

---

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

---



**Διερεύνηση των συνθηκών κατεργασίας εξωτερικής λείανσης  
στην ποιότητα επιφάνειας ατράκτων οχημάτων**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΒΑΙΟΥ ΚΑΤΣΑΡΑΚΟΥ Α/Μ 2011/0042**

**Επιβλέπων: ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΚΟΡΛΟΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΣΙΝΔΟΣ, 2018

## Περιεχόμενα

1.Πρόλογος.....	4
1.1 Εισαγωγή.....	5
1.2 Κατεργασιμότητα των υλικών.....	6
1.3 Η εισαγωγή στο μηχανουργείο.....	6
2 Γενικά για την κατεργασία της λείανσης .....	8
2.1 Είδη λείανσης .....	8
2.2 Λειαντικοί τροχοί .....	11
2.3 Ονοματολογία λειαντικού τροχού .....	14
2.4 Κανόνες εκλογής λειαντικού τροχού.....	17
2.5 Συνθήκες κοπής κατά την διάρκεια της κυλινδρικής λείανσης και αποπεράτωσης υλικού για ορισμένα υλικά.....	18
2.6 Φθορά των λειαντικών τροχών και διαδικασία αποκατάστασης του τροχού.....	19
2.7 Ποιότητα έλεγχου λειαντικού τροχού και ζυγοστάθμιση του λειαντικού τροχού.....	21
2.8 Η μελέτη της λείανσης και η μορφή αποβλίπτου κατά την κοπή.....	23
2.9 Αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες κατά την λείανση και παράγωγη σπινθήρων.....	25
2.9.1 Η χρήση της κατεργασίας της λείανσης στην αυτοκινητοβιομηχανίας...26	
3 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας.....	29
3.1 Βασικές έννοιες.....	29
3.2 Δομή επιφάνειας.....	30
3.3 Ομοιομορφία επιφάνειας.....	31
4. Εργαλειομηχανή λείανσης.....	33
4.1 Εισαγωγή στις εργαλειομηχανές λείανσης.....	33

4.2 Εισαγωγή στην εργαλειομηχανή λείανσης του μηχανουργικού εργαστηρίου.....	35
4.3 Ανάλυση βασικών μερών της εργαλειομηχανής λείανσης που επηρεάζουν στο τελικό αποτέλεσμα του πειράματος και ο ρόλος του στροφόμετρου.....	36
5. Θεωρητικό και πειραματικό μέρος πτυχιακής εργασίας.....	52
5.1 Έλεγχος και μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας.....	52
5.2 Προτυποποίηση της τραχύτητας της επιφάνειας.....	55
5.3 Βασικές εθνικές προδιαγραφές για την τραχύτητα της επιφάνειας.....	61
5.4 Η λειτουργία του ταχύμετρου.....	71
5.5 Η διεξαγωγή του πειράματος και η προσέγγιση της τραχύτητας .....	75
6 Συμπεράσματα.....	83
7 Βιβλιογραφία.....	84

## Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο << διερεύνηση των συνθηκών κατεργασίας εξωτερικής λείανσης στην ποιότητα επιφάνειας ατράκτων οχημάτων>> εκπονήθηκε στο εργαστήριο της μηχανουργικής τεχνολογίας του τμήματος μηχανολόγων οχημάτων του Αλεξάνδρειου τεχνολογικού εκπαιδευτικού ιδρύματος Θεσσαλονίκης. Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας έγινε κυρίως στα πλαίσια του πειραματικού και θεωρητικού μέρους. Σ αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Κορλό Απόστολο που με εμπιστεύτηκε στην ανάθεση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Άλλο ένα μεγάλο ευχαριστώ, θα ήθελα να αποδώσω στην οικογένεια μου ξεχωριστά όπου όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών με συμπαραστάθηκαν με κάθε δυνατό τρόπο για να φθάσω στο τελικό στάδιο του πτυχίου και το ελάχιστο που θα ήθελα να αποδώσω μέσα από εδώ ως ένα μεγάλο ευχαριστήριο θα ήταν η αφιέρωση της συγκεκριμένης πτυχιακής μου εργασίας.

## 1.1 Εισαγωγή

Ο άνθρωπος από τότε που πρώτο εμφανίστηκε στην γή, άρχισε να χρησιμοποιεί διάφορα υλικά για να μπορέσει να κατασκευάσει τα εργαλεία του, τα όπλα του και διάφορα αλλά σκεύη από υλικά όπως το ξύλο και η πετρά. Γ αυτό και εκείνη η εποχή ονομάστηκε λίθινη.

Τα μέταλλα ήρθαν αργότερα κοντά στον άνθρωπο (περίπου το 5000 π.χ) . Η ανακάλυψη των μετάλλων υποστηρίζεται ότι έγινε τυχαία από κάποιες πυρκαγιές εκείνη της εποχής και οι άνθρωποι αντίκρισαν το λιώσιμο των μετάλλων. Έτσι ένας άνθρωπος ανακάλυψε τον χαλκό και η εποχή από το (5000π.χ – 3000π.χ) ονομάστηκε η εποχή του χαλκού. Γρήγορα ο άνθρωπος κατανόησε ότι το υλικό ήταν πολύ εύπλαστο διαμέσου της σφυρηλάτησης και μπορούσε εύκολα να κατασκευάσει τα εργαλεία του και τα όπλα.

Πολύ αργότερα ανακαλύφθηκε και ο σίδηρος (Fe) από τους μετεωρίτες που έπεφταν στην γη. Επειδή ο σίδηρος έχει μεγάλο σημείο τήξεως στους (1538 °C) σε σχέση με αυτού του χαλκού (1083°C) η διαμόρφωση του σιδηρού παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες. Όμως ο σίδηρος εκτιμήθηκε αργότερα όταν κατά το λιώσιμο σιδηρούχων μεταλλευμάτων που περιείχαν άνθρακα (0.2- 0.5 %  $\delta$ ) δημιουργήθηκε ο χάλυβας. Παρατηρήθηκε ότι εργαλεία ή όπλα που ήταν κατασκευασμένα από χάλυβα , αποκτούσαν αρκετά εξαιρετική σκληρότητα. Η εποχή εκείνη ονομάστηκε η εποχή του σιδήρου (1000 π.χ– σήμερα).

Ο 19<sup>ος</sup> αι. χαρακτηρίζεται από την μεγάλη πρόοδο της μεταλλουργίας και την εξέλιξη της μορφοποιήσεις διαμέσου των μηχανημάτων. Σημαντικότερες ανακαλύψεις αυτής της περιόδου ήταν η παράγωγη χάλυβα με την μέθοδο Bessemer και κατά τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αι. η ανακάλυψη του ελαφρού μετάλλου αλουμινίου (Al) του οποίου τα κράματα αποτέλεσαν την βάση για την αυτοκινητοβιομηχανία.

## **1.2 Κατεργασιμότητα των υλικών**

Αφού ανακαλύφθηκαν τα μέταλλα ο άνθρωπος προσπαθούσε με κάθε τρόπο να τα εκμεταλλευτεί. Η πρώτη κατεργασία που επιχείρησε ο άνθρωπος για να δώσει μια μορφή στα μέταλλα ήταν η σφυρηλάτηση. Σταδιακά όμως ήρθε η εξέλιξη μέσω της κατασκευής διαφορών μηχανών εκμετάλλευσης μετάλλων και έτσι προκύπτει η εισαγωγή στο μηχανουργείο. Η κατεργασία ενός υλικού, είναι μια σύνθετη έννοια, η οποία ορίζεται ως η δυνατότητα που παρουσιάζει ένα υλικό, προκειμένου από αυτό να κατασκευάσουν εξαρτήματα μη συγκεκριμένης γεωμετρίας. Οι κατεργασίες αυτές μπορεί να είναι λείανσης, διαμόρφωσης, κοπής, συγκόλλησης και χύτευσης. Συγκεκριμένα η λείανση από τον 19<sup>ος</sup> αι. είχε ξεκινήσει με το «ξύσιμο» της πετρά πάνω στο μέταλλο για να δοθεί μια μορφή, έπειτα με την ανακάλυψη της λίμας, και σήμερα έχουμε φτάσει με την βοήθεια της τεχνολογικής εξέλιξης στις αυτοματοποιημένες λειαντικές μηχανές ακριβείας που υπάρχουν στα μηχανουργεία.

## **1.3 Η εισαγωγή στο μηχανουργείο**

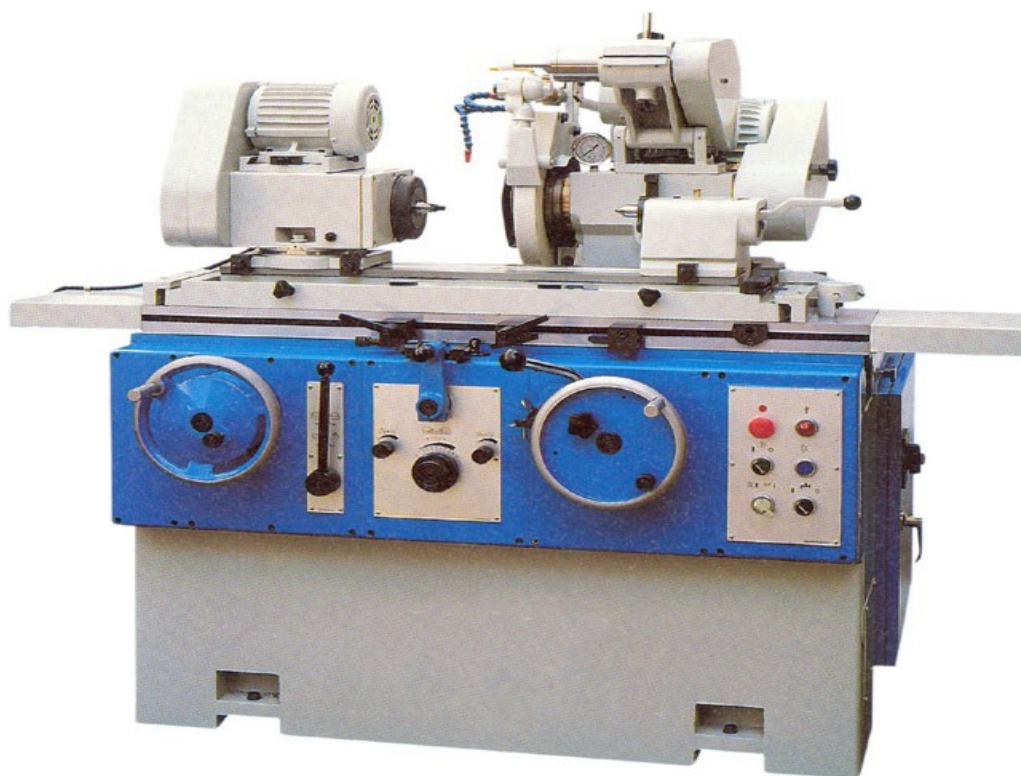
Το μηχανουργείο αποτελεί την βάση για μια παραγωγική διαδικασία βασισμένη σε μηχανολογικά εργαλεία για την αυτοκινητοβιομηχανία και γενικότερα για την βιομηχανία. Είναι δυνατόν να υπάρχει σαν ανεξάρτητη παραγωγική μονάδα ή σαν τμήμα μιας ολοκληρωμένης παραγωγικής μονάδας σε ένα εργοστάσιο κατασκευής οχημάτων. Η βασική δραστηριότητα ενός μηχανουργείου δεν περιορίζεται σε ένα πράγμα. Αναλυτικότερα υπέχουν διαφορές κατηγορίες.

- Παράγωγή προϊόντων μετάλλου
- Σχεδίαση προϊόντων
- Προγραμματισμός παράγωγης μετάλλου
- Διακίνηση υλικών
- Σχεδίαση εργαλείων
- Έλεγχος ποιότητας

Για να ανταποκριθεί ένα μηχανουργείο στους σκοπούς του, θα πρέπει έκτος από τον κύριο χώρο του να διαθέτει αυτόνομα τμήματα για επιμέρους εργασίες. Τέτοια τμήματα είναι :

- Τμήμα συναρμολογήσεως κατασκευών
- Αποθήκη υλικών
- Εργαλειομηχανές λείανσης

Ειδικότερα η λείανση στο μηχανουργείο είναι μια κατεργασία με αφαίρεση υλικού στην οποία το κοπτικό εργαλείο είναι ένας περιστρεφόμενος λειαντικός τροχός που περιέχει κοπτικούς κόκκους ακανόνιστου σχήματος. Ο τροχός αυτός, ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται, μπορεί να έχει διάφορα μεγέθη και σχήματα. Η λείανση σαν κατεργασία αποπεράτωσης, έχει ως σκοπό τη δημιουργία υψηλής ποιότητας επιφάνειας και υψηλής διαστασιακής ακριβείας, ενώ χρησιμοποιείται για να δίνεται κατάλληλο σχήμα με υψηλή ακρίβεια μορφής.



**Εικ1.3:** Απεικόνιση σύγχρονης λειαντικής μηχανής [1].

## 2 Γενικά για την κατεργασία της λείανσης

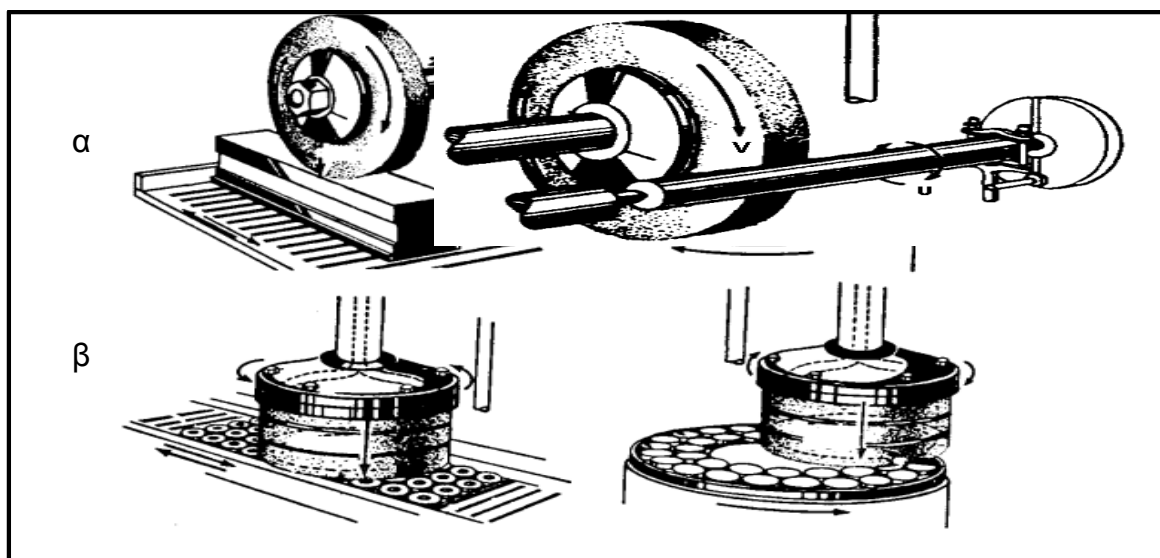
Λείανση είναι η αφαίρεση υλικού με την χρήση του λειαντικού τροχού ο οποίος αποτελείται από κόκκους σκληρού υλικού που συγκρατούνται μεταξύ τους από συνδετικό υλικό.

Η λείανση από δεκαετίες πιο πριν χρησιμοποιείται ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία και στην βιομηχανία και είναι πλέον χρησιμοποιούμενη διεργασία αποπεράτωσης όταν :

- Το υπό επεξεργασία υλικό παρουσιάζει μεγάλη σκληρότητα
- Το υπό επεξεργασία υλικό παρουσιάζει ψαθυρότητα
- Η απαιτούμενη επιφανειακή ποιότητα είναι υψηλή
- Η απαιτούμενη διαστασιακή ακρίβεια είναι υψηλή

### 2.1 Είδη λείανσης

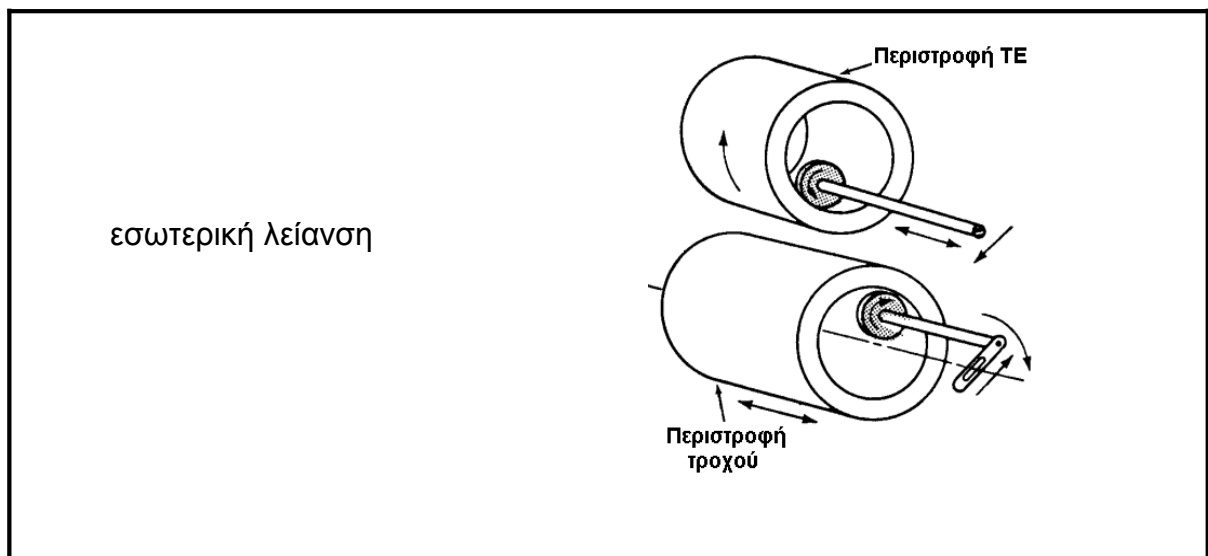
- Α) επίπεδη λείανση: Πρόκειται για λείανση επίπεδων επιφανειών και διαχωρίζεται σε περιφερειακή και σε μετωπική λείανση, ανάλογα με την κίνηση του κοπτικού τμήματος του τροχού ως προς την επιφάνεια που επιθυμούμε να κατεργαστούμε.



**Εικ2.1.1:** Απεικόνιση μετωπικής (α) και περιφερικής λείανσης (β)[3].

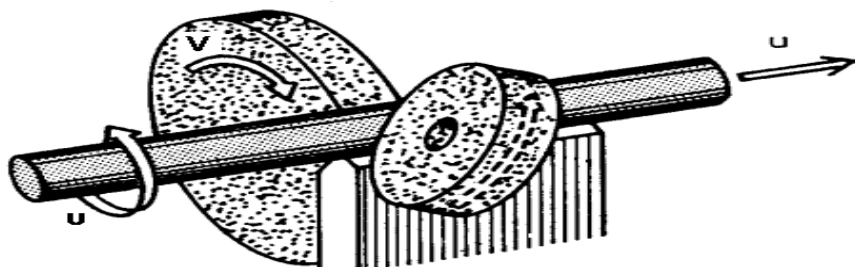


- Β)κυλινδρική λείανση: χρησιμοποιείται για την κατεργασία κυλινδρικών επιφανειών στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας και διαχωρίζεται σε εξωτερική και εσωτερική λείανση



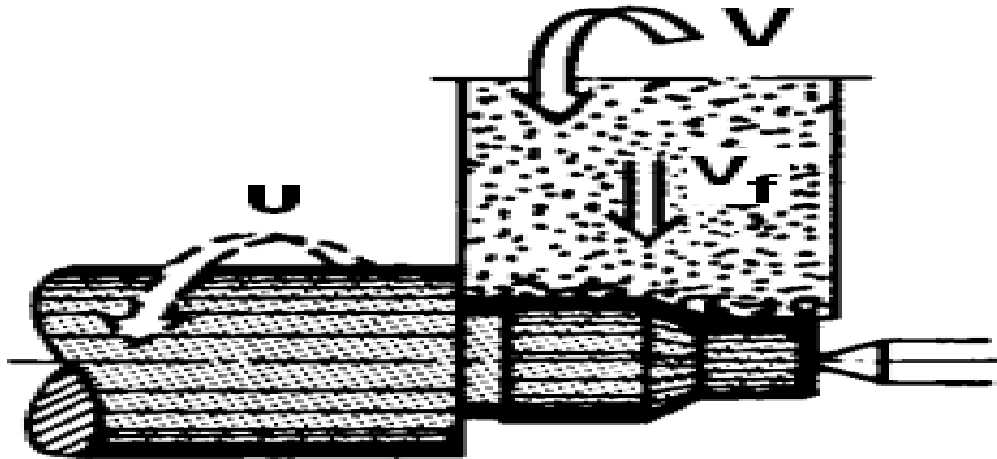
**Εικ2.1.2:** απεικόνιση εξωτερικής και εσωτερικής λείανσης στην κυλινδρική λείανση [3].

Γ) Άκκεντρη λείανση : Στην άκκεντρη λείανση υπό επεξεργασία επιφάνεια λειαινείται ελευθέρα μεταξύ δυο τροχών.



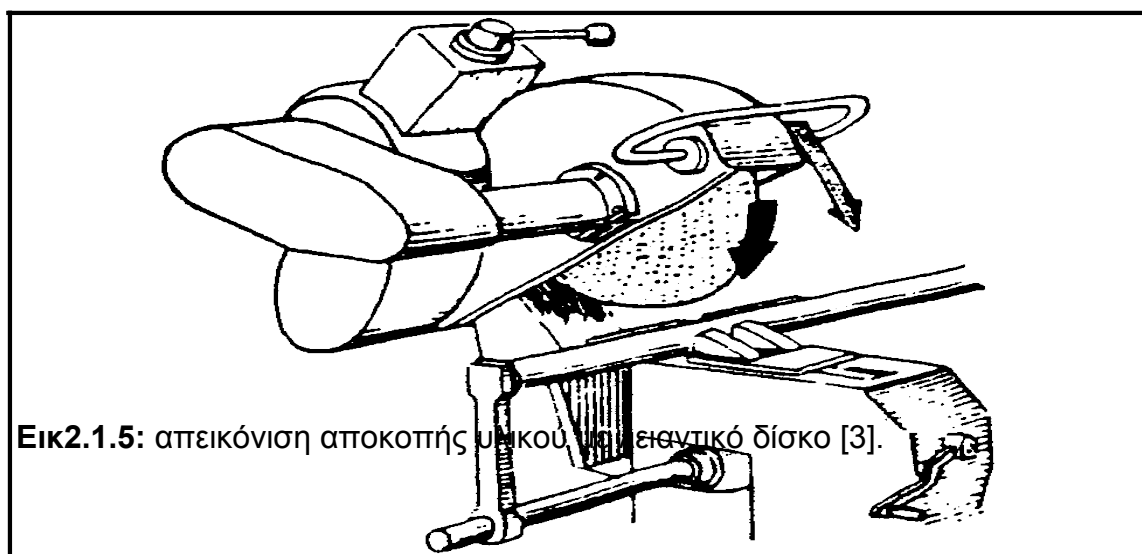
**Εικ2.1.3:** απεικόνιση άκκεντρης λείανσης [3].

Δ) Λείανση μορφής: Ο λειαντικός τροχός έχει ειδικά διαμορφωμένο περίγραμμα το οποίο αποδίδει στην υπό επεξεργασία επιφάνεια την απαιτούμενη μορφή.



Εικ2.1.4: απεικόνιση λείανσης μορφής [3].

ε) Αποκοπή υλικού με λειαντικό δίσκο. Ο λειαντικός δίσκος έχει πάρα πολύ μικρό πάχος (3mm) και κατάλληλη σκληρότητα και ελαστικότητα για την αποκοπή της υπό επεξεργασίας επιφάνειας.



Εικ2.1.5: απεικόνιση αποκοπής υλικού με λειαντικό δίσκο [3].

## 2.2 Λειαντικοί τροχοί

Αφού έχουμε αναφερθεί στις περισσότερες κατηγορίες της λείανσης που υπάρχουν στην αυτοκινητοβιομηχανία, μπορούμε να αναφερθούμε και στους λειαντικούς τροχούς που απαιτούνται για να επιτευχθεί η λείανση των μετάλλων.

### **2.2.1 Οι λειαντικοί τροχοί αποτελούνται από λειαντικούς κόκκους και το υλικό σύνδεσης που τους συγκρατεί**

- Οι λειαντικοί κόκκοι επιτελούν την κοπή και την μορφοποίηση του μετάλλου.
- Το συνδετικό υλικό διατηρεί τους κόκκους στην θέση τους και καθορίζει την μορφολογία και την υφή του τροχού.

Υπάρχουν και οι παράμετροι των λειαντικών τροχών :

- Υλικό κόκκου
- Συνδετικό υλικό
- Μέγεθος κόκκου
- Σκληρότητα
- Υφή

### **2.2.2 Το υλικό των κόκκων στους λειαντικούς τροχούς**

Κόκκοι ονομάζονται μικρά μη μεταλλικά, σκληρά σωματίδια που διαθέτουν κοφτερές ακμές σε διάφορες διαστάσεις και επιτελούν την αφαίρεση των υλικού.

Τα υλικά των κόκκων χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

- Στα συμβατικά υλικά τα οποία αποτελούνται από φυσικό ή τεχνητό κορούνδιο το οποίο χρησιμοποιείτε πάρα πολύ συχνά στις κατεργασίες και φημίζεται για την μεγάλη του αντοχή. Στα συμβατικά υλικά ανήκει και το ανθρακοπυρίτιο (Sic) το οποίο είναι σκληρό αλλά όχι τόσο σκληρό για το αλουμίνιο, χαλκό, ανοξείδωτο και χυτοσίδηρο.
- Στα υπέρσκληρα υλικά κυριαρχούν ο κυβικός βοριονιτριτής (CBN) με πολύ σκληρότητα αλλά με μεγάλο κόστος αγοράς. Χρησιμοποιείται για σκληρυμένα μέταλλα και κράματα. Τέλος υπάρχει το διαμάντι το οποίο

είναι σκληρότερο και ακριβότερο, και χρησιμοποιείται για ψαθυρά υλικά όπως, τα κεραμικά, το γυαλί, τα καρβίδια.

### **2.2.3 Οι ιδιότητες των κόκκων και το μέγεθος τους.**

Ιδιότητες των κόκκων:

- Υψηλή σκληρότητα
- Αντοχή στην φθορά
- Σκληρότητα
- Ψαθυρότητα

Μέγεθος κόκκων

Κάθε λειαντικός τροχός αναλόγως για την χρήση που προορίζεται αποτελείται και από ένα ποσοστό κόκκων. Το μέγεθος των κόκκων από 8 (χοντρόκοκκοι για σκληρά υλικά) έως 250 (λεπτόκοκκοι για μαλακά υλικά).

- Οι λεπτόκοκκοι τροχοί δημιουργούν καλύτερη επιφανειακή ποιότητα
- Οι χοντρόκοκκοι τροχοί επιτρέπουν μεγαλύτερους ρυθμούς αφαίρεσης υλικού
- Για την λείανση υλικών είναι καταλληλότεροι οι λεπτόκοκκοι τροχοί
- Για την λείανση μαλακών υλικών χρησιμοποιούνται χοντρόκοκκοι τροχοί

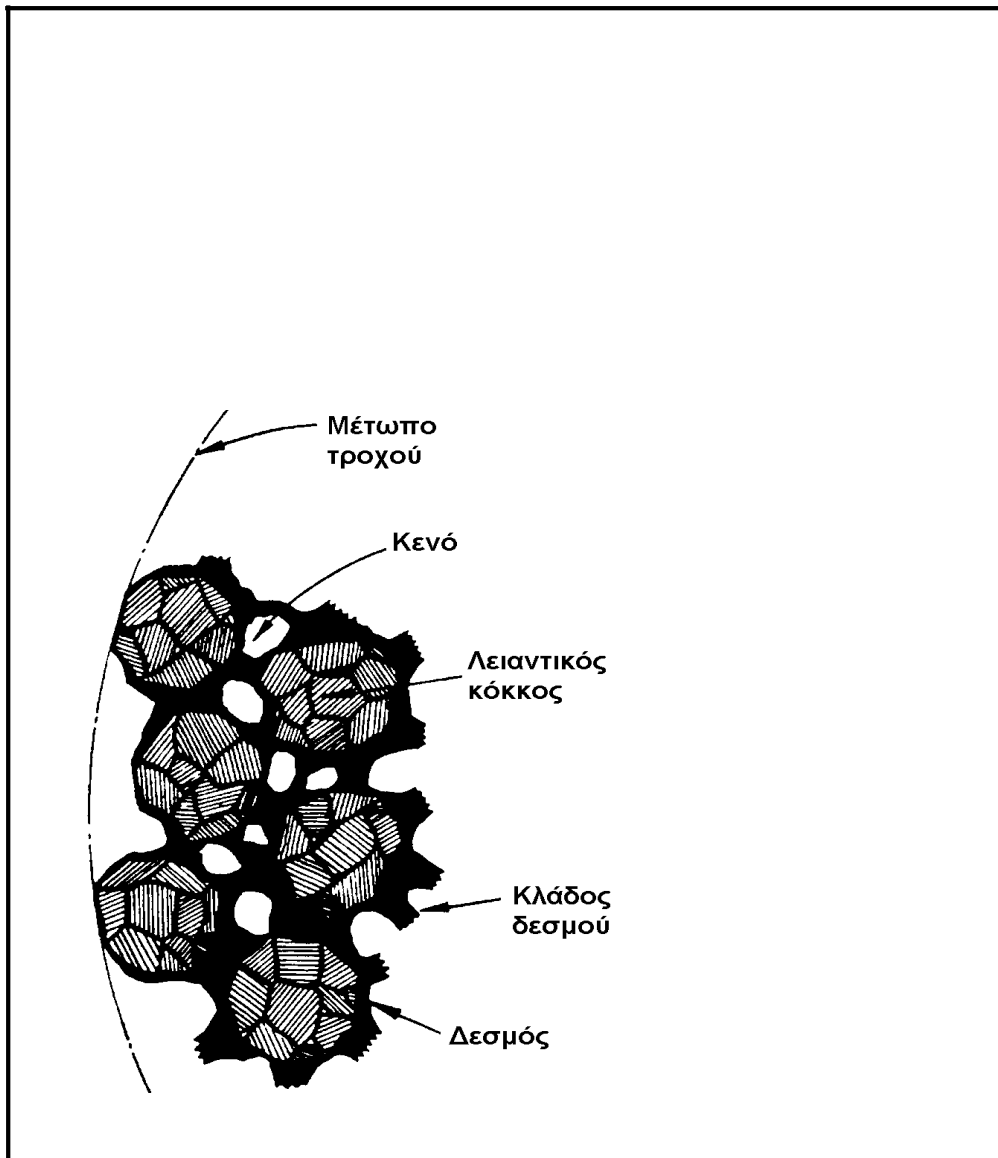
### **2.2.4 Το συνδετικό υλικό των λειαντικών τροχών**

Το συνδετικό υλικό είναι αυτό που συγκρατεί τους κόκκους μεταξύ τους μέχρι αυτοί να στομώσουν, ώσπου αργότερα μετά από τις κατεργασίες έρχεται η φθορά και η αποκόλληση τους και χρειάζεται το τρόχισμα τους.

- Το συνδετικό υλικό θα πρέπει να συγκρατεί τους κόκκους από τις φυγόκεντρες δυνάμεις και από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της κοπής
- Θα πρέπει να αντέχουν σε ξαφνικά φορτία δυνάμεων

Διάφορα είδη σύνδεσης των κόκκων στους λειαντικούς τροχούς

- Υαλώδες αργιλικό υλικό
- Ελαστικό υλικό
- Ρητινικό υλικό
- Μεταλλικό
- Silicate
- Shellac



Εικ2.2.4: απεικόνιση σύστασης του λειαντικού τροχού [3].

### 2.3 Ονοματολογία λειαντικού τροχού

Οι λειαντικοί τροχοί στις μέρες μας περιγράφονται με συγκεκριμένο τρόπο οπου αναγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά τους:

- Το υλικό των κόκκων είναι το πρώτο χαρακτηριστικό αναγραφής των τροχών και οι λειαντικοί τροχοί ανάλογα με το υλικό που αποτελούνται οι κόκκοι διακρίνονται από συγκεκριμένα γράμματα που ακολούθουν παρακάτω:
- Το μέγεθος των κόκκων αποτελεί την κόκκωση του τροχού . Τα μεγέθη των κόκκων προκύπτουν από τα κόσκινα τα οποία περνούν. Επίσης τα κόσκινα χαρακτηρίζονται με τα πόσα συρματίδια έχει ένα κόσκινο σε μήκος μιας ίντσας. Έτσι λοιπόν ένα έχουμε ένα κόκκο με μέγεθος 54, αντιστοιχεί σε κόκκο που περνά από κόσκινο Νο 54 το οποίο κόσκινο διαθέτει 46 συρματίδια.
- Ένα ακόμη χαρακτηριστικό είναι η σκληρότητα του λειαντικού τροχού. Η σκληρότητα του κόκκου εξαρτάται από την αντίσταση που παρουσιάζει ο κόκκος ώστε να αποχωριστεί από τον τροχό.
- Επιπλέον χαρακτηριστικό του λειαντικού τροχού είναι η υφή, κάτι που σημαίνει το πόσο πορώδης είναι ο λειαντικός τροχός
- Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι και το συνδετικό υλικό του λειαντικού τροχού. Ανάλογα με το είδος του συνδετικού υλικού, υπάρχει ο χαρακτηρισμός με ένα γράμμα, οπου προκύπτει και από έναν τυποποιημένο πινάκα.

Παράδειγμα ονοματολογίας ενός λειαντικού τροχού

Λειαντικό υλικό	
Κορούνδιο	A
CBN	B
Καρβίδιο πυριτίου	C

Διαμάντι	D
----------	---

**Πιν2.3.1:** παραδείγματα ονοματολογίας του λειαντικού τροχού [3].

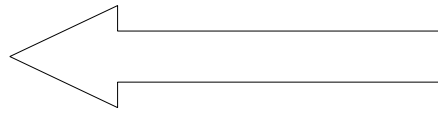
Διάμετρος κόκκων			
Μεγάλη	Μεσαία	Μικρή	Πολύ μικρή
6	30	70	220
8	36	80	240
10	46	90	280
12	54	100	320
14	60	120	400
16	-	150	500
20	-	180	600
24	-	-	800
-	-	-	1000
-	-	-	1200

**Πιν2.3.2:** παραδείγματα από διαφόρους διαμέτρους κόκκων [3].

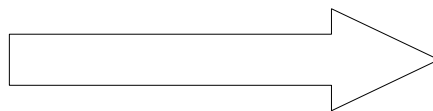
Βαθμός σκληρότητας				
A	B	C	D	Εξαιρετικά μαλακός
E	F	G	-	Πολύ μαλακός
H	I	J	K	Μαλακός
L	M	N	O	Μέτριος
P	Q	R	S	Σκληρός
T	U	V	W	Πολύ σκληρός
X	Y	Z	-	Εξαιρετικά σκληρός

**Πιν2.3.3:** παραδείγματα από βαθμούς σκληρότητας των λειαντικών τροχών [3].

Δομή														
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14



1. Κλειστή δομή



2. Ανοικτή δομή

**Πιν2.3.4:** παραδείγματα δομής λειαντικού τροχού [3].

Συνδετικό υλικό	
V	Κεραμικά
S	Σιλικόνες
R	Λάστιχα
RF	Λάστιχα ενισχυμένα με ίνες
B	Τεχνητή ρητίνη
BF	Τεχνητή ρητίνη ενισχυμένη με ίνες
E	Ειδικές οργανικές ουσίες
Mg	Μαγνήσιο

**Πιν2.3.5:** παραδείγματα από συνδετικά υλικά των λειαντικών τροχών [3].

Ακολουθεί ένα παράδειγμα κατηγοριοποίησης ενός λειαντικού τροχού

Λειαντικό υλικό	Διάμετρος κόκκων	Βαθμός σκληρότητας	Δομή	Συνδετικό υλικό
C	60	Z	6	B

**Πιν2.3.6:** παράδειγμα κατηγοριοποίησης ενός λειαντικού τροχού [3].

#### 2.4 Κανόνες εκλογής λειαντικού τροχού :

- Οι μαλακοί τροχοί χρησιμοποιούνται για τα σκληρά υλικά, και οι σκληροί τροχοί για τα μαλακά υλικά



- Ο πορώδης τροχός χρησιμοποιείται για μαλακό υλικό, και ο λιγότερο πορώδης τροχός για σκληρό υλικό
- Ο μαλακός τροχός χρησιμοποιείται για μεγάλη επιφάνεια εργασίας, και ο σκληρός για μικρή επιφάνεια κατεργασίας
- Μικρή κόκκωση για σκληρά κατεργαζόμενα υλικά, μεγάλη κόκκωση για μαλακά υλικά

Ακολουθεί παράδειγμα ονοματολογίας ενός λειαντικού τροχού

F	300	80	127	DIN ISO 125	D	54	S	7	BF	40
Βασική ήγεωμετρία	Εξωτερική διάμετρος d1	Πάχος b	Διάμετρος οπίσης d2	Αριθμός DIN	Λειαντικού λικό	Διάμετρος ροσκων	Βαθμός σκληρότητας	Κρυσταλλική δομή	Συνθετικό υλικό	Επιταχυνση σε m/s

**Πιν2.4.1:** Παράδειγμα ονοματολογίας ενός λειαντικού τροχού [3].

**2.5 Συνθήκες κοπής κατά την διάρκεια της κυλινδρικής λείανσης και αποπεράτωσης υλικού για ορισμένα υλικά:**

	Εξωτερική κυλινδρική λείανση		
	Αποπεράτωση		
	Vc	Vw	q
Υλικά			
Μαλακοί χάλυβες	30	0.17	180
Φαιός χυτοσίδηρος	25	0.18	135
Χαλκός	30	0.27	110
Αλουμίνιο	20	0.45	45
Σκληρυμένοι χάλυβες	35	0.17	210

Καρβίδια	8	0.07	120
----------	---	------	-----

**Πιν2.5.1:**Παράδειγμα συνθήκης κοπής κατά την κυλινδρική λείανση [3].

- $V_c$  :ταχύτητα περιστροφής του τροχού σε m/sec
- $V_w$ : ταχύτητα περιστροφής τεμαχίου σε m/sec
- $q$  : λόγος ταχυτήτων  $q = V_c/V_w$  ( κατά DIN 69103)

## **2.6 Φθορά των λειαντικών τροχών και διαδικασία αποκατάστασης του τροχού**

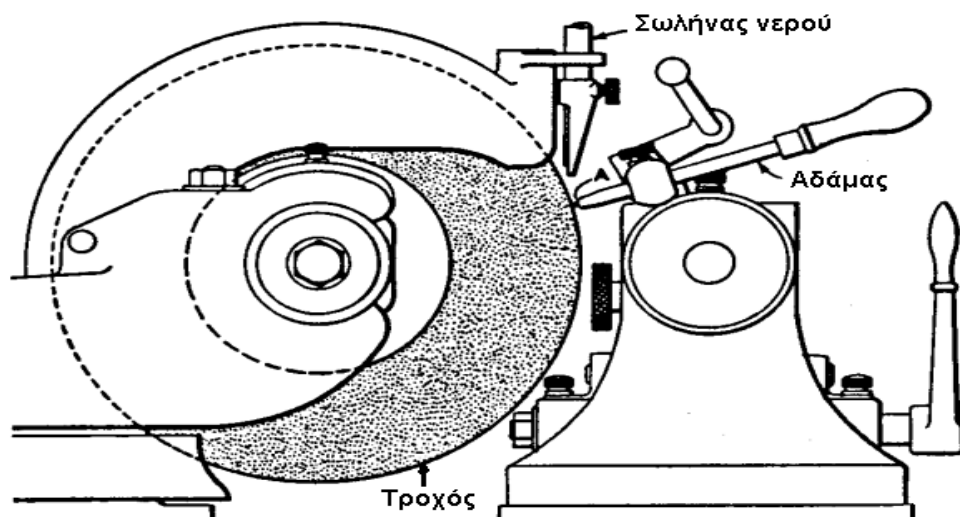
Οι κόκκοι του λειαντικού τροχού μετά από ορισμένες ώρες κατεργασίας στουμπώνουν λόγω της φθοράς και δεν μπορούν να συνεχίσουν την κατεργασία του μετάλλου.

Στάδια φθοράς:

- Ένα μέρος των κόκκων αποκολλούνται, και ο υπόλοιποι παραμένει συνδεδεμένος στον τροχό
- Στόμωμα κόκκων
- Διάσπαση συνδετικού υλικού, και οι στομωμένοι κόκκοι αποκαλούνται πάνω από τον τροχό

Έπειτα υπάρχει η διαδικασία της αποκατάστασης μέσω της αναγέννησης:

- Ο Όρος αναγέννηση προσδιορίστηκε διότι κατά την διαδικασία του <ακονίσματος> του τροχού οι ακμές των κόκκων επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση με την βοήθεια του αδαμαντοφόρου. Έτσι αποσπώνται οι στομωμένοι κόκκοι ώστε να εμφανιστούν κοφτεροί και απομακρύνονται διάφορα ρινίσματα από τους πόρους του τροχού. Η αποκατάσταση του λειαντικού τροχού γίνεται με τόννευση η οποία γίνεται αποκλειστικά με την βοήθεια του αδαμαντοφόρου εργαλείου, ο τροχός περιστρέφεται με τις κανονικές στροφές και με συνεχή παροχή ψυκτικού υγρού για την προστασία του διαμαντιού. Επιπλέον η πρόωση του εργαλείου ως προς τον τροχό είναι της τάξης των 0.02-0.03 mm

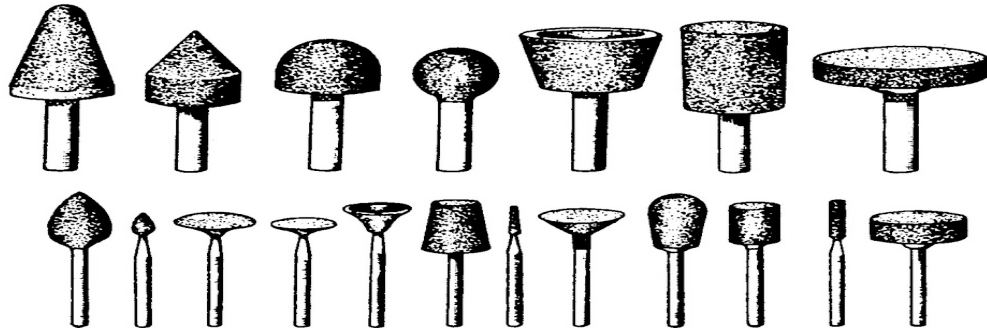


**Εικ2.6.1:** Απεικόνιση αναγέννησης του λειαντικού τροχού με την βοήθεια του αδάμα [4].

Τέλος υπάρχει και ο λόγος της λείανσης στην φθορά του τροχού:

- Λόγος λείανσης:  $G = \frac{\text{όγκος αφαιρούμενου υλικού}}{\text{όγκος κατεστράμενου υλικού}}$

Στην συνέχεια απεικονίζονται ορισμένες μορφές λειαντικών κονδυλίων οι οποίες χρησιμοποιούνται για διαφορές κατεργασίες της λείανσης.



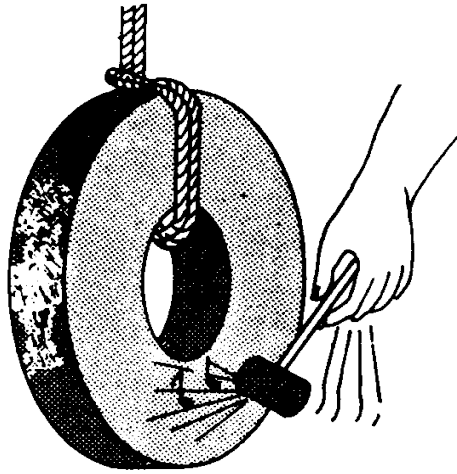
**Εικ2.6.2:**Απεικόνιση διαφόρων μορφών λειαντικών κονδυλίων λείανσης [5]

## 2.7 Η Ποιότητα έλεγχου του λειαντικού τροχού και η ζυγοστάθμιση του λειαντικού τροχού

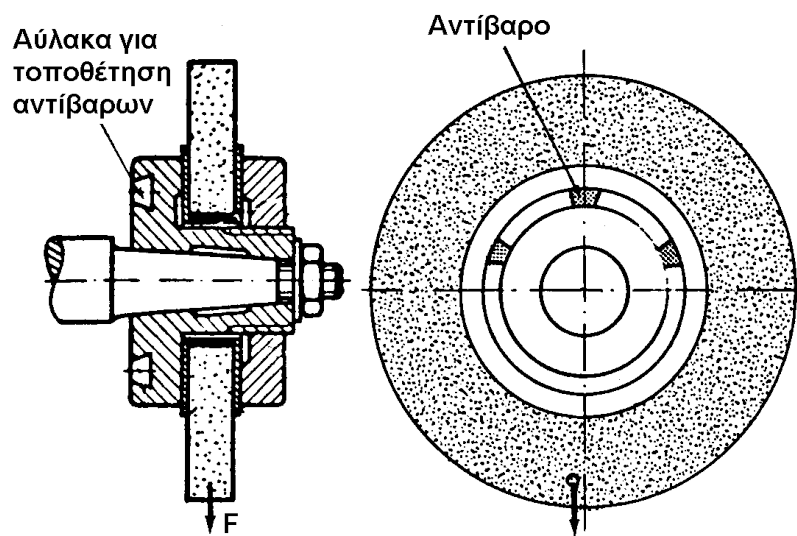
Ένας από τους πιο απλούς και οικονομικούς ελέγχους που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ενός λειαντικού τροχού είναι αυτός που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα. Ο έλεγχος αυτός γίνεται για τον εντοπισμό ρωγμών και ατελειών που μπορεί να υπάρχουν στο εσωτερικό του λειαντικού τροχού. Αναλυτικότερα δένουμε τον λειαντικό τροχό με ένα νήμα από ακλόνητο σημείο και με ένα ξύλινο σφυρί τον χτυπάμε πάνω στο {σώμα} του ελαφρά σε όλα τα μέρη του.

Εάν διαπιστώσουμε από τα χτυπήματα ένα ήχο οξύ και μεγάλης σχετικά διάρκειας αυτό μας δείχνει ότι ο λειαντικός τροχός απαλλάσσεται από εσωτερικές ρωγμές.

Εάν τώρα ο ήχος είναι υπόκωφος που σταματά κατευθείαν μετά τα χτυπήματα αυτό μας φανερώνει ότι ο λειαντικός τροχός στο εσωτερικό του υπάρχει κάποια ατέλεια.



**Εικ2.7.1:** Απεικόνιση του έλεγχου ποιότητας ενός λειαντικού τροχού [5].



**Εικ2.7.2:** Η ζυγοστάθμιση του λειαντικού τροχού [5].

Κάθε τροχός μετά την κατασκευή του χρειάζεται να περάσει και από την φάση της ζυγοστάθμισης διότι υπάρχουν από την κατασκευή

ατέλειες και είναι όχι ισοζυγισμένος. Όταν ο τροχός δεν έχει καλή ζυγοστάθμιση υπάρχει τρέμουλο κατά την φύση της κοπής με αποτέλεσμα να υπάρχει και κακή ποιότητα επιφάνειας στην κατεργασία μας και ανομοιόμορφη επιφάνεια κοπής του ίδιου του λειαντικού τροχού.

Για να ισοροπήσει ο τροχός πάνω στο σύστημα μας της λειαντικής μηχανής τοποθετείται βοηθητικός άξονας της ίδιας διαμέτρου με την οπή του τροχού και με μια κατάλληλη φλάντζα τοποθετείται και συγκρατιέται πάνω στον βοηθητικό άξονα. Όλο αυτό το σύστημα ονομάζεται ζυγός. Αφού τοποθετηθεί ο τροχός παρατηρούμε προς τα πού γέρνει ο τροχός και με τα κατάλληλα αντίβαρα που τοποθετούμε πάνω στην φλάντζα προσπαθούμε να τον ευθυγραμμίσουμε και να τον ισοροπήσουμε σε όλες τις θέσεις.

## **2.8 Η μελέτη της λείανσης και η μορφή αποβλήτου κατά την κοπή**

Καθώς ανέλαβα την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αρχικός στόχος ήταν να κατανοήσω την διαδικασία της λείανσης. Αρχικά έδωσα ιδιαίτερη έμφαση στις ταχύτητες λειτουργίας της εργαλειομηχανής, στην πρόωση της λειαντικής μηχανής, στις δυναμικές και στατικές αποκρίσεις και στην κλάση κατασκευής. Έπειτα ασχολήθηκα με τον λειαντικό τροχό, που διαθέτει η λειαντική μηχανή με την αναγέννηση αυτής, με την ορθή ζυγοστάθμιση της, και με την πρόσδεση της. Ακόμη ένα σημαντικός παράγοντας είναι το λειαντικό υγρό που χρησιμοποιούμε στην λειαντική μηχανή, στην αραίωση του υγρού έπειτα από κάποιες ώρες λειτουργίας, και την μέθοδο εφαρμογής που διαθέτει κάθε κατασκευαστής. Το κόστος μιας λειαντικής μηχανής, εξαρτάται από τα υλικά που μπορεί να επεξεργάσει, από τα μεγέθη των ατράκτων που μπορεί να ανταποκριθεί, από την ποιότητα επιφάνειας που παράγει η κάθε λειαντική μηχανή. Στην παρακάτω εικόνα 2.8.1 ακολουθεί σχεδιάγραμμα για τις εργαλειομηχανές λείανσεως που παράγονται μέχρι σήμερα.

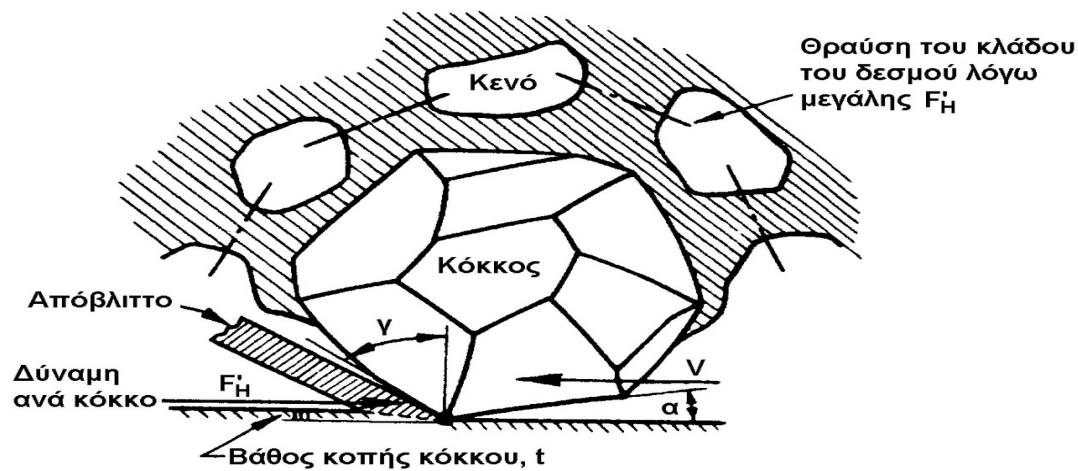


**Εικ2.8.1:** Η μελέτη της λείανσης σχηματικά [5].



**Εικ2.8.2:** Απεικόνιση μικρογραφίας κατά την διαδικασία αφαίρεσης υλικού στην διαδικασία λείανσης [2].

Μια ακόμη μελέτη, που προκύπτει κατά την διαδικασία της αφαίρεσης υλικού μέσω της λείανσης είναι η παραγωγή του αποβλήτου που δημιουργείται. Το μέγεθος του αποβλήτου εξαρτάται από την ταχύτητα κοπής, από την σκληρότητα του δοκιμίου, από την σκληρότητα του τροχού, από τις δυνάμεις που δημιουργούνται στην επαφή του δοκιμίου και λειαντικού τροχού.



**Εικ2.8.3:** Απεικόνιση προσομοίωσης κατά την διαδικασία αφαίρεσης υλικού στην διαδικασία της λείανσης [3].

## 2.9 Αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες κατά την λείανση και δημιουργία σπινθήρων

Το έργο παραμόρφωσης και οι αναπτυσσόμενες τριβές προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας στη ζώνη λείανσης. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές κατά τη λείανση συνδέονται με τις ακόλουθες θερμοκρασίες.

Μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του λειαντικού τροχού  $t$ : Είναι η μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες θερμοκρασίες και παίζει ιδιαίτερο ρολό στην φθορά του λειαντικού τροχού.

Μέση θερμοκρασία στην κατεργαζόμενες επιφάνειες: Είναι υπεύθυνη για την αποδιδόμενη ποιότητα επιφάνειας (ρηγματώσεις)

Μέση θερμοκρασία τεμαχίου: Επηρεάζει την ακριβή μορφή και διάσταση του τεμαχίου.

Η θερμοκρασία του κόκκου υπερβαίνει συχνά τους 1500 βαθμούς κελσίου.

Ο SHAW προτείνει την εξής παρακάτω ημιεμπειρική σχέση:



$$\theta_t = A_0 \times U \sqrt{\frac{v \times t}{k \times \rho \times c}}$$

Οπου:  $A_0$  σταθερά εξαρτωμένη από το ζεύγος τροχός / τεμαχίο και η θερμική αγωγιμότητα του υλικού του τεμαχίου,  $\rho$  η πυκνότητα του τεμαχίου, και  $c$  η ειδική θερμότητα του τεμαχίου.

Στην παράγωγη σπινθήρων κατά την διαδικασία της λείανσης:

Δεν παράγουν όλα τα μέταλλα σπινθήρες. Οι παραγόμενοι σπινθήρες έχουν μικρή σχέση με τις επιφανειακές θερμοκρασίες. Οφείλονται σε εξώθερμη αντίδραση με το οξυγόνο του αέρα. Πρόκειται μάλλον για χημικό πάρα θερμικό φαινόμενο.

Από το είδος του σπινθήρα που παράγεται από την λείανση του χάλυβα συνάγονται χρήσιμες πληροφορίες γ αυτόν όπως:

Κοινός χάλυβας = Λεπτός σπινθήρας

Χάλυβας βαμμένος σε νερό = Εντονότερος σπινθήρας με φωτεινή Κεφαλή και έντονο σπινθήρα

Χάλυβας βαμμένος στον αέρα = Σπινθήρας με πιο φωτεινή Κεφαλή και έντονο σπινθήρα

Χάλυβας βαμμένος με λάδι = Σκούρος σπινθήρας

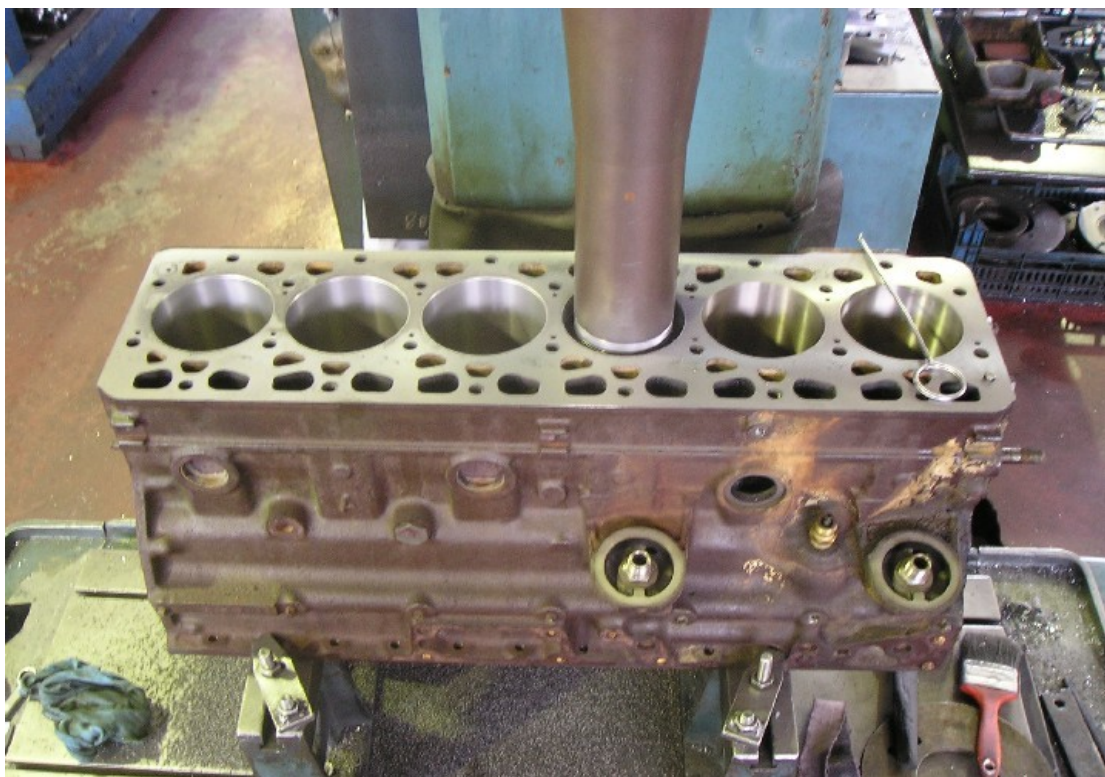
### 2.9.1 Η χρήση της κατεργασίας της λείανσης στην αυτοκινητοβιομηχανίας

Η λείανση ως κατεργασία χρησιμοποιείται για πάρα πολλές εφαρμογές σε διάφορα μέρη του οχήματος. Αρχικά στο χώρο των οχημάτων έχει εμφανιστεί εδώ και δεκαετίες ο ορός <<ρεκτιφιέ>>. Ο ορός αυτός <<ρεκτιφιέ>> αναφέρεται στην επεξεργασία της λείανσης των διαφόρων μερών ενός οχήματος. Αναλυτικότερα το ρεκτιφιέ χρησιμοποιείται σε πολλά εξαρτήματα μιας μηχανής εσωτερικής

καύσεως. Παρακάτω ακολουθούν παραδείγματα χρήσεως της λείανσης.



Εικ2.9.1.1:Παράδειγμα λείανσης σε κυλινδροκεφαλή [1].



**2.9.1.2:** Παράδειγμα εσωτερικής λείανσης στον όγκο εμβολισμού μιας μηχανής εσωτερικής καύσης [1].



**Εικ2.9.1.3:** Παράδειγμα λείανσης εκκεντροφόρου άξονα μια μηχανής εσωτερικής καύσεως [1].



**Εικ2.9.1.4:** Παράδειγμα λείανσης στροφαλοφόρου άξονα μιας μηχανής εσωτερικής καύσεως [1].



**Εικ2.9.1.5:** Παράδειγμα λείανσης βαλβίδων μιας μηχανής εσωτερικής καύσης [1].

### **3 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας**

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση των συνθηκών κατεργασίας εξωτερικής λείανσης στην ποιότητα επιφάνειας ατράκτων των οχημάτων.

Σ' αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τις βασικές έννοιες, που χρειαζόμαστε αφού θα γίνει η κατεργασία της επιφάνειας μέσω της λείανσης που διαθέτουμε στο εργαστήριο μας μηχανουργικής τεχνολογίας, για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε για το τελικό μας αποτέλεσμα κάποια χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για τον τελικό μας σκοπό που είναι η μέτρηση της τραχύτητας του υλικού μέσω του μηχανήματος του ταχύμετρου.

#### **3.1 Βασικές έννοιες**

Εξαιτίας των διαφόρων μηχανικών, θερμικών και χημικών δράσεων που επενεργούν κατά την διάρκεια του κύκλου διαμόρφωσης, η επιφάνεια ενός κατεργαζόμενου υλικού, χαρακτηρίζεται από τις ιδιότητες του ολοκληρου του σώματος. Παρόλο που αυτές καθορίζουν τη μακροσκοπική συμπεριφορά του



τεμαχίου, οι ιδιότητες της επιφάνειας επηρεάζουν άμεσα, τη λειτουργική συμπεριφορά και κατά συνέπεια την αντοχή σε διάρκεια ζωής του υλικού.

- Η τριβή και η αντίσταση στη φθορά κατά την διάρκεια των επόμενων κατεργασιών, αλλά και κατά την διάρκεια του ωφελίμου κύκλου ζωής καθορίζονται κυρίως από τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας
- Ακόμα το ίδιο ισχύει και για την αποτελεσματικότητα της λίπανσης τόσο κατά την διάρκεια της κατεργασίας όσο και κατά την διάρκεια της συντήρησης.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας που προκύπτουν από την κατεργασία επηρεάζουν την λειτουργικότητα του τεμαχίου στα επόμενα παραγωγικά στάδια (βαφή, συγκόλληση, συναρμογή κτλ) όσο και την αντοχή στην διάβρωση.
- Επιπλέον οι επιφανειακές μικρόρωγμες και οι θερμικές ζώνες που υπάρχουν σε ένα κατεργασμένο υλικό, ενδέχεται να οδηγήσουν σε συνολική αστοχία της κατασκευής.
- Τέλος η ανάπτυξη των παραμένουσων τάσεων στα επιφανειακά στρώματα ενός κατεργασμένου αντικείμενου αυξομειώνουν δραστικά την αντοχή του σε κόπωση.

Να αναφέρουμε ότι τρία πρώτα χαρακτηριστικά που αναφέραμε παραπάνω τριβή, φθορά, λίπανση αποτελούν το βασικό περιεχόμενο της τριβολογίας που μελετά τις ιδιότητες και την συμπεριφορά μηχανολογικών στοιχείων που βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους.

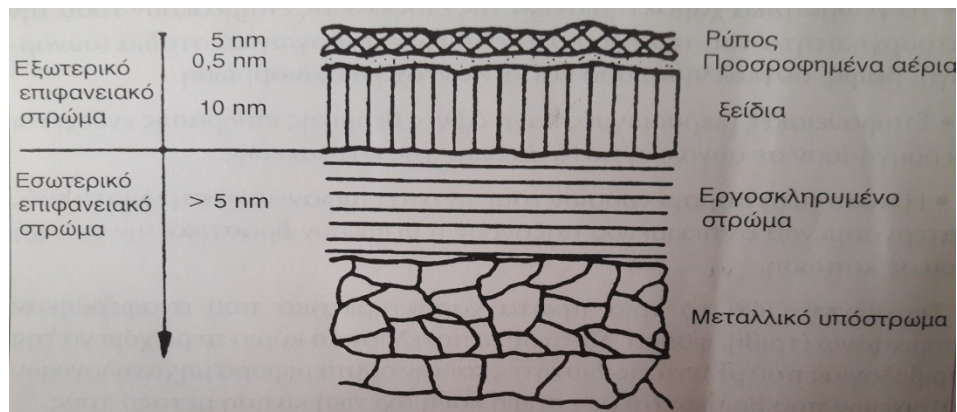
### **3.2 Δομή επιφάνειας**

Μια ακόμη έννοια που θα μας απασχολήσει κατά την διάρκεια της πτυχιακής εργασίας, είναι η δομή της επιφάνειας. Από άποψη φυσικής δομής του στέρεου σώματος οι επιφάνειες κρυσταλλικών σωμάτων και κατά συνέπεια και των μετάλλων αποτελούν διακοπή της περιοδικότητας του κρυσταλλικού πλέγματος. Αποτέλεσμα αυτής της διακοπής είναι η εμφάνιση τοπικών και επιφανειακών δομικών

αναπροσανατολισμών των κρυστάλλων η αλληλεπίδραση επιφάνειας και η μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων του υλικού.

Ειδικότερα για τις τεχνολογικές επιφάνειες που έχουν υποστεί κατεργασίες πρέπει να συνεκτιμώνται και πρόσθετα στοιχεία όπως η ανάπτυξη σκληρού επιφανειακού στρώματος από βαφή η εργοσκληρυνση, η επιφανειακή μικροτοπογραφία η τραχύτητα αναλυτικότερα και η πιθανή ανάπτυξη τοπικών πεδίων εσωτερικών τάσεων.

Για την πιο αποδοτική περιγραφή των πραγματικών επιφανειών, πολλοί ερευνητές προτείνουν την διάκριση μεταξύ ενός εσωτερικού επιφανειακού στρώματος που περιλαμβάνει το μεταλλικό υπόστρωμα και το επιφανειακό στρώμα που καταπονείται εξ αιτίας της επαφής και ενός εξωτερικού επιφανειακού στρώματος που από τελείται από τα στρώματα του ρύπου, των προσροφημένων αέριων και των επιφανειακών οξειδίων που καλύπτουν την επιφάνεια.



**Εικ3.2:** Απεικόνιση της δομής των στρωμάτων μιας επιφάνειας [2].

Προφανώς η σύνθεση των επιφανειακών στρωμάτων και η γεωμετρία τους εξαρτώνται από τις ιδιότητες του υλικού, την κατεργασία της επιφάνειας και το περιβάλλον.

### 3.3 Ομοιομορφία επιφάνειας

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό, που θα διερευνήσουμε είναι η ομοιομορφία της επιφάνειας από το υλικό που επεξεργαζόμαστε για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε ποσό θα επηρεάσει το τελικό μας αποτέλεσμα. Η

λειτουργική συμπεριφορά των μεταλλικών τεμαχίων επηρεάζεται αποφασιστικά από τις φυσικές ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων του μετάλλου, όπως η διανομή των παραμενουσών τάσεων, η μεταβολή της σκληρότητας και οι αλλαγές της δομής του υλικού, οι μαγνητικές ιδιότητες, η αντοχή σε διάβρωση κτλ. Αναλυτικότερα, σε προβλήματα τριβολογίας, διάβρωσης η και δυναμικών καταπονήσεων είναι δυνατόν συγκεκριμένες ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων να προκαλέσουν αστοχία και πολλές φορές ως και καταστροφή μιας κατασκευής ή αντίθετα, βελτίωση της λειτουργικής συμπεριφοράς και αύξηση της διάρκειας ζωής. Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται από το είδος της κατεργασίας του υλικού. Ο Όρος “ομοιομορφία της επιφάνειας” αποδίδει το συσχετισμό των φυσικών ιδιοτήτων και της λειτουργικής συμπεριφοράς μιας επιφάνειας και εμπεριέχει πληροφορίες σχετικά με τις παραμένουσες τάσεις, τη σκληρότητα, τη μικρογεωμετρία και τη μεταλλουργική δομή στην επιφάνεια και τα στρώματα κάτω από αυτήν. Γενικά, η ομοιομορφία επιφάνειας καθορίζεται από τις μηχανικές, θερμικές και χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ υλικού του κατεργαζόμενου τεμαχίου και εργαλείου, σε συσχετισμό με τις υπόλοιπες παραμέτρους της κατεργασίας. Τέλος για την εκτίμηση των παραμέτρων της ομοιομορφίας επιφάνειας, δηλαδή των φυσικοχημικών αλλαγών μιας μεταλλικής επιφάνειας σαν συνέπεια θερμικής η και μηχανικής δράσης, εφαρμόζεται μια μεγάλη ποικιλία μετρητικών μεθόδων που περιλαμβάνουν την τραχυμέτρηση. Η μέθοδος της τραχυμέτρησης είναι αυτήν που θα μας απασχολήσει σε όλη την διάρκεια της πτυχιακής για να μπορέσουμε να πάρουμε τα ιδανικά αποτελέσματα με την ολοκλήρωση της.

## **4. Εργαλειομηχανή λείανσης**

### **4.1 Εισαγωγή στις εργαλειομηχανές λείανσης**

Η λείανση θεωρείται εδώ και δεκαετίες μια διαδικασία το οποίο επινοήθηκε από τον άνθρωπο για να επιλύσει ορισμένες δυσκολίες στην καθημερινότητα του. Η μορφοποίηση των κατεργαζόμενων υλικών στην λείανση βασίζεται στην αφαίρεση υλικού. Η λείανση αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη εργαλειομηχανή σε πολλούς τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η γενική τεχνολογική πρόοδος βοήθησε, ώστε η μηχανή της λείανσης τις τελευταίες δεκαετίες να εξελίχθει αρκετά και είναι μια μηχανή στις μέρες μας που μπορεί να ανταποκριθεί ικανά απέναντι στις απαιτήσεις των κατασκευαστών της αυτοκινητοβιομηχανίας. Κυρία γνωρίσματα της λειαντικής μηχανής είναι η ταχύτητα παράγωγης, η ακρίβεια, και ο σύγχρονος αυτοματισμός. Στην εικόνα 4.1 απεικονίζεται η εργαλειομηχανή λείανσης το εργαστηρίου μηχανουργικής τεχνολογίας του τμήματος μηχανολόγων οχημάτων του ΑΤΕΙΘ.





**Εικ4.1:**Απεικόνιση εργαλειομηχανής λείανσης

Και στην συνέχεια απεικονίζεται η εικόνα της εξέλιξης μια εργαλειομηχανής λείανσης στις μέρες μας.



**Εικ4.1.2:**Απεικόνιση σύγχρονης εργαλειομηχανής λείανσης.

## **4.2 Εισαγωγή στην εργαλειομηχανή λείανσης του μηχανουργικού εργαστηρίου του ΑΤΕΙΘ**

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε όλα τα μέρη που αποτελείται η εργαλειομηχανή λείανσης.

Η εργαλειομηχανή είναι η ROBBIOMICRON 1000. Στην παρακάτω εικόνα 4.2 απεικονίζεται η εργαλειομηχανή της λείανσης που διατίθεται στο μηχανολογικό μας εργαστήριο και υπήρξε ο πιο σημαντικός παράγοντας για την εξέλιξη του πειράματος και για την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας.



**Εικ4.2:**Απεικόνιση συστημάτων της εργαλειομηχανής λείανσης.

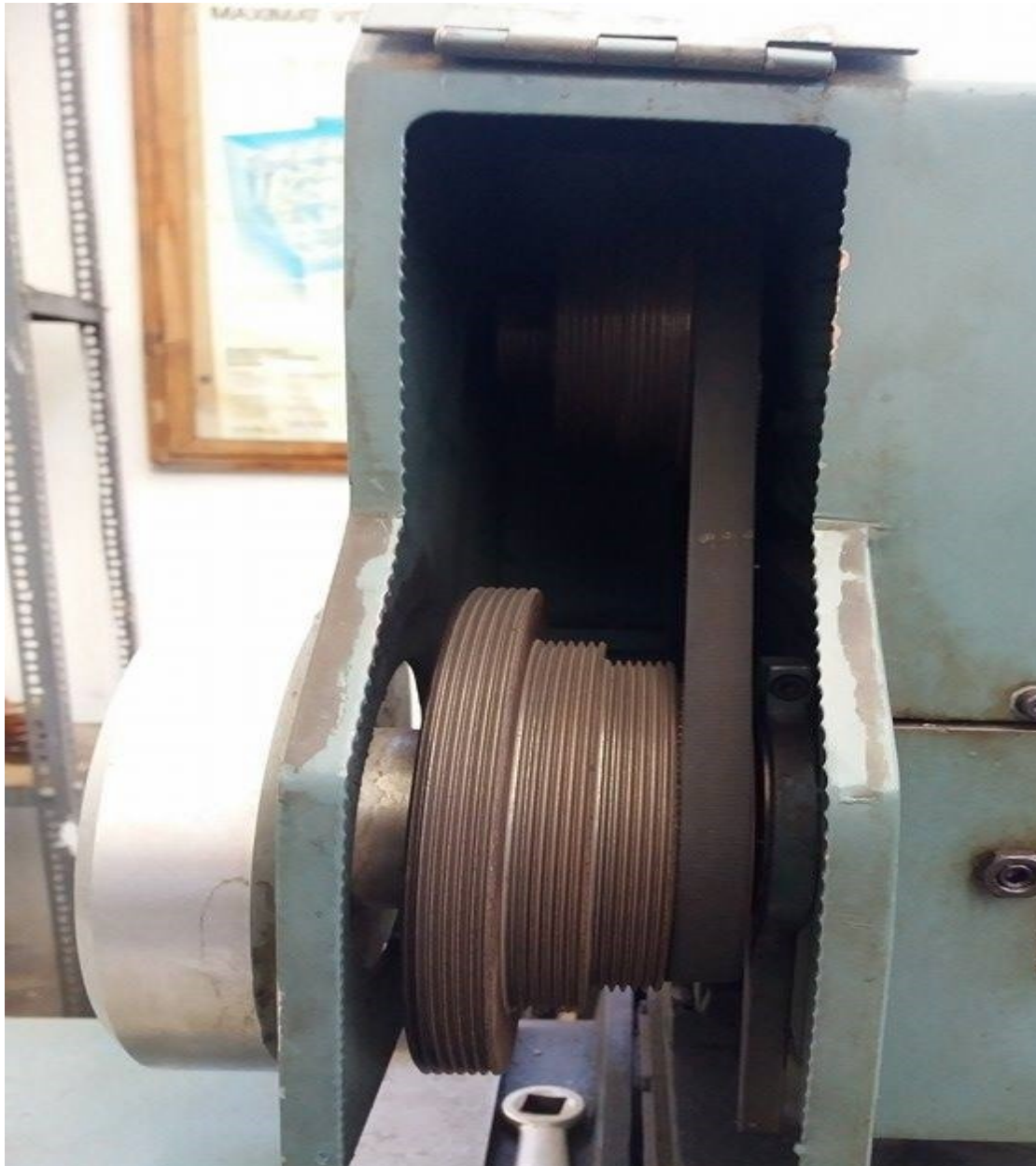
Αναλυτικά όλα τα μέρη της εργαλειομηχανής:

1. Κιβώτιο ταχυτήτων
2. Τσόκ
3. Λειαντικός τροχός
4. Κεντροφορέας
5. Διαμάντι τροχίσματος τροχού
6. Ρολόι κίνησης λειαντικού τροχού
7. Μοχλός πρόωσης τράπεζας
8. Ρολόι κίνησης της τράπεζας

9. Πίνακας ελέγχου μηχανής
10. Τράπεζα μηχανής
11. Μοχλός αυτόματης λειτουργίας
12. Αποστάτης

#### **4.3 Ανάλυση βασικών μερών της εργαλειομηχανής λείανσης που επηρεάζουν στο τελικό αποτέλεσμα του πειράματος και ο ρόλος του στροφόμετρου**

Το πρώτο και σημαντικό κομμάτι που λάβαμε υπόψη μας από την εργαλειομηχανή μας κατά την διεξαγωγή του πειράματος μας είναι το κιβώτιο ταχυτήτων που διαθέτει. Αρχικά, η εργαλειομηχανή λόγω των ωρών λειτουργίας που έχει μέχρι σήμερα, κατά την διάρκεια των μετρήσεων των στροφών του τσόκ, παρουσιάστηκαν μικρές αποκλίσεις σε σχέση με τον κατασκευαστή για την ακρίβεια των στροφών που παράγει η λειαντική μηχανή κατά την λειτουργία της.. Αναλυτικότερα, θα δούμε παρακάτω μέσω των φωτογραφιών που <<τραβηχτήκαν >> κατά την φάση του πειράματος τα αποτελέσματα..



**Εικ4.3:**Απεικόνιση του συστήματος κιβώτιου ταχυτήτων της λειαντικής μηχανής.

Η εργαλειομηχανή από όσο μας αποδεικνύει ο κατασκευαστής κατά την φάση της λειτουργία της , υπάρχουν δυο ταχύτητες η αργή και η γρήγορη και με την βοήθεια του κιβώτιου ταχυτήτων μας παράγει τέσσερις διαφορετικές στροφές για κάθε ταχύτητα στο στοκ όπου προσδένεται το προς κατεργασία μας υλικό πχ. άξονας.





**Εικ4.3.1:**Απεικόνιση των τεσσάρων ταχυτήτων προς τις παραγόμενες στροφές την λειαντικής μηχανής.

Στις παραπάνω εικόνες αναφέραμε αυτά τα στοιχεία που μας δίνει ο κατασκευαστής όταν η μηχανή λείανσης OMICRON 1000 εργάστηκε για πρώτη φορά.

Σε δεύτερη φάση , για να έχω όσο το πιο δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα στα δοκιμιά και να φτάσω όσο πιο κοντά και αποτελεσματικά στο επιθυμητό αποτέλεσμα των μετρήσεων για την ποιότητα της επιφάνειας, με την βοήθεια ενός στροφόμετρου προσδιόρισα από την αρχή εξ ολοκλήρου τις στροφές που παράγει η μηχανή λείανσης σε συνάρτηση με τις ταχύτητες του κιβώτιο ταχυτήτων μετά από πολλές ώρες εργασίας της λειαντικής μηχανής. Με αποτέλεσμα να υπάρχουν εμφανή διαφορές στις στροφές από αυτές που μας έχει δώσει ο κατασκευαστής μας. Το στροφόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι τελευταίας τεχνολογίας που διαθέτει το ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και είναι μάρκας Digital Tachometer μοντέλο DT2236B.



**Εικ 4.3.2:** Παρουσίαση του στροφόμετρου που χρησιμοποιήθηκε για την ακρίβεια των μετρήσεων.



**Εικ 4.3.3:**Απεικόνιση πραγματικών μετρήσεων με την βοήθεια του στροφόμετρου.

Σ αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι το στροφόμετρο χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις φάσεις των ταχυτήτων δηλαδή και των τεσσάρων και στην αργή και στην γρήγορη φάση.



Επιπλέον το στροφόμετρο μας χρησιμοποιήθηκε και για το προσδιορισμό των στροφών του λειαντικού τροχού που διαθέτει η λειαντική μηχανή. Ο προσδιορισμός των στροφών του λειαντικού τροχού είναι και αυτός ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό μας αποτέλεσμα



**Εικ 4.3.4:** Απεικόνιση του προσδιορισμού στροφών του λειαντικού τροχού από την λειαντική μηχανή.

Έπειτα από όλες αυτές τις παραπάνω μετρήσεις που έγιναν για τον ακριβής προσδιορισμό των στροφών του τσόκ, του λειαντικού τροχού σε συνάρτηση με το κιβώτιο ταχυτήτων, έχουμε σαν αποτέλεσμα τον τελικούς πίνακες 4.3 4.3.1 και 4.3.2 με τις πραγματικές μετρήσεις μέσω του στροφόμετρου που χρησιμοποιήθηκε για τα τελικά αποτελέσματα του πειράματος.

Αργή Ταχύτητα	Στροφές (rpm)
I	37.40
II	110.37
III	142.02
IV	176.06

**Πίν4.3:** Πραγματικές μετρήσεις στροφών στο τσόκ της εργαλειομηχανής με την βοήθεια του στροφόμετρου.

Γρήγορη Ταχύτητα	Στροφές (rpm)
I	74.88
II	221.40
III	282.07
IV	352.08

**Πιν: 4.3.1** Πραγματικές μετρήσεις στροφών στο τσόκ της εργαλειομηχανής με την βοήθεια του στροφόμετρου.

Λειαντικός Τροχός	
Στροφές Λειαντικού Τροχού	1422 (rpm)

**Πίν 4.3.3:** Πραγματικές μετρήσεις στροφών του λειαντικού τροχού.

Στους πίνακες 4.3.1 και 4.3.2 έπειτα από την μέτρηση μας και το τελικό αποτέλεσμα των στροφών που έχουμε προσδιορίσει, θα μπορούσαμε να πούμε ότι από το αποτέλεσμα των στροφών που επιτύχαμε βρισκόμαστε σε σωστά επίπεδα στροφών με μικρές αποκλίσεις και αυτό μας το αποδεικνύει η σύγκριση των στροφών της αργής ταχύτητας σε σχέση με την δεύτερη ταχύτητα. Αναλυτικότερα οι στροφές της γρήγορης ταχύτητας της λειαντικής μηχανής είναι οι διπλάσιες της αργής ταχύτητας. Αυτό μας οδηγεί σε όλο και πιο ασφαλή συμπεράσματα για την μέτρηση της ποιότητας της επιφάνειας που έχουμε ως σκοπό να πετύχουμε μέσω της λειαντικής μηχανής.

Ένα ακόμη βασικό μέρος που αποτελεί την λειαντική μηχανή και μας βοηθά στο πείραμα μας είναι το τσόκ .



**Εικ4.3.5:**Απεικόνιση του τσόκ της λειαντικής μηχανής.

Το επόμενο εργαλείο - εξάρτημα που υπάρχει στην λειαντική μηχανής μας είναι ο λειαντικός τροχός που συμβάλλει για την τελική επιφάνεια των δοκιμίων που επεξεργαζόμαστε.



**Εικ4.3.6:** Λειαντικός τροχός λειαντικής μηχανής.

Το παρακάτω εξάρτημα που διαθέτει η λειαντική μας μηχανή είναι ο κεντροφορέας.





**Εικ4.3.6:** Κεντροφορέας λειαντικής μηχανής.

Ένα ακόμη σημαντικό εξάρτημα που υπάρχει στην λειαντική μηχανή είναι η βάση που δέχεται το διαμάντι τροχίσματος του λειαντικού τροχού. Αυτό μετακινείται εύκολα επάνω στην τράπεζα την λειαντικής μηχανής και για να το χρησιμοποιήσουμε το τοποθετούμε απέναντι από το λειαντικό τροχό και σε εν κινήση του λειαντικού τροχού προσπαθούμε να <<τροχίσουμε>> τον λειαντικό τροχό για επιθυμητά αποτελέσματα.



**Εικ4.3.7:** Εξάρτημα υποδοχής αδαμάντιου φορέα για τρόχισμα.

Το επόμενο εξάρτημα που υπάρχει στην λειαντική μας μηχανή είναι το ρολόι κίνησης του λειαντικού τροχού. Με την βοήθεια της εικόνας που ακολουθεί γίνεται αντιληπτό το κατά ποσό μπορεί η συγκεκριμένη μηχανή λείανσης κατά (μm) να λειάνει μια επιφάνεια.



**Εικ4.3.8:** Ρολόι κίνησης λειαντικού τροχού με απεικόνιση το μεγαλύτερο βάθος λείανσης σε μια κατεργασία.

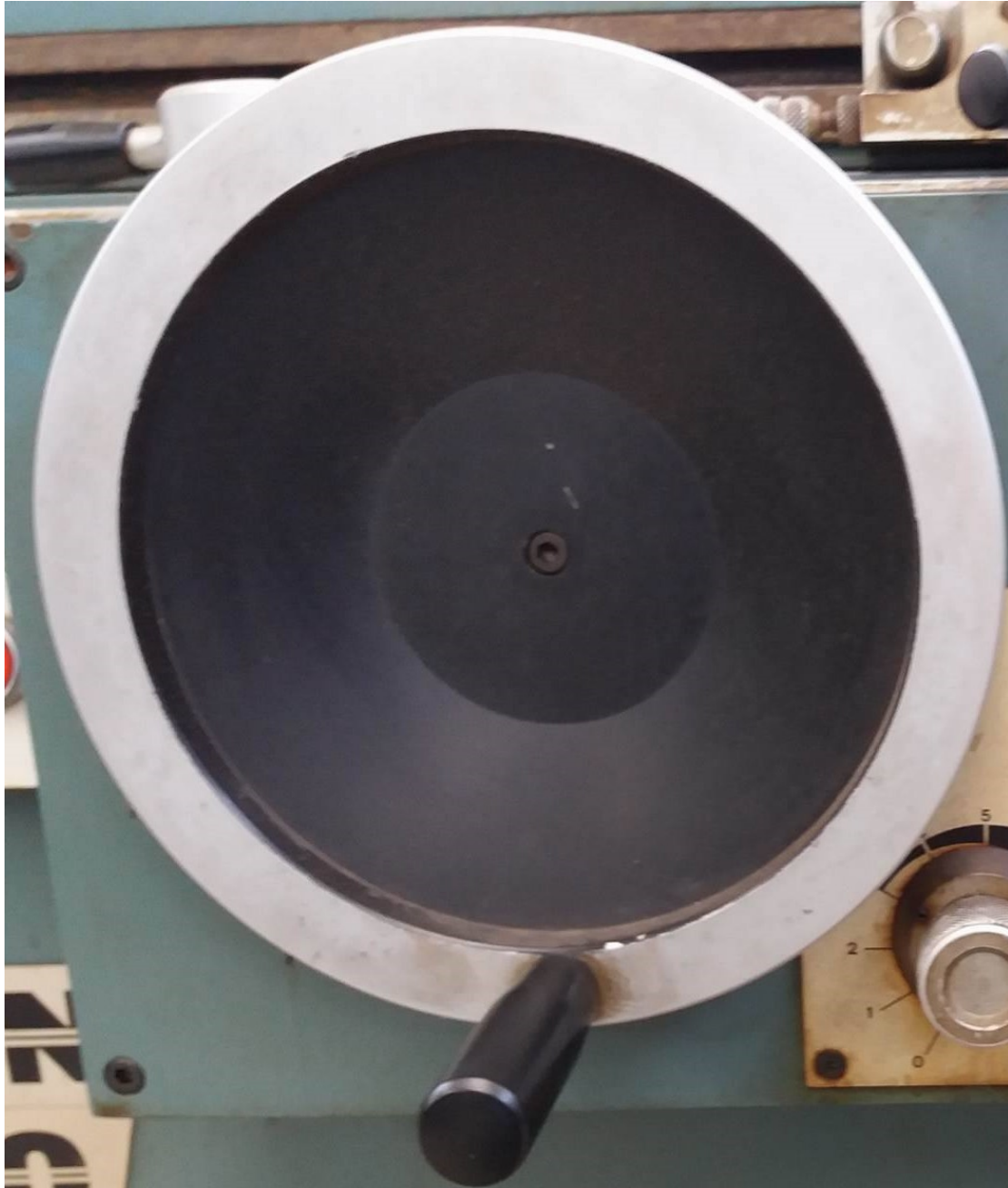
Το επόμενο στοιχείο που πρέπει να αναφέρουμε από την λειαντική μας μηχανή είναι ο μοχλός πρόωσης της τράπεζας που υπάρχει .



**Εικ 4.3.9:** Μοχλός πρόωσης της λειαντικής μηχανής σε mm/rev.



Επιπλέον εξάρτημα που υπάρχει και μπορούσε να το χρησιμοποιήσουμε στην λειαντική μας μηχανή είναι το ρολόι κίνησης της τράπεζας.



**Εικ 4.3.10:** Απεικονίζεται το ρολόι πρόωσης της τράπεζας.

Το επόμενο εργαλείο της λειαντικής μηχανής είναι η τράπεζα το σώμα δηλαδή της μηχανής που εδράζονται και εργάζονται όλα τα παραπάνω αναφερόμενα εργαλαιοφορεία.



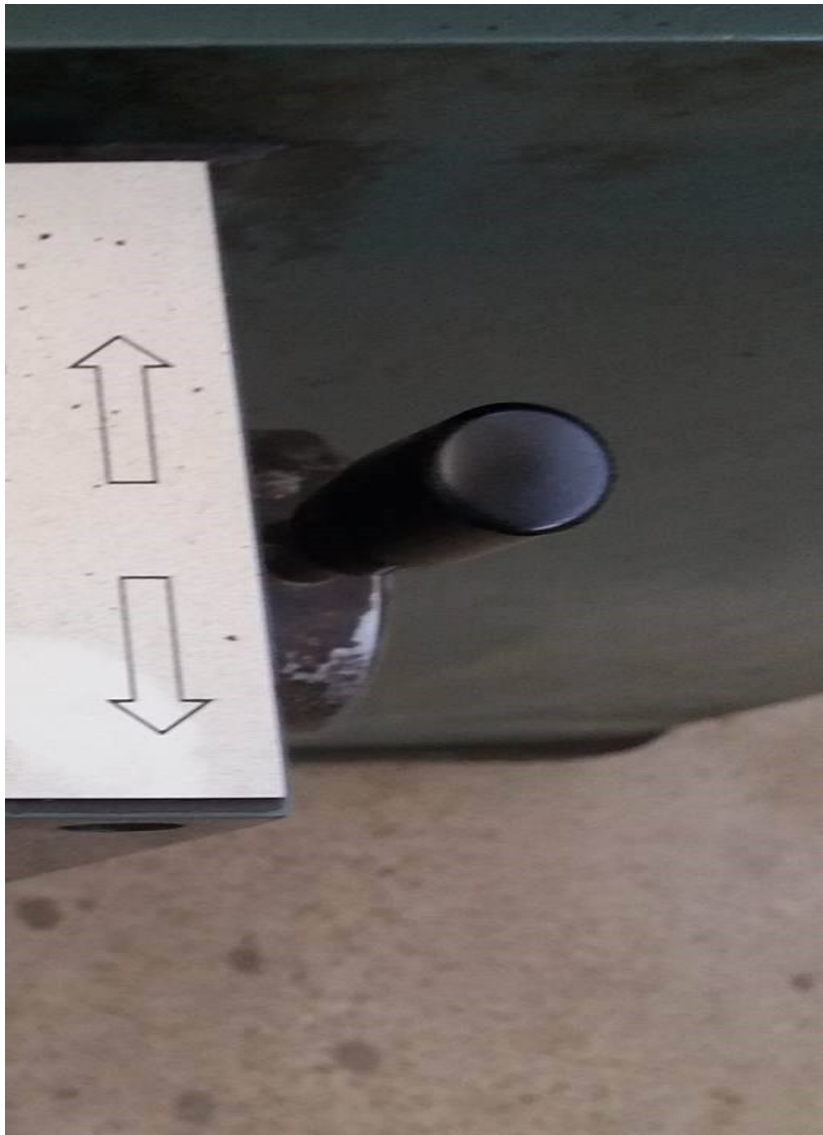
**Εικ4.3.11:** Η τράπεζα της λειαντικής μηχανής που εδράζονται όλα τα εξαρτήματα

Επιπλέον αυτό που υπάρχει σε όλο το σώμα της λειαντικής μηχανής είναι και ο πίνακας έλεγχου οπού στην ουσία από εκεί ξεκινά η αρχική λειτουργία της εργαλειομηχανής , η παύση, η επιλογή ταχύτητας από αργή σε γρήγορη , και η κίνηση του λειαντικού τροχού και του υγρού κοπής.



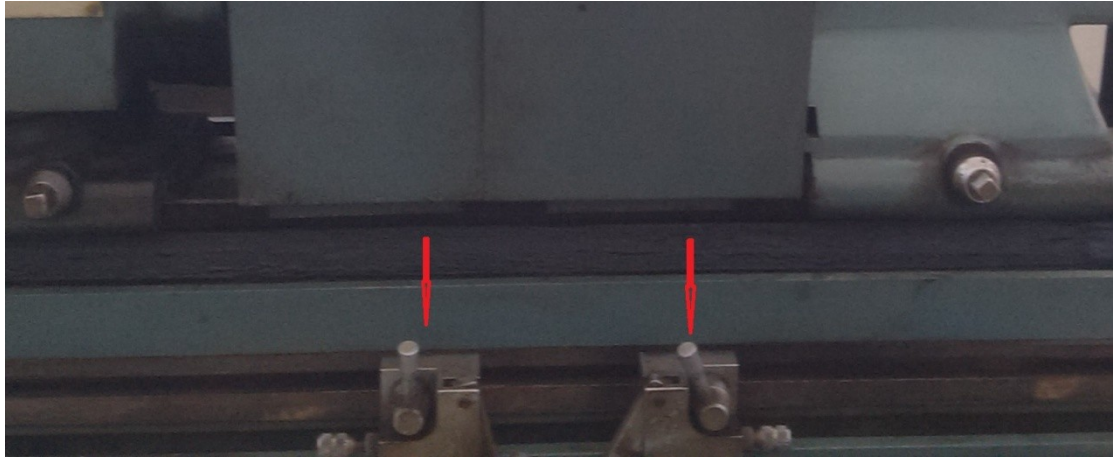
**Εικ4.3.12:** Πίνακας έλεγχου της λειαντικής μηχανής.

Ένα ακόμη σημαντικό εξάρτημα που υπάρχει στην εργαλειομηχανή είναι ο μοχλός αυτόματης λειτουργίας. Αυτός ο μοχλός μας αποδεικνύει ότι από αυτόματη λειτουργία η εργαλειομηχανή σε κάποιες καταστάσεις μπορεί να γίνει και χειροκίνητη με έναν απλό μοχλό.



**Εικ4.3.13:**Μοχλός μετατροπής σε αυτόματη από χειροκίνητη λειτουργία.

Ένα ακόμη χρήσιμο εξάρτημα που διαθέτει η εργαλειομηχανή κυρίως για την αυτόματη καταστήση της λειαντικής μηχανής είναι οι αποστάτες που υπάρχουν. Οι αποστάτες χρησιμεύουν ώστε να λειτουργεί σε ασφαλή επίπεδα η λειαντική μηχανή όταν ο λειαντικός τροχός επεξεργάζεται ένα δοκίμιο σε μια συγκεκριμένη απόσταση.



**Εικ4.3.14:** Αποστάτες λειαντικής μηχανής.

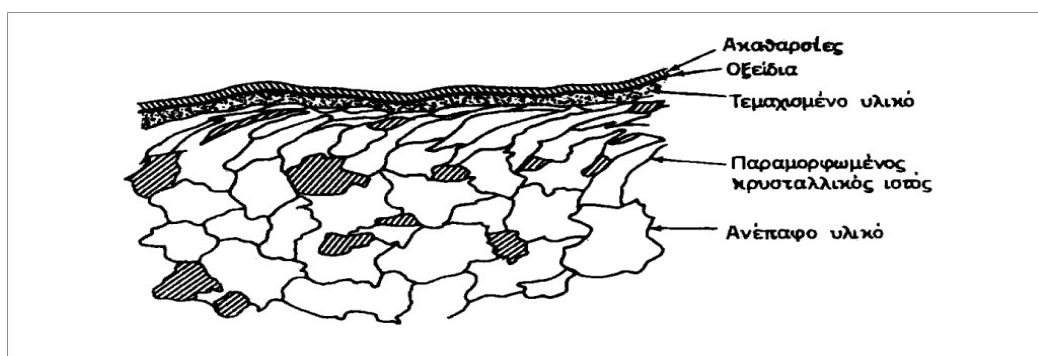
Αξίζει να σημειωθεί ότι όλο αυτό το κεφάλαιο και συγκεκριμένα το 4.3 που αναφέρεται αναλυτικά παραπάνω είναι τα από τα σημαντικότερα για την κατανόηση όλων των αναγνωστών.

## 5.Θεωρητικό και πειραματικό μέρος πτυχιακής εργασίας

### 5.1 Έλεγχος και μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας

Στις ευρείες μηχανουργικές κατασκευές συναντάμε συχνά μεταλλικές επιφάνειες (τις ονομάζουμε τεχνικές επιφάνειες) που συνεργάζονται, όπως π.χ σε μια άτρακτο με τα έδρανα της, στο εργαλειοφορείο με τους ολισθητήρες μιας εργαλειομηχανής, στα ελατήρια Έμβολου με τον κύλινδρο σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης, στον στροφαλοφόρο άξονα κ.α. Η ποιότητα των επιφανειών αυτών συντείνει στην καταληκτική απόδοση και στην ασφάλεια εργασίας των συναφών κομματιών. Λέγοντας ποιότητα επιφάνειας εννοούμε στο σύνολο τους, τόσο τα γεωμετρικά όσο και τα φυσικά, χημικά και κρυσταλλογραφικά χαρακτηριστικά μια οποιασδήποτε κατεργασμένης επιφάνειας. Κατεργασμένη επιφάνεια είναι εκείνη, που σχηματίζεται από το κοπτικό εργαλείο με κάποια από τις γνώστες μας κατεργασίες κοπής η κατεργασίες διαμόρφωσης.

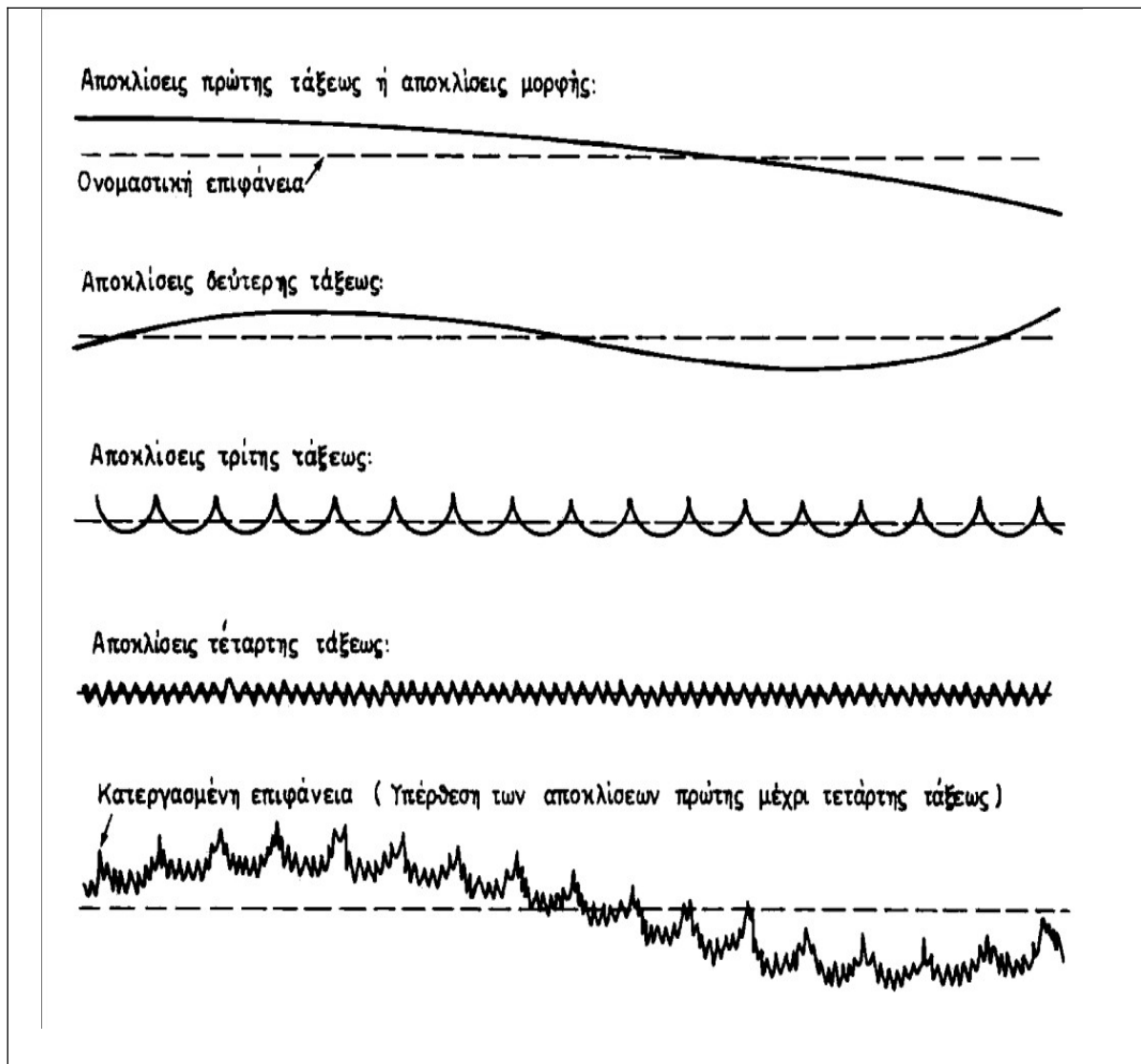
Η ποιότητα επιφάνειας μιας κατεργασμένης επιφάνειας εξαρτάται από την κατεργασία, από την οποία προέρχεται. Η κατεργασία δεν προδίδει μόνο την χαρακτηριστική γεωμετρική μορφή στην επιφάνεια, αλλά επιδρά και στην επιφανειακή στοιβάδα προξενώντας διάφορες αλλαγές στο υλικό, τις οποίες μπορούμε να αποδώσουμε σε μηχανικές επιδράσεις, σε χημικές αντιδράσεις η σε κρυσταλλογραφικούς μετασχηματισμούς. Στο σχήμα 5.1.1 απεικονίζεται τομή μιας κατεργασμένης με κοπή επιφάνειας, όπου η επιρροή της κατεργασίας, πέρα από τη γεωμετρική μορφή της επιφάνειας, παρουσιάζεται εμφανής στο υλικό με τη δημιουργία επαλλήλων κατά βάθος διαφορετικής φύσης στρωμάτων.



**Εικ 5.1.1:** Καθετή τομή μιας κατεργασμένης με κοπή επιφάνειας [2]



Η τραχύτητα επιφάνειας με την οποία θα ασχοληθώ σε όλο το φάσμα της πτυχιακής μου εργασίας, αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τεχνικής επιφάνειας. Μια κατεργασμένη επιφάνεια παρουσιάζει γενικά αποκλίσεις από τη θεωρητική μορφή της ( ή από τη λεγόμενη ονομαστική επιφάνεια, της οποίας η μορφή και οι διαστάσεις δίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο του κομματιού), οι οποίες μπορούν να καταταγούν στις κατηγορίες που απεικονίζονται στο σχήμα 5.2.1.



**Εικ 5.1.2:** Κατηγορίες αποκλίσεων μιας κατεργασμένης επιφάνειας από την ονομαστική επιφάνεια [3].

Εδώ ως ονομαστική επιφάνεια θεωρείται η επίπεδη επιφάνεια, τα ίδια όμως ισχύουν και για άλλες μορφές επιφανείας από αυτές που συναντούμε στις μηχανουργικές κατασκευές.

- Αποκλίσεις πρώτης τάξης: Είναι μακρογεωμετρικές αποκλίσεις από την ονομαστική επιφάνεια (πχ. αποκλίσεις από επιπεδότητα, παραλληλότητα, καθετότητα, κυλινδρικότητα κλπ). Τις ονομάζουμε αποκλίσεις μορφής. Οφείλονται σε σφάλματα στους ολισθητήρες της εργαλειομηχανής, σε σοβαρές παραμορφώσεις της εργαλειομηχανής, του εργαλείου ή του κομματιού σε κακή στήριξη του κομματιού ή του εργαλείου
- Αποκλίσεις δεύτερης τάξης: Αναφέρονται στις κυματώσεις της επιφανείας, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε εκκεντρότητα του κομματιού ή του εργαλείου, σε ταλαντώσεις.
- Αποκλίσεις τρίτης τάξης: Είναι ανωμαλίες της επιφανείας συνήθως υπό μορφή αυλακώσεων, που οφείλονται στη μορφή των εργαλείων και στην κινηματική των κατεργασιών.
- Απόκλισης τέταρτης τάξης: Είναι μικρογεωμετρικές ανωμαλίες της επιφανείας, οι οποίες οφείλονται σε ατέλειες στο τρόχισμα του κοπτικού εργαλείου, στη φθορά του εργαλείου στην ψευδοκοπή κ.α
- Αποκλίσεις πέμπτης και ανώτερης τάξης: Είναι ανωμαλίες της επιφανείας, μικρογεωμετρικής βέβαια μορφής, τις οποίες μπορούμε να αποδώσουμε σε χημικές επιδράσεις, σε μεταβολές στον κρυσταλλικό ιστό του μετάλλου κα σε άλλες αιτίες. Οι αποκλίσεις τρίτης και ανώτερης τάξεως, αναφερόμενες στη μικρομορφή της επιφανείας, συνιστούν ότι ονομάζουμε <τραχύτητα επιφανείας>.

Τις απαιτήσεις των σύγχρονων μηχανουργικών κατασκευών σε ότι αφορά την τραχύτητα συναρμοζόμενων επιφανειών είναι δυνατό να τις συνοψίσουμε στα παρακάτω τρία σημεία:

A) Στο προσδιορισμό του βαθμού της τραχύτητας επιφανείας, που απαιτείται, για κάθε δοσμένη εφαρμογή.

Β) Στη γνώση του βαθμού της τραχύτητας, που μπορούν να αποδώσουν, με συμφέρον κόστος, οι χρησιμοποιούμενες στην πράξη κατεργασίες κοπής.

Γ) Στην προτυποποίηση χαρακτηριστικών μεγεθών της τραχύτητας, όπως και μεθόδων και συναφών οργάνων για τη μέτρηση ή τον έλεγχο των μεγεθών αυτών. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι στις μηχανουργικές κατασκευές έχουμε την ανάγκη απλών και φθηνών οργάνων μετρήσεως. Αυτό όμως μέχρι τώρα δεν έχει επιτευχθεί.

Η τραχύτητα των τεχνικών επιφανειών ασκεί επίδραση :

- Στις συνθήκες επαφής ανάμεσα σε συναρμοζόμενες επιφάνειες ( συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικά λιπάνσεως κ.α)
- Στην αντοχή σε κόπωση των μετάλλων
- Στην στεγανότητα (ροή ρευστών) κατά μήκος τοιχωμάτων
- Στους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας
- Στην αντίσταση σε διάβρωση
- Στην εμφάνιση

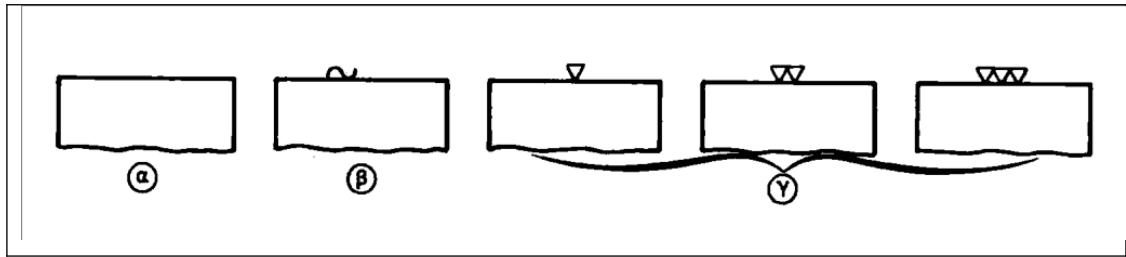
## 5.2 Προτυποποίηση της τραχύτητας της επιφάνειας

Το απλό σύστημα με ανεστραμμένα τρίγωνα.

Είναι το πρώτο σύστημα προτυποποίησης της τραχύτητας της επιφάνειας, που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη. Σήμερα χρησιμοποιείται ακόμα σε μερικές χώρες στις οποίες συγκαταλέγεται και η Ελλάδα.

Κατά το σύστημα αυτό (DIN 140) στο κατασκευαστικό σχέδιο, και συγκεκριμένα στις επιφάνειες για τις οποίες επιθυμούμε χαρακτηριστικό του βαθμού της τραχύτητας τους, αναγράφουμε μόνο το γνωστό μας συμβολισμό με τα αναστραμμένα τρίγωνα σχ 5.2.α χωρίς να προβλέπεται οποιοσδήποτε τρόπος μέτρησης της τραχύτητας.





**Εικ 5.2.1:** Συμβολισμός της τραχύτητας επιφάνειας με τα ανεστραμμένα τρίγωνα: α) Επιφάνεια που δεν έχει υποστεί κατεργασία κοπής. Παραμένει χωρίς σύμβολο τραχύτητας, β) Επιφάνεια, όπως η προηγούμενη, αλλά κατεργασμένη πιο επιμελημένα, γ) Επιφάνειες κατεργασμένες με κοπή και με τραχύτητα επιφάνειας, που καλυτερεύει καθώς πηγαίνουμε από το 1<sup>ο</sup> τρίγωνο έως το 3<sup>ο</sup> [7].

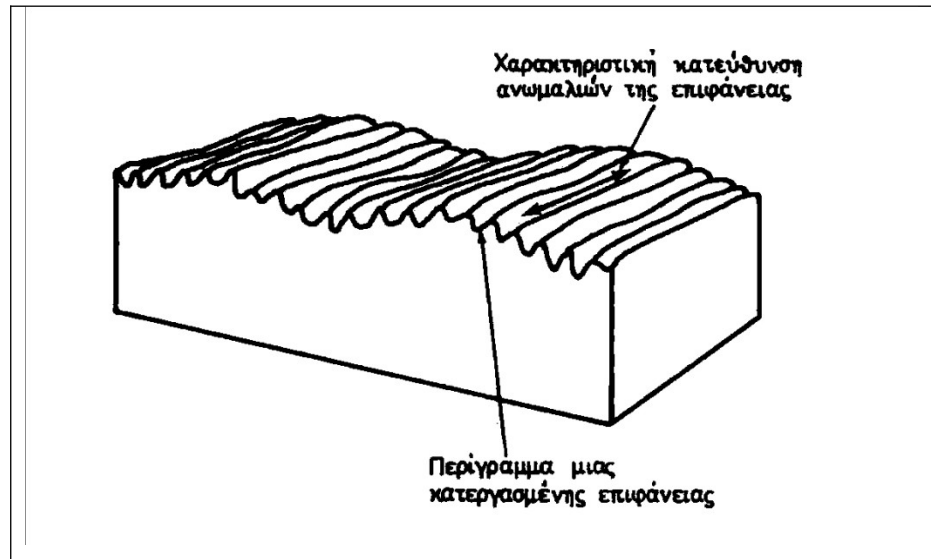
Το σύστημα κεντρικής γραμμής ή σύστημα <M>.

Πριν να μιλήσουμε για το σύστημα αυτό, όπως και για το επόμενο, πρέπει να δώσουμε τους εξής τρεις ορισμούς:

- Περίγραμμα επιφάνειας: Είναι η μορφή, την οποία μας παρουσιάζει μια καθορισμένη τομή της θεωρούμενης επιφάνειας με ένα κάθετο προς αυτήν επίπεδο.
- Ονομαστικό περίγραμμα επιφάνειας: Είναι το θεωρητικό περίγραμμα της επιφάνειας χωρίς τις διαφορές ανωμαλίες.
- Πραγματικό περίγραμμα επιφάνειας: Είναι η παράσταση του περιγράμματος της κατεργασμένης επιφάνειας όπως μας το αποδίδουν διάφορα όργανα ( πχ. Το καταγραφικό από ένα όργανο τραχυμέτρησης)

Και τα δυο, λοιπόν το πραγματικό και το ονομαστικό περίγραμμα , τα παίρνουμε σε επίπεδο κάθετο προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ανωμαλιών της επιφάνειας . Οι ανωμαλίες αυτές για τις κατεργασίες κοπής είναι τα ίχνη του κοπτικού εργαλείου επάνω στην κατεργασμένη επιφάνεια. Το πραγματικό πχ. περίγραμμα μιας κυλινδρικής επιφάνειας κατεργασμένης με

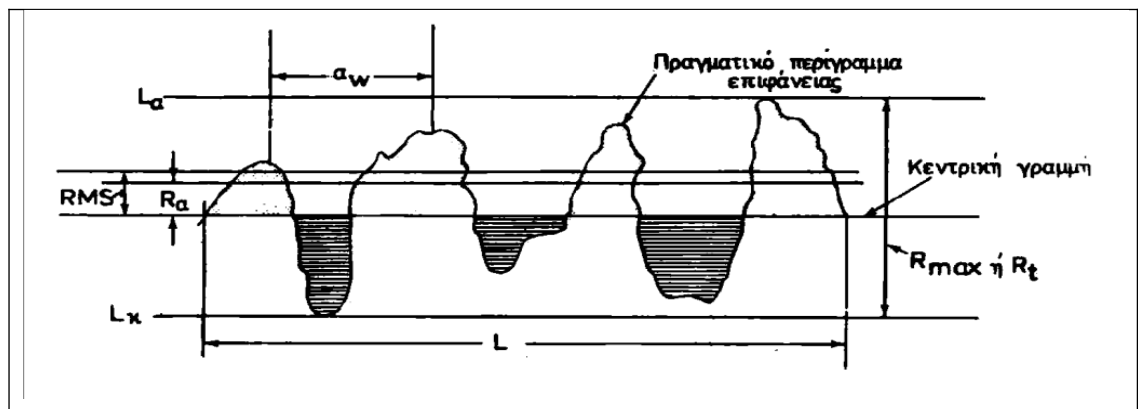
τόρνευση λαμβάνεται σε ένα επίπεδο, που να περιέχει τον άξονα του κομματιού.



**Εικ5.2.2:** Η υφή μιας επιφάνειας που έχει υποστεί κατεργασία κοπής [7].

Στην συνέχεια θα μιλήσουμε για το συστημα κεντρικής γραμμής και θα ορίσουμε τα σχετικά μεγέθη της τραχύτητας επιφανείας.

Κατά το σύστημα αυτό σχεδιάζουμε στο πραγματικό περίγραμμα της επιφανείας την καλουμένη κεντρική γραμμή έτσι, ώστε η γραμμή αυτή να ισομοιράζει τα επάνω και τα κάτω της εμβαδά μέσα όμως σε καθορισμένο μήκος  $L$  το οποίο καλούμε δειγματοληπτικό μήκος. Η κεντρική αυτή γραμμή στα τραχύμετρα με στυλίσκο, που μετρούν την τραχύτητα συμφώνα με το σύστημα τούτο, υλοποιείται μηχανικά με ένα ειδικό πέδιλο.



**Εικ 5.2.3:** Χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας της επιφάνειας κατά το σύστημα κεντρικής γραμμής (M) [7]

Παράλληλα τώρα προς την κεντρική γραμμή, φέρονται δυο ευθείες αναφοράς, από τις οποίες η ανώτερη  $L_a$  εφάπτεται στην ψηλότερη μέσα στο δειγματοληπτικό μήκος κορυφή, ενώ η κατώτερη  $L_k$  εφάπτεται στη βαθύτερη εσοχή.

Για να καθαρισθεί με πληρότητα η γεωμετρική μορφή μιας επιφανείας, όπως μας την παρουσιάζει το πραγματικό περίγραμμα της, χρειάζονται πολλά μεγέθη, που μπορούν να μετρηθούν είτε κατά βάθος, δηλαδή κάθετα προς την κεντρική γραμμή, είτε κατά μήκος της, όπως και διάφοροι δείκτες, οι όποιοι δίνονται ως λόγοι τέτοιων μεγεθών. Μάλιστα συμφώνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές τραχύτητας επιφανείας, προβλέπεται πληθώρα από τέτοια μεγέθη και δείκτες. Αυτό όμως περιπλέκει και δυσκολεύει τις μετρήσεις στην παράγωγη και ακόμα τα κατάλληλα για μετρήσεις πολλών τέτοιων χαρακτηριστικών στοιχείων της τραχύτητας, όργανα είναι πανάκριβα. Έτσι για πρακτικούς λόγους έχουν επιλεγεί ένα ή δυο βασικά μεγέθη της τραχύτητας, όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω τα οποία συνδυαζόμενα και με το είδος της κατεργασίας από την οποία προέρχεται η επιφάνεια, θεωρούνται ικανοποιητικά στην πράξη για το χαρακτηρισμό της τραχύτητας τεχνικών επιφανειών.

Τέτοια βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας στο σύστημα Κεντρικής Γραμμής είναι:

Το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$  : που ορίζεται από την αριθμητική μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων του πραγματικού περιγράμματος από την κεντρική γραμμή μέσα στο καθορισμένο δειγματοληπτικό Μήκος. ( όλες οι αποκλίσεις λαμβάνονται θετικές)

Όταν μετράμε με το τραχύμετρο το μέσο ύψος  $R_a$  δίνεται κατευθείαν από το όργανο.

Το μέγιστο ύψος της τραχύτητας  $R_{max}$  ή  $R_t$  : Ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ των γραμμών αναφοράς  $L_a$  και  $L_k$  στο πραγματικό περίγραμμα της επιφανείας μέσα πάλι στο εκλεγμένο δειγματοληπτικό μήκος. Είναι ένα μέγεθος της τραχύτητας, που έχει φυσική έννοια, γιατί μπορεί να γίνει άμεσα αντιληπτό με την όραση ή την αφή.

Το ενδεικνυόμενο ύψος της τραχύτητας RMS: (τα αρχικά των λέξεων Root Mean Square) που ορίζεται ως η τετραγωνική ριζά της μέσης τιμής των τετραγώνων των αποκλίσεων όλων των σημείων.

Του πραγματικού περιγράμματος από την κεντρική γραμμή. Η τιμή αυτή της τραχύτητας ίσχυε στις ΗΠΑ μέχρι το 1955 αφότου αντικαταστήθηκε από το μέσο ύψος της Ra.

Η τιμή RMS προκύπτει συνήθως κατά 10% περίπου μεγαλύτερη από το μέσο ύψος Ra.

Το σύστημα περιβάλλουσας ή σύστημα <E>

Κατά το σύστημα αυτό, τα χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας ορίζονται με βάση την περιβάλλουσα του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας. Ένας κύκλος με ακτίνα  $R=300\text{mm}$  κυλίνεται επάνω στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας με κατεύθυνση συνήθως κάθετη προς τις χαρακτηριστικές ανωμαλίες. Ο γεωμετρικός τόπος του κέντρου του κυλιόμενου αυτού κύκλου, αν μεταφερθεί παράλληλα στον εαυτό του στο επίπεδο του πραγματικού περιγράμματος, ώστε να εφάπτεται στις ψηλότερες κορυφές του περιγράμματος, αποτελεί τη λεγόμενη καμπύλη μορφής της επιφάνειας.

Κατά τον ίδιο τρόπο, άλλος κύκλος με πολύ μικρότερη ακτίνα  $r=30\text{mm}$  κυλίνεται και αυτός E πάνω στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας. Ο γεωμετρικός τόπος, τον οποίο διαγράφει το κέντρο του κύκλου αυτού παράλληλα μετατιθέμενος, όπως και προηγουμένως, ώστε να εφάπτεται στα ανώτερα επάρματα του περιγράμματος, μας δίνει ότι ονομάζουμε περιβάλλουσα της επιφάνειας.

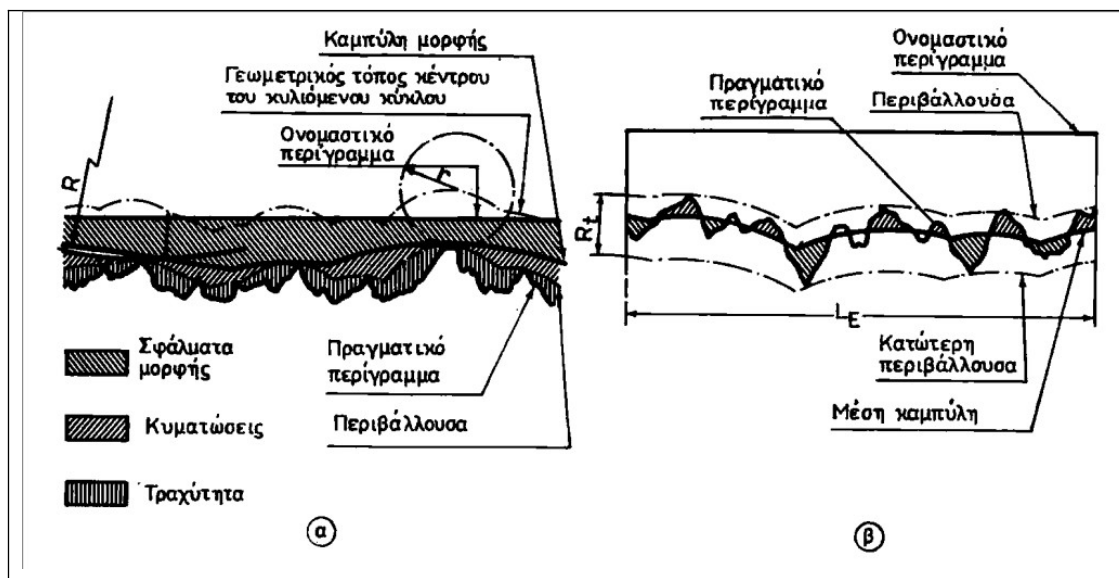
Με το σύστημα αυτό των δυο κυλιόμενων κυκλών με διαφορετικές όμως ακτίνες μπορούμε εύκολα να διαχωρίσουμε τις διάφορες αποκλίσεις της πραγματικής επιφάνειας από την ονομαστική επιφάνεια. Έτσι λοιπόν όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα ανάμεσα στο ονομαστικό περίγραμμα και στην καμπύλη μορφής της επιφάνειας διακρίνουμε σφάλμα μορφής (αποκλίσεις πρώτης τάξεως) μεταξύ καμπύλης μορφής και περιβάλλουσας κείνται υπάρχουν κυματώσεις (αποκλίσεις δεύτερης τάξεως), ενώ ανάμεσα

στην περιβάλλουσα και στο πραγματικό περίγραμμα συναντούμε την τραχύτητα (αποκλίσεις τρίτης και ανώτερης τάξεως).

Εάν τώρα η περιβάλλουσα μετατεθεί παράλληλα προς τον εαυτό της, στο επίπεδο του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας, είναι δυνατό να πάρει τη θέση της μέσης καμπύλης.

Η θέση αυτή καθορίζεται όπως και η θέση της κεντρικής γραμμής με βάση τη ισότητα των επάνω και κάτω από τη μέση καμπύλη και μέχρι το πραγματικό περίγραμμα εμβαδών, μέσα σε καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος  $L$ . Με προς τα κάτω ακόμα παράλληλη μετάθεση της περιβάλλουσας, ώστε αυτή να εφάπτεται στις βαθύτερες εσοχές του περιγράμματος, λαμβάνομε τη καλούμενη κατώτερη περιβάλλουσα.

Και κατά το σύστημα περιβάλλουσας μπορούμε να ορίσουμε χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας παρόμοια με εκείνα που ορίσαμε σύμφωνα με το σύστημα Κεντρικής Γραμμής αντιστοιχίζοντας τη μέση καμπύλη, την περιβάλλουσα και την κατώτερη περιβάλλουσα του συστήματος «Ε» με την κεντρική γραμμή, την ανώτερη και την κατώτερη γραμμή αναφοράς του συστήματος <M>.



**Εικ 5.2.4:** Χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας επιφάνειας κατά το σύστημα περιβάλλουσας (E) [7].

### 5.3 Βασικές εθνικές προδιαγραφές για την τραχύτητα της επιφάνειας.

### 5.3.1 Η βρετανική προδιαγραφή, BS 1134:1961

Βασίζεται στο σύστημα <M> και προτυποποιεί ένα μόνο μέγεθος της τραχύτητας το μέσο ύψος Ra ή τη τιμή CLA ( από τα αρχικά των λέξεων Centre Line Average), που σημαίνουν <<μέση τιμή από την κεντρική γραμμή>> που μετράται σε μικροίντσες μ". Είναι μια πολύ απλή και πρακτική προδιαγραφή.

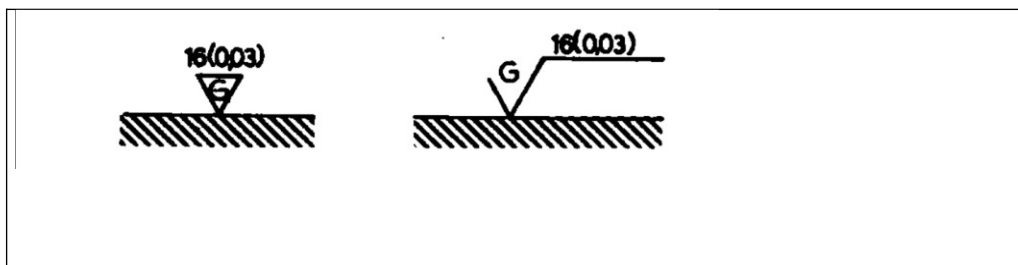
Οι προτυποποιημένες τιμές του μέσου ύψους της τραχύτητας κυμαίνονται από 1μ" έως 1000μ" και τις παρακάτω διαβαθμίσεις:

1,2,3,4,8,16,32,63,125,250,500, και 1000

Η μέτρηση της τραχύτητας προβλέπεται να γίνεται με τη βοήθεια ταχύμετρου με στυλίσκο και για αυτό η προδιαγραφή αυτή προτυποποιεί τις ακόλουθες τιμές μήκους κύματος αποκοπής του οργάνου:

0,0003 0,01,0,03 0,10 0,30 1,00 (")

Η τιμή του 0,03" του μήκους κύματος αποκοπής συνίσταται για μέτρησες σε σχετικά λείες επιφάνειες. Η τραχύτητα επιφανείας συμβολίζεται στα κατασκευαστικά σχέδια σύμφωνα με την προδιαγραφή BS 1134 ως εξής:



**Εικ 5.3.1:** Πρότυπα συμβολισμού τραχύτητας. [7].

Στο σύμβολο αναγράφονται βασικά το μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο ύψος της τραχύτητας Ra πχ.16μ", η τιμή του μήκους κύματος αποκοπής που συνίσταται (πχ.0,03) και το αρχικό γράμμα της κατεργασίας (πχ G για την λείανση).

Για το συμβολισμό της τραχύτητας σε άλλες περιπτώσεις έκτος από το μηχανολογικό σχέδιο (πχ. Στις προδιαγραφές), το πρότυπο αυτό προβλέπει τους παρακάτω τρόπους, που ο καθένας τους παρέχεται με ένα αντίστοιχο παράδειγμα:

A) 16CLA: Η επιφάνεια με μέσο ύψος της τραχύτητας  $\leq$  προς 16μ'' είναι παραδεκτή.

B) 8-16CLA: Το μέσο ύψος της τραχύτητας θα πρέπει να κυμαίνεται σε 8μ'' και 16μ''.

Γ) 8CLA (0,01) : Όπως και στο (α) με την ένδειξη όμως ότι ο αριθμός μέσα στην παρένθεση δηλώνει τη συνιστώμενη τιμή του μήκους κύματος αποκοπής του ταχύμετρου, με το οποίο θα γίνει η μέτρηση, αν είναι διαφορετική από την τιμή 0,03'' . Στην περίπτωση που η τιμή αυτή είναι 0,03'' παραλείπεται.

### **5.3.2 Το αμερικανικό πρότυπο ASAB46.1-1962.ASA από τα αρχικά των λέξεων American Standards Association.**

Προσπάθειες για την προτυποποίηση της τραχύτητας επιφάνειας στις ΗΠΑ άρχισαν από το 1932 και από τότε δημοσιεύθηκαν σχετικές προδιαγραφές κατά τα έτη 1940, 1947, 1952, 1955 με τελευταία προδιαγραφή την B46.1 του 1962.

Το τελευταίο αυτό αμερικανικό πρότυπο για την τραχύτητα επιφάνειας είναι ένα ενοποιημένο Αμερικανικό-Βρετανικό-Καναδικό πρότυπο, που αντιστοιχεί στο βρετανικό BS1134 και στο καναδικό CSAB95-1962.CSA από τα αρχικά των λέξεων Canadian Standards Association.

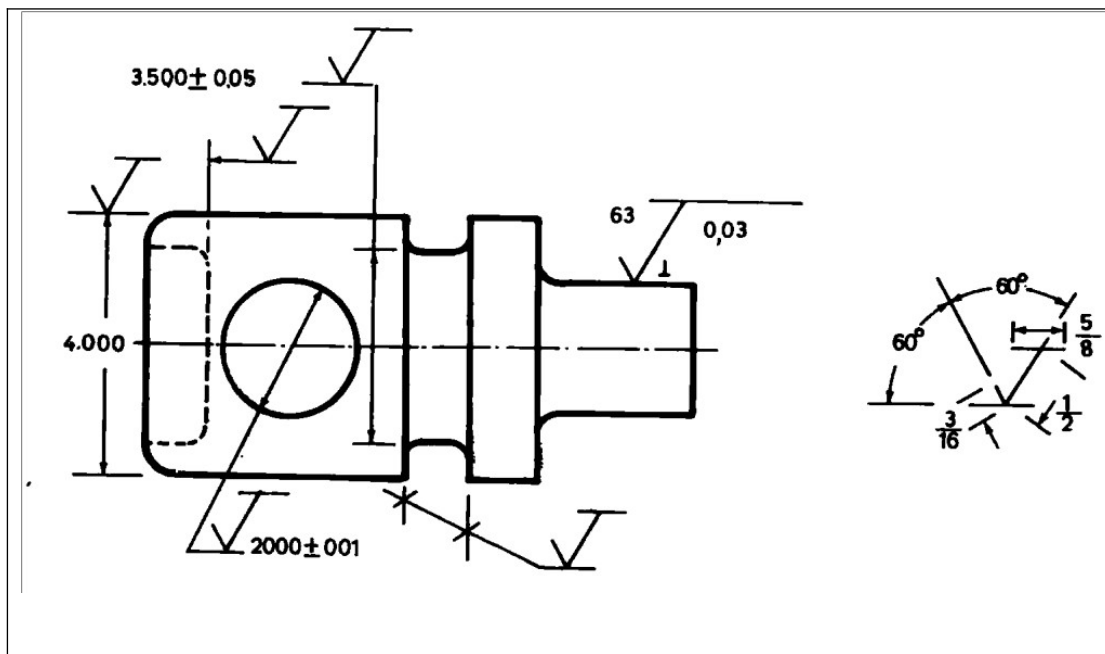
Και το πρότυπο αυτό, όπως και το βρετανικό, που προηγουμένως αναπτύξαμε, βασίζεται στο σύστημα Κεντρικής Γραμμής. Υιοθετεί το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$ , το οποίο συμβολίζεται ως AA (από τα αρχικά των λέξεων Arithmetic Average , που σημαίνει «αριθμητικός μέσος όρος»). Προβλέπει τις ακόλουθες τιμές του μέσου ύψους της τραχύτητας σε μικροΐντσες (μ'').

	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>80</b>	<b>320</b>
	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>100</b>	<b>400</b>
<b>1</b>	<b><u>8</u></b>	<b><u>32</u></b>	<b><u>125</u></b>	<b><u>500</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>160</b>	<b>600</b>
<b>3</b>	<b>13</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	<b>800</b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>16</u></b>	<b><u>63</u></b>	<b><u>250</u></b>	<b><u>1000</u></b>

**Πίνακας 5.3.1:** Πρότυπο πίνακας τραχύτητας Αμερικής [7].

Οι προδιαγραφόμενες τιμές για το μήκος κύματος αποκοπής συμπίπτουν με εκείνες, που προβλέπονται από τη βρετανική προδιαγραφή.

Η παράσταση της τραχύτητας επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο γίνεται με το σύμβολο  $\sqrt{\quad}$ , που μπορούμε να το σχεδιάσουμε είτε επάνω στη γραμμή, η οποία παριστάνει τη θεωρούμενη επιφάνεια στο σχέδιο είτε έξω από τη γραμμή, σε συνδυασμό όμως πάντοτε με κάποιο βέλος που να την δείχνει.



**Εικ5.3.2:** Συμβολισμός της τραχύτητας της επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο σύμφωνα με την αμερικανική προδιαγραφή ASAB46.1-1962 [7].



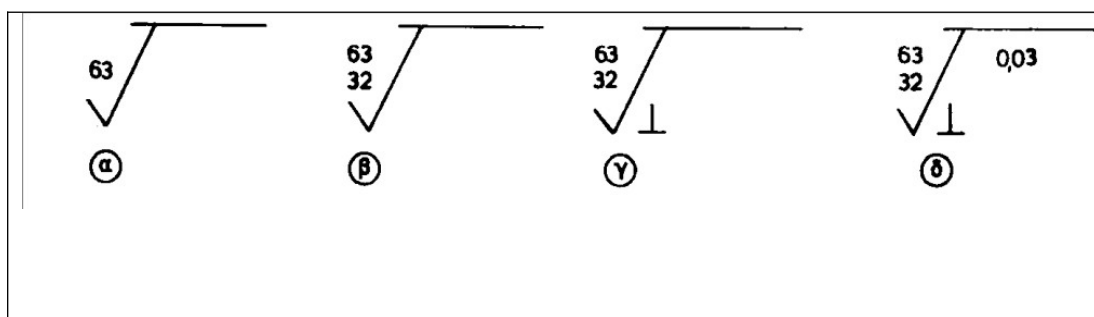
Στο σχήμα 5.3.2 παραθέτουμε μερικά παραδείγματα σχετικά με το συμβολισμό της τραχύτητας στα μηχανολογικά σχέδια, συμφώνα με την εξεταζόμενη αμερικανική προδιαγραφή. Παρακάτω δίνουμε χρήσιμες επεξηγήσεις για τους συμβολισμούς αυτούς της τραχύτητας.

A) Αναγράφουμε το τυποποιημένο μέσο ύψος της τραχύτητας. Κάθε τιμή ίση με αυτό ή μικρότερη του είναι παραδεκτή.

B) Το επιθυμητό μέσο ύψος της τραχύτητας είναι δυνατό να κυμαίνεται ανάμεσα στα αναγραφόμενα όρια ( ανώτερο και κατώτερο).

Γ) Όπως στο (β) με την προσθήκη του συμβόλου  $\perp$  που σημαίνει ότι η μέτρηση πρέπει να γίνει κάθετα προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ανωμαλιών της κατεργασμένης επιφάνειας.

δ) Όπως στο(γ) με επιπρόσθετη αναγραφή του μήκους κύματος αποκοπής (0.03").

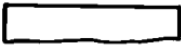
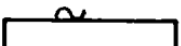
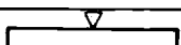
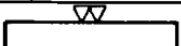
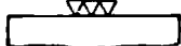
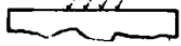


**Εικ5.3.3:** Μερικά παραδείγματα συμβολισμού της τραχύτητας επιφάνειας κατά το αμερικανικό σύστημα [7].

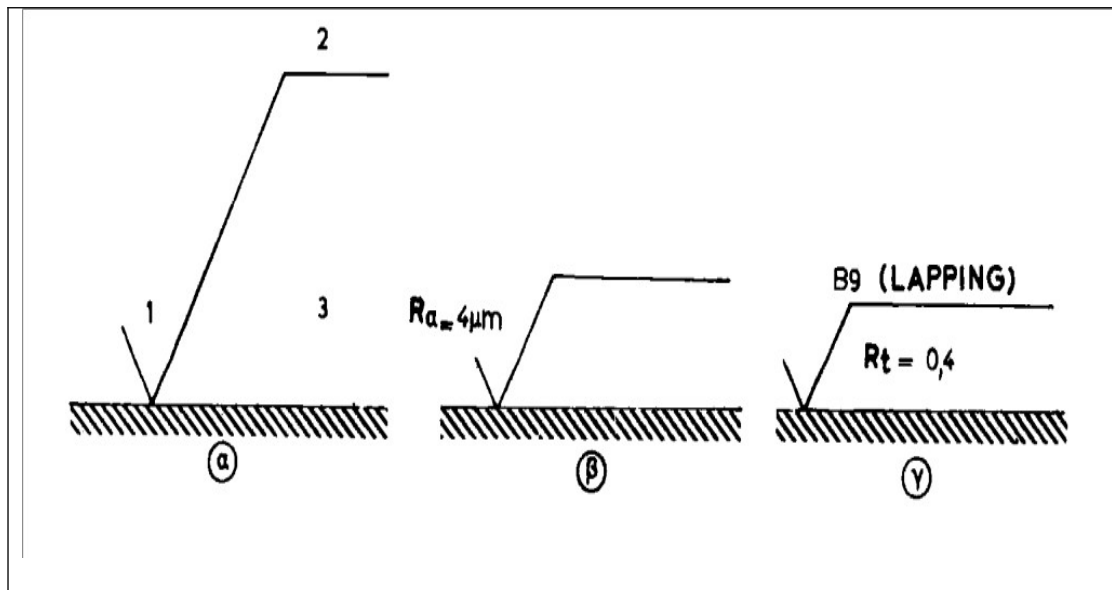
Έτσι μπορούμε να πούμε ότι ο συμβολισμός για την τελευταία περίπτωση, δηλαδή τη (δ), μας λέγει τα εξής: Το μέσο ύψος της τραχύτητας, που θα πρέπει να μετρηθεί κάθετα προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ανωμαλιών της επιφάνειας με τη βοήθεια τραχυμέτρου με στυλίσκο (κατά το σύστημα «M») ρυθμισμένου σε μήκος κύματος αποκοπής 0,03" οφείλει να κυμαίνεται μέσα στην περιοχή από 32μ" μέχρι 63μ".

#### 5.3.4 Οι γερμανικές προδιαγραφές

. Η προδιαγραφή DIN 4760 (του 1960) αναφέρεται σε θεμελιώδεις ορισμούς σχετικά με τη γεωμετρία της κατεργασμένης επιφάνειας και η προδιαγραφή DIN4762 (του 1960) εισάγει το σύστημα περιβάλλουσας και δίνει ορισμούς για χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας επιφάνειας. Το πρότυπο DIN4763 προτυποποιεί τιμές για το μέγιστο ύψος της τραχύτητας  $R_t$  από 0,04 $\mu\text{m}$  έως 2500  $\mu\text{m}$  και για το μέσο της ύψος  $R_a$  από 0,05  $\mu\text{m}$  μέχρι 250  $\mu\text{m}$ . Οι προβλεπόμενες αυτές τιμές για την  $R_t$  και  $R_a$  ακολουθούν γεωμετρική πρόοδο με λόγο 1,6. Σχετικά με την παράσταση της τραχύτητας επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο, από το ένα μέρος το DIN3141 χρησιμοποιείται γνωστά ανεστραμμένα τρίγωνα συσχετίζοντάς τα όμως με το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος της τραχύτητας  $R_t$  (για τέσσερις σειρές βαθμού τραχύτητας Πίνακας5.2.2) και από το άλλο σύμφωνα με το DIN 3142 προβλέπεται το σύμβολο που βλέπομε στο σχήμα 5.2.στ.

Συμβολισμός	Επιτρεπόμενη μέγιστη τιμή της τραχύτητας $R_t$ σε $\mu\text{m}$			
	Σειρά 1	Σειρά 2	Σειρά 3	Σειρά 4
				
				
	160	100	63	25
	40	25	16	10
	16	6,3	4	2,5
	—	1	1	0,4

Πίν 5.3.2: Συμβολισμός της τραχύτητας επιφάνειας σύμφωνα με το DIN3141[7].



**Εικ5.3.4α:** Συμβολισμός της τραχύτητας επιφάνειας στο μηχανολογικό σχέδιο κατά τη γερμανική προδιαγραφή DIN 3142 [7]. Αναγράφεται το μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο ύψος της τραχύτητας. Αναφέρεται το είδος της κατεργασίας. Παρατίθεται οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος της τραχύτητας κατά περίπτωση, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της τραχύτητας είναι 4μm. Επιφάνεια κατεργασμένη με λάππινγκ (είναι μία κατεργασία συναφής με τη λείανση, που δίνει όμως μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη τραχύτητα επιφάνειας) με επιτρεπόμενο μέγιστο ύψος 0,4μm.

Η προδιαγραφή του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησης, ISO/R468.

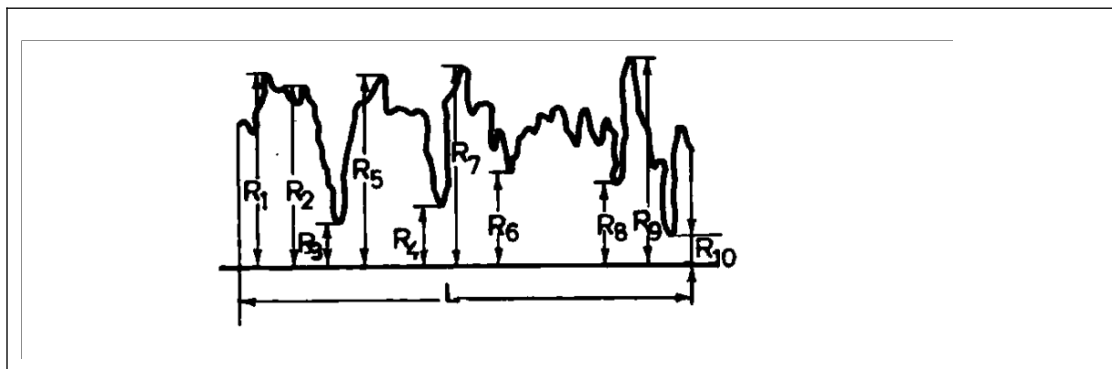
Με την προδιαγραφή αυτή του ISO υιοθετείται για την προτυποποίηση της τραχύτητας επιφάνειας το σύστημα Κεντρικής Γραμμής. Ως μεγέθη μέτρησης της τραχύτητας προβλέπονται:

Το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_{max}$  και το υπολογιζόμενο ύψος της τραχύτητας  $R_z$  με την βοήθεια δέκα σημείων σύμφωνα με τη σχέση:  $R_z =$

$$\frac{(R_1 + R_2 + R_5 + R_7 + R_9)}{5} \quad (R_3 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})$$

Το ύψος δηλαδή της τραχύτητας δίνεται ως η μέση διαφορά ανάμεσα στις αποστάσεις των πέντε υψηλότερων σημείων και των πέντε βαθύτερων εσοχών του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας( μέσα πάντοτε στο

καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος) από μια γραμμή αναφοράς παράλληλη προς την κεντρική γραμμή περιγράμματος.



**Εικ 5.3.4β:** Στοιχεία για τον προσδιορισμό του ύψους Rz της τραχύτητας σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/R486.(

Για το Ra προβλέπονται τιμές στην περιοχή από 0.008μm μέχρι 100μm και για το Rz οι προσωποποιούμενες τιμές κυμαίνονται από 0.040μm έως 400μm με λόγο γεωμετρικής προόδου 1.25 ο οποίος είναι δυνατό για εθνικά πρότυπα χώρων μελών του ISO να ληφθεί έως και 1.6.

Το μήκος κύματος αποκοπής του τραχυμέτρου λαμβάνεται ως:

0.08 0.25 0.80 2.50 8.00 25.00

### 5.3.5 Η ελληνική προδιαγραφή ENO/1065(1973)

Συμπίπτει με την προδιαγραφή του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησης ISO/R468 Όργανα για τη μέτρηση και τον έλεγχο της τραχύτητας.

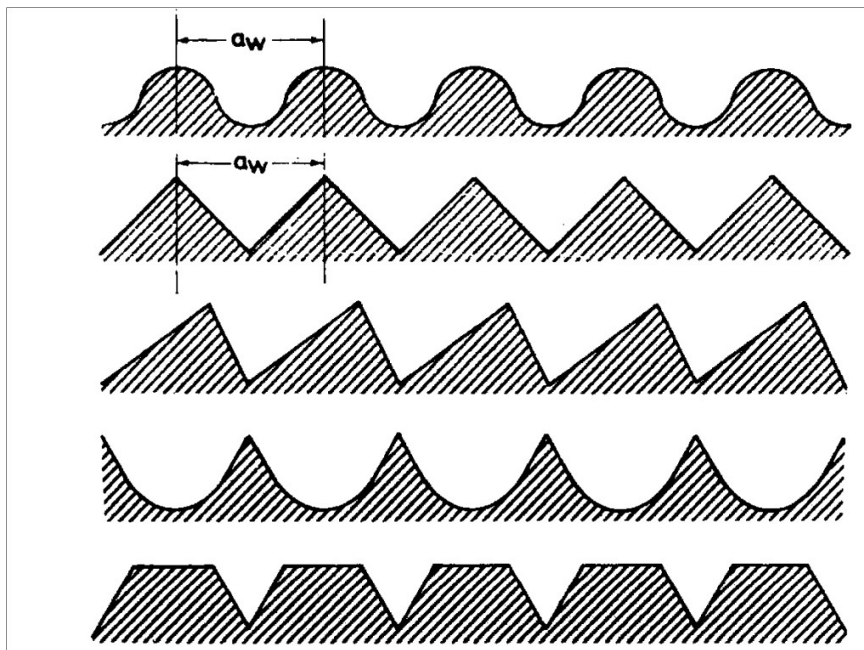
Το πρόβλημα της μέτρησης και του ελέγχου γενικά της τραχύτητας επιφάνειας, όπως το αντιμετωπίζουμε σήμερα στο μηχανουργείο, στηρίζεται στις εξής δύο βασικές απαιτήσεις:

α) Στην εκλογή, αν αυτό είναι δυνατό, ενός μόνου μεγέθους της τραχύτητας, που να είναι αντιπροσωπευτικό, να είναι προτυποποιημένο και να μπορεί να μετρηθεί εύκολα και

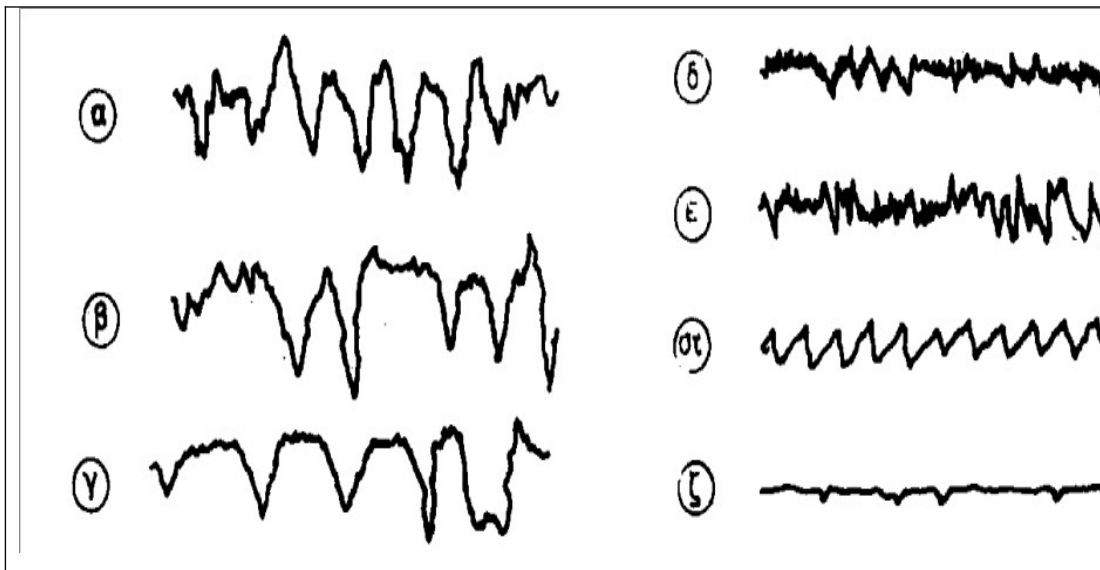
β) στο χαμηλό κόστος κτήσεως του οργάνου ή μέσου για τη μέτρηση ή τον έλεγχο της τραχύτητας.

Και μάλιστα ,αν μπορεί αυτό να γίνει ,σε ύψος κόστους των συνηθισμένων οργάνων για τη μέτρηση διαστάσεων.

Και ως προς την πρώτη απαίτηση έχει γίνει παραδεκτό και έχει συμφωνηθεί πλέον, τόσο από τους ασχολούμενους με το θέμα της τραχύτητας επιστήμονες και τεχνολόγους, όσο και από Οργανισμούς Προτυποποίησης ότι το μέσο ύψος της τραχύτητας  $R_a$  είναι το ενδεδειγμένο για εκλογή χαρακτηριστικό μέγεθος, με αναφορά όμως απαραίτητως και του είδους της κατεργασίας κοπής, που θα χρησιμοποιηθεί για το σχηματισμό μιας επιφάνειας . Και αυτό είναι ανάγκη να γίνει, γιατί είναι δυνατό πραγματικά περιγράμματα επιφανειών να έχουν εντελώς διαφορετική μορφή, ενώ παρουσιάζουν το ίδιο μέσο ύψος  $R_a$  και βήμα  $a_w$  τραχύτητας και πρέπει από τώρα να γνωρίσουμε ότι κάθε κατεργασία κοπής αποδίδει χαρακτηριστική μορφή επιφάνειας.



**Εικ.5.3.5α:** Πραγματικά περιγράμματα επιφανειών με το ίδιο μέσο ύψος και βήμα τραχύτητας έχουν διαφορετικό σχήμα [7].



**Εικ5.3.5β:**Μορφές πραγματικού περιγράμματος επιφανειών, που έχουν παραχθεί με διάφορες κατεργασίες κοπής [7]. (α,β) Τελική κατεργασία με τórνευση.(γ) Τελική κατεργασία με φραιζάρισμα. (δ)Λείανση, (ε)Γλύφανση. (στ) Τórνευση με εργαλείο από διαμάντι,(ζ) Λάππιγκ.

Σχετικά με τη δεύτερη απαίτηση, παρατηρούμε ότι το κόστος ενός οργάνου για τη μέτρηση της τραχύτητας (όπως π.χ. ενός τραχυμέτρου με στυλίσκο) είναι πολύ ψηλό ακόμα.

Για τη μέτρηση και τον έλεγχο της τραχύτητας στην παραγωγή και στο μετρολογικό εργαστήριο χρησιμοποιούνται σήμερα ποικίλα όργανα. Μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες: Στα όργανα για κατευθείαν μετρήσεις της τραχυτήτας και σε όργανα για ποιοτικές συγκρίσεις.

Με τα πρώτα μετρούμε αριθμητικά ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά μεγέθη της τραχύτητας ή μπορούμε να πάρουμε το πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας υπό μεγάλες σχετικά μεγεθύνσεις. Τα όργανα της κατηγορίας αυτής μπορούμε να τα συναντήσουμε ως μηχανικά, ως μηχανικά-ηλεκτρονικά με στυλίσκο ή ως οπτικά. Ξεχωρίζουμε εδώ τα μηχανικά-ηλεκτρονικά όργανα με στυλίσκο ή τραχύμετρα με στυλίσκο, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ευρύτατη κλίμακα και με τα οποία θα ασχοληθούμε αμέσως παρακάτω.

Στα όργανα για ποιοτικές συγκρίσεις ανήκουν ορισμένα ειδικά μικροσκόπια ή και απλά μεταλλογραφικά ακόμα μικροσκόπια. Ως μέσο για ποιοτικές συγκρίσεις αναφέρουμε τα πρότυπα δοκίμια σύγκρισης.

## 5.4 Η λειτουργία του ταχύμετρου

Στο πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας μου χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε αρκετά όργανα ακριβείας και ένα από αυτά που χρησιμοποιήθηκε και αποτελεί το βασικό σκοπό του αποτελέσματος είναι το τραχύμετρο. Το τραχύμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι μάρκας INSIZEISR – C002. Το συγκεκριμένο τραχύμετρο που απεικονίζεται παρακάτω είναι το συγκεκριμένο που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα και ακολουθεί ο συγκεκριμένος τρόπος που εφαρμόστηκε κατά την διαδικασία των μετρήσεων μας και η ανάλυση λειτουργίας του τραχύμετρου για την ευκολότερη κατανόηση όλων μας.



**Εικ5.4.1:** Η συσκευή τραχυμέτρου του πειράματος.

Στην συνέχεια θα εξηγήσουμε την λειτουργία του συγκεκριμένου τραχύμετρου και δυνατότητες και επιλογές που έχουμε στην διάθεση μας κατά την λειτουργία του. Αρχικά το τραχύμετρο με την βοήθεια ενός συνοδευτικού λογισμικού Surface Roughness TesterV1.1 έχει την δυνατότητα να συνδέεται με τον υπολογιστή και με την βοήθεια αυτή έχουμε απευθείας τα αποτελέσματα μας στην οθόνη. Με την μέθοδο αυτή χρησιμοποιούμε ένα όργανο που έχει ένα στέλεχος η οποία καταλήγει σε ακίδα και δύναται να ανεβοκατεβαίνει ‘



ανάλογα με τις ανωμαλίες-ανομοιορφίες με τις οποίες συναντά κατά την μέτρηση του. Η επιφάνεια του αντικείμενου που εξετάζουμε παραμένει ακίνητη και το στέλεχος της ακίδας κινείται ευθύγραμμα με σταθερή ταχύτητα. Η ακίδα κατά την κίνηση του στελέχους εφάπτεται συνεχώς στην προς εξέταση επιφάνεια. Στην συνέχεια το τραχύμετρο πριν από κάθε μέτρηση βαθμονομείται με ένα συγκεκριμένο τρόπο βάση του κατασκευαστή. Στην εικόνα υπάρχει το τραχύμετρο και ένα πρότυπο πλακίδιο του κατασκευαστή το οποίο βοηθά στη βαθμονόμηση του τραχύμετρου.

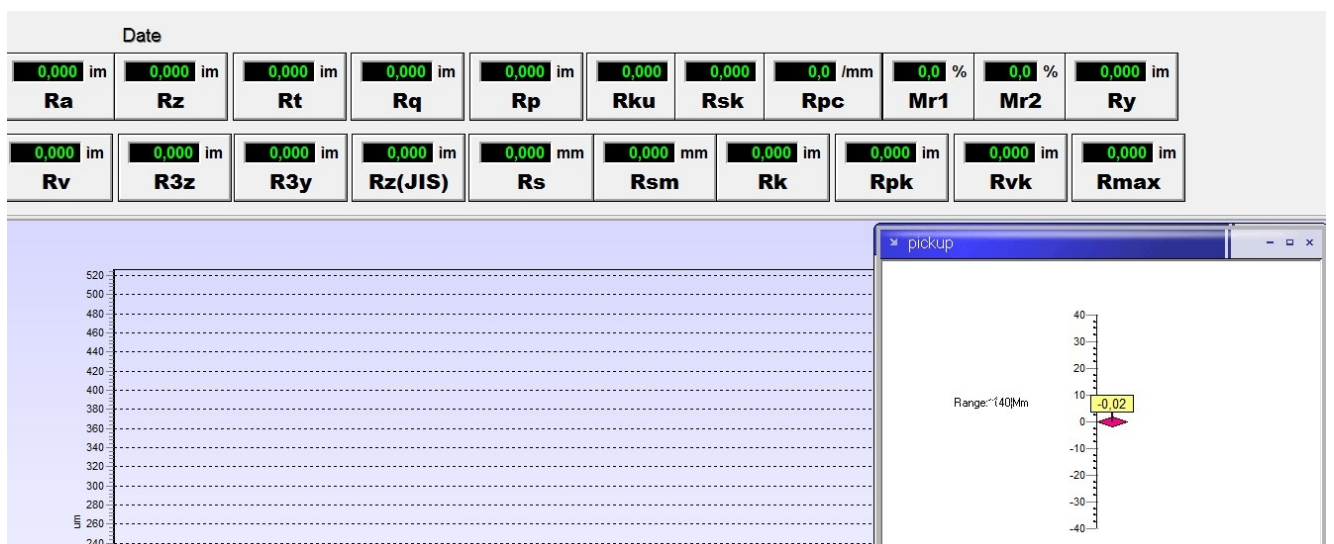


**Εικ5.4.2:** Η βαθμονόμηση του τραχυμέτρου πριν από τις μετρήσεις του πειράματος.

Επιπλέον αφού το τραχύμετρο μας είναι έτοιμο προς μέτρηση τοποθετούμε το δοκίμιο μας κάτω από την ακίδα με το τραχύμετρο να είναι σταθερό και να κινείται μόνο η ακίδα πάνω στο δοκίμιο μας και συνεχίζουμε πριν την μέτρηση στον μηδενισμό του τραχύμετρου. Στο τραχύμετρο μας ο μηδενισμός γίνεται με τις δυο ρέγουλες που υπάρχουν πάνω στο τραχύμετρο. Αυτό γίνεται αντιληπτό στις παρακάτω εικόνες.

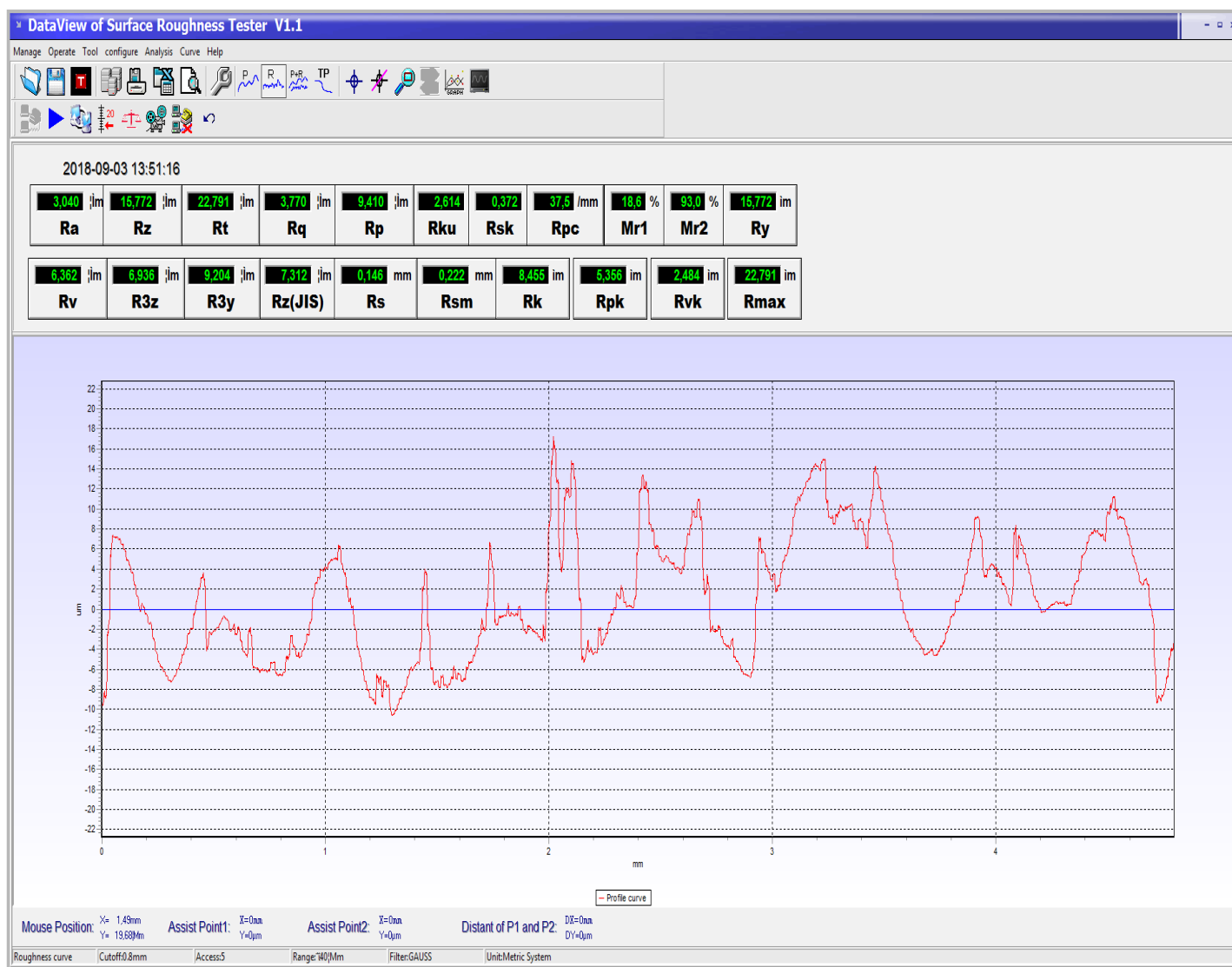


**Εικ5.4.3:** Απεικόνιση μηδενισμού της συσκευής του τραχυμέτρου πριν από τις μετρήσεις του πειράματος.



**Εικ5.4.4:** Απεικόνιση μηδενισμού της συσκευής του τραχυμέτρου διάμεσου του λογισμικού. (πηγή [8]).

Το επόμενο βήμα το οποίο ακολουθεί είναι ένα τυπικό παράδειγμα μέτρησης ενός δοκιμίου για να κατανοήσουμε την λειτουργία του τραχύμετρου σε σύνδεση με τον υπολογιστή και το λογισμικό μας. Στην εικόνα που ακολουθεί έχουμε ένα παράδειγμα μιας μέτρησης.



**Εικ5.4.5:** Απεικόνιση πραγματικής μέτρησης της τραχύτητας [8].



## 5.5 Η διεξαγωγή του πειράματος και η προσέγγιση της τραχύτητας

Για την διενέργεια του πειράματος μου και την διεξαγωγή της πτυχιακής χρειάστηκα αρκετά εργαλεία όπως έχουμε αναφέρει στα παραπάνω κεφάλαια, αλλά ένα ακόμη υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν τα δοκίμια χάλυβα St52 αρχικού πάχους 30mm. Στα συγκεκριμένα δοκίμια η μόνη επεξεργασία που χρειάστηκε ήταν ένα φινίρισμα με αφαίρεση υλικού 0.2mm στην εργαλειομηχανή του τόννου για το κεντράρισμα του κάθε δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα δηλαδή στο επόμενο βήμα στην εργαλειομηχανή της λείανσης για να επιτύχω τον τελικό σκοπό.



**Εικ5.5:** Αρχική μορφή δοκιμίων πριν την επεξεργασία της λείανσης.

Το επόμενο βήμα, μετά την ολοκλήρωση της επιφάνειας των δοκιμίων ήταν να επεξεργαστούμε στην εργαλειομηχανή της λείανσης με διάφορους παραμέτρους βάση και των δυνατοτήτων της εργαλειομηχανής που διαθέτουμε στο τμήμα μας και να φτάσουμε σε κάποια τελικά αποτελέσματα. Τα βασικά χαρακτηριστικά που καθόρισαν και τα αποτελέσματα του πειράματος όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω ήταν η εργαλειομηχανή λείανσης δηλαδή οι στροφές που διαθέτει σε καθεμία διαφορετική ταχύτητα, η πρόωση της μηχανής όπου και αυτήν ρυθμίζεται με τον συγκεκριμένο μοχλό, η ποιότητα του λειαντικού τροχού, και το δοκίμιο χάλυβα St52 που χρησιμοποιήθηκε. Στις παρακάτω εικόνα

απεικονίζονται τα δοκίμια χάλυβα St52 κατά την επεξεργασία στην εργαλειομηχανή της λείανσης και η τελική ποιότητα επιφάνειας πριν από την μέτρηση της τραχύτητας.



**Εικ5.5.1:** Απεικόνιση των δοκιμίων κατά την επεξεργασία στην εργαλειομηχανή λείανσης.



**Εικ5.5.2:** Τελική ποιότητα δοκιμίων πριν την διαδικασία της τραχυμέτρησης.



Το επόμενο βήμα και το πιο καθοριστικό για το ρόλο της εργασίας ήταν να μπορέσω να ετοιμάσω μια ποιότητα επιφάνειας για το καθένα ξεχωριστά δοκίμιο μέσω της εργαλειομηχανής της λείανσης έτσι ώστε να καταλήξω στις μετρήσεις της τραχύτητας με την βοήθεια του ταχύμετρου. Στις εικόνες που ακολουθούν απεικονίζονται μετρήσεις ποιότητας επιφάνειας.



**Εικ5.5.3:** Ακριβής προσδιορισμός ποιότητας επιφάνειας μέσω του ταχύμετρου αργής ταχύτητας.



**Εικ 5.5.4:** : Ακριβής προσδιορισμός ποιότητας επιφάνειας μέσω του ταχύμετρου γρήγορης ταχύτητας.

## 5.6 Τελικά αποτελέσματα τραχύτητας

Αφού λοιπόν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της τραχύτητας, τα αποτελέσματα τα όποια καταγράφηκαν για παραμέτρους της τραχύτητας Ra , Rz και Rmax. Αυτοί οι παράμετροι θεωρούνται σημαντική για την διερεύνηση της ποιότητας επιφάνειας μέσα από την διαδικασία της λείανσης. Στους παρακάτω πίνακες έχουμε συγκεντρώσει τα τελικά αποτελέσματα τραχυμέτρησης για υλικό St52 και πάχους 29mm για διαφορετικές ταχύτητες κοπής, δηλ την αργή και την γρήγορη ταχύτητα.

Επιλογές ταχυτήτων	Στροφές μηχανής (rpm)	Πρόωση λειαντικής μηχανής (mm/rev)	Ra(μm)	Rz(μm)	Rmax(μm)	Αφαίρεση υλικού δοκιμίων (mm)
1	30	6	1,16	8,869	12,001	0,8
2	90	6	0,992	6,815	7,903	0,8
3	120	6	1,012	7,83	10,172	0,8
4	150	6	1,384	8,996	10.587	0,8

**Πιν5.6.1:** Αποτελέσματα μετρήσεων τραχύτητας αργής ταχύτητας για υλικό St52 πάχους 29 mm

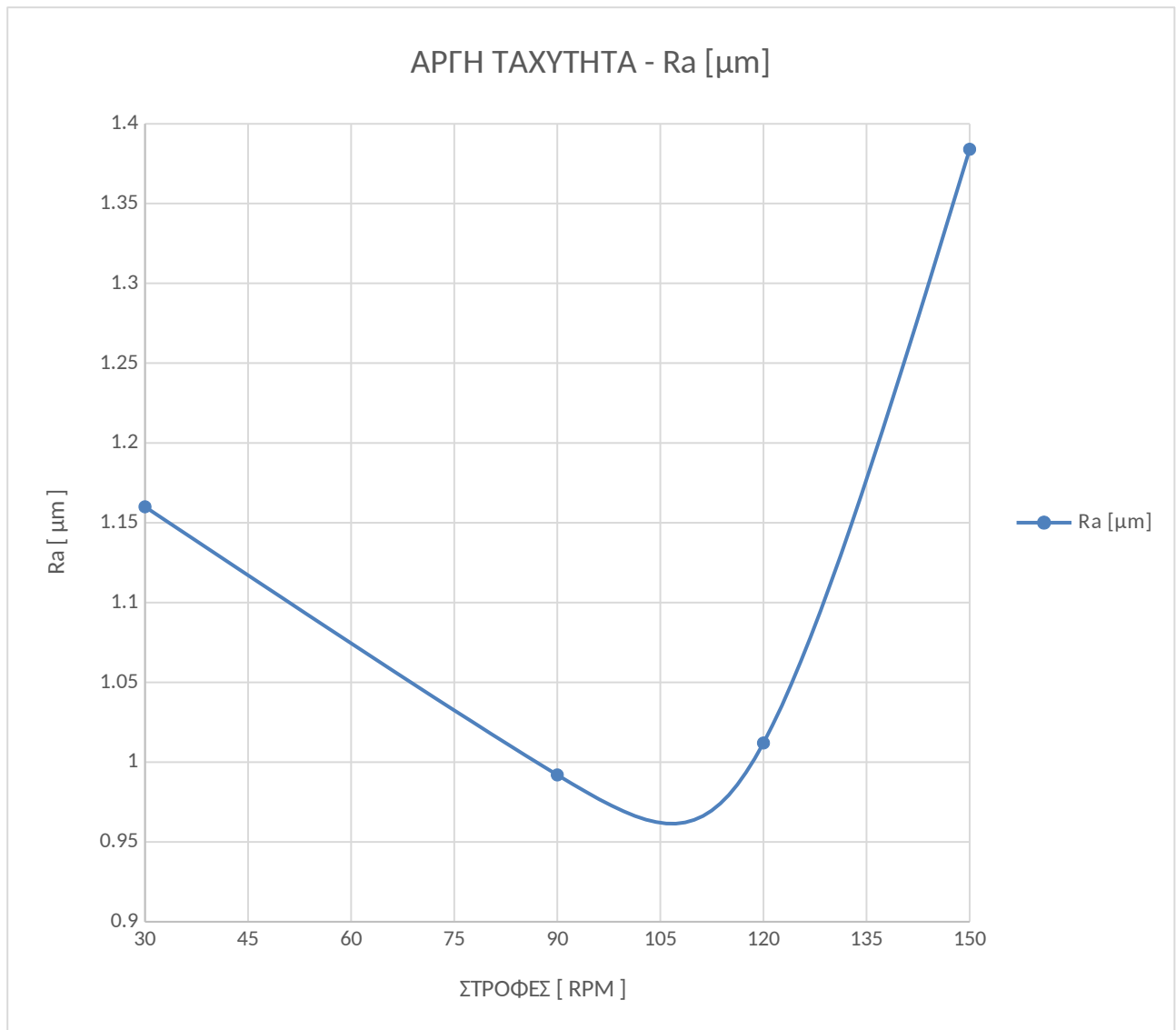
Στην συνέχεια ακολουθεί πίνακας μετρήσεων για την γρήγορη ταχύτητα

Επιλογές ταχυτήτων	Στροφές μηχανής (rpm)	Πρόωση λειαντικής μηχανής (mm/rev)	Ra(μm )	Rz(μm )	Rmax(μm )	Αφαίρεση υλικού δοκιμίων (mm)
1	60	6	1,376	9,718	12,27	0,8
2	180	6	1,27	7,903	9,464	0,8
3	240	6	1,205	8,635	11,831	0,8
4	300	6	1,217	7,889	9,904	0,8

**Πιν5.4.2** Αποτελέσματα μετρήσεων τραχύτητας γρήγορης ταχύτητας για υλικό St52 πάχους 29 mm.

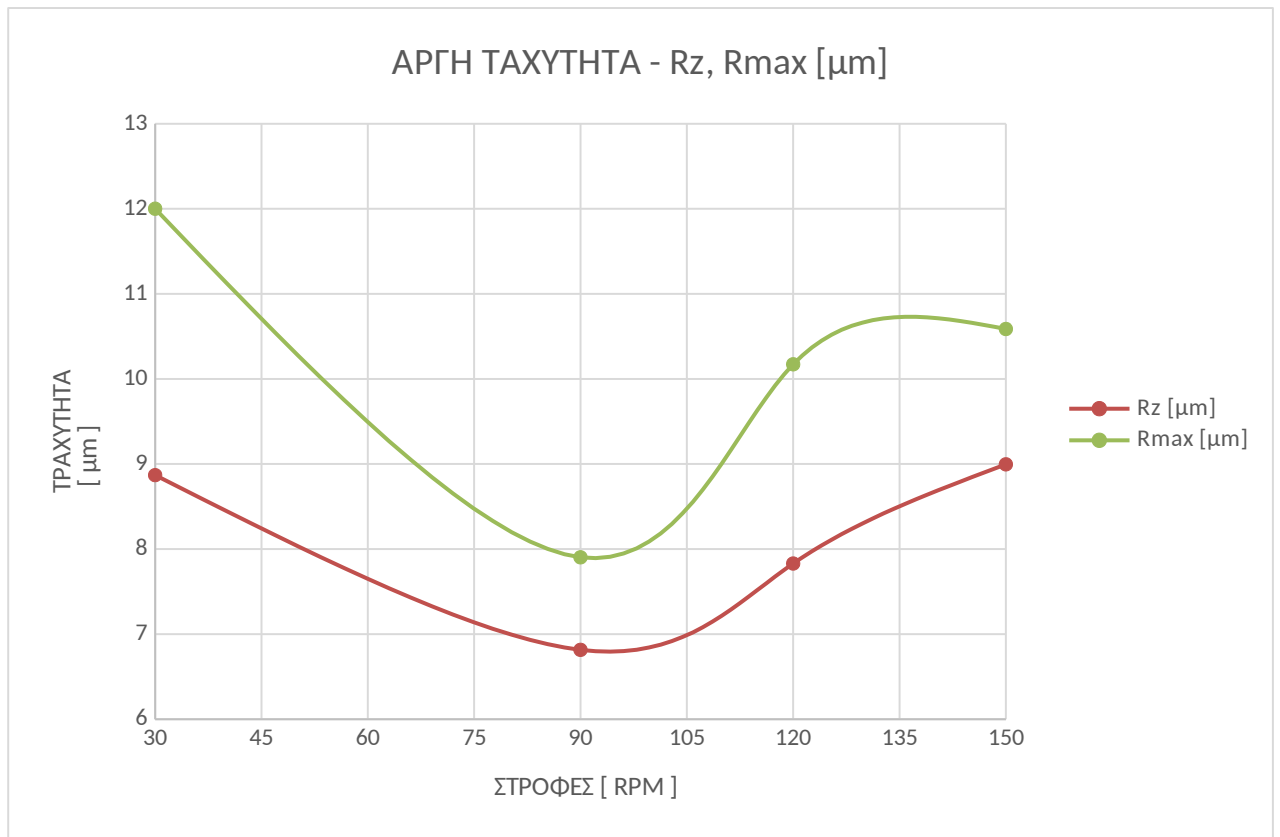
Αφού έχουμε συγκεντρώσει τα αποτελέσματα σε δυο πίνακες παραπάνω, σ' αυτό το σημείο θα απεικονίσουμε και τις γραφικές παραστάσεις για την κατανόηση της τραχύτητας σε συνάρτηση με τις στροφές την μηχανής λείανσης

Διαγράμματα αργής ταχύτητας :



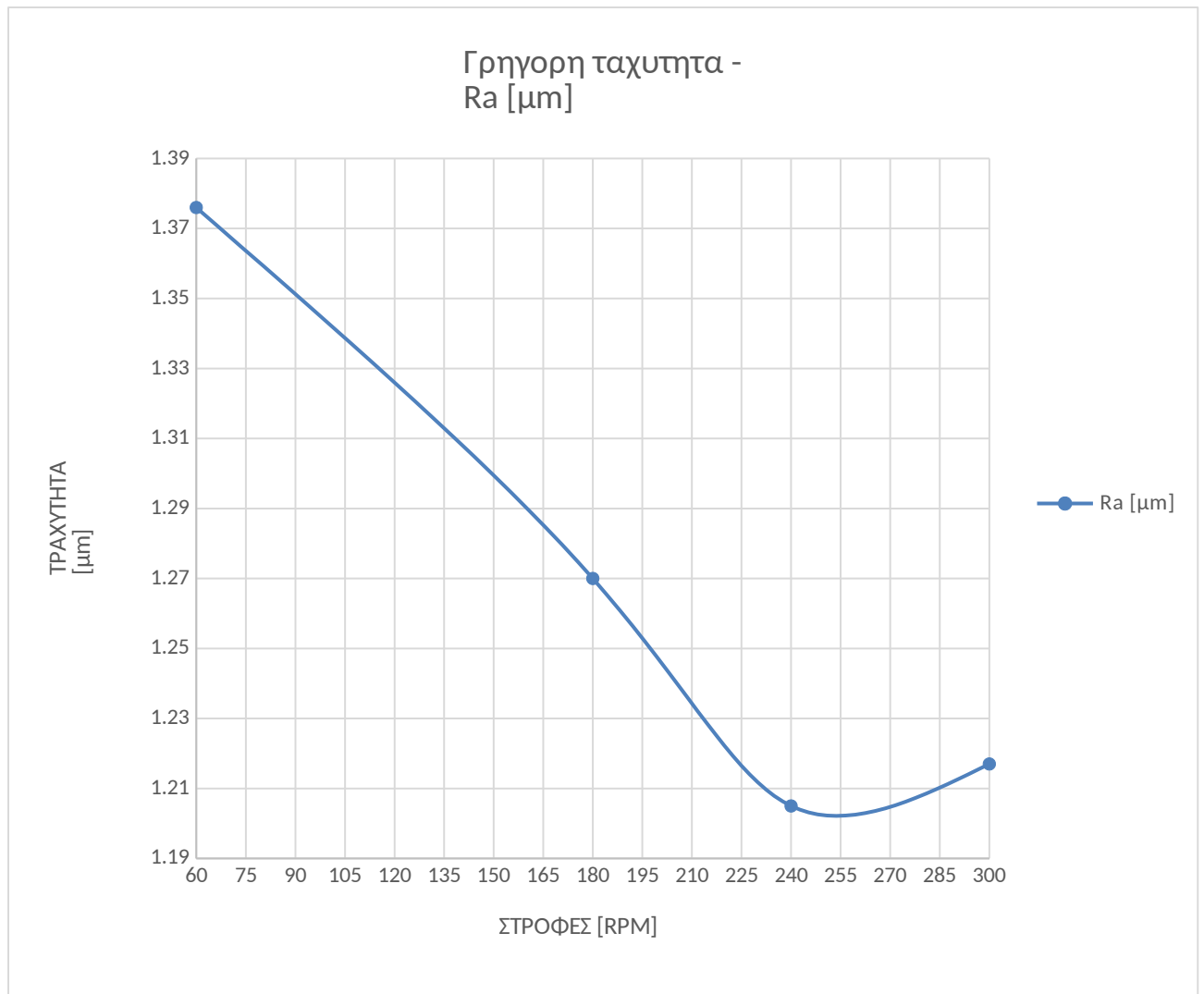
Διάγραμμα 1: Αποτέλεσμα τραχύτητας για Ra ( $\mu\text{m}$ ) για υλικό St52 πάχους 29 mm



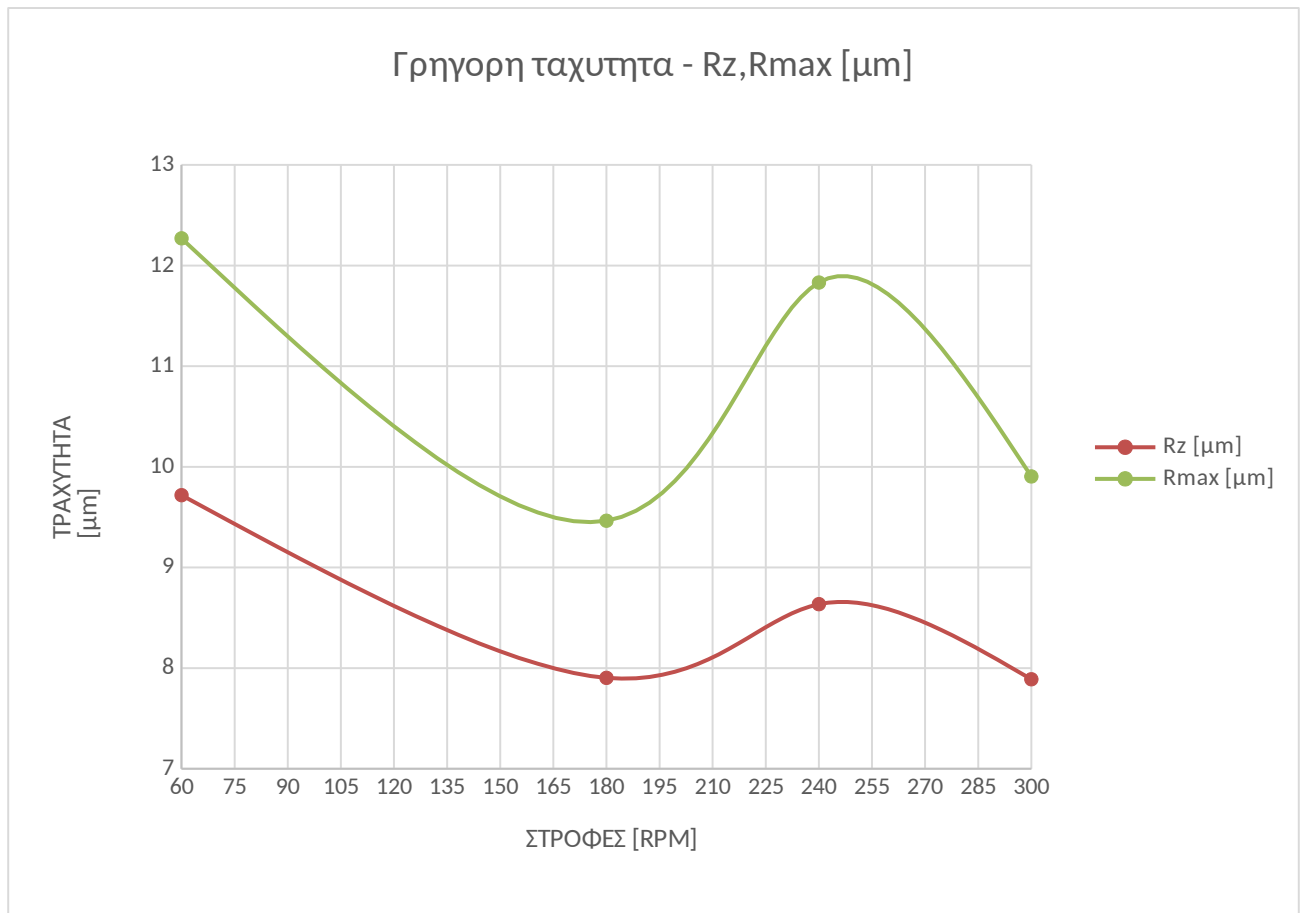


Διάγραμμα 2: Αποτελέσματα τραχύτητας για Rz ( $\mu\text{m}$ ), Rmax ( $\mu\text{m}$ ) για υλικό St52 πάχους 29mm

Ακολουθούν τα διαγράμματα για την γρήγορη ταχύτητα:



Διάγραμμα 3: Αποτέλεσμα τραχύτητας για Ra( $\mu\text{m}$ ) για υλικό St52 πάχους 29 mm



Διάγραμμα 4: Αποτελέσματα τραχύτητας για Rz( $\mu\text{m}$ ), Rmax( $\mu\text{m}$ ) για υλικό St52 πάχους 29mm

## 6 Συμπεράσματα

Ύστερα από την ανάθεση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας και μετά από αρκετά μεγάλο διάστημα μπορώ να έχω αρκετά συμπεράσματα και αρκετές γνώσεις μέσα από όλη αυτή την προσπάθεια μου. Αρχικά, μπόρεσα να κατανοήσω πως εκμεταλλεύτηκε ο άνθρωπος τη λίθινη εποχή και μέχρι σήμερα που έχει καταλήξει. Αναλυτικότερα γνώρισα όλες τις μεθόδους λείανσης έστω σε θεωρητικό επίπεδο που χρησιμοποιούνται στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Το μεγαλύτερο κομμάτι όμως που γνώρισα ήταν η μέθοδος της εξωτερικής λείανσης σε ατράκτους και σε πειραματικό επίπεδο με την βοήθεια της λειαντικής μηχανής που διαθέτει το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης και με την χρήση άλλων τεχνικών μέσων όπως το στροφόμετρο και το τραχύμετρο να καταλήξω στην μέτρηση της ποιότητας της επιφάνειας ατράκτων στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Έπειτα από την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των δοκιμίων και μετά από πολύ προσωπικό κόπο μπόρεσα να κατανοήσω ολοκληρωτικά και την λειτουργία της λειαντικής μηχανής με όλες τις παραμέτρους που έχει ως μηχανήμα. Γνώρισα επίσης την συσκευή του τραχύμετρου και με την βοήθεια του παραπάνω να καταλήξω σε ένα ορθό αποτέλεσμα βάση της τραχύτητας που προέκυπτε μετά από κάθε μέτρηση να κατανοήσω και την κατάλληλη ποιότητα επιφάνειας που προέκυπτε σε μια άτρακτο μετά την επεξεργασία της λείανσης. Επιπλέον μπόρεσα να κατανοήσω όλα τα μετρητικά συστήματα που έχουν καταγράψει για την μέτρηση της ποιότητας επιφάνειας σε όλο τον κόσμο. Ακόμη με την βοήθεια του τραχύμετρου και του λογισμικού που διαθέτει μπορεί κανείς να διακρίνει τις μεταβολές που δέχεται η ποιότητα επιφάνειας μετά από κάθε επεξεργασία της λείανσης.

## 7 Βιβλιογραφία

- [1] Ρεκτιφιέ Σακελλαρόπουλος 2018, Λαρισα
- [2] Κ.-Δ.Ε. Μπουζάκης (2013). Μηχανουργικές μορφοποιήσεις της μη συνεκτικής ύλης. Εισαγωγή στις μηχανουργικές μορφοποιήσεις της στερεάς ύλης. Θεσσαλονίκη.
- [3] Α.θ. Αντωνιάδης (2011). Μηχανουργική τεχνολογία Τόμος Β΄: Κατεργασίες κοπής . Θεσσαλονίκη.
- [4] Εγχειρίδιο λειαντική ζμηχανής: Operating manual OMICRON ROBBI Verona Italy.
- [5] Πετροπούλου (1998). Μηχανουργική τεχνολογία ΙΙ. Τεχνολογία κατεργασιών κοπής των μετάλλων. Τόμος ΙΙ-Ι. Θεσσαλονίκη
- [6] Α. Μουρλάς (2013). Εργαστήριο τριβολογίας. 1<sup>η</sup> Άσκηση: Μέτρηση τραχύτητας. Αθήνα
- [7] Κ. Λυμπερόπουλος (2011). Τεχνολογία παραγωγής Ι:Εργαστήριο -1:Τραχύτητα. Πανεπιστήμιο Θράκης.
- [8] Λογισμικό Surface Roughness TesterV 1.1