

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ  
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ  
ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΕΡΤΑΛΟΝ GF – 30**

**υπό**

**Αντωνόπουλου Σπύρου**

**Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας**

**Βόλος 2009**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ  
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ  
ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΕΡΤΑΛΟΝ GF – 30**

**υπό**

**Αντωνόπουλου Σπύρου**

**Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας**

**Βόλος 2009**

© 2009 Αντωνόπουλος Σπύρος

**Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).**

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

**Πρώτος Εξεταστής :**  
**(Επιβλέπων)**

**Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος**  
**Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα**  
**Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,**  
**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

**Δεύτερος Εξεταστής :**

**Δρ. Αλέξης Κερμανίδης**  
**Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Βιομηχανίας , Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**

**Τρίτος Εξεταστής :**

**Δρ. Νικόλαος Χασιώτης**  
**Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός , Τμήμα**  
**Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,**  
**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

## Ευχαριστίες

**Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Πετρόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Αλέξιο Κερμανίδη και κ. Νικόλαο Χασιώτη για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αθανάσιο Βέργο, υπεύθυνο του εργαστηρίου υλικών, για την βοήθειά του σε όλες τις κατεργασίες υλικών που απαιτήθηκαν. Θέλω ακόμα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και τις φίλες μου για την ηθική υποστήριξή τους αλλά και για τις αξέχαστες και πολύ όμορφες στιγμές που μου χάρισαν στα χρόνια της φοιτητικής μας ζωής.**

**Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Γεώργιο και Γεωργία Αντωνοπούλου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.**

**Σπύρος Αντωνόπουλος**

*Στους γονείς μου...*

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ  
ΚΑΤΕΡΓΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ  
ERTALON GF -30**

**ΣΠΥΡΟΣ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ**

**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας , Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας  
2009**

**Επιβλέπων Καθηγητής :** **Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος ,  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα  
Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων κατεργαστικότητας του υλικού ERTALON GF – 30 κάτω από διάφορες συνθήκες, αλλά και για την μελέτη και επεξεργασία των αποβλίπτων της κατεργασίας. Αρχικά παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για τα σύνθετα υλικά και συγκεκριμένα για το ERTALON GF – 30, ενώ παρατίθενται στοιχεία για τον τεχνικό εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα διάφορα είδη αποβλίπτων τα οποία φαίνονται λεπτομερώς σε φωτογραφίες. Ακόμα, στα πλαίσια της μελέτης πραγματοποιήθηκε κατεργασία τόννευσης υπό διαφορετικές συνθήκες κοπής και έγιναν μέτρησεις της τραχύτητας του υλικού, οι οποίες παρατίθενται στο παράρτημα Α. Τέλος, υπολογίζονται οι παράμετροι της κατεργασίας του υλικού για διάφορα θεωρητικά μοντέλα και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

- 1.1. Σύνθετα υλικά..... 8
- 1.2. Σκοπός της εργασίας..... 9

## Κεφάλαιο 2 : Πειραματική διαδικασία

- 2.1. Χαρακτηριστικά μεγέθη της εργαλειομηχανής..... 10
- 2.2. Συνθήκες κοπής κατά την τόννευση..... 12
- 2.3. Περιγραφή ERTALON 66 GF – 30..... 15
  - 2.3.1. Κύρια χαρακτηριστικά και οφέλη..... 17
  - 2.3.2. Εφαρμογές του ERTALON 66 GF – 30..... 18

## Πειραματικά αποτελέσματα

### Κεφάλαιο 3 : Τραχύτητα επιφάνειας

- 3.1. Τραχύμετρο..... 20
  - 3.1.1. Γενικά..... 20
  - 3.1.2. Taylor-Hobson Surtonic3+..... 21
  - 3.1.3. Τα χαρακτηριστικά του..... 27
- 3.2. Ανάλυση περιπτώσεων επιφανειών ERTALON GF-30  
διάφορες τιμές προώσεως..... 29
- 3.3. Η παράμετρος τραχύτητας Ra..... 30
- 3.4. Σχηματισμός και μορφολογία του αποβλίπτου..... 36
  - 3.4.1. Προκαταρκτικές έννοιες και ορισμοί..... 36
  - 3.4.2. Μορφολογία του αποβλίπτου..... 39

## Θεωρητικά μοντέλα

### Κεφάλαιο 4 : Ιδιαιτερότητες της κοπής ινώδων σύνθετων υλικών

➤ 4.1. Μηχανική κοπής ινώδων σύνθετων.....	55
➤ 4.2. Το πρότυπο της ορθογωνικής κοπής.....	59
• 4.2.1.(α) Ο δείκτης ή συντελεστής συμπίεσης του αποβλίπτου.....	59
• 4.2.1.(β) Οι διάφορες ταχύτητες κατά την κοπή των μετάλλων.....	69
• 4.2.1.(γ) Η διατμητική παραμόρφωση κατά την κοπή....	70
➤ 4.3. Δυνάμεις και τάσεις κατά την κοπή.....	71
➤ 4.4. Το μοντέλο ERNST και MERCHANT.....	81
➤ 4.5. Το μοντέλο LEE και SHAFFER.....	90

### Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα

➤ 5.1. Μετρήσεις τραχύτητας.....	93
➤ 5.2. Συλλογή και επεξεργασία αποβλίπτων.....	94
➤ 5.3. Δυνάμεις κοπής.....	95
➤ 5.4. Θεωρητικά μοντέλα.....	95

Βιβλιογραφία.....	97
-------------------	----

Παράρτημα Α.....	98
------------------	----



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Σύνθετα υλικά

Η σύγχρονη ζωή είναι συνυφασμένη με την εκτεταμένη χρήση των τεχνολογικών υλικών. Μια εικόνα γύρω μας είναι ικανή για να μας πείσει πως σε κάθε τομέα εκδήλωσης της ζωής μας βρίσκονται και χρησιμοποιούνται καθημερινά σωρεία τέτοιων ουσιών, οι ιδιότητες των οποίων, τα καθιστούν χρήσιμα σε κατασκευές, μηχανές συσκευές και προϊόντα. Οι βασικές κατηγορίες των τεχνολογικών υλικών είναι τα μέταλλα και τα κράματα τα πολυμερή τα κεραμικά και άλλα σύνθετα υλικά. Η ύπαρξη τους και η χρήση τους συντελούν καταλυτικά στην εξασφάλιση μιας ποιοτικής ζωής στον σύγχρονο κόσμο ενώ καταμαρτυρούν και σημαδεύουν την ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού. Από την πρώτη κιόλας στιγμή, όπου τα υλικά αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε μηχανολογικές ή δομικές κατασκευές, παρουσία δυναμικών είτε στατικών συνθηκών φόρτισης, ανέκυψε και ανακύπτει συνεχώς η ανάγκη εξασφάλισης μιας ασφαλούς και λειτουργικής εφαρμογής τους, με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Αυτό με την σειρά του προϋπέθετε και προϋποθέτει μια βαθεία κατανόηση των ιδιοτήτων του κάθε υλικού προκειμένου να μας γίνει γνωστό το πού και πώς μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε. Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες πλήρωσης των παραπάνω βασικών συνθηκών λειτουργίας, με την συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη εφαρμογής τους, μας έφεραν ως αποτελέσματα της παράλληλα αναπτυσσόμενης έρευνας, με την βοήθεια πειραμάτων, την επιστημονική και την τεχνολογική ανάπτυξη της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών.

Τα σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες χρησιμοποιούνται ευρύτατα για κατασκευαστικούς σκοπούς σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς και κυρίως στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική, δεδομένου ότι παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των μεταλλικών υλικών λόγω του χαμηλού βάρους, της υψηλής στιβαρότητας και της υψηλής ειδικής αντοχής τους. Παρόλο που τα σύνθετα αυτά υλικά συνήθως μορφοποιούνται με ακρίβεια – σχεδόν στην τελική τους μορφή, συχνά υφίσταται ανάγκη περαιτέρω κατεργασίας τους, επίσης υψηλής ακρίβειας. Δηλαδή, εκτελείται μία κατεργασία αποπεράτωσης (finishing) για να επιτευχθεί

η τελική ποιότητα επιφάνειας και η διαστατική ακρίβεια, όταν οι απαιτούμενες ανοχές είναι πολύ στενές και δεν αποδίδονται από την αρχική κατεργασία του σύνθετου υλικού. Σημειώνεται, ότι η τεχνογνωσία της κοπής των μετάλλων δεν μπορεί να μεταφερθεί κατευθείαν στα ενισχυμένα πολυμερή και την «ανορθόδοξη» συμπεριφορά τους κατά τις μηχανικές κατεργασίες. Τούτο οφείλεται κυρίως στην ανισοτροπία και ανομοιογένεια των υλικών αυτών, παράγοντες που επηρεάζουν την κατεργασιμότητά τους.

## 1.2. Σκοπός της εργασίας

Στη συγκεκριμένη εργασία θα μελετήσουμε την τραχύτητα επιφάνειας του υλικού ERTALON GF – 30, το οποίο επεξεργαστήκαμε χρησιμοποιώντας διαφορετικές προώσεις αλλά και ταχύτητες κοπής. Επίσης, κατά την διάρκεια της κατεργασίας πραγματοποιήθηκε συλλογή αποβλίπτων στα οποία έγινε περαιτέρω επεξεργασία και μελέτη. Στη συνέχεια, σύμφωνα με κάποια θεωρητικά μοντέλα, θα υπολογίσουμε και θα παραθέσουμε με διαγράμματα διάφορες παραμέτρους της κοπής των υλικών όπως τη γωνία διατμήσεως, τον δείκτη συμπίεσεως του αποβλίπτου αλλά και τις διατμητικές και ορθές τάσεις που εφαρμόζονται στο υλικό. Τέλος, θα υπολογίσουμε τις δυνάμεις που ασκούνται στο υλικό, χρησιμοποιώντας θεωρητικές σχέσεις, οι οποίες θα συγκριθούν έπειτα με τις δυνάμεις που προήλθαν από τις πειραματικές μετρήσεις που ακολούθησαν την επεξεργασία του υλικού μας.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

---

### 2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

**Η επεξεργασία του δοκιμίου πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανουργικών Κατεργασιών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Χρησιμοποιήθηκε συμβατικός τόρνος τύπου TRIUMPH 2500 της εταιρίας COLCHESTER (Εικόνα 2.1).**



Εικόνα 2.1: Συμβατικός τόννος.

**Τα κυριότερα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:**

**Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του συμβατικού τόννου.**

<b>Απόσταση μεταξύ των κέντρων</b>	<b>L=1250mm</b>
<b>Ύψος κέντρων</b>	<b>H=195mm</b>
<b>Ονομαστική ισχύς</b>	<b>Pe=7.5KW (10HP)</b>
<b>Εύρος περιστροφικών ταχυτήτων ανάλογα με την επιλεγόμενη κλίμακα</b>	<b>15-300</b>
	<b>35-830</b>
	<b>110-2500στροφές/λεπτό</b>
<b>Εύρος προώσεων</b>	<b>S=0,036-1,2πιπι/στροφή</b>
<b>Καθαρό βάρος</b>	<b>G=1500kgr</b>
<b>Χώρα προέλευσης</b>	<b>UK</b>
<b>Ύψος μηχανής (από το έδαφος έως το κέντρο περιστροφής)</b>	<b>1050mm</b>
<b>Ολικό μήκος</b>	<b>2500mm</b>
<b>Ολικό πλάτος</b>	<b>1100mm</b>
<b>Ολικό ύψος</b>	<b>1300mm</b>

## **2.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΠΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ**

**Κατά το πειραματικό μέρος της εργασίας έγινε μέτρηση των μεγεθών της τραχύτητας επιφανειών που έχουν προκύψει από κατεργασίες τórνευσης. Η τórνευση ανήκει στην ομάδα των κατεργασιών κοπής με περιστροφική την πρωτεύουσα κίνηση και μεταφορική την κίνηση της πρόωσης.**

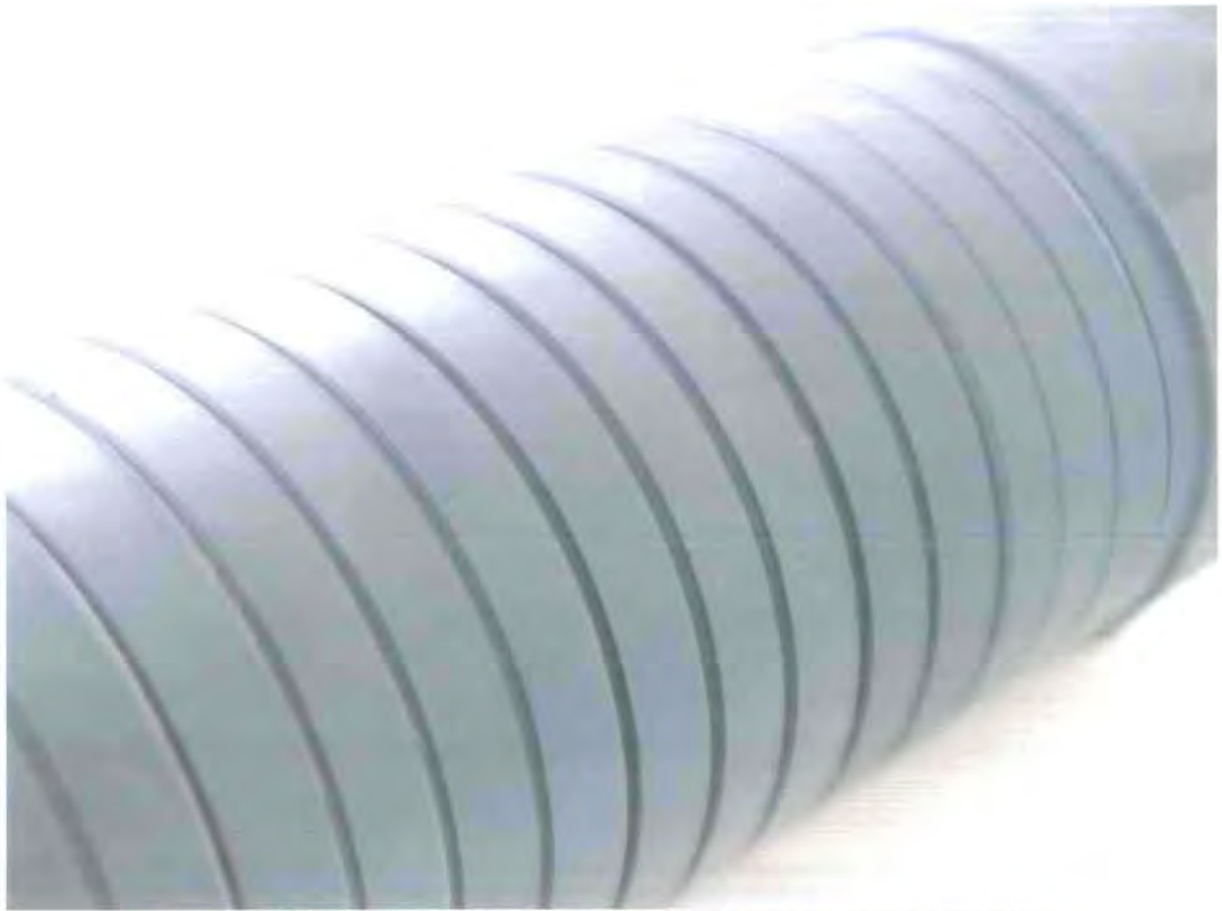
**Το είδος της τórνευσης που εξετάστηκε, ήταν η εξωτερική διαμήκης.**

**Οι συνθήκες κοπής ήταν:**

- **Ταχύτητες κοπής  $V_c=236$  ,  $472$  και  $943$  στρ/min.**
- **Πρόωση  $f =0,05$  -  $0,10$  -  $0,16$  -  $0,20$  -  $0,32$  mm/στρ.**
- **Ακτίνα καμπυλότητας ακής εργαλείου  $r_\epsilon=0,4$  mm**
- **Βάθος κοπής  $p=0,5$ mm (σταθερό για όλες τις κοπές).**

**Όλες οι κοπές έγιναν χωρίς τη χρήση υγρού κοπής.**

**Από τις μέχρι σήμερα δημοσιευμένες έρευνες προκύπτει το συμπέρασμα ότι η κυριότερη παράμετρος της τórνευσης είναι η πρόωση. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε τόσο μεγάλο εύρος προώσεων.**



Εικόνα 2.2 : Το έργο των προώσεων που επιλέχθηκε στην κατεργασία του υλικού

**Από το συνδυασμό των ταχυτήτων κοπής  $U$  και προώσεων  $S$  είναι φανερό ότι πραγματοποιήθηκαν 15 διαφορετικές κοπές. Τα δοκίμια μετά από κάθε μία από αυτές μεταφέρονταν στη βάση του τραχυμέτρου, όπου και τοποθετούνταν κατάλληλα, ώστε να αποφεύγεται η επαφή της νεοκατεργασμένης επιφάνειας με οτιδήποτε θα μπορούσε να της προκαλέσει φθορά και επομένως αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Πριν από τη διαδικασία της μέτρησης ακολουθήσαμε τα παρακάτω βήματα:**

- Η προς μέτρηση επιφάνεια πρέπει να μην επιδέχεται ταλαντώσεις και το όργανο να είναι απόλυτα σταθερό κατά τη διάρκεια της μέτρησης.
- Πάντα τοποθετούνταν το pick up έτσι ώστε ο στυλίσκος να είναι ορατά κάθετος προς τη μετρήσιμη επιφάνεια.
- Η μονάδα του τραχυμέτρου τοποθετούνταν έτσι ώστε να γίνει παράλληλη προς τη μετρήσιμη επιφάνεια.
- Μετά από κάθε μέτρηση η μονάδα του τραχυμέτρου μπορούσε να μετακινηθεί μόλις το pick up άρχιζε το διάστημα επιστροφής.
- Η μέτρηση γίνονταν σε κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της πρόωσης και όχι κάθετα προς τον άξονα αυτό.

Κύριο χαρακτηριστικό της διαμήκης τórνευσης είναι ότι η ταχύτητα κοπής  $U$  μεταβάλλεται γραμμικά με τη διάμετρο του τεμαχίου σύμφωνα με τη σχέση:

$$U = \frac{1000 \cdot N}{\pi \cdot D}$$

Αυτό έχει σαν συνέπεια την εμφάνιση επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης στη διατμητική παραμόρφωση στη ζώνη διάτμησης, ανάλογα με τη φορά της κίνησης της πρόωσης, γεγονός που δημιουργεί διαφορετικές συνθήκες σχηματισμού του αποβλήτου από τη διαμήκη τórνευση ή τη μετωπική με σταθερή ταχύτητα κοπής, με συνακόλουθες επιπτώσεις στις δυνάμεις κοπής, στη φθορά και ζωή του εργαλείου, στην τραχύτητα των κατεργασμένων επιφανειών και σε παράγωγα μεγέθη της κοπής των μετάλλων.

Όλες οι κοπές έγιναν με διμεταλλικό εργαλείο κοπής με ένθετο πλακίδιο από σκληρομέταλλο T10 με τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

<b>Γωνία αποβλήτου</b>	<b><math>\gamma=0^{\circ}</math></b>
<b>Γωνία ελευθερίας</b>	<b><math>\alpha=11^{\circ}</math></b>
<b>Γωνία λοξότητας</b>	<b><math>\lambda_s=0^{\circ}</math></b>
<b>Γωνία θέσης κύριας κόψης</b>	<b><math>\kappa=93^{\circ}</math></b>
<b>Γωνία θέσης δευτερεύουσας κόψης</b>	<b><math>\kappa_1=15^{\circ}</math></b>
<b>Ακτίνα καμπυλότητας της ακής</b>	<b><math>r_o=0.4 \text{ mm}</math></b>

Πίνακας 2.2 : Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου.

## 2.3 Περιγραφή ERTALON 66 – GF30

Έναντι του παρθένου PA 66 αυτή το ποσοστό 30% που αυξάνει την σύσταση του γυαλιού η οποία ενισχύει τις ίνες του νάυλον, σε συνδυασμό με την ακαμψία, την αντίσταση ερπυσμού και την διαστατική σταθερότητα ταυτόχρονα δημιουργούν μια άριστη αντοχή. Επίσης επιτρέπει τη δημιουργία των μέγιστων θερμοκρασιών στις κατεργασίες που χρησιμοποιείται.

Το ERTALON είναι μια χημική ουσία και πιο συγκεκριμένα είναι ένα πολυαμίδιο 66 ( νάιλον 66 ) που αποτελείται από 30% ίνες γυαλιού. Το προϊόν αυτό είναι αρκετά επικίνδυνο σε περίπτωση που θερμανθεί αρκετά και πλησιάζει το σημείο τήξης του, αφού αν το λιωμένο υλικό έρθει σε επαφή με το δέρμα μπορεί να προκαλέσει έγκαυμα ελαφριάς μορφής. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει ο χρήστης να παίρνει ορισμένα μέτρα προφύλαξης όπως γάντια και προστατευτικά γυαλιά ασφαλείας για την προστασία του κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Επίσης θα πρέπει να δοθεί μεγάλη σημασία στις συνθήκες αποθήκευσης του υλικού ώστε να μη δημιουργηθεί κάποιος κίνδυνος για το περιβάλλον αλλά και κατ' επέκταση για τον άνθρωπο.



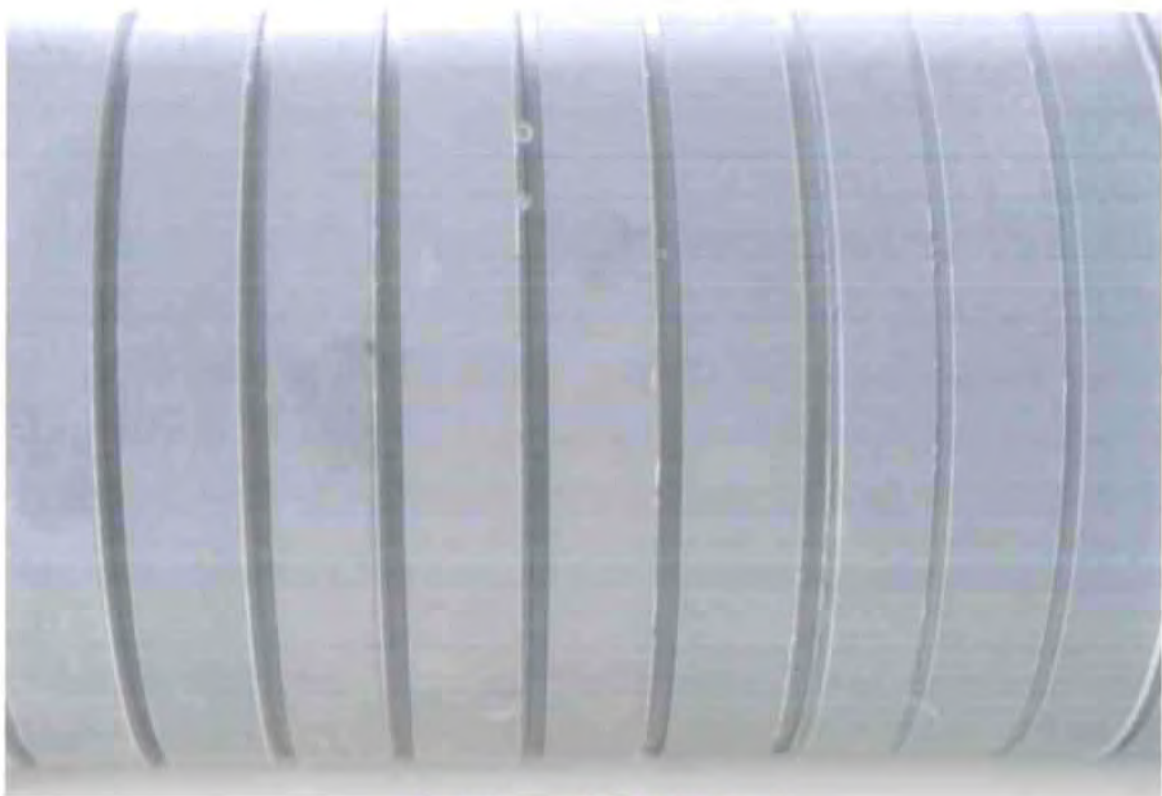
Σε περίπτωση υπερθέρμανσης ή καύσης του υλικού δημιουργούνται επικίνδυνα προϊόντα όπως  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , ίχνη  $\text{HCN}$  αλλά κυρίως  $\text{CO}$  (ανάλογα με την ποσότητα του διαθέσιμου οξυγόνου στην ατμόσφαιρα). Το προϊόν ERTALON 66 – GF30 διαλύεται εύκολα με την χρήση διαφόρων προϊόντων όπως νερό, αφρός, ξηρά χημική ουσία και  $\text{CO}_2$ . Έχει αποδειχτεί ότι το προϊόν αυτό γενικά, δεν προκαλεί βλαβερές συνέπειες για το περιβάλλον αλλά ούτε για την ανθρώπινη υγεία. Τέλος, επειδή δεν είναι βιολογικά διασπώμενο, στις περιπτώσεις όπου είναι αδύνατη η ανακύκλωση η καλύτερη λύση είναι η αποτέφρωση ή η επιχωμάτωση.



Εικόνα 2.3. : Όψη του υλικού ERTALON GF – 30

### **2.3.1. Κύρια χαρακτηριστικά και οφέλη:**

- **υψηλή μηχανική δύναμη**
- **υψηλή διάρκεια ζωής**
- **υψηλή δυνατότητα μηχανικής απόσβεσης**
- **άριστη αντοχή**



Εικόνα 2.4. : ERTALON GF – 30

### **2.3.2. Εφαρμογές του ERTALON 66 – GF30**

**Το Ertalon 66 GF – 30 χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα για την κατασκευή και τη συντήρηση των βιομηχανικών συστατικών αλλά και για αρχικό εξοπλισμό. Μερικά από τα συνηθέστερα παραδείγματα που συναντάμε είναι: ρουλεμάν, κύλινδροι μεταφορέων, τροχαλίες και επενδύσεις τροχαλιών, έκκεντρα, σφυριά, μεταλλικές ξύστρες, διάφορα εργαλεία, αλυσσοτροχοί, κοπή και τεμαχισμός πινάκων, μονωτών κ.λπ.**

**Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά οι φυσικές ιδιότητες του ERTALON 66 – GF30:**

**Πίνακας 2.3 : ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ERTALON 66 - GF30**

<b>Μορφή:</b>	πίατο και ράβδος
<b>Χρώμα:</b>	Μαύρο
<b>Μυρωδιά:</b>	Καμία ειδική μυρωδιά
<b>Συγκεκριμένη πυκνότητα</b> ( Μονάδες : g/cm <sup>3</sup> )	1.29
<b>Σημείο τήξης:</b>	255°C
<b>Συνεχής λειτουργούσα θερμοκρασία</b> ( Μονάδα : °C - 5,000hrs / 20,000hrs )	120/110
<b>Εκτατή δύναμη</b> ( Μονάδες : MPa )	100
<b>Αντίσταση αντίκτυπου</b> ( Μονάδες : Charpy KJ/m <sup>2</sup> )	> 50
<b>Αντίσταση αντίκτυπου</b> ( Μονάδες : Izod KJ/m <sup>2</sup> )	6
<b>Σκληρότητα</b> ( Μονάδες : Rockwell M )	76
<b>Συντελεστής της θερμικής επέκτασης</b> ( Μονάδες : mm./(mm x K) X 10 <sup>-6</sup> ( Μέση τιμή 23-60°C )	50
<b>Διηλεκτρική δύναμη</b> ( Μονάδες : KV/mm. )	30
<b>Ειδική αντίσταση επιφάνειας</b> ( Μονάδα : Ωμ )	1x10 <sup>13</sup>
<b>Εύφλεκτο UL94</b>	HB
<b>Διαλυτότητα στο νερό:</b>	Αμελητέα
<b>Θερμική αποσύνθεση:</b>	> 320°C
<b>Θερμοκρασία αυτανάφλεξης:</b>	530°C

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

## 3. ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

### 3.1. ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΟ

#### 3.1.1 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετήσουμε την τραχύτητα μίας επιφάνειας. Η μέτρηση της τραχύτητας έγινε χρησιμοποιώντας το προφιλόμετρο στυλίσκου της Taylor-Hobson Surtonic3+ το οποίο χρησιμοποιεί το μετρικό σύστημα M (Μέσης γραμμής) και είναι εφοδιασμένο με το λογισμικό TalyProfile. Αυτό το φορητό όργανο μέτρησης τραχύτητας τροφοδοτείται με μπαταρία και είναι πολύ αποδοτικό με τις απλές κατεργασίες. Το Surtonic3+ διαμορφώνεται για να υπολογίσει μέχρι 10 παραμέτρους που έχουν επιλεχτεί προσεκτικά για να καλύψουν τις πιο κοινές απαιτήσεις του ελέγχου των επιφανειών για τα σπασίματα ή κάποια ζημιά στο υλικό, τα χαρακτηριστικά διατήρησης πετρελαίου, τα ποσοστά τροφών, τις ιδιότητες της τριβής και ένδυσης. Οι πρόσθετες παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν όπως επίσης και η σε βάθος ανάλυση του σχεδιαγράμματος μέτρησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με το προαιρετικό λογισμικό Talyprofile.

### 3.1.2 Taylor-Hobson Surtronic3+

**Το Surtronic3+ είναι ένα τραχύμετρο προηγμένης τεχνολογίας που αποδίδει μετρήσεις υψηλής ακρίβειας. Το όργανο έχει μεγάλη ευελιξία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε ως φορητό, είτε να συνδεθεί με υπολογιστή. Χρησιμοποιείται τόσο σε εργαστηριακές, όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές και λόγω του μεγέθους του είναι πολύ εύχρηστο, ενώ έχει την δυνατότητα να πάρει μετρήσεις από κεκλιμένες ή κάθετες επιφάνειες. Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και επιδεικνύονται ακόμη και πριν από τις εγκάρσιες επιστροφές μονάδων. Η μηχανική ακαμψία του έχει μια σταθερή φήμη για την αξιοπιστία, αφού πραγματοποιεί επαναλαμβανόμενα ένα μεγάλο αριθμό μετρήσεων πέρα από ένα ευρύ φάσμα άλλων εφαρμογών. Προσφέρει μεγάλη ευελιξία από την άποψη της πρόσβασης των συστατικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων όπως τα βήματα και τα αυλάκια. Το προφίλ μέτρησης έχει μια κάθετη ρύθμιση μέχρι 50mm και μπορεί να περιστραφεί στις διάφορες θέσεις για διάφορες γωνίες ή ακόμα και για τις πιο δύσκολες μετρήσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα, συν μια εκτενή σειρά των επιλογών επανάληψης, επιτρέπει στις περιοχές και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός υλικού να μετρηθεί εύκολα χωρίς την ανάγκη για πρόσθετο πέρα του ελάχιστου οργανωμένου χρόνου.**



Εικόνα3.1 : Τραχύμετρο τύπου Rank Taylor-Hobson Surtronic3+.

### Αρχή λειτουργίας του Surtronic3+

**Όπως έχει προαναφερθεί το Surtronic3+ είναι ένα προφιλόμετρο στυλίσκου, δηλαδή χρησιμοποιεί μία ακίδα προκειμένου να πάρει μετρήσεις για την τραχύτητα μιας επιφάνειας. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πως λειτουργεί αυτή ακίδα, ποιοι είναι οι βασικοί παράμετροι της και πώς γίνεται η μέτρηση.**

**Η ακίδα έχει την μορφή παραβολοειδούς, είναι κατασκευασμένη από διαμάντι το οποίο έχει επεξεργασθεί κατάλληλα έτσι ώστε να έχει σφαιρικό τελείωμα. Για να πραγματοποιηθεί μία μέτρηση δεν χρησιμοποιείται όλο το εύρος της γεωμετρίας της ακίδας πάρα μόνο το σφαιρικό της τμήμα.**

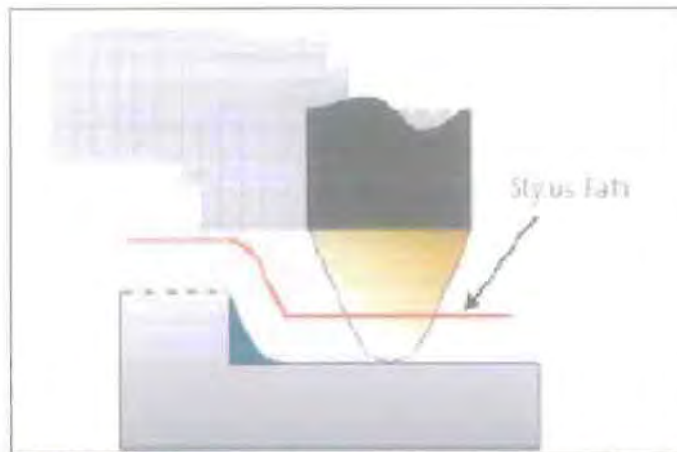
**Στην παρακάτω φωτογραφία μπορούμε να δούμε μία τυπική ακίδα σε μεγέθυνση.**



Εικόνα 3.2 : Ηλεκτρομικρογραφία μιας ακίδας  $40^\circ$  κατασκευασμένη από διαμάντι.

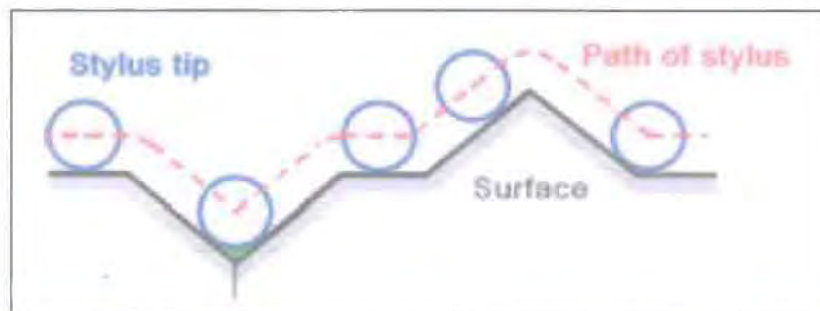
**Η κωνικότητα της ακίδας είναι ιδιάζουσας σημασίας για την ακρίβεια της μέτρησης που θα ληφθεί, όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει και στην εικόνα 3.3 που παριστάνει την μέτρηση ενός σκαλοπατιού. Έχει αναφερθεί και παραπάνω ότι το τα στοιχεία που καταγράφονται από το όργανο μέτρησης προέρχονται από το σφαιρικό τμήμα της ακίδας. Όταν η κωνικότητα της ακίδας δεν είναι κατάλληλη, δεν είναι δυνατό να καταγραφεί η πραγματική επιφάνεια. Αποτέλεσμα αυτού είναι να υπεισέρχεται ένα σημαντικό σφάλμα στις μετρήσεις, το οποίο θα μπορούσε να αποφευχθεί αν είχε χρησιμοποιηθεί κατάλληλη κωνικότητα.**





Εικόνα 3.3 : Μέτρηση επιφανειακής ανωμαλίας με ακίδα μεγάλης κωνικότητας.

**Εξίσου και ίσως πιο σημαντική για την ακρίβεια της μέτρησης είναι η διάμετρος του σφαιρικού τμήματος της ακίδας. Πιο συγκεκριμένα ο γεωμετρικός τύπος του κέντρου του σφαιρικού τμήματος της ακίδας συνιστά το προφίλ της επιφάνειας που παίρνουμε από το τραχύμετρο. Στο παρακάτω εικόνα 3.4 μπορούμε να δούμε ποια είναι η πραγματική διαδρομή της ακίδας συγκρινόμενη με την πραγματική επιφανειακή ανωμαλία. Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε το γεγονός ότι υπερεκτιμούνται οι κορυφές (peaks) και υποεκτιμούνται οι κοιλάδες (valleys).**



Εικόνα 3.4 : Παρουσίαση της πραγματικής διαδρομής της ακίδας καθώς ανιχνεύει την επιφάνεια.

Για την αποφυγή του χάους που μπορεί να προέρθει από ασύμβατες μετρήσεις λόγω κακής εκτίμησης τόσο της κωνικότητας όσο και της διαμέτρου του σφαιρικού τμήματος της ακίδας έχουν υιοθετηθεί τα πρότυπα ISO. Ο στόχος των προτύπων αυτών είναι να εξασφαλίζεται η ομοιομορφία των αποτελεσμάτων ανεξάρτητα από τα όργανα που χρησιμοποιούνται για να γίνουν οι μετρήσεις. Στον τομέα της επιφάνειας έχει επικρατήσει το ISO 3274, το οποίο θα ακολουθήσουμε και εμείς στις μετρήσεις μας .

### TalyProfile

Για την επεξεργασία των μετρήσεων που έγιναν στο τραχύμετρο χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα TalyProfile 3.1.2 της ίδιας εταιρείας. Συνοπτικά τα βασικότερα χαρακτηριστικά του προγράμματος TalyProfile είναι τα εξής:

- Απεικόνιση τόσο του φιλτραρισμένου, όσο και του αφιλτράριστου περιγράμματος της επιφάνειας, με δυνατότητες επιλογής εναλλακτικών φίλτρων, αλλά και διαφόρων τιμών όσον αφορά το μήκος κύματος αποκοπής.
- Φασματική ανάλυση του περιγράμματος.
- Παρουσίαση της καμπύλης κατανομής του εύρους (amplitude distribution) και της καμπύλης φέρουσας επιφάνειας (bearing area curve ή material ratio curve ή Abbott-Firestone curve).
- Μέτρηση απόστασης μεταξύ δύο σημείων του περιγράμματος.
- Εμβαδομέτρηση σε επιλεγμένη περιοχή του περιγράμματος.

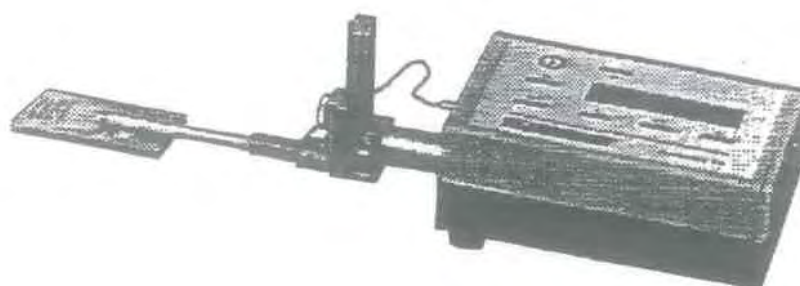
- Υπολογισμός πληθώρας παραμέτρων κατά τα διεθνή πρότυπα (π.χ. Ra, Rsk), αλλά και παραμέτρων κατά DIN 4776 (Rk, Rp κ.α.) και κατά ISO. Όλες αυτές οι παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν σε φιλτραρισμένο και αφιλτράριστο περίγραμμα, αλλά και για το περίγραμμα της κυμάτωσης.

Πολύ σημαντική ρύθμιση για το TalyProfile είναι η επιλογή του φίλτρου. Το τελευταίο αποκόπτει τις χαμηλές συχνότητες της κυματομορφής όπως για παράδειγμα την κυμάτωση και τις ανωμαλίες της τραχύτητας. Παράλληλα μειώνει την επίδραση των ταλαντώσεων στο περίγραμμα χωρίς να χάνει ουσιώδεις πληροφορίες της επιφάνειας, ενώ ελαττώνει και το σφάλμα λόγω μη κατάλληλης τοποθέτησης του στυλίσκου, ο οποίος πρέπει να είναι όσο πιο κάθετος γίνεται σε σχέση με την μετρούμενη επιφάνεια.

Άλλη μία σημαντική παράμετρος είναι η αποκοπή (cut-off) η οποία σε γενικές γραμμές μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ένα φίλτρο που χρησιμοποιείται ως μέσο φιλτραρίσματος (αποκοπής) του μήκους κύματος. Η αποκοπή ανάλογα με την αριθμητική τιμή που έχει επιλεγεί αφαιρεί τα μήκη κύματος που δεν θέλουμε. Για παράδειγμα ένα φίλτρο αποκοπής με τιμή 0,8mm, επιτρέπει στα μήκη κύματος κάτω από 0,8mm να υπολογισθούν, ενώ τα μήκη κύματος πάνω από 0,8mm μειώνονται σε πλάτος. Έτσι όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση του πλάτους.

### 3.1.3 Τα χαρακτηριστικά του

Οι μετρήσεις έγιναν σε μηχανικό τραχύμετρο στυλίσκου τύπου Sutronic3+ της εταιρίας RANK TAYLOR HOBSON LIMITED (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5

Το βασικό χαρακτηριστικό των προφιλόμετρων είναι το μήκος κύματος αποκοπής. Αυτό επιλέγεται ανάλογα με την κατεργασία κοπής που έχει προηγηθεί όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 : Μήκος κύματος αποκοπής συναρτήσει κατεργασίας κοπής που έχει προηγηθεί.

Κατεργασία αποπεράτωσης	Αναμενόμενο εύρος τιμών Ra	Προτεινόμενο 0.25mm	Μήκος cut-off 0.8mm	2.5mm
Υπερλείανση	0.05-0.2 $\mu\text{m}$	*	*	
Lapping	0.05-0.4	*	*	
Honing	0.1-0.8	*	*	
Ακόνισμα	0.1-1.6	*	*	*
Τόρνευση με διαμάντι	0.1-0.4	*	*	
Τόρνευση	0.4-12.3		*	*
Διάτρηση	0.4-12.3		*	*
Φρεζάρισμα	0.8-12.3		*	*



### **3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ**

#### **ERTALON GF-30. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΡΩΣΕΩΣ**

**Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται ανάλυση του δοκιμίου του σύνθετου υλικού ERTALON GF - 30 που επεξεργάστηκε με διαφορετικές τιμές προώσεως, αλλά και διαφορετικές ταχύτητες κοπής. Η ανάλυση της τραχύτητας των επιφανειών έγινε με βάση το λογισμικό TalyProfile 3.1.2 της ίδιας εταιρείας. Επιπλέον, παρατίθενται τιμές ορισμένων χαρακτηριστικών παραμέτρων όπως είναι η μέση αριθμητική τραχύτητα, η λοξότητα και η κύρτωση. Οι μετρήσεις έγιναν και προς την αξονική αλλά και προς την εγκάρσια διεύθυνση. Τα διαγράμματα της τραχύτητας των επιφανειών παρατίθενται στο παράρτημα Α, με βάση τις μετρήσεις που λαμβάνονται από το λογισμικό TalyProfile που συνοδεύει το τραχύμετρο του εργαστηρίου “Μηχανουργικών Κατεργασιών”.**

### 3.3. Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ $R_a$

Ο μέσος συντελεστής τραχύτητας  $R_a$  είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των απόλυτων τιμών, των συντεταγμένων του σχεδιαγράμματος της τραχύτητας. Δίνεται από την σχέση :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

Επίσης, ο συντελεστής  $R_a$  έχει κάποια πλεονεκτήματα αλλά και μερικά μειονεκτήματα τα οποία καταγράφονται παρακάτω :

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- i. Η συνηθέστερα χρησιμοποιημένη παράμετρος για να ελέγξει μια διαδικασία παραγωγής.
- ii. Παράμετρος προεπιλογής λάθους σε ένα διάγραμμα τραχύτητας αν αυτό δεν ορίζεται διαφορετικά.
- iii. Διαθέσιμος ακόμη και στα περισσότερα περίπλοκα όργανα.
- iv. Στατιστικά μια πολύ σταθερή, επαναλαμβανόμενη παράμετρος.
- v. Μια πολύ αξιόπιστη μεταβλητή για τις διάφορες επεξεργασίες επιφανειών, όπως η λείανση.
- vi. Μια καλή παράμετρος όπου μια διαδικασία είναι υπό έλεγχο και πού οι συνθήκες είναι πάντα οι ίδιες, π.χ. κόβοντας άκρες, ταχύτητες, προώσεις.

## **ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

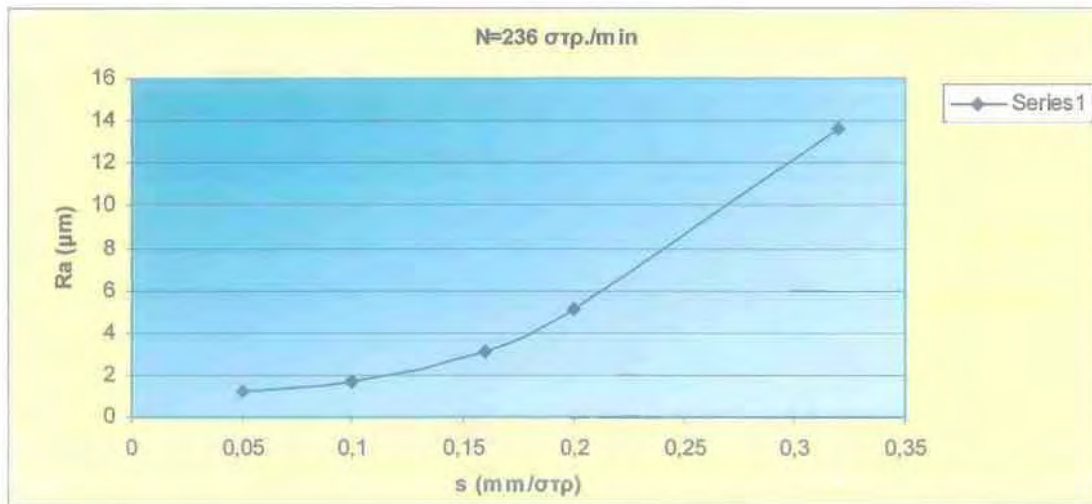
- i. Δεν είναι μια καλή διευκρινιστική παράμετρος για τους διαφορετικούς τύπους επιφανειών (καμία διάκριση δεν γίνεται μεταξύ των αιχμών και των κοιλάδων).**
- ii. Δεν είναι πολύ αξιόπιστη για πληροφορίες σε επιφάνειες με το Rsk εκτός των τιμών  $\pm 2$ .**
- iii. Δεν είναι ένα καλό μέτρο για σφραγισμένες επιφάνειες.**

**Παρακάτω παρατίθενται κάποια διαγράμματα που απεικονίζουν την μεταβολή του συντελεστή Ra συναρτήσει των διαφορετικών τιμών προώσεων αλλά και των ταχυτήτων κοπής :**

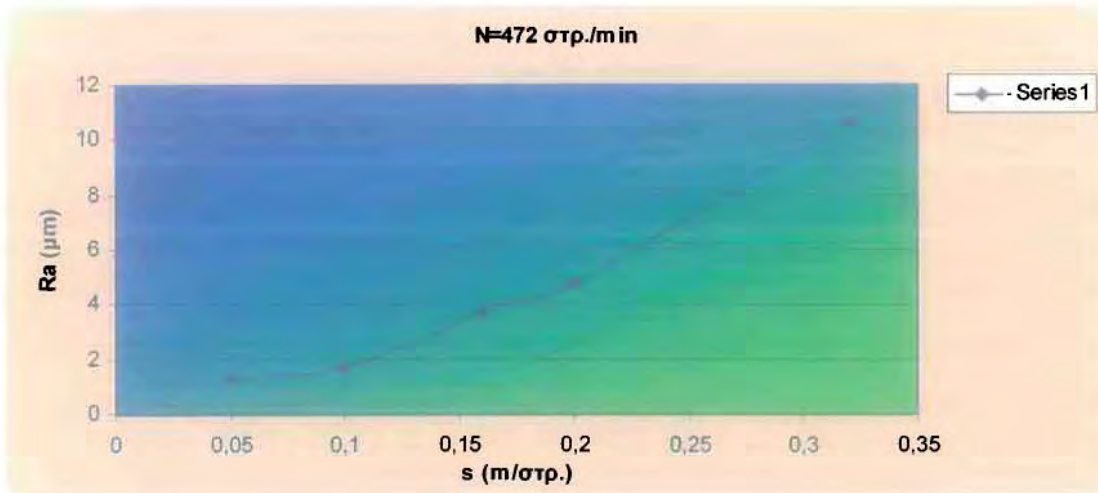


## ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

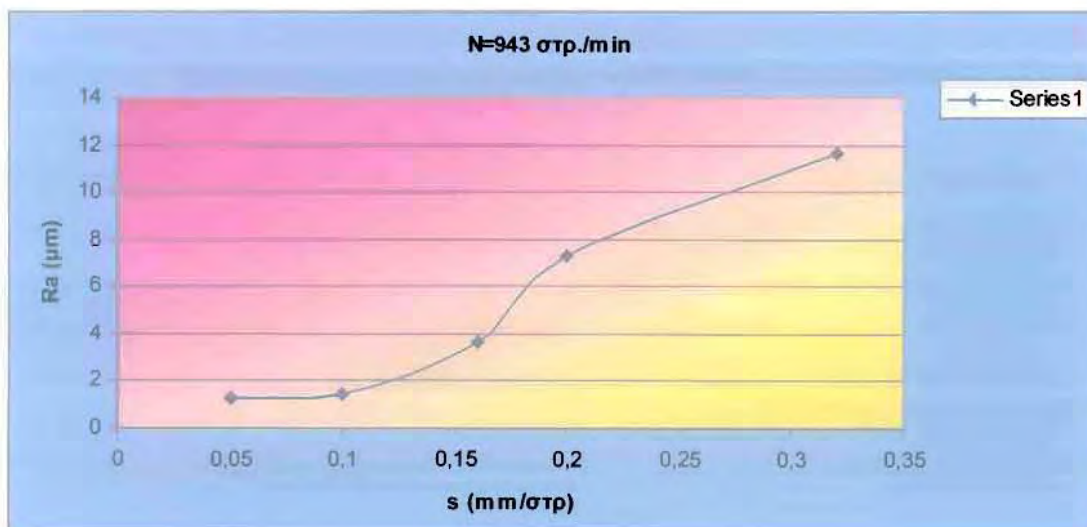
<b>N = 236 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>Ra (μm)</b>
<b>0,05</b>	<b>1,26</b>
<b>0,1</b>	<b>1,68</b>
<b>0,16</b>	<b>3,09</b>
<b>0,2</b>	<b>5,11</b>
<b>0,32</b>	<b>13,6</b>



<b>N = 472 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>Ra (μm)</b>
<b>0,05</b>	<b>1,29</b>
<b>0,1</b>	<b>1,71</b>
<b>0,16</b>	<b>3,75</b>
<b>0,2</b>	<b>4,75</b>
<b>0,32</b>	<b>10,7</b>

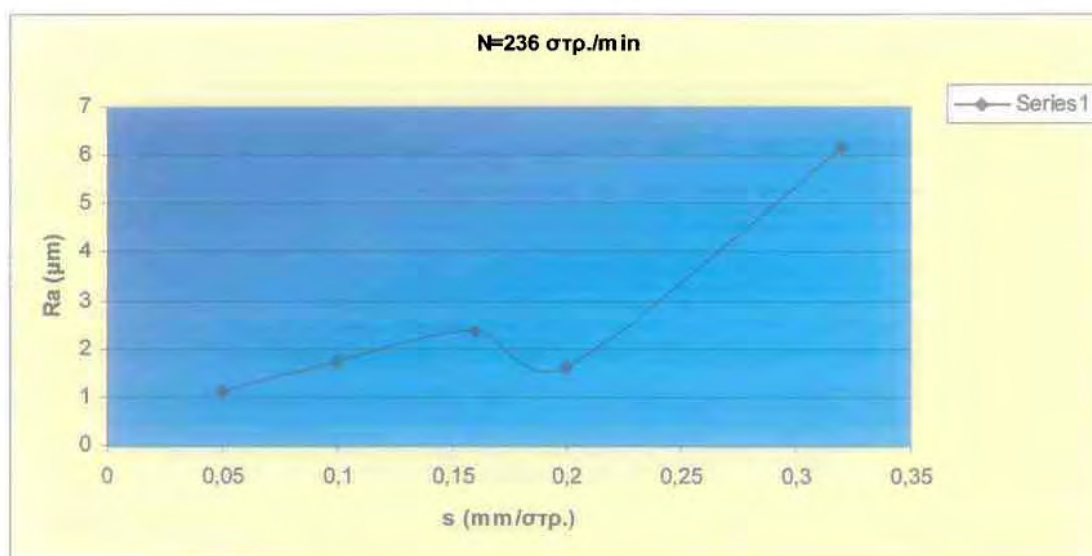


<b>N = 943 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>Ra (μm)</b>
<b>0,05</b>	<b>1,29</b>
<b>0,1</b>	<b>1,43</b>
<b>0,16</b>	<b>3,66</b>
<b>0,2</b>	<b>7,3</b>
<b>0,32</b>	<b>11,6</b>

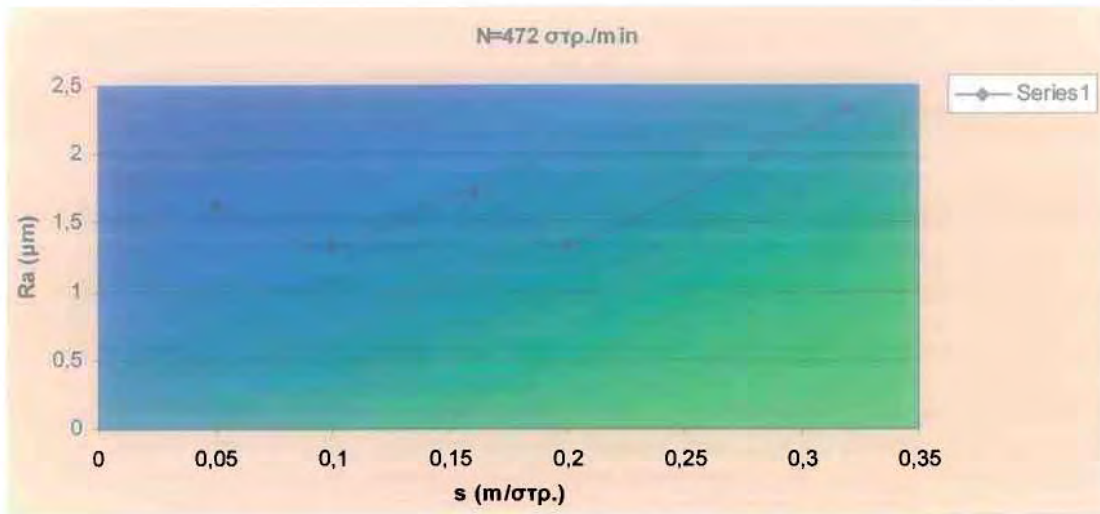


## ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Ζ

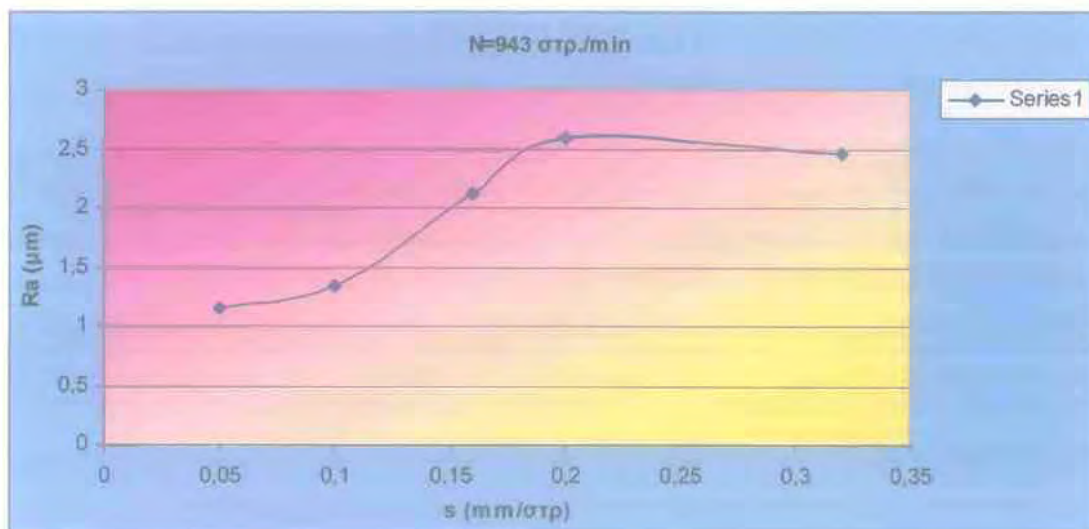
N = 236 στρ./min	
s (mm/στρ.)	Ra (μm)
0,05	1,12
0,1	1,72
0,16	2,38
0,2	1,62
0,32	6,18



N = 472 στρ./min	
S (mm/στρ.)	Ra (μm)
0,05	1,63
0,1	1,33
0,16	1,72
0,2	1,33
0,32	2,33



N = 943 στρ./min	
S (mm/στρ.)	Ra (μm)
<b>0,05</b>	<b>1,15</b>
<b>0,1</b>	<b>1,34</b>
<b>0,16</b>	<b>2,12</b>
<b>0,2</b>	<b>2,6</b>
<b>0,32</b>	<b>2,45</b>



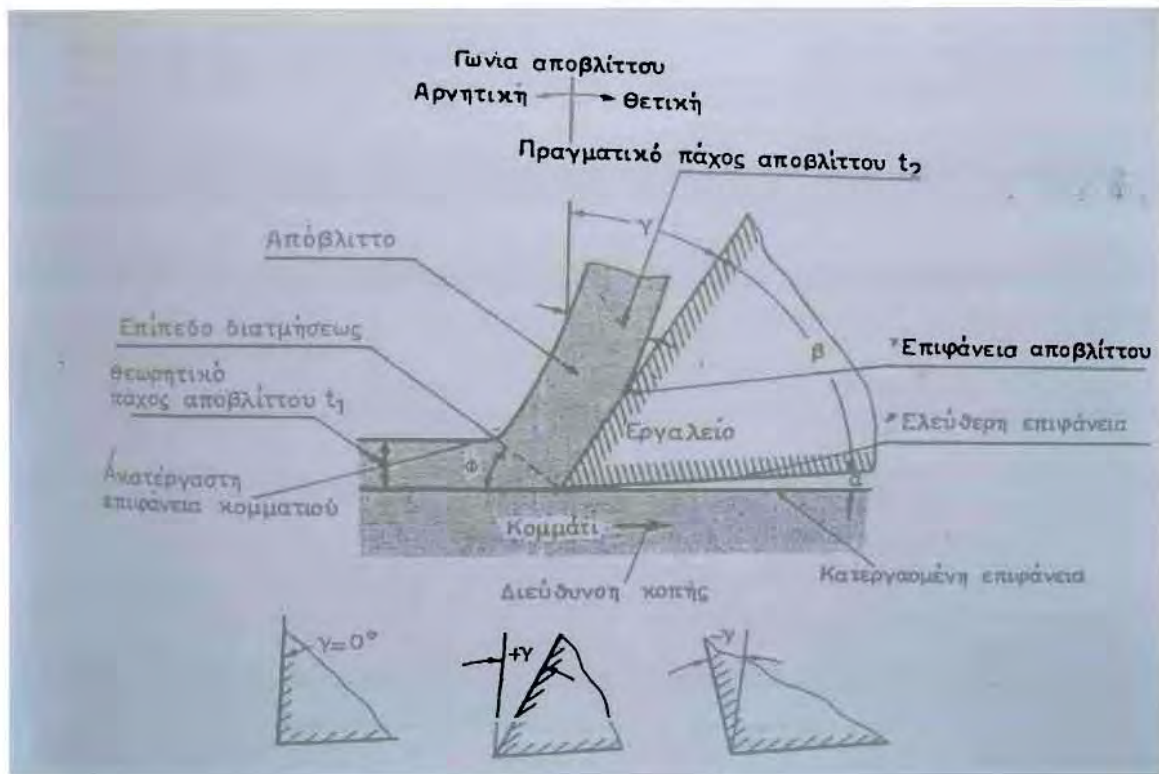
## **3.4 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ**

### **3.4.1 Προκαταρκτικές έννοιες και ορισμοί**

**Όλα σχεδόν τα μέταλλα και κράματα, σκληρά ή μαλακά, χυτά ή σφυρήλατα, όλκιμα ή ψαθηρά, με χαμηλό ή ψηλό σημείο τήξεως, είναι δυνατό να κατεργαστούν με κάποια (την κατάλληλη κάθε φορά) κατεργασία κοπής.**

**Ο κύριος σκοπός της κοπής είναι η μορφοποίηση τεχνολογικών επιφανειών στο τεμάχιο με την ενδεδειγμένη κατά περίπτωση ακρίβεια και ποιότητα. Για το λόγο αυτό, ο μηχανισμός του αποβλίπτου, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον στη μελέτη και ανάλυση της κοπής και απαιτεί μεγάλη προσοχή. Η ενέργεια κοπής καταναλίσκεται στο μεγαλύτερο ποσοστό στη διαδικασία σχηματισμού( ζώνη διατμήσεως ) και κινήσεως ( ζώνη τριβής ) του αποβλίπτου.**

**Στην κοπή των μετάλλων εμφανίζεται, κατά περίπτωση, ένας ευρύς συνδυασμός εντάσεως, παραμορφώσεως, ταχύτητας παραμορφώσεως, θερμοκρασίας και τοπικών μεταβολών τους και όλα αυτά σε περιορισμένο όγκο του κατεργαζόμενου υλικού. Στις περισσότερες από τις κατεργασίες, ο βασικός μηχανισμός κοπής των μετάλλων γίνεται με εργαλεία μιας κόψης και ονομάζεται ορθογωνική κοπή. Οι κατεργασίες κοπής των μετάλλων παρουσιάζονται με πολύ απλουστευμένο τρόπο στο σχήμα 3.4.1.**



Σχήμα 3.4.1

Χαρακτηριστικά και γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου στην ορθογωνική κοπή. Μηδενική, θετική και αρνητική γωνία του αποβλίττου.

Στο σχήμα παρατηρούμε ότι η κόψη του εργαλείου σχηματίζεται από δυο επίπεδες επιφάνειες. Η επιφάνεια κατά μήκος της οποίας κινείται το απόβλιττο, καλείται επιφάνεια αποβλίττου ή πρόσωπο ή μέτωπο του εργαλείου, ενώ η επιφάνεια του εργαλείου που βρίσκεται απέναντι από την νεοσχηματιζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου ονομάζεται ελεύθερα επιφάνεια του εργαλείου. Το πάχος του στρώματος μετάλλου, το οποίο αφαιρείται με επενέργεια του κοπτικού εργαλείου, είναι γνωστό ως θεωρητικό πάχος αποβλίττου,  $t_1$ , ενώ το πάχος το οποίο λαμβάνει το απόβλιττο μετά την κοπή καλείται πραγματικό πάχος του αποβλίττου,  $t_2$ .

Θεμελιώδη ανεξάρτητη μεταβλητή της κοπής των μετάλλων αποτελεί η λεγόμενη γωνία αποβλίττου του εργαλείου  $\gamma$ . Η γωνία του αποβλίττου είναι δυνατό να ληφθεί ως θετική, μηδενική ή και αρνητική, ανάλογα προς τους παρουσιαζόμενους στην πράξη παράγοντες κοπής.

Η ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου δεν λαμβάνει μέρος στην λειτουργία σχηματισμού του αποβλίπτου. Όμως, η γωνία  $\alpha$  που βρίσκεται μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του εργαλείου και της νεοσχηματιζόμενης επιφάνειας (γωνία ελευθερίας του εργαλείου), επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό φθοράς του εργαλείου κατά την κοπή. Τέλος, η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας αποβλίπτου και της ελεύθερης επιφάνειας του εργαλείου ονομάζεται γωνία σφήνας του εργαλείου (γωνία  $\beta$ ).

Από την γεωμετρία του σχήματος προκύπτει για τις γωνίες  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  :

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Μια άλλη ανεξάρτητη μεταβλητή της κοπής των μετάλλων είναι η ταχύτητα κοπής. Ασκεί επομένως σημαντική επίδραση στο φαινόμενο της κοπής και ο μηχανισμός της δράσης της είναι αρκετά πολύπλοκος. Πιο αναλυτικά:

- i. **Επιδρά έμμεσα στον σχηματισμό του αποβλίπτου μεταβάλλοντας το μέσο συντελεστή τριβής  $\mu$  και κατ'επέκταση την γωνία διατμήσεως.**
- ii. **Ασκεί άμεση επίδραση στο όριο διαρροής του υλικού μέσω της ταχύτητας παραμορφώσεως κάτω από ορισμένες συνθήκες.**
- iii. **Επηρεάζει άμεσα την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στις περιοχές πλαστικής παραμόρφωσης κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αύξηση της ταχύτητας να συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας. Στις υψηλές ταχύτητες κοπής, οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες παίζουν ένα περίπλοκο ρόλο, ενώ στις πιο χαμηλές ταχύτητες κοπής ο ρολος τους θεωρείται αμελητέος.**

### 3.4.2. Μορφολογία του αποβλίττου

Κατά την κοπή παρατηρούμε τρία είδη αποβλίττων, όπου κάθε είδος, εξαρτάται από το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου, από τις συνθήκες κατεργασίας, από την γεωμετρική μορφή και το υλικό του κοπτικού εργαλείου και από άλλους παράγοντες της κοπής, αλλά και από τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος εργαλειομηχανή – εργαλείο – τεμάχιο. Τα χαρακτηριστικά είδη αποβλίττων είναι:

#### a) Ασυνεχές απόβλιττο

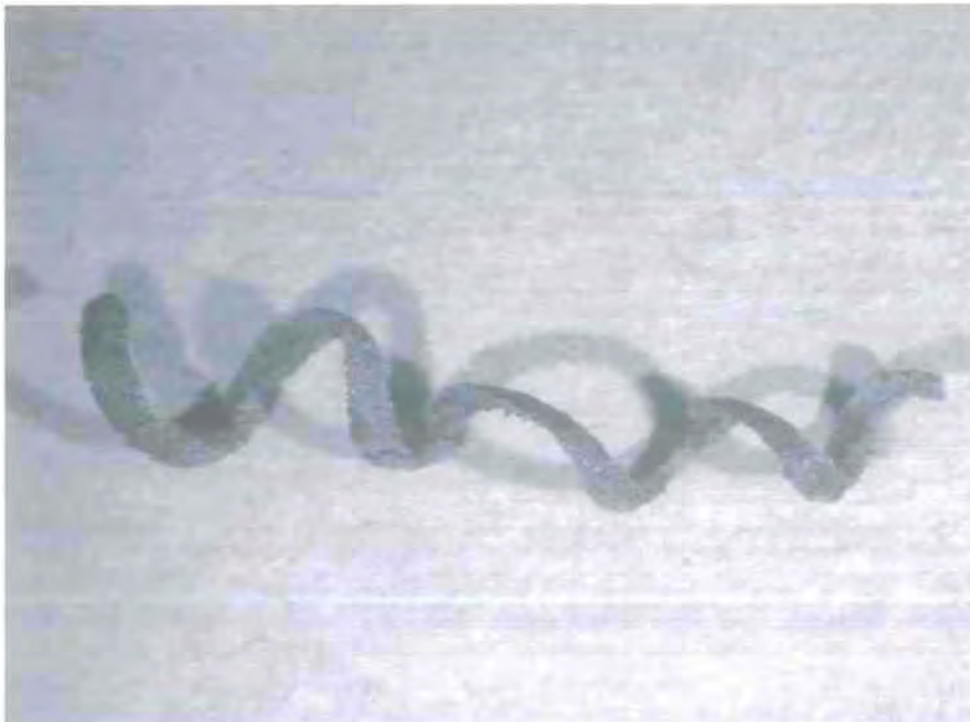
Κατά το σχηματισμό του αποβλίττου αυτού, το υλικό που είναι μπροτά από την κόψη του εργαλείου, ισχυρά παραμορφούμενο, θραύεται περιοδικά στην πρωτεύουσα ζώνη παραμορφώσεως και το απόβλιττο τεμαχίζεται και σχηματίζεται μόνο ένα μέρος του. Στο σχηματισμό του ασυνεχές αποβλίττου επιδρούν σημαντικά το υλικό του τεμαχίου, οι συνθήκες κατεργασίας και η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου, όπως ακόμα και κάποιες δυναμικές συνθήκες. Παρατηρείται κυρίως κατά την κοπή ψαθερών μετάλλων ή κραμάτων, όπως είναι ο χυτοσίδηρος, ο χυτός ορείχαλκος κ.α.

Επίσης το ασυνεχές απόβλιττο έχει ορισμένες επιπτώσεις στην κατεργασία του μετάλλου οι οποίες είναι:

- i. Η εύκολη απομάκρυνση των αποβλίττων μικρού μεγέθους από την θέση κατεργασίας. Αυτό είναι ένα πολύ καλό στοιχείο για καλή κατεργαστικότητα του μετάλλου.
- ii. Κατά τον σχηματισμό ασυνεχούς αποβλίττου, χειροτερεύει η τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας, γιατί δημιουργούνται ανωμαλίες και μικρορωγμές οι οποίες ασκούν δυσμενή επίδραση στην αντοχή σε κόπωση του υλικού του τεμαχίου.
- iii. Ο περιοδικός τεμαχισμός, που χαρακτηρίζει το ασυνεχές απόβλιττο, αποτελεί μια πηγή εξαναγκασμένων ταλαντώσεων στο σύστημα εργαλειομηχανή – εργαλείο – τεμάχιο, με τις γνωστές συνέπειες.



- iv. **Εξαιτίας αυτού του τύπου αποβλίπτου, το μήκος της επιφάνειας επαφής αποβλίπτου – εργαλείου εμφανίζεται σχετικά μικρό. Αυτό, πέρα από την ευνοϊκή επιρροή που ασκεί στην δύναμη κοπής, σημαίνει ότι η μέση ορθή τάση στο πρόσωπο του εργαλείου εφαρμόζει κοντά στην κόψη, γεγονός που επιβάλλει περιορισμούς στην επιλογή γεωμετρίας του εργαλείου.**



Εικόνα 3.4.1. : Μικροσκοπική απεικόνιση ασυνεχούς αποβλίπτου

## **b) Συνεχές απόβλιττο**

**Κατά τον σχηματισμό του, το μέταλλο που βρίσκεται μπροστά από την κόψη του εργαλείου, υφίσταται πλαστική παραμόρφωση και το απόβλιττο που σχηματίζεται συνεχές, σαν ένα είδος ταινίας, κινείται πάνω στην επιφάνεια αποβλίττου του κοπτικού εργαλείου. Παρατηρείται κυρίως κατά την κοπή όλκιμων μετάλλων ή κραμάτων, όπως ο σφυρήλατος σίδηρος, ο μαλακός χάλυβας, ο χαλκός κ.α. σε υψηλές κυρίως ταχύτητες κοπής. Ο βαθμός ολκιμότητας του μετάλλου πρέπει να είναι επαρκής, ώστε η αναγκαία κάθε φορά πλαστική διάτμηση για το σχηματισμό του αποβλίττου, να πραγματοποιηθεί χωρίς θραύση του μετάλλου. Αυτό το είδος του αποβλίττου είναι το πιο επιθυμητό, αν εξετασθεί από άποψη ευνοικών συνθηκών αναπτυσσόμενων κατά την κοπή δυνάμεων και συνεπώς καταναλισκόμενης ισχύος, τραχύτητας επιφανείας του κατεργαζόμενου τεμαχίου και γενικώς φθοράς και ζωής του κοπτικού εργαλείου. Τέλος, ο σχηματισμός συνεχούς αποβλίττου οφείλεται στην αύξηση της γωνίας αποβλίττου του κοπτικού εργαλείου και της ταχύτητας κοπής, όπως και στην χρήση του κατάλληλου υγρού κοπής.**

**Συμπερασματικά μπορούμε να διατυπώσουμε τα παρακάτω σχετικά με τον σχηματισμό του συνεχούς αποβλίττου:**

- i. Το απόβλιττο σχηματίζεται με συνεχή απλή διάτμηση μέσα στη ζώνη διατμήσεως. Η ζώνη αυτή είναι το σύνορο μεταξύ του απαραμόρφωτου υλικού του τεμαχίου και του σχηματιζόμενου αποβλίττου.**
- ii. Το σχηματιζόμενο απόβλιττο κινείται πάνω στην επιφάνεια αποβλίττου του εργαλείου κάτω από συνθήκες ισχυρής τριβής. Αποτελεί την ζώνη επαφής αποβλίττου – εργαλείου.**
- iii. Η νέα επιφάνεια του τεμαχίου δημιουργείται με διαδοχικές στοιχειώδεις θραύσεις του μετάλλου, ενώ η απαιτούμενη γι'αυτό ενέργεια θεωρείται αμελητέα σε σχέση με την συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια κοπής.**

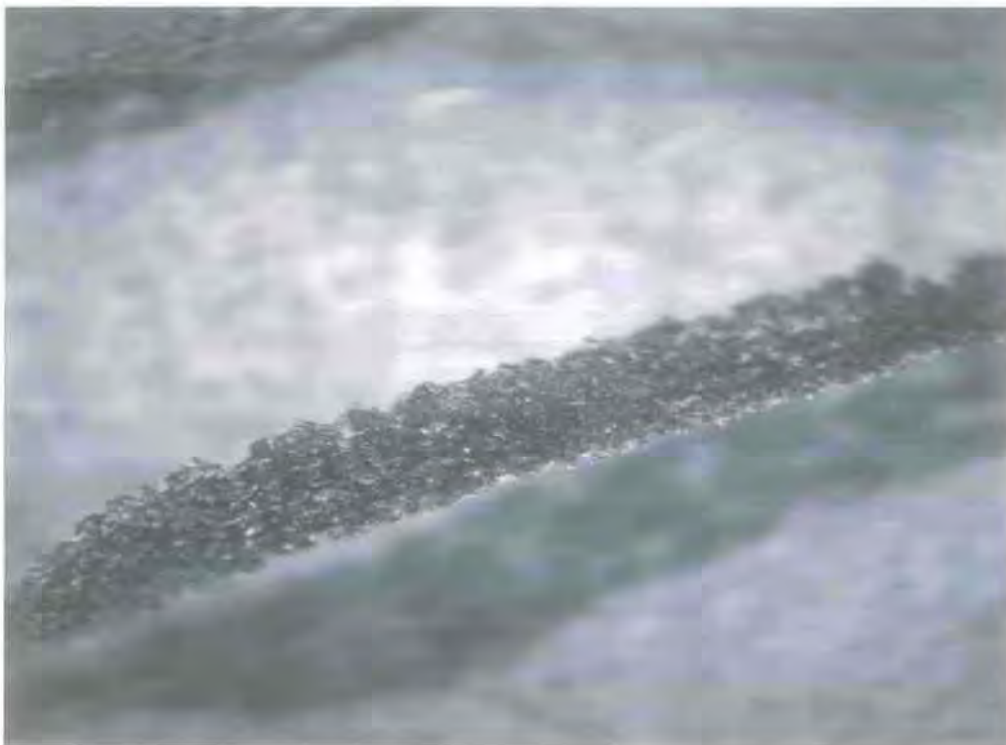
- iv. Σε περιπτώσεις προχωρημένης σχετικά ζώνης φθοράς του εργαλείου, υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστεί ισχυρή τριβή και στην επιφάνεια επαφής εργαλείου και κατεργασμένης επιφάνειας.



Εικόνα 3.4.2. : Μικροσκοπική απεικόνιση συνεχούς αποβλίττου








### c) Συνεχές απόβλιπτο με ψευδόκοψη

Το συγκεκριμένο απόβλιπτο σχηματίζεται, όπως και το συνεχές απόβλιπτο, με την διαφορά ότι στην περιοχή της κόψης του εργαλείου και πάνω στην επιφάνεια αποβλίπτου δημιουργείται η λεγόμενη ψευδόκοψη. Η ψευδόκοψη αποτελεί ένα σώμα, με σχήμα ασύμμετρης σφήνας κατά προσέγγιση, από ισχυρά παραμορφωμένο μέταλλο, που σχηματίζεται κατά την διάρκεια της κοπής από επάλληλα λεπτά στρώματα. Η ψευδόκοψη παραμένει προσκολλημένη στην επιφάνεια αποβλίπτου του εργαλείου, ενώ η κίνηση του αποβλίπτου μεταφέρεται στην ασταθή κορυφή της. Ο σχηματισμός της ψευδόκοψης αποδίδεται σε κατάλληλο, σε κάθε περίπτωση, συνδυασμό ορθών θλιπτικών τάσεων και συνθηκών τριβής και θερμοκρασίας στη διεπιφάνεια αποβλίπτου και κοπτικού εργαλείου καθώς επίσης και στο κατεργαζόμενο υλικό και στο υλικό του εργαλείου. Το συνεχές απόβλιπτο με ψευδόκοψη εξαιτίας της ισχυρής πλαστικής παραμορφώσεως του, υφίσταται κράτυνση και συνεπώς αυξάνεται σημαντικά η αντοχή και η σκληρότητα του σε σχέση με το μητρικό μέταλλο.



Εικόνα 3.4.3. : Μικροσκοπική απεικόνιση αποβλίπτου με ψευδόκοψη

Οι παρουσιαζόμενες μορφές αποβλίττου κατά τις διάφορες κατεργασίες κοπής των μετάλλων είναι ποικίλες. Παρακάτω φαίνονται οι διάφορες μορφές αποβλίττων όπως αυτά σχηματίζονται κατά την τόννευση:

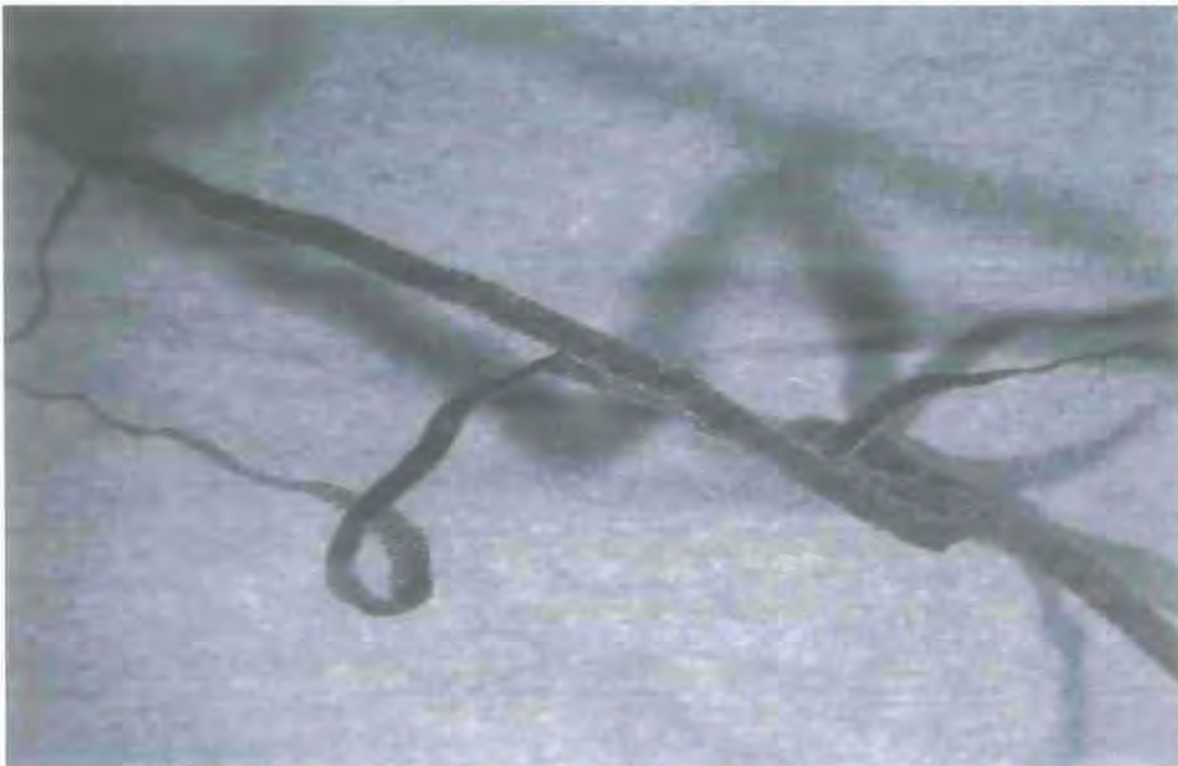
Κατηγορία μορφής αποβλίττου	Μορφή αποβλίττου	Όνομασία
1		Ταινιοειδές ευθύ
2		Ταινιοειδές ατακτό
3		Ήλικοειδές
4		Ήλικοειδές τεμαχισμένο
5		Σπειροειδές τεμαχισμένο
6		Τεμάχια σπειροειδούς
7		Τεμαχίδια αποβλίττου

Σχήμα 3.4.2.

Μορφές αποβλίττου κατά την τόννευση χάλυβα με την επίδραση μεταβαλλόμενων παραγόντων κοπής

Κατά τη διάρκεια της τόννευσης του υλικού ERTALON GF - 30, η οποία πραγματοποιήθηκε με βάση μια κλιμάκωση του βάθους προώσεως αλλά και την ταχύτητα κοπής έγινε συλλογή των αποβλίτων με σκοπό την μελέτη και την επεξεργασία αυτών. Τα απόβλιττα είναι απόρρεια της επεξεργασίας του υλικού για τρεις διαφορετικές ταχύτητες ( 236 στρ./min , 472 στρ./min , 943 στρ./min ) και πέντε διαφορετικές προώσεις ( 0,05 mm/στρ , 0,10 mm/στρ. , 0,16 mm/στρ. , 0,20 mm/στρ. , 0,32 mm/στρ. ).

Όταν χρησιμοποιήσαμε την μικρότερη ταχύτητα κοπής παρατηρήσαμε πως για μικρό βάθος προώσεως το απόβλιττο έχει ταινιοειδές άτακτο σχήμα, το οποίο καθώς μεγάλωσε το βάθος προώσεως μετατράπηκε σε σχήμα σπειροειδές και τελικά για  $s = 0,32$  mm/στρ. έγινε ελικοειδές. Ακόμα ένα σημαντικό στοιχείο είναι ότι για την συγκεκριμένη ταχύτητα και ανεξάρτητα από το βάθος προώσεως το απόβλιττο είναι συνεχές. Τα συμπεράσματα αυτά φαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες:



Εικόνα 3.4.4. : Συνεχές απόβλιττο ταινιοδούς σχήματος για  $s = 0,05$  mm /στρ.



Εικόνα 3.4.5. : Συνεχές απόβλαττο σπειροειδούς σχήματος για  $s = 0,16$  mm/ στρ.



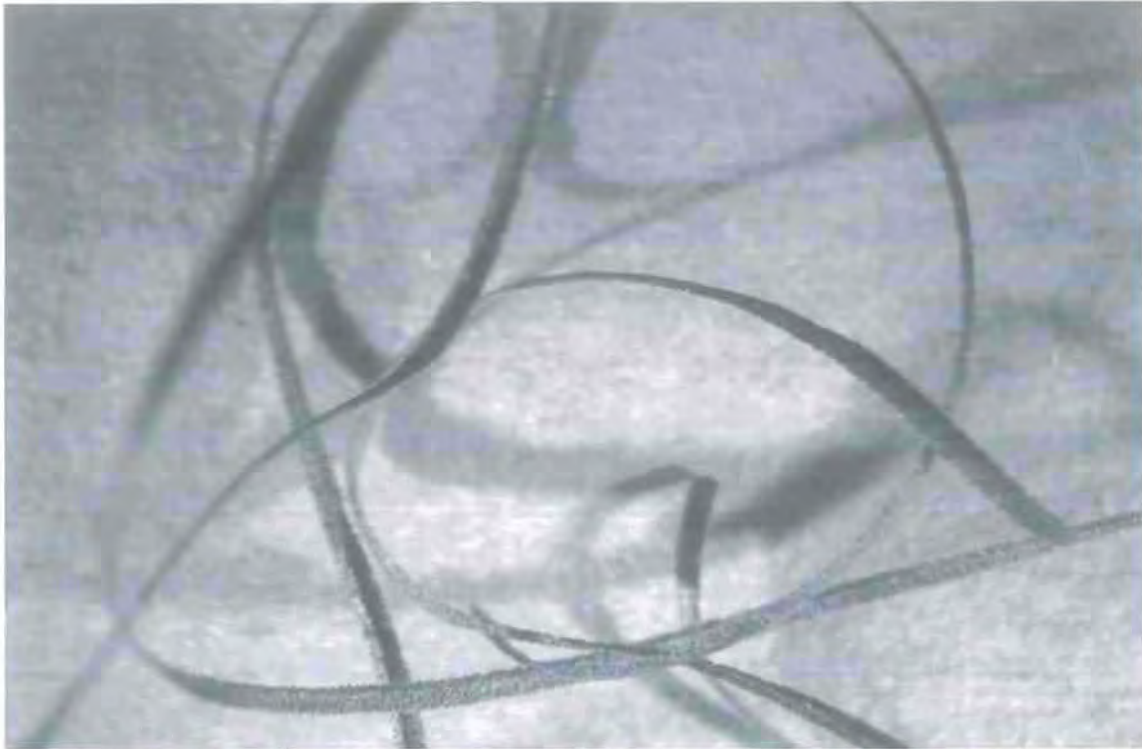
Εικόνα 3.4.6. : Συνεχές απόβλαττο ελικοειδούς σχήματος για  $s = 0,32$  mm /στρ.

Στην περίπτωση που το υλικό επεξεργάστηκε με  $U = 472$  στρ./mín παρατηρήθηκε ότι το απόβλιττο έχει ταινιοειδές σχήμα, για όλες σχεδόν τις προώσεις, εκτός από την μέγιστη ( $s = 0,32$  mm/στρ. ), στην οποία μετατράπηκε σε σπειροειδές. Επίσης, για μικρές προώσεις το απόβλιττο είναι συνεχές και έχει μεγάλη πυκνότητα ενώ αντίθετα, στη μέγιστη πρόωση αλλάζει σε ασυνεχές και παρατηρούνται πολλά μικρα τεμάχια, ελικοειδούς σχήματος, αποβλίττου. Αυτά τα συμπεράσματα παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις παρακάτω φωτογραφίες:



Εικόνα 3.4.7 : Συνεχές απόβλιττο ταινιοειδούς σχήματος για  $s = 0,05$  mm / στρ.



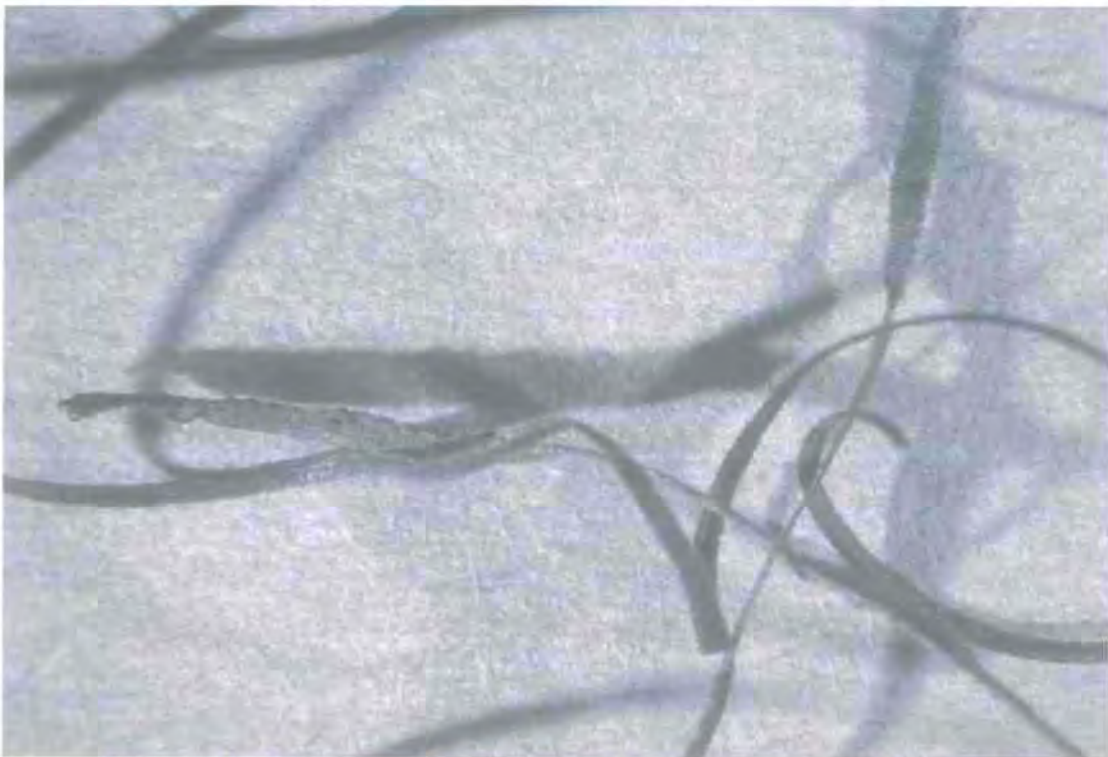


Εικόνα 3.4.8. : Συνεχές απόβλιττο ταινιοδούς σχήματος για  $s = 0,16$  mm/ στρ.

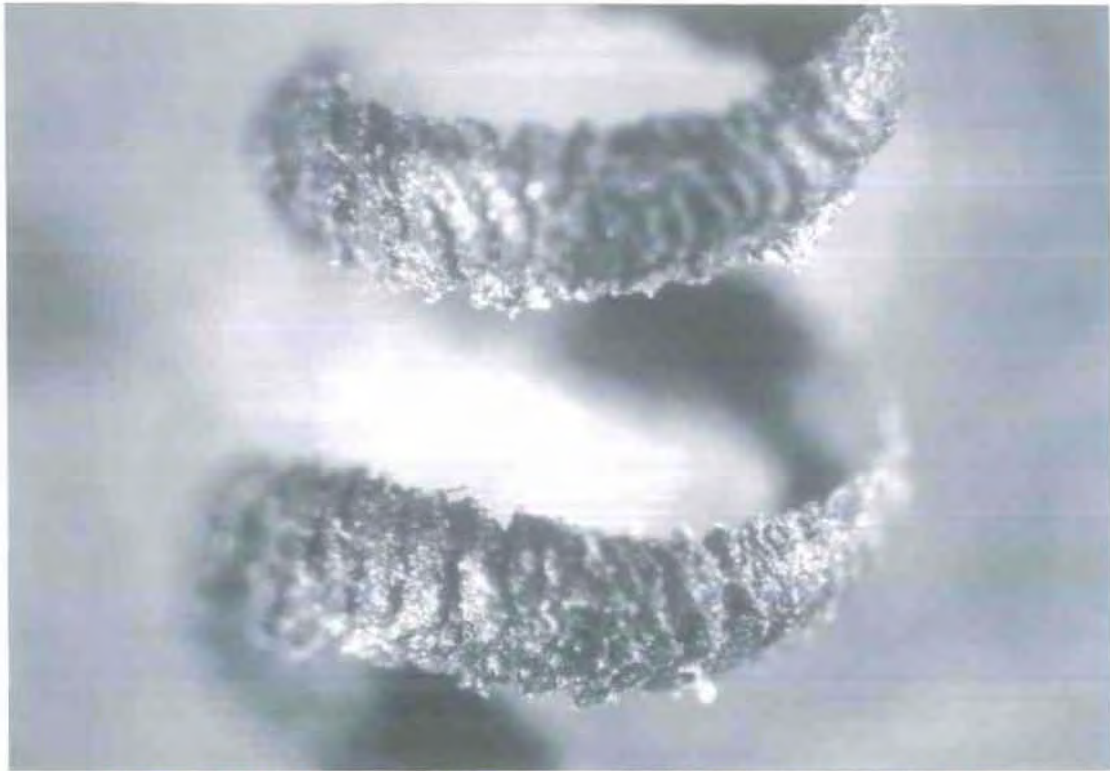


Εικόνα 3.4.9. : Ασυνεχές απόβλιττο ελικοειδού σχήματος για  $s = 0,32$  mm/ στρ.

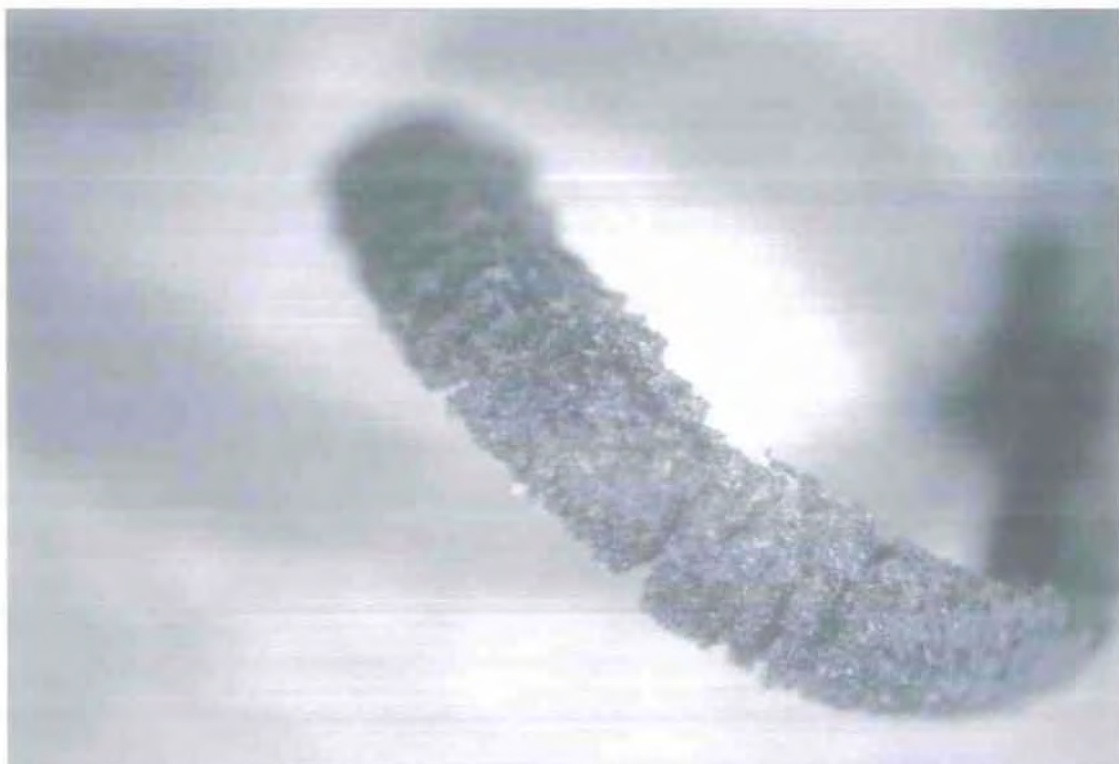
Τέλος, όταν χρησιμοποιούμε μεγάλη ταχύτητα κοπής (  $U = 943$  στρ./ mm ) προέκυψαν, για βάθος προώσεως  $0,05$  mm/στρ. –  $0,16$  mm/στρ., απόβλιττα με ταινιοειδές σχήμα τα οποία μετατράπηκαν σταδιακά σε ελικοειδές (  $s = 0,20$  mm/στρ. ) και σε σπειροειδές σχήμα (  $s = 0,32$  mm/στρ.). Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις παρατηρούμε συνεχές απόβλιττο για τις μικρές προώσεις, ενώ στη μέγιστη πρόωση έχουμε ασυνεχές απόβλιττο που αποτελείται από μικρά τεμάχια σπειροειδούς αποβλίττου. Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζονται τα συμπεράσματά μας:



Εικόνα 3.4.10. : Συνεχές απόβλιττο ταινιοειδούς σχήματος για  $s = 0,05$  mm/ στρ.



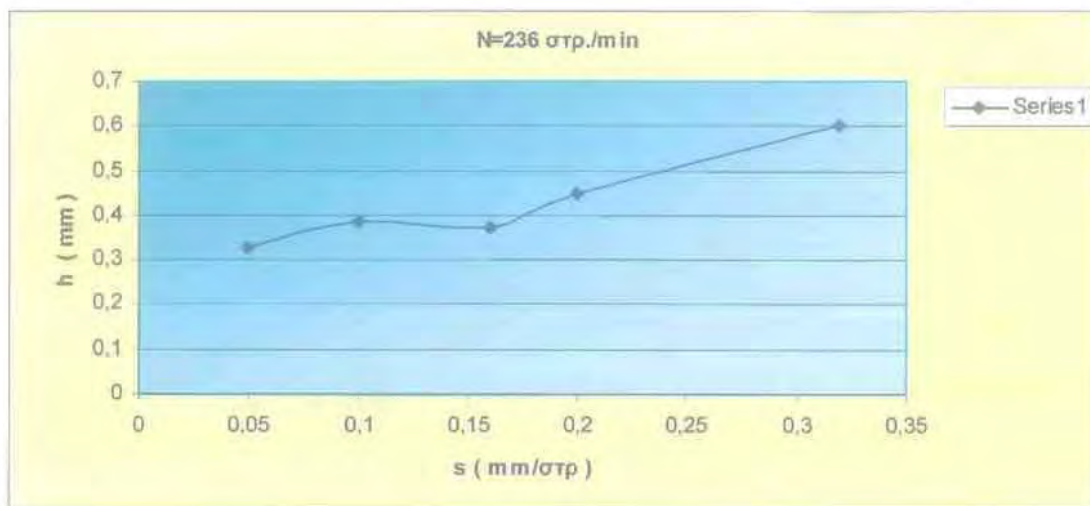
Εικόνα 3.4.11. : Συνεχές απόβλιττο ελικοειδούς σχήματος για  $s = 0,20$  mm /στρ.



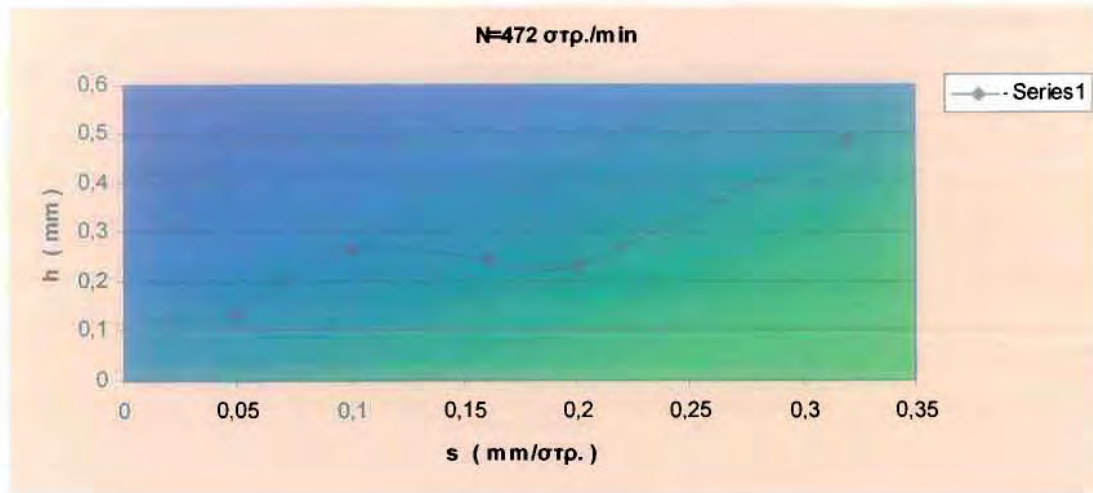
Εικόνα 3.4.12. : Ασυνεχές απόβλιττο σπειροειδούς σχήματος για  $s = 0,32$  mm/ στρ.

Αν κάνουμε μια σύνοψη των αποτελεσμάτων προκύπτει πως για βάθος προώσεως 0,05 mm/στρ. – 0,16 mm/στρ. τα απόβλιττα έχουν ταινιοειδές σχήμα ( ευθύ ή άτακτο) , το οποίο αλλάζει σε σπειροειδές καθώς εφαρμόζεται το μέγιστο βάθος προώσεως. Επίσης, τα απόβλιττα είναι συνεχή σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις εκτός από όταν συνδυάζονται μεγάλες ταχύτητες και υψηλή πρόωση, όπου και παράγονται ασυνεχή απόβλιττα. Τέλος, όπως θα δούμε και στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρούμε μια συνεχή αύξηση του πάχους του αποβλίττου καθώς μεγαλώνει η πρόωση με την οποία πραγματοποιείται η τόνρευση του υλικού.

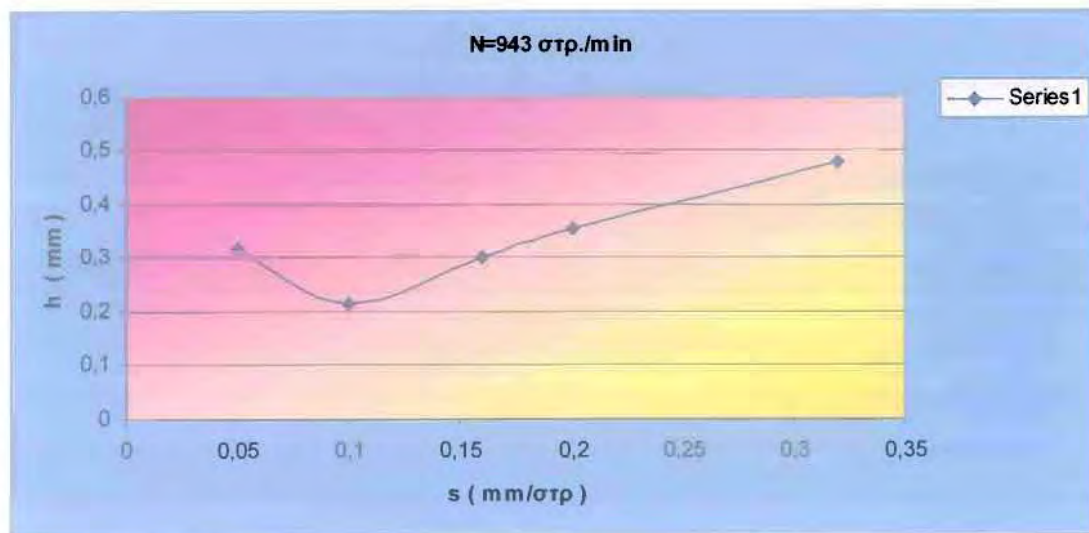
N = 236 στρ./min	
s (mm/στρ.)	h (mm)
0,05	0,328
0,1	0,386
0,16	0,373
0,2	0,45
0,32	0,60



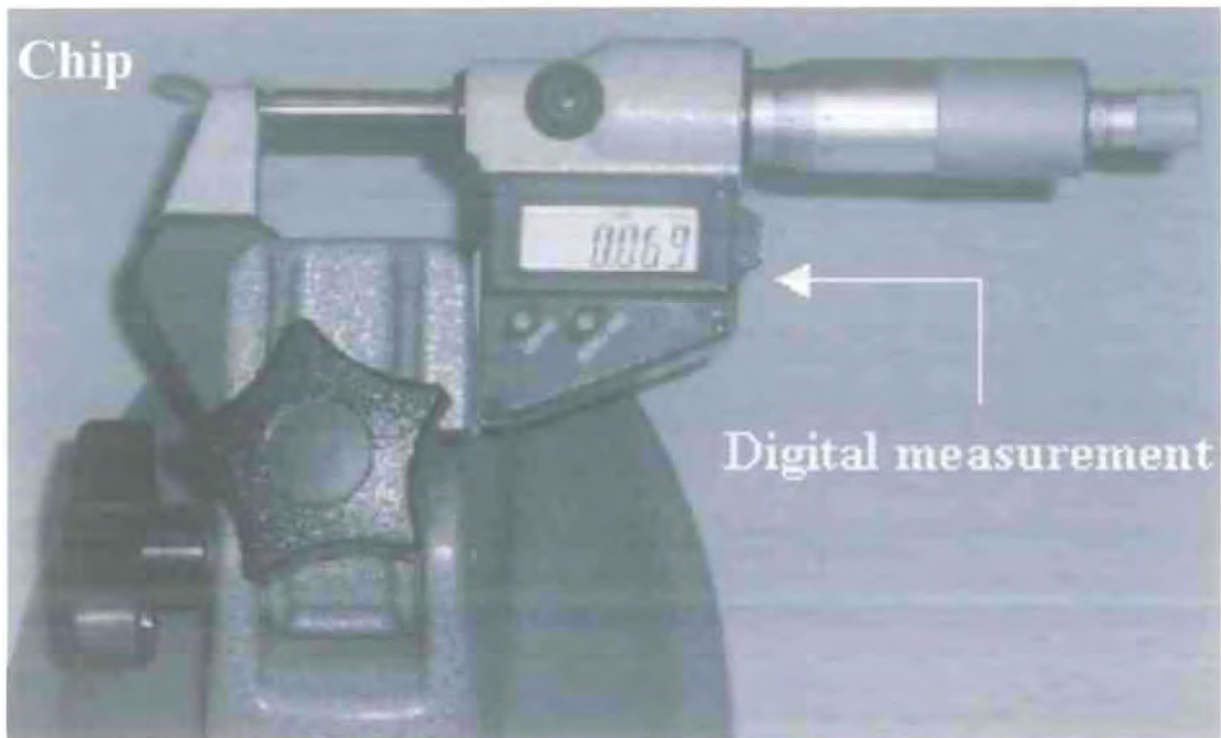
<b>N = 472 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>h (mm)</b>
<b>0,05</b>	<b>0,14</b>
<b>0,1</b>	<b>0,264</b>
<b>0,16</b>	<b>0,246</b>
<b>0,2</b>	<b>0,234</b>
<b>0,32</b>	<b>0,492</b>



<b>N = 943 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>h (mm)</b>
<b>0,05</b>	<b>0,318</b>
<b>0,1</b>	<b>0,215</b>
<b>0,16</b>	<b>0,301</b>
<b>0,2</b>	<b>0,354</b>
<b>0,32</b>	<b>0,48</b>



**Οι μετρήσεις του πάχους των αποβλίπτων έγινε με τη χρήση του ψηφιακού μικρομέτρου Mitutoyo το οποίο διαθέτει ένα εύρος 0.25 mm και μια ευαισθησία 0,001 mm.**



Εικόνα 3.4.13. :Ψηφιακό μικρόμετρο Mitutoyo

# ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

---

## 4. ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΙΝΩΔΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Εξαιτίας της ανομοιογενούς δομής των σύνθετων υλικών δεν υφίσταται πλήρης αναλογία με τα μέταλλα σε ότι αφορά τον σχηματισμό της νέας επιφάνειας και τους μηχανισμούς φθοράς του εργαλείου. Η συμπεριφορά των σύνθετων υλικών κατά την κοπή εξαρτάται από τη μορφή, την περιεκτικότητα και τους προσανατολισμούς των ινών. Επομένως καθίσταται απαραίτητη η κατανόηση κάποιων ιδιαίτερων και διαφορετικών ως προς τα μέταλλα μηχανισμών που εμφανίζονται κατά την κοπή των σύνθετων, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και την ορθή επιλογή κατάλληλων υλικών εργαλείων. Οι ερευνητικές εργασίες που αφορούν την κοπή ινωδών πολυμερών διαιρούνται, εν γένει, σε τρεις κατηγορίες :

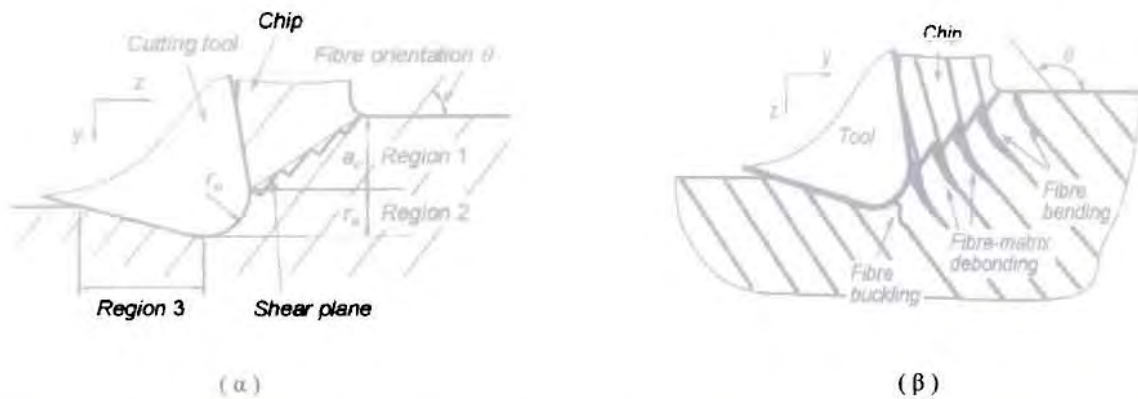
- a) πειραματικές έρευνες που εστιάζονται στη μακροσκοπική και μικροσκοπική συμπεριφορά των υλικών αυτών
- b) απλή μοντελοποίηση με χρήση μηχανικής της κοπής των μετάλλων
- c) υπολογιστικές προσομοιώσεις που αντιμετωπίζουν τα ινώδη πολυμερή ως ανισότροπα υλικά σε μακροσκοπική κλίμακα ή επικεντρώνονται στις μικροσκοπικές αλληλεπιδράσεις ινών- πολυμερούς μήτρας.

Γενικά, τα υπάρχοντα μακροσκοπικά μοντέλα έχουν αγνοήσει πολλά θεμελιώδη χαρακτηριστικά των υλικών που επηρεάζονται από την κοπή και δίνουν αποτελέσματα που αποκλίνουν από τα πραγματικά φαινόμενα της κοπής, ενώ τα μοντέλα που εστιάζονται σε επιδράσεις μικρο-κλίμακας απέτυχαν να προσφέρουν λύσεις πρακτικής χρησιμότητας.

#### 4.1 Μηχανική κοπής ινωδών σύνθετων

Θεωρούνται τρεις διακριτές ζώνες παραμόρφωσης στην περιοχή κοπής, βλέπε Σχήμα 1 (α), όπου η γωνία προσανατολισμού των ινών,  $\theta$ , κυμαίνεται μεταξύ  $0^\circ$  και  $90^\circ$ . Η ζώνη 1 εκτείνεται μπροστά από τη γωνία αποβλίπτου του εργαλείου και καλείται ζώνη αποβλίπτου. Θραύση συμβαίνει στις διατομές των ινών και κατά τις διεπιφάνειες ινών-μήτρας. Ο σχηματισμός αποβλίπτου κατά μήκος ενός επιπέδου διάτμησης είναι αποτέλεσμα θραύσεων των ινών κατά μία τεθλασμένη γραμμή και αποκολλήσεών τους από τη μήτρα κατά τον προσανατολισμό των ινών. Η ζώνη 2 εμφανίζεται κάτω από την ακή του εργαλείου, με την ακή να ασκεί πίεση προς τα κάτω στο κατεργαζόμενο υλικό. Ονομάζεται, χάριν απλότητας, ζώνη πίεσης. Στη ζώνη 3 (ζώνη ανάληψης), το κατεργαζόμενο υλικό τείνει να απωθήσει την ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου.





Σχήμα 4.1.1 : Μηχανισμός κοπής σύνθετου υλικού, (α) για  $\theta < 90^\circ$  (κύριες ζώνες παραμόρφωσης) και (β) για  $\theta > 90^\circ$  (κάμψη, λυγισμός και αποκόλληση ινών από τη μήτρα).

Σε περίπτωση που η γωνία προσανατολισμού των ινών είναι μεγαλύτερη των  $90^\circ$ , συνυπάρχουν περισσότεροι μηχανισμοί παραμόρφωσης (Σχήμα 1(β)). Τόσο η αποκόλληση των ινών από τη μήτρα, όσο και η κάμψη τους, συνεισφέρουν σημαντικά στην παραμόρφωση και στην αποβολή του υλικού. Λόγω της αποκόλλησης το βάθος της βλάβης στα επιφανειακά υποστρώματα αυξάνει. Η καμπτική παραμόρφωση των ινών μεταβάλλει το σημείο όπου οι ίνες θραύονται συναρτήσει της κίνησης του εργαλείου με αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας της επιφάνειας. Κατά συνέπεια, η διεύθυνση κοπής περιορίζεται από τη δυσμενή αυτή συνθήκη.

Οι οριζόντιες και κάθετες δυνάμεις κοπής στην περιοχή 1 δίνονται από τις σχέσεις:

$$F_{y1} = \tau_1 * h * a_c * \frac{\cos\phi * \tan(\phi + \beta + \gamma_0)}{\frac{T_1}{T_2} * \cos(\theta - \phi) * \sin\theta - \sin(\theta - \phi) * \cos\theta}$$

$$F_{z1} = \tau_1 * h * a_c * \frac{\sin\phi * \tan(\phi + \beta + \gamma_0) + \cos\phi}{\frac{T_1}{T_2} * \cos(\theta - \phi) * \sin\theta - \sin(\theta - \phi) * \cos\theta}$$

Όπου  $\gamma_0$ : η γωνία του αποβλίπτου  
 $\phi$ : η γωνία διατμήσεως  
 $h$ : πάχος αποβλίπτου

Στην περιοχή 2 οι δυνάμεις κοπής δίνονται από τις σχέσεις :

$$F_{y2} = P_{real} * ( \cos\theta - \mu * \sin\theta )$$

$$F_{z2} = P_{real} * ( \sin\theta + \mu * \cos\theta )$$

Όπου  $\mu$ : συντελεστής τριβής

$P_{real}$ : είναι μια δύναμη που υπολογίζει τις μικρές απώλειες κατά την διάρκεια της κατεργασίας και ισούται με:

$$P_{real} = K * P \quad \mu\epsilon \quad P = P_1 + P_2$$

Επίσης:  $P_1 = \frac{1}{2} * \frac{b_1^2 * \pi * E' * h}{4 * r_e}$  όπου  $b_1 = r_e * \sin\theta$

και

$$P_2 = \frac{1}{2} * \frac{b_2^2 * \pi * E' * h}{4 * r_e} \quad \text{όπου } b_2 = r_e * \cos\theta$$

Ισχύει:  $E' = E / (1 - \nu^2)$  όπου  $E$ : μέτρο ελαστικότητας  
 $\nu$ : δείκτης Poisson

Οι δυνάμεις κοπής στην περιοχή 3 υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$F_{y3} = \frac{1}{2} * r_e * E_3 * h * ( 1 - \mu * \cos\alpha * \sin\alpha )$$

$$F_{z3} = \frac{1}{2} * r_e * E_3 * h * \cos^2\alpha$$

Όπου  $\alpha$ : η γωνία του εργαλείου

$E_3$ : το μέτρο ελαστικότητας στην περιοχή 3 που είναι συνήθως μικρότερο από το υλικό της κατεργασίας, αφού το υλικό μπορεί να έχει υποστεί κάποια ζημιά κατά την διάρκεια της επεξεργασίας του στην περιοχή 2.

Τα συνολικά αποτελέσματα των δυνάμεων κοπής φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Για την δύναμη  $F_y$  έχουμε :

$U=236$ στρ./min  $U=472$  στρ./min  $U=943$  στρ./min

$S=0,05$ mm/στρ.	94,50	26,75	89,76
$S=0,10$ mm/στρ.	83,30	49,52	38,51
$S=0,16$ mm/στρ.	68,40	43,44	53,1
$S=0,20$ mm/στρ.	81,33	44,46	62,32
$S=0,32$ mm/στρ.	106	86,9	85,1

Για την δύναμη  $F_z$  έχουμε :

$U=236$ στρ./min  $U=472$  στρ./min  $U=943$  στρ./min

$S=0,05$ mm/στρ.	125	28,03	117,74
$S=0,10$ mm/στρ.	96,3	50,91	36,81
$S=0,16$ mm/στρ.	66,82	36,1	48,13
$S=0,20$ mm/στρ.	79	31,61	55,1
$S=0,32$ mm/στρ.	95,70	72,23	59,13

## 4.2 Το πρότυπο της ορθογωνικής κοπής

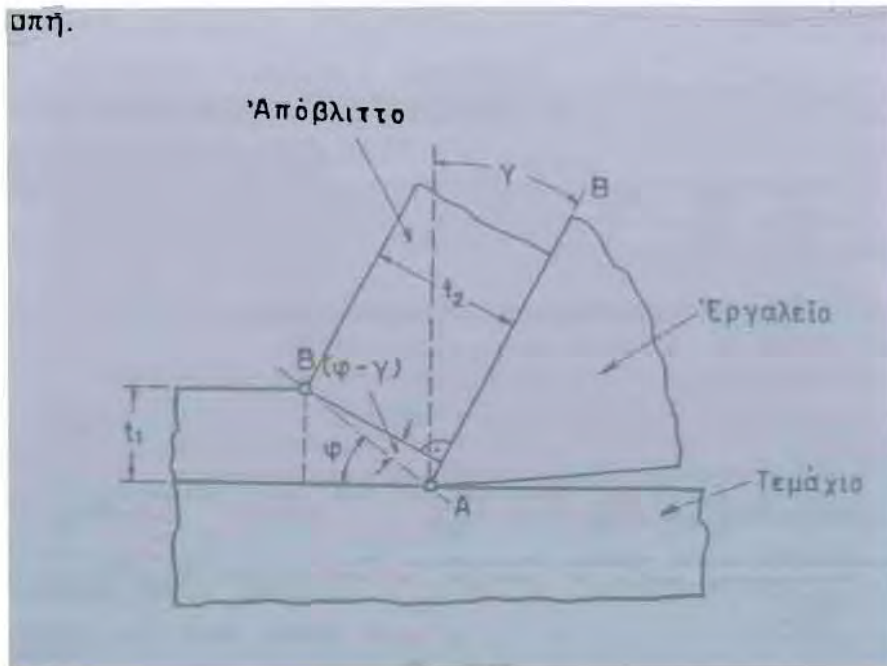
Η απλούστερη μορφή της κοπής των μετάλλων και επομένως η καλύτερα υποκείμενη σε θεωρητική και πειραματική έρευνα είναι η λεγόμενη ορθογωνική κοπή. Στην ορθογωνική κοπή ισχύουν συνθήκες παραμορφώσεως, λόγω του μικρού πάχους ζώνης πλαστικής διάτμησης. Ο μηχανισμός πλαστικής παραμόρφωσης στην ορθογωνική κοπή είναι δυνατό να εξομοιωθεί με συμπίεση και σύγχρονη διάτμηση ενός λεπτού δίσκου ανάμεσα σε δυο τραχειές πλάκες.

Κατά την ορθογωνική κοπή, το κοπτικό εργαλείο έχει απλή, ευθεία κόψη, διαστάσεως μεγαλύτερης από το πλάτος του τεμαχίου, κάθετη προς την κατεύθυνση του της σχετικής κινήσεως του εργαλείου και τεμαχίου σε τρόπο, ώστε η σχηματιζόμενη μετά την κοπή επιφάνεια του τεμαχίου να προκύψει επίπεδη και παράλληλη προς δοσμένο επίπεδο αναφοράς.

### 4.2.1 Η κινηματική της ορθογωνικής κοπής

#### 4.2.1. α) Ο δείκτης ή συντελεστής συμπίεσεως του αποβλήτου

Κατά τον σχηματισμό του αποβλήτου, το θεωρητικό του πάχος  $t_1$  μετατρέπεται σε  $t_2$  (σχήμα 4.2.1). Κατά κανόνα ισχύει η ανισότητα  $t_1 < t_2$  ή  $t_2/t_1 > 1$  εξ αιτίας της έντονης πλαστικής παραμόρφωσης, η οποία συμβαίνει κατά την κοπή.



Σχήμα 4.2.1

Γεωμετρικά στοιχεία υποβοηθητικά στον προσδιορισμό της γωνίας δατησεως

Το λόγο  $\lambda = t_2/t_1$  καλούμε δείκτη συμπίεσεως του αποβλίττου, ο οποίος αποτελεί σημαντικό μέγεθος της κοπής των μετάλλων, που είναι δυνατό μάλιστα και να μετρηθεί με ικανοποιητική για την πράξη ακρίβεια.

Από την γεωμετρία του σχήματος 4.2.1 λαμβάνουμε:

$$\varphi = \text{τοξεφ}(\text{συνγ}/\lambda\text{-ημγ}) .$$

Ο δείκτης  $\lambda$  μας δίνει το μέτρο της πλαστικής παραμόρφωσης, την οποία υφύσταται το μέταλλο κατά το σχηματισμό αποβλίττου. Υψηλές τιμές του συντελεστή αυτού σημαίνουν ισχυρά έντονη πλαστική παραμόρφωση του υλικού, ενώ χαμηλές τιμές του σημαίνουν ηπιότερη παραμόρφωση του. Ο δείκτης συμπίεσεως του αποβλίττου, συνεπώς, παρέχει ξεκάθαρη, αλλά χονδρική κάπως ένδειξη σχετικά με τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις και τη κατανολισκόμενη ισχύ κοπής, όπως επίσης και για τις εμφανιζόμενες θερμοκρασίες κατά την κοπή. Με χονδρικές τέτοιες εκτιμήσεις μας δίνεται η δυνατότητα να κάνουμε συγκρίσεις, δηλαδή, κάτω από ποιους παράγοντες η κοπή εκτελείται πιο ευνοικά ή δυσμενέστερα.

**Υπάρχουν πολλές μέθοδοι πειραματικού προσδιορισμού του δείκτη λ:**

**Μια μέθοδος προσδιορισμού του λ σύγκειται στη μέτρηση των παχών  $t_1$  και  $t_2$  του αποβλίττου. Το πραγματικό πάχος του αποβλίττου προσδιορίζεται ως ο μέσος όρος μιας σειράς μετρήσεων με ενδεικτικό μικρόμετρο σφαιρικών άκρων με ακρίβεια της τάξεως των 5  $\mu\text{m}$ . Κατά την ορθογωνική τόννευση, το  $t_1$  ισούται με την πρόωση του τόννου. Η μέθοδος αυτή δεν μας δίνει μεγάλη ακρίβεια, γιατί παρουσιάζονται δυσκολίες κατά την μέτρηση του πάχους  $t_2$  λόγω ανωμαλιών των επιφανειών του αποβλίττου από την ισχυρή παραμόρφωσή του κατά την κοπή.**

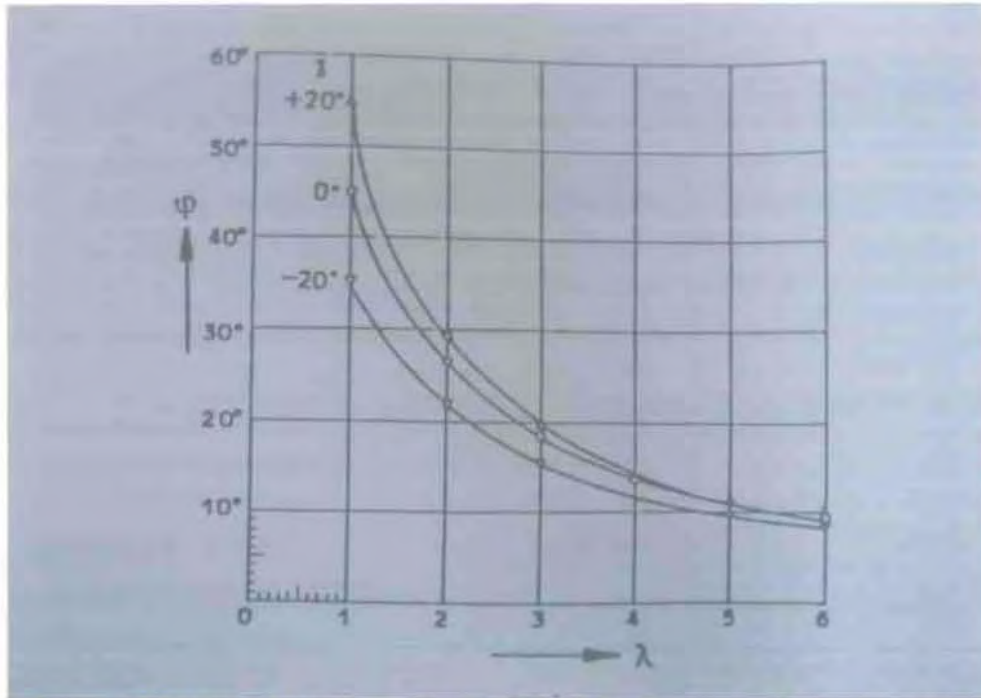
**Σύμφωνα με μια άλλη μέθοδο, ο δείκτης συμπίεσεως λ προσδιορίζεται ως  $\lambda = L_1/L_2$  όπου  $L_1$  είναι το γνωστό θεωρητικό μήκος αποβλίττου και  $L_2$  είναι το αντίστοιχο πραγματικό. Αυτό προκύπτει από την υπόθεση ότι αν η πυκνότητα του υλικού δεν αλλάζει κατά την κοπή, ο όγκος του αποβλίττου ισούται προς τον όγκο του αφαιρούμενου αντίστοιχα μετάλλου βάσει του θεωρήματος της συνέχειας ροής. Το μήκος  $L_2$  μπορεί να εκτιμηθεί με μέτρηση του αποβλίττου, αφού προηγουμένως αυτό ευθυγραμμιστεί μετά από ανόπτηση, για να μαλακώσει, αν βέβαια τούτο απαιτείται.**

**Μια γενική αρχή, που μπορεί να διατυπωθεί, είναι ότι η επιρροή οποιουδήποτε παράγοντα κοπής στο σχηματισμό του αποβλίττου εξασθενίζει, καθώς η κοπή ενώ προχωράει καθίσταται πιο ευνοϊκή. Στα σχήματα 4.2.2 και 4.2.3 δίνεται γραφική παράσταση της σχέσης :**

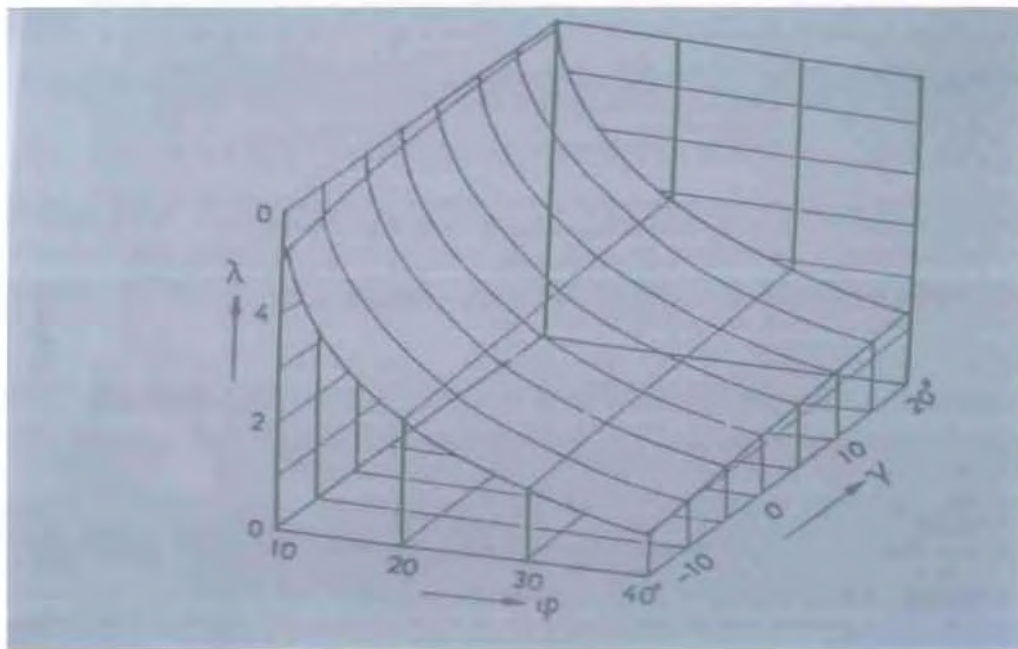
$$\text{Εφφ} = \text{συνγ} / \lambda - \eta\mu\gamma$$

**Από μελέτη των σχετικών καμπύλων συνεπάγεται, ότι η γωνία διατμήσεως  $\phi$  αυξάνεται με ελάττωση δείκτη συμπίεσεως του αποβλίττου  $\lambda$  σε όλη την περιοχή μεταβολής της γωνίας  $\gamma$ . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μεγάλες γωνίες διατμήσεως χαρακτηρίζουν εύκολη κοπή. Ακόμα, η η γωνία αποβλίττου του εργαλείου  $\gamma$  επιδρά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αύξησή της να συνεπάγεται αύξηση της γωνίας διατμήσεως σε όλη την περιοχή μεταβολής του  $\lambda$ . Επιπλέον, η επιρροή της γωνίας  $\gamma$  πάνω στην γωνία διατμήσεως  $\phi$  είναι εντονότερη στις χαμηλές τιμές του  $\lambda$ .**

**Το δείκτη συμπίεσεως του αποβλίττου επηρεάζουν η ταχύτητα κοπής, η πρόωση, η αναπτυσσόμενη στην επιφάνεια επαφής αποβλίττου – εργαλείου θερμοκρασία (εξαρτώμενη κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα κοπής), καθώς και το εκάστοτε χρησιμοποιούμενο υγρό κοπής.**



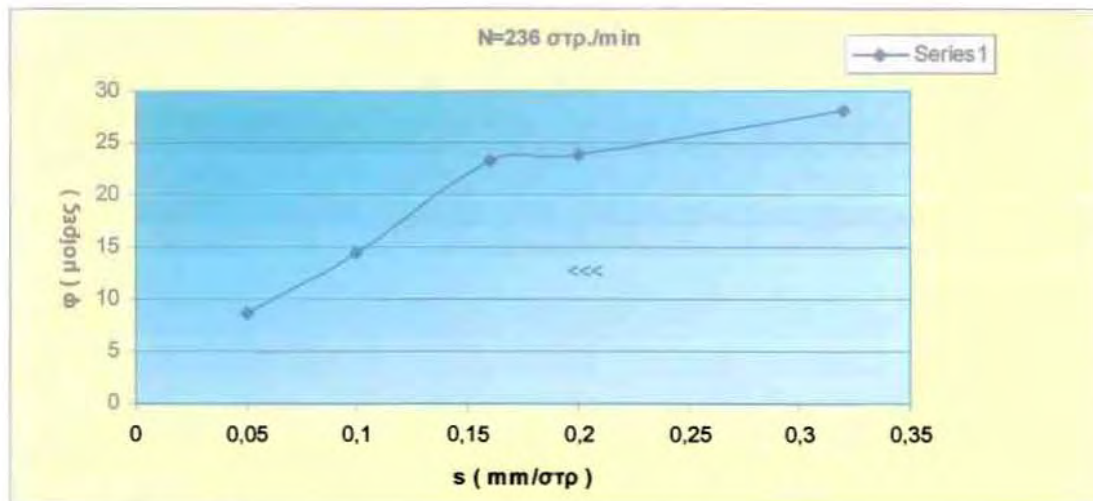
Σχήμα 4.2.2 : Αλληλεξάρτηση της γωνίας διαθμίσεως  $\varphi$  και του δείκτη συμπίσεως του αποβλίττου  $\lambda$ .



Σχήμα 4.2.3. : Αλληλεξάρτηση της γωνίας διάτμησης  $\varphi$ , του δείκτη συμπίσεως του αποβλίττου  $\lambda$  και της γωνίας αποβλίττου του εργαλείου  $\gamma$ .

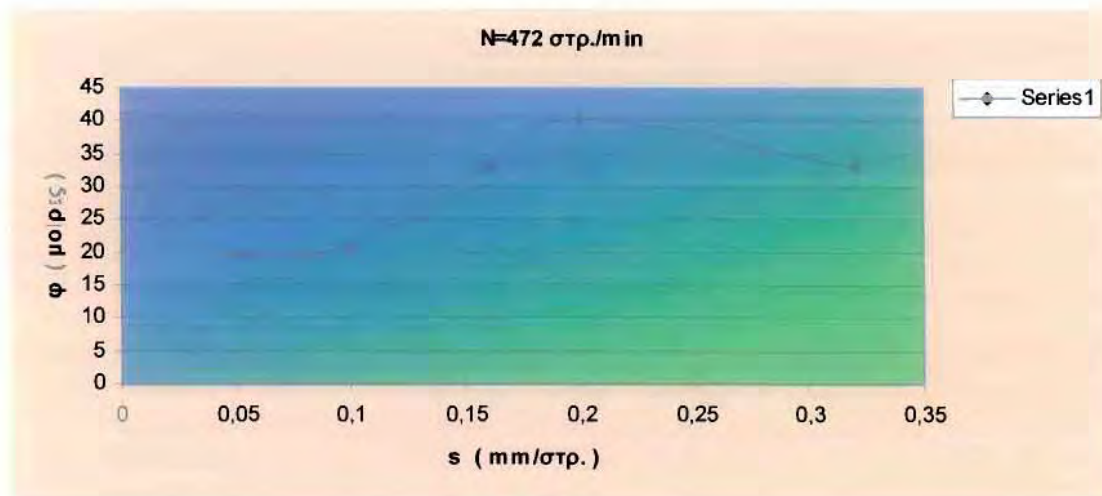
Παρακάτω παρατίθενται κάποια διαγράμματα που μας δείχνουν την εξάρτηση της γωνίας διατμήσεως από τις διάφορες τιμές προώσεως :

N = 236 στρ./min	
s (mm/στρ.)	$\varphi$ ( ° )
0,05	8,65
0,1	14,49
0,16	23,2
0,2	23,92
0,32	28,1

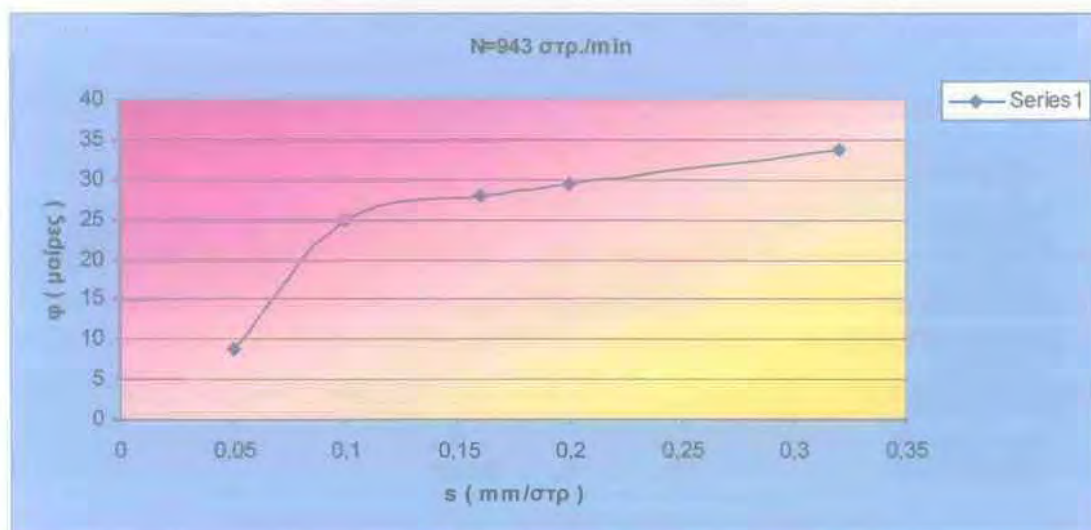


N = 472 στρ./min	
s (mm/στρ.)	$\varphi$ ( ° )
0,05	19,6
0,1	20,7
0,16	33,01
0,2	40,47
0,32	33,01



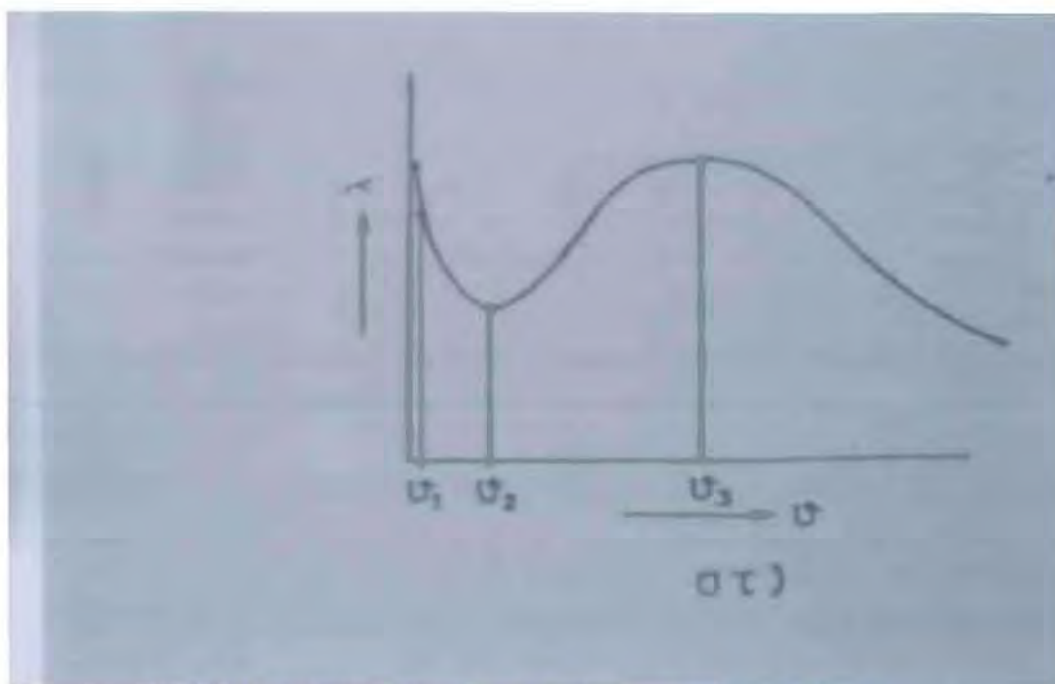


<b>N = 943 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>φ ( ° )</b>
<b>0,05</b>	<b>8,92</b>
<b>0,1</b>	<b>24,9</b>
<b>0,16</b>	<b>27,96</b>
<b>0,2</b>	<b>29,43</b>
<b>0,32</b>	<b>33,65</b>



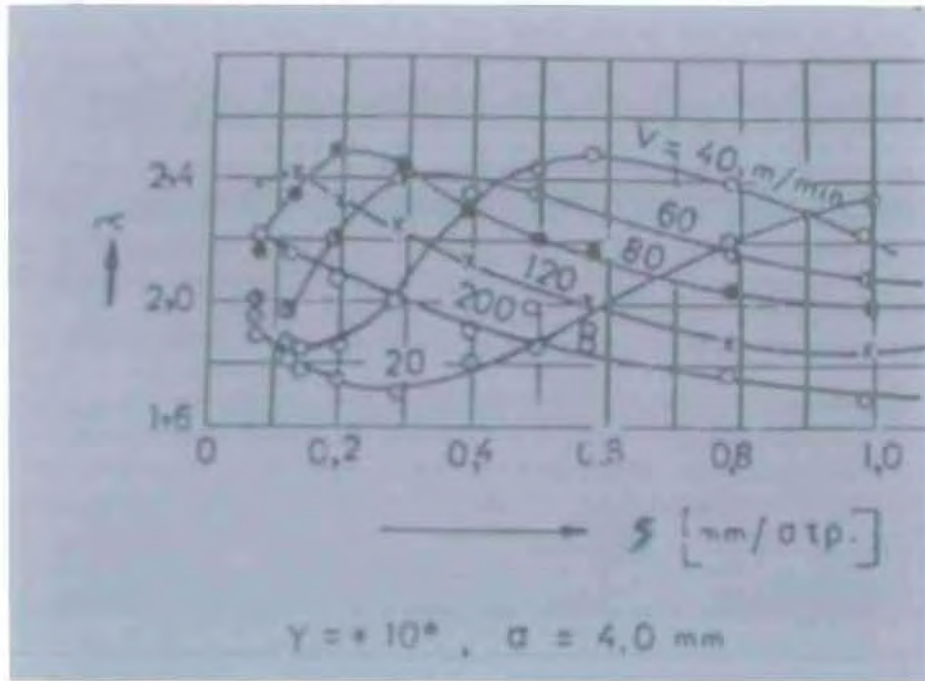
**Οι διάφορες ανεξαρτητες μεταβλητές της κοπής (u, s, a) επηρεάζουν κατά διαφορετικό τρόπο τον δείκτη συμπίεσως του αποβλίττου και κατ'επέκταση τη διαδικασία σχηματισμού του αποβλίττου και μάλιστα η επίδραση της μιας μεταβλητής εξαρτάται από την έντονη επίδραση των άλλων. Η ταχύτητα κοπής ασκεί τη πλέον**

έντονη αντίδραση στο σχηματισμό του αποβλίπτου. Τυπική επιρροή της ταχύτητας κοπής στο δείκτη  $\lambda$  απεικονίζεται ποιοτικά στο σχήμα 4.2.4 ( α ).

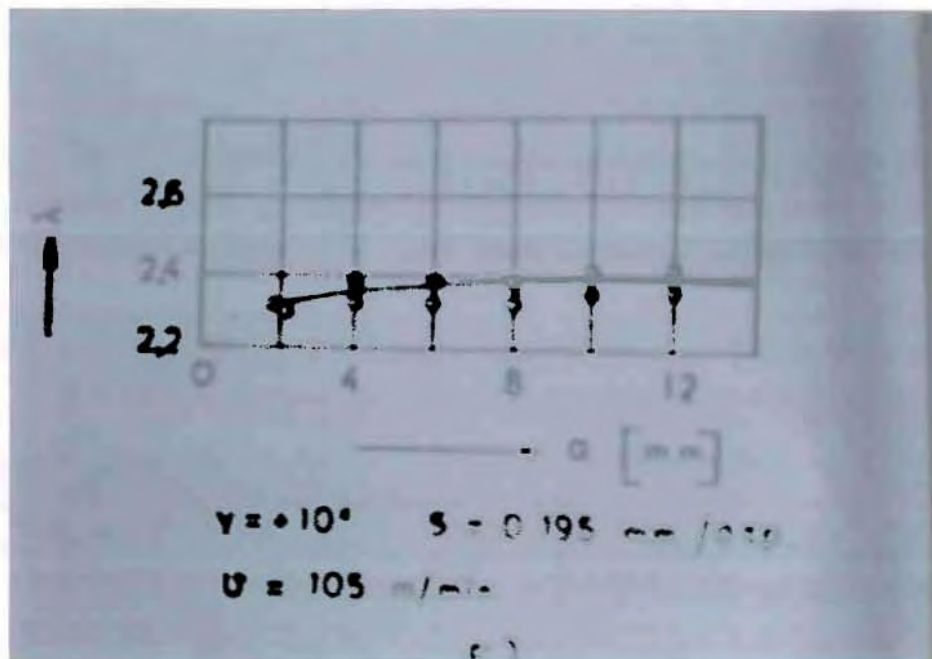


Σχήμα 4.2.4 ( α ) : Επίδραση της ταχύτητας κοπής στο δείκτη  $\lambda$

Η πρόωση επιδρά στο δείκτη συμπίεσεως του αποβλίπτου κατά παρόμοιο τρόπο με την ταχύτητα κοπής (σχήμα 4.2.4 β). Τέλος, το βάθος κοπής ασκεί αμελητέα επίδραση επάνω στο δείκτη  $\lambda$  (4.2.4 γ) και κατά συνέπεια στο μηχανισμό σχηματισμού του αποβλίπτου. Συμπερασματικά, μια δεδομένη μεταβλητή της κοπής, αν επηρεάζει δραστικά τον μηχανισμό σχηματισμού του αποβλίπτου, τότε θα ασκεί επίδραση και στην δράση άλλων μεταβλητών περιορίζοντάς την. Για παράδειγμα, η ταχύτητα κοπής, η οποία ασκεί και την εντονότερη επιρροή στην διαδικασία σχηματισμού του αποβλίπτου, αλλάζει σημαντικά την επίδραση της προώσεως πάνω στο δείκτη  $\lambda$ .



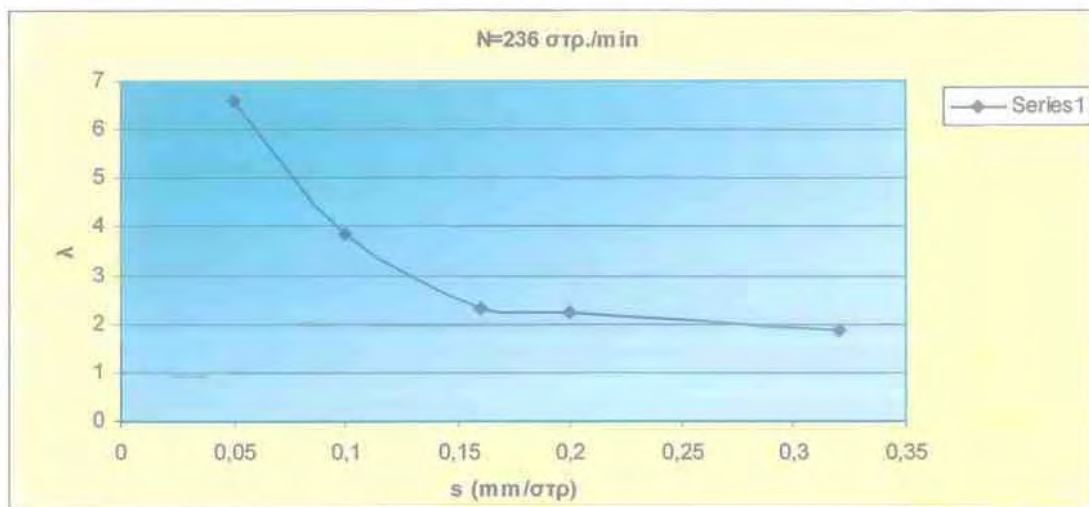
Σχήμα 4.2.4. (β) : Επίδραση πρόωσης στο δείκτη συμπίεσης  $\lambda$  του αποβλήττου



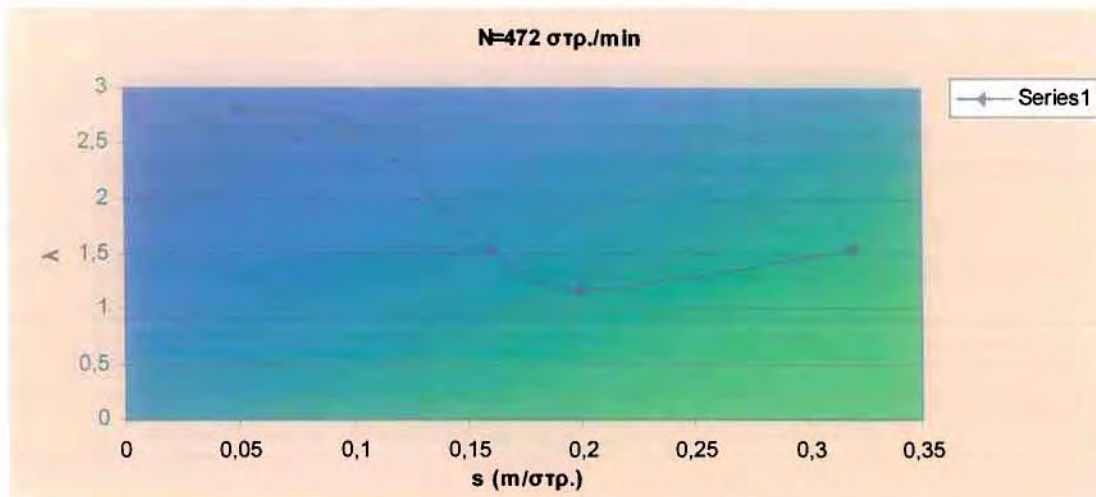
Σχήμα 4.2.4. (γ) : Επίδραση του βάθους κοπής στο δείκτη συμπίεσης  $\lambda$  του αποβλήττου

Παρακάτω παρατίθενται κάποια διαγράμματα που μας δείχνουν την εξάρτηση του συντελεστή συμπίεσης  $\lambda$  από τις διάφορες τιμές της προώσεως:

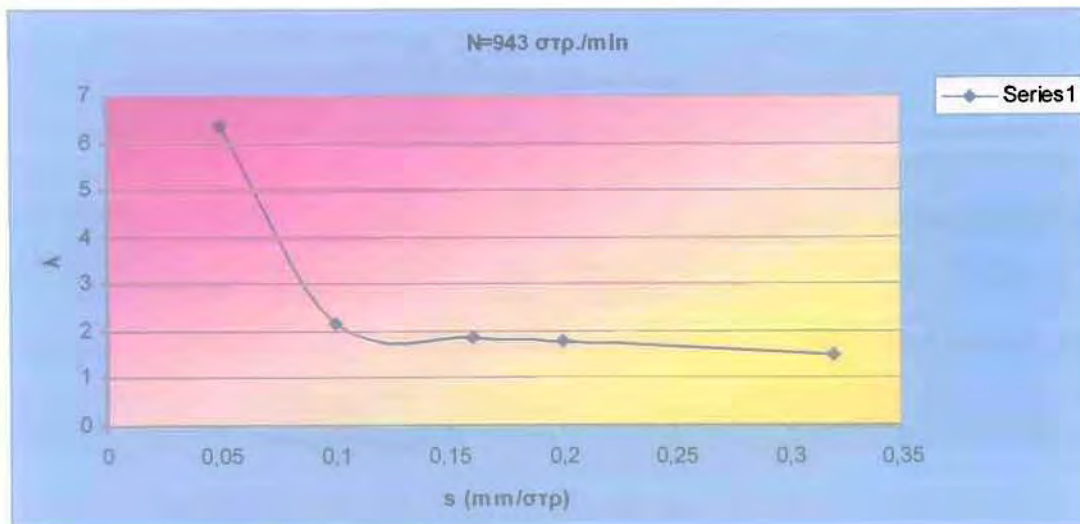
N = 236 στρ./min	
s (mm/στρ.)	$\lambda$
0,05	6,573
0,1	3,868
0,16	2,344
0,2	2,253
0,32	1,877



<b>N = 472 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>λ</b>
<b>0,05</b>	<b>2,806</b>
<b>0,1</b>	<b>2,645</b>
<b>0,16</b>	<b>1,539</b>
<b>0,2</b>	<b>1,172</b>
<b>0,32</b>	<b>1,539</b>



<b>N = 943 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>λ</b>
<b>0,05</b>	<b>6,373</b>
<b>0,1</b>	<b>2,154</b>
<b>0,16</b>	<b>1,884</b>
<b>0,2</b>	<b>1,773</b>
<b>0,32</b>	<b>1,502</b>



#### 4.2.1. β) Οι διάφορες ταχύτητες κατά την κοπή των μετάλλων

Κατά τον σχηματισμό του αποβλίττου διακρίνουμε τις ακόλουθες τρεις ταχυτητες:

- a) Την ταχύτητα του εργαλείου σχετικά με το τεμάχιο  $U$ , την οποία καλούμε ταχύτητα κοπής.
- b) Την ταχύτητα αποβλίττου ως προς το τεμάχιο κατά την κατεύθυνση του ορίου διατμήσεως  $U_s$ , την οποία ονομάζουμε ταχύτητα διατμήσεως κοπής.
- c) Την ταχύτητα κινήσεως του αποβλίττου σε σχέση με το εργαλείο  $U_c$ , η οποία ονομάζεται ταχύτητα αποβλίττου.

Ισχύει ότι:

$$U_c = u / \lambda$$

Θεωρώντας ότι ο δείκτης  $\lambda$  λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας συνήθως δε μεγαλύτερες από το 2 ή και πολλές φορές μεγαλύτερες και από το 3, προκύπτει ότι το απόβλιττο κινείται πάνω στο εργαλείο με ταχύτητα σημαντικά χαμηλότερη από την ταχύτητα κοπής. Η ταχύτητα διατμήσεως  $U_s$  εκφράζεται σε συνάρτηση με την ταχύτητα κοπής από την σχέση:

$$U_s / U = \sigma_{\nu\gamma} / \sigma_{\nu} (\varphi - \gamma)$$

$$U_s = U * \sigma_{\nu\gamma} / \sigma_{\nu} (\varphi - \gamma)$$

#### 4.2.1. γ) Διατμητική παραμόρφωση κατά την κοπή

Η παραμόρφωση λόγω απλής διατμήσεως  $\gamma_{\chi\psi}$  ορίζεται ως ο λόγος της μετακινήσεως της θεωρούμενης στρώσεως μετάλλου  $\Delta\psi$  προς το πάχος της στρώσεως αυτής  $\Delta\chi$ . Δηλαδή:

$$\gamma_{\chi\psi} = \Delta\psi / \Delta\chi$$

Επιπλέον μπορούμε να εκφράσουμε την απλή διατμητική παραμόρφωση σε συνάρτηση με την γωνία διάτμησης  $\varphi$  και την γωνία αποβλίπτου του εργαλείου  $\gamma$  ως εξής:

$$\gamma_{\chi\psi} = \Delta\psi / \Delta\chi = \Delta\chi * \sigma\varphi\varphi + \Delta\chi * \epsilon\varphi ( \varphi - \gamma ) / \Delta\chi$$

Επομένως :  $\gamma_{\chi\psi} = \sigma\varphi\varphi + \epsilon\varphi ( \varphi - \gamma )$

### 4.3 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΠΗ

Για να αρχίσει η κοπή είναι αναγκαία η εφαρμογή μιας δύναμης επαρκούς μεγέθους και κατάλληλης διεύθυνσεως στο χώρο. Η δύναμη αυτή, θεωρείται συγκεντρωμένη, πρέπει να είναι ικανή να υπερνικήσει την αντίσταση που παρουσιάζει το κατεργαζόμενο υλικό σε πλαστική και ελαστική παραμόρφωση στις ζώνες παραμορφώσεως και τριβής, όπως και την αντίσταση στο σχηματισμό της νεοκατεργαζόμενης επιφάνειας.

Το σύστημα των δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τον σχηματισμό του αποβλίττου με ορθογωνική κοπή παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3.1 :



Σχήμα 4.3.1 : Το σύστημα των δυνάμεων που ασκούνται στο απόβλιττο



Οι δυνάμεις που επενεργούν πάνω στο απόβλιττο, αν αυτό θεωρηθεί σαν σώμα απολύτως στερεό και ελεύθερο ευρισκόμενο σε ηρεμία, είναι οι ακόλουθες :

- a) Η αντίσταση σε διάτμηση του υλικού του τεμαχίου  $F_s$ , που εφαρμόζεται κατά μήκος του επιπέδου διατμήσεως (δύναμη διατμήσεως)
- b) Η κάθετη προς το επίπεδο διατμήσεως δύναμη  $F_{sn}$ , η οποία αποτελεί κατά κάποιο τρόπο αντίδραση, που ασκείται από το τεμάχιο προς το απόβλιττο.
- c) Η δύναμη τριβής  $F_f$ , που ασκείται κατά μήκος της επιφάνειας επαφής αποβλίττου – εργαλείου και αντιτίθεται στην κίνηση του αποβλίττου.
- d) Η δύναμη  $F_n$ , η οποία είναι κάθετη προς την επιφάνεια επαφής αποβλίττου – εργαλείου.

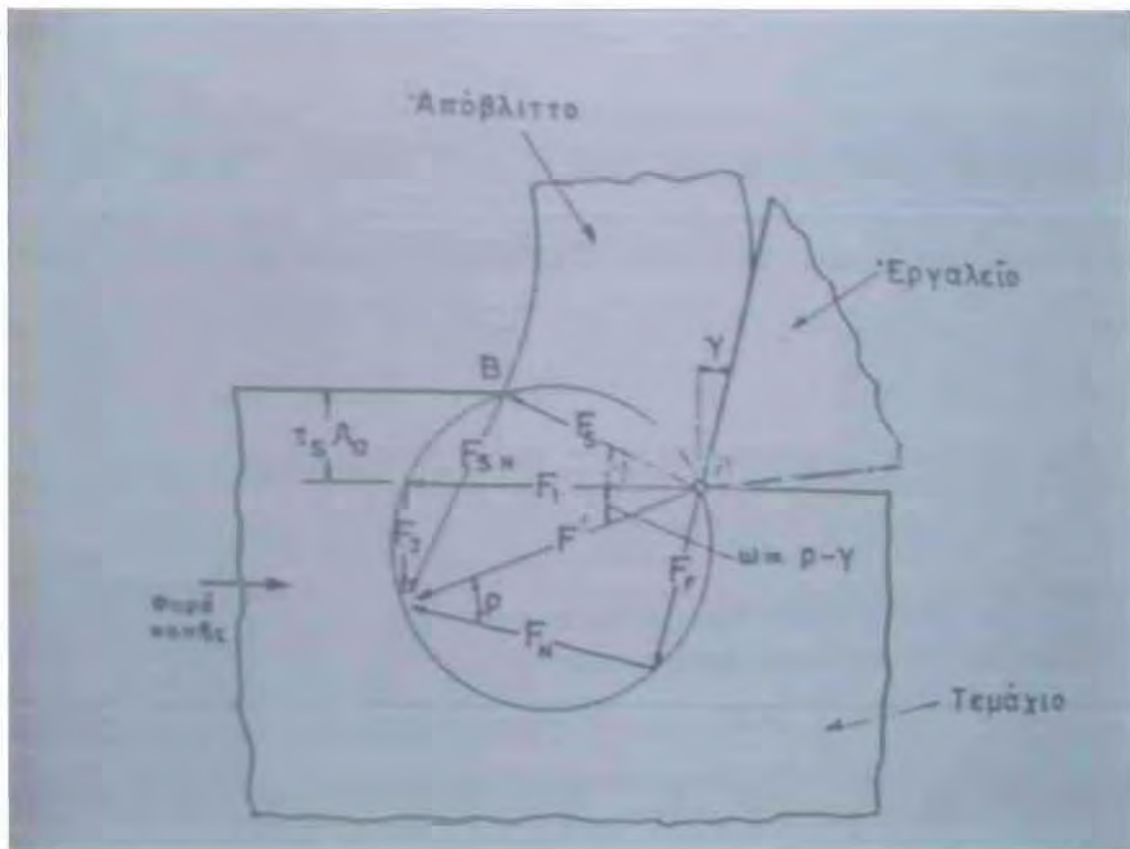
Με την προϋπόθεση ότι δεν επενεργεί οποιαδήποτε ροπή στο απόβλιττο, για την στατική ισοροπία του, θα πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$F = F'$$

Έτσι, οι δυνάμεις  $F_s$  και  $F_{sn}$  καθώς και οι δυνάμεις  $F_f$  και  $F_n$  αντικαθίστανται από τις συνισταμένες τους  $F$  και  $F'$  αντίστοιχα, οι οποίες είναι ίσες και αντίρροπες. Η συνισταμένη  $F$  λέγεται δύναμη κοπής.

Στο σχήμα απεικονίζεται το σύστημα των δυνάμεων κοπής σε μορφή κυκλικού διαγράμματος, που είναι πολύ χρήσιμο για τον προσδιορισμό των σχέσεων οι οποίες υφίστανται μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών. Στο διάγραμμα αυτό είναι δυνατό να συσχετισθούν οι τιμές του θεωρητικού και του πραγματικού πάχους του αποβλίττου, όπως ακόμη και το μήκος του επιπέδου διατμήσεως προς τα μεγέθη των δυνάμεων.

Στο διάγραμμα αυτό περιλαμβάνεται επιπλέον και η λεγόμενη κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής  $F_1$ , που επενεργεί στην κατεύθυνση της σχετικής κινήσεως του τεμαχίου ως προς το εργαλείο, όπως και η κάθετη προς αυτή συνιστώσα της δυνάμεως κοπής  $F'$ , δηλαδή η  $F_2$ . Η φορά των συνιστωσών  $F_1$  και  $F_2$  του σχήματος υποδηλώνει ότι αυτές ασκούνται από το εργαλείο στο τεμάχιο.



Σχήμα 4.3.3 : το κυκλικό διάγραμμα των δυνάμεων στην ορθογωνική κοπή χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν η δύναμη τριβής στη διεπιφάνεια ελεύθερης επιφάνειας εργαλείου και νεοκατεργασμένης επιφάνειας τεμαχίου.

**Οι δυνάμεις κοπής προκύπτουν από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις :**

$$F_f = F_1 * \sin\gamma + F_2 * \cos\gamma$$

$$F_n = F_1 * \cos\gamma - F_2 * \sin\gamma$$

$$F_s = F_1 * \cos\phi - F_2 * \sin\phi$$

$$F_{sn} = F_1 * \sin\phi + F_2 * \cos\phi$$

**όπου φ : η γωνία διατμήσεως**

**γ : η γωνία αποβλίττου**

Οι δυο συνιστώσες  $F_1$  και  $F_2$  προκύπτουν από της σχέσεις :

$$F_1 = \frac{A \cdot T_s \cdot \cos(\rho - \nu)}{\sin\varphi \cdot \cos(\varphi + \rho - \gamma)}$$

$$F_2 = \frac{A \cdot T_s \cdot \sin(\rho - \gamma)}{\sin\varphi \cdot \cos(\varphi + \rho + \gamma)}$$

όπου  $\rho$  : γωνία τριβής αποβλίπτου - εργαλείου

$T_s$  : μέση διατρητική τάση

$A$  : επιφάνεια διατμήσεως

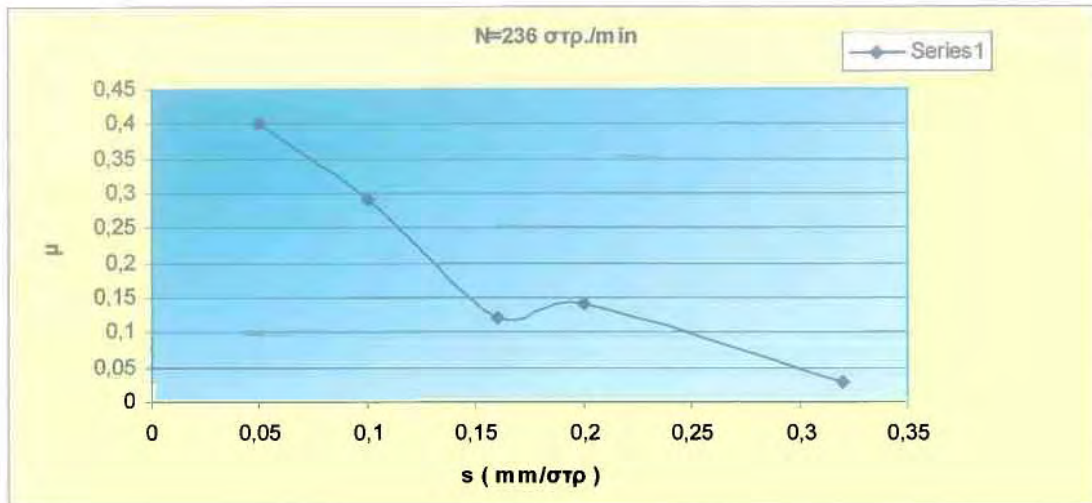
$A = b_1 \cdot t_1$  (  $b_1$  : θεωρητικό πλάτος κοπής,  $t_1$  : θεωρητικό πάχος αποβλίπτου ).

Ο συντελεστής τριβής και κατ'επέκταση η γωνία τριβής του αποβλίπτου δίνονται από την σχέση:

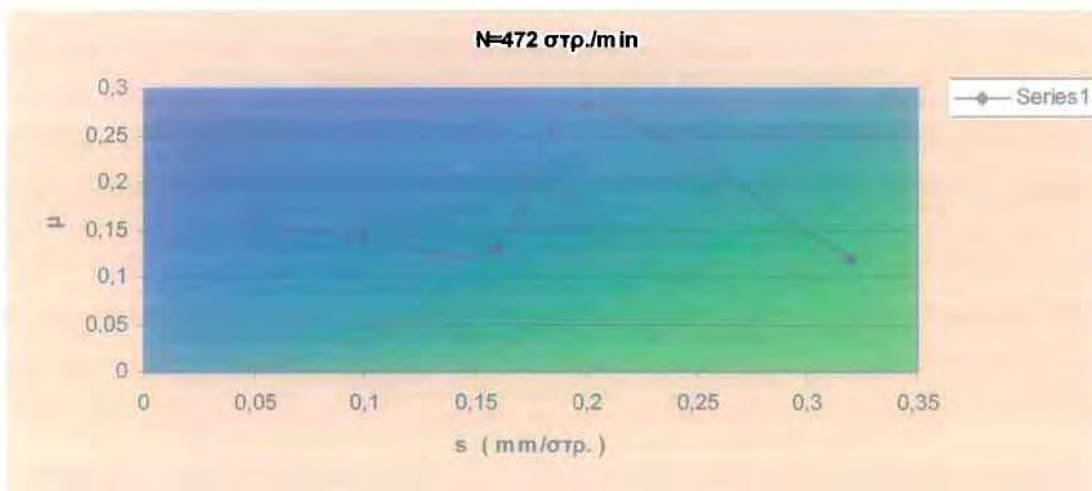
$$\mu = \varepsilon\varphi\rho = \frac{F_f}{F_n} = \frac{F_2 + F_1 \cdot \varepsilon\varphi\gamma}{F_1 - F_2 \cdot \varepsilon\varphi\gamma}$$

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η μεταβολή της γωνίας τριβής του αποβλίπτου ( $\rho$ ) αλλά και του συντελεστή τριβής ( $\mu$ ) συναρτήσει της πρόωσης που εφαρμόζεται:

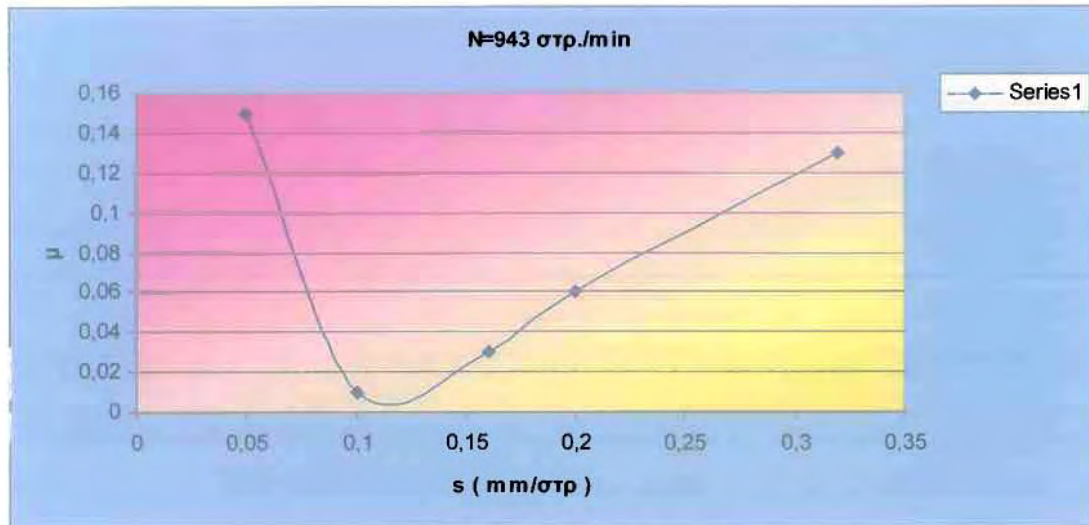
N-236 στρ./min	
s (mm/στρ.)	μ
0,05	0,4
0,10	0,29
0,16	0,12
0,20	0,14
0,32	0,03



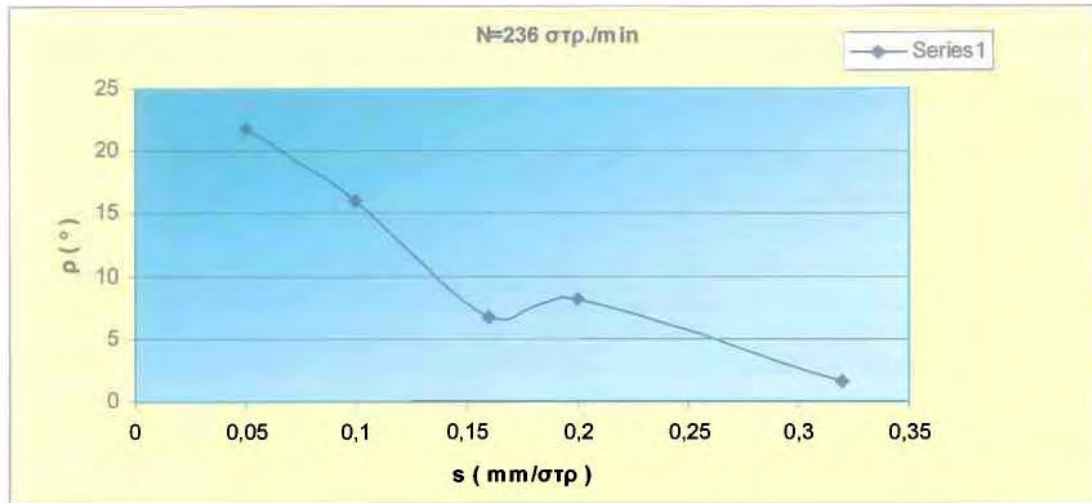
N=472 στρ./min	
s (mm/στρ.)	μ
0,05	0,16
0,10	0,14
0,16	0,13
0,20	0,28
0,32	0,12



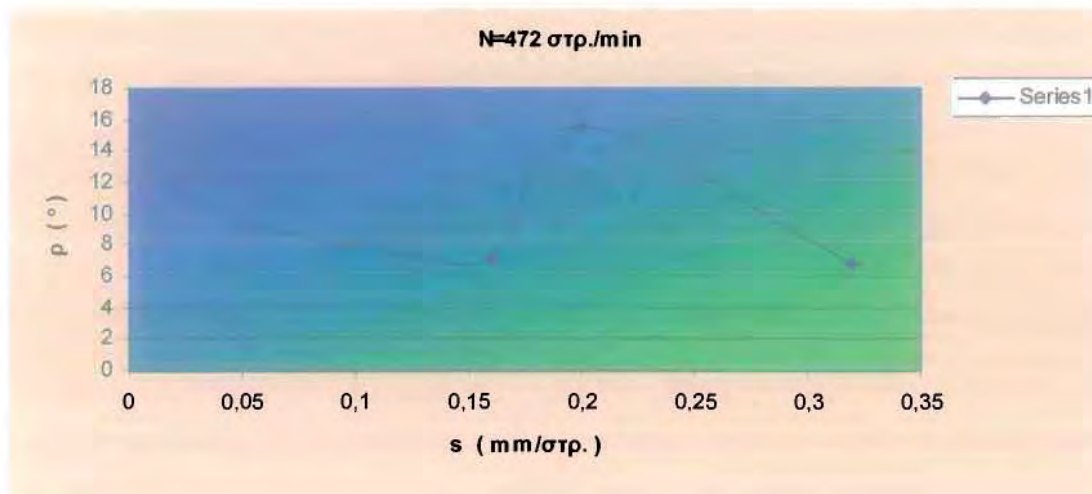
N=943 στρ/min	
s (mm/στρ.)	μ
0,05	0,15
0,10	0,01
0,16	0,03
0,20	0,06
0,32	0,13



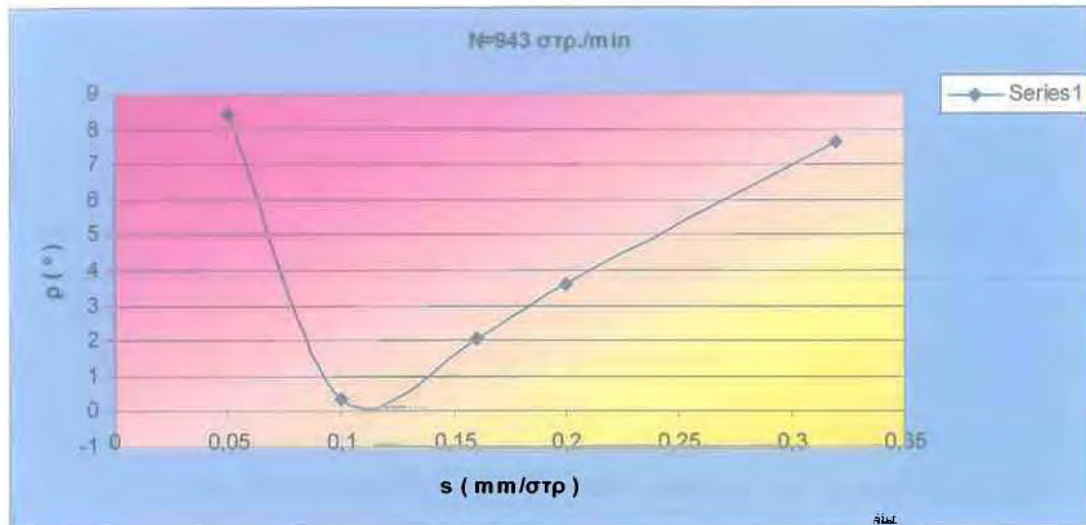
<b>N=236 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>ρ ( ° )</b>
<b>0,05</b>	<b>21,85</b>
<b>0,10</b>	<b>16</b>
<b>0,16</b>	<b>6,69</b>
<b>0,20</b>	<b>8,12</b>
<b>0,32</b>	<b>1,6</b>



<b>N=472στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>ρ ( ° )</b>
<b>0,05</b>	<b>9,2</b>
<b>0,10</b>	<b>8,13</b>
<b>0,16</b>	<b>7,21</b>
<b>0,20</b>	<b>15,58</b>
<b>0,32</b>	<b>6,76</b>



N=943 στρ/min	
s (mm/στρ.)	$\rho$ (°)
0,05	8,46
0,10	0,34
0,16	2,05
0,20	3,61
0,32	7,65



Στις δυνάμεις κοπής παρατηρούνται μεταβολές οι οποίες οφείλονται στην επενέργεια διαφόρων παραγόντων. Κάποιοι από αυτούς είναι η ανομοιογένεια του κατεργαζόμενου μετάλλου, οι ελαστικές παραμορφώσεις του εργαλείου και του τεμαχίου, η ψευδόκοψη, ο σχηματισμός ασυνεχούς αποβλίπτου, οι διακυμάνσεις στην παροχή του υγρού κοπής, το μεταβαλλόμενο θεωρητικό παχος του αποβλίπτου συναρτήσει του χρόνου ως χαρακτηριστικό στοιχείο της κατεργασίας κ.α.

Τέλος πρέπει να παρατηρήσουμε πως ανάλογα με το συστημα αναφοράς που επιλέγουμε, η δύναμη κοπής και οι διάφορες συνιστώσες της υπολογίζονται είτε θεωρητικά είτε πειραματικά. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τιμές των δυνάμεων, για τις διάφορες τιμές προώσεων αλλά και ταχυτήτων κοπής, με θεωρητική αλλά και πειραματική μέθοδο.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

U=236στρο./min    U=472στρο./min    U=943στρο./min

### ΔΥΝΑΜΗ F<sub>n</sub>

S=0,05mm/στρο.	18,34	9,89	17,85
S=0,10mm/στρο.	24,16	19,24	17,77
S=0,16mm/στρο.	29,21	27,79	27,67
S=0,20mm/στρο.	36,05	39,37	34,38
S=0,32mm/στρο.	55,30	55,57	55,85

### ΔΥΝΑΜΗ F<sub>s</sub>

S=0,05mm/στρο.	16,56	7,43	16,05
S=0,10mm/στρο.	19,94	14,12	11,85
S=0,16mm/στρο.	20,29	14,66	17,04
S=0,20mm/στρο.	24,61	15,37	20,30
S=0,32mm/στρο.	33,92	29,33	28,84

### ΔΥΝΑΜΗ F<sub>sn</sub>

S=0,05mm/στρο.	13,10	8,63	12,83
S=0,10mm/στρο.	19,38	17,06	16,68
S=0,16mm/στρο.	26,82	28,43	26,91
S=0,20mm/στρο.	33,41	42,63	33,90
S=0,32mm/στρο.	53,87	56,85	57,46



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

**U=236στρο./min    U=472στρο./min    U=943στρο./min**

### ΔΥΝΑΜΗ F<sub>n</sub>

<b>S=0,05mm/στρο.</b>	<b>15,75</b>	<b>15,08</b>	<b>10,51</b>
<b>S=0,10mm/στρο.</b>	<b>15,84</b>	<b>15,12</b>	<b>13,16</b>
<b>S=0,16mmστρο.</b>	<b>15,92</b>	<b>15,22</b>	<b>13,82</b>
<b>S=0,20mm/στρο.</b>	<b>16</b>	<b>15,33</b>	<b>14,65</b>
<b>S=0,32mm/στρο.</b>	<b>16,22</b>	<b>15,40</b>	<b>14,96</b>

### ΔΥΝΑΜΗ F<sub>s</sub>

<b>S=0,05mm/στρο.</b>	<b>17,80</b>	<b>14,96</b>	<b>5,97</b>
<b>S=0,10mm/στρο.</b>	<b>18,62</b>	<b>15,20</b>	<b>10,91</b>
<b>S=0,16mmστρο.</b>	<b>19,15</b>	<b>16,11</b>	<b>12,72</b>
<b>S=0,20mm/στρο.</b>	<b>20</b>	<b>16,41</b>	<b>13,32</b>
<b>S=0,32mm/στρο.</b>	<b>21,33</b>	<b>16,60</b>	<b>14,88</b>

### ΔΥΝΑΜΗ F<sub>sn</sub>

<b>S=0,05mm/στρο.</b>	<b>9,08</b>	<b>7,92</b>	<b>2,52</b>
<b>S=0,10mm/στρο.</b>	<b>9,50</b>	<b>8,05</b>	<b>5,15</b>
<b>S=0,16mmστρο.</b>	<b>10,24</b>	<b>8,17</b>	<b>6,19</b>
<b>S=0,20mm/στρο.</b>	<b>11,37</b>	<b>8,38</b>	<b>6,55</b>
<b>S=0,32mm/στρο.</b>	<b>11,90</b>	<b>8,60</b>	<b>7,50</b>

#### **4.4. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ERNST ΚΑΙ MERCHANT**

**Αν και έγινε προσπάθεια επιλύσεως του προβλήματος της εκτιμήσεως της γωνίας διατμήσεως κατά την ορθογωνική κοπή με γραφική μέθοδο από τον Piispanen (1937), η πρώτη πλήρης ανάλυση έγινε από τους Ernst και Merchant (1941). Η σχέση που προσδιορίστηκε από την ανάλυση αυτή ανάμεσα στην γωνία διατμήσεως  $\varphi$  αφενός και στη γωνία αποβλίπτου  $\gamma$  και στη γωνία τριβής  $\rho$  αφετέρου είναι η ακόλουθη:**

$$\varphi = 45^\circ - \frac{1}{2} * (\rho - \gamma)$$

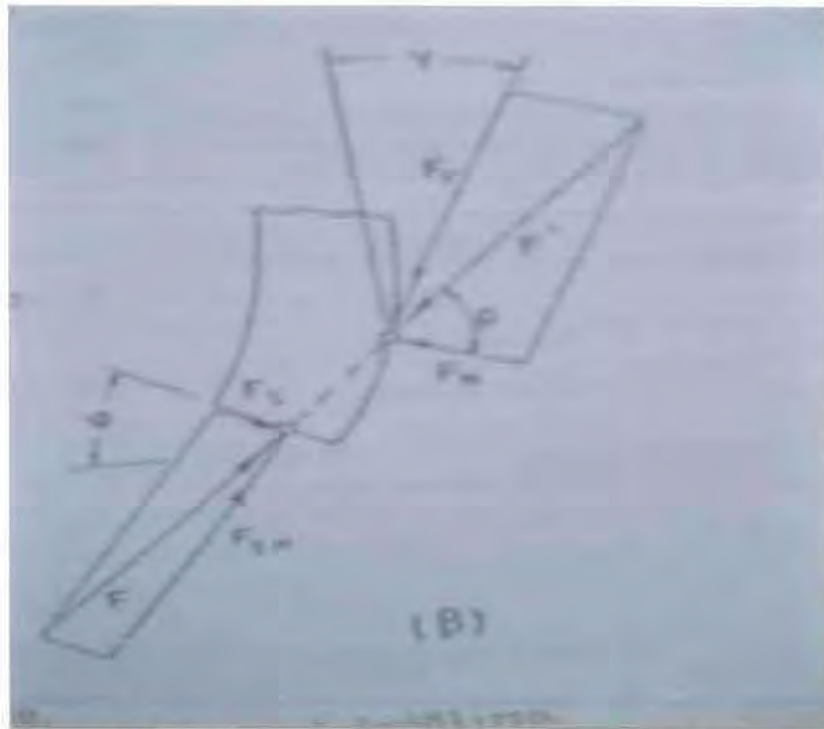
ή

$$\varphi = 45^\circ - \frac{1}{2} * \omega$$

**όπου  $\omega = \rho - \gamma$ : γωνία επενέργειας της δυνάμεως κοπής**

**Για την θεωρία των Ernst και Merchant έγιναν οι εξής υποθέσεις:**

- a) Ισχύει το πρότυπο της ορθογωνικής κοπής.**
- b) Το κοπτικό υλικό είναι οξύ και συνεπώς δεν λαμβάνει χώρα τριβή ή διείδυση του εργαλείου στο τεμάχιο.**
- c) Οι τάσεις στο επίπεδο διατμήσεως κατανέμονται ομοιόμορφα.**
- d) Το απόβλιπτο θεωρείται σαν ελεύθερο, σε ηρεμία, απολύτως στερεό σώμα, που τελεί σε ισοροπία κάτω από την επενέργεια των ίσων και αντίθετων δυνάμεων  $F$  και  $F'$ . Από αυτές η πρώτη εφαρμόζεται στο επίπεδο διατμήσεως και η δεύτερη στην επιφάνεια επαφής αποβλίπτου – εργαλείου ( σχήμα 4.4.1 ).**



Σχήμα 4.4.1 : Το σύστημα των δυνάμεων , που ασκούνται στο απόβλιττο

**Οι Ernst και Merchant προσδιόρισαν την γωνία διατμήσεως σε τρόπο, ώστε η τάση διατμήσεως  $T_s$  να μεγιστοποιείται. Αυτό σημαίνει ότι η κατεύθυνση του επιπέδου διατμήσεως συμπίπτει με την κατεύθυνση της μέγιστης διατμητικής τάσεως. Η σχέση που μας δίνει την διατμητική τάση είναι η εξής:**

$$T_s = \frac{F' \cdot \cos(\varphi + \rho - \gamma) \cdot \sin\varphi}{A} ,$$

όπου **A** : επιφάνεια διατμήσεως

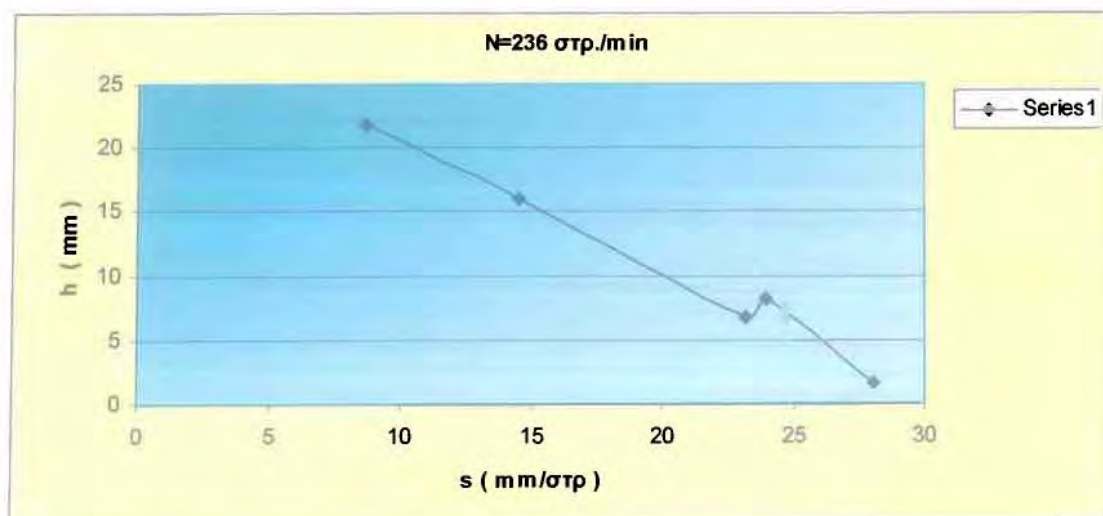
**Αργότερα, το 1945 ο Merchant προσδιόρισε μια έκφραση της γωνιάς διατμήσεως με εφαρμογή της αρχής της ελάχιστης ενέργειας. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, η γωνία διατμήσεως αποκτά τέτοια τιμή, ώστε η καταναλισκόμενη κατά την κοπή συνολική ενέργεια ανά μονάδα μήκους, που διανύεται από το εργαλείο προς τη κατεύθυνση της ταχύτητας κοπής, να ελαχιστοποιείται. Αν θεωρήσουμε ότι η κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής  $F_1$  είναι υπεύθυνη για την ενέργεια που καταναλίσκεται κατά την κοπή συνολικά ανά μονάδα μήκους,**

έπεται ότι για δεδομένη τιμή της διαφοράς  $(\rho - \gamma)$ , η γωνία  $\varphi$  θα λάβει τέτοια τιμή, ώστε η συνιστώσα  $F_1$  να καταστεί ελάχιστη. Η δύναμη  $F_1$  δίνεται από την σχέση:

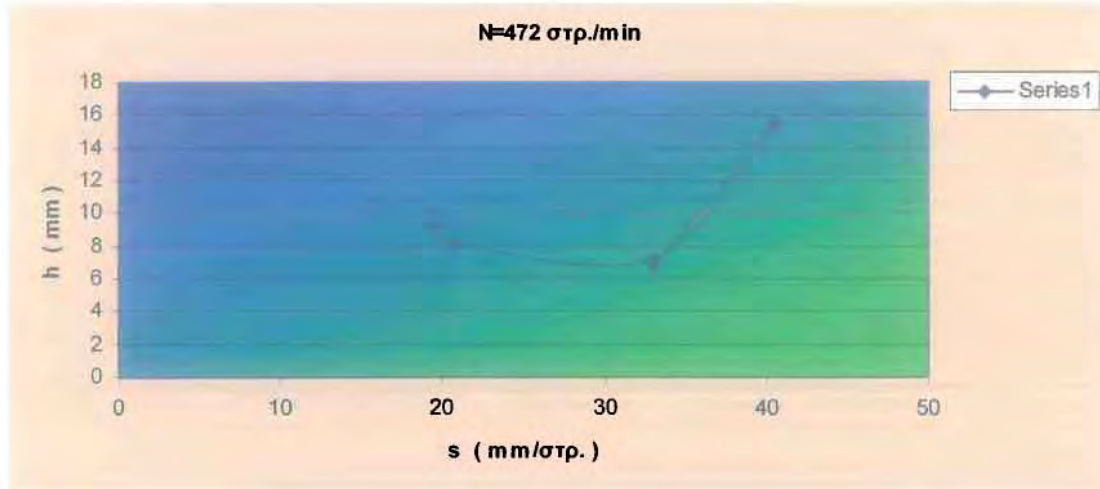
$$F_1 = \frac{A * T_s * \cos(\rho - \gamma)}{\sin\varphi * \cos(\varphi + \rho - \gamma)}$$

Η διατρητική τάση  $T_s$  και η γωνία τριβής  $\rho$  θεωρήθηκαν ανεξάρτητες από τη γωνία διατμήσεως  $\varphi$ . Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρούμε την μεταβολή της γωνίας διατμήσεως σε συνάρτηση με την γωνία επενέργειας της δυνάμεως κοπής  $\omega = (\rho - \gamma)$ :

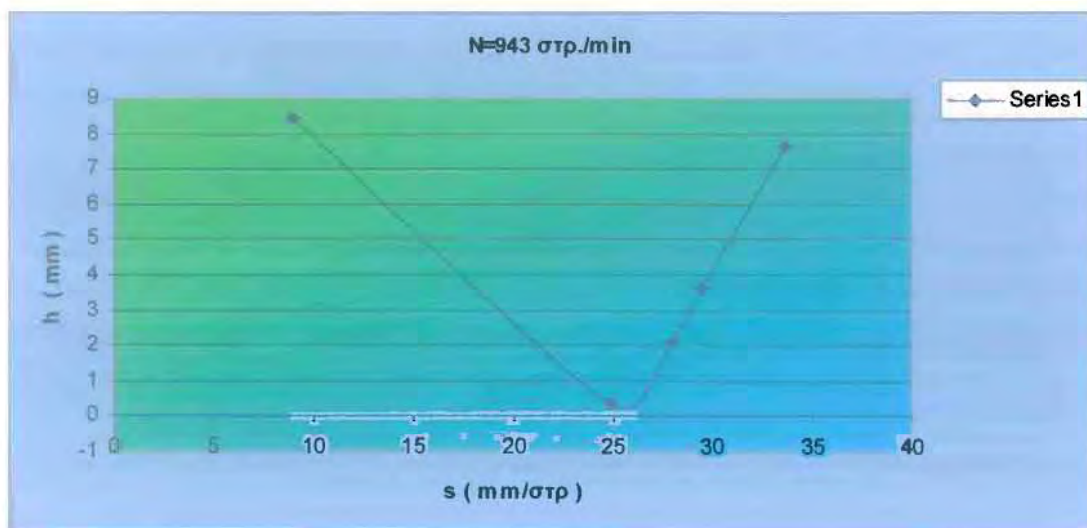
N = 236 στρ./min	
$\varphi$ (°)	$\rho - \gamma$ (°)
8,65	21,85
14,49	16
23,2	6,69
23,92	8,12
28,1	1,6



<b>N = 472 στρ./min</b>	
<b><math>\varphi</math> (°)</b>	<b><math>\rho - \gamma</math> (°)</b>
<b>19,6</b>	<b>9,2</b>
<b>20,7</b>	<b>8,13</b>
<b>33,01</b>	<b>7,21</b>
<b>40,47</b>	<b>15,58</b>
<b>33,01</b>	<b>6,76</b>



<b>N = 943 στρ./min</b>	
<b><math>\varphi</math> (°)</b>	<b><math>\rho - \gamma</math> (°)</b>
<b>8,92</b>	<b>8,46</b>
<b>24,9</b>	<b>0,34</b>
<b>27,96</b>	<b>2,05</b>
<b>29,43</b>	<b>3,61</b>
<b>33,65</b>	<b>7,65</b>



Ο Merchant αφού διαπίστωσε, ότι η σχέση που δίνει την γωνία  $\phi$  συμφωνούσε με τα πειραματικά αποτελέσματα σε μια μικρή μόνο έκταση, υπέθεσε ότι η διατρητική τάση  $T_s$  εξαρτάται γραμμικά από την θλιπτική ορθή τάση  $\sigma_s$ , που ασκείται στο επίπεδο διατμήσεως. Σύμφωνα με το μοντέλο των Ernst και Merchant η διατρητική και η ορθή τάση δίνονται από τις σχέσεις :

$$\tau = \frac{F_c \cos \phi - F_t \sin \phi}{c \cdot e} \sin \phi,$$

$$\sigma = \frac{F_c \sin \phi + F_t \cos \phi}{c \cdot e} \sin \phi,$$

όπου  $F_c$  είναι η κύρια συνιστώσα της δύναμης κοπής  $F_1$ , που επενεργεί στην κατεύθυνση της σχετικής κινήσεως του τεμαχίου ως προς το εργαλείο,  $F_t$  είναι η κάθετη προς αυτή συνιστώσα της δύναμης κοπής,  $c$  είναι το βάθος κοπής και  $e$  είναι το θεωρητικό πάχος αποβλίπτου. Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η μεταβολή της διατρητικής και της ορθής τάσης σε συνάρτηση με την πρόωση για τα πειραματικά αλλά και για τα θεωρητικά αποτελέσματα.

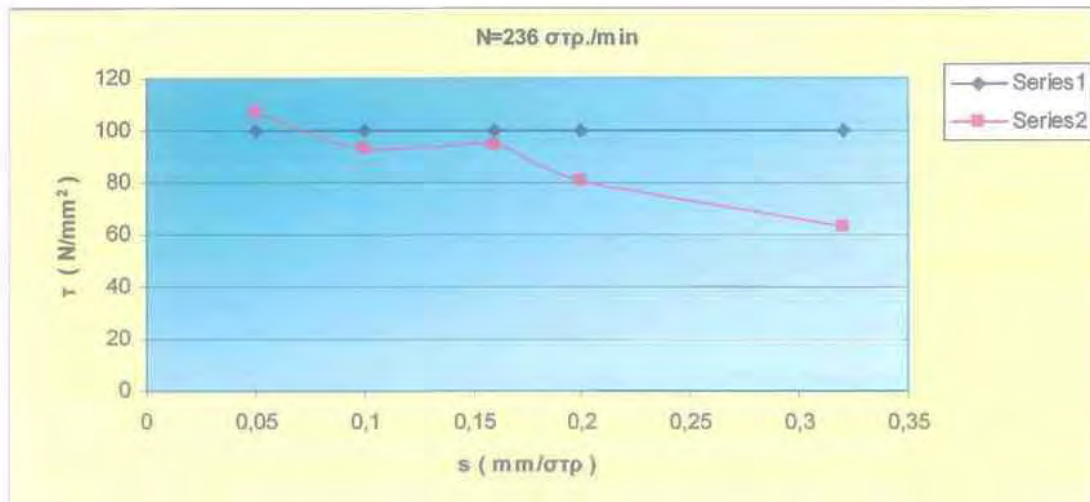
## ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ

### Πειραματικά αποτελέσματα

N = 236 στρ./min	
s (mm/στρ.)	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,05	107
0,10	93,26
0,16	94,38
0,20	81,15
0,32	62,86

### Θεωρητικά αποτελέσματα

N = 236 στρ./min	
s (mm/στρ.)	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,05	99,81
0,10	99,99
0,16	100
0,20	100,02
0,32	99,99

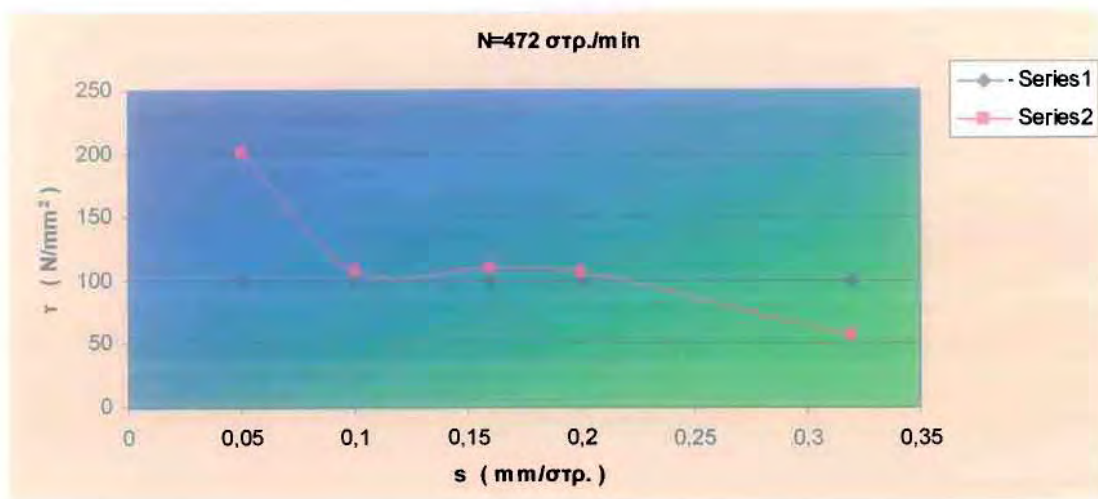


### Πειραματικά αποτελέσματα

N = 472 στρ./min	
s (mm/στρ.)	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,05	200,88
0,10	107,5
0,16	109,89
0,20	106,67
0,32	56,62

### Θεωρητικά αποτελέσματα

N = 472 στρ./min	
s (mm/στρ.)	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,05	99,69
0,10	100,03
0,16	100,02
0,20	99,97
0,32	99,99

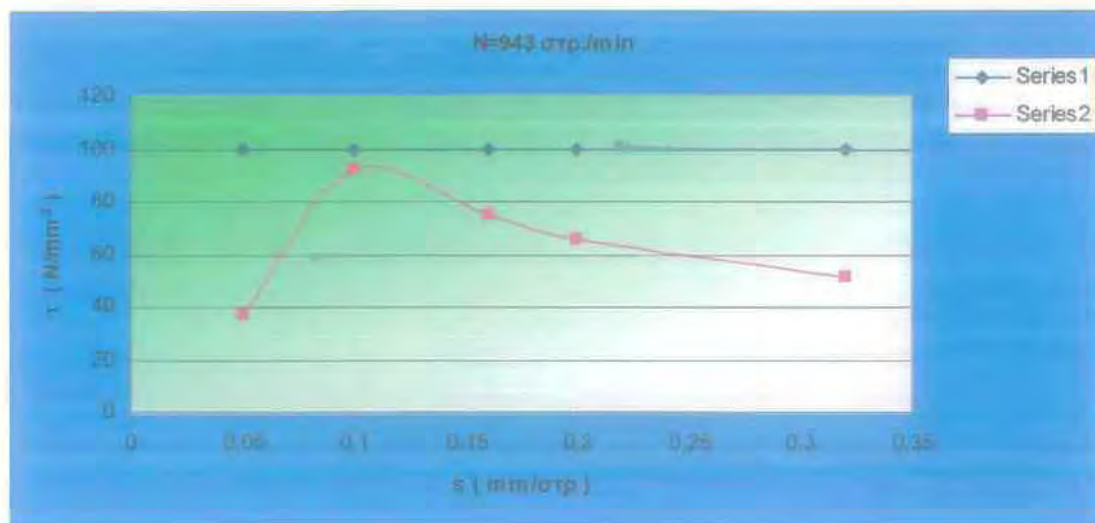


**Πειραματικά αποτελέσματα**

**Θεωρητικά αποτελέσματα**

<b>N = 943 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>τ ( N/mm<sup>2</sup> )</b>
<b>0,05</b>	37,1
<b>0,10</b>	91,8
<b>0,16</b>	74,67
<b>0,20</b>	65,55
<b>0,32</b>	51,57

<b>N = 943 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b>τ ( N/mm<sup>2</sup> )</b>
<b>0,05</b>	99,74
<b>0,10</b>	99,96
<b>0,16</b>	99,98
<b>0,20</b>	99,73
<b>0,32</b>	99,99





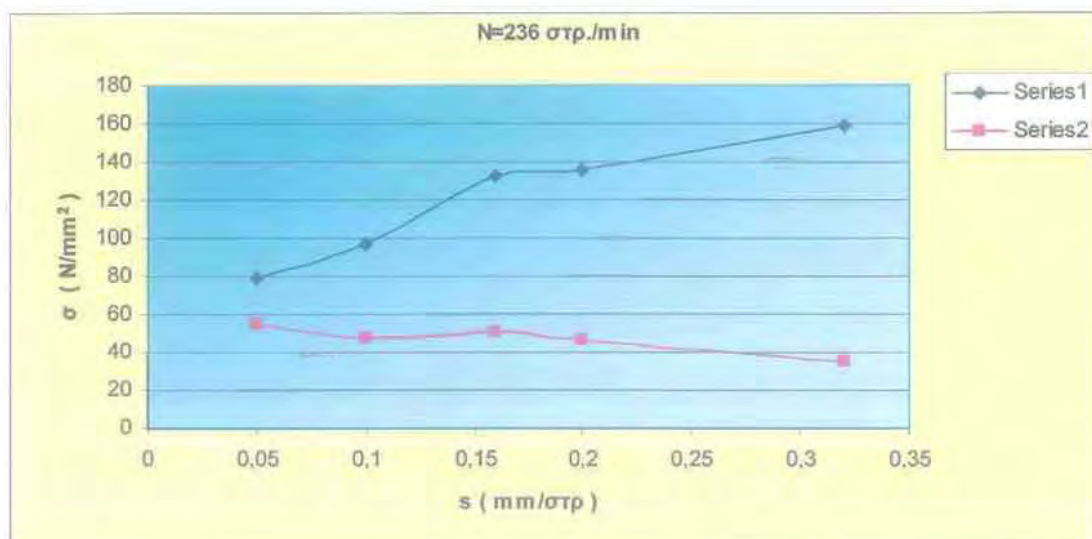
## ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ

### Πειραματικά αποτελέσματα

<b>N = 236 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b><math>\sigma</math> ( N/mm<sup>2</sup> )</b>
<b>0,05</b>	54,58
<b>0,10</b>	47,59
<b>0,16</b>	50,47
<b>0,20</b>	46,13
<b>0,32</b>	35,07

### Θεωρητικά αποτελέσματα

<b>N = 236 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b><math>\tau</math> ( N/mm<sup>2</sup> )</b>
<b>0,05</b>	<b>78,96</b>
<b>0,10</b>	<b>97,21</b>
<b>0,16</b>	<b>132,22</b>
<b>0,20</b>	<b>135,75</b>
<b>0,32</b>	<b>158,77</b>

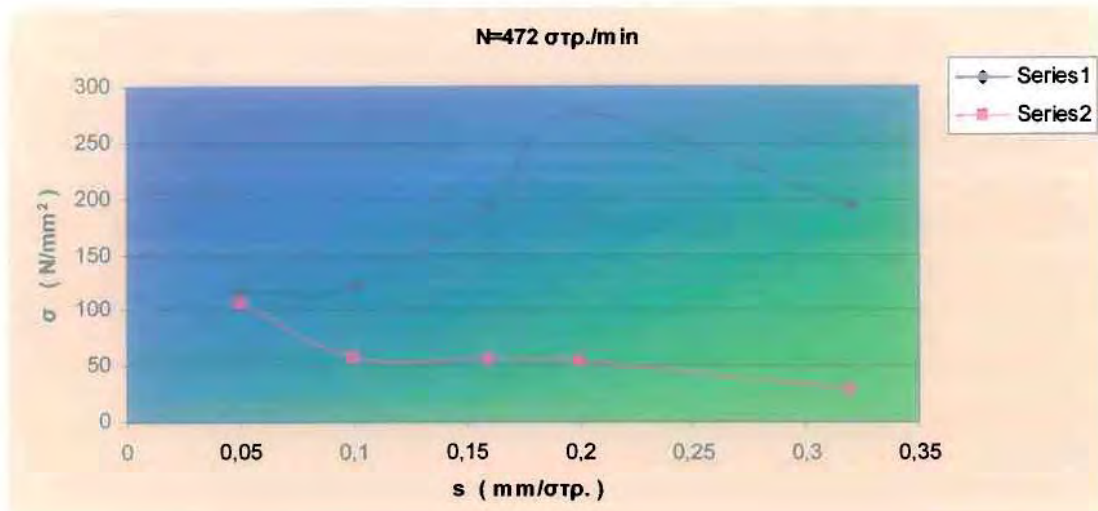


### Πειραματικά αποτελέσματα

<b>N = 472 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b><math>\sigma</math> ( N/mm<sup>2</sup> )</b>
<b>0,05</b>	<b>106,34</b>
<b>0,10</b>	<b>56,93</b>
<b>0,16</b>	<b>56,33</b>
<b>0,20</b>	<b>54,5</b>
<b>0,32</b>	<b>29,35</b>

### Θεωρητικά αποτελέσματα

<b>N = 472 στρ./min</b>	
<b>s (mm/στρ.)</b>	<b><math>\sigma</math> ( N/mm<sup>2</sup> )</b>
<b>0,05</b>	<b>116,02</b>
<b>0,10</b>	<b>120,88</b>
<b>0,16</b>	<b>193,85</b>
<b>0,20</b>	<b>277,28</b>
<b>0,32</b>	<b>193,91</b>

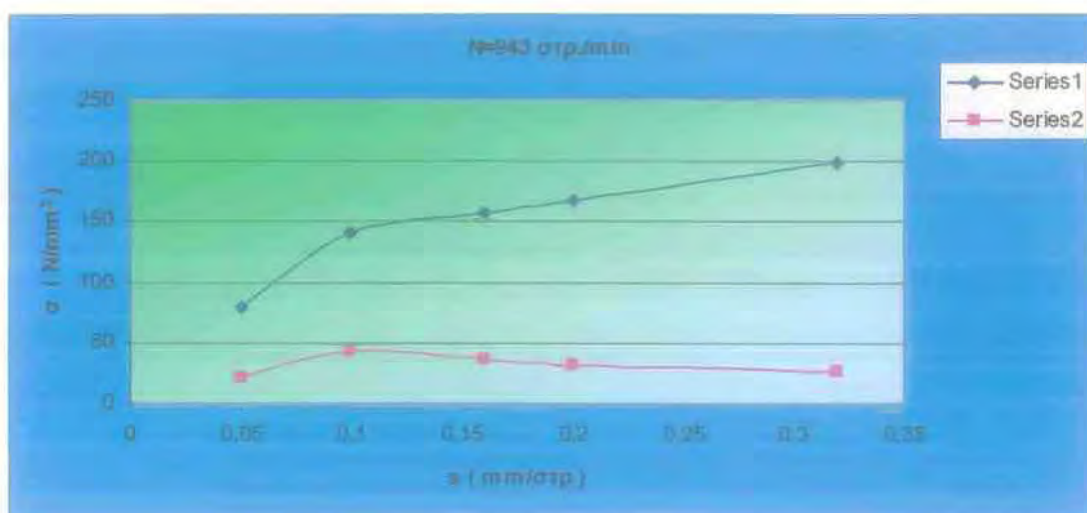


### Πειραματικά αποτελέσματα

### Θεωρητικά αποτελέσματα

<b>N = 943 στρ./min</b>	
s (mm/στρ.)	σ ( N/mm <sup>2</sup> )
0,05	21,26
0,10	43,44
0,16	36,34
0,20	32,22
0,32	26

<b>N = 943 στρ./min</b>	
s (mm/στρ.)	σ ( N/mm <sup>2</sup> )
0,05	79,67
0,10	140,72
0,16	157,96
0,20	167,14
0,32	199,2



## **4.5. TO ΜΟΝΤΕΛΟ LEE ΚΑΙ SHAFFER**

**Οι Lee και Shaffer (1951) εφάρμοσαν τη θεωρία της πλαστικότητας σε μια προσπάθεια τους να βρουν ένα νόμο προσδιορισμού της γωνίας διατμήσεως στην ορθογωνική κοπή. Για την θεωρία των Lee και Shaffer έγιναν οι εξής υποθέσεις:**

- a) Το υλικό του τεμαχίου συμπεριφέρεται σαν στερεοπλαστικό σώμα, που σημαίνει ότι η ελαστική παραμόρφωση είναι αμελητέα συγκρινόμενη προς τις μεγάλες τιμές, που παίρνει η πλαστική παραμόρφωση. Όταν, δηλαδή, αναπτυχθεί τάση ίση με το όριο διαρροής του υλικού, τότε εμφανίζεται συνεχιζόμενη πλαστική παραμόρφωση κάτω από την σταθερή αυτή τάση. Το μέταλλο δηλαδή δεν υφίσταται κρατυνση.**
- b) Το επίπεδο διατμήσεως προσανατολίζεται σε κατεύθυνση μέγιστης διατμητικής τάσεως.**
- c) Επικρατούν συνθήκες ειπέδου παραμορφώσεως.**

**Με βάση την θεωρία των Lee και Shaffer η γωνία διατμήσεως  $\phi$  συναρτήσει της γωνίας αποβλίπτου του εργαλείου  $\gamma$  και της μέσης φαινόμενης γωνίας τριβής  $\rho$  δίνεται από τη σχέση:**

$$\phi = 45^\circ - (\rho - \gamma)$$

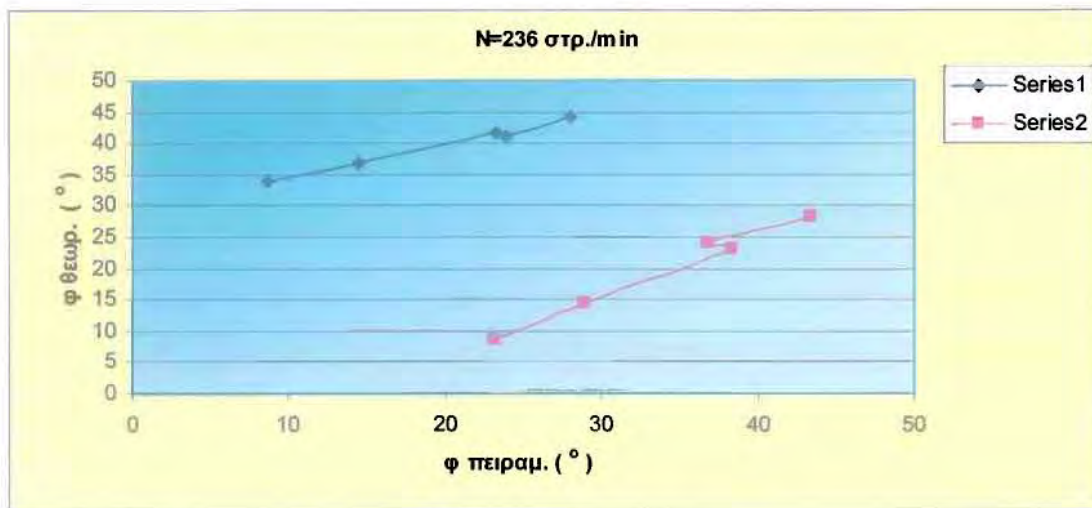
**Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η εξάρτηση των πειραματικών αποτελεσμάτων της γωνίας διατμήσεως από τα αντίστοιχα θεωρητικά αποτελέσματά της, για τα μοντέλα Ernst – Merchant και Lee – Shaffer :**

### ΜΟΝΤΕΛΟ ERNST – MERCHANT

### ΜΟΝΤΕΛΟ LEE – SHAFFER

N = 236 στρ./min	
φ θεωρητικό (°)	φ περαματικό (°)
8,65	34,07
14,49	37
23,2	41,65
23,92	40,94
28,1	44,2

N = 236 στρ./min	
φ θεωρητικό (°)	φ περαματικό (°)
8,65	23,15
14,49	29
23,2	38,31
23,92	36,88
28,1	43,4

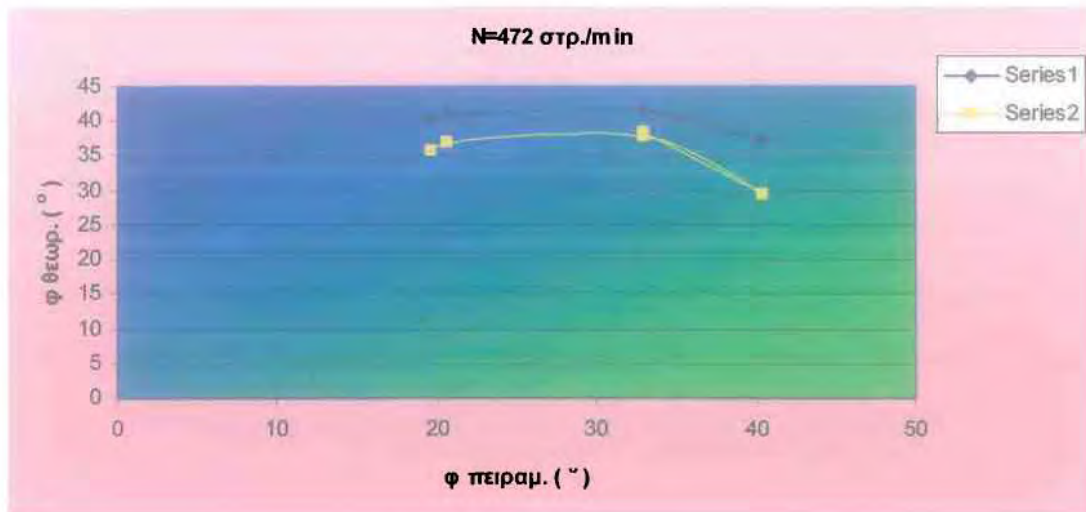


### ΜΟΝΤΕΛΟ ERNST – MERCHANT

### ΜΟΝΤΕΛΟ LEE – SHAFFER

N = 472 στρ./min	
φ θεωρητικό (°)	φ περαματικό (°)
19,6	40,4
20,7	40,93
33,01	41,39
40,47	37,21
33,01	41,62

N = 472 στρ./min	
φ θεωρητικό (°)	φ περαματικό (°)
19,6	35,8
20,7	36,87
33,01	37,79
40,47	29,42
33,01	38,24



**ΜΟΝΤΕΛΟ ERNST – MERCHANT**

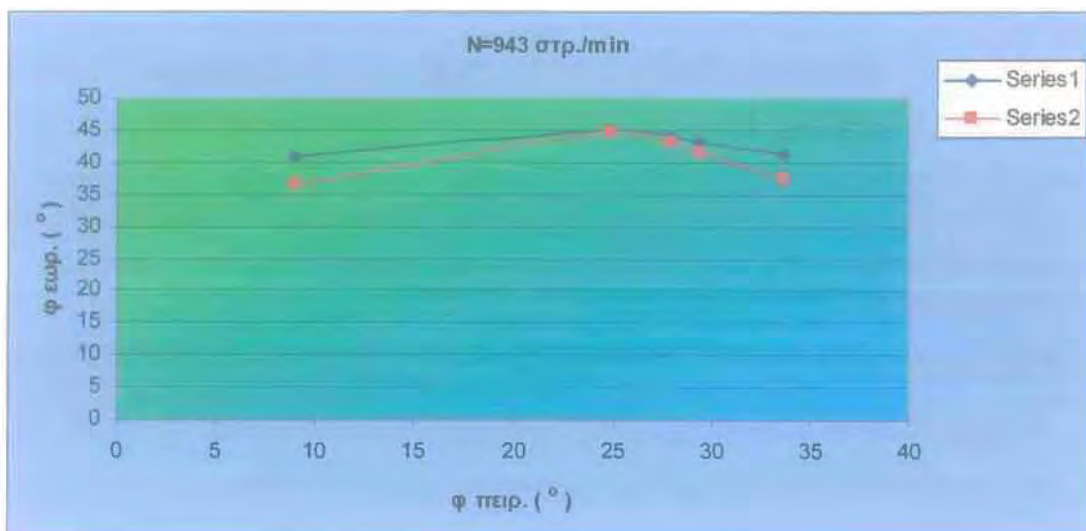
**ΜΟΝΤΕΛΟ LEE – SHAFFER**

**N = 943 στρ./min**

φ θεωρητικό (°)	φ πειραματικό (°)
8,92	40,77
24,9	44,83
27,96	43,97
29,43	43,19
33,65	41,17

**N = 943 στρ./min**

φ θεωρητικό (°)	φ πειραματικό (°)
8,92	36,54
24,9	44,66
27,96	42,95
29,43	41,39
33,65	37,35



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

### 5.1. Μετρήσεις ταχύτητας

Οι μετρήσεις της τραχύτητας στο κομμάτι που επεξεργαστήκαμε έγιναν χρησιμοποιώντας το προφιλόμετρο στυλίσκου της Taylor-Hobson Surtronic3+ το οποίο χρησιμοποιεί το μετρικό σύστημα M (Μέσης γραμμής) και είναι εφοδιασμένο με το λογισμικό TalyProfile. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην αξονική διεύθυνση προκύπτει ότι η περιοδικότητα του σήματος μειώνεται συνεχώς καθώς αυξάνεται η πρόωση που εφαρμόζεται, ανεξάρτητα από την ταχύτητα κοπής. Το σήμα για μικρές προώσεις είναι πολύ έντονο και παρουσιάζονται πολλά ακρότατα της τάξεως των 6μm, ενώ για μεγαλύτερες προώσεις τα ακρότατα φτάνουν μεγαλύτερες τιμές της τάξεως των 20 – 40μm. Ακόμα, για μικρές ταχύτητες κοπής (  $U = 236$  στρ./min ) το σήμα ξεκινάει και τελειώνει έχοντας αρνητική τιμή ή ίση με το μηδέν. Από την άλλη πλευρά για μεγαλύτερες ταχύτητες (  $U = 943$  στρ./min ) το σήμα ξεκινά με θετικές τιμές ( για  $s = 0,05 - 0,10$ mm/στρ. έχουμε αρνητικές τιμές ) και τελειώνει επίσης με θετικές τιμές.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην εγκάρσια διεύθυνση προκύπτει ότι καθώς αυξάνεται η πρόωση η περιοδικότητα αλλάζει συμπεριφορά. Αρχικά για μικρές ταχύτητες κοπής αυξάνεται, καθώς η ταχύτητα κοπής αυξάνεται φίνεται να μην επηρεάζεται σχεδόν καθόλου και τέλος, για πολύ μεγάλες ταχύτητες αρχίζει και μειώνεται. Αν εξαιρέσουμε τις περιπτώσεις για τις οποίες έχουμε συνδυασμό μεγάλης ταχύτητας κοπής και μικρής πρόωσης στις οποίες επικρατούν συνθήκες ίδιες με αυτές της αξονικής διεύθυνσης, παρατηρούμε ότι γενικά οι τιμές του σήματος κινούνται μεταξύ 20 – 30μm, οι οποίες αυξάνουν καθώς κινούμαστε κατά μήκος του κομματιού και δεν παρουσιάζονται μεγάλα ακρότατα.

Σχετικά με την σημαντικότερη παράμετρο της τραχύτητας, τον συντελεστή  $R_a$ , παρατηρούμε ότι αυξάνεται συνεχώς συναρτήσει της πρόωσης εκτός από τις περιπτώσεις που εφαρμόζεται μεγάλη πρόωση στην εγκάρσια διεύθυνση όπου παρουσιάζεται μια μικρή μείωση. Επίσης προκύπτει ότι οι τιμές του συντελεστή  $R_a$  είναι μεγαλύτερες στην αξονική διεύθυνση.

## 5.2. Συλλογή και επεξεργασία αποβλίτων

Κατά την διάρκεια της κατεργασίας του υλικού έγινε συλλογή των αποβλίτων από τη μελέτη των οποίων προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Τα απόβλιττα έχουν ταινιοειδές σχήμα (ευθύ ή άτακτο), το οποίο αλλάζει σε σπειροειδές καθώς εφαρμόζεται το μέγιστο βάθος πρόωσης. Επίσης, τα απόβλιττα είναι συνεχή σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις εκτός από όταν συνδυάζονται μεγάλες ταχύτητες και υψηλή πρόωση, όπου και παράγονται ασυνεχή απόβλιττα. Παράλληλα, παρατηρούμε μια συνεχή αύξηση του πάχους του αποβλίττου καθώς μεγαλώνει η πρόωση με την οποία πραγματοποιείται η τόννευση του υλικού. Το πάχος των αποβλίτων προκύπτει σχεδόν το ίδιο ανεξάρτητα από την ταχύτητα κοπής, μόνο που για  $U = 472$ στρ./min παρουσιάζει μια ελαφρά μείωση.

Ακόμα, για τον δείκτη συμπίεσεως του αποβλίττου (συντελεστής  $\lambda$ ), παρατηρούμε μια συνεχή αύξησή του καθώς μεγαλώνει η πρόωση, γεγονός που ήταν αναμενόμενο αφού ο συντελεστής  $\lambda$  προκύπτει από την σχέση:

$$\lambda = h_{\text{πρ}}/h_{\text{θεωρ.}}$$

Τέλος, η γωνία διατμήσεως αυξάνεται συνεχώς συναρτήσει της πρόωσης ενώ παράλληλα οι τιμές της παραμένουν σταθερές ανεξάρτητα από την αύξηση της ταχύτητας κοπής με την οποία επεξεργαζόμαστε το τεμάχιο.

### **5.3. Δυνάμεις κοπής**

**Οι δυνάμεις κοπής μετρήθηκαν με δύο τρόπους:**

- **πειραματικά, με δυναμόμετρο**
- **θεωρητικά, με βάση τις υπάρχουσες σχέσεις**

**Στα πειραματικά αποτελέσματα οι τιμές, για κάθε ταχύτητα, παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση καθώς η πρόωση που εφαρμόζεται αυξάνει, ενώ καθώς μεγαλώνει η ταχύτητα κοπής οι δυνάμεις μειώνονται αισθητά. Επίσης, η δύναμη  $F_s$  που αναφέρεται στην αντίσταση σε διάτμηση του υλικού του τεμαχίου παίρνει τις ίδιες σχεδόν τιμές με την δύναμη  $F_n$  που αναφέρεται στην δύναμη που είναι κάθετη προς την επιφάνεια επαφής αποβλίπτου – εργαλείου, ενώ η δύναμη  $F_{sn}$ , που αναφέρεται στην δύναμη που είναι κάθετη προς το επίπεδο διατμήσεως και ασκείται από το τεμάχιο προς το απόβλιπτο είναι αρετά μικρότερη.**

**Στα θεωρητικά αποτελέσματα οι δυνάμεις για κάθε ταχύτητα κοπής αυξάνονται καθώς αυξάνεται η πρόωση ενώ, όπως και στα πειραματικά αποτελέσματα, καθώς μεγαλώνει η ταχύτητα κοπής οι δυνάμεις μειώνονται. Σε αντίθεση με τα πειραματικά αποτελέσματα, οι δυο δυνάμεις που παίρνουν σχεδόν τις ίδιες τιμές είναι οι δυνάμεις  $F_n$  και  $F_{sn}$  ενώ για την δύναμη  $F_s$  προκύπτουν λίγο μικρότερες τιμές. Τέλος, παρατηρούμε ότι οι τιμές των δυνάμεων προέκυψαν μεγαλύτερες στα θεωρητικά και όχι στα πειραματικά αποτελέσματα.**



#### 5.4. Θεωρητικά μοντέλα

Στην εργασία μας μελετήσαμε τα μοντέλα ERNST – MERCHANT και LEE – SHAFFER για τα οποία υπολογίσαμε τις διατμητικές και ορθές τάσεις (πειραματικά και θεωρητικά) καθώς και την μεταβολή της γωνίας διατμήσεως για τα πειραματικά δεδομένα συναρτήσει της γωνίας διατμήσεως για τα θεωρητικά δεδομένα.

Ετσι, σχετικά με τις τάσεις προκύπτει ότι η διατρητική τάση μειώνεται συνεχώς σε συνάρτηση με την πρόωση (πειραματικά), ενώ παραμένει σχεδόν σταθερή για τα θεωρητικά δεδομένα. Αντίθετα, η ορθή τάση παραμένει σχεδόν σταθερή για τα πειραματικά δεδομένα, ενώ παρουσιάζει μια συνεχή άνοδο για τα θεωρητικά δεδομένα. Στα θεωρητικά αποτελέσματα η ορθή τάση είναι μεγαλύτερη από την διατμητική σε αντίθεση με τα πειραματικά αποτελέσματα που είναι μικρότερη:

Πειραματικά :  $\tau > \sigma$

Θεωρητικά :  $\tau > \sigma$

Τέλος, σχετικά με τις θεωρητικές τιμές της γωνίας διατμήσεως παρατηρούμε ότι είναι μεγαλύτερες για το μοντέλο Ernst – Merchant. Ακόμα, οι τιμές της συνάρτησης αυξάνουν συνεχώς όταν εφαρμόζονται μικρές ταχύτητες κοπής. Αντίθετα, για μεγαλύτερες ταχύτητες κοπής η συνάρτηση παρουσιάζει ανοδικές τάσεις για χαμηλές τιμές πρόωσης και στη συνέχεια έχει μια ελαφριά πτώση σε τιμή παντως μεγαλύτερη της αρχικής πρόωσης που εφαρμόζεται κάθε φορά.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) **"Θεωρία Μηχανικών Κατεργασιών"** 7<sup>ο</sup> εξάμηνο. Από το σύγγραμμα **"Μαθήματα Μηχανουργικής Τεχνολογίας"** Τεύχος 2<sup>ο</sup> του καθ. Π. Πετρόπουλου, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- 2) **"Προτυποποίηση, Μέτρηση, Έλεγχος και Οργανολογία της Τραχύτητας Τεχνολογικών Επιφανειών : Παρούσα Κατασταση και Αξιολόγηση"**. Γ.Πετρόπουλος, Χαρίκλεια Καραχάλιου Α.Π.Θ. Τμήμα Μηχανολόγων Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και Δυναμικής Μηχανών.
- 3) **Machining Science and Technology (An International Journal), Article: A Force Prediction model for cutting unidirectional Fibre – Reinforced plastics**, L.C.Zhang, H.J.Zhang, X.M.Wang. School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering, The University of Sydney, NSW 2006, Australia.
- 4) **Article : Physical cutting model of Polyetheretherketone composites**, J. P. Danim, Department of Mechanical Engineering, University of Aveiro, Portugal.  
F.Mata, Polytechnical School of Almaden, University of Castilla-La Mancha, Spain, 2005.
- 5) **Article : Roughness Parameters**, E. S. Gadelmawla, I. M. Elewa, Production Engineering and Mechanical Design Department, Mansoura University, Egypt.  
M. M. Koura, Design and Production Engineering Department, Ain Shams University, Cairo, Egypt.  
T.M.A.Maksoud, School of design and Advanced Technology, University of Glamorgan, Wales.  
H.H.Soliman, Electronics and Communications Engineering Department, Mansoura University, Egypt, 2002.
- 6) **"Φυσική Μεταλλουργία"**, Γ.Ν.Χαιδεμενόπουλος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος 2000.
- 7) **Άρθρο : Νέες τάσεις και προβλήματα στις κατεργασίες διάτρησης ινώδων πολυμερών σύνθετων υλικών**, Γ.Π. Πετρόπουλος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, J. Paulo Davim, Department of Mechanical Engineering, University of Aveiro, Portugal.
- 8) [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)  
[www.Dotmar Plastics : Nylons : ERTALON GF - 30 : high strength and wear resistance nylon plastic.htm](http://www.Dotmar Plastics : Nylons : ERTALON GF - 30 : high strength and wear resistance nylon plastic.htm)

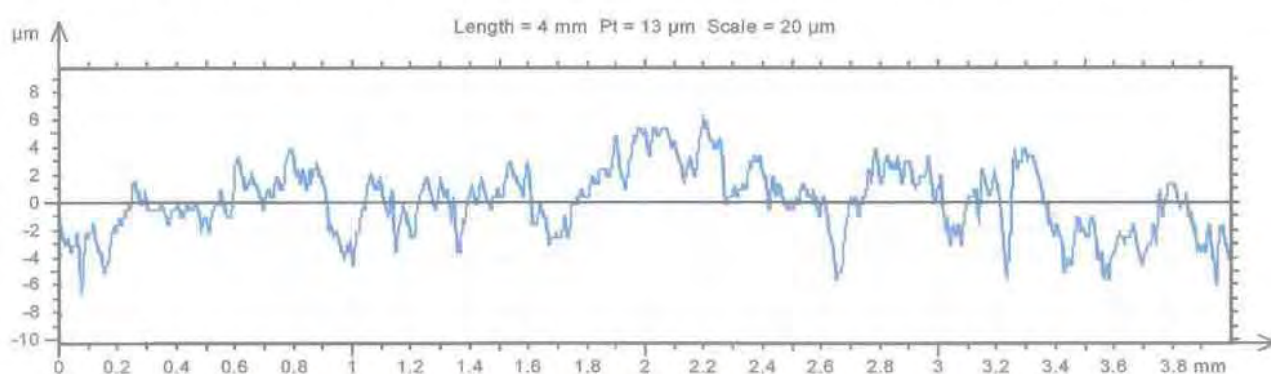
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ :  $U = 236$  στρ. / min

- 1<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.05mm

Στο παρακάτω σχήμα 1.1 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.1: Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται.

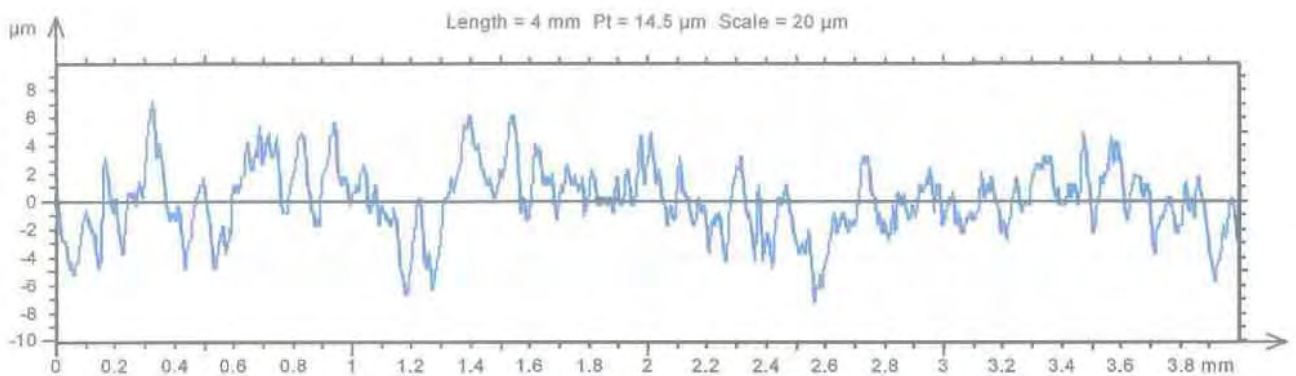
Στον παρακάτω Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.1:

Πίνακας 1.1 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

Μέση Αριθμητική Τραχύτητα	<b>Ra</b>	=	<b>1.26</b>	<b>μm</b>
Μέγιστο βάθος	<b>Rt</b>	=	<b>9.84</b>	<b>μm</b>
Μέγιστο βάθος της κοιλάδας	<b>Rv</b>	=	<b>4.53</b>	<b>μm</b>
Παράμετροι διαστήματος	<b>Rsm</b>	=	<b>0.0985</b>	<b>mm</b>
Λοξότητα	<b>Rsk</b>	=	<b>- 0,616</b>	
Κύρτωση	<b>Rku</b>	=	<b>3,35</b>	
Παράμετρος	<b>Rz</b>	=	<b>7,6</b>	<b>μm</b>
Παράμετρος	<b>Rk</b>	=	<b>4.45</b>	<b>μm</b>

- **2<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.10 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.2 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.2 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

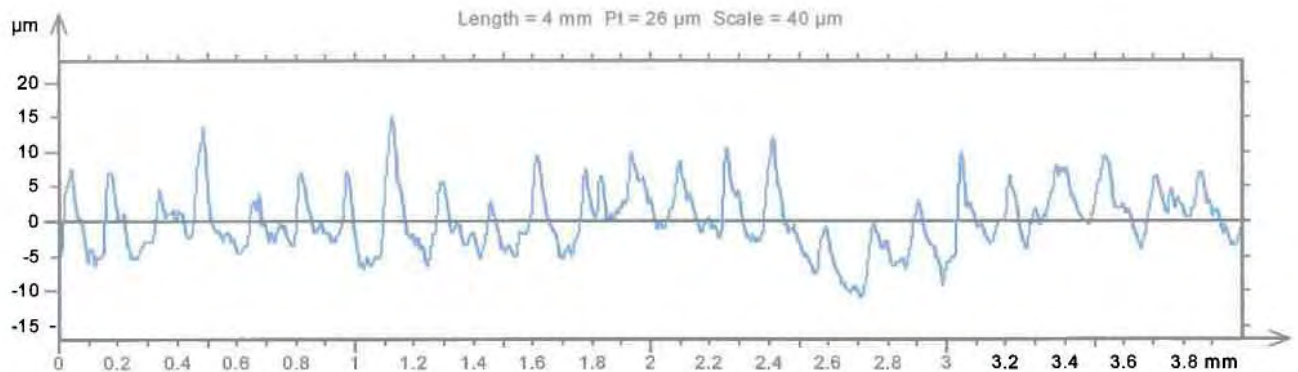
Στον παρακάτω Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.2:

Πίνακας 1.2 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.68</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>11.30</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>5.72</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0834</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>- 0,201</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>2.99</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>10.5</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>4.23</b>	<b>μm</b>

- **3<sup>η</sup> Περίπτωση - Βάθος Προώσεως 0,16 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.3 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 3.2.3 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται.

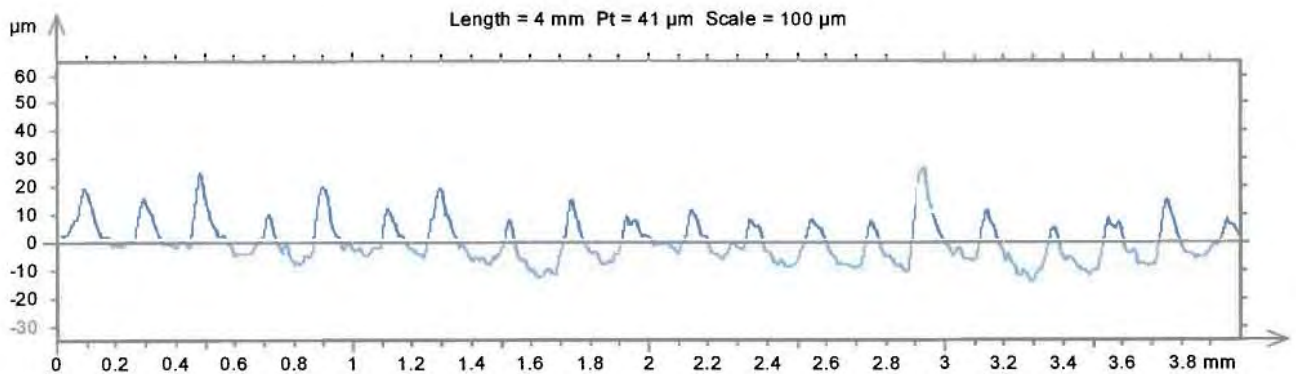
Στον παρακάτω Πίνακα 1.3 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.3 :

Πίνακας 1.3 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>3.09</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>22.60</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>6.29</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.144</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>1.07</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>4.19</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>18.8</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>8.2</b>	<b>μm</b>

- **4<sup>η</sup> Περίπτωση - Βάθος Προώσεως 0.20 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.4 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.4 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται.

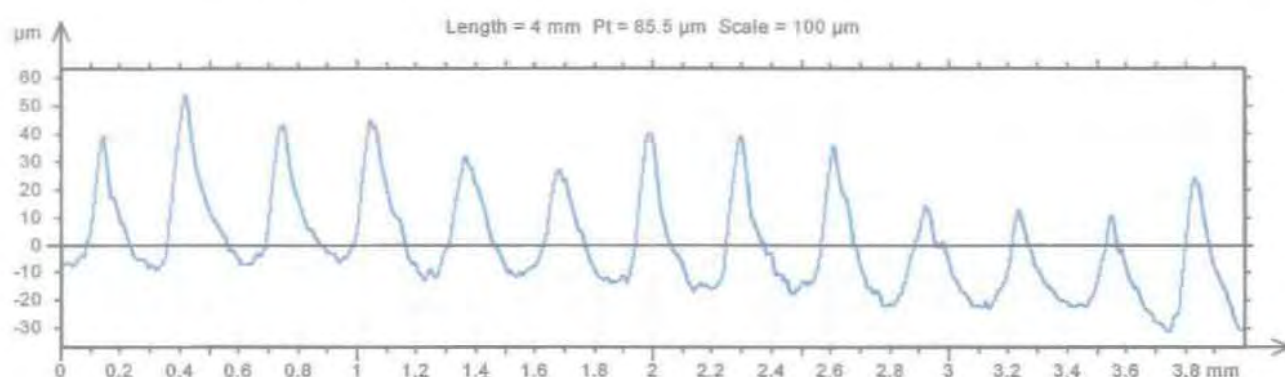
Στον παρακάτω Πίνακα 1.4 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.4.

Πίνακας 1.4 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>5.11</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>37</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>8.53</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.198</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>1.04</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.62</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>25.4</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>13.5</b>	<b>μm</b>

- **5<sup>η</sup> Περίπτωση - Βάθος Προώσεως 0,32 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.5 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.5 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

Στον παρακάτω Πίνακα 1.5 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.5.

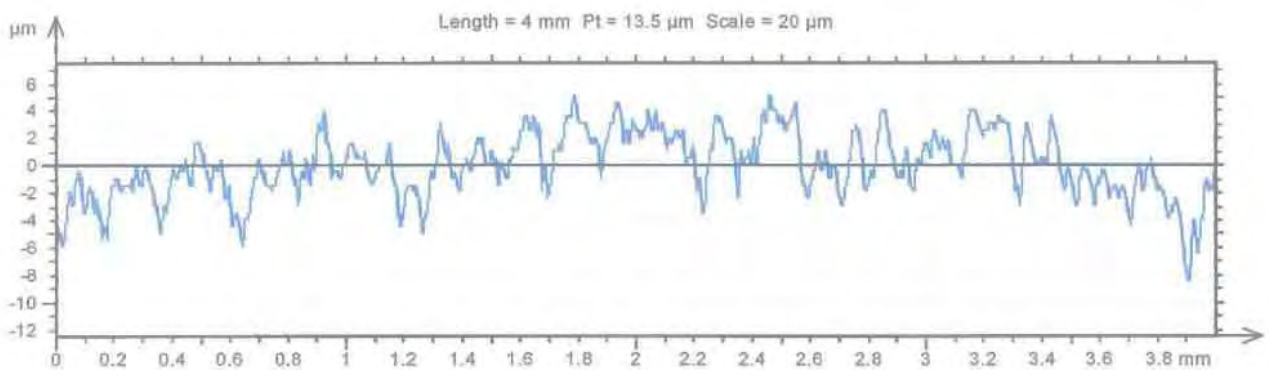
Πίνακας 1.5 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>13.6</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>61.6</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>18.2</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.309</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.911</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>2.58</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>57.8</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>22.5</b>	<b>μm</b>

**TAXYΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ : U = 472 στρ. / min**

• **1<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.05mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.6 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.6 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

Στον παρακάτω Πίνακα 1.6 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.6.

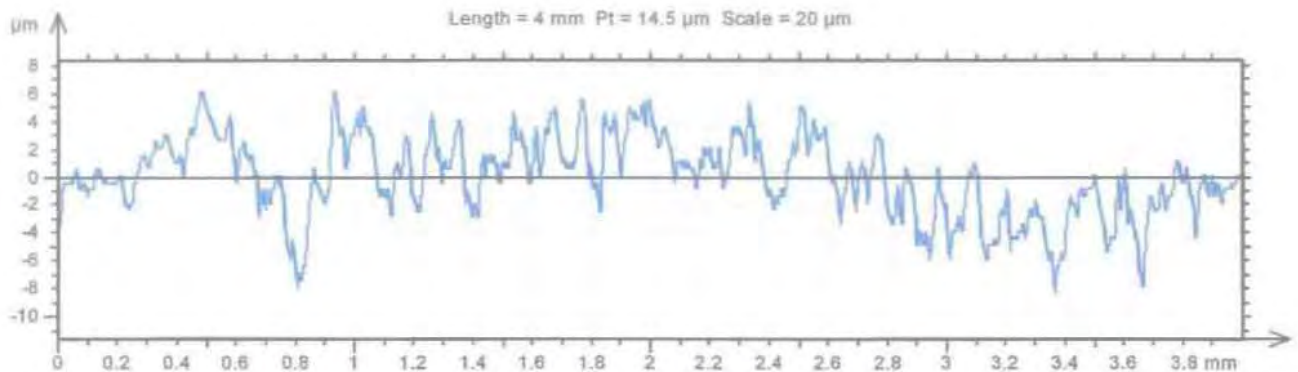
Πίνακας 1.6 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.29</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>9.06</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>4.62</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0887</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>-0.369</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>2.99</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>8.38</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>4.2</b>	<b>μm</b>



- **2<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.10 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.7 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.7 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

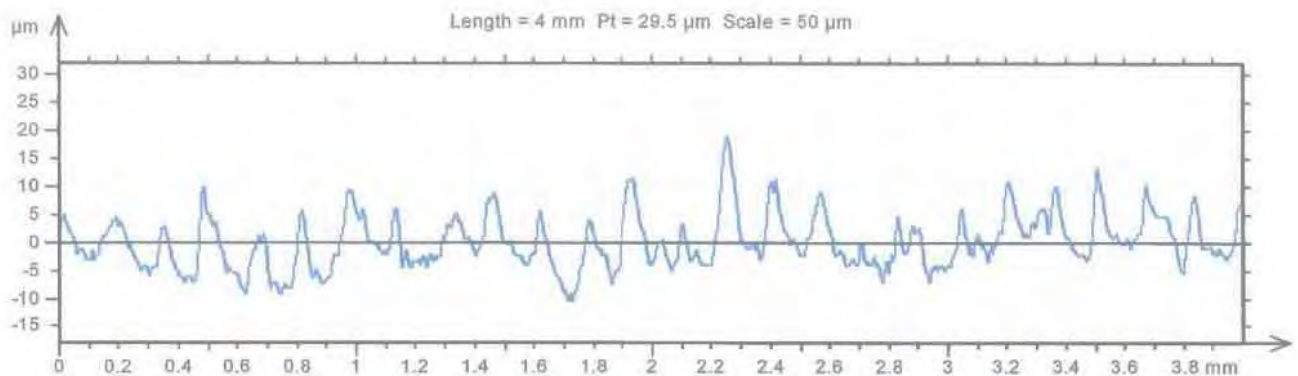
Στον παρακάτω Πίνακα 1.7 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.7.

Πίνακας 1.7 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα,</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.71</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>13.30</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>5.30</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0978</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>-0.239</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.44</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>9.87</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>6.05</b>	<b>μm</b>

- **3<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.16 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.8 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.8 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

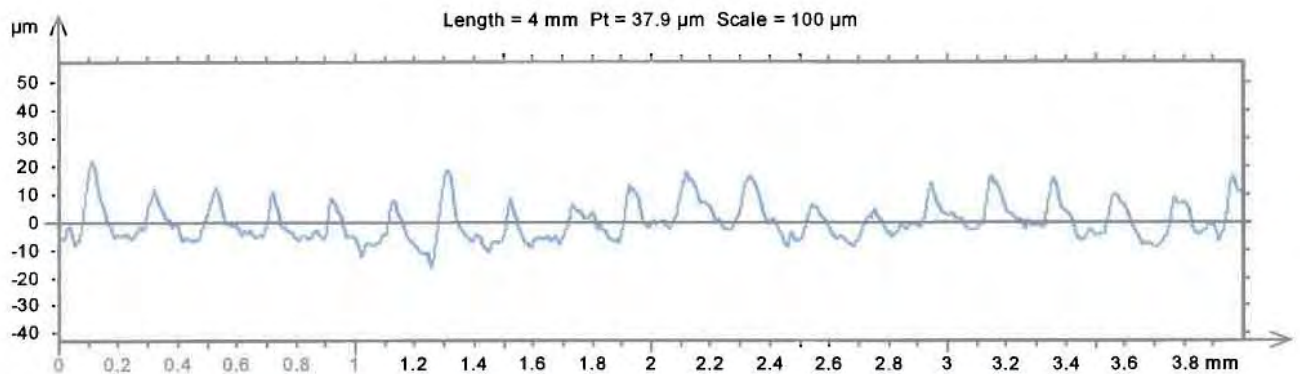
Στον παρακάτω Πίνακα 1.8 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.8.

Πίνακας 1.8 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>3.75</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>25.30</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>6.78</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.139</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.932</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.47</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>20.4</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>8.39</b>	<b>μm</b>

• **4<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.20 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.9 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.9 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

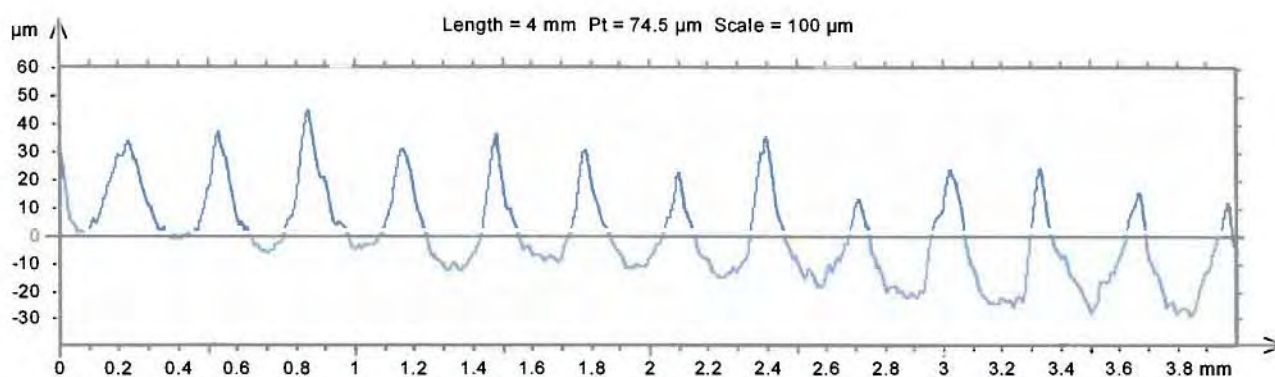
Στον παρακάτω Πίνακα 1.9 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.9.

Πίνακας 1.9 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

Μέση Αριθμητική Τραχύτητα	Ra	=	4.75	μm
Μέγιστο βάθος	Rt	=	34.80	μm
Μέγιστο βάθος της κοιλάδας	Rv	=	10.40	μm
Παράμετροι διαστήματος	Rsm	=	0.198	mm
Λοξότητα	Rsk	=	0.931	
Κύρτωση,	Rku	=	3.65	
Παράμετρος	Rz	=	26.30	μm
Παράμετρος	Rk	=	10.10	μm

- **5<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.32 mm**

**Στο παρακάτω σχήμα 1.10 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.**



Σχήμα 1.10 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

**Στον παρακάτω Πίνακα 1.10 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.10.**

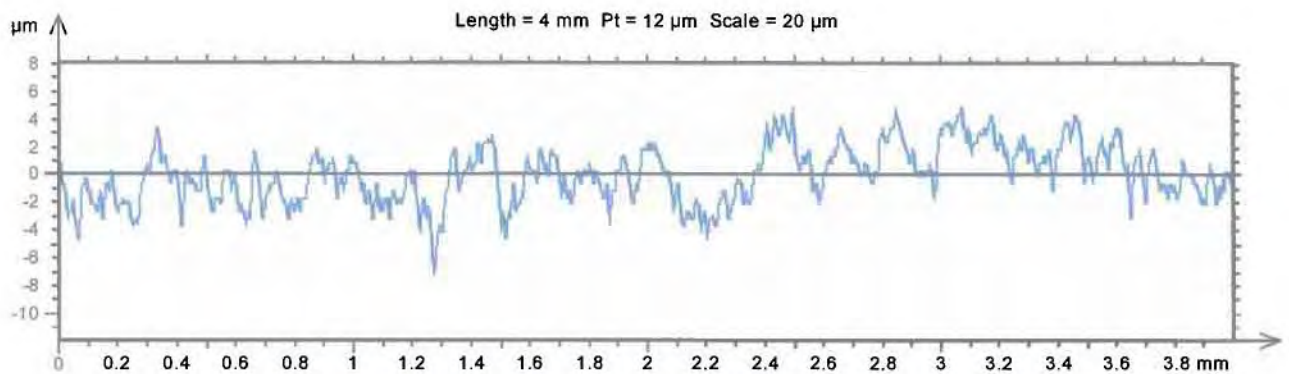
Πίνακας 1.10 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>10.70</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>54.80</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>14.9</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.295</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.983</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>2.87</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>49.90</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>21.60</b>	<b>μm</b>

## ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ : U = 943 στρ. / min

- 1<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.05mm

Στο παρακάτω σχήμα 1.11 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.11 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

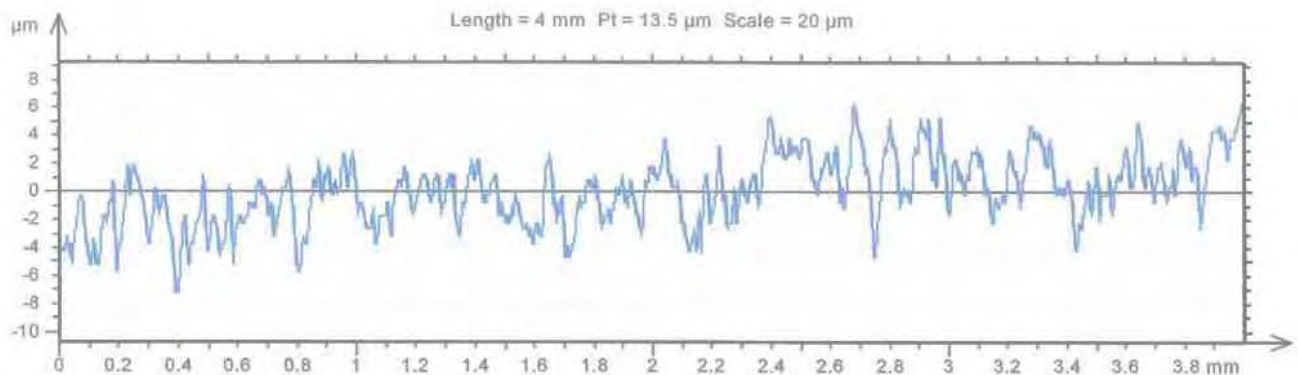
• Στον παρακάτω Πίνακα 1.11 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.11.

Πίνακας 1.11 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

Μέση Αριθμητική Τραχύτητα	Ra	=	1.29	μm
Μέγιστο βάθος	Rt	=	9.84	μm
Μέγιστο βάθος της κοιλάδας	Rv	=	4.13	μm
Παράμετροι διαστήματος	Rsm	=	0.0928	mm
Λοξότητα	Rsk	=	-0.204	
Κύρτωση	Rku	=	3	
Παράμετρος	Rz	=	7.48	μm
Παράμετρος	Rk	=	4.70	μm

• **2<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.10 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.12 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.12 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

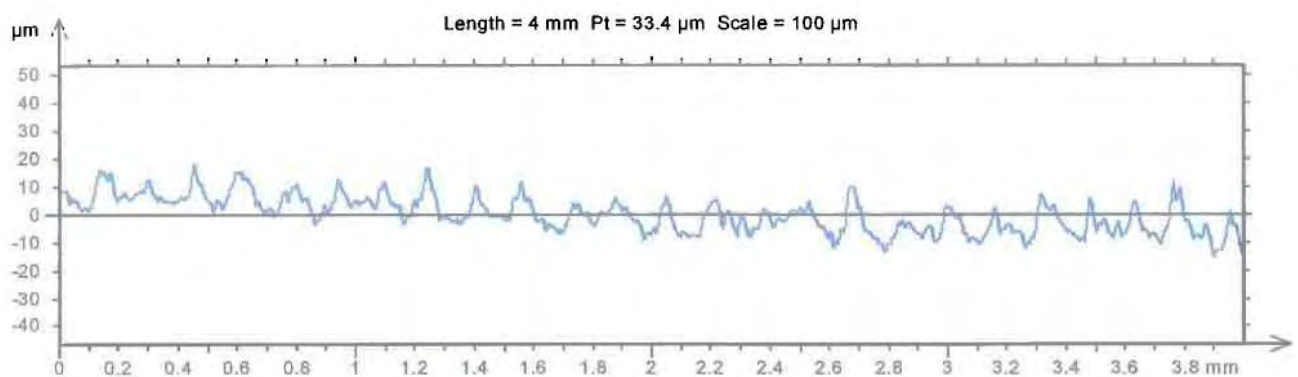
Στον παρακάτω Πίνακα 1.12 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.12.

Πίνακας 1.12 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.43</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>10.9</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>4.97</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0809</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>≠</b>	<b>-0.352</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.16</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>8.89</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>4.89</b>	<b>μm</b>

- **3<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.16 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.13 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.13 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

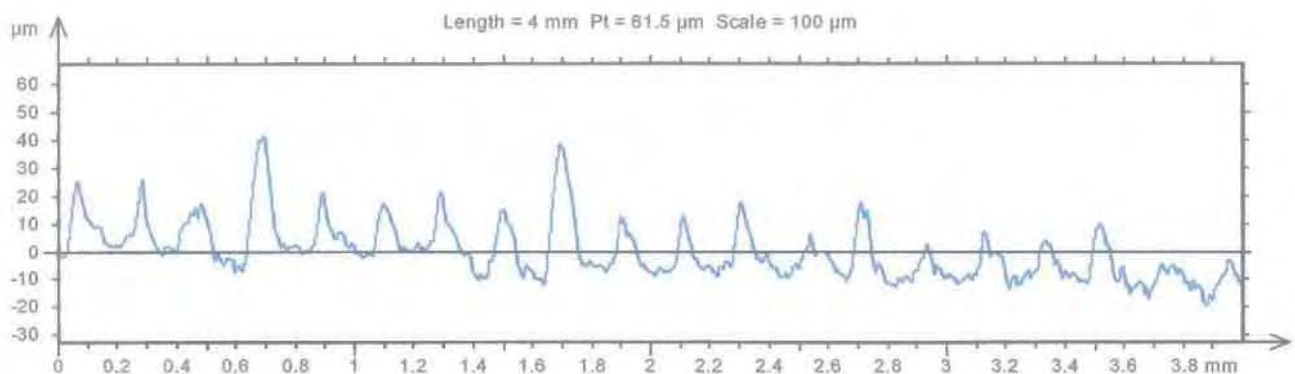
Στον παρακάτω Πίνακα 1.13 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.13.

Πίνακας 1.13 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>3.66</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>22.9</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>8.43</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.111</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.589</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>2.94</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>21.1</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>11.8</b>	<b>μm</b>

- **4<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.20 mm**

**Στο παρακάτω σχήμα 1.14 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.**



Σχήμα 1.14 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

**Στον παρακάτω Πίνακα 1.14 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.14.**

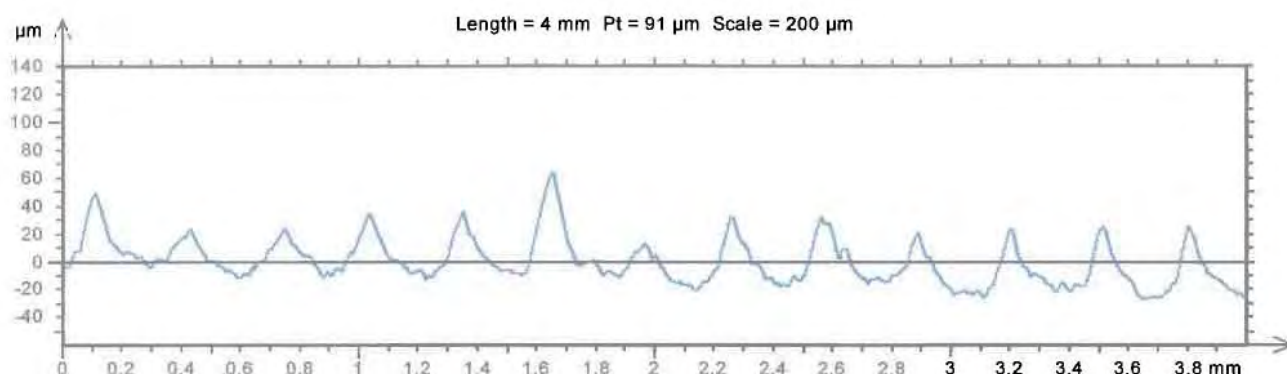
Πίνακας 1.14 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>7.3</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>50.6</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>13.1</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.162</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>1.39</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>5.08</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>42.6</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>14</b>	<b>μm</b>



• **5<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.32 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.15 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.15 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

Στον παρακάτω Πίνακα 1.15 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.15.

Πίνακας 1.15 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

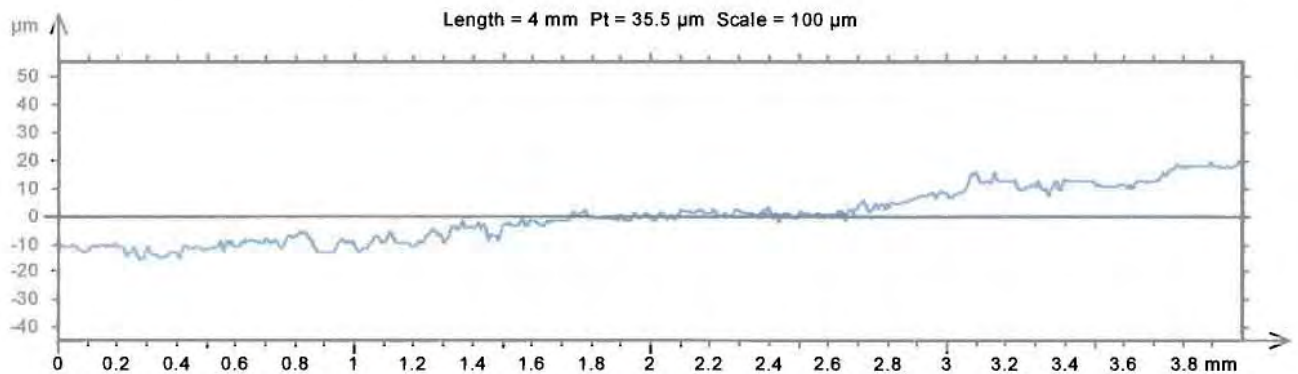
<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>11.6</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>72.6</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>17.9</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.308</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>1.13</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>4.01</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>56.5</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>22.4</b>	<b>Mm</b>

## ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Z

**ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ :  $U = 236$  στρ. / min**

• **1<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.05mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.16 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.16 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

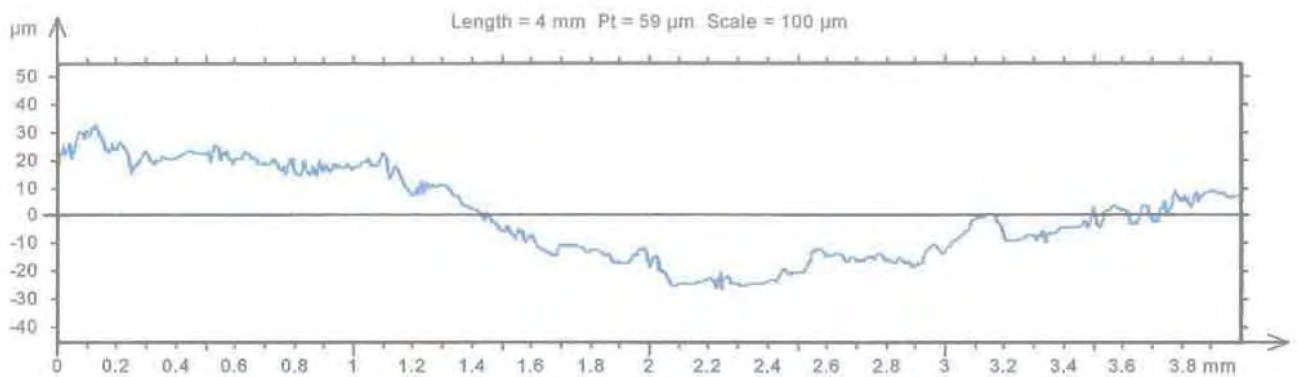
Στον παρακάτω Πίνακα 1.16 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.16.

Πίνακας 1.16 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

Μέση Αριθμητική Τραχύτητα	Ra	=	1.12	μm
Μέγιστο βάθος	Rt	=	10.8	μm
Μέγιστο βάθος της κοιλάδας	Rv	=	4.15	μm
Παράμετροι διαστήματος	Rsm	=	0.0828	mm
Λοξότητα	Rsk	=	-0.269	
Κύρτωση	Rku	=	3.4	
Παράμετρος	Rz	=	7.57	μm
Παράμετρος	Rk	=	3.42	μm

- **2<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.10 mm**

**Στο παρακάτω σχήμα 1.17 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.**



Σχήμα 1.17 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

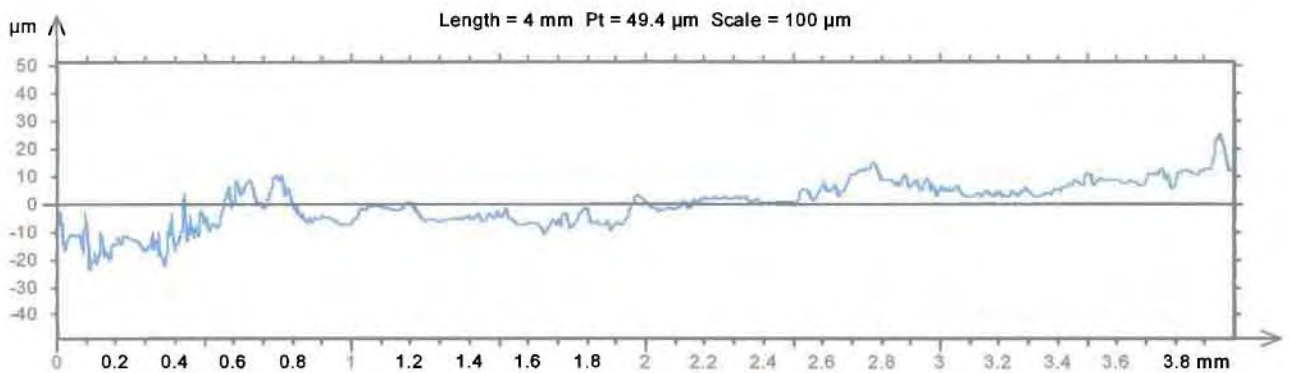
**Στον παρακάτω Πίνακα 1.17 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.17.**

Πίνακας 1.17 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.77</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>13.3</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>4.62</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0878</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.444</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.23</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>11.1</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>6.81</b>	<b>μm</b>

• **3<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.16 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.18 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.18 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

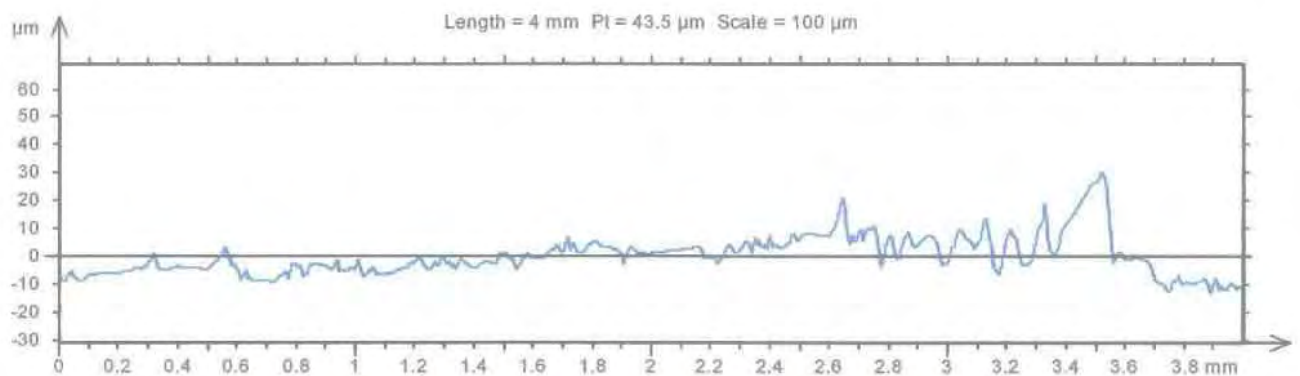
Στον παρακάτω Πίνακα 1.18 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.18.

Πίνακας 1.18 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>2.38</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>18.9</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>5.18</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.11</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>1.33</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>5.18</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>13.9</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>6.04</b>	<b>μm</b>

- **4<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.20 mm**

**Στο παρακάτω σχήμα 1.19 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.**



Σχήμα 1.19 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

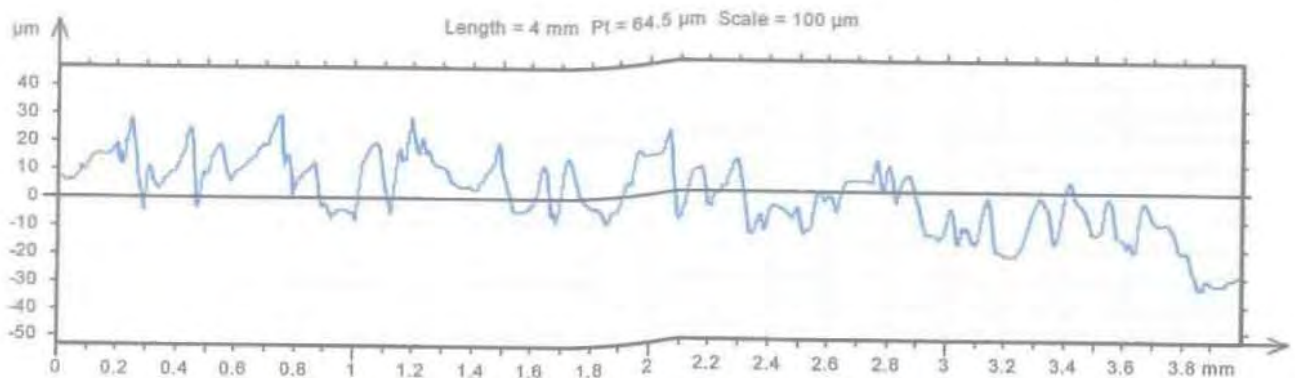
**Στον παρακάτω Πίνακα 1.19 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.19.**

Πίνακας 1.19 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.62</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>33.7</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>6.35</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0976</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>1.23</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>10.7</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>15.4</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>4.8</b>	<b>μm</b>

• **5<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.32 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.20 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.20 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

Στον παρακάτω Πίνακα 1.20 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.20.

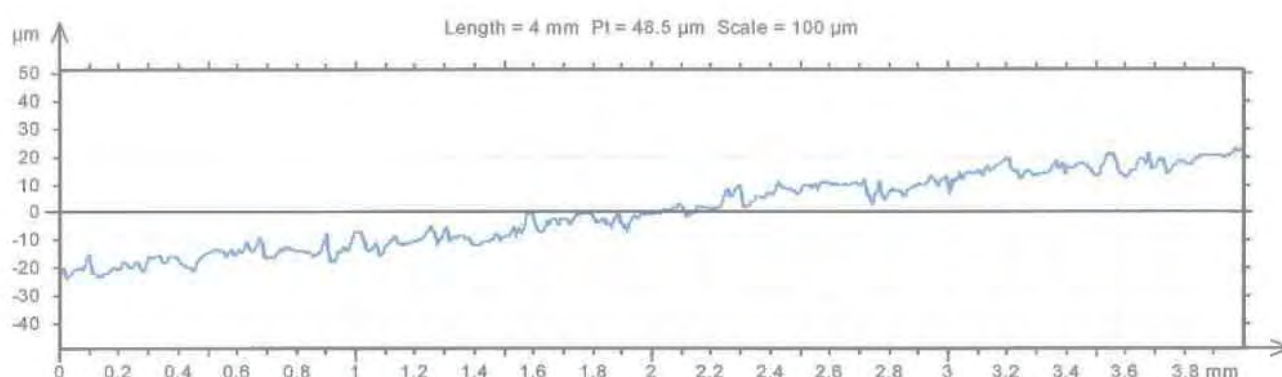
Πίνακας 1.20 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

Μέση Αριθμητική Τραχύτητα	Ra	=	6.18	μm
Μέγιστο βάθος	Rt	=	34.4	μm
Μέγιστο βάθος της κοιλάδας	Rv	=	14.2	μm
Παράμετροι διαστήματος	Rsm	=	0.153	mm
Λοξότητα	Rsk	=	0.188	
Κύρτωση	Rku	=	2.35	
Παράμετρος	Rz	=	31.4	μm
Παράμετρος	Rk	=	23.4	μm

**ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ : U = 472 στρ. / min**

• **1<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.05mm**

**Στο παρακάτω σχήμα 1.21 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.**



Σχήμα 1.21 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

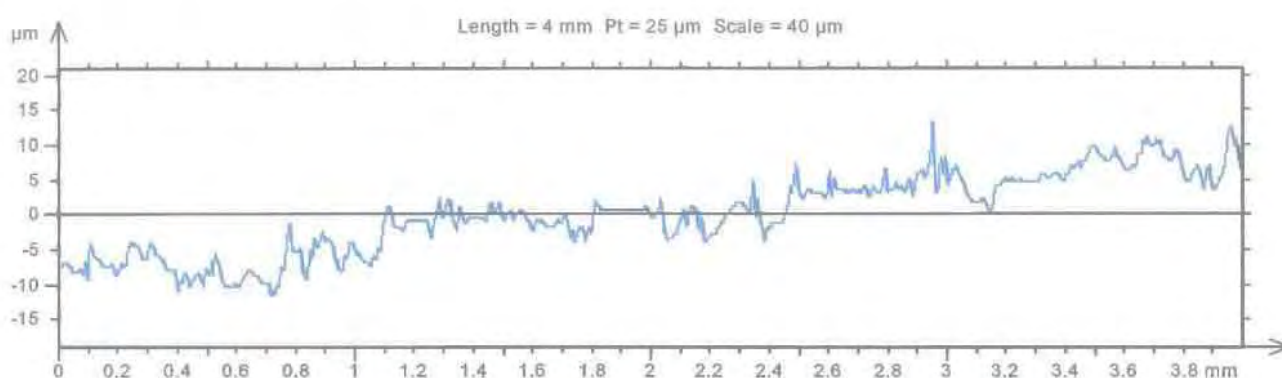
**Στον παρακάτω Πίνακα 1.21 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.21.**

Πίνακας 1.21 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τ  
ραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.63</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>11.9</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>5.73</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0802</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.0857</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.1</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>10.9</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>5.36</b>	<b>μm</b>

- **2<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.10mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.22 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.22 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

Στον παρακάτω Πίνακα 1.22 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.22.

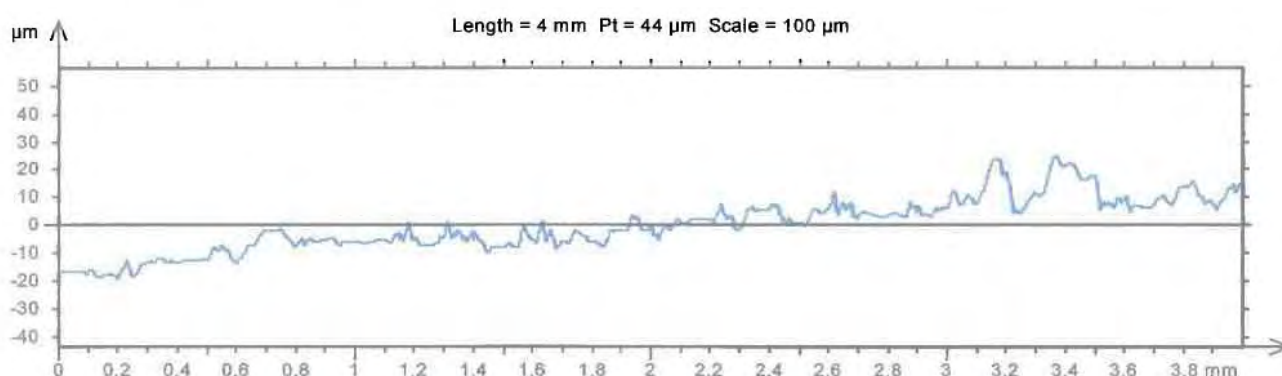
Πίνακας 1.22 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.33</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>13.1</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>3.97</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0958</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>-0.113</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.26</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>8.92</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>3.16</b>	<b>μm</b>



- **3<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.16 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.23 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.23 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

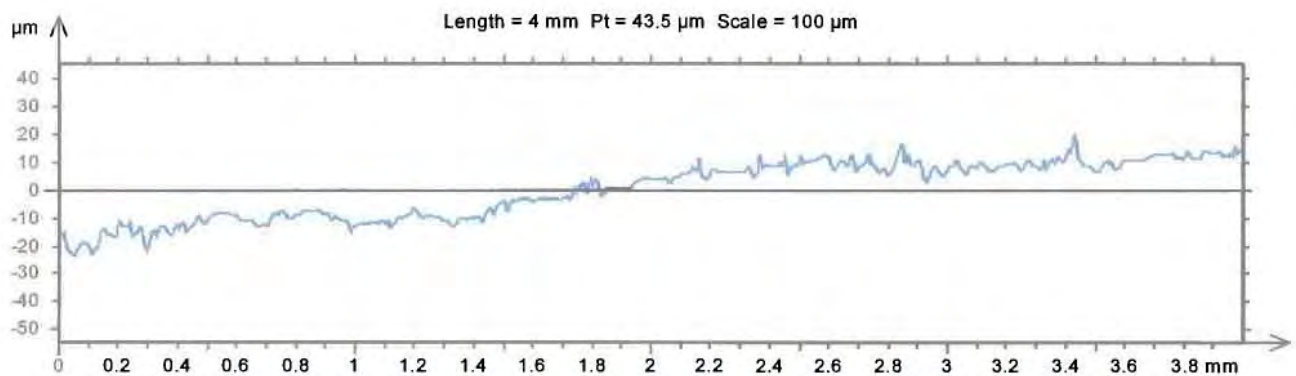
Στον παρακάτω Πίνακα 1.23 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.23.

Πίνακας 1.23 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

Μέση Αριθμητική Τραχύτητα	Ra	=	1.72	μm
Μέγιστο βάθος	Rt	=	20.8	μm
Μέγιστο βάθος της κοιλάδας	Rv	=	4.76	μm
Παράμετροι διαστήματος	Rsm	=	0.0978	mm
Λοξότητα	Rsk	=	0.479	
Κύρτωση	Rku	=	3.24	
Παράμετρος	Rz	=	11.6	μm
Παράμετρος	Rk	=	5.51	μm

• **4<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.20 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.24 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.24 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

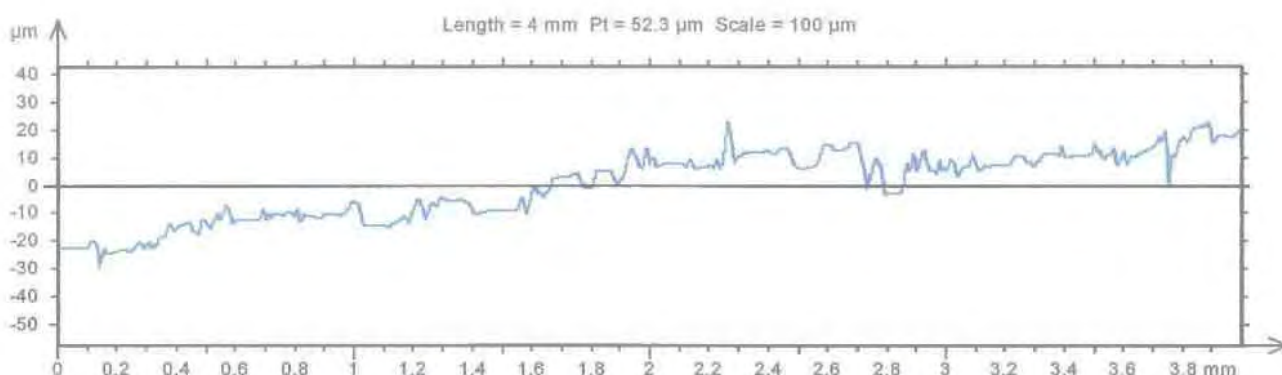
Στον παρακάτω Πίνακα 1.24 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.24.

Πίνακας 1.24 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.33</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>15.3</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>4.28</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.087</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.231</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>2.78</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>8.87</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>4.18</b>	<b>μm</b>

• **5<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.32 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.25 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.25 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

Στον παρακάτω Πίνακα 1.25 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.25.

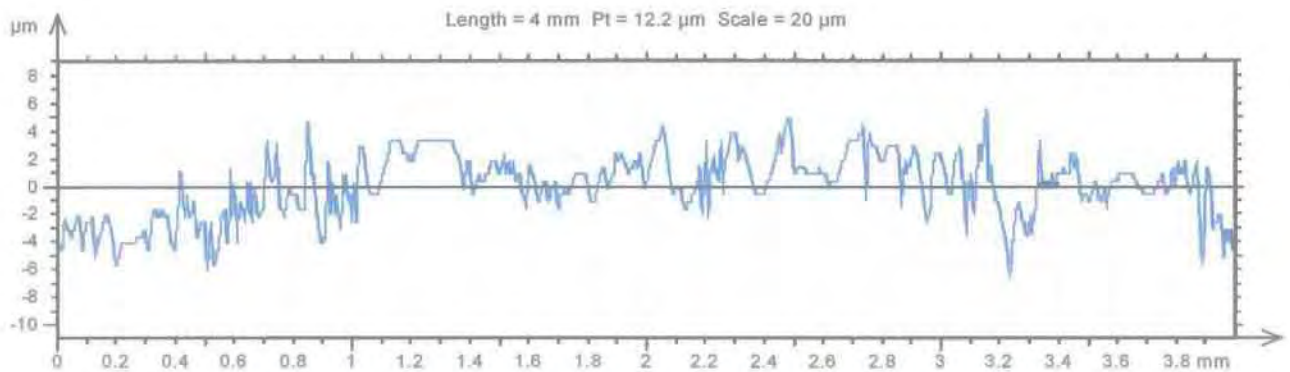
Πίνακας 1.25 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>2.33</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>22.7</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>6.97</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.112</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.35</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>4.28</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>15.6</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>7.72</b>	<b>μm</b>

## ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ : U = 943 στρ. / min

### • 1<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.05mm

Στο παρακάτω σχήμα 1.26 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.26 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

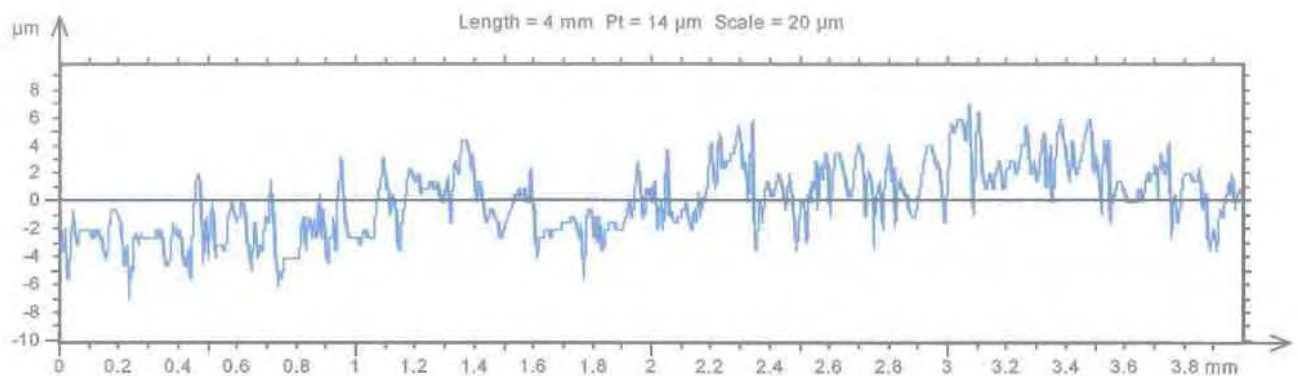
Στον παρακάτω Πίνακα 1.26 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.26.

Πίνακας 1.26 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.15</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>11.8</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>3.13</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.08</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.23</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.44</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>6.48</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>4.12</b>	<b>μm</b>

## 2<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.10 mm

Στο παρακάτω σχήμα 1.27 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.27 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

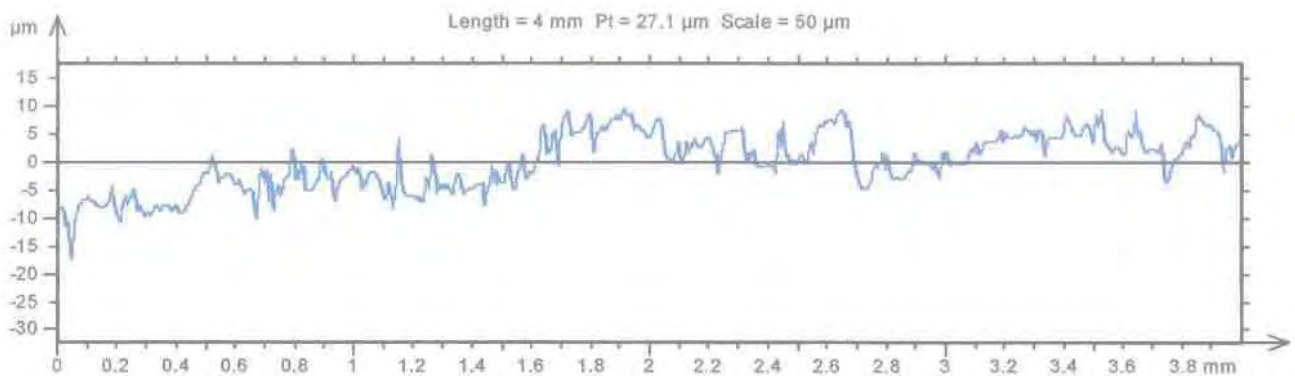
Στον παρακάτω Πίνακα 1.27 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.27.

Πίνακας 1.27 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>1.34</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>9.58</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>4.22</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.063</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.285</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.06</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>8.66</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>4.21</b>	<b>μm</b>

- **3<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.16 mm**

**Στο παρακάτω σχήμα 1.28 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.**



Σχήμα 1.28 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

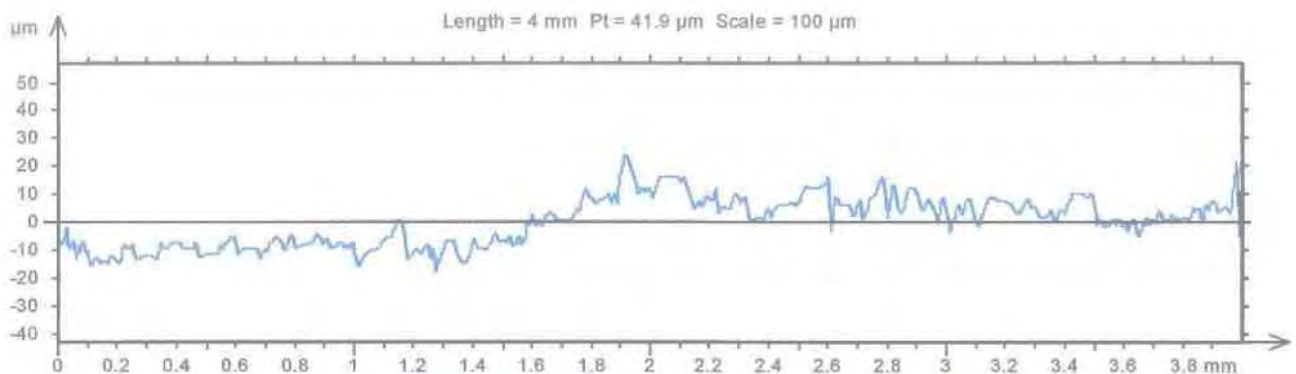
**Στον παρακάτω Πίνακα 1.28 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.28.**

Πίνακας 1.28 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>2.12</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>14.5</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>5.77</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0868</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.429</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>3.04</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>12.8</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>6.98</b>	<b>μm</b>

• **4<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.20 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.29 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.29 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

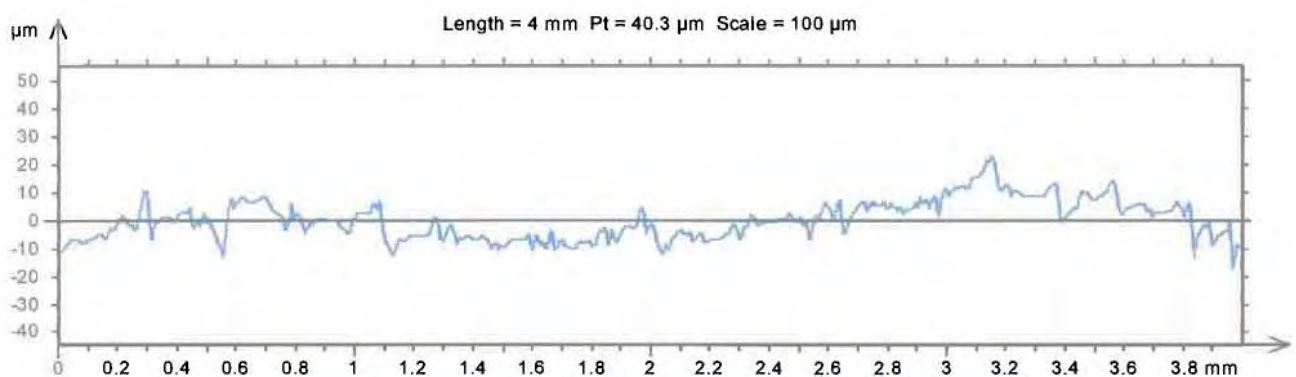
Στον παρακάτω Πίνακα 1.29 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.29.

Πίνακας 1.29 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

<b>Μέση Αριθμητική Τραχύτητα</b>	<b>Ra</b>	<b>=</b>	<b>2.6</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος</b>	<b>Rt</b>	<b>=</b>	<b>23.9</b>	<b>μm</b>
<b>Μέγιστο βάθος της κοιλάδας</b>	<b>Rv</b>	<b>=</b>	<b>9.1</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετροι διαστήματος</b>	<b>Rsm</b>	<b>=</b>	<b>0.0863</b>	<b>mm</b>
<b>Λοξότητα</b>	<b>Rsk</b>	<b>=</b>	<b>0.698</b>	
<b>Κύρτωση</b>	<b>Rku</b>	<b>=</b>	<b>4.21</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rz</b>	<b>=</b>	<b>19.6</b>	<b>μm</b>
<b>Παράμετρος</b>	<b>Rk</b>	<b>=</b>	<b>8.56</b>	<b>μm</b>

- **5<sup>η</sup> Περίπτωση – Βάθος Προώσεως 0.32 mm**

Στο παρακάτω σχήμα 1.30 βλέπουμε το σήμα που περιγράφει την τραχύτητα της συγκεκριμένης επιφάνειας. Κατά την δειγματοληψία, έχουν ληφθεί 8000 σημεία σε ένα μήκος δειγματοληψίας ίσο με 4mm.



Σχήμα 1.30 : Σήμα που αναπαριστά την τραχύτητα της που μελετάται

Στον παρακάτω Πίνακα 1.30 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προφίλ της τραχύτητας του Σχήματος 1.30.

Πίνακας 1.30 : Παράμετροι χαρακτηριστικές της τραχύτητας της επιφάνειας που αναλύεται (Όπως προκύπτουν από το λογισμικό TalyProfile).

Μέση Αριθμητική Τραχύτητα	Ra	=	2.45	μm
Μέγιστο βάθος	Rt	=	25.1	μm
Μέγιστο βάθος της κοιλάδας	Rv	=	8.53	μm
Παράμετροι διαστήματος	Rsm	=	0.0974	mm
Λοξότητα	Rsk	=	-0.302	
Κύρτωση	Rku	=	5	
Παράμετρος	Rz	=	16.8	μm
Παράμετρος	Rk	=	6.26	μm