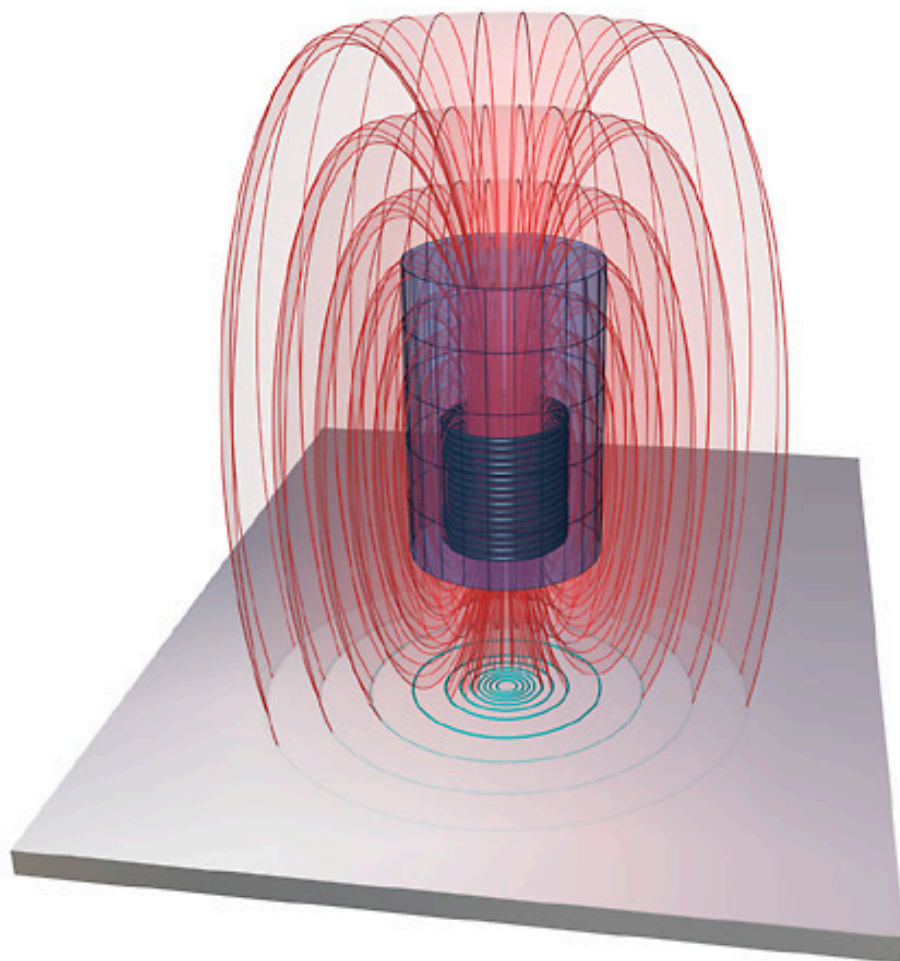




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΑΦΗΣ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΤΑ
ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ »**



ΤΖΙΡΑΚΙΑΝ ΛΥΜΠΑΡΕΤ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ε. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2009-2010



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΑΦΗΣ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΤΑ
ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ »**

ΤΖΙΡΑΚΙΑΝ ΛΥΜΠΑΡΕΤ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ε. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις /10/2010

Α.ΤΣΕΤΣΕΚΟΥ, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ.....

Γ.ΦΟΥΡΛΑΡΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ.....

Ε. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ.....

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

Copyright © TZIRAKIAN LYMPIA PET, 2010

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μου Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα των Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών του ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες τόσο για την ανάθεση της εργασίας όσο και για την γενικότερη καθοδήγησή του για την εκπόνηση της διπλωματικής.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τη διοίκηση και το προσωπικό της εταιρίας PROFIL Α.Ε για τον χρόνο αλλά και την βοήθεια που μου παρείχαν για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τον Βασίλη Δέτση για την πολύτιμη βοήθεια του στο κατασκευαστικό τμήμα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

TZIPAKIAN LYMPIAΡΕΤ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός συστήματος Μη Καταστροφικού Ελέγχου για χαλύβδινα στραντζαριστά που βασίζεται στην τεχνολογία των δινορευμάτων. Απώτερο στόχο της διπλωματικής αποτέλεσε η βιομηχανική εφαρμογή του συστήματος κατά την παραγωγική διαδικασία της PROFIL A.E.

Πιο συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 1 γίνεται η θεωρητική ανάπτυξη του θέματος των δινορευμάτων και πως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην βιομηχανική πραγματικότητα καθώς και μια σύντομη αναφορά στις υπόλοιπες μεθόδους Μη Καταστροφικών Ελέγχων.

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 γίνεται περιγραφή της γραμμής παραγωγής της εταιρίας καθώς και της διάταξης που κατασκευάστηκε.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται παράθεση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, στο εργαστήριο μεταλλογνωσίας καθώς και στην εταιρία.

Τέλος στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το συμπέρασμα–αποτέλεσμα για την εφαρμογή ή μη της μεθόδου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Δινορεύματα, Ρεύματα Foucault, Μη Καταστροφικός Έλεγχος, Στραντζαριστό, Βάθος διείσδυσης, Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή, Πηνίο, Μαγνητικό Πεδίο, Πηνίο διέγερσης

ABSTRACT

The present diplomatic thesis has as object the development and the application of a system of Non Destructive Testing for steel tubes that is based on eddy currents. The objective of this thesis is the industrial application of the system, on the production line of PROFIL S.A.

More concretely Chapter 1 has as a subject the theoretical growth of eddy currents and how they could be used in the industrial reality. Also it contains a short report in common methods that are being used in Non Destructive Testing.

Afterwards in Chapter 2 there is a description of the production line of the company and of the system that we designed.

Chapter 3 presents the results from the experiments, which took place in the laboratory of physical metallurgy and in the company as well.

Finally Chapter 4 presents the conclusion - result for the applicability of the method.

KEYWORDS

Eddy current, Foucault current, Non Destructive Testing, Steel tube, Depth of penetration, Electro-magnetic induction, coil, Magnetic field, Field coil

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	3
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	6
1.ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ.....	7
1.1.ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ.....	7
1.2.ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ	13
1.3.ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	29
1.3.1.ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	30
1.3.2.ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (RADIOGRAPHIC TESTING)	33
1.3.3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (ULTRASONIC INSPECTION).....	38
1.3.4.ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (ΑΕ)	40
1.3.5.ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (THERMAL)	41
1.3.6.ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	42
1.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	44
2.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	45
2.1.ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	45
2.2.ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	53
2.2.1.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	53
2.2.2.ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	54
3.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	56
3.1 ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	56
3.2.ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (ON-LINE)	66
4.ΠΡΟΤΑΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	67
5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	95

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικ 1: Μαγνητικό πεδίο σε αγωγό σελ 7
- Εικ 2: Μαγνητικό πεδίο σε βρόγχο σελ 8
- Εικ 3: Ανίχνευση ρωγμών με την απόλυτη μέθοδο σελ 8
- Εικ 4: Η Διαφορική σπείρα σελ 9
- Εικ 5: Θετική έξοδος απο την διαφορική σπείρα σελ 15
- Εικ 6: Αρνητική έξοδος απο την διαφορική σπείρα σελ 15
- Εικ 7: Διαχωριστική επιφάνεια και υπο-επιφάνει με βάση την γωνία φάσης σελ 15
- Εικ 8: Τυπικό διάγραμμα εξόδου διαφορικής σπείρας σε τρύπα και σε ανοιχτή Ραφή σελ 16
- Εικ 9: Τυπικό διάγραμμα εξόδου της απόλυτης μεθόδου σε τρύπα και ανοιχτή ραφή σελ 16
- Εικ 10: Βάθος διείσδυσης των δινορευμάτων σελ 16
- Εικ 11: Σπείρες τομέα «Sector Coil» μονάδα μαγνήτισης σελ 18
- Εικ 12: Σπείρες περικύκλωσης «Encircling coil» μονάδα μαγνήτισης σελ 18
- Εικ 13: Σπείρα τομέα «Sector Coil» σελ 18
- Εικ 14: Εύρος κάλυψης των σπειρών τομέα 1 όρια κόλλησης 2 διάμετρος σωλήνα σελ 19
- Εικ 15: Σπείρες Περικύκλωσης «Encircling coil» σελ 19
- Εικ 16: Σημεία εγκατάστασης μεθόδου ελέγχου σελ 20
- Εικ 17: Δημιουργώντας δοκίμιο σελ 23
- Εικ 18: Η κάμερα με τους προβολείς και η οθόνη παρατήρησης σελ 30
- Εικ 19: Ολογραφία (α) Δημιουργία ολογράμματος (β) Ανακατασκευή εικόνας σελ 31
- Εικ 20: Ολογραφική συμβολομετρία σελ 32
- Εικ 21: Δυναμικός έλεγχος επιφανείας σε μεταλλική πλάκα σελ 33
- Εικ 22: Βασική διάταξη Ραδιογραφικής απεικόνισης σε φιλμ σελ 34
- Εικ 23: Απλή και στερεοσκοπική προβολή σε ραδιογραφία σελ 34

Εικ 24: Λυχνία ακτίνων X σελ 35

Εικ 25: Τομογραφία με περιστροφή της πηγής (αρ) και του αντικειμένου (δεξ)
σελ 37

Εικ 26: Δείγμα τομογραφίας μεταλλικού υλικού με σοβαρή ρωγμή στο εσωτερικό
σελ 37

Εικ 27: Βασική αρχή λειτουργίας των ελέγχων με Υπερήχους σελ 39

Εικ 28: Μέτρηση βάθους ρωγμής (h) με την ανάκλαση των υπερήχων σελ 39

Εικ 29: Συνδεσμολογία μεθόδου Α.Ε σελ 41

Εικ 30: Θερμογραφικός έλεγχος επιφανείας σελ 42

Εικ 31: Μέθοδος πτώσης δυναμικού σελ 43

Εικ 32: Σημείο κόλλησης και ξακρίσματος των δύο τσερκιών σελ 46

Εικ 33: Οριζόντια ανέμη σελ 47

Εικ 34: Διαμορφωτική Μηχανή σελ 47

Εικ 35: Εσωτερικό διαμορφωτικής μηχανής σελ 48

Εικ 36: Σημείο συγκόλλησης σωλήνας σελ 49

Εικ 37: Καλιμπραριστική μηχανή σελ 50

Εικ 38: Τουρκοκεφαλή σελ 51

Εικ 39: Πακεταδόρος σελ 51

Εικ 40: Μετρητική Διάταξη σελ 53

Εικ 41: Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος σελ 54

Εικ 42: Αναπαράσταση δινορευμάτων σε επιθυμητά παραγόμενο δοκίμιο σελ 54

Εικ 43: Αναπαράσταση δινορευμάτων σε παραγόμενο δοκίμιο με ατέλεια σελ 55

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά εξοπλισμού ακτίνων X σελ 36

Πίνακας 2. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως από την συχνότητα διέγερσης με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σελ 56

Πίνακας Β1. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 20*20. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, Ε1-Ε5 δοκίμια με ρωγμές, Ε6-Ε13 δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας σελ 90

Πίνακας Β2. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 25*25. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, Ε1-Ε5: δοκίμια με ρωγμές, Ε6-Ε13: δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας σελ 91

Πίνακας Β3. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 30*30. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, Ε1-Ε5: δοκίμια με ρωγμές, Ε6-Ε13: δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας σελ 92

Πίνακας Β4. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 40*30. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, Ε1-Ε7: δοκίμια με ρωγμές, Ε6-Ε13 δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας σελ 93

Πίνακας Β5. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 40*40. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, Ε1-Ε4: δοκίμια με ρωγμές, Ε6-Ε13: δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας σελ 94

Πίνακας Γ1. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β1 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ% σελ 95

Πίνακας Γ2. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β2 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ% σελ 96

Πίνακας Γ3. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β3 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ% σελ 97

Πίνακας Γ4. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β4 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ% σελ 98

Πίνακας Γ5. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β5 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ% σελ 99

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως από την συχνότητα διέγερσης με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σελ 57

Σχήμα 2. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 20*20 σελ 58

Σχήμα 3. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 20*20 σελ 59

Σχήμα 4. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 25*25 σελ 59

Σχήμα 5. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 25*25 σελ 60

Σχήμα 6. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 30*30 σελ 61

Σχήμα 7. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 30*30 σελ 62

Σχήμα 8. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 40*40 σελ 62

Σχήμα 9. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 40*40 σελ 63

Σχήμα 10. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 40*30 σελ 64

Σχήμα 11. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 40*30 σελ 65

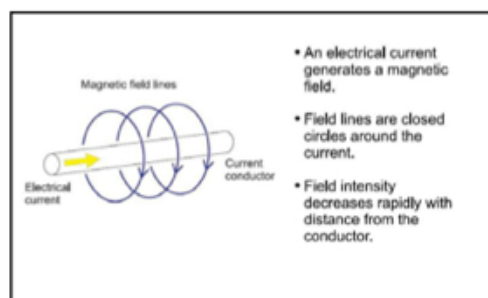
1.ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ

1.1.ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ

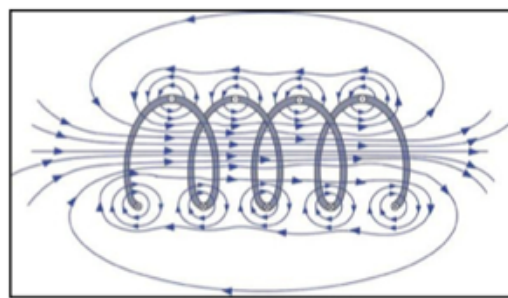
Τα δινορεύματα επίσης ονομαζόμενα και ως ρεύματα Foucault^[1] είναι ρεύματα που προκαλούνται σε αγωγούς για να αντισταθούν στην αλλαγή της ροής που τα δημιουργεί. Προκαλούνται όταν ένας αγωγός είναι εκτεθειμένος σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο είτε λόγω της σχετικής κίνησης της πηγής του πεδίου ή του αγωγού είτε στις διακυμάνσεις του πεδίου συναρτήσει με το χρόνο. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μια κυκλική ροή των ηλεκτρονίων ή ρεύμα στο σώμα του αγωγού. Οι δίνες (eddies) που δημιουργούνται, δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που αντιάσσεται στη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με το νόμο του λόγω Lenz, προκαλώντας απωθητικές ή ελκτικές δυνάμεις μεταξύ αγωγού και μαγνήτη. Όσο πιο ισχυρό είναι το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο ή όσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αγωγού, ή όσο πιο αυξημένη είναι η ευαισθησία του πεδίου στις αλλαγές, τόσο τα ρεύματα που παράγονται είναι ισχυρότερα καθώς και το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο.

Ο όρος **δινορεύματα** προέρχεται από ανάλογα ρεύματα που έχουν παρατηρηθεί στο νερό.

Τα δινορεύματα, όπως όλα τα ηλεκτρικά ρεύματα, παράγουν θερμότητα, καθώς και ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. Η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επαγωγική θέρμανση. Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αιώρηση, τη δημιουργία κίνησης, ή για να δώσουν ισχυρή πέδηση (strong braking effect).



Εικ 1: Μαγνητικό πεδίο σε αγωγό



Εικ 2: Μαγνητικό πεδίο σε βρόγχο

Εξήγηση

Όταν ένας αγωγός έχει σχετική κίνηση σε πεδίο παραγόμενο από πηγή, μπορεί να αναπτυχθούν ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις (ΗΕΔ) με κυκλική μορφή στον αγωγό^[2]. Αυτή η ΗΕΔ επιδρά στην αντίσταση του υλικού δημιουργώντας ρεύμα στο βρόγχο

σύμφωνα με τον νόμο της επαγωγής του Faraday. Αυτά τα ρεύματα διαχέουν την ενέργεια, και δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που τείνει να αντισταχθεί στις αλλαγές που προκαλούνται στο πεδίο.

Δινορεύματα δημιουργούνται, όταν ένα κινούμενος αγωγός «βιώνει» αλλαγές σε μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από ακίνητο αντικείμενο, καθώς και όταν ένας ακίνητος αγωγός αντιμετωπίζει ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Δινορεύματα επίσης θα δημιουργηθούν όταν κάποιο αγώγιμο αντικείμενο βιώσει αλλαγή στην ένταση ή την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου σε κάθε σημείο μέσα σε αυτό, και όχι μόνο στα όρια του.

Το περιστροφικό ρεύμα που δημιουργείται στον αγωγό οφείλεται στα ηλεκτρόνια που δέχονται δύναμη Lorentz κάθετη στην κίνηση τους. Ως εκ τούτου, γυρίζουν προς τα δεξιά, ή αριστερά, ανάλογα με την κατεύθυνση του εφαρμοζόμενου πεδίου και αν η ισχύς του πεδίου αυξάνεται ή μειώνεται. Η ειδική αντίσταση του αγωγού προσπαθεί να αποσβέσει το πλάτος των δινορευμάτων, καθώς και να ισιώσει την ροή τους. Ο νόμος του Lenz συμπυκνώνει το γεγονός ότι το ρεύμα στροβιλίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργηθεί ένα μαγνητικό πεδίο που να αντιτίθεται στο φαινόμενο που το δημιούργησε. Στην περίπτωση που εφαρμόζεται ένα μεταβλητό πεδίο, το πεδίο που προκαλείται θα είναι πάντα προς την αντίθετη κατεύθυνση με αυτή που εφαρμόζεται. Το ίδιο θα ισχύει και όταν ένα μεταβλητό εξωτερικό πεδίο γίνεται ισχυρότερο. Ωστόσο, όταν ένα μεταβλητό πεδίο μειώνει την ισχύ του, το παραγόμενο πεδίο θα έχει την ίδια κατεύθυνση με εκείνη που είχε ασκηθεί, προκειμένου να αντισταχθεί στην πτώση ισχύος.

Ένα αντικείμενο ή μέρος αντικειμένου μπορεί να βρίσκεται σε σταθερής έντασης πεδίο και κατεύθυνσης όπου εξακολουθεί να υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ του πεδίου και του αντικειμένου, ή ασταθείς τομείς όπου τα ρεύματα δεν μπορούν να κυκλοφορήσουν εξαιτίας της γεωμετρίας του αγωγού. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι φορτίσεις συλλέγονται στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό του αντικειμένου και αυτές οι φορτίσεις παράγουν στατικά ηλεκτρικά δυναμικά που αντιτίθενται σε οποιοδήποτε περαιτέρω ρεύμα. Τα ρεύματα αυτά μπορεί να είναι συνδεδεμένα με τη δημιουργία στατικών δυναμικών, αλλά τα αποτελεσματά τους είναι παροδικά και μικρά.

Τα δινορεύματα, δημιουργούν απώλειες αντίστασης που μετατρέπουν ορισμένες μορφές ενέργειας, όπως η κινητική ενέργεια, σε θερμότητα. Σε πολλές συσκευές, αυτές οι θερμικές απώλειες μειώνουν την αποτελεσματικότητα του σιδήρο-πυρήνα (iron-core) στους μετασχηματιστές και στους ηλεκτροκινητήρες καθώς και σε άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία. Τα δινορεύματα ελαχιστοποιούνται σε αυτές τις συσκευές, επιλέγοντας μαγνητικά υλικά που έχουν

χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (π.χ. φερίττες) ή με τη χρήση λεπτών φύλλων μαγνητικού υλικού. Τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να διασχίσουν το χάσμα της μόνωσης διότι δεν είναι σε θέση να κυκλοφορούν σε ευρέα τόξα. Οι φορτίσεις συγκεντρώνονται στα όρια της πλαστικοποίησης (lamination), σε μια διαδικασία ανάλογη με το φαινόμενο Hall, παράγουν ηλεκτρικά πεδία, τα οποία αντιτίθενται σε οποιαδήποτε περαιτέρω συσσώρευση φόρτισης και συνεπώς καταστέλλουν τα δινορεύματα. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ελασματοποιήσεων (δηλαδή, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ελασματοποιήσεων ανά μονάδα επιφανείας, κάθετα προς το εφαρμοζόμενο πεδίο), τόσο μεγαλύτερη είναι η καταστολή των δινορευμάτων.

Η μετατροπή της εισερχόμενης ενέργειας σε θερμότητα δεν είναι πάντα ανεπιθύμητη, ωστόσο, υπάρχουν κάποιες πρακτικές εφαρμογές. Η μία είναι στο φρένα ορισμένων τρένων γνωστών ως φρένα δινορευμάτων (eddy current brakes). Κατά τη διάρκεια της πέδησης, οι μεταλλικοί τροχοί εκτίθενται σε μαγνητικό πεδίο από έναν ηλεκτρομαγνήτη, παράγοντας δινορεύματα στους τροχούς. Τα δινορεύματα συναντούν αντίσταση καθώς οι φορτίσεις ρέουν μέσω των μετάλλων, με αποτέλεσμα να διαχέουν την ενέργεια ως θερμότητα, και αυτό επιβραδύνει τους τροχούς. Όσο ταχύτερα γυρνούν οι τροχοί, τόσο ισχυρότερο είναι το αποτέλεσμα, πράγμα που σημαίνει ότι όσο η αμαξοστοιχία επιβραδύνει τόσο μειώνεται η δύναμη πέδησης, συνεπώς υπάρχει ομαλή κίνηση φρεναρίσματος.

ΙΣΧΥΣ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Υπό ορισμένες προϋποθέσεις (ενιαίο υλικό, ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο, μη εμφάνιση του επιδερμικού φαινομένου (no skin effect), κ.λπ.), οι απώλειες που χάνονται λόγω των δινορευμάτων, μπορούν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\text{Για τα λεπτά φύλλα: } P = \pi^2 B_p^2 d^2 f^2 / 6\rho D$$

$$\text{Για λεπτή σύρματα: } P = \pi^2 B_p^2 d^2 f^2 / 12\rho D$$

$$\text{Όταν βάθος διείσδυσης: } D = 1/\sqrt{(\pi f \mu \sigma)} \text{ }^{[3]}$$

όπου: B_p - μέγιστη πυκνότητα ροής (T), d - το πάχος του φύλλου ή διάμετρο του σύρματος (m), ρ - αντίσταση (Ωm), σ - ηλεκτρική αγωγιμότητα, μ - μαγνητική

διαπερατότητα, D - το βάθος διείσδυσης.¹⁴¹

Ως εκ τούτου, τα ακόλουθα στοιχεία συνήθως αυξάνουν το μέγεθος και τις επιπτώσεις των δινορεύματων:

- ισχυρότερη μαγνητικά πεδία - την αύξηση της πυκνότητας ροής B
- ταχύτερη αλλαγή στα πεδία (λόγω της ταχύτερης σχετικής ταχύτητας) - αυξάνει τη συχνότητα f
- παχύτερα υλικά - αυξάνει το πάχος d
- χαμηλότερης αντίστασης υλικά (αλουμίνιο, χαλκός, ασήμι, κλπ.)

Στοιχεία που οδηγούν στη μείωση των επιπτώσεων

- ασθενέστεροι μαγνήτες - χαμηλότερες συγκεντρώσεις B
- βραδύτερης εξέλιξης πεδία (πιο αργές σχετικές ταχύτητες) μειώνουν το f
- λεπτότερο υλικό – μειώνεται το d
- αυλακωτά υλικά, με αποτέλεσμα τα ρεύματα να μην μπορούν να κυκλοφορήσουν - μειωμένο συντελεστή d
- πλαστικοποιημένο (laminated) υλικό, έτσι ώστε τα ρεύματα να μην μπορούν να κυκλοφορήσουν - μειωμένη d
- υψηλότερης αντοχής υλικών (πυρίτιο, πλούσιο σίδηρο κλπ)
- πολύ γρήγορα πεδία αλλάζει - λόγω του επιδερμικού φαινομένου (skin effect) οι παραπάνω εξισώσεις δεν ισχύουν, διότι το μαγνητικό πεδίο δεν διεισδύει στο υλικό ομοιόμορφα.

Εφαρμογές

Απωθητικά φαινόμενα και άνωση

Σε ένα γρήγορα εναλασσόμενο μαγνητικό πεδίο τα δημιουργούμενα ρεύματα, σε καλούς αγωγούς, κυρίως σε χαλκό και σε αλουμίνιο, παρουσιάζουν διαμαγνητική συμπεριφορά με αποτελέσματα να απωθούν το μαγνητικό πεδίο, και επομένως το μαγνήτη και μπορεί να δημιουργήσει απωθητικά φαινόμενα (repulsive effects), ακόμη και σταθερή αιώρηση, αν και υπάρχει αρκετά υψηλή ισχύ διάχυσης εξαιτίας των υψηλών ρευμάτων που περιέχει.

Τα δινορεύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προκαλέσουν ένα μαγνητικό πεδίο σε κουτιά από αλουμίνιο, που τους επιτρέπει να διαχωρίζονται εύκολα από τα άλλα ανακυκλώσιμα. Με έναν πολύ ισχυρό φορητό μαγνήτη, όπως αυτοί που

γίνονται από νεοδύμιο (neodymium), μπορεί κανείς να παρατηρήσει εύκολα παρόμοιες επιπτώσεις από την ταχεία σάρωση του μαγνήτη πάνω από ένα κέρμα. Ανάλογα με τη δύναμη του μαγνήτη, η ταυτότητα του νομίσματος καθώς και ο διαχωρισμός μεταξύ του μαγνήτη και των κερμάτων, μπορεί να ωθησει το νόμισμα που πρέπει ελαφρώς μπροστά από το μαγνήτη - ακόμα και αν το νόμισμα δεν περιέχει μαγνητικά στοιχεία, όπως οι αμερικάνικες δεκάρες.

Υπεραγωγοί επιτρέπουν τέλεια, και χωρίς απώλειες αγωγιμότητα, η οποία δημιουργεί διαρκώς κυκλοφορούντα δινορεύματα, που είναι ίσα και αντίθετα προς το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, οδηγώντας έτσι σε μαγνητική αιώρηση. Για τον ίδιο λόγο, το μαγνητικό πεδίο μέσα σε ένα μέσο υπεραγώγιμο θα είναι ακριβώς μηδέν, ανεξάρτητα από τα εξωτερικά εφαρμοζόμενο πεδίο.

Καθορισμός των μετάλλων

Στα μηχανήματα αυτόματης πώλησης που λειτουργούν με κέρματα, τα ρεύματα Φουκό χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των ψεύτικων κερμάτων. Το κέρμα περνά από έναν σταθερό μαγνήτη, και τα δινορεύματα μειώνουν την ταχύτητά του. Η ισχύς των δινορευμάτων, και επομένως η καθυστέρηση, εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μετάλλου του κέρματος. Τα ψεύτικα κέρματα επιβραδύνονται με διαφορετικό ρυθμό από ό, τι τα γνήσια κέρματα, και αυτό χρησιμοποιείται για την αποστολή τους στην υποδοχή απόρριψης.

Δόνηση | Θέση Μέτρησης (position sensing)

Τα δινορεύματα χρησιμοποιούνται σε ορισμένους τύπους αισθητήρων για να ελέγχουν τις δονήσεις και την θέση στήριξης των κινούμενων αξόνων. Η τεχνολογία αυτή αρχικά ξεκίνησε στη δεκαετία του 1930 από ερευνητές της General Electric με την χρήση υπό κενό σωλήνα κυκλώματος. Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, στερεάς κατάστασης εκδόσεις αναπτύχθηκαν από τον Donald E. Bently στην Bently Corporation. Οι αισθητήρες αυτοί είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι σε πολύ μικρές μετατοπίσεις που τους καθιστά κατάλληλους για να καταγράφουν τις μικρό-δονήσεις (της τάξης πολλών χιλιοστών της ίντσας) στη σύγχρονες στροβιλομηχανές. Ένας τυπικός αισθητήρας που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των κραδασμών έχει ένα συντελεστή κλίμακας των 200 mV/mil. Η ευρεία χρήση αυτών των αισθητήρων στους στροβίλους οδήγησε στην ανάπτυξη βιομηχανικών προτύπων που προβλέπουν τη χρήση και την εφαρμογή τους. Παραδείγματα τέτοιων προτύπων είναι American Petroleum Institute (API) Standard 670 και ISO 7919.

Ηλεκτρομαγνητικά πέδησης

Τα δινορεύματα χρησιμοποιούνται για την πέδηση, στο τέλος των roller coasters. Ο μηχανισμός αυτός δεν έχει καμία μηχανική φθορά και παράγει μια πολύ ακριβής δύναμη πέδησης. Συνήθως, βαρείες πλάκες χαλκού που εκτείνονται από το βαγόνι μετακινούνται ανάμεσα σε ζευγάρια από πολύ ισχυρούς μόνιμους μαγνήτες. Η ηλεκτρική αντίσταση στο εσωτερικό των πλακών προκαλεί αποτέλεσμα ανάλογο με την τριβή, η οποία μειώνει την κινητική ενέργεια του βαγονιού. Η ίδια τεχνική χρησιμοποιείται στα ηλεκτρομαγνητικά φρένα στον σιδηρόδρομο και για να σταματήσει γρήγορα τις λεπίδες σε ηλεκτρικά εργαλεία, όπως στα κυκλικά πριόνια.

Παρενέργειες

Τα δινορεύματα, είναι η βασική αιτία του επιδερμικού φαινομένου (skin effect) σε αγωγούς εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ομοίως, και σε μαγνητικά υλικά πεπερασμένης αγωγιμότητας τα δινορεύματα προκαλούν τον περιορισμό της πλειοψηφίας των μαγνητικών πεδίων σε ένα μόνο ζευγάρι «skin depths» της επιφάνειας του υλικού. Το φαινόμενο αυτό περιορίζει την ροή σε πηνία και μετασχηματιστές που έχουν μαγνητικούς πυρήνες.

Μη Καταστροφικός έλεγχος

Τα δινορεύματα αποτελούν μια από τις σημαντικότερες και πιο διαδεδομένες μεθόδους Μ.Κ.Ε (n.d.t) μη καταστροφικού έλεγχου για την αναγνώριση ατελειών σε μεταλλικά υλικά.

Άλλες εφαρμογές

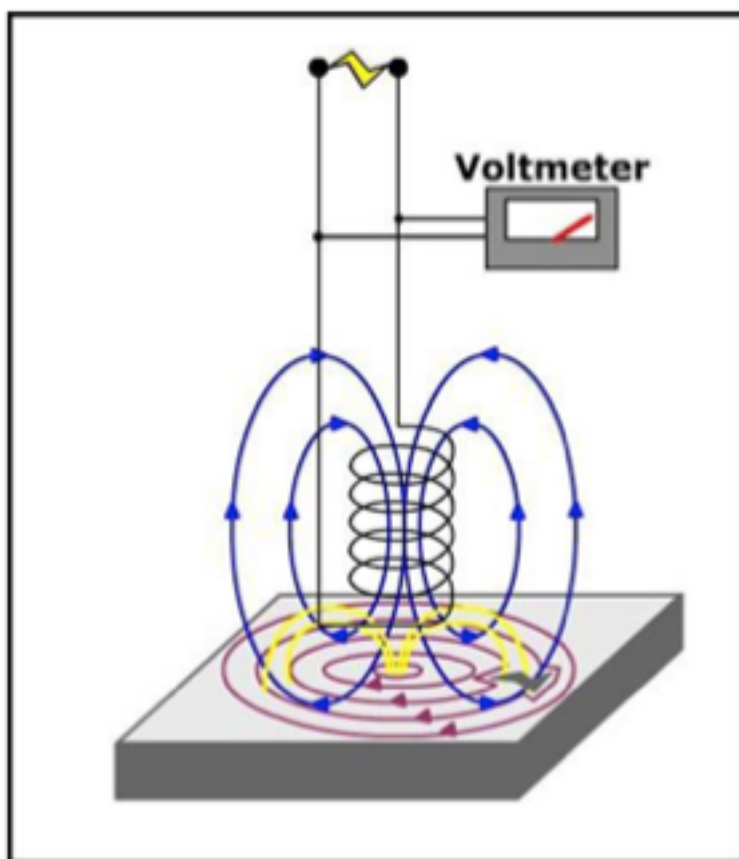
- Ανιχνευτές Μετάλλων
- Ηλεκτρικοί Μετρητές (Ηλεκτρομηχανολογικής Επαγωγής μετρητές)
- Μηχανικά ταχύμετρα

1.2.ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ

Ανίχνευση ρωγμών με τη μέθοδο των δινορευμάτων

Εάν οι σπείρες διέγερσης κινηθούν πέρα από μια σημαντική ρωγμή στο υλικό, η "σύνθετη αντίσταση" της σπείρας αλλάζει ελαφρώς και παραμένει έτσι ώστε η σπείρα να περάσει την ρωγμή. Αυτή η λεπτή αλλαγή μπορεί να ανιχνευθεί από ένα πολύ ευαίσθητο βολτόμετρο όταν συνδέεται με την σπείρα.

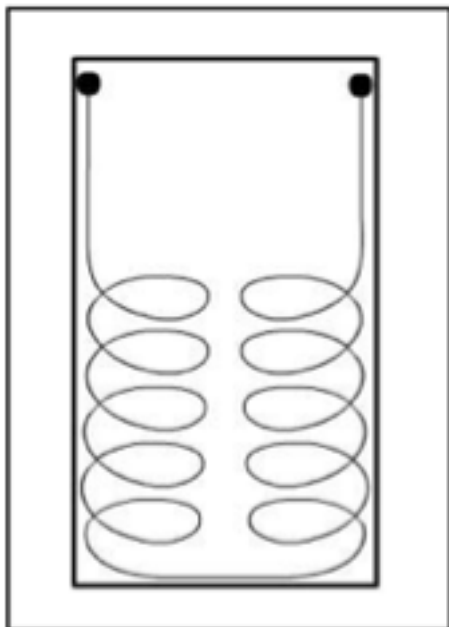
Δυστυχώς, ακόμη και οι σχετικά μεγάλες ατέλειες παράγουν μόνο μικροσκοπικές αλλαγές τάσης και η προσπάθεια να αυξηθεί το σήμα δημιουργεί αστάθεια. Επομένως, οι μικρές ατέλειες, όπως οι οπές της καρφίτσας, γενικά δεν ανιχνεύονται. Εντούτοις, η τεχνική αυτή είναι χρήσιμη για τους μεγάλους ή συνεχείς τύπους ατελειών και σήμερα αυτή η μέθοδος ανίχνευσης αποτελεί τη βάση της "απόλυτης" σπείρας, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως για να απομονώσει τους ανοικτούς όρους των ραφών στη ραφή της σωλήνωσης.



Εικ 3: Ανίχνευση ρωγμών με την απόλυτη μέθοδο

Η διαφορική σπείρα

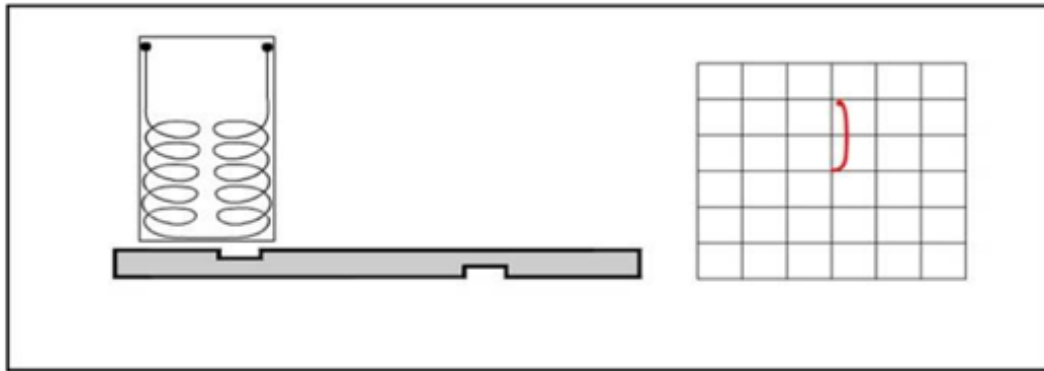
Η ανίχνευση των μικρότερων ατελειών απαιτεί μια πιο ευαίσθητη σπείρα, αλλά μιας που δεν είναι ευαίσθητης στις παραλλαγές που προκαλούνται από την ταλάντευση θερμοκρασίας ή τις ελάχιστες αλλαγές στον αέρα.^[5] Η "διαφορική" σπείρα παρέχει μια απλή αλλά κομψή λύση στο πρόβλημα.



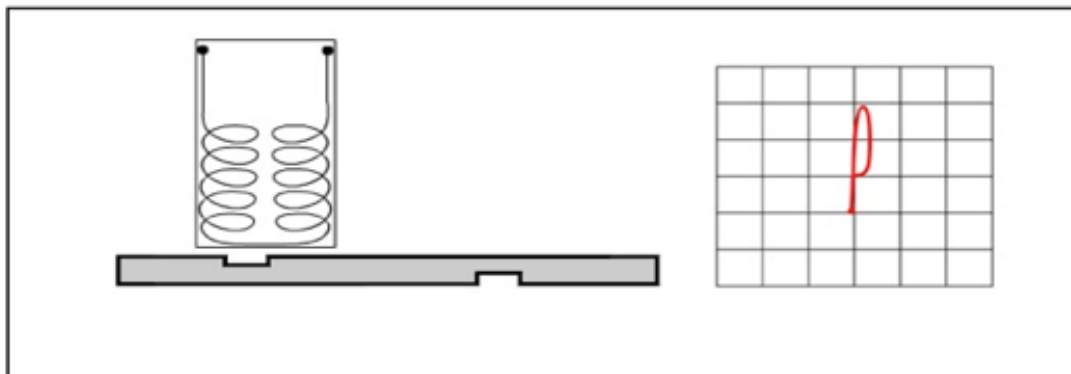
Εικ 4: Η Διαφορική σπείρα

Η διαφορική σπείρα είναι στην πραγματικότητα δύο σπείρες σε μία. Οι δύο σπείρες είναι αντίθετα η μια από την άλλη και το ζευγάρι τοποθετείται έπειτα, είτε μέσα, είτε κοντά στο εύρος της σπείρας διέγερσης, που ενεργεί σαν το δευτεροβάθμιο ενός μετασχηματιστή. Μια τέτοια διαμόρφωση παράγει είτε μια θετική είτε αρνητική έξοδο, ανάλογα με την οποία αντισταθμίζεται το τύλιγμα. Εντούτοις, πολύ μικρή ή καμία παραγωγή δημιουργείται από τα σήματα που είναι κοινά και για τα δύο καλύμματα. Παραδείγματος χάριν, τα σήματα παρέμβασης αυξάνονται είτε λόγω δόνησης ή θερμοκρασίας και τείνουν να αντισταθμίσουν την αλλαγή η κάθε μια ξεχωριστά με αποτέλεσμα να ακυρώσει η μια την άλλη. Οποιαδήποτε υπόλοιπη τάση «off-set» συνεχώς και αυτόματα ισορροπείται έξω από το ηλεκτρονικό σύστημα.

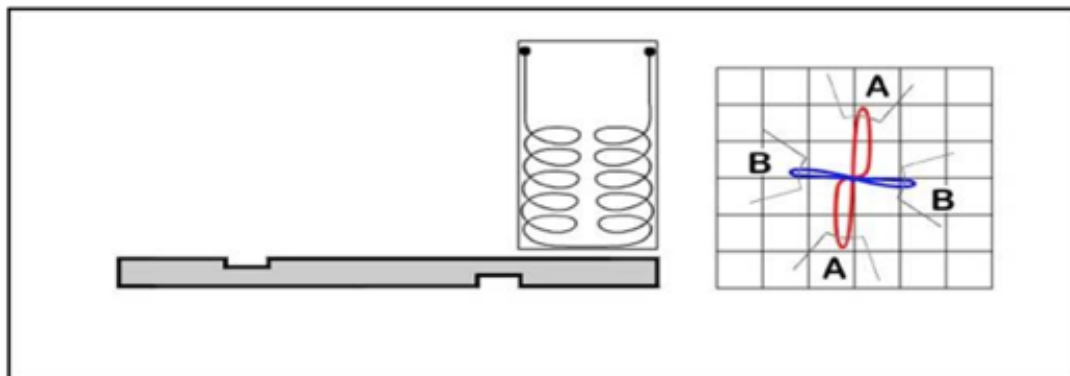
Το πλεονέκτημα σε μια τέτοια ρύθμιση είναι η δυνατότητά του να παράγει μια σχετικά μεγάλη τάση όταν "βλέπει" η μια κάτι διαφορετικό από την άλλη. Η διαφορική σπείρα παραδίδει συνεχόμενα βελτιωμένη ευαισθησία στις πολύ μικρές ατέλειες, συγχρόνως παράγοντας την εξαιρετική απόρριψη του "κοινού τρόπου λειτουργίας". Επιπλέον, η "γωνία φάσης" του σήματος ατέλειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει και να ταξινομήσει τους διάφορους τύπους ατελειών. Παραδείγματος χάριν, οι ρωγμές μπορούν να διαχωριστούν στην επιφάνεια ή κάτω από την επιφάνεια και η παρέμβαση από τι δονήσεις μπορούν εύκολα να διαχωριστούν από τα πραγματικά σήματα ρωγμών σε πολλές περιπτώσεις.



Εικ 5: Θετική έξοδος από την διαφορική σπείρα

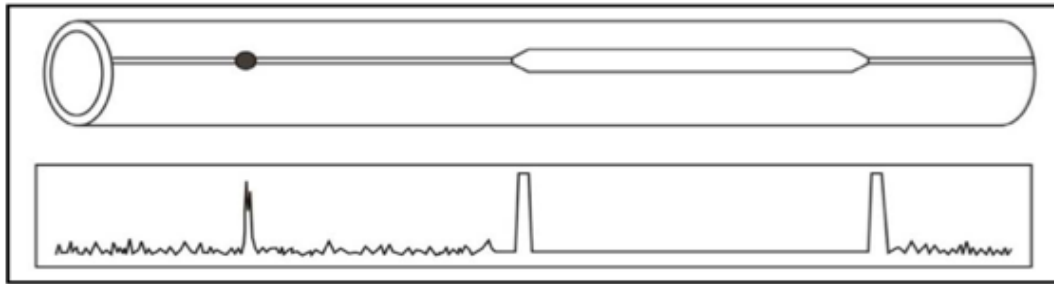


Εικ 6: Αρνητική έξοδος από την διαφορική σπείρα

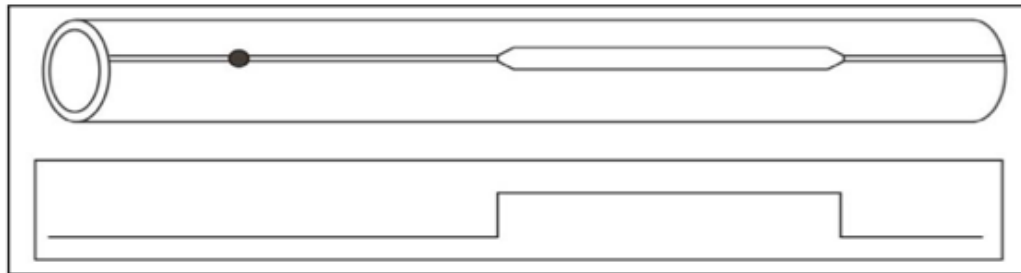


Εικ 7: Διαχωριστική επιφάνεια και υπο-επιφάνει με βάση την γωνία φάσης

Η δύναμη της διαφορικής σπείρας είναι επίσης και η μέγιστη αδυναμία της. Επειδή αντιλαμβάνεται μόνο διαφορές μεταξύ των περιλήξεων της, αυτή ανταποκρίνεται μόνο στις ξαφνικές και απότομες αλλαγές. Τα μακροχρόνια, συνεχή ελαττώματα, όπως η ανοικτή ραφή, μπορούν να παράγουν μια αρχική απόκλιση σαν σήμα αλλά αυτά εξισορροπούνται από το ηλεκτρονικό σύστημα, και μηδενίζονται εάν δεν υπάρχει καμία περαιτέρω αλλαγή. Επομένως, ένας συναγερμός παράγεται στην αρχή και στο τέλος μιας ανοικτής ραφής, αλλά όχι ενδιάμεσα. Αυτή η κατάσταση μπορεί να υπερνικηθεί εντούτοις, με τη χρησιμοποίηση και του διαφορικού και του απόλυτου πηνίου, που συνδυάζεται συχνά σε μια ενιαία σπείρα επιθεώρησης.



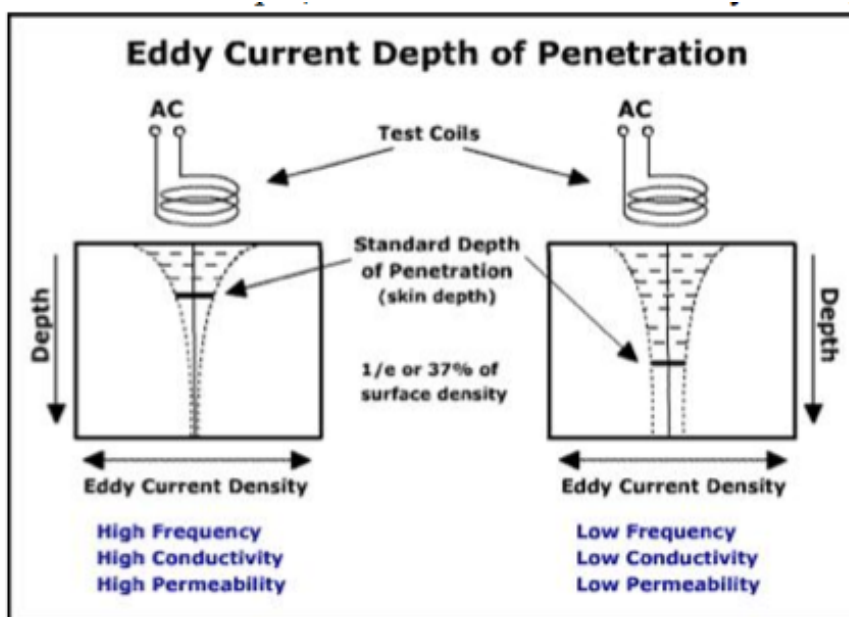
Εικ 8: Τυπικό διάγραμμα εξόδου διαφορικής σπείρας σε τρύπα και σε ανοιχτή ραφή



Εικ 9: Τυπικό διάγραμμα εξόδου της απόλυτης μεθόδου σε τρύπα και ανοιχτή ραφή

Βάθος της διείσδυσης

Μια άλλη σημαντική εκτίμηση είναι το περιορισμένο "βάθος της διείσδυσης" των ρευμάτων στροβίλου.^[5] Το πεδίο αποδυναμώνεται με το βάθος, και μειώνει την ευαισθησία στις (εσωτερικές) ατέλειες ταυτότητας του υλικού, ιδιαίτερα στο βαρύ σωλήνα τοίχων. Οι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στο βάθος διείσδυσης περιλαμβάνουν τη συχνότητα δοκιμής, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού και της μαγνητικές ιδιότητές του (διαπερατότητα).



Εικ 10: Βάθος διείσδυσης των δινορευμάτων

Οι παραλλαγές διαπερατότητας, στον κοινό ανθρακούχο χάλυβα και στους ανοξείδωτους χάλυβες 400, έχουν μια τεράστια επίδραση στο βάθος διείσδυσης αλλά καθίσταται εύκολα ασήμαντη με μαγνητική διαποτίση του υλικού και με την χρήση ενός ισχυρού εξωτερικού ηλεκτρομαγνήτη. Εντούτοις, κάποιος πρέπει να λάβει υπόψη το προστιθέμενα κόστη και το μέγεθος της μαγνήτισης κατά την προγραμματισμό μιας εγκατάστασης.

Μη σιδηρούχα υλικά (χαλκός, ορείχαλκος, αλουμίνιο, κλπ...) στα οποία δεν απαιτείται ο μαγνητικός κορεσμός τόσο που οι αρχικές δαπάνες εξοπλισμού είναι συχνά κάπως χαμηλότερες.

Οποιοσδήποτε καταρτισμένος μηχανικός μπορεί να καθορίσει την ιδανική συχνότητα και να υπολογίσει το βάθος της διείσδυσης του πεδίου. Από πρακτικής άποψης κάποιος μπορεί να περιμένει ένα τυπικό όριο στα.320” (8 mm) για τον μαγνητικό κορεσμό του ανθρακούχου χάλυβα και 0.080” (2 mm) για υψηλής αγωγιμότητας, μη σιδηρούχα υλικά όπως ο χαλκός και το αλουμίνιο.

Κοινές οδηγίες εγκατάστασης εξοπλισμού

Έλεγχος κατά την παραγωγική διαδικασία και εκτός

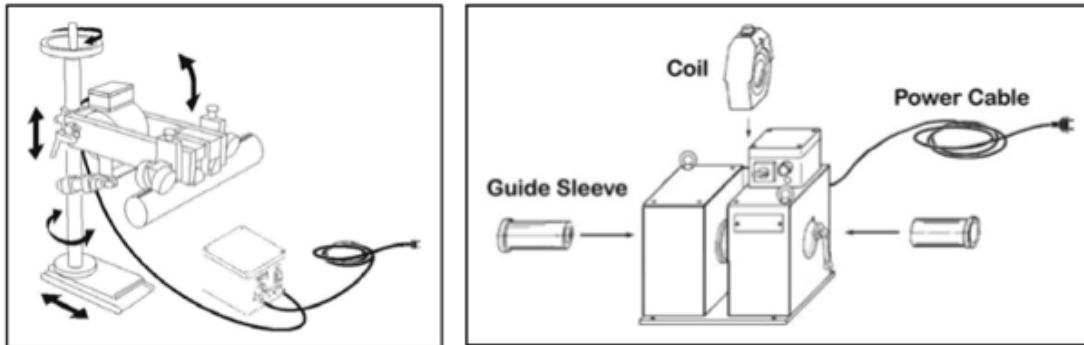
Καταρχήν, ο έλεγχος κατά την παραγωγική διαδικασία προτιμάται από το δειγματοληπτικό για διάφορους λόγους:

- παρέχει μια έγκαιρη προειδοποίηση της συγκόλλησης ή και άλλων προβλημάτων, που επιτρέπουν τη διορθωτική δράση που μπορεί να μειώσει το απόρριμμα.
- 100% του μήκους σωλήνων επιθεωρείται.
- δεν απαιτεί κανέναν συμπληρωματικό εξοπλισμό χειρισμού, ο οποίος μπορεί να είναι δαπανηρός.
- επιτρέπει τον πρόσθετο έλεγχο διεργασίας.

Αν και η δειγματοληπτική δοκιμή μπορεί να δημιουργήσει μια δυσχέρεια στη διαδικασία παραγωγής, μπορεί να είναι η μόνη επιλογή εάν κάποιος παράγει τον άνευ ραφής σωλήνα ή εάν δεν υπάρχει κανένα διάστημα διαθέσιμο για τον απαραίτητο εξοπλισμό. Στην περίπτωση του άνευ ραφής σωλήνα, το σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί ευθύγραμμα στη διαδικασία παραγωγής αλλά θα απαιτήσει ακόμα έναν μηχανισμό κίνησης για να ωθήσει τους σωλήνες διαμέσου της σπείρας επιθεώρησης και ενός επόμενου μηχανισμού για να διαχωρίσει τους απορριφθέντες σωλήνες.

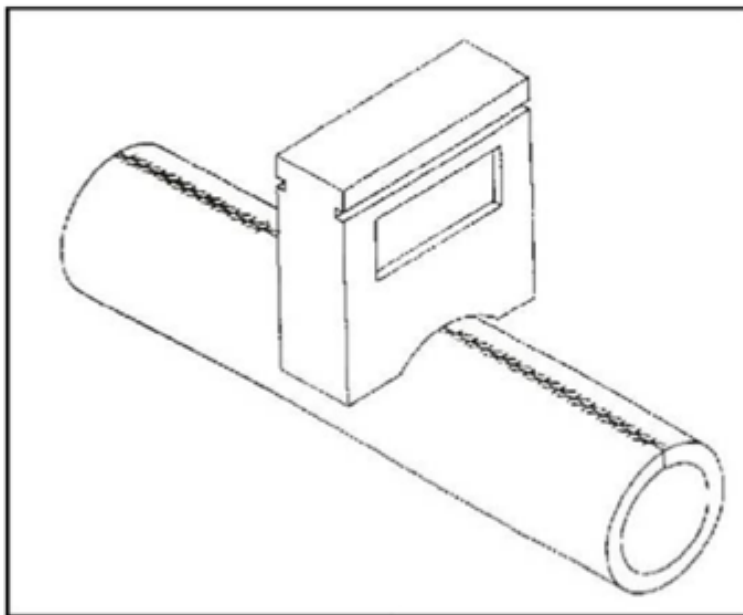
Επίσης, ένα τεράστιο σήμα παράγεται κάθε φορά που εισάγεται αρχικά ο σωλήνας στη σπείρα δοκιμής καθώς όταν βγαίνει. Αυτά τα σήματα "end effect" καταστέλλονται κανονικά χρησιμοποιώντας ένα σύστημα των αισθητήρων εγγύτητας και των σχεδίων συγχρονισμού ώστε να μην να εμποδιστεί η δοκιμή κατά τη διάρκεια αυτών των σύντομων διαστημάτων. Το καθαρό αποτέλεσμα εντούτοις, είναι ότι κάποιες ίντσες κοντά στις άκρες κάθε σωλήνα παραμένουν μη δοκιμασμένες.

Σπείρες τομέα εναντίον των σπειρών περικύκλωσης



Εικ 11: Σπείρες τομέα <<Sector coil>> μονάδα μαγνήτισης Εικ 12: Σπείρες περικύκλωσης << Encircling coil >> μονάδα μαγνήτισης

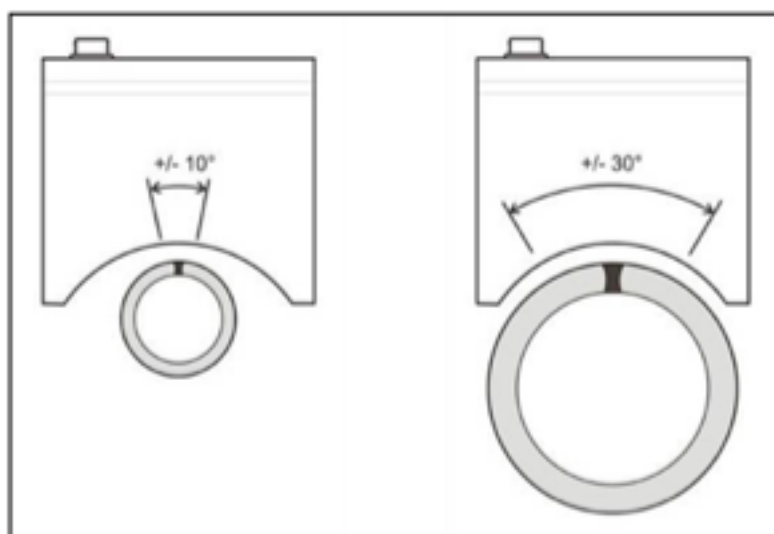
Οι σπείρες τομέα θεωρούνται γενικά καλή επιλογή για την επιθεώρηση της ραφής του σωλήνα. Η μορφή ημισέληνου τους συγκεντρώνει το πεδίο των δινορευμάτων στη ζώνη συγκόλλησης, που βελτιώνει την ευαισθησία, ειδικά στις μεγαλύτερες διαμέτρους. Μια ενιαία σπείρα μπορεί επίσης να καλύψει ένα αρκετά ευρύ φάσμα μεγέθους σωλήνων, εφ' όσον κρατιέται η συγκόλληση στη θέση top dead center.



Εικ 13: Σπείρα τομέα << Sector Coil >>

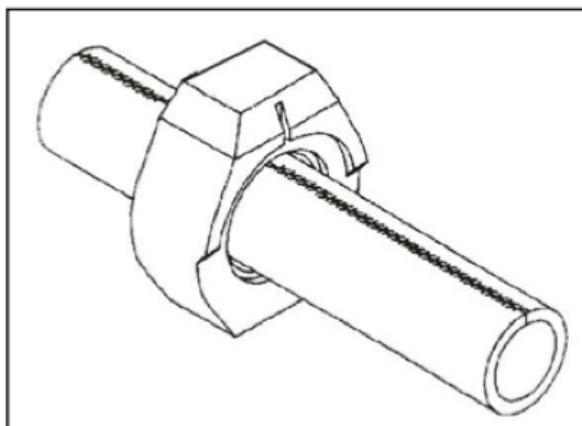
Πολλοί κάτοχοι σπειρών είναι υποχρεωμένοι να παρέχουν κάποια συμμόρφωση σε περίπτωση συντριβής των τόνων. Αυτό μειώνει τη πιθανότητα ζημίας στη σπείρα, το οποίο είναι και ο πιο κοινός λόγος για αντικατάσταση.

Ακόμα δεν πρέπει να ξεχνάμε, ότι οι σπείρες τομέα έχουν μόνο ένα και περιορισμένο οπτικό πεδίο. Δεν υπάρχει καμία επιθεώρηση του σώματος του σωλήνα, το οποίος είναι συχνά μια απαίτηση για τους επικυρωμένους σωλήνες και το σωλήνα API (αμερικανικό ίδρυμα πετρελαίου). Είναι επίσης ατελέσφοροι εάν υπάρχει αυστηρή συστροφή στην συγκόλληση, δεδομένου ότι η συγκόλληση μπορεί να περιστραφεί από τη ζώνη επιθεώρησης.



Εικ 14: Εύρος κάλυψης των σπειρών τομέα 1 όρια κόλλησης 2 διάμετρος σωλήνα

Η σπείρα περικύκλωσης απ' την άλλη, δεν επηρεάζεται από τη συστροφή συγκόλλησης και καλύπτουν ολόκληρη την περιφέρεια των σωλήνων. Παράγουν επίσης καλή ευαισθησία για να ενώσουν στενά τις ατέλειες όταν εφαρμόζονται στις μικρότερες διαμέτρους δηλ λιγότερο των δύο ιντσών. Ο κύριος λόγος που η σπείρα περικύκλωσης δεν χρησιμοποιείται συχνότερα στους μύλους συγκόλλησης είναι το αρχικό κόστος τους και η ευαισθησία τους στη ζημία.



Εικ 15: Σπείρες Περικύκλωσης << Encircling coil >>

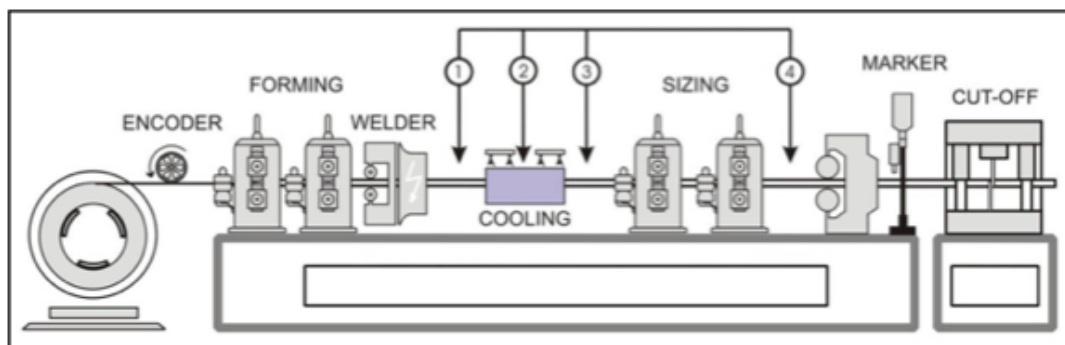
Για να εξασφαλίσει επαρκή ευαισθησία, η σπείρα περικύκλωσης(encircling coil) πρέπει προσεκτικά να αντιστοιχηθεί σε κάθε μέγεθος σωλήνων προκειμένου να διατηρηθεί ένας κατάλληλος "παράγοντας αφθονίας" (μια αναλογία της διαμέτρου σωλήνων στη διάμετρο των σπειρών). Διάφορα σύνολα σπειρών και δακτυλίων οδηγών απαιτούνται συχνά για να καλύψουν επαρκώς την ολόκληρη σειρά μεγέθους παραγωγής.

Αυτές οι σχετικά σφιχτές εκκαθαρίσεις σπειρών αυξάνουν πολύ την πιθανότητα της ζημίας από τις διασπάσεις συγκόλλησης ή τις κακές συγκολλήσεις. Οι συγκεντρώσεις σωλήνων στη σπείρα μπορούν να γίνουν ένα κοινό, και ακριβό, περιστατικό.

Η ευαισθησία της σπείρα περικύκλωσης(encircling coil) στο να ενώσει στενά τις ατέλειες μικραίνει όπως η διάμετρος σωλήνων αυξάνεται πέρα από τις τρεις ίντσες, και η ταυτότητα (scarf id) τείνει να προκαλέσει τις διαταραχές του μαγνητικού πεδίου, το οποίο μπορεί να παραγάγει τα ψεύτικα σήματα απορριμμάτων.

Ακόμα, πολλοί κυλινδρικοί μύλοι λειτουργούν επιτυχώς με το encircling coil εντοπίζονται συχνά μεταξύ της ταξινόμησης των σωλήνων για να ελαχιστοποιήσουν τη πιθανότητα ζημίας.

Καθορισμός της καλύτερης θέσης



Εικ 16: Σημεία εγκατάστασης μεθόδου ελέγχου

Υπάρχουν συνήθως τέσσερις συγκεκριμένες περιοχές όπου η μηχανή επιθεώρησης μπορεί πιθανώς να τοποθετηθεί. Κάθε μια από αυτές τις θέσεις έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

- **Στην Συγκόλληση**

Ο προσδιορισμός θέσης ενός αισθητήρα αμέσως μετά από τη συγκόλληση παράγει την έγκαιρη ανίχνευση των ατελειών, η οποία μπορεί να είναι αρκετά χρήσιμη σε μερικές περιπτώσεις. Παραδείγματος χάριν, οι διασπάσεις συγκόλλησης μπορούν να είναι ιδιαίτερα προβληματικές tig (αδρανές αέριο βολφραμίου) στις συγκολλημένες ανοξειδωτες γραμμές που εγχέουν επάνω αέριο υδρογόνου. Μια διάσπαση στη συγκόλληση μπορεί να επιτρέψει στο αέριο για να δραπετεύσει, παράγοντας μια

έκρηξη υδρογόνου όταν εισάγθει ο σωλήνας στον φούρνο ανόπτησης. Ένας έλεγχος δινορευμάτος μπορεί αμέσως να ανιχνεύσει τη διάσπαση και να διακόψει αυτόματα τη γραμμή προτού να φθάσει η διάσπαση στο annealer.

Οι αισθητήρες μπορούν επίσης να εγκατασταθούν στις γραμμές συγκόλλησης επαγωγής και αν και ο συγκολλητής αναπτύσσει δραστηριότητες στην υψηλή συχνότητα, προκαλείται σπάνια οποιαδήποτε ηλεκτρική παρέμβαση στον ελεγκτή των δινορευμάτων. Από σημαντική ανησυχία εν τούτοις, είναι πάλι η πιθανότητα ζημίας. Οι σπείρες ή οι έλεγχοι σε αυτήν την θέση πρέπει να ψυχθούν επαρκώς είτε με νερό είτε με αέρα, αλλιώς μπορεί να καταστραφεί ο αισθητήρας.

Ο μαγνητικός κορεσμός συνήθως δεν απαιτείται, ακόμη και στον ανθρακούχο χάλυβα, επειδή η θερμοκρασία της συγκόλλησης είναι συνήθως πάνω από το σημείο κιουρί (περίπου 1400 βαθμοί K) όπου ο χάλυβας γίνεται μη - μαγνητικός. Εντούτοις, αυτό γίνεται προβληματικό κατά την προσπάθεια να βαθμολογηθεί ο έλεγχος δεδομένου ότι οι ίδιοι όροι δεν μπορούν να αναδημιουργηθούν σε έναν δειγματοληπτικό σωλήνα σε θερμοκρασία δωματίου.

- **Στο μάνιο μετά την συγκόλληση**

Πολλά sector coils(σπείρα τομέα) είναι αδιάβροχα και το μαγνητικό πεδίο των δινορευμάτων είναι γενικά απρόσβλητο από το ψυκτικό μέσο. Στις μικρότερες γραμμές το μάνιο είναι συχνά η μόνη διαθέσιμη θέση για την κεφαλή επιθεώρησης. Εντούτοις, ο σωλήνας είναι συνήθως αστήρικτος σε αυτό το σημείο. Πρέπει να ληφθεί προσοχή για να εξασφαλισθεί ότι η κεντρική γραμμή του σωλήνα κρατιέται σταθερή. Σημεία υποστήριξης μπορούν να απαιτηθούν για να μειώσουν τη μετακίνηση των σωλήνων κατά τη δόνηση.

- **Μετά το μάνιο πριν την τελική διαμόρφωση**

Αυτό είναι πιθανώς το δημοφιλέστερο σημείο για τις περισσότερες εγκαταστάσεις. Υπάρχει συχνά επαρκές διάστημα για τον αισθητήρα, ο σωλήνας έχει καλή υποστήριξη από τα ράουλα ταξινόμησης στην κάτω πλευρά, η συγκόλληση είναι ακόμα στην κορυφή και ο σωλήνας έχει ψυχθεί επαρκώς. Ένα ράουλο πρόσθετης υποστήριξης μπορεί να απαιτηθεί στο τέλος του ψυγείου για πρόσθετη σταθερότητα.

- **Στην τελική διαμόρφωση**

Η τελική διαμόρφωση ασκεί πρόσθετες τάσεις στο σωλήνα με αποτέλεσμα να ανοίξουν ορισμένοι τύποι ατελειών, όπως οι κρύες συγκολλήσεις, οι οποίες είναι δύσκολο ή αδύνατο να ανιχνευθούν. Τα ράουλα διαμόρφωσης παρέχουν επίσης άριστη σταθερότητα της γραμμής περασμάτων και πρόσθετη προστασίας εάν κάποιος

χρησιμοποιεί της σπείρες περικύκλωσης. Αυτή η θέση χρησιμοποιείται συνήθως στις τίγ γραμμές για την πλήρη επιθεώρηση του σωλήνα .

Η κύρια δυσκολία στις σωληνομηχανές χάλυβα είναι ότι σπάνια υπάρχει αρκετό διάστημα διαθέσιμο μεταξύ των ραούλων για να εγκατασταθεί η μαγνητική συσκευή, η οποία είναι γενικά πολύ μεγαλύτερη από τα απλά πηνία που σχεδιάζονται για τα μη σιδηρούχα υλικά. Τα κεφάλια των σπειρών τομέα απαιτούν λιγότερο διάστημα από τα συστήματα full body αλλά μπορούν να είναι μη πρακτικά εάν η συστροφή συγκόλλησης είναι προφανής.

Πρέπει να μην τοποθετείται το κεφάλι κοντά στο τέλος της σωληνομηχανής διότι η μηχανική δόνηση από τη διακοπή παράγει έντονη παρέμβαση, με συνέπεια την δημιουργία πολυάριθμων ψεύτικων σημάτων που είναι δύσκολο να φιλτραριστούν.

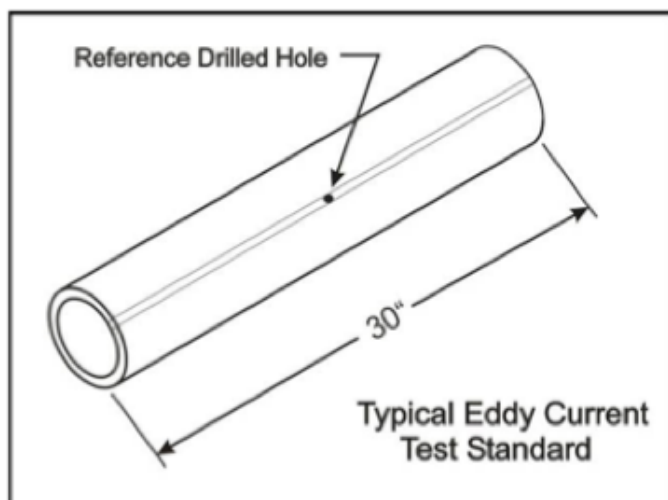
Προσδιορισμός θέσης των ηλεκτρονικών ενδείξεων

Η θέση των ηλεκτρονικών ενδείξεων πρέπει να είναι ευπρόσιτη και ορατή και από την κονσόλα του χειριστή και από τον επικεφαλής της δοκιμής. Αυτό επιτρέπει σε ένα μεμονωμένο πρόσωπο να οργανώσει και να βαθμονομήσει το σύστημα.

Η συμμετοχή χειριστών είναι κρίσιμη εάν το σύστημα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως διαγνωστικό εργαλείο για τον έλεγχο της διεργασίας. Είναι επομένως σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι ο χειριστής της μηχανής έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί την οθόνη των ενδείξεων.

Διαδικασίες διαβάθμισης & σεταρίσματος

Προτού μπορέσει να αρχίσει κάποιος την χρήση των δινορευμάτων, η ευαισθησία του συστημάτων πρέπει πρώτα να βαθμονομηθεί σε πρότυπα αναφοράς βασικών γραμμών. Τα πρότυπα αναφοράς μπορούν να δημιουργηθούν στο εσωτερικό με την κατασκευή ενός μήκους του σωλήνα που περιέχει μια γνωστή ρωγμή. Αν και οι αρχειοθετημένες ή επεξεργασμένες στη μηχανή εγκοπές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ρωγμές αναφοράς, η ευκολότερη μέθοδος είναι να γίνει μια τρύπα μέσω της συγκόλλησης.



Εικ 17: Δημιουργώντας δοκίμιο

Τα τρυπημένα κενά είναι επαναλαμβανόμενα, εύκολα να αναπαραχθούν και δεν απαιτούν κανέναν ειδικό εργαλείο ή εξοπλισμό. Τα πιο κοινά πρότυπα αναφοράς για τους σωλήνες είναι η 0,031 "(0,8 χιλ.) τρύπα, η οποία ικανοποιεί τις απαιτήσεις ASTM α- 450 (για το σιδηρούχο υλικό) και ε- 426 (μη σιδηρούχος).

Ιδανικά ο σωλήνας αναφοράς πρέπει να είναι του ίδιου υλικού, διαμέτρου και πάχους με αυτόν που εξετάζεται, έτσι ποικίλα δείγματα μπορούν να απαιτηθούν. Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα πρότυπα, η οργάνωση συστημάτων πρέπει να ελεγχθεί τουλάχιστον μια φορά, ή οποιαδήποτε στιγμή υπάρξει κάποια μετατροπή σε ένα μέγεθος των προϊόντων.

Εφαρμογή της δοκιμής των δινορευμάτων για τον έλεγχο ποιότητας της διεργασίας

Μερικά συστήματα δινορευμάτων χρησιμοποιούνται ως ανιχνευτές ρωγμών για να μην αποσταλεί ελαττωματικός σωλήνας στους πελάτες.^[3] Αυτός ο κίνδυνος αποτελεί ικανοποιητικό λόγο για να εγκατασταθεί ένα σύστημα. Αλλά μια τέτοια στενή άποψη χάνει ίσως το σημαντικότερο νόημα για τη δοκιμή των δινορευμάτων καθώς μπορεί να είναι το βασικό συστατικό σε ένα γενικό σύστημα ελέγχου διεργασίας.

Χαρακτηριστικές ατέλειες

Προτού μπορέσει η τεχνολογία να εφαρμοστεί για τον έλεγχο διεργασίας, είναι χρήσιμο να γίνει κατανοητό ακριβώς ποιοι τύποι ατελειών μπορούν να βρεθούν. Ένα κατάλληλα εγκατεστημένο και βαθμονομημένο σύστημα δινορευμάτων είναι σε θέση να ανακαλύψει τα εξής:

- Butt welds, weld splits, open seams*
- Pin holes, cross cracks, porosity, lack of fusion
- Lamination (within the inspection zone), hook cracks
- Edge misalignment & overlaps

(* Open seam detection requires an absolute coil to signal the entire length)

Ωστόσο η μέθοδος των δινορευμάτων έχει και κάποιους περιορισμούς. Οι παρακάτω ατέλειες είναι δύσκολο η αδύνατο να ανιχνευτούν:

- Κρύες συγκολλήσεις
- Αλλα συνεχόμενου τύπου ελλατώματα

Βελτιστοποίηση της διαδικασίας συγκόλλησης

Οι κρύες συγκολλήσεις στο χάλυβα είναι ιδιαίτερα δύσκολο να βρεθούν στην ανίχνευση λόγω της συνεχούς και ομοιόμορφης φύσης τους. Πολλές προκαλούνται από υπερβολική θερμότητα, παρά από έλλειψη όπως κάποιος θα ανέμενε. Η εφαρμογή της υπερβολικής θερμότητας και της πίεσης συμπιέζει το μεγαλύτερο μέρος του λειωμένου υλικού, που φεύγει πίσω από δύο κρύες άκρες που είναι κακώς συγκολλημένες.

Μέχρι σήμερα, πρέπει ακόμα να αναπτυχθεί κάτι αξιόπιστο, οικονομικώς αποδοτικό ως τρόπος για τις κρύες συγκολλήσεις. Δεδομένου ότι δεν μπορούν πάντα να ανιχνευθούν, είναι πολύ καλύτερο να αποφευχθούν. Το σύστημα των δινορευμάτων μπορεί να βοηθήσει.

Η υπερβολική θερμότητα αναγκάζει το εσωτερικό σταγονίδιο να πυκνώσει και να γίνει άμορφη μάζα. Αυτές οι σφαίρες δημιουργούν τις διαταραχές των δινορευμάτων, οι οποίες προκαλούν στη συνέχεια μια σημαντική αύξηση στο σήμα. Αυτή η άνοδος στο επίπεδο "θόρυβου" μπορεί να φανεί στην οθόνη και να χρησιμοποιηθεί επίσης για να ενεργοποιήσει μια συσκευή ειδοποίησης. Έχοντας το χειριστή στη θερμότητα να ελέγχει την οθόνη του δίνει την δυνατότητα να τελειοποιήσει τον θόρυβο σε ένα σημείο ακριβώς κάτω από το κρίσιμο επίπεδο. Η θερμοκρασία συγκόλλησης είναι κοντά σε αυτήν του καυτού τέλους, αλλά όχι τόσο καυτή ώστε να δημιουργηθεί βρασμός, ο οποίος θα μπορούσε όχι μόνο να προκαλέσει τις κρύες συγκολλήσεις αλλά και το πορώδες.

Οι Tig συγκολλητές μπορούν επίσης να εκμεταλλευθούν τον θόρυβο για να ελαχιστοποιήσουν τη χρήση αερίου. Πολλές tig γραμμές συγκόλλησης εγχέουν το ήλιο επάνω για να ελαχιστοποιηθεί το <<spatter of the ID bead>> . Για να βρει το ελάχιστο απαιτούμενο, το ποσοστό ροής μειώνεται αρχικά σε ένα σημείο όπου το spatter αρχίζει να παράγει μια αύξηση στο θόρυβο και έπειτα βαθμιαία αυξανόμενος μέχρι την επιστροφή του σήματος στο κανονικό.

Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική, μερικοί έχουν εκθέσει τις μειώσεις της κατανάλωσης ηλίου μέχρι 30%, μειώνοντας τις δαπάνες αερίου αρκετά.

Επισήμανση των προβλημάτων σεταρίσματος των μηχανών και των ταινιών

Πολλά προβλήματα μπορούν να εντοπιστούν γρήγορα και μόνο με την παρατήρηση. Παραδείγματος χάριν, ένα σπασμένο *πέραςμα πτερυγίων* «*broken fin*» (που χρησιμοποιείται για να ευθυγραμμίσει τις άκρες των λουρίδων ακριβώς πριν από τη συγκόλληση) χαρακώνει τη λουρίδα μια φορά και παράγει συχνά σπές. Αυτά τα «dings» παρουσιάζονται ως κανονικό, συνεχώς επαναλαμβανόμενο σήμα.

Αλλά ομοίως "κυκλικά" σήματα θα ήταν επανάληψη σε έναν κύλινδρο, ένα κοινό περιστατικό στους μύλους αργιλίου, ή ζημία των ακρέων λουρίδων που προκαλείται από τη διαχειριζόμενη κατάχρηση των σπειρών. Σε κάθε περίπτωση, η παρατήρηση της απόστασης μεταξύ των σημάτων καθιστά εύκολο να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά την περιφέρεια. Αυτό θα έδειχνε είτε ένα χαλασμένο ράουλο είτε τα coil.

Δεν είναι όλα τα σήματα κυκλικά και μπορεί να απαιτηθεί περαιτέρω έρευνα για να καθοριστεί η πηγή τους.

Αυτοί περιλαμβάνουν:

- O Total loss of ID or OD scarf
- O Impeder failure
- O Scarfing chatter

Οποιοδήποτε σύστημα δινορευμάτων μπορεί μόνο να δείξει ότι υπάρχει πρόβλημα κάποιου είδους, αντίθετα δεν μπορεί πάντα να εξακριβώσει την ακριβή αιτία του προβλήματος. Πάλι, η συμμετοχή των χειριστών είναι κρίσιμη δεδομένου ότι οι διορθωτικές ενέργειές τους απαιτούνται για να ολοκληρώσουν το βρόχο ελέγχου της διεργασίας.

Περιορισμοί της δοκιμής ρευμάτων στροβίλου

Η δοκιμή των δινορευμάτων μπορεί να ανιχνεύσει μια ευρεία ποικιλία των ατελειών αλλά έχει μερικούς περιορισμούς. Όπως αναφέρθηκε πριν, οι κρύες συγκολλήσεις, η ανοικτή ραφή και άλλα συνεχώς ομοιόμορφα ελαττώματα είναι δύσκολα ανιχνεύσιμα. Επιπλέον, ορισμένα προϊόντα μπορούν να παράγουν υψηλό θόρυβο λόγω ανώμαλης επιφάνειας ή της σύνθεσης τους.

Ο θερμής έλασης «μαύρος» χάλυβας και μερικοί που γαλβανίστηκαν ή που καλύφθηκαν με ψευδάργυρο μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα. Τα κανονικά και υψηλά επίπεδα τείνουν να καλύψουν τις μικρότερες ατέλειες και η ευαισθησία των συστημάτων ίσως να χρειαστεί να μειωθεί για να αποτραπούν τα ψεύτικα σήματα. Εντούτοις, ακόμη και με μειωμένα οφέλη, τα δινορεύματα έχουν

επιτοπλίστον σημαντικά οφέλη. Συνολικά, κάποιος μπορεί να αναμένει να βρει περίπου 85% των πιο κοινότυπων ατελειών.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Εδώ παρουσιάζονται συνοπτικά μερικά από τα οφέλη της μεθόδου των δινορευμάτων:

- Το κόστος εγκατάστασης της μεθόδου είναι σχετικά χαμηλό έναντι άλλων τεχνικών επιθεώρησης.
- Αποτελεί οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση, καθώς παρέχει συχνά την επιστροφή του κεφαλαίου σε εντυπωσιακά μικρό χρονικό διάστημα, μερικές φορές τόσο σύντομα όπως μέσα σε ένα έτος.
- Με την κατάλληλη συντήρηση, η ζωή του εξοπλισμού μπορεί να υπερβεί τα είκοσι έτη.
- Η προσφορά "των επιθεωρημένων" προϊόντων με τα δινορεύματα μπορεί να ανοίξει και πρόσθετες αγορές.
- Αποτελεί μια μέθοδο έλεγχου της παραγωγικής διαδικασίας κατά την παραγωγή σωλήνων, μειώνοντας έτσι κατά συνέπεια το απόρριμμα και τους χρόνους διακοπής.

Το τελευταίο σημείο, *έλεγχος διεργασίας*, μπορεί να είναι το πιο υποτιμημένο αλλά αποτελεί το σημαντικότερο όφελος όλων. Η τεχνολογία των δινορευμάτων όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα, παρέχει επίσης την πολύτιμη ανατροφοδότηση επιτρέποντας τον πρόσθετο έλεγχο του σωλήνα κατά την διαδικασία. Ο συνδυασμός της ποιότητας των προϊόντων με τον έλεγχο διεργασίας παράγει πολλά οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των ικανοποιημένων πελατών και των βελτιωμένων κερδών.

ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΤΥΠΟΙ

OHM's LAW	Impedance	Phase Angle
$I = \frac{V}{Z}$ <p>Where:</p> <p>I = Current (amp) V = Voltage (volt) Z = Impedance (ohm)</p>	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ <p>Where:</p> <p>Z = Impedance (ohm) R = Resistance (ohm) XL = Inductance Reactance (ohm)</p>	$\text{Tan}\phi = \frac{X_L}{R}$ <p>Where:</p> <p>f = Phase Angle (deg) XL = Inductance Reactance (ohm) R = Resistance (ohm)</p> <p><i>More Information</i></p>
Magnetic Permeability	Relative Magnetic Permeability	Conductivity&Resistivity
$\mu = \frac{B}{H}$ <p>Where:</p> <p>m = Magnetic Permeability (Henries/meter) B = Magnetic Flux Density (Tesla) H = Magnetizing Force (Am/meter)</p>	$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ <p>Where:</p> <p>μr = Relative Magnetic Permeability (dimensionless) m = Any Given Magnetic Permeability (H/m) μ0 = Free Space (H/m), which is 1.257 x 10⁻⁶ H/m</p>	$\sigma = \frac{1}{\rho}$ <p>Where:</p> <p>S = Electrical Conductivity Siemens/m r = Electrical Resistivity (ohm-m)</p>
Electrical Conductivity	Electrical Conductivity	Current Density
<p>When resistivity is known</p> $\sigma_{\%IACS} = \frac{172.41}{\rho}$ <p>Where:</p> <p>S%IACS = Electrical Conductivity (% IACS) r = Electrical Resistivity (mohm-cm) SmS/cm = Electrical Conductivity (mSiemens/cm)</p>	<p>When conductivity in S/m or mS/cm is known</p> $\sigma_{\%IACS} = 172.41\sigma_{S/m}$ <p>Where:</p> <p>S%IACS = Electrical Conductivity (% IACS) SmS/m = Electrical Conductivity (Siemens/meter) SmS/cm = Electrical Conductivity (mSiemens/cm)</p>	$J_x = J_0 e^{-x/d}$ <p>Where:</p> <p>Jx = Current Density (amps/m²) J0 = Current Density at Surface (amps/m²) e = Base Natural Log = 2.71828 x = Distance Below Surface d = Standard Depth of Penetration</p>

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΑΦΗΣ ΧΑΛΥΒΟΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Standard Depth of Penetration	Standard Depth of Penetration	Standard Depth of Penetration
<p>When electrical conductivity (S/m) is known.</p> $\delta \approx \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$ <p>Where:</p> <p>d = Standard Depth of Penetration (m)</p> <p>p = 3.14</p> <p>f = Test Frequency (Hz)</p> <p>m = Magnetic Permeability (H/m) (1.257 x 10⁻⁶ H/m for nonmagnetic mat'ls)</p> <p>s = Electrical Conductivity (Siemens/m)</p>	<p>When electrical conductivity (%IACS) is known.</p> <p>In mm $\delta_{mm} \approx \frac{661}{\sqrt{f \mu_r \sigma}}$</p> <p>In inches $\delta_{inch} \approx \frac{26}{\sqrt{f \mu_r \sigma}}$</p> <p>Where:</p> <p>d = Standard Depth of Penetration (mm or in)</p> <p>f = Test Frequency (Hz)</p> <p>m_r = Relative Magnetic Permeability (dimensionless)</p> <p>s = Electrical Conductivity (%IACS)</p>	<p>When electrical resistivity (mohm-cm) is known.</p> <p>In mm $\delta_{mm} \approx 50 \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_r}}$</p> <p>In inches $\delta_{inch} \approx 1.98 \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_r}}$</p> <p>Where:</p> <p>d = Standard Depth of Penetration (mm or in)</p> <p>r = Electrical Resistivity (mohm-cm)</p> <p>f = Test Frequency (Hz)</p> <p>m_r = Relative Magnetic Permeability (dimensionless)</p>

Eddy Current Field Phase Lag	Eddy Current Field Phase Lag	Eddy Current Field Phase Lag
<p>In Radian $\theta = \frac{x}{\delta}$</p> <p>In Degrees $\theta = \frac{x}{\delta} \cdot 57.3$</p> <p>Where:</p> <p>q = Phase Lag (Rad or Degrees)</p> <p>x = Distance Below Surface (in or mm)</p> <p>d = Standard Depth of Penetration (in or mm)</p>	<p>When electrical conductivity (S/m) is known.</p> $\theta \approx 57.3x \sqrt{\pi f \mu_r \sigma}$ <p>Where:</p> <p>q = Phase Lag (degrees)</p> <p>x = Distance Below Surface (m)</p> <p>p = 3.14</p> <p>f = Test Frequency (Hz)</p> <p>m_r = Relative Magnetic Permeability</p> <p>s = Electrical Conductivity (Siemens/m)</p>	<p>When electrical conductivity (%IACS) is known.</p> <p>In mm $\theta \approx \frac{x \sqrt{f \mu_r \sigma}}{11.54}$</p> <p>In inches $\theta \approx 2.2x \sqrt{f \mu_r \sigma}$</p> <p>Where:</p> <p>q = Phase Lag (degrees)</p> <p>x = Distance Below Surface (mm)</p> <p>f = Test Frequency (Hz)</p> <p>m_r = Relative Magnetic Permeability (dimensionless)</p> <p>s = Electrical Conductivity (%IACS)</p>

Standard Depth Of Penetration and Phase Angle	Material Thickness Requirement for Resistivity	Frequency Selection For Thickness																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Std. Depth</th> <th>Relative Strength of EC</th> <th>Phase Lag</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>e⁰=100%</td> <td>0 rad = 0°</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>e⁻¹=37%</td> <td>1 rad = 57.3°</td> </tr> <tr> <td>2d</td> <td>e⁻²=14%</td> <td>2 rad = 114.6°</td> </tr> <tr> <td>3d</td> <td>e⁻³=5%</td> <td>3 rad = 171.9°</td> </tr> <tr> <td>4d</td> <td>e⁻⁴=2%</td> <td>4 rad = 229.2°</td> </tr> <tr> <td>5d</td> <td>e⁻⁵=0.7%</td> <td>5 rad = 286.5°</td> </tr> </tbody> </table>	Std. Depth	Relative Strength of EC	Phase Lag	0	e ⁰ =100%	0 rad = 0°	d	e ⁻¹ =37%	1 rad = 57.3°	2d	e ⁻² =14%	2 rad = 114.6°	3d	e ⁻³ =5%	3 rad = 171.9°	4d	e ⁻⁴ =2%	4 rad = 229.2°	5d	e ⁻⁵ =0.7%	5 rad = 286.5°	<p>When measuring resistivity or conductivity, the thickness of the material should be at least 3 times the depth of penetration to minimize material thickness effects</p> $t \geq 3\delta$ <p>Where:</p> <p>t = Material Thickness</p> <p>d = Standard Depth of Penetration</p>	<p>Selecting a frequency that produces a standard depth of penetration that exceeds the material thickness by 25% will produce a phase angle of approximately 90° between the liftoff signal and the material thickness change signal.</p> $1.25t = \delta$ <p>OR</p> $t = 0.8\delta$
Std. Depth	Relative Strength of EC	Phase Lag																					
0	e ⁰ =100%	0 rad = 0°																					
d	e ⁻¹ =37%	1 rad = 57.3°																					
2d	e ⁻² =14%	2 rad = 114.6°																					
3d	e ⁻³ =5%	3 rad = 171.9°																					
4d	e ⁻⁴ =2%	4 rad = 229.2°																					
5d	e ⁻⁵ =0.7%	5 rad = 286.5°																					

1.3.ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο Μ.Κ.Ε χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους, κάθε μια από τις οποίες βασίζεται σε συγκεκριμένη επιστημονική παραδοχή ή αρχή λειτουργίας και επίσης μπορεί να διακρίνεται σε περισσότερες από μια τεχνικές. Η αξία κάθε μεθόδου εξαρτάται από το είδος του προβλήματος. Μια μέθοδος ή τεχνική, λόγω της φύσης και της λειτουργίας της, μπορεί να είναι από ιδανική έως και εντελώς άχρηστη για την εφαρμογή που έχουμε υπ' όψιν μας. Για το λόγο αυτό η σωστή επιλογή είναι σημαντική για την τελική απόδοση του ΜΚΕ.

Οι κυριότερες κατηγορίες μεθόδων και τεχνικές ΜΚΕ είναι οι εξής:



1.3.1.ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οπτικός Έλεγχος (Visual Inspection)

Ο πιο απλός τρόπος έλεγχου που δεν καταστρέφει μια κατασκευή είναι ο οπτικός έλεγχος. Ο οπτικός έλεγχος καταδεικνύει τα εμφανή ελατώματα μιας κατασκευής, δηλαδή αυτά που βρίσκονται στην επιφάνεια του υλικού και έχουν ορατό μέγεθος. Ο οπτικός έλεγχος ο οποίος χρησιμοποιείται σήμερα στην πλειοψηφία των εταιριών που δρουν στην ελληνική πραγματικότητα καθώς και στην γραμμή παραγωγής της εταιρίας στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Πρέπει να πραγματοποιείται συνεχώς σε όλα τα στάδια πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την συγκόλληση. Στην γραμμή παραγωγής που εξετάστηκε κατά την διάρκεια της συγκόλλησης ελέγχεται από τον χειριστή της μηχανής και τέλος η ραφή καθώς και ο σωλήνας στην τελική του μορφή ελέγχεται από τον «πακεταδόρο» και τα την συσκευασία των δεμάτων.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον οπτικό έλεγχο^[6] γενικότερα είναι:

- ✓ Παχύμετρο
- ✓ Μικρόμετρο
- ✓ Γωνία για τον έλεγχο της ευθύτητας, ευθυγράμμισης και της καθετότητας
- ✓ Μεγενθυντικός φακός

Οπτικός Έλεγχος με Βιντεοσκόπηση (Video Inspection)

Αγωγοί υγρών και αέριων, αποχετεύσεις και αγωγοί όμβριων υδάτων μπορούν να εξεταστούν οπτικά στο εσωτερικό τους με τη χρήση βιντεοκάμερας η όποια εισάγεται και μετακινείται μέσα στον αγωγό. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η κατάσταση τους χωρίς να χρειαστούν εκσκαφές η διακοπή της παροχής.



Εικ 18: Η κάμερα με τους προβολείς και η οθόνη παρατήρησης

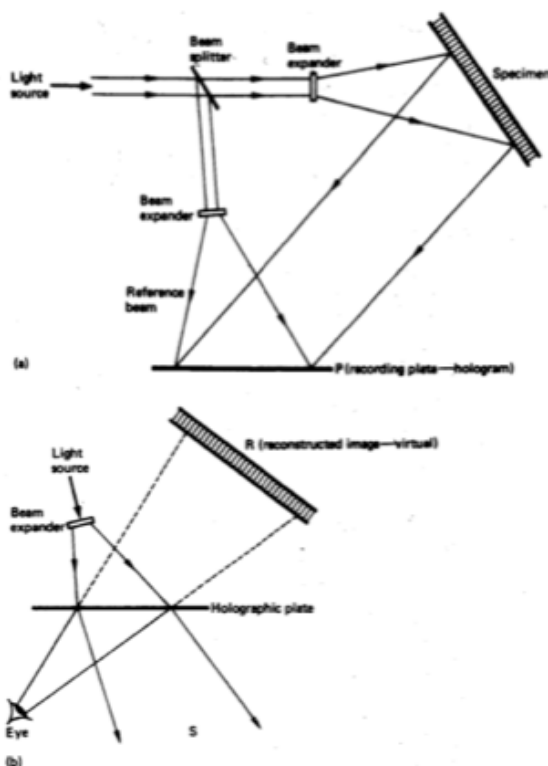
ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ LASER

Ολογραφία (Holography)

Όταν ένα αντικείμενο φωτίζεται με ακτίνες φωτός, η επιφάνεια του το αντανακλά παράγοντας κύματα διαφορετικού πλάτους και φάσης από το προσπίπτον φως. Τα κανονικά φιλμ καταγράφουν την ένταση του φωτός (πλατος²) που ανακλάται αλλά δεν χρησιμοποιούν πληροφορίες από τη μεταβολή της φάσης του.

Στην ολογραφία χρησιμοποιούμε το Laser ώστε το φως να έχει σταθερή φάση. Το ανακλώμενο φως και ένα μέρος της αρχικής ακτίνας συναντώνται και συνδυάζονται έτσι ώστε οι μεταβολές της φάσης να μετατρέπονται σε μεταβολές έντασης και μαζί με το πλάτος να αποτυπωθούν σε φιλμ (ολογράφημα). Όταν περάσει ξανά η αρχική ακτίνα μέσα από το ολογράφημα διαθλάται και δημιουργεί μια τρισδιάστατη εικόνα του αντικείμενου.

Όταν το αντικείμενο παραμένει στη θέση του η ξαναδημιουργούμενη εικόνα και το αντικείμενο συμπίπτουν ακριβώς. Αν όμως το αντικείμενο έχει μετακινηθεί ελάχιστα ή καταπονείται και έχει τοπικά παραμορφωθεί, τότε ο παρατηρητής βλέπει στην επιφάνεια κροσσούς συμβολής των οποίων το πλήθος και η απόσταση εξαρτώνται από τις μεταβολές στο αντικείμενο. Στο φαινόμενο αυτό βασίζεται η ολογραφική συμβολομετρία.



Εικ 19: Ολογραφία (α) Δημιουργία ολογράμματος (β) Ανακατασκευή εικόνας

Συμβολομετρία (ESP Interferometry)

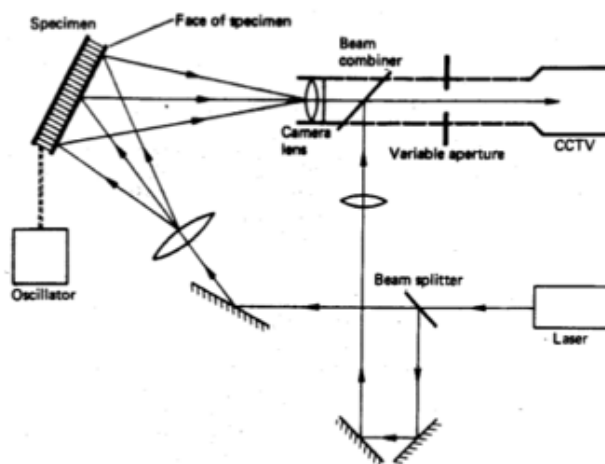
Η ολογραφική συμβολομετρία απαιτεί πολύ υψηλή ανάλυση που να φτάνει τις 1000 γραμμές ανά mm και πολύ υψηλή ένταση ώστε να έχει λογικούς χρόνους έκθεσης. Η

τεχνική βασίζεται στη διπλή απεικόνιση του αντικείμενου πριν και μετά τη φόρτιση του.

Αφού σχηματίσουμε το ολόγραμμα του αντικείμενου, το προβάλουμε επάνω του και στη συνέχεια παρατηρούμε τους κροσσούς συμβολής που σχηματίζονται καθώς το αντικείμενο καταπονείται ή δονείται. Αυτό λέγεται και φαινόμενο «ζωντανών κροσσών». Χρησιμοποιώντας επιπλέον ένα είδος στροβοσκοπίου μπορούμε να απομονώσουμε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή του κύκλου καταπόνησης την όποια θέλουμε να παρατηρήσουμε.

Για την αποτύπωση της τελικής εικόνας, εκθέτουμε αρχικά το αντικείμενο στην ολογραφική πλακά αφόρτιστο για το μισό του χρόνου έκθεσης και στη συνέχεια εφαρμόζουμε την τάση και το εκθέτουμε για τον υπόλοιπο χρόνο έκθεσης. Όλες οι τοπικές παραμορφώσεις θα εμφανιστούν στην τελική εικόνα σαν κροσσοί.

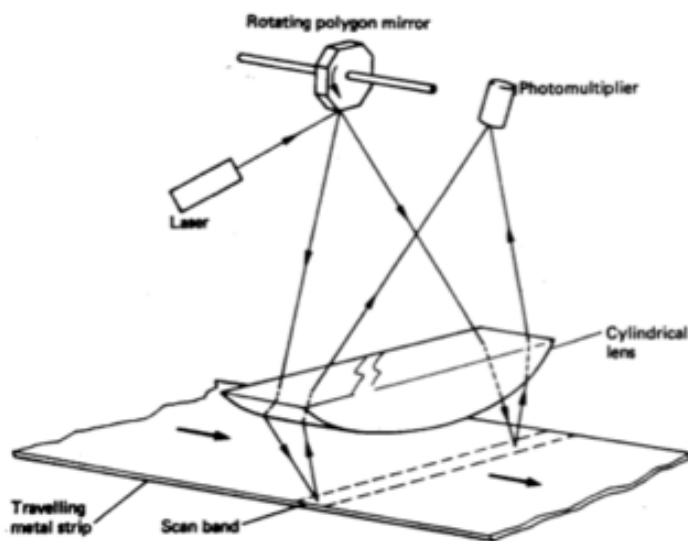
Η ολογραφική συμβολομετρία είναι κατάλληλη για το εντοπισμό παραμορφώσεων με τη μορφή εξογκωμάτων περισσότερο παρά τεντωμάτων. Χρησιμοποιώντας μάλιστα μια τηλεοπτική κάμερα και ψηφιακή εγγραφή οι αποτυπώσεις γίνονται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η σύνθετη αυτή τεχνική ονομάζεται και «ηλεκτροπτική ολογραφία».



Εικ 20: Ολογραφική συμβολομετρία

Δυναμικός Έλεγχος Επιφανειας (Dynamic Surface-Inspection)

Σε πολλά εξαρτήματα η παρουσία επιφανειακών ανωμαλιών, ρωγμών ακόμα και σκόνης μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία τους. Ο χειρωνακτικός έλεγχος παρόμοιων ελαττωμάτων παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα καθώς είναι υποκειμενικός, πολύ αργός και πολύ ακριβός. Ο δυναμικός έλεγχος επιφανειας χρησιμοποιεί τηλεοπτική κάμερα για να καταγράψει τη σάρωση της επιφανειας από μια ακτίνα Laser σε πολύ υψηλές ταχύτητες. Το σήμα ψηφιοποιείται και οδηγείται σε κατάλληλο πρόγραμμα σε Η/Υ για επεξεργασία. Το πρόγραμμα ελέγχει το ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα για «ανωμαλίες» που θα οφείλονται στα επιφανειακά ελαττώματα του υλικού.



Εικ 21: Δυναμικός έλεγχος επιφανείας σε μεταλλική πλάκα

Σε ειδικές περιπτώσεις, για μεγίστη ανάλυση και ταχύτητα, αντί της κάμερας χρησιμοποιούνται συστοιχίες φωτοδοτών με οπτικές ίνες (π.χ. με 800x800 στοιχειά και διάκενο 25μm) και επιτυγχάνονται ταχύτητες έως και 60000 τεμάχια την ώρα.

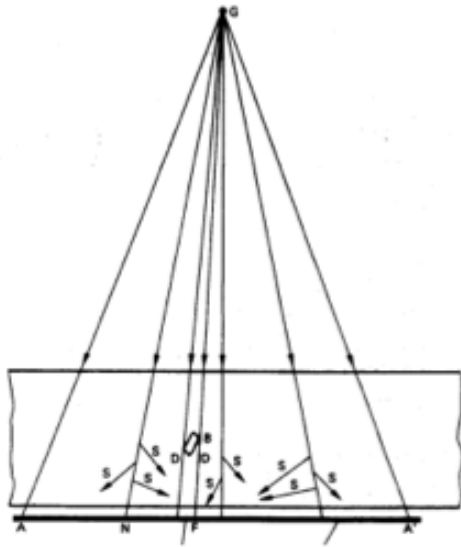
1.3.2.ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (RADIOGRAPHIC TESTING)

Ακτίνες X (X-rays) και Ακτίνες Γάμα (Gamma rays)

Από την ανακάλυψη τους το 1895 μέχρι σήμερα, οι ακτίνες-X χρησιμοποιούνται για τον ΜΚΕ ανθρώπων και υλικών. Οι ακτίνες-X έχουν τέτοιο μήκος κύματος που τους επιτρέπει να διαπερνούν όλα τα υλικά με κάποιο ποσοστό απορρόφησης που εξαρτάται από το υλικό. Το μήκος κύματος ποικίλει από τα 10nm (Greens ή «απαλές» ακτίνες-X) έως τα 10-4nm («σκληρές» ακτίνες-X) που μπορούν να διαπεράσουν ακόμη και ατσάλι πάχους μισού μέτρου!

Οι ακτίνες-Γάμα εκπέμπονται από ραδιενεργές πηγές σε παρόμοια μήκη κύματος, είναι και αυτές ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τις ακτίνες-X και χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανική ραδιογραφία.

Οι ακτίνες-X και Γάμα ταξιδεύουν πάντα σε ευθείες γραμμές και δεν εστιάζονται γι' αυτό και η διάταξη λειτουργίας είναι πάντοτε: πηγή – εξεταζόμενο δείγμα – ραδιογραφική πλάκα.

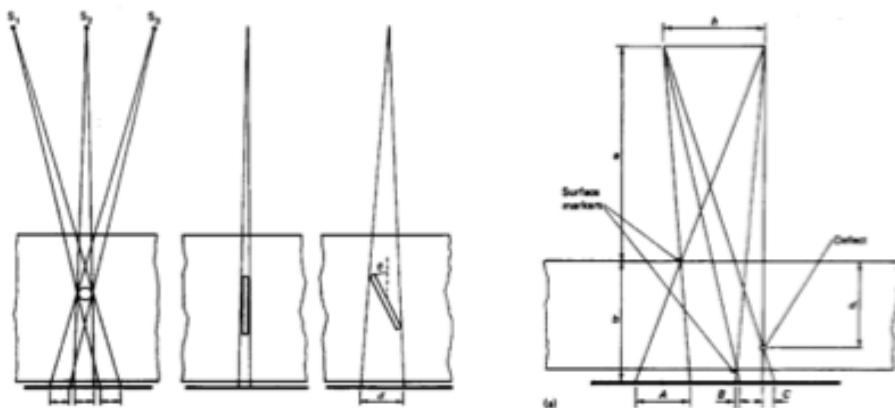


Εικ 22: Βασική διάταξη Ραδιογραφικής απεικόνισης σε φιλμ

Μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν είναι ότι η πηγή της ακτινοβολίας αν και μικρή δεν είναι σημειακή.^[7] Το αποτέλεσμα είναι μια ελαφρά θολή εικόνα στα όρια των ελαττωμάτων και ιδιαίτερα αυτών που είναι μικρότερα σε μέγεθος από την πηγή. Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί συχνά να βελτιωθεί με την ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων.

Οι ραδιογραφικές μέθοδοι, όπως και όλες οι αποτυπώσεις σε φιλμ, αποτελούν την δισδιάστατη προβολή τρισδιάστατων αντικειμένων. Αυτό σημαίνει ότι το σχήμα που προκύπτει εξαρτάται από τη κατεύθυνση των ακτίνων και την θέση του ελαττώματος στο υλικό. Για να μπορέσουμε να έχουμε δεδομένα σχετικά με τη 3η διάσταση απαιτούνται δυο αποτυπώσεις από διαφορετική γωνιά για να δημιουργηθεί μια στερεοσκοπική εικόνα του υλικού.

Όταν μελετάμε την παρουσία ατελειών σε ένα υλικό η μεγαλύτερη «ποιότητα» ή «ευαισθησία» μιας ραδιογραφικής μεθόδου σημαίνει την ικανότητα της να διακρίνει μια μικρότερων διαστάσεων ατέλεια.



Εικ 23: Απλή και στερεοσκοπική προβολή σε ραδιογραφία

Για να μετρηθεί αυτή η ικανότητα της μεθόδου χρησιμοποιούνται κατάλληλοι δείκτες που είναι σύρματα ή ελάσματα, διαφορετικού πάχους και διαμέτρου, με συγκεκριμένη βαθμονόμηση και τυποποίηση. Η ραδιογραφία αυτών των δεικτών μας δείχνει απ' ευθείας την ικανότητα κάθε μεθόδου ή συσκευής.

Οι Ιονίζουσες Ακτινοβολίες

Οι ακτίνες-Χ δημιουργούνται όταν ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας χτυπούν ένα μεταλλικό αντικείμενο. Οι ακτίνες-Γάμα προέρχονται από τον πυρήνα ραδιενεργών στοιχείων. Και οι δυο ακτινοβολίες ταξιδεύουν με ταχύτητα φωτός, σε ευθείες γραμμές και είναι αόρατες.

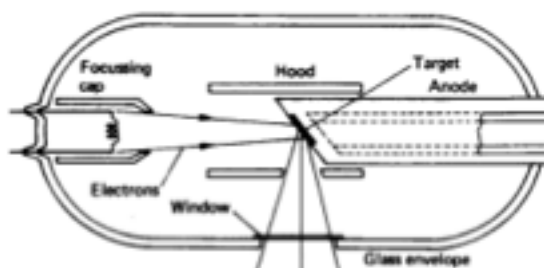
Οι ηλεκτρομαγνητικές αυτές ακτινοβολίες δεν είναι συνεχείς (θεωρία Planck) αλλά εκπέμπονται σε μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα (quanta). Η ενέργεια ενός quantum μετριέται σε eV (electron-Volts). Η ενέργεια των ακτινών-Χ και των ακτινών-Γάμα εξαρτάται από το μήκος κύματος και αναφέρεται σε keV και MeV.

Σήμερα συνυπάρχουν ακόμα το παλιό με το μετρικό σύστημα μονάδων. Με το παλαιότερο σύστημα η ποσότητα η «έκθεση» σε ακτινοβολία μετριέται σε Roentgens ή mR, η μονάδα «αποροφούμενης δόσης» είναι το rad, και η μονάδα «ισοδύναμης αποροφούμενης δόσης» το rem. Στο μετρικό σύστημα η «έκθεση» σε ακτινοβολία σαν ενέργεια που είναι μετριέται σε Coulomb/kg ($1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$), η μονάδα «αποροφούμενης δόσης» είναι το gray ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$), και η μονάδα «ισοδύναμης αποροφουμένης δόσης» το sievert ($1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$).

Στη πρακτική ραδιογραφία η έξοδος μιας συσκευής ακτινών-Χ αναφέρεται σε mA και μιας ακτινών-Γάμα σε curie (Ci). Στο μετρικό σύστημα το Ci θεωρήθηκε πολύ μεγάλο και αντικαταστάθηκε από το Becquerel (Bq) ($1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$).

Οι Πηγές Ακτινών-Χ & Γάμα

Οι ακτίνες-Χ δημιουργούνται όταν ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας χτυπούν ένα μεταλλικό αντικείμενο. Οι λυχνίες ακτινών-Χ περιέχουν τη κάθοδο που παράγει τα ηλεκτρόνια και την μεταλλική άνοδο στην οποία προσπίπτουν τοποθετημένες μέσα σε κενό αέρος και τροφοδοτούνται με υψηλή τάση (kV-MV).



Εικ 24: Λυχνία ακτίνων Χ

Type	Maximum voltage (kV)	Focal-spot size (mm)	X-ray output R min ⁻¹ at 1 m	Weight of head (kg)
Tube head/cables	120	0.8 × 0.8	— (10 mA)	9
	420	3.5 × 3.5	50 (10 mA)	100
Minifocus	160	0.4 × 0.4	— (4 mA)	3.5
Microfocus	150	0.02 × 0.02	— (0.5 mA)	50
Tank type	200	3 × 3	— (6 mA)	100
	300	3 × 3	16 (6 mA)	120
Resonance	1000	7 × 7	50 (3 mA)	1350
Linac	1000	2 × 2	50	1800
Van de Graaff	2000	1 × 1	70	1850
Minac	6000	2 × 2	300	40
Linac	8000	2 × 2	3000	1850
	15000	3 × 3	6000	2000
Betatron	24000	0.2 × 0.2	180	3000

Πίνακας1. Χαρακτηριστικών εξοπλισμού ακτίνων X

Οι πηγές των ακτίνων-Γάμα επιλέγονται μέσα από τα λίγα φυσικά ραδιενεργά υλικά και τα εκατοντάδες τεχνητά ραδιοϊσότοπα που εκπέμπουν συνδυασμούς από ακτίνες α, β, γ και νετρόνια. Μονό λίγα από αυτά έχουν ιδιότητες που να τα κάνουν κατάλληλα για βιομηχανικές ραδιογραφικές εφαρμογές.

Μέχρι το 1955 χρησιμοποιούσαν φυσικές πηγές όπως το Ράδιο και το Ραδόνιο τα οποία όμως ήταν επικίνδυνα και έχουν αντικατασταθεί σήμερα από ραδιοϊσότοπα όπως τα πλέον χρησιμοποιούμενα Cobalt-60, Iridium-192, η, Ytterbium-169 και τα λιγότερο διαδεδομένα Caesium-137, Thulium-170, ή, Sodium-24. Ο αριθμός που ακολουθεί το όνομα είναι η ατομική μάζα του ισότοπου. Τα τεχνητά ραδιοϊσότοπα κατασκευάζονται σε ατομικούς αντιδραστήρες ή εξάγονται από τα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι όταν ένα τέτοιο υλικό αρχίσει να λειτουργεί δε μπορεί να σταματήσει ή να σβήσει. Το υλικό ακτινοβολεί συνέχεια μέχρι να εξαντληθεί. Τον ρυθμό εξάντλησης ενός ραδιενεργού υλικού τον μετράμε με το «χρόνο ημιζωής» που είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί στο μισό η ακτινοβολία του. Αλλά υλικά έχουν ημιζωή μερικές ώρες και αλλά μερικές εκατοντάδες χρόνια.

Οι πηγές ακτίνων-Γαμα απαιτούν αυστηρά προσεκτικό και ασφαλή χειρισμό. Αφού ενεργοποιηθούν σφραγίζονται σε ειδικές κάψουλες, οι κάψουλες περιβάλλονται από απορροφητικό υλικό, τηρούνται αποστάσεις ασφαλείας, και, όλες οι ενέργειες πρέπει να είναι σύντομες και ταχύτατες.

Κίνδυνοι και Προφύλαξη

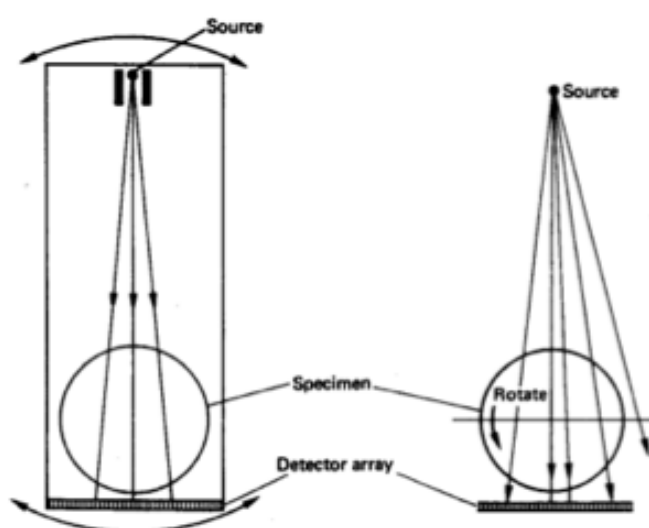
Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη και καταστρέφει τους ζωντανούς ιστούς, γι' αυτό απαιτεί τη λήψη καταλλήλων μέτρων προφύλαξης και ειδικές εγκαταστάσεις. Η ετησία δόση ακτινοβολίας σε ολόκληρο το σώμα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5 mSv (= 0.5 rem) για το κοινό και τα 15 mSv για τους εργαζομένους σε σχετικές εγκαταστάσεις.

Η κυριότερη αρχή που πρέπει να τηρείται είναι αυτή της ελάχιστης δυνατής έκθεσης (ALARP – As Low As Reasonably Possible). Οι οδηγίες προφύλαξης γίνονται όλο και πιο αυστηρές με τη πάροδο του χρόνου καθώς διαπιστώνεται το πραγματικό επίπεδο βλάβης που μπορούν να προξενήσουν οι ιονίζουσες ακτινοβολίες ακόμη και σε χαμηλές δόσεις.

Ψηφιακή Ραδιογραφία – Τομογραφία (Computed Tomography)

Η τομογραφία είναι ένα σύνολο από ραδιογραφίες που αποτυπώνονται ψηφιακά και τις επεξεργαζόμαστε με Η/Υ. Αντί του ραδιογραφικού φιλμ, κάθε ραδιογραφία αποτυπώνεται σαν ψηφιακή πληροφορία μετατρέποντας τη φωτεινότητα κάθε κόκκου του φιλμ σε bytes.

Για να δημιουργηθεί η 3-διάστατη τομογραφία συνθέτουμε δεκάδες ψηφιακές ραδιογραφίες. Κάθε ραδιογραφία έχει ληφθέν από διαφορετικό σημείο, είτε περιστρέφοντας το αντικείμενο είτε περιστρέφοντας τη συσκευή ραδιογραφίας. Η σύνθεση γίνεται από τα πρόγραμμα του Η/Υ που ελέγχει τη συσκευή και γνωρίζει ακριβώς τις θέσεις και τις γωνίες λήψης των εικόνων.



Εικ 25: Τομογραφία με περιστροφή της πηγής (αρ) και του αντικειμένου (δεξ)



Εικ 26: Δείγμα τομογραφίας μεταλλικού υλικού με σοβαρή ρωγή στο εσωτερικό

Υποατομικά Σωματίδια (νετρόνια, πρωτόνια, κλπ.) (Neutron radiography)

Νετρόνια κατάλληλης ενεργείας παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες απορρόφησης από τα υλικά, παρ' όλο που είναι ατομικά σωματίδια και όχι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η χρήση υποατομικών σωματιδίων (νετρονίων ή πρωτονίων) έχει καθιερωθεί ευρέως σαν τεχνική και συνήθως αναφέρεται με το όνομα «νετρονική

ραδιογραφία».

Η αξία της μεθόδου οφείλεται στο ότι η απορρόφηση των νετρονίων από τα υλικά δεν είναι ίδια με την απορρόφηση των ακτίνων-X που αυξάνει ομαλά με τον ατομικό αριθμό του στοιχείου. Υλικά όπως το Υδρογόνο και το Λίθιο έχουν πολύ μεγάλο συντελεστή απορρόφησης ενώ υλικά όπως το Αλουμίνιο και ο Σίδηρος έχουν 500-2000 φορές μικρότερο συντελεστή απορρόφησης. Η ιδιότητα αυτή κάνει τη μέθοδο πολύ αποτελεσματική στον εντοπισμό ατελειών, ειδικά όσων περιέχουν υδρογόνο όπως το νερό, λαδί, πλαστικό, κλπ., ακόμα και σε πολύ παχιές πλάκες μετάλλου ή άλλων υλικών.

Στη πράξη οι κυρία πηγή νετρονίων είναι ο πυρηνικός αντιδραστήρας. Άλλες πηγές που χρησιμοποιούνται είναι το ραδιοϊσότοπο Californium-252, ή συνδυασμός ακτίνων-X με Uranium ή Beryllium.

1.3.3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (ULTRASONIC INSPECTION)

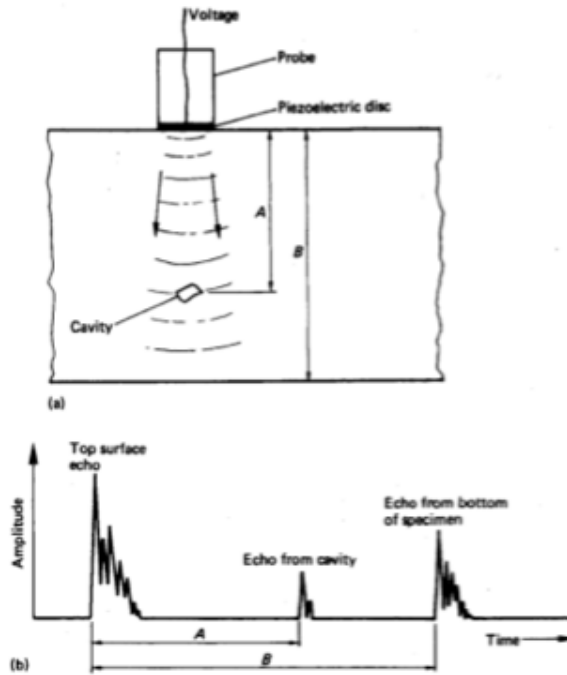
Οι μηχανικές δονήσεις διαδίδονται μέσα από στέρεα, υγρά και αέρια καθώς η δόνηση μεταφέρεται από το ένα σωματίδιο της ύλης στο διπλανό του. Όταν τα σωματίδια της ύλης ταλαντώνουν και η κίνηση τους είναι κανονική τότε μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ($\text{Hz} = \text{sec}^{-1}$). Όταν μάλιστα η συχνότητα της δόνησης είναι μεταξύ 10 και 20000 Hz, ο ήχος ακούγεται από το ανθρώπινο αυτί. Οι δονήσεις με συχνότητα πάνω από 20000 Hz οι «ήχοι» δεν ακούγονται και ονομάζονται υπέρηχοι (ultrasound ή ultrasonic).

Τα ηχητικά κύματα δεν είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά είναι κύματα κίνησης παρόμοια με τα θαλάσσια κύματα. Τα κύματα των ήχων και υπέρηχων διαδίδονται μέσα στα υλικά, υφίστανται απόσβεση και ανακλώνται, διαθλώνται ή σκεδάζονται όταν συναντούν εμπόδια ή ασυνέχειες, ανάλογα με τη συχνότητά τους.

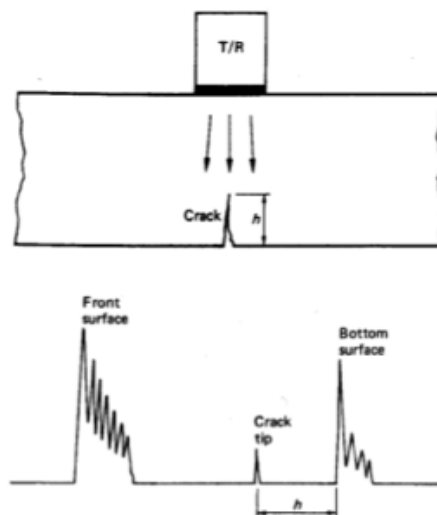
Την ιδιότητα αυτή τη χρησιμοποιούμε για να εντοπίσουμε τυχόν ατέλειες στο εσωτερικό ενός σώματος χωρίς να το τεμαχίσουμε (ΜΚΕ).

Αρχή Λειτουργίας

Η λειτουργία της μεθόδου βασίζεται στην εκπομπή ενός παλμού υπέρηχων μέσα στο υλικό και την καταγραφή των ανακλάσεων που επιστρέφουν. Ο παλμός υπέρηχων δημιουργείται με την εφαρμογή ενός παλμού υψηλής τάσης σε ένα πιεζοηλεκτρικό δίσκο. Οι ανακλάσεις δονούν τον ίδιο ή άλλο πιεζοηλεκτρικό δίσκο ο οποίος τις μετατρέπει πάλι σε τάσεις. Κάθε επιφάνεια ανακλά μια ηχώ του παλμού, με πρώτη απ' όλες την επιφάνεια στην οποία εφάπτεται ο δίσκος και τελευταία την απέναντι επιφάνεια του υλικού. Ανάμεσα στις δύο ανακλάσεις θα βρίσκεται η ηχώ από οποιοδήποτε ατέλεια υπάρχει μέσα στο υλικό και με εύρος που εξαρτάται από το μέγεθος κάθε ατέλειας.



Εικ 27: Βασική αρχή λειτουργίας των ελέγχων με Υπερήχους



Εικ 28: Μέτρηση βάθους ρωγμής (h) με την ανάκλαση των υπερήχων

Χρόνος Περίθλασης (Time of Flight Diffraction ultrasonics – TOFD)

Μια παραλλαγή της κλασικής μεθόδου που μέτρα το χρόνο ανάκλασης είναι η μέτρηση του χρόνου διάθλασης του παλμού υπερήχων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τα κύματα που διαθλούνται στα χείλη των ρωγμών και βάσει της γεωμετρίας του δοκιμίου και των θέσεων του πομπού και του δεκτή υπολογίζει το βάθος και μήκος των ατελειών.

Συστοιχία Φάσης με Υπερήχους (Phased Array ultrasonics)

Οι σύγχρονες τεχνικές που είχαν επιτυχία σε παρομοίους επιστημονικούς κλάδους, εφαρμόζονται και στις μεθόδους υπερήχων. Η συστοιχία φάσης, γνώστη από τα ραντάρ και σόναρ, υλοποιείται και εδώ με μια συστοιχία από πιεζοηλεκτρικά στοιχεία

και μας δίνει τη δυνατότητα να κατευθύνουμε τη δέσμη των παλμών με μεγάλη ακρίβεια χωρίς τη παρεμβολή μηχανικών ή άλλων μέσων.

Περιστρεφόμενο σύστημα για αγωγούς (Internal Rotary Inspection System - IRIS)

Για την εφαρμογή των μεθόδων σε ειδικές κατασκευές έχουν αναπτυχθεί επί μέρους τεχνικές. Ειδικά για το εσωτερικό των αγωγών έχουν αναπτυχθεί συστήματα όπως το περιστρεφόμενο σύστημα έλεγχου (IRIS) που τοποθετείται μέσα στον αγωγό και τον σαρώνει κυκλικά και κατά μήκος για τον εντοπισμό ρωγμών και διαβρώσεων.

1.3.4.ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (ΑΕ)

Όταν ένα στέρεο φορτίζεται με τάσεις αρκούντως υψηλές, τότε το υλικό παράγει ήχους με τη μορφή διακριτών παλμών.^[8] Το φαινόμενο αυτό το καλούμε Ακουστική Εκπομπή (Acoustic Emission – AE) η Εκπομπή Κυμάτων Τάσης (Stress-Wave Emission – SWE). Η Ακουστική Εκπομπή μπορεί να καλύπτει και το ακουστικό φάσμα αλλά κυρίως πρόκειται για υπερήχους με συχνότητες από 30 kHz έως 30 MHz.

Κυρία χαρακτηριστικά των παλμών Ακουστικής Εκπομπής είναι ο χρόνος ανόδου TR, η συνολική διάρκεια TD και το πλάτος τους όταν ξεπερνά ένα ελάχιστο όριο (threshold). Η ρύθμιση του ελαχίστου ορίου είναι σημαντική για την επιλογή η απόρριψη των παλμών (π.χ. στην επομένη εικόνα, ο παλμός 5 αγνοείται ενώ ο 4 υπολογίζεται δυο φορές).

Η τελική επιλογή της παρουσίας η όχι ενός παλμού είναι πιο πολύπλοκη διαδικασία και στην οποία συμμετέχουν εκτός από ειδικά κυκλώματα φίλτρων και προγράμματα H/Y που υλοποιούν τεχνικές Θεωρίας Αποφάσεων και Αναγνώρισης Προτύπων.

Οι πιο βασικές παράμετροι που μελετώνται γραφικά είναι η συνολική ενεργεία των παλμών και το πλήθος των αφικνούμενων παλμών στη μονάδα του χρόνου. Οι παράμετροι αυτοί της AE συγκρίνονται και συνδυάζονται με άλλες παραμέτρους της κόπωσης ώστε να προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα. Συσχετίζοντας π.χ., την συνολική ενεργεία των παλμών με τον χρόνο η τους κύκλου φόρτισης προκύπτουν διαγράμματα τα οποία μπορούν αν συγκριθούν με τα διαγράμματα της μορφής $\alpha-N$ (μήκους ρωγμής – κύκλων φόρτισης).

Αντίστοιχα, συσχετίζοντας το πλήθος των αφικνούμενων παλμών ανά λεπτό με τη παραμόρφωση του υλικού, μπορούμε να σχεδιάσουμε το διάγραμμα τους μαζί με το διάγραμμα $\sigma-\epsilon$ (τάσης-παραμόρφωσης)

Εντοπισμός μιας πηγής ΑΕ

Μια από τις ευρύτερα διαδεδομένες εφαρμογές της ΑΕ είναι ο εντοπισμός της θέσης του ελαττώματος η της ατέλειας που παράγει τους παλμούς ΑΕ. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί πολλούς αισθητήρες υπέρηχων (10-20). Οι αισθητήρες τοποθετούνται στην επιφάνεια του υπό εξέταση αντικείμενου σε απόσταση μεταξύ τους ώστε να καλύπτουν όλο το αντικείμενο. Η χρονική συσχέτιση των σημάτων τους επιτρέπει τον

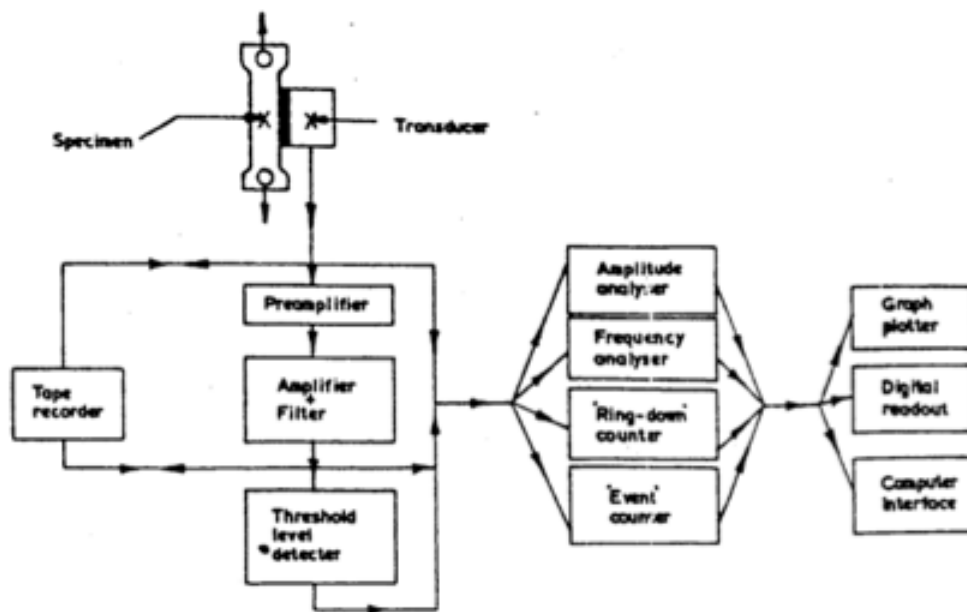
γεωμετρικό προσδιορισμό της θέσης της πηγής κάθε παλμού ΑΕ. Για ατέλειες που βρίσκονται σε ακτίνα περίπου 1 m από τους αισθητήρες, μπορεί να εντοπιστεί η θέση τους με ακρίβεια εκατοστού (1 cm).

Υπέρ και Κατά της Μεθόδου ΑΕ

Η μέθοδος των ΑΕ είναι μια από τις νεότερες μεθόδους ΜΚΕ. Έχει ήδη περάσει τα βασικά στάδια ανάπτυξης και ήδη έχουν δοθεί οι πρώτες τυποποιήσεις από την ASTM με πιο σημαντικό το ASTM.E.750.

Τα κυριότερα προτερήματα της μεθόδου είναι ότι: μπορεί να καλύψει μεγάλες επιφάνειες και κατασκευές, μας δείχνει ότι υπάρχουν ατέλειες που επεκτείνονται, εντοπίζει τις ατέλειες, τις εντοπίζει ακόμη και σε απρόσιτα σημεία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενώ η κατασκευή μας λειτουργεί (on-line).

Η μέθοδος έχει φυσικά και μειονεκτήματα όπως: δεν εκπέμπονται παλμοί ΑΕ από όλες τις ατέλειες του υλικού, η απόδοση της εξαρτάται από τη μέθοδο φόρτισης της κατασκευής και από την ύπαρξη θορύβου, δεν καθορίζει το μέγεθος της ατέλειας και δεν είναι ακόμη πλήρως τυποποιημένη.



Εικ 29: Συνδεσμολογία μεθόδου ΑΕ

1.3.5.ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (THERMAL)

Μέθοδος Θερμικών Εκπομπών (Thermal Emission)

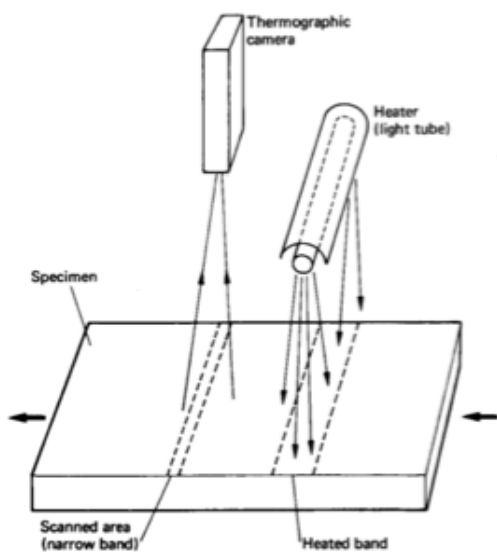
Όταν ένα στερεό φορτίζεται με τάσεις αρκούντως υψηλές, ένα μέρος της ενεργείας μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια που εκλύεται στο περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό το καλούμε Θερμική Εκπομπή (Thermal Emission).⁽⁹⁾

Η θερμική εκπομπή στην περιοχή γύρω από μια ρωγμή μπορεί να μετρηθεί με ειδικούς θερμικούς αισθητήρες (thermostats). Οι θερμικοί αισθητήρες παρουσιάζουν

αντίσταση 30- 100 kΩ στους 25ο C και είναι τόσο ευαίσθητοι που επηρεάζονται ακόμη και από την παρουσία ανθρώπων ή άλλων συσκευών. Για το λόγο αυτό η όλη διάταξη πρέπει να είναι απομονωμένη από το περιβάλλον και τις πιθανές εξωτερικές αλλαγές θερμοκρασίας.

Θερμογραφική Μέθοδος (Thermographic methods)

Η θερμογραφική μέθοδος χρησιμοποιεί κάμερα υπέρυθρων ακτινών για τη μέτρηση της κατανομής της θερμοκρασίας σε μια επιφάνεια. Μπορεί να λειτουργήσει σαν παθητική τεχνική όπως η μέθοδος της θερμικής εκπομπής, ή, σαν ενεργητική τεχνική χρησιμοποιώντας θερμικούς παλμούς (Laser) για τη θέρμανση της επιφάνειας. Η βασική ιδέα είναι ότι εφόσον το υλικό είναι ομοιογενές, η θερμότητα θα διαδοθεί ομοιόμορφα, ενώ αν υπάρχουν ελαττώματα η διάχυση της θερμότητας θα αλλοιωθεί.



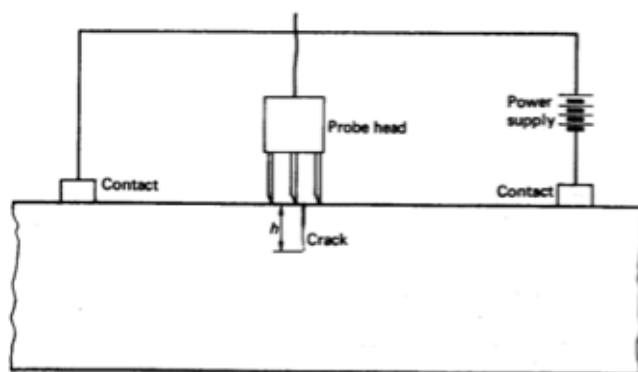
Εικ 30: Θερμογραφικός έλεγχος επιφάνειας

1.3.6. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Α) ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μέθοδος της Πτώσης δυναμικού (Potential Drop)

Η μέθοδος λειτουργεί με τη μέτρηση της τάσης στην επιφάνεια του μέταλλου, το οποίο διαρρέεται από σταθερό DC ή εναλλασσόμενο AC ρεύμα. Η παρουσία ρωγμών, ή άλλων ατελειών, προκαλεί μεταβολές στη αγωγιμότητα του υλικού και αντίστοιχα στη μετρούμενη τάση.



Εικ 31: Μέθοδος πτώσης δυναμικού

Η ίδια συσκευή που χρησιμοποιείται για την παροχή του ρεύματος και τη μέτρηση της τάσης μπορεί να μετατρέπει τις μεταβολές της πτώσης δυναμικού σε μεταβολές του μήκους της ρωγμής, εφόσον φυσικά έχει προηγηθεί η κατάλληλη ρύθμιση.

Η χρήση DC ρεύματος προσφέρει ευκολότερη τοποθέτηση και ρύθμιση, καθώς και μεγαλύτερη συσχέτιση τάσης και μήκους ρωγμής. Από την άλλη η χρήση AC ρεύματος απαιτεί πολύ μικρότερη ισχύ, διότι χάρις στο επιδερμικό φαινόμενο το ρεύμα κυκλοφορεί μονό στην επιφάνεια του μετάλλου, έτσι δεν επηρεάζει την θερμοκρασία του δοκιμίου και επιπλέον επιτρέπει τη χρήση μιας πληθώρας τεχνικών για τη μείωση του θορύβου.

Οι δύο τεχνικές των DC και AC ρευμάτων μπορούν επίσης να εφαρμοστούν ταυτόχρονα ώστε να συνδυάζονται τα προτερήματά τους και να βελτιώνονται τα αποτελέσματα.

Β) ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ βασίζονται στον εντοπισμό των απωλειών της μαγνητικής ροής λόγω ατελειών του υλικού. Όταν ένα δοκίμιο μαγνητιστεί και περιέχει μια ασυνέχεια στην επιφάνεια του ή κάτω από αυτήν, δημιουργείται μια παραμόρφωση στη μαγνητική ροή η οποία προκαλεί ένα τοπικό πεδίο απώλειας μαγνητικής ροής. Οι μέθοδοι βασίζονται στους νομούς του Maxwell (1873) και χρησιμοποιούν σύγχρονες μεθόδους ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και πολύ ισχυρούς υπολογιστές.

Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ μπορούν να εφαρμοστούν μονό σε υλικά που μαγνητίζονται. Η πλέον χρησιμοποιούμενη μαγνητική μέθοδος έλεγχου είναι η τεχνική των μαγνητικών ρινιδιών σε μελάνι ή σκόνη.

Έλεγχος με Μαγνητικά Ρινίδια (Magnetic Particles)

Τα υπό έλεγχο δοκίμια μαγνητίζονται κατάλληλα και στην επιφάνειά τους τοποθετούνται σιδηρομαγνητισμένα ρινίδια. Τα ρινίδια έλκονται και συγκεντρώνονται στα σημεία απώλειας της ροής, κάνοντας τις ατέλειες ορατές με γυμνό μάτι. Τα ρινίδια τοποθετούνται στην επιφάνεια έλεγχου είτε σαν χρωματιστό μαγνητικό μελάνι (magnetic ink) ή σαν μαγνητική σκόνη (magnetic particles).

Μαγνητογραφία (Magnetography)

Εναλλακτικά η μέτρηση της μαγνητικής ροής μπορεί να γίνει με ένα είδος μαγνητοταινίας η οποία πιέζεται στην επιφάνεια του μαγνητισμένου υλικού. Στη συνέχεια η ταινία αφαιρείται για επεξεργασία και ανάλυση των ενδείξεων. Η διαδικασία αυτή λέγεται μαγνητογραφία αλλά δεν είναι ακόμα ιδιαίτερα διαδεδομένη.

Εντοπισμός Απωλειών Μαγνητικής Ροής (Magnetic flux leakage - MFL)

Οι απώλειες μαγνητικής ροής μπορούν να καταγράφουν και με αισθητήρες που φέρουν πηνία η μαγνητοδιόδους. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για σωλήνες, αγωγούς, δεξαμενές και συρματόσκοινα.

Έλεγχος Θορύβου Barkhausen (Barkhausen Noise)

Οι ατέλειες στη κρυσταλλική δομή ενός υλικού, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις μηχανικές ιδιότητες του, είναι ο ίδιος που επηρεάζουν και τις μαγνητικές του ιδιότητες. Η μεταξύ τους σχέση δεν έχει γίνει ακόμη πλήρως κατανοητή αλλά διαπιστώθηκε ότι οι μετρήσεις του μαγνητικού θορύβου Barkhausen και των βημάτων Barkhausen παρέχουν πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες.

Ο μαγνητισμός των υλικών συμβαίνει με μια σειρά μικρών βημάτων από τον ένα κόκκο στον άλλο. Αν συνδέσουμε το πηνίο μαγνητισμού με ένα μεγάφωνο, τα βήματα αυτά ακούγονται σαν μια σειρά από κλικ και συνθέτουν ένα θόρυβο (ένα ανάλογο φαινόμενο είναι η μαγνητοακουστική εκπομπή). Ο θόρυβος Barkhausen είναι ευαίσθητος στη παρουσία τάσεων, ρωγμών, μικρό-ατελειών, θερμικής κατεργασίας και πλαστικής παραμόρφωσης, και παρουσιάζει αιχμές και ακραίες τιμές που βοηθούν στον εντοπισμό τους.

1.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Υστερα από συζήτηση με τον επιβλέπων της παρούσας διπλωματικής κ. Ε.Χριστοφόρου καθώς και με τον επιβλέπων εκ μέρους της εταιρίας υπευθινό παραγωγής Ηλεκτρολόγο-Μηχανολόγο Ν.Σαράτση καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη και πιο εύκολα προσαρμόσιμη κατά την παραγωγική διαδικασία μέθοδος θα ήταν αυτή των δινορευμάτων.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η κύρια παραγωγική διαδικασία της Σωληνουργίας Λ.Τζιρακιάν είναι η παραγωγή σωλήνων διαφόρων μορφών και διατομών. Η παραγωγή αυτή γίνεται σε σωληνομηχανές στην τρέχουσα παραγωγική διαδικασία πραγματοποιείται δειγματοληπτικός ποιοτικός έλεγχος κατά την διάρκεια της παραγωγής. Κίνητρο για την παρούσα διπλωματική αποτελεί αυτό το γεγονός.

Σωληνομηχανή

Η σωληνομηχανή απαρτίζεται από 7 κυρία τμήματα τα οποία αναφορικά περιγράφονται ως εξής

- 1) Εισαγωγή τσερκιού – ανέμη
- 2) Διαμορφωτική μηχανή
- 3) Κολλητικό-υψίσυχο
- 4) Ψυγείο
- 5) Καλιμπραριστική μηχανή- τουρκοκεφαλές
- 6) Πριόνι
- 7) Ραουλόδρομος- πακεταδόρος-Ζυγιστικό

1)Εισαγωγή τσερκιού – Ανέμη



Εικ 32: Σημείο κόλλησης και ξακρίσματος των δύο τσερκιών

Ανάλογα με το νούμερο που θα μπει στη μηχανή κόβεται το ανάλογο τσέρκι(πλάτος πάχος , ποιότητα) τα οποία αποθηκεύονται σε ένα stand. Από κει ο χειρίστης ανέμης με τη βοήθεια γερανού, και του αντίστοιχου c-hook (νύχι) παίρνει το αντίστοιχο τσέρκι και το τοποθετεί σε μια ανέμη η οποία μπορεί να είναι μονής Κεφαλής ή διπλής εφόσον σφίξει το τσέρκι στην ανέμη (υδραυλικά) με χειρισμό του χειρίστη τροχίζει με την βοήθεια τροχού την κόλληση που είναι η αρχή του τσερκιού στη συνέχεια κατεβάζει ένα μπράτσο με ελαστικό ράουλο προωθεί το τσέρκι στην πρέσα η οποία με την σειρά της προωθεί και ισιώνει το τσέρκι. Το τσέρκι προωθείται στο μηχανήμα κοπής-κόλλησης. Στο μηχανήμα αυτό ο χειρίστης κάνει τις εξής διεργασίες: α)ξακρίζει (κόβει την άκρη του τσερκιού και την συνενώνει με το τέλος του τσερκιού που υπάρχει ήδη στην μηχανή β) γίνεται συγκόλληση των δυο αυτών ακρών είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα με την βοήθεια μιας argon μηχανής γ)εφόσον γίνει οπτικός έλεγχος της ραφής συγκόλλησης τροχίζει πάνω κάτω και στα πλάγια την ραφή συγκόλλησης ώστε αυτή να μην προεξέχει ώστε υπάρχει συνοχή στα εναλλασσόμενα τσέρκια.

Στη συνέχεια δίνει εντολή στην ανέμη να αποθηκεύσει το υπάρχον τσέρκι εφόσον έχουν γίνει οι σωστές ρυθμίσεις για το πλάτος του τσερκιού.



Εικ 33: Οριζόντια ανέμη

2) Διαμορφωτική μηχανή



Εικ 34: Διαμορφωτική Μηχανή

Στην διαμορφωτική μηχανή το τσέρκι παίρνει την μορφή που απαιτείται για την συγκόλληση του. Η μορφή που θα πάρει το τσέρκι εξαρτάται από το είδος της σωληνομηχανής αν δηλαδή είναι από στρόγγυλο ή απευθείας. Η μηχανή από στρόγγυλο σημαίνει ότι το τσέρκι παίρνει πάντα κυκλική μορφή ανεξαρτήτως μορφής διατομής (στρογγυλό , τετράγωνο , παραλληλόγραμμο). Στην απευθείας διαμόρφωση η μηχανή προσδίδει στο τσέρκι την μορφή διατομής του τελικού προϊόντος. Έτσι ενώ το τσέρκι μπαίνει στην μορφή ταινίας με τις 7 κάθετες φάσης διαμόρφωσης και τις 6

πλαγιές φάσεις διαμορφώσεις το τσέρκι εισέρχεται στην κολλητική μηχανή απαιτούμενη μορφή διατομής και με τις δυο ακόλλητες άκρες στο σωστό άνοιγμα και με την απαιτούμενη παραλληλότητα.



Εικ 35: Εσωτερικό διαμορφωτικής μηχανής

3) Κολλητικό-Υψίσυχο

Στο μηχάνημα αυτό παραλαμβάνεται το διαμορφωμένο τσέρκι ακόλλητο και σκοπός του είναι η εν κινήσει συγκόλληση με την μέθοδο της αυτεπαγωγής (αυτογενής συγκόλληση). Αναλυτικότερα για την συγκόλληση του τσερκιού χρησιμοποιούνται τα γνωστά υψίσυχνα με τη λυχνία είτε με την μέθοδο των τρανζίστορ. Το υψίσυχο παίρνει την συχνότητα του ρεύματος και την μετατρέπει σε kHz και με την μέθοδο των δινορευμάτων ερυθροπυρώνονται οι άκρες του τσερκιού και δια πίεσεως μέσω ραούλων γίνεται αυτογενής συγκόλληση. Για την δημιουργία μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικοί μαγνητικοί πόροι εκ των οποίων ο ένας είναι εσωτερικά στο τσέρκι (φεριττής) και ο άλλος εξωτερικά (σπιράλ).



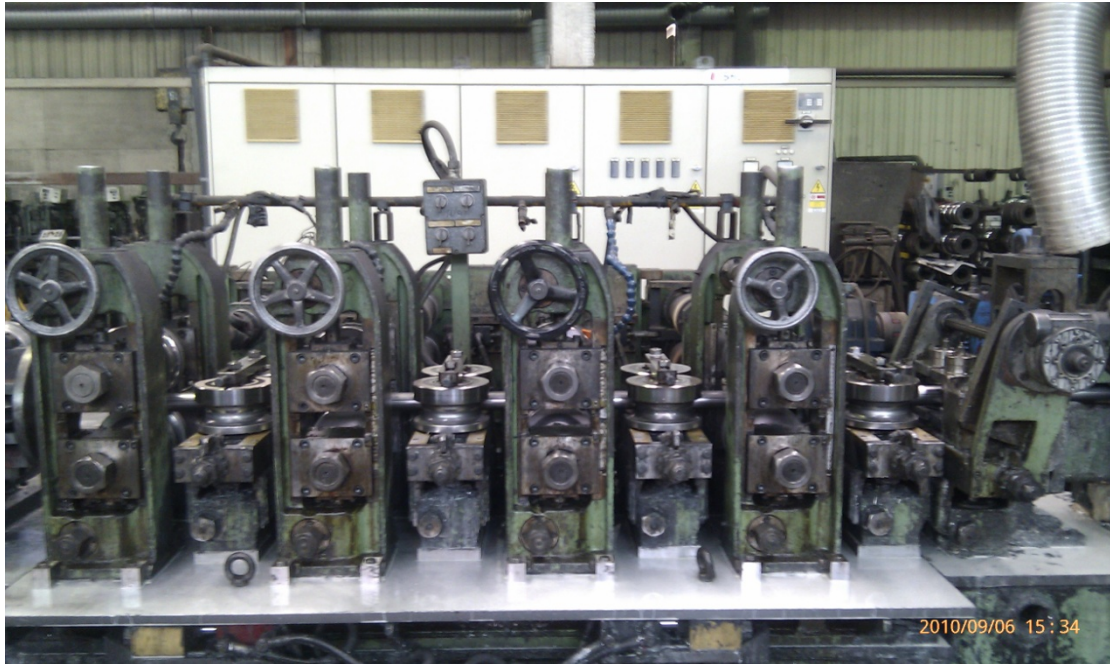
Εικ 36: Σημείο συγκόλλησης σωλήνας

Μετά την συγκόλληση του τσερκιού υπάρχει μια βάση που κατεβάζει μια μανέλα που στην άκρη της έχει τοποθετηθεί μαχαίρι για να ξύσει την ραφή συγκόλλησης έτσι ώστε να γίνει απομάκρυνση του υλικού που θα περισσεύσει από την διαδικασία της συγκόλλησης (παστά).

4) Ψυγείο

Το προϊόν εξόδου από το κολλητικό πρέπει να ψηχθεί λόγω της θερμοκρασίας που έχει αναπτυχτεί έτσι υπάρχουν μια η και δυο στενόμακρες δεξαμενές στις οποίες διοχετεύουμε σαπουνέλαιο πρώτον για να απαχθεί η θερμότητα και να προσδοθεί στο προϊόν ένα φιλμ αντιδιαβρωτικής προστασίας. Το σαπουνέλαιο ψύχεται μέσω του κυκλώματος που προαναφέρθηκε.

5) Καλιμπραριστική μηχανή – Τουρκοκεφαλές



Εικ 37: Καλιμπραριστική μηχανή

Η καλιμπραριστική μηχανή αποτελείται από δυο τμήματα

- 1) Από μια σειρά καθέτων και πλαγίων ραούλων συνήθως 4 και 4 για να πάρει το προϊόν μας σχεδόν την τελική του μορφή με μικρή ανοχή αποκλίσεων κάτω του 1mm.
- 2) Με τη βοήθεια δυο stand που ονομάζονται τουρκοκεφαλές επιτυγχάνουμε :
α) την τελειοποίηση σε σχέση με τις τελικές διαστάσεις διατομής και β) την ευθύτητα του προϊόντος.



Εικ 38: Τουρκοκεφαλή

6) Πρίονι

Το πρίονι είναι το μηχάνημα το οποίο έχει ως σκοπό να κόψει το προϊόν στο καθορισμένο μήκος. Το πρίονι πρέπει να κόβει το προϊόν εν κινήσει για αυτό είναι τοποθετημένο πάνω σε ένα βαγονέτο το οποίο κινείται πάνω σε ράγες ή σε άξονα με τη βοήθεια ηλεκτρικού μοτέρ και τοποθετείται μετά από τις τουρκοκεφαλές.



Εικ 39: Πακεταδόρος

7) Ραουλόδρομος- πακεταδόρος-ζυγιστικό

Το τελικό προϊόν κοπής οδηγείται μέσω ραουλόδρομου στον πακεταδόρο. ο πακεταδόρος είναι ένα μηχάνημα στο οποίο δεματοποιείται το προϊόν σε τετράγωνη ή παραλληλόγραμμη ή εξαγωνική μορφή δέματος. Στο δέμα μέσω εντολών εκτός της μορφής που παίρνει, ρυθμίζει και τον αριθμό βεργών που θα χει.

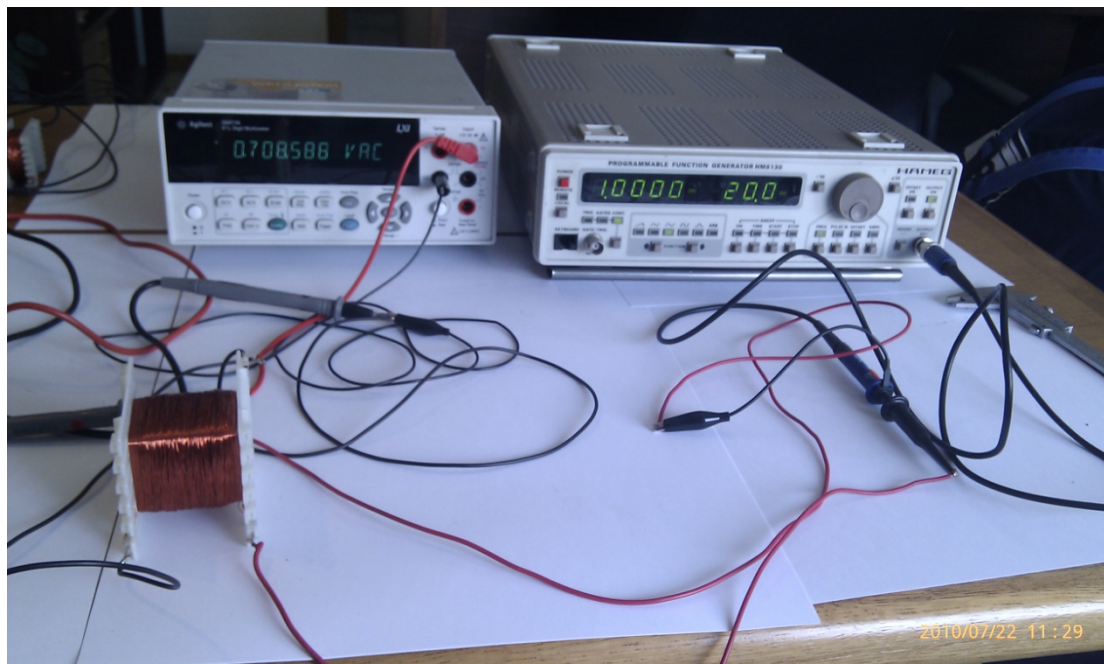
Κίνητρο

Αυτά τα στάδια αποτελούν την παραγωγική διαδικασία της εταιρίας. Κίνητρο για αυτή την διπλωματική αποτέλεσε το γεγονός κατά το οποίο στην άνωθεν καταγεγραμμένη γραμμή παραγωγής δεν υπάρχει κάποια αυτοματοποιημένη διαδικασία ποιοτικού έλεγχου των σωλήνων παρα μόνο οπτικός έλεγχος κατά την δεματοποίηση απο τους εργαζόμενους στον πακεταδόρο, τον χειριστή καθώς και ένας δειγματοληπτικός ποιοτικός έλεγχος από τον υπεύθυνο ποιοτικού ελέγχου της εταιρίας.

Με βάση το κεφάλαιο 1 υποκεφάλαιο 1.4 όπως προαναφέρθηκε καταλήξαμε στο γεγονός ότι η βέλτιστη μέθοδος θα ήταν αυτή των δινορευμάτων, καθώς και για την θέση τοποθέτησης της μετρητικής συσκευής κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας κεφάλαιο 2 υποκεφάλαιο 2.1 ύστερα από το στάδιο 5 Καλιμπραριστική μηχανή-Τουρκοκεφαλές επειδή το προϊόν είναι στην τελική μορφή και δεν επιδέχεται άλλη διαμόρφωση. Συνεπώς οποιαδήποτε δύναμη είναι να ασκηθεί κατά την παραγωγική διαδικασία έχει ήδη ασκηθεί και απομένει η κοπή του ανάλογα με το επιθυμητό μήκος και η διαδικασία του πακεταρίσματός του.

2.2.ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

2.2.1.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Εικ 40: Μετρητική Διάταξη

Τα μηχανήματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

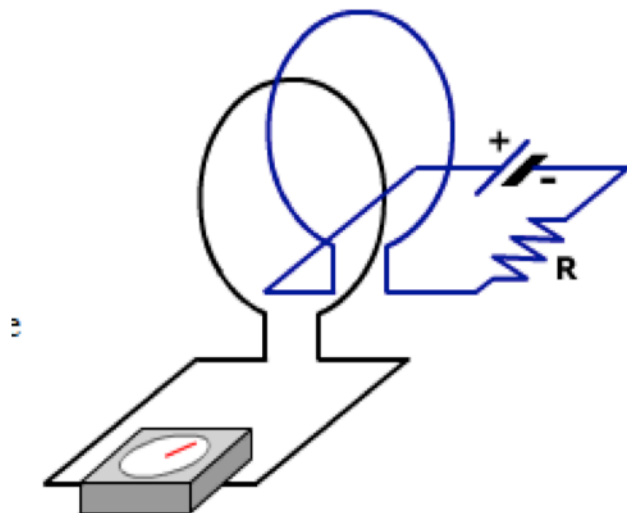
- Γεννήτρια
- Πολύμετρο
- Πλαστικές συσκευές διαφορετικών διατομών ώστε να περνά όσο πιο κοντά γίνεται στο πηνίο λήψης ο διερχόμενος σωλήνας στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν σαν διατομές στην υποδοχή το 23*23, 28*28, 32*32 και το 45*45 όπου πάνω τους τυλίχτηκαν δύο πηνία μεταξύ τους μονωμένα με χαρτί, 500 σπειρών το καθένα με σύρμα χαλκού 0.1 το εξωτερικό που αποτελεί το πηνίο διέγερσης και 0.3 το εσωτερικό που αποτελεί το πηνίο λήψης.
- Εναν παλμογράφο ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για της πρώτες μετρήσεις.

Η συνδεσμολογία

Η γεννήτρια συνδέθηκε με probes με τις δύο άκρες του εξωτερικού πηνίου. Η δύο ακρες του πηνίου λήψης (εσωτερικό πηνίο) συνδέθηκαν και πάλι με χρήση probes στις πρώτες αναγνωριστικές μετρήσεις με παλμογράφο και στη συνέχεια για να έχουμε ακρίβεια στην αλλαγή τάσης με το πολύμετρο.

2.2.2.ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

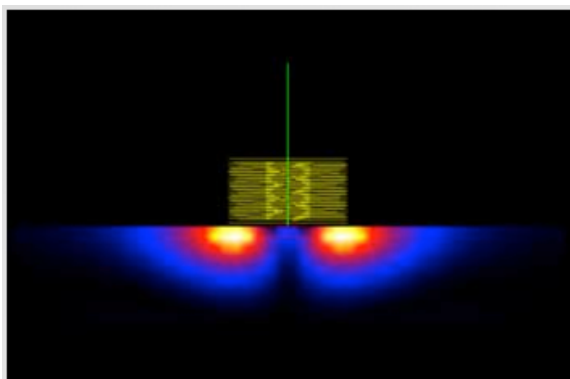
Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή για την δημιουργία δινορευμάτων στο παραγόμενο στραντζαριστό καθώς τοποθετείται σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το εξωτερικό πηνίο. Αρχικά στέλνουμε από την γεννήτρια ρεύμα I με τάση $V=20V$ και λογαριθμικά μεταβαλλόμενης συχνότητας από το 1kHz ως τα 600 kHz.



Εικ 41: Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος

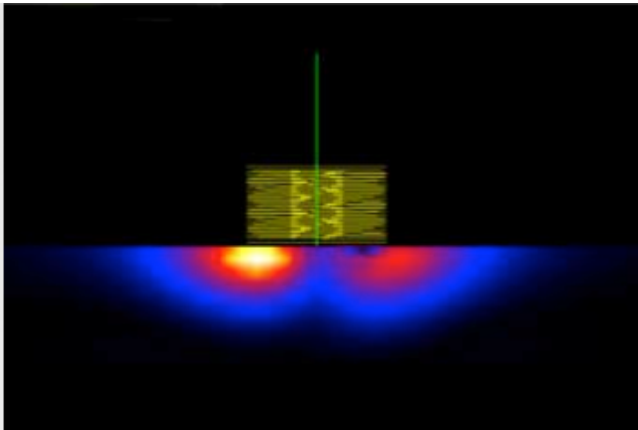
Στη συνέχεια περνά το στραντζαριστό και λόγω της κίνησης του και επειδή είναι αγώγιμο δημιουργείται μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργεί επαγόμενο ρεύμα στο σωλήνα. Επίσης μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το εξωτερικό πηνίο μεταβάλλεται η ροή με αποτέλεσμα να δημιουργείται επαγόμενη ΗΕΔ στο δεύτερο πηνίο, το εσωτερικό.

Επειδή το στραντζαριστό αποτελείται κυρίως από Fe είναι αγωγός με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται σε αυτόν δινορεύματα, τα οποία δημιουργούν το δικό τους μαγνητικό πεδίο που τείνει να αντισταθεί στις αλλαγές που προκαλούνται από το εξωτερικό πηνίο. Μετρώντας τις αλλαγές αυτές με το δεύτερο πηνίο μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες για το εξεταζόμενο υλικό.



Εικ 42: Αναπαράσταση δινορευμάτων σε επιθυμητά παραγόμενο δοκίμιο

Όταν εμφανιστεί κάποια ατέλεια διακόπτεται η ροή των δινορευμάτων και μειώνεται η ισχύ τους. Αποτέλεσμα η επαγόμενη ΗΕΔ στο δεύτερο πηνίο να αυξάνεται άρα και να αυξάνεται η τάση εξόδου που βλέπουμε στο πολύμετρο. Επίσης στην ατέλεια αυξάνεται η πυκνότητα του ρεύματος καθώς και το μαγνητικό πεδίο διότι τα δινορεύματα συσσωρεύονται γύρω από την ατέλεια έτσι αν στην αρχική κατάσταση επιθυμητή κατάσταση είχαμε J_0 και B_0 στην νέα ανεπιθύμητη κατάσταση με την ατέλεια θα έχουμε $J_0+\Delta J$ και $B_0+\Delta B$.



Εικ 43: Αναπαράσταση δινορευμάτων σε παραγόμενο δοκίμιο με ατέλεια

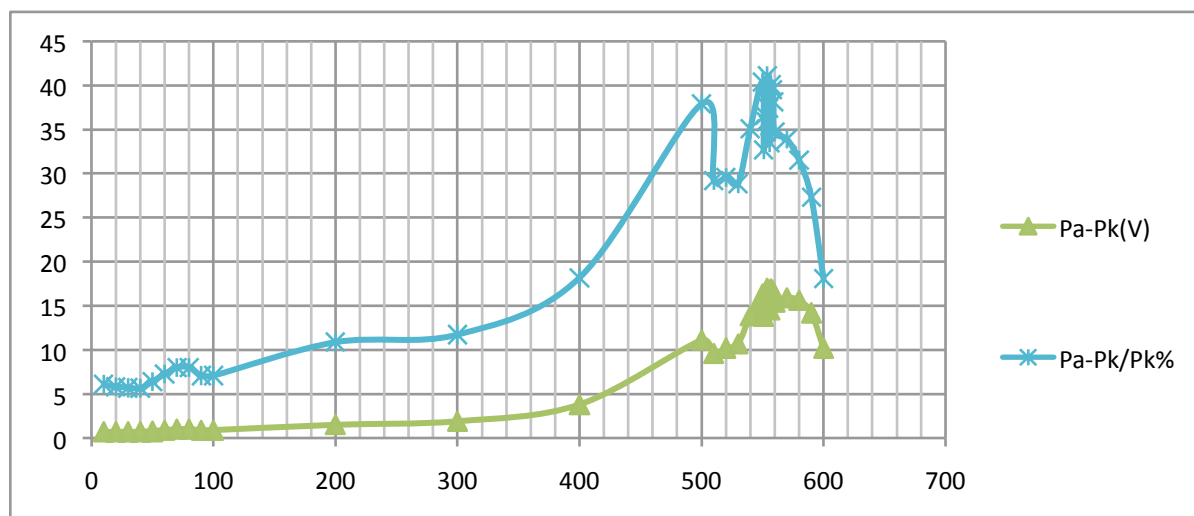
3.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

3.1 ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Σε πρώτο επίπεδο για να ελεγχθεί αν η μέθοδος των δινορευμάτων θα ήταν η κατάλληλη έγιναν στατικές μετρήσεις στο εργαστήριο Μεταλλογνωσίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, οι οποίες εντέλει οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ της καλής σωλήνας και της ελατωματικής. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν σωλήνα 25*25 και χρησιμοποιήθηκε πλαστικο διατομής 28*28.

Πίνακας 2. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως από την συχνότητα διέγερσης με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας

F(hz)	Pa(V)	Pk(V)	Pa-Pk(V)	Pa-Pk/Pk	Pa-Pk/Pk%
10	12.2	11.5	0.7	0.060869565	6.086956522
20	12.7	12	0.7	0.058333333	5.833333333
30	12.9	12.2	0.7	0.057377049	5.737704918
40	13.1	12.4	0.7	0.056451613	5.64516129
50	13.3	12.5	0.8	0.064	6.4
60	13.3	12.4	0.9	0.072580645	7.258064516
70	13.5	12.5	1	0.08	8
80	13.5	12.5	1	0.08	8
90	13.6	12.7	0.9	0.070866142	7.086614173
100	13.6	12.7	0.9	0.070866142	7.086614173
200	15.3	13.8	1.5	0.108695652	10.86956522
300	18.1	16.2	1.9	0.117283951	11.72839506
400	24.7	20.9	3.8	0.181818182	18.18181818
500	40.4	29.3	11.1	0.37883959	37.88395904
510	42.5	32.9	9.6	0.291793313	29.17933131
520	44.7	34.5	10.2	0.295652174	29.56521739
530	47.8	37.1	10.7	0.288409704	28.84097035
540	53.5	39.6	13.9	0.351010101	35.1010101
550	56.7	40.4	16.3	0.403465347	40.34653465
551	56	42.2	13.8	0.327014218	32.7014218
552	56.7	41.5	15.2	0.36626506	36.62650602
553	56.4	41.5	14.9	0.359036145	35.90361446
554	58.4	41.4	17	0.410628019	41.06280193
555	58.4	42.5	15.9	0.374117647	37.41176471
556	57.8	43.3	14.5	0.334872979	33.48729792
557	59.1	42.2	16.9	0.400473934	40.04739336
558	59.3	42.5	16.8	0.395294118	39.52941176
559	59.8	43.3	16.5	0.381062356	38.10623557
560	59.8	44.4	15.4	0.346846847	34.68468468
570	62.8	46.9	15.9	0.33901919	33.90191898
580	65.1	49.5	15.6	0.315151515	31.51515152
590	66.2	52	14.2	0.273076923	27.30769231
600	66.7	56.5	10.2	0.180530973	18.05309735



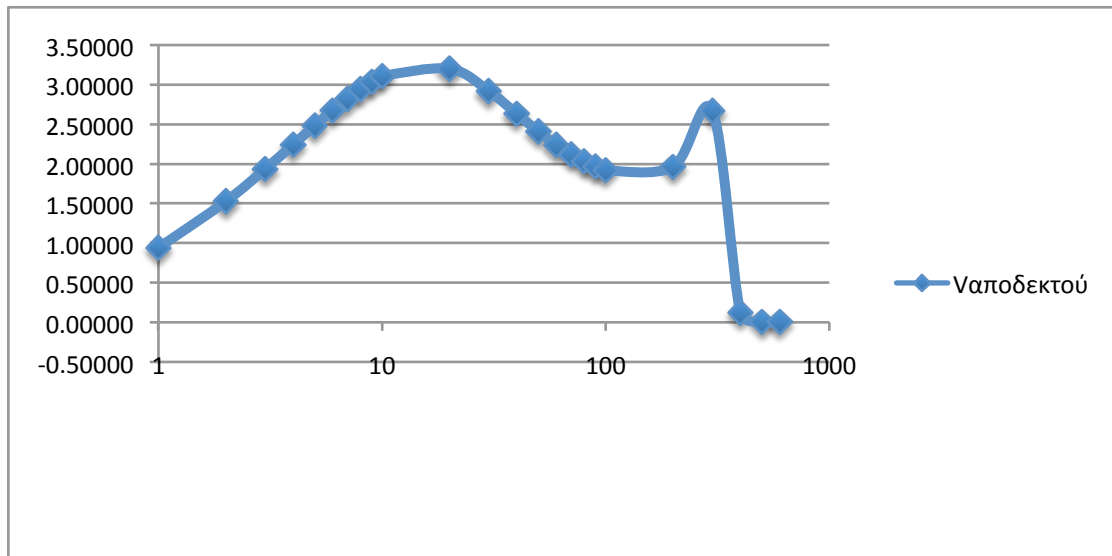
Σχήμα 1. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως από την συχνότητα διέγερσης με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας

Από το διάγραμμα του Σχήματος 1 βλέπουμε ότι στη συχνότητα μεταξύ των 500-600kHz έχουμε στο συγκεκριμένο νούμερο και με τις συγκεκριμένες συνθήκες τη μέγιστη αναγνώριση των σφαλμάτων στο σωλήνα διατομής 25*25

Στη συνέχεια ακολούθησαν μετρήσεις στην εταιρία Σωληνουργεία Λ.Τζιρακιάν με δείγματα που παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Ι και κόπηκαν στην εταιρία διατομής 20*20, 25*25, 30*30,40*40 και τέλος 40*30, απο τίς οποίες προέκυψαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα Παράρτημα ΙΙ και ύστερα από την επεξεργασία αυτών αναλυτικότερα στο Παράρτημα ΙΙΙ προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα τα οποία δείχνουν την διαφορά του ελλατωματικού δείγματος σε σχέση με το καλό, στα ελλατώματα που αφορούν ατέλειες συγκόλλησης και ρωγμές καθώς και την ευρύτερη διαφορά που περιέχει εκτός από τα παραπάνω ελλατώματα και τρύπες διατομής από 1-12mm.

20*20

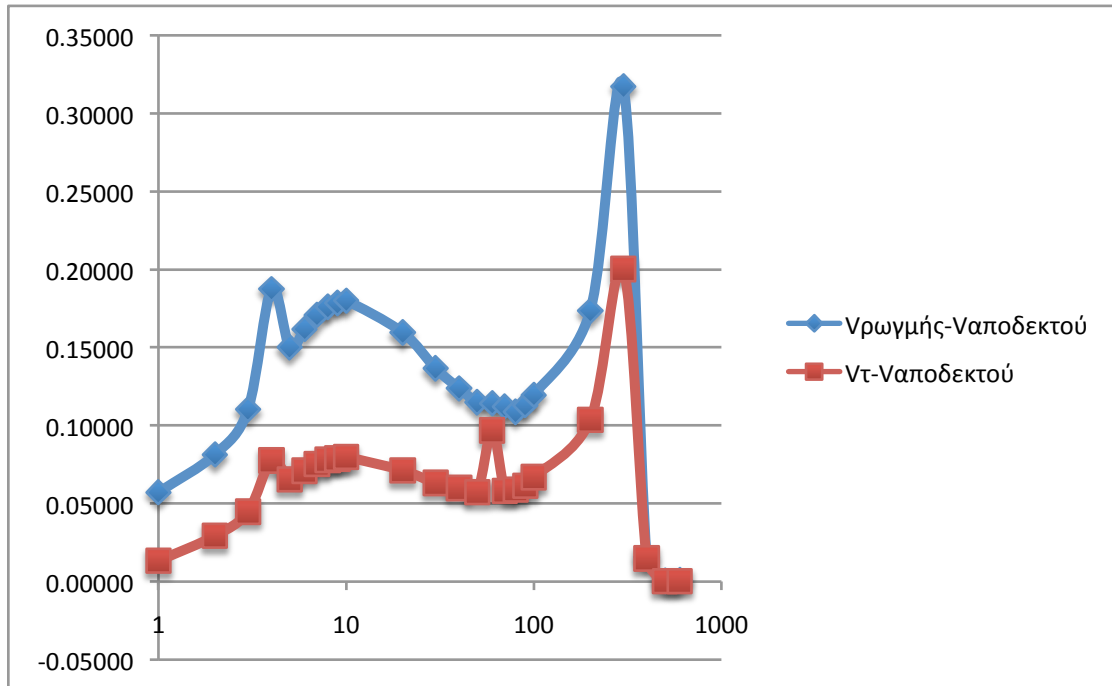
Αρχικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε δοκίμια 20*20 τα οποία πέρασαν από διάμετρο 23*23 από τις οποίες προέκυψαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στο παράρτημα 2 πίνακας Β1 και από την επεξεργασία αυτών (παράρτημα 3 πίνακας Γ1) προκύπτει το Σχήμα 2 με βάση το οποίο εξάγουμε ότι η συχνότητα στην οποία έχουμε την μέγιστη ανιχνευσιμότητα ατελειών είναι στα 300khz.



Σχήμα 2. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 20*20

Δοκίμιο Ε3

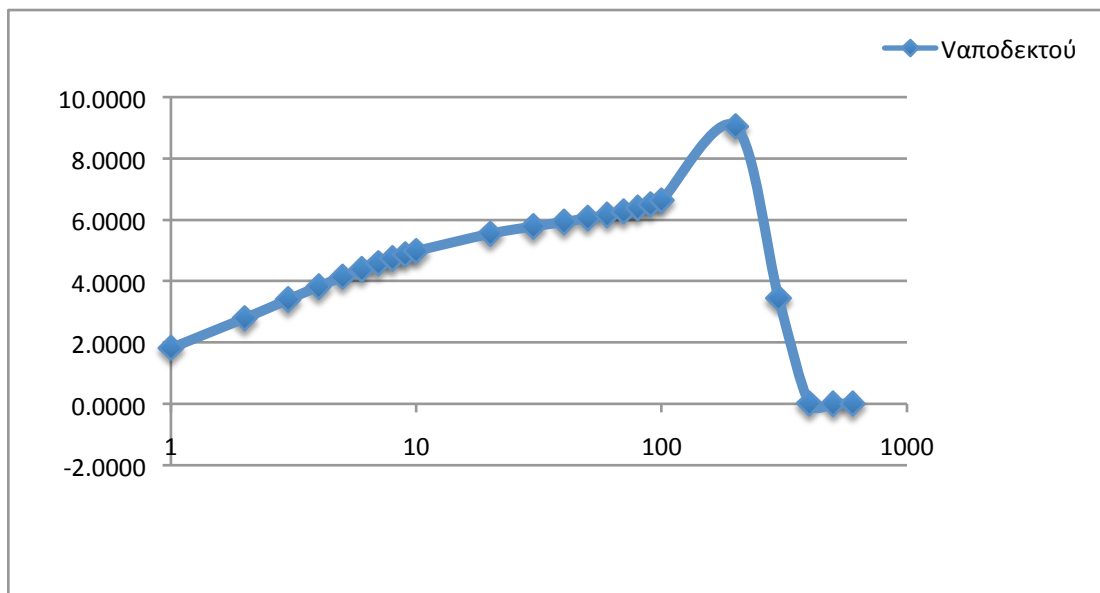




Σχήμα 3. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 20*20

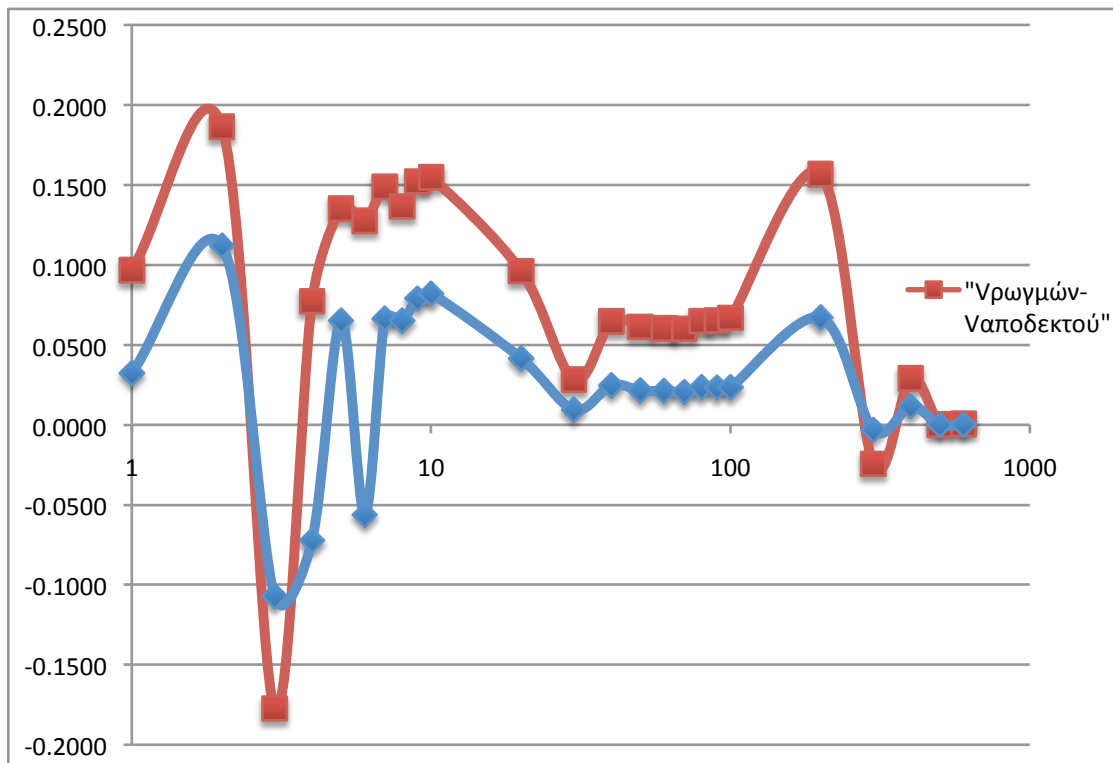
25*25

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε δοκίμια 25*25 τα οποία πέρασαν από διάμετρο 28*28 από τις οποίες προέκυψαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στο παράρτημα 2 πίνακας Β2 και από την επεξεργασία αυτών (παράρτημα 3 πίνακας Γ2) προκύπτει το Σχήμα 3 με βάση το οποίο εξάγουμε ότι η συχνότητα στην οποία έχουμε την μέγιστη ανιχνευσιμότητα ατελειών είναι στα 2kHz.



Σχήμα 4. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 25*25

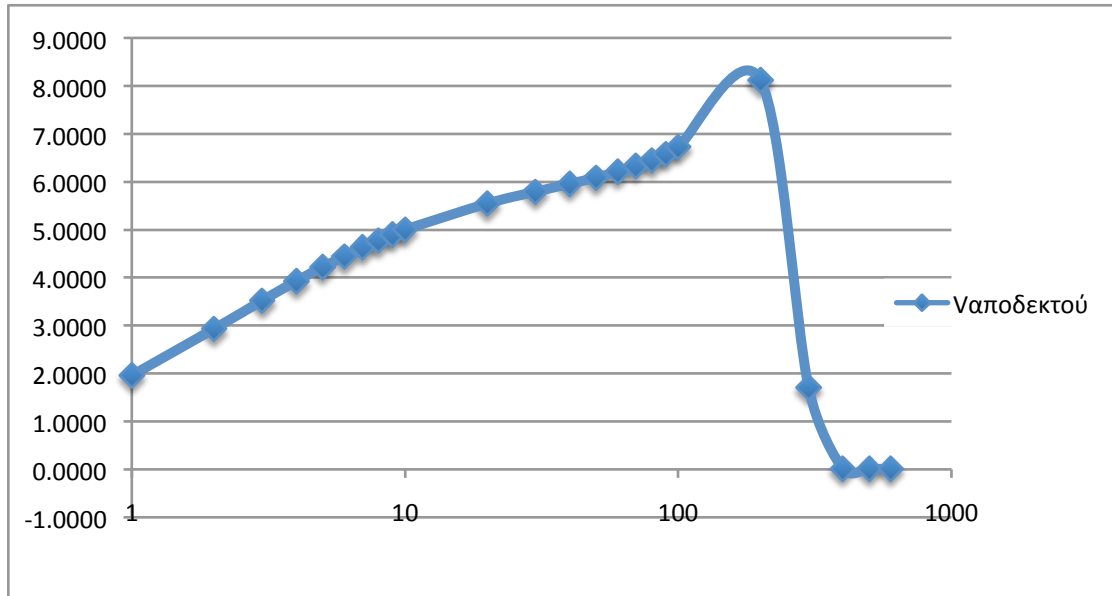
Δοκίμιο Ε8



Σχήμα 5. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 25*25

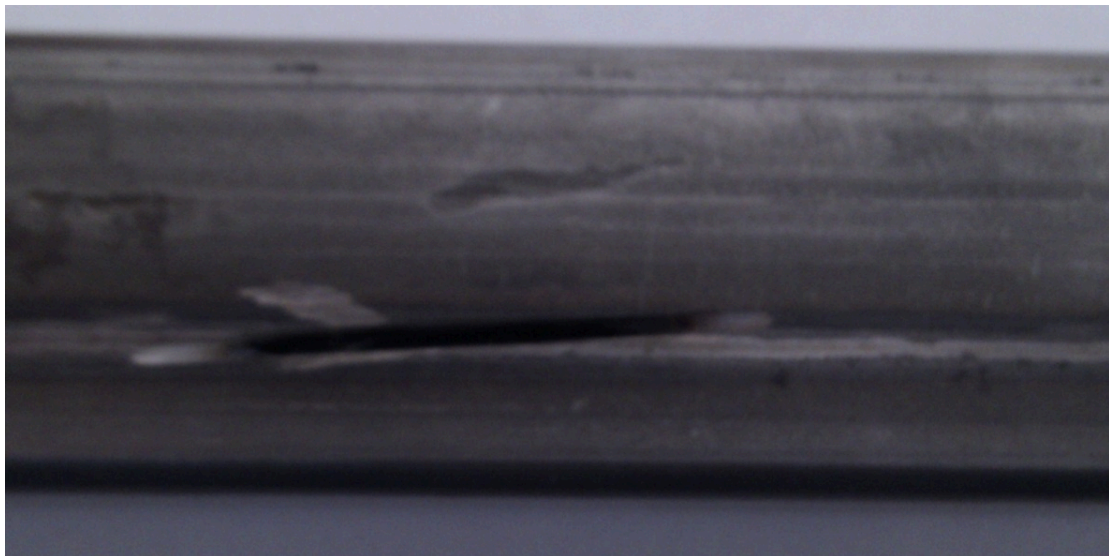
30*30

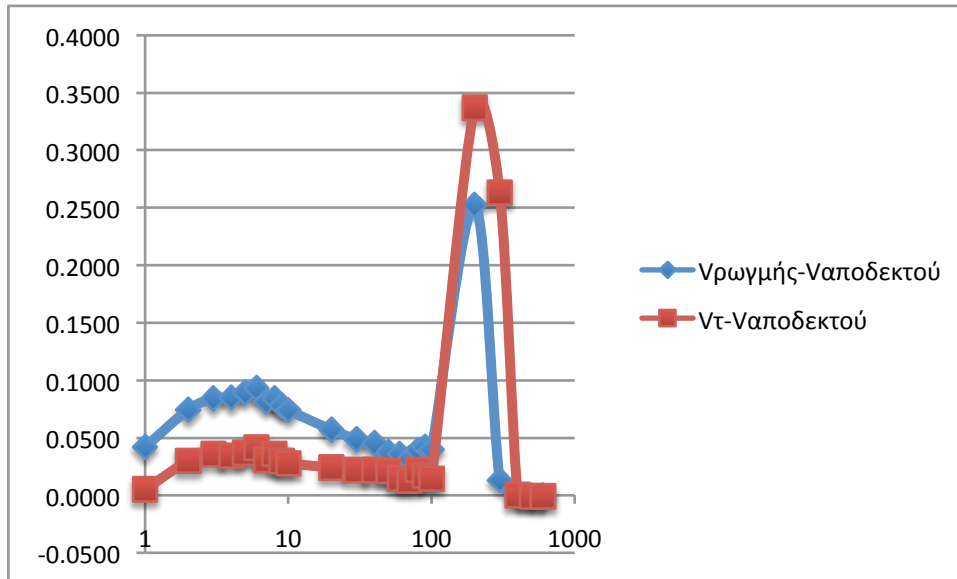
Επίσης πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε δοκίμια 30*30 τα οποία πέρασαν από διάμετρο 32*32 από τις οποίες προέκυψαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στο παράρτημα 2 πίνακας Β3 και από την επεξεργασία αυτών (παράρτημα 3 πίνακας Γ3) προκύπτει το Σχήμα 4 με βάση το οποίο εξάγουμε ότι η συχνότητα στην οποία έχουμε την μέγιστη ανιχνευσιμότητα ατελειών είναι στα 200khz.



Σχήμα 6. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηγίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 30*30

Δοκίμιο Ε4

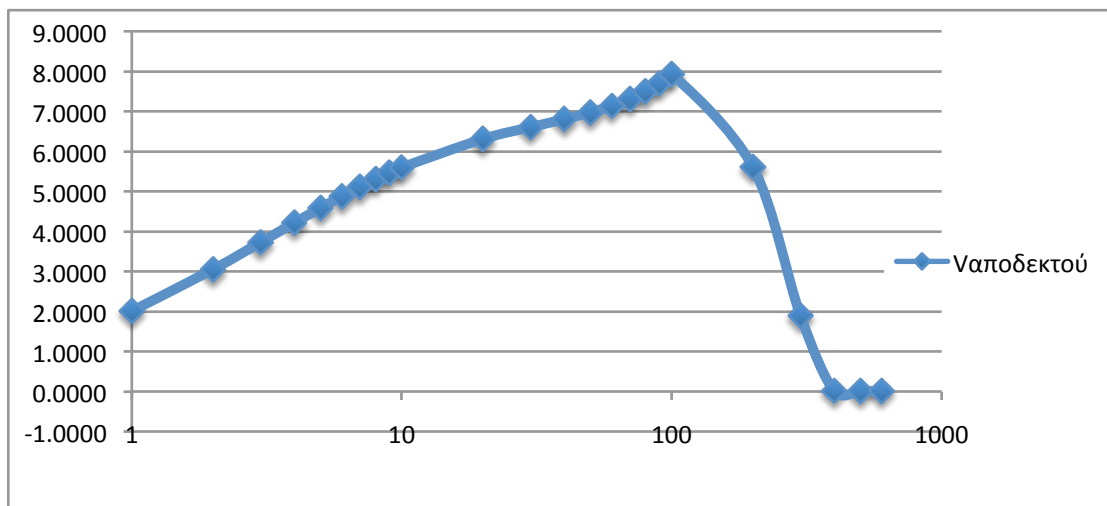




Σχήμα 7. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 30*30

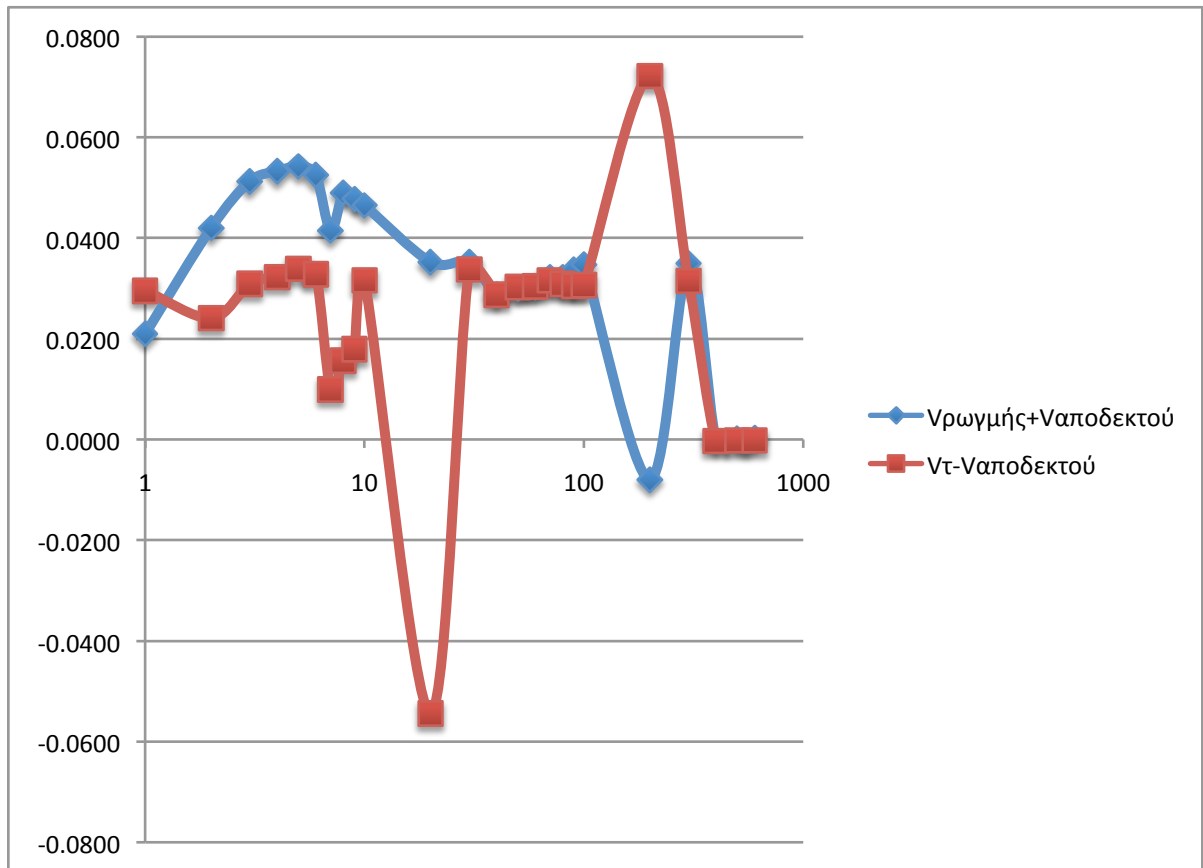
40*40

Ακόμα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε δοκίμια 40*40 τα οποία πέρασαν από διάμετρο 45*45 από τις οποίες προέκυψαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στο παράρτημα 2 πίνακας Β5 και από την επεξεργασία αυτών (παράρτημα 3 πίνακας Γ5) προκύπτει το Σχήμα 5 με βάση το οποίο εξάγουμε ότι η συχνότητα στην οποία έχουμε την μέγιστη ανιχνευσιμότητα ατελειών είναι στα 5-6kHz.



Σχήμα 8. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 40*40

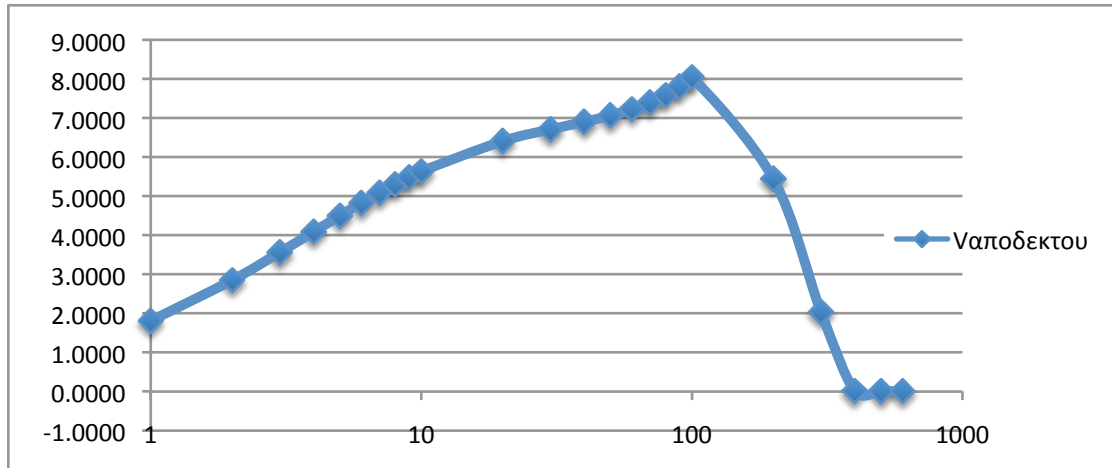
Δοκίμιο E11



Σχήμα 9. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 40*40

40*30

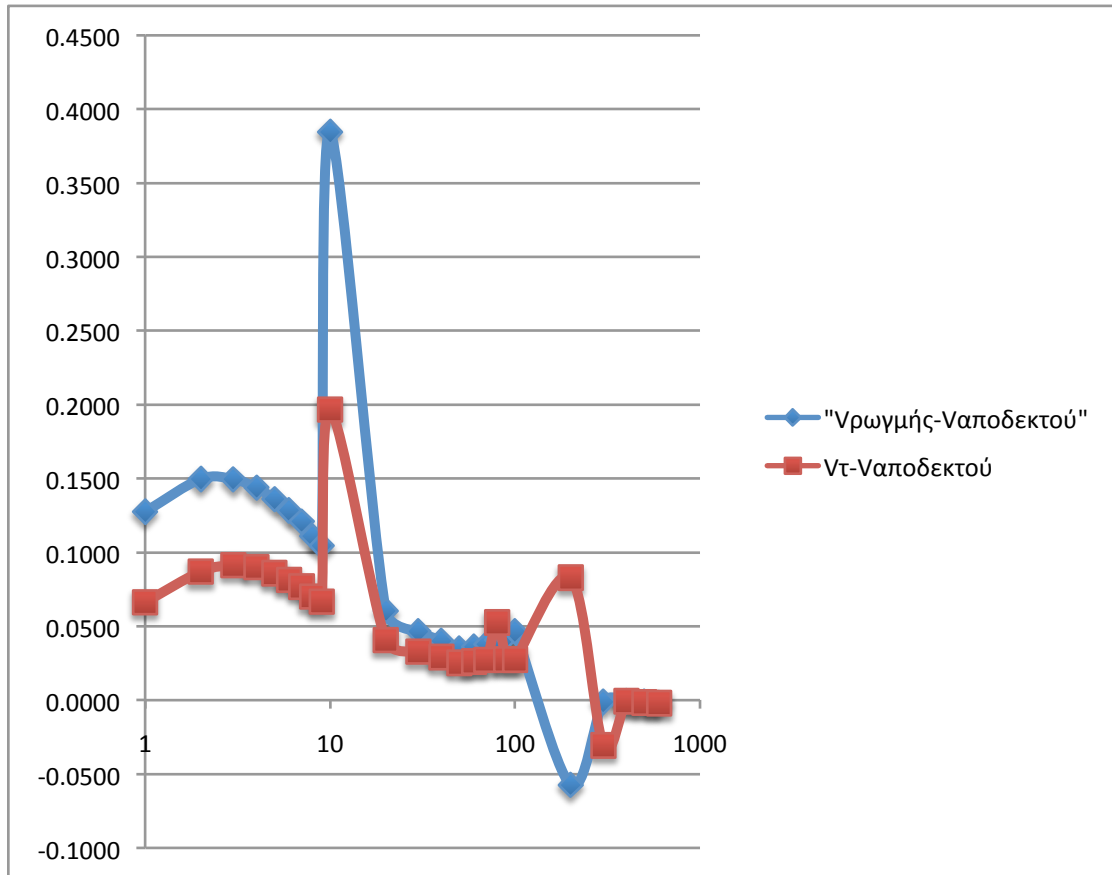
Αρχικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε δοκίμια 40*30 τα οποία πέρασαν από διάμετρο 45*45 από τις οποίες προέκυψαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στο παράρτημα 2 πίνακας Β4 και από την επεξεργασία αυτών (παράρτημα 3 πίνακας Γ4) προκύπτει το Σχήμα 6 με βάση το οποίο εξάγουμε ότι η συχνότητα στην οποία έχουμε την μέγιστη ανιχνευσιμότητα ατελειών είναι στα 10kHz.



Σχήμα 10. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγμα 40*30

Δοκίμιο Ε7





Σχήμα 11. Εξάρτηση της τάσης εξόδου του πηνίου λήψεως με σταθερή μέγιστη τιμή τάσης τροφοδοσίας σε δείγματα 40*30

3.2.ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (ON-LINE)

Στη συνέχεια βάση των αποτελεσμάτων των στατικών μετρήσεων Κεφάλαιο 3, Υποκεφάλαιο 3.1 έγινε η τοποθέτηση των συσκευών (η συσκευή με τα δύο πηνία, η γεννήτρια, και το πολύμετρο) στα αντίστοιχα νούμερα παραγωγής. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Μηχανή Νο 7 της εταιρίας και οι συσκευές τοποθετήθηκαν μετά το στάδιο της διαμόρφωσης με τις Τουρκοκεφαλές και πριν το πριόνι. Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν στις συχνότητες για το νούμερο 20*20 300Khz, για το νούμερο 25*25 στα 2Khz, για το νούμερο 30*30 200Khz, για το νούμερο 40*40 5-6Khz, για το νούμερο 40*30 10Khz επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των αντίστοιχων στατικών μετρήσεων. Επίσης στις συχνότητες που αναφέρθηκαν για το κάθε νούμερο ήταν εύκολα αναγνωρίσιμη η διαφορά μεταξύ του παραγόμενου σωλήνα και του μη αποδεκτού (ελλατωματικού) σωλήνα.

4.ΠΡΟΤΑΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική και μελετώντας τον Μη Καταστροφικό Έλεγχο των Σωλήνων με την μέθοδο των Δινορευμάτων τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά με τις στατικές και τις δυναμικές μετρήσεις κατέληξα στο συμπέρασμα ότι, η μέθοδος αυτή θα ήταν μια οικονομική αλλά και αξιόπιστη λύση για τον ολικό ποιοτικό έλεγχο των προϊόντων της εταιρίας PROFIL A.E.

Ωστόσο οι δυναμικές μετρήσεις που έγιναν και επιβεβαίωσαν τις στατικές δεν είναι επαρκής και χρειάζονται και άλλες ώστε να επιτευχθεί το ζητούμενο της εταιρίας που είναι μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία ποιοτικού ελέγχου.

Ακόμα περαιτέρω αναφορά αξίζει στο γεγονός ότι για την εφαρμογή του συστήματος χρειάζεται έρευνα για την εύρεση της ιδανικής συχνότητας για το κάθε νούμερο του παραγόμενου εύρους της εταιρίας ξεχωριστά αν και τα σημεία ή το σημείο στο οποίο η κανονικοποιημένη καμπύλη της εξάρτησης της τάσης από την συχνότητα σε αποδεκτά δοκίμια δείχνει πιθανές συχνότητες στις οποίες θα υπάρχει αισθητή διαφορά στην αλλαγή της τάσης των αποδεκτών δοκιμίων σε σχέση με τα ελλατωματικά.

Πρόταση του συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής είναι: ότι τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η διπλωματική αυτή είναι ιδιέταιρα ενθαρυντικά για την βιομηχανική εφαρμογή της μεθόδου κατα την παραγωγική διαδικασία της PROFIL A.E με την προϋπόθεση ότι θα πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνα και για τα υπόλοιπα παραγόμενα προϊόντα.

5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Electronics engineers' handbook
- 2) Πανεπιστημιακή Φυσική τόμος Β HUGH D.YOUNG κεφ 30-6
- 3) www.ndt-ed.org
- 4) Seong-Soo Cho, Sang-Beom Kim, Joon-Young Soh, Sang-Ok Han, Effect of Tension Coating on Iron Loss at Frequencies Below 1 kHz in Thin-Gauged 3% Si-Fe Sheets, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, No. 10, October 2009, p. 4165-4168
- 5) IN-LINE EDDY CURRENT TESTING OF SEAMLESS AND SEAM-WELDED TUBE RICHARD L.FISCHER PRESENTED AT THE METAL MATTERS 2007
- 6) Μη Καταστροφικοί Ελεγχοί Υλικών Μελέτη Ευαγγελία. Ε.Μ.Π Σ.Ν.Μ.Μ
- 7) Τεχνολογία-Συγκόλληση Τεύχος 71
- 8) www.teiath.gr/stef/civil_works_technology
- 9) Συμπληρωματικά Κεφάλαια Ηλεκτροτεχνίας και Ηλεκτρονικής Τεχνολογίας. Ε.Χριστοφόρου Επ.Καθηγητής Ε.Μ.Π
- 10) G. Bertotti, *Hysteresis in Magnetism: For Physicists, Materials Scientists, and Engineers*, San Diego: Academic Press, 1998
- 11) Fitzgerald, A. E.; Kingsley, Charles Jr. and Umans, Stephen D. (1983). *Electric Machinery* (4th ed. ed.). Mc-Graw-Hill, Inc.. pp. 20
- 12) Sears, Francis Weston; Zemansky, Mark W. (1955). *University Physics* (2nd ed. ed.). Reading, MA: Addison-Wesley. pp. 616–618
- 13) Stoll, R. L. (1974). *The analysis of eddy currents*. Oxford University Press
- 14) Krawczyk, Andrzej; J. A. Tegopoulos. *Numerical modelling of eddy currents*
- 15) FLAW DETECTION BY USE OF PROBE TYPE EDDY CURRENT SYSTEMS DATA SHEET NO GI-3
- 16) THE EDDY CURRENT INSPECTION METHOD (INSIGHT VOL 46 NO 8 AUGUST 2004)
- 17) <http://www.helmut-fischer.com>
- 18) <http://www.nagy-instruments.de>
- 19) <http://www.cogelme.com/eng>
- 20) Eddy Current Ara Abnous San Diego State University Mechanical Engineering Department ME 495 12/08/05 Presentation
- 21) Eddy Current Flaw Detector brochure by TERICO

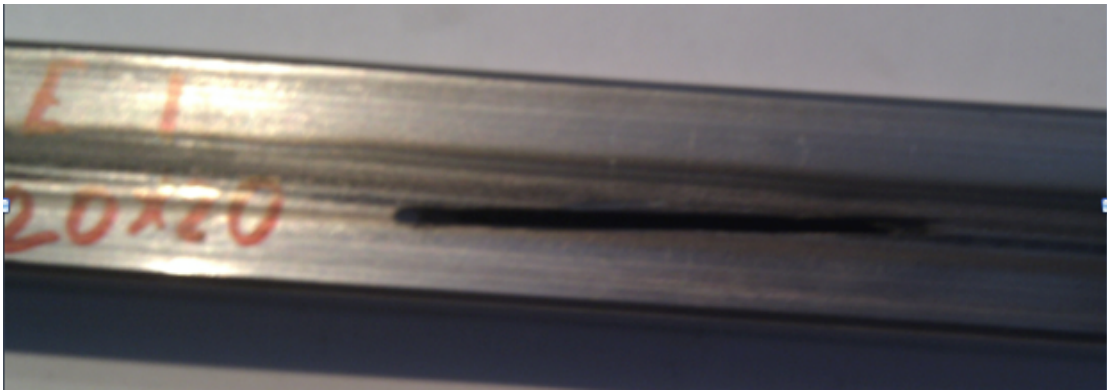
6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

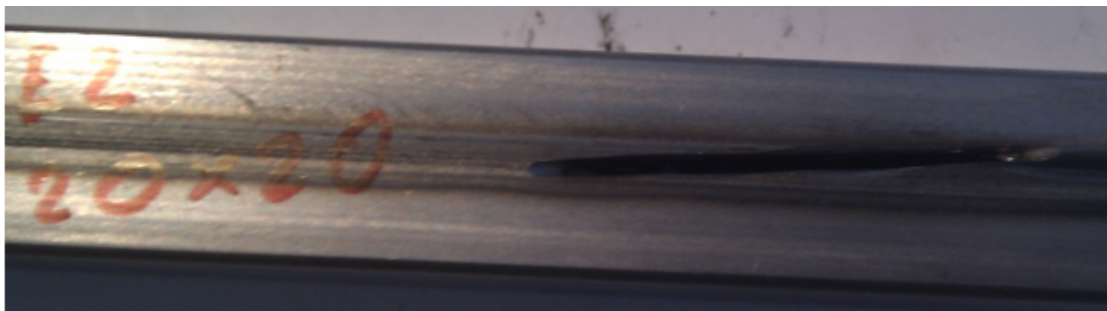
Στο παράρτημα αυτό θα παρατεθούν οι φωτογραφίες των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν για τις στατικές μετρήσεις της παρούσας διπλωματικής.

Σωλήνα 20*20

Δοκίμιο Ε1



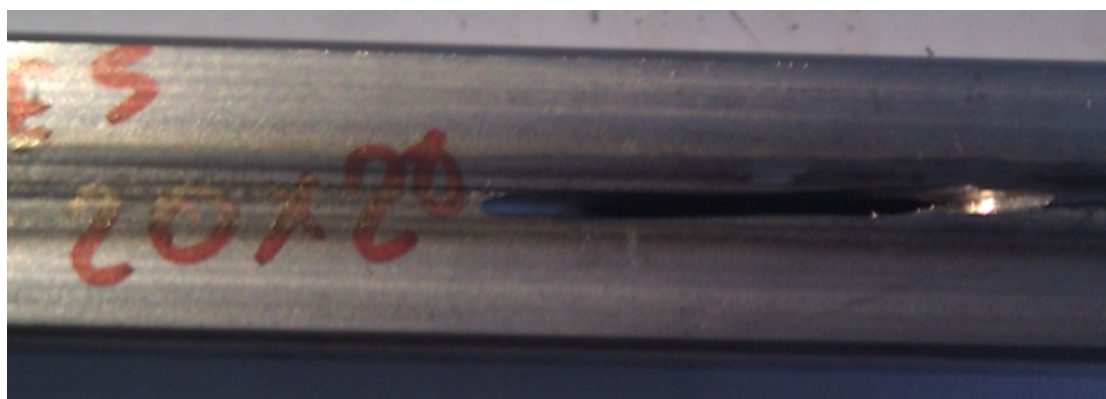
Δοκίμιο Ε2



Δοκίμιο Ε4



Δοκίμιο Ε5



Δοκίμιο Ε6



Δοκίμιο Ε7



Δοκίμο Ε8



Δοκίμο Ε9



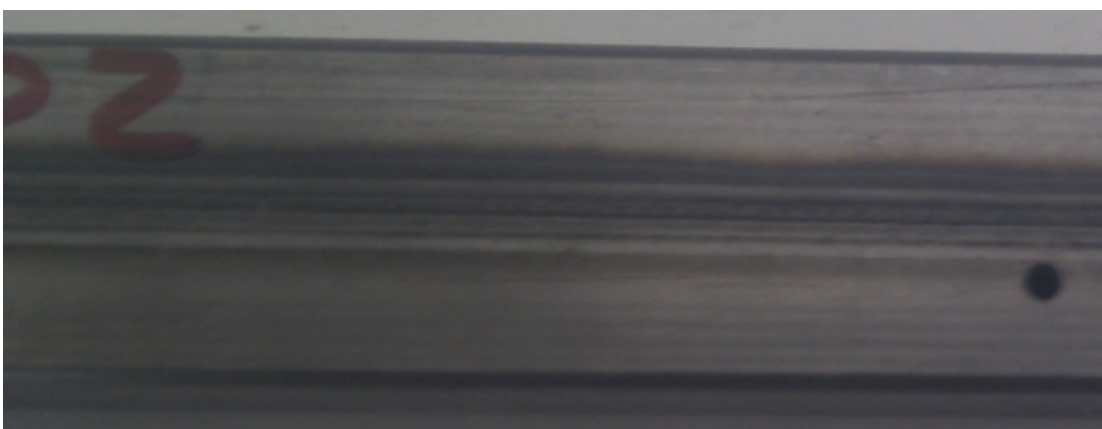
Δοκίμο Ε10



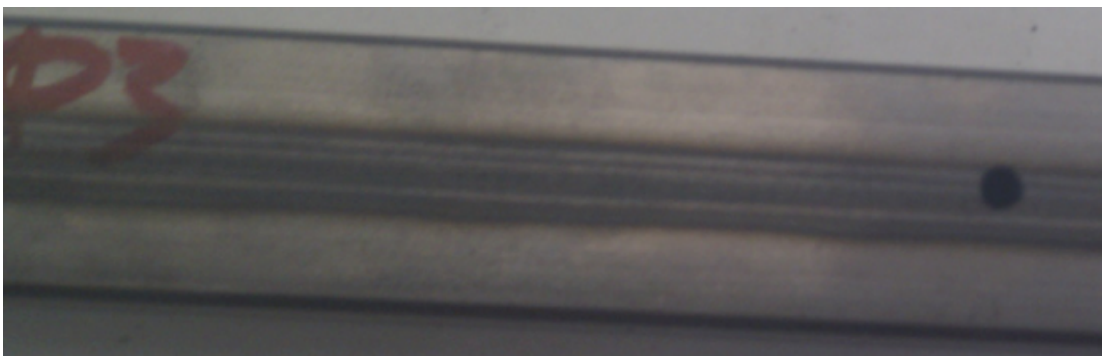
Δοκίμιο Ε11



Δοκίμιο Ε12



Δοκίμιο Ε13



Σωλήνα 25*25

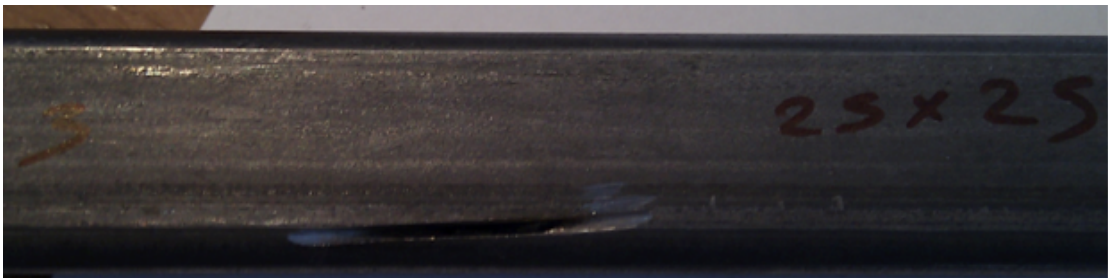
Δοκίμιο Ε1



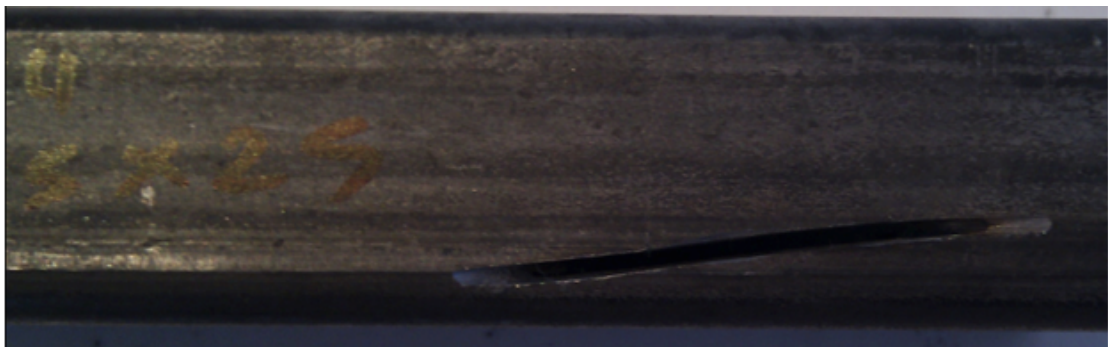
Δοκίμιο Ε2



Δοκίμιο Ε3



Δοκίμιο Ε4



Δοκίμιο Ε5



Δοκίμιο Ε6



Δοκίμιο Ε7



Δοκίμιο Ε9



Δοκίμιο Ε10



Δοκίμιο Ε11



Δοκίμο Ε12



Δοκίμο Ε13



Σωλήνα 30*30

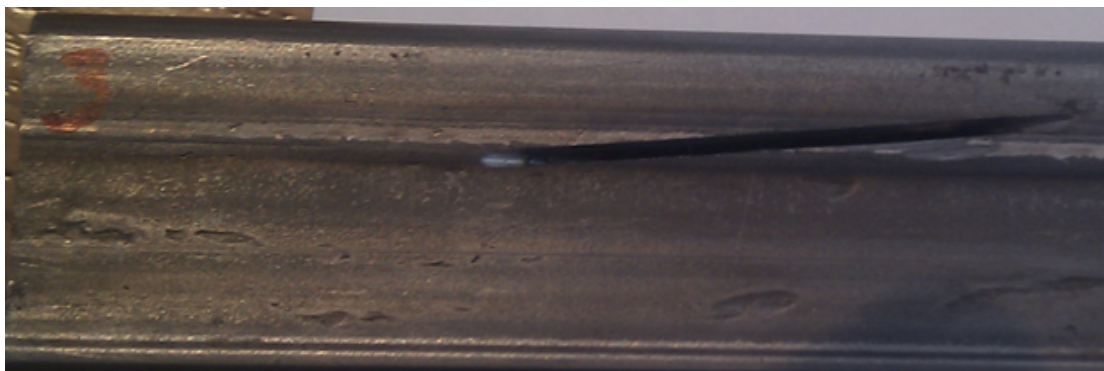
Δοκίμο Ε1



Δοκίμιο Ε2



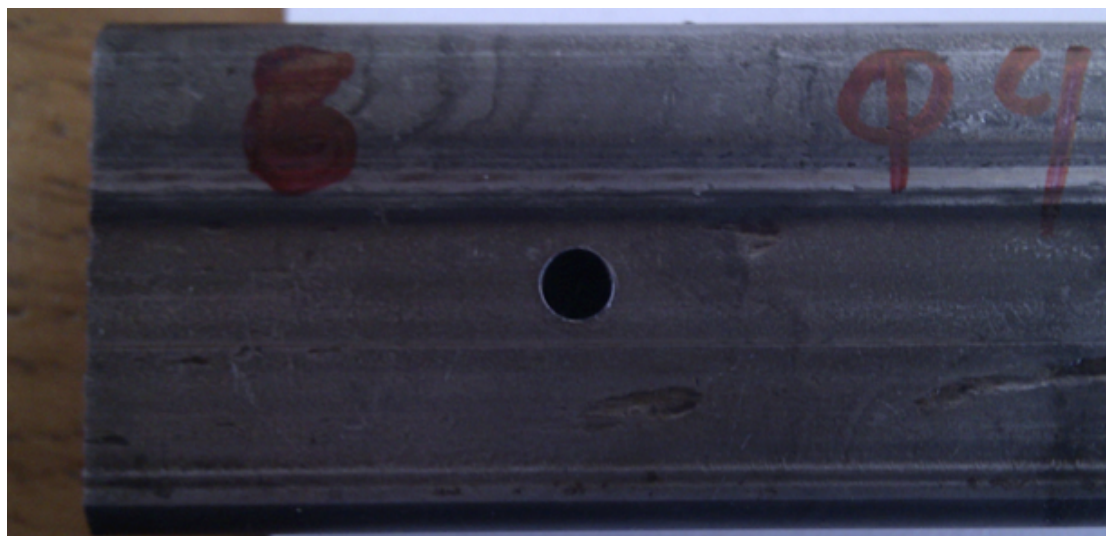
Δοκίμιο Ε3



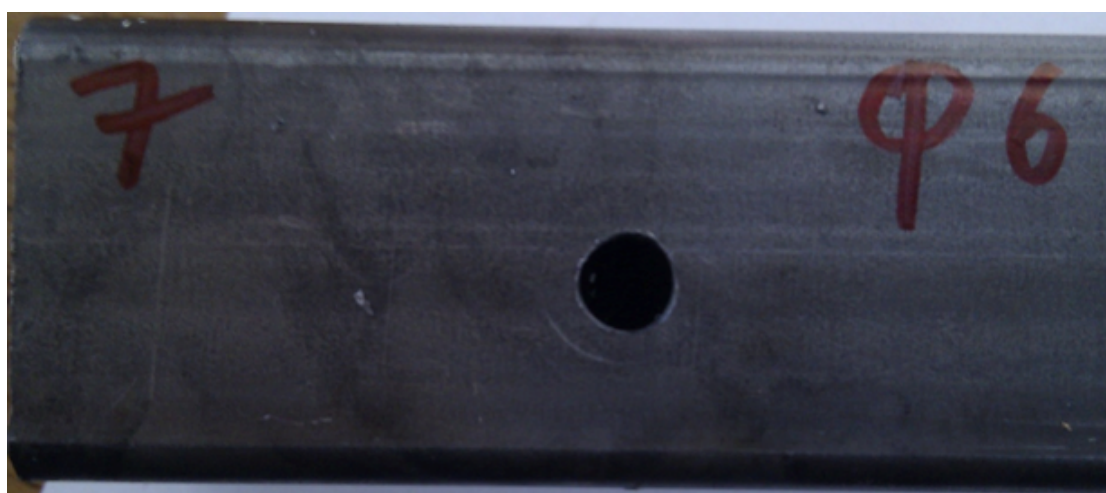
Δοκίμιο Ε5



Δοκίμιο Ε6



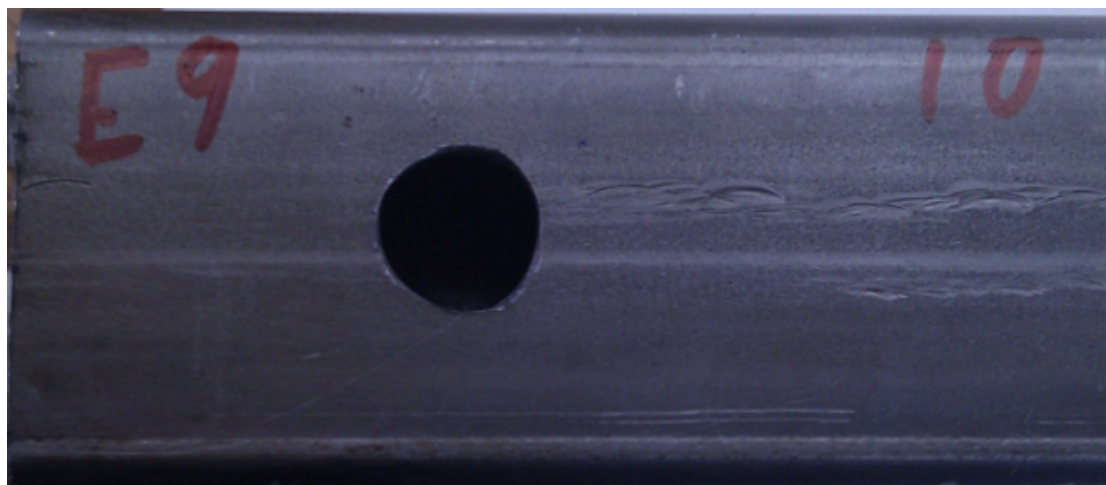
Δοκίμιο Ε7



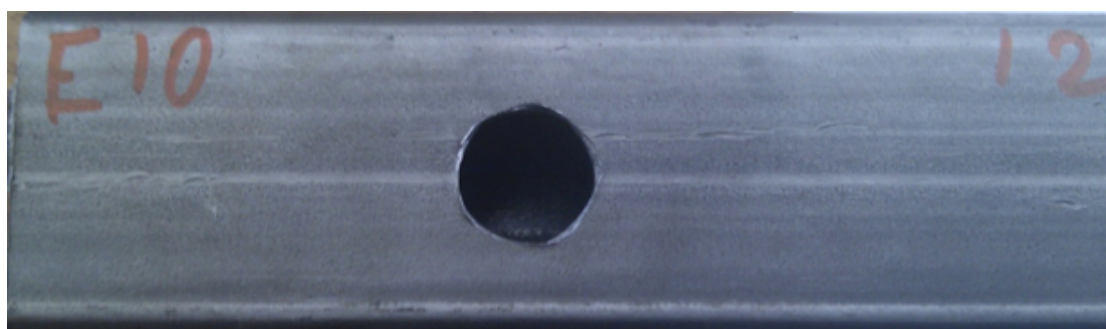
Δοκίμιο Ε8



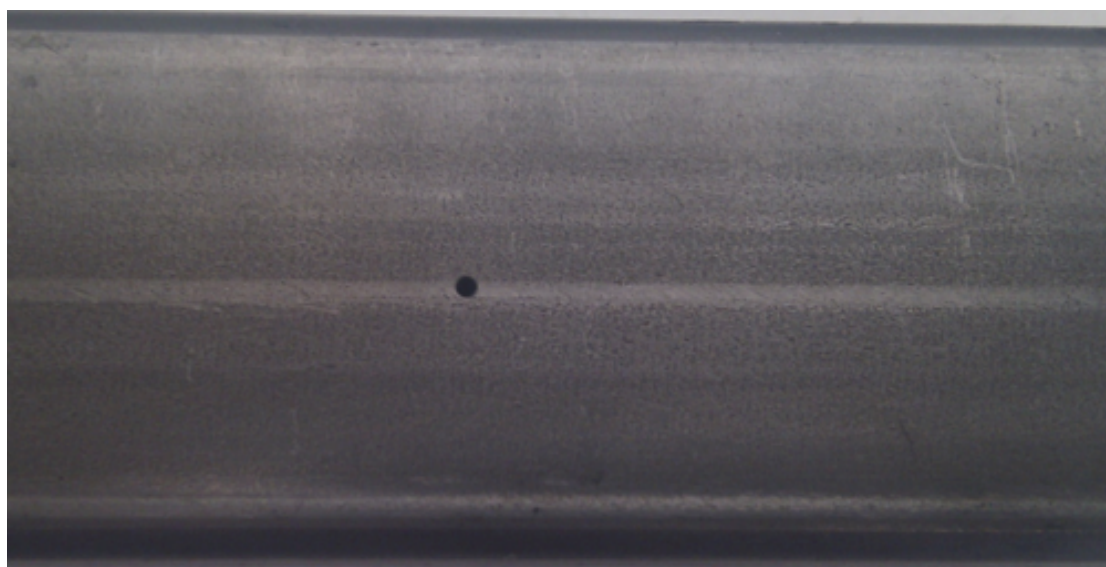
Δοκίμιο Ε9



Δοκίμιο Ε10



Δοκίμιο Ε11



Δοκίμιο Ε12

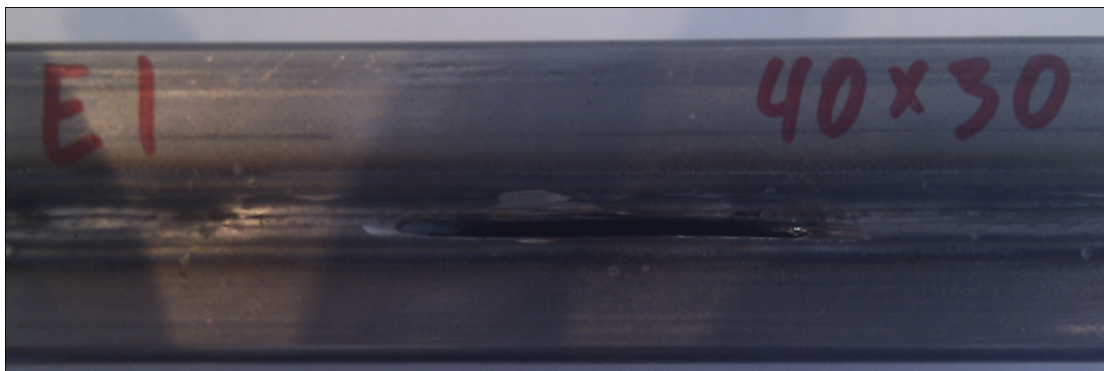


Δοκίμιο Ε13



Σωλήνα 40*30

Δοκίμιο Ε1



Δοκίμιο Ε2



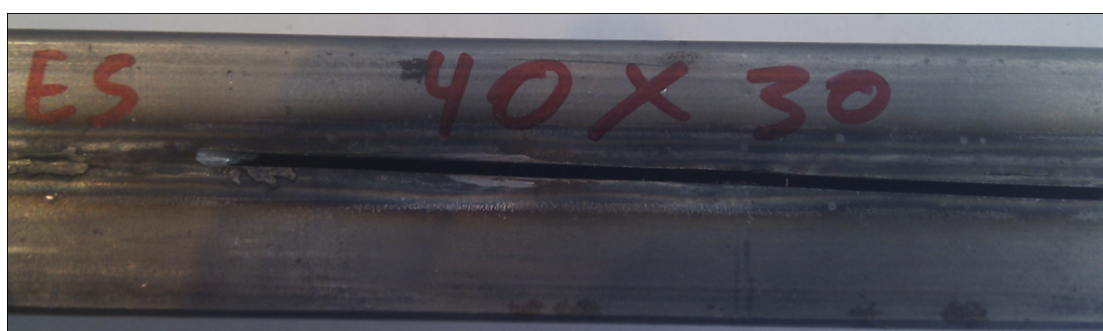
Δοκίμιο Ε3



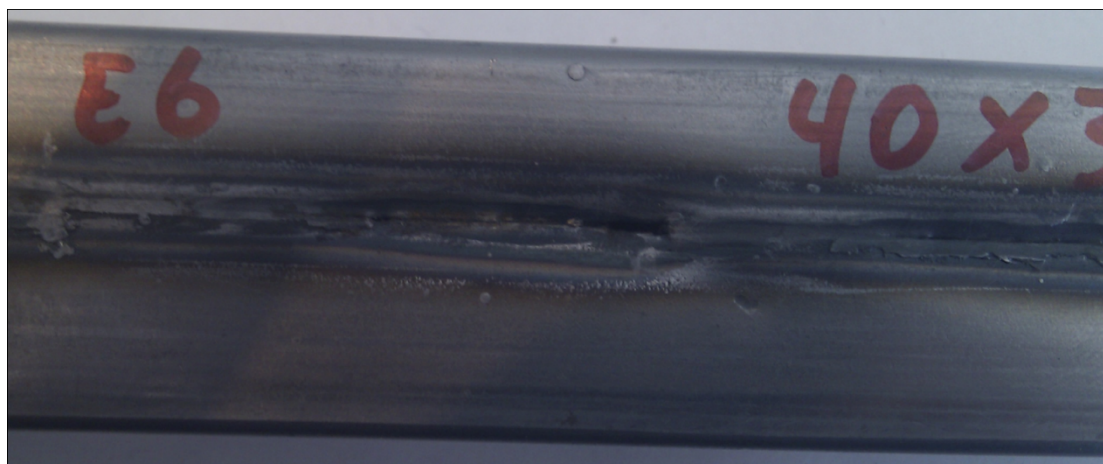
Δοκίμιο Ε4



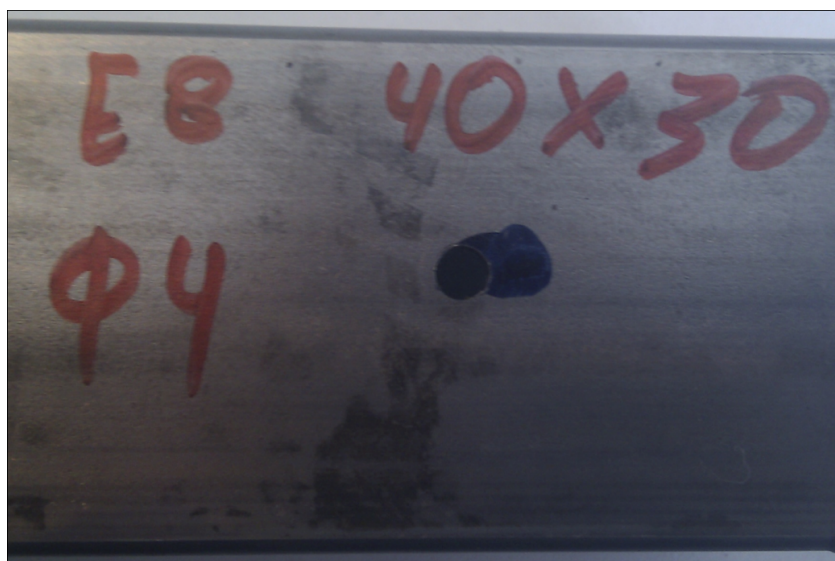
Δοκίμιο Ε5



Δοκίμιο Ε6



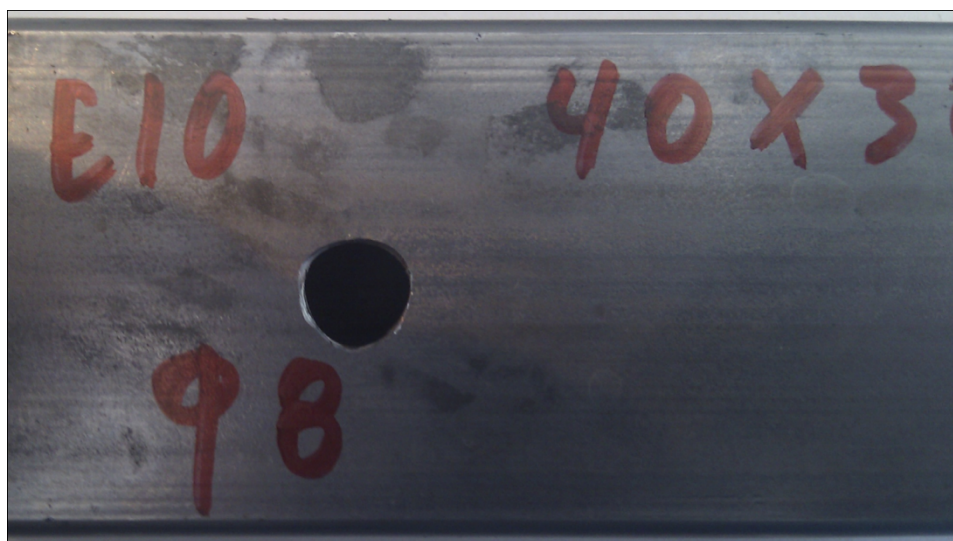
Δοκίμιο Ε8



Δοκίμιο Ε9



Δοκίμιο E10



Δοκίμιο E11



Δοκίμιο E12



Δοκίμιο Ε13



Δοκίμιο Ε14



Δοκίμιο Ε15



Σωλήνα 40*40

Δοκίμο Ε1



Δοκίμο Ε2



Δοκίμο Ε3



Δοκίμιο Ε4



Δοκίμιο Ε5



Δοκίμιο Ε6



Δοκίμο Ε7



Δοκίμο Ε8



Δοκίμο Ε9



Δοκίμιο E10



Δοκίμιο E12



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Στο παράρτημα αυτό θα παρατεθούν οι αναλυτικές τιμές των στατικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην Σωληνοουργεία Λ.Τζιρακιάν με τα δοκίμια του Παραρτήματος Ι.

Σωλήνα 20*20

↕	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1					Δείγμα 20*20										
2															
3															
4	K		E1	E2	E3	E4	E5	E6(Φ4)	E7(Φ6)	E8(Φ8)	E9(Φ10)	E10(Φ12)	E11(Φ1)	E12(Φ2)	E13(Φ3)
5					VV)										
6	F(KHz)														
7	1	0.94000	1.02400	1.08200	0.89100	0.99900	0.99000	0.92900	0.92300	0.91400	0.89200	0.90700	0.95300	0.94400	0.94600
8	2	1.52600	1.65300	1.63200	1.53500	1.61600	1.60100	1.52700	1.52000	1.51100	1.48900	1.50200	1.55000	1.54200	1.54100
9	3	1.93400	2.08900	2.06400	1.99800	2.04400	2.02600	1.94100	1.93500	1.92700	1.90700	1.91900	1.96400	1.95600	1.95400
10	4	2.24200	2.41800	2.39100	2.35400	2.63800	2.34600	2.25300	2.24700	2.24000	2.22400	2.23400	2.27800	2.26800	2.26400
11	5	2.48200	2.67300	2.64400	2.63000	2.61900	2.59500	2.49600	2.49000	2.48400	2.47000	2.47900	2.52200	2.51000	2.50600
12	6	2.67200	2.87300	2.84200	2.84700	2.81700	2.79000	2.68700	2.68000	2.67600	2.66400	2.67300	2.71300	2.70000	2.69700
13	7	2.82200	3.03000	2.99900	3.01800	2.97300	2.94400	2.83800	2.83000	2.82700	2.81700	2.82600	2.86500	2.85000	2.84800
14	8	2.94100	3.15200	3.12200	3.15000	3.09600	3.06500	2.95700	2.95000	2.94700	2.93800	2.94700	2.98500	2.97000	2.96700
15	9	3.03500	3.24700	3.21200	3.25400	3.19100	3.15900	3.05000	3.04300	3.04100	3.03300	3.04100	3.07900	3.06400	3.06100
16	10	3.10700	3.31900	3.28800	3.33300	3.26400	3.23100	3.12200	3.11500	3.11300	3.10600	3.11500	3.15200	3.13600	3.13400
17	20	3.20100	3.38100	3.36000	3.41300	3.33900	3.31000	3.21300	3.20800	3.20600	3.20100	3.21100	3.24100	3.22800	3.22800
18	30	2.91800	3.06600	3.05800	3.09700	3.03800	3.01400	2.93000	2.92700	2.92600	2.92000	2.92900	2.95700	2.94700	2.94600
19	40	2.63200	2.76200	2.76200	2.79000	2.74400	2.72100	2.64700	2.64500	2.64400	2.63900	2.64700	2.67200	2.66200	2.66100
20	50	2.40900	2.52800	2.53500	2.55100	2.51300	2.49300	2.42500	2.42300	2.42200	2.41900	2.42600	2.44900	2.44000	2.43800
21	60	2.24000	2.35300	2.36900	2.37800	2.34600	2.32500	2.26000	2.26000	2.25900	2.25500	2.26200	2.28400	2.27500	2.27300
22	70	2.11900	2.22800	2.24800	2.25200	2.22400	2.20400	2.14000	2.13900	2.14000	2.13500	2.14300	2.16400	2.13300	2.15200
23	80	2.03200	2.13800	2.16200	2.15000	2.13700	2.11700	2.05400	2.05200	2.05400	2.05100	2.05700	2.07700	2.06800	2.06600
24	90	1.96800	2.07300	2.10100	2.10400	2.07400	2.05300	1.99100	1.99000	1.99100	1.98800	1.99500	2.01400	2.00600	2.00300
25	100	1.91800	2.02800	2.05700	2.06200	2.03100	2.01000	1.94500	1.94600	1.94600	1.94400	1.95000	1.96800	1.96100	1.95600
26	200	1.96200	2.11000	2.16500	2.17000	2.13000	2.10200	2.01100	2.01100	2.01800	2.01800	2.03000	2.03800	2.02800	2.02100
27	300	2.66600	2.91900	3.03300	3.03800	2.99000	2.93600	2.78400	2.77500	2.78700	2.79200	2.81600	2.80600	2.81200	2.80600
28	400	0.12100	0.14150	0.13660	0.13800	0.13430	0.13320	0.13160	0.14260	0.13400	0.14200	0.13240	0.13020	0.13940	0.13060
29	500	0.00523	0.00529	0.00642	0.00660	0.00532	0.00530	0.00531	0.00536	0.00549	0.00539	0.00540	0.00492	0.00503	0.00512
30	600	0.00609	0.00620	0.00786	0.00810	0.00634	0.00627	0.00627	0.00632	0.00651	0.00650	0.00645	0.00554	0.00570	0.00556

Πίνακας Β1. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκίμιου 20*20. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, Ε1-Ε5 δοκίμια με ρωγμές, Ε6-Ε13 δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας

Σωλήνα 25*25

	Δελτία 25*25													
	K	E1	E2	E3	E4	E5	E6(φ4)	E7(φ6)	E8(φ8)	E9(φ10)	E10(φ12)	E11(φ1)	E12(φ2)	E13(φ3)
F(κH)				VN)										
1	1.8260	1.9150	1.9530	1.9760	1.8840	1.8850	1.8280	1.8290	1.8390	1.7680	1.7930	1.8290	1.8570	1.8020
2	2.7900	3.0110	2.9320	2.9560	3.0180	2.9650	2.9040	2.9190	2.9080	2.8680	2.8620	2.7850	2.8370	2.7620
3	3.3990	1.5700	3.5940	3.6240	3.7010	3.6200	3.5670	3.5880	3.5670	3.5040	2.2740	3.3800	3.4450	3.3610
4	3.8240	3.9390	3.8410	3.8770	3.9710	3.8780	3.8140	3.8370	3.8110	3.8060	2.5500	3.7980	3.8670	3.7820
5	4.1420	4.3150	4.2140	4.2540	4.3500	4.2530	4.1880	4.2110	4.1830	4.1990	4.1450	4.1080	4.1800	4.0930
6	4.3850	4.5530	4.4510	4.4910	4.5880	4.4800	4.4250	4.4470	4.4190	4.4420	2.8840	4.3400	4.4190	4.3330
7	4.5820	4.7480	4.6480	4.6890	4.7830	4.7860	4.7220	4.6420	4.6140	4.6410	4.5820	4.5410	4.6090	4.5250
8	4.7400	4.9130	4.8150	4.8560	4.9470	4.8520	4.7880	4.8070	4.7810	4.8100	4.7510	4.7000	4.7630	4.6830
9	4.8700	5.0530	4.9590	5.0010	5.0950	5.0030	4.9500	4.9470	4.9360	4.9580	4.9020	4.8270	4.8910	4.8140
10	4.9800	5.1680	5.0720	5.1160	5.2030	5.1150	5.0620	5.0600	5.0540	5.0710	5.0250	4.9360	4.9980	4.9270
20	5.5430	5.6630	5.5980	5.6250	5.6850	5.6240	5.5680	5.5730	5.5630	5.5850	5.5500	5.5080	5.5560	5.5000
30	5.7800	5.8200	5.8000	5.7900	5.8400	5.7910	5.7790	5.8010	5.7930	5.7930	5.7700	5.7530	5.7910	5.7420
40	5.9270	6.0020	5.9670	5.9810	6.0250	5.9830	5.9310	5.9270	5.9270	5.9430	5.9270	5.9130	5.9440	5.9020
50	6.0520	6.1210	6.0920	6.1030	6.1450	6.1050	6.0520	6.0470	6.0490	6.0660	6.0530	6.0370	6.0560	6.0280
60	6.1620	6.2280	6.2030	6.2120	6.2330	6.2150	6.1600	6.1530	6.1570	6.1640	6.1640	6.1480	6.1760	6.1380
70	6.2700	6.3340	6.3110	6.3230	6.3600	6.3220	6.2650	6.2580	6.2620	6.2800	6.2710	6.2580	6.2830	6.2500
80	6.3830	6.4510	6.4290	6.4400	6.4790	6.4400	6.3810	6.3730	6.3780	6.3960	6.3880	6.3700	6.3940	6.3640
90	6.5000	6.5680	6.5460	6.5580	6.5970	6.5570	6.4950	6.4870	6.4920	6.5110	6.5040	6.4890	6.5130	6.4860
100	6.6300	6.7000	6.6770	6.6890	6.7300	6.6880	6.6230	6.6150	6.6200	6.6390	6.6330	6.6180	6.6430	6.6190
200	9.0440	9.2180	9.1550	9.1900	9.2730	9.1680	9.0360	9.0380	9.0420	9.0550	9.0670	9.0360	9.0840	9.0810
300	3.4400	3.3450	3.4600	3.4120	3.4210	3.4400	3.4520	3.4210	3.4420	3.4820	3.5230	3.5090	3.3790	3.3790
400	0.0144	0.0147	0.0161	0.0162	0.0162	0.01540	0.0150	0.0156	0.0156	0.0155	0.0155	0.0144	0.0144	0.0144
500	0.0068	0.0068	0.0071	0.0072	0.0071	0.0070	0.0065	0.0063	0.0067	0.0066	0.0066	0.0067	0.0066	0.0067
600	0.0086	0.0087	0.0095	0.0093	0.0092	0.0091	0.0090	0.0081	0.0083	0.0081	0.0081	0.0086	0.0086	0.0087

Πίνακας Β2. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 25*25. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, E1-E5: δοκίμια με ρωγμές, E6-E13: δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας

Σωλήνα 30*30

	Δεγμάμα 30*30													
	K	E1	E2	E3	E4	E5	E6(Φ4)	E7(Φ6)	E8(Φ8)	E9(Φ10)	E10(Φ12)	E11(Φ1)	E12(Φ2)	E13(Φ3)
F(ΚΗ)				VN)										
1	1.9650	2.0220	2.0110	2.0510	2.0140	1.9370	1.9220	1.9440	1.9460	1.9230	1.9330	1.9650	1.9620	1.9820
2	2.9310	3.0150	2.9960	3.0630	3.0030	2.9500	2.9170	2.9300	2.9150	2.9080	2.9120	2.9780	2.9440	2.9610
3	3.5210	3.6060	3.5930	3.6680	3.6000	3.5590	3.5240	3.5250	3.5030	3.5000	3.4980	3.5720	3.5340	3.5560
4	3.9270	4.0110	3.9980	4.0700	4.0090	3.9720	3.9320	3.9230	3.9040	3.9010	3.8970	3.9780	3.9400	3.9630
5	4.2210	4.3070	4.2960	4.3750	4.3030	4.2700	4.2280	4.2190	4.2000	4.1980	4.1920	4.2710	4.2340	4.2600
6	4.4420	4.5340	4.5190	4.5980	4.5300	4.4950	4.4550	4.4420	4.4220	4.4180	4.4160	4.5020	4.4630	4.4900
7	4.6320	4.7100	4.7020	4.7740	4.7090	4.6730	4.6330	4.6210	4.6000	4.5970	4.5950	4.6830	4.6440	4.6740
8	4.7710	4.8500	4.8420	4.9140	4.8530	4.8170	4.7790	4.7640	4.7430	4.7410	4.7400	4.8310	4.7970	4.8220
9	4.8980	4.9680	4.9710	5.0350	4.9710	4.9350	4.8980	4.8880	4.8650	4.8600	4.8590	4.9500	4.9190	4.9410
10	5.0010	5.0700	5.0610	5.1340	5.0740	5.0360	5.0000	4.9740	4.9670	4.9650	4.9600	5.0540	5.0290	5.0500
20	5.5460	5.5980	5.5910	5.6560	5.6050	5.5650	5.5310	5.5280	5.5020	5.5020	5.5090	5.6180	5.5900	5.6160
30	5.7920	5.8330	5.8380	5.8860	5.8420	5.8040	5.7710	5.7630	5.7630	5.7400	5.7600	5.8750	5.8350	5.8710
40	5.9560	6.0080	6.0030	6.0390	5.9960	5.9610	5.9250	5.9230	5.9200	5.9170	5.9250	6.0400	6.0110	6.0440
50	6.0860	6.1300	6.1270	6.1500	6.1260	6.0850	6.0530	6.0510	6.0510	6.0400	6.0380	6.1750	6.1570	6.1790
60	6.2090	6.2500	6.2400	6.2830	6.2450	6.2070	6.1740	6.1470	6.1470	6.1600	6.1660	6.2940	6.2730	6.2910
70	6.3310	6.3730	6.3500	6.4010	6.3660	6.3250	6.2950	6.2840	6.2840	6.2770	6.2850	6.4100	6.3920	6.4120
80	6.4440	6.4730	6.4800	6.5240	6.4930	6.4450	6.4140	6.4090	6.4170	6.4280	6.4150	6.5260	6.5120	6.5250
90	6.5800	6.6200	6.6160	6.6630	6.6330	6.5780	6.5400	6.5380	6.5500	6.5410	6.5600	6.6480	6.6300	6.6470
100	6.7250	6.7600	6.7540	6.8190	6.7680	6.7230	6.6840	6.6780	6.7000	6.6960	6.7030	6.7780	6.7740	6.7750
200	8.1190	8.1900	8.1520	8.5920	8.4940	8.4290	8.3730	8.3840	8.3970	8.4350	8.4170	8.6580	8.7000	8.7060
300	1.7080	1.6600	1.6530	1.7380	1.7380	1.7970	1.8010	1.8150	1.8280	1.8000	1.7890	2.6620	2.6330	2.7110
400	0.0148	0.0150	0.0150	0.0152	0.0152	0.0152	0.0152	0.0152	0.0152	0.0151	0.0145	0.0144	0.0142	0.0144
500	0.0096	0.0096	0.0097	0.0097	0.0094	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095	0.0097	0.0075	0.0069	0.0069	0.0069
600	0.0124	0.0124	0.0125	0.0126	0.0123	0.0124	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0097	0.0088	0.0089	0.0088

Πίνακας Β3. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκμίου 30*30. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, E1-E5: δοκίμια με ρωγμές, E6-E13: δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας

Σωλήνα 40*30

				Δείγμα 40*30												
	K	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8(Φ4)	E9(Φ6)	E10(Φ8)	E11(Φ10)	E12(Φ12)	E13(Φ1)	E14(Φ2)	E15(Φ3)
F(KHz)				V(V)												
1	1.8070	1.8890	1.9090	1.9320	1.9410	2.0850	1.8830	1.9030	1.8160	1.8300	1.8180	1.8190	1.8110	1.8150	1.8250	1.8230
2	2.8510	2.9410	2.9760	3.0080	2.9980	3.1980	2.9300	2.9540	2.8870	2.8970	2.8970	2.8800	2.8780	2.8580	2.8900	2.8780
3	3.5620	3.6530	3.6860	3.7230	3.7030	3.9190	3.6360	3.6600	3.6110	3.6170	3.6250	3.5970	3.6010	3.5700	3.6080	3.5920
4	4.0900	4.1760	4.2060	4.2480	4.2220	4.4450	4.1580	4.1820	4.1430	4.1460	4.1590	4.1260	4.1350	4.1010	4.1350	4.1190
5	4.4990	4.5820	4.6050	4.6480	4.6200	4.8460	4.5600	4.5840	4.5510	4.5530	4.5670	4.5340	4.5450	4.5110	4.5410	4.5260
6	4.8240	4.9030	4.9200	4.9660	4.9360	5.1580	4.8800	4.9040	4.8740	4.8750	4.8900	4.8570	4.8700	4.8370	4.8630	4.8480
7	5.0870	5.1630	5.1740	5.2220	5.1910	5.4060	5.1380	5.1610	5.1340	5.1350	5.1500	5.1180	5.1320	5.1040	5.1220	5.1090
8	5.3050	5.3760	5.3830	5.4300	5.3980	5.5980	5.3520	5.3740	5.3480	5.3480	5.3630	5.3320	5.3460	5.3210	5.3350	5.3230
9	5.4850	5.5540	5.5540	5.6040	5.5720	5.7630	5.5290	5.5510	5.5260	5.5260	5.5400	5.5100	5.5250	5.5040	5.5140	5.5030
10	5.6370	5.7030	7.7010	5.7510	5.7170	5.9000	5.6790	5.7000	5.6770	5.6760	5.6900	5.6610	5.6760	5.6570	5.6630	5.6530
20	6.4090	6.4540	6.4370	6.4820	6.4530	6.5680	6.4400	6.4530	6.4400	6.4340	6.4430	6.4220	6.4370	6.4370	6.4230	6.4220
30	6.7090	6.7450	6.7260	6.7650	6.7430	6.8220	6.7390	6.7490	6.7330	6.7300	6.7370	6.7200	6.7350	6.7410	6.7220	6.7220
40	6.9010	6.9330	6.9130	6.9490	6.9300	6.9930	6.9300	6.9400	6.9240	6.9200	6.9250	6.9100	6.9250	6.9340	6.9130	6.9140
50	7.0660	7.0930	7.0740	7.1080	7.0920	7.1430	7.0940	7.1020	7.0850	7.0840	7.0870	7.0720	7.0860	7.0970	7.0750	7.0770
60	7.2260	7.2540	7.2330	7.2700	7.2550	7.3000	7.2570	7.2650	7.2430	7.2450	7.2480	7.2330	7.2480	7.2580	7.2360	7.2360
70	7.3970	7.4280	7.4060	7.4440	7.4290	7.4690	7.4300	7.4380	7.4150	7.4190	7.4190	7.4040	7.4220	7.4280	7.4070	7.4060
80	7.5870	7.6220	7.6000	7.6360	7.6230	7.6600	7.6220	7.6320	7.6060	7.6080	7.6090	7.5940	7.6160	7.6170	7.5930	7.5940
90	7.8030	7.8400	7.8180	7.8560	7.8420	7.8770	7.8380	7.8500	7.8200	7.8220	7.8220	7.8060	7.8310	7.8270	7.8050	7.8040
100	8.0430	8.0820	8.0680	8.0990	8.0890	8.1190	8.0760	8.0930	8.0580	8.0580	8.0560	8.0430	8.0720	8.0640	8.0420	8.0380
200	5.4450	5.3730	5.4050	5.3250	5.4110	5.3860	5.4360	5.3780	5.4150	5.4440	5.4510	5.4200	5.5180	5.9400	6.0100	6.0060
300	2.0390	2.0300	2.0310	2.0300	2.0240	2.0380	2.0480	2.0640	2.0144	2.0144	2.0144	2.0144	2.0144	1.9620	1.8960	1.9140
400	0.0153	0.0152	0.0147	0.0146	0.0146	0.0145	0.0145	0.0144	0.0144	0.0144	0.0144	0.0143	0.0144	0.0146	0.0145	0.0145
500	0.0093	0.0097	0.0077	0.0078	0.0077	0.0079	0.0077	0.0080	0.0075	0.0075	0.0076	0.0076	0.0077	0.0073	0.0071	0.0073
600	0.0115	0.0115	0.0093	0.0093	0.0094	0.0094	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095	0.0096	0.0094	0.0091	0.0092	0.0093

Πίνακας Β4. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 40*30. Κ: Αποδεκτό δοκίμιο, Ε1-Ε7: δοκίμια με ρωγμές, Ε6-Ε13 δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας

Σωλήνα 40*40

	Δεγμά 40*40														
	K	E1	E2	E3	E4	E5(Φ4)	E6(Φ6)	E7(Φ8)	E8(Φ10)	E9(Φ12)	E10(Φ1)	E11(Φ2)	E12(Φ3)		
F(KHz)	1	2.0130	2.0440	2.0600	V(V)	2.0360	1.9960	1.9960	1.9760	2.0130	2.0020	2.0320	2.0210	2.3100	2.0240
	2	3.0520	3.0950	3.1220		3.0890	3.0700	3.0670	3.0380	3.0730	3.0640	3.0830	3.0670	3.0770	3.0680
	3	3.7280	3.7770	3.8050		3.7730	3.7620	3.7540	3.7260	3.7550	3.7510	3.7610	3.7430	3.7550	3.7450
	4	4.2160	4.2660	4.2930		4.2630	4.2550	4.2460	4.2190	4.2440	4.2430	4.2480	4.2280	4.2420	4.2320
	5	4.5850	4.6350	4.6610		4.6350	4.6260	4.6170	4.5930	4.6140	4.6160	4.6180	4.5980	4.6120	4.6020
	6	4.8770	4.9250	4.9500		4.9260	4.9170	4.9080	4.8860	4.9050	4.9080	4.9080	4.8890	4.9030	4.8930
	7	5.1110	5.1190	5.1810		5.1600	5.1500	5.1410	5.1220	5.1390	5.1420	5.1430	5.1230	4.9030	5.1280
	8	5.3040	5.3480	5.3710		5.3530	5.3400	5.3330	5.3150	5.3310	5.3360	5.3350	5.3170	5.1370	5.3200
	9	5.4650	5.5080	5.5300		5.5130	5.5000	5.4920	5.4760	5.4930	5.4980	5.4960	5.4790	5.3300	5.4800
	10	5.6010	5.6420	5.6640		5.6490	5.6350	5.6280	5.6150	5.6290	5.6350	5.6330	5.6160	5.6270	5.6180
	20	6.3120	6.3460	6.3590		6.3510	6.3330	6.3300	6.3260	6.3410	6.3510	6.3470	6.3330	6.3420	6.3320
	30	6.6050	6.6400	6.6490		6.6450	6.6270	6.6260	6.6250	6.6420	6.6510	6.6470	6.6360	6.6430	6.6340
	40	6.8070	6.8370	6.8430		6.8410	6.8220	6.8220	6.8220	6.8400	6.8490	6.8450	6.8350	6.8400	6.8330
	50	6.9740	7.0090	7.0100		7.0070	6.9900	6.9890	6.9900	7.0080	7.0180	7.0130	7.0040	7.0100	7.0030
	60	7.1370	7.1730	7.1730		7.1700	7.1530	7.1490	7.1560	7.1740	7.1810	7.1760	7.1670	7.1740	7.1630
	70	7.3080	7.3450	7.3460		7.3430	7.3270	7.3210	7.3280	7.3430	7.3540	7.3460	7.3380	7.3460	7.3380
	80	7.4960	7.5330	7.5340		7.5330	7.5130	7.5060	7.5160	7.5330	7.5420	7.5330	7.5230	7.5330	7.5240
	90	7.7030	7.7420	7.7430		7.7430	7.7190	7.7100	7.7220	7.7390	7.7520	7.7390	7.7210	7.7400	7.7320
	100	7.9320	7.9700	7.9740		7.9730	7.9500	7.9330	7.9510	7.9700	7.9810	7.9640	7.9550	7.9680	7.9630
	200	5.6080	5.5550	5.5750		5.6000	5.6700	5.6160	5.7150	5.6480	5.4990	5.5040	5.9380	5.9000	5.9420
	300	1.8960	1.9500	1.9250		1.9210	1.9280	1.9500	1.8910	1.9440	1.9710	1.9790	1.8940	1.9000	1.8770
	400	0.0151	0.0150	0.0149		0.0149	0.0149	0.0148	0.0149	0.0148	0.0148	0.0148	0.0144	0.0144	0.0144
	500	0.0089	0.0089	0.0091		0.0091	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0093	0.0093	0.0073	0.0072	0.0072
	600	0.0115	0.0115	0.0119		0.0119	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0121	0.0121	0.0094	0.0094	0.0094

Πίνακας B5. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου 40*40. K: Αποδεκτό δοκίμιο, E1-E4: δοκίμια με ρωγμές, E6-E13: δοκίμια με τρύπες Φ1-Φ12 μμ σε διάμετρο τρύπας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται οι πίνακες με την επεξεργασία των μετρήσεων του Παραρτήματος ΙΙ απο την οποία προκύπτουν τα διαγράμματα που έχουν τοποθετηθεί στο Κεφάλαιο 3.1 της παρούσας διπλωματικής.

Σωλήνα 20*20

Μ.Ο (Φ)	ΛΟΙΤΟΣ Φ	Μ.Ο 500-700		Μ.Ο 700-900		Μ.Ο 900+		ΛΟΙΤΟΣ Ρ	Τ.Μ.Ο	Τ.ΛΟΙΤΟΣ	F(kHz)
		ΛΟΙΤΟΣ 1	Ε3Ε5	ΛΟΙΤΟΣ 2	Ε2Ε4	ΛΟΙΤΟΣ 3	Μ.Ο Ρ				
0.92600	-1.51188	0.94050	0.05316	1.04050	9.65882	1.02400	8.20313	0.99720	5.73606	0.95338	1.40391
1.52275	-0.21343	1.56800	2.67857	1.62400	6.03448	1.65300	7.68300	1.60740	5.06408	1.55531	1.88437
1.93788	0.19996	2.01200	3.87674	2.05400	5.84226	2.08900	7.41982	2.04420	5.39086	1.97877	2.26248
2.25100	0.39982	2.35000	4.59574	2.51450	10.83714	2.41800	7.27874	2.42940	7.71384	2.31962	3.34605
2.49463	0.50609	2.61250	4.99522	2.63150	5.68117	2.67300	7.14553	2.63220	5.70625	2.54754	2.57262
2.68625	0.53048	2.81850	5.19780	2.82950	5.56635	2.87300	6.99617	2.83380	5.70965	2.74300	2.58841
2.83763	0.55064	2.98100	5.33378	2.98600	5.49230	3.03000	6.86469	2.99280	5.70703	2.89731	2.59923
2.95763	0.56211	3.10750	5.35800	3.10900	5.40367	3.15200	6.69416	3.11700	5.64645	3.01892	2.58115
3.05150	0.54072	3.20650	5.34851	3.20350	5.25987	3.24700	6.52910	3.21340	5.55175	3.11377	2.52971
3.12413	0.54815	3.28200	5.33211	3.27600	5.15873	3.31900	6.38747	3.28700	5.47612	3.18677	2.50314
3.21700	0.49736	3.36150	4.77465	3.34950	4.43350	3.38100	5.32387	3.36060	4.74915	3.27223	2.17683
2.93525	0.58768	3.05550	4.50008	3.04800	4.26509	3.06600	4.82714	3.05460	4.47194	2.98115	2.11844
2.65213	0.75883	2.75550	4.48195	2.75300	4.39521	2.76200	4.70673	2.75580	4.49234	2.69200	2.22883
2.43025	0.87440	2.52200	4.48057	2.52400	4.55626	2.52800	4.70728	2.52400	4.55626	2.46631	2.32362
2.32600	3.69733	2.35150	4.74165	2.35750	4.98409	2.35300	4.80238	2.35420	4.85090	2.33685	4.14431
2.14325	1.13146	2.22800	4.89228	2.23600	5.23256	2.22800	4.89228	2.23120	5.02868	2.17708	2.66766
2.05988	1.35324	2.13350	4.75744	2.14950	5.46639	2.13800	4.95790	2.14080	5.08221	2.09100	2.82162
1.99725	1.46451	2.07850	5.31633	2.08750	5.72455	2.07300	5.06512	2.08100	5.43008	2.02946	3.02847
1.95200	1.74180	2.03600	5.79568	2.04400	6.16438	2.02800	5.42406	2.03760	5.86965	1.98492	3.37157
2.02188	2.96136	2.13600	8.14607	2.14750	8.63795	2.11000	7.01422	2.13540	8.12026	2.06554	5.01266
2.79313	4.55135	2.98700	10.74657	3.01150	11.47269	2.91900	8.66735	2.98320	10.63288	2.86623	6.98586
0.13535	10.60214	0.13560	0.13560	0.13545	10.66814	0.14150	14.48763	0.13672	11.49795	0.13588	10.94882
0.00525	0.42837	0.00595	12.10084	0.00587	10.90290	0.00529	1.13422	0.00579	9.60940	0.00546	4.17195
0.00611	0.26612	0.00719	15.24008	0.00710	14.22355	0.00620	1.77419	0.00695	12.42450	0.00643	5.32169

Πίνακας Γ1. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β1 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντιστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ%

Σωλήνα 25*25

Δείγμα 25*25										
Μ.Ο (Φ)	ΛΟΓΟΣ Φ	Μ.Ο 500-700	ΛΟΓΟΣ 1	Μ.Ο 900+	ΛΟΓΟΣ 2	Μ.Ο Ρ	ΛΟΓΟΣ Ρ	Τ.Μ.Ο	Τ.ΛΟΓΟΣ	F(kHz)
		E2,E3,E5					E1,E4			
1.8181	-0.4331	1.9380	5.7792	1.8995	3.8694	1.9226	5.0244	1.8583	1.7385545	1
2.8556	2.2981	2.9510	5.4558	3.0145	7.4473	2.9764	6.2626	2.9021	3.8619556	2
3.3358	-1.8961	3.6127	5.9144	2.6355	-28.9698	3.2218	-5.5000	3.2919	-3.252716	3
3.6581	-4.5344	3.8653	1.0693	3.9550	3.3123	3.9012	1.9789	3.7516	-1.929425	4
4.1634	0.5134	4.2403	2.3190	4.3325	4.3970	4.2772	3.1609	4.2072	1.5486443	5
4.2136	-4.0672	4.4740	1.9893	4.5705	4.0586	4.5126	2.8276	4.3286	-1.302602	6
4.5970	0.3263	4.7077	2.6694	4.7655	3.8506	4.7308	3.1453	4.6485	1.4297534	7
4.7604	0.4280	4.8410	2.0863	4.9300	3.8540	4.8766	2.8011	4.8051	1.3543368	8
4.9031	0.6756	4.9877	2.3592	5.0740	4.0205	5.0222	3.0305	4.9489	1.5947525	9
5.0166	0.7301	5.1010	2.3721	5.1855	3.9630	5.1348	3.0147	5.0621	1.6214081	10
5.5504	0.1329	5.6157	1.2940	5.6740	2.3088	5.6390	1.7024	5.5845	0.7424447	20
5.7778	-0.0389	5.7937	0.2359	5.8300	0.8576	5.8082	0.4855	5.7895	0.1634269	30
5.9268	-0.0042	5.9770	0.8365	6.0135	1.4384	5.9916	1.0782	5.9517	0.4148788	40
6.0485	-0.0579	6.1000	0.7869	6.1330	1.3207	6.1132	1.0011	6.0734	0.3521038	50
6.1588	-0.0528	6.2100	0.7729	6.2405	1.2579	6.2222	0.9675	6.1832	0.3421207	60
6.2659	-0.0658	6.3187	0.7702	6.3470	1.2132	6.3300	0.9479	6.2905	0.3264977	70
6.3805	-0.0392	6.4363	0.8286	6.4650	1.2684	6.4478	1.0050	6.4064	0.3650205	80
6.4971	-0.0443	6.5537	0.8189	6.5825	1.2533	6.5652	0.9931	6.5233	0.3572987	90
6.6263	-0.0566	6.6847	0.8178	6.7150	1.2658	6.6968	0.9975	6.6534	0.3514695	100
9.0549	0.1201	9.1710	1.3848	9.2455	2.1794	9.2008	1.7042	9.1110	0.7353748	200
3.4501	0.2935	3.4373	-0.0776	3.3830	-1.6849	3.4156	-0.7144	3.4368	-0.091766	300
0.0151	4.3983	0.0621	76.8116	0.0155	6.8865	0.0434	66.8554	0.0260	44.571107	400
0.0066	-2.5019	0.0071	4.7440	0.0070	2.9433	0.0070	4.0318	0.0068	0.1136622	500
0.0084	-2.0873	0.0093	7.3782	0.0090	3.9019	0.0092	6.0183	0.0087	1.1903712	600

Πίνακας Γ2. Επιξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β2 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ%

Σωλήνα 30*30

Δεγμά 30*30										
Μ.Ο (Φ)	ΛΟΓΟΣ Φ	Μ.Ο 500-700	ΛΟΓΟΣ 1	Μ.Ο 700-900	ΛΟΓΟΣ 2	Μ.Ο Ρ	ΛΟΓΟΣ Ρ	Τ.Μ.Ο	Τ.ΛΟΓΟΣ	F(KHz)
1.9471	-0.9180	2.0125	2.3602	2.0033	1.9135	2.0070	2.0927	1.9702	0.2615961	1
2.9331	0.0724	2.9995	2.2837	3.0093	2.6030	3.0054	2.4755	2.9609	1.0105996	2
3.5265	0.1560	3.5965	2.0993	3.6110	2.4924	3.6052	2.3355	3.5568	1.0056663	3
3.9298	0.0700	4.0035	1.9108	4.0177	2.2567	4.0120	2.1186	3.9614	0.8679949	4
4.2253	0.1006	4.2995	1.8258	4.3173	2.2313	4.3102	2.0695	4.2579	0.8671617	5
4.4510	0.2022	4.5245	1.8234	4.5423	2.2089	4.5352	2.0550	4.4834	0.9230664	6
4.6309	-0.0243	4.7055	1.5620	4.7190	1.8436	4.7136	1.7312	4.6627	0.6582529	7
4.7771	0.1282	4.8475	1.5781	4.8603	1.8380	4.8552	1.7342	4.8072	0.7520842	8
4.8976	-0.0077	4.9710	1.4685	4.9793	1.6334	4.9760	1.5675	4.9278	0.6041117	9
4.9999	-0.0225	5.0675	1.3123	5.0800	1.5551	5.0750	1.4581	5.0288	0.5522073	10
5.5495	0.0631	5.5980	0.9289	5.6063	1.0762	5.6030	1.0173	5.5701	0.4322548	20
5.7973	0.0906	5.8400	0.8219	5.8410	0.8389	5.8406	0.8321	5.8139	0.3770789	30
5.9631	0.1195	5.9995	0.7251	6.0027	0.7774	6.0014	0.7565	5.9778	0.3654519	40
6.0968	0.1763	6.1265	0.6611	6.1217	0.5826	6.1236	0.6140	6.1071	0.3451229	50
6.2104	0.0221	6.2425	0.5366	6.2467	0.6030	6.2450	0.5765	6.2237	0.2360706	60
6.3319	0.0138	6.3580	0.4247	6.3663	0.5550	6.3630	0.5029	6.3438	0.2024979	70
6.4558	0.1820	6.4865	0.6552	6.4807	0.5658	6.4830	0.6016	6.4662	0.343798	80
6.5819	0.0285	6.6245	0.6717	6.6203	0.6092	6.6220	0.6342	6.5973	0.2623448	90
6.7235	-0.0223	6.7610	0.5325	6.7673	0.6256	6.7648	0.5883	6.7394	0.2134411	100
8.5088	4.5806	8.3230	2.4510	8.4037	3.3874	8.3714	3.0150	8.4559	3.9844624	200
2.1274	19.7133	1.7055	-0.1466	1.7317	1.3667	1.7212	0.7669	1.9712	13.350244	300
0.0148	-0.2116	0.0151	1.9543	0.0151	2.1164	0.0151	2.0516	0.0149	0.6711409	400
0.0083	-15.4887	0.0095	-0.8933	0.0096	-0.2786	0.0096	-0.5236	0.0088	-9.234136	500
0.0108	-15.1614	0.0124	0.1208	0.0125	0.5613	0.0124	0.3856	0.0114	-8.639978	600

Πίνακας Γ3. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β3 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ%

Σωλήνα 40*30

Μ.Ο (Φ)	ΛΟΤΟΣ Φ	Μ.Ο Χ.Ρ	ΛΟΤΟΣ Χ.Ρ	Μ.Ο 700-900	ΛΟΤΟΣ 1	Μ.Ο 900+	ΛΟΤΟΣ 2	Μ.Ο Ρ	ΛΟΤΟΣ Ρ	Τ.Μ.Ο	Τ.ΛΟΤΟΣ	ΕΛΕΓΧΟΣ
		Ε6,Ε7		Ε1,Ε2		Ε3,Ε4,Ε5						ΕΛΕΓΧΟΣ
					Δείγμα 40*30							
1.8196	0.6938	1.893	4.5431	1.899	4.844655082	1.986	9.0130916	1.9345714	6.5942992	1.8732667	3.5374924	1
2.8831	1.1142	2.942	3.0931	2.9585	3.633598107	3.068	7.0730117	3.0007143	4.9892883	2.938	2.9611981	2
3.6026	1.1276	3.648	2.3575	3.6695	2.929554435	3.7816667	5.8081263	3.7114286	4.026174	3.6534	2.5017792	3
4.1330	1.0404	4.17	1.9185	4.191	2.409926032	4.305	4.9941928	4.2338571	3.3977798	4.1800667	2.1546706	4
4.5410	0.9249	4.572	1.5967	4.5935	2.057254817	4.7046667	4.371546	4.635	2.9341963	4.5848667	1.872828	5
4.8643	0.8275	4.892	1.3900	4.9115	1.781533137	5.02	3.9043825	4.9524286	2.5932443	4.9054	1.6593958	6
5.1255	0.7511	5.1495	1.2137	5.1685	1.576859824	5.273	3.5274038	5.2078571	2.3206693	5.1639333	1.4898204	7
5.3395	0.6461	5.363	1.0815	5.3795	1.384887071	5.4753333	3.1109217	5.4158571	2.0468993	5.3751333	1.3047738	8
5.5185	0.6070	5.54	0.9928	5.554	1.242347857	5.6463333	2.8573115	5.5895714	1.8708309	5.5516667	1.2008406	9
5.6691	0.5667	5.6895	0.9228	6.702	15.89077887	5.7893333	2.6312759	6.0215714	6.3865626	5.8336	3.3701317	10
6.4323	0.3615	6.4465	0.5817	6.4455	0.566286557	6.501	1.4151669	6.4695714	0.936251	6.4496667	0.6305235	20
6.7300	0.3120	6.744	0.5190	6.7355	0.393437755	6.7766667	0.9985243	6.7555714	0.6893781	6.7419333	0.488485	30
6.9206	0.2836	6.935	0.4903	6.923	0.317781309	6.9573333	0.8096972	6.9411429	0.5783321	6.9302	0.4213443	40
7.0829	0.2383	7.098	0.4508	7.0835	0.247053011	7.1143333	0.6793797	7.1008571	0.4908864	7.0912667	0.3563068	50
7.2434	0.2399	7.261	0.4820	7.2435	0.241595914	7.275	0.6735395	7.262	0.4957312	7.2520667	0.3594378	60
7.4150	0.2428	7.434	0.4977	7.417	0.269650802	7.4473333	0.6758571	7.4348571	0.5091845	7.4242667	0.3672641	70
7.6496	0.8187	7.627	0.5245	7.611	0.315333071	7.6396667	0.6893844	7.6278571	0.5356307	7.6394667	0.6867844	80
7.8171	0.1807	7.844	0.5227	7.829	0.332098608	7.8583333	0.7041357	7.8458571	0.5462391	7.8305333	0.351615	90
8.0539	0.1350	8.0845	0.5133	8.075	0.39628483	8.1023333	0.7322993	8.0894286	0.5739413	8.0704667	0.3403355	100
5.6505	3.6368	5.407	-0.7028	5.389	-1.039153832	5.374	-1.321176	5.3877143	-1.063266	5.5278667	1.4990714	200
1.9828	-2.8370	2.056	0.8268	2.0305	-0.418616104	2.0306667	-0.410374	2.0378571	-0.056081	2.0084667	-1.520231	300
0.0144	-5.8671	0.01441	-5.9681	0.01493	-2.277294039	0.0145467	-4.972502	0.0146171	-4.46638	0.014514	-5.208764	400
0.0074	-25.3320	0.00785	-18.7261	0.00868	-7.373271889	0.0077967	-19.53826	0.0080643	-15.5713	0.0077293	-20.57961	500
0.0094	-22.5033	0.009515	-20.8618	0.01041	-10.47070125	0.00938	-22.60128	0.0097129	-18.39976	0.0095393	-20.5535	600

Πίνακας Γ4. Επιξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β4 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ%

Σωλήνα 40*40

													Δείγμα 40*40	
Μ.Ο (Φ)	ΛΟΓΟΣ Φ	Μ.Ο 500-700	ΛΟΓΟΣ 1	Μ.Ο 700-900	ΛΟΓΟΣ 2	Μ.Ο 900+	ΛΟΓΟΣ 3	Μ.Ο Ρ	ΛΟΓΟΣ Ρ	Τ.Μ.Ο	Τ.ΛΟΓΟΣ			
E4				E1,E3				E2				F(ΚHz)		
2.0468	1.6490	1.9960	-0.851703	2.04	1.323529412	2.0600	2.2815534	2.034	1.0324484	2.0425	1.4443084	1		
3.0671	0.4931	3.0700	0.5863192	3.092	1.293661061	3.1220	2.2421525	3.094	1.3574661	3.0760833	0.782922	2		
3.7488	0.5535	3.7620	0.9037746	3.775	1.245033113	3.8050	2.0236531	3.77925	1.3560892	3.7589167	0.8224887	3		
4.2378	0.5132	4.2550	0.9165687	4.2645	1.137296283	4.2930	1.7936175	4.26925	1.2472917	4.24825	0.7591361	4		
4.6088	0.5153	4.6260	0.8862949	4.635	1.078748652	4.6610	1.6305514	4.63925	1.16937	4.6189167	0.7342992	5		
4.9000	0.4694	4.9170	0.8135042	4.9255	0.984671607	4.9500	1.4747475	4.9295	1.0650167	4.9098333	0.668726	6		
5.1051	-0.1151	5.1500	0.7572816	5.1395	0.554528651	5.1810	1.3510905	5.1525	0.8054343	5.1209167	0.1936502	7		
5.3030	-0.0189	5.3400	0.6741573	5.3505	0.869077656	5.3710	1.24744	5.353	0.9153746	5.3196667	0.2945047	8		
5.4680	0.0549	5.5000	0.6363636	5.5105	0.825696398	5.5300	1.1754069	5.51275	0.8661739	5.4829167	0.3267726	9		
5.6251	0.4289	5.6350	0.6033718	5.6455	0.78823842	5.6640	1.1122881	5.6475	0.8233732	5.6325833	0.5607255	10		
6.2128	-1.5975	6.3330	0.3315964	6.3485	0.574938962	6.3590	0.7391099	6.34725	0.5553586	6.2575833	-0.869612	20		
6.6380	0.4971	6.6270	0.3319753	6.6425	0.564546481	6.6490	0.6617536	6.64025	0.5308535	6.63875	0.5083788	30		
6.8358	0.4206	6.8220	0.2198769	6.839	0.467904664	6.8430	0.5260851	6.83575	0.420583	6.83575	0.420583	40		
7.0044	0.4337	6.9900	0.2288984	7.008	0.485159817	7.0100	0.5135521	7.004	0.4283267	7.00425	0.4318806	50		
7.1675	0.4255	7.1530	0.2236824	7.1715	0.481070906	7.1730	0.5018821	7.16725	0.4220587	7.1674167	0.4243742	60		
7.3393	0.4258	7.3270	0.2593149	7.344	0.490196078	7.3460	0.5172883	7.34025	0.4393583	7.3395833	0.4303151	70		
7.5263	0.4019	7.5130	0.2262745	7.533	0.491172176	7.5340	0.5043801	7.52825	0.4283864	7.5269167	0.4107481	80		
7.7319	0.3735	7.7190	0.2072807	7.7425	0.510171133	7.7430	0.5165956	7.73675	0.4362297	7.7335	0.3943881	90		
7.9606	0.3596	7.9500	0.2264151	7.9715	0.495515273	7.9740	0.5267118	7.96675	0.4361879	7.9626667	0.3851306	100		
5.7203	1.9623	5.6700	1.0934744	5.5775	-0.546839982	5.5750	-0.591928	5.6	-0.142857	5.6801667	1.2705026	200		
1.9258	1.5449	1.9280	1.659751	1.9355	2.040816327	1.9250	1.5064935	1.931	1.8125324	1.9275	1.6342412	300		
0.0147	-2.7304	0.0149	-1.210491	0.014935	-0.770003348	0.0149	-0.803751	0.0149175	-0.888219	0.0147392	-2.108894	400		
0.0085	-4.8601	0.0092	2.8384279	0.009005	1.166018878	0.0091	2.4122807	0.0090725	1.9013502	0.0086825	-2.505039	500		
0.0111	-3.9584	0.0120	4.25	0.0117	1.794871795	0.0119	3.3641716	0.0118225	2.8124339	0.0113092	-1.598998	600		

Πίνακας Γ5. Επεξεργασία αποτελεσμάτων του πίνακα Β5 παράρτημα 2. Ο διαχωρισμός των ρωγμών έχει γίνει σε mm*5. Οπου Μ.Ο Μέσος όρος και Λόγος είναι ο αντίστοιχος Μ.Ο-Κ/Κ%

