

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ**  
**ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2246/1

Ημερ. Εισ.: 20-07-1998

Δωρεά: \_\_\_\_\_

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ

1998

ΜΑΡ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΛΙΚΩΝ

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ  
ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ  
ΣΤΙΣ ΧΒΒΕ

ΜΕΛΕΤΗ: ΜΑΡΟΠΑΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Γ.Ν. ΧΑΙΔΕΜΕΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ  
ΙΟΥΝΙΟΣ 1998

αρ. εισ 103 / ΠΑ.....



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000050803

Στους γονείς μου,  
και στις αδελφές μου  
Ειρήνη και Καλλιόπη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική ασχολείται με το φαινόμενο των αστοχιών των υλικών, όπως αυτό εμφανίζεται στις διάφορες μονάδες παραγωγής στις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος.

Η εργασία ανατέθηκε στο Εργαστήριο Υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για να ταξινομήσει, να δώσει απαντήσεις και να προτείνει λύσεις σε προβλήματα των ΧΒΒΕ που αφορούν τις αστοχίες υλικών.

Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο έγινε ταξινόμηση των αστοχιών, έγινε καταγραφή των ευπαθών ανταλλακτικών των ασφαλιστικών βαλβίδων και μελετήθηκαν οι αστοχίες στο κέλυφος αντλίας μεταφοράς αποβλήτων, σε κουζινέτο χαλκού, σε συγκόλληση αγωγού μεταφοράς φωσφορικού οξέος, σε άξονα μετάδοσης κίνησης, σε άξονα αναμίκτη ΡDC, σε άξονα φτερωτής αντλίας και τέλος μελέτη του νέου τύπου ζυγκιών αναβατόρων Ν.Ρ.Κ.

Συγκεκριμένα η αντλία αστόχησε λόγω της διάβρωσης από τα στερεά σωματίδια και από ατέλεια στην ομογενοποίηση της και προτάθηκε η αντικατάσταση του υλικού της ή η ομογενοποίηση του χάλυβα της αντλίας.

Το κουζινέτο του χαλκού παρουσίασε ρωγμή ως αποτέλεσμα του διαφορισμού που εμφανίζει και προτάθηκε η ομογενοποίηση του, ενώ η αστοχία στην συγκόλληση του αγωγού οφείλεται σε εργοδιάβρωση λόγω παραμενουσών τάσεων και του διαβρωτικού περιβάλλοντος και προτείνεται η διεξαγωγή της συγκόλλησης με λιγότερο υλικό.

Στην περίπτωση των τριών αξόνων, έπειτα παρατηρείται αστοχία τους λόγω κόπωσης περιστροφικής κάμψης και προτείνεται αν είναι δυνατόν η αλλαγή σχεδίασης τους και η σωστή τους ευθυγράμμιση.

Τέλος στην, μελέτη του νέου τύπου ζυγκιών δεν παρατηρήθηκαν περιπτώσεις αστοχίας από κόπωση περιστροφικής κάμψης ή διακυμάνσης της σκληρότητας. Επομένως με την συνέχιση του ελέγχου τους για την κατάλληλη θερμική κατεργασία και την σωστή τους σύνδεση-ευθυγράμμιση δεν αναμένεται να παρουσιάσουν πρόβλημα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΑ
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
<b>2. ΔΙΑΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>3</b>
<b>3. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΤΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ</b>	<b>4</b>
<b>4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b>	<b>5</b>
4.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΩΝ	5
4.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ	5
4.3. ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	5
4.4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	6
4.5. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ	7
4.6. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΙ	7
4.7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	11
4.8. ΕΠΙΛΟΓΗ , ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ	12
4.9. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΘΡΑΥΣΗΣ	14
4.10. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΘΡΑΥΣΗΣ	15
4.11. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	16
4.12. ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ	16
4.13. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ	16
4.14. ΕΡΓΟΔΙΑΒΡΩΣΗ	20
4.15. ΨΑΘΥΡΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ	21
4.16. ΨΑΘΥΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	22
4.17. ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ	22
4.18. ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑ	23
4.19. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	23
4.20. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ	24
4.21. ΤΕΣΤ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	24
4.22. ΑΝΑΛΥΟΝΤΑΣ ΤΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ , ΔΙΑΤΥΠΟΝΟΝΤΑΣ ΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΓΡΑΦΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΝΑΦΟΡΑ	25
<b>5. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ</b>	<b>27</b>
<b>5.1. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	<b>27</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.1.Ι.</b>	<b>30</b>
<b>5.2. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΚΟΥΖΙΝΕΤΟ ΧΑΛΚΟΥ</b>	<b>40</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.2.Ι.</b>	<b>42</b>
<b>5.3. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ</b>	<b>51</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.3.Ι.</b>	<b>53</b>
<b>5.4. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΑΞΟΝΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ</b>	<b>62</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.4.Ι.</b>	<b>65</b>

	<b>ΣΕΛΙΔΑ</b>
<b>5.5. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΑΞΟΝΑ ΑΝΑΜΙΚΤΗ ΡDC</b>	<b>73</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.5.1.</b>	<b>77</b>
<b>5.6. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΑΞΟΝΑ ΦΤΕΡΩΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ</b>	<b>84</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.6.1.</b>	<b>87</b>
<b>5.7. ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΥ ΖΥΓΚΙΩΝ ΑΝΑΒΑΤΟΡΩΝ Ν.Ρ.Κ</b>	<b>93</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.7.1</b>	<b>97</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	<b>103</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι ( Πίνακες )</b>	<b>104</b>



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.1.Ι.

### ΣΕΛΙΔΑ

Φώτο 1 . Φωτογραφία του κελύφους της αντλίας με τα αυλάκια και τους πόρους	31
Φώτο 2. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τα αυλάκια	31 32
Φώτο 3. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τους πόρους	32
Φώτο 4. (x 25) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τους πόρους	32
Φώτο 5. (x 40) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τους πόρους	33
Φώτο 6. (x 10) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τα αυλάκια	33
Φώτο 7. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με την απόξεση από την μηχανική φθορά.	34
Φώτο 8. (x 100) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 2.	34
Φώτο 9. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 2.	35
Φώτο 10. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 3.	35
Φώτο 11. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 7.	36
Φώτο 12. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 7.	36
Φώτο 13. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 8.	37
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκιμίων 1-4 Αντλίας Αποβλήτων	38
Διάγραμμα 2. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκιμίων 5-8 Αντλίας Αποβλήτων	39

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.2.Ι.

### ΣΕΛΙΔΑ

Φώτο 1. Φωτογραφία του κουζινέτου με το αυλάκι λίπανσης και την έναρξη της ρωγμής	43
Φώτο 2. Φωτογραφία του κουζινέτου και της ρωγμής	43
Φώτο 3. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με το αυλάκι λίπανσης και την έναρξη της ρωγμής	44
Φώτο 4. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την ρωγμή	44
Φώτο 5. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την ρωγμή	45
Φώτο 6 . Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την ρωγμή	45
Φώτο 7. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την έναρξη της ρωγμής	46
Φώτο 8. (x 500) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 1.	46
Φώτο 9. (x 500) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 1.	47
Φώτο 10. (x 100) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 2.	47
Φώτο 11. (x 200) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 2.	48
Φώτο 12. (x 1000) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 4.	48
Φώτο 13. (x 1000) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 5.	49
Φώτο 14. (x 1000) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 5.	49
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκιμίων Κουζινέτου Χαλκού	50

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.3.Ι.

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Φώτο 1. Φωτογραφία του αγωγού με την συγκόλληση και την ρωγμή	54
Φώτο 2. Φωτογραφία του εσωτερικού του αγωγού με την συγκόλληση και την ρωγμή όπου φαίνεται η περίσσεια υλικού	54
Φώτο 3. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εξωτερικής επιφάνειας θραύσης του ρήγματος της συγκόλλησης.	55
Φώτο 4. (x 10 ) Στερεοσκοπία της εξωτερικής επιφάνειας θραύσης του ρήγματος της συγκόλλησης.	55
Φώτο 5. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας θραύσης του ρήγματος της συγκόλλησης	56
Φώτο 6. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης της ρωγμής της συγκόλλησης	56
Φώτο 7. (x 16 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης της ρωγμής της	57
Φώτο 8. (x 500) Δομή του χάλυβα του αγωγού.	57
Φώτο 9. (x 100) Δομή του χάλυβα του αγωγού στην διεπιφάνεια συγκόλλησης.	58
Φώτο 10. (x 100) Δομή του χάλυβα της συγκόλλησης	58
Φώτο 11. (x 50) Δομή του χάλυβα του αγωγού στην διεπιφάνεια της συγκόλλησης	59
Φώτο 12. (x 200) Δομή του χάλυβα της συγκόλλησης	59
Φώτο 13. (x 500) Δομή του χάλυβα της συγκόλλησης	60
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκιμίων Συγκόλλησης Αγωγού	61

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.4.Ι.

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Φώτο 1 . Φωτογραφία του άξονα μετάδοσης κίνησης με τις διαβαθμίσεις	66
Φώτο 2. Φωτογραφία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή στον σφηναύλακα	66
Φώτο 3. Φωτογραφία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή	67
Φώτο 4. Στερεομικροσκοπία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή	67
Φώτο 5. Στερεομικροσκοπία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή	68
Φώτο 6. Στερεομικροσκοπία του άξονα μετάδοσης κίνησης με τις εγκοπές στην διαβάθμιση	68
Φώτο 7. (x 200 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 1.	69
Φώτο 8. (x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 1.	69
Φώτο 9. (x 200 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 2.	70
Φώτο 10. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 2.	70
Φώτο 11. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 3.	71
Φώτο 12. (x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης. Δοκίμιο 3	71
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Άξονα Μετάδοσης Κίνησης	72

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.5.Ι.

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Σχήμα 9.1. Σχεδιάγραμμα του άξονα με την περιοχή θραύσης	73
Σχήμα. 9.2 Σχηματική απεικόνιση των σκληρομετρήσεων	74
Φώτο 1. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με τις γραμμές της κόπωσης	78
Φώτο 2. (x 16 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με τις γραμμές της κόπωσης	78
Φώτο 3. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με την αρχή της θραύσης στον σφηναύλακα.	79
Φώτο 4. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με την αρχή της θραύσης στον σφηναύλακα.	79
Φώτο 5. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με την αρχή της θραύσης στον σφηναύλακα.	80
Φώτο 6. (x 100) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 1.	80
Φώτο 7. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 1.	81
Φώτο 8. (x 200 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 2.	81
Φώτο 9. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 2.	82
Φώτο 10. (x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 2.	82
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Άξονα Αναμίκτη PDC	83

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.6.Ι.

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Σχήμα 10.1. Σχεδιάγραμμα του άξονα με την περιοχή θραύσης	84
Φώτο 1. Στερεομικροσκοπία του άξονα της φτερωτής της αντλίας με την έναρξη της ρωγμής	88
Φώτο 2. Στερεομικροσκοπία του άξονα της φτερωτής της αντλίας με την έναρξη της ρωγμής	88
Φώτο 3. Στερεομικροσκοπία του άξονα της φτερωτής της αντλίας με την επιφάνεια θραύσης	89
Φώτο 4. (x 500) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας . Δοκίμιο 1.	89
Φώτο 5. (x 200) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας. Δοκίμιο 2.	90
Φώτο 6. ( x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας. Δοκίμιο 3.	90
Φώτο 7. (x 1000) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας. Δοκίμιο 4.	91
Φώτο 8. (x 500) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας. Δοκίμιο 6.	91

Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Άξονα Φτερωτής Αντλίας	92
---	----

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.7.Ι.

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Σχήμα 11.1 Σχέδιο του ζυγκιού με τις περιοχές φθοράς και ρηγματώσης.	93
Σχήμα. 11.2 Σχηματική απεικόνιση των σκληρομετρήσεων	94
Φώτο 1. (x 1000) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 1. Δοκίμιο 1.	98
Φώτο 2. (x 1000) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 1.	98
Φώτο 3. (x 500) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 1. Δοκίμιο 2.	99
Φώτο 4. (x 1000) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 1. Δοκίμιο 2.	99
Φώτο 5. (x 1000) Δομή του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 1.	100
Φώτο 6. (x 1000) Δομή του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 2.	100
Φώτο 7. (x 1000) Δομή του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 2.	101
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Ζυγκιών	102

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι ( Πίνακες )

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Σχ. 1 Διάγραμμα Schaeffler	105
Πίνακας1: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : Ι	106
Πίνακας2: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙΙΙ	107
Πίνακας3: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙΙΙ	108
Πίνακας4: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙΙΙ	109
Πίνακας5: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙV	110
Πίνακας6: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙΙΙ	111
Πίνακας7: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙΙΙ	112
Πίνακας8: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙΙΙ	113
Πίνακας9: ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : ΙΙΙ	114

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η καταγραφή και μελέτη των αστοχιών των υλικών μέσα από υπαρκτά προβλήματα.

Αστοχία υλικού είναι η απότομη διακοπή της λειτουργίας και χρησιμότητας του, σε χρόνο μικρότερο από την προδιαγεγραμμένη ή αναμενόμενη διάρκεια ζωής του. Η αστοχία των υλικών, (λόγω διάβρωσης, θραύσης ή φθοράς), έχει σαν αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας του μηχανολογικού εξοπλισμού με σοβαρές συνέπειες στο κόστος παραγωγής (νεκροί χρόνοι, αντικατάσταση μηχανημάτων ή στοιχείων μηχανών κ.λ.π.)

Η εργασία έχει ως θέμα μελέτης τις παρακάτω αστοχίες :

Μελέτη αστοχίας στο κέλυφος αντλίας μεταφοράς αποβλήτων
Μελέτη αστοχίας σε κουζινέτο χαλκού
Μελέτη αστοχίας σε συγκόλληση αγωγού μεταφοράς φωσφορικού οξέος
Μελέτη αστοχίας σε άξονα μετάδοσης κίνησης
Μελέτη αστοχίας σε άξονα αναμίκτη PDC
Μελέτη αστοχίας σε άξονα φτερωτής αντλίας
Μελέτη νέου τύπου ζυγκιών αναβατόρων N.P.K.
Καταγραφή των ευπαθών ανταλλακτικών των ασφαλιστικών βαλβίδων

οι οποίες παρουσιάζονται στις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος (XBBE).

Στην εν λόγω βιομηχανία το πρόβλημα των αστοχιών είναι ιδιαίτερα έντονο, κυρίως λόγω της (σε πολλές περιπτώσεις) λειτουργίας των διαφόρων υλικών σε περιβάλλον διαβρωτικών οξέων.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η όλη μελέτη σχετίζεται άμεσα με τα πραγματικά προβλήματα της βιομηχανίας και εκπληρώνει τους στόχους τις αντιμετώπισης υπαρκτών προβλημάτων της βιομηχανίας, άμεσης εφαρμογής των αποτελεσμάτων της έρευνας και σύνδεση του πανεπιστημίου με την βιομηχανία.

Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία επιλέγουμε τις πιο κρίσιμες αστοχίες και εκπονούμε τις αντίστοιχες μελέτες περιπτώσεων αστοχίας (case studies) με σκοπό των προσδιορισμό των αιτιών αστοχίας και τη διαμόρφωση δράσεων για την πρόληψη και ελαχιστοποίηση τους.

Η σπουδαιότητα της παραπάνω διαδικασίας γίνεται φανερή αν αναφερθεί ότι από το ετήσιο λειτουργικό κόστος του εργοστασίου, που κυμαίνεται στα 20-25 δις δρχ., το κόστος των αστοχιών εκτιμάται στα 2 δις δρχ. Το κόστος των αστοχιών περιλαμβάνει το κόστος αντικατάστασης ή συντήρησης (εκτός προγραμματισμού) του μηχανολογικού εξοπλισμού που αστόχησε, το κόστος από την καθυστέρηση της παραγωγής και το κόστος ασφάλειας και ποιοτικού ελέγχου.

Επομένως με την μελέτη των αστοχιών θα προκύψει σαν αποτέλεσμα τα παρακάτω ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα για τις XBBE Α.Ε.:

- Αύξηση της ανταγωνιστικότητας λόγω μείωσης του κόστους παραγωγής.

- Μείωση των αιφνίδιων και μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας των παραγωγικών μονάδων της βιομηχανίας, με την επακόλουθη εκπλήρωση των στόχων και των δεσμεύσεων της επιχείρησης προς τους πελάτες της και την αύξηση της αξιοπιστίας της.
- Αύξηση του επιπέδου ασφαλείας, τόσο των εργαζομένων όσο και του μηχανολογικού εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων.

Στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας Δρ. Γρ. Ν. Χαϊδεμενόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή Φυσικής Μεταλλουργίας και Διευθυντή του Εργαστηρίου Υλικών, θα ήθελα να απονεύσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες τόσο για την συμπαράσταση, την διάθεση και την καθοδήγησή του σε όλο το διάστημα εκπλήρωσης της μελέτης, όσο και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου για την διεκπεραίωση αυτής της μελέτης.

Τελειώνοντας, ευχαριστώ θερμά τον μηχανικό των ΧΒΒΕ κ. Χ. Τουλόπουλο για την συνεργασία του. Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές κ. Α. Βασιλάκο και κ. Α. Κατσαμά καθώς και τους φοιτητές Ν. Πολωνίδη, Χ. Κολώνη και Σ. Τοπαλίδη για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση τους.



## 2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Είναι χρήσιμο να αναφερθούν συνοπτικά τα κεφάλαια που ακολουθούν ώστε να διαμορφώσει ο αναγνώστης μια γενική εικόνα της εργασίας.

Αρχικά στο τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η καταγραφή των κρίσιμων αστοχιών που μελετούνται στα επόμενα κεφάλαια, καθώς και την καταγραφή των ευπαθών ανταλλακτικών των ασφαλιστικών βαλβίδων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση τόσο των αιτιών αστοχίας υλικών όσο και η γενική πρακτική στην μελέτη των αστοχιών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι μελέτες περιπτώσεων αστοχιών των υλικών.

Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 5.1 περιλαμβάνεται η μελέτη αστοχίας στο κέλυφος αντλίας μεταφοράς αποβλήτων.

Στο 5.2 κεφάλαιο περιλαμβάνεται η μελέτη αστοχίας σε κουζινέτο χαλκού.

Ακολουθεί η μελέτη αστοχίας σε συγκόλληση αγωγού μεταφοράς φωσφορικού οξέος, στο κεφάλαιο 5.3.

Η εργασία συνεχίζεται στο κεφάλαιο 5.4 με την μελέτη αστοχίας σε άξονα μετάδοσης κίνησης.

Στο 5.5 κεφάλαιο περιλαμβάνεται η μελέτη αστοχίας σε άξονα αναμίκτη PDC.

Στο 5.6 κεφάλαιο περιλαμβάνεται η μελέτη αστοχίας σε άξονα φτερωτής αντλίας, ενώ στο κεφάλαιο 5.7 περιλαμβάνεται η μελέτη των νέου τύπου ζυγκιών αναβατόρων N.P.K.

Στο τέλος κάθε μελέτης περίπτωσης αστοχίας περιλαμβάνεται παράρτημα όπου περιέχονται όλες οι φωτογραφίες που αναφέρονται στο κείμενο.

Την εργασία ολοκληρώνουν το παράρτημα I όπου περιέχονται όλα τα σχήματα και οι πίνακες με την καταγραφή των ευπαθών ανταλλακτικών των ασφαλιστικών βαλβίδων.

### 3. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

Με βάση τα κριτήρια αξιολόγησης και ταξινόμησης, από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος, επιλέχθηκαν για εργαστηριακή μελέτη και διερεύνηση στο εργαστήριο Υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας οι παρακάτω κρίσιμες αστοχίες:

1.	Μελέτη αστοχίας άξονα ανεμιστήρα AIR-MIX 20-21
2.	Μελέτη αστοχίας αγωγού προσαγωγής θεικού οξέος
3.	Μελέτη ρηγμάτωσης ζυγκιών αναβατόρων Ν.Ρ.Κ.
4.	Μελέτη διάβρωσης αντλίας φωσφορικού οξέος
5.	Επίλογή υλικού εναλλάκτη θεικού οξέος / νερού
6.	Μελέτη αναγομώσεων αντλίας φωσφορικού οξέος
7.	Διερεύνηση αλλαγής τριών ταινιών υψηλών θερμοκρασιών για την μεταφορά λιπασμάτων
8.	Διερεύνηση αλλαγής του υλικού της εσωτερικής επένδυσης αυλωτού αντιδραστήρα
9.	Μελέτη αστοχίας στο κέλυφος αντλίας μεταφοράς αποβλήτων
10.	Μελέτη αστοχίας σε κουζινέτο χαλκού
11.	Μελέτη αστοχίας σε συγκόλληση αγωγού μεταφοράς φωσφορικού οξέος
12.	Μελέτη αστοχίας σε άξονα μετάδοσης κίνησης
13.	Μελέτη αστοχίας σε άξονα αναμίκτη ΡDC
14.	Μελέτη αστοχίας σε άξονα φτερωτής αντλίας
15.	Μελέτη νέου τύπου ζυγκιών αναβατόρων Ν.Ρ.Κ.
16.	Καταγραφή των ευπαθών ανταλλακτικών των ασφαλιστικών βαλβίδων

Για τις παραπάνω περιπτώσεις αστοχιών οι αστοχίες 1 έως 8 έχουν αποτελέσει αντικείμενο παλιότερης μελέτης από το εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ενώ η παρούσα μελέτη ασχολείται με τις περιπτώσεις 9 έως 16.

Ολοκληρώνοντας την καταγραφή των αστοχιών στις διάφορες μονάδες των Χημικών Βιομηχανιών Βορείου Ελλάδος παραθέτουμε την καταγραφή των ευπαθών ανταλλακτικών των ασφαλιστικών βαλβίδων. Οι ασφαλιστικές βαλβίδες χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο αριθμό στην εν λόγω βιομηχανία, σε πάρα πολλά στάδια της λειτουργίας της και σε μεγάλο αριθμό διαφορετικών τύπων των ασφαλιστικών. Η λειτουργία τους έγκειται στην διατήρηση ενός μέγιστου ορίου της πίεσης στις δεξαμενές και στα δίκτυα αγωγών που χρησιμοποιούνται ώστε να αποφευχθούν δυσάρεστες συνέπειες από την ανεξέλεγκτη αύξηση της πίεσης.

Τα ασφαλιστικά παρουσιάζουν ευπάθεια στα σημεία της έδρας, του ελατηρίου, του δαχτυλιδιού, του άξονα και της βαλβίδας. Σ' αυτά τα σημεία έγινε καταγραφή του υλικού για κάθε είδος ασφαλιστικού που χρησιμοποιείται στις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος με βάση τα αρχεία τους και τα ενημερωτικά φυλλάδια των κατασκευαστριών εταιριών. Για τα υλικά όπου δεν υπήρχαν στοιχεία παρέμειναν κενά στην καταγραφή.

Οι πίνακες της καταγραφής παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι.



## **4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ**

### **4.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΩΝ**

Οι γενικοί κανόνες, οι τεχνικές και η προφύλαξη που αναπτύσσονται στην έρευνα και ανάπτυξη των μεταλλουργικών αστοχιών μελετούνται σ' αυτήν την αναφορά. Τα στάδια της έρευνας θα συζητηθούν καθώς και οι κυριότερες αιτίες των πιο κοινών περιπτώσεων αστοχιών. Τα χαρακτηριστικά των αστοχιών θα περιγραφούν και οι μηχανισμοί που οφείλονται θα αναλυθούν.

### **4.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ**

Μια έρευνα αστοχίας και η ακόλουθη ανάλυση πρέπει να προσδιορίζει την κύρια αιτία της αστοχίας και βασιζόμενη στον προσδιορισμό αυτό να καθορίζει τις διορθωτικές δράσεις για την αποφυγή όμοιων αστοχιών. Συχνά η σπουδαιότητα των αιτιών που συνεισφέρουν στην αστοχία πρέπει να εκτιμηθούν και νέες τεχνικές να αναπτυχθούν ή ένα νέο πεδίο της μηχανικής και των επιστημών. Μια σύνθετη έρευνα ατυχήματος, όπως μια έρευνα σε αεροπορικό ατύχημα, συχνά απαιτεί τις υπηρεσίες ειδικών από διάφορους τομείς των μηχανικών και των φυσικών επιστημών όπως η μεταλλουργία.

### **4.3. ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Αν και η σειρά εξαρτάται από την φύση μιας αστοχίας τα κυριότερα στάδια που καθορίζουν την έρευνα και ανάλυση μιας αστοχίας είναι:

- Συλλογή των ιστορικών δεδομένων και επιλογή των δειγμάτων
- Προκαταρτική εξέταση των κομματιών που αστόχησαν (οπτική εξέταση και καταγραφή)
- Μη καταστρεπτικός έλεγχος
- Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων (συμπεριλαμβανόμενου και ελέγχου σκληρότητας και ανθεκτικότητας)
- Επιλογή, αναγνώριση, συντήρηση και/ή καθαρισμός όλων των κομματιών
- Μακροσκοπική εξέταση και ανάλυση (επιφάνεια θραύσης, δευτερεύουσες ρωγμές και άλλα επιφανειακά φαινόμενα)
- Μικροσκοπική εξέταση και ανάλυση
- Επιλογή και προετοιμασία των μεταλλογραφικών τμημάτων
- Προσδιορισμός του μηχανισμού της αστοχίας
- Χημική ανάλυση (μάζα, τοπική, επιφανειακά προϊόντα διάβρωσης, εναποθέσεις ή επιστρώσεις και ανάλυση ηλεκτρονικής μικροσκοπίας)
- Ανάλυση των μηχανισμών θραύσης
- Τεστ κάτω από συνθήκες εξομίωσης (ειδικά τεστ)
- Ανάλυση όλων των συμβάντων, μοντελοποίηση των αποτελεσμάτων και σύνταξη της αναφοράς (συμπεριλαμβανομένων των υποδείξεων)

Όταν παραληφτεί ένα σπασμένο στοιχείο για εξέταση, ο ερευνητής είναι αναγκασμένος να προετοιμάσει το αντικείμενο χωρίς να κατάστρωση μια διαδικασία έρευνας. Αυτή η έλλειψη προμελέτης πρέπει να απουσιάζει επειδή στο τέλος μια μεγάλη προσπάθεια και πολύτιμος χρόνος μπορεί να χαθούν.

Έτσι πρέπει να υπάρχει ένα υπόβαθρο στην αστοχία υλικών και των κυριότερων χαρακτηριστικών της .

Στην μελέτη μιας αστοχίας είναι πιθανόν να είναι αδύνατη ή μη πρακτική , για τον μελετητή η προσέγγιση στο σημείο της αστοχίας . Κάτω από αυτές της συνθήκες , δεδομένα και δείγματα πρέπει να συλλεχθούν από μηχανικούς ή προσωπικό της περιοχής αστοχίας . Μια αναφορά αστοχίας πρέπει να συνταχθεί για να επιβεβαιώσει όλες τις πληροφορίες για την αστοχία .

#### **4.4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ**

Αρχικά η έρευνα της αστοχίας πρέπει να κατευθυνθεί στην απόκτηση όλων των σχετικών λεπτομερειών που αναφέρονται στην αστοχία , συλλέγοντας πληροφορίες που αφορούν το ιστορικό παραγωγής , κατεργασίας και συντήρησης του στοιχείου που αστόχησε και αναπλάθοντας όσο είναι δυνατόν την ακολουθία των γεγονότων που οδήγησαν στην αστοχία . Τα δεδομένα που αναφέρονται στην κατασκευή και στην παραγωγή πρέπει να ομαδοποιούνται σε μηχανικές διεργασίες , όπως ψυχρή μορφοποίηση , επιμήκυνση , κάμψη , μηχανική επεξεργασία , λείανση , στίλβωμα σε θερμικές κατεργασίες , όπως θερμική μορφοποίηση , συγκόλληση , χαλκοκόλληση και χημικές κατεργασίες όπως καθαρισμός , γαλβανισμός και χρήση επίστρωσης με κραματικά στοιχεία ή διάχυση .

**Ιστορικό λειτουργίας.** Η συλλογή του ιστορικού λειτουργίας είναι ένα μέρος της ανάλυσης της αστοχίας . Σ' αυτή την συλλογή προσοχή πρέπει να δοθεί στις συνθήκες του περιβάλλοντος όπως κανονική ή μη φόρτιση , απροσδόκητη φόρτιση , κυκλική φόρτιση , μεταβολές στην θερμοκρασία και την πίεση και λειτουργία σε διαβρωτικό περιβάλλον συμπεριλαμβανομένου και της συγκέντρωσης και / ή την ροή ενός υγρού περιβάλλοντος . Πολλές φορές τα δεδομένα του ιστορικού λειτουργίας δεν είναι διαθέσιμα ή διασκορπισμένα οπότε πρέπει να γίνει ανάλυση με ατελής ή να εκτιμηθούν οι πληροφορίες . Πολλά εξαρτώνται από τις ικανότητες και την κρίση του ερευνητή αφού μια λάθος εκτίμηση μπορεί να είναι πιο επιζήμια από την έλλειψη μιας πληροφορίας .

**Φωτογραφικά στοιχεία .** Ο ερευνητής θα πρέπει να αποφασίσει αν χρειάζονται φωτογραφίες των κομματιών που αστόχησαν . Μια αστοχία που αρχικά φαινόταν ασήμαντη μπορεί να έχει σημαντική αξία κι έτσι μια ολοκληρωμένη σειρά φωτογραφιών μπορεί να φανεί χρήσιμη .

**Επιλογή δειγμάτων.** Η επιλογή των δειγμάτων πρέπει να γίνει πριν την έναρξη της ανάλυσης και όπως κι οι φωτογραφίες πρέπει να είναι κατάλληλα για την ανάλυση και ότι αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά της θραύσης .

Συχνά είναι χρήσιμο να συγκριθούν τα κομμάτια που αστόχησαν με άλλα όμοια που δεν αστόχησαν για να φανεί μήπως η αστοχία οφείλεται σε από της συνθήκες λειτουργίας ή ήταν αποτέλεσμα λάθους στην παραγωγή . Επίσης σε αστοχίες που αναμειγνύεται διάβρωση ένα δείγμα από το υγρό που ερχόταν σε επαφή με το μέταλλο ή ένα δείγμα από ίζημα που έχει σχηματιστεί συχνά θα χρειαστεί για ανάλυση .

**Μη κανονικές συνθήκες.** Επιπρόσθετα με ένα γενικό ιστορικό του στοιχείου που αστόχησε ή της δομής του , είναι επίσης συνετό να εξεταστεί αν μη κανονικές συνθήκες λειτουργίας , έλαβαν χώρα κατά την λειτουργία του και

είχαν επίπτωση στην αστοχία του. Επίσης είναι προτιμητέο να εξεταστεί αν έγιναν πρόσφατες επισκευές ή επιθεωρήσεις και γιατί. Επίσης είναι χρήσιμο να εξεταστεί αν η αστοχία ήταν ένα μεμονωμένο περιστατικό ή υπήρχαν κι άλλα παρόμοια . Σε ελέγχους ρουτίνας ψαθυρών θραύσεων είναι σημαντικό να γνωρίζουμε αν την στιγμή του ατυχήματος ή της αστοχίας επικρατούσαν χαμηλές θερμοκρασίες ή κρουστικά φορτία καθώς και σε άξονες την κατάσταση των εδράνων και αν υπήρχε ευθυγράμμιση ή όχι με τον κινητήρα ή με τα οδηγία στοιχεία .

#### **4.5.ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ**

Τα κομμάτια που αστόχησαν με όλα τα συντρίμια τους πρέπει να περάσουν από οπτικό έλεγχο πριν γίνει κάποιος καθαρισμός ,καθώς διάφοροι ρύποι και λεκέδες που παρατηρούνται στο τεμάχιο μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την αιτία ή τα γεγονότα που οδήγησαν στην αστοχία. Τέτοια γεγονότα πρέπει να παρατηρηθούν και να καταγραφούν.

**Οπτική ερεύνηση .** Η προκαταρκτική εξέταση πρέπει να ξεκινήσει με οπτική παρατήρηση . Το γυμνό μάτι έχει την δυνατότητα ευρύ βάθους εστίασης και την δυνατότητα να εξετάζει μεγάλες περιοχές σύντομα και αλλαγές στο χρώμα και την επιφάνεια . Μερικά από αυτά τα πλεονεκτήματα χάνονται όταν χρησιμοποιηθεί οπτικό ή ηλεκτροοπτικό μικροσκόπιο. Ειδικά προσοχή πρέπει να δοθεί επιφάνεια της θραύσης , στην διαδρομή της θραύσης σε ένδειξη για τυχόν μη κανονικές συνθήκες ή κακομεταχείριση στην λειτουργία . Όλα τα σημαντικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβανομένου και τις διαστάσεις πρέπει να καταγραφούν ή να αποτυπωθούν σε φωτογραφίες .

**Φωτογραφίζοντας αστοχίες .** Το επόμενο βήμα της προκαταρκτικής εξέτασης είναι η φωτογράφιση των κομματιών που αστόχησαν , συμπεριλαμβάνοντας σπασμένα κομμάτια για να καταγραφεί το μέγεθος τους και οι συνθήκες καθώς και να φανεί πως η θραύση διαδίδεται στο κομμάτι. Η εξέταση πρέπει να περιλαμβάνει διάφορες γωνίες και μεγενθύσεις παρατήρησης και να ξεκινά με άμεσο φωτισμό και να δοκιμάζονται διάφοροι τρόποι φωτισμού ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη σκιαγράφιση και να δοθεί έμφαση στα χαρακτηριστικά της αστοχίας .

#### **4.6. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΙ**

Διάφοροι μη καταστρεπτική έλεγχοι χρησιμοποιούνται στην έρευνα και ανάλυση αστοχιών , όπως με μαγνητικά σωματίδια για σιδηρούχα μέταλλα , με διεισδυτικά υγρά , με υπερήχους και ροή δινορευμάτων για υλικά που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα . Όλες αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να ανακαλυπτούν επιφανειακές θραύσης και ασυνέχειες του υλικού . Άλλοι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι που χρησιμοποιούνται είναι η ραδιογραφία (κυρίως για εσωτερικούς έλεγχους ) , ακουστικές μέθοδοι και πειραματική ανάλυση τάσεων (για να προσδιοριστούν οι τάσεις που οδηγούν σε αστοχία).

**Ο έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια** χρησιμοποιεί μαγνητικά πεδία για να εντοπίσει επιφανειακές και κάτω από την επιφάνεια του υλικού ασυνέχειες σε σιδηρομαγνητικά υλικά . Όταν το υλικό ή μέρος του μαγνητίζεται οι ασυνέχειες που απλώνονται εγκάρσια στην κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου θα προκαλέσουν μια διαρροή του πεδίου στην επιφάνεια του κομματιού. Αυτή η διαρροή του πεδίου και επομένως η παρουσία της ασυνέχειας

εντοπίζεται με κομμάτια φερρομαγνητικού που εναποτίθενται στην επιφάνεια του κομματιού. Η μαγνητική συγκράτηση των κομματιών του φερρομαγνητικού δίνουν ένα περίγραμμα της ασυνέχειας και του μεγέθους, του σχήματος και του μήκους της. Οι μαγνητικές γραμμές μπορούν να δημιουργηθούν από διέλευση ηλεκτρισμού στο στοιχείο που εξετάζεται ή με ένα μαγνητικό ζεύγος ή με ένα πηνίο. Τα πλεονεκτήματα του ελέγχου με μαγνητικά σωματίδια περιλαμβάνουν :

- Είναι η καλύτερη και πιο αξιόπιστη μέθοδο κατάλληλη για να ανακαλύψει επιφανειακές θραύσης ειδικά πολύ λεπτές και ρηχές θραύσης και θραύσης που έχουν καλυφθεί από άλλο υλικό
- Η τεχνική είναι εύκολο να διδαχθεί και η διαδικασία είναι απλή, γρήγορη και οικονομική για να εφαρμοστεί
- Οι ενδείξεις παράγονται άμεσα πάνω στην επιφάνεια του κομματιού και είναι μια μαγνητική εικόνα της ασυνέχειας. Δεν υπάρχουν ηλεκτρικά κυκλώματα ή συσκευές να χρειάζονται διαβάθμιση ή να απαιτούν ειδικές συνθήκες λειτουργίας
- Υπάρχουν λίγη ή καθόλου περιορισμοί για το μέγεθος ή το σχήμα του κομματιού που εξετάζεται
- Δεν απαιτούνται σύνθετη καθαρισμοί και η διαδικασία δουλεύει καλά ακόμα και διαμέσου ενός λεπτού στρώματος επικάλυψης χρώματος ή άλλου μη μεταλλικού υλικού

Περιορισμοί του ελέγχου με μαγνητικά σωματίδια είναι οι ακόλουθοι:

- Δεν είναι απολύτως αξιόπιστη για ασυνέχειες που εκτείνονται κάτω από την επιφάνεια
- Το μαγνητικό πεδίο πρέπει να είναι σε κατεύθυνση που θα περιλαμβάνει το κύριο επίπεδο της ασυνέχειας
- Απαιτείται προσοχή για να αποφευχθεί η τοπική θέρμανση και κάψιμο της επιφάνειας που έρχεται σε ηλεκτρική επαφή.

**Ο έλεγχος με διεισδυτικά υγρά** χρησιμοποιείται για να εντοπίσει επιφανειακές ρωγμές σε υλικά και κυρίως, αλλά όχι αποκλειστικά, σε μη μεταλλικά υλικά όπου τα μαγνητικά σωματίδια δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Η τεχνική περιλαμβάνει ψεκασμό της επιφάνειας του κομματιού με ένα διεισδυτικό υγρό που μπορεί να εισχωρήσει σε μικρές ρωγμές και θραύσης με τριχοειδή δράση. Το περισσεύον υγρό σκουπίζεται από την επιφάνεια και μια ουσία εμφανιστής απλώνεται που προκαλεί τον χρωματισμό του υγρού που βρίσκεται στις ρωγμές ή τις θραύσης που είναι στην ανοιχτές προς την επιφάνεια. Το υγρό από μόνο του είναι πολύ λαμπερό ή περιέχει φθορίζων στοιχεία που κάτω από υπεριώδες φωτισμό μπορούν να κάνουν της ασυνέχειες να εμφανιστούν.

Το κύριο πλεονέκτημα των διεισδυτικών υγρών είναι η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε μη μεταλλικά υλικά, το χαμηλό τους κόστος, η φορητότητα και η ευκολία με την οποία μπορούν να εξαχθούν τα αποτελέσματα.

Οι κύριοι περιορισμοί της μεθόδου των διεισδυτικών υγρών είναι :

- Οι ασυνέχειες πρέπει να έχουν διέξοδο στην επιφάνεια
- Το κομμάτι που ελέγχεται πρέπει να καθαριστεί πριν και μετά την το τεστ επειδή τα διεισδυτικά υγρά μπορεί να διαβρώσουν το μέταλλο
- Επιφανειακό φιλμ μπορεί να εμποδίσει τον προσδιορισμό της ασυνέχειας



- Η μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για έρευνα σε χαμηλής πυκνότητας κοκκοειδή μεταλλουργικά κομμάτια ή σε πορώδη υλικά .

**Η έρευνα με δινορεύματα** μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα υλικά που άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα . Εάν ένα πηνίο διαρρέετε από εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεί γύρω ή στην επιφάνεια του κομματιού δινορεύματα με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Θραύσεις ή ρωγμές στο δείγμα προκαλούν παραμορφώσεις στα δινορεύματα οπότε δημιουργείται αλλαγή στην αντίσταση του πηνίου. Η αλλαγή στην αντίσταση μπορεί να φανεί με επαφή των ηλεκτρικών στοιχείων με ένα μετρητικό. Οι ρωγμές ή οι θραύσεις θα φανούν σαν αποκλίσεις ή διακύμανση στο μετρητικό.

Τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρομαγνητικής έρευνας είναι :

- Και η επιφάνεια και κάτω από αυτήν οι ατέλειες μπορούν να ερευνηθούν
- Δεν απαιτούνται ιδιαίτερες ικανότητες των χειριστών
- Η διαδικασία είναι κατάλληλη και για συνεχή μέτρηση
- Η διαδικασία μπορεί να αυτοματοποιηθεί και είναι ικανή για μεγάλες ταχύτητες

Οι περιορισμοί της ηλεκτρομαγνητικής έρευνας είναι :

- Το βάθος διείσδυσης είναι μικρό
- Τα υλικά που θα ερευνηθούν πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγωγίμα
- Οι ενδείξεις επηρεάζονται από περισσότερες από μια μεταβλητή
- Απαιτούνται πρότυπα αναφοράς

**Η έρευνα με υπερήχους** είναι μια μέθοδος μη καταστρεπτικού ελέγχου όπου δέσμες υψηλής συχνότητας ακουστικής ενέργειας διοχετεύονται στο υλικό για να ανιχνευθούν επιφανειακές ή κάτω από την επιφάνεια ρωγμές . Μια δέσμη υπερήχων μπορεί να διαδοθεί στο υλικό ώσπου να συναντήσει μια διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο φάσεων ή μια ασυνέχεια όπως μια ρωγμή. Οι διαχωριστικές επιφάνειες μεταξύ δύο φάσεων ή οι ρωγμές εμποδίζουν την δέσμη και αντανακλούν ένα μέρος , που αποτελεί ένα μέτρο της φύσης και της κατεύθυνσης της ρωγμής ή της διαχωριστικής επιφάνειας . Η ενέργεια που αντανακλάται από την ρωγμή ή την διαχωριστική επιφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την ύπαρξη και την θέση της ρωγμής , το πάχος του υλικού ή το βάθος της ρωγμής κάτω από την επιφάνεια.

Τα πλεονεκτήματα του ελέγχου με υπερήχους είναι τα ακόλουθα :

- Υψηλή ευαισθησία που επιτρέπει την ανίχνευση μικρών ρωγμών
- Μεγάλη ικανότητα διείσδυσης που επιτρέπει την εξέταση σε εξαιρετικά παχύ αντικείμενα
- Ακρίβεια στον υπολογισμό της θέσης της ρωγμής και της εκτίμησης του μεγέθους της

Ο έλεγχος με υπερήχους έχει τους ακόλουθους περιορισμούς :

- Πολυπλοκότητα στο μέγεθος και την περίμετρο της ρωγμής και δυσμενής προσανατολισμός της ασυνέχειας μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στην ανίχνευση του ηχητικού προτύπου
- Ανεπιθύμητη εσωτερική δομή όπως μέγεθος κόκκων , δομή , πορώδες , εγκλείσματα , ή διασκορπισμένα κατακρημνίσματα μπορούν ομοίως να δημιουργήσουν πρόβλημα στην ανίχνευση της ρωγμής
- Απαιτούνται πρότυπα αναφοράς

**Η ραδιογραφία** είναι μια μέθοδος μη καταστρεπτικού ελέγχου όπου βασίζεται σε διαφορετική απορρόφηση της ακτινοβολίας - ηλεκτρομαγνητική ή πολύ

μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία - του κομματιού που ερευνάται . Η ακτινοβολία που δεν απορροφάται διαπερνά το κομμάτι και μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα φιλμ ή σε ένα φωτοευαίσθητο χαρτί και να εμφανιστεί σε μια φθορίζουσα οθόνη ή σε ένα μόνιτορ.

Η ραδιογραφία χρησιμοποιείται σε χυτά και συγκολλήσεις όπου είναι ανάγκη να έχουμε υλικά χωρίς εσωτερικές ρωγμές , όπως και σε σφυρήλατα και μηχανικά εξαρτήματα . Είναι επίσης κατάλληλη για έρευνα σε υλικά ημιαγωγών για θραύσης , σπασμένα σύρματα , μη λιωμένες συνδέσεις , ξένα σώματα και αποκολλημένα στοιχεία.

Συγκρινόμενη με άλλες μεθόδους μη καταστρεπτικού ελέγχου η ραδιογραφία είναι ακριβή μέθοδος ενώ ειδικοί τύποι ρωγμών είναι δύσκολο να ανιχνευθούν με την ραδιογραφία. Λεπτές στοιβάδες ατελειών , όπως θραύσεις παρουσιάζουν πρόβλημα εκτός κι αν είναι παράλληλα με την δέση της ακτινοβολίας. Επίσης λεπτές οφιοειδής θραύσεις σε λεπτά στρώματα δεν μπορούν να ανιχνευθούν αν πρώτα δεν προσανατολιστούν καθώς και μικροσκοπικές ασυνέχειες όπως εγκλείσματα , λεπτά φύλλα , μικροπορώδη , μικρορωγμές δεν μπορούν να ανιχνευθούν αν δεν διαχωριστούν για να δώσουν μια ολοφάνερα ανιχνεύσιμη επίδραση.

**Έρευνα με ηχητικές εκπομπές.** Οι ακουστικές εκπομπές καθορίζονται από υψηλής συχνότητας κύματα που δημιουργούνται από την απελευθέρωση ενέργειας παραμόρφωσης κατά την διαδικασία της ανάπτυξης ρωγμής , πλαστικής παραμόρφωσης , και μετασχηματισμό φάσης. Αυτή η ενέργεια μπορεί να προέρχεται από αποθηκευμένη ελαστική ενέργεια όπως η διάδοση μιας ρωγμής ή από αποθηκευμένη χημική ενέργεια όπως σε ένα μετασχηματισμό φάσης.

Πηγές ηχητικής εκπομπής που δημιουργούν κύματα τάσεων στο υλικό περιλαμβάνουν τοπική δυναμικές κινήσεις , όπως η έναρξη και η διάδοση μιας ρωγμής , ολίσθηση , διδυμίες , ξαφνικός αναπροσανατολισμός των ορίων των κόκκων , δημιουργία φυσαλίδων κατά τον βρασμό , ή μαρτενιτικό μετασχηματισμό. Οι τάσεις σε ένα μεταλλικό σύστημα μπορεί να είναι κάτω από τα όρια θραύσης και η περιοχή γύρω από την ρωγή μπορεί να ξεπεράσει την πλαστική παραμόρφωση και να σπάσει από τοπικές υψηλές τάσεις και να οδηγήσει σε πρόωρη ή καταστροφική αστοχία σε συνθήκες λειτουργίας .

Η έρευνα με ηχητικές εκπομπές ανιχνεύει και αναλύει μικροσκοπικές ακουστικές εκπομπές που δημιουργούνται από ασυνέχειες στο υλικό κάτω από επίδραση τάσεων. Κατάλληλη ανάλυση αυτών των σημάτων μπορεί να δώσει πληροφορίες για την τοποθεσία και την γνωστοποίηση των ασυνεχειών .

Μερικές από τις γνωστές δυνατότητες της έρευνας με ηχητικές εκπομπές είναι :

- Συνεχής επιτήρηση δοχείων πίεσης και πυρηνικών διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την τοποθεσία και την γνωστοποίηση των ενεργών ρωγμών
- Ανίχνευση αρχικών θραύσεων κόπωσης σε αεροσκάφη
- Προειδοποιητικά για την δημιουργία και την αντοχή συγκολλήσεων κατά την διάρκεια της συγκόλλησης και της ψύξης
- Καθορισμός της έναρξης θραύσης διάβρωσης υπό τάσης (SCC) και αναγωγή υδρογόνου (hydrogen damage) σε ύποπτα στοιχεία

- Χρήση σαν εργαλείο κατανόησης για την έρευνα των μηχανισμών θραύσης και της συμπεριφοράς των υλικών
- Περιοδική εξέταση των δεξαμενών και των αεροπορικών στοιχείων από σύνθετα υλικά .

**Η εμπειρική ανάλυση τάσεων** μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους , όπου όλες μπορεί να συμπεριλάβουν μηχανές εξάσκησης φορτίου και τάσεων μέχρι να επέλθει αστοχία. Μετρητικά μπορούν να τοποθετηθούν σε περιοχές υψηλής παραμόρφωσης και στην κύρια διεύθυνση παραμόρφωσης για να μετρήσουμε την παραμόρφωση από 0,5 ως 150 mm. Αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές μηχανικές , οπτικές και ηλεκτρικές συσκευές για την μέτρηση της παραμόρφωσης έχει καθιερωθεί το μηκυσιόμετρο για εργαστηριακή χρήση .

Φωτοελαστική επίστρωση χρησιμοποιείται επίσης για εργαστηριακή χρήση. Η οπτική ανάλυση είναι όμοια με την συνηθισμένη ανάλυση αλλά απαιτεί ειδικά εξαρτήματα και η ανάλυση μπορεί να αποτυπωθεί σε φιλμ ή σε κάμερα.

Η περίθλαση ακτίνων  $\chi$  είναι η μόνη κατάλληλη μέθοδο για άμεση μη καταστρεπτική μέτρηση των παραμένων τάσεων της επιφάνειας σε κρυσταλλικά υλικά . Οι τάσεις μετρούνται από την γωνία με την οποία τα κρυσταλλικά υλικά περιθλούν της ακτίνες  $\chi$  .

#### 4.7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Ο έλεγχος σκληρότητας είναι ο πιο απλός από τους ελέγχους μηχανικών ιδιοτήτων και συχνά ο πιο πολλαπλά εφαρμόσιμος στην ανάλυση αστοχιών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση μιας θερμικής κατεργασίας ( σε σύγκριση με την σκληρότητα του υλικού που αστόχησε από αυτές που περιγράφονται από τις προδιαγραφές ), για εκτίμηση του ορίου θραύσης των χαλύβων και να ανιχνεύσει την εργοσκληρυνση ή να ανιχνεύσει την σκλήρυνση ή την αποσκληρυνση που προκαλείται από υπερθέρμανση , απανθράκωση ή εναζώτωση ή ενανθράκωση.

Άλλοι έλεγχοι μηχανικών ιδιοτήτων είναι χρήσιμοι για να εξακριβώσουμε αν στοιχεία που αστόχησαν ήταν σύμφωνα με τις επιθυμητές ιδιότητες ή για να συγκρίνουμε τις επιδράσεις των συνθηκών της επιφάνειας στις μηχανικές ιδιότητες. Ίσως επίσης χρειαστεί να γίνουν έλεγχοι σε συνθήκες που να εξομοιώνουν τις συνθήκες λειτουργίας ή σε κομμάτια έπειτα από θερμική κατεργασία ώστε να φανεί πως η θερμική κατεργασία επιδρά στις ιδιότητες του υλικού.

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι τα εργαστηριακά πειράματα σε μικρά στοιχεία δεν αντικατοπτρίζουν ακριβώς την συμπεριφορά ενός πολύ μεγαλύτερου στοιχείου σε λειτουργία .Οι επιδράσεις του μεγέθους στην αστοχία, διάβρωση υπό τάσης και ψαθυροποίησης του υδρογόνου δεν έχουν εξακριβωθεί επακριβώς .Εμπάσει περιπτώσει έχει παρατηρηθεί ότι η αντίσταση σε αστοχία αυτής της μορφής μειώνεται καθώς το μέγεθος του στοιχείου αυξάνει .

**Περιορισμοί των ελέγχων εφελκυσμού.** Στις πιο πολλές περιπτώσεις ο έλεγχος εφελκυσμού δεν προσφέρει επαρκής πληροφορίες επειδή λίγες αστοχίες οφείλονται σε υλικά που έχουν ατέλεια στον εφελκυσμό ή σε μια εφελκυστική τάση που εξασκείται ώσπου να σπάσει.

Ο έλεγχος εφελκυσμού εφαρμόζεται για την εξακρίβωση ότι το υλικό είναι μέσα στις προδιαγραφές ή για να εξακριβωθεί αν το υλικό είναι χαμηλής ποιότητας σαν ένα αίτιο της αστοχίας. Όμως η δοκιμασία εφελκυσμού είναι



μια χρονοβόρα και ακριβή διαδικασία και απαιτεί προσοχή στην αναγνώριση του δοκιμίου σε σχέση με την θέση και την κατεύθυνση του ως προς το αρχικό υλικό. Μεταβολές ως προς τις ιδιότητες του δείγματος από θέρμανση του υλικού κατά την κοπή ή την κατεργασία πρέπει να αποφεύγονται ενώ οι ιδιότητες του κυρίου σώματος του υλικού συχνά είναι χρήσιμες όπως και το σχήμα και το μέγεθος του για την επιλογή του δοκιμίου.

Ένας απλός έλεγχος κάμψης συνήθως δείχνει εάν ένα υλικό είναι ικανοποιητικά όλκιμο ή όχι ενώ η δυνατότητα ολκιμότητας, όπως δείχνεται από την επιμήκυνση στον έλεγχο εφελκυσμού, δεν έχει άμεση σχέση με την συμπεριφορά του υλικού σε λειτουργία.

Συνήθως είναι ξεκάθαρο από τα αρχικά στάδια της έρευνας αν ένα υλικό είναι όλκιμο ή ψαθυρό και αυτό μπορεί να εξακριβωθεί από ένα έλεγχο κάμψης. Η μείωση της περιοχής, που σχετίζεται σύμφωνα με κάποιους με την ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται πλαστικά, σε μια εγκοπή και να εμφανίζεται συγκέντρωση τάσεων, δίνει ένα πιο ρεαλιστικό μέτρο της ολκιμότητας. Ο έλεγχος χυτοσιδήρων και μη σιδηρούχων κραμάτων για το όριο θραύσης είναι σπουδαίος αν και κάποια στοιχεία για το όριο θραύσης μπορεί να προκύψουν από την σκληρομέτρηση.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου εφελκυσμού σε ένα στοιχείο που αστόχησε κατά την λειτουργία του κάποιες φορές δείχνει ότι το υλικό είχε υποδεέστερη ολκιμότητα και αντοχή σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την κατασκευή του κομματιού. Συνεπώς κάποιες διαφορές πρέπει να αναμένονται εξαιτίας της ποσότητας της σφυρηλασία και της κατεργασίας εν ψυχρό που έχουν υποστεί τα στοιχεία και τα δοκίμια κατά την παραγωγή ή εξαιτίας μιας διαφοράς στην πυκνότητα έχει ως αποτέλεσμα μια μεταβολή στον ρυθμό ψύξης ή κατά την διάρκεια της χύτευσης ή κατά την διάρκεια της θερμικής κατεργασίας. Επομένως κάποιες διαφορές στα αποτελέσματα δεν σημαίνουν απαραίτητα ότι οι ιδιότητες του υλικού υποβιβάστηκαν κατά την λειτουργία.

Ο ρόλος της διεύθυνσης στην δοκιμή εφελκυσμού πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψιν. Τα δοκίμια που κόβονται εγκάρσια κατά τον διαμήκη άξονα ενός στοιχείου πρέπει να αναμένεται να δίνουν μικρότερο όριο θραύσης και παραμόρφωσης από αυτά που κόβονται κατά μήκος του διαμήκη άξονα, εξαιτίας της ανισοτροπίας που δημιουργείται κατά την χύτευση.

#### **4.8. ΕΠΙΛΟΓΗ , ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ**

Κατά την πρωταρχική επιλογή, συντήρηση και καθαρισμό των κομματιών που αστόχησαν πρωταρχική σημασία έχει η αποφυγή μηχανικής ή χημικής καταστροφής, που μπορεί να προκληθεί από κρούσης του κομματιού με άλλα υλικά. Αυτή μπορεί να συμβεί κατά την λειτουργία ή κατά την μεταφορά των κομματιών που αστόχησαν για ανάλυση.

Συνήθως η επιφάνεια μιας θραύσης μπορεί να καλυφθεί με ένα ύφασμα αλλά αυτό μπορεί να κολλήσει πάνω του κάποια κομμάτια υλικού που περιέχουν ενδείξεις για την αιτία της θραύσης. Η επιφάνεια της θραύσης δεν πρέπει να ακουμπάτε με τα χέρια ή να γίνει προσπάθεια να ταιριάξουν μεταξύ τους τα θραυσμένα κομμάτια φέρνοντας τα σε επαφή οπότε θα προκληθεί καταστροφή στην επιφάνεια της θραύσης.



Η χημική διάβρωση μπορεί να αποφευχθεί με το να στεγνώσουμε την επιφάνεια της θραύσης με ξηρό συμπιεσμένο αέρα , ο οποίος θα απομακρύνει επίσης και τα ξένα υλικά από την επιφάνεια της θραύσης. Το δοκίμιο έπειτα πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα αποξηραντή ή σε ένα δοχείο με κατάλληλο ξηραντικό. Όταν απαιτηθεί πλύση του δοκιμίου με νερό , που πρέπει να αποφεύγεται πρέπει να ακολουθήσει πλύση με οινόπνευμα ή ασετόν πριν να τοποθετηθεί σε ένα αποξηραντή ή σε ένα δοχείο με κατάλληλο ξηραντικό.

**Καθαρισμός.** Η επιφάνεια της θραύσης πρέπει να καθαρίζεται μόνο όταν είναι απαραίτητο για να απομακρύνει θραύσματα και ρύπους ή να προετοιμάσει το δοκίμιο για την εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Ο καθαρισμός περιλαμβάνει χρήση ξηρού πεπιεσμένου αέρα , ή βούρτσα με μαλακή τρίχα , κατεργασία με ανόργανα διαλύματα με εμβάπτιση ή ψεκασμό , κατεργασία με μαλακά οξέα ή αλκαλικά διαλύματα , που αντιδρούν με τις επικαθίσεις αλλά είναι αδρανή με το κυρίως υλικό καθαρισμός με υπερήχους και δυνατότητα και δημιουργίας πλαστικών αντιγράφων. Ο καθαρισμός με αντίγραφο κυτταρίνης οξικού άλατος είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος ειδικά όταν η επιφάνεια της θραύσης έχει διαβρωθεί.

**Κοπή.** Επειδή τα εργαλεία εξέτασης του δοκιμίου , όπως τα μικροσκόπια και το σκληρόμετρο , έχουν περιορισμούς ως προς τις διαστάσεις των εξεταζόμενων δοκιμίων , είναι συχνά απαιτούμενο να εξαχθεί από τα θραυσμένα κομμάτια ένα δοκίμιο , που περιλαμβάνει μέρος της θραύσης , σε μέγεθος κατάλληλο στον χειρισμό και την εξέταση .

Πριν από την κοπή η επιφάνεια της θραύσης πρέπει να προστατευθεί ώστε να μην καταστραφεί ή να μεταβληθεί από την κοπή και διατηρώντας την επιφάνεια όσο το δυνατόν ξηρή. Για μεγάλα κομμάτια η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η κοπή με φλόγα και σε ικανοποιητική απόσταση από την επιφάνεια της θραύσης , ώστε να μην έχουμε αλλαγή της μικροδομής του μετάλλου από την θερμότητα της φλόγας και την αποφυγή επικαθίσεων από το λιωμένο μέταλλο στην επιφάνεια της θραύσης .

Πριόνια , σιδηροπριόνια και λειαντική τροχοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κοπή ενός μεγάλου εύρους μεγέθη κομματιών , με ξηρή κοπή για να αποφευχθεί η διάβρωση του μετάλλου από το υγρό ψύξης. Η χρήση υγρού ψύξης απαιτείται όταν η κοπή γίνεται κοντά στην επιφάνεια θραύσης για να αποφύγουμε την θερμική επίδραση από την κοπή.

**Ανοίγοντας δευτερεύουσες ρωγμές.** Όταν η αρχική θραύση έχει καταστραφεί ή διαβρωθεί σε τέτοιο βαθμό που δεν μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες για την θραύση είναι επιθυμητό να ανοιχθεί δεύτερη θραύση για να μελετηθεί η επιφάνεια της. Η δευτερεύουσα θραύση μπορεί να δώσει περισσότερες πληροφορίες από την κύρια αν δεν έχει διαβρωθεί ή έχει εκτεθεί λιγότερο χρόνο από την κύρια θραύση οπότε έχει διαβρωθεί λιγότερο.

Ανοίγοντας δευτερεύουσες ρωγμές για μελέτη πρέπει να δοθεί προσοχή για να αποφευχθεί καταστροφή κυρίως μηχανική στην επιφάνεια της θραύσης , όπως αν οι δύο επιφάνειες της θραύσης τραβηχτούν προς αντίθετες κατευθύνσεις. Γενικά με ένα πριόνι πρέπει να κοπεί το υλικό πίσω από την θραύση μέχρι την κορυφή της ώστε να μειωθεί το μέταλλο που θα καταστραφεί. Η τελική θραύση των δύο δοκιμίων μπορεί να με πολλούς τρόπους: (1) σφίγγοντας τα δύο κομμάτια σε μια μηχανή δοκιμασίας εφελκυσμού και τραβώντας (2) δένοντας τα κομμάτια σε μια μέγγενη και

κτυπώντας τα με ένα σφυρί έτσι ώστε να μην καταστραφεί η επιφάνεια της θραύσης .

Είναι επιθυμητό να μπορεί να υπάρχει διάκριση μεταξύ της επιφάνειας της θραύσης από την κύρια ή την δευτερεύουσα θραύση με την επιφάνεια της θραύσης από το άνοιγμα της δευτερεύουσας θραύσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον διαχωρισμό του μηχανισμού θραύσης για κάθε θραύση.

#### **4.9. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΘΡΑΥΣΗΣ**

Η λεπτομερής ανάλυση των επιφανειών θραύσης σε μεγενθύνσεις από 1 ως 100 φορές μπορεί να γίνει με γυμνό μάτι, ένα φορητό φακό ή ένα μικρής ισχύος οπτικό μικροσκόπιο. Επίσης για την φωτογράφιση των δοκιμίων απαιτείται μια υψηλής ποιότητας κάμερα με μεγέθυνση πάνω από 20 φορές και ένα στερεοσκόπιο με μεγέθυνση από 20 ως 50 φορές.

Συχνά το μέγεθος ή το βάρος του δοκιμίου είναι απαγορευτικό για την μελέτη του και δεν είναι επιθυμητή ή δυνατή η κοπή του, οπότε σ' αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται η μέθοδος της αντιγραφής ( ρεπλίκας ). Η αντιγραφή μπορεί να εξεταστεί σε ένα οπτικό ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο .

Οι πληροφορίες που μπορούμε να πάρουμε από την μακροσκοπική ανάλυση των δοκιμίων είναι πολύτιμες αφού η μελέτη της μορφής της επιφάνειας μπορεί να δώσει μια ένδειξη του συστήματος τάσεων που οδήγησαν στην αστοχία. Η αστοχία σε μονοαξονικό εφελκυσμο (monotonic tension) δημιουργεί μια επίπεδη θραύση κάθετη στην μέγιστη εφελκυστική τάση κάτω από συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης και μια λοξή ( διατμητική ) θραύση σε περίπου γωνία 45°. Επειδή η αμιγώς επίπεδη παραμόρφωση και τάση είναι ιδανικές καταστάσεις πολλές θραύσεις είναι επίπεδες στο κέντρο και περιτριγυρίζονται από ένα πλαίσιο με λοξή θραύση.

Σε λεπτά ελάσματα και μικρής διαμέτρου άξονες ολοκληρωτική λοξή θραύση λαμβάνει μέρος επειδή τάση μορφής (thickness stresses) συνδυάζεται με πλαστική παραμόρφωση και μια επίπεδη παραμόρφωση δεν μπορεί να αναπτυχθεί. Ο όρος διατμητικά χείλη ( shear lip ) δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για αυτές τις θραύσεις αφού είναι συνήθως αποτέλεσμα καθαρής διάτμησης, όπως κι ο όρος 45° θραύση αφού το εύρος της γωνίας θραύσης ποικίλει.

Η μακροσκοπική εξέταση μπορεί να φανερώσει την κατεύθυνση ανάπτυξης μιας ρωγμής και επομένως την αρχική αιτία της αστοχίας. Με τις ψαθυρές επίπεδες θραύσεις διακρίνονται πάνω στην επιφάνεια της θραύσης σημάδια σχήματος V με κατεύθυνση ανάπτυξης της ρωγμής μακριά από την κορυφή των σημαδιών. Τα σημάδια αυτά δημιουργούνται επειδή κοντά όλες οι ρωγμές διαδίδονται με πιο αργό ρυθμό και όπως οι ρωγμές που προηγούνται αναπτύσσονται τα ίχνη από τα βήματα δημιουργούν σημάδια σχήματος V.

Όπου η επιφάνεια της θραύσης δείχνει και επίπεδη και λοξή θραύση συνεπάγεται ότι η επίπεδη θραύση έχει ξεκινήσει πρώτη. Όσο αναπτύσσεται η ρωγμή μειώνεται η κατάσταση επίπεδης παραμόρφωσης και έτσι η τελική θραύση γίνεται με λοξή θραύση κάτω από κατάσταση επίπεδης τάσης. Τελικά αν μια θραύση έχει ξεκινήσει από μια ελεύθερη επιφάνεια η αρχή της περιοχής θραύσης παρουσιάζει μια έλλειψη λοξής θραύσης ή διατμητικού χείλους. Χαμηλής ποιότητας εξέταση της επιφάνειας θραύσης συνήθως φανερώνει περιοχές που παρουσιάζουν διαφορετική επιφάνεια από την

περιοχή της τελικής θραύσης φαινόμενο που παρουσιάζεται στην κόπωση , στην διάβρωση υπό τάση και στην ψαθυροποίηση του υδρογόνου.

#### **4.10. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΘΡΑΥΣΗΣ**

Η μικροσκοπική εξέταση των επιφανειών θραύσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα οπτικό ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μετάδοσης ή σάρωσης .

**Οπτικό μικροσκόπιο.** Αν και χρησιμοποιείται για χαμηλές μεγεθύνσεις (<100x) καταγραφή της επιφάνειας θραύσης , το οπτικό μικροσκόπιο έχει χαμηλότερες δυνατότητες για μικροκαταγραφή της επιφάνειας θραύσης (microfractography) . Αυτό οφείλεται στις μικρότερες δυνατότητες ανάλυσης και βάθους πεδίου ( δεν μπορεί να εστιάσει σε τραχύ επιφάνειες ).

**Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μετάδοσης.** ( Transmission electron microscope ) Αυτό έγινε διαθέσιμο την δεκαετία του '50 και έγινε νωρίς αντιληπτό ότι ήταν κατάλληλο εργαλείο για την έρευνα των υλικών και της φυσικής μεταλλουργίας.

Επειδή το δοκίμιο πρέπει να είναι πολύ λεπτό για να μεταδοθεί η δέσμη των ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται η μέθοδος της αντιγραφής , η οποία έλαβε σημαντικό ρόλο και αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές . Αν και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης έχει μειώσει την ανάγκη της αντιγραφής αυτή παραμένει ακόμα σημαντική για περιπτώσεις όπως η μελέτη κομματιών χωρίς να καταστραφούν ή να κοπούν , για την μελέτη ραδιενεργών υλικών .

Πολλά προβλήματα όπως ο καθορισμός της σύνθεσης , της κρυσταλλικής δομής ή της διεύθυνσης μικρών δευτερευόν φάσεων απλοποιούνται αν τα κομμάτια που εξάγονται από το υλικό οδηγηθούν με την μέθοδο της αντιγραφής στο μικροσκόπιο.

**Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης** είναι ένα από τα πιο πολύτιμα εργαλεία για την έρευνα της μικροδομής των μεταλλικών υλικών ενώ συγκρινόμενο με το οπτικό μικροσκόπιο έχει πολύ πιο μεγάλο εύρος μεγένθυσης και εστίασης καλύπτοντας το κενό μεταξύ του οπτικού και του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου μετάδοσης .

Η μικροκαταγραφή της επιφάνειας θραύσης είναι η το πιο σημαντικό πεδίο του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης. Το μεγάλο εύρος εστίασης , μεγένθυσης , η πολύ απλή μη καταστροφική προετοιμασία του δοκιμίου και η σε τρεις διαστάσεις εμφανίσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης το καθιστούν πολύτιμο εργαλείο για την μελέτη αστοχιών και έρευνα θραύσεων.

Αν και η ερμηνεία της καταγραφής της επιφάνειας θραύσης απαιτεί πείρα και κατανόηση των μηχανισμών θραύσης , υπάρχει μόνο ένας μικρός αριθμός βασικών χαρακτηριστικών που είναι ευκρινώς αναγνωρίσιμα και ενδεικτικά του τύπου της θραύσης :

- Θραύση κοιλότητας (Dimple fracture) ενδεικτική της αστοχίας από μεγαλύτερη τάση των όλκιμων μετάλλων και κραμάτων
- Σχισμή τυπική της αξονικής ψαθυρής θραύσης των μετάλλων και κραμάτων με χωροκεντρωμένη δομή (bcc) και πυκνή εξαγωνική δομή (hcp).
- Ψαθυρή περικρυσταλλική θραύση τυπική των θερμικά ψαθυροποιημένων χαλύβων όπου η θραύση οφείλεται σε διαχωρισμό μιας ψαθυροποίησης κομματιού στα όρια των κόκκων σε ψαθυροποίηση του υδρογόνου.
- Στάδιο II αυλακωτής τυπικής της κόπωσης.



#### **4.11. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Η μεταλλογραφική ανάλυση των στίλβωμένων κομματιών από οπτικό ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο είναι μια βασικό μέρος της ανάλυσης αστοχίας που παρέχει μια εικόνα του είδους του υλικού και αν αυτό έχει την επιθυμητή δομή. Εάν διαγνωστεί διαφοροποίηση του υλικού από τα αναμενόμενα αυτή μπορεί να μην σχετίζεται με ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά που προκάλεσαν την αστοχία του υλικού. Η έρευνα μπορεί να φανερώσει στοιχεία σχετικά με την μέθοδο παραγωγής του υλικού ή με τις θερμικές κατεργασίες που έχει υποστεί ή ατυχήματος κατά την λειτουργία. Άλλες επιπτώσεις από την λειτουργία όπως διάβρωση, οξειδωση και εργοσκλήρυνση των επιφανειών ή τα χαρακτηριστικά της ρωγμής είναι επίσης φανερά και μπορούν να μελετηθούν.

Μόνο λίγες διευθύνσεις μπορούν να θεωρηθούν οι κατάλληλες θέσεις για εξαγωγή δοκιμίων για εξέταση στο μικροσκόπιο, επειδή κάθε αστοχία έχει ειδικά χαρακτηριστικά που πρέπει ληφθούν υπόψιν με προσοχή. Στις πιο πολλές έρευνες πρέπει να αναγνωριστεί αν η δομή ενός δοκιμίου πάρθηκε γειτονική από την επιφάνεια θραύσης ή από περιοχή που έχει υποστεί επίδραση από τις συνθήκες λειτουργίας. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν επιλεγούν κομμάτια κι από άλλες περιοχές.

Κατά την εξέταση μιας ρωγμής είναι επιθυμητό να μελετηθεί από την περιοχή της έναρξης της ρωγμής ώστε να διαπιστωθεί αν η έναρξη της θραύσης σχετίζεται με μη κανονικότητα, όπως ατέλεια συγκόλλησης, μια απανθρακωμένη επιφάνεια, μια ζώνη πλούσια σε εγκλείσματα ή πορώδης. Όπου παρατηρείται ρωγμή με πολλαπλές κατευθύνσεις είναι πιθανό να οφείλεται σε τοπική ανομοιογένεια, ενώ μια ρωγμή με πολλαπλές αρχές είναι χαρακτηριστικό αστοχίας από διάβρωση. Σε μια ψαθυρή θραύση είναι χρήσιμο να μελετηθεί ένα δοκίμιο από την έναρξη της ρωγμής εάν αυτή μπορεί να διακριθεί επειδή συνήθως η ψαθυρή θραύση ξεκινά από περιοχή που έχει υποστεί εργοσκλήρυνση.

#### **4.12. ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ**

Η εξέταση των μεταλλογραφικών τμημάτων γίνεται με ένα μικροσκόπιο εξαιτίας της δυνατότητας του να φανερώνει τις ατέλειες του υλικού που δημιουργήθηκαν κατά την κατεργασία και ανακαλύπτει τις συνθήκες και το περιβάλλον λειτουργίας που μπορεί να συνέβαλαν στην αστοχία. Σαν συμπέρασμα ο διαφορισμός, η απανθράκωση, ακατάλληλη θερμική κατεργασία, μη επαναφερόμενος μαρτενσίτης και διάβρωση είναι μεταλλουργικές ατέλειες και ανεπιθύμητες καταστάσεις που μπορούν να ανιχνευθούν και να αναλυθούν από την εξέταση των μεταλλογραφικών τμημάτων.

#### **4.13. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ**

Πριν χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες από την εξέταση της περιοχής εξέτασης και από το μεταλλογραφικό έλεγχο για τον προσδιορισμό της αιτίας της θραύσης είναι χρήσιμο να προσδιοριστεί ο τύπος της θραύσης. Εντούτοις μια ικανοποιητική λογική ταξινόμηση των αστοχιών δεν είναι δυνατή λόγω της αδυναμίας των θραύσεων σε πολλές περιπτώσεις να χαρακτηριστούν επακριβώς.

Για το σκοπό αυτού του άρθρου οι θραύσεις θα ταξινομηθούν από τον μηχανισμό που αναπτύσσονται, ενώ η έναρξη της ρωγμής δεν θα συμπεριληφθεί. Έτσι επιμήκυνση ρωγμής είναι ψαθυρή και περιλαμβάνει έλλειψη πλαστικής παραμόρφωσης που προηγείται της έναρξης της ρωγμής και όποια θραύση θα μπορεί να χαρακτηριστεί όλκιμη αν περιλαμβάνει πλαστική παραμόρφωση.

### **Όλκιμη θραύση**

Θραύσης υπερφόρτισης πολλών μετάλλων και κραμάτων συμβαίνουν από όλκιμη θραύση. Συνήθως η όλκιμη θραύση κυλινδρικών στοιχείων γίνεται με πλαστική παραμόρφωση χωρίς δημιουργία λαιμού ενώ όταν πάψει η δυνατότητα του υλικού για εργοσκλήρυνση τότε αρχίζει η δημιουργία λαιμού και οι αναπτυσσόμενες τάσεις προκαλούν επιμήκυνση των μικροατελειών και ενώνονται σε μια κεντρική ρωγμή. Οι μικροατέλειες δημιουργούνται από σωματίδια στα καθαρά υλικά ή από έλλειψη συνοχής της μήτρας του υλικού με τα σωματίδια. Οι επίπεδες θραύσεις συχνά αποκαλούνται όλες διατμητικές αλλά μπορεί να δημιουργούνται από περιφερειακή ρωγμή κάτω από συνθήκες επίπεδης εντατικής κατάστασης.

Τα ελάσματα θραύονται κάτω από ίδιες συνθήκες και εάν είναι αρκετά παχύ συμβαίνει επίπεδη θραύση με χείλη διάτμησης. Ολοκληρωτικά επίπεδη θραύση μπορεί να συμβεί σε λεπτά στοιχεία με επίπεδη εντατική κατάσταση.

**Καταγραφή θραύσης σε όλκιμες θραύσεις.** Η καταγραφή θραύσης σε όλκιμες θραύσεις συχνά παρουσιάζει κοιλότητες συνήθως με ίχνη των σωματιδίων που προκάλεσαν την θραύση. Οι θραύσεις που έχουν κλίση ή η διατμητική όλκιμη θραύση που συμβαίνει σε στοιχεία που καταπονούνται σε διάτμηση δημιουργεί επιμηκυμένες κοιλότητες. Σε όλκιμες θραύσεις που προκαλούνται από σκίσιμο η ρωγμή δημιουργεί επιμηκυμένες κοιλότητες σε ζεύγη επιφανειών που έχουν αναπαράσταση ειδώλου προς αντικείμενο.

### **Ενδοκρυσταλλική ψαθυρή θραύση (transgranular brittle fracture)**

Οι ρωγμές στα όρια των κόκκων των σιδήρων και των χαλύβων είναι η πιο συχνή αιτία των ψαθυρών θραύσεων η οποία μπορεί να συμβεί σε αρκετά bcc μέταλλα και στα κράματα τους, όπως μολυβδαίνιο, χρώμιο και βολφράμιο καθώς και σε κάποια hcp μέταλλα όπως μαγνήσιο, ψευδάργυρος και βηρύλλιο. Πάντως fcc μέταλλα και κράματα θεωρούνται απρόσβλητα από αυτό τον μηχανισμό θραύσης. Ο σίδηρος και ο χάλυβας δείχνουν μια όλκιμη προς ψαθυρή συμπεριφορά με μείωση της θερμοκρασίας που προκύπτει από εξάρτηση του ορίου ροής από την θερμοκρασία.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν είναι μια φυσική σταθερά αλλά εξαρτάται από πολλούς φυσικούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους και του σχήματος του στοιχείου και το ρυθμό παραμόρφωσης. Έτσι ένα στοιχείο σε ικανοποιητική λειτουργία μπορεί να σπάσει αναπάντεχα όπως η καταστροφική ψαθυρή θραύση πλοίων σε κακοκαιρία και των αστοχιών σε γέφυρες σε ασυνήθιστα κρύες μέρες. Οι μεταλλουργικές αλλαγές, ειδικά η γήρανση μπορεί να προκαλέσει την ψαθυρή θραύση στοιχείων όπως γάντζοι γερανών και κρίκοι αλυσίδας μετά από μακριά περίοδος ικανοποιητικής λειτουργίας.

Οι θραύση από ρωγμές είναι εύκολο να διαγνωστεί επειδή η διαδρομή της θραύσης είναι κρυσταλλογραφική και συνήθως συμβαίνει στο επίπεδο

{100} στα bcc μέταλλα και κράματα και στο επίπεδο {001} στα hcp μέταλλα και κράματα. Σε πολυκρυσταλλικά στοιχεία αυτή συνήθως δημιουργεί ένα γυαλιστερό αντανακλαστικό κρυσταλλικό επίπεδο και τέτοιες θραύσεις χαρακτηρίζονται κρυσταλλικές. Το γενικό επίπεδο θραύσης είναι συνήθως κάθετο στον άξονα της μέγιστης εφελκυστικής τάσης και τα χείλη διάτμησης συχνά εμφανίζονται σαν ένα περίγραμμα γύρω από την θραύση.

**Καταγραφή θραύσης σε ενδοκρυσταλλική ψαθυρή θραύση.** Η καταγραφή θραύσης με ψαθυρή θραύση σε χάλυβες, σίδηρο, ψευδάργυρο και άλλα bcc μέταλλα είναι πολύ καθιερωμένη. Σε πολυκρυσταλλικά υλικά παρατηρείται ελικοειδής ρωγμές με υψίπεδα με υψηλό βαθμό γεωμετρικής τελειότητας. Το πιο χαρακτηριστικό τους είναι η παρουσία σημαδιών σαν ποτάμι που αποτελείται από την ανάπτυξη των σχισμών και δείχνουν την κατεύθυνση ανάπτυξης των ρωγμών.

Άλλα χαρακτηριστικά της καταγραφής θραύσης είναι η παρουσία ρωγμών σε συζευγμένα φύλλα μετάλλου, ψαθυρό σχίσμο με ρωγμές σε διαφορετικά επίπεδα. Η θραύση από ρωγμές σε περλιτικούς και ωστενιτικούς χάλυβες ερμηνεύονται λιγότερο εύκολα επειδή η μικροδομή τείνει να μεταβάλλει την επιφάνεια θραύσης.

### **Περικρυσταλλική ψαθυρή θραύση (intergranular brittle fracture)**

Η ψαθυρή θραύση στους κόκκους ενός υλικού είναι εύκολο να αναγνωριστεί αλλά ο προσδιορισμός της αιτίας της θραύσης είναι δύσκολος. Η εξέταση της καταγραφής της θραύσης μπορεί να αναγνωρίσει την παρουσία ενός μεγάλου τεμαχισμού στα όρια των κόκκων. Δυστυχώς ο διαχωρισμός μιας στοιβάδας φτωχής σε κάποια στοιχεία που προκαλεί ψαθυρή θραύση στους κόκκους ενός υλικού δεν είναι συχνά αναγνωρίσιμη από την καταγραφή της θραύσης. Μερικές από τις αιτίες της ψαθυρή θραύση στους κόκκους ενός υλικού δίνονται παρακάτω και αποτελούν κάποιες από τις πιθανότητες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν, εξαλειφθούν ή επαληθευτούν καθώς συνεισφέρουν στην θραύση.

Η πρώτη αιτία της ψαθυρής θραύσης στους κόκκους ενός υλικού είναι η έλλειψη συστήματος παραμόρφωσης για να ικανοποιεί το κριτήριο Taylor-Von Mises που καθορίζει τα πέντε ανεξάρτητα συστήματα που είναι απαραίτητα για ένα κόκκο να παραμορφωθεί σε ένα αυθαίρετο σχήμα. Η θραύση των πολυκρυσταλλικών κεραμικών είναι ένα καλό παράδειγμα αλλά αυτός ο μηχανισμός θραύσης δεν είναι συνηθισμένος σε fcc μέταλλα και κράματα. Ο δεύτερος λόγος είναι η παρουσία στα όρια των κόκκων δευτερευουσών φάσεων σωματιδίων όπως καρβίδια σε κράματα σιδήρου - νικελίου - χρωμίου. Ο τρίτος λόγος είναι ο διαχωρισμός ενός ειδικού στοιχείου σε ένα όριο κόκκου όπου ένα στρώμα λίγων ατόμων προκαλούν ψαθυροποίηση. Αυτή προκαλείται από παρουσία οξυγόνου σε υψηλής καθαρότητας σίδηρο, οξυγόνο σε νικέλιο ή αντιμόνιο σε χαλκό.

Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες μια αργά αναπτυσσόμενη ρωγμή μπορεί να ακολουθήσει μια ψαθυρή θραύση στους κόκκους ενός υλικού πριν μια θραύση από υπερφόρτωση συμβεί περιλαμβάνει θραύση κόπωσης, ψαθυροποίηση του υγρού μετάλλου, ψαθυροποίηση του υδρογόνου και αστοχία από ερπυσμό. Αυτές συζητούνται παρακάτω.



## **Θραύση κόπωσης**

Η θραύση κόπωσης προκύπτει από την εφαρμογή επαναλαμβανόμενων ή κυκλικών τάσεων οι οποίες μπορεί να είναι κάτω από το ονομαστικό όριο ροής ενός υλικού. Επειδή η εργαστηριακή συμπεριφορά κόπωσης πολλών μετάλλων και κραμάτων είναι καλά προσδιορισμένη προκαλεί έκπληξη πως τόσες αστοχίες συμβαίνουν από αυτό τον μηχανισμό. Η δυσκολία έγκειται στις πολλές μεταβλητές που επηρεάζουν την συμπεριφορά σε κόπωση. Αυτοί περιλαμβάνουν το μέγεθος, την συχνότητα της εφαρμοζόμενης αυξομείωσης της τάσης, την παρουσία κύριας τάσης, την θερμοκρασία, το περιβάλλον, το μέγεθος και το σχήμα του στοιχείου, την θέση της τάσης, την παρουσία εναπομένων τάσεων, το φινίρισμα της επιφάνειας, την μικροδομή και την παρουσία καταστροφής από διάβρωση. Αυτή η λίστα δεν είναι πλήρης και ένα επιπλέον πρόβλημα είναι ότι μια μεταβλητή μπορεί να είναι πιο σπουδαία αναφορικά με ένα υλικό από μια άλλη.

**Γενικά χαρακτηριστικά της θραύσης κόπωσης.** Επειδή οι περισσότερες επιφάνειες μιας θραύσης κόπωσης δημιουργούνται από μια διαδικασία που είναι άμεσα εξαρτημένη από την εφελκυστική τάση, το τασικό σύστημα που είναι υπεύθυνο για την θραύση μπορεί να συναχθεί από την μορφή της θραύσης. Τα πιο παρατηρήσιμα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά μιας κλασικής θραύσης κόπωσης είναι τα σημάδια με κίνηση μπρος τα εμπρός, γνωστά ως σημάδια ακτών ή σημάδια καβουκιού που υποδηλώνουν διαδοχικές θέσεις της αναπτυσσόμενης ρωγμής. Υπάρχει μικρή μακροσκοπική ολκιμότητα στην θραύση κόπωσης και μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις όπου η θραύση έχει ακολουθήσει συγκεκριμένο κρυσταλλικό επίπεδο κατά την αρχική της ανάπτυξη.

Οι πιο πολλές θραύσεις κόπωσης είναι δια μέσου των κρυστάλλων, όπως και η θραύση από διάβρωση, χωρίς τα σημάδια διακλάδωσης, αλλά και ενδοκρυσταλλικές θραύσεις δεν είναι ασυνήθιστες. Η θραύση που προέρχεται από διάβρωση έχει όμοια χαρακτηριστικά και γενικά αναγνωρίζεται από την παρουσία προϊόν της διάβρωσης που έχει καλύψει την πολλαπλότητα των ρωγμών και από την παρουσία της διάβρωσης στην επιφάνεια του στοιχείου. Σε κράματα αλουμινίου το προϊόν της διάβρωσης είναι συνήθως μια σκληρή μαύρη επικάλυψη. Γενικά το προϊόν μιας διάβρωσης είναι ένα μίγμα διαχωρισμένων σωματιδίων από το κυρίως μέταλλο, τα οξείδια του και τα ένυδρα οξείδια του.

Μικροσκοπικά οι θραύσεις από κόπωση χαρακτηρίζονται από παρουσία αυλακιών καθ' ένα από τα οποία έχει δημιουργηθεί από ένα κύκλο της τάσης χωρίς να ισχύει ότι κάθε κύκλος τάσης δημιουργεί ένα αυλάκι ενώ και η απουσία αυλακιών δεν αποκλείει την θραύση κόπωσης. Επίσης ένας αριθμός από μεταλλουργικά χαρακτηριστικά μπορούν να μπερδευτούν με την θραύση κόπωσης, όπως οι γραμμές Wallner, που προκαλούνται από κρουστικά κύματα ή αλληλεπίδραση ρωγμών, γραμμές καταπόνησης και σημάδια τριβής.

Αν και οι γραμμές Wallner έχουν κοινά με τις θραύσεις κόπωσης υπάρχουν δύο χαρακτηριστικά αναγνώρισης που ξεχωρίζουν τις δύο περιπτώσεις:

- Οι γραμμές Wallner παρουσιάζονται συνήθως σε πολύ ψαθυρά υλικά ή φάσεις όπου αυλάκια κόπωσης σπάνια παρατηρούνται

- Τα αυλάκια θραύσεις μπορεί να διαδοθούν σε διαφορετικές διευθύνσεις αλλά ποτέ δεν τέμνουν το ένα το άλλο όπως οι γραμμές Wallner.

Οι γραμμές καταπόνησης είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό που μοιάζει με την χαμηλού κύκλου υψηλής τάσεις θραύση κόπωσης. Αυτά δημιουργούνται από την σχετική κίνηση δύο συνταιριασμένων επιφανειών θραύσης κάτω από την δράση μιας υψηλής τάσης.

Οι τριβή και η απόξεση μπορούν επίσης να δημιουργήσουν αυλάκια που μοιάζουν με την θραύση κόπωσης που αναφέρονται σαν σημάδια τριβής. Ο ερευνητής της θραύσης πρέπει να μάθει να ξεχωρίζει τα χαρακτηριστικά των αυλακίων με το να εξετάσει διάφορες περιοχές γύρω από την διάμετρο της επιφάνειας θραύσης.

#### 4.14. ΕΡΓΟΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η διάβρωση υπό τάση (SCC), είναι μια μηχανική και με επίδραση από το περιβάλλον θραύση όπου μηχανική τάση και χημική επίδραση συνδυάζονται στην έναρξη και την διάδοση της θραύσης σε ένα μεταλλικό τμήμα. Αυτή δημιουργείται από την συνδυαζόμενη δράση από μια εφελκυστική τάση και ένα διαβρωτικό περιβάλλον που προκαλούν θραύση σε συντομότερο χρονικό διάστημα από το άθροισμα των ξεχωριστών επιδράσεων της τάσης και του διαβρωτικού περιβάλλοντος.

Η SCC συχνά δημιουργείται από την έκθεση σε ένα φαινομενικά ήπιο χημικό περιβάλλον και σε μια εφελκυστική τάση που είναι κάτω από το όριο ροής του μετάλλου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες μια ρωγμή μπορεί να αναπτυχθεί στο εσωτερικό του κομματιού ενώ στην επιφάνεια να φαίνεται μόνο φαινομενικά ασήμαντη επίδραση της διάβρωσης. Επομένως στην επιφάνεια δεν φαίνονται σημάδια επικείμενης θραύσης. Οι πιο συχνές περιπτώσεις θραύσης από SCC σε λειτουργία είναι αυτές που σχετίζονται με τα ακόλουθα μέταλλα και κράματα :

- Υψηλής αντοχής κράματα αλουμινίου ειδικά του τύπου αλουμίνιο - ψευδάργυρος - μαγνήσιο κάτω από συνθήκες ατμοσφαιρικής διάβρωσης. Εσωτερικές και συγκέντρωση τάσεων είναι σημαντικές
- Ωστενιτική ανοξείδωτη χάλυβες και κράματα νικελίου σε παρουσία χαμηλών συγκεντρώσεων σε ιόντα χλωρίου
- Δομική χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα συνήθως σε παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων σε διαλύματα καυστικών νιτρικών αλάτων
- Υψηλής αντοχής χάλυβες (όριο θραύσης από 1240 Mpa ή 180 ksi και επάνω) σε μια ποικιλία περιβαλλόντων πιθανόν με την ψαθυροποίηση του υδρογόνου να παίζει σημαντικό ρόλο
- Κράματα χαλκού , 70Cu-30Zn ορείχαλκος σε αμμωνιακό περιβάλλον συνήθως με την παρουσία εσωτερικών τάσεων.

**Γενικά χαρακτηριστικά της θραύσης SCC.** Η διάβρωση υπό τάση μπορεί να είναι περικρυσταλλική, ενδοκρυσταλλική ή και τα δύο μαζί. Σε κράματα αλουμινίου και σε χάλυβες με χαμηλό ποσοστό σε άνθρακα η περικρυσταλλική θραύση είναι πιο συνηθισμένη παράλο που η διαδρομή της θραύσης μπορεί να είναι γειτονική στα όρια των κόκκων απ' ότι κατά μήκος τους. Η ενδοκρυσταλλική θραύση που εμφανίζει διακλαδώσεις είναι πολύ συνηθισμένη στην SCC στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες του 18Cr-



8Ni τύπου και όμοιες ενδοκρυσταλλική θραύσεις, με διακλάδωσης που ακολουθούν τα κρυσταλλογραφικά επίπεδα παρουσιάζονται στα κράματα μαγνησίου.

Όταν η διάβρωση υπό τάση είναι ενδοκρυσταλλική μπορεί να εμφανιστούν αποκλίσεις σε μικροσκοπική κλίμακα ώστε η θραύση να ακολουθήσει χαρακτηριστικά της μικροδομής όπως όρια κόκκων ή συγκεκριμένα κρυσταλλογραφικά επίπεδα. Όταν η διάβρωση υπό τάση είναι περικρυσταλλική η παρουσία οριζόντια επιμηκυσμένων κόκκων σημαίνει ότι υπάρχει μια διαδρομή

διάβρωσης υπό τάση κάθετη στην εγκάρσια κατεύθυνση, που δημιουργεί 'woody' διάβρωση υπό τάση στην επιφάνεια της θραύσης.

Μερικές θραύσεις διάβρωσης υπό τάση παρουσιάζουν προοδευτικά σημάδια και εναλλασσόμενες περιοχές από SCC και θραύση υπερφόρτισης που αλλάζουν το σχήμα της κορυφής της ρωγμής. Τα προοδευτικά σημάδια μπορούν εύκολα να μπερδευτούν με την θραύση από κόπωση. Αυτή η θραύση οφείλεται σε σφυρηλάτηση και στις παραμένουσες εσωτερικές τάσεις και στην ατμοσφαιρική διάβρωση. Άλλα χαρακτηριστικά που συναντούνται στην θραύση SCC όπως αυλάκια, σχισμές μπορούν εύκολα να μπερδευτούν με όμοια χαρακτηριστικά των θραύσεων σχισμών και κόπωσης.

#### **4.15. ΨΑΘΥΡΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ**

Η ψαθυροποίηση υγρού μετάλλου συμβαίνει είτε σε απώλεια ολκιμότητας ενός στερεού μετάλλου ή της θραύσης κάτω από το κανονικό όριο ροής κάτω από το γεγονός της διάβρεξης της επιφάνειας του από ένα υγρό μέταλλο με χαμηλό σημείο τήξης. Έτσι, για παράδειγμα ένας 70-30 ορείχαλκος που διαβρέχεται από υδράργυρο θα σπάσει σε μια τάση κοντά αλλά κάτω από το όριο ροής απ' αυτό σε απλή εφελκυστική ή καμπτική φόρτιση. Αν και η ολκιμότητα του 70-30 ορείχαλκου είναι υψηλή και η εφελκυστική τάση δίνει ένα ανθεκτικό λαιμό, η θραύση που οφείλεται σε ψαθυροποίηση του υδραργύρου είναι επίπεδη ενδοκρυσταλλική ρωγμή που σε μηκυνσιόμετρο δεν

δεν δίνει μετρήσιμη επιμήκυνση.

Η ευπάθεια στην ψαθυροποίηση υγρού μετάλλου είναι μοναδική σε συγκεκριμένα μέταλλα. Ο υγρός υδράργυρος ψαθυροποιεί κράματα χαλκού και αλουμινίου αλλά όχι απλό άνθρακα ή χάλυβες. Λιωμένο λίθιο, ψευδάργυρος, ίνδιο και κάδμιο και κράματα που περιέχουν αυτά τα στοιχεία μπορούν να ψαθυροποιήσουν χάλυβες αλλά έχουν μικρότερη ή καθόλου επίδραση στα κράματα χαλκού και αλουμινίου. Το λιωμένο βισμούθιο ψαθυροποιεί τα κράματα χαλκού αλλά δεν έχει καμία επίδραση στους χάλυβες.

Υπάρχει μια εξειδίκευση στην ταυτότητα των υγρών μετάλλων που προκαλούν μεγάλη, μικρή ή καθόλου ψαθυροποίηση σε οποιοδήποτε στερεό μέταλλο κάτω από συνθήκες εφελκυστικής τάσης και διαβροχής. Ο υγρός μόλυβδος, για παράδειγμα δεν έχει καμία επίδραση ψαθυροποίησης στους χάλυβες αλλά μικρό ποσοστό στο λιωμένο κασσίτερο, κάδμιο και νικέλιο δημιουργώντας δυνατότητα για θραύση κάτω από εφελκυστική τάση.

Τα εμπορικά μαλακά μέταλλα δεν υφίστανται συνήθως ψαθυροποίηση υγρού μετάλλου. Δύο εξαιρέσεις αποτελούν ο ψευδάργυρος που ψαθυροποιείται από τον υδράργυρο και ο χαλκός που ψαθυροποιείται από το λιωμένο βισμούθιο.

Υπάρχει μια μετάβαση από την ψαθυρή στην όλκιμη συμπεριφορά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα το εύρος της θερμοκρασίας για την ψαθυροποίηση του χάλυβα από τα κράματα υγρού μολύβδου είναι της τάξης της θερμοκρασίας τήξης του κράματος του μολύβδου και ενός άνω ορίου της θερμοκρασίας που είναι μόνο 300 °C ψηλότερα. Πέρα από αυτό το σημείο ο χάλυβας έχει μειούμενη όλκιμότητα.

#### 4.16. ΨΑΘΥΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Το υδρογόνο ψαθυροποιεί πολλά μέταλλα και κράματα αλλά έχει βλαβερή επίδραση στους χάλυβες, ειδικά όταν η αντοχή του χάλυβα είναι γύρω στα 1240 Μpa είναι πολύ σημαντική. Μια μικρή ποσότητα στο εκατομμύριο διαλυμένου υδρογόνου σε χάλυβα μπορεί να δημιουργήσει μια λεπτή γραμμή θραύσης και απώλεια της όλκιμότητας. Όταν η ποσότητα του αερίου στο διάλυμα είναι τόσο μικρή για να μειώσει την όλκιμότητα, το υδρογόνο προκαλεί καθυστερούμενη θραύση που συχνά καλείται στατική κόπωση. Αέρια περιβάλλοντα που περιέχουν υδρογόνο είναι επίσης καταστροφικά. Η λεπτή γραμμή θραύσης συχνά ακολουθεί ωστενιτικά όρια κόκκων και φαίνεται να προκαλείται όταν τα καταστροφικά αποτελέσματα του διαλυμένου υδρογόνου υπερθέτουν τις τάσεις από την μετατροπή του ωστενίτη σε μαρτενσίτη. Οι επηρεασμένες περιοχές αναγνωρίζονται σε επιφάνειες θραύσεις από την ψαθυρή εμφάνιση και την υψηλή αντανάκλαστικότητα που συνήθως κάνουν αντίθεση με την εμφάνιση των γύρω περιοχών με την όλκιμη θραύση.

Οι λεπτές γραμμές θραύσεις αναγνωρίζονται μεταλλογραφικά και είναι πιο συχνές κοντά στο κέντρο ογκώδη στοιχείων ο εξαναγκασμός σε πλαστική παραμόρφωση είναι υψηλός αλλά η επίδραση τους μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την μετατροπή τους με θερμικές κατεργασίες.

**Καταγραφή της θραύσης της ψαθυροποίησης του υδρογόνου σε χάλυβες.** Η ψαθυροποίηση του υδρογόνου σε χάλυβες, ειδικά σε αυτούς που έχουν υποστεί επιβραδυνόμενη θραύση, έχουν επιφάνεια θραύσης πολύ κοινή με την θραύση από SCC σε κράματα αλουμινίου και υψηλής αντοχής χάλυβες. Σε επιβραδυνόμενη θραύση υπάρχει μια περιοχή της επιφάνειας θραύσης που δημιουργείται από την βοήθεια του υδρογόνου στην αργή ανάπτυξη της ρωγμής

που ακολουθεί συνήθως τα όρια των κόκκων του ωστενίτη. Σε μερικούς χάλυβες το υδρογόνο μπορεί να συμβάλει σε θραύση σχισμών. Η ακριβής αναγνώριση είναι συχνά δύσκολη και είναι συχνά αδύνατος ο διαχωρισμός ανάμεσα σε επιβραδυνόμενη θραύση που προκαλεί το υδρογόνο και στην SCC.

#### 4.17. ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ

Ο ερπυσμός είναι η αλλαγή της διάστασης ενός μετάλλου ή κράματος κάτω από μια εφαρμοζόμενη τάση σε μια θερμοκρασία περίπου 0,5  $T_M$ , όπου  $T_M$  είναι η θερμοκρασία τήξης μετρούμενη σε απόλυτη κλίμακα. Έτσι ο μολύβδος, ο κασσίτερος και καθαρό αλουμίνιο μπορούν να παραμορφωθούν από ερπυσμό σε θερμοκρασία δωματίου ή λίγο παραπάνω, ενώ θερμοκρασίες γύρω στους 1000 °C χρειάζονται για να προκαλέσουν ερπυσμό σε πυρίμαχα bcc μέταλλα, όπως το βολφράμιο και μολυβδαίνιο καθώς και υπερκράματα νικελίου που χρησιμοποιούνται σε αέριες στροβιλομηχανές. Η παραμόρφωση

από ερπυσμό μπορεί να προκαλέσει μεγάλες αλλαγές στις διαστάσεις του στοιχείου καθιστώντας το άχρηστο για χρήση πριν συμβεί η θραύση. Σε άλλες περιπτώσεις ο ερπυσμός μπορεί να οδηγήσει σε θραύση, αυτός ο τύπος ονομάζεται τάση θραύσης.

Η θραύση από ερπυσμό και η τάση θραύσης μπορεί να αναγνωριστεί εύκολα. Αυτή μπορεί εύκολα να αναγνωριστεί από την τοπική ολκιμότητα και το πλήθος των περικρυσταλλικών θραύσεων που συνήθως προκαλεί ενώ, η τάση θραύσης θραύση μπορεί να αναγνωριστεί από την οπτική εξέταση των υποδιαίρέσεων επειδή υπάρχει ένα πλήθος ερπυσμού των κενών παρακείμενων από την θραύση.

Η θραύση από ερπυσμό και η stress rupture μπορεί να γίνει κατανοητή συμπεριλαμβάνοντας τους δύο γενικούς τύπους της διαδικασίας του ερπυσμού που αυτοί δημιουργούν. Στον πρώτο τύπο, η ολίσθηση των ορίων των κόκκων δημιουργεί μια συγκέντρωση τάσεων σε ένα τριπλό σημείο που δεν μπορεί να παραληφθεί από την πλαστική παραμόρφωση σε ένα γειτονικό κόκκο. Αυτός δημιουργεί μιας σχήματος σφήνας θραύση στο όριο του κόκκου. Ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει την έναρξη των κενών στα όρια των κόκκων, ειδικά στα όρια των κόκκων που είναι εγκάρσια στην εφελκυστική τάση και την ανάπτυξη των κενών από την μεταφορά και την καθίζηση των vacancies. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ερπυσμός κοιλότητας (cavitation creep).

#### **4.18. ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑ**

Περιστασιακά μια αστοχία στοιχείου σε λειτουργία μπορεί να συμβεί από την συνεχή επίδραση δύο διαφορετικών μηχανισμών αστοχίας. Όταν πραγματοποιείται μια ανάλυση αστοχίας αυτή η πιθανότητα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψιν.

#### **4.19. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

Στην ανάλυση αστοχίας μια χημική ανάλυση ρουτίνας είναι απαραίτητη για να επιβεβαιώσει ότι το υλικό είναι αυτό που αναφέρεται. Ελαφριές αποκλίσεις από την αναφερόμενη σύσταση είναι πιθανόν να είναι ένας κύριος λόγος της αστοχίας. Στην πραγματικότητα επειδή μόνο μια μειοψηφία των αστοχιών σε λειτουργία είναι αποτέλεσμα ακατάλληλου ή ελαττωματικού υλικού, τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης σπάνια δείχνουν την αιτία της αστοχίας εκτός από περιπτώσεις διάβρωσης ή διάβρωσης υπό τάση όπου η χημική ανάλυση επικαθίσεων ή προϊόντων της διάβρωσης θα φανερώσει την κύρια αιτία της αστοχίας.

Όπου η χημική ανάλυση δείξει ότι υπάρχει μια απόκλιση σε ένα συστατικό από τα ενδεδειγμένα, αυτό δεν σημαίνει ότι είναι υπεύθυνο για την αστοχία ή ότι παίζει κάποιο ρόλο στην αστοχία. Μέσα σε κάποια όρια, η κατανομή της σύνθεσης της μικροδομής ενός υλικού είναι πιο σημαντική από την αναλογία τους.

Επίσης κύρια αεριώδη στοιχεία ή μολυντές που συνήθως δεν αναφέρονται σε μια χημική ανάλυση έχουν έντονη επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες κάποιων μετάλλων. Όπως για παράδειγμα το οξυγόνο και το υδρογόνο στους χάλυβες που μπορούν να συμβάλουν στην γήρανση τάσης ή στη γήρανση από βαφή (stress aging or quench aging), ενώ το υδρογόνο μπορεί να δημιουργήσει ευθραυστότητα ειδικά όταν απορροφηθεί κατά την συγκόλληση, τον καθαρισμό με οξέα ή τον γαλβανισμό.



**Ανάλυση των στοιχείων των υλικών.** Διάφορες αναλυτικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί η κύρια σύσταση και για να αναγνωριστούν τα στοιχεία ενός κράματος, επικαθίσεις, περιβαλλοντικά ρευστά, λιπαντικά και αιωρήματα.

Τεχνικές όπως φασματοσκόπιο ηλεκτρονίων, ατομικό φασματοσκόπιο, φασματοσκόπιο πλάσματος και η κλασική αναλυτική χημεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστούν τα διαλυμένα μέταλλα. Μέθοδοι καύσης όπως υψηλής θερμοκρασίας καύση ή τήξη συστατικού αερίου χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την σύσταση του άνθρακα, του υδρογόνου, του θείου, του αζώτου, και του οξυγόνου. Ακόμα μέθοδοι περίθλασης ακτίνων  $\chi$  χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίσουν κρυσταλλικά υλικά στην επιφάνεια ή τη μάζα ενός υλικού καθώς και τα προϊόντα της διάβρωσης ή επικαθίσεις της επιφάνειας. Τέλος φασματογράφος υπέρυθρης ακτινοβολίας ή υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση οργανικών στοιχείων.

**Ανάλυση επιφανειών και επικαθίσεων.** Αρκετές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την μελέτη της επιφάνειας της θραύσης, που αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την ανάλυση και ερμηνεία των αστοχιών. Το ενεργειακό φασματόμετρο και το φασματόμετρο ακτίνων  $\chi$  χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό και συγκεκριμένα για την παρατήρηση και χημική ανάλυση μιας επιφάνειας. Για την μελέτη εξαιρετικά λεπτών στρωμάτων επιφανειών χρησιμοποιούνται το φασματοσκόπιο Auger, το φασματοσκόπιο Mossbauer, το φασματοσκόπιο δευτερεύουσας μάζας ιόντων (SIMS), και το φασματοσκόπιο χαμηλής ενέργειας σκέδασης (LEISS).

Το **test spot** είναι απλή και ποιοτική χημική ανάλυση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωριστεί το μέταλλο στο σπασμένο κομμάτι, τα κραματικά στοιχεία, τις επικαθίσεις, τις ακαθαρσίες και τα προϊόντα της διάβρωσης, ενώ απαιτεί λίγο εξοπλισμό και είναι γρήγορο.

#### **4.20. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ**

Ο μηχανισμός της θραύσης σε μεταλλικά μέρη και στοιχεία κάτω από φορτίο, καθώς και οι εφαρμογές του που συνιστούνται στον σχεδιασμό και την πρόβλεψη για της διάρκειας λειτουργίας τους γίνεται όλο και πιο σημαντική στην έρευνα της αστοχίας εξαιτίας της θραύσης και στην επεξεργασία σωστών μετρήσεων για την αποφυγή παρόμοιων αστοχιών. Ο μηχανισμός θραύσης είναι σημαντικός για την μέτρηση σκληρότητας θραύσης και άλλων παραμέτρων της για την εκτίμηση της δομικής σταθερότητας.

#### **4.21. ΤΕΣΤ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Κατά τα τελικά στάδια της έρευνας της αστοχίας μπορεί να χρειαστεί να εξομοιωθούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πιστεύεται ότι συνέβη η αστοχία. Πολλές φορές το τεστ εξομοίωσης λειτουργίας δεν είναι πρακτικό λόγω του ότι απαιτούνται εξεζητημένος εξοπλισμός και είναι πιθανόν να μην είναι γνωστές ή κατανοητές όλες οι συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα η αστοχία από διάβρωση είναι δύσκολο να αναπαρασταθεί σε εργαστήριο και πολύ συχνά οδηγεί σε λαθεμένα αποτελέσματα ενώ το ίδιο αποτέλεσμα θα έχουμε αν γίνει προσπάθεια να μειωθεί ο χρόνος που απαιτείται για το τεστ με το να αυξηθεί η συνεισφορά κάποιου παράγοντα της αστοχίας.

Από την άλλη μεριά όταν οι περιορισμοί είναι πλήρως κατανοητή, το τεστ εξομοίωσης των επιδράσεων επιλεγμένων παραγόντων της θραύσης που συναντώνται κατά την λειτουργία μπορεί να είναι χρήσιμο για να σχεδιαστούν οι διορθωτικές ενέργειες που θα αποτρέψουν την αστοχία ή θα αυξήσουν την διάρκεια ζωής.

#### **4.22. ΑΝΑΛΥΟΝΤΑΣ ΤΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ , ΔΙΑΤΥΠΩΝΟΝΤΑΣ ΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΓΡΑΦΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΝΑΦΟΡΑ**

Ένα κύριο βήμα κάθε έρευνας είναι η ανάλυση των γεγονότων, η διατύπωση των συμπερασμάτων και η καταγραφή της αναφοράς. Πολλές έρευνες δεν ακολουθούν τα στάδια που περιγράφηκαν, ιδίως αν η αιτία της αστοχίας είναι φανερή νωρίς, ενώ άλλες έχουν ευδιάκριτα στάδια. Επίσης όπου υπάρχει διάθεση εργαστηριακού εξοπλισμού πρέπει να δοθεί σημαντικό βάρος στην χημικά ανάλυση, τα μηχανικά τεστ και στην έρευνα με μικροσκόπιο που παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της αστοχίας. Κατά την διάρκεια της έρευνας είναι σημαντικό να γίνει διαχωρισμός μεταξύ της δουλειάς που δεν χρειάζεται να γίνει και αυτής που θα οδηγήσει σε χρήσιμα αποτελέσματα αν και τα αρνητικά αποτελέσματα μπορεί να οδηγήσουν σε αποκλεισμό κάποιων αιτιών αστοχίας βοηθώντας την έρευνα. Τελικά στις έρευνες όπου η αιτία της αστοχίας είναι απροσδιόριστη, μια έρευνα στις υπάρχουσες αναφορές παρόμοιων αστοχιών είναι δυνατόν να δώσει πιθανές αιτίες της αστοχίας.

Η παρακάτω λίστα ερωτήσεων έχει δημιουργηθεί σαν μια βοήθεια στην ανάλυση και διατύπωση συμπερασμάτων και στις λεπτομέρειες της συνολικής έρευνας που πρέπει να δοθεί προσοχή.

- Έχει διαπιστωθεί η συχνότητα της αστοχίας;
- Εάν η αστοχία περιλαμβάνει ρωγμή ή θραύση, έχει προσδιοριστεί η αρχή της;
- Η θραύση έχει ξεκινήσει από την επιφάνεια ή κάτω από αυτήν;
- Έχει η θραύση συνδυαστεί με άσκηση τάσεις;
- Πόσο είναι το μήκος της ρωγμής;
- Ποια ήταν η ένταση της τάσης;
- Ποιος ήταν ο τύπος του φορτίου, στατικός, κυκλικός ή περιοδικός;
- Ποια ήταν η διεύθυνση της τάσης;
- Ποιος ήταν ο μηχανισμός της τάσης;
- Ποια ήταν η θερμοκρασία λειτουργίας κατά τη στιγμή της θραύσης;
- Συνείφερε η θερμοκρασία στη θραύση;
- Συνείφερε η τριβή στη θραύση;
- Συνείφερε η διάβρωση στη θραύση κι αν ναι τι τύπος;
- Χρησιμοποιήθηκε το κατάλληλο υλικό; Απαιτούνταν ένα καλύτερο υλικό;
- Ήταν η ποιότητα του υλικού αποδεκτή με τις απαιτήσεις;
- Ήταν οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού αποδεκτές με τις απαιτήσεις;
- Είχε υποστεί το υλικό θερμική κατεργασία;
- Ήταν το υλικό κατάλληλα κατεργασμένο;
- Ήταν το κομμάτι κατάλληλα συναρμολογημένο ή εγκατεστημένο;
- Το στοιχείο είχε επισκευαστεί κατά την λειτουργία κι αν ναι ήταν σωστή;
- Είχε το στοιχείο κατάλληλα χρησιμοποιηθεί;
- Είχε το στοιχείο συντηρηθεί ή λιπανθεί κατάλληλα;

- Η θραύση έχει σχέση με κακομεταχείριση κατά την λειτουργία ;
- Μπορεί ο σχεδιασμός του στοιχείου να βελτιωθεί για να εμποδίσει μελλοντική αστοχία ;
- Είναι πιθανόν να αστοχήσουν τώρα όμοια στοιχεία σε λειτουργία ; Τι μπορεί να γίνει για να αποφευχθεί η αστοχία τους ;

Οι απαντήσεις των ερωτήσεων προκύπτουν από την έρευνα και την ανάλυση και τα τεστ που παρουσιάστηκαν. Εντούτοις όταν οι έρευνα δεν καταλήξει σε αίτια της αστοχίας πρέπει να αναφερθούν όλες οι πιθανές αιτίες.

**Γράφοντας την αναφορά.** Η αναφορά της αστοχίας πρέπει να γραφεί καθαρά , με λογική και μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα μέρη :

- Περιγραφή των κομματιών που αστόχησαν
- Συνθήκες λειτουργίας την στιγμή της θραύσης
- Προηγούμενο ιστορικό λειτουργίας
- Ιστορικό παραγωγής και κατεργασίας του υλικού
- Μηχανική και μεταλλουργική μελέτη της αστοχίας
- Μεταλλουργική αξιολόγηση της ποιότητας
- Περίληψη των μηχανισμών της αστοχίας
- Προτάσεις για την πρόβλεψη παρόμοιας αστοχίας ή διόρθωση όμοιων στοιχείων σε λειτουργία

Οι μεγάλες αναφορές πρέπει να περιλαμβάνουν περίληψη ενώ πρέπει να αποφεύγεται η χρήση εξειδικευμένης ορολογίας. Τέλος ένα λεξικό όρων , οι παραπομπές , οι υπολογισμοί , οι συναρτήσεις και πίνακες χημικών και μεταλλουργικών χαρακτηριστικών ολοκληρώνουν μια αναφορά.

## **5. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

### **5.1. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

#### **5.1.1. Περιγραφή του προβλήματος**

Από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος παραδόθηκαν στο εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για μελέτη αστοχίας ένα τμήμα του κελύφους αντλίας προσαγωγής αποβλήτων, η οποία παρουσίαζε σημαντική διάβρωση ( Φωτ. 1 ). Από το κέλυφος αφαιρέθηκαν δύο τμήματα, ένα από την περιοχή της εισροής της αντλίας κι ένα από την εκροή της αντλίας.

#### **5.1.2. Μεθοδολογία**

Για την μελέτη των υλικών της αντλίας εφαρμόστηκε η παρακάτω πειραματική διαδικασία :

1. Κοπή δοκιμίων από την αντλία
2. Χημική ανάλυση του υλικού της αντλίας
3. Στερεοσκοπική εξέταση της επιφάνειας διάβρωσης. Η εξέταση έγινε σε στερεοσκόπιο, χρησιμοποιώντας μεγενθύνσεις x6,5 - 40 και προσπίπτοντα φωτισμό
4. Μεταλλογραφική ανάλυση των δοκιμίων από τις περιοχές της διάβρωσης. Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε η καθιερωμένη πρακτική προετοιμασίας μεταλλογραφικών δοκιμίων ( εγκιβωτισμός, λείανση και στίλβωση ). Για την χημική προσβολή του υλικού της αντλίας χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Methanolic aqua regia ( 45ml HCL, 15ml HNO<sub>3</sub>, 20ml methanol ). Η οπτική παρατήρηση έγινε σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο σε συνθήκες φωτεινού πεδίου και χρησιμοποιώντας μεγενθύνσεις x100 - 1000

#### **5.1.3. Αποτελέσματα**

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα στοιχεία και αποτελέσματα, τα οποία οδηγούν και στο συμπέρασμα για την αστοχία της αντλίας. Τα ειδικότερα αποτελέσματα ( φωτογραφίες κ.λ.π. ) παρουσιάζονται στο παράρτημα 5.1.1.

##### **5.1.3.1 Υλικό της αντλίας**

Από την χημική ανάλυση βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του άνθρακα στον χάλυβα ήταν 0,94 % κ.β. ενώ η μεταλλογραφική εξέταση του άξονα έδειξε ότι έχει μικροδομή ωστενίτη. ( Φωτ. 8-13 )

Χημική Σύσταση ( wt % )									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0.94	1.55	0.668	0.019	0.028	27.03	0.22	1.437	0.04	0.67

Η μικροδομή είναι σύμφωνη και με τα αποτελέσματα από το διάγραμμα Schaeffler ( Παράρτημα I , Σχ. 1 ).

Από την χημική σύσταση προκύπτει ότι το υλικό της αντλίας είναι σύμφωνα με την τυποποίηση κατά DIN 1.4138 ή GX12CrMo29-2 με σκληρότητα 260- 330 HB και όριο θραύσης  $\sigma_{TS} = 880 - 1080 \text{ N/mm}^2$ .

### 5.1.3.2 Σκληρομέτρηση

Από την αντλία πάρθηκαν οκτώ δοκίμια στα οποία έγινε η μεταλλογραφική ανάλυση και σκληρομέτρηση. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής :

	Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4
	17	12.5	8	14
	21.5	19	15	19.5
	21	19.5	13	12
	22	18.5	13	14
			6	
M.O.	19.5	15.5	7	14

	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	Δοκίμιο 8
	14	4	21	16
	12	2	20	12
	6	15	21	8
	13	12	14.5	14
M.O.	13.5	8	17.75	15

Οι μετρήσεις έγιναν σε κλίμακα σκληρότητας HRC με φορτίο 150 kg ενώ τα δοκίμια 1,2,4,5,6 πάρθηκαν ως προς την επιφάνεια της αστοχίας ενώ τα υπόλοιπα ως προς το βάθος. Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης φαίνονται στα διαγράμματα 1 και 2 του Παραρτήματος 5.1.1.

### 5.1.3.3. Είδη διάβρωσης

Από τις παρατηρήσεις κι από προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει για τις XBBE παρατηρούνται οι εξής μορφές διάβρωσης :

- τρηματική ( pitting ) ( Φωτ. 3-5 )
- σπηλαιώση ( cavitation )
- μηχανική ( erosion ) - φθορά ( abrasion )

Τα στερεά σωματίδια που περιέχουν τα απόβλητα παίζουν σημαντικό ρόλο στην διάβρωση που παρατηρείται. Συνήθως στα απόβλητα περιέχονται σωματίδια με μεγάλη σκληρότητα και είναι φανερό ότι η τριβή που δημιουργούν είναι σημαντική. Με τη σύγκρουση των στερεών στην επιφάνεια του χάλυβα σπάει το προστατευτικό στρώμα  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  του ανοξείδωτου χάλυβα και η διάβρωση προχωράει στο εσωτερικό του υλικού ( Φωτ. 7 ) . Η ύπαρξη οπών ευνοεί τη διαδικασία της



διάβρωσης σχισμών ( crevice corrosion ), και λαμβάνει χώρα η προσβολή κάτω από την επιφάνεια. ( Φωτ. 2,6 )

Ιδιαίτερα προβλήματα δημιουργεί κι η σπηλαιώση. Η μείωση της πίεσης του ρευστού της αντλίας ( σε περιοχές που αυξάνει η ταχύτητα ), μέχρι την τάση ατμών του, στις συνθήκες λειτουργίας, συνεπάγεται την έναρξη βρασμού και την εμφάνιση φυσαλίδων ατμού. Στη συνέχεια η μετακίνηση των φυσαλίδων σε περιοχές όπου η τοπική πίεση είναι μεγαλύτερη της τάσης ατμών τους, οδηγεί σε άμεση διάσπαση τους. Το κενό που δημιουργείται καλύπτεται με ορμή από το υπόλοιπο υγρό. Με αυτό τον τρόπο αναπτύσσονται πολύ μεγάλες τοπικές πιέσεις, ενώ το φαινόμενο συνοδεύεται από θόρυβο και κραδασμούς. Αν η διαδικασία διάσπασης συμβεί πάνω από την επιφάνεια του υλικού, επιφέρει τη καταστροφή του προστατευτικού στρώματος και ευνοεί την περαιτέρω διάβρωση.

#### **5.1.4. Συμπεράσματα**

1. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα ο λόγος της ταχείας διάβρωσης είναι τα στερεά σωματίδια που περιέχουν τα απόβλητα.
2. Το υλικό της αντλίας έχει μειωμένη αντίσταση στην διάβρωση λόγω μη ομογενοποίησης ή μη επαρκής ομογενοποίησης του χυτού κελύφους της αντλίας με αποτέλεσμα να παρουσιάζει διαφορισμό και κάποια σημεία του χάλυβα να είναι φτωχά σε χρώμιο και να μην αντιστέκονται στη διάβρωση. ( Φωτ. 8,10,12 )
3. Επίσης στο χάλυβα της αντλίας γίνεται κακός συνδυασμός υψηλού ποσοστού Ni και C, χωρίς την παρουσία σταθεροποιητών ( Ti, Nb ), γεγονός που δημιουργεί συνθήκες για δημιουργία καρβιδίων του χρωμίου που καθιζάνουν στα όρια των κόκκων και δεσμεύουν το Cr από το φερρίτη, κι έτσι το υλικό μένει χωρίς αντιδιαβρωτική προστασία.

#### **5.1.5. Προτάσεις**

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο συγκεκριμένος χάλυβας δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις για την ομαλή λειτουργία της αντλίας. Αν δεν γίνει αντικατάσταση του υλικού της αντλίας, είναι απαραίτητο να γίνει ομογενοποίηση του χάλυβα ώστε να μην είναι τόσο ευάλωτο στην διάβρωση.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.1.1.**

Φωτογραφίες

Στερεομικροσκοπία

Μεταλλογραφία

Διάγραμμα

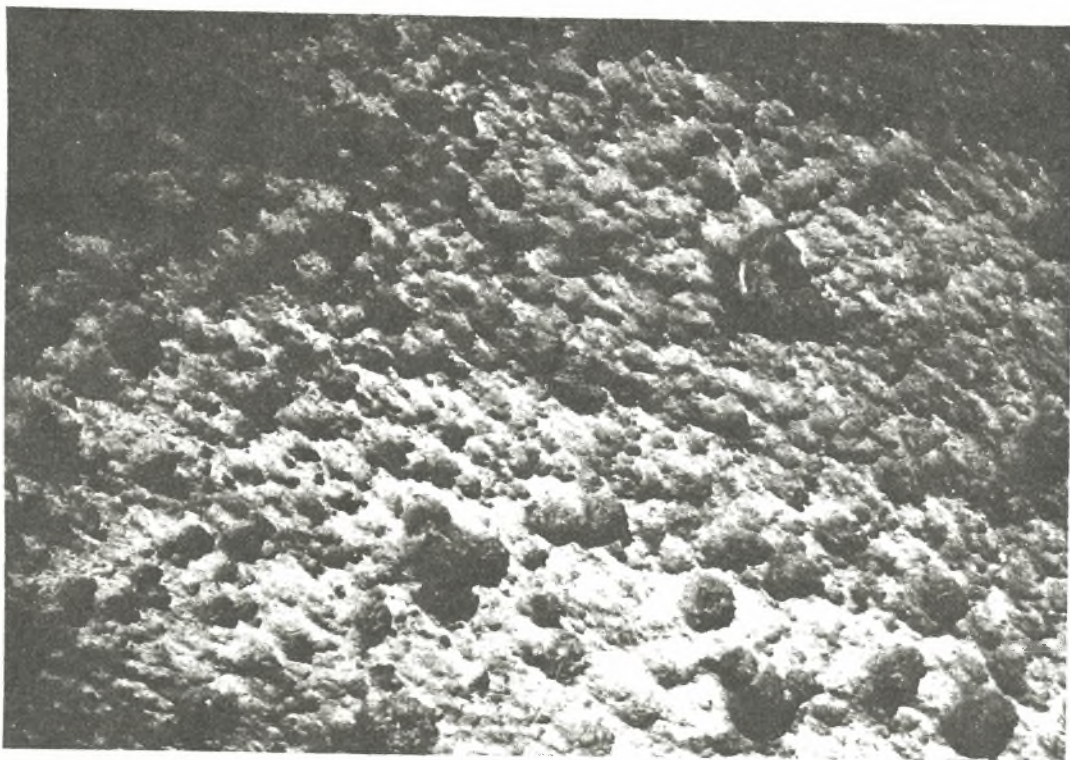


Φώτο 1 . Φωτογραφία του κελύφους της αντλίας με τα αυλάκια και τους πόρους

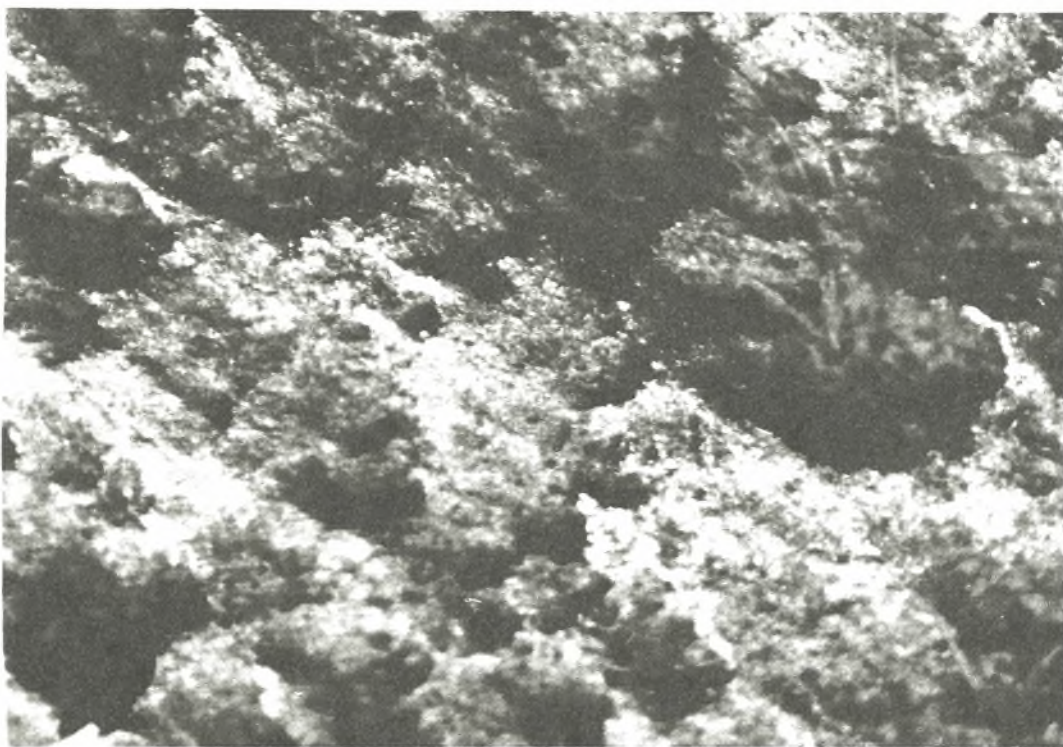


Φώτο 2. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τα αυλάκια



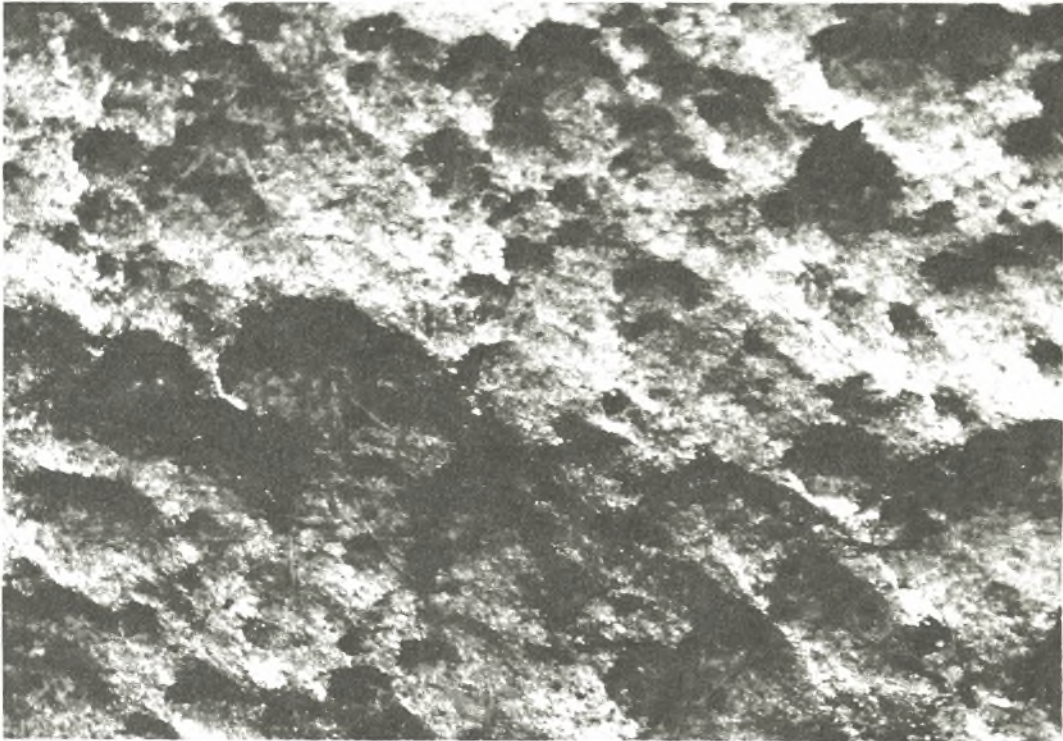


Φώτο 3. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τους πόρους

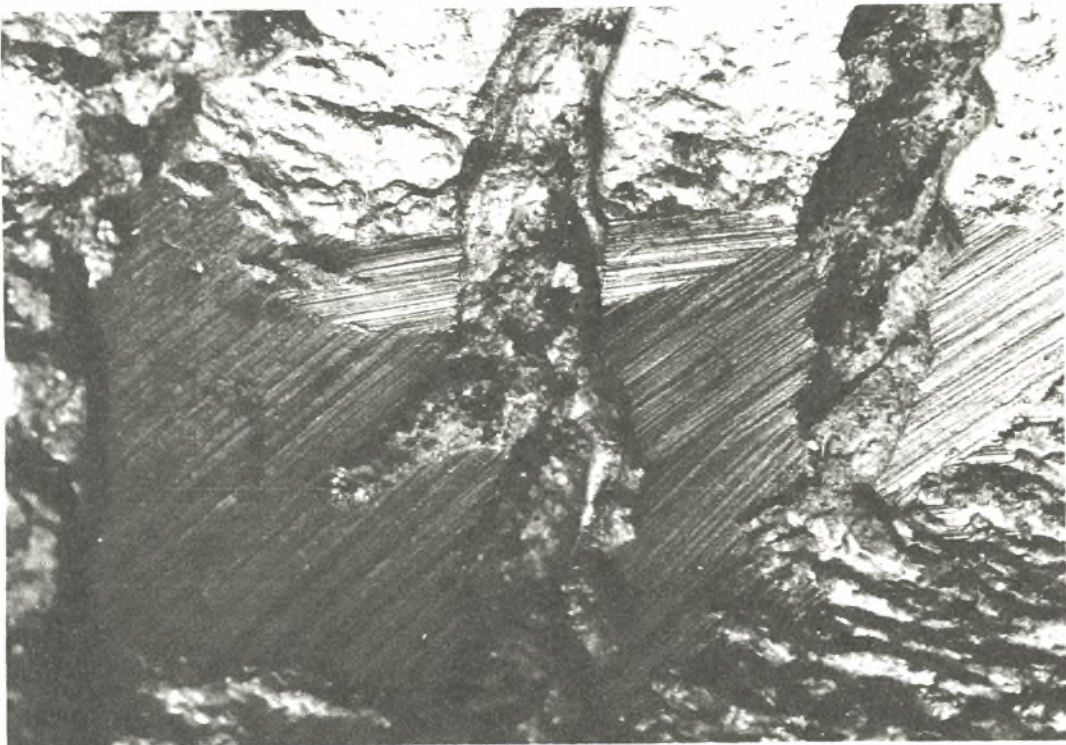


Φώτο 4. (x 25) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τους πόρους



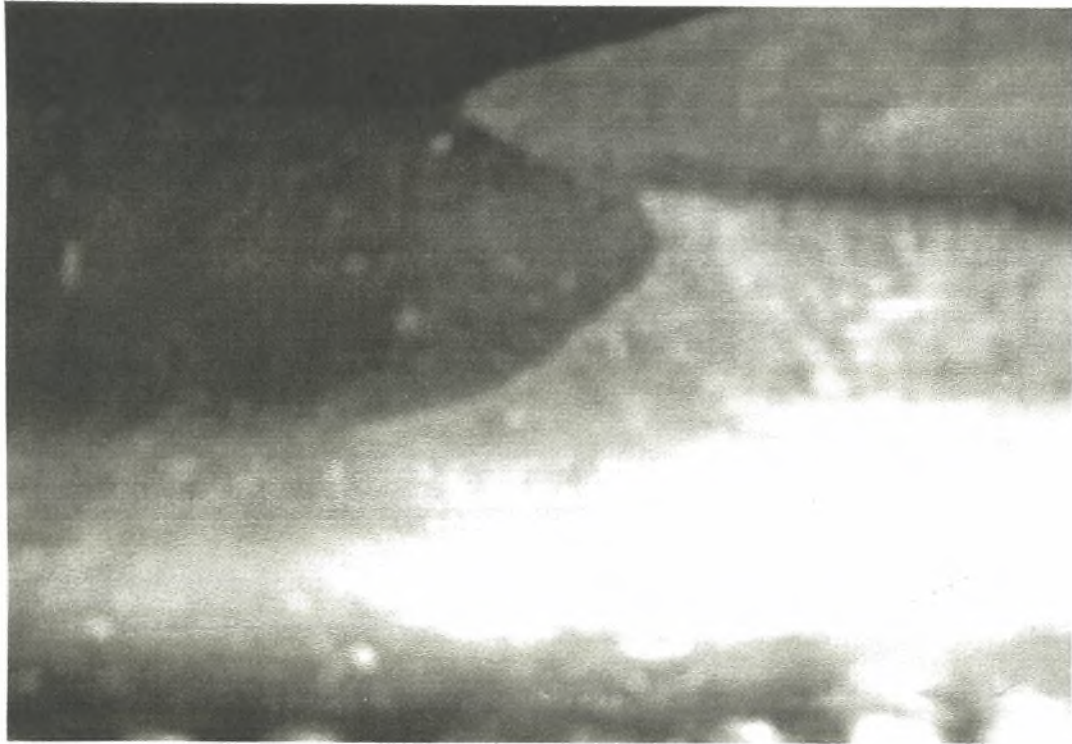


Φώτο 5. (x 40 ) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τους πόρους

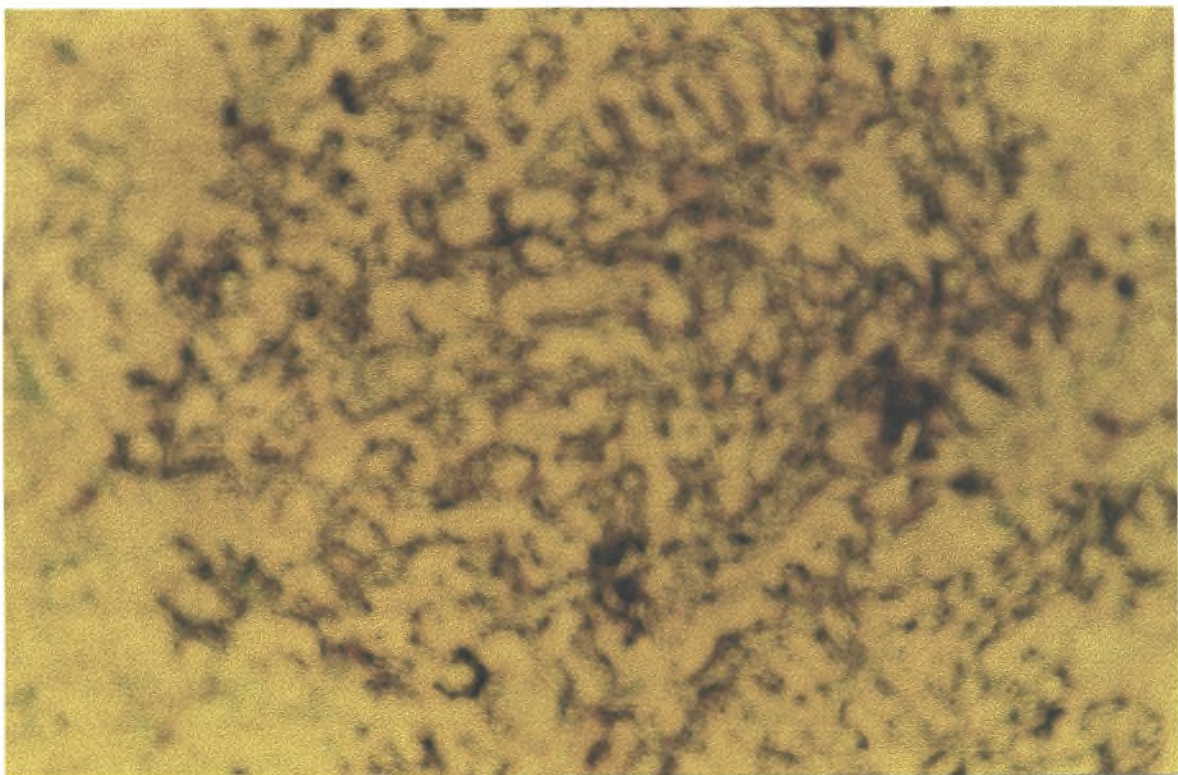


Φώτο 6. (x 10 ) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με τα αυλάκια



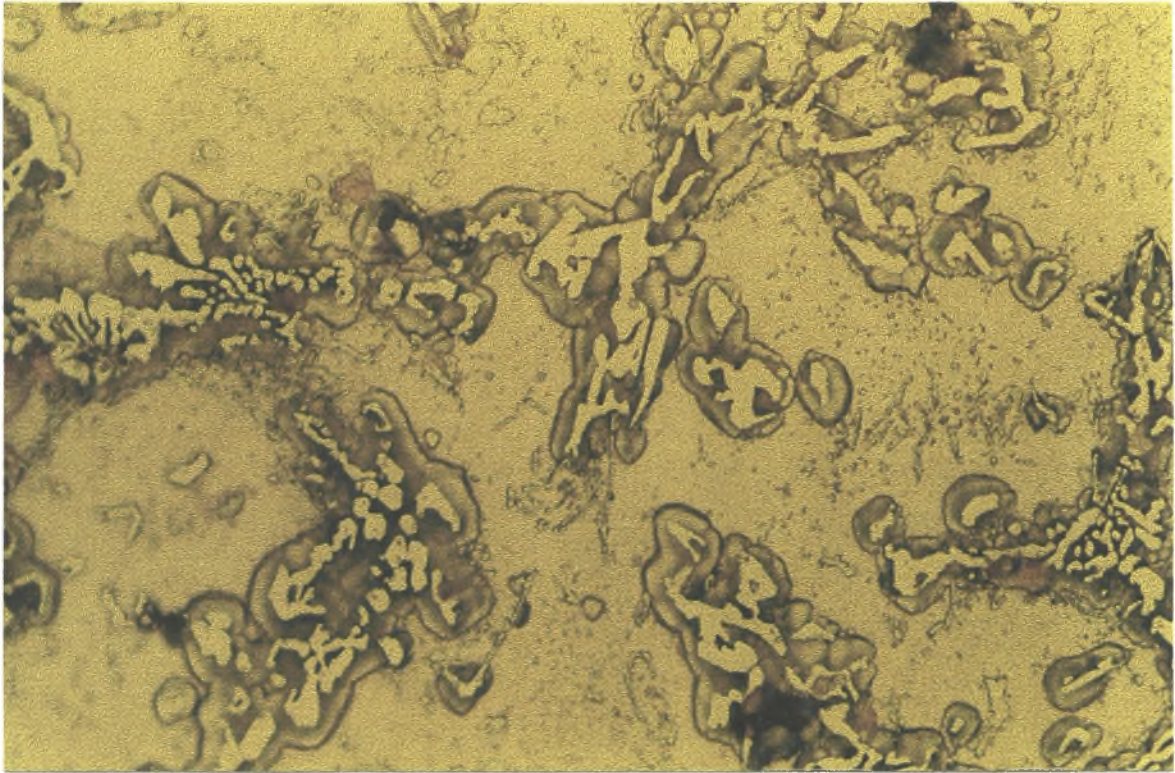


Φώτο 7. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας της αντλίας με την απόξεση από την μηχανική φθορά.

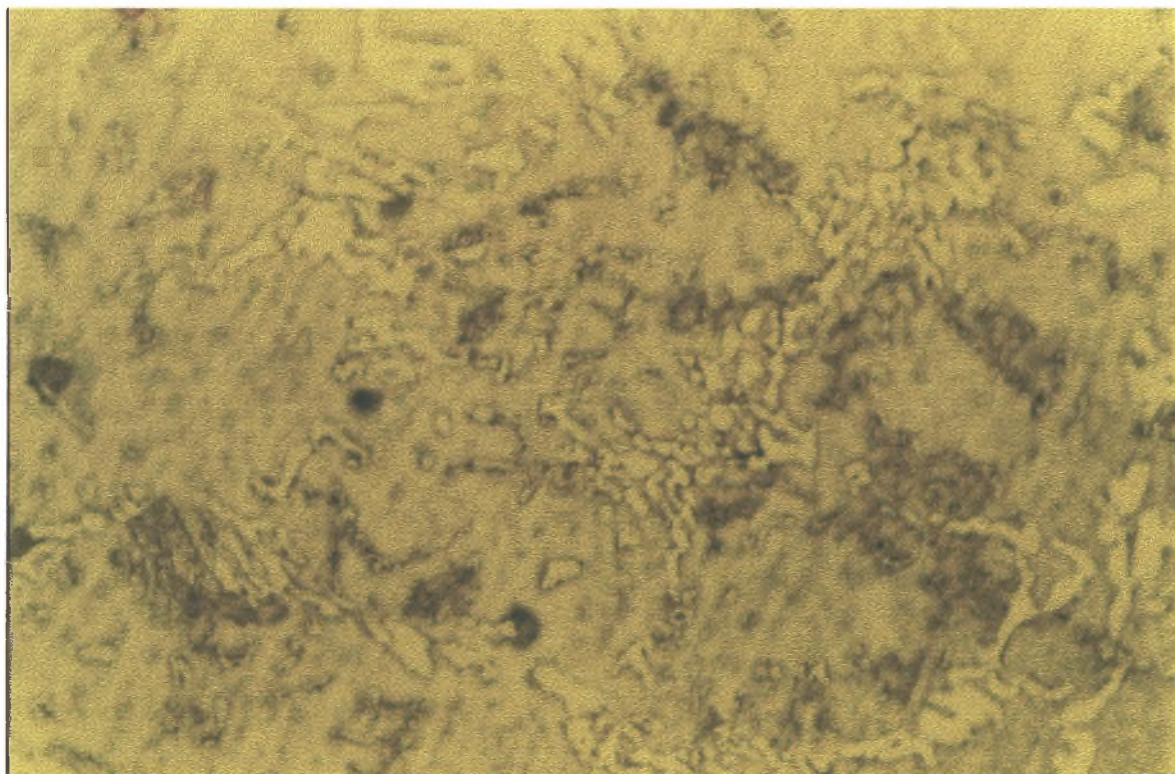


Φώτο 8. (x 100) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 2.



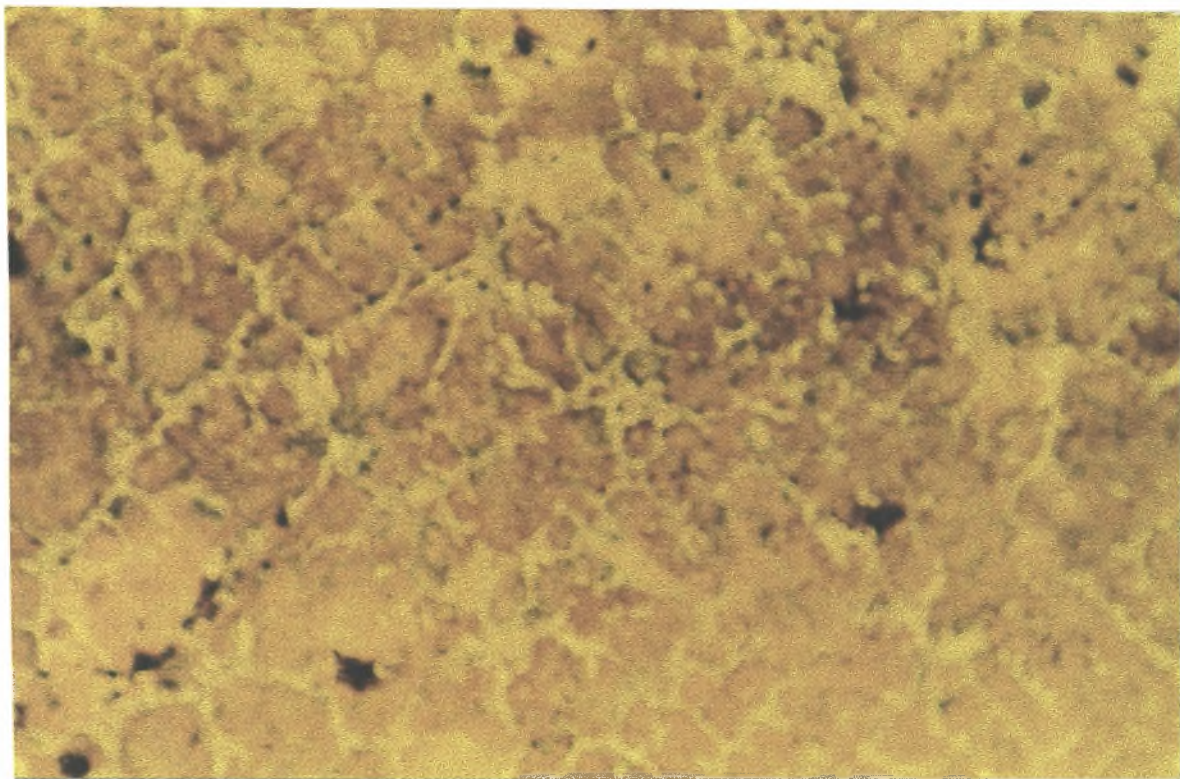


Φώτο 9. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 2.

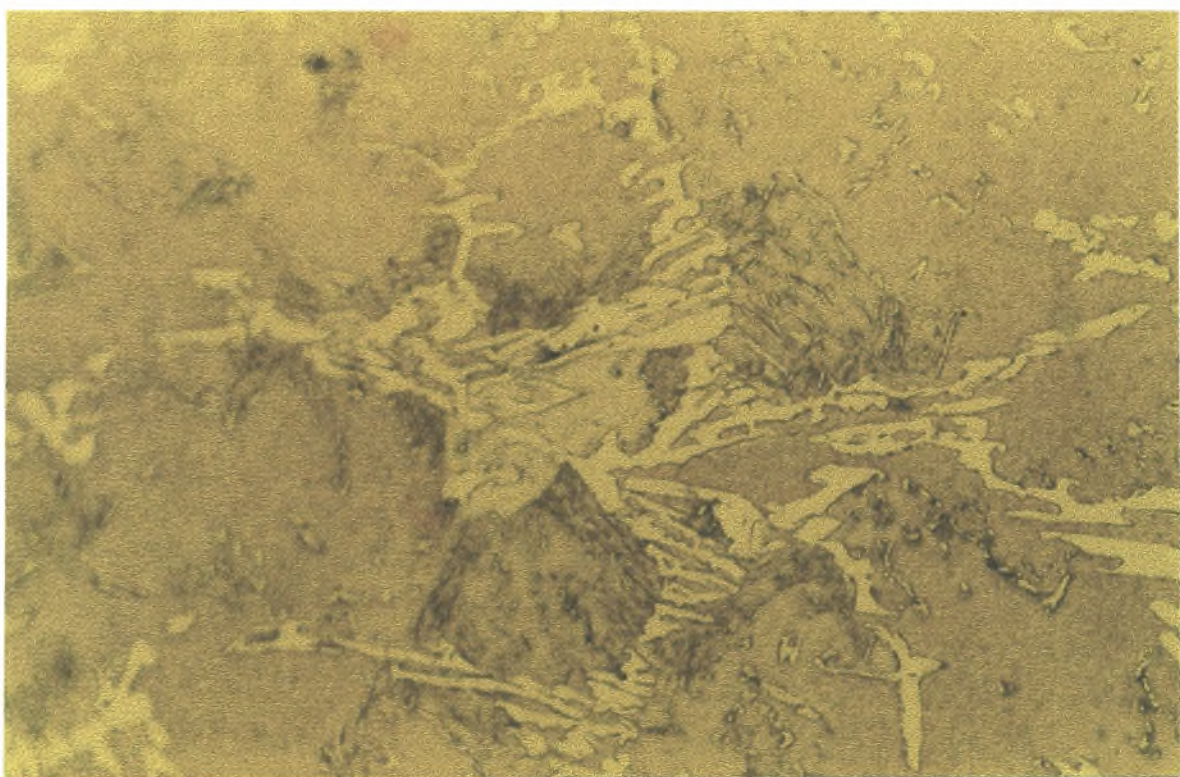


Φώτο 10. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 3.



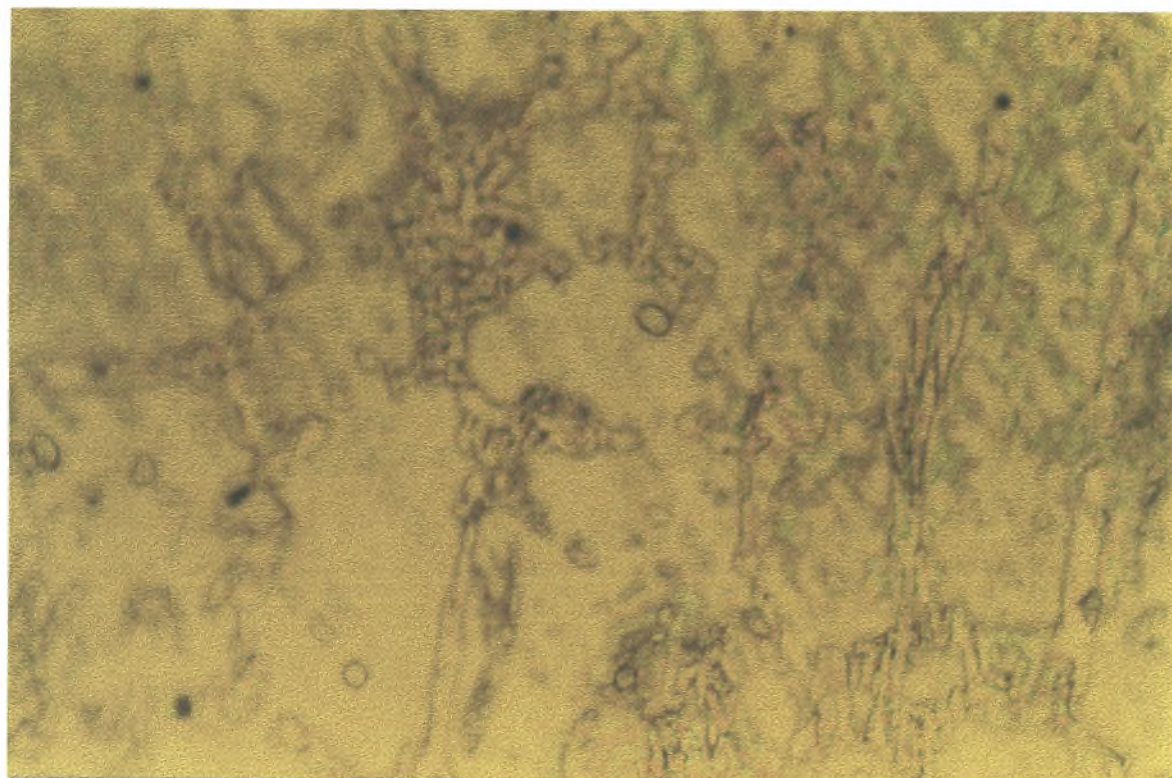


Φώτο 11. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 7.



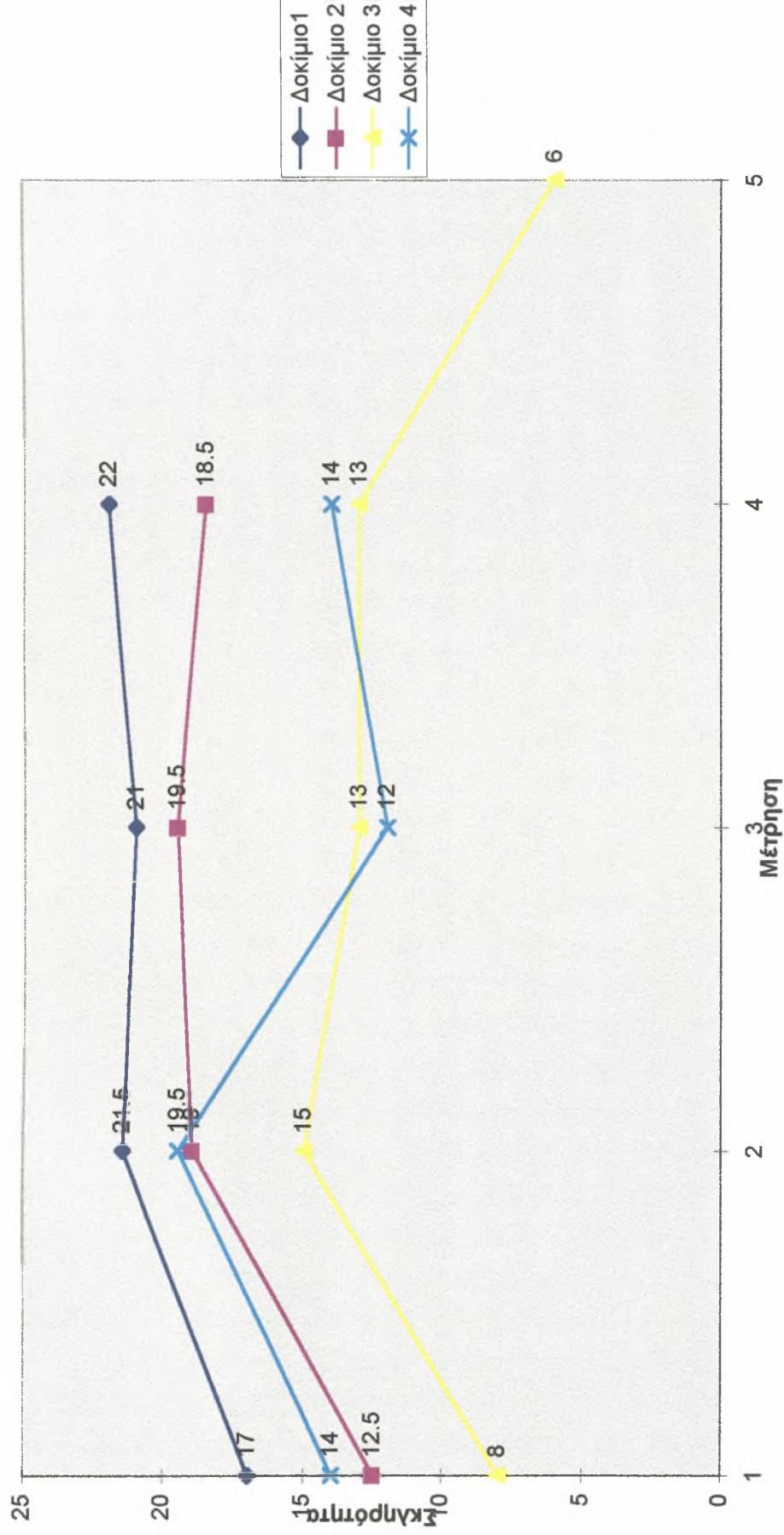
Φώτο 12. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 7.





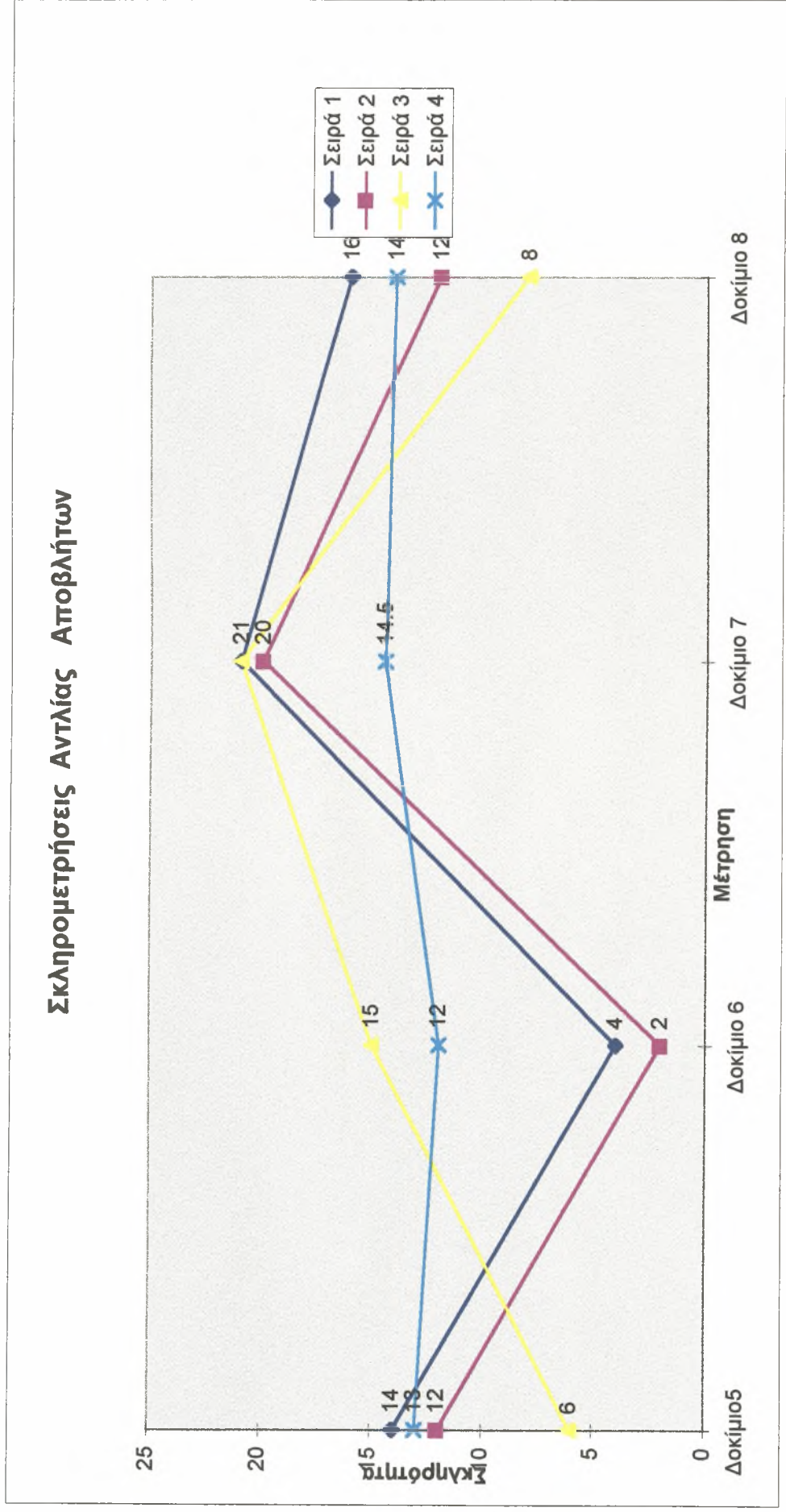
Φώτο 13. (x 500) Δομή του χάλυβα της αντλίας. Δοκίμιο 8.

### Σκληρομετρήσεις Αντλίας Αποβλήτων



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκίμιων 1-4 Αντλίας Αποβλήτων





Διάγραμμα 2. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκίμιων 5-8 Αντλίας Αποβλήτων

## 5.2. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΚΟΥΖΙΝΕΤΟ ΧΑΛΚΟΥ

### 5.2.1. Περιγραφή του προβλήματος

Από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος παραδόθηκαν στο εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για μελέτη αστοχίας ένα τμήμα του κουζινέτου, το οποίο υπέστη θραύση κατά την λειτουργία του. (Φωτ. 1,2)

Από τις ΧΒΒΕ παραδόθηκε το ημικυκλικό τμήμα του κουζινέτου με την επιφάνεια θραύσης.

### 5.2.2. Μεθοδολογία

Για την μελέτη των υλικών του κουζινέτου εφαρμόστηκε η παρακάτω πειραματική διαδικασία :

1. Κοπή δοκιμίων από το κουζινέτο
2. Χημική ανάλυση του υλικού του κουζινέτου
3. Στερεοσκοπική εξέταση της επιφάνειας αστοχίας. Η εξέταση έγινε σε στερεοσκόπιο, χρησιμοποιώντας μεγενθύσεις x6,5 - 40 και προσπίπτοντα φωτισμό
4. Μεταλλογραφική ανάλυση των δοκιμίων. Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε η καθιερωμένη πρακτική προετοιμασίας μεταλλογραφικών δοκιμίων (εγκιβωτισμός, λείανση και στίλβωση). Για την χημική προσβολή του υλικού του κουζινέτου χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο με σύσταση ( 2 gr.  $K_2Cr_2O_7$ , 1 gr. NaF, 3 ml  $H_2SO_4$  και 100 ml  $H_2O$  ) καθώς και το αντιδραστήριο με σύσταση ( 25 ml  $NH_4OH$ , 25 ml  $H_2O_2$ , 25 ml  $H_2O$  ) και έπειτα σε διάλυμα  $FeCl_3$ . Η οπτική παρατήρηση έγινε σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο σε συνθήκες φωτεινού πεδίου και χρησιμοποιώντας μεγενθύσεις x100 - 1000

### 5.2.3. Αποτελέσματα

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα στοιχεία και αποτελέσματα, τα οποία οδηγούν και στο συμπέρασμα για την αστοχία του κουζινέτου. Τα ειδικότερα αποτελέσματα (φωτογραφίες κ.λ.π.) παρουσιάζονται στο παράρτημα 5.2.1.

#### 5.2.3.1 Υλικό της αντλίας

Από την χημική ανάλυση βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του χαλκού στον μπρούντζο ήταν 89.3 % κ.β.

Χημική Σύσταση ( wt % )							
Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	P	S
89.3	8.92	0.73	0.37	0.028	0.29	0.14	0.014

### 5.2.3.2 Σκληρομέτρηση

Από το κουζινέτο πάρθηκαν πέντε δοκίμια στα οποία έγινε η μεταλλογραφική ανάλυση και σε δύο από αυτά σκληρομέτρηση. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής :

	Δοκίμιο1 Εξωτερικό	Δοκίμιο 2 Εσωτερικό
	44	66
	49	64
	52	66
	56	62
	55	64
	54	64
	54	62
	55	63
Μ.Ο.	49.5	64.5

Οι μετρήσεις έγιναν σε κλίμακα σκληρότητας HRB με φορτίο 100 kg και οι πρώτες στην εξωτερική επιφάνεια του κουζινέτου ενώ οι δεύτερες στην εσωτερική επιφάνεια του κουζινέτου. Επίσης τα δοκίμια 2, 3, 5 πάρθηκαν ως προς το βάθος ενώ τα δοκίμια 1 και 4 ως προς την εσωτερική επιφάνεια της αστοχίας. Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης φαίνονται στο διάγραμμα 1 του Παραρτήματος 5.2.Ι.

### 5.2.4. Συμπεράσματα

1. Η μελέτη του κουζινέτου έδειξε ότι αυτό έχει παρουσιάσει μια σχισμή κατά την λειτουργία του ( Hot tear ), η οποία ξεκίνησε από το αυλάκι λίπανσης το οποίο έχει υποστεί κι αυτό μια παραμόρφωση και ως προς το πλάτος του και ως προς την συνέχεια του.( Φωτ. 3 - 7 )
2. Η μεταλλογραφική ανάλυση στην δομή του κουζινέτου έδειξε μια μη ομοιογενή δομή λόγω διαφορισμού. ( Φωτ. 8 - 14 )

### 5.2.5. Προτάσεις

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το κουζινέτο πρέπει να υποστεί ομογενοποίηση, ώστε να εξαλειφθεί η ανομοιογένεια της δομής λόγω διαφορισμού και να αποκτήσει ίδιες ιδιότητες σε κάθε σημείο του.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.2.1

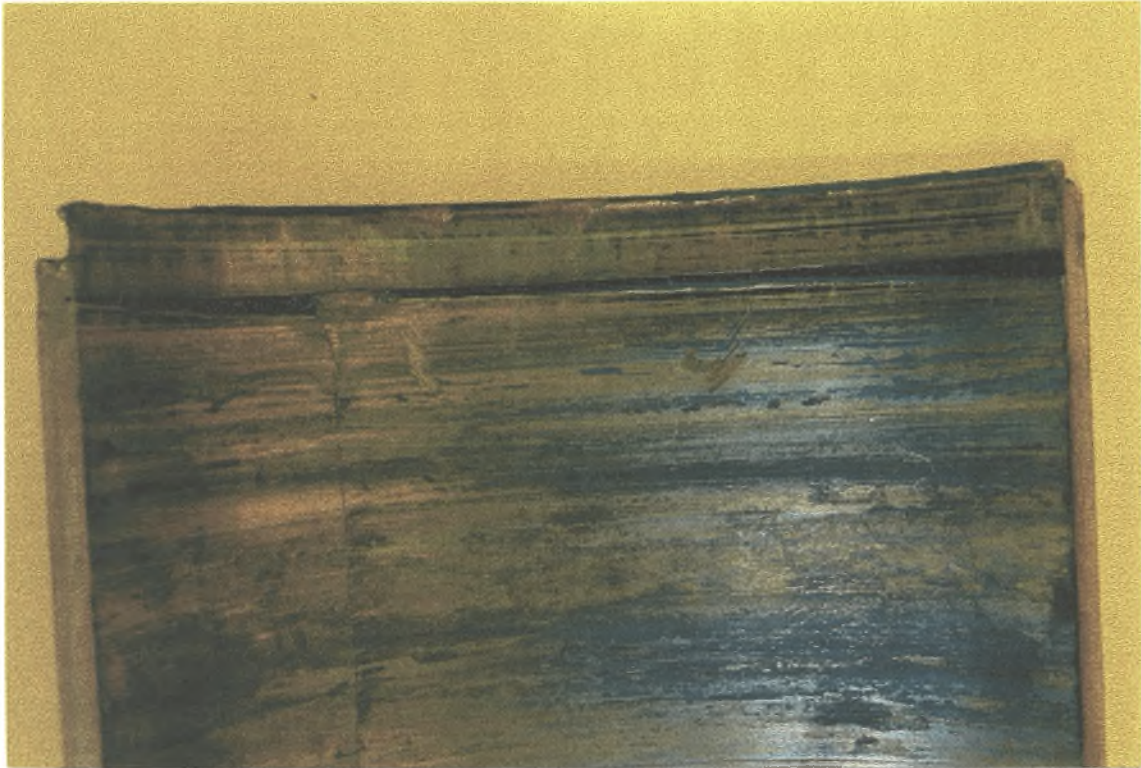
Διάγραμμα

Φωτογραφίες

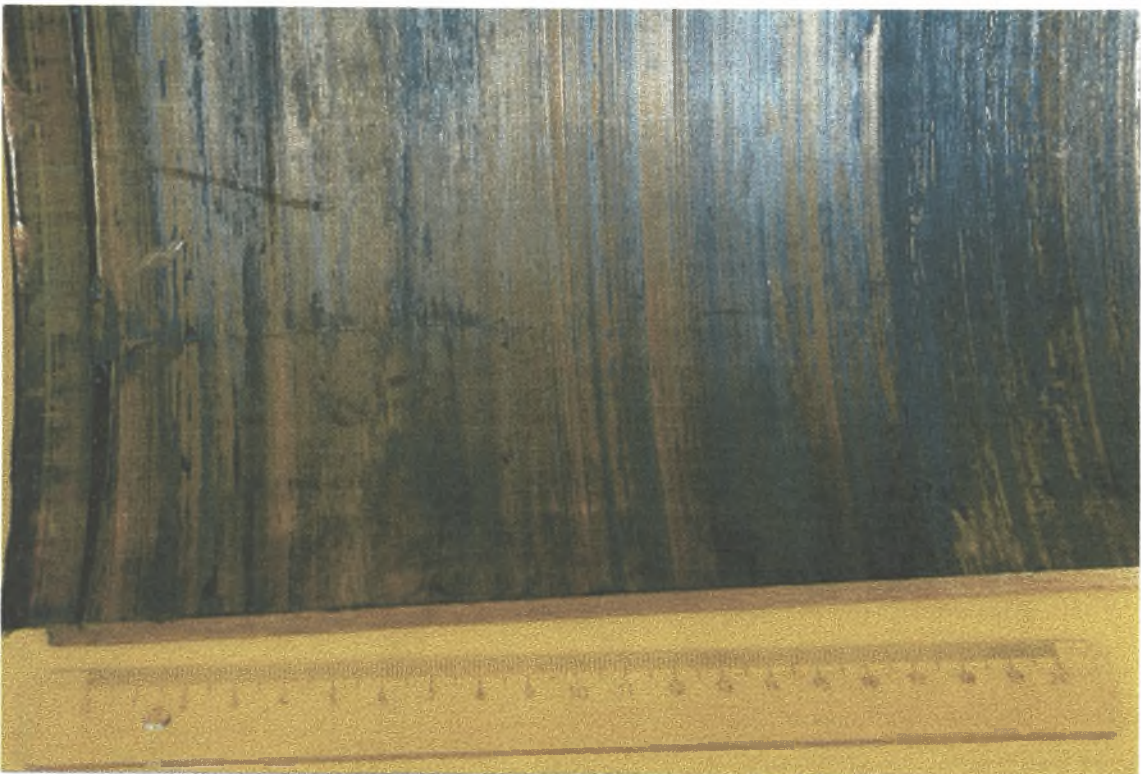
Στερεομικροσκοπία

Μεταλλογραφία





Φώτο 1. Φωτογραφία του κουζινέτου με το αυλάκι λίπανσης και την έναρξη της ρωγμής



Φώτο 2. Φωτογραφία του κουζινέτου και της ρωγμής

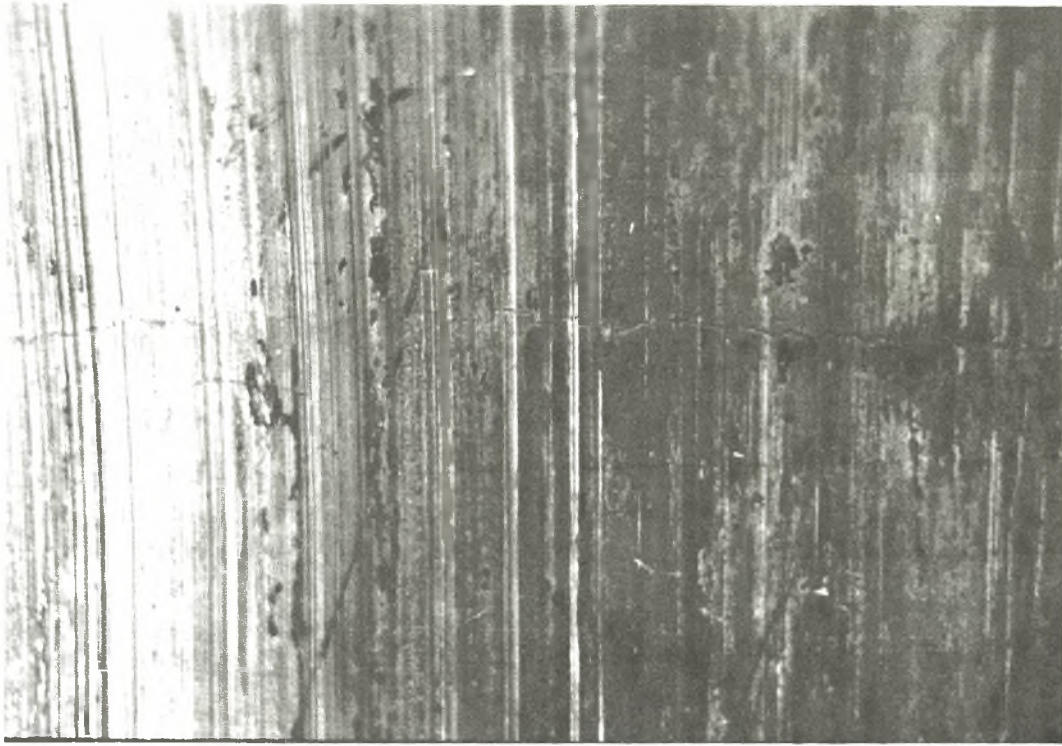




Φώτο 3. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με το αυλάκι λίπανσης και την έναρξη της ρωγμής



Φώτο 4. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την ρωγμή

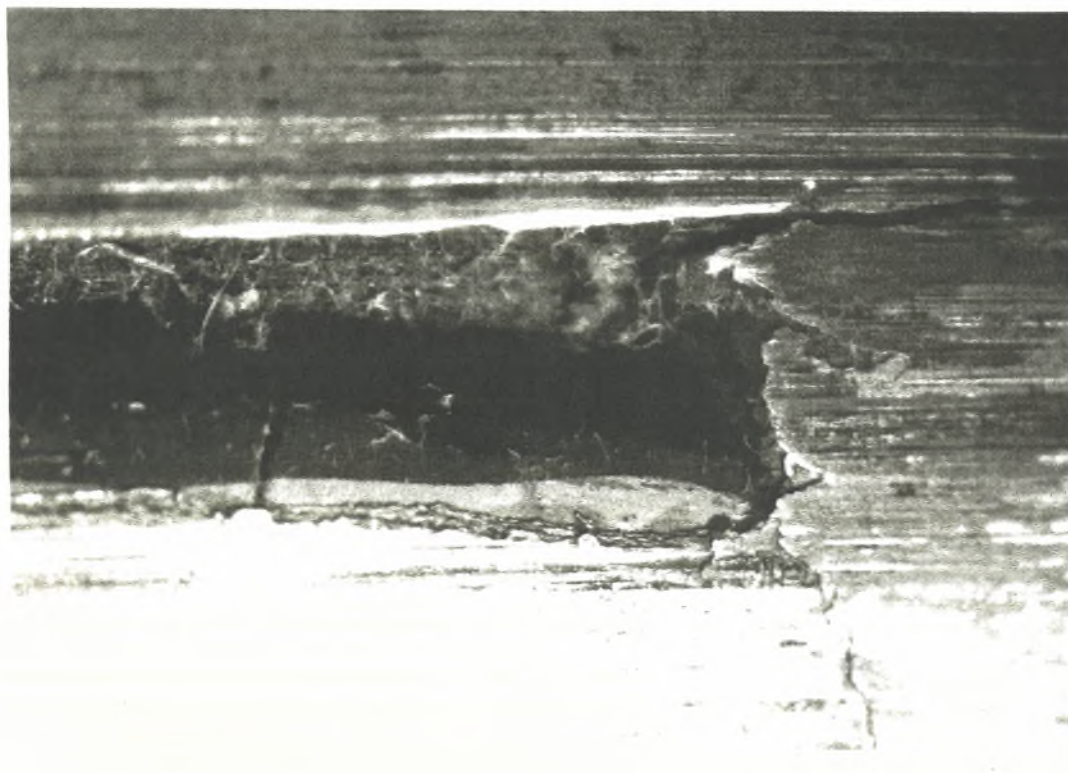


Φώτο 5. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την ρωγμή

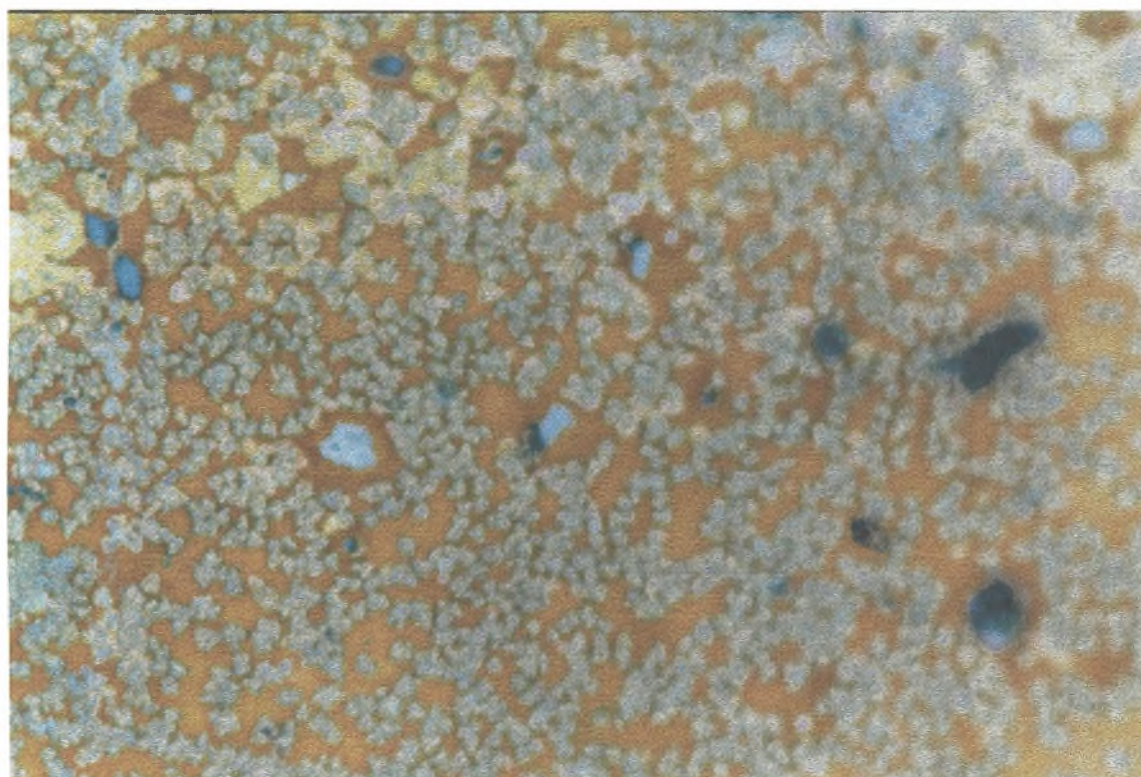


Φώτο 6 . Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την ρωγμή



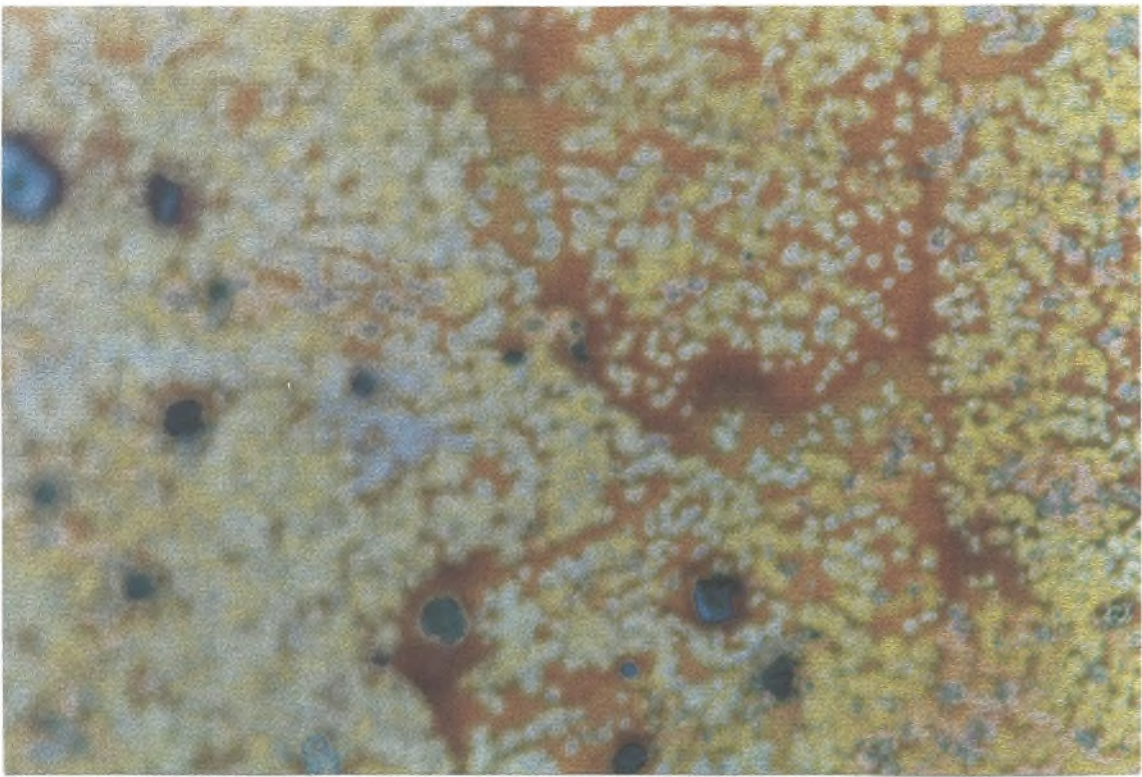


Φώτο 7. Στερεομικροσκοπία του εσωτερικού του κουζινέτου με την έναρξη της ρωγμής

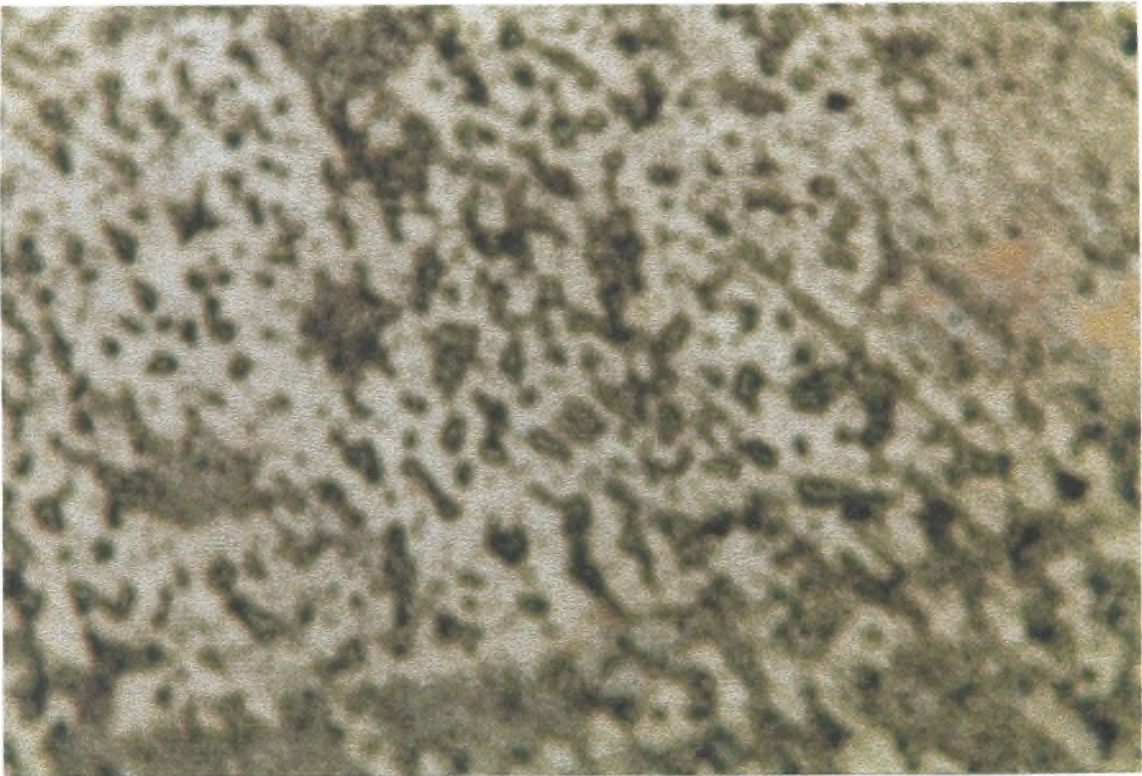


Φώτο 8. (x 500) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 1.



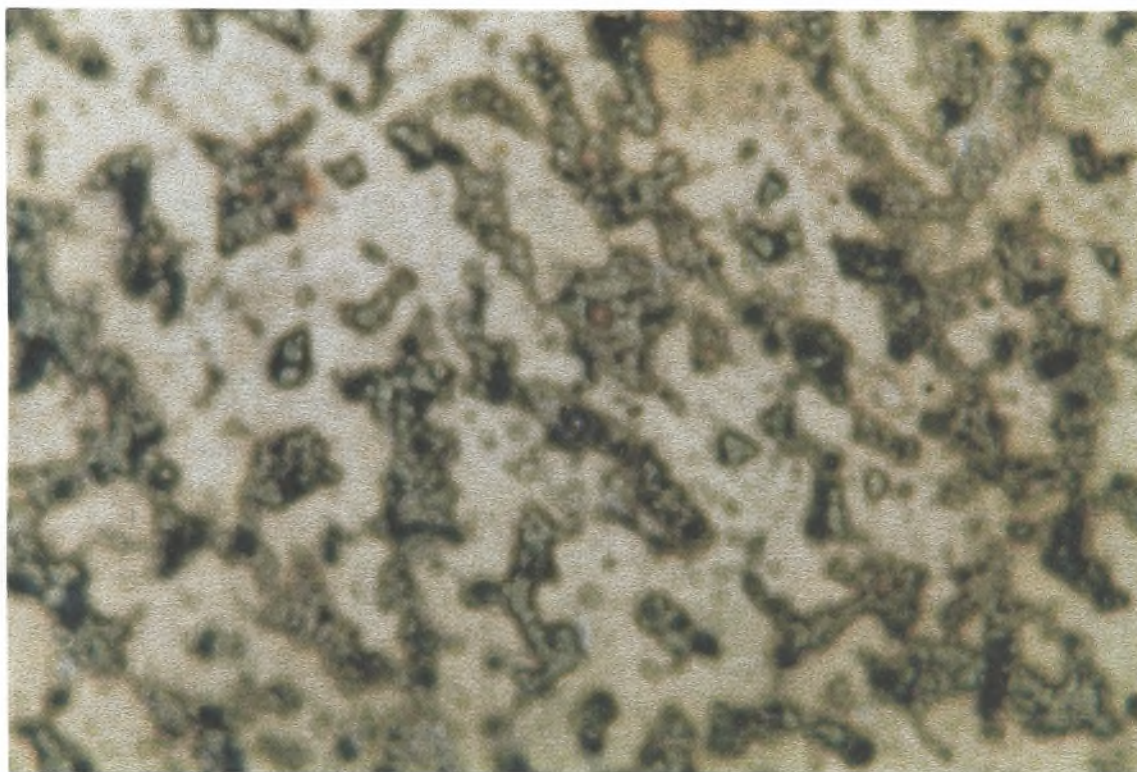


Φώτο 9. (x 500) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 1.

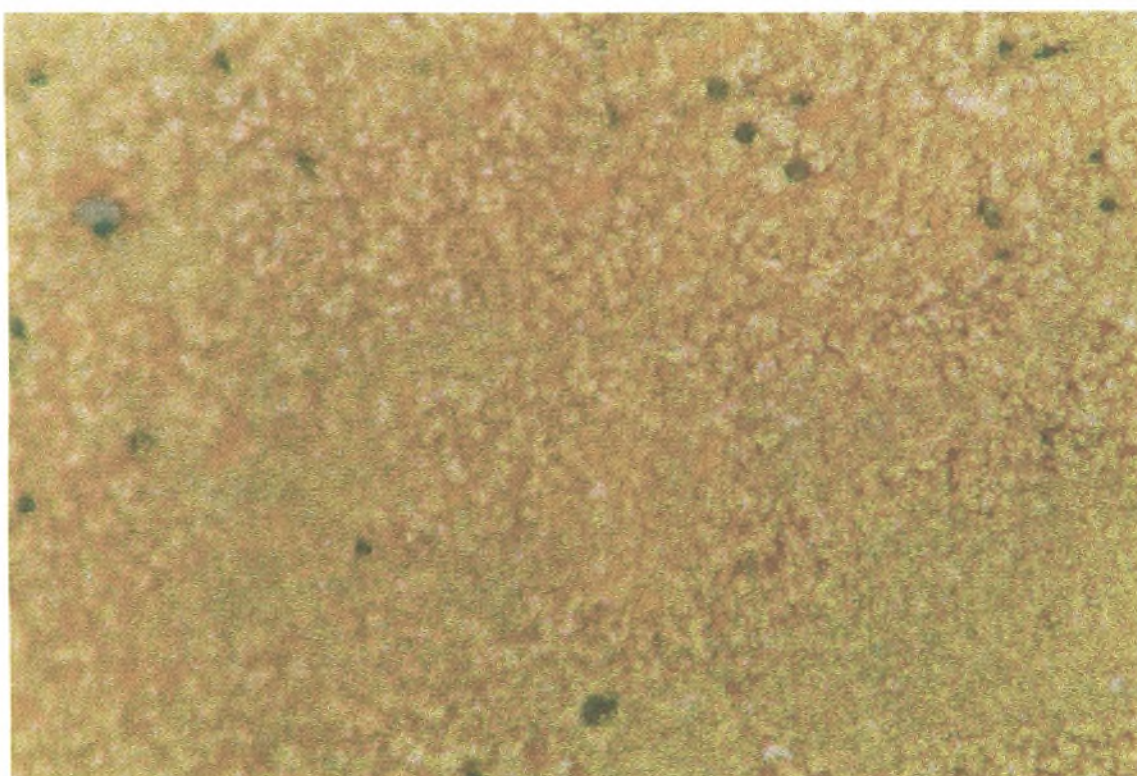


Φώτο 10. (x 100) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 2.



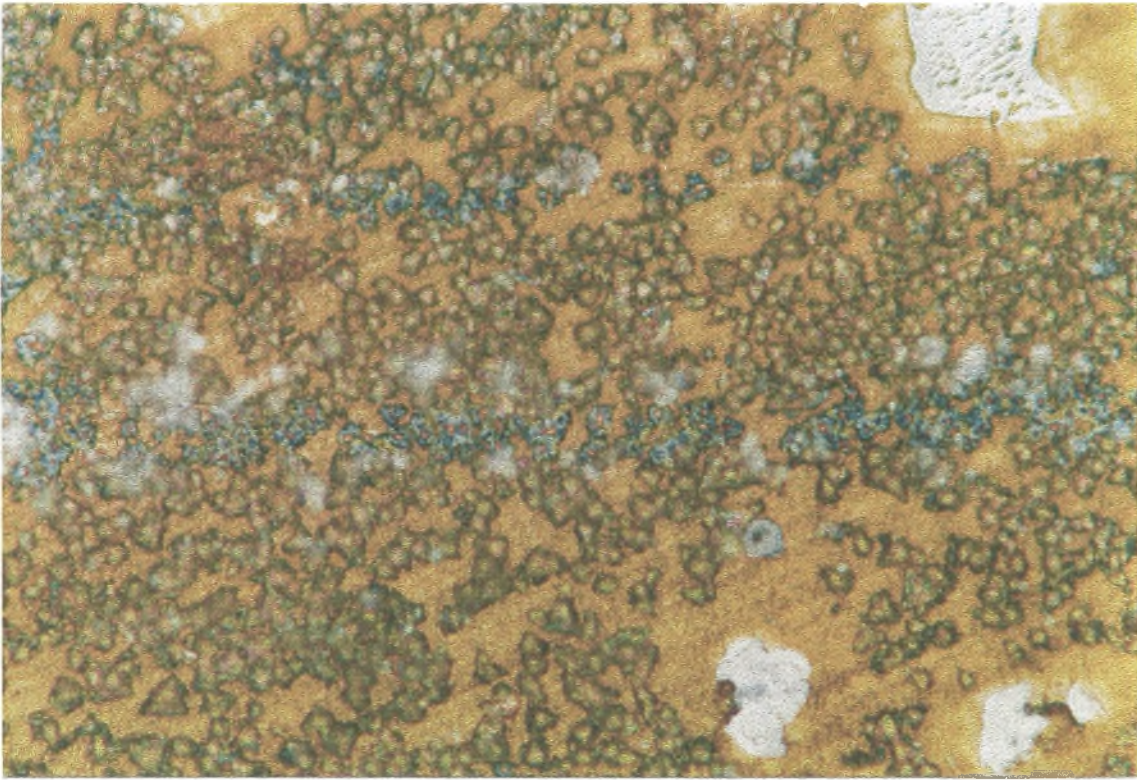


Φώτο 11. (x 200) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 2.

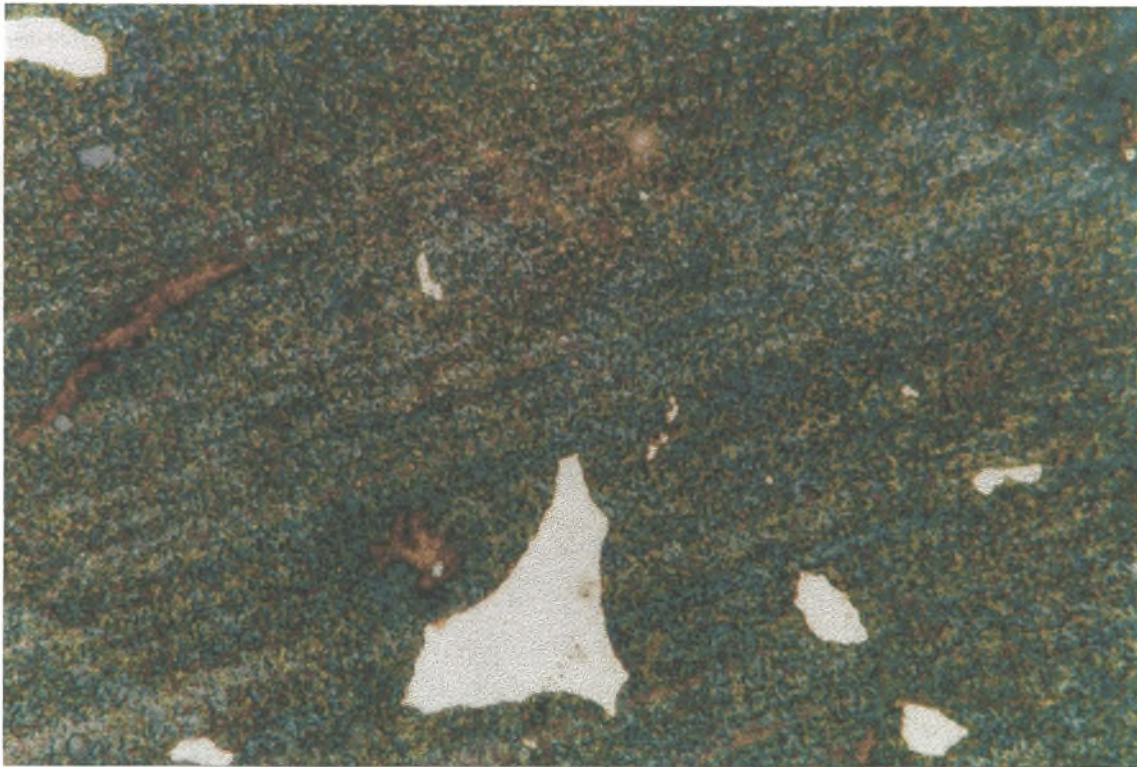


Φώτο 12. (x 1000) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 4.



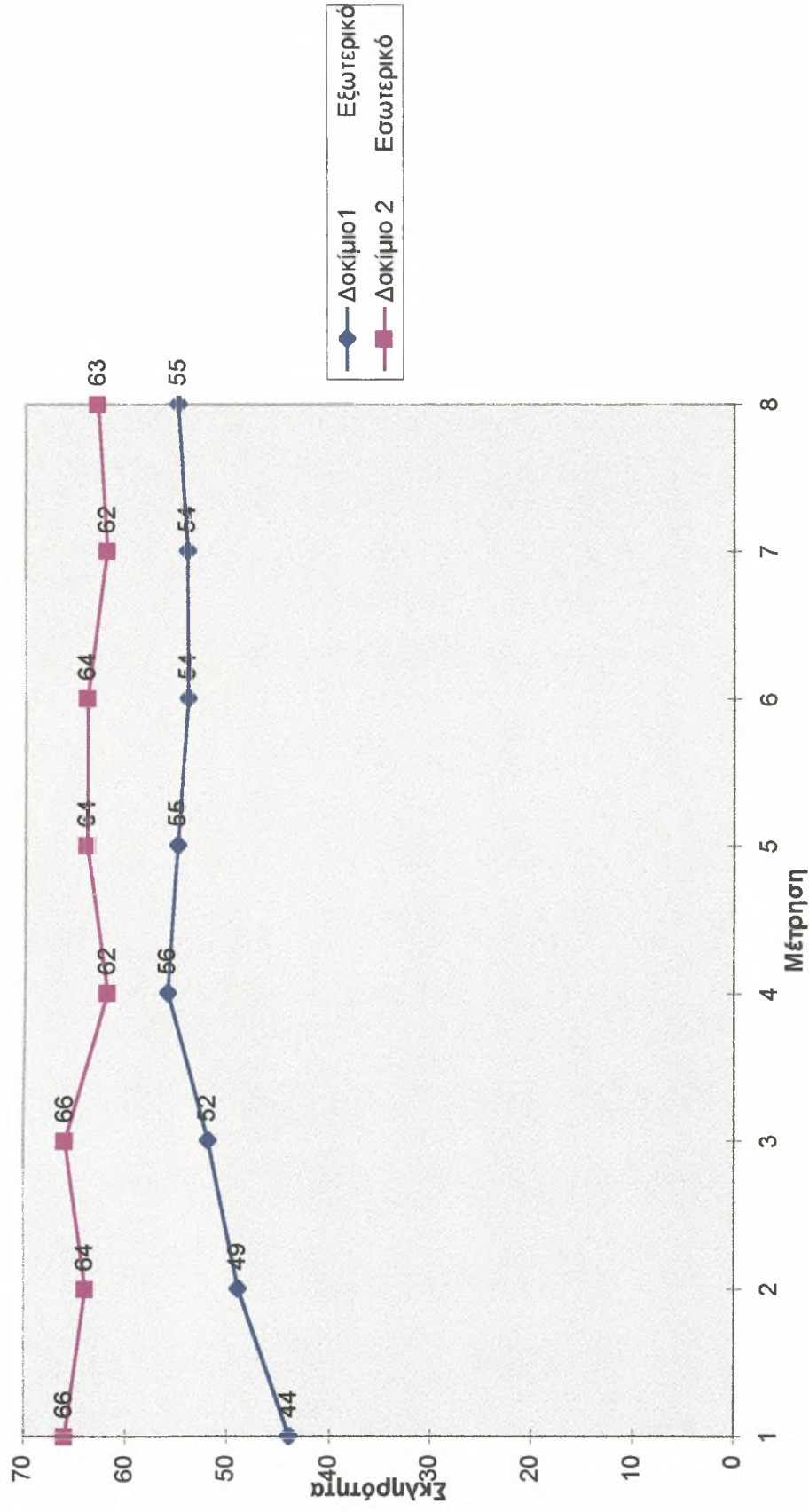


Φώτο 13. (x 1000) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 5.



Φώτο 14. (x 1000) Δομή του κουζινέτου. Δοκίμιο 5.

### Σκληρομετρήσεις Κουζινέτου Χαλλκού



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκίμιων Κουζινέτου Χαλλκού



### 5.3. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

#### 5.3.1. Περιγραφή του προβλήματος

Από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος παραδόθηκαν στο εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για μελέτη αστοχίας ένα τμήμα της συγκόλλησης αγωγού, ο οποίος χρησιμοποιείται για την μεταφορά φωσφορικού οξέος, ο οποίος υπέστη θραύση κατά την λειτουργία του. Ο αγωγός παρουσίασε μια ρωγμή στη ρίζα της συγκόλλησης. ( Φωτ. 1,2 )

#### 5.3.2. Μεθοδολογία

Για την μελέτη της αστοχίας της συγκόλλησης εφαρμόστηκε η παρακάτω πειραματική διαδικασία :

1. Κοπή δοκιμίων από την συγκόλληση και τον αγωγό
2. Χημική ανάλυση του υλικού της συγκόλλησης και του αγωγού
3. Στερεοσκοπική εξέταση της επιφάνειας ρωγμής . Η εξέταση έγινε σε στερεοσκόπιο, χρησιμοποιώντας μεγενθύνσεις x6,5 - 40 και προσπίπτοντα φωτισμό
4. Μεταλλογραφική ανάλυση των δοκιμίων από τις περιοχές της ρωγμής, της συγκόλλησης και του αγωγού. Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε η καθιερωμένη πρακτική προετοιμασίας μεταλλογραφικών δοκιμίων ( εγκιβωτισμός, λείανση και στίλβωση ). Για την χημική προσβολή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Marbel's reagent ( 100ml HCL, 50ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20gr CuSO<sub>4</sub>, 100ml H<sub>2</sub>O ). Η οπτική παρατήρηση έγινε σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο σε συνθήκες φωτεινού πεδίου και χρησιμοποιώντας μεγενθύνσεις x100 - 1000

#### 5.3.3. Αποτελέσματα

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα στοιχεία και αποτελέσματα, τα οποία οδηγούν και στο συμπέρασμα για την αστοχία της συγκόλλησης. Τα ειδικότερα αποτελέσματα ( φωτογραφίες κ.λ.π. ) παρουσιάζονται στο παράρτημα 5.3.I.

##### **5.3.3.1 Υλικό της συγκόλλησης και του αγωγού.**

Από την χημική ανάλυση βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του άνθρακα στον χάλυβα ήταν 0,015 % κ.β. ενώ η μεταλλογραφική εξέταση του άξονα έδειξε ότι έχει μικροδομή ωστενίτη. ( Φωτ. 8- 13 ). Αναλυτικά η χημική σύσταση είναι:

Χημική Σύσταση ( wt % )										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
αγωγός	0.02	0.548	2.658	0.043	0.02	15.65	12.56	1.961	0.069	0.076
συγκολλ.	0.015	0.754	2.232	0.035	0,021	16.65	12.43	2.235	0.072	0.058

Η μικροδομή είναι σύμφωνη και με τα αποτελέσματα από το διάγραμμα Schaeffler ( Παράρτημα Ι , Σχ. 1 ).

Από την χημική σύσταση προκύπτει ότι το υλικό του αγωγού είναι σύμφωνα με την τυποποίηση κατά DIN 1.4448 ή GX6CrNiMo17-13 με σκληρότητα 130- 190 HB και όριο διαρροής  $\sigma_{y 0,2} = 225 \text{ N / mm}^2$  και όριο θραύσης  $\sigma_{TS} = 490 - 740 \text{ N / mm}^2$ .

### 5.3.3.2 Σκληρομέτρηση

Από τον αγωγό και την συγκόλληση πάρθηκαν δύο δοκίμια από κάθε μέρος στα οποία έγινε η μεταλλογραφική ανάλυση και σκληρομέτρηση. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής :

	Αγωγός		Συγκόλληση	
	Δοκίμιο Α	Δοκίμιο Δ	Δοκίμιο Α	Δοκίμιο Δ
	40	44.3	30	54
	38	41	29	53
	55	54	15	48
	57	59		
		54		
Μ.Ο.	48.5	49.15	22.5	51

Σε κλίμακα HRC με φορτίο 150 kg και με κώνο από διαμάντι. Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης φαίνονται στο διάγραμμα 1 του Παραρτήματος 5.3.1.

### 5.3.4. Συμπεράσματα

1. Από την μελέτη της συγκόλλησης παρατηρήθηκε ότι έχει χρησιμοποιηθεί αδικαιολόγητα περίσσεια υλικού και ο αγωγός έχει αστοχήσει στην ρίζα της συγκόλλησης στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη. (Φωτ. 3-7 )
2. Η περίσσεια υλικού της συγκόλλησης δημιούργησε παραμένουσες τάσεις οι οποίες σε συνδυασμό με το διαβρωτικό περιβάλλον από το φωσφορικό οξύ οδήγησε τον αγωγό σε θραύση από εργοδιάβρωση ( stress corrosion cracking ).

### 5.3.5. Προτάσεις

Συνεπώς για την αποφυγή της θραύσης του αγωγού απαιτείται η χρησιμοποίηση λιγότερου υλικού στην συγκόλληση για να αποφευχθεί η δημιουργία παραμένουσων τάσεων που θα οδηγήσουν σε θραύση από εργοδιάβρωση.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.3.1

Φωτογραφίες

Στερεομικροσκοπία

Μεταλλογραφία

Διάγραμμα

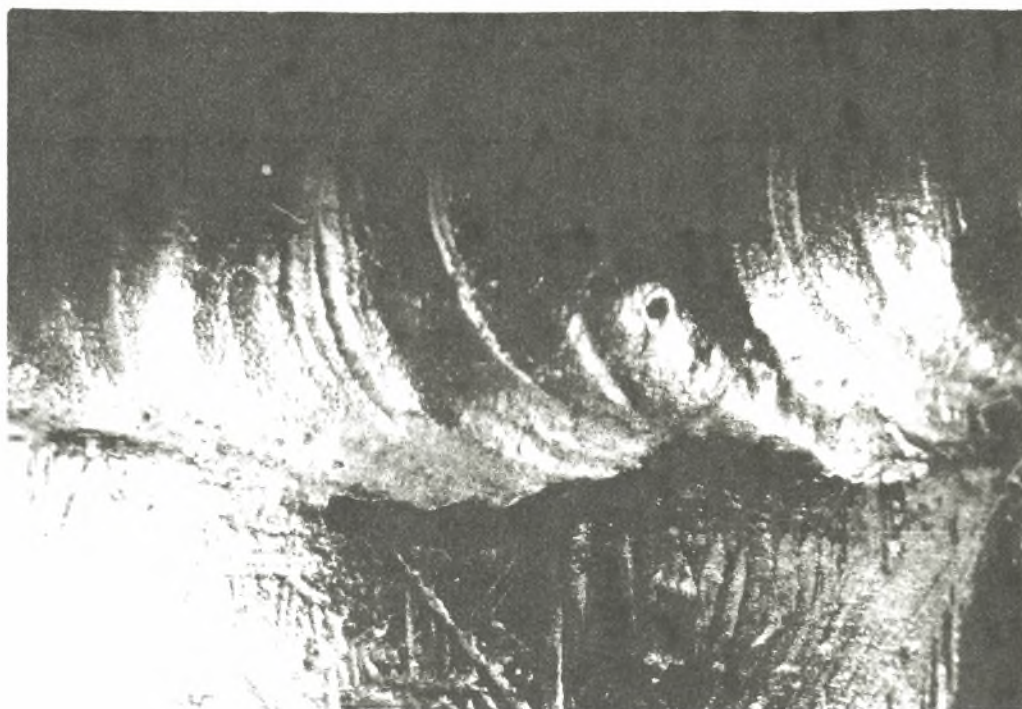


Φώτο 1. Φωτογραφία του αγωγού με την συγκόλληση και την ρωγμή



Φώτο 2. Φωτογραφία του εσωτερικού του αγωγού με την συγκόλληση και την ρωγμή όπου φαίνεται η περίσσεια υλικού

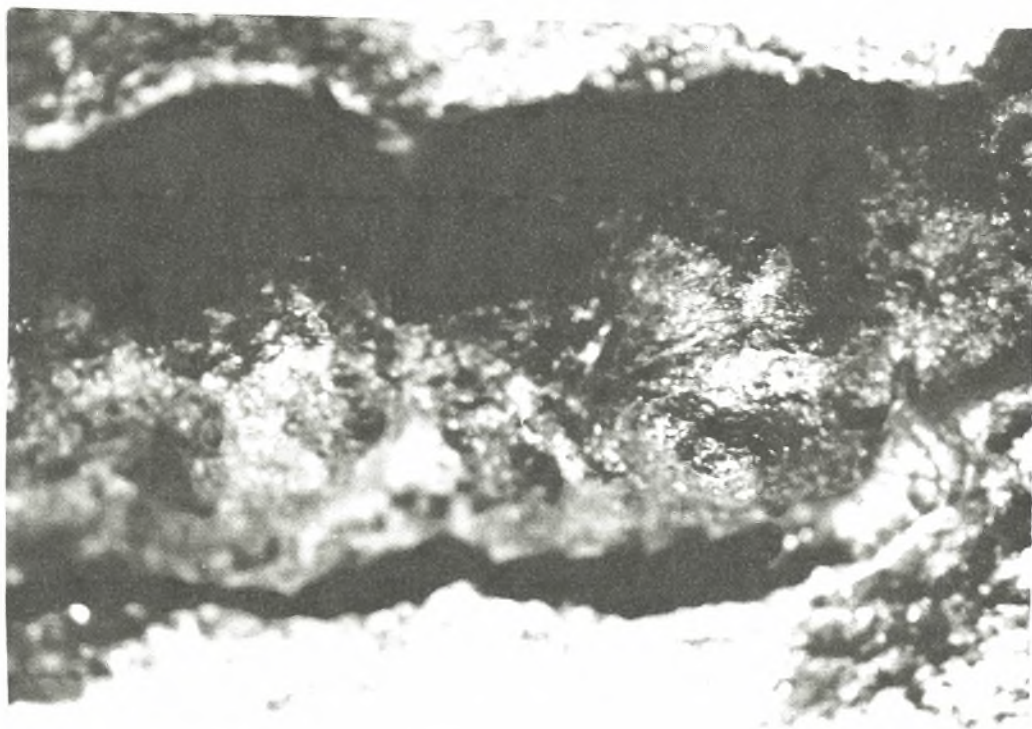




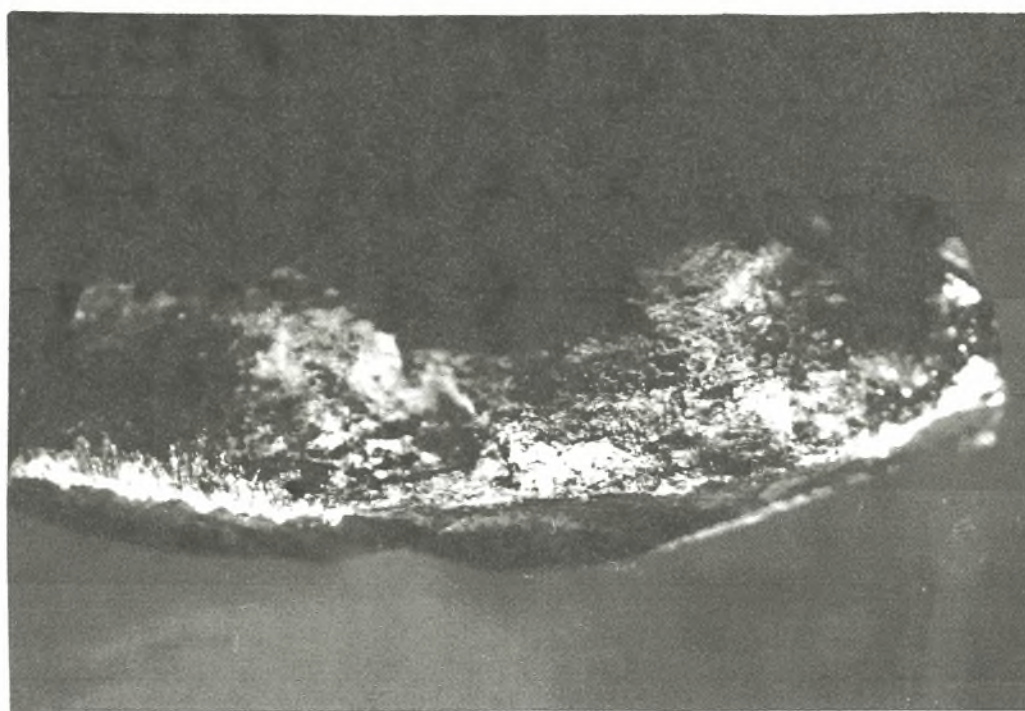
Φώτο 3. (x 6.5) Στερεοσκοπία της εξωτερικής επιφάνειας θραύσης του ρήγματος της συγκόλλησης.



Φώτο 4. (x 10) Στερεοσκοπία της εξωτερικής επιφάνειας θραύσης του ρήγματος της συγκόλλησης.

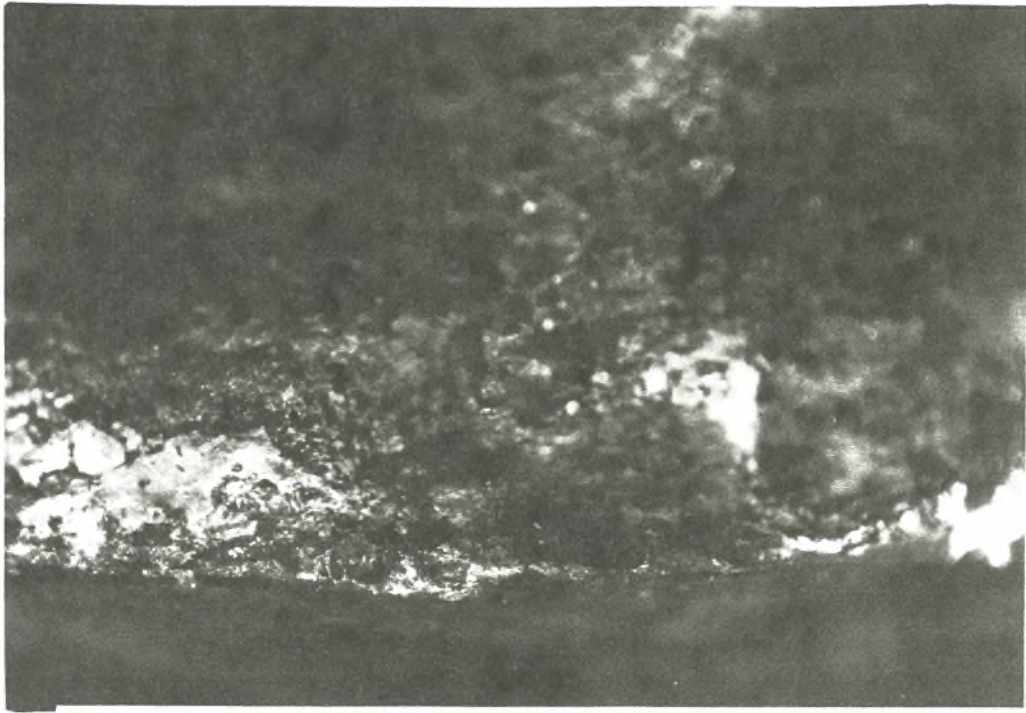


Φώτο 5. (x 6,5) Στερεοσκοπία της εσωτερικής επιφάνειας θραύσης του ρήγματος της συγκόλλησης

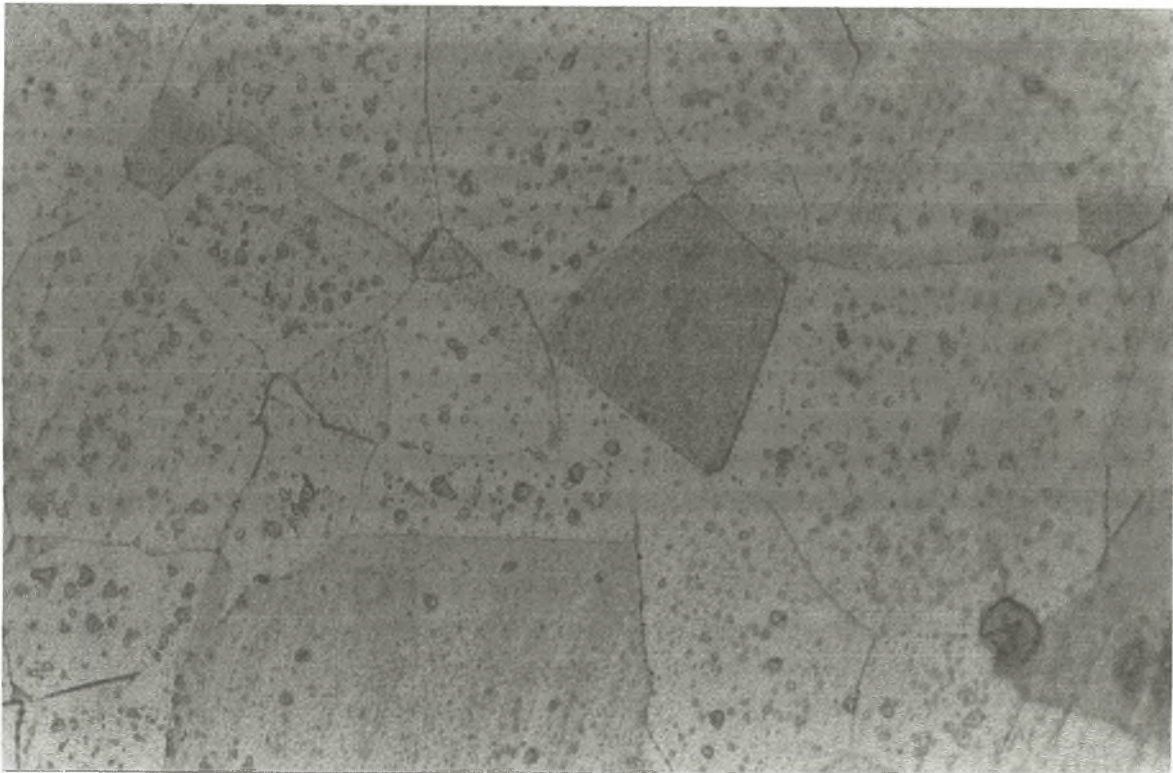


Φώτο 6. (x 6,5) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης της ρωγμής της συγκόλλησης



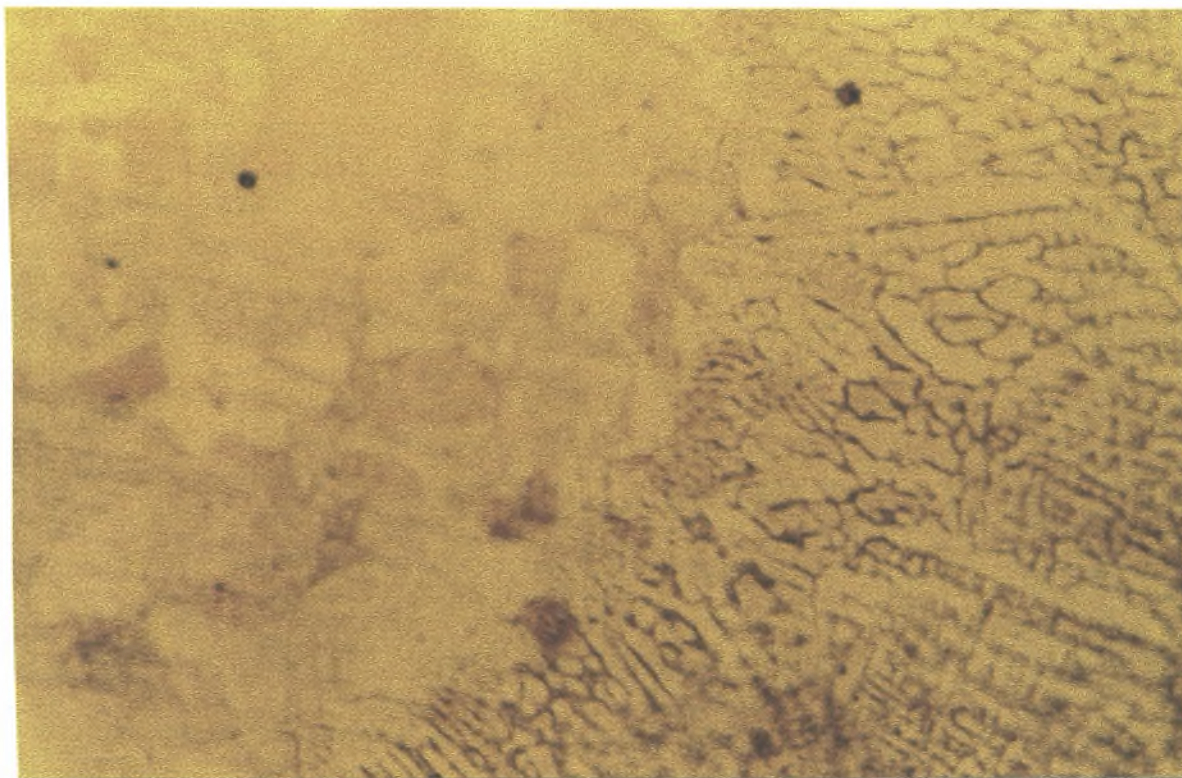


Φώτο 7. (x 16) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης της ρωγμής της συγκόλλησης



Φώτο 8. (x 500) Δομή του χάλυβα του αγωγού.



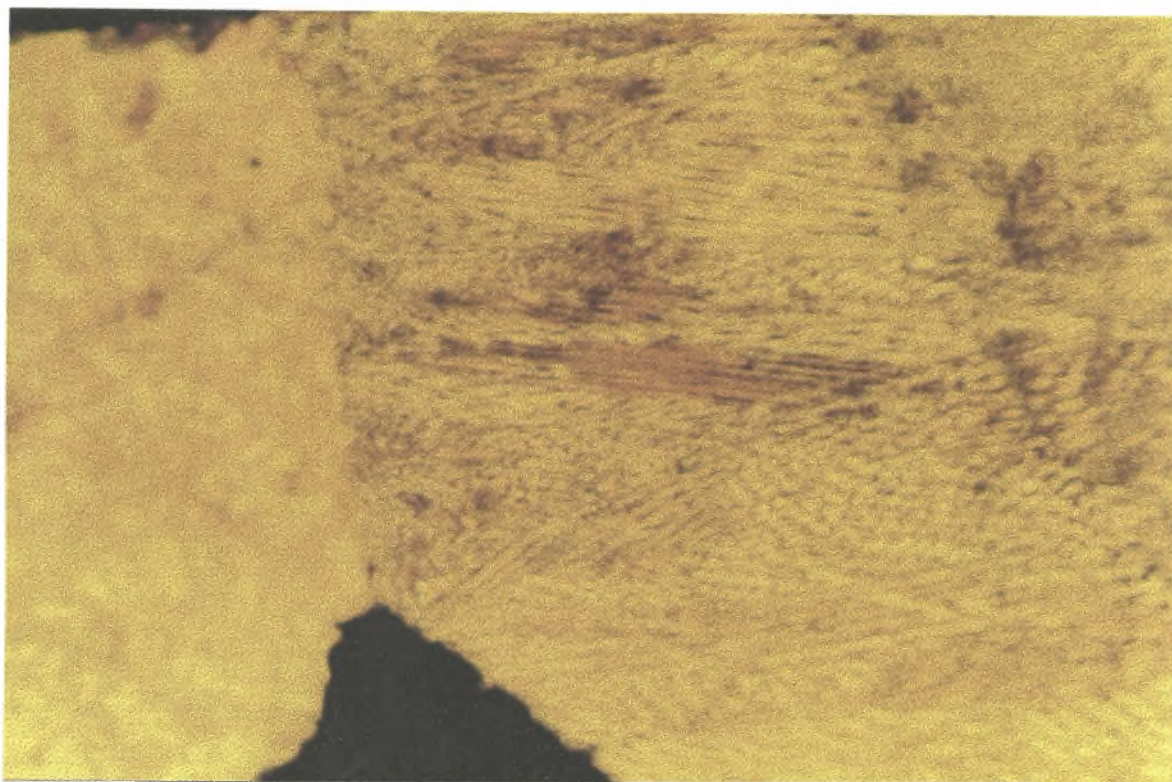


Φώτο 9. (x 100) Δομή του χάλυβα του αγωγού στην διεπιφάνεια συγκόλλησης.

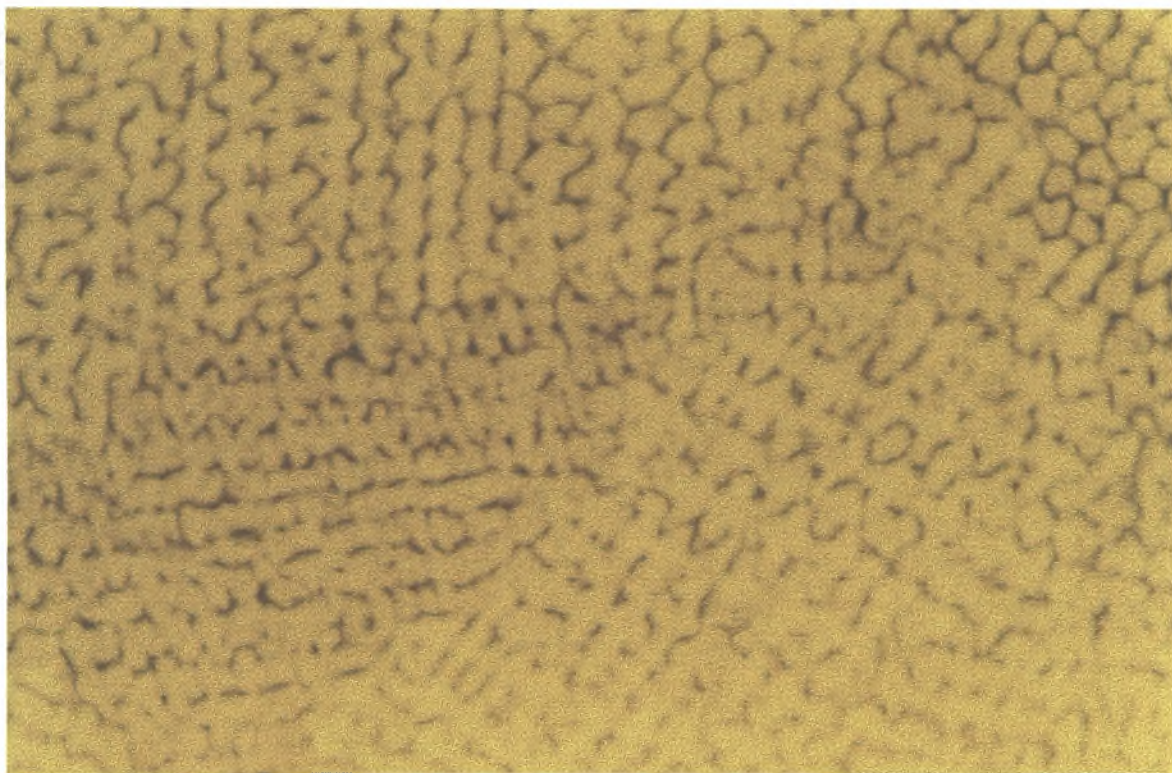


Φώτο 10. (x 100) Δομή του χάλυβα της συγκόλλησης



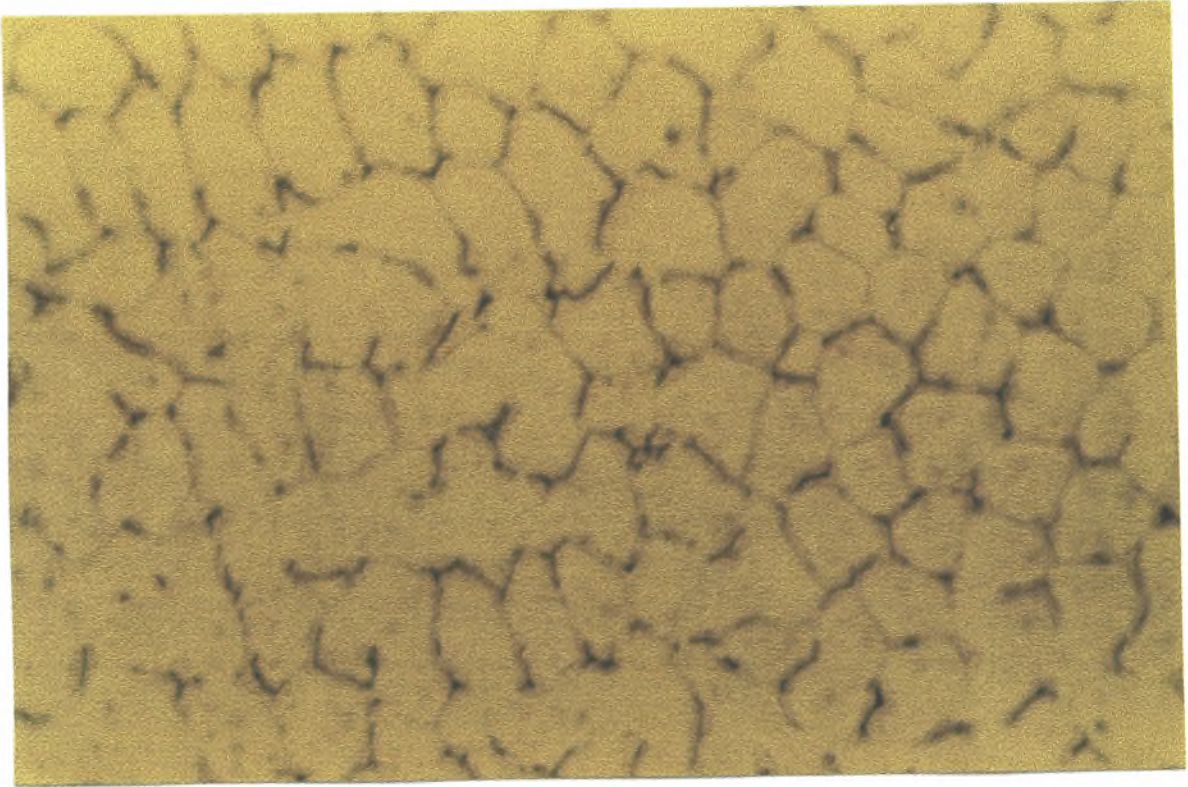


Φώτο 11. (x 50) Δομή του χάλυβα του αγωγού στην διεπιφάνεια της συγκόλλησης



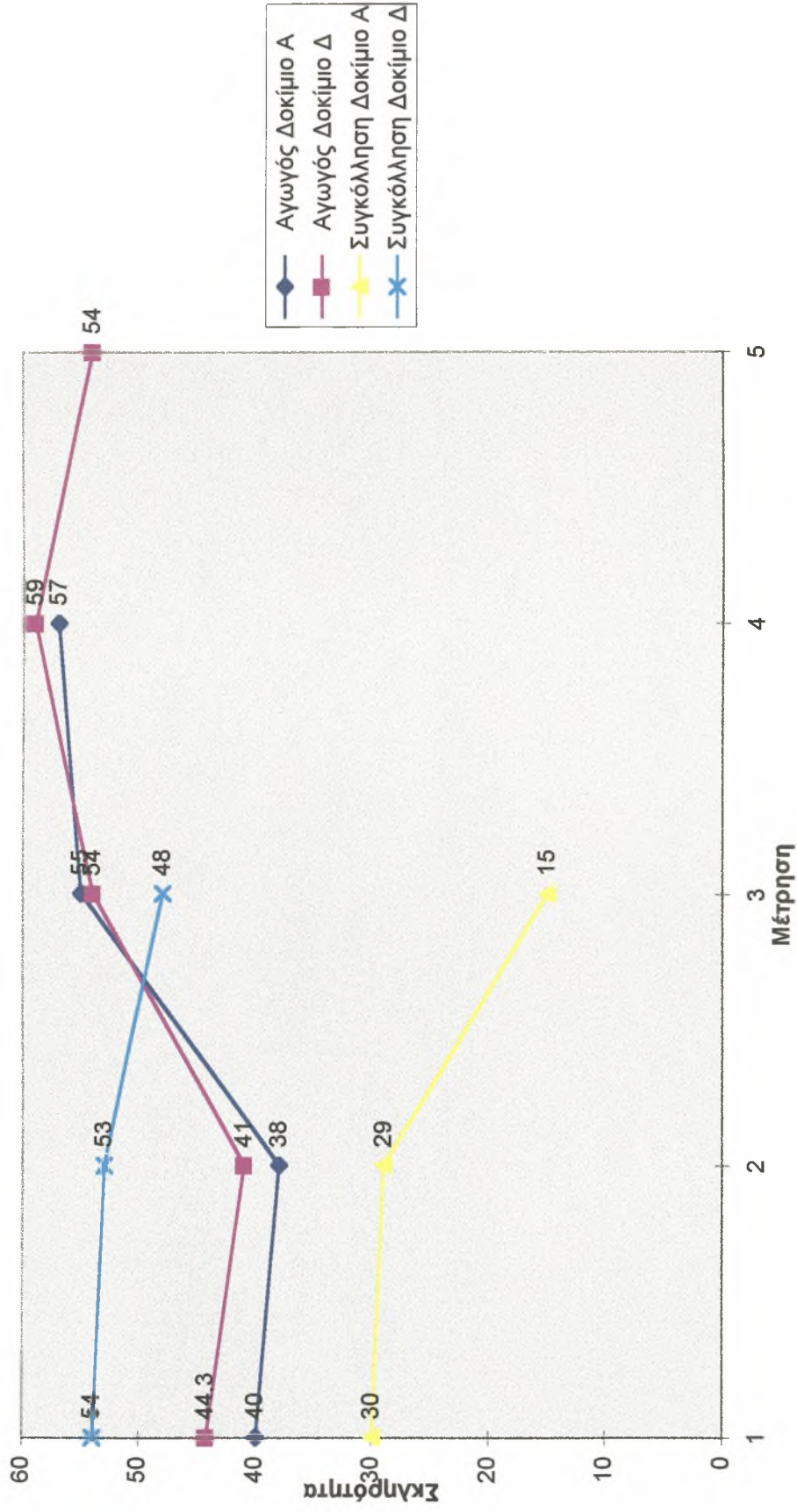
Φώτο 12. (x 200) Δομή του χάλυβα της συγκόλλησης





Φώτο 13. (x 500) Δομή του χάλυβα της συγκόλλησης

### Σκληρομετρήσεις Συγκόλλησης



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Δοκιμίων Συγκόλλησης Αγωγού

## 5.4. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΑΞΟΝΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

### 5.4.1. Περιγραφή του προβλήματος

Από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος παραδόθηκαν στο εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για μελέτη αστοχίας ένας άξονας μετάδοσης κίνησης, ο οποίος υπέστη θραύση κατά την λειτουργία του. Ο άξονας παρουσιάζει τρεις διαβαθμίσεις και στην μια άκρη του έχει σπείρωμα που ακολουθείται αμέσως από σφηναύλακα. Η θραύση συνέβη στην περιοχή του σφηναύλακα αμέσως μετά από το σπείρωμα. ( Φωτ. 1-3 )

### 5.4.2. Μεθοδολογία

Για την μελέτη των υλικών του άξονα εφαρμόστηκε η παρακάτω πειραματική διαδικασία :

1. Κοπή δοκιμίων από τον άξονα
2. Χημική ανάλυση του υλικού του άξονα
3. Στερεοσκοπική εξέταση της επιφάνειας θραύσης. Η εξέταση έγινε σε στερεοσκόπιο, χρησιμοποιώντας μεγενθύσεις x6,5 - 40 και προσπίπτοντα φωτισμό
4. Μεταλλογραφική ανάλυση των δοκιμίων από τις περιοχές της θραύσης. Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε η καθιερωμένη πρακτική προετοιμασίας μεταλλογραφικών δοκιμίων ( εγκιβωτισμός, λείανση και στίλβωση ). Για την χημική προσβολή του υλικού της αντλίας χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Nital 2% ( 2 ml HNO<sub>3</sub>, 98 ml methanol ). Η οπτική παρατήρηση έγινε σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο σε συνθήκες φωτεινού πεδίου και χρησιμοποιώντας μεγενθύσεις x100 - 1000

### 5.4.3. Αποτελέσματα

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα στοιχεία και αποτελέσματα, τα οποία οδηγούν και στο συμπέρασμα για την αστοχία του άξονα. Τα ειδικότερα αποτελέσματα ( φωτογραφίες κ.λ.π. ) παρουσιάζονται στο παράρτημα 5.4.Ι.

#### 5.4.3.1 Υλικό της αντλίας

Από την χημική ανάλυση βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του άνθρακα στον χάλυβα ήταν 0,568 % κ.β. ενώ η μεταλλογραφική εξέταση του άξονα έδειξε ότι έχει μικροδομή περλίτη-φερρίτη. ( Φωτ. 7-12 )

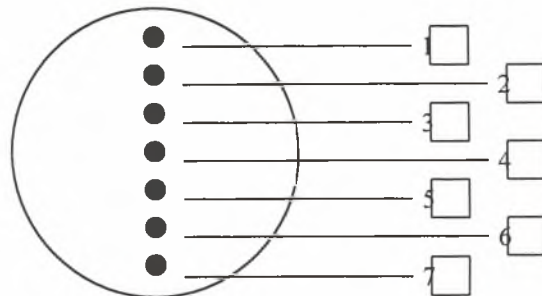
Χημική Σύσταση ( wt % )									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0.568	0.258	0.74	0.018	0.012	0.191	0.103	0.022	0.002	0.05



Από την χημική σύσταση προκύπτει ότι το υλικό του άξονα είναι σύμφωνα με την τυποποίηση κατά DIN 1.0601 ή C60, με σκληρότητα 670 HV και όριο διαρροής  $\sigma_{y0,2} = 520 \text{ N/mm}^2$  και όριο θραύσης  $\sigma_{TS} = 800 - 950 \text{ N/mm}^2$ .

### 5.4.3.2 Σκληρομέτρηση

Από την αντλία πάρθηκαν τρία δοκίμια στα οποία έγινε η μεταλλογραφική ανάλυση και σε μια διατομή του άξονα σκληρομέτρηση. Οι μετρήσεις έγιναν σε επτά σημεία στην διάμετρο του άξονα όπου σε κάθε σημείο έγιναν οριζόντιες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:



Μέτρηση								Μ.Ο.
1			21	21	21			21
2		22	22	20	21	18		20
3		20	19.5	21	21	20		20
4	20	21	17	19	19	17	16	18
5		21	20.5	20.5	20	20		20.5
6		20	21	20.5	21	20		20
7			21	22	21			21
M.O.								21

Οι μετρήσεις έγιναν σε κλίμακα σκληρότητας HRC με φορτίο 150 kg. Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης φαίνονται στο διάγραμμα 1 του Παραρτήματος 5.4.I.

### 5.4.3.3 Φόρτιση άξονα

Η φόρτιση του άξονα στην διατομή της θραύσης είναι Κόπωση Περιστροφικής Κάμψης (Rotary-Bending Fatigue). Αυτό σημαίνει ότι άξονας υποβάλλεται στην δυσμενή περίπτωση κόπωσης Εφελκυσμού - Θλίψης, με κάθε σημείο της περιφέρειας του άξονα να υποβάλλεται πρώτα σε εφελκυστικές κι ύστερα σε θλιπτικές τάσεις κατά μια περιστροφή του άξονα.

#### 5.4.3.4 Αρχή του ρήγματος

Κατά την κόπωση περιστροφικής κάμψης, το ρήγμα ξεκινάει πάντα από την επιφάνεια και μάλιστα από ένα σημείο με σημαντική συγκέντρωση τάσεων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση του άξονα, το ρήγμα ξεκίνησε από την άκρη του σφηναύλακα και διαδόθηκε στην υπόλοιπη διατομή. Η αρχή του ρήγματος επιβεβαιώθηκε με στερεομικροσκοπία. (Φωτ. 4-6)

#### 5.4.3.5 Επιφάνειες Θραύσης

Από την παρατήρηση των επιφανειών θραύσης επιβεβαιώνεται ο μηχανισμός κόπωσης από περιστροφική κάμψη. Μακροσκοπικές κυματώσεις κόπωσης περιβάλλουν ομόκεντρα την θέση πυρήνωσης του ρήγματος.

Οι μακροσκοπικές κυματώσεις είναι χαρακτηριστικές της διάδοσης του ρήγματος με κόπωση και καταλήγουν στην περιοχή της τελικής γρήγορης θραύσης. Η τελική γρήγορη θραύση επέρχεται όταν το ρήγμα κόπωσης αποκτήσει το κρίσιμο μέγεθος, όπως αυτό καθορίζεται από την δυσθραυστότητα του υλικού του άξονα. Το μέγεθος της περιοχής της τελικής θραύσης σε σχέση με την περιοχή κόπωσης είναι μικρό. Αυτό υποδηλώνει υψηλό συντελεστή συγκέντρωσης των τάσεων αλλά και ταυτόχρονα υψηλή μέση τάση λειτουργίας.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων θραύσης από κόπωση περιστροφικής κάμψης, η περιοχή της τελικής θραύσης εμφανίζεται αντιδιαμετρικά από το σημείο αρχής του ρήγματος ή με μια απόκλιση της τάξης των  $15^\circ$  αντίθετα από την φορά περιστροφής του άξονα. Η περαιτέρω απόκλιση της περιοχής τελικής θραύσης αλλά και η ταυτόχρονη απόκλιση των κυματώσεων κόπωσης δηλώνει πιθανώς μια μη επαρκή ευθυγράμμιση του άξονα.

#### 5.4.4. Συμπεράσματα

1. Η θραύση του άξονα οφείλεται σε κόπωση από περιστροφική κάμψη.
2. Η αρχή του ρήγματος έγινε από την άκρη του σφηναύλακα συγκράτησης.
3. Η συγκέντρωση των τάσεων στην περιοχή του σφηναύλακα χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα υψηλή λόγω της γειννίας του με ο σπείρωμα. Επίσης η γεωμετρία του σφηναύλακα δεν είναι βέλτιστη από πλευράς συγκέντρωσης των τάσεων.
4. Η μικρή περιοχή τελικής γρήγορης θραύσης δηλώνει αφ' ενός υψηλή συγκέντρωση τάσεων αλλά και αφ' ετέρου υψηλή μέση τάση λειτουργίας. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε μη ευθυγράμμιση του άξονα.
5. Η απόκλιση της περιοχής της τελικής θραύσης δηλώνει ανεπαρκή ευθυγράμμιση του άξονα.

#### 5.4.5. Προτάσεις

Για την μείωση της συγκέντρωσης των τάσεων προτείνεται η αποφυγή της γειννίας σφηναύλακα με το σπείρωμα και την σωστή ευθυγράμμιση του άξονα. Επίσης κατασκευαστικά ο σφηναύλακας πρέπει να έχει μεγαλύτερο radius.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.4.Ι

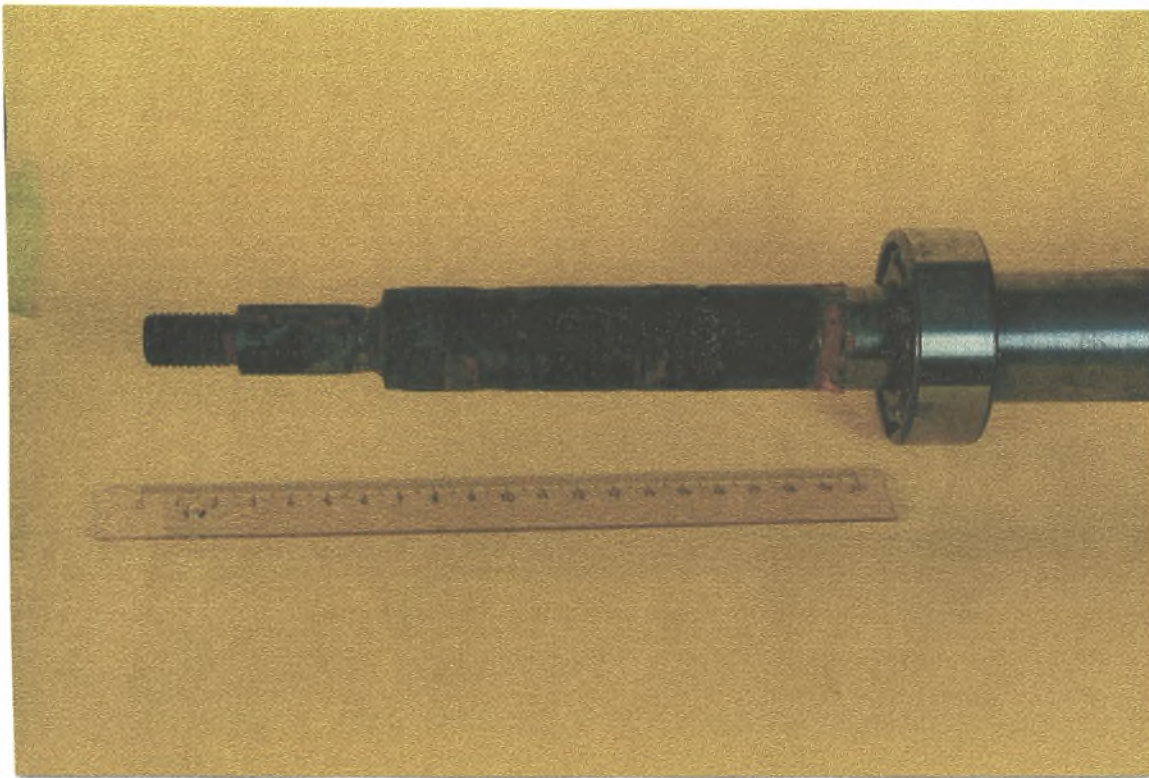
Φωτογραφίες

Στερεομικροσκοπία

Μεταλλογραφία

Διάγραμμα





Φώτο 1 . Φωτογραφία του άξονα μετάδοσης κίνησης με τις διαβαθμίσεις

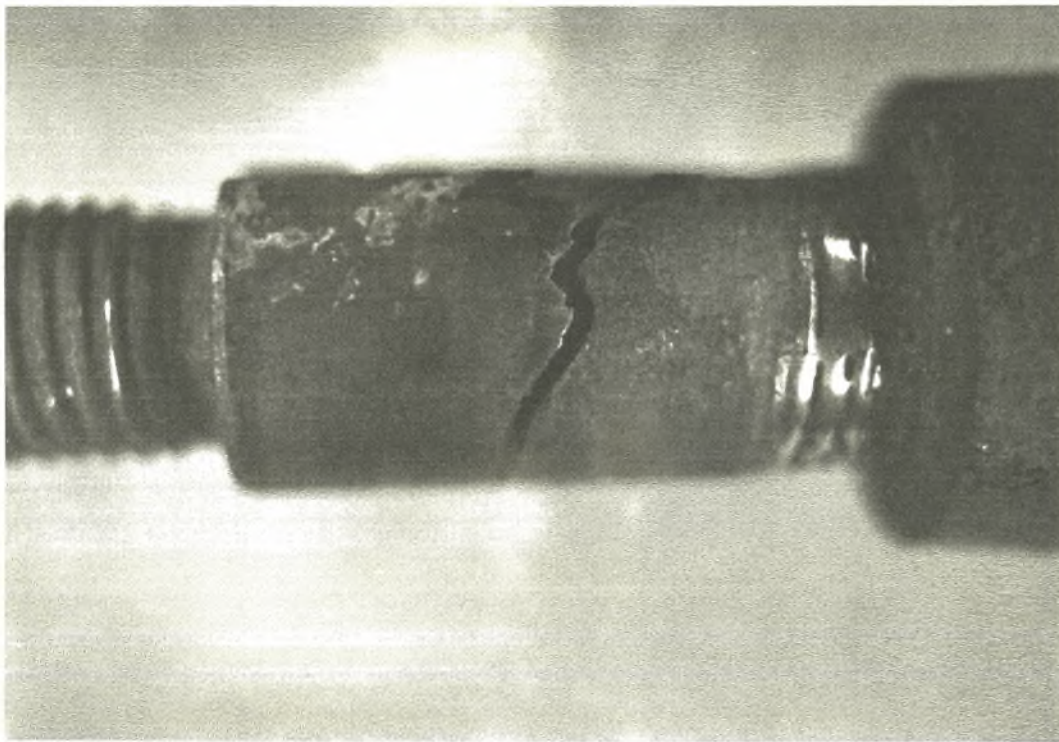


Φώτο 2. Φωτογραφία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή στον σφηναύλακα





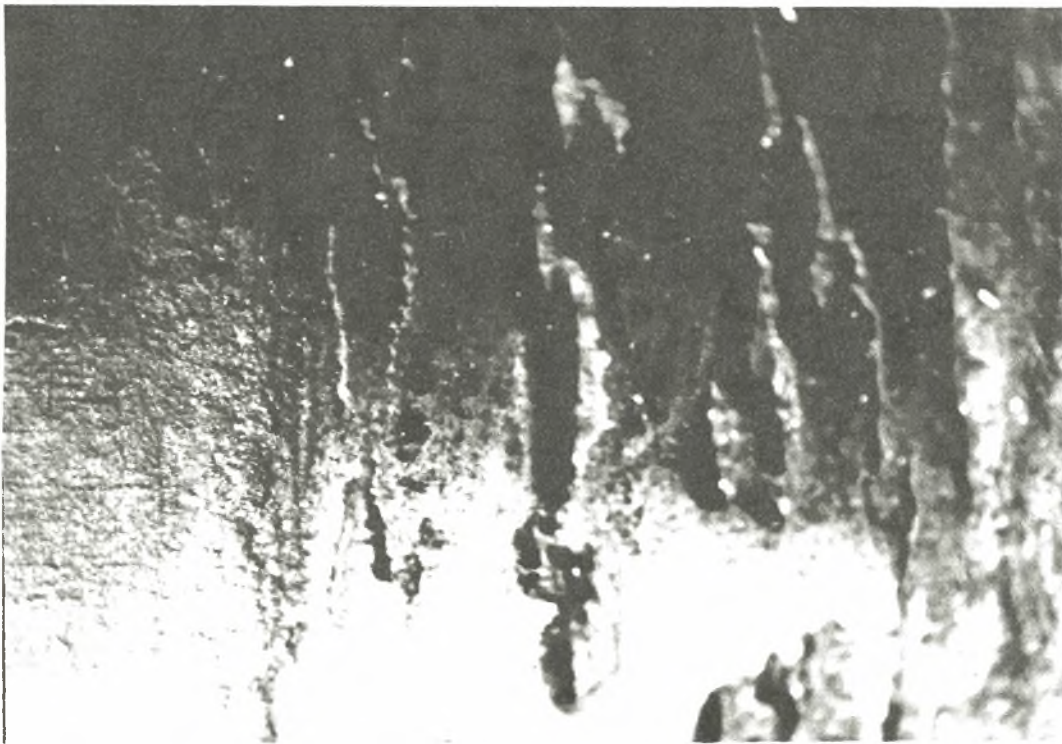
Φώτο 3. Φωτογραφία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή



Φώτο 4. Στερεομικροσκοπία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή



Φώτο 5. Στερεομικροσκοπία του άξονα μετάδοσης κίνησης με την περιφερειακή ρωγμή



Φώτο 6. Στερεομικροσκοπία του άξονα μετάδοσης κίνησης με τις εγκοπές στην διαβάθμιση





Φώτο 7. (x 200 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 1.



Φώτο 8. (x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 1.





Φώτο 9. (x 200 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 2.



Φώτο 10. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 2.





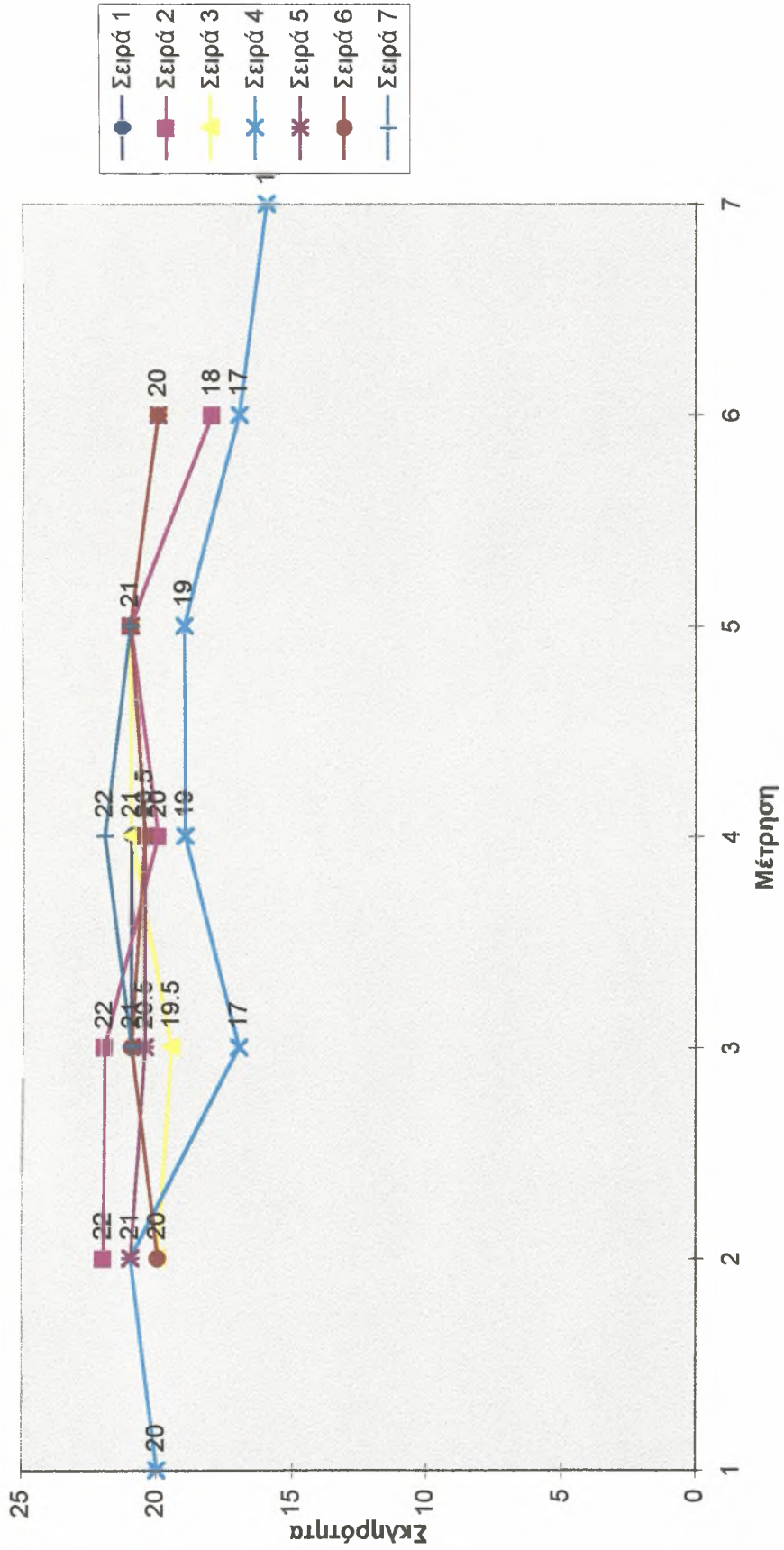
Φώτο 11. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 3.



Φώτο 12. (x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα μετάδοσης κίνησης . Δοκίμιο 3.



### Σκληρομετρήσεις Άξονα Μετάδοσης Κίνησης



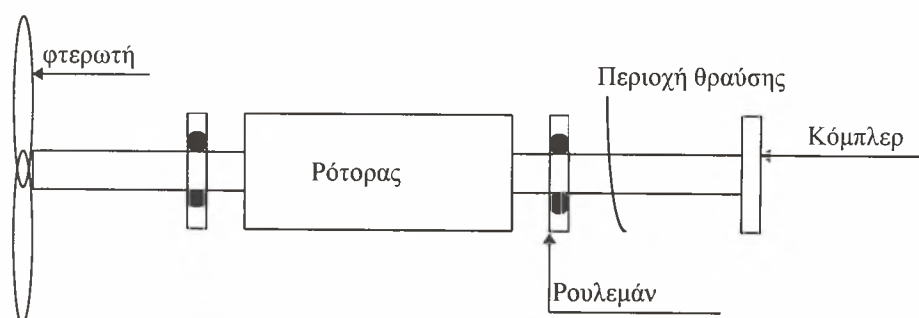
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Άξονα Μετάδοσης Κίνησης

## 5.5. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΑΞΟΝΑ ΑΝΑΜΙΚΤΗ PDC

### 5.5.1. Περιγραφή του προβλήματος

Από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος παραδόθηκαν στο εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για μελέτη αστοχίας ένα τμήμα του άξονα ο οποίος φέρει πτερώγια για την ανάμιξη του PDC, που υπέστη θραύση κατά την λειτουργία του. Ο άξονας ήταν συνδεδεμένος με κόμπλερ με κινητήρα 25 Hp, ο οποίος περιστρεφόταν με 1450 rpm. Σχεδιάγραμμα του άξονα με την περιοχή θραύσης, στην οποία υπάρχει σφηναύλακας, φαίνεται στο σχήμα 9.1.

Από τις XBBE παραδόθηκε το τμήμα του άξονα με την επιφάνεια θραύσης.



Σχήμα 9.1. Σχεδιάγραμμα του άξονα με την περιοχή θραύσης.

### 5.5.2. Μεθοδολογία

Για την μελέτη των υλικών του άξονα εφαρμόστηκε η παρακάτω πειραματική διαδικασία :

1. Κοπή δοκιμίων από τον άξονα
2. Χημική ανάλυση του υλικού του άξονα
3. Στερεοσκοπική εξέταση της επιφάνειας θραύσης. Η εξέταση έγινε σε στερεοσκόπιο, χρησιμοποιώντας μεγεθύνσεις x6,5 - 40 και προσπίπτοντα φωτισμό
4. Μεταλλογραφική ανάλυση των δοκιμίων από τις περιοχές της θραύσης. Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε η καθιερωμένη πρακτική προετοιμασίας μεταλλογραφικών δοκιμίων (εγκιβωτισμός, λείανση και στίλβωση). Για την χημική προσβολή του υλικού της αντλίας χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Nital 2% (2 ml HNO<sub>3</sub>, 98 ml methanol). Η οπτική παρατήρηση έγινε σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο σε συνθήκες φωτεινού πεδίου και χρησιμοποιώντας μεγεθύνσεις x100 - 1000

### 5.5.3. Αποτελέσματα

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα στοιχεία και αποτελέσματα, τα οποία οδηγούν και στο συμπέρασμα για την αστοχία της αντλίας. Τα ειδικότερα αποτελέσματα (φωτογραφίες κ.λ.π.) παρουσιάζονται στο παράρτημα 5.5.Ι.

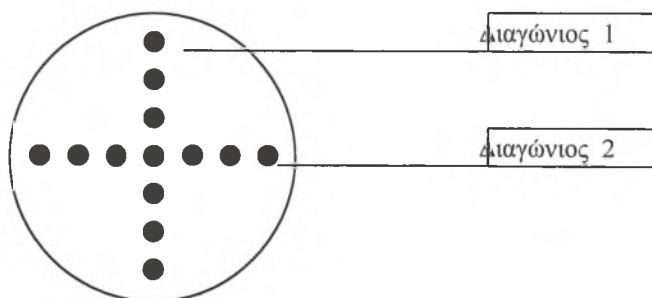
#### 5.5.3.1 Υλικό της αντλίας

Από την χημική ανάλυση βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του άνθρακα στον χάλυβα ήταν 0,397 % κ.β. ενώ η μεταλλογραφική εξέταση του άξονα έδειξε ότι έχει μικροδομή περλίτη - φερρίτη. (Φωτ. 6-10)

Χημική Σύσταση (wt %)									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0.397	0.227	0.73	0.014	0.033	0.171	0.06	0.006	0.001	0.05

#### 5.5.3.2 Σκληρομέτρηση

Από τον άξονα πάρθηκαν οκτώ δοκίμια στα οποία έγινε η μεταλλογραφική ανάλυση και σκληρομέτρηση. Οι σκληρομετρήσεις έγιναν σε τομή σύμφωνα με το σχήμα 9.2 και για δύο διαγώνιους (αρχίζοντας από την επιφάνεια) για τα δύο δοκίμια σε κλίμακα HRB και χρησιμοποιήθηκε βάρος 100 kg.



Σχ. 9.2 Σχηματική απεικόνιση των σκληρομετρήσεων



Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα :

Μέτρηση	ΑΞΟΝΑΣ	
	Διαγώνιο 1	Διαγώνιο 2
1	93	83
2	88	84,5
3	83	85
4	88	88
5	86	93
6	94	91
7	89	95
M.O.	91	89

Οι μετρήσεις έγιναν σε κλίμακα HRB με φορτίο 100 kg και 1/16in μπάλα διαμαντιού. Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης φαίνονται στο διάγραμμα 1 του Παραρτήματος 5.5.1.

### 5.5.3.3 Φόρτιση άξονα

Η φόρτιση του άξονα στην διατομή της θραύσης είναι Κόπωση Περιτροφικής Κάμψης ( Rotary-Bending Fatigue ). Αυτό σημαίνει ότι άξονας υποβάλλεται στην δυσμενή περίπτωση κόπωσης Εφελκυσμού - Θλίψης, με κάθε σημείο της περιφέρειας του άξονα να υποβάλλεται πρώτα σε εφελκυστικές κι ύστερα σε θλιπτικές τάσεις κατά μια περιστροφή του άξονα.

### 5.5.3.4 Αρχή του ρήγματος

Κατά την κόπωση περιστροφικής κάμψης, το ρήγμα ξεκινάει πάντα από την επιφάνεια και μάλιστα από ένα σημείο με σημαντική συγκέντρωση τάσεων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση του άξονα , το ρήγμα ξεκίνησε από την άκρη του σφηναύλακα και διαδόθηκε στην υπόλοιπη διατομή. Η αρχή του ρήγματος επιβεβαιώθηκε με στερεομικροσκοπία.( Φωτ. 1- 5 )

### 5.5.3.5 Επιφάνειες Θραύσης

Από την παρατήρηση των επιφανειών θραύσης επιβεβαιώνεται ο μηχανισμός κόπωσης από περιστροφική κάμψη. Μακροσκοπικές κυματώσεις κόπωσης περιβάλλουν ομόκεντρα την θέση πυρήνωσης του ρήγματος.

Οι μακροσκοπικές κυματώσεις είναι χαρακτηριστικές της διάδοσης του ρήγματος με κόπωση και καταλήγουν στην περιοχή της τελικής γρήγορης θραύσης. Η τελική γρήγορη θραύση επέρχεται όταν το ρήγμα κόπωσης αποκτήσει το κρίσιμο μέγεθος, όπως αυτό καθορίζεται από την δυσθραυστότητα του υλικού του άξονα. Το μέγεθος της περιοχής της τελικής θραύσης σε σχέση με την περιοχή κόπωσης είναι μικρό. Αυτό υποδηλώνει υψηλό συντελεστή συγκέντρωσης των τάσεων αλλά και ταυτόχρονα υψηλή μέση τάση λειτουργίας.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων θραύσης από κόπωση περιστροφικής κάμψης, η περιοχή της τελικής θραύσης εμφανίζεται αντιδιαμετρικά από το σημείο αρχής του ρήγματος ή με μια απόκλιση της τάξης των 15° αντίθετα από την φορά περιστροφής του άξονα. Η περαιτέρω απόκλιση της περιοχής τελικής θραύσης αλλά και η ταυτόχρονη απόκλιση των κυματώσεων κόπωσης δηλώνει πιθανώς μια μη επαρκή ευθυγράμμιση του άξονα.

#### **5.5.4 Συμπεράσματα**

1. Η θραύση του άξονα οφείλεται σε κόπωση από περιστροφική κάμψη.
2. Η αρχή του ρήγματος έγινε από την άκρη του σφηναύλακα συγκράτησης.
3. Η μικρή περιοχή τελικής γρήγορης θραύσης δηλώνει αφ' ενός υψηλή συγκέντρωση τάσεων αλλά και αφ' ετέρου υψηλή μέση τάση λειτουργίας. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε μη ευθυγράμμιση του άξονα.
4. Η απόκλιση της περιοχής της τελικής θραύσης δηλώνει ανεπαρκή ευθυγράμμιση του άξονα.

#### **5.5.5 Προτάσεις**

Για την μείωση της συγκέντρωσης των τάσεων προτείνεται η αποφυγή της γειννίαςσης σφηναύλακα με το ρουλεμάν και την σωστή ευθυγράμμιση του άξονα. Επίσης κατασκευαστικά ο σφηναύλακας πρέπει να έχει μεγαλύτερο radius.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.5.1

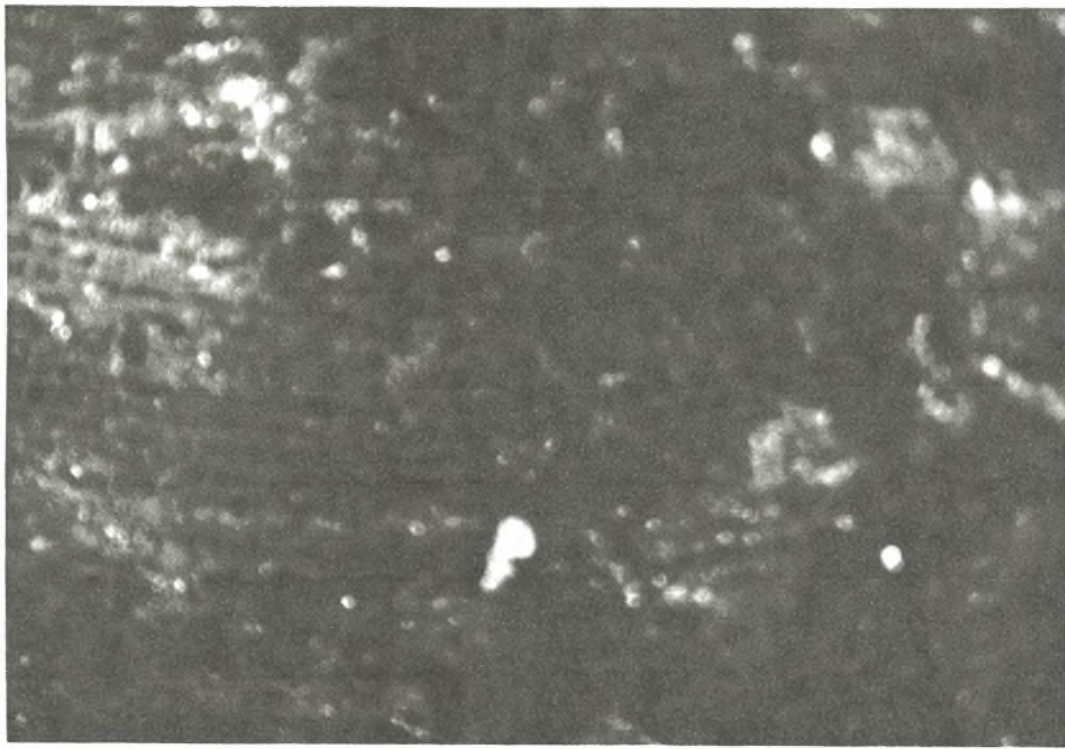
Φωτογραφίες

Στερεομικροσκοπία

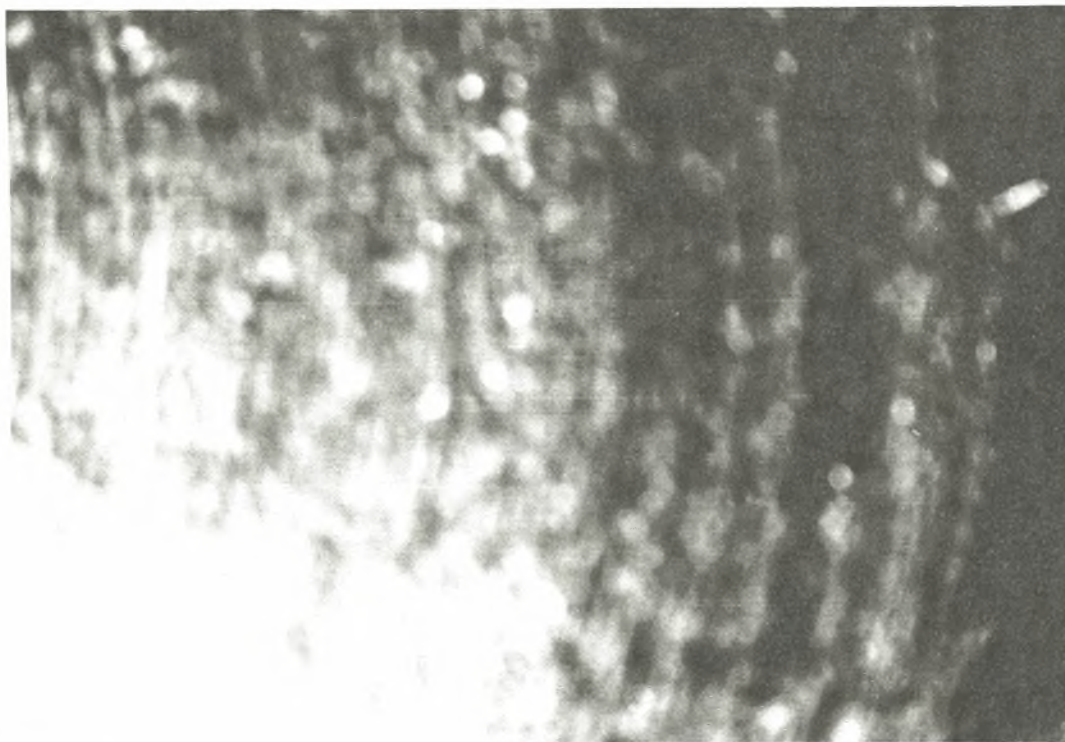
Μεταλλογραφία

Διάγραμμα





Φώτο 1. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με τις γραμμές της κόπωσης

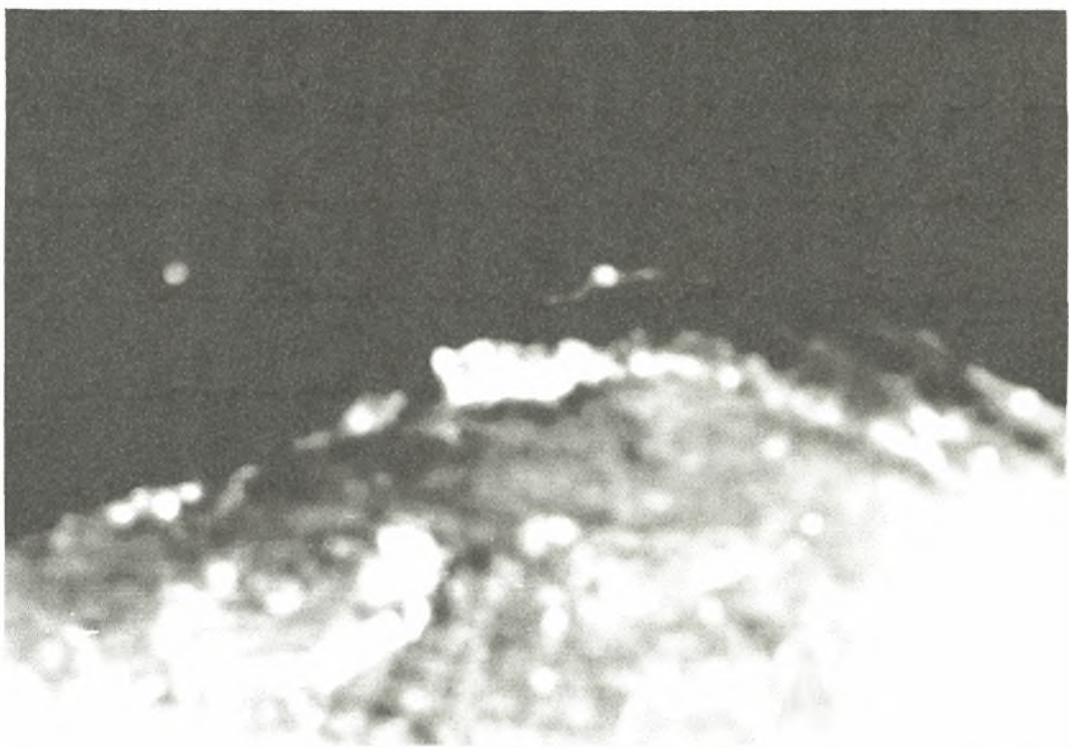


Φώτο 2. (x 16 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με τις γραμμές της κόπωσης





Φώτο 3. (x 6,5) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με την αρχή της θραύσης στον σφηναύλακα.

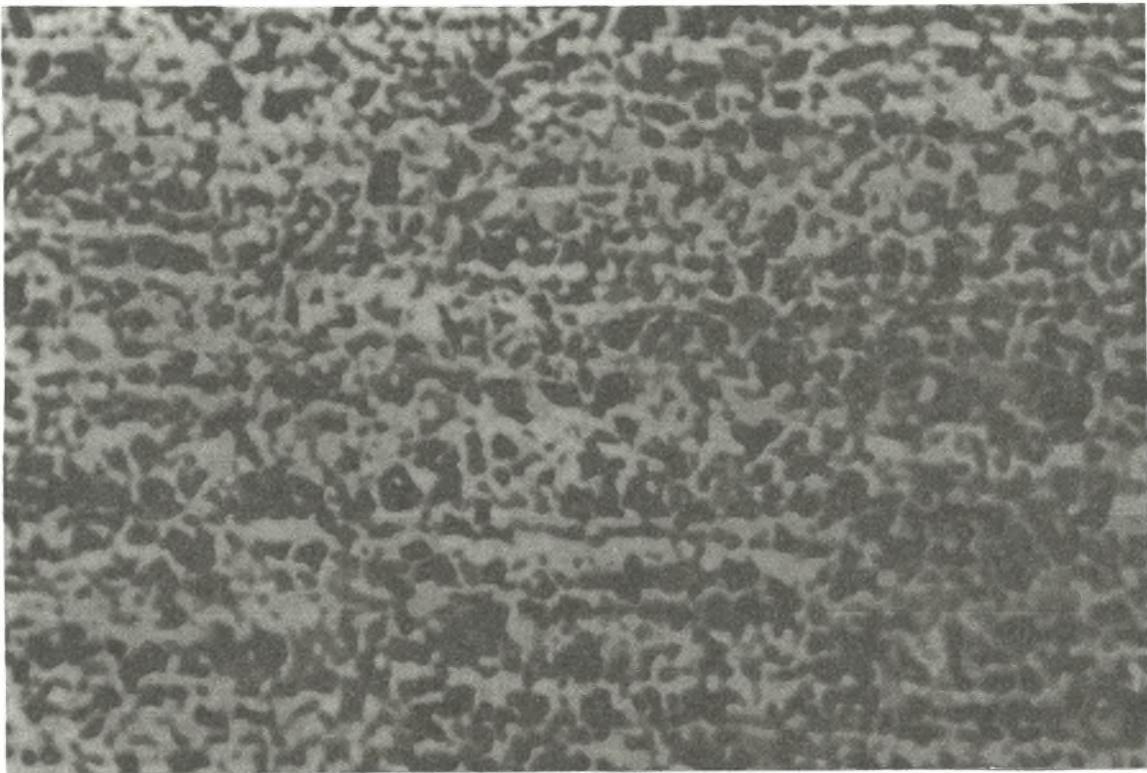


Φώτο 4. (x 6,5) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με την αρχή της θραύσης στον σφηναύλακα.



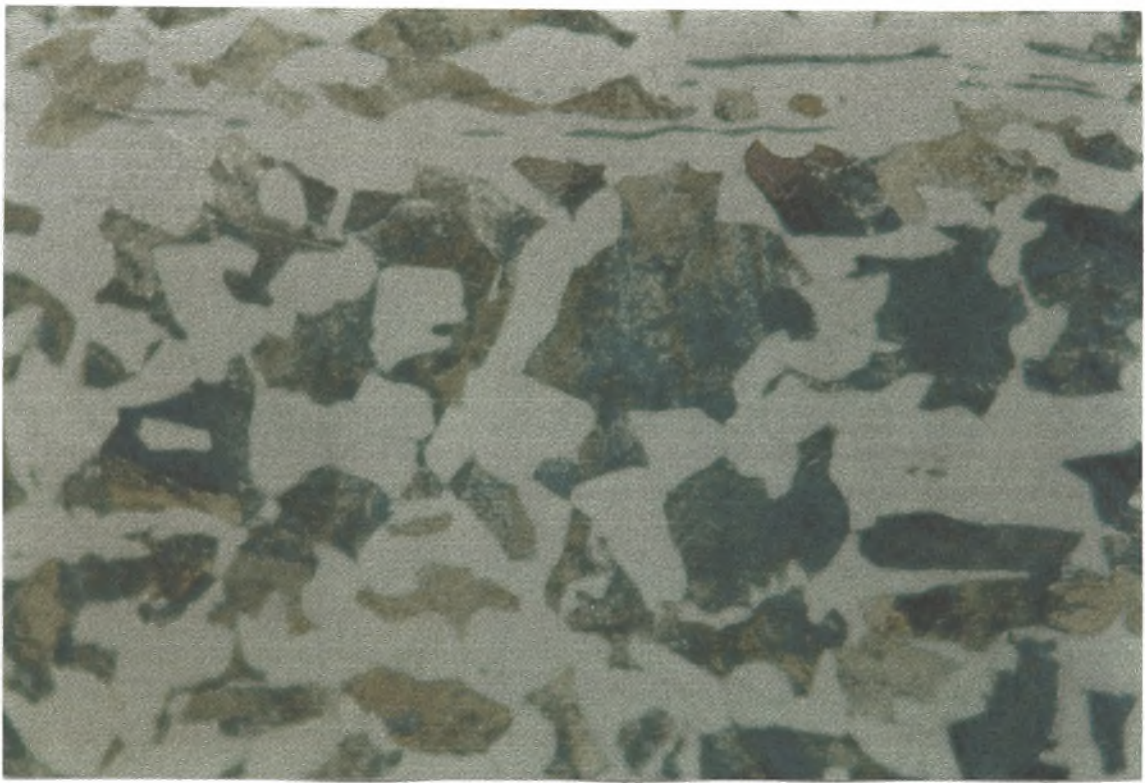


Φώτο 5. (x 6,5 ) Στερεοσκοπία της επιφάνειας θραύσης του άξονα αναμίκτη PDC με την αρχή της θραύσης στον σφηναύλακα.



Φώτο 6. (x 100) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 1.



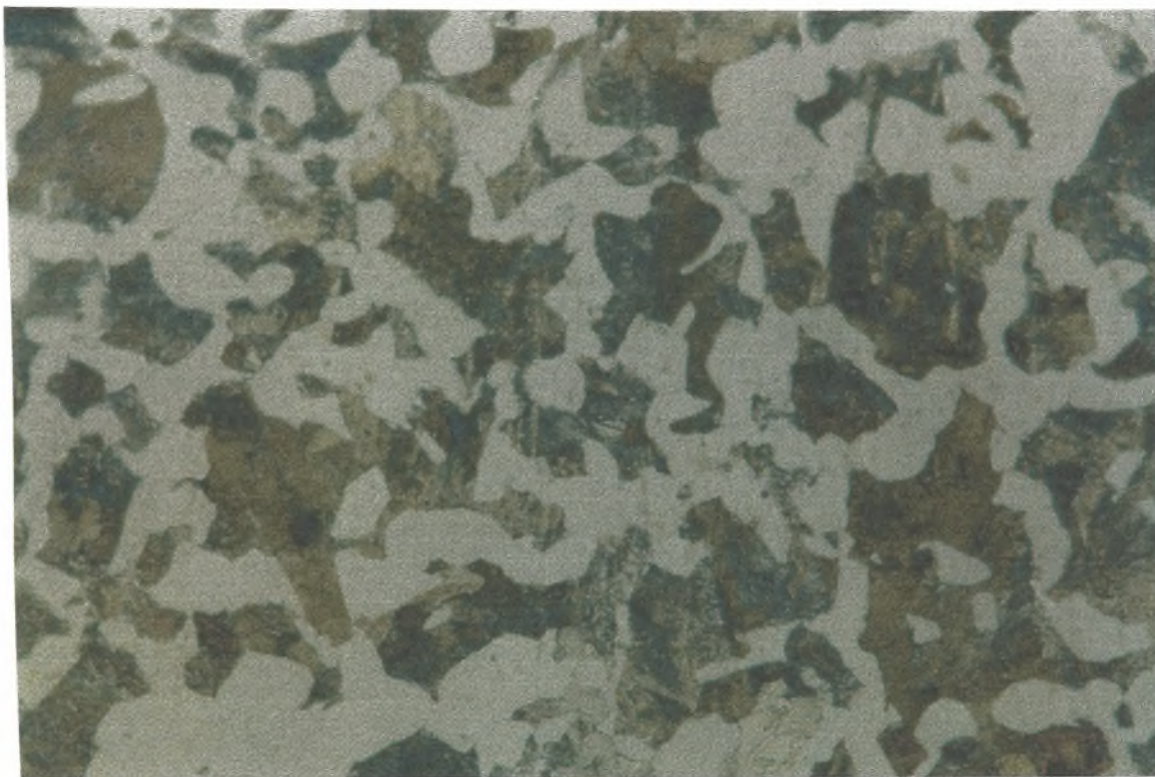


Φώτο 7. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 1.



Φώτο 8. (x 200 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 2.



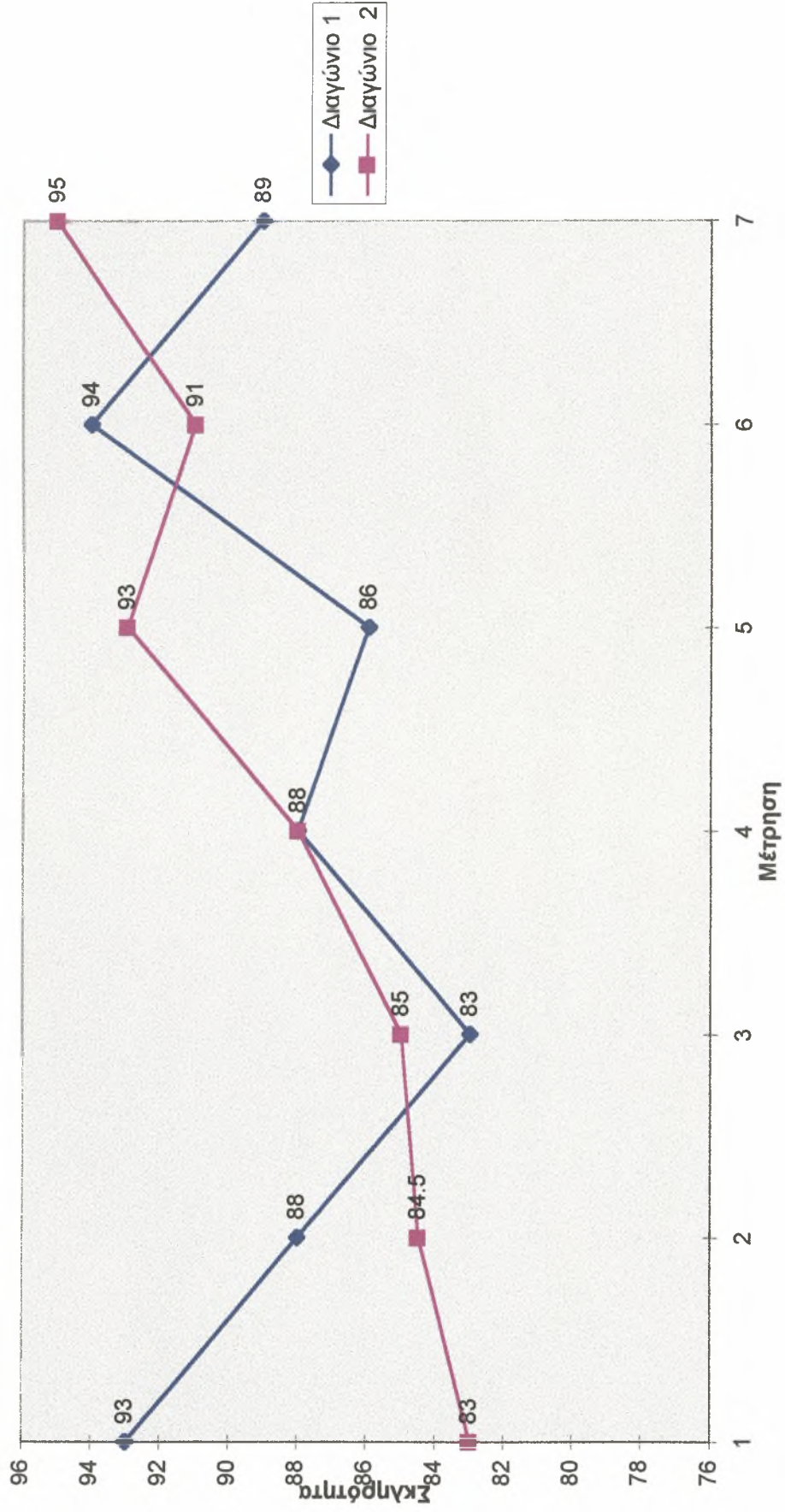


Φώτο 9. (x 500 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 2.



Φώτο 10. (x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα PDC αναμείκτη . Δοκίμιο 2.

### Σκληρομετρήσεις Άξονα Αναμίκτη PDC



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Άξονα Αναμίκτη PDC

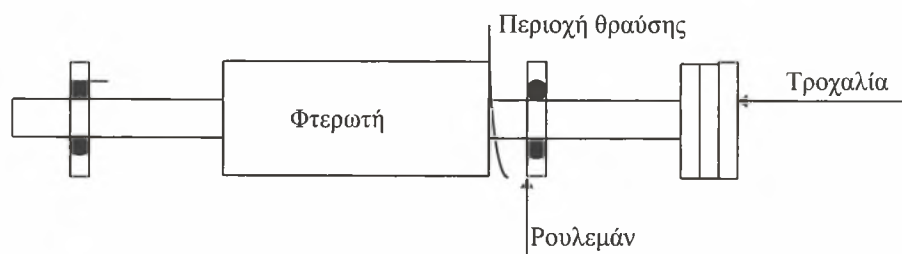


## 5.6. ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΑΞΟΝΑ ΦΤΕΡΩΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

### 5.6.1. Περιγραφή του προβλήματος

Από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος παραδόθηκαν στο εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για μελέτη αστοχίας ένα τμήμα του άξονα της φτερωτής της αντλίας κενού στο τμήμα του φωσφορικού οξέος, ο οποίος υπέστη θραύση κατά την λειτουργία του. Από την αντλία διέρχεται αέρας και νερό προς στεγανοποίηση των διακένων. Η στροφές λειτουργίας είναι 350 rpm με ισχύς 60 Hp και θερμοκρασία λειτουργίας του περιβάλλοντος συν 5 °C. Σχεδιάγραμμα του άξονα με την περιοχή θραύσης, στην οποία υπάρχει διαβάθμιση φαίνεται στο σχήμα 10.1.

Από τις XBBE παραδόθηκαν τα δύο τμήματα του άξονα με τις επιφάνειες θραύσεις.



Σχήμα 10.1. Σχεδιάγραμμα του άξονα με την περιοχή θραύσης

### 5.6.2. Μεθοδολογία

Για την μελέτη των υλικών του άξονα εφαρμόστηκε η παρακάτω πειραματική διαδικασία :

1. Κοπή δοκιμίων από τον άξονα
2. Χημική ανάλυση του υλικού του άξονα
3. Στερεοσκοπική εξέταση της επιφάνειας θραύσης . Η εξέταση έγινε σε στερεοσκόπιο, χρησιμοποιώντας μεγενθύνσεις x6,5 - 40 και προσπίπτοντα φωτισμό
4. Μεταλλογραφική ανάλυση των δοκιμίων από τις περιοχές της θραύσης . Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε η καθιερωμένη πρακτική προετοιμασίας μεταλλογραφικών δοκιμίων ( εγκιβωτισμός , λείανση και στίλβωση ). Για την χημική προσβολή του υλικού της αντλίας χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Marbel's reagent ( 100ml HCL, 50ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> , 20gr CuSO<sub>4</sub> , 100ml H<sub>2</sub>O ) και το αντιδραστήριο Marbel's ( 20ml HCL, 4gr CuSO<sub>4</sub> , 20ml H<sub>2</sub>O ). Η οπτική παρατήρηση έγινε σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο σε συνθήκες φωτεινού πεδίου και χρησιμοποιώντας μεγενθύνσεις x100 - 1000

### 5.6.3. Αποτελέσματα

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα στοιχεία και αποτελέσματα , τα οποία οδηγούν και στο συμπέρασμα για την αστοχία του άξονα . Τα ειδικότερα αποτελέσματα ( φωτογραφίες κ.λ.π. ) παρουσιάζονται στο παράρτημα 5.6.I.

#### 5.6.3.1 Υλικό της αντλίας

Από την χημική ανάλυση βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του άνθρακα στον χάλυβα ήταν 0,298 % κ.β. ενώ η μεταλλογραφική εξέταση του άξονα έδειξε ότι έχει μικροδομή μαρτενσίτη .( Φωτ. 4-8 )

Χημική Σύσταση ( wt % )									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0.298	0.27	0.51	0.011	0.008	2.067	2.084	0.288	0.009	0.05

#### 5.6.3.2 Σκληρομέτρηση

Από την αντλία πάρθηκαν δύο δοκίμια , ένα από το δεξί κι ένα από το αριστερό κομμάτι θραύσης του άξονα , στα οποία έγινε η μεταλλογραφική ανάλυση και σκληρομέτρηση. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής :

	Δοκίμιο1	Δοκίμιο 2
	27	41
	35	39
	32	38
	28	41
	33	38
	35	36
Μ.Ο.	31	38,5

Οι μετρήσεις έγιναν σε κλίμακα σκληρότητας HRC με φορτίο 150 kg ενώ το δοκίμιο 1 ανήκε στην μεγαλύτερη διάμετρο της διαβάθμισης του άξονα ενώ το, δοκίμιο 2 ανήκε στην μικρότερη διάμετρο. Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης φαίνονται στο διάγραμμα 1 του Παραρτήματος 5.6.I.

#### 5.6.3.3 Φόρτιση άξονα

Η φόρτιση του άξονα στην διατομή της θραύσης είναι Κόπωση Περιστροφικής Κάμψης ( Rotary-Bending Fatigue ). Αυτό σημαίνει ότι άξονας υποβάλλεται στην δυσμενή περίπτωση κόπωσης Εφελκυσμού - Θλίψης, με κάθε σημείο της περιφέρειας του άξονα να υποβάλλεται πρώτα σε εφελκυστικές κι ύστερα σε θλιπτικές τάσεις κατά μια περιστροφή του άξονα.

#### **5.6.3.4. Αρχή του ρήγματος**

Κατά την κόπωση περιστροφικής κάμψης, το ρήγμα ξεκινάει πάντα από την επιφάνεια και μάλιστα από ένα σημείο με σημαντική συγκέντρωση τάσεων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση του άξονα, το ρήγμα ξεκίνησε από την διαβάθμιση και διαδόθηκε στην υπόλοιπη διατομή. Η αρχή του ρήγματος επιβεβαιώθηκε με στερεομικροσκοπία. ( Φωτ.1-3)

#### **5.6.3.5. Επιφάνειες Θραύσης**

Από την παρατήρηση των επιφανειών θραύσης επιβεβαιώνεται ο μηχανισμός κόπωσης από περιστροφική κάμψη. Μακροσκοπικές κυματώσεις κόπωσης περιβάλλουν ομόκεντρα την θέση πυρήνωσης του ρήγματος.

Οι μακροσκοπικές κυματώσεις είναι χαρακτηριστικές της διάδοσης του ρήγματος με κόπωση και καταλήγουν στην περιοχή της τελικής γρήγορης θραύσης. Η τελική γρήγορη θραύση επέρχεται όταν το ρήγμα κόπωσης αποκτήσει το κρίσιμο μέγεθος, όπως αυτό καθορίζεται από την δυσθραυστότητα του υλικού του άξονα. Το μέγεθος της περιοχής της τελικής θραύσης σε σχέση με την περιοχή κόπωσης είναι μικρό. Αυτό υποδηλώνει υψηλό συντελεστή συγκέντρωσης των τάσεων αλλά και ταυτόχρονα υψηλή μέση τάση λειτουργίας.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων θραύσης από κόπωση περιστροφικής κάμψης, η περιοχή της τελικής θραύσης εμφανίζεται αντιδιαμετρικά από το σημείο αρχής του ρήγματος ή με μια απόκλιση της τάξης των  $15^\circ$  αντίθετα από την φορά περιστροφής του άξονα. Η περαιτέρω απόκλιση της περιοχής τελικής θραύσης αλλά και η ταυτόχρονη απόκλιση των κυματώσεων κόπωσης δηλώνει πιθανώς μια μη επαρκή ευθυγράμμιση του άξονα.

#### **5.6.4. Συμπεράσματα**

1. Η θραύση του άξονα οφείλεται σε κόπωση από περιστροφική κάμψη.
2. Η αρχή του ρήγματος έγινε από την διαβάθμιση του άξονα.
3. Η μικρή περιοχή τελικής γρήγορης θραύσης δηλώνει αφ' ενός υψηλή συγκέντρωση τάσεων αλλά και αφ' ετέρου υψηλή μέση τάση λειτουργίας. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε μη ευθυγράμμιση του άξονα.
4. Η απόκλιση της περιοχής της τελικής θραύσης δηλώνει ανεπαρκή ευθυγράμμιση του άξονα.

#### **5.6.5. Προτάσεις**

Για την μείωση της συγκέντρωσης των τάσεων προτείνεται η αποφυγή της γειτνίασης διαβάθμισης με το ρουλεμάν και την σωστή ευθυγράμμιση του άξονα. Επίσης κατασκευαστικά η διαβάθμιση πρέπει να έχει μεγαλύτερο radius.



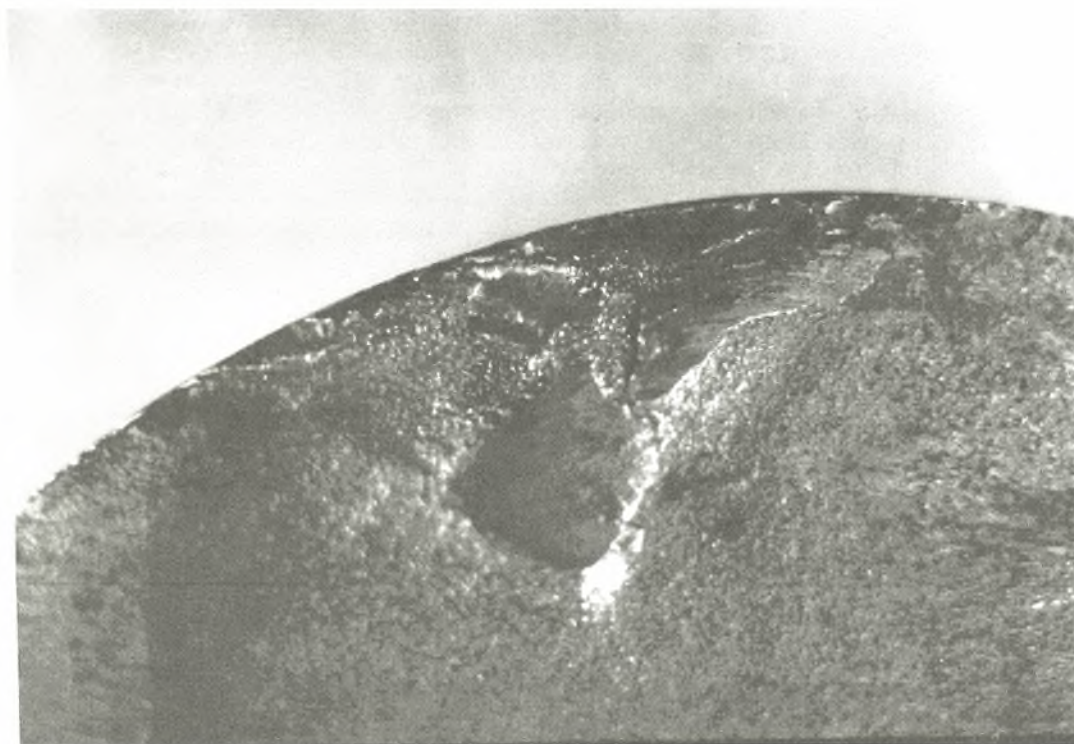
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.6.1

Φωτογραφία

Στερεομικροσκοπία

Μεταλλογραφία

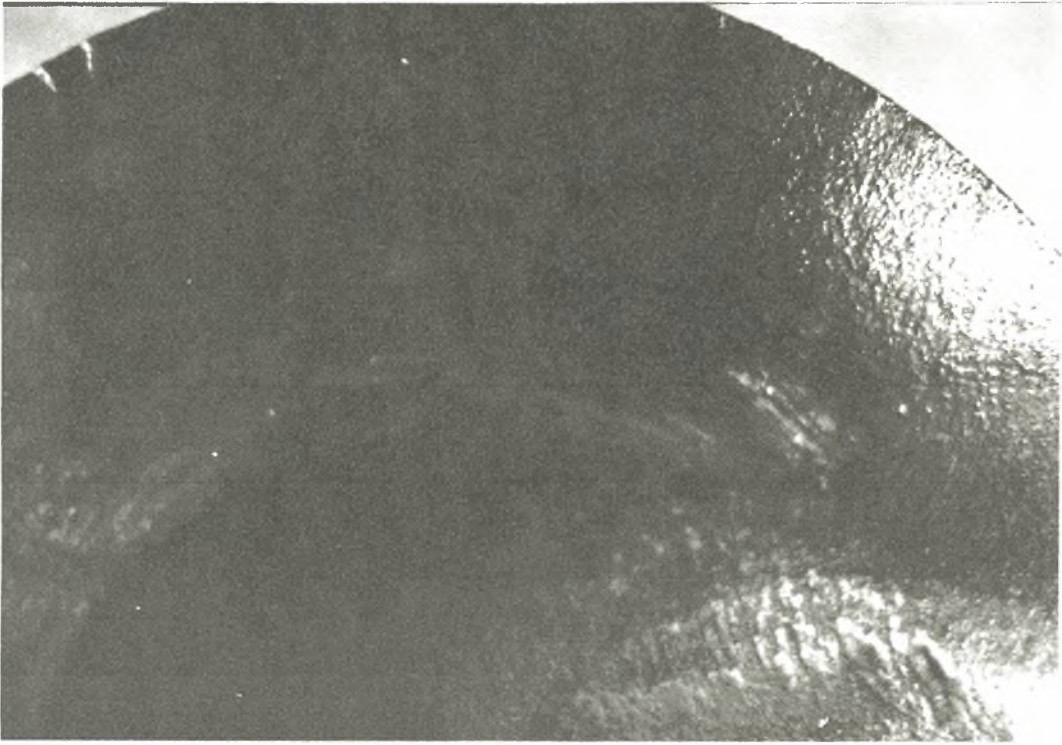
Διάγραμμα



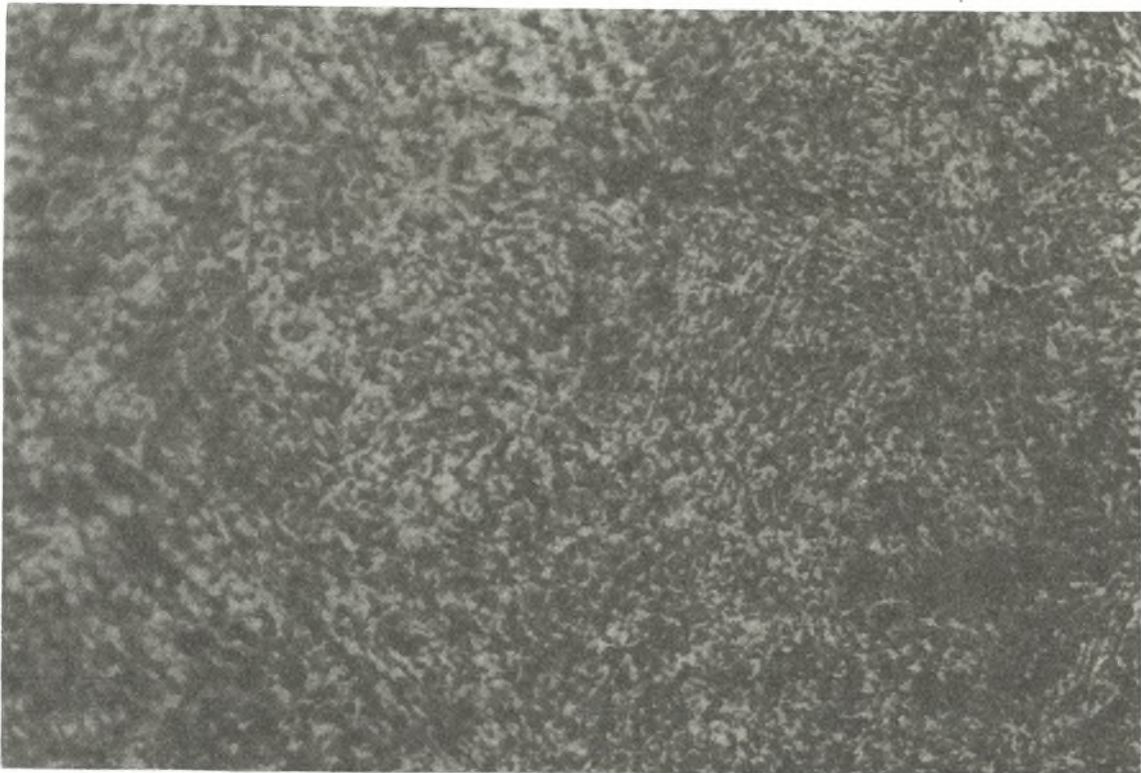
Φώτο 1. Στερεομικροσκοπία του άξονα της φτερωτής της αντλίας με την έναρξη της ρωγμής



Φώτο 2. Στερεομικροσκοπία του άξονα της φτερωτής της αντλίας με την έναρξη της ρωγμής



Φώτο 3. Στερεομικροσκοπία του άξονα της φτερωτής της αντλίας με την επιφάνεια θραύσης

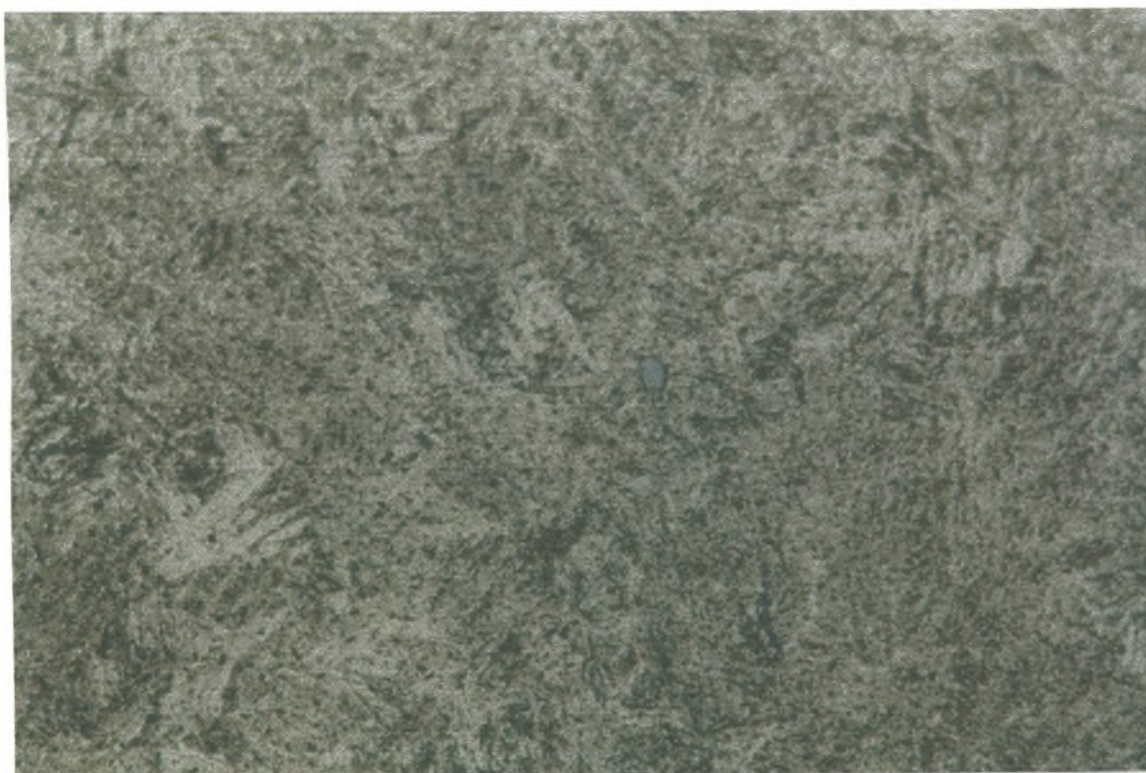


Φώτο 4. (x 500) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας .  
Δοκίμιο 1.



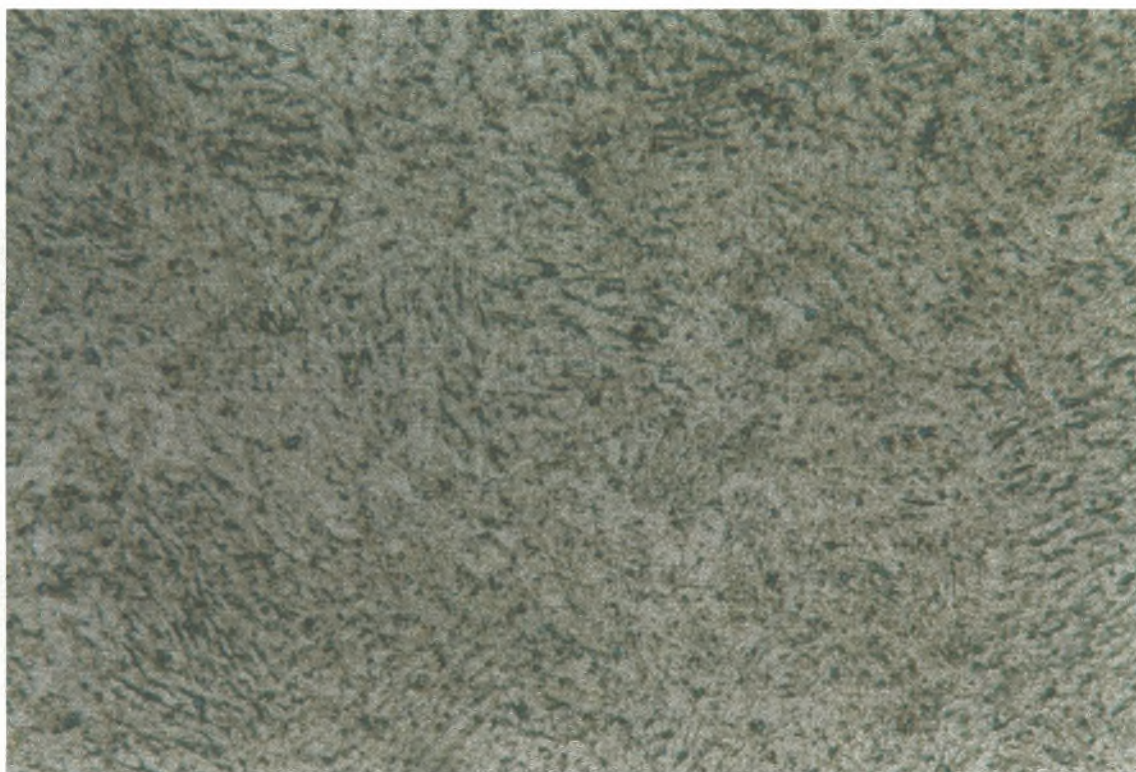


Φώτο 5. (x 200) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας.  
Δοκίμιο 2.

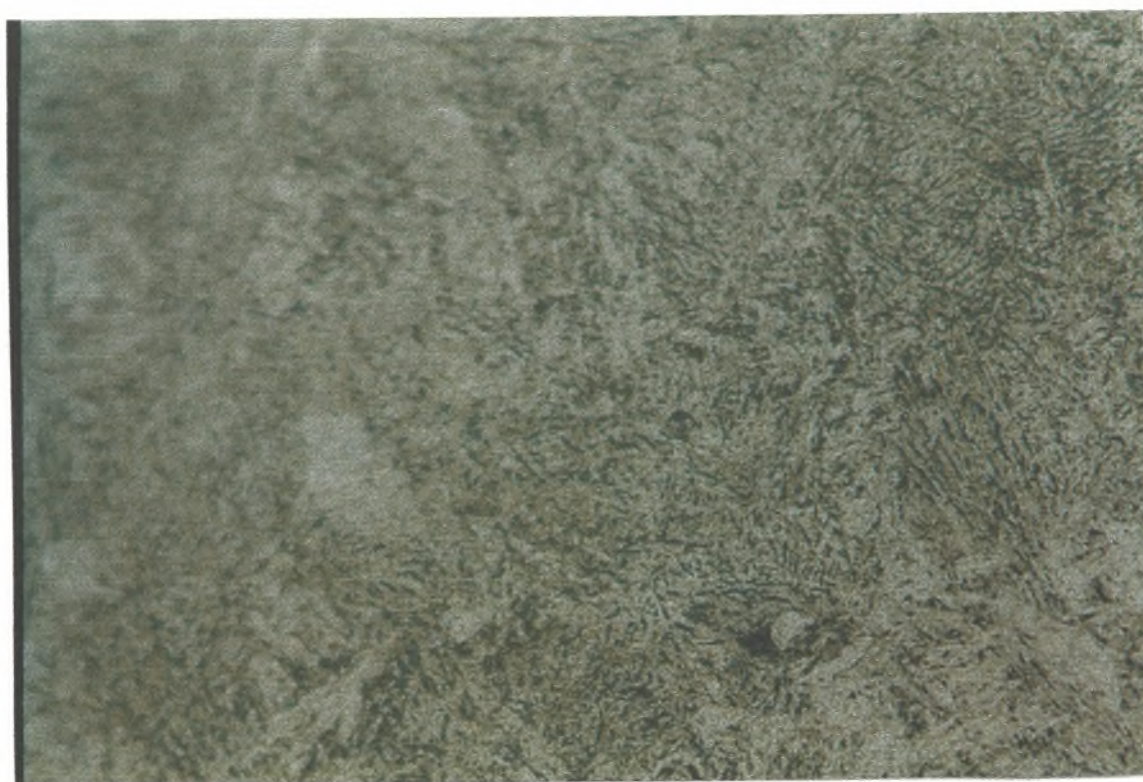


Φώτο 6. ( x 1000 ) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας.  
Δοκίμιο 3.



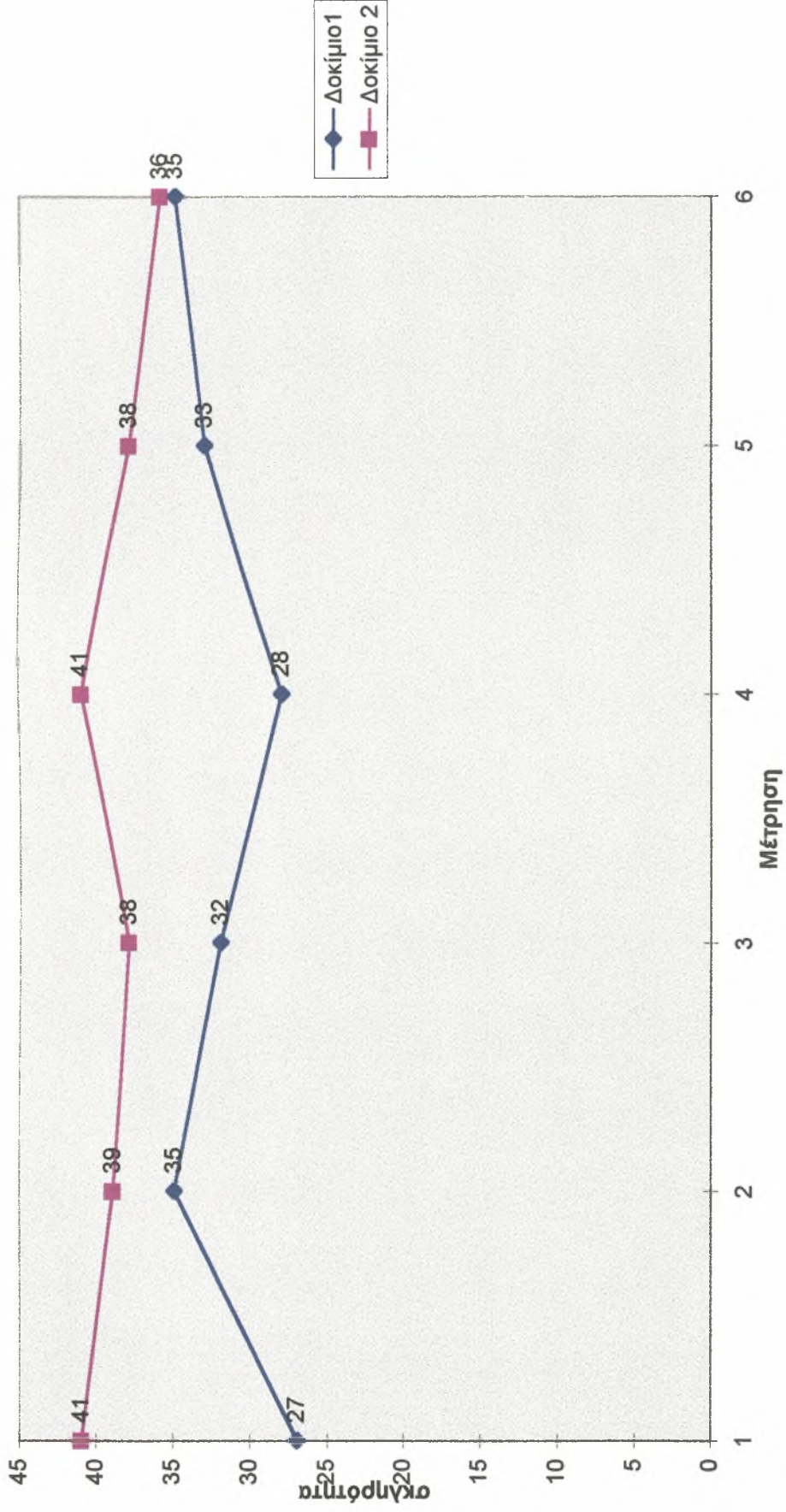


Φώτο 7. (x 1000) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας.  
Δοκίμιο 4.



Φώτο 8. (x 500) Δομή του χάλυβα του άξονα της φτερωτής της αντλίας.  
Δοκίμιο 6.

### Σκληρομετρήσεις Άξονα Φτερωτής Αντλίας



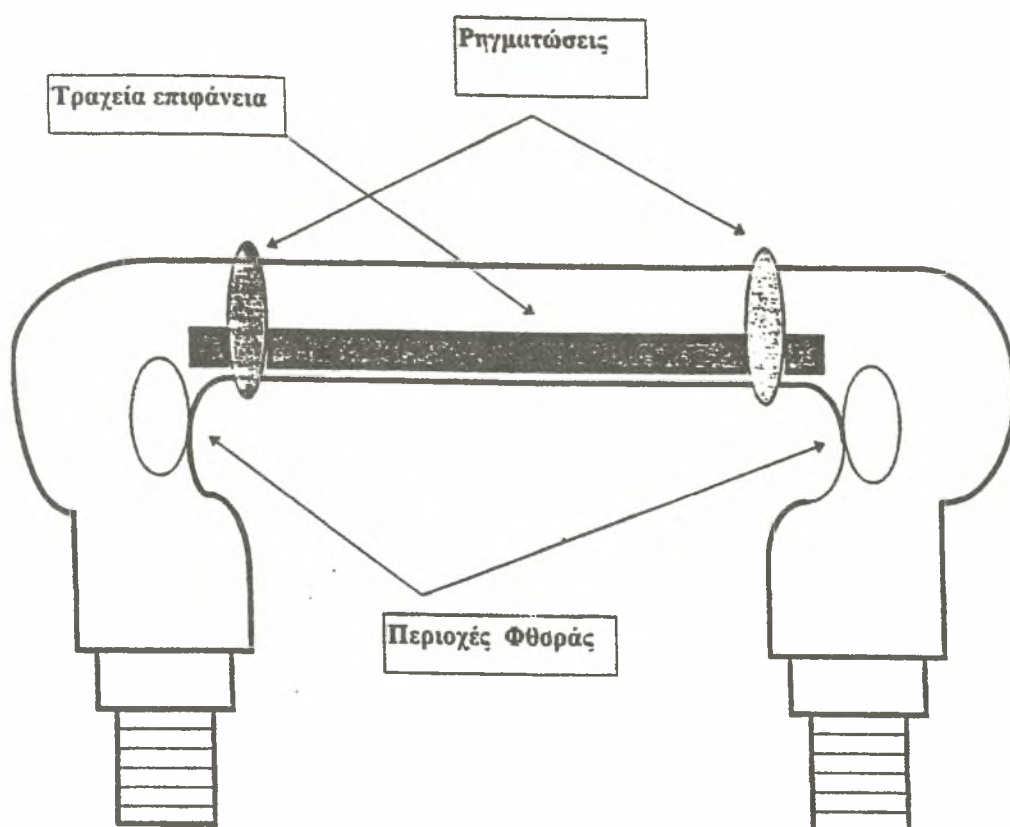
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Άξονα Φτερωτής Αντλίας



## 5.7. ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΥ ΖΥΓΚΙΩΝ ΑΝΑΒΑΤΟΡΩΝ Ν.Ρ.Κ.

### 5.7.1. Η περιγραφή του προβλήματος

Από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος παραδόθηκαν στο εργαστήριο υλικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για μελέτη αστοχίας δύο ζυγκιά αναβατόρων (Ν.Ρ.Κ.) για αξιολόγηση ως συνέχεια μιας παλιότερης μελέτης αστοχίας του προηγούμενου τύπου ζυγκιών. Ένα σχεδιάγραμμα των ζυγκιών με τις περιοχές θραύσεως και ρηγματώσεως φαίνεται στο σχήμα 11.1.



Σχήμα 11.1 Σχέδιο του ζυγκιού με τις περιοχές φθοράς και ρηγματώσεως.

### 5.7.2. Μεθοδολογία

Η πειραματική διαδικασία για την διερεύνηση των αιτιών θραύσης των ζυγκιών περιελάμβανε τις εξής εργασίες :

- Χημικές αναλύσεις του υλικού των ζυγκιών και αντιστοιχία σύμφωνα με τις προδιαγραφές AFNOR .
- Κοπή και κατασκευή δοκιμών μηχανικών δοκιμών
- Σκληρομετρήσεις για το υλικό του κάθε ζυγκιού
- Στερεοσκοπική εξέταση των επιφανειών θραύσης
- Μεταλλογραφική εξέταση των δοκιμών ( εγκιβωτισμός , λείανση , στίλβωση , χημική προσβολή με Nital 2 % και φωτογράφιση )

### 5.7.3. Αποτελέσματα

#### 5.7.3.1 Χημική σύσταση (wt %) και αντιστοιχία κατά AFNOR

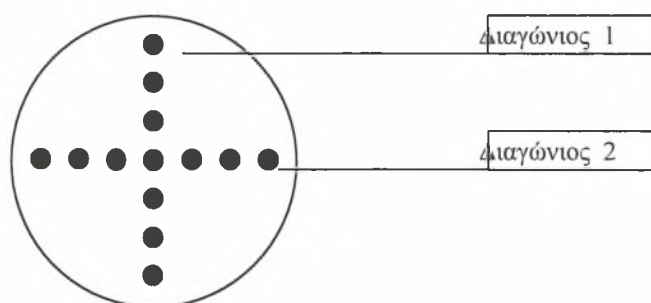
Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης και της κατάταξης κατά AFNOR δίδονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1.

A/A δοκιμίου	Χημική Σύσταση ( wt % )								AFNOR
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	
1	0.355	0.299	0.56	0.01	0.027	1.519	1.565	0.163	4 CD 4
2	0.131	0.286	0.76	0.016	0.017	1.141	1.383	0.012	6 NC 6

#### 5.7.3.2 Σκληρομετρήσεις

Οι σκληρομετρήσεις έγιναν σε τομή σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα και για δύο διαγώνιους ( αρχίζοντας από την επιφάνεια ) για τα δύο δοκίμια σε κλίμακα HRC και χρησιμοποιήθηκε βάρος 150 kg.



Σχ.1 Σχηματική απεικόνιση των σκληρομετρήσεων

Τα αποτελέσματα για κάθε δείγμα ξεχωριστά είναι τα ακόλουθα :

Μέτρηση	ΖΥΓΚΙ 1		ΖΥΓΚΙ 2	
	Διαγώνιο 1	Διαγώνιο 2	Διαγώνιο 1	Διαγώνιο 2
1	29	30	31	32
2	28	29	32	31
3	28	28	33	32
4	26	26	33	33
5	29	31	33	32
6	29	29	32	32
7	32	31	31	31
M.O.	30,5	30,5	31	31,5

Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης φαίνονται στο διάγραμμα 1 του Παραρτήματος 5.7.I.

### 5.7.3.3 Έλεγχος μικροδομής

Ο μεταλλογραφικός έλεγχος έγινε στην διατομή όλων των αντικειμένων που παραλήφθηκαν. Από τον έλεγχο προέκυψε ότι η μικροδομή αποτελείται από επαναφερόμενο μαρτενσίτη σε όλα τα δοκίμια.( Φωτ. 1- 7 ).

### 5.7.4. Συμπεράσματα

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν παραπάνω εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα :

1. Τα παλιότερα ζυγκιά αστόχησαν λόγω κόπωσης από περιστροφική κάμψη, με την αρχή των ρηγματώσεων να βρίσκεται στην τραχεία επιφάνεια ( λόγω τροχίσματος ) κάτι που δεν έχουν εμφανίσει μέχρι στιγμής τα νέα ζυγκιά. Επίσης τα παλιά ζυγκιά παρουσίαζαν απόκλιση της περιοχής της τελικής θραύσης ως προς τον κάθετο άξονα της διατομής λόγω της μη σωστής σύνδεσης των ζυγκιών , η οποία προκαλεί εφελκυστική και στρεπτική καταπόνηση.
2. Τα νέα ζυγκιά δεν εμφανίζουν σημαντικές διακυμάνσεις σκληρότητας από την επιφάνεια προς το κέντρο λόγω απανθράκωσης.



### **5.7.5. Προτάσεις**

1. Έχει βελτιωθεί η ποιότητα των ζυγκιών κι έτσι με την συνέχιση του ελέγχου θερμικής κατεργασίας ( επιφανειακής σκληρότητας ) κατά την παραλαβή των ζυγκιών θα λειτουργήσουν ικανοποιητικά.
2. Επίσης δεν πρέπει να παραμεληθεί η σωστή ευθυγράμμιση - σύνδεση των ζυγκιών κατά την τοποθέτηση τους και η απαίτηση για πολύ καλό φινίρισμα της οριζόντιας επιφάνειας φόρτισης των ζυγκιών για την μείωση της συγκέντρωσης και ανάπτυξης των τάσεων.

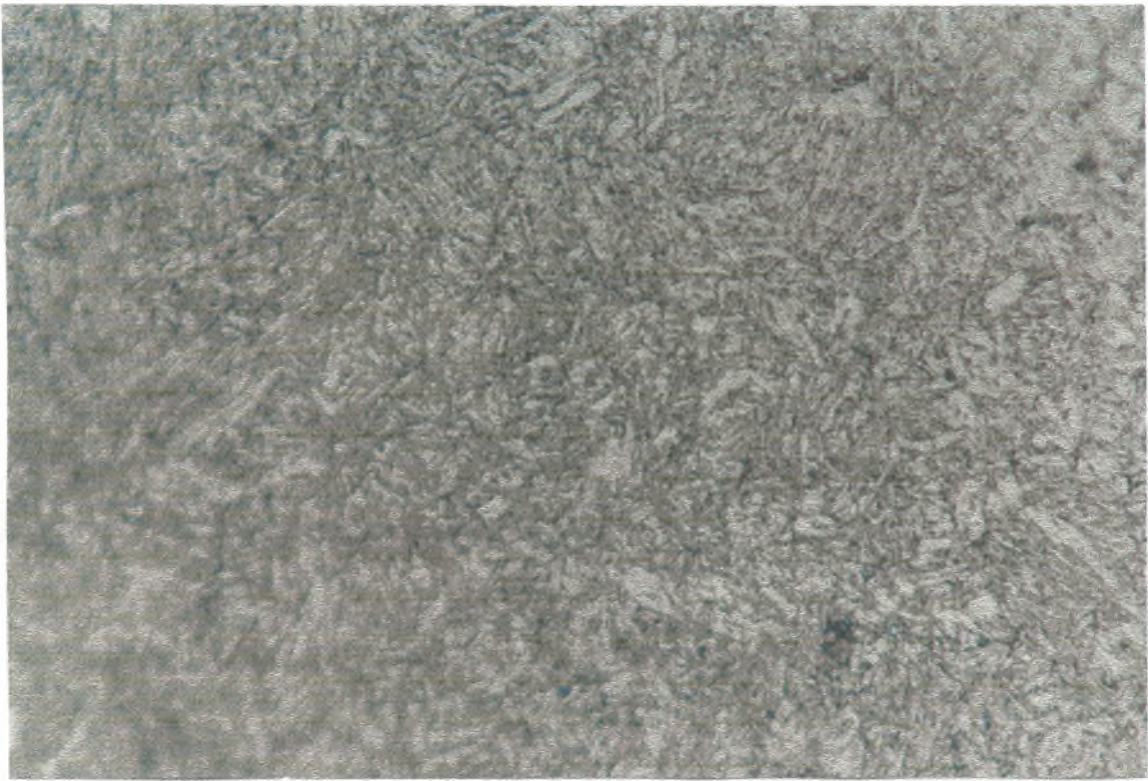
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.7.1

Διαγράμματα

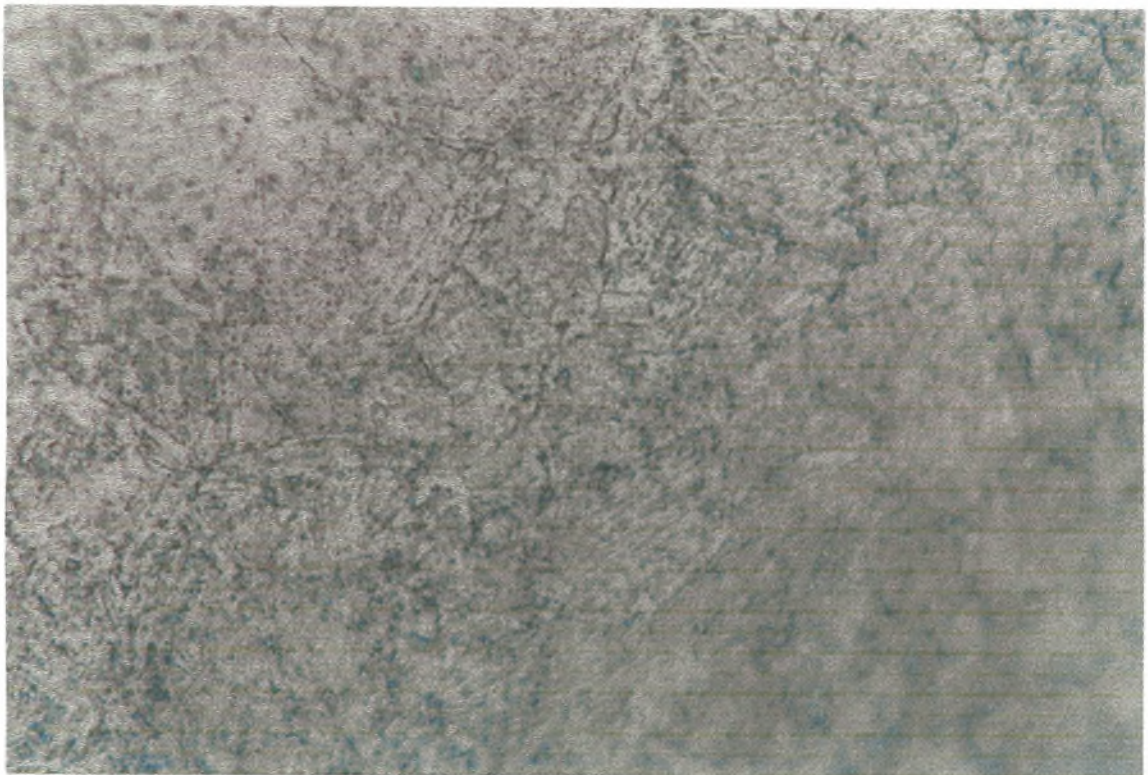
Φωτογραφία

Στερεομικροσκοπία

Μεταλλογραφία

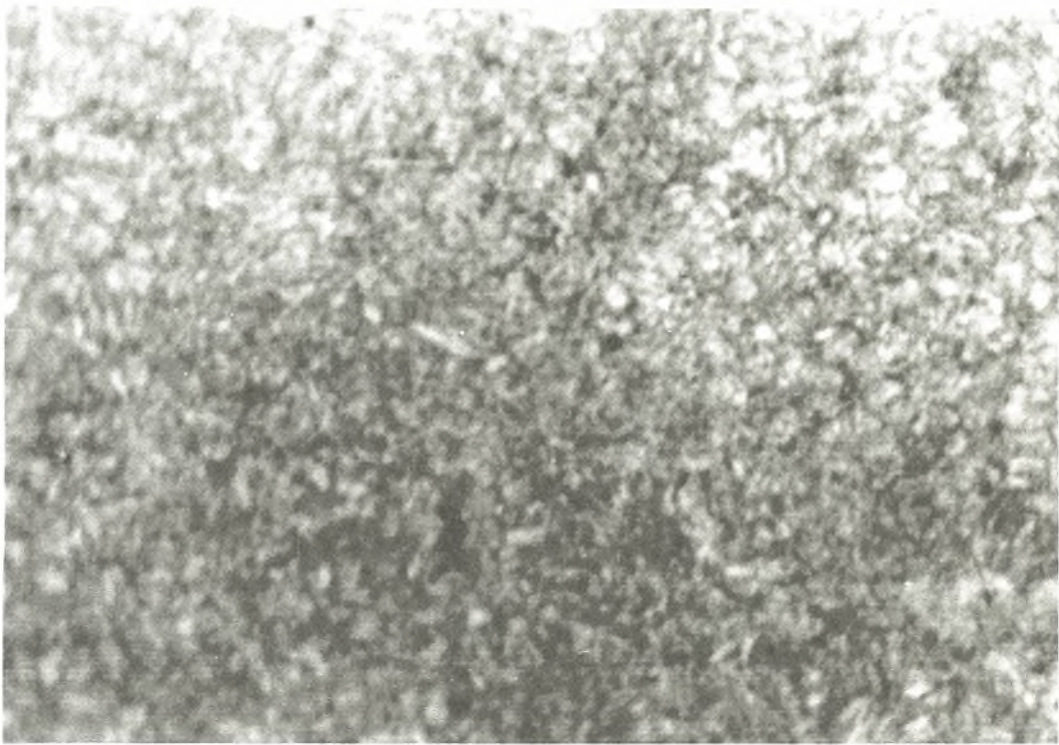


Φώτο 1. (x 1000) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 1. Δοκίμιο 1.



Φώτο 2. (x 1000) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 1.





---

Φώτο 3. (x 500) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 1. Δοκίμιο 2.



---

Φώτο 4. (x 1000) Δομή του χάλυβα του ζυγκιού 1. Δοκίμιο 2.





Φώτο 5. (x 1000) Δομή του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 1.



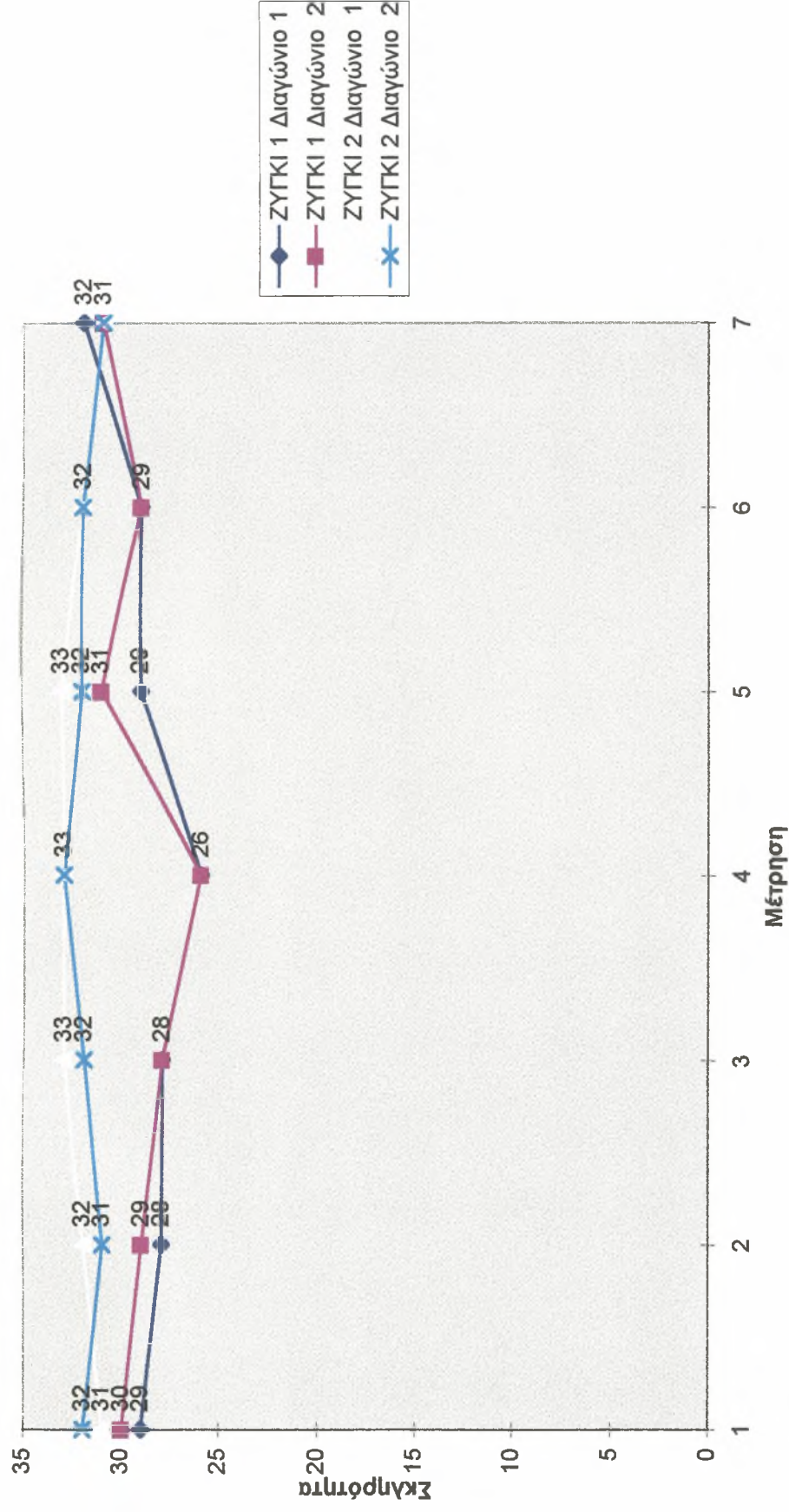
Φώτο 6. (x 1000) Δομή του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 2.



Φώτο 7. (x 1000) Δομή του ζυγκιού 2. Δοκίμιο 2.



### Σκληρομετρήσεις νέου τύπου ζυγκιών



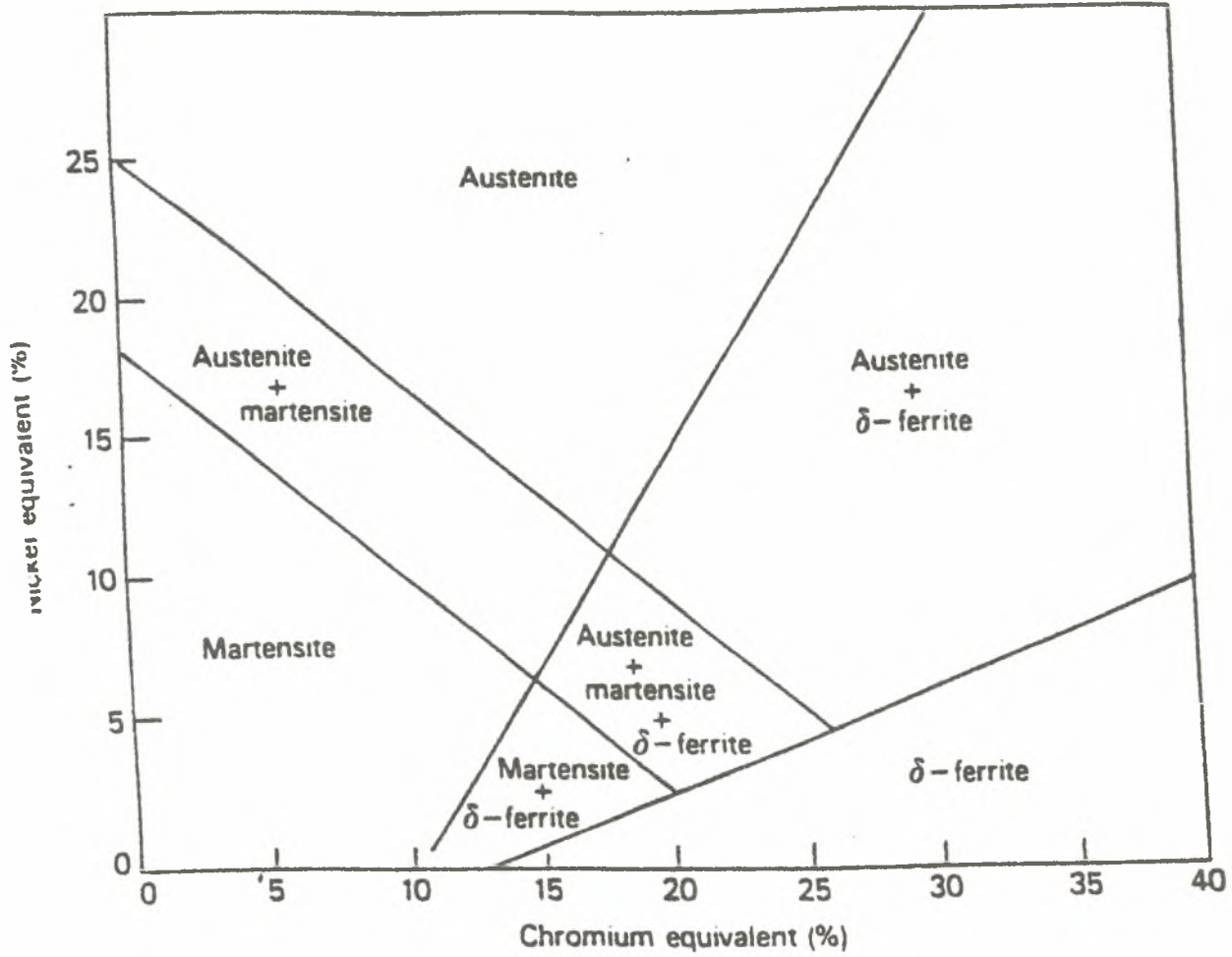
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Σκληρομετρήσεων Διαμέτρων Ζυγκιών

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]. M.G. Fontana, Corrosion Engineering, McGraw-Hill, 1987.
- [2]. A. K. Das, Metallurgy of failure analysis, McGraw-Hill, 1996.
- [3]. Vander Voort , Metallurgy-Principles and Practice.
- [4]. ASM Handbook, Volume 11. Failure analysis and Prevention. 9<sup>th</sup> Edition.
- [5]. ASM Handbook, Volume 6. Welding, Brazing and Soldering. 9<sup>th</sup> Edition.
- [6]. R.W.K Honeycombe, The Plastic Deformation of Metals. 2<sup>nd</sup> Edition.
- [7]. Γ.Ν. Χαϊδεμενόπουλος, Σημειώσεις Μηχανικής Συμπεριφοράς των Υλικών.
- [8]. Γ.Ν. Χαϊδεμενόπουλος, Σημειώσεις Φυσικής Μεταλλουργίας. 1998.
- [9]. Ν.Δ. Χασιώτης, Σημειώσεις Θερμικών και Επιφανειακών Κατεργασιών των μεταλλικών υλικών. 1997.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**





12.4 Schaeffler diagram. Effect of alloying elements on the basic microstructure of Cr-Ni stainless steels (Schneider and Climax Molybdenum Co., *Iron Trade J.* 108, 562, 1960).

Σχ. 1 Διάγραμμα Schaeffler

RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : I							ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4- ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ	
No 28015 CROSBY HS 35	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-II	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 18, Part Name: Spring, Type : Carbon St. Cadmium Plated	Ref.No. : 6, Part Name: Cotter Pin, Type : St.St.	Ref.No. : 11, Part Name: Spindle, Type : St.St.	Ref.No. : 5, Part Name: Disk Insert, Type : 304 forged St.St.		
No 28016 CROSBY HS 35	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-II	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 18, Part Name: Spring, Type : Carbon St. Cadmium Plated	Ref.No. : 6, Part Name: Cotter Pin, Type : St.St.	Ref.No. : 11, Part Name: Spindle, Type : St.St.	Ref.No. : 5, Part Name: Disk Insert, Type : 304 forged St.St.		
No 28017 CROSBY HS 35	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-II	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 18, Part Name: Spring, Type : Carbon St. Cadmium Plated	Ref.No. : 6, Part Name: Cotter Pin, Type : St.St.	Ref.No. : 11, Part Name: Spindle, Type : St.St.	Ref.No. : 5, Part Name: Disk Insert, Type : 304 forged St.St.		
No 178 SEMPEL P45194/4" VSR 1.64 50F-100II	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-II	Ref.No. : 1, Part Name: Inlet Nozzle, C22.8 1. 0460	Ref.No. : 10, Part Name: Spring, Type : 50CrV4 1.8159	Ref.No. : 6, Part Name: Guide Bush , Type : G-x10CrMo13 1.4106	Ref.No. : 7, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 5, Part Name: Disk, Type :X35CrMo17 1.4122		
No 517633/2/1 SEMPEL VSR 1.64	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-III	Ref.No. : 1, Part Name: Inlet Nozzle, C22.8 1. 0460	Ref.No. : 10, Part Name: Spring, Type : 50CrV4 1.8159	Ref.No. : 6, Part Name: Guide Bush , Type : G-x10CrMo13 1.4106	Ref.No. : 7, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 5, Part Name: Disk, Type :X35CrMo17 1.4122		
No 800379/1/1985 SEMPEL VSR-1100-K	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-III	Ref.No. : 1, Part Name: Inlet Nozzle, C22.8 1. 0460	Ref.No. : 10, Part Name: Spring, Type : 50CrV4 1.8159	Ref.No. : 6, Part Name: Guide Bush , Type : G-x10CrMo13 1.4106	Ref.No. : 7, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 5, Part Name: Disk, Type :X35CrMo17 1.4122		
No 800379/2/1985 SEMPEL VSR-1100-K	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-III	Ref.No. : 1, Part Name: Inlet Nozzle, C22.8 1. 0460	Ref.No. : 10, Part Name: Spring, Type : 50CrV4 1.8159	Ref.No. : 6, Part Name: Guide Bush , Type : G-x10CrMo13 1.4106	Ref.No. : 7, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 5, Part Name: Disk, Type :X35CrMo17 1.4122		

RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : III								ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ		
ΚΣΕ/Φ DN 25 RIGHTER	2	ΔΕΞΑΜΕΝΗ HF 70%								



RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : III							ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ	
ARMAATUREN TUN SV. 92-663 90-729	7.5	ΠΟΛΤΟΣ N.A.	Ref.No. : 4 , Part Name: Scat, Type : X20Cr13 1.4021.	Ref.No. : 7 , Part Name: Spring, Type : Wire type C	—	Ref.No. : 9 , Part Name: Spindle , Type : X20Cr13	Ref.No. : 5 , Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.4122		

RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΩΓΗΣ : III							ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ	
No 70560 CPF	18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ	Ref.No. : 4, Part Name: Seat, Type :X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 7 , Part Name: Spring, Type : Wire type C					
No Con: 362-86 PAW- TUVSV.86289	18	ΓΡΑΜΜΗ NH3	Ref.No. : 4, Part Name: Seat, Type :X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 7 , Part Name: Spring, Type : Wire type C		Ref.No. : 9, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 5, Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.412	Part	
No Con: 17-86 PAW- TUVSV.86289	18	ΓΡΑΜΜΗ NH3	Ref.No. : 4, Part Name: Seat, Type :X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 7 , Part Name: Spring, Type : Wire type C		Ref.No. : 9, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 5, Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.412	Part	
No Con: 15-86 PAW- TUVSV.86289	18	ΓΡΑΜΜΗ NH3	Ref.No. : 4, Part Name: Seat, Type :X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 7 , Part Name: Spring, Type : Wire type C		Ref.No. : 9, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 5, Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.412	Part	
93.54486.2 89-576 LESSER 442	7.5	ΑΕΡΟΘΕΡΜΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type :X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 54, Part Name: Spring, Type : 50CrV4 1.8159		Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type : X20Cr13 1.4021	Ref.No. : 7, Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.412	Part	

RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : IV							ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΛΕΩΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ	
Kd 0.7/5.06 SNRI	16	ΔΕΞΑΜΕΝΗ F-134 A	—	—	—	—	—		
Kd 0.7/5.06 SNRI	16	ΔΕΞΑΜΕΝΗ F-134 A	—	—	—	—	—		



RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : III								ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ		
No 19192 SULZER 441	15	ΔΙΚΤΥΟ NH3 (ΚΑΛΟΧΩΡΙ)	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS-C25	Ref.No. : 54 , Part Name: Spring, Type : Spring St. Wire C	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1,4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type :X12CrMo17 / X20Cr13	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type : X20Cr13 1.4021			
No 48558 SULZER 441	15	ΔΙΚΤΥΟ NH3 (ΚΑΛΟΧΩΡΙ)	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS-C25	Ref.No. : 54 , Part Name: Spring, Type : Spring St. Wire C	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1,4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type :X12CrMo17 / X20Cr13	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type : X20Cr13 1.4021			
No 60523 CPF	18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ								
No 60526 CPF	18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ								
No 60528 CPF	18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ								
No 60530 CPF	18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ								
No 70559 CPF	18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ								

RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : III									
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ	ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ		
No 10408 SARASIN LILLE SV50	20.8	ΛΕΒΗΤΑΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ I									
No 26173 SARASIN	21	ΛΕΒΗΤΑΣ ΑΤΜΟΥΔΡΟΘΑ-ΛΑΜΟΣ									
No 26174 SARASIN	21	ΛΕΒΗΤΑΣ ΑΤΜΟΥΔΡΟΘΑ-ΛΑΜΟΣ									
No 11570 SARASIN	20	ΛΕΒΗΤΑΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ I									
No 10406 SARASIN LILLE SV50	20.8	ΛΕΒΗΤΑΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ I									
No 10407 SARASIN LILLE SV50	20.8	ΛΕΒΗΤΑΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ I									
No 54317 SAPAG 1910 DG	22	ΕΞΑΕΡΩΤΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ 35-1-46 (47)									

RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : III										ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ				
No 29178 SAPAG 1910 DG	22	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ 130 1-46	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS- C25	Ref.No. : 54, Part Name: Spring, Type : Spring St. Wire C	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type : X12CrMoS17 / X20Cr13						
No 18558 SULZER SV 441	15	ΔΙΚΤΥΟ NH3 (ΚΑΛΟΧΩΡΙ)	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS- C25	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type : X12CrMoS17 / X20Cr13	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type : X20Cr13 1.4021					
No 18605 SULZER SV 441	15	ΔΙΚΤΥΟ NH3 (ΚΑΛΟΧΩΡΙ)	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS- C25	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type : X12CrMoS17 / X20Cr13	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type : X20Cr13 1.4021					
No 18606 SULZER SV 442	15	ΔΙΚΤΥΟ NH3 (ΚΑΛΟΧΩΡΙ)	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS- C25	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type : X12CrMoS17 / X20Cr13	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type : X20Cr13 1.4021					
No 18608 SULZER SV 443	15	ΔΙΚΤΥΟ NH3 (ΚΑΛΟΧΩΡΙ)	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS- C25	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type : X12CrMoS17 / X20Cr13	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type : X20Cr13 1.4021					
No 18609 SULZER SV 444	15	ΔΙΚΤΥΟ NH3 (ΚΑΛΟΧΩΡΙ)	Ref.No. : 1, Part Name: Body, Type : GG-25 or GS- C25	Ref.No. : 2, Part Name: Nozzle, Type : 304 forged St.St.	Ref.No. : 7, Part Name: Disk, Type : X35CrMo17 1.4122	Ref.No. : 12, Part Name: Spindle, Type : X12CrMoS17 / X20Cr13	Ref.No. : 5, Part Name: Seat, Type : X20Cr13 1.4021					



RETEX ΧΒΒΕ/ΠΑΝ. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ		ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : III							ΠΑΡΑ ΤΗΡΗ ΣΕΙΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤ ΟΥΡ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	1-ΥΛΙΚΟ ΕΔΡΑΣ	2-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	3-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΟΥ	4-ΥΛΙΚΟ/ΦΘΟΡΑ ΑΞΟΝΑ	5-ΒΑΛΒΙΔΑ	ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΣ	
No 800379/3/1985 SEMPEL VSR 1100-K	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-III	Ref.No. : 1, Part Name: Inlet Nozzle, : C22.8 1.0460 Type	Ref.No. : 10, Part Name: Spring, Type : 50CrV4 1.8159	Ref.No. : 6, Part Name: Guide brush, Type : G-X10CrMo13 1.4106	Ref.No. : 7, Part Name: Spindle, Type : X20CrMo13 1.4021	Ref.No. : 4, Part Name: Disk , Type :X35CrMo17 1.4182		
No 800379/4/1985 SEMPEL VSR 1100-K	45	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-III	Ref.No. : 1, Part Name: Inlet Nozzle, : C22.8 1.0460 Type	Ref.No. : 10, Part Name: Spring, Type : 50CrV4 1.8159	Ref.No. : 6, Part Name: Guide brush, Type : G-X10CrMo13 1.4106	Ref.No. : 7, Part Name: Spindle, Type : X20CrMo13 1.4022	Ref.No. : 4, Part Name: Disk , Type :X35CrMo17 1.4182		
No 34484 PARCOL 3-5311	60	ΑΤΜΟΔΟΧΕΙΟ ΛΕΒΗΤΑ Α-III	Ref.No. : 4, Part Name: Nozzle, Type : AISI 315	Ref.No. : 10, Part Name: Spring, Type : Carbon Steel	Ref.No. : 9, Part Name: Disk Holder, Type : Carbon Steel	Ref.No. : 7, Part Name: Spindle, Type : AISI 481 Hard	Ref.No. : 5, Part Name:Disk , Type :17-4-PH		
No 93.67968.1/1 LESER	13	ΛΕΒΗΤΑΣ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗ- ΡΑΣ							
No 19047 CROSBY	6	ΛΕΒΗΤΑΣ							





