

Επίδραση των Μεταλλικών Στοιχείων στη Δύναμη Τριβής και στο Ρυθμό Φθοράς των Υλικών Τριβής του Συστήματος Πέδησης των Δίκυκλων Οχημάτων



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΕΡΜΙΔΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Αϊσόπουλος Παύλος

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
1. Εισαγωγή.....	3
2. Στάθμη Γνώσεων	4
2.1 Εξέλιξη των υλικών τριβής	4
2.2 Επίδραση των υλικών τριβής στην απόδοση του συστήματος πέδησης	5
3. Σκοπός Πτυχιακής Εργασίας	7
4. Συντελεστής Τριβής	8
5. Πειραματική Διάταξη	11
5.1 Πειραματική διάταξη δίκυκλου	11
5.2 Κινητήρας και σύστημα μετάδοσης κίνησης	11
5.3 Σύστημα πέδησης	12
5.4 Ιδιοσυσκευή ελέγχου πίεσης	12
5.5 Όργανα μέτρησης	13
5.5.1 Αισθητήρας ροπής	13
5.5.2 Μανόμετρο	14
5.5.3 Στροφόμετρο	14
6. Υλικά Τριβής	15
6.1 Κατηγορίες των υλικών τριβής	15
6.2 Χημική σύσταση των υλικών τριβής	16
6.2.1 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης SEM	16
6.2.2 Προετοιμασία δειγμάτων	17
6.2.3 Αποτελέσματα σάρωσης των υλικών τριβής	18
7. Ρυθμός Φθοράς των Υλικών Τριβής	19
7.1 Προσδιορισμός του ρυθμού φθοράς	19
7.2 Πειραματικός προσδιορισμός του ρυθμού φθοράς	20
7.3 Επίδραση της ταχύτητας ολίσθησης στο ρυθμό φθοράς	21
7.4 Επίδραση της ταχύτητας ολίσθησης στη θερμοκρασία των υλικών τριβής	22
8. Συμπεράσματα	23
9. Βιβλιογραφία	24

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από τα παιδικά μου χρόνια, τα δίκυκλα οχήματα μου κινούσαν το ενδιαφέρον. Αυτό το ενδιαφέρον αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια με την φοίτηση μου στο Τμήμα Οχημάτων και την εργασία μου στην οικογενειακή μας επιχείρηση πώλησης, συντήρησης και επισκευής δίκυκλων οχημάτων. Το αντικείμενο της δουλειάς μου είναι η πώληση και η διαχείριση του συνεργείου, συνεπώς θα πρέπει να είμαι σε θέση να προτείνω βέλτιστες λύσεις στους πελάτες. Η εξέταση της απόδοσης των συστημάτων πέδησης των δίκυκλων οχημάτων και κατά συνέπεια η ανάγκη αντικατάστασης των υλικών τριβής τους είναι από τις συχνότερες εργασίες του συνεργείου. Για αυτό και με σκοπό τη διεύρυνση των γνώσεων μου στη συμπεριφορά των συστημάτων πέδησης μου ανατέθηκε η μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών τριβής τους ως θέμα της πτυχιακής μου εργασίας.

Η βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων πέδησης των οχημάτων αποτελούσε και αποτελεί βασικό στόχο της βιομηχανίας των οχημάτων. Η απόδοση του συστήματος πέδησης εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την συμπεριφορά των υλικών τριβής του συστήματος πέδησης η οποία εξαρτάται από την σύσταση τους και από τις συνθήκες λειτουργίας κατά την πέδηση. Η απόδοση των υλικών τριβής χαρακτηρίζεται από το ρυθμό φθοράς τους και για το λόγο αυτό η εύρεση νέων δομών των υλικών τριβής, με σκοπό την μείωση του ρυθμού φθοράς και συνεπώς την αύξηση του χρόνου αντικατάστασης τους, αποτελεί ένα βασικό στόχο των ερευνητών. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα εκπονήθηκε η τρέχουσα πτυχιακή εργασία η οποία στοχεύει στην μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών τριβής του συστήματος πέδησης. Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Δυναμικής Οχημάτων το οποίο διαθέτει τον απαραίτητο πειραματικό εξοπλισμό για την εκτέλεση των απαραίτητων πειραμάτων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Αϊσόπουλο Παύλο για την καθοδήγηση, τη συνεργασία, και τη παραχώρηση κάθε είδους βοήθειας για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας, καθώς και όλους του συμφοιτητές μου που έδειξαν το ενδιαφέρον να ασχοληθούν και να βοηθήσουν στην εύρεση λύσεων, για τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε κατά τη διεκπεραίωση των πειραμάτων. Επίσης ευχαριστώ τον καθηγητή κύριο Παλαστεργιάδη Ευθύμιο για τη μεταβίβαση των γνώσεων του και τη βοήθεια του στην εκτέλεση των πειραμάτων ανάλυσης της χημικής σύστασης των υλικών τριβής. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη και υποστήριξη που μου έδωσαν και ιδιαίτερα τον πατέρα μου για τη μεταβίβαση των γνώσεων του και τη βοήθεια του στην σωστή λειτουργία της δίκυκλης μηχανής της πειραματικής διάταξης του εργαστηρίου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα πέδησης είναι ένα από τα βασικά συστήματα του οχήματος και η σωστή λειτουργία του παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του οχήματος και στην ασφάλεια των επιβατών. Τα συστήματα πέδησης που χρησιμοποιούνται στα οχήματα εμπίπτουν σε δυο κατηγορίες, στα συστήματα πέδησης τύμπανου - σιαγόνων και στα συστήματα δίσκου - πλακιδίων. Σήμερα, τα περισσότερα οχήματα χρησιμοποιούν τα συστήματα πέδησης με δίσκο και πλακίδια λόγω της μεγαλύτερης αποδοτικότητας τους. Τα συστήματα πέδησης με δισκόφρενο αποτελούνται από επίπεδο δίσκο ο οποίος είναι τοποθετημένος στον άξονα του τροχού και κινείται ανάμεσα στα σκέλη μιας δαγκάνας όπως δείχνει το σχήμα 1. Κάθε σκέλος της δαγκάνας έχει ένα ή δυο κυλίνδρους με έμβολα που καταλήγουν σε μια μεταλλική βάση, επάνω στην οποία τοποθετούνται τα υλικά τριβής. Η λειτουργία του συστήματος πέδησης βασίζεται στην τριβή μεταξύ του δίσκου και των υλικών τριβής της δαγκάνας. Τα υλικά τριβής πιέζονται από τα έμβολα της δαγκάνας στον κινούμενο δίσκο προκαλώντας την επιβράδυνση του. Κατά την φάση του φρεναρίσματος μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του οχήματος σε θερμότητα, η οποία στη συνέχεια αποβάλλεται στο περιβάλλον.



Σχήμα 1: Σύστημα πέδησης με δισκόφρενο

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος πέδησης ενός οχήματος είναι εκείνοι που επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή τριβής και κατά συνέπεια την δύναμη τριβής και την προκύπτουσα ροπή πέδησης. Η τιμή του συντελεστή τριβής εξαρτάται από όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την υφή της επιφάνειας των τριβόμενων σωμάτων. Τέτοιοι παράγοντες είναι η τραχύτητα της επιφάνειας, η θερμοκρασία, τα οξειδία που σχηματίζονται στις επιφάνειες των μετάλλων, κλπ. Για την βέλτιστη απόδοση του συστήματος πέδησης πρέπει κατά την διάρκεια της πέδησης τα υλικά τριβής να παρέχουν σταθερό συντελεστή τριβής και χαμηλό ρυθμό φθοράς σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας δηλ. ταχύτητες ολίσθησης, πιέσεις, θερμοκρασίες και περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης, τα υλικά αυτά πρέπει να είναι συμβατά με το υλικό του δίσκου προκειμένου να μειωθούν η εκτεταμένη φθορά του, ο θόρυβος και οι κραδασμοί κατά τη διάρκεια της πέδησης.

2. Στάθμη Γνώσεων

Με σκοπό την αύξηση της απόδοσης των συστημάτων πέδησης, πραγματοποιούνται και σήμερα αρκετές μελέτες για την εξέταση των συνθηκών λειτουργίας κατά την διάρκεια της πέδησης, όπως η επίδραση της ταχύτητας ολίσθησης, της πίεσης και της θερμοκρασίας, στο συντελεστή τριβής και στο ρυθμό φθοράς των υλικών τριβής. Πολλές πειραματικές μελέτες από την βιβλιογραφία δείχνουν ότι ο συντελεστής τριβής και ο ρυθμός φθοράς ποικίλλουν ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, όπως η πίεση, η ταχύτητα ολίσθησης, η τραχύτητα των επιφανειών τριβής, η φύση του υλικού, οι θερμοκρασίες και η σχετική υγρασία [5]. Η αύξηση της πίεσης επαφής των υλικών τριβής στο δίσκο προκαλεί σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή τριβής [5]. Από τα πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει επίσης ότι ο ρυθμός φθοράς των σύνθετων υλικών μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης, σε αντίθεση με τη θερμοκρασία των επιφανειών επαφής, η οποία αυξάνεται απότομα λόγω της μετατροπής της υψηλότερης κινητικής ενέργειας σε θερμική κατά τη διάρκεια της πέδησης. Η υπερβολική θερμική φόρτιση οδηγεί στη δημιουργία επιφανειακών ρωγμών και στην υψηλή φθορά των επιφανειών τριβής. Επίσης οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν στην υπερθέρμανση του υγρού φρένων, των υλικών στεγανοποίησης και άλλων εξαρτημάτων. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μεταφέρεται αρχικά με αγωγιμότητα στα στοιχεία που έρχονται σε επαφή και στη συνέχεια με μεταφορά και ακτινοβολία στα γειτονικά στοιχεία και στο περιβάλλον [3].

2.1 Εξέλιξη των υλικών τριβής

Το πρώτο υλικό τριβής των φρένων εφευρέθηκε το 1897. Ήταν ένα υλικό με βάση από βαμβάκι εμποτισμένο με διάλυμα ασφάλτου, και χρησιμοποιήθηκε στα συστήματα πέδησης των τρένων και των αυτοκινήτων. Τα πρώτα υλικά επένδυσης των φρένων ήταν υφαντά, αλλά στη δεκαετία του '20 αυτά αντικαταστάθηκαν από χυτά υλικά που περιείχαν ίνες αμιάντου τα οποία αποσύρθηκαν καθώς αποδείχθηκαν επιβλαβή για την υγεία. Αργότερα εμφανιστήκαν τα γνωστά έως σήμερα μεταλλικά υλικά τριβής τα οποία κατασκευάζονται από μεταλλικά σωματίδια που ενώνονται κάτω από υψηλή θερμοκρασία και πίεση [4]. Την δεκαετία του '50 χρησιμοποιήθηκαν τα οργανικά πλακίδια τα οποία είναι κατασκευασμένα από ένα μείγμα ινών και πληρωτικών και ενώνονται μεταξύ τους με ειδικές ρητίνες [7]. Από τη δεκαετία του '60 αναπτύχθηκαν τα λεγόμενα ημι-μεταλλικά τα οποία περιέχουν ένα υψηλότερο ποσοστό πρόσθετων μετάλλων όπως ο χαλκός, ο σίδηρος, ο ορείχαλκος, ο μπρούντζος και το αλουμίνιο σε μορφή ινών ή σωματιδίων, με σκοπό την βελτίωση της αντοχής τους στη φθορά και στην αύξηση της θερμικής διαχυτικότητας τους. Τα κεραμικά πλακίδια κατασκευάζονται από κεραμικές ίνες υψηλής αντοχής και νήματα μη σιδηρούχων μετάλλων. Τις τελευταίες δυο δεκαετίες τα υλικά επένδυσης των φρένων εξελίχθηκαν ραγδαία στην αυτοκινητοβιομηχανία, συνοδεύοντας την αύξηση της ταχύτητας, των φορτίων και της ισχύος του κινητήρα.

2.2 Επίδραση των υλικών τριβής στην απόδοση του συστήματος πέδησης

Η απόδοση του συστήματος πέδησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το συνδυασμό και τη δομή των υλικών που χρησιμοποιούνται στα υλικά τριβής των φρένων. Τα υλικά τριβής περιέχουν διάφορα στοιχεία, όπως κεραμικά σωματίδια και ίνες, ορυκτά μέταλλα, μεταλλικές ίνες και στερεά λιπαντικά, τα οποία συνδέονται με μια ρητίνη. Η περιεκτικότητα των στοιχείων αυτών στη δομή των υλικών τριβής επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό φθορά τους και την αναπτυσσόμενη τριβή, κατά τη λειτουργία του συστήματος πέδησης με διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι συμβατά με τα υλικά του δίσκου με σκοπό την μείωση της εκτεταμένης φθοράς του, τους κραδασμούς και τον θόρυβο κατά την πέδηση. Ο τύπος, η μορφολογία και η σκληρότητα των μεταλλικών στοιχείων που περιέχονται στα υλικά τριβής επηρεάζουν τον συντελεστή τριβής και το ρυθμό φθοράς. Για παράδειγμα, οι χαλύβδινες ίνες εισάγονται στα υλικά τριβής με σκοπό την αύξηση της αντοχής τους στη φθορά και την διατήρηση της αποτελεσματικότητας της τριβής σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο η προσθήκη των χαλύβδινων ινών προκαλεί την έντονη φθορά του δίσκου και τη δημιουργία κραδασμών κατά την πέδηση. Κράματα χαλκού προστίθενται στο υλικό τριβής με σκοπό την βελτίωση της θερμικής διαχυτικότητας κατά την επαφή των τριβόμενων επιφανειών. Είναι επίσης γνωστό ότι ο χαλκός βοηθά στη διατήρηση της τιμής του συντελεστή τριβής σε υψηλές θερμοκρασίες με την παραγωγή οξειδίων χαλκού αποφεύγοντας την έντονη φθορά των τριβόμενων υλικών. Από τη βιβλιογραφία προκύπτει επίσης ότι οι ίνες αλουμινίου χρησιμοποιούνται στα υλικά τριβής όταν πρόκειται στα συστήματα πέδησης να χρησιμοποιηθούν δίσκοι αλουμινίου. Ωστόσο δεν υπάρχουν αρκετές αναφορές στη βιβλιογραφία σχετικά με το ρολό του αλουμινίου στη απόδοση των συστημάτων πέδησης [8].

Σήμερα τα μεταλλικά πλακίδια είναι τα πιο διαδεδομένα. Αποτελούν την πρώτη επιλογή των περισσότερων κατασκευαστών μοτοσυκλετών, επειδή μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μεγάλο εύρος συνθηκών. Κατά την κατασκευή τους, μεταλλικά σωματίδια ενώνονται κάτω από υψηλή θερμοκρασία και πίεση [4]. Το αποτέλεσμα είναι ένα υλικό τριβής πολύ ανθεκτικό στη φθορά, που παρέχει σταθερό συντελεστή τριβής ανεξάρτητα από το αν είναι κρύο ή ζεστό και καλό αρχικό δάγκωμα. Αυτό καθιστά τα μεταλλικά πλακίδια ιδανικά για χρήση τόσο σε πίστα όσο και στον δρόμο. Επίσης, αντέχουν τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να χάνουν την απόδοσή τους, τα πάνε αρκετά καλά σε βροχή ή ακόμα και λάσπη και σε γενικές γραμμές έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους άλλους τύπους. Βέβαια, έχουν και τα μειονεκτήματά τους. Προκαλούν μεγάλη φθορά στους δίσκους, κάνουν περισσότερο θόρυβο όταν ενεργοποιούνται τα φρένα και είναι ακριβότερα σε σχέση με τα οργανικά.

Τα οργανικά πλακίδια είναι κατασκευασμένα από ένα μείγμα ινών και πληρωτικών, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με ειδικές ρητίνες. Κάποια περιέχουν και ανθρακονήματα για αύξηση της αντοχής τους. Είναι πιο μαλακά δίνοντας μια πιο προοδευτική αίσθηση και καλύτερη πληροφόρηση στον αναβάτη, όταν ενεργοποιούνται τα φρένα, αλλά δεν έχουν το πιο απότομο και άμεσο αρχικό δάγκωμα που προσφέρουν τα μεταλλικά. Έτσι όμως, δίνουν καλύτερο έλεγχο στις χαμηλές ταχύτητες. Τα οργανικά πλακίδια δεν προκαλούν μεγάλη φθορά στους δίσκους και απευθύνονται σε

αναβάτες που δεν έχουν πρόβλημα να αλλάζουν συχνά πλακίδια, η αντικατάσταση των οποίων είναι πιο οικονομική από αυτή των δίσκων. Τα πιο μαλακά υλικά τριβής δεν κάνουν τόσο θόρυβο και αφήνουν λιγότερη σκόνη, ενώ είναι φθηνότερα από τα μεταλλικά. Όμως φθείρονται περισσότερο και δεν αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες, αφού ο συντελεστής τριβής τους αρχίζει να μειώνεται μόλις φτάσουν τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Τέλος, δεν είναι ανθεκτικά στο νερό και στη λάσπη, τα οποία μάλιστα μπορεί να δημιουργήσουν ένα φιλμ στην επιφάνειά τους, το οποίο θα επηρεάσει μελλοντικά την απόδοσή τους.

Τα ημι-μεταλλικά συνδυάζουν χαρακτηριστικά από τα μεταλλικά και τα οργανικά πλακίδια, αφού συνδυάζουν τη μεγάλη διάρκεια ζωής με τη χαμηλή φθορά των δίσκων και την προοδευτική αίσθηση κατά το φρενάρισμα. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται 30% χαλκός και οργανικό καλούπι κάτι που τα φέρνει ανάμεσα στα μεταλλικά και τα οργανικά από πλευράς απόδοσης και ανθεκτικότητας.

Τα κεραμικά πλακίδια κατασκευάζονται από κεραμικές ίνες υψηλής αντοχής και νήματα μη σιδηρούχων μετάλλων, τα οποία ενώνονται με τη βοήθεια υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Το αποτέλεσμα είναι ένα υλικό τριβής με μέτριο συντελεστή τριβής και καλό αρχικό δάγκωμα, ενώ οι κεραμικές ίνες μειώνουν την αποσύνθεση και άρα το φαινόμενο της πτώσης της απόδοσης από τις υψηλές θερμοκρασίες. Ο θόρυβος που παράγουν δεν είναι μεγάλος και μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μεγάλο φάσμα θερμοκρασιών. Επίσης, προσφέρουν πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα αποβαλόντας γρήγορα τη θερμοκρασία από τον δίσκο.

Συνεπώς η ύπαρξη των μεταλλικών στοιχείων στα συστατικά των υλικών τριβής βελτιώνει την συμπεριφορά των υλικών τριβής [8]. Έχουν πραγματοποιηθεί επίσης αρκετές μελέτες πάνω στο σύστημα πέδησης των οχημάτων με σκοπό την εξέταση της επίδρασης των διαφορετικών συνθέσεων των υλικών του δίσκου και των πλακιδίων στην απόδοσή τους σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός των υλικών δίσκου-πλακιδίων επηρεάζει σημαντικά το συντελεστή τριβής καθώς και το ρυθμό φθοράς.

3. Σκοπός Πτυχιακής Εργασίας

Σημαντικοί παράγοντες κατά το φρενάρισμα είναι ο συντελεστής τριβής, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την επαφή του δίσκου με το πλακίδιο και κατ' επέκταση ο ρυθμός με τον οποίο φθείρονται τα υλικά τριβής. Υπάρχουν μελέτες που εστιάζουν σε ένα ή σε συνδυασμό των παραπάνω παραμέτρων στην απόδοση του συστήματος πέδησης των οχημάτων.

Η πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών λειτουργίας, καθώς και του ποσοστού των μεταλλικών στοιχείων στα υλικά τριβής του συστήματος πέδησης δίκυκλων στην απόδοση του. Πιο συγκεκριμένα η εργασία στοχεύει στην μελέτη της επίδρασης των μεταλλικών στοιχείων τριών ειδών υλικών τριβής του συστήματος πέδησης δίκυκλων οχημάτων του εμπορίου στην απόδοσή τους, η οποία επιτυγχάνεται με:

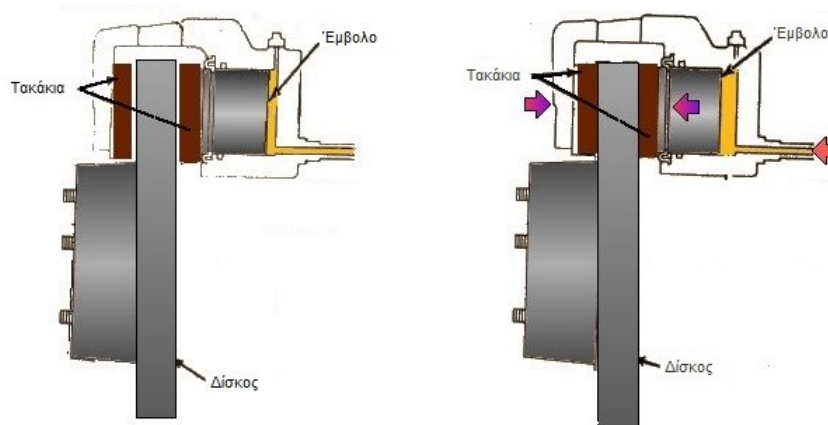
- τη στοιχειακή ανάλυση των υλικών τριβής τους, για τον προσδιορισμό του ποσοστού των μεταλλικών στοιχείων
- τον πειραματικό προσδιορισμό του συντελεστή τριβής
- τη μελέτη της επίδρασης της πίεσης και της ταχύτητας ολίσθησης στο ρυθμό φθοράς των υλικών τριβής.



4. Συντελεστής Τριβής

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και σημαντικότερα φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται με τα συστήματα πέδησης είναι η δύναμη τριβής. Εάν δύο τραχείες επιφάνειες πιέζονται η μια προς την άλλη, μόνο μικρά μέρη τους θα έρθουν σε επαφή μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, η περιοχή της πραγματικής επαφής θα είναι πολύ μικρή. Στην πραγματικότητα, το φυσιολογικό φορτίο και η σκληρότητα των δύο υλικών θα καθορίσουν την περιοχή της πραγματικής επαφής. Μια αυξημένη σκληρότητα ή ένα μειωμένο φορτίο θα οδηγήσει σε μειωμένη περιοχή επαφής. Έτσι, για ένα δεδομένο συνδυασμό υλικών, η πραγματική περιοχή επαφής εξαρτάται μόνο από το κανονικό φορτίο και δεν έχει καμία σχέση με την ονομαστική περιοχή επαφής [6].

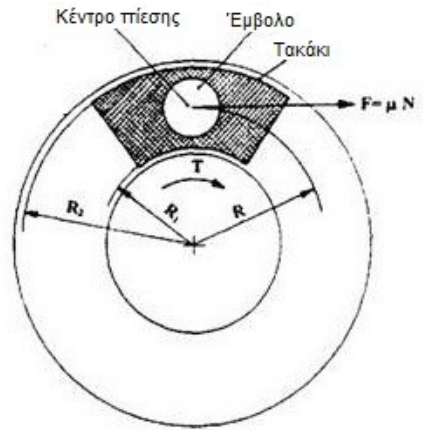
Ο συντελεστής τριβής είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τη συμπεριφορά των φρένων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση διαφόρων φαινομένων φρεναρίσματος, όπως το μήκος φρεναρίσματος, η υπερθέρμανση των φρένων, ο θόρυβος και οι αναπτυσσόμενες ταλαντώσεις. Επιπλέον, η τριβή δεν είναι εγγενής ιδιότητα των υλικών, γενικά εξαρτάται από τις συνθήκες που δημιουργούνται λόγω της επαφής των επιφανειών, αλλά επίσης επηρεάζεται από περιβαλλοντικές συνθήκες. Πολλές πειραματικές μελέτες δείχνουν ότι η μεταβολή του συντελεστή τριβής εξαρτάται από τις συνθήκες που δημιουργούνται κατά την επαφή, όπως το κανονικό φορτίο, η ταχύτητα ολίσθησης, η τραχύτητα των επιφανειών τριβής, η φύση του υλικού, και την σχετική υγρασία [5].



Σχήμα 4.1: Διάταξη υδραυλικού κυκλώματος πέδησης με δισκόφρενο.

Ένα υδραυλικό σύστημα πέδησης δίκυκλων με δισκόφρενο αποτελείται από την κεντρική αντλία, τον σωλήνα υψηλής πίεσης, τον κύλινδρο του τροχού, την δαγκάνα και τον δίσκο όπως δείχνει το σχήμα 4.1. Η δύναμη που ασκεί ο οδηγός στο μοχλό, μεταφέρεται στο έμβολο της κεντρικής αντλίας μέσω μιας ράβδου προκαλώντας την κίνηση του στο κεντρικό θάλαμο της, δημιουργώντας την κατάλληλη πίεση η οποία μεταδίδεται στο έμβολο του κυλίνδρου του τροχού μετακινώντας τα σκέλη της δαγκάνας με αποτέλεσμα να πιέζονται τα πλακίδια στον περιστρεφόμενο δίσκο του τροχού, με την απαιτούμενη πίεση δημιουργώντας την δύναμη τριβής στις επιφάνειες επαφής τους

μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του δίκυκλου σε θερμότητα, προκαλώντας την επιβράδυνση του οχήματος. Κατά την κίνηση του οχήματος, ο δίσκος του τροχού κινείται ανάμεσα στα σκέλη της σταθερής δαγκάνας. Η επιβράδυνση του οχήματος επιτυγχάνεται με την προκύπτουσα δύναμη τριβής στην επιφάνεια επαφής μεταξύ δίσκου και πλακιδίων όπως δείχνει το σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Δύναμη τριβής συστήματος πέδησης με δισκόφρενο.

Η κάθετη συνιστώσα N της επαφής των υλικών τριβής και του δίσκου, η οποία είναι προϊόν της πίεσης του υδραυλικού συστήματος πέδησης, υπολογίζεται από την σχέση:

$$N = P \cdot A_e \quad (4.1)$$

όπου P : η πίεση του υδραυλικού συστήματος,

A_e : η επιφάνεια του εμβόλου της δαγκάνας.

Η ροπή πέδησης η οποία δημιουργείται κατά το φρενάρισμα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T = 2 \mu \cdot N \cdot R \quad (4.2)$$

όπου μ ο συντελεστής τριβής και R η μέση ακτίνα πίεσης η οποία, υποθέτοντας ότι η πίεση κατανέμεται ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια της επένδυσης, υπολογίζεται από την σχέση:

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (4.3)$$

όπου R_1 και R_2 η εσωτερική και η εξωτερική ακτίνα της επιφανείας επαφής δίσκου - πλακιδίου αντίστοιχα όπως δείχνει το σχήμα 4.1. Από τις σχέσεις 4.1 έως 4.3 προκύπτει τελικά ότι ο συντελεστής τριβής υπολογίζεται από την σχέση:

$$\mu = \frac{T}{P \cdot A_e \cdot (R_1 + R_2)} \quad (4.4)$$

Με σκοπό τον προσδιορισμό του συντελεστή τριβής μετρήθηκε η ροπή στον άξονα του δισκόφρενου και καταγράφηκε η ιστορία της, εφαρμόζοντας σταθερή πίεση στο υλικό τριβής και διατηρώντας την ταχύτητα περιστροφής του δίσκου σταθερή. Λαμβάνοντας υπόψη την τιμή της μετρούμενης ροπής, την πίεση του υδραυλικού συστήματος, την επιφάνεια του εμβόλου της δαγκάνας καθώς και την ενεργή ακτίνα πίεσης, προκύπτει ο συντελεστής τριβής από την σχέση 4.4. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων μέτρησης προέκυψε ότι η τιμή του συντελεστή τριβής για το μεταλλικό υλικό που φέρει το σύστημα πέδησης της πειραματικής διάταξης, είναι 0,20 έως 0,35. Για την εξακρίβωση των αποτελεσμάτων της μέτρησης είναι απαραίτητη η εκτέλεση αρκετού αριθμού δοκιμών με σκοπό την ελαχιστοποίηση των πιθανών σφαλμάτων μέτρησης. Γεγονός που δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί εξαιτίας της εμφάνισης τεχνικών λειτουργιών του κινητήρα της πειραματικής διάταξης και της έλλειψης τεχνικής υποστήριξης.

5. Πειραματική Διάταξη

5.1 Πειραματική διάταξη δίκυκλου

Για την μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων πέδησης στην φθορά των υλικών τριβής του συστήματος πέδησης, χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη που διαθέτει το Εργαστήριο Δυναμικής Οχημάτων του σχήματος 5.1. Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα δίκυκλο όχημα για την παροχή της κινητήριας ροπής το οποίο διαθέτει δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας και της πίεσης κατά την πέδηση. Επίσης η πειραματική διάταξη διαθέτει κατάλληλο μετρητικό εξοπλισμό ο οποίος αποτελείται από αισθητήρες ροπής, πίεσης και θερμοκρασίας για την μέτρηση των παραμέτρων πέδησης κατά την εκτέλεση των πειραμάτων.



Σχήμα 5.1: Πειραματική διάταξη μέτρησης ροπής

5.2 Κινητήρας και σύστημα μετάδοσης κίνησης

Το δίκυκλο της πειραματικής διάταξης του σχήματος 5.1 είναι τύπου Honda CB400 SF. Το πλαίσιο της μοτοσυκλέτας είναι κλειστό σωληνωτό και το συνολικό βάρος της ανέρχεται στα 170 kg. Το δίκυκλο διαθέτει δυο αποσβεστήρες αζώτου και υδραυλικό σύστημα πέδησης με δίσκο και πλακίδια στον οπίσθιο άξονά του. Η ψύξη του κινητήρα της πειραματικής διάταξης πραγματοποιείται με ψυγείο νερού το οποίο τοποθετείται στο εμπρόσθιο τμήμα του πλαισίου και με την βοήθεια δυο εξωτερικών ηλεκτρικών ανεμιστήρων όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.



(α)



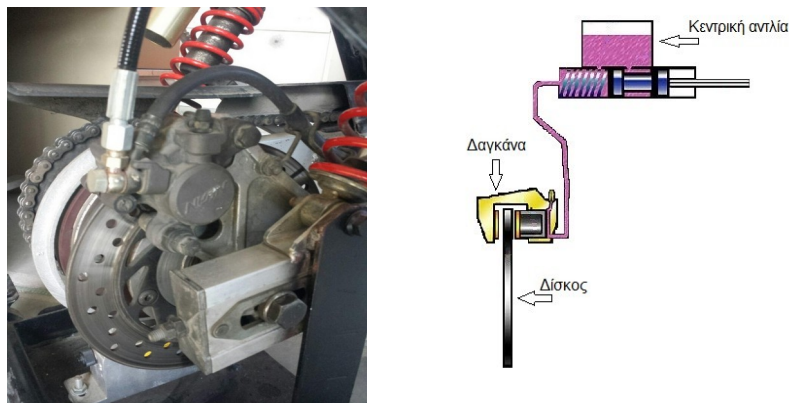
(β)

Σχήμα 5.2: α: Κινητήρας, β: Σύστημα μετάδοσης κίνησης της πειραματικής διάταξης.

Το δίκυκλο της πειραματικής διάταξης διαθέτει τετράχρονο κινητήρα 399cc και κιβώτιο έξι ταχυτήτων όπως δείχνει το σχήμα 5.2 α. Η μέγιστη ροπή του κινητήρα ανέρχεται στα 36 N.m στις 10000 rpm και η μέγιστη ισχύς 39,5KW στις 11000 rpm. Η μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα στον κινητήριο τροχό επιτυγχάνεται με αλυσοκίνηση όπως δείχνει το σχήμα 5.2 β.

5.3 Σύστημα πέδησης

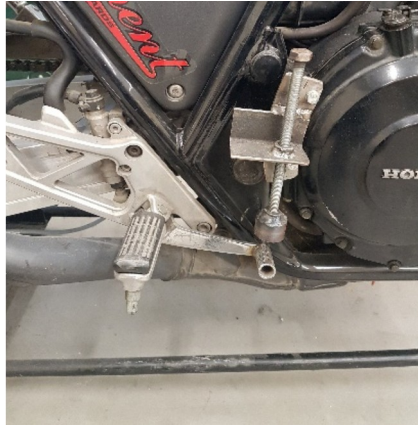
Η πειραματική διάταξη διαθέτει ένα σύστημα πέδησης με δίσκο και πλακίδια όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3. Η επιβράδυνση του δίσκου επιτυγχάνεται με την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ του δίσκου και των πλακιδίων με τη βοήθεια ενός υδραυλικού κυκλώματος. Ένα υδραυλικό σύστημα πέδησης δίκυκλων με δισκόφρενο αποτελείται από την κεντρική αντλία, τον σωλήνα υψηλής πίεσης, τον κύλινδρο του τροχού, την δαγκάνα και τον δίσκο. Η δύναμη που ασκεί ο οδηγός στο μοχλό, μεταφέρεται στο έμβολο της κεντρικής αντλίας μέσω μιας ράβδου προκαλώντας την κίνηση του στο κεντρικό θάλαμο της, δημιουργώντας την κατάλληλη πίεση η οποία μεταδίδεται στο έμβολο του κυλίνδρου του τροχού μετακινώντας τα σκέλη της δαγκάνας με αποτέλεσμα να πιέζονται τα πλακίδια στον περιστρεφόμενο δίσκο του τροχού δημιουργώντας την δύναμη τριβής στις επιφάνειες επαφής τους προκαλώντας την επιβράδυνση του οχήματος.



Σχήμα 5.3: Σύστημα πέδησης πειραματικής διάταξης.

5.4 Ιδιοσυσκευή ελέγχου της πίεσης

Η επίδραση της πίεσης του υδραυλικού συστήματος κατά τη πέδηση στη φθορά των υλικών τριβής αποτελεί βασικό στόχο της τρέχουσας πτυχιακής. Η μελέτη της επίδρασης επιτυγχάνεται με την εκτέλεση σειράς πειραμάτων μεταβάλλοντας την πίεση και συνεπώς είναι απαραίτητος ο έλεγχος της πίεσης κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των πειραμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια μιας ιδιοσυσκευής ελέγχου της πίεσης του σχήματος 5.4 η οποία αποτελείται από μια μεταλλική βάση στην οποία στηρίζεται ένας κοχλίας ρύθμισης που έρχεται σε επαφή με τον μοχλό της πέδησης διατηρώντας τον σε μια σταθερή θέση και κατά συνέπεια σταθερή τιμή της πίεσης του υδραυλικού συστήματος κατά την εκτέλεση του πειράματος.



Σχήμα 5.4: Ιδιοσυσκευή διατήρησης πίεσης του συστήματος πέδησης.

5.5 Όργανα μέτρησης

5.5.1 Αισθητήρας ροπής

Για την καταγραφή της ροπής στον άξονα του δίσκου κατά την διάρκεια της πέδησης, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας T10FT_200 της HBM ο οποίος τοποθετήθηκε στον άξονα του συστήματος πέδησης της μηχανής όπως δείχνει το σχήμα 5.5.



(α)



(β)

Σχήμα 5.5: α) Αισθητήρας ροπής HBM, β) τοποθέτησης του αισθητήρα ροπής στην πειραματική διάταξη.

Η μέτρηση του σήματος επιτυγχάνεται με την βοήθεια του κατάλληλου εξοπλισμού του σχήματος 5.1, όπου αρχικά το σήμα μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό, έπειτα ενισχύεται και φιλτράρεται. Για την καταγραφή και την επεξεργασία των δεδομένων μέτρησης της δύναμης πρόσκρουσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό CATMAN-EASY. Με την βοήθεια του interface του λογισμικού επιλέγονται οι απαιτούμενες παράμετροι μέτρησης και καταγράφονται τα δεδομένα μέτρησης της ροπής.

5.5.2 Μανόμετρο

Για την μέτρηση της πίεσης που εφαρμόζεται στο πεντάλ του φρένου κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα μανόμετρο. Το μανόμετρο συνδέθηκε με ένα σωλήνα υψηλής πίεσης στη δαγκάνα όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6, έτσι ώστε να μας δείχνει την πίεση που ασκούμε σε κάθε δοκιμή.



Σχήμα 5.6: Τοποθέτηση μανόμετρου.

5.5.3 Στροφόμετρο

Η ταχύτητα περιστροφής του δίσκου καταγράφεται με την βοήθεια του στροφόμετρου του δίκυκλου του σχήματος 5.7.



Σχήμα 5.7: Στροφόμετρο πειραματικής διάταξης.

6. Υλικά Τριβής

Τα υλικά τριβής των πλακιδίων των συστημάτων πέδησης των οχημάτων είναι ένα από τα σημαντικότερα μέρη του συστήματος καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στην ασφάλεια της οδήγησης. Για το λόγο αυτό διαθέτουν κάποια απαραίτητα χαρακτηριστικά όπως αντίσταση στην διάβρωση, μικρό βάρος, μεγάλη διάρκεια ζωής, χαμηλά επίπεδα θορύβου, σταθερό συντελεστή τριβής, χαμηλό ρυθμό φθοράς και αποδεκτό κόστος αγοράς. Προκειμένου να επιτευχθούν οι ιδιότητες αυτές τα περισσότερα υλικά τριβής δεν αποτελούνται από μεμονωμένα στοιχεία αλλά από ενώσεις διαφορετικών υλικών. Περισσότερα από 2000 διαφορετικά υλικά και παραλλαγές τους χρησιμοποιούνται σήμερα σε εμπορικά εξαρτήματα φρένων [1].

6.1 Κατηγορίες υλικών τριβής

Τα πλακίδια των συστημάτων πέδησης περιέχουν τις παρακάτω κατηγορίες υλικών:

- Υλικά τριβής, τα οποία είναι υπεύθυνα για την δημιουργία απαραίτητων ιδιοτήτων τριβής σε συνδυασμό με ιδιότητες λίπανσης.
- Πληρωτικά, τα οποία μειώνουν το κόστος κατασκευής και βελτιώνουν την κατεργασιμότητα των υλικών τριβής.
- Μεταλλικές ίνες, οι οποίες αυξάνουν την αντοχή των υλικών.

Τα υλικά τριβής ομαδοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες βάση των υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή τους. Οι κατηγορίες υλικών περιλαμβάνουν:

- μεταλλικά
- οργανικά
- κεραμικά
- ημι- μεταλλικά

Τα μεταλλικά υλικά τριβής είναι συνήθως κατασκευασμένα από σίδηρο, χαλκό, χάλυβα και γραφίτη, τα οποία αναμειγνύονται μεταξύ τους και συνδέονται για να σχηματίσουν ένα ανθεκτικό και αποδοτικό υλικό τριβής. Δείχνουν καλή συμπεριφορά στη μεταφορά της θερμοκρασίας που παράγεται από την επαφή τους με το δίσκο, όμως λόγω της κατασκευής τους είναι πολύ σκληρά. Δεν είναι τόσο αποτελεσματικά σε χαμηλές θερμοκρασίες και είναι αρκετά θορυβώδη. Τα οργανικά υλικά τριβής τα οποία είχαν σαν βάση τον αμιάντο, ο οποίος είχε τις ιδανικές ιδιότητες στην πέδηση. Παρόλα αυτά καταργήθηκε λόγω της επικινδυνότητάς του ενάντια στον ανθρώπινο οργανισμό και αντικαταστάθηκαν από το οργανικά χωρίς αμιάντο υλικά τριβής. Τα κεραμικά υλικά τριβής είναι κατασκευασμένα από κεραμικές ενώσεις, οι οποίες αποτελούνται από περίπου 15% μεταλλικές ίνες και άλλα συστατικά όπως συνδετικά μέσα πληρώσεως και λιπαντικά. Τα συνδετικά αυτά δημιουργούν ένα αθόρυβο υλικό τριβής εξαιτίας της βοήθειας που προσφέρουν στην εξασθένιση κραδασμών και θορύβων. Επίσης έχουν την τάση να φθείρονται δύσκολα, να ψύχονται εύκολα και να είναι αρκετά ελαφριά. Τα ημιμεταλλικά υλικά τριβής αποτελούνται από περίπου 40 τοις εκατό

μεταλλικές ίνες και άλλα συστατικά που περιλαμβάνουν συνδεδετικά πληρωτικά και λιπαντικά. Υπάρχουν ημιμεταλλικά υλικά τριβής που σαν βάση τους τον άνθρακα, είναι σκληρά, απομακρύνουν την θερμότητα από τον δίσκο, είναι αρκετά θορυβώδη και φθείρουν το δίσκο. Οι παραπάνω κατηγορίες αποτελούν τα βασικά υλικά τριβής τα οποία συναντάμε στην αγορά. Μπορεί να πραγματοποιηθεί μια επιπρόσθετη κατηγοριοποίηση βάση των συστατικών στοιχείων που περιέχονται μέσα σε αυτά υλικά, δηλαδή μια σύνθεση των τεσσάρων κατηγοριών.

6.2 Χημική σύσταση των υλικών τριβής

Η χημική σύσταση των υλικών τριβής των δοκιμών αποτελεί ένα βασικό στάδιο της μελέτης της επίδρασης των υλικών τριβής στο ρυθμό φθοράς τους. Η διερεύνηση της σύστασης των υλικών πραγματοποιήθηκε στο ηλεκτρονικό μικροσκοπικό σαρωτή που διαθέτει το Εργαστήριο Χημείας του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙΘ. Η διαδικασία ανάλυσης της μικροδομής των υλικών απαιτεί προετοιμασία των δειγμάτων του υλικού με σκοπό την τοποθέτησή τους στη βάση του μικροσκοπίου, η οποία πραγματοποιήθηκε για τρία διαφορετικά είδη υλικών τριβής μεταλλικό, ημιμεταλλικό και οργανικό που χρησιμοποιούνται στα συστήματα πέδησης σύγχρονων δίκυκλων οχημάτων.

6.2.1 Ηλεκτρονική μικροσκοπία Σάρωσης SEM

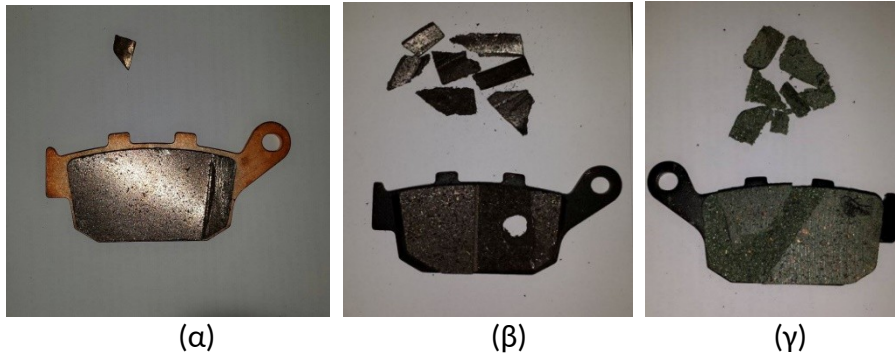
Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (*Scanning Electron Microscopy, SEM*) είναι μία από τις σύγχρονες και ευέλικτες μεθόδους ανάλυσης της μικροδομής μεγάλου αριθμού υλικών. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης είναι ένα όργανο που λειτουργεί όπως περίπου και ένα οπτικό μικροσκόπιο μόνο που χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως, για να εξετάσει αντικείμενα σε λεπτομερή κλίμακα. Η μικροδομή των δειγμάτων καταγράφηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης EVO 50 XVP της Carl Zeiss του σχήματος 6.1.



Σχήμα 6.1: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης SEM

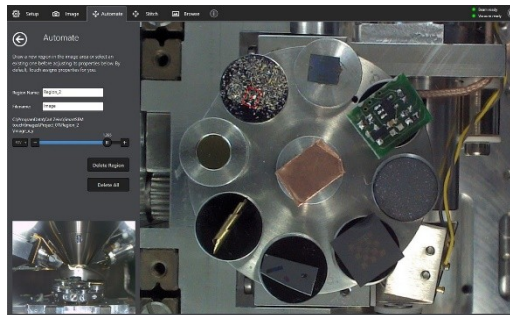
6.2.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Η διαδικασία ανάλυσης της μικροδομής των υλικών απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία των δειγμάτων του υλικού, η οποία πραγματοποιήθηκε για τρία διαφορετικά είδη υλικών τριβής μεταλλικό, ημι-μεταλλικό και οργανικό του σχήματος 6.2.



Σχήμα 6.2: Δοκίμια υλικών τριβής: α) μεταλλικό, β) ημι-μεταλλικό, γ) οργανικό.

Τα δοκίμια πρέπει να έχουν μικρές διαστάσεις τέτοιες έτσι ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτηση τους στη βάση του μικροσκοπίου όπως δείχνει το σχήμα 6.3



Σχήμα 6.3: Βάση τοποθέτησης δοκιμίων SEM.

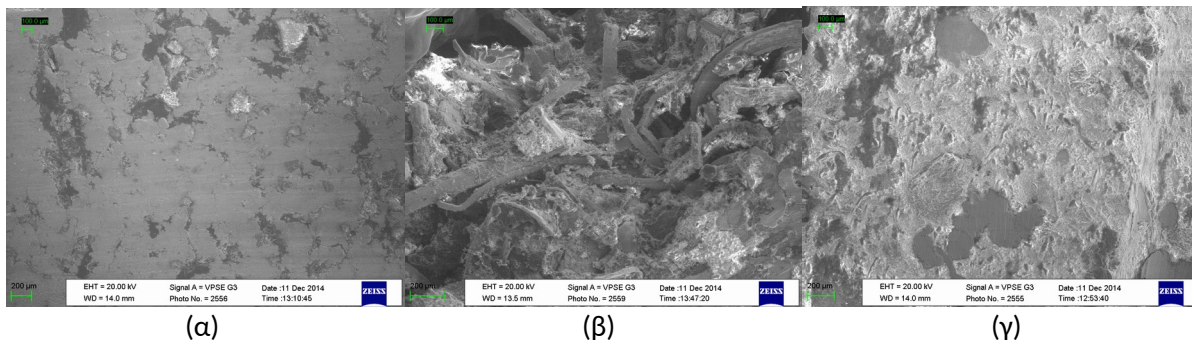
Πριν την τοποθέτηση των δειγμάτων στη βάση του SEM, πραγματοποιείται ένας οπτικός έλεγχος, με την βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου του σχήματος 6.4 με σκοπό την επιλογή των κατάλληλων δειγμάτων λαμβάνοντας υπόψη την ομοιομορφία και την ποιότητα της επιφάνειάς τους.



Σχήμα 6.4: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

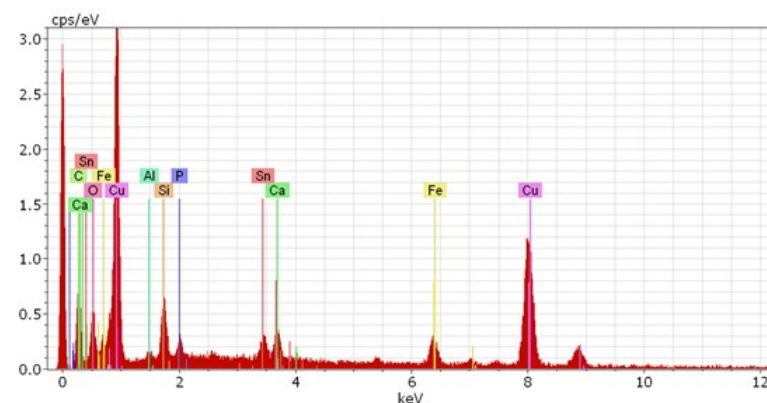
6.2.3 Αποτελέσματα σάρωσης των υλικών τριβής

Στο σχήμα 6.5 παρουσιάζεται η μικροσκοπική δομή των υλικών τριβής όπως προέκυψαν από την σάρωση των δοκιμών στο SEM.



Σχήμα 6.5: Μικροσκοπική δομή των υλικών τριβής: α) μεταλλικό, β) ημι-μεταλλικό, γ) οργανικό.

Η χημική σύσταση του υλικού προκύπτει από το ακτινόγραμμα το οποίο όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6, περιέχει τις κορυφές των ακτίνων Χ οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα στοιχεία που περιέχονται στο υλικό.



Σχήμα 7.6: Ακτινόγραμμα σάρωσης υλικού τριβής με ακτίνες Χ.

7. Ρυθμός Φθοράς των Υλικών Τριβής

Φθορά είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που λαμβάνει χώρα όταν δύο επιφάνειες ολισθαίνουν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τη σταδιακή απομάκρυνση ενός ή και των δύο υλικών. Η φθορά των υλικών γίνεται ολοένα και πιο σημαντική και έχει λειτουργικό και οικονομικό αντίκτυπο όπως και η τριβή. Για παράδειγμα, σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές τα στοιχεία των μηχανών σταδιακά φθείρονται και πρέπει να αντικατασταθούν, κάτι το οποίο επηρεάζει αρνητικά το κόστος λειτουργίας και το χρόνο παραγωγής [3].

Σήμερα υπάρχουν μερικές πειραματικές διαδικασίες που έχουν εγκριθεί και καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να μετρηθεί διαφορετικών τύπων φθορά και να υπολογιστεί η απώλεια υλικού σε συγκεκριμένο χρόνο και συνθήκες. Όλες όμως οι υπάρχουσες διαδικασίες έχουν τους περιορισμούς τους και δεν δίνουν την πραγματική εικόνα για όλες τις πτυχές της εφαρμογής. Η μελέτη των μηχανισμών φθοράς είναι μέρος της επιστήμης της τριβολογίας. Η περίπλοκη φύση της φθοράς έχει καθυστερήσει τις μελέτες του φαινομένου και τα αποτελέσματα μέχρι και σήμερα αναφέρονται σε απομονωμένες μελέτες οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένους μηχανισμούς ή διεργασίες.

7.1 Προσδιορισμός του ρυθμού φθοράς.

Ο ρυθμός φθοράς των υλικών τριβής προσδιορίζεται πειραματικά με δυο διαφορετικές μεθόδους. Η πρώτη μέθοδο βασίζεται στη μέτρηση της μείωσης του βάρους του δοκιμίου ενώ η δεύτερη στην μέτρηση της μείωσης του όγκου του με την βοήθεια τρισδιάστατου σαρωτή [2].

Στην τρέχουσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η πρώτη μέθοδο για τον προσδιορισμό του ρυθμού φθοράς των υλικών τριβής. Ο ρυθμός φθοράς προσδιορίζεται από το πηλίκο της διαφοράς του βάρους του δοκιμίου προς την παράμετρο πέδησης. Συνεπώς στην περίπτωση εκτέλεσης των πειραμάτων μεταβάλλοντας την ταχύτητα ολίσθησης ο ρυθμός φθοράς υπολογίζεται από την σχέση:

$$W_f = \Delta W / v_{ολ} \quad (7.3)$$

Όπου W_f : ο ρυθμός φθοράς [g.sec/m].

ΔW : η διαφορά του βάρους του δοκιμίου [g].

$v_{ολ}$: η ταχύτητα ολίσθησης [m/sec].

Η ταχύτητα ολίσθησης υπολογίζεται στην μέση ακτίνα πίεσης από τη σχέση:

$$v_{ολ} = \frac{\pi \cdot n_{\Delta} \cdot R}{30} \quad (7.4)$$

όπου n_{Δ} : ο αριθμός στροφών του άξονα του δίσκου (r.p.m.),

R : η μέση ακτίνα πίεσης (m).

Από τις σχέσεις 7.3 και 7.4 ο ρυθμός φθοράς προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$W_r = \frac{30 \cdot \Delta W}{\pi \cdot n_{\Delta} \cdot R} \quad (7.5)$$

Στην περίπτωση εκτέλεσης των πειραμάτων μεταβάλλοντας την πίεση, ο ρυθμός φθοράς υπολογίζεται από την σχέση:

$$W_r = \Delta W / p \quad (7.6)$$

7.2 Πειραματικός προσδιορισμός του ρυθμού φθοράς

Για την μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων πέδησης στην φθορά των υλικών τριβής του συστήματος πέδησης, χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη του σχήματος 7.1. Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα δίκυκλο όχημα και διαθέτει κατάλληλο μετρητικό εξοπλισμό για την μέτρηση της πίεσης, της θερμοκρασίας και του αριθμού στροφών του άξονα του δίσκου.



Σχήμα 7.1 : Πειραματική διάταξη ρυθμού φθοράς

Με σκοπό τον έλεγχο της ταχύτητας ολίσθησης καθώς και της θερμοκρασίας κατά την εκτέλεση των δοκιμών, χρησιμοποιήθηκαν ο αισθητήρας στροφών και το θερμομέτρο όπως δείχνει το σχήμα 7.2.



Σχήμα 7.2: Αισθητήρας στροφών και θερμόμετρο.

Με σκοπό τον προσδιορισμό της απώλειας του βάρους των υλικών τριβής μετά την εκτέλεση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτικός ζυγός του σχήματος 7.3.



Σχήμα 7.3: Αναλυτικός ζυγός

7.3 Επίδραση της ταχύτητας ολίσθησης στο ρυθμό φθοράς.

Ο ρυθμός φθοράς των υλικών τριβής επηρεάζεται από την ταχύτητα ολίσθησης. Έχουν πραγματοποιηθεί έως σήμερα αρκετές μελέτες με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης των υλικών τριβής του συστήματος πέδησης, για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς σκοπούς.

Με σκοπό την εξέταση της επίδρασης της ταχύτητας ολίσθησης στη φθορά των υλικών τριβής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές πέδησης για τρία διαφορετικά εμπορικά υλικά τριβής. Η εκτέλεση των δοκιμών πραγματοποιήθηκε με παραμέτρους που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία. Οι δοκιμές διεξήχθησαν για 300sec με σταθερή πίεση 11bar, μεταβάλλοντας την ταχύτητα ολίσθησης. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι και τα τρία υλικά τριβής παρουσίασαν διαφορετικό ρυθμό φθοράς στις ίδιες παραμέτρους πέδησης, όπως είναι αναμενόμενο. Επιπλέον τα οργανικά και τα ημιμεταλλικά υλικά παρουσίασαν αύξηση της φθοράς με την αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης, σε αντίθεση με τα μεταλλικά υλικά τα οποία διατήρησαν τη φθορά στα ίδια επίπεδα. Επίσης τα μεταλλικά υλικά τριβής παρουσίασαν μικρότερη φθορά σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ημιμεταλλικά και οργανικά.

Ο ρυθμός φθοράς υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη φθορά και την αντίστοιχη ταχύτητα ολίσθησης από τη σχέση 7.3. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δεν υπάρχει αισθητή μεταβολή στο ρυθμό φθοράς στο εύρος των εξεταζόμενων ταχυτήτων ολίσθησης και για τα τρία υλικά. Για την εξακρίβωση των αποτελεσμάτων καθώς και την εξέταση της συμπεριφοράς των υλικών σε μεγαλύτερες ταχύτητες ολίσθησης, είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση επιπρόσθετων δοκιμών, πράγμα που ήταν δύσκολο να επιτευχθεί λόγω περιορισμένης οικονομικής υποστήριξης.

7.4 Επίδραση της ταχύτητας ολίσθησης στη θερμοκρασία των υλικών τριβής

Με σκοπό την εξέταση της επίδρασης της ταχύτητας ολίσθησης, στην αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής των υλικών τριβής με το δίσκο, μετρήθηκε και καταγράφηκε η θερμοκρασία κατά την εκτέλεση των δοκιμών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η θερμοκρασία αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης. Επίσης παρατηρείται ότι τα μεταλλικά υλικά παρουσιάζουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα οργανικά και τα ημιμεταλλικά.

8. Συμπεράσματα

Η ερευνητική δραστηριότητα του εργαστηρίου Δυναμικής Οχημάτων στην εξέταση της επίδρασης των παραμέτρων πέδησης, στη τριβή και στο ρυθμό φθοράς των υλικών τριβής των συστημάτων πέδησης των οχημάτων, συνεχίζεται με σκοπό την εύρεση των βέλτιστων δομών τους.

Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας έδειξαν ότι τα υλικά τριβής, παρουσιάζουν διαφορετική φθορά ανάλογα με τις παραμέτρους πέδησης. Επίσης παρουσιάζουν αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης. Τα μεταλλικά υλικά τριβής είχαν καλύτερη συμπεριφορά σε σύγκριση με τα ημιμεταλλικά και τα οργανικά.

Η εξέταση της επίδρασης των παραμέτρων πέδησης στο ρυθμό φθοράς, απαιτεί εκτέλεση μεγάλου αριθμού πειραματικών δοκιμών και αρκετές επαναλήψεις, με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, πράγμα το οποίο ήταν πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί λόγω περιορισμένης τεχνικής και οικονομικής υποστήριξης.

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας εξετάστηκε η επίδραση της ταχύτητας ολίσθησης στη φθορά των υλικών τριβής σε χαμηλές τιμές ταχύτητας, λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων της πειραματικής διάταξης. Η διερεύνηση της επίδρασης των παραμέτρων όπως ταχύτητα ολίσθησης και πίεση σε μεγαλύτερες τιμές είναι στα μελλοντικά σχέδια του εργαστηρίου. Επίσης είναι αξιοσημείωτο να πραγματοποιηθούν πειράματα με σκοπό την εξέταση της επίδρασης του συνδυασμού των υλικών τριβής με το υλικό του δίσκου, καθώς και της ποιότητας της επιφάνειας τους στην φθορά.

9. Βιβλιογραφία

- [1] H. Jang a, K. Koa, S.J. Kima, R.H. Basch b, J.W. Fash b, The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials, *Wear* 256 (2004) 406–414.
- [2] P. D. Neis, N. F. Ferreira, F. P. daSilva, Comparison between methods for measuring wear in brake friction materials, *Wear* 319(2014)191–199.
- [3] Saeed Abu Alyazeed Albatlan, Study Effect of Pads shapes on Temperature Distribution for Disc Brake Contact Surface, *International Journal of Engineering Research and Development*, V.8, I.9 (2013), PP. 62-67.
- [4] K.W. Liew , Umar Nirmal, Frictional performance evaluation of newly designed brake pad materials, *Materials and Design* 48 (2013) 25–33.
- [5] Mikael Eriksson, Staffan Jacobson, Tribological surfaces of organic brake pads, *Tribology International* 33 (2000) 817–827.
- [6] Shaoni Sun, Liyang Xie S, Yichen Zhang, Hui Li, Experimental Study on Friction and Wear Performance of Non-smooth Brake Surface, *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*.
- [7] Mohammad. Asif, Tribo-evaluation of Aluminium Based Metal Matrix Composites Used for Automobile Brake Pad Applications , *Wear* 322–323 (2015) 251-258.
- [8] Ru-Min Wang, Shui-Rong Zheng , Ya-Ping Zheng, Polymer-Matrix-Composites-and-Technology, *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Book*, 2011.