

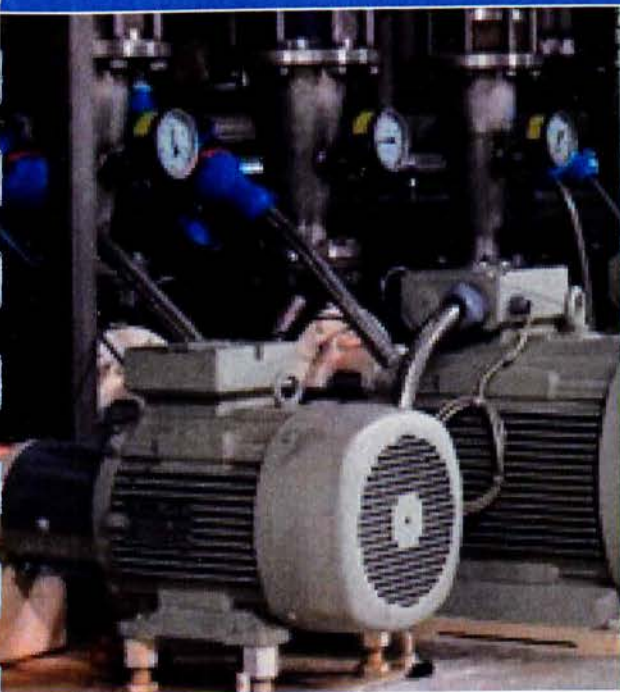
ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΗΧ
696

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΠΕΤΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ



ΠΕΝΘΕΡΟΥΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ 33716

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Δρ Π.Π. ΨΥΛΛΑΚΗ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία η οποία χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής των αστοχιών και τις διαδικασίας ανάλυσης αστοχίας μηχανολογικών εξαρτημάτων βιομηχανιών και πετροχημικών βιομηχανιών.

Στα πρώτα δυο κεφάλαια γίνεται μια παρουσίαση της διαδικασίας ανάλυσης αστοχίας και όλων των μεθόδων και ελέγχων που χρησιμοποιούνται.

Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται αστοχίες σε εξαρτήματα, όπως άξονες, μηχανικές σαλαμάστρες, έδρανα, οδοντωτοί τροχοί και οι λόγοι αστοχίας.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει ολοκληρωμένη ανάλυση αστοχίας ατέρμονα κοχλία-κορώνας.

In this work, which is divided into five chapters, is an effort to document failures and process failure analysis of mechanical parts of industries and petrochemical industries.

The first two chapters are a presentation of the process and failure analysis of all the methods and controls used.

The third and fourth chapters recorded failures in components, such as shafts, mechanical packing, bearings, gears, and the reasons of failure.

The fifth chapter contains a comprehensive analysis of failure worm-gear.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2. Μεθοδολογία ανάλυσης αστοχίας

2.1 Διαδικασία ανάλυσης αστοχίας

2.1.1 Μακροσκοπική εξέταση

2.1.2 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (NDT)

2.1.2.1 Διεισδυτικά υγρά

2.1.2.2 Μαγνητικά σωματίδια

2.1.2.3 Έλεγχος με υπερήχους

2.1.2. Ραδιογραφία X ή γ

2.1.3 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ (DT)

2.1.3.1 Χημική ανάλυση

2.1.3.2 Μεταλλογραφική εξέταση

2.1.5 Μηχανικές Δοκιμές

3. ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

3.1 Η φτερωτή (impeller)

3.2 Ο άξονας (shaft)

3.2.1 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΑΞΟΝΩΝ

3.3 Το κέλυφος (shell)

3.4 Το σύστημα στεγανοποίησης (seal)

3.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΑΛΑΜΑΣΤΡΑΣ (MECHANICAL SEAL FAILURE ANALYSIS)

3.5 Έδρανα

3.5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΚΤΙΝΙΚΩΝ ΕΔΡΑΝΩΝ ΚΥΛΙΣΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

3.5.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.

4. ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

4.2 ΑΙΤΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΟΔΟΝΤΟΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ

4.3 ΒΛΑΒΕΣ ΟΔΟΝΤΟΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ

4.3.1 Δημιουργία ρωγμών

4.3.2 Χάραξη

- 4.3.3 Κόπωση – γήρανση (μηχανική διάβρωση):
- 4.3.4 Υπερθέρμανση
- 4.3.5 Ανίχνευση ξένων σωματιδίων

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

5.1 ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΟΧΛΙΑ – ΚΟΡΩΝΑΣ

5.1.1 ΧΑΛΥΒΕΣ

5.1.2 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ ΣΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

5.2. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

5.3. ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ

5.4. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ

5.5. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ

5.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φθορά στις μηχανολογικές κατασκευές είναι φυσιολογικό να συμβαίνει και δεν μπορεί να αποφευχθεί, μπορεί όμως να μειωθεί ο ρυθμός της ώστε να επιτευχθεί ο μεγαλύτερος δυνατός χρόνος ζωής της κατασκευής. Οι κατασκευαστές δίνουν κάποιο αναμενόμενο χρόνο ζωής στις κατασκευές τους, αν αυτός ο χρόνος μειωθεί κατά πολύ αυτό θεωρείται ότι αστόχησε.

Η αστοχία των μηχανολογικών κατασκευών έχει πολλές επιπτώσεις και κυριότερη από αυτές είναι η οικονομική ζημία που προκαλούν. Ακόμα δεν θα μπορούσαμε να μην θεωρήσουμε σημαντική την πιθανή βλάβη προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Στη βιομηχανία λόγω της πίεσης για συνεχή παραγωγή μια απλή αστοχία ενός “φθηνού” εξαρτήματος μπορεί να επιφέρει μεγάλη οικονομική ζημία λόγω της κρισιμότητας του εξοπλισμού οπότε την μείωση της παραγωγής. Ακόμα επικίνδυνα υλικά (τοξικά αέρια, χημικά προϊόντα) λόγω διαρροών μπορεί να επιφέρουν πρόστιμα αλλά κυρίως απώλεια ανθρωπίνων ζωών.

Ένας μηχανικός οφείλει πριν την αντικατάσταση – επισκευή να αναζητήσει τον λόγο της αστοχίας, ώστε να επιλέξει την αντικατάσταση με κάποια καινούργια κριτήρια που δεν ήταν γνωστά πριν την αστοχία.

Τα στάδια στα οποία μπορούμε να αναζητήσουμε λόγους αστοχίας είναι τα εξής :

Το στάδιο του σχεδιασμού, το σημαντικότερο αφού εδώ βάσει των συνθηκών λειτουργίας καθορίζονται τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως υλικό και γεωμετρικές διαστάσεις. Αστοχία λόγω σφάλματος στο στάδιο σχεδιασμού συχνά οδηγεί στον επανασχεδιασμό. Σ’ αυτό το στάδιο και στο επόμενο ξεχωρίζουν οι ποιοτικοί κατασκευαστές και δημιουργείται και η τιμή του προϊόντος.

Το στάδιο της κατασκευής όπου πρέπει να ακολουθηθούν όλες οι οδηγίες που περιγράφονται στον σχεδιασμό. Διάφορες κατεργασίες όπως θερμικές κατεργασίες, μηχανουργικές κατεργασίες, συγκολλήσεις εμπλέκονται σ’ αυτό το στάδιο άρα σφάλμα μπορεί να δημιουργηθεί ευκολότερα. Γι’ αυτόν τον λόγο ο ποιοτικός έλεγχος είναι απαραίτητος.

Το στάδιο της λειτουργίας. Ο μέγιστος χρόνος ζωής θα επιτευχθεί μόνο αν το εξάρτημα τοποθετηθεί και λειτουργήσει σε συνθήκες οι οποίες είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί. Ακόμα σωστή τοποθέτηση – μοντάρισμα, συντήρηση όπου περιγράφονται από τον σχεδιαστή πρέπει να ακολουθηθούν για να επιτευχθεί ο αναμενόμενος χρόνος ζωής.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Κύριο εργαλείο για την ανάλυση της αστοχίας είναι το αρχείο. Εκεί πρέπει να καταγράφεται λεπτομερώς το ιστορικό λειτουργίας, προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά καιρούς, εργασίες συντήρησης, διάφορες μετρήσεις (θερμοκρασία, δόνησης, παχυμετρήσεις, υπέρηχοι), ανταλλακτικά που χρησιμοποιηθήκαν. Ακόμα το εξάρτημα που αστόχησε παρέχει πληροφορίες, για τον λόγο της αστοχίας, που έχουν αποτυπωθεί στην επιφάνεια του ή στην εσωτερική του δομή.

Με το αρχείο το τεμάχιο που αστόχησε αλλά και με πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας την στιγμή της αστοχίας μπορούμε να αποφανθούμε για τον λόγο της αστοχίας.

A) ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΜΕ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ

Αν η κρισιμότητα και το κόστος του εξοπλισμού είναι σημαντικά τότε μπορούμε να επενδύσουμε κάποιο ποσό στην πρόληψη και την ανίχνευση της αστοχίας πριν αρχίσει να επιταχύνεται συμπαράσφροντας και άλλα μέρη του εξοπλισμού να αστοχήσουν.

Ο οπτικός έλεγχος και η μετρήσεις μπορούν να μας οδηγήσουν σε αντικατάσταση μέρους του εξοπλισμού ή μια απλή επιδιόρθωση, με αυτόν τον τρόπο μπορεί να προλάβουμε μια μεγαλύτερη βλάβη.

Σε μία φυγοκεντρική αντλία που περιστρέφεται με την βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα για παράδειγμα όπου οι μετρήσεις έδειξαν πολλές δονήσεις, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι άξονες δεν είναι καλά ευθυγραμμισμένοι, οπότε μια σωστή ευθυγράμμιση προλαμβάνει την αστοχία των ρουλεμάν.

Ακόμα κατά την συγκόλληση σωληνώσεων χρησιμοποιούμε ραδιογραφία, υπέρηχους, η διεισδυτικά υγρά για να ελέγξουμε για τυχόν ατέλειες που δημιουργήθηκαν κατά την συγκόλληση (πόροι, ξένα σώματα), και στην συνέχεια προχωράμε και σε υδραυλική δοκιμή ώστε να φανεί οπτικά μια πιθανή διαρροή και να ελεγχθεί η συγκόλληση σε πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας.

Κάποιες φορές όμως δεν μπορούμε να ελέγξουμε για τυχόν ατέλειες με την χρήση φορητών συσκευών ή με οπτικό έλεγχο, αλλά σε εργαστηριακό περιβάλλον με την χρήση συσκευών υψηλότερης ακρίβειας.

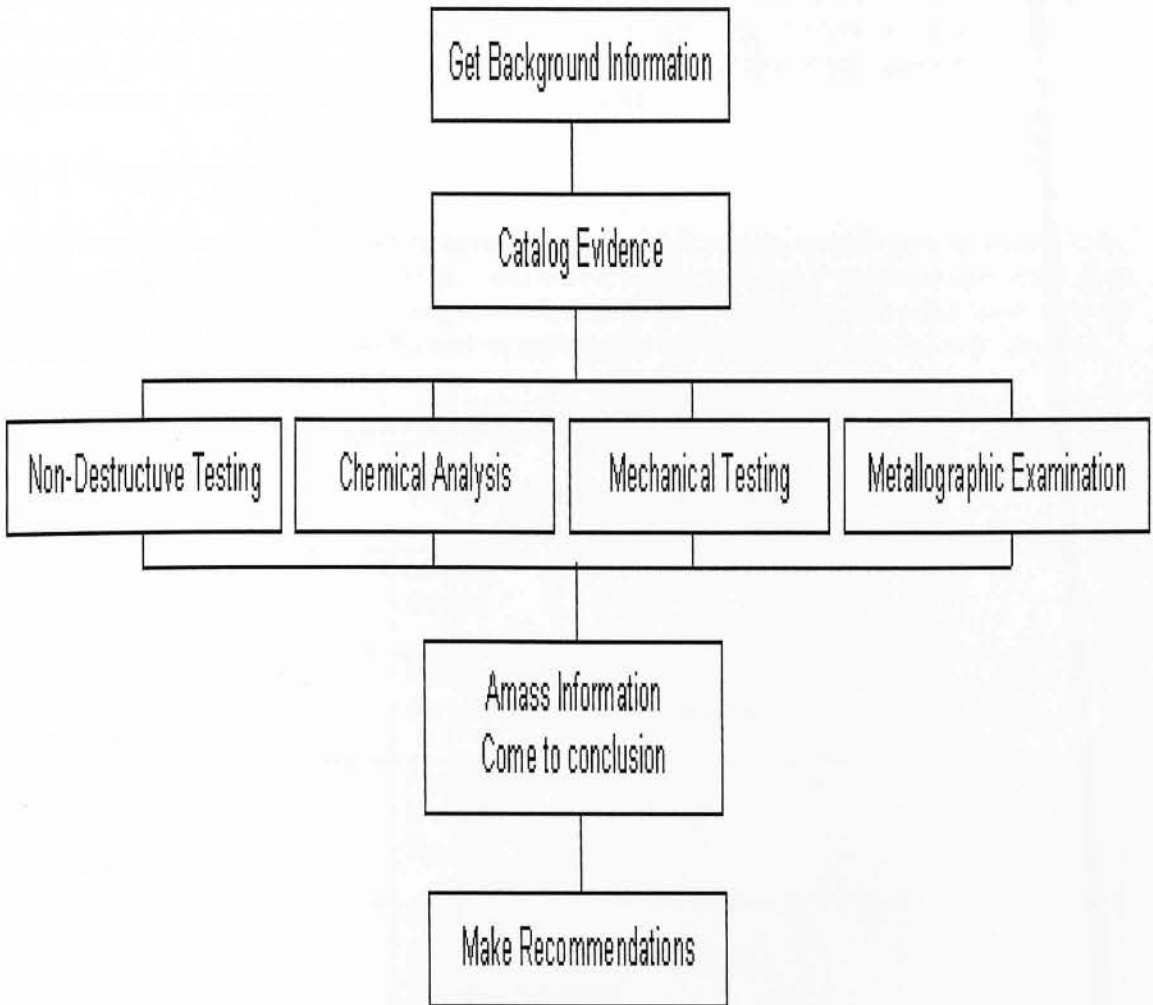
B) ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Αφού πρώτα καταγραφεί πλήρως η εικόνα του αντικειμένου που αστόχησε μπορούμε να περάσουμε στο επόμενο στάδιο ελέγχου όπου απαιτείται η καταστροφή του δοκιμίου. Εδώ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές ελέγχου ώστε να προσδιοριστούν τυχόν αποκλίσεις του υλικού από τις προδιαγραφές που τέθηκαν κατά τον σχεδιασμό του (χημική σύσταση, μικροδομή, μηχανικές ιδιότητες). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε αυτό το στάδιο είναι χημικές ανάλυσης, μικροσκοπική παρατήρηση, μηχανικές δοκιμές .

Τα συμπεράσματα από τους δυο ελέγχους τα συγκρίνουμε με το αρχείο και τον αρχικό σχεδιασμό και έτσι μπορούμε να βρούμε σε πιο στάδιο τις "ζωής" του δοκιμίου δημιουργήθηκε ο λόγος της αστοχίας.

2.1 Διαδικασία ανάλυσης αστοχίας

Για να αυξηθούν οι πιθανότητες της ολοκλήρωσης μιας τεκμηριωμένης ανάλυσης αστοχίας, ενώ ταυτόχρονα εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα, οι έρευνες πρέπει να διεξάγονται χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση παρόμοια με αυτή που περιγράφεται στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1

Το πρώτο βήμα για τη διεξαγωγή κάθε ανάλυσης είναι να απόκτηση μιας καλής κατανόησης των συνθηκών λειτουργίας του εξαρτήματος. Ο ερευνητής πρέπει να θέσει ερωτήματα σε εκείνους που ερχόντουσαν σε επαφή με το εξάρτημα π.χ. συντηρητές. Επικοινωνία με τον κατασκευαστή μπορεί επίσης να είναι αναγκαία. Ένα απλό ερωτηματολόγιο, είναι καλό και θα οδηγήσει τον ερευνητή σε πιο λεπτομερείς ερωτήσεις.

Καταγράφονται οι συνθήκες λειτουργίας τη στιγμή της αστοχίας, προκειμένου να προσδιοριστεί πιθανή μηχανική υπερφόρτιση της κατασκευής (εκτός των προδιαγεγραμμένων ορίων ασφαλούς λειτουργίας) ή και μη συνήθης παρουσία χημικών παραγόντων ή θερμικών φορτίων. Εξετάζεται το πρωτόκολλο χρήσης της κατασκευής, όπου θα πρέπει να καταγράφεται συστηματικά το ιστορικό λειτουργίας της: συχνότητα και περιγραφή εργασιών συντήρησης, λίπανσης και ψύξης, πιθανά προβλήματα κατά τη λειτουργία της, συχνότητα και χρονικό διάστημα χρήση εκτός των ορίων ασφαλούς λειτουργίας, ασυνήθεις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας του περιβάλλοντος, κλπ.

2.1.1 Μακροσκοπική εξέταση

Το δεύτερο βήμα είναι να προβεί σε οπτική εξέταση. Τα δείγματα θα πρέπει να εξεταστούν, να φωτογραφηθούν μεριμνώντας ιδιαίτερα ώστε να εντοπιστεί και να καταγραφεί τυχόν περιοχή με ιδιαίτερη σημασία, όπως λεπτομέρειες των επιφανειών θραύσης και ατέλειες στην επιφάνεια. Η οπτική εξέταση μπορεί να βοηθηθεί από τη χρήση ενός στερεοσκοπικό μικροσκόπιο με φώτα που μπορούν εύκολα να κατευθύνονται.

Μηχανισμοί Θραύσης και Χαρακτηριστικά Επιφανειών θραύσης	
Τρόπος θραύσης	Τυπικά χαρακτηριστικά επιφάνειας θραύσης
Όλκιμη	Ινώδεις Θαμπή
Ψαθυρή περικρυσταλλική	Ινώδεις Ρωγμές στα όρια των κόκκων
Ψαθυρή ένδοκρυσταλλική	Λαμπερή Επίπεδη Σχισμές
Κόπωση	Ραβδώσεις Περιοχή έναρξης διαδικασίας Περιοχή διάδοσης Τελική ζώνη θραύσης

Πίνακας 2.1

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ουσίες όπως σκόνη, χρώματα και πετρέλαιο στην επιφάνεια μπορούν να είναι σημαντικά στοιχεία όπως το πόσο παλιά είναι η επιφάνεια θραύσης και σε τι είδους περιβάλλον, το κομμάτι βρισκόταν. Η οπτική εξέταση είναι μια καλή στιγμή να εξετασθούν των επιφανειών θραύσης με λεπτομέρεια και προσπάθεια να προσδιοριστεί ο τρόπος της θραύσης (ψαθυρό, όλκιμο, κόπωση κ.λπ.), τα σημεία για της έναρξης της θραύσης, καθώς και την κατεύθυνση της διάδοσης.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι που μπορεί να χρησιμοποιήσουμε για να καθορίσουμε την αιτία της αστοχίας, η οποίες μπορεί να κατατάσσονται σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

2.1.2 Μη καταστροφικός έλεγχος (NDT)

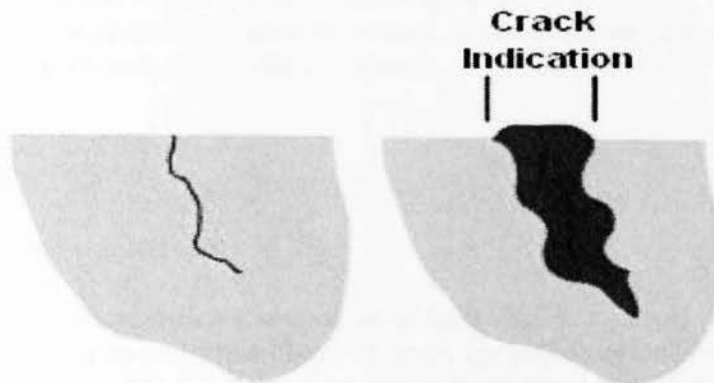
Ρωγμές, ασυνέχειες, απώλεια πάχους, ξένες ύλες, και προβλήματα του υλικού κάτω από την επιφάνεια μπορούν να καταγραφούν και να αξιολογηθούν χρησιμοποιώντας αυτές τις δοκιμές.

Οι ΜΚΕ δεν δημιουργήθηκαν με σκοπό να αντικαταστήσουν τις Καταστροφικές Μεθόδους Ελέγχου. Ο εκάστοτε ελεγκτής θα πρέπει να γνωρίζει ότι αρκετές φορές οι Καταστροφικοί Έλεγχοι χρησιμοποιούνται σαν συμπλήρωμα των ΜΚΕ και πως κάθε μέθοδος ελέγχου μπορεί να συμπληρώσει κάποια άλλη. Εξάλλου δεν είναι ασύνηθες τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης για μια μέθοδο ΜΚΕ να αναπτύχθηκαν από έρευνες που σχετίζονται με τα αποτελέσματα Καταστροφικών Ελέγχων.

Κάθε μέθοδος ΜΚΕ έχει διαφορετικό βαθμό ακριβείας που όμως ποτέ δεν φτάνει την απόλυτη ακρίβεια ενός Καταστροφικού Ελέγχου. Όμως, οι ΜΚΕ είναι πολύ οικονομικότερες από τον καταστροφικό έλεγχο καθώς αφήνουν την κατασκευή άθικτη και διαθέσιμη για περαιτέρω έλεγχο ή λειτουργία. Καταστροφικοί και Μη έλεγχοι εφαρμόζονται σε συνδυασμό κατά τον έλεγχο της αξιοπιστίας μιας μεθόδου, οπότε τυχαία δείγματα ή δοκίμια ελέγχονται πρώτα με ΜΚΕ και στη συνέχεια με ΚΕ ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα τους και να οριστεί ή να ρυθμιστεί καλύτερα η ακρίβεια της μεθόδου.

2.1.2.1 Διεσδυτικά υγρά

Η μέθοδος ελέγχου με διεσδυτικά υγρά βασίζεται στην ικανότητα ορισμένων υγρών να εισέρχονται σε χαραμάδες ή ρωγμές και να παραμένουν εκεί ακόμα και όταν η επιφάνεια του υλικού καθαριστεί από αυτά τα υγρά. Οπότε είναι εύκολα κατανοητό πως αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη στο να αναδεικνύει ασυνέχειες οι οποίες ξεκινούν από την επιφάνεια. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές αυτής της μεθόδου, με την κάθε μια να παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.



Ο έλεγχος με διεσδυτικά υγρά μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τύπου Α με χρήση φθορίζουσών ουσιών που έχουν την ιδιότητα να προσφέρουν πολύ καλή ανάλυση των αποτελεσμάτων των διάφορων ενδείξεων. Ο έλεγχος με φθορίζουσες ουσίες περιλαμβάνει υγρά τα οποία όταν εκτεθούν σε υπεριώδη ακτινοβολία έχουν την ικανότητα να παράγουν φθορισμό, οπότε γίνεται εύκολα κατανοητό πως στον βασικό εξοπλισμός αυτής της μεθόδου θα πρέπει να περιλαμβάνονται και λάμπες που εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία. Επίσης η συγκεκριμένη μέθοδος για να θεωρηθεί αποτελεσματική θα πρέπει να διενεργείται σε περιβάλλοντα χαμηλού φωτισμού. Οι φθορίζουσες ουσίες μπορούν να αφαιρεθούν από την επιφάνεια του υπό εξέταση υλικού είτε με απλό νερό είτε, ανάλογα την ουσία πάντα, προσαρμόζοντας ειδικά γαλακτώματα στην επιφάνεια του υλικού.
- Τύπου Β με χρήση ορατών χρωστικών ουσιών ορατών με το ανθρώπινο μάτι. Σε αυτή την περίπτωση οι ουσίες μπορούν να αφαιρεθούν από την επιφάνεια του εξεταζόμενου είτε με νερό, είτε προσθέτοντας ειδικά γαλακτώματα στο νερό, είτε κάνοντας χρήση συγκεκριμένων διαλυμάτων.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (+)

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα μη πορώδη υλικά.
- Φορητότητα εξοπλισμού.
- Σχετικά χαμηλό κόστος εξοπλισμού.
- Αξιόπιστα αποτελέσματα των ελέγχων.
- Αποτελέσματα που μπορούν να γίνουν εύκολα και γρήγορα κατανοητά.
- Δεν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια εκτός από αυτή που χρειάζεται για τις πηγές φωτός.
- Οι όποιες ενδείξεις μπορούν αν εξετασθούν περαιτέρω με την βοήθεια της οπτικής μεθόδου.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (-)

- Επιφανειακά φιλμ όπως, στρώματα επικάλυψης, φύλλα, αλοιφές μετάλλων, σκεπάζουν ή κρύβουν πιθανές αστοχίες.
- Τα διάφορα μέρη θα πρέπει να καθαρίζονται πριν και μετά από τον έλεγχο.
- Θα πρέπει να τηρούνται αυστηροί κανόνες ασφαλείας για την διαχείριση των υγρών και των διαφόρων χημικών που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο.
- Η μέθοδος των διεισδυτικών υγρών δεν μπορεί να εντοπίσει και να αναδείξει ατέλειες και σφάλματα που υπάρχουν εντός του υλικού.

2.1.2.2 Μαγνητικά σωματίδια

Ο Έλεγχος Μαγνητικών Σωματιδίων αποτελεί μια μέθοδο ΜΚΕ που μπορεί να εντοπίσει ασυνέχειες και σφάλματα σε μαγνητικά υλικά. Με αυτή την μέθοδο εντοπίζονται επιφανειακές ασυνέχειες όπως αυτές που δεν είναι δυνατό να γίνουν διακριτές με γυμνό μάτι ή ασυνέχειες που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια αλλά δεν είναι επιφανειακές. Επίσης με συγκεκριμένο εξοπλισμό μπορούν να εντοπιστούν και ασυνέχειες που είναι βαθιά μέσα στο υπό εξέταση υλικό.



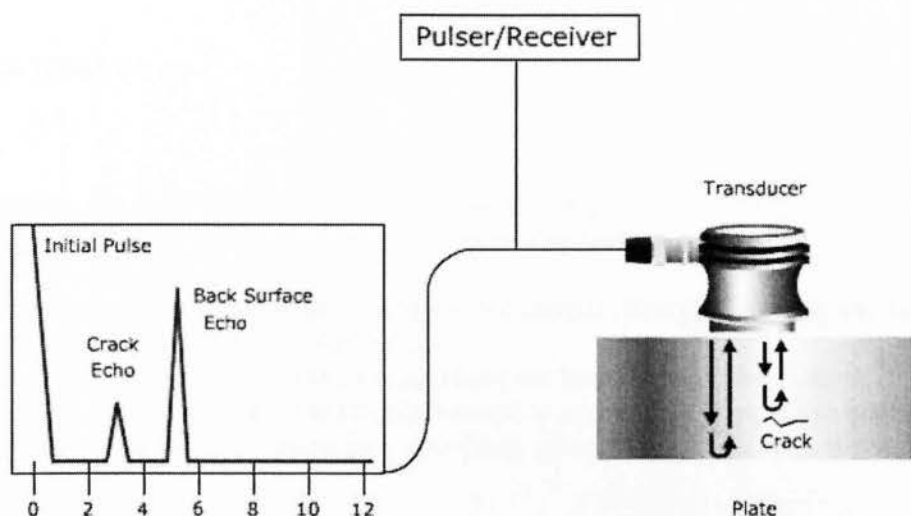
Στην εικόνα φαίνεται χαρακτηριστική ανάδειξη ελαττωμάτων μέσω της χρήσης μαγνητικών σωματιδίων τα οποία αφού έχουν μαγνητιστεί μαζί με το υλικό δημιουργούν διάφορα σχήματα στην επιφάνεια της συγκόλλησης

Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων δεν είναι δυνατό να αντικαταστήσει την μέθοδο των υπερήχων ή της ραδιογραφίας στον εντοπισμό εσωτερικών-μη επιφανειακών σφαλμάτων, αλλά κατά περιπτώσεις εμφανίζει πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την ραδιογραφία στην ικανότητα της να εντοπίζει στενές ρωγμές και πολλά επιφανειακά ελαττώματα. Βέβαια η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων μπορεί να υποκαταστήσει κατά περίπτωση την μέθοδο της ραδιογραφίας ή των υπερήχων, τέτοιες περιπτώσεις είναι όταν δεν είναι διαθέσιμες οι δύο προαναφερθείσες μέθοδοι ή όταν η εφαρμογή τους δεν είναι πρακτικά εφικτή λόγω του σχήματος της συγκόλλησης ή λόγω της τοποθεσίας της συγκόλλησης.

Ο έλεγχος υλικών και συγκολλήσεων με την μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων είναι εφικτός και εφαρμόσιμος μόνο σε φερομαγνητικά υλικά στα οποία το υλικό της συγκόλλησης είναι επίσης φερομαγνητικό. Έτσι γίνεται κατανοητό πως αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μη φερριτικά υλικά ή σε μέταλλα ωστενίτη, καθώς επίσης είναι πολύ πιθανό να εμφανιστούν σημαντικές δυσκολίες στον έλεγχο συγκολλήσεων όπου τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του υλικού με το οποίο θα γίνει η συγκόλληση είναι αρκετά διαφορετικά από αυτά του προς συγκόλληση μετάλλου. Ενώσεις ανάμεσα σε μέταλλα με διαφορετικές μαγνητικές ιδιότητες θα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μαγνητικών ασυνεχειών που με την σειρά τους θα δίνουν ενδείξεις ελαττωμάτων ακόμα και εάν οι ενώσεις δεν έχουν τέτοια ελαττώματα στην πραγματικότητα. Επίσης ελαττώματα όπως πόροι εντός του υλικού ή εγκλείσματα σκουριάς έχουν σαν αποτέλεσμα να μην δίνουν καθαρές ενδείξεις για το είδος του ελαττώματος.

2.1.2.3 Έλεγχος με υπερήχους

Ο έλεγχος με υπερήχους αποτελεί έναν Μη Καταστροφικά Έλεγχο που χρησιμοποιείτε για τον εντοπισμό, τον έλεγχο και την αξιολόγηση εσωτερικών ασυνεχειών σε μέταλλα και άλλα υλικά. Η βασική αρχή αυτής της μεθόδου είναι η παραγωγή μιας δέσμης ήχου υψηλής συχνότητας με κατεύθυνση προς το υπό έλεγχο υλικό, στο οποίο σε περίπτωση εσωτερικών ασυνεχειών ανακλά την εν λόγω δέσμη. Αυτή η ασυνέχεια εμφανίζεται σαν μια απότομη κάθετη κατακόρυφη γραμμή σε μια CRT οθόνη.



Σχήμα τρόπου λειτουργίας της μεθόδου των υπερήχων

Όσο αναφορά την απεικόνιση των κυμάτων στην CRT οθόνη, από την στιγμή που τόσο οι οριζόντιες(χρόνος) όσο και οι κάθετες(amplitude) διαστάσεις-γραμμές δεν σχετίζονται από άποψη μεγέθους ή μετρούμενου διαστήματος τότε δεν μπορούν να συσχετιστούν και με κάποιο κοινό αρχικό μηδενικό σημείο. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητο να πραγματοποιείτε βαθμονόμηση της μονάδας παραγωγής υπερήχων σύμφωνα με κάποια τυποποίηση πριν από την διεξαγωγή κάποιου ελέγχου. Διάφοροι τύποι ανακλαστήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βαθμονόμηση του εξοπλισμού ως προς τις μετρούμενες αποστάσεις και το μετρούμενο εύρος. Αυτό γίνεται για ανακλαστήρες που έχουν παρόμοιες ακουστικές ικανότητες με αυτές του ελεγχόμενου υλικού. Άλλος τρόπος βαθμονόμησης του εξοπλισμού αποτελεί το άνοιγμα οπών στους ανακλαστήρες παρέχοντας έτσι σωστά επίπεδα τυποποίησης και αποδοχής εύρους.

Σχετικά με τον τρόπο απεικόνισης των διαφόρων μετρήσεων ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη μέθοδο pulse-echo (μέθοδος απεικόνισης A-scan) που συνοδεύεται με εικονική παρουσίαση του παλμού είναι και ο πιο συνηθισμένος για τον χειροκίνητο έλεγχο με φορητές συσκευές συγκολλήσεων ή άλλων υλικών. Ο εξοπλισμός τύπου pulse-echo παράγει επαναλαμβανόμενους ήχους υψηλών συχνοτήτων με παύσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς ήχους συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας έτσι ώστε να επιτρέπεται η επιστροφή των σημάτων από τους ανακλαστήρες ήχου. Αυτές οι παύσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικά ηχητικά σήματα, που ονομάζονται ρυθμοί παλμού(pulse rate), συνήθως λαμβάνουν χώρα στους 500 παλμούς/δευτερόλεπτο, ανάλογα βέβαια από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

Στην απεικόνιση των παλμών, η γραμμή που αντιπροσωπεύει το χρόνο βρίσκεται στο οριζόντιο κάτω μέρος της οθόνης απεικόνισης. Στο αριστερό μέρος της γραμμής που απεικονίζει το χρόνο βρίσκεται μια άλλη κάθετη γραμμή που απεικονίζει τον αρχικό παλμό. Το A scan δείχνει ότι το χρονικό διάστημα ανάμεσα στους παλμούς αναπαριστάται στην οριζόντια διεύθυνση, καθώς και ότι το σχετικό εύρος του σήματος αναπαριστάται από τον βαθμό της κάθετης ανύψωσης της γραμμής στην οθόνη απεικόνισης. Η οθόνη είναι συνήθως βαθμονομημένη τόσο σε οριζόντια όσο και σε κάθετη διεύθυνση ώστε να διευκολυνθεί η μέτρηση των παλμών που απεικονίζονται.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (+)

- Μέθοδος πιο ευαίσθητη σε διαστάσιμα ελαττώματα.
- Τα αποτελέσματα των ελέγχων γίνονται γνωστά αμέσως.
- Φορητός εξοπλισμός.
- Η πλειονότητα του εξοπλισμού υπερήχων δεν απαιτεί ηλεκτρική παροχή από το δίκτυο.
- Ικανότητες υψηλής διεισδυτικότητας.
- Είναι δυνατός ο προσδιορισμός του μεγέθους και του είδους του σφάλματος.
- Ασφαλής μέθοδος που δεν απαιτεί εξειδικευμένα μέτρα ασφαλείας για το προσωπικό.
- Ευέλικτη μέθοδος αφού απαιτείται πρόσβαση μόνο της μιας πλευράς του υπό εξέταση αντικειμένου.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (-)

- Η επιφάνεια πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί το μηχάνημα του υπερήχου θα πρέπει να είναι κατάλληλα προετοιμασμένη και απαιτείται η χρήση ειδικού υγρού.
- Μικρές ή λεπτές συγκολλήσεις είναι δύσκολο να ελεγχθούν με ακρίβεια.
- Απαιτείτε ικανός χειριστής του εξοπλισμού.

2.1.2. Ραδιογραφία X ή γ

Στην περίπτωση των ραδιογραφικών ελέγχων υλικών, χρησιμοποιείται πηγή ακτίνων X ή ακτίνων γ (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία), οι οποίες λόγω του μικρού μήκους κύματός τους εμφανίζουν υψηλή διεισδυτική ικανότητα, ενώ ένα μικρό μόνο ποσοστό τους απορροφάται από το υλικό. Αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού, το πάχος του και φυσικά το μήκος κύματος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας.

Σύγκριση Συσκευών Ακτίνων X και γ

Εφόσον το πάχος ενός υλικού βρίσκεται μέσα στο εύρος της ραδιογράφησης με την συγκεκριμένη συσκευή ακτίνων X, η ραδιογραφία ακτίνων X θα έχει πολύ μεγαλύτερη ευαισθησία (λόγω κυρίως μεγαλύτερης αντίθεσης) από την αντίστοιχη ακτίνα γ. Αντίθετα, οι ακτίνες γ (ακόμα και από Ir192) μπορούν να ραδιογραφήσουν πάχη μεγαλύτερα από ό,τι οι ακτίνες X, έστω και αν χρειαστεί έκθεση αρκετών ωρών προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη πυκνότητα (αμαύρωση) του φιλμ. Οι ακτίνες γ δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά για ραδιογράφιση λεπτών δοκιμίων χάλυβα ή λεπτών και μεσαίου πάχους δοκιμίων από ελαφρά κράματα (π.χ. αλουμινίου και τιτανίου).

Οι συσκευές ακτίνων γ είναι συνήθως πολύ ελαφρότερες από τις συσκευές ακτίνων Χ (εκτός από ορισμένες σύγχρονες μικρές συσκευές ακτίνων Χ) και δεν χρειάζονται πηγή ηλεκτρισμού για να ενεργοποιηθούν.

Αρα λόγω μικρού βάρους και πλήρους αυτοδυναμίας είναι ιδανικές για εργοταξιακές χρήσεις.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των συσκευών ακτίνων γ είναι η δυνατότητα πανοραμικής λήψης που προσφέρουν παρότι υπάρχουν και πανοραμικές συσκευές ακτίνων Χ. Επίσης, αγορά μιας συσκευής ακτίνων γ σημαίνει εν γένει μικρότερη δαπάνη από την αγορά μιας συσκευής ακτίνων Χ. Όμως, εκτός από την βασική διαφορά στην ποιότητα του ραδιογραφήματος, οι συσκευές ακτίνων Χ παρέχουν και καλύτερο έλεγχο της ραδιογράφησης.

Ελέγχουμε τα kV της συσκευής, άρα το παραγόμενο μικρότερο μήκος κύματος και επομένως την διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας, ενώ στις πηγές ακτίνων γ τα προηγούμενα καθορίζονται από το είδος του ισότοπου. Ελέγχουμε επίσης πολύ καλά την ένταση της ακτινοβολίας, ελέγχοντας τα mA της συσκευής, ενώ στην συσκευή ακτίνων γ το αντίστοιχο μέγεθος (Curie του ισότοπου) δεν μπορεί να ελεγχθεί, διότι εξαρτάται μόνο από τον χρόνο.

Στην περίπτωση της συσκευής ακτίνων γ τα μόνα που μπορούν να ρυθμιστούν είναι η απόσταση πηγής-φίλμ (συνήθως μικρότερη από ότι στην περίπτωση της ακτίνας Χ) και ο χρόνος έκθεσης (συνήθως πολύ μεγαλύτερος από ότι στις ακτίνες Χ).

Ένα ακόμα μειονέκτημα των συσκευών ακτίνων γ είναι η ανάγκη συνεχούς αλλαγής της πηγής ειδικά στο Ir192 που ο χρόνος ημίσειας ζωής είναι πολύ μικρός.

Παρόλη την εκτεταμένη χρήση των ακτίνων γ ιδίως σε εργοταξιακές εφαρμογές είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι οι απαιτήσεις μας για την ποιότητα του ραδιογραφήματος πρέπει να είναι μικρότερες σε σχέση με την αντίστοιχη ραδιογράφιση με ακτίνες Χ. Είναι εξαιρετικά συνηθισμένο λάθος να δεχόμαστε ραδιογράφιση με ακτίνες γ αλλά να ζητούμε ευαισθησία πεντετραμέτρου και αντίθεση εικόνας σαν να ραδιογραφούμε με ακτίνες Χ, προκαλώντας έτσι τριβές και δυσαρέσκειες με τον ραδιογράφο χωρίς αυτός να φέρει ευθύνη.

2.1.3 Καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου (DT)

2.1.3.1 Χημική ανάλυση

Χημική ανάλυση του κράματος και των αποθέσεων ξένων σωμάτων αν υπάρχουν. Η τεχνική που χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τη χημική ανάλυση σε μελέτες αστοχίας μεταλλικών μερών είναι η φασματοσκοπία εκπομπής (emission spectroscopy), λόγω της ταχύτητας και της αξιοπιστίας της. Τα άτομα των στοιχείων του εξεταζόμενου υλικού διεγείρονται, συνήθως με τη δημιουργία πλάσματος, και στη φάση της αποδιέγερσής τους εκπέμπουν μια σειρά χαρακτηριστικών για κάθε στοιχείο ακτινοβολιών. Η παρουσία του είδους των στοιχείων (ποιοτική ανάλυση) ταυτοποιείται με την ανίχνευση των κύριων φασματικών γραμμών, ενώ η περιεκτικότητα των στοιχείων στο δείγμα (ποσοτική ανάλυση) προσδιορίζεται μετά από κατάλληλη μέτρηση της έντασής τους με τη χρήση προτυποποιημένων δειγμάτων του αντίστοιχου στοιχείου.

2.1.3.2 Μεταλλογραφική εξέταση

Η οπτική μικροσκοπία

Η οπτική μικροσκοπία (ΟΜ) είναι μια πολύ σημαντική μέθοδος παρατήρησης και ερμηνείας της μικροδομής των υλικών, που αποτελεί το βασικό αντικείμενο της μεταλλογραφίας. Με το μικροσκόπιο, μικρά αντικείμενα, που με γυμνό μάτι είναι αόρατα (είναι δηλαδή μικρότερα του 0,1mm) γίνονται ορατά, οπότε μικρά αντικείμενα μεγέθους μέχρι 0,1μm=0,0001mm μπορούν να μελετηθούν.

Με τη βοήθεια της ΟΜ είναι δυνατόν:

- να εντοπιστούν ρωγμές, πόροι, εγκλείσματα ξένων ουσιών ή οξειδίων μέσα σε μέταλλα / κράματα, κεραμικά, πολυμερή υλικά.
- να προσδιοριστεί το είδος, το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων ενός μετάλλου / κράματος καθώς και οι διάφορες φάσεις και η κατανομή τους και να γίνει εκτίμηση για 3 το είδος των μηχανικών ή θερμικών διεργασιών στις οποίες έχει υποβληθεί ένα υλικό κατά την κατασκευή του.
- να ελεγχθεί η καλή συγκόλληση μεταλλικών ελασμάτων ή αγωγών και να εντοπιστεί η πιθανή διάβρωση σε σημεία συγκόλλησης
- να ελεγχθεί η σωστή επιμετάλλωση αγωγών, πλακετών, τυπωμένων κυκλωμάτων, ηλεκτρικών επαφών
- να ελεγχθεί η λειτουργικότητα ή μη μικρών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Τα μέταλλα είναι μια μεγάλη κατηγορία χημικών στοιχείων, που εμφανίζουν ορισμένες κοινές ιδιότητες, τον «μεταλλικό χαρακτήρα»:

- Είναι στερεά (πλην Hg) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Έχουν υψηλή πυκνότητα
- Είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού
- Ανακλούν όλα τα μήκη κύματος, έχουν λευκό χρώμα (πλην Cu και Au)
- Τα περισσότερα είναι μαγνητικά ως ένα βαθμό (Fe, Ni, Co)
- Είναι ελατά (ελάσματα) και όλκιμα (σύρματα)
- Έχουν καλή κατεργασιμότητα
- Διαπερνώνται δύσκολα από τις ακτίνες X
- Έχουν χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη
- Τα μέταλλα είναι ηλεκτροθετικά στοιχεία (έχουν δηλ. την τάση να χάνουν τα ηλεκτρόνια σθένους που διαθέτουν).

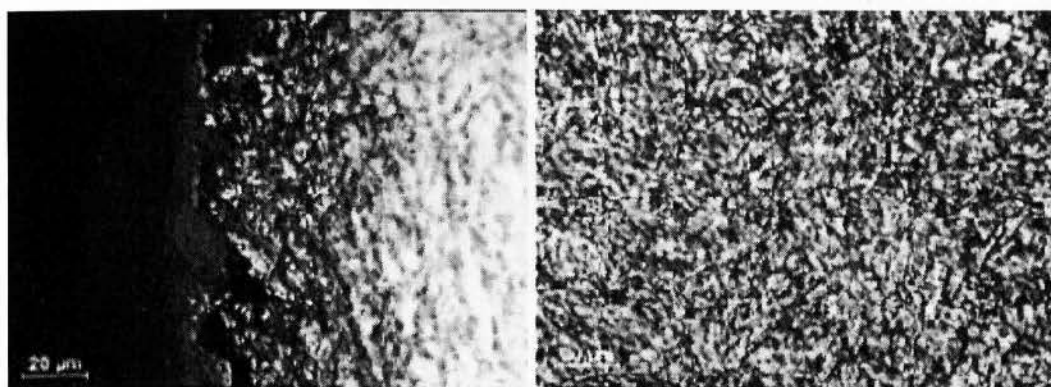
Τα μέταλλα παράγονται, κυρίως, από τις διάφορες ενώσεις τους, οι οποίες βρίσκονται στη φύση με τη μορφή μεταλλευμάτων. Τα διάφορα μεταλλεύματα υποβάλλονται σε φρύξη μέσα σε ειδικές εγκαταστάσεις και ύστερα από κατάλληλη διεργασία λαμβάνονται τα αντίστοιχα καθαρά μέταλλα.

Κράμα ονομάζεται κάθε μεταλλικό σώμα που προέρχεται από την ανάμιξη δύο ή περισσότερων χημικών στοιχείων, από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο (μέταλλο βάσης), ενώ το άλλο μπορεί να είναι επίσης μέταλλο ή αμέταλλο. Τα κράματα είναι τεχνικά υλικά, δηλαδή προορίζονται για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της τεχνικής,

παρουσιάζοντας βελτιωμένες ιδιότητες, οι οποίες εξαρτώνται από τα υλικά και τις αναλογίες ανάμιξης.

Φάση στα κράματα ονομάζουμε ένα ομογενές κρυσταλλικό στερεό διάλυμα ή ένα ομογενές τήγμα (υγρό). Αποτελεί τμήμα ενός συστήματος και διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα τμήματα του συστήματος από μια επιφάνεια. Στη συνήθη θερμοκρασία τα διάφορα κράματα αποτελούνται από μία ή περισσότερες φάσεις που ο αριθμός τους εξαρτάται κυρίως από τη σύσταση του κάθε κράματος.

Οι κόκκοι είναι μικροί πολυεδρικοί όγκοι (κρύσταλλοι) από τους οποίους αποτελείται κάθε μέταλλο, μεγέθους από μερικά έως μερικές εκατοντάδες μικρά. Οι επιφάνειες που περιορίζουν τους κόκκους λέγονται όρια των κόκκων.



Μεταλλογραφική δομή δοκιμίου σε εγκάρσια διατομή της θραύσης

2.1.5 Μηχανικές Δοκιμές

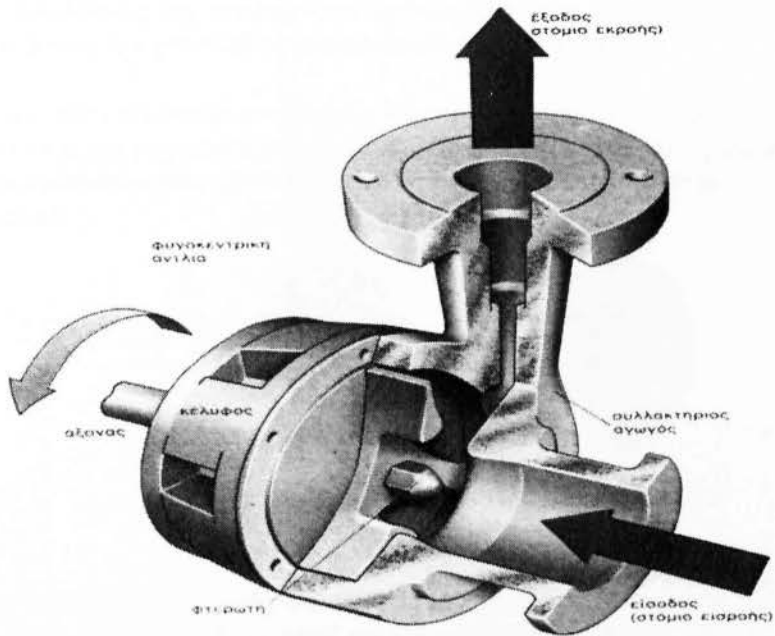
Σε αυτήν της εξέταση καθορίζουμε τις κύριες μηχανικές ιδιότητες του υλικού.

Μπορούμε να αποφανθούμε αν το υλικό που επιλέχτηκε ήταν το κατάλληλο.

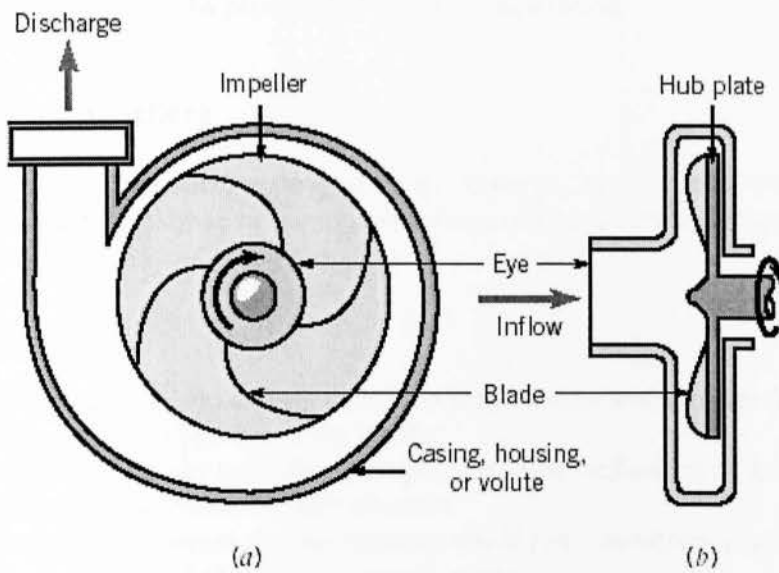
Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων και τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη, τον έλεγχο και την ανάλυση των υλικών περιλαμβάνονται και μέθοδοι προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, όπου μεταξύ άλλων μελετώνται:

- Η **αντοχή σε εφελκυσμό**, που δείχνει τη μέγιστη τάση που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα υλικό χωρίς να προκαλέσει τη θραύση του
 - Η **σκληρότητα**, που αποτελεί μέτρο της ικανότητας πλαστικής παραμόρφωσης ενός υλικού
 - Η **δυσθραυστότητα**, που δείχνει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για τη θραύση ενός δοκιμίου με τη βοήθεια ενός κρουστικού φορτίου και αποτελεί μέτρο της αντίστασης ενός υλικού σε θραύση
 - Η **αντοχή σε ερπυσμό**, που δείχνει τη συμπεριφορά ενός υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες υπό φόρτιση
 - Η **αντοχή σε κόπωση**, που δείχνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που μπορεί να εφαρμόζεται σε ένα υλικό που υφίσταται επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις χωρίς να σπάσει.
- Συμπεράσματα καθορίζονται μετά τη συγκέντρωση όλων των στοιχείων και την ανάλυση.

3. ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

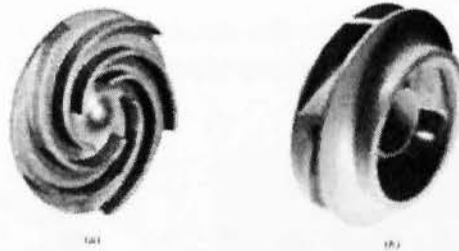


Οι αντλίες αυτές δίνουν ενέργεια συνεχώς στο σύστημα επιταχύνοντας το υγρό με την περιστροφή μιας ή περισσότερων φτερωτών. Το υγρό εισέρχεται κάθετα στο επίπεδο της φτερωτής και εξέρχεται στην διεύθυνση της ακτίνας της φτερωτής. Λόγω της περιστροφής ασκείται φυγόκεντρος δύναμη η οποία επιταχύνει το υγρό δημιουργώντας αύξηση της πίεσης. Στη συνέχεια αυτό επιβραδύνεται στο κέλυφος της αντλίας σε μια πιο ανεκτή ταχύτητα παράγοντας επί πλέον αύξηση της πίεσης στο επιθυμητό επίπεδο. Ουσιαστικά δηλαδή μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του υγρού σε στατική πίεση.



Το σχήμα του κελύφους της αντλίας είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε μέρος της κινητικής ενέργειας του ρευστού να μετατρέπεται σε στατική πίεση.

Υπάρχουν δύο τύποι πτερωτών αντλίας, η πτερωτή ανοικτού τύπου (open impeller) όπου τα πτερώγια είναι πακτωμένα στην πλύμνη αλλά είναι ελεύθερα στην άλλη πλευρά και η κλειστή πτερωτή (shrouded impeller) με τα πτερώγια πακτωμένα τόσο στην πλύμνη όσο και στην αντίθετη πλευρά.



Διακρίνουμε επίσης αντλίες απλής ή διπλής εισαγωγής, όπου στην δεύτερη περίπτωση επιτυγχάνεται μηδενική σχεδόν αξονική καταπόνηση των εδράνων.

Τέλος έχουμε μονοβάθμιες και πολυβάθμιες αντλίες. Όταν η επιθυμητή πίεση στην έξοδο της αντλίας είναι αρκετά μεγάλη γίνεται εφαρμογή των πολυβάθμιων αντλιών, με περισσότερες από μια πτερωτές και η είσοδος του ρευστού στην εκάστοτε πτερωτή είναι η έξοδος του ρευστού από την προηγούμενη πτερωτή.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούν περίπου το 90 % των αντλιών των διυλιστηρίων λόγω της οικονομικότερης λειτουργίας και συντήρησης.

Τα μέρη μιας φυγοκεντρικής αντλίας

3.1 Η φτερωτή (impeller)

Με την περιστροφή της φτερωτής επιτυγχάνεται η αύξηση της ταχύτητας του υγρού δια της φυγόκεντρης δύναμης. Αναλόγως την εφαρμογή υπάρχουν διάφοροι τύποι φτερωτής.

3.2 Ο άξονας (shaft)

Ο άξονας πρώτα μεταφέρει έργο από την κινητήρια μηχανή στην φτερωτή και δεύτερον στηρίζονται πάνω του άλλα εξαρτήματα της αντλίας.

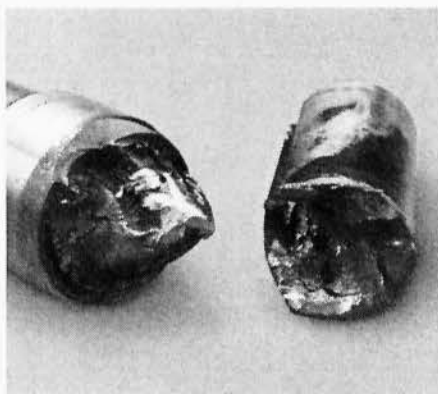
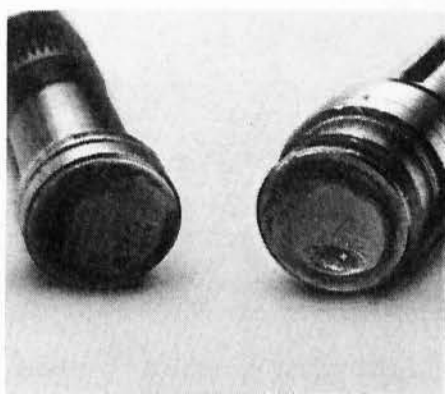
Σε ορισμένα σημεία όπου υπάρχει κίνδυνος φθοράς ή χημικής διάβρωσης ο άξονας καλύπτεται από χιτώνια τα οποία αντικαθίστανται όταν φθαρούν.

Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η αντικατάσταση του άξονα η κατασκευή του από πιο ανθεκτικά μέταλλα τα οποία είναι κατά πολύ ακριβότερα.

Ο Άξονας της κινητήριας μηχανής (π.χ. ηλεκτροκινητήρας) πρέπει να ευθυγραμμιστεί με τον άξονα της αντλίας. Η καλή ευθυγράμμιση εξαλείφει τα προβλήματα όπως υψηλές ταλαντώσεις, απώλειες ενέργειας, καταστροφή ρουλεμάν, αστοχίες αξόνων, αστοχία στεγανοποίησης.

3.2.1 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΑΞΟΝΩΝ

Αστοχίες στον άξονα αντλιών γενικά προκαλείται από επαναλαμβανόμενες πιέσεις. τα 2 κυριότερα είδη κόπωσης του μετάλλου είναι περιστροφική κάμψη και στρέψη.



(Αριστερά) **Κόπωση περιστροφικής κάμψης** (rotational bending fatigue)

Αυτός ο άξονας έσπασε καθαρά σε μια γωνία 90ο προς τον άξονα περιστροφής του. Αυτό ενδέχεται να προκλήθηκε από μια απόκλιση μεταξύ του άξονα της αντλίας και του άξονα της πηγής ενέργειας (ηλεκτροκινητήρας, ατμοστρόβιλος) από κακή ευθυγράμμιση.

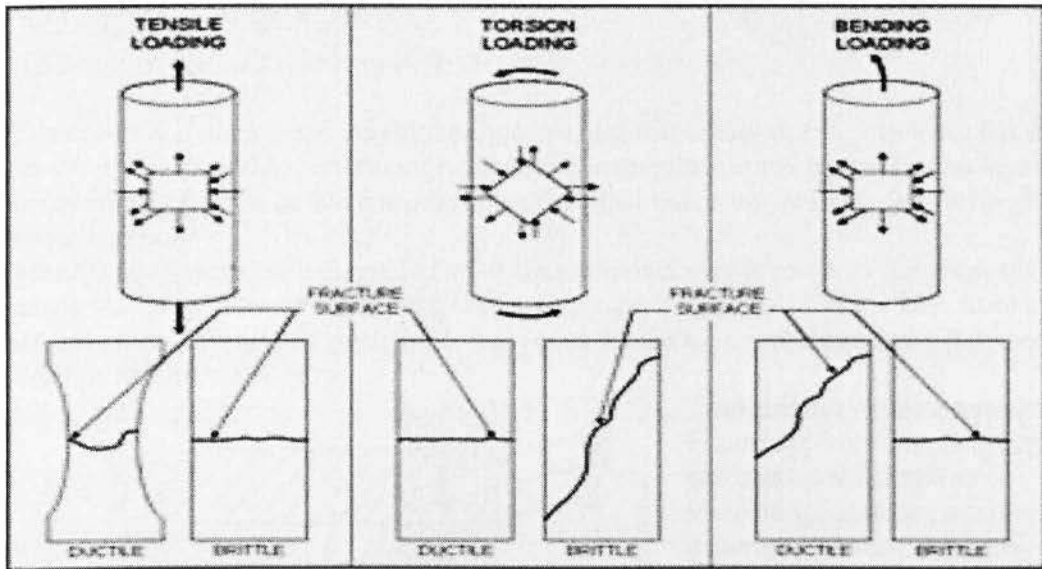
(Δεξιά) **Κόπωση λόγω στρέψης** (Torsional fatigue)

Αυτές η κόπωση προκαλείται από δυνάμεις που παράγονται κατά την κανονική λειτουργία. Αυτές οι δυνάμεις όταν επαναλαμβάνονται εκατομμύρια φορές με διαφορετικά επίπεδα τάσεις και φορτίου, τελικά φθείρουν τον άξονα.

Το σπάσιμο ενός άξονα σχεδόν πάντα οφείλεται σε ατέλειες στην επιφάνεια, όπως για παράδειγμα μια μικροσκοπική ρωγμή και συνοδεύεται από συγκέντρωση τάσεων στο άκρο της ρωγμής.

Με την τάση (περιστροφική κάμψη, κυκλική φόρτιση, κλπ.) στην ρωγμή οι δεσμοί μεταξύ των μορίων του χάλυβα σπάνε και η ρωγμή εξαπλώνεται. Μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί ρυθμοί ανάπτυξης της ρωγμής, ανάλογα με τις συνθήκες φόρτωσης.

Μπορούμε να πούμε αν το σπάσιμο ήταν αργό ή ξαφνικό κοιτάζοντας την επιφάνεια θραύσης. Αν η επιφάνεια θραύσης είναι ανώμαλη, σημαίνει γρήγορα το σπάσιμο. Εάν διάφορες περιοχές με διαφορετική υφή είναι ορατές, γνωρίζουμε ότι η ρωγμή μεγάλωνε με αργούς ρυθμούς. Γενικά μια ψαθυρή επιφάνεια θραύσης σημαίνει γρήγορο σπάσιμο ενώ μια πιο όλκιμη θραύση πιο ομαλό σπάσιμο.



Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει την εμφάνιση των πιο κοινών αστοχιών αξόνων. Η πλειοψηφία των αποτυχιών άξονα είναι η κόπωση που σχετίζονται, λόγω της υπερβολικής περιστροφικής κάμψης. Σχεδόν όλες οι αστοχίες παρουσιάστηκαν σε ένα σημείο συγκέντρωσης τάσεων, συνήθως στο σημείο επαφής με το ρουλεμάν ή στον αύλακα.

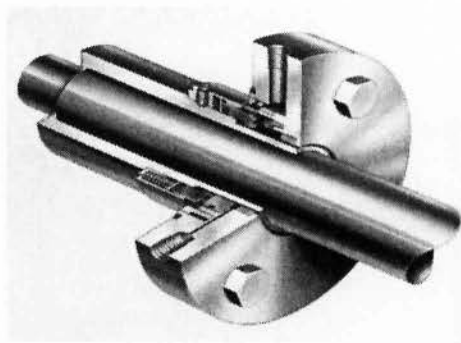
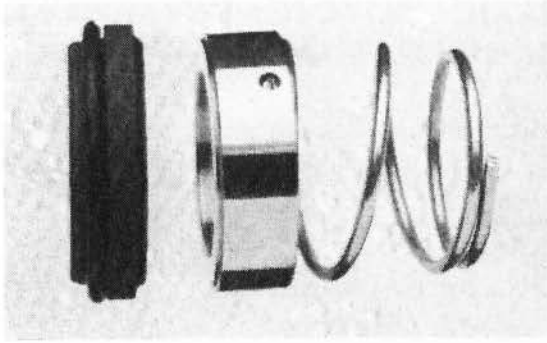
3.3 Το κέλυφος (shell)

Στο κέλυφος μειώνεται η ταχύτητα του υγρού αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την πίεση. Ακόμα καθοδηγεί το υγρό στον σωλήνα της κατάθλιψης και στηρίζονται πάνω του τα υπόλοιπα στοιχεία της αντλίας.

3.4 Το σύστημα στεγανοποίησης (seal)

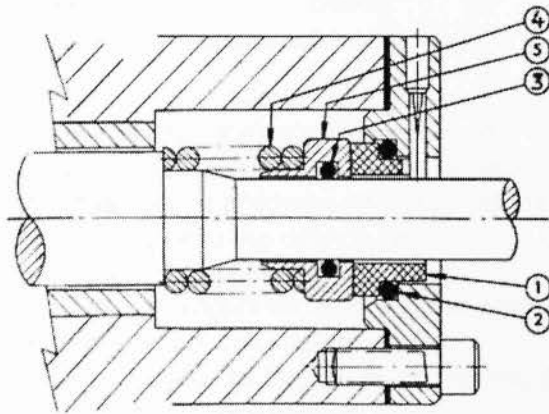
Με το σύστημα στεγανοποίησης αποφεύγεται η διαρροή του υγρού στο σημείο όπου ο άξονας εισέρχεται στο κέλυφος της αντλίας.

Στις περισσότερες εφαρμογές των διυλιστηρίων δεν επαρκεί ο τύπος της κοινής σαλαμάστρας και εφαρμόζεται στεγανοποίηση με μηχανική σαλαμάστρα (Mechanical Seal).



Σε αυτόν τον τύπο στεγανοποίησης εφαρμόζεται επί του κελύφους ένας σταθερός δακτύλιος και επί του άξονα ένας άλλος δακτύλιος ο οποίος περιστρέφεται με τον άξονα. Οι δύο δακτύλιοι πιέζονται μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα ελατήρια και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η στεγανοποίηση.

Μεταξύ των δακτυλίων υπάρχει ένα πολύ λεπτό στρώμα υγρού, το οποίο εμποδίζει την άμεση επαφή των δακτυλίων, αποτρέποντας έτσι την πρόωρη φθορά τους. Για τον λόγο αυτό οι αντλίες δεν πρέπει να λειτουργούν χωρίς υγρό, διότι αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του συστήματος στεγανοποίησης.



Απλός τύπος μηχανικής σαλαμάστρας

Σταθερός δακτύλιος στεγανότητας
 Ελαστικός δακτύλιος στεγανότητας του σταθερού δακτυλίου
 Ελαστικός δακτύλιος στεγανότητας περιστρεφόμενου δακτυλίου
 Ελατήριο
 Περιστρεφόμενος δακτύλιος στεγανότητας.

Οι επιφάνειες των Mechanical Seal κατασκευάζονται κυρίως από άνθρακα

και ενισχύονται ανάλογα με την εφαρμογή με διάφορα υλικά.

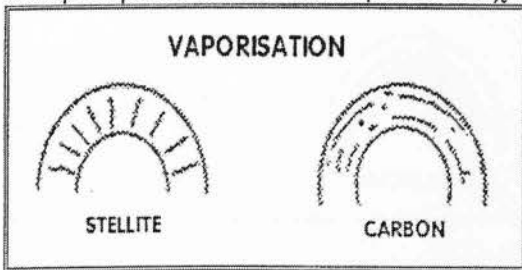
Η ψύξη της μηχανικής σαλαμάστρας είναι απαραίτητη για την ικανοποιητική διάρκεια ζωής της, λόγω της θερμότητας που παράγεται στις τριβόμενες επιφάνειες. Εκτός από την ψύξη, το υγρό που κυκλοφορεί μέσα από την σαλαμάστρα απομακρύνει ξένα σώματα. Συνήθως χρησιμοποιείται υγρό από την κατάθλιψη της αντλίας ή ξεχωριστό σύστημα ψύξης.

3.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΑΛΑΜΑΣΤΡΑΣ (MECHANICAL SEAL FAILURE ANALYSIS)

Αναλύοντας τις φθορές στα πρόσωπα και σε όλες τις τριβόμενες επιφάνειες θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε τον λόγο της διαρροής.

1. ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗ

Συμβαίνει όταν η παραγόμενη θερμότητα στα πρόσωπα δεν απομακρύνεται επαρκώς και λαμβάνει χώρα τοπικό βράσιμο, το οποίο υποδηλώνεται με θόρυβο από ξεφύσημα ατμού, η σαλαμάστρα θα σκάσει και θα μείνει ανοιχτή.



Ελαφρύ φάγωμα στο σταθερό πρόσωπο φραγής.

Κομμάτιασμα στις εξωτερικές άκρες του προσώπου του κάρβουνου που προκαλείται από την κλίση που παίρνουν τα πρόσωπα όταν μετατρέπεται το υγρό σε ατμός.

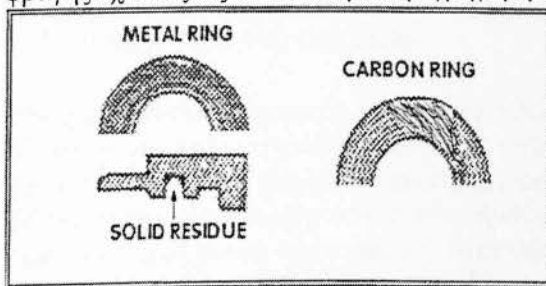
Ακτινοειδή σκαψίματα στο σκληρό πρόσωπο του σταθερού δακτυλίου φραγής που προκαλείται από την διαφορά θερμοκρασίας.

Αποθέσεις σκόνης κάρβουνου μέσα και στο πίσω μέρος της έδρας φραγής οι οποίες στην συνέχεια βγαίνουν έξω μαζί με τον ατμό.

Στο νερό και στα υδατικά διαλύματα τα συμπτώματα αυτά είναι πολύ πιο έντονα αλλά στους υδρογονάνθρακες όχι τόσο εμφανή.

2. ΛΕΙΑΝΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΠΡΟΙΟΝ

Εάν το προϊόν που αντλείται περιέχει λειαντικά υλικά τότε αυτά θα εισχωρήσουν στα πρόσωπα φραγής έχοντας ως αποτέλεσμα την γρήγορη φθορά της μηχανικής σαλαμάστρας.



Φθαρμένο πρόσωπο κάρβουνου που δείχνει ανόμοια σχέδια.

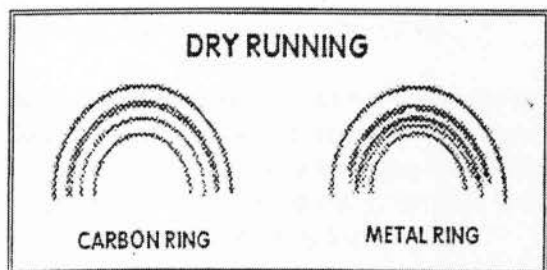
Μεταλλικό πρόσωπο φθαρμένο και γυαλισμένο.

Συμπαγείς αποθέσεις στο πρόσωπο και στο άνοιγμα του κάρβουνου.

Αποθέσεις στον περιστρεφόμενο δακτύλιο φραγής.

3.ΣΤΕΓΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η στεγνή λειτουργία συμβαίνει όταν λίγο ή καθόλου υγρό υπάρχει ανάμεσα στα δυο πρόσωπα φραγής.



Φθορά σε μεγάλο βαθμό και αυλακώσεις στον σταθερό δακτύλιο φραγής. Τα πρόσωπα στον μεταλλικό δακτύλιο φραγής δείχνουν γυαλισμένες εγκοπές και μερικές φορές ακτινοειδή σκασίματα και αποχρωματισμό.

4.ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΟΚ

Δημιουργία κοκ είναι το είδος της αστοχίας που συμβαίνει όταν το προϊόν είναι υδρογονάνθρακες σε υψηλή θερμοκρασία.

Μικροποσότητες διαρροής τείνουν να ανθρακοποιούνται στην έξω πλευρά της μηχανικής σαλαμάστρας, προκαλώντας το ολισθαίνον κομμάτι (περιστρεφόμενος δακτύλιος φραγής) να κολλήσει. Αυτού του είδους η αστοχία διαπιστώνεται κατά την αποσυναρμολόγηση όπου ο περιστρεφόμενος δακτύλιος φραγής δεν ολισθαίνει μετά την αφαίρεση της έδρας φραγής.

5.ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΩΠΩΝ

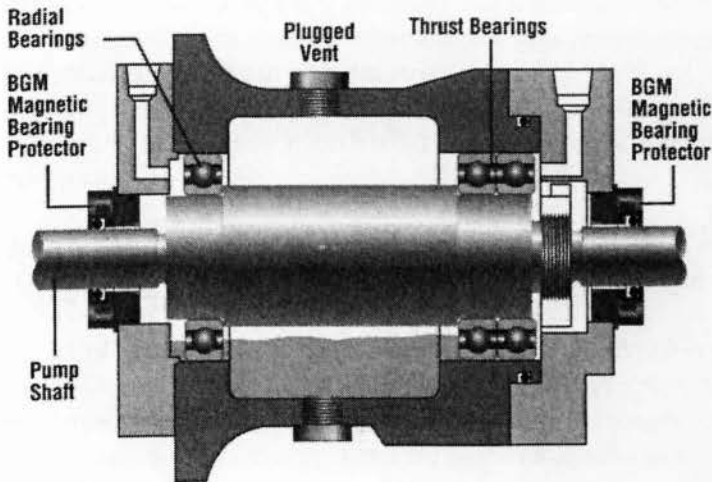
Εάν η μηχανική σαλαμάστρα παρουσιάσει διαρροή αμέσως μετά το ξεκίνημα της αντλίας και δεν υπάρχουν ορατά σημάδια σφάλματος κατά την αποσυναρμολόγηση τότε τα πρόσωπα φραγής θα πρέπει να ελεγχθούν για παραμορφώσεις με ελαφρύ τρίψιμο σε επίπεδη επιφάνεια. Εάν είναι παραμορφωμένα θα φανούν σημάδια. Η παραμόρφωση μπορεί να προκαλείται από το ελατήριο, κακή επαφή του σταθερού δακτυλίου φραγής στην έδρα και σε μερικές περιπτώσεις σε ακατάλληλη αποθήκευση των ανταλλακτικών. Παρόμοια συμπτώματα μπορούν να προκληθούν από κακή ευθυγράμμιση, βλάβη στα ρουλεμάν.

3.5 Έδρανα

Με τα έδρανα επιτυγχάνεται η στήριξη και ταυτόχρονα επιτρέπεται η περιστροφή του άξονα. Χρησιμοποιούνται δύο τύποι εδράνων τα ακτινικά , τα οποία παραλαμβάνουν ακτινικά φορτία και τα ωστικά τα οποία παραλαμβάνουν τα αξονικά φορτία.

Ακτινικά έδρανα κύλισης (ρουλεμάν)

Κυριότερος παράγοντας για τον χρόνο ζωής των ρουλεμάν είναι η σωστή λίπανση. Στις περισσότερες περιπτώσεις αντλιών χρησιμοποιούνται ρουλεμάν τα οποία συνήθως λιπαίνονται με λάδι, αλλά υπάρχουν και εφαρμογές όπου η λίπανση γίνεται με γράσσο. Περιορισμοί όσον αφορά την χρήση του γράσσου είναι οι πολύ υψηλές στροφές (άνω των 5000 r.p.m.) και οι υψηλές θερμοκρασίες.



Στο παραπάνω σχέδιο φαίνεται η περίπτωση άξονα που εδράζεται σε ένα ακτινικό ρουλεμάν (radial bearing), ένα ωστικό (thrust bearing) και λιπαίνεται με λάδι, του οποίου η στάθμη φθάνει περίπου στο κέντρο της κατώτερης μπίλιας των ρουλεμάν.

3.5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΚΤΙΝΙΚΩΝ ΕΔΡΑΝΩΝ ΚΥΛΙΣΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Η Αστοχία των εδράνων κύλισης είναι η κυριότερη αιτία βλάβης στα περιστρεφόμενα μηχανήματα, μπορεί να γίνει καταστροφική και να οδηγήσει σε δαπανηρές διακοπές λειτουργίας.

Σε γενικές γραμμές, αν τα έδρανα κύλισης χρησιμοποιούνται σωστά, θα επιβιώσουν τον προβλεπόμενο χρόνο ζωής τους. Ωστόσο, συχνά αστοχούν λόγω λαθών που μπορεί να αποφευχθούν.

Υπάρχουν πέντε βασικές αιτίες αστοχίας

- 1) Υπερβολικό φορτίο
- 2) Ακατάλληλη λίπανση
- 3) Μόλυνση του λιπαντικού
- 4) Κακή συντήρηση
- 5) Λανθασμένη επιλογή τύπου

1) Υπερβολικό φορτίο

Επιβεβαιώστε ότι φωλιά του ρουλεμάν και ο άξονας έχουν σωστές ανοχές.

-Αν το υγρό είναι σε υψηλές θερμοκρασίες τότε μπορεί να χρειάζεται σύστημα ψύξης για να πετύχουμε αποδεκτές ανοχές για το ρουλεμάν.

-Οριακές ανοχές στο περίβλημα του εδράνου μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολική αξονική φόρτιση, όπου η ακτινική αδυνατεί να δεχθεί θερμική διαστολή του άξονα, εξαιτίας του σφιζίματος.

Επιβεβαιώστε ότι η εσωτερικές ανοχές του ρουλεμάν είναι σωστές .

- Αυξημένες εσωτερικές ανοχές απαιτούνται για λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες.

Πολλά ρουλεμάν υφίστανται σοβαρή μείωση της ζωής λόγω υπέρ- λίπανσης.

-Αν η λίπανση γίνεται με γράσο, τότε κατά την συντήρηση πρέπει να προστεθεί η σωστή ποσότητα γράσου, μεγαλύτερη ποσότητα προκαλεί υπερθέρμανση, και αυτό οδηγεί σε υπερβολικό φορτίο λόγω της μείωσης των εσωτερικών ανοχών του εδράνου.

Ανεπαρκής προθέρμανση, σε ζεστή λειτουργία, μπορεί να προκαλέσει μεγάλη θερμική διαστολής του άξονα σε σχέση με το κέλυφος της αντλίας.

- Αν ο άξονας διαστέλλεται ραγδαία πριν προλάβει να διασταλθεί αναλόγως και το κέλυφος, τα περιστρεφόμενα μέρη μπορεί να έχουν εσωτερική επαφή.

Ενώ η εσωτερική επαφή μπορεί να εξαφανιστεί αφότου το κέλυφος φτάσει την θερμοκρασία λειτουργίας, οι επιπτώσεις στο έδρανο μειώνουν την διάρκεια ζωής του.

Ακόμα η κακή ευθυγράμμιση αντλίας – κινητήρα οδηγεί σε υπερβολικό φορτίο.

2) Ακατάλληλη λίπανση

Επιλογή σωστού ιξώδους και τύπου λαδιού αυξάνει την διάρκεια ζωής του εδράνου.

Τα συνθετικά έλαια αντέχουν υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας.

Επίπεδα λαδιού πάντα στην σωστή στάθμη.

Στα μέσα της κάτω μπίλιας όταν δεν υπάρχει δακτυλίδι λαδιού.
Στην αρχή της κάτω μπίλιας όταν υπάρχει τοποθετημένο δακτυλίδι λαδιού

Αν η λίπανση γίνεται με γράσο

- Έχει επιλεχτεί ο σωστός τύπος και η σωστή συνεκτικότητα.
- Τα συστατικά του λαδιού του γράσου πρέπει να έχουν το ίδιο ιξώδες σαν αυτό που θα επιλέγαμε αν η λίπανση γινόταν με λουτρό λαδιού.

3) Μόλυνση του λιπαντικού

Το έλαιο λίπανσης πρέπει να είναι σε σφραγισμένο δοχείο για την πρόληψη εισόδου ξένων ουσιών και υγρασίας.

4) Κακή συντήρηση

Η συντήρηση που αφορά τα ρουλεμάν φυγοκεντρικών αντλιών έχει κάποιους βασικούς τομείς που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην διάρκεια ζωής τους.

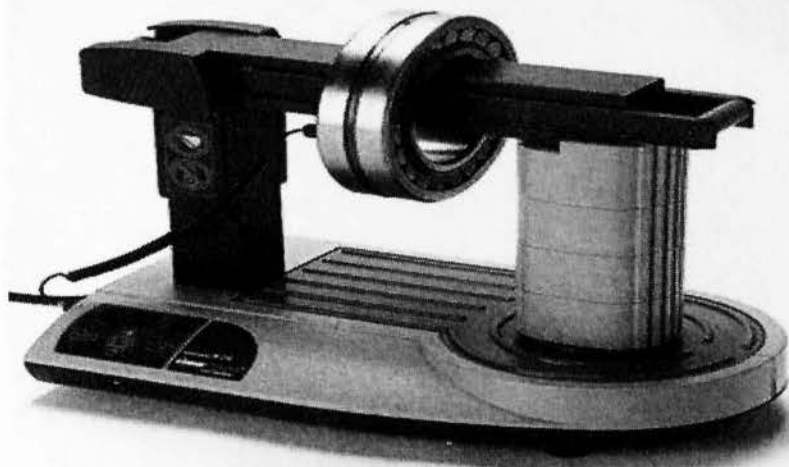
Η θέρμανση πάνω από τους 125 ο C (257 ο F) πρέπει να αποφεύγεται.

Υπερβολική θέρμανση του ρουλεμάν πριν την εγκατάσταση του μπορεί να προκαλέσει μεταλλουργικές αλλαγές που θα οδηγήσουν στην πρόωρη αστοχία.

Τα πρότυπα καθαριότητας πρέπει να τηρούνται. Η αντικατάστασή τους δεν πρέπει να γίνεται σε σημεία με σκόνη ή άλλα αιωρούμενα σωματίδια.

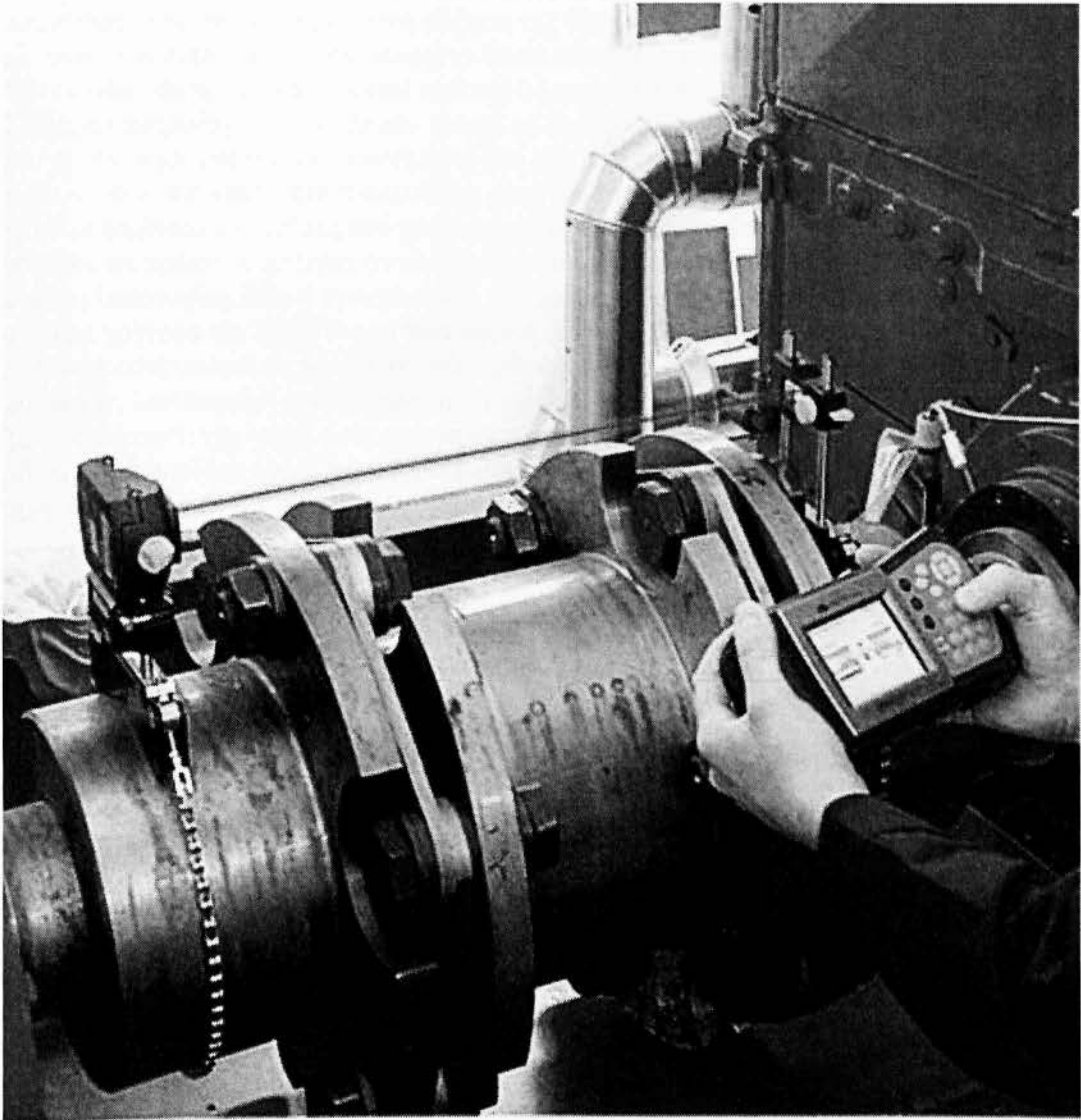
Η ομοιομορφία της επιφάνειας του άξονα και της φωλιάς είναι σημαντικό. Το ρουλεμάν πρέπει να εισέλθει στην φωλιά χωρίς να ασκήσουμε δύναμη στο εξωτερικό ή εσωτερικό δακτυλίδι. Η ανομοιομορφία του άξονα μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση στο εσωτερικό δακτυλίδι. Σε κάθε αντικατάσταση ρουλεμάν πρέπει να ελέγχονται οι διαστάσεις της φωλιάς και του άξονα. Η σωστή διαδικασία εγκατάστασης του ρουλεμάν περιγράφεται από τους κατασκευαστές και προλαμβάνει καταστροφή κατά την εγκατάσταση.

Έλεγχος απομαγνήτισης μετά την θέρμανση είναι σημαντικό γιατί προστατεύει από προσκόλληση μεταλλικών σωματιδίων. Η σύγχρονες θερμάστρες επαγωγής υποστηρίζουν αυτόματη απομαγνήτιση.



Θερμάστρα επαγωγής για ρουλεμάν (NSK)

Πολύ σημαντικό ακόμα είναι η **σωστή ευθυγράμμιση** της αντλίας και του κινητήρα. Ακόμα και όταν η αρχική ευθυγράμμιση της αντλίας και του κινητήρα έχει ολοκληρωθεί ικανοποιητικά εξακολουθούν να υπάρχουν κάποιοι τομείς που συχνά αγνοούνται. Αν η θερμοκρασία του υγρού είναι πάνω από 125 ο C τότε πρέπει: μια ώρα μετά την κανονική της λειτουργία να την θέσουμε εκτός λειτουργίας και να ευθυγραμμιστεί ξανά.



Ευθυγράμμιση με εργαλείο laser

Λειτουργία Επιθεώρησης

Αφού η τοποθέτηση έχει ολοκληρωθεί, πρέπει να ακολουθήσει μια δοκιμή για να διαπιστωθεί εάν το ρουλεμάν έχει τοποθετηθεί σωστά.

Μικρά μηχανήματα μπορούν να περιστραφούν χειροκίνητα για να διαπιστωθεί ότι περιστρέφονται ομαλά. Στοιχεία που πρέπει να ελεγχθούν, άνιση ή υπερβολική ροπή κατά την περιστροφή με το χέρι που προκαλείται από κακή τοποθέτηση, ανεπαρκή κάθαρση, ή υπερβολική τριβή του συστήματος στεγανοποίησης. Αν δεν υπάρχουν ανωμαλίες η κανονική λειτουργία μπορεί να ξεκινήσει.

Μεγάλα μηχανήματα τα οποία δεν μπορούν να περιστραφούν με το χέρι, μπορεί να αρχίσουν την κανονική λειτουργία τους χωρίς φορτίο όμως.

Επιβεβαιώνουμε ότι δεν υπάρχει καμία ανωμαλία, όπως δονήσεις, θόρυβος, επαφή περιστρεφόμενων μερών, κλπ.

Στοιχεία που πρέπει να ελέγχονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής λειτουργίας είναι η ύπαρξη ασυνήθιστου θορύβου, υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας των ρουλεμάν, διαρροή και η μόλυνση των λιπαντικών. Εάν υπάρχει κάποια ανωμαλία κατά τη διάρκεια της δοκιμής λειτουργίας, θα πρέπει να διακοπεί αμέσως η λειτουργία του μηχανήματος και να επιθεωρηθεί. Εάν είναι απαραίτητο, τα ρουλεμάν πρέπει να αφαιρούνται για εξέταση. Αν και η θερμοκρασία του εδράνου μπορεί γενικά να εκτιμηθεί από την θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια της φωλιάς, είναι πιο επιθυμητή η απευθείας μέτρηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού δακτυλίου χρησιμοποιώντας της τρύπες που χρησιμοποιούνται για την λίπανση. Η θερμοκρασία του εδράνου θα πρέπει να αυξηθεί σταδιακά σε σταθερό επίπεδο μέσα σε μία με δύο ώρες μετά την έναρξη λειτουργίας. Εάν η εγκατάστασή του ρουλεμάν είναι κακή, η θερμοκρασία του μπορεί να αυξηθεί γρήγορα και να γίνει αφύσικα υψηλή. Η αιτία αυτής της μη φυσιολογικής αύξησης της θερμοκρασίας μπορεί να οφείλεται σε υπερβολικό ποσό λιπαντικών, ανεπαρκή κάθαρση ρουλεμάν, λανθασμένη τοποθέτηση, ή η υπερβολική τριβή του συστήματος στεγανοποίησης. Στην περίπτωση της λειτουργία σε υψηλές ταχύτητες, μια λανθασμένη επιλογή του τύπου ρουλεμάν ή μεθόδου λίπανσης μπορεί επίσης να προκαλέσει μια ασυνήθης άνοδο της θερμοκρασίας.

Πίνακας 3.

Αιτίες ασυνήθιστης λειτουργίας ακτινικών εδράνων κύλισης

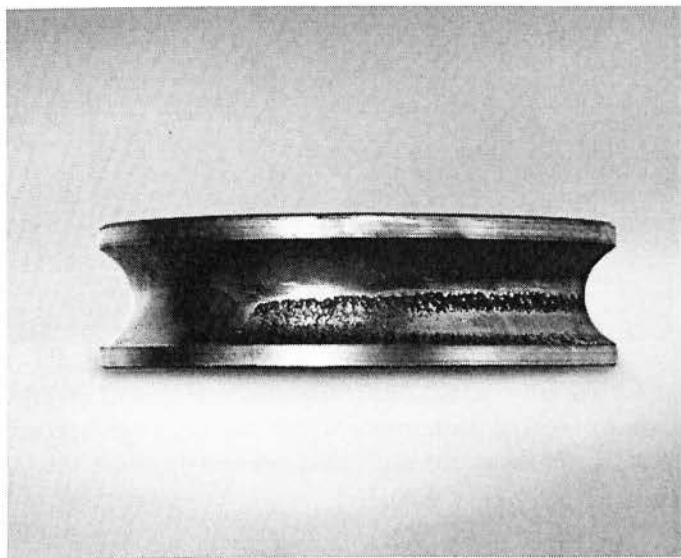
Ανωμαλίες	Πιθανά αίτια
Θόρυβος	
	Υπερβολικό φορτίο
	Λανθασμένη τοποθέτηση
	Ανεπαρκής ή ακατάλληλη λίπανση
	Ατέλειες, διάβρωση ή γδαρσίματα στην τροχιά κύλισης
	Brinelling
	Λάθος επιλογή ανοχών
	Διείδυση ξένων σωματιδίων
Ατέλειες των στοιχείων κύλισης	
Μη συνηθισμένη αύξηση θερμοκρασίας	Υπερβολική ποσότητα λιπαντικού
	Ανεπαρκής ή ακατάλληλη λίπανση
	Υπερβολική τριβή του συστήματος στεγανοποίησης
Δόνηση (Αξονική)	Brinelling
	Διείδυση των ξένων σωματιδίων
	Λανθασμένη τοποθέτηση
Διαρροή ή αποχρωματισμός του λιπαντικού	Μεγάλη ποσότητα λιπαντικού, διείδυση ξένων σωματιδίων ή ψήγματα φθοράς

Οι κατασκευαστές προσφέρουν εξαιρετικό υλικό αναφοράς για αξιολόγηση της αστοχίας των στοιχείων κύλισης, συμπεριλαμβανομένων εικόνων ρουλεμάν που έχουν αστοχήσει με τις αντίστοιχες αιτίες της αστοχίας τους. Οι πιο συχνές μορφές αστοχίας, καθώς και τις αιτίες τους και τις διορθωτικές ενέργειες, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. Πίνακας της NSK όπου περιγράφονται οι αστοχίες των ρουλεμάν, τα πιθανά αίτια που τις προκάλεσαν και τρόποι αντιμετώπισης.

	Τύπος αστοχίας	Πιθανή αιτία	Μέτρα αντιμετώπισης
Αποφολίδωση	Αποφολίδωση μιας πλευράς της τροχιάς κύλισης ακτινικών ρουλεμάν Αποφολίδωση των τροχιών κύλισης διάφορων ρουλεμάν	Μη φυσιολογικό αξονικό φορτίο	Η ελεύθερη συναρμογή πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την τοποθέτηση του εξωτερικού δακτύλιου ρουλεμάν ελεύθερου άκρου ώστε να επιτρέπεται η αξονική διαστολή του άξονα.
	Αποφολίδωση τροχιάς κύλισης με συμμετρικό τρόπο	Κυκλική παραμόρφωση της σπής του εδράνου	Διορθώστε το ελαττωματικό έδρανο
	Αποφολίδωση με κλίση σε σχέση με την τροχιά κύλισης των ακτινικών ρουλεμάν Αποφολίδωση κοντά στα άκρα της τροχιάς κύλισης και των επιφανειών κύλισης στα κυλινδρικά ρουλεμάν	Λάθος τοποθέτηση, παραμόρφωση του άξονα, μη ικανοποιητικό κεντράρισμα, ανεπαρκείς ανοχές για τον άξονα και το έδρανο	Να είστε προσεκτικοί κατά την τοποθέτηση και το κεντράρισμα, να επιλέξετε ρουλεμάν με μεγαλύτερο διάκενο και να διορθώσετε την ευθυγράμμιση του άξονα και της έδρασης του εδράνου.
	Αποφολίδωση της τροχιάς κύλισης με ίδιες αποστάσεις όπως τα στοιχεία κύλισης	Ισχυρός κραδασμός κατά την τοποθέτηση, σκουριά ενώ το ρουλεμάν είναι εκτός λειτουργίας για παρατεταμένο χρονικό διάστημα	Να είστε προσεκτικοί κατά την τοποθέτηση και να χρησιμοποιείτε αναστακτικό όταν το μηχάνημα δεν πρόκειται να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα.
	Πρόωρη αποφολίδωση των τροχιών κύλισης και των στοιχείων κύλισης	Ανεπαρκές διάκενο, υπερβολικό φορτίο, ακατάλληλο λιπαντικό, σκουριά κλπ	Επιλέξτε κατάλληλη συναρμογή, διάκενο ρουλεμάν και λιπαντικό.
	Πρόωρη αποφολίδωση ζεύγους σφαιρικών ρουλεμάν	Υπερβολική προφόρτιση	Ρυθμίστε την προφόρτιση.
Χάραξη και κηλίδωση	Χάραξη ή κηλίδωση μεταξύ της τροχιάς κύλισης και των επιφανειών κύλισης	Ανεπαρκής αρχική λίπανση, υπερβολικά σκληρό γράσο και γρήγορη επιτάχυνση κατά την εκκίνηση	Χρησιμοποιήστε πιο μαλακό γράσο και αποφύγετε την ταχεία επιτάχυνση.
	Ελικοειδής χάραξη ή κηλίδωση της επιφάνειας της τροχιάς κύλισης των αξονικών σφαιρικών ρουλεμάν	Οι δακτύλιοι της τροχιάς κύλισης δεν είναι παράλληλοι και υπερβολική ταχύτητα	Διορθώστε την τοποθέτηση, εφαρμόστε προφόρτιση ή επιλέξτε άλλο τύπο ρουλεμάν.
	Χάραξη ή κηλίδωση μεταξύ της ακραίας επιφάνειας των κυλινδρικών και της νεύρωσης οδήγησης.	Ανεπαρκής λίπανση, λάθος τοποθέτηση και μεγάλο αξονικό φορτίο	Επιλέξτε κατάλληλα λιπαντικά και διορθώστε την τοποθέτηση.
Ρωγμές	Ρωγμή στον εξωτερικό ή στον εσωτερικό δακτύλιο	Υπερβολικά ισχυρός κραδασμός, υπερβολικά σφικτή συναρμογή, εσφαλμένη κυλινδρική αξονα, ακατάλληλη κωνικότητα χιτωνίου, μεγάλη ακτίνα καλού συνδέσμου, εμφάνιση ρωγμών λόγω θερμότητας και προώθηση αποφολίδωσης	Εξετάστε τις συνθήκες φόρτισης, τροποποιήστε τη συναρμογή του χιτωνίου του ρουλεμάν. Η ακτίνα του καλού συνδέσμου πρέπει να είναι μικρότερη από τα στρωγγυλεμένα άκρα του ρουλεμάν.
	Ρωγμή σε στοιχείο κύλισης Σπείσιμα σε νεύρωση	Προώθηση αποφολίδωσης, κραδασμός στη νεύρωση κατά την τοποθέτηση ή πτώση κατά το χειρισμό	Να είστε προσεκτικοί κατά το χειρισμό και την τοποθέτηση.
	Θραύση κλωβού	Μη φυσιολογική φόρτιση του κλωβού λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης και ακατάλληλης λίπανσης	Ελαττώστε το σφάλμα τοποθέτησης και επανεξετάστε τη μέθοδο λίπανσης και το χρησιμοποιούμενο λιπαντικό.
Οδοντώσεις	Οδοντώσεις σε τροχιά κύλισης με την ίδια μορφή όπως στα στοιχεία κύλισης	Κραδασμός κατά την τοποθέτηση ή υπερβολικό φορτίο όταν δεν περιστρέφεται	Να είστε προσεκτικοί κατά το χειρισμό.
	Οδοντώσεις στην τροχιά κύλισης και στα στοιχεία κύλισης	Ξένη ύλη όπως μεταλλικά ψήγματα ή άμμος	Καθαρίστε το έδρανο, βελτιώστε τα στεγανοποιητικά και χρησιμοποιήστε καθαρό λιπαντικό.
Μη φυσιολογική φθορά	Ψευδο-brinelling (φαινόμενο παρόμοιο με τη φθορά)	Κραδασμός του ρουλεμάν χωρίς περιστροφή κατά τη μεταφορά ή παλινδρομική κίνηση μικρού πλάτους	Ασφαλίστε τον άξονα και το έδρανο, χρησιμοποιήστε λάδι ως λιπαντικό και ελαττώστε τους κραδασμούς εφαρμόζοντας προφόρτιση.
	Απολέπιση	Μικρή φθορά της επιφάνειας συναρμογής	Αυξήστε τη σύσφιξη και τοποθετήστε λάδι.
	Φθορά τροχιάς κύλισης, στοιχείων κύλισης, νεύρωσης και κλωβού	Διείσδυση ξένης ύλης, εσφαλμένη λίπανση και σκουριά	Χρησιμοποιήστε στεγανοποιητικό διαφορετικού τύπου, καθαρίστε το έδρανο και χρησιμοποιήστε καθαρό λιπαντικό.
	Ερπυσμός	Ανεπαρκής σφικτή συναρμογή ή ανεπαρκής σύσφιξη του χιτωνίου	Τροποποιήστε τη συναρμογή ή σφίξτε το χιτώνιο.
Ανεπαρκής λιείωση	Αποχρωματισμός ή συγκόλληση τροχιάς κύλισης, στοιχείων κύλισης και νεύρωσης	Ανεπαρκές διάκενο, εσφαλμένη λίπανση ή ακατάλληλη τοποθέτηση	Επανεξετάστε το εσωτερικό διάκενο και τη συναρμογή του ρουλεμάν, φροντίστε για επαρκή ποσότητα κατάλληλου λιπαντικού και βελτιώστε τη μέθοδο τοποθέτησης και τα σχετικά εξαρτήματα.
Μεταλλικά ψήγματα	Ραβδώσεις ή αυλακώσεις	Τήξη λόγω ηλεκτρικού τόξου	Τοποθετήστε καλώδιο γείωσης για να σταματήσετε τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος ή μονώστε το ρουλεμάν.
Σκουριά	Σκουριά και διάβρωση επιφανειών που συναρμολογούνται και επηρεάζουν το ρουλεμάν	Συμπύκνωση υγρασίας από τον αέρα, απολέπιση ή διείσδυση διαβρωτικών ουσιών	Να είστε προσεκτικοί κατά την αποθήκευση και αποφύγετε τις υψηλές θερμοκρασίες και την υψηλή υγρασία. Απαιτείται επεξεργασία για προστασία από σκουριά όταν ανασταλεί η λειτουργία για μεγάλα

Ξεφλούδισμα (Flaking)

Επιφάνεια του άυλακα και τα κυλινδρικά στοιχεία ξεφλουδίζουν μακριά σε νιφάδες, λόφοι και κοιλάδες σχηματίζονται.

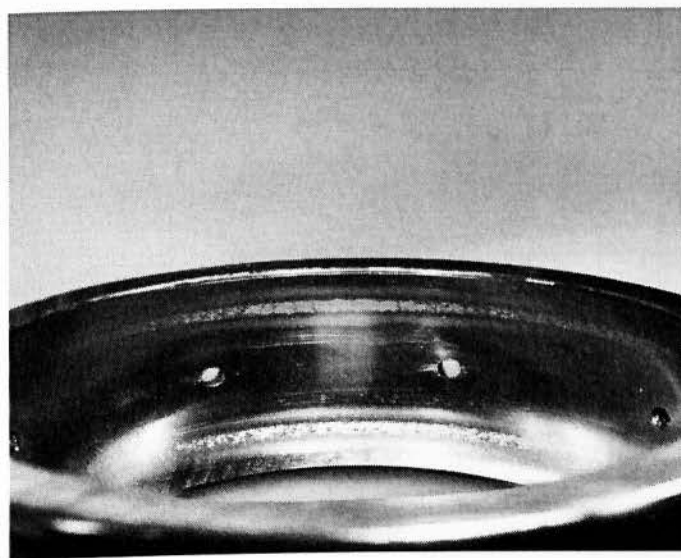


Μέρος: Εσωτερικός δακτύλιος της ρουλεμάν γωνιακής επαφής

Σύμπτωμα: Ξεφλούδισμα διαγώνια κατά μήκος

Αιτία: Η κακή ευθυγράμμιση μεταξύ αξόνων και στέγασης κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης.

Απολέπιση (Peeling)

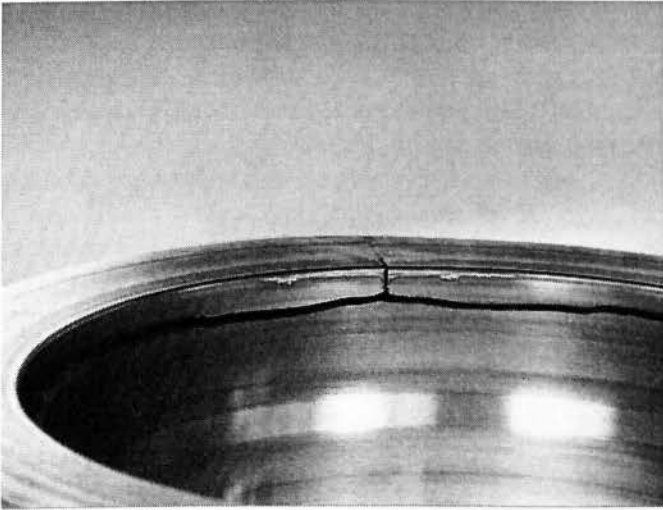


Μέρος: Εξωτερικός δακτύλιος ενός σφαιρικού ρουλεμάν

Σύμπτωμα: Απολέπιση συμβαίνει κοντά στον ώμο του άυλακα σε όλη την περιφέρεια

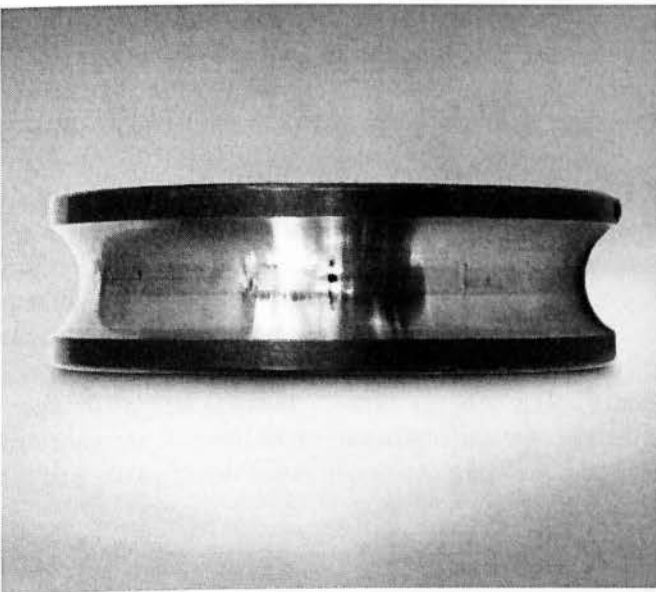
Αιτία: Κακή λίπανση

Ρωγμές (Cracks)



Μέρος: Εξωτερικός δακτύλιος από διπλή σειρά κυλινδρικών ρουλεμάν
Συμπτώματα: Ρωγμές μεταδίδονται προς τα έξω και στις δυο κατευθύνσεις.
Αιτία: Απόξεση από ένα ελάττωμα που οφείλεται σε σοκ.

Ψευδό – brinelling (False Brinelling)



Μέρος: Εσωτερικός δακτύλιος ρουλεμάν με βαθύ αυλάκι.
Σύμπτωμα: Ψευδό - brinelling στο αυλάκι
Αιτία: Δόνηση από μια εξωτερική πηγή, ενώ σε στάση.

3.5.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.

Αν σε κάποιο σημείο της αντλίας μειωθεί η πίεση κάτω από την πίεση ατμοποίησης, τότε δημιουργούνται στην θέση εκείνη φυσαλίδες ατμού. Αυτές οι μικρές φυσαλίδες συμπυκνώνονται πάλι, αλλά με κρουστικό τρόπο και δημιουργούν πολύ μεγάλα πιεστικά κύματα (μερικές εκατοντάδες bar). Αυτό το φαινόμενο καλείται δημιουργία κοίλων χώρων ή σπηλαιώση .

Η σπηλαιώση φαίνεται από την μείωση της παροχής, διότι οι φυσαλίδες ατμού μειώνουν την διατομή. Ελαττώνεται έτσι η ικανότητα και ο βαθμός αποδόσεως. Αυτή η πραγματικότητα εφαρμόζεται, εκτός της οπτικής παρατηρήσεως, και στις δοκιμές με υποδείγματα αντλιών. Δεν ελαττώνεται μόνον ο βαθμός αποδόσεως, αλλά εμφανίζεται και ένας μεταλλικός θόρυβος και μια ταχεία καταστροφή του υλικού. Οι καταστροφές δεν εμφανίζονται στην θέση δημιουργίας των φυσαλίδων (αγωγός αναρροφήσεως) , αλλά πιο πέρα στο εσωτερικό της πτερωτής, σε θέση υψηλότερης πίεσεως, όπου συμπυκνώνονται οι φυσαλίδες. Μια ισχυρότερη σπηλαιώση μπορεί να προχωρήσει έως την σταθερή στεφάνη πτερυγίων, πέρα από την πτερωτή, και να προκαλέσει μεγαλύτερες καταστροφές. Πρέπει, λοιπόν, στο σχεδιασμό να κρατήσει κανείς μια απόσταση ασφαλείας από το υπολογισμένο ύψος αναρροφήσεως, για να μην εμφανισθεί η σπηλαιώση.

Αν οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες από το αρχικά σχεδιασμένο σημείο, δηλαδή σε μερικό φορτίο η σε υπερφόρτιση, τότε είναι δύσκολο να αποφύγει κανείς την δημιουργία φυσαλίδων ατμού στην πίσω πλευρά των πτερυγίων.

Θέσεις του πτερυγίου όπου εκδηλώνεται η σπηλαιώση

Στις φυγόκεντρος αντλίες οι περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος εκδηλώσεως της κλασσικής σπηλαιώσεως είναι η πίσω μη ορατή πλευρά των πτερυγίων κοντά στο χείλος εισόδου του υγρού .Στις περιοχές αυτές η πίεση έχει τη μικρότερη τιμή λόγω της απότομης αύξησεως της ταχύτητας ροής του υγρού.

Επίσης η σπηλαιώση εμφανίζεται συχνά μεταξύ των πτερυγίων .Όταν η σπηλαιώση είναι μεγάλης εκτάσεως μπορεί να φθαρούν και τα άκρα των πτερυγίων στην έξοδο, τα πτερύγια διαχύσεως και ο αγωγός του σπειροειδούς περιβλήματος. Σε κάποιες περιπτώσεις η σπηλαιώση, εκτείνεται από τα άκρα του πτερύγιου έως το 2/3 του μήκους τους, πριν από το σημείο στο οποίο εκρήγνυται οι φυσαλίδες.

Στις αντλίες μικτής και αξονικής ροής όπου τα πτερύγια είναι πάντοτε ανοικτού τύπου η σπηλαιώση εκδηλώνεται. (1) στο χείλος εισόδου του υγρού στα πτερύγια, (2) στα άκρα των πτερυγίων προς τα τοιχώματα του περιβλήματος και (3) στο χείλος εισόδου του υγρού στα πτερύγια διαχύσεως.

Συχνοί λόγοι δημιουργίας σπηλαιώσης

Γενικώς οι προϋποθέσεις για την εμφάνιση της σπηλαιώσεως είναι οι εξής:

α) Η μικρή στατική πίεση σε σύγκριση με τη μέγιστη τάση των ατμών του υγρού που αντλείται. Αυτό συμβαίνει όταν το ύψος αναρροφήσεως είναι μεγάλο ή το στόμιο εισόδου στο σωλήνα αναρροφήσεως βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του υγρού. Όσο μικρότερη είναι η στατική πίεση της ροής λόγω της υδροστατικής πίεσης και μόνον (δηλαδή σε σημεία με μεγάλη στάθμη ως προς την στάθμη αναφοράς) τόσο πιο εύκολα είναι η ανάπτυξη της σπηλαιώσης επειδή μικρή πτώση της στατικής πίεσης που οφείλεται στην κινητική ενέργεια του υγρού αρκεί για την διαμόρφωση συνθηκών σπηλαιώσης.

β) Όταν η παροχή είναι μεγαλύτερη από την κανονική η σπηλαιώση εμφανίζεται ευκολότερα γιατί αυξάνεται η ταχύτητα ροής με αντίστοιχη πτώση της πίεσεως.

γ) Από κινηματική άποψη το σχήμα των γραμμών ροής επηρεάζει την εμφάνιση της σπηλαιώσεως. Απότομη αλλαγή της διεύθυνσεως ροής, απότομη διεύρυνση των διόδων ροής μέσα στην αντλία κακές συνθήκες εισόδου του υγρού στην πτερωτή είναι δυνατό να προκαλέσουν μεγάλες απώλειες και σπηλαιώση.

Γενικά συμπτώματα σπηλαιώσης

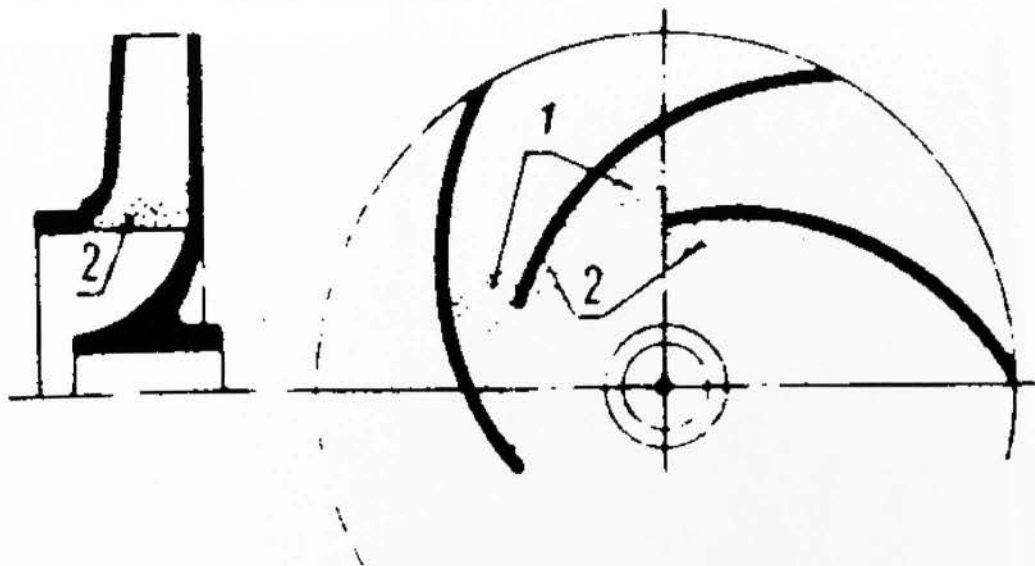
1. Θόρυβος

Προκαλείται από την πρόσκρουση του υγρού στις μεταλλικές επιφάνειες κατά την απότομη συμπίκνωση των φυσαλίδων.

2. Κραδασμοί της αντλίας.

Είναι φανερό ότι οι διαδοχικές αυξομειώσεις της πίεσεως του υγρού προκαλούν κραδασμούς, που μεταφέρονται σε όλα τα εξαρτήματα της αντλίας ακόμη και στη βάση στηριξέώς της. Οι κραδασμοί αυτοί προκαλούνται από τις ταλαντώσεις των τμημάτων στα οποία προσκρούει το υγρό. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντλία τόσο πιο έντονοι είναι οι θόρυβοι και οι κραδασμοί.

Η αναγνώριση των συμπτωμάτων της σπηλαιώσης, και η σωστή διάγνωση του τύπου της σπηλαιώσης, μπορούν να βοηθήσουν έναν χειριστή να αποτρέψει μια σοβαρή ζημία.



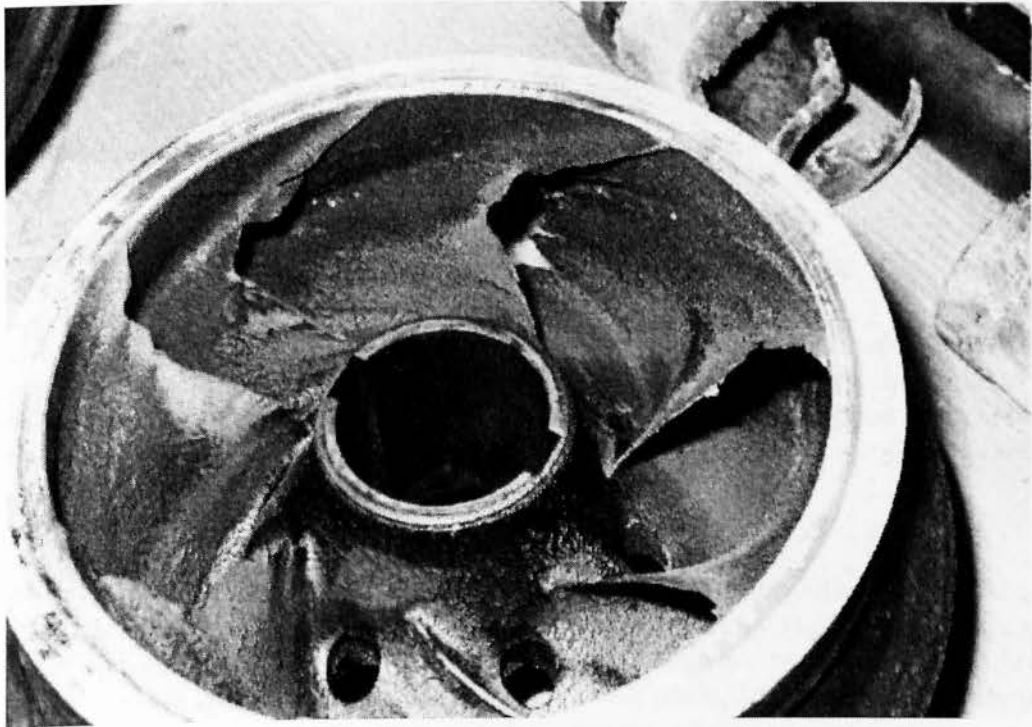
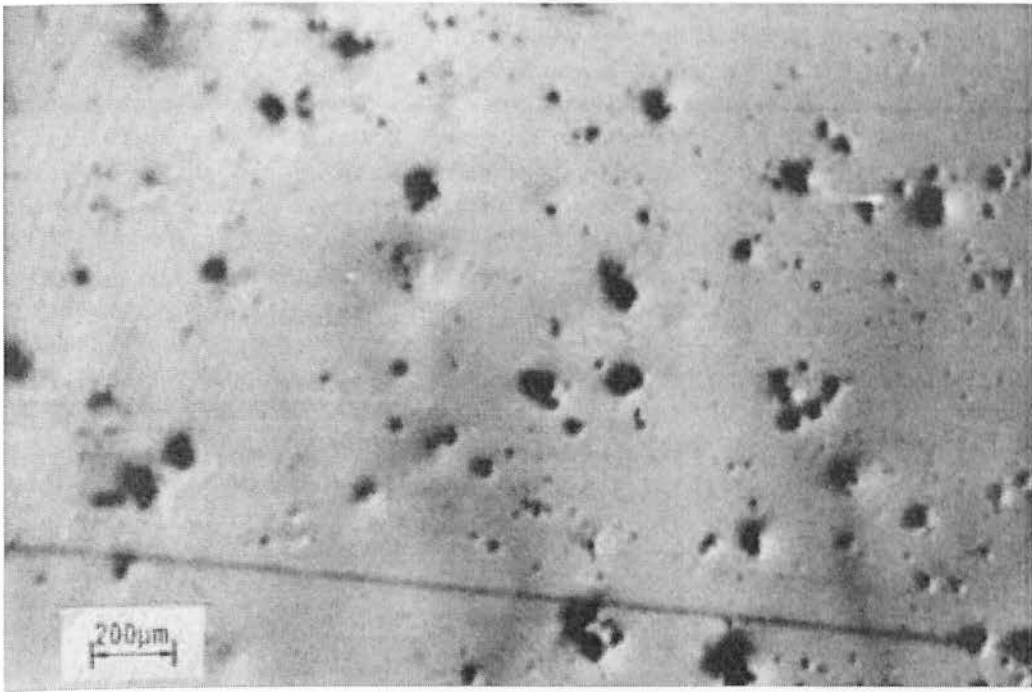
Εμφάνιση της σπηλαιώσεως σε φυγόκεντρο αντλία.

Φθορά των μεταλλικών επιφανειών.

Πολλές φορές έχει μεγάλη έκταση ιδίως όταν το υγρό περιέχει διαβρωτικές ουσίες (οξυγόνο ή οξέα). Η φθορά που προέρχεται από τη σπηλαιώση διαφέρει μακροσκοπικά από τις συνήθεις διαβρώσεις των μετάλλων γιατί εμφανίζεται μόνο σε ορισμένα σημεία και όχι σε όλο το μήκος των γραμμών ροής του υγρού. Η αντοχή των μετάλλων στη σπηλαιώση εξαρτάται από τη χημική τους σύνθεση και από το βαθμό λειάνσεως της επιφάνειάς τους. Από πειραματικά αποτελέσματα (Schroter, 1953) διαπιστώθηκε ότι τα διάφορα υλικά έχουν διαφορετικό βαθμό αντοχής στη σπηλαιώση. Η κατάταξή τους κατά σειρά αυξανόμενης ανθεκτικότητας είναι:

- Μόλυβδος
- Χυτοσίδηρος
- Ορείχαλκος
- Αλουμίνιο με άνθρακα
- Ανοξειδωτο ασάλι

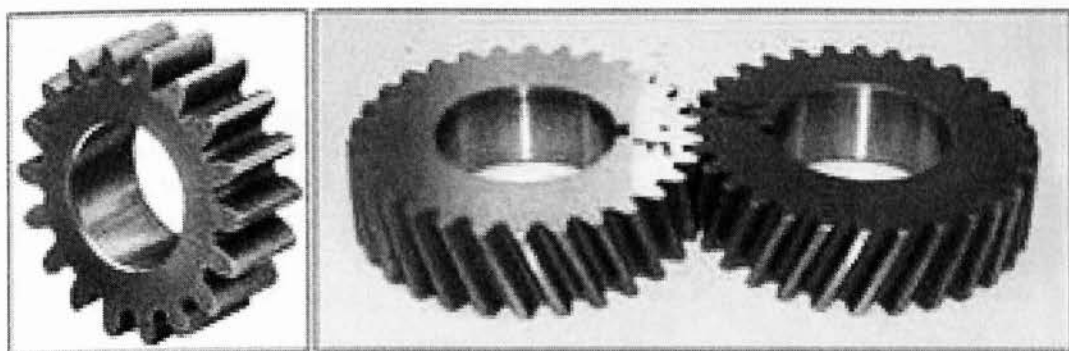
Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να διακρίνουμε τις συνέπειες του φαινομένου της σπηλαιώσης στην επιφάνεια των στροφείων :



4. ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

Οι οδοντωτοί τροχοί, είναι στοιχεία μηχανών που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση περιστροφικής κινήσεως και την μεταφορά ισχύος από κινητήρια σε κινούμενη άτρακτο, μέσω διαδοχικής εμπλοκής συνεργαζόμενων οδόντων. Οι οδόντες είναι σχηματισμοί αλληπάλληλων εσοχών και προεξοχών στην περιφέρεια ενός οδοντωτού τροχού, τέτοιες ώστε να είναι δυνατή η συνεργασία της εσοχής του ενός τροχού με την προεξοχή του συνεργαζόμενου οδοντωτού τροχού και κατασκευάζονται με διάφορα προφίλ κατατομών, όπως αυτό της εξειλιγμένης, της ορθοκυκλοειδούς, της επικυκλοειδούς, της περικυκλοειδούς και της υποκυκλοειδούς καμπύλης, ή τόξου κύκλου, ή ακόμα και σπείρας. Συνηθέστερη μεταξύ αυτών είναι η κατατομή της εξειλιγμένης, η οποία είναι η καμπύλη εκείνη που διαγράφει ένα σημείο ευθείας κυλιόμενης χωρίς ολίσθηση επί κύκλου.

Στους περισσότερους τύπους οδοντωτών τροχών οι οδόντες δεν είναι θεωρητικά απαραίτητοι για την μετάδοση περιστροφικής κινήσεως. Όμως, η ανάγκη μεταφοράς μεγάλης στρεπτικής ροπής και σταθερής μετάδοσης κίνησης (δηλαδή σταθερών σχέσεων μεταδόσεως στροφών) από την κινητήρια στην κινούμενη άτρακτο καθιστά αναγκαία την ύπαρξη οδόντων.



4.1 ΕΙΔΗ ΟΔΟΝΤΩΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ

Οι άξονες περί τους οποίους περιστρέφονται δύο συνεργαζόμενοι οδοντωτοί τροχοί μπορεί να είναι: παράλληλοι σε απόσταση a , τεμνόμενοι υπό γωνία δ ή ασύμβατοι σε απόσταση a και υπό γωνία δ . Η σχετική θέση αυτών των αξόνων είναι βασικής σημασίας για την μορφή των τροχών που θα χρησιμοποιηθούν. Τα είδη των οδοντωτών τροχών είναι λοιπόν:

ο Μετωπικοί (με ευθείς ή ελικοειδείς οδόντες).

Τα γρανάζια αυτού του τύπου μεταδίδουν την κίνηση μεταξύ παραλλήλων αξόνων. Η αρχική μεταλλική επιφάνεια από την κατεργασία της οποίας προκύπτουν τα μετωπικά γρανάζια έχει κυλινδρική μορφή. Τα δόντια των γραναζίων μπορούν να είναι είτε παράλληλα, είτε κεκλιμένα προς τον άξονα τους, είτε να σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία. Τα παράλληλα τοποθετημένα γρανάζια μπορούν να είναι σε επαφή είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά (δηλαδή το ένα να είναι μέσα στο άλλο), ενώ η κεκλιμένη οδόντωση μπορεί να είναι είτε απλή είτε διπλή. Τα γρανάζια

με κεκλιμένα ή ελικοειδή δόντια υπερτερούν των γραναζιών με ευθέα δόντια διότι έχουν μεγαλύτερη αντοχή και προκαλούν λιγότερο θόρυβο κατά τη λειτουργία τους.

ο Κωνικοί.

Τα κωνικά γρανάζια χρησιμοποιούνται για μεταδόσεις κίνησης σε άξονες είτε τεμνόμενους, είτε ασύμβατους. Η αρχική μεταλλική επιφάνεια από την κατεργασία της οποίας προκύπτουν τα κωνικά γρανάζια έχει μορφή κόλουρου κώνου. Στα γρανάζια που μεταδίδουν κινήσεις μεταξύ αξόνων οι οποίοι τέμνονται υπό τυχούσα γωνία τα δόντια τους είναι είτε ευθέα, είτε ελικοειδή. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κωνικά γρανάζια με δόντια που έχουν καμπύλη μορφή, είτε αυτά είναι τόξα κύκλου είτε τμήματα σπειροειδών καμπυλών. Στα γρανάζια που μεταδίδουν κινήσεις μεταξύ αξόνων οι οποίοι είναι ασύμβατοι τα δόντια τους είναι ελικοειδή. Χρησιμοποιούνται πάντως για τη μετάδοση της κίνησης σε ασύμβατους άξονες οι οποίοι έχουν μικρή σχετικά μεταξύ τους απόσταση. Τα κωνικά γρανάζια που μεταδίδουν κίνηση σε ασύμβατους άξονες έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης από εκείνα που μεταδίδουν κίνηση σε τεμνόμενους άξονες διότι κατά τη λειτουργία τους αναπτύσσονται επ' αυτών αυξημένες δυνάμεις τριβής ολίσθησης. Για τη μετάδοση των κινήσεων σε ασύμβατους άξονες χρησιμοποιούνται και τα κοχλιωτά γρανάζια. Ωστόσο αυτά βρίσκουν κυρίως εφαρμογή σε μικρές σχετικά φορτίσεις αλλά και μικρότερες σχέσεις μετάδοσης.

ο Οδοντωτός κανόνας.

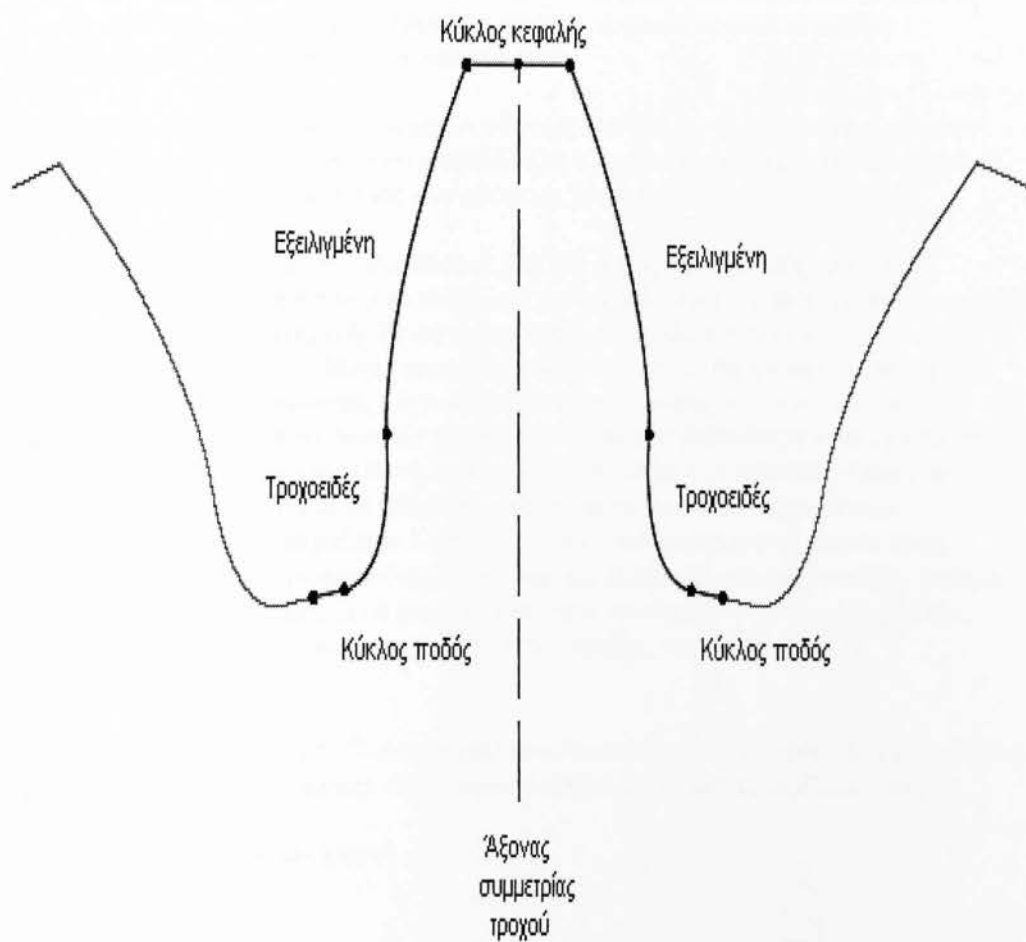
Ο οδοντωτός κανόνας συνιστά ένα γρανάζι το οποίο προέκυψε από την κατεργασία μιας μεταλλικής επιφάνειας που είχε μορφή διαμήκους ράβδου. Τα δόντια του δεν είναι διαταγμένα επί κύκλου, αλλά επί ευθείας. Επιτυγχάνει μια μετάδοση κίνησης «μετωπικού τύπου» και καταφέρνει να μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε ευθύγραμμη και το αντίστροφο.

ο Επικυκλική οδόντωση.

Στη διάταξη αυτού του τύπου που προσομοιάζει στο πλανητικό σύστημα έχουμε ένα κεντρικό γρανάζι που καταλαμβάνει τη θέση του ήλιου και μια σειρά γραναζιών πλανητών που συνδέονται με τα δόντια του κεντρικού γραναζιού. Η πλανητική διάταξη προσφέρει τη δυνατότητα για μετάδοση μεγάλης ισχύος καθώς επίσης και για μεγάλες σχέσεις μετάδοσης. Οι πλανητικές οδοντώσεις έχουν λίγο μεγαλύτερο κόστος από τις άλλες γιατί περιλαμβάνουν μεγαλύτερο αριθμό γραναζιών, έχουν όμως παράλληλα το πλεονέκτημα ότι συχνά καταλαμβάνουν μικρό χώρο και έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης.

ο Σύστημα ατέρμονα κοχλία-κορώνας.

Μια άλλη διάταξη μετάδοσης κίνησης μεταξύ ασύμβατων αξόνων με κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις είναι το σύστημα ατέρμονα κοχλία – γραναζιού. Εδώ έχουμε έναν ατέρμονα κοχλία που φέρει κεκλιμένα δόντια και λειτουργεί σαν γρανάζι. Ο άξονας του ατέρμονα κοχλία περιφέρεται του γραναζιού στο οποίο μεταδίδεται η κίνηση. Αυτός ο τύπος μετάδοσης κίνησης έχει μικρό σχετικά βαθμό απόδοσης, αλλά προσφέρει το πλεονέκτημα της αθόρυβης λειτουργίας γιατί επιτυγχάνει απορρόφηση των δονήσεων.



Μορφή κατατομής δοντιού τροχού ευθείας μετωπικής οδόντωσης.

4.2 ΑΙΤΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΟΔΟΝΤΟΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ

ο *Η σημειακή υπερφόρτιση των κατατομών*, η οποία είναι το αποτέλεσμα κρουστικών φορτίων. Σαν αποτέλεσμα αυτής έχουμε την δημιουργία ραβδώσεων επί των κατατομών του οδοντωτού τροχού που απογυμνώνουν τον οδόντα.

ο *Η υπερβολική ταχύτητα περιστροφής*(πέραν του επιτρεπτού): Το αίτιο αυτό ισχύει για μηχανισμούς, οι οποίοι δεν έχουν συστήματα μέτρησης και ελέγχου της ταχύτητας. Οι τροχοί αυτοί λοιπόν, είναι πιθανό να εργάζονται σε στροφές μεγαλύτερες του επιτρεπτού ορίου.

ο *Τα ξένα σωματίδια*: Η ύπαρξη οιοδήποτε ξένου σωματιδίου στις συνεργαζόμενες κατατομές δημιουργεί επαφή στερεού με στερεό, η οποία προκαλεί τοπική συγκόλληση και φυσικά πρέπει να αποφεύγεται.

ο *Η ακατάλληλη θερμική κατεργασία*: Οι οδόντες συνήθως υφίστανται επιφανειακή σκλήρυνση, η οποία όμως θα είναι ακατάλληλη αν το πάχος σκληρύνσεως προκύψει ανομοιόμορφο επί της επιφάνειας των οδόντων του τροχού.

ο *Η ακατάλληλη λίπανση στις οδοντώσεις*: Γενικά στους οδοντωτούς τροχούς συνίσταται η χρήση λιπαντικού κατάλληλου για υψηλές πιέσεις, διότι η επαφή των κατατομών είναι συνήθως μόνο γραμμική. Το σύστημα λιπάνσεως, θα πρέπει να μπορεί να λιπάνει όλες τις θέσεις εργασίας, το δε λιπαντικό θα πρέπει να παραμένει επί της κατατομής του οδόντος μέχρι την στιγμή της επαφής των κατατομών. Εάν κάτι τέτοιο δεν καθίσταται δυνατόν και η λειτουργία της βαθμίδας γίνεται χωρίς την χρήση του απαραίτητου λιπαντικού, τότε η λίπανση είναι ακατάλληλη. Μέσα από το λιπαντικό μεταφέρονται και τα ξένα σωματίδια για τα οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως. Είναι απαραίτητο λοιπόν, το λιπαντικό φιλτράρεται και να είναι απαλλαγμένο από οιαδήποτε πρόσμιξη που αποτελεί απειλή για τα γρανάζια. Ακόμα, η θερμοκρασία του θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να απομακρύνει από τις θέσεις εργασίας των κατατομών το παραγόμενο, λόγω τριβής, ποσό θερμότητας.

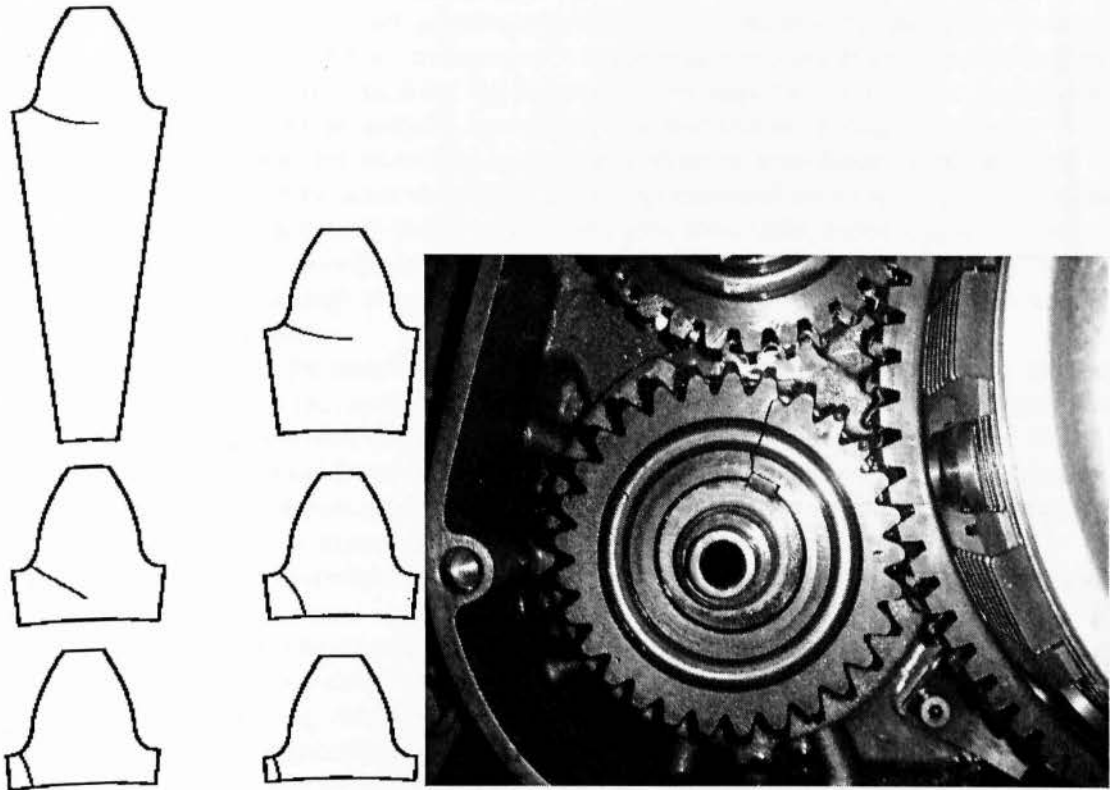
ο *Η ακατάλληλη κατασκευή*: Οι κατατομές των δοντιών πρέπει να έχουν κατασκευασθεί με ακρίβεια, τα δε fillets(πόδες) των οδόντων πρέπει να είναι τα προβλεπόμενα.

ο *Η ακατάλληλη συναρμολόγηση*:

4.3 ΒΛΑΒΕΣ ΟΔΟΝΤΟΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ

4.3.1 Δημιουργία ρωγμών:

Συνήθως οι ρωγμές δημιουργούνται στην βάση του οδοντωτού τροχού όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ρωγμή ξεκινά από μία αυξημένη επιφανειακή τάση κάπου στην βάση του οδόντος, αρκετά μακριά από την εργαζόμενη πλευρά και αφού δημιουργηθεί εξελίσσεται ραγδαία, με αποτέλεσμα την τελική αποκόλληση ολόκληρου του τμήματος του δοντιού. Σε αντίθεση με τους ευθείς οδόντες, στα ελικοειδή δόντια δεν συνηθίζεται η αστοχία (η αποκόλληση ολόκληρου του δοντιού μετά το πέρας κάποιου χρονικού διαστήματος από την έναρξη της ρωγμής), αλλά είναι πιθανό να έχουμε αποκόλληση σε ποσοστό 1/3 του πλάτους του δοντιού. Αυτή η μορφή βλάβης είναι πολύ σπάνια, καθότι το πιθανότερο είναι να είναι ραγδαία και καταστροφική.



4.3.2 Χάραξη:

Η χάραξη περιλαμβάνει «σκίσιμο» του φιλμ λαδιού ώστε η επαφή μετάλλου με μέταλλο κατά την συνεργασία των δοντιών να δημιουργεί βίαιη σύντηξη και επακόλουθο αποχωρισμό και πλαστική ροή στις δύο συνεργαζόμενες επιφάνειες. Μπορεί επίσης να σχετίζεται με το ενδεχομένως πολύ μικρό πάχος του φιλμ λαδιού ή με την επιβολή μεγαλύτερων των επιτρεπτών τάσεων ή με μεγάλες ταχύτητες ολίσθησης μεταξύ των συνεργαζόμενων επιφανειών.

4.3.3 Κόπωση – γήρανση (μηχανική διάβρωση):

Η κόπωση προκύπτει από τις κλασικές δυνάμεις επαφής, δίνοντας μια βλάβη ως αποτέλεσμα της διαδικασίας καταπόνησης. Η απλή στατική θεωρία υποστηρίζει ότι η γήρανση θα είναι χειρότερη στα σημεία που οι τάσεις είναι μέγιστες, αφού, η ενεργή ακτίνα της καμπυλωτής πλευράς επαφής είναι μικρότερη όταν η επαφή είναι προς την βάση του οδοντωτού τροχού, όμως δεν είναι αυτό που στην πραγματικότητα συμβαίνει εδώ. Η μηχανική διάβρωση συμβαίνει αρχικά πολύ κοντά αλλά όχι ακριβώς πάνω στην διάμετρο του αρχικού κύκλου, όπου οι ταχύτητες ολίσθησης είναι χαμηλές. Δεν είναι τυχαίο πως κάποιες φορές, ιδιαίτερα σε γρανάζια που έχουν εργαστεί για πολλές ώρες, η περιοχή κοντά στην διάμετρο του αρχικού κύκλου είναι «μαυρισμένη». Κάτι τέτοιο βέβαια, μας προειδοποιεί ότι το γρανάζι χρήζει άμεσης αλλαγής. Σε περιπτώσεις όπου η συνεργαζόμενη βαθμίδα είναι λάθος ευθυγραμμισμένη σε μεγάλο βαθμό, η μηχανική διάβρωση θα συγκεντρωθεί στις περιοχές με υψηλό φορτίο. Το αποτέλεσμα είναι μια περιοχή στην οποία έχει απομακρυνθεί, ένα τμήμα του μετάλλου και ονομάζεται θρυμματισμένη.

Η μηχανική διάβρωση εξαρτάται λοιπόν, από την τάση που ακείται στους οδόντες και αποτελεί για αυτό τον λόγο μία σχετικά αργή διαδικασία (βλέπε σχήμα 2), η οποία στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν εξελίσσεται. Περιστασιακά τα φορτία είναι πολύ υψηλά για το υλικό και η διάβρωση προχωρεί και καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια του γραναζιού, όμως ακόμα και σ αυτήν την περίπτωση υπάρχει μικρή πιθανότητα να παράγει θόρυβο που θα γίνει αντιληπτός από τις μετρήσεις μας, διότι οι παραγόμενες συχνότητες είναι πολύ υψηλές και τείνουν να ανακλώνται ή να απορροφώνται προτού φτάσουν στα σημεία όπου θα μπορούσαν να εκπέμψουν θόρυβο.

Έχει αποδειχθεί ότι τροχοί με μεγάλο module και μικρό αριθμό οδόντων έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να εμφανίσουν επιφανειακές εκκοιλάνσεις παρά να αστοχήσουν σε αντοχή της επικίνδυνης διατομής τους. Αντίθετα, οδοντωτοί τροχοί με μικρό module και μεγάλο αριθμό οδόντων κινδυνεύουν περισσότερο σε θραύση οδόντων παρά σε εμφάνιση εκκοιλάνσεων. Επομένως προς αποφυγή των εκκοιλάνσεων πρέπει να χρησιμοποιείται πιο παχύρευστο λιπαντικό, μικρότερο module που εξασφαλίζει μικρότερο ύψος ποδός και κεφαλής, μεγαλύτερος αριθμός οδόντων, και μικρότερη ταχύτητα.

4.3.4 Υπερθέρμανση:

Η ψύξη των κιβωτίων ταχυτήτων αποτελεί σπάνια πρόβλημα για τα μικρά μεγέθη καθ' ότι το εμβαδόν επιφάνειας σε σχέση με την ισχύ είναι μεγάλο. Όσον αφορά στα μεγάλα μεγέθη, υπάρχει συνήθως ένα εξωτερικό(πρόσθετο) σύστημα ψύξης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του λαδιού.

Η υπερθέρμανση μπορεί να συμβεί όταν βασιζόμαστε στην φυσική μετάδοση θερμότητας αλλά η παραγωγή θερμότητας είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη. Ένας τυπικός μονοβάθμιος μειωτήρας στροφών με συντελεστή μείωσης περίπου 5/1 και είσοδο 1450rpm θα έχει στροφές εξόδου περίπου 290rpm. Στον τροχό που θα περιστρέφεται με 290rpm, θα περιορίζεται η κυκλοφορία του λαδιού, καθ' ότι μόνο ένα μέρος του λαδιού περνά μέσα στο ψυχόμενο λάδι. Η φυσική μετάδοση θερμότητας μπορεί να απάγει θερμική ισχύ της τάξης του 1 kW/m^2 περίπου και συνήθως αυτό είναι αρκετό. Η εισαγωγή μιας επιπλέον βαθμίδας στο κιβώτιο ταχυτήτων δεν θα προκαλέσει προβλήματα υπερθέρμανσης, αν τα επιπλέον επιπλέον γρανάζια και ρουλεμάν περιστρέφονται με μικρή ταχύτητα, όμως εάν προστεθεί ένας άξονας μεγάλης ταχύτητας, οι απώλειες λόγω της μεγάλης ανατάραξης του λαδιού θα είναι μεγάλες και το λάδι θα είναι ανεπαρκές. Σ αυτήν την περίπτωση είναι αναγκαίο να μειώσουμε το επίπεδο λαδιού για να εμποδίσουμε την μεγάλη του ανατάραξη και να προσθέσουμε ψυκτικό spray το οποίο θα κατευθύνεται προς τα δόντια του γραναζιού. Η χειρότερη περίπτωση εντοπίζεται όταν έχουμε έναν άξονα ο οποίος περιστρέφεται με υψηλή ταχύτητα σε συνδυασμό με ρουλεμάν με μπίλλιες και επιφάνειες οδοντωτών τροχών πλήρως εμβαπτισμένες στο λάδι. Σε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής, η χρήση εξωτερικά ψυκτικού spray θα μειώσει την θέρμανση των γραναζιών, όμως τότε ελλοχεύει ο κίνδυνος υπερθέρμανσης των ρουλεμάν με μπίλλια, εκτός αν αυτά είναι καλά αποστραγγισμένα ώστε να μην περιστρέφονται γεμάτα με λάδι το οποίο θα παραμένει στις επιφάνειές τους καθότι αυτό δημιουργεί μεγάλη παραγωγή θερμότητας. Πολλές φορές ένας σχεδιαστής μπορεί να απασχολείται πολύ με το να εισάγει ψυκτικό λάδι σ ένα ρουλεμάν, με αποτέλεσμα να τροφοδοτεί το ρουλεμάν με μεγαλύτερες ποσότητες λαδιού απ αυτές που μπορούν να εξαχθούν. Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να χρειάζεται σύστημα ψύξης δια ψεκασμού λαδιού ώστε να υπάρχει επαρκής ψύξη χωρίς τόσο μεγάλη ποσότητα λαδιού.

4.3.5 Ανίχνευση ξένων σωματιδίων:

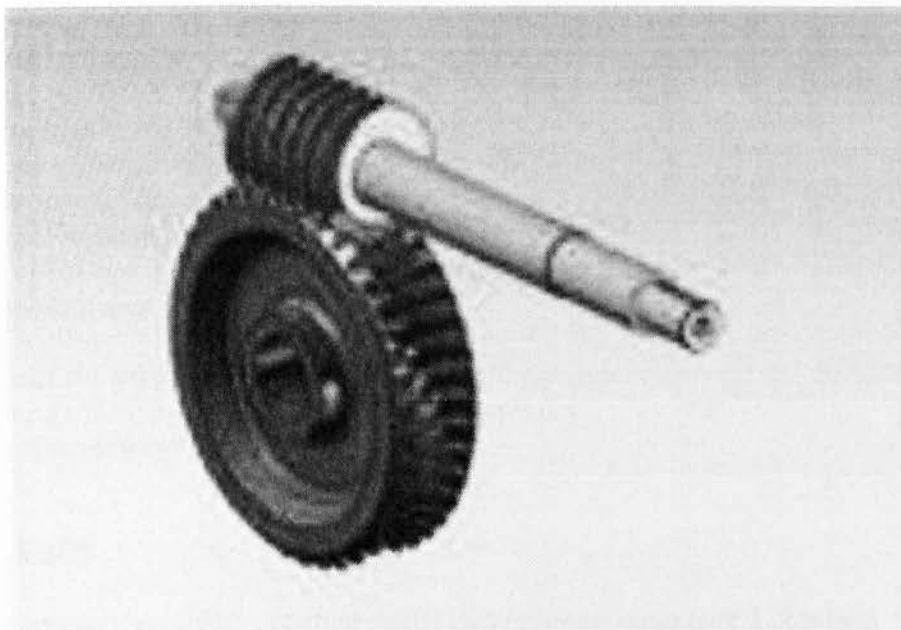
Η ανίχνευση ξένων σωματιδίων είναι μια από τις παλαιότερες τεχνικές που χρησιμοποιούμε για να πάρουμε κάποια ένδειξη σχετικά με την βλάβη. Τα μαγνητικά πώματα (έλκουν τα ρινίσματα σιδήρου) υπήρξαν περιορισμένης χρήσης γιατί χρησιμοποιούνταν μόνο όταν ήταν προγραμματισμένη μια αλλαγή λαδιών. Οι μοντέρνες τεχνικές καταμέτρησης σωματιδίων είναι πολύ αποτελεσματικές στο να δίνουν ακριβείς ποσοτικούς υπολογισμούς της κατάστασης του λαδιού και πρέπει να χρησιμοποιούνται αν τα ρουλεμάν του μειωτήρα φέρουν βαριά φορτία οπότε και είναι πολύ ευάλωτα στις ακαθαρσίες ή στα ξένα σωματίδια που υπάρχουν στο λάδι. Άλλωστε, γνωρίζουμε ότι οι δύο παραπάνω αιτίες είναι από τις κυριότερες που συμβάλλουν στην πρόωγη καταστροφή των ρουλεμάν των μηχανισμών. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για ξένα σωματίδια παρουσιάζονται με την μορφή σωματιδίων που μετρώνται σε 100ml λαδιού και

οι περιεκτικότητες εμφανίζονται απρόσμενα υψηλές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες εκδοχές, όμως για τα γρανάζια και για τα ρουλεμάν με μπίλλιες οι δύο μορφές που χρησιμοποιούνται είναι για αριθμό σωματιδίων μεγαλύτερων από 5μm και για αριθμό σωματιδίων μεγαλύτερων των 15μm αντιστοίχως. Τα νούμερα δεν δίνονται απ ευθείας αλλά ταξινομούνται σε μία τυποποιημένη δυαδική κλίμακα.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

5.1 ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΟΧΛΙΑ – ΚΟΡΩΝΑΣ

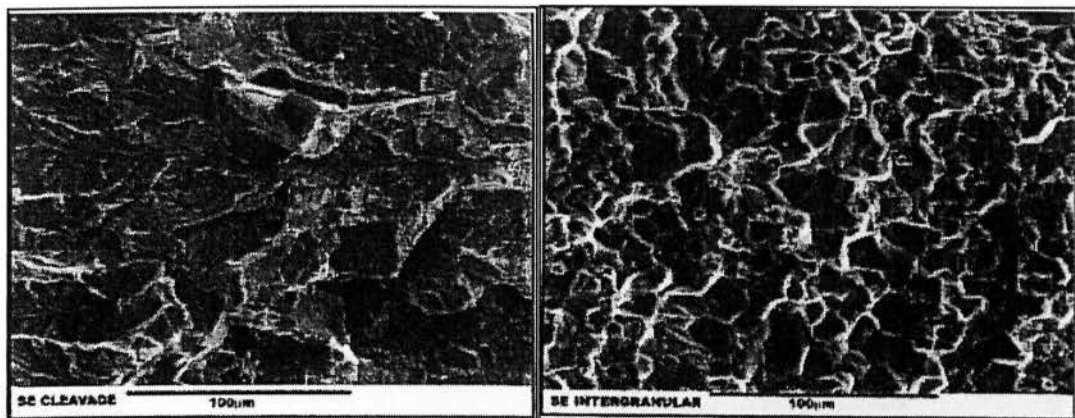
Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα ατέρμονα κοχλία, που είναι ουσιαστικά ένας κοχλίας κινήσεως κατάλληλου σπειρώματος μίας ή περισσότερων αρχών, ο οποίος συνεργάζεται με έναν οδοντωτό τροχό κατά τέτοιο τρόπο ώστε η συνεργασία τους να μοιάζει με τον τρόπο εμπλοκής στη συνεργασία ενός κοχλία με το περικόχλιό του. Οι άξονές τους είναι συνήθως κάθετοι, αν και είναι δυνατόν να σχηματίζουν άλλη γωνία. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται για μεταφορά μεγάλων φορτίων και για μεγάλες σχέσεις μείωσης, έως και 200:1.



Μηχανισμοί θραύσης των μετάλλων

Για να καταλήξει ένα μεταλλικό υλικό να διαχωριστεί σε δύο τεμάχια, είναι προφανές ότι για κάποιους λόγους δημιουργήθηκε μία ρωγμή, η οποία ακολούθησε κάποιο δρόμο στο εσωτερικό

του υλικού, μέχρι το διαχωρισμό του σε δύο τουλάχιστον κομμάτια. Τα εμπορικά μέταλλα και τα κράματα είναι πολυκρυσταλλικά υλικά. Προφανώς το επίπεδο της ρωγμής μπορεί να ακολουθήσει μία από τις ακόλουθες δύο πορείες κατά το διάβα του στο εσωτερικό του υλικού:



Ενδοκρυσταλλική πορεία

Περικρυσταλλική πορεία

Ενδοκρυσταλλική πορεία

- 1.Θραύση κατά θύλακες (dimple rupture)
- 2.Θραύση αποχωρισμού (cleavage rupture)
- 3.Θραύση με σχισμή (tearing rupture)
- 4.Θραύση από κόπωση (fatigue)

Περικρυσταλλική πορεία

- 1.Θραύση από την παρουσία δευτερογενών φάσεων
- 2.Θραύση από την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων
- 3.Τριαξονική καταπόνηση

5.1.1 ΧΑΛΥΒΕΣ

1.Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες(carbon steels).Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγάνιου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- i)Χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες ($C < 0,30\%$),
- ii)Χάλυβες μέτριου άνθρακα ($0,30\% < C < 0,60\%$),
- ii)Χάλυβες υψηλού άνθρακα ($0,60\% < C < 1,00\%$), και
- iv)Χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα ($1,00\% < C < 2,00\%$).

2.Κραματωμένοι χάλυβες (alloy steels) .Κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι :

i) Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10% κ.β.

ii) Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες ($Cr > 10,5\%$), οι ταχυχάλυβες ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$), κ.λπ.

5.1.3 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ ΣΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

ΦΑΣΕΙΣ :

Φερρίτης :Στερεά φάση καθαρού σιδήρου ή στερεό διάλυμα με βασικό συστατικό τον σίδηρο που κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρομένο κυβικό σύστημα

Σεμεντίτης :Ένωση του σιδήρου με τον άνθρακα (καρβίδιο) με σύσταση 93,31% κ.β. Fe και 6,69% κ.β. C

Ωστενίτης: Αλλοτροπική μορφή του σιδήρου που κρυσταλλώνεται στο εδροκεντρομένο κυβικό σύστημα

Μαρτενσίτης :Μετασταθής φάση που σχηματίζεται όταν ένας χάλυβας θερμανθεί σε υψηλή θερμοκρασία, ώστε να σχηματιστεί ωστενίτης (γ -Fe) και κατόπιν υποστεί απότομη ψύξη.

ΜΙΚΡΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ :

Περλίτης: Μικρογραφική δομή του χάλυβα που αποτελείται από εναλλασσόμενα φύλλα («λαμέλες») φερρίτη και σεμεντίτη.

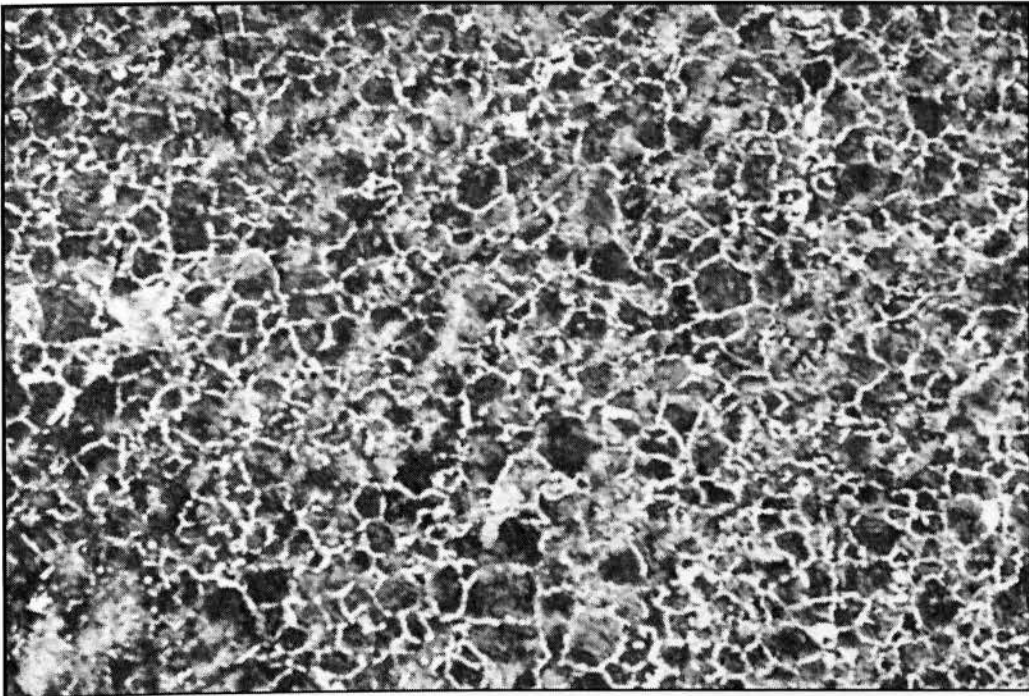
Μπαινίτης :Μικρογραφική δομή του χάλυβα που προκύπτει όταν ο χάλυβας θερμανθεί σε θερμοκρασία ανώτερη από την θερμοκρασία ωστενιτοποίησης και κατόπιν ψυχθεί σε τελική θερμοκρασία κατώτερη από την θερμοκρασία σχηματισμού περλίτη (δηλ. χαμηλότερη από περίπου 550°C) και υψηλότερη από την θερμοκρασία της έναρξης σχηματισμού μαρτενσίτη Ms (περίπου 250°C). Η δομή του μπαινίτη αποτελείται από φερρίτη και σεμεντίτη

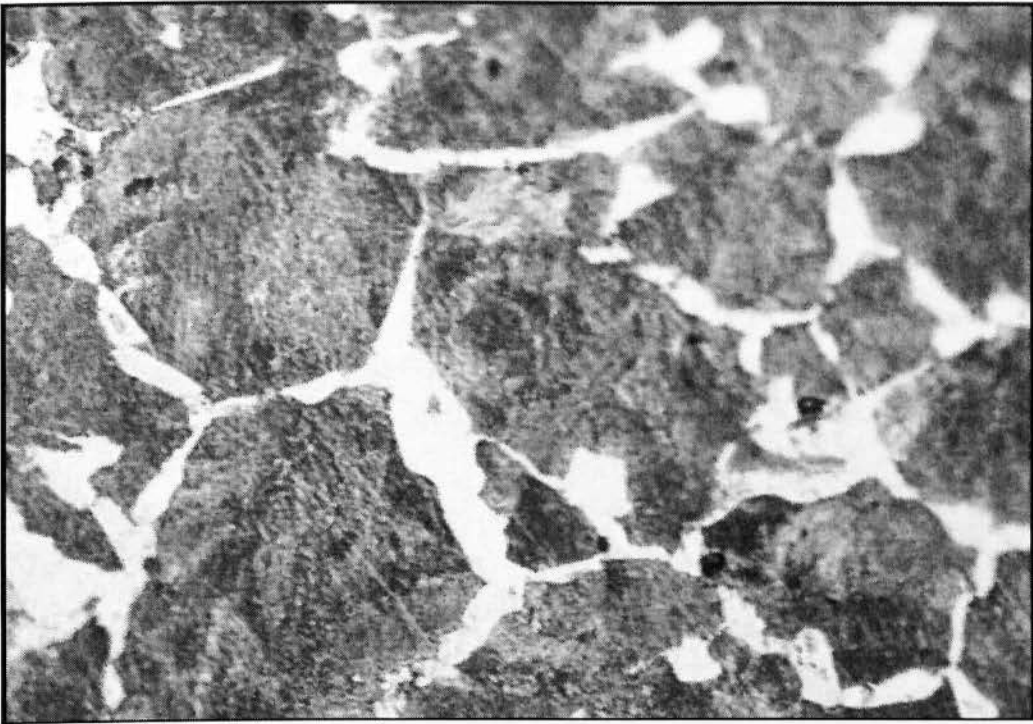
Λεδευουρίτης: Σχηματίζεται στους 1147°C , καθώς το τήγμα σιδήρου-άνθρακα κρυσταλλώνεται και δίνει ωστενίτη (γ -Fe) και σεμεντίτη (Fe_3C).

5.2.1 ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

Από τη χημική ανάλυση προέκυψε χάλυβας χαμηλής κραματοποίησης με μικρές συγκεντρώσεις πολλών στοιχείων. Τα περισσότερα κραματικά στοιχεία που ανιχνεύτηκαν βρίσκονται σε ποσότητες ικανές να προσδώσουν βελτιωμένη μηχανουργική συμπεριφορά, σκληρότητα και αντοχή σε εφελκυσμό, ιδιότητες απαραίτητες για τις συνθήκες λειτουργίας του κοχλία. Ταυτόχρονα όμως, ανιχνεύτηκαν σε σημαντικά ποσοστά, και στοιχεία όπως το θείο και το πυρίτιο που είναι καταστροφικά για τις ιδιότητες τη επιφάνειας. Η ύπαρξη αυτών των στοιχείων ευνοεί τη δημιουργία επιφανειακών ρωγμών κόπωσης, ειδικά στην περίπτωση που δεν έχει γίνει επιφανειακή σκλήρυνση του εξαρτήματος.

5.3.1 ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ





I) Πρόκειται για ένα μίγμα φερρίτη (λευκές περιοχές) και περλίτη (σκούρες περιοχές). Σύμφωνα με το ASM Handbook, χάλυβας με παρόμοια δομή με αυτήν που φαίνεται στις παραπάνω φωτογραφίες προέκυψε μετά από εξομάλυνση με ωστενιτοποίηση στους 950C για 30min. Η διαδικασία ψύξης έγινε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

II) Δεν πρόκειται για προϊόν βαφής και επαναφοράς καθώς η δομή του δεν παραπέμπει σε τέτοιου είδους προϊόν.

III) Δεν έχει επιφανειακή σκλήρυνση

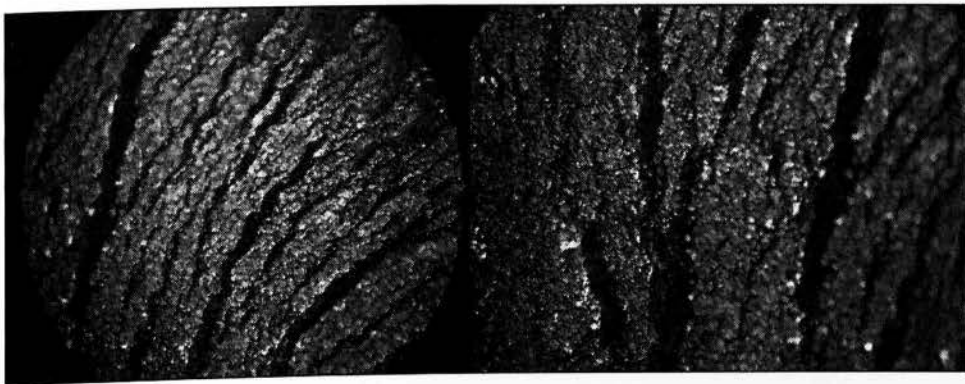
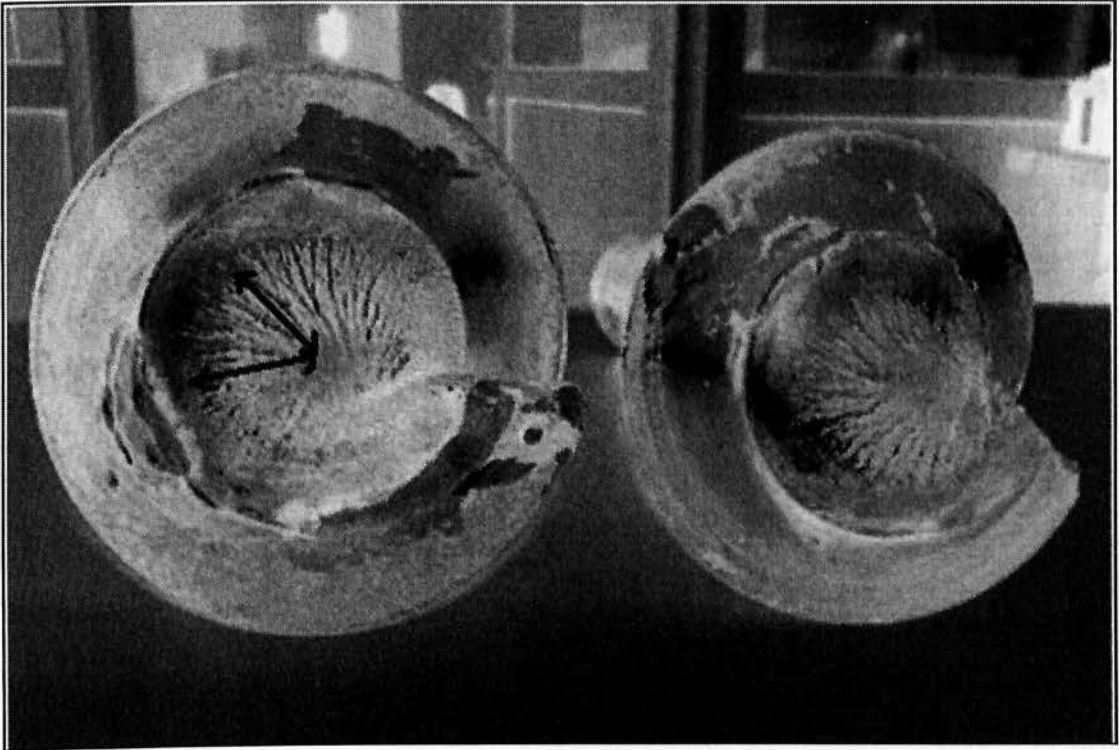
IV) Η μέτρηση του ποσοστού φάσεων, έδειξε κατά μέσο όρο 15% φερρίτη και 85% περλίτη.

Αυξημένο ποσοστό περλίτη στον χάλυβα οδηγεί σε:

- i) Αύξηση του ορίου διαρροής και της αντοχής του χάλυβα
- ii) Μείωση της ολκιμότητας και της δυσθραυστότητας

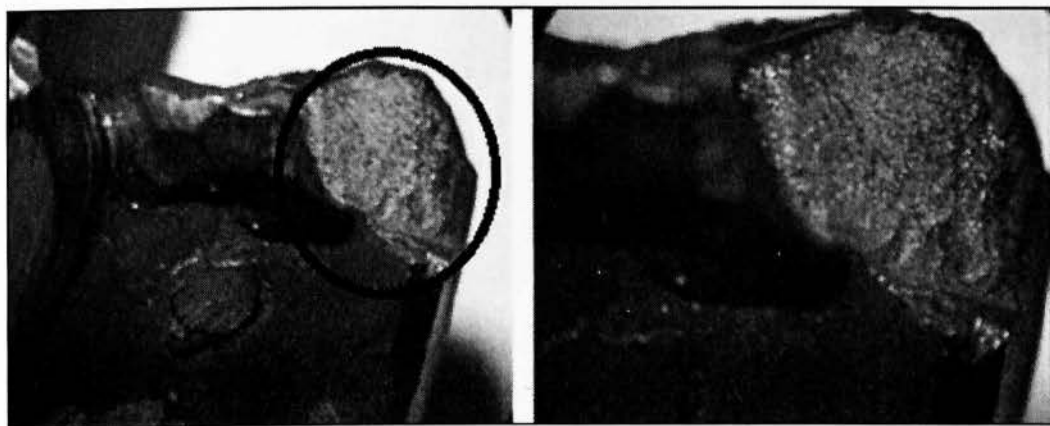
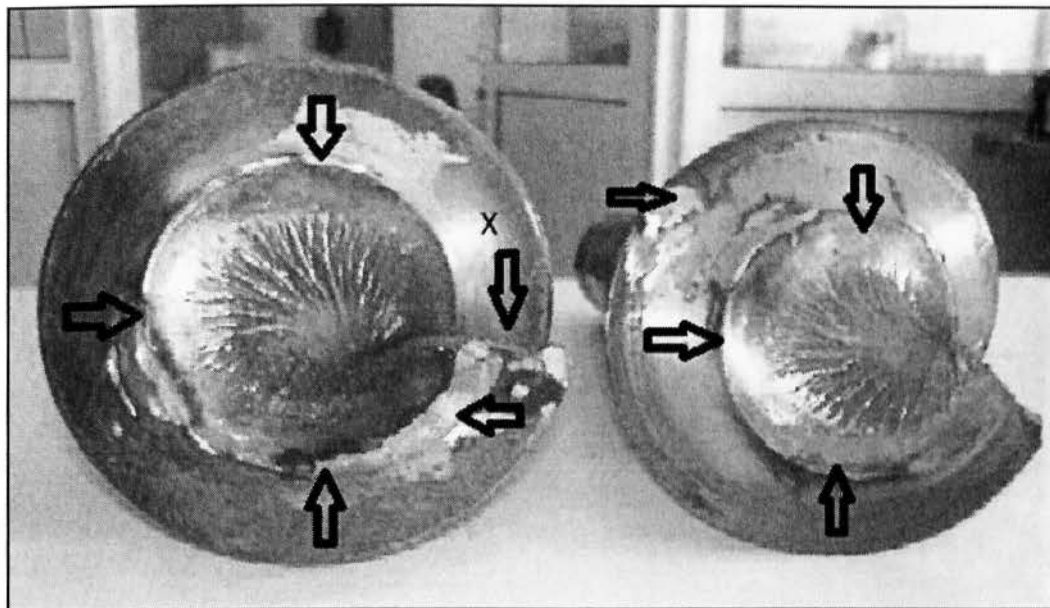
5.4.1 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ

- Διακρίνονται τα ίχνη οδοντώσεων.
- Παρατηρούνται σε επιφάνειες κόπωσης .
- Βοηθούν στην καταμέτρηση του αριθμού των σημείων έναρξης της θραύσης.
- Η απουσία κυματώσεων υποστηρίζει την άποψη ότι το εξάρτημα λειτουργούσε κάτω από κανονικές συνθήκες



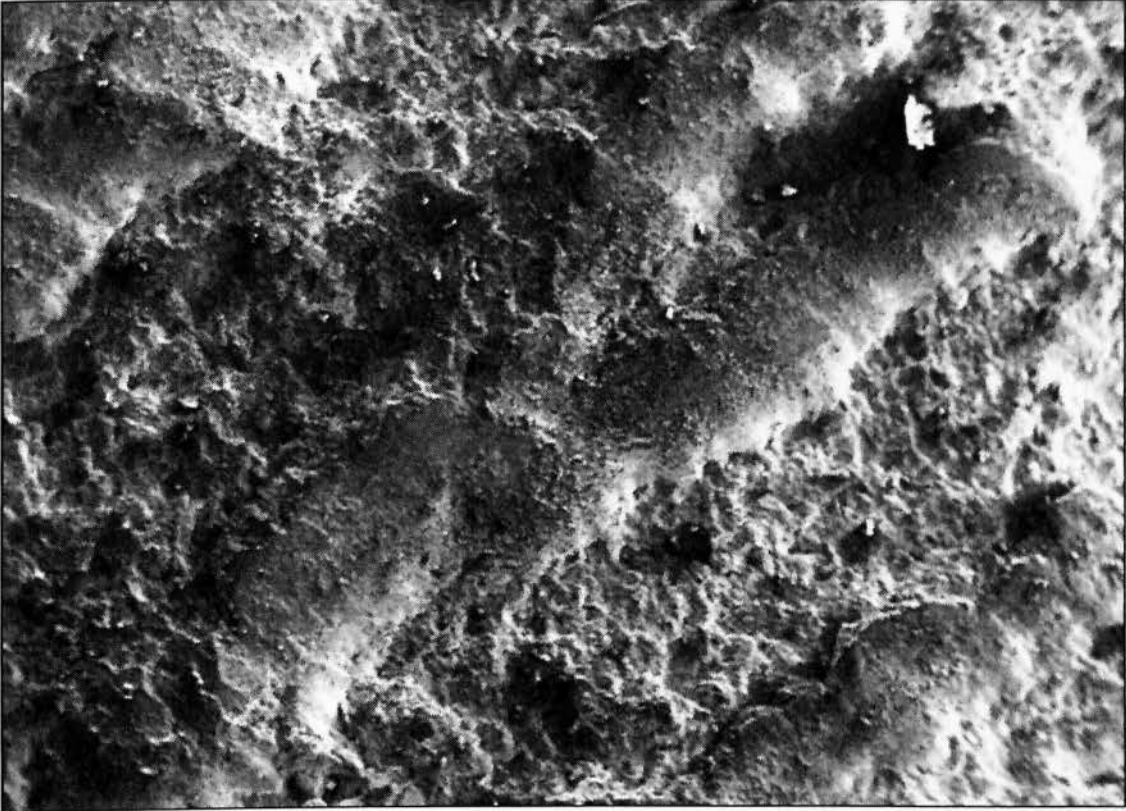
- Απουσία πλαστικής παραμόρφωσης η οποία προηγήθηκε της θραύσης
- Σημάδια πλαστικής παραμόρφωσης παρατηρούνται κοντά στην περιφέρεια της επιφάνειας θραύσης

- Τα θραυστογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής 'X' δείχνουν ότι «έσπασε» τελευταία. Αυτή η περιοχή ήταν ο λόγος για τον οποίο εμφανίστηκε πλαστική παραμόρφωση εντός της περιφέρειας της επιφάνειας θραύσης.



5.5.1 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ

Παρατηρώντας την εικόνα είναι εύκολο να διακριθούν οι αυλακώσεις ανάμεσα στα ίχνη οδοντώσεων. Από πλευράς χωροθέτησης παρουσιάζονται συγκεντρικά (σαν ομόκεντροι κύκλοι) ως προς το σημείο έναρξης της ρωγμής. Αποτελούν την πλέον χαρακτηριστική ένδειξη της θραύσης από κόπωση. Δεν εμφανίζονται στα πολύ σκληρά και στα πολύ μαλακά υλικά.



5.6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συμφώνα με το μηχανισμό της κόπωσης, κατά το πρώτο στάδιο συνέβη ο σχηματισμός ρωγμών στην επιφάνεια. Στην συνέχεια, με την ταυτόχρονη και επαναλαμβανόμενη δράση της στρέψης και του εφελκυσμού, η ρωγμή προωθήθηκε παράλληλα προς τη προς τη διατμητική συνιστώσα. Η προοδευτική προώθηση της ελάττωσε την ωφέλιμη διατομή του υλικού και κάποια στιγμή επήλθε η θραύση με δράση του μηχανισμού σχισμής και περικρυσταλλική αποκόλληση. Σε περίπτωση που η θραύση ήταν αποτέλεσμα μόνο της κόπωσης, θα έπρεπε τα ίχνη οδοντώσεως να φτάνουν μέχρι το κέντρο της επιφάνειας θραύσης. Στην περίπτωση αυτή όμως, στο κέντρο, όπως και στην περιοχή 'X', υπάρχουν έντονα σημάδια περικρυσταλλικής αποκόλλησης.

- Πολύ σημαντικό ρόλο στη θραύση έπαιξε η απουσία επιφανειακής σκλήρυνσης. Η ύπαρξη της θα επιβράδυνε το φαινόμενο κατά έναν πολύ μεγάλο βαθμό. Βέβαια το αποτέλεσμα, μετά από μεγάλο αριθμό κύκλων, θα ήταν το ίδιο.
- Σε τυχαία περιοδική επιθεώρηση, και όταν ο ατέρμων βρίσκεται σε προσβάσιμο σημείο, έχει ελάχιστο κόστος ο έλεγχος του εξαρτήματος in site με διεισδυτικά υγρά (PT, Penetrant Testing). Η γεωμετρία του εξαρτήματος καθιστά απαγορευτική τη χρήση μαγνητικών σωματιδίων (MT, Magnetic Testing).
- Εάν διαπιστωθεί η ύπαρξη ρωγμών τότε επιβάλλεται άμεση αντικατάσταση του ατέρμονα. Διαφορετικά θα συμβεί η αστοχία εν μέσω της παραγωγικής διαδικασίας οπότε η αντικατάστασή του θα συνεπάγεται μεγάλη αποθετική ζημία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

«Μελέτη του φαινομένου της σπηλαίωσης σε φυγοκεντρική αντλία» Σέμψη Λάμπρου

«Ταυτοποίηση Βλαβών Οδοντωτών Τροχών» Γιώργος Κ. Τριάντης

«Metallurgical analysis of failed gear» Abhay K. Jha *, V. Diwakar

«Troubleshooting centrifugal pumps, rolling element bearing failures» Word Pumps

«Rolling element bearing diagnostics in run to failure runtime testing» T. WILLIAMS, X. RIBADENEIRA, S. BILLINGTON AND T. KURFESS

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Δρ. Κ. Μέντρεα

Π.Πανταζοπούλου

Πλέλλης Κων/νος, Μηχανολογικός και Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός, Τόμος 4ος,
Εκπαιδευτικά Εγχειρίδια, 2005

W. Ost, P. De Baets, “Failure analysis of the deep groove ball bearing of an electric motor”,
Engineering Failure Analysis

F. Berndt, A. van Bennekom, “Pump shaft failures — a compendium of case studies”,
Engineering Failure Analysis

www.envirocoustics.gr

www.nskeurope.gr

www.sciencedirect.com