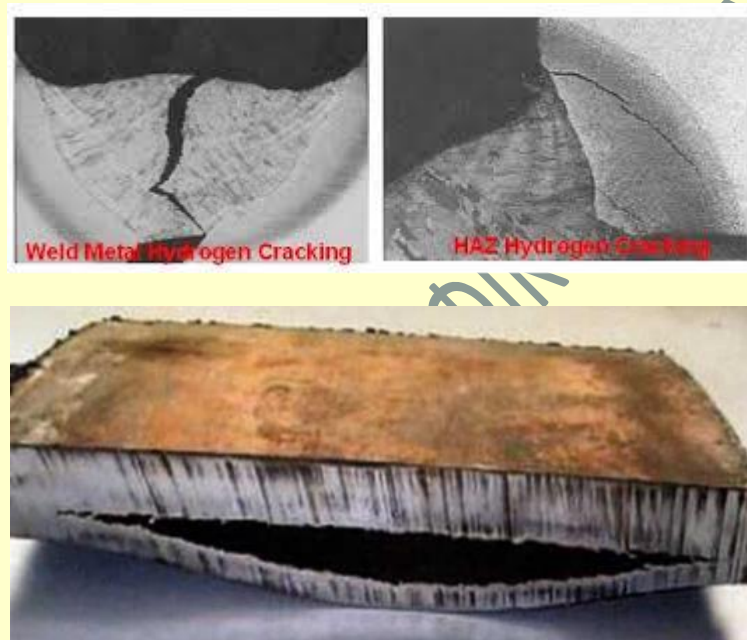
Το υδρογόνο μπορεί να προέρχεται από υγρασία στην ατμόσφαιρα, ρύπανση της συγκόλλησης κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας της ή υγρασία που συγκρατείται από την πάστα ηλεκτροδίου. Το υδρογόνο εισέρχεται στη συγκόλληση μέσω του ηλεκτρικού τόξου. (Στην περίπτωση των συγκολλήσεων MMA-ηλεκτρόδιο χειρός- και SAW-συγκόλληση βυθιζόμενου τόξου-, το είδος της πάστας θα επηρεάσει το ποσοστό του υδρογόνου)

Η έντονη θερμότητα που παράγεται από το τόξο είναι αρκετή για να διασπάσει το μοριακό υδρογόνο (H_2), στην ατομική του μορφή. Τα άτομα του υδρογόνου (λόγω της διάστασής τους-είναι τα μικρότερα που υπάρχουν-) και μπορούν να διεισδύσουν ανάμεσα στα άτομα του σιδήρου όταν η συγκόλληση είναι ακόμη ζεστή. Όταν η συγκόλληση, είναι ζεστή τα άτομα του σιδήρου έχουν μεγάλη κινητικότητα και αφήνουν μεγάλα κενά μεταξύ τους. Κατά τη διάρκεια που η



συγκόλληση κρυώνει, το περισσότερο υδρογόνο διαχέεται στο μητρικό υλικό και στην ατμόσφαιρα. Ένα μέρος όμως του υδρογόνου, παραμένει παγιδευμένο μέσα στη συγκόλληση, καθώς τα άτομα του σιδήρου μικραίνουν στη διάρκεια της στερεοποίησης. Κάτω από τους 160°-200°C το υδρογόνο επανέρχεται στη μοριακή του δομή (H₂). Τα άτομα του υδρογόνου έλκονται μεταξύ τους, καθώς η συγκόλληση ψύχεται και συγκεντρώνονται με τη μορφή φυσαλίδων σε οποιοδήποτε κενό σημείο υπάρχει διαθέσιμο.

Στις συγκολλήσεις οι ρωγμές που προκαλούνται από την παρουσία υδρογόνου, συνήθως παρουσιάζονται στη ΘΕΖ εφόσον αυτή η περιοχή είναι πιο ψαθυρή.



• ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΥΓΡΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ (LIQUID METAL CRACKING)

Η ρηγμάτωση αυτή είναι παρόμοια με τη ρηγμάτωση λόγω παρουσίας υδρογόνου. Προκαλείται όταν χάλυβες υψηλής καταπόνησης έρθουν σε επαφή με ορισμένα χαρακτηριστικά μέταλλα σε υγρή κατάσταση, π.χ. λιωμένο αλουμίνιο ή μόλυβδος και λιωμένος ψευδάργυρος μπορεί να προκαλέσουν θραύση σε ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες. Ο χαλκός, ο κασσίτερος, ο μόλυβδος και το κάδμιο, μπορεί να προκαλέσουν θραύση σε κοινούς χάλυβες και ο υδράργυρος στον ορείχαλκο. Το φαινόμενο παρατηρείται έντονα σε περίπτωση συγκόλλησης γαλβανισμένων ή επικαδμιωμένων χαλύβων, εάν δεν αφαιρεθεί καλά η επιμετάλλωση.

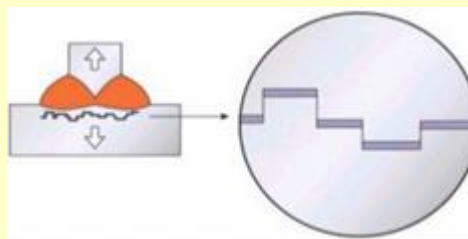
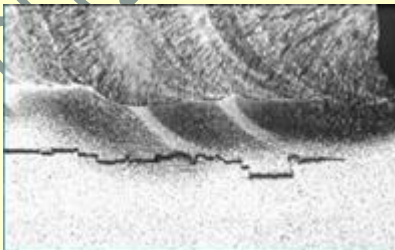


Η παρουσία θείου στο χάλυβα προκαλεί τέτοιου είδους ρωγμές. Εάν η συγκόλληση γίνει σε μεγάλη θερμοκρασία, το θείο που βρίσκεται στη ΘΕΖ διαλύεται στο χάλυβα και επανά-εμφανίζεται στη διάρκεια της στερεοποίησης με μορφή σουλφιδίων, τα οποία ψαθυροποιούν τα όρια των κόκκων και μειώνουν σημαντικά την αντοχή του χάλυβα. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο ο χάλυβας αποκαλείται καμένος. Η παρουσία χαλκού μπορεί να δημιουργήσει τέτοιου είδους ρωγμές. Οι ρωγμές αυτές είναι πολύ μικρές και μπορεί να αποτελέσουν το ξεκίνημα για τη ρηγμάτωση υδρογόνου.



- **ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ (LAMELLAR TEARING CRACKING)**

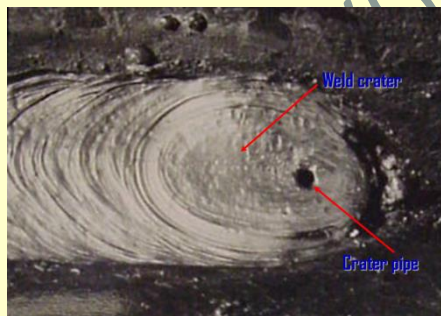
Η ρηγμάτωση ελάσματος έχει χαρακτηριστική κλιμακωτή εμφάνιση. Μπορεί να παρουσιαστεί στο μητρικό υλικό ή στη ΘΕΖ χαλύβων με μικρή ολκιμότητα κατά την κάθετη διεύθυνση. Παρουσιάζεται στο όριο τήξης της συγκόλλησης και είναι παράλληλη με την επιφάνεια του ελάσματος ή του σωλήνα (συμβαίνει κατά τη διεύθυνση έλασης του μητρικού υλικού). Αποτελεί σοβαρή ασυνέχεια κυρίως σε φερριτικούς χάλυβες και χάλυβες πιεστικών δοχείων. Προκαλείται συνήθως από ενεργοποίηση προϋπάρχουσας μικρής ασυνέχειας στο έλασμα.





- **ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΔΙΑΚΕΝΩΣΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ (SHRINK CRACKS, CRATER CRACKS)**

Η διακένωση συστολής (shrinkage) παρουσιάζεται κυρίως στη χύτευση αλλά μπορεί να παρουσιαστεί και στη συγκόλληση. Ρήματα λόγω διακένωσης συστολής σχηματίζονται συνήθως στην επιφάνεια της συγκόλλησης, της ζώνης τήξεως αλλά και του μετάλλου βάσεως (εγκάρσια ή παράλληλα στη συγκόλληση). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ρήγμα κρατήρα (κοιλότητα που προκαλείται από τη συστολή του μετάλλου στο τέλος ενός πάσου, εκεί όπου η πηγή της θερμότητας απομακρύνεται από το μέταλλο), το οποίο έχει συνήθως αστεροειδές μορφή.



- **ΠΟΡΟΙ (POROSITY)**

Μεμονωμένες ή συγκεντρωμένες φυσαλίδες αερίων που εγκλωβίζονται στο λουτρό της συγκόλλησης. Πρόκειται κυρίως για O_2 , H_2 , N_2 και CO , που προέρχονται από την ατμόσφαιρα του τόξου, τις τοπικές ακαθαρσίες και την υγρασία των επιφανειών σύνδεσης, των αναλώσιμων ή από χημικές αντιδράσεις κατά τη συγκόλληση. Οι πόροι διαφέρουν από τα εγκλείσματα στο γεγονός ότι είναι αέριες μάζες και όχι στερεά σώματα εγκλωβισμένα στο σώμα του χυτού. Ανιχνεύονται κυρίως με RT, UT και αν αφορά επιφανειακούς πόρους (ή ελάχιστα υπό-επιφανειακοί) MT και PT. Οι πόροι παίρνουν διάφορες μορφές (στρογγυλόμορφες, επιμήκεις, κ.α.) και ανάλογα με το πώς εμφανίζονται κατηγοριοποιούνται στα ακόλουθα:

Ομοιόμορφα κατανεμημένοι πόροι (σε όλο το σώμα της συγκόλλησης).

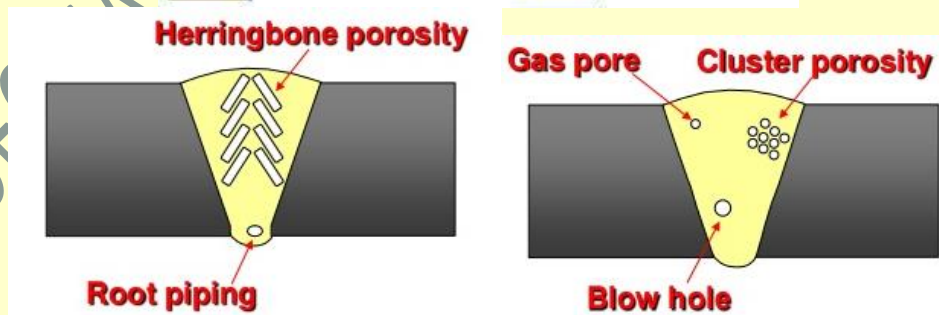
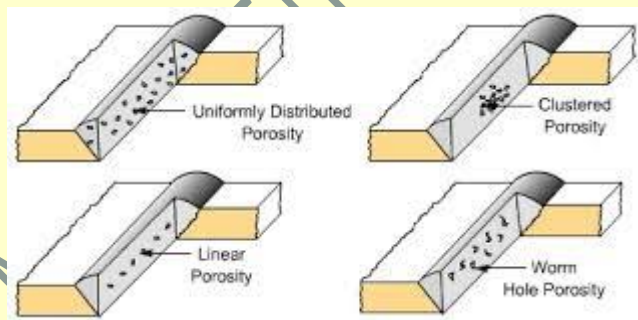
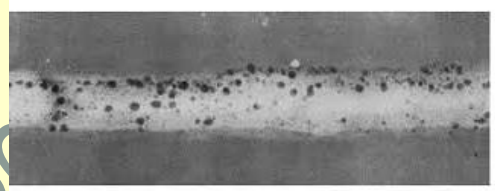
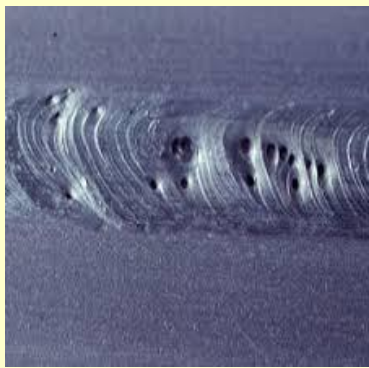


Συστοιχίες Πόρων (Cluster Porosity), όπου οι πόροι εμφανίζονται σε συστοιχίες που απέχουν μεταξύ τους.

Γραμμικότητα Πόρων, η οποία εμφανίζεται συνήθως τη ρίζα και θεωρείται συνήθως ειδική υποπερίπτωση της ατελής διείσδυσης.

Πορώδης Ρίζα (Hollow bead): Πόροι κατά μήκος της ρίζας.

Ψαροκόκαλο (Herringbone porosity): Σκωληκοειδείς οπές, διατεταγμένες σε σχηματισμό ψαροκόκαλου.

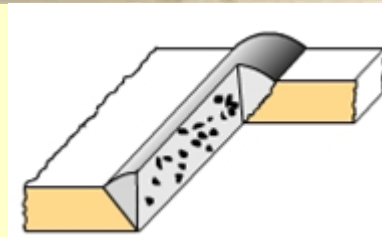
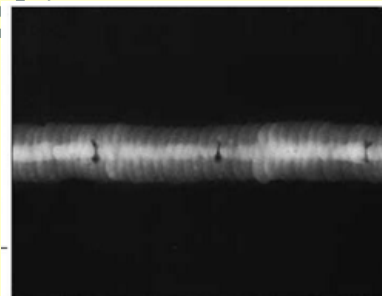




- **ΣΤΕΡΕΑ ΕΓΚΛΕΙΣΜΑΤΑ (SOLID INCLUSIONS)**

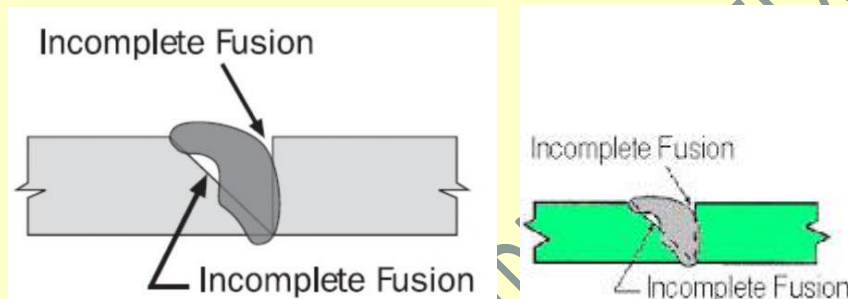
Στερεά εγκλείσματα, αφορούν στερεά μη μεταλλικά σώματα, όπως σκωρία, οξειδία, βόρακας, συλλιπάσματα ή μεταλλικά σώματα όπως βολφραΐμιο από συγκόλληση TIG, σύρμα ή χαλκός σε περίπτωση ημιαυτόματης συγκόλλησης, τα οποία βρίσκονται εγκλωβισμένα στο λουτρό της συγκόλλησης ή μεταξύ του υλικού της συγκόλλησης και του βασικού μετάλλου. Ανιχνεύονται κυρίως με RT και UT και σπανιότερα με MT, PT ή ET.

Πολύ συχνά συναντώνται εγκλείσματα βόρακα. Ο βόρακας είναι ένα παγιδευμένο, μη μεταλλικό κατάλοιπο στη συγκόλληση και προέρχεται από την πάστα ηλεκτροδίου. Γραμμικά εγκλείσματα βόρακα παρουσιάζονται μόνο στους πόδες ενός πάσου. Μεμονωμένα εγκλείσματα βόρακα μπορούν να υπάρχουν οπουδήποτε στην έκταση της συγκόλλησης. Τα ανά πάσο εγκλείσματα απομακρύνονται με τη βοήθεια τροχίσματος κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.



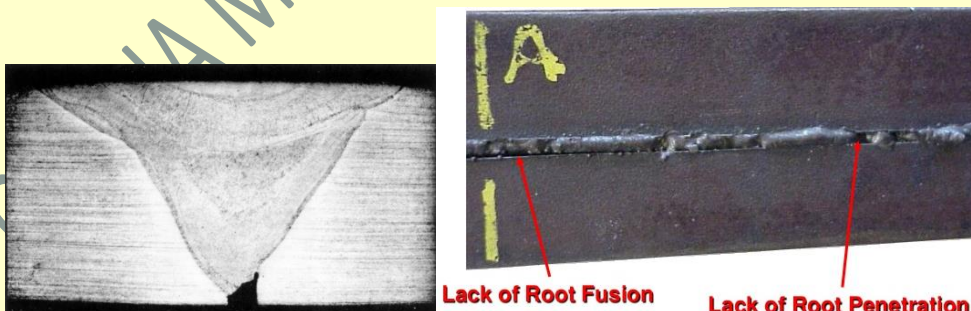
- **ΑΤΕΛΗΣ ΤΗΞΗ (INCOMPLETE FUSION)**

Ασυνέχεια που οφείλεται στην μη επιτυχή ανάπτυξη της θερμοκρασίας τήξης του υλικού συγκόλλησης. Για την εμφάνιση πλήρους τάξεως θα πρέπει να υποστεί τήξη και ένα τμήμα των τοιχωμάτων της συγκόλλησης. Η ατελής τήξη αποτελεί εξαιρετικά επικίνδυνη ασυνέχεια και απαντάται σε συγκολλήσεις μεταλλικού τόξου (MMA και TIG) και λιγότερο σε περιπτώσεις βυθιζόμενου τόξου (SAW). Ανιχνεύεται κυρίως με UT, MT, PT και RT (πιο σπάνια, κυρίως λόγω της γωνίας της ως προς την κατεύθυνση ραδιογράφισης).



- **ΑΤΕΛΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΡΙΖΑΣ (INCOMPLETE ROOT PENETRATION)**

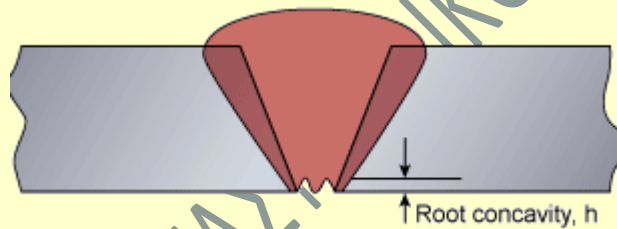
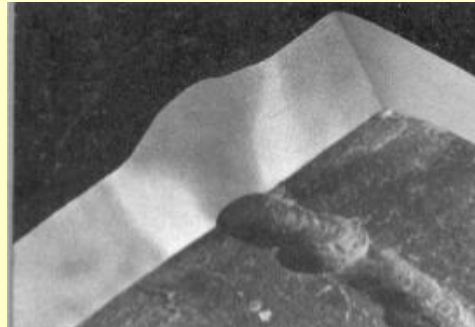
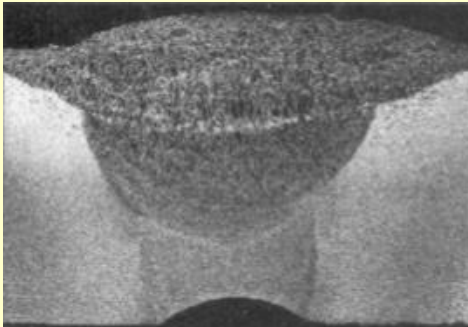
Η ασυνέχεια αυτή οφείλεται στη αποτυχία διείσδυσης του ηλεκτροδίου στη ρίζα της συγκολλητικής σύνδεσης.





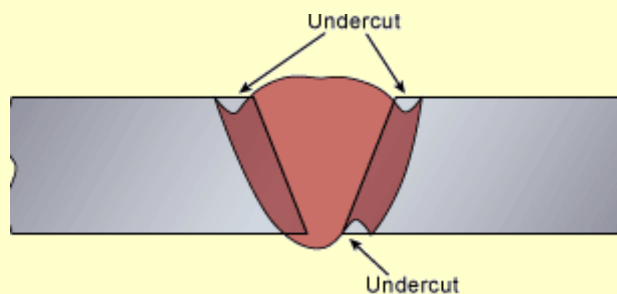
- **ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ ΡΙΖΑΣ (INCOMPLETE ROOT PENETRATION)**

Η ασυνέχεια αυτή προσομοιώνει με κοιλότητα στη ρίζα.



- **ΥΠΟΚΟΠΗ (UNDERCUT)**

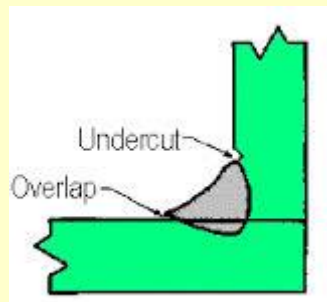
Η ασυνέχεια αυτή συναντάται ως κοιλότητα στο μητρικό υλικό στην περιοχή του πόδα του καπακιού ή της ρίζας της συγκόλλησης. Προκαλείται από λιώσιμο του μετάλλου βάσης, χωρίς ταυτόχρονη εναπόθεση μετάλλου από το αναλώσιμο ηλεκτρόδιο.





- **ΨΥΧΡΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (OVERLAP)**

Επικάλυψη της σύνδεσης με ηλεκτρόδιο, χωρίς να υπάρχει τήξη του μετάλλου βάσεως.



- **ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ**

Η ασυνέχεια αυτή έγκειται στο κρέμασμα της ρίζας και της δημιουργίας σταφυλιών στη ρίζα της συγκόλλησης, που αφορά τη διείσδυση του ηλεκτροδίου η οποία ξεπερνά τα προκαθορισμένα όρια από τα κριτήρια αποδοχής / απόρριψης.

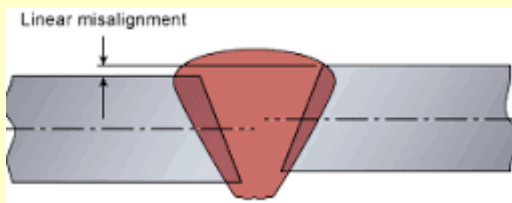
- **ΔΙΑΜΠΕΡΗΣ ΤΗΞΗ (BURN THROUGH)**

Τοπική καταστροφή του λουτρού λόγω υπερβολικής διείσδυσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας οπής στη συγκόλληση. Οι διαμπερείς τήξεις εμφανίζονται συνήθως στη ρίζα μετωπικών συγκολλήσεων.



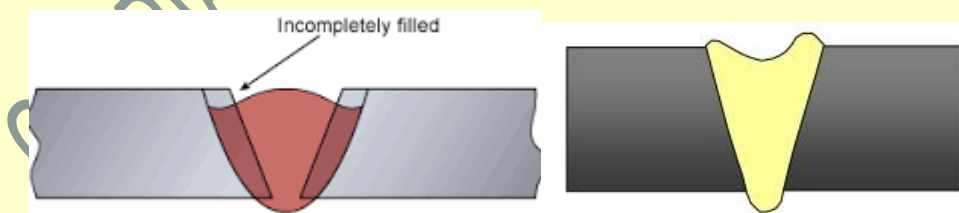
- **ΚΑΚΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ (MISALIGNMENT)**

Κακή κοπή, τοποθέτηση ή συγκράτηση των τεμαχίων σύνδεσης κατά τη συγκόλληση.



- **ΕΛΛΙΠΕΣ ΓΕΜΙΣΜΑ (INCOMPLETELY FILLED GROOVE)**

Συνεχόμενο ή διακεκομμένο διαμήκες κανάλι στην επιφάνεια της κόλλησης, που δημιουργείται από έλλειψη υλικού.



- **ΑΝΑΜΜΑ ΤΟΞΟΥ (ARC STRIKE)**

Επιφανειακά σημάδια από άναμμα του ηλεκτρικού τόξου στο μέταλλο βάσεως, κοντά στην περιοχή της συγκόλλησης. Η ασυνέχεια αυτή δημιουργεί πολύ ψαθυρή δομή, ειδικά σε χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα.



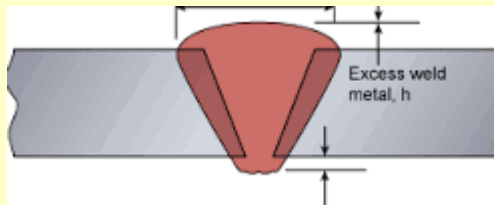
- ΠΙΤΣΙΛΙΣΜΑΤΑ (SPATTER)

Σταγόνες τήγματος συγκόλλησης, που πετάχτηκαν και σταθεροποιήθηκαν σε γειτονικές περιοχές.



- ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΟ ΚΑΠΑΚΙ (EXCESSIVE CAP)

Εναπόθεση ηλεκτροδίου στο καπάκι της συγκόλλησης πάνω από τα αποδεκτά όρια.



(Σημειώνεται ότι όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές στα σφάλματα ασυνεχειών είναι από τις εκπαιδευτικές σημειώσεις του Welding & NDT Institute.)



1.6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Hellier C., “Handbook of Non destructive Evaluation”, McGRAW-HILL, 2013.
2. Εκπαιδευτικές σημειώσεις του Welding & NDT Institute, 2012.
3. Σημειώσεις “Τεχνικός Συγκολλήσεων” Εμπορικό & Βιομηχανικό Επιμελητήριο Πειραιώς, ΕΣΠΑ 2007-2013.
4. www.nde-ed.org.

ΘΕΩΡΙΑ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ