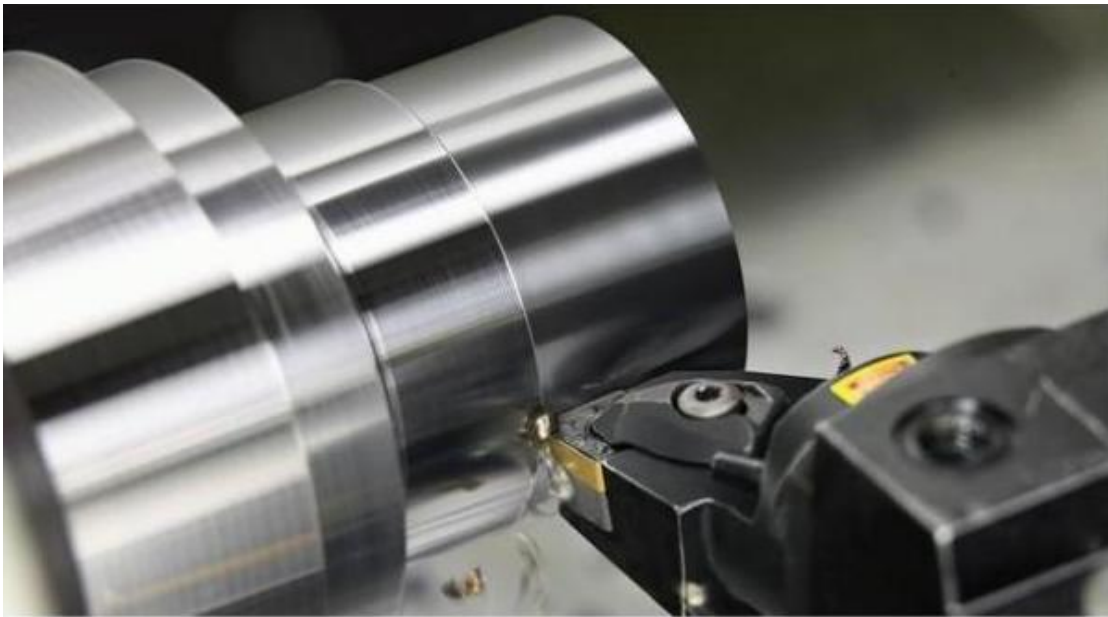


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

- ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
- ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# "ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΟΠΗΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ"



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΔΕΣΠΟΤΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (Α.Μ. 5234)

ΧΑΡΙΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Α.Μ. 5264)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΙΡΚΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2013

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία εκπονήθηκε στο χώρο του Μηχανολογικού Εργαστηρίου του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας.

Σκοπός της είναι τόσο η μελέτη των δυνάμεων και των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά την κατεργασία ορισμένων υλικών σε μια συγκεκριμένη εργαλειομηχανή, η οποία είναι ένας συμβατικός χειροκίνητος τόρνος, όσο και ο υπολογισμός τους, καθώς και η σύγκριση των θεωρητικών και των πειραματικών τιμών. Επιπρόσθετα αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τις δυνάμεις αυτές και επιπλέον αναλύονται τα βασικά στοιχεία των κατεργασιών κοπής και κυρίως όταν αυτές πραγματοποιούνται με υψηλές ταχύτητες κοπής.

Όλες οι ανωτέρω κατεργασίες πραγματοποιήθηκαν σε συμβατικό τόρνο τύπου Maximat V13 του Μηχανολογικού Εργαστηρίου του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. στον οποίο προσαρμόστηκε ειδική συσκευή του εμπορίου, τύπου RHYWE αποκλειστικά κατάλληλη για καταμέτρηση των συγκεκριμένων δυνάμεων όσο και των θερμοκρασιών, ενώ στην τελευταία ενότητα παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από σύγκριση των πειραματικών και υπολογιστικών συστημάτων.

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον Καθηγητή, κ. Σωτήριο Τσίρκα ο οποίος μας τίμησε με την ανάθεση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ενώ ως επιβλέπων καθηγητής έδωσε σημαντικές, τόσο συμβουλές όσο και διευκρινίσεις οι οποίες συνέβαλαν καταλυτικά στην εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής. Ευχαριστούμε επίσης ιδιαίτερα τον συνάδελφο Μηχανολόγο Μηχανικό Μουρτζάκη Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθειά του. Τέλος, δεν θα μπορούσαμε να ξεχάσουμε τη συμπαράσταση των μελών του εργαστηρίου και την προθυμία τους να βοηθήσουν όποτε αυτό ήταν απαραίτητο, καθώς και τη συμβολή των γονέων μας σε αυτές τις δύσκολες εποχές στο να ολοκληρωθούν οι σπουδές μας με επιτυχία.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη των αναπτυσσόμενων δυνάμεων κατά την κατεργασία κοπής υψηλών ταχυτήτων, το διαχωρισμό των δυνάμεων αυτών σε συνιστώσες, των παραγόντων που τις επηρεάζουν, καθώς και τη σύγκριση αυτών με τις θεωρητικές τους τιμές.

Αρχικά, γίνεται μια γενική αναφορά στις εργαλειομηχανές και ακολουθεί ο διαχωρισμός τους με βάση κάποιες παραμέτρους.

Έπειτα, πραγματοποιείται μια επικέντρωση στον τόρνο ως εργαλειομηχανή και ακολουθεί μια εκτενής αναφορά με ανάλυση των μερών του, περιγραφή της λειτουργίας του, κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, αλλά και το διαχωρισμό τους σε επιμέρους κατηγορίες είτε ως προς τη χρήση τους, είτε ως προς τον τρόπο λειτουργίας ή ρυθμό παραγωγής του. Τέλος, αναφέρονται τα βασικά μέρη που χαρακτηρίζουν τη διαδικασία αφαίρεσης υλικού κατά την τórνευση (συνθήκες κοπής), αλλά και ο υπολογισμός της ταχύτητας κοπής.

Στη συνέχεια, ακολουθεί αναφορά στις δυνάμεις κοπής, με αναλυτική περιγραφή, τύπους, σχέδια, εικόνες και σχήματα. Γίνεται μια σύντομη περιγραφή στα είδη αποβλήτων και στο ρόλο που παίζουν τα κοπτικά εργαλεία στην κατεργασία του μετάλλου. Επίσης, η θερμοκρασία, έχει και αυτή την θέση της σ' αυτό το κεφάλαιο μιας και είναι βασικός παράγοντας ως προς τη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου.

Στο τέταρτο και πιο σημαντικό κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται όλα αυτά που θα μας δείξουν τι πραγματικά συμβαίνει σε μία κατεργασία αφαίρεσης υλικού στον τόρνο. Αναλύεται η πειραματική κατασκευή και η συνδεσμολογία. Υπάρχουν όλοι οι πίνακες μετρήσεων των τεσσάρων υλικών, οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων και τα απαραίτητα διαγράμματα, για να ολοκληρωθεί στο τέλος η πτυχιακή αυτή εργασία με τα συμπεράσματα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ.....</b>	<b>3</b>
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Κατεργασίες κοπής ή αφαιρέσεως υλικού.....	3
1.3 Κατεργασία διαμόρφωσης.....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ο ΤΟΡΝΟΣ.....</b>	<b>6</b>
2.1 Γενικά.....	6
2.2 Κύρια μέρη του τórνου.....	7
2.3 Περιγραφή λειτουργίας του τórνου.....	9
2.4 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τórνων.....	10
2.5 Κατηγορίες τórνων.....	11
Α. Τórνοι παράλληλοι κεντροφόροι.....	11
Β. Τórνοι Μετωπικοί.....	14
Γ. Τórνοι κατακόρυφοι.....	15
Δ. Περιστροφικοί τórνοι (Revolver).....	17
2.6 Επιλογή – Υπολογισμός συνθηκών κοπής.....	19
2.6.1 Υπολογισμός της ταχύτητας κοπής.....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....</b>	<b>22</b>
3.1 Μηχανισμοί κοπής.....	22
3.1.1 Προκαταρκτικές έννοιες και ορισμοί.....	22
3.1.2 Κωνική τórνευση.....	25
3.1.3 Είδη και μορφές αποβλήτου.....	26
Α. Τα βασικά είδη του αποβλήτου.....	26
Β. Διάφορες μορφές αποβλήτων.....	30

Γ. Γρεζοθραύστες.....	31
3.1.4 Πως σχηματίζεται το συνεχές απόβλητο.....	31
3.2 Τα κοπτικά εργαλεία στην κατεργασία κοπής.....	36
3.3 Θερμότητα και θερμοκρασίες.....	39
3.3.1 Η θερμότητα που εκλύεται κατά την κοπή.....	39
3.3.2 Οι αναπτυσσόμενες κατά την κοπή θερμοκρασίες και η διανομή τους.....	40
3.4 Προσδιορισμός των δυνάμεων και της ισχύος κοπής.....	42
3.4.1 Γενικά.....	42
3.4.2 Υπολογισμός κύριας συνιστώσας της δυνάμεως κοπής και της ισχύος κοπής από την ειδική αντίσταση κοπής.....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΟΠΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ.....</b>	<b>50</b>
4.1 Παρουσίαση-Περιγραφή δυναμόμετρου ΡΗΥWE.....	50
4.2 Πειραματική διαδικασία.....	54
4.3 Συνδεσμολογία.....	56
4.4 Πίνακες μετρήσεων.....	57
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>69</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>71</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατεργασία ενός προϊόντος στη βιομηχανία επηρεάζει άμεσα κατά 15 με 20% το κόστος παραγωγής του, ενώ εκτιμάται ότι με έμμεσο τρόπο φτάνει να καθορίζει πάνω από το 80% την αξία του. Με τον όρο κατεργασία καλούμε κάθε μεταβολή και διαμόρφωση που γίνεται στην πρώτη ύλη για την παραγωγή ενός προϊόντος. Η αξία του προϊόντος καθορίζεται από το κόστος, το χρόνο και την ποιότητα παραγωγής τα οποία αποτελούν το άλφα και το ωμέγα της βιομηχανικής παραγωγής, με τις κατεργασίες να μην αποτελούν εξαίρεση σε αυτόν τον κανόνα. Παράλληλα όλο και μεγαλύτερο ρόλο παίζουν σήμερα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε εφαρμογής στη βιομηχανία, με αποτέλεσμα η περιβαλλοντική επίπτωση να συνδέεται πλέον άμεσα με την αξία του προϊόντος.

Σε όλους τους τομείς της αγοράς σήμερα, η ταχύτητα έχει καθοριστική σημασία για την ανάπτυξη ενός προϊόντος. Ο χρόνος κατεργασίας αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας στην παραγωγή. Ειδικά για τις κατεργασίες αποβολής υλικού, καθοριστικό ρόλο στη μείωση του χρόνου παραγωγής έχει η επιλογή των κατάλληλων παραγόντων κοπής που θα επιτρέψουν στην ταχύτητα κοπής να μεγιστοποιηθεί. Οι συνθήκες κοπής επηρεάζουν σε απόλυτο βαθμό τη μορφή του αποβλήτου, τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, τις δυνάμεις κοπής και τελικά το χρόνο παραγωγής, με αποτέλεσμα η βελτιστοποίηση των κατεργασιών κοπής να απαιτεί την μελέτη των μηχανισμών της και την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών. Έτσι έχουν γίνει αξιοσημείωτες προσπάθειες για την ανάπτυξη υπολογιστικών μεθόδων και προσομοιώσεως των κατεργασιών κοπής, όπου σε συνδυασμό με τις εργαλειομηχανές CNC και τα νέα αποδοτικά και σχετικά χαμηλού κόστους υλικά για τα εργαλεία κοπής, έχουν δώσει τεράστια ώθηση στην ανάπτυξη των κατεργασιών κοπής υψηλής ταχύτητας.

Όμως η χρήση υψηλών ταχυτήτων κατά την κοπή παρουσιάζει πολλές δυσχέρειες, αρκετούς ιδιόμορφους μηχανισμούς και παράξενα φαινόμενα, που με μία πρώτη ανάλυση φαίνονται παράλογα. Όλα αυτά, αν δεν μελετηθούν επαρκώς, είναι σίγουρο ότι μπορούν να οδηγήσουν σε δύσκολες καταστάσεις ολόκληρες βιομηχανίες.

Γενικά είναι γνωστό ότι εφαρμόζοντας υψηλότερες ταχύτητες κοπής από τις παραδοσιακές, η παραγωγικότητα των κατεργασιών έχει διαρκώς τάσεις ανάπτυξης αλλά και η ποιότητα των προϊόντων παρουσιάζει δυνατότητες βελτίωσης. Τα διαρκώς αναπτυσσόμενα κοπτικά εργαλεία, τα υλικά κατεργασίας και οι

εργαλειομηχανές έχουν οδηγήσει και έχουν καταστήσει δυνατή τη διάδοση της τεχνολογίας “ High Speed Machining ”.

Τόσο το μέγεθος, όσο και η μορφή των δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της κοπής σε υψηλές ταχύτητες αφορούν πολλούς τομείς στα πλαίσια των μηχανουργικών κατεργασιών. Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να διατυπώσουν αναλυτικές μαθηματικές σχέσεις για την περιγραφή της δυνάμεως κοπής, αλλά καμία όμως από τις σχέσεις αυτές δεν περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τη δύναμη κοπής. Αυτό συμβαίνει λόγω του μεγάλου αριθμού των παραγόντων αυτών καθώς πολλοί από αυτούς δεν ακολουθούν κάποιο σταθερό νόμο, ο οποίος θα μπορούσε να περιγραφεί με ικανοποιητική ακρίβεια.

# 1. ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

## 1.1 Γενικά

Εργαλειομηχανή, σύμφωνα με την ετοιμολογία της λέξης, είναι μία μηχανή που χρησιμεύει ως εργαλείο με σκοπό την κατεργασία ενός αδιαμόρφωτου υλικού.

Ως κατεργασία ονομάζουμε κάθε μεταβολή και διαμόρφωση που πραγματοποιούμε στην πρώτη ύλη, η οποία μπορεί να είναι σιδηρούχα ή μη σιδηρούχα μέταλλα.

Μετά την πλήρη διαμόρφωση αυτών των υλικών τα κατεργάσιμα κομμάτια αν συναρμολογηθούν μας δίνουν την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων. Το σύνολο των κατεργασιών που εφαρμόζονται σήμερα στη βιομηχανία για την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων μπορούν να χωρισθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- i. τις κατεργασίες κοπής
- ii. τις κατεργασίες διαμορφώσεων

## 1.2 Κατεργασίες κοπής ή αφαιρέσεως υλικού

Στις κατεργασίες αφαιρέσεως υλικού η επιθυμητή μορφή στο κομμάτι γίνεται με βαθμιαία αφαίρεση όλου του ανεπιθύμητου υλικού, δηλαδή του υλικού που πλεονάζει.

Τις κατεργασίες αυτές τις κάνουμε με τις εργαλειομηχανές κοπής και αφαιρέσεως υλικού όπως είναι :

- Το Δράπανο
- Η Πλάνη
- Ο Τόρνος
- Οι Φρεζομηχανές
- Οι Λειαντικοί Τροχοί
- Οι Λειαντικές Μηχανές (Ρεκτιφιέ)



### 1.3 Κατεργασίες διαμορφώσεως

Στις κατεργασίες διαμορφώσεων η τελική μορφή του προϊόντος προκύπτει χωρίς αφαίρεση υλικού και γίνεται από μηχανές όπως είναι :

- Η Πρέσα
- Η Στράντζα
- Ο Κύλινδρος
- Η Σφύρα

Σε αυτή την κατηγορία μπορεί να συμπεριληφθούν **οι συγκολλήσεις και η χύτευση.**

Η μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη έχει δημιουργήσει πολλή μεγάλη ποικιλία εργαλειομηχανών ούτως ώστε να μην είναι εύκολη η ταξινόμησή τους με ένα κριτήριο.

Τα κριτήρια για την ταξινόμηση των εργαλειομηχανών έχουν να κάνουν με το γεωμετρικό σχήμα του κομματιού που θα κατεργαστούν.

Αυτά είναι :

#### **i. Το είδος της κατεργασίας.**

- Για παράδειγμα για άνοιγμα οπών, θα χρησιμοποιήσουμε τις εργαλειομηχανές, τα δράπανα, τους τόνους, τις φρέζες ανάλογα με το σχήμα του κομματιού που θα κατεργαστούμε.
- Τι επιφάνεια θα κατεργαστούμε. Για παράδειγμα για επίπεδη επιφάνεια θα χρησιμοποιηθούν πλάνες ή φρέζες. Για την κατεργασία κυλινδρικών επιφανειών θα χρησιμοποιηθούν οι τόννοι. Για λείανση εξωτερικών επιφανειών ή εσωτερικών κυλινδρικών επιφανειών ή επίπεδων επιφανειών θα χρησιμοποιηθούν οι λειαντικές μηχανές.

#### **ii. Το είδος της κύριας κίνησης.**

- Κάθε εργαλειομηχανή κοπής ανάλογα με το είδος κατεργασίας που κάνει, εκτελεί μια κύρια κίνηση και μια ή περισσότερες βοηθητικές κινήσεις. Η κύρια

κίνηση μπορεί να είναι περιστροφική όπως στον τόρνο ή ευθύγραμμη παλινδρομική όπως στην πλάνη.

**iii. Ο βαθμός ακρίβειας.**

- Μικρής ακρίβειας από 0,1mm.
- Μέσης ακρίβειας μέχρι 0,01mm.
- Μεγάλης ακρίβειας από 0,01mm μέχρι 0,0001mm.

**iv. Το μέγεθος.**

- Εργαλειομηχανές ελαφριάς μηχανουργίας όπως στην ωρολογοποιία που έχουν βάρος περίπου ενός κιλού.
- Εργαλειομηχανές βαριάς μηχανουργίας όπως σε ναυπηγικές εργασίες που το βάρος τους ξεπερνούν τους 400 τόνους.

**v. Βαθμός αυτοματισμού.**

Υπάρχουν εργαλειομηχανές που απαιτούν συνεχή έλεγχο των κινήσεων από τον χειριστή, μέχρι εργαλειομηχανές που δεν επεμβαίνει καθόλου κατά την κατεργασία ο χειριστής.

- Απλές μηχανές που όλες οι κινήσεις γίνονται από τον χειριστή.
- Ημιαυτόματες που μέρος των κινήσεων γίνονται από τον χειριστή και μέρος των κινήσεων αυτόματα από τη μηχανή.
- Αυτόματες μηχανές μηχανικού προγραμματισμού. Σε αυτές τις μηχανές όλες οι κινήσεις γίνονται αυτόματα με μηχανικούς μηχανισμούς.
- Αυτόματες μηχανές ηλεκτρικού προγραμματισμού που όλες οι κινήσεις γίνονται αυτόματα με ηλεκτρικούς μηχανισμούς.
- Αυτόματες μηχανές ψηφιακού προγραμματισμού (**C.N.C**).

Ακόμη εκτός από την ταξινόμηση των παραπάνω κριτηρίων οι εργαλειομηχανές ταξινομούνται και σε :

- **Εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως.**
- **Εργαλειομηχανές ειδικής χρήσεως.**

**Γενικής χρήσεως** ονομάζονται οι μηχανές που εκτελούν μεγάλη ποικιλία εργασιών. Για παράδειγμα, σε ένα τόρνο γενικής χρήσεως μπορούμε να κατεργαστούμε εσωτερικές ή εξωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες, επίπεδες επιφάνειες, να κόψουμε σπειρώματα όλων των ειδών. Αντίθετα, στις εργαλειομηχανές **ειδικής χρήσεως** εκτελούμε μια ορισμένη εργασία όπως στο γριναζοκόπτη κόβουμε μόνο δόντια σε τροχούς.

## 2. Ο ΤΟΡΝΟΣ

### 2.1 Γενικά

Ο τόρνος είναι μια από τις πιο βασικές και πιο παλιές εργαλειομηχανές. Χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή αντικειμένων κυκλικής διατομής. Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία κατασκευής τόρνων, ακολουθώντας τις επιταγές της σημερινής εποχής, που είναι η ταχύτητα και ο αυτοματισμός, δημιουργεί τόρνους υψηλής τεχνολογίας, εξαιρετικά ευκολόχρηστους (μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών) και ακριβείς ως προς την κατεργασία.

Η εξέλιξη αυτή έχει οδηγήσει και στην εμφανισιακή αλλαγή του τόρνου. Ο βασικός, όμως τρόπος λειτουργίας του δεν έχει τροποποιηθεί.

Ο τόρνος έχει την ικανότητα να κατεργάζεται όλα τα σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα αλλά και μεγάλο μέρος από άλλα υλικά. Ένας τόρνος γενικής χρήσης κάνει τις εξής κατεργασίες :

- Τόρνευση εξωτερικών και εσωτερικών κυλινδρικών επιφανειών.
- Τόρνευση κωνικών επιφανειών.
- Εγκάρσια τόρνευση.

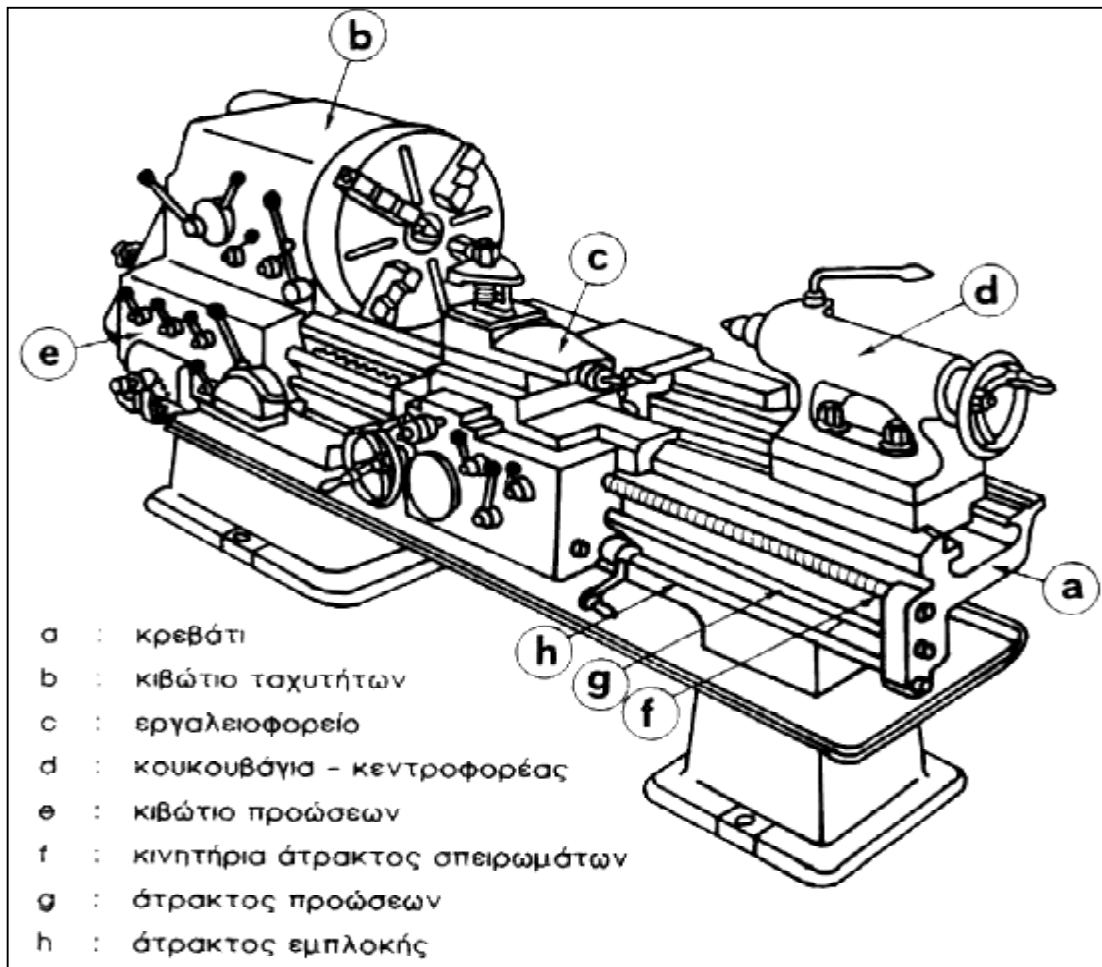
- Διάνοιξη οπών.
- Κατεργασία επιφανειών μορφής.
- Έκκεντρη τórνευση.
- Κοπή εξωτερικών και εσωτερικών σπειρωμάτων όλων των μορφών.
- Ρικνώματα.
- Περιέλιξη ελατηρίων.
- Κατεργασία σφαιρικών εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών.
- Λείανση, με ιδιοσυσσκευή, εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών.

## 2.2 Κύρια μέρη του τórνου

Ο τórνος αποτελείται από πέντε βασικά μέρη :

- **Το σώμα ή τη βάση** που κατά κανόνα κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο και είναι το τμήμα εκείνο στο οποίο προσαρμόζονται όλοι οι μηχανισμοί και τα υπόλοιπα τμήματα του. Το σώμα έχει τους πρισματοδηγούς (γλισιέρες) για να κινούνται επάνω σε αυτές το εργαλειοφορείο και ο κεντροφορέας.
- **Το κιβώτιο ταχυτήτων** που παίρνει κίνηση από τον ηλεκτροκινητήρα και την μεταβιβάζει με μια σειρά βαθμίδων ταχυτήτων περιστροφής στην κύρια άτρακτο όπου και προσδένεται ο άξονας που κατεργάζεται.
- **Το κιβώτιο προώσεων** που μεταβιβάζει την κίνηση από το κιβώτιο ταχυτήτων σε δύο άξονες. Οι δύο αυτοί άξονες είναι :
  - i. Ο άξονας προώσεων που κινεί το εργαλειοφορείο για όλες τις περιπτώσεις κοπής και τórνευσης, πλην αυτής των σπειρωμάτων.
  - ii. Ο κοχλίας σπειρωμάτων που κινεί το εργαλειοφορείο μόνο στις περιπτώσεις κοπής σπειρωμάτων.

- **Εργαλειοφορείο ή σεπόρτι** όπου πάνω σε αυτό προσδένεται ο εργαλειοδέκτης και εκτελεί διαμήκη και εγκάρσια κίνηση για την τόννευση. Αποτελείται από τέσσερα επί μέρους τμήματα :
  - i. Το κύριο φορείο, που κινείται επάνω στους πρισματοδηγούς της βάσης και εκτελεί κίνηση παράλληλη (κατά μήκος) με τον νοητό άξονα ατράκτου - κεντροφορέα.
  - ii. Το εγκάρσιο φορείο, κινείται επάνω σε γλισιέρες που βρίσκονται στο κύριο φορείο και εκτελεί την εγκάρσια κίνηση.
  - iii. Το φορείο του εργαλειοδέτη, το οποίο βρίσκεται επάνω στο εγκάρσιο φορείο και μπορεί να περιστρέφεται σε δίσκο.
  - iv. Το κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης, στερεώνεται επάνω στο κύριο φορείο και εσωτερικά φέρει ένα μηχανισμό που έχει προορισμό να δέχεται την κίνηση από το κιβώτιο προώσεων και να την μεταβιβάζει στο κύριο ή το εγκάρσιο φορείο.
  
- **Ο κεντροφορέας ή κουκουβάγια**, κινείται στις γλισιέρες της βάσης και βρίσκεται δεξιά του εργαλειοφορείου. Χρησιμεύει για στήριξη άξονα μεγάλου μήκους, για στήριξη κοπτικών (τρυπάνια, γλύφανα) και για κεντράρισμα του εργαλείου.



Σχήμα 2.1 : Βασικά μέρη τόννου

### 2.3 Περιγραφή λειτουργίας τόννου

Η λειτουργία του τόννου οποιασδήποτε κατηγορίας και διαμόρφωσης μπορεί σε γενικές γραμμές να περιγραφεί μέσω της λειτουργίας ενός παράλληλου τόννου.

Όπως ήδη αναφέρθηκε όλα τα στοιχεία του τόννου βρίσκονται επάνω στο σώμα ή βάση, που αποτελείται συνήθως από δύο πόδια και ένα "κρεβάτι" ή τράπεζα που είναι, ως σύστημα στο σύνολό του, πολύ δύσκαμπτο και στιβαρό. Η τράπεζα στο επάνω τμήμα της έχει ολισθητές τριγωνικής ή ορθογωνιακής μορφής, οι οποίοι πρέπει να είναι τέλεια ευθυγραμμισμένοι και να είναι από υλικό που να μη

διαβρώνεται εύκολα. Αριστερά της τράπεζας βρίσκεται το κιβώτιο ταχυτήτων με τον εντός αυτού απαραίτητο αριθμό οδοντωτών τροχών και συμπλεκτών για την μετάδοση της περιστροφικής ταχύτητας από τον κινητήρα στην κύρια άτρακτο, όπου και γίνεται η συγκράτηση του άξονα που θα κατεργαστεί ο τόννος.

Η προώθηση του εργαλείου κοπής, κατά μήκος και εγκάρσια του άξονα όπου γίνεται η κατεργασία πραγματοποιείται μέσω της πρόωσης του εργαλειοφορείου. Το εργαλειοφορείο κινείται κατά μήκος μέσω του ολισθητήρα και περιστρέφεται μέσω του ολισθαίνοντος στρεφόμενου δίσκου. Τα κοπτικά εργαλεία συγκρατούνται στον εργαλειοδέτη. Όλο το ανωτέρω σύστημα (εργαλειοφορέας, ολισθητήρες εργαλειοφορείου και εργαλειοδέτης) κινείται ευθύγραμμα είτε χειροκίνητα με την βοήθεια του "βολάν", με περιστροφή του οποίου πιέζεται οδοντωτός τροχός επάνω σε οδοντωτό κανόνα που βρίσκεται σταθερά επάνω στην τράπεζα, είτε αυτόματα μέσω στρεφόμενου άξονα, ο οποίος ονομάζεται **άξονας πρόωσης**. Η κίνηση αυτού του συστήματος για την κατεργασία σπειρωμάτων επιτυγχάνεται μέσω του **κοχλία σπειρωμάτων**. Ο άξονας πρόωσης και ο κοχλίας σπειρωμάτων παίρνουν κίνηση από το κιβώτιο προώσεων.

Επιπρόσθετα υπάρχει η επονομαζόμενη "**κιθάρα**" όπου βρίσκονται οι ανταλλακτικοί τροχοί. Δια μέσω και αυτών πραγματοποιείται η ευθύγραμμη κίνηση της πρόωσης. Στη δεξιά πλευρά του τόννου κινείται ο **κεντροφορέας ή κουκουβάγια**.

## 2.4 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τόννων

Η κατάταξη των τόννων γίνεται αναλόγως τη χρήση τους, τις γεωμετρικές τους διαστάσεις, και τα στοιχεία εκείνα που δείχνουν τις ικανότητες τους.

Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- **D:** η μέγιστη διάμετρος τόννευσης κατεργαζόμενου άξονα σε mm (μετρούμενη έως το σημείο άνω των ολισθητήρων της τράπεζας)
- **d:** η μέγιστη διάμετρος τόννευσης κατεργαζόμενου άξονα σε mm (μετρούμενη έως το σημείο άνω των ολισθητήρων του εργαλειοφορείου).
- **L:** το μέγιστο μήκος του κατεργαζόμενου άξονα σε mm (μέγιστη απόσταση μεταξύ σημείου συγκράτησης στην κύρια άτρακτο και σημείου συγκράτησης στον κεντροφορέα).
- **K<sub>n</sub>:** το πλήθος των περιστροφικών ταχυτήτων της ατράκτου.

- $n_{max}$ : η μέγιστη περιστροφική ταχύτητα της κυρίας ατράκτου σε **RPM**.
- $S_{min}$ : η ελάχιστη πρόωση του κοπτικού σε mm/στροφή.
- **N**: η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα της εργαλειομηχανής σε **KW**.
- **G**: βάρος της εργαλειομηχανής σε **tn** ή σε **Kp**.
- $G_a$ : βάρος του κατεργαζόμενου άξονα σε **tn** ή σε **Kp**.

## 2.5 Κατηγορίες τόρνων

### A. Τόρνοι παράλληλοι κεντροφόροι

#### i. Τόρνοι επιτραπέζιοι:

Τοποθετούνται επάνω σε στιβαρό τραπέζι. Η μετάδοση της κίνησης στην κύρια άτρακτο συνήθως επιτυγχάνεται με κλιμακωτές τροχαλίες. Η πρόωση του εργαλειοφόρου γίνεται συνήθως χειροκίνητα (υπάρχει η δυνατότητα και μηχανικής πρόωσης). Οι τόρνοι αυτοί είναι μεγάλης ακριβείας και χρησιμοποιούνται σε μηχανουργία κατασκευής μικρών αντικειμένων (βιομηχανία ωρολογίων, ηλεκτροτεχνουργία κ.α.). Διαθέτουν άξονα πρόωσης (ΑΠ) και κοχλία σπειρωμάτων (ΚΣ).

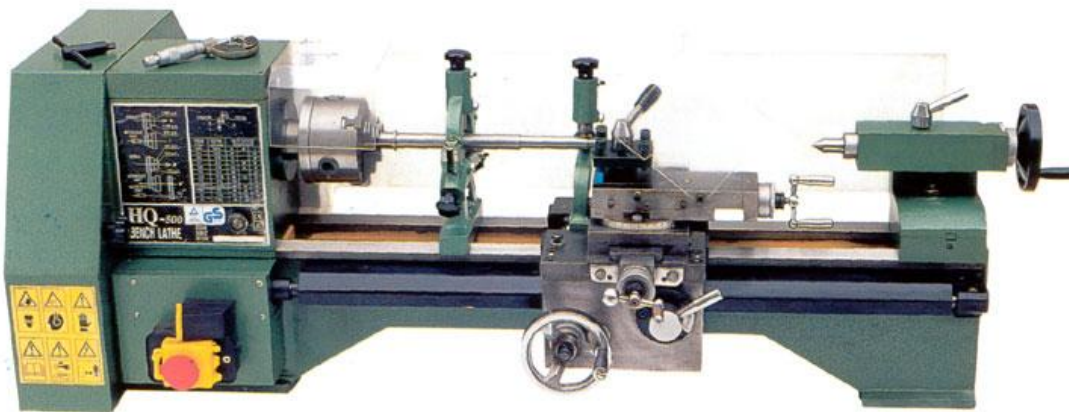


**Σχήμα 2.2:** Τόρνος επιτραπέζιος



## ii. Τόρνοι παραγωγικοί:

Χαρακτηριστικό στοιχείο είναι ότι δεν υπάρχει κοχλίας σπειρωμάτων. Οι εγκάρσιοι ολισθητήρες κατασκευάζονται υπό μορφή πλάκας με αυλάκια σχήματος "T" και χρησιμοποιούνται για την συγκράτηση του εργαλειοδέτη ή των βοηθητικών συσκευών (π.χ. συσκευή για την τόννευση αντιγραφής). Κυρίως χρησιμοποιούνται για την παραγωγή "σειράς" εξαρτημάτων.



Σχήμα 2.3: Τόρνος παραγωγικός

## iii. Τόρνοι πολλαπλών χρήσεων (Universal):

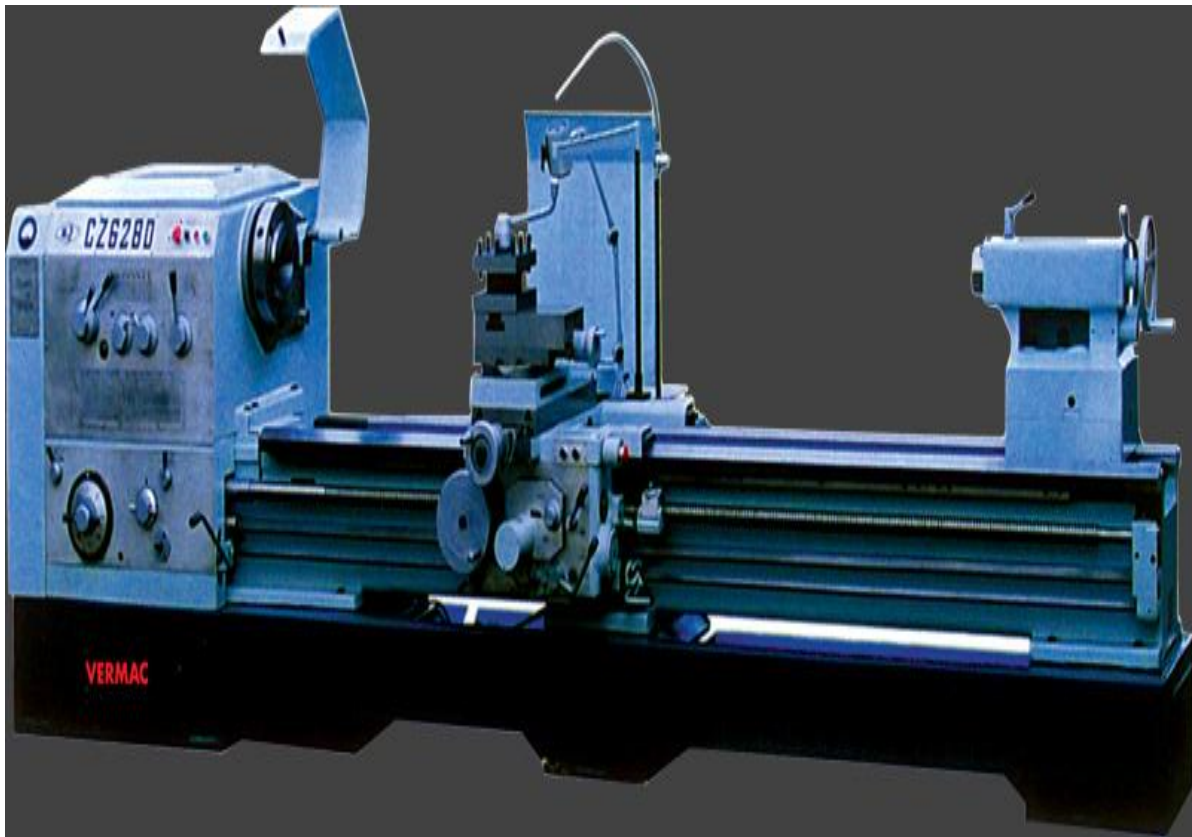
Στους Universal υπάρχει κοχλίας σπειρωμάτων, επομένως υπάρχει και η δυνατότητα κοπής σπειρωμάτων. Σε σύγκριση με τον παραγωγικό τόρνο έχει μεγαλύτερη περιοχή περιστροφικών ταχυτήτων της ατράκτου και μεγαλύτερο αριθμό προώσεων του εργαλειοφορείου. Χρησιμοποιείται σε μηχανουργία για παραγωγή ενός εξαρτήματος ή μικρής σειράς εξαρτημάτων.



**Σχήμα 2.4:** Τόρνος πολλαπλών χρήσεων (Universal)

#### **iv. Τόρνοι Βαρείς:**

Εδώ η τράπεζα, σε μορφή πλαισίου, στηρίζεται σε θεμελιωμένο έδαφος. Ο ηλεκτροκινητήρας που δίνει κίνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων είναι τοποθετημένος και αυτός σε ειδική βάση. Το εργαλειοφορείο μετακινείται επάνω στους ολισθητήρες (όπως και στους Universal). Η πρόωση του εργαλειοφορείου γίνεται από διαφορετικό κινητήρα μέσω του κιβωτίου προώσεων. Χρησιμοποιείται για την κατεργασία αξόνων μεγάλου βάρους. Υπάρχει η δυνατότητα κοπής σπειρωμάτων.



**Σχήμα 2.5:** Τόρνος Βαρύς

### **Β. Τόρνοι Μετωπικοί**

Διακρίνονται σε :

- Τόρνους με εγκάρσια τράπεζα.
- Τόρνους με επιμήκη τράπεζα.
- Τόρνους με τράπεζα δαπέδου (υπό μορφή πλάκας).

Τα προς κατεργασία υλικά, συγκρατούνται στην πλάκα που παίρνει περιστροφική κίνηση από το κιβώτιο ταχυτήτων. Η διάταξη των εργαλειοφορέων καθώς και του εργαλειοδέτη είναι όπως αυτή των βαρέων τόρνων. Προορίζονται για την κατεργασία αντικειμένων μεγάλης διαμέτρου αλλά μικρού πάχους και χρησιμοποιούνται για να παράγουν ένα εξάρτημα.

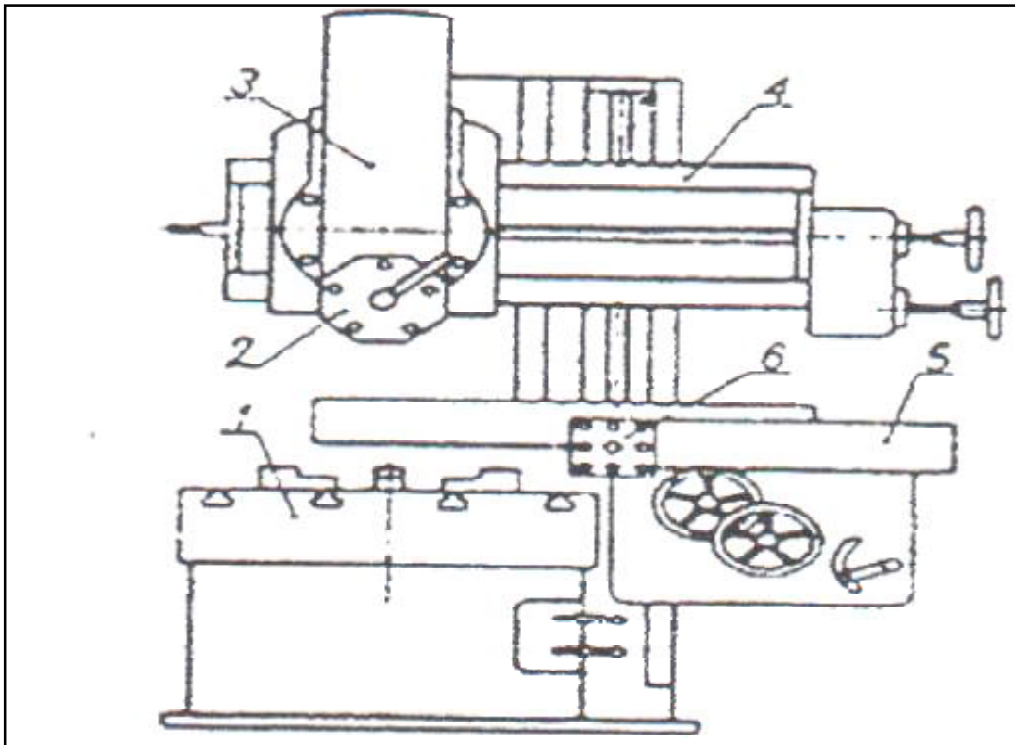


**Σχήμα 2.6:** Τόρνος μετωπικός

### **Γ. Τόρνοι Κατακόρυφοι**

#### **i. Κατακόρυφος μονόστηλος**

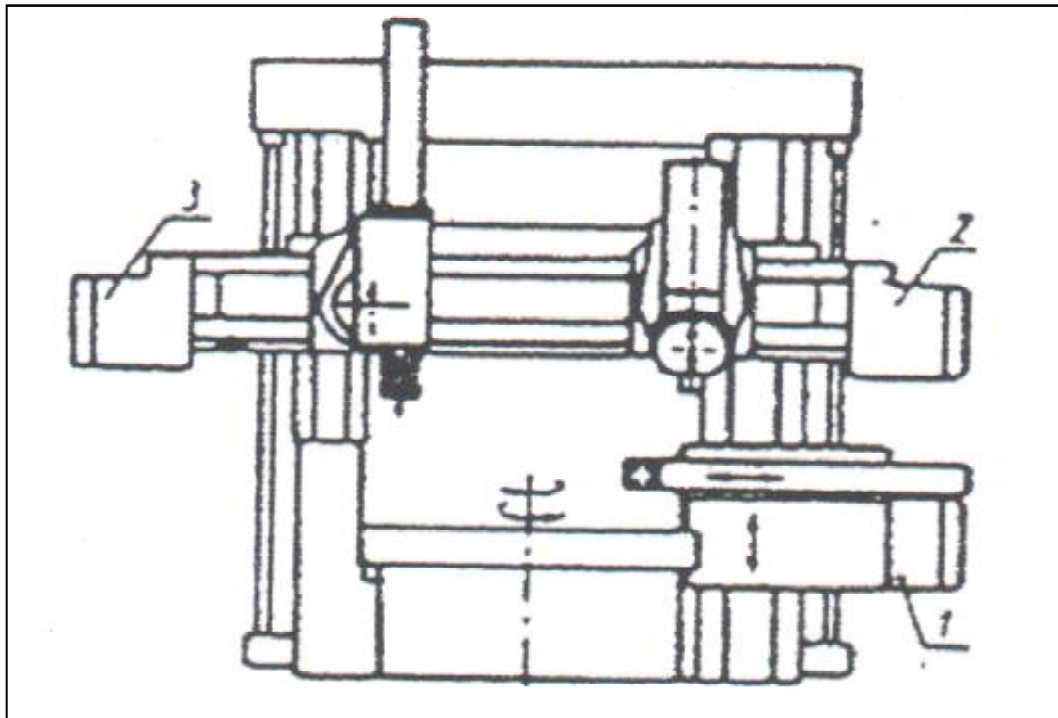
Η πλάκα πρόσδεσης του αντικειμένου που θα γίνει η κατεργασία, περιστρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα. Το πλευρικό εργαλειοφορέο μετακινείται κατακόρυφα επί των ολισθητήρων (μορφής στύλου) ενώ το άνω εργαλειοφορέο μετακινείται οριζόντια επί των ολισθητήρων του βραχίονα. Ακόμη οι εργαλειοδέτες μπορούν να μετακινούνται επί των αντίστοιχων εργαλειοφορέων. Ο άνω εργαλειοδέτης έχει την δυνατότητα περιστροφής επί των ολισθητήρων του εργαλειοφορέου του (ώστε να γίνεται, για παράδειγμα, η κωνική κοπή). Χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ενός τεμαχίου ή μικρών σειρών αντικειμένων μεγάλης διαμέτρου.



Σχήμα 2.7: Κατακόρυφος μονόστηλος

## ii. Κατακόρυφοι δίστηλοι

Έχουν ίδιο τρόπο εργασίας με τους μονόστηλους με τη διαφορά ότι η εργαλειοφόρος δοκός μετακινείται επί ολισθητήρων δύο στύλων. Οι στύλοι συνδέονται με τη βάση της τραπέζης και επάνω με την εγκάρσια δοκό. Για την μετάδοση των προώσεων στα εργαλειοφορέα χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα κιβώτια ταχυτήτων. Χρησιμοποιούνται όπως και οι μονόστηλοι τórνοι αλλά για αντικείμενα μεγαλύτερου βάρους και διαμέτρου.



Σχήμα 2.8: Κατακόρυφος δίστηλος

#### Δ. Περιστροφικοί τόρνοι (Revolver)

##### **i. Με κατακόρυφο τον άξονα της περιστρεφόμενης κεφαλής.**

Εδώ τα εργαλεία συγκρατούνται στην περιστρεφόμενη κεφαλή και στον εργαλειοδέτη του εγκάρσιου εργαλειοδέτη, με σειρά ίδια με αυτή που θα χρησιμοποιηθούν κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Το εργαλειοφορέο που έχει την περιστρεφόμενη κεφαλή κινείται κατά μήκος ενώ το άλλο κινείται κατά μήκος και κάθετα. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης της ατράκτου είναι ίδιο με αυτό των παράλληλων κεντροφόρων τόρνων. Χρησιμοποιούνται για την κατεργασία αντικειμένων μικρών διαστάσεων ή ημιπροϊόντων στην παραγωγή μεσαίων και μεγάλων σειρών.



**Σχήμα 2.9:** Τόρνος με κατακόρυφο τον άξονα της περιστρεφόμενης κεφαλής

**ii. Με οριζόντιο τον άξονα της περιστρεφόμενης κεφαλής.**

Η περιστρεφόμενη κεφαλή περιστρέφεται γύρω από τον οριζόντιο άξονα και μπορεί να μετακινηθεί με το εργαλειοφορείο ως προς τον άξονα της ατράκτου. Η εγκάρσια τόννευση επιτυγχάνεται με την περιστροφή της κεφαλής. Τα εξαρτήματα αντίστασης και περιορισμού των κατά μήκος προώσεων στερεώνονται στο τύμπανο. Χρησιμοποιούνται για κατεργασία αντικειμένων που προέρχονται από ράβδους.



**Σχήμα 2.10:** Τόρνος με οριζόντιο τον άξονα της περιστρεφόμενης κεφαλής

## 2.6 ΕΠΙΛΟΓΗ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΟΠΗΣ

Τα βασικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν την διαδικασία αφαίρεσης υλικού κατά την τόννευση είναι :

- Η αρχική διάμετρος τόννευσης  $d$  (mm).
- Η ταχύτητα περιστροφής της κύριας ατράκτου,  $n$  σε (RPM).
- Η ταχύτητα κοπής  $V$  (m/min).
- Η διατομή του αφαιρούμενου υλικού  $F$  (mm<sup>2</sup>).

Όπου:  $F = a \cdot s$

$a$ : Βάθος κοπής σε (mm).

$s$ : Η πρόωση σε (mm/στροφή).



- Οι συνιστώσες της δυνάμεως κοπής **P<sub>x</sub>**, **P<sub>y</sub>**, **P<sub>z</sub>** σε (kp).

Η σωστή επιλογή των πιο πάνω μεγεθών αποτελεί την βάση για την σωστή διαμόρφωση της κατεργαζόμενης επιφάνειας, της αντοχής του τόννου, της διάρκειας ζωής του κοπτικού αλλά και για τον υπολογισμό του συστήματος μετάδοσης των κινήσεων.

### 2.6.1 Υπολογισμός της ταχύτητας κοπής

Η ταχύτητα κοπής είναι το βασικότερο στοιχείο που επηρεάζει τις συνθήκες κοπής και εξαρτάται από :

- Την διάρκεια ζωής του κοπτικού.
- Το υλικό του κοπτικού εργαλείου.
- Το υλικό που κατεργάζεται ο τόννος.
- Το είδος της κατεργασίας (ξεχόνδρισμα ή αποπεράτωση).
- Την απαιτούμενη ποιότητα της κατεργαζόμενης επιφάνειας.

Η εκλογή της διάρκειας ζωής του κοπτικού εξαρτάται από τον τρόπο συγκράτησης και την μορφή του κοπτικού.

- Όταν η μορφή του εργαλείου είναι απλή και η αλλαγή του δεν απαιτεί πολύ χρόνο για τρόχισμα και επανατοποθέτηση τότε η διάρκεια ζωής είναι 60min για κοπτικά από ταχυχάλυβα και 90min για κοπτικά από σκληρομέταλλο.
- Όταν η μορφή είναι περίπλοκη και απαιτείται χρόνος για το τρόχισμα τότε απαιτείται διάρκεια ζωής από 120min έως και 480min.

Η ταχύτητα κοπής υπολογίζεται μέσω ημιεμπειρικών πινάκων και με την βοήθεια του τύπου  $V_T = V_0 \cdot X_T$

Όπου :

**V<sub>0</sub>**: η ταχύτητα κοπής όταν η διάρκεια ζωής του κοπτικού είναι 60min για ταχυχάλυβα και 90min για σκληρομέταλλο.

**X<sub>T</sub>**: διορθωτικός συντελεστής για διάρκεια ζωής κοπτικού ίση με **T**.

**V<sub>T</sub>**: ταχύτητα κοπής για την διάρκεια ζωής του κοπτικού που απαιτείται.

Οι τιμές των  $V_0$ ,  $X_T$  βρίσκονται από πίνακες που ακολουθούν.

**Πίνακας 2.1 :** Ταχύτητα κοπής στην κατά μήκος τόννευση (χωρίς ψυκτικό) σε mm/στροφή.

Υλικόν κατεργαζομένου άντικειμένου		Υλικόν κοπτικού εργαλείου								
		Εκ ταχυχάλυβος <sup>1)</sup>					Εκ σκληρο- μετάλλων <sup>3)</sup>			
		Διατομή αφαιρουμένου στρώματος εἰς mm <sup>2</sup>								
		0,1	0,5	1	3	5	0,1	1	3	
Ανθρακοχάλυβες καὶ κράματα με άντοχὴν εἰς kp/mm <sup>2</sup>	50 - 60	97	61	51	37	32	282	140	110	
	60 - 70	72	46	38	28	24	217	115	84	
	70 - 85	61	39	32	23	20	185	97	72	
	95	46	29	24	18	15	135	71	52	
	120						97	51	38	
Χυτοσίδηρος με σκληρότητα εἰς βαθμοὺς Bri- nell (HB)	160	51	37	32	26	23	214	135	108	
	180	44	32	28	22	20	178	113	90	
	200	39	29	25	20	18	142	90	72	
	220	32	23	20	16	14	122	77	61	
Κράματα χαλκοῦ		126	107	100	90	85	1110	890	760	
Κράματα ἀλουμινίου		288	184	152	112	96	830	440	320	
<p>(1) Αἱ τιμαὶ ἀναφέρονται διὰ τὴν κοπήν ἀνευ ψύξεως με σχέσιν πάχους αφαιρουμένου στρώματος ὡς πρὸς τὴν πρόωσιν (ἀνά στροφὴν) ἴσην με 5. Με ἐπαρκῆ ψύξιν (~ 15 ἕως 20 l/min ψυκτικοῦ ὑγροῦ) αἱ διδόμεναι εἰς τὸν πίνακα τιμαὶ ἐπιτρέπουν τὴν κατὰ 25% ἕως 40% αὐξῆσιν.</p> <p>(2) Αἱ διδόμεναι διὰ τὰ κοπτικὰ ἐκ ταχυχάλυβος εργαλεία τιμαὶ ταχυτήτων ἐγγυῶνται τὴν διάρκειαν ζωῆς τῶν 60 min.</p> <p>(3) Αἱ διδόμεναι διὰ τὰ κοπτικὰ ἐκ σκληρομετάλλων εργαλεία τιμαὶ ταχυτήτων ἐγγυῶνται τὴν διάρκειαν ζωῆς τῶν 90 min.</p>										

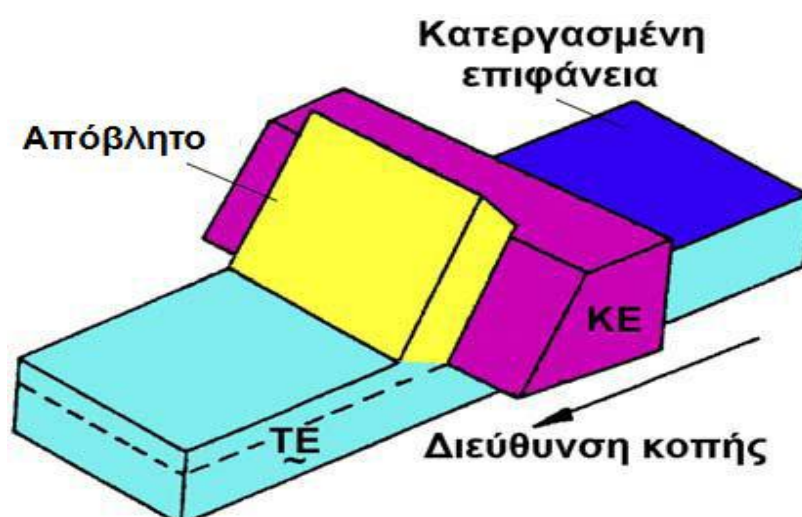
## 3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

### 3.1 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

#### 3.1.1 Προκαταρκτικές έννοιες και ορισμοί

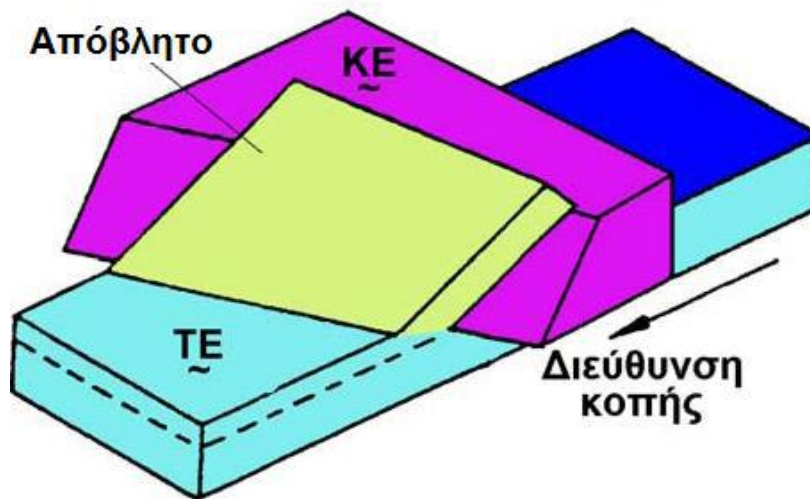
Ο μηχανισμός της κοπής των μετάλλων ισχύει τόσο στις κατεργασίες των μετάλλων που εκτελούνται στις εργαλειομηχανές όσο και σε εκείνες που γίνονται με εργαλεία του χεριού.

Για τη μελέτη του μηχανισμού της κοπής μεταχειριζόμαστε χάριν απλότητας τη λεγόμενη **ορθογωνική κοπή**. Κατά την ορθογωνική κοπή το κοπτικό εργαλείο έχει μορφή σφήνας, η κόψη του είναι ευθεία, έχει πλάτος μεγαλύτερο από το πλάτος του κομματιού και είναι κάθετη προς τη **διεύθυνση κοπής** (διεύθυνση της σχετικής κινήσεως εργαλείου και κομματιού). Το κοπτικό εργαλείο (ή το κομμάτι) εξαναγκάζεται να κινηθεί σχετικά προς το κομμάτι (ή το εργαλείο) έτσι, ώστε ένα επιφανειακό στρώμα του κομματιού (το μέγεθος του στρώματος αυτού εξαρτάται από την περίπτωση κοπής) να αφαιρείται σε μορφή αποβλήτου. Παραδείγματα ορθογωνικής κοπής βλέπουμε στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Ορθογωνική κοπή

Οι βασικές αρχές που ισχύουν στην ορθογωνική κοπή επεκτεινόμενες έχουν εφαρμογή και στη **λοξή κοπή** [σχ. 3.2] την οποία συναντούμε κατά κύριο λόγο στην πράξη, τόσο για κατεργασίες με εργαλείο με μια κύρια κόψη (π.χ. τόννευση, πλάνισμα κ.α.) όσο και για κατεργασίες με εργαλείο πολλών κυρίων κόψεων (π.χ. φρεζάρισμα, αυλάκωση κλπ.). Κατά τη λοξή κοπή ή κόψη του εργαλείου κλίνει ως προς την κάθετο στη διεύθυνση κοπής κατά μια γωνία  $\xi$ , την οποία καλούμε **γωνία λοξότητας της κόψης**.



**Σχήμα 3.2:** Λοξή κοπή

Το κοπτικό εργαλείο της ορθογωνικής κοπής (σχ.3.3) έχει τις εξής γωνίες:

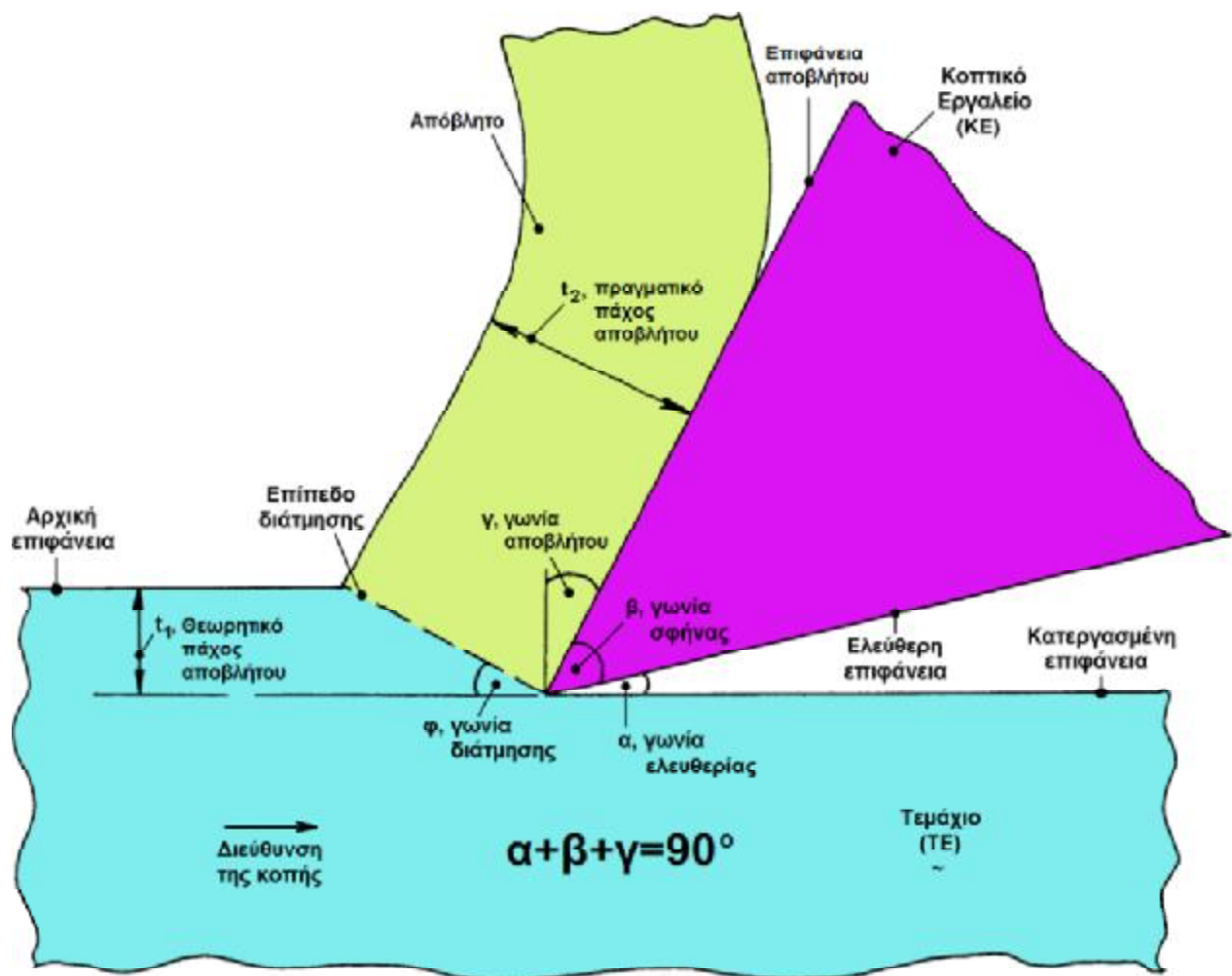
1. Τη **γωνία αποβλήτου  $\gamma$** , που σχηματίζεται ανάμεσα στην **επιφάνεια αποβλήτου** (επιφάνεια επάνω στην οποία κινείται το απόβλητο) και στην κάθετο προς τη διεύθυνση κοπής. Η γωνία αυτή έχει μεγάλη σημασία στην κοπή των μετάλλων, γιατί παίρνει μέρος στο σχηματισμό του αποβλήτου. Μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδενική.
2. Τη **γωνία ελευθερίας  $\alpha$** , η οποία σχηματίζεται μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του εργαλείου (είναι η επιφάνεια του εργαλείου που κείται προς το μέρος της κατεργασμένης επιφάνειας του κομματιού) και της διευσθύνσεως κοπής. Η ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου δεν παίρνει μέρος στο σχηματισμό του αποβλήτου, η γωνία ελευθερίας όμως επηρεάζει τη φθορά του εργαλείου.

3. Τη γωνία σφήνας  $\beta$ , την οποία σχηματίζουν η επιφάνεια αποβλήτου και η ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου.

Μεταξύ των τριών αυτών γωνιών, που τις ονομάζουμε **γωνίες κοπής** ισχύει, όπως είναι φανερό, η σχέση:

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

Το πάχος  $t_1$  του στρώματος του μετάλλου που αφαιρείται με τη βοήθεια του εργαλείου είναι γνωστό ως **θεωρητικό πάχος αποβλήτου**, ενώ το πάχος  $t_2$  που αποκτά το απόβλητο μετά την κοπή ονομάζεται **πραγματικό πάχος αποβλήτου**.



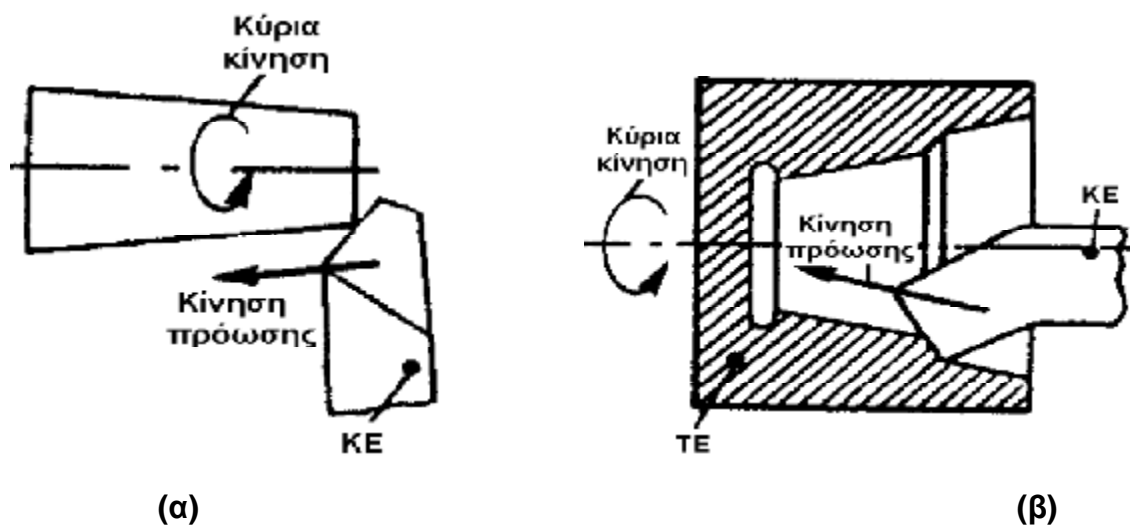
Σχήμα 3.3: Οι γωνίες κοπής και η σχέση που τις συνδέει

### 3.1.2 Κωνική τórνευση

Στον τórνο εκτός από τις κυλινδρικές και επίπεδες επιφάνειες κατεργαζόμαστε και κωνικές επιφάνειες, εξωτερικές ή εσωτερικές. Κωνική τórνευση γίνεται πολύ συχνά στις μηχανουργικές κατασκευές με σκοπό τη σφήνωση δύο εξαρτημάτων, τη στεγανοποίηση ή τη βαθμιαία μεταβολή μιας διαμέτρου. Στα μηχανολογικά σχέδια και στις μηχανουργικές κατασκευές τους κώνους τους χαρακτηρίζουμε με την κωνικότητα.

Κωνικότητα ονομάζεται η μεταβολή της διαμέτρου του κώνου που αντιστοιχεί στη μονάδα του μήκους κατά τη κατεύθυνση του νοητού άξονα τórνευσεως. Η κωνικότητα συμβολίζεται με το κλάσμα  $1/X$  και γράφεται επάνω από την αξονική γραμμή του κώνου, π.χ. αν σε ένα μήκος 120 mm έχουμε μεταβολή στη διάμετρο κατά  $90 - 50 = 40\text{mm}$ . Σε μήκος 1mm θα έχουμε μεταβολή [σχήμα 3.4].

$$\frac{40}{120} = \frac{1}{3} \text{ mm δηλαδή } \frac{1}{X} = \frac{D-d}{L}$$



Σχήμα 3.4 Κωνική τórνευση

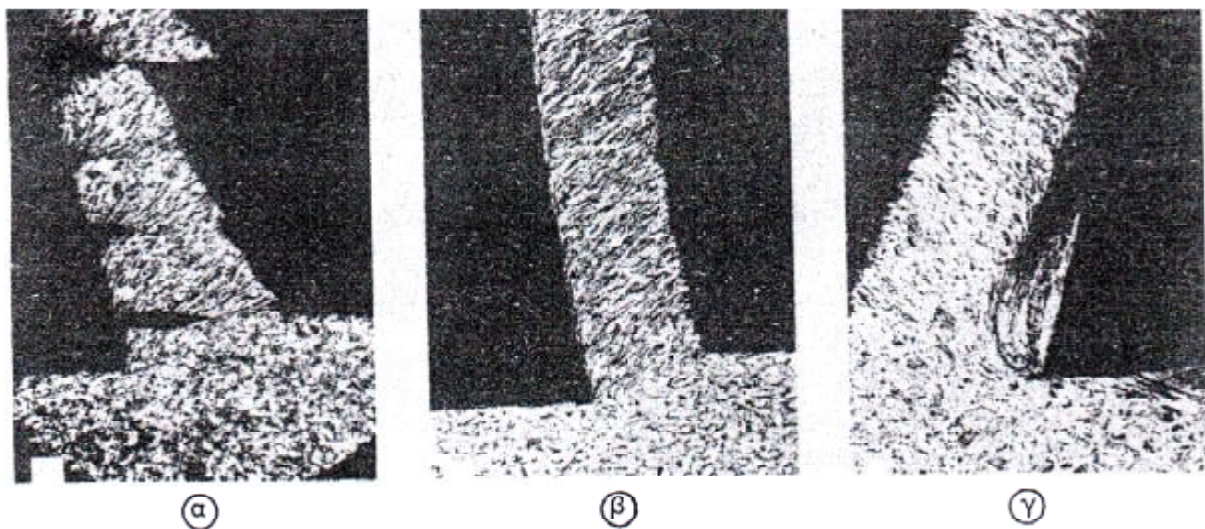
- (α) Εξωτερική
- (β) Εσωτερική

### 3.1.3 Είδη και μορφές αποβλήτου

Οι κατεργασίες κοπής έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τους το ότι για τη μορφοποίηση των κομματιών, **αφαιρείται μέταλλο** και ότι το μέταλλο αυτό αφαιρείται σε **μορφή αποβλήτων**. Το απόβλητο κατά συνέπεια είναι προϊόν της κοπής των μετάλλων και η μελέτη του μας δίνει τη δυνατότητα να βγάσουμε ενδιαφέροντα συμπεράσματα για το φαινόμενο της κοπής

Το απόβλητο σχηματίζεται σε διάφορα μεγέθη και παίρνει ποικίλες μορφές ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας. Διακρίνουμε τρία βασικά είδη αποβλήτου:

- Το **ασυνεχές απόβλητο** [σχ. 3.5 (α)]
- Το **συνεχές απόβλητο** [σχ. 3.5 (β)]
- Το **συνεχές απόβλητο με ψευδόκοψη** [σχ. 3.5 (γ)]



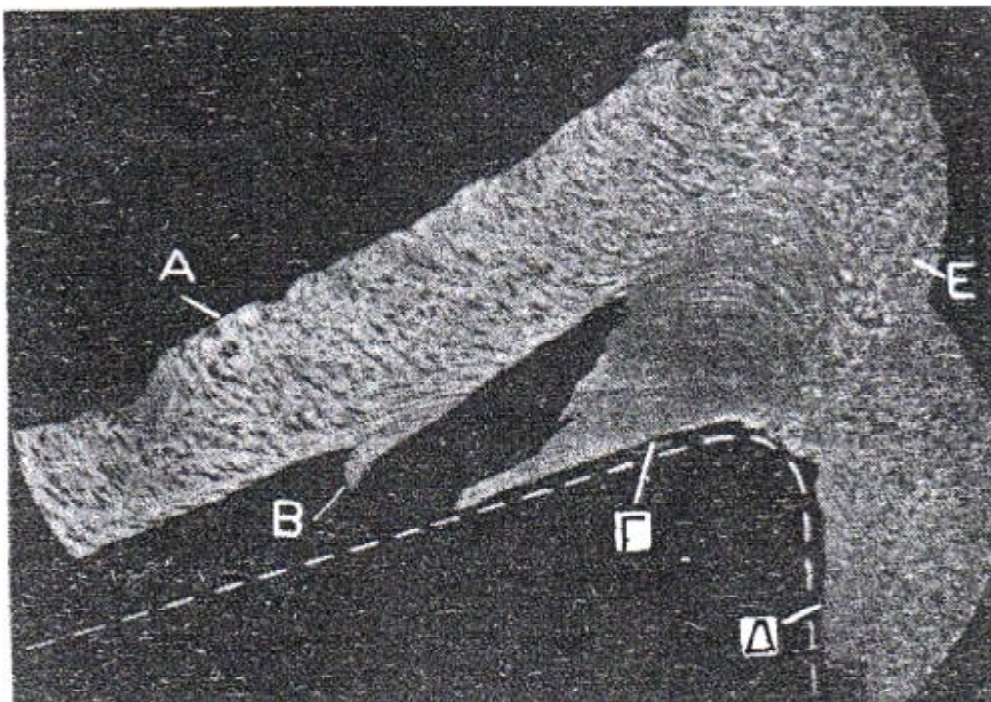
Σχήμα 3.5: Το απόβλητο σε τρεις διαφορετικές μορφές

#### A. Τα βασικά είδη αποβλήτου

i) Το **ασυνεχές απόβλητο**. Κατά το σχηματισμό του ασυνεχούς αποβλήτου, το μέταλλο που βρίσκεται μπροστά από την κόψη του εργαλείου, υφιστάμενο σημαντικές παραμορφώσεις, **θραύεται** στη ζώνη διατμήσεως συνήθως περιοδικά και

το απόβλητο **τεμαχίζεται**. Τέτοιο απόβλητο συναντούμε στην κοπή ψαθυρών μετάλλων, όπως είναι ο χυτοσίδηρος ή ο χυτευτικός ορείχαλκος κ.α. Είναι δυνατό όμως ο σχηματισμός ασυνεχούς αποβλήτου και κατά την κοπή όλκιμων μετάλλων ή κραμάτων (μαλακός χάλυβας, αργίλιο, χαλκός, μόλυβδος κλπ) γενικά σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, σε μεγάλες προώσεις και με εργαλεία με μικρές τιμές της γωνίας αποβλήτου.

ii) **Το συνεχές απόβλητο**. Στην περίπτωση αυτή το μέταλλο, που βρίσκεται μπροστά από την κόψη του εργαλείου, υφίσταται **συνεχή πλαστική παραμόρφωση σε διάτμηση** (χωρίς βέβαια να θραύεται) στη ζώνη διατμήσεως και το σχηματιζόμενο απόβλητο εν είδη ταινίας κινείται επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου. Το συνεχές απόβλητο το συναντούμε κατά την κοπή όλκιμων μετάλλων και κραμάτων κυρίως σε ψηλές ταχύτητες κοπής, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούμε σκληρομέταλλα ως κοπτικά εργαλεία. Το απόβλητο αυτό μας είναι πολύ επιθυμητό, γιατί ο σχηματισμός του σχετίζεται με **ευνοϊκές συνθήκες** αναπτυσσόμενων δυνάμεων κοπής και καταναλισκόμενης ισχύος, τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών και φθοράς (ή ζωής) του κοπτικού εργαλείου.



**Σχήμα 3.6:** Το συνεχές απόβλητο



iii) Το συνεχές απόβλητο με ψευδόκοψη [σχ.3.5,σχ.3.4(γ)] σχηματίζεται όπως και το συνεχές με τη διαφορά όμως ότι στην περιοχή της κόψης του εργαλείου και επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου δημιουργείται η λεγόμενη **ψευδόκοψη**. Αυτή είναι ένα σώμα σε σφηνοειδές ασυμμετρικό σχήμα από ισχυρά παραμορφωμένο και σκληρωμένο μέταλλο [σχ.3.8]. Δημιουργείται κατά την κοπή από επάλληλα λεπτά στρώματα μετάλλου, προσκολλούμενη στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, κάτω από συνθήκες ψηλού μέσου συντελεστή τριβής ψηλών τιμών ορθών τάσεων και ειδικών συνθηκών θερμοκρασίας. Η ψευδόκοψη συνεχίζει να αναπτύσσεται, καθώς η κοπή προχωρεί. Όταν η ψευδόκοψη αποκτήσει ένα συγκεκριμένο μέγεθος κατά περίπτωση κοπής τότε, λόγω των δυνάμεων που ασκούνται πάνω σε αυτή, αποχωρίζονται από το σώμα της τεμαχίδια. Άλλα από αυτά (Β) (σχ.3.6) παρασυρόμενα προσκολλούνται στην προς το εργαλείο πλευρά του αποβλήτου, ενώ άλλα (Δ) επάνω στη νεοσχηματιζόμενη (κατεργασμένη) επιφάνεια του κομματιού. Ο σχηματισμός και ο τεμαχισμός της ψευδόκοψης λαμβάνει χώρα περιοδικά [σχ.3.8].

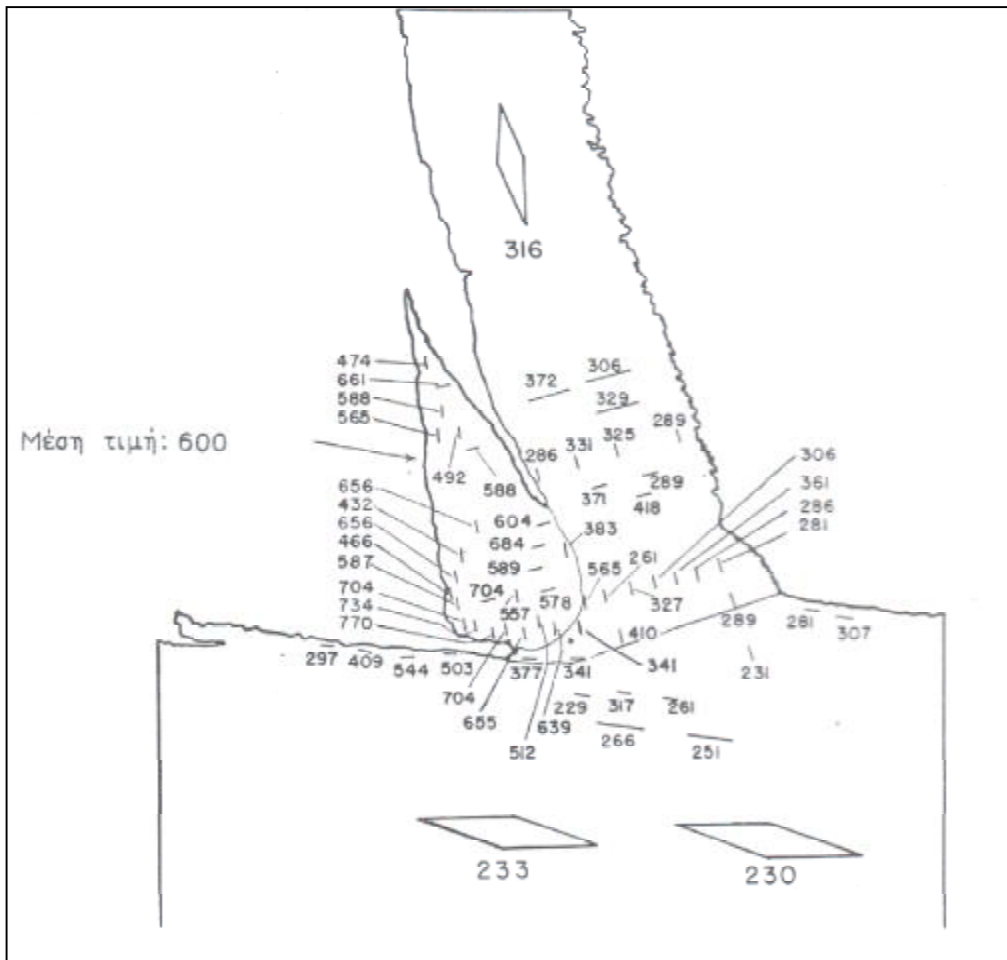
Η δημιουργία της ψευδόκοψης παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για δύο λόγους:

- Τα τεμαχίδια της ψευδόκοψης, τα οποία προσκολλούνται επάνω στη κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού, **χειροτερεύουν** την τραχύτητα της.
- Η παρουσία της ψευδόκοψης επηρεάζει τη φθορά άρα και τη ζωή του κοπτικού εργαλείου κατά τέτοιο τρόπο, ώστε άλλοτε να την **ευνοεί** και άλλοτε να την **χειροτερεύει**. Έτσι, αν η ψευδόκοψη είναι ασταθής, τότε τα πολύ σκληρά τεμαχίδια της, που προσκολλούνται στην προς το εργαλείο επιφάνεια του αποβλήτου (τεμάχια Β του σχήματος 3.6), φθείρουν το εργαλείο στην επιφάνεια αποβλήτου με το μηχανισμό αποξέσεως. Αν όμως η ψευδόκοψη είναι σταθερή σχετικά, τότε προφυλάσσει το εργαλείο από φθορά κι αυτό γιατί η ψευδόκοψη εκτελεί την εργασία της κοπής του εργαλείου.

Σχετικά με το σχηματισμό της ψευδόκοψης μπορούμε να διατυπώσουμε το γενικό κανόνα ότι το μέγεθός της μειώνεται:

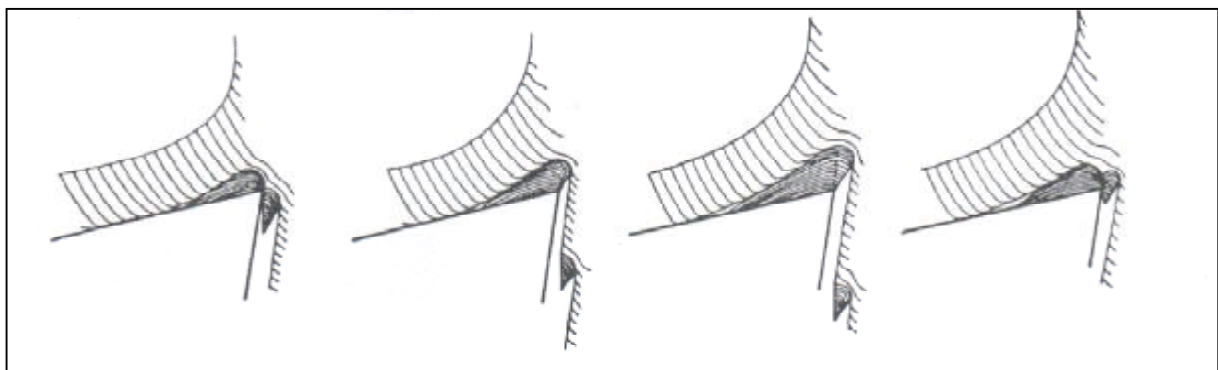
- Με αύξηση της ταχύτητας κοπής(σε ψηλές ταχύτητες κοπής η ψευδόκοψη μπορεί και να εξαφανισθεί ολωσδιόλου).
- Με αύξηση της τιμής της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου.
- Με ελάττωση του θεωρητικού πάχους του αποβλήτου ή της πρόωσης στην τόννευση και στις άλλες κατεργασίες.

- Με χρήση του κατάλληλου υγρού κοπής, που βελτιώνει τις συνθήκες τριβής αποβλήτου – εργαλείου.



Διανομή της σκληρότητας στο απόβλιπτο, στην ψευδόκοψη και στο κομμάτι. Είναι ολοφάνερη η σκλήρωση της ψευδόκοψης (μέση τιμή περίπου 600 βαθμοί σκληρότητας) απέναντι στους περίπου 230 του απαραμόρφωτου υλικού (χάλυβας) του κομματιού.






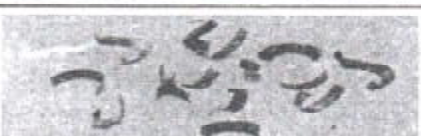

**Σχήμα 3.7**



**Σχήμα 3.8**

## Β. Διάφορες μορφές αποβλήτων

Στο σχήμα [3.9] εικονίζονται μορφές αποβλήτων που σχηματίζονται κατά την τórνευση χάλυβα ταξινομημένες σε επτά κατηγορίες από 1 ως 7 με μεταβαλλόμενες την ταχύτητα κοπής, την πρόωση και τη γωνία αποβλήτου του εργαλείου. Η αύξηση της ταχύτητας κοπής, η αύξηση της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου, η μείωση της πρόωσης ευνοούν το σχηματισμό μορφών αποβλήτου που βαίνουν από τη κατηγορία 7 προς την κατηγορία 1.

Κατηγορία μορφής αποβλήτου	Μορφή αποβλήτου	Ονομασία
1		Ταινιοειδές ευθύ
2		Ταινιοειδές άτακτο
3		Ελικοειδές
4		Ελικοειδές τεμαχισμένο
5		Σπειροειδές τεμαχισμένο
6		Τεμάχια σπειροειδούς
7		Τεμαχίδια αποβλήτου

Σχήμα 3.9: Μορφές αποβλήτων

## Γ. Γρεζοθραύστες

Στην πράξη, πολλές φορές (π.χ. στην κοπή όλκιμων μετάλλων ή κραμάτων σε ψηλές ταχύτητες κοπής), σχηματίζεται απόβλητο με μεγάλο μήκος (π.χ. ταινιοειδές ή ελικοειδές), [σχ.3.9]. Τέτοιας μορφής απόβλητο παρουσιάζει δυσκολίες στην εκτέλεση της κατεργασίας και εγκυμονεί κινδύνους για ατύχημα στον τεχνίτη και βλάβες στο εργαλείο και στην εργαλειομηχανή. Σε τέτοιες περιπτώσεις ελέγχουμε τη μορφή και το μέγεθος του αποβλήτου με κατάλληλη διαμόρφωση του κοπτικού εργαλείου δημιουργώντας **γρεζοθραύστες** [σχ.3.10].



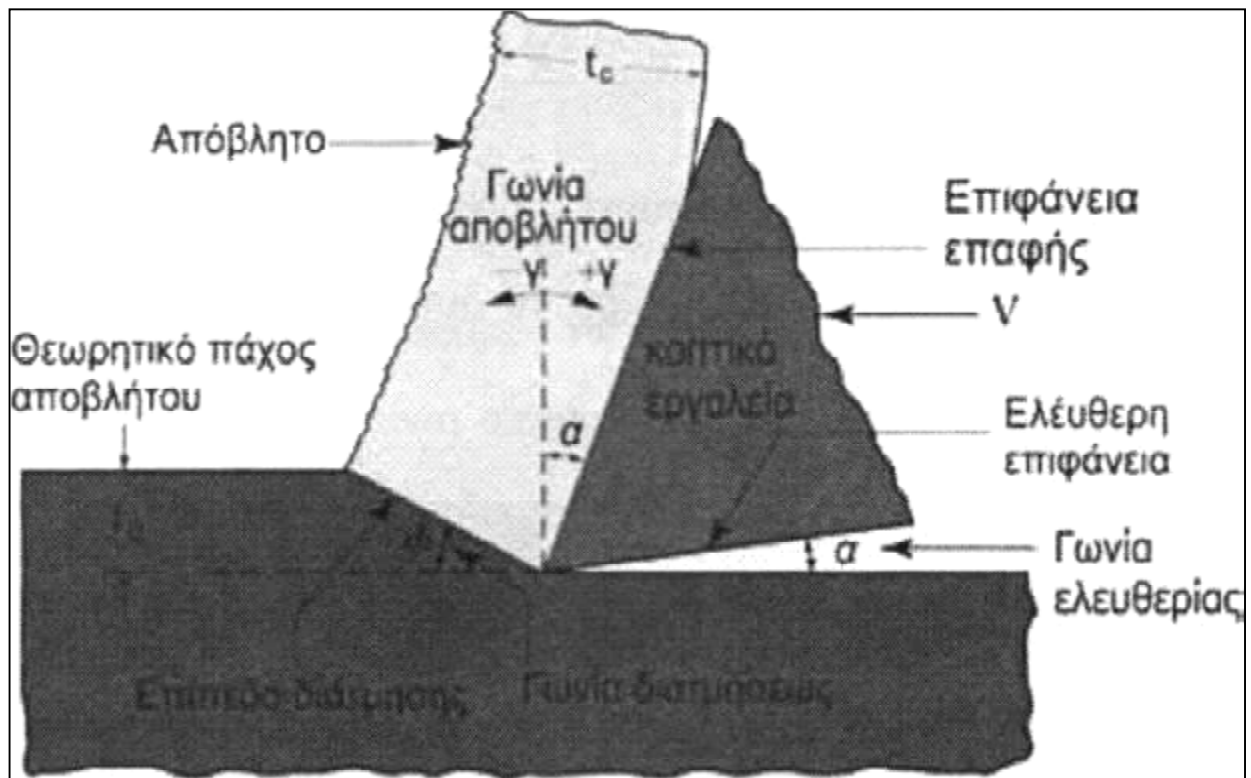
A γρεζοθραύστης, B πλακίδιο από σκληρομέταλλο.

Σχήμα 3.10

### 3.1.4 Πώς σχηματίζεται το συνεχές απόβλητο

Παραδεχόμαστε ότι η κοπή είναι συνεχής και ορθογωνική, ότι το εργαλείο είναι οξύ (μόλις τροχισμένο) και ότι το απόβλητο δεν ρέει πλευρικά. Το εργαλείο παραμένει σταθερό και το κομμάτι κινείται προς τα δεξιά (σχ. 3.11). Ο μηχανισμός της κοπής όμως δεν θα άλλαζε αν συνέβαινε και το αντίθετο. Αν δηλαδή το κομμάτι ήταν σταθερό και το εργαλείο κουνιόταν. Εξαιτίας της δύναμης που θα ασκηθεί από το εργαλείο προς το κομμάτι, δημιουργείται ένα πεδίο τάσεων, ακριβώς μπροστά στην κόψη του εργαλείου. Αν, τώρα το υλικό είναι όλκιμο, **παραμορφώνεται συνεχώς με πλαστική διάτμηση** κατά μήκος του λεγόμενου **επιπέδου διατμήσεως** με αποτέλεσμα το σχηματισμό του αποβλήτου (με πάχος  $t_c$ ). Το απόβλητο σχηματισμένο πλέον κινείται προς τα επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, επαπτόμενο κατά την ζώνη τριβής, υπό μορφής ταινίας (συνεχές απόβλητο) υπερνικώντας σημαντική τριβή. Το επίπεδο διατμήσεως κλίνει ως προς

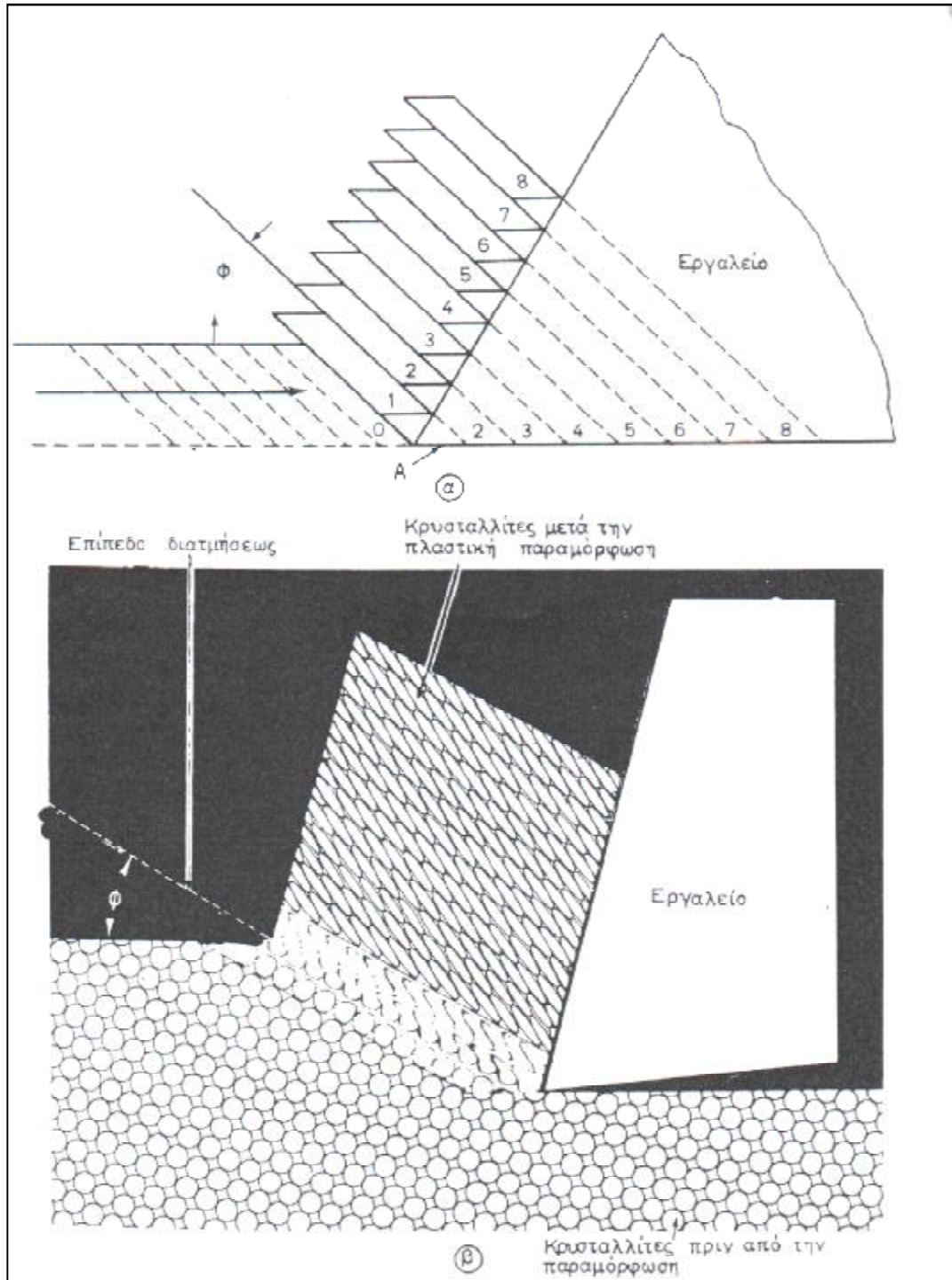
τη διεύθυνση κοπής κατά μια γωνία  $\Phi$ , την οποία ονομάζουμε **γωνία διατμήσεως**. Στην πραγματικότητα η πλαστική διάτμηση του μετάλλου δε γίνεται ακριβώς στο επίπεδο διατμήσεως αλλά σε μία στενή ζώνη, στη **ζώνη διατμήσεως**. Το πάχος της ζώνης διατμήσεως μικραίνει όσο η ταχύτητα κοπής μεγαλώνει. Γι' αυτό, για τις ταχύτητες κοπής της πράξεως, η ζώνη διατμήσεως είναι δυνατό να προσεγγιστεί με το **επίπεδο διατμήσεως**, που διευκολύνει την ανάλυση και μελέτη της κοπής.



**Σχήμα 3.11:** Παράδειγμα κοπής με κίνηση του κομματιού

Ο μηχανισμός σχηματισμού του συνεχούς αποβλήτου με πλαστική διάτμηση μπορεί να εξομοιωθεί, για να κατανοηθεί καλύτερα, με την ολίσθηση μιας δέσμης από παιγνιόχαρτα, που βρίσκονται μπροστά σε ένα εργαλείο και ωθούνται από αυτό [σχ. 3.12(α)]. Κάθε παιγνιόχαρτο ολισθαίνει προς τα αριστερά σε σχέση με το γειτονικό του ακριβώς όπως κάθε σύνολο κρυσταλλινών του μετάλλου (για τα πολυκρυσταλλικά μέταλλα) ολισθαίνει κατά μήκος της στενής ζώνης διατμήσεως. Κατά την μετακίνηση π.χ. του παιγνιόχαρτου 1 ως προς το παιγνιόχαρτο 0, παρατηρείται ολίσθηση μεταξύ τους, όπως και αποχωρισμός του από τη στοιχειώδη επιφάνεια A. Ο αποχωρισμός σημαίνει θραύση ενός στοιχείου του αποβλήτου στο κάτω άκρο του και σχηματισμό της νέας επιφάνειας του κομματιού, δηλαδή της

**κατεργασμένης επιφάνειας.** Οι κρυσταλλίτες του μετάλλου του κομματιού καθώς διέρχονται από τη ζώνη διατμήσεως, παραμορφώνονται (επιμηκύνονται), όπως φαίνεται στο [σχ.3.12(β)].



**Σχήμα 3.12:** Οι κρυσταλλίτες του μετάλλου του κομματιού

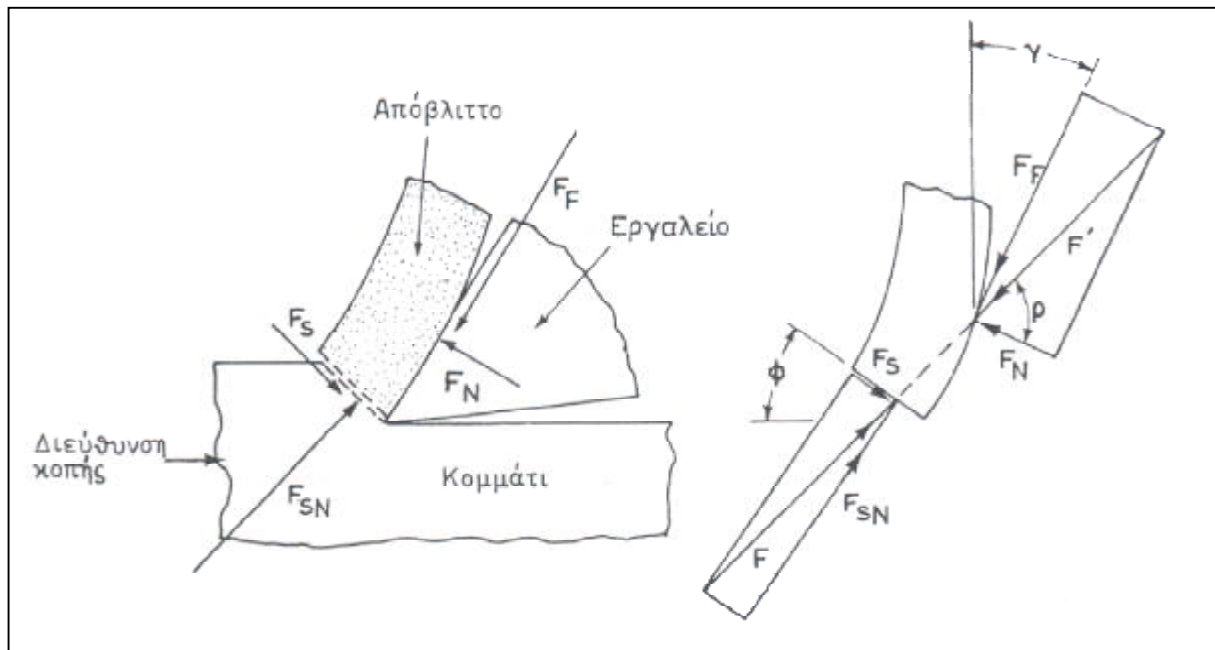
Σύμφωνα με όσα έχουμε αναπτύξει έως τώρα, μπορούμε να διατυπώσουμε τα εξής σχετικά με το σχηματισμό του συνεχούς αποβλήτου:

- Το απόβλητο σχηματίζεται με συνεχή πλαστική διάτμηση στη ζώνη διατμήσεως.
- Το σχηματιζόμενο απόβλητο κινείται επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, εφαιπτόμενο στη ζώνη τριβής και υπερνικώντας σημαντική τριβή.
- Η κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού δημιουργείται με θραύση του μετάλλου.

Ας αναλύσουμε το σύστημα των δυνάμεων, που αναπτύσσονται κατά το σχηματισμό του συνεχούς αποβλήτου [σχ.3.12 α] με ορθογωνική κοπή. Οι δυνάμεις που επενεργούν στο απόβλητο, αν το θεωρήσουμε ως σώμα ελεύθερο, απόλυτα στερεό, που βρίσκεται σε ηρεμία ή σε ομαλή κίνηση, είναι οι ακόλουθες:

- Η δύναμη διατμήσεως  $F_S$ . Είναι η αντίσταση σε διάτμηση που παρουσιάζει το κατεργαζόμενο υλικό.
- Η κάθετη στο επίπεδο διατμήσεως δύναμη  $F_{SN}$ , που αποτελεί κατά κάποιο τρόπο μια αντίδραση που ασκεί το κομμάτι προς το κοπτικό εργαλείο.
- Η δύναμη τριβής  $F_F$ , που επενεργεί στη ζώνη τριβής και που αντιτίθεται στην κίνηση του αποβλήτου.
- Η κάθετη στη ζώνη τριβής δύναμη  $F_N$ .

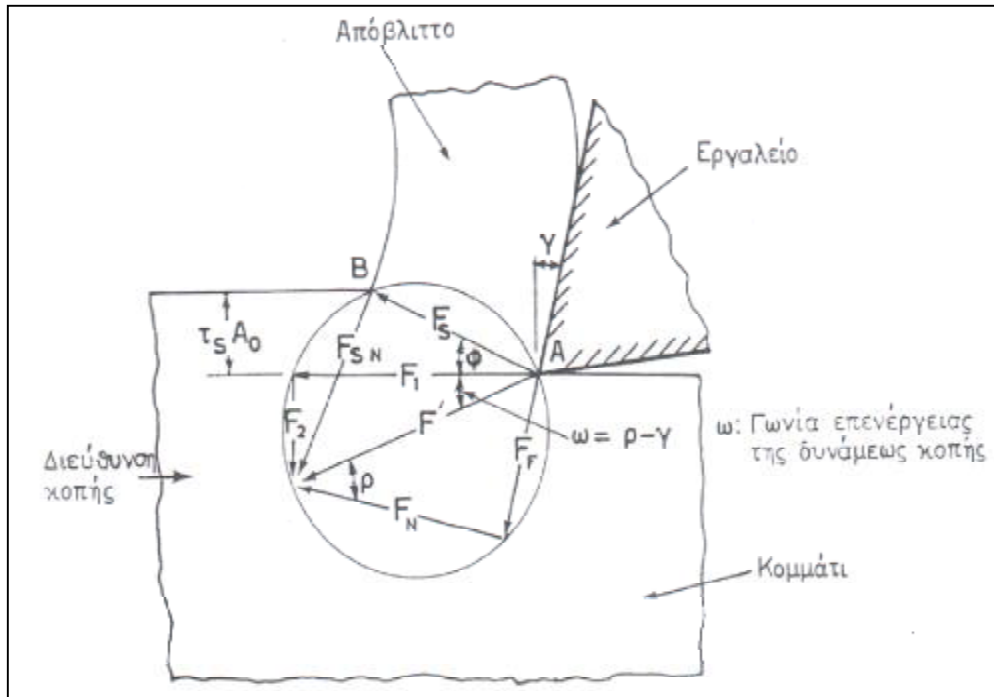
Οι δυνάμεις  $F_S$  και  $F_{SN}$  μας δίνουν ως συνισταμένη τη δύναμη  $F$  και οι δυνάμεις  $F_F$  και  $F_N$  τη δύναμη  $F'$ . Αν τώρα θεωρήσουμε ότι δεν επενεργεί στο απόβλητο καμία ροπή, τότε για να έχουμε στατική ισορροπία του αποβλήτου ή ομαλή κίνηση του, θα πρέπει η  $F$  και η  $F'$  να είναι ίσες και αντίθετες. Τη συνισταμένη  $F'$  την ονομάζουμε **δύναμη κοπής**.



**Σχήμα 3.12α** Το σύστημα των δυνάμεων, που αναπτύσσονται κατά το σχηματισμό του συνεχούς αποβλήτου με ορθογωνική κοπή.

Στο [σχ. 3.12β] εικονίζεται το σύστημα αυτό των δυνάμεων κοπής σε μορφή κυκλικού διαγράμματος πολύ εύχρηστο για τον υπολογισμό διαφόρων ανάμεσα τους σχέσεων. Στο διάγραμμα αυτό περιλαμβάνονται ακόμα και οι συνιστώσες της δυνάμεως κοπής  $F_1$  και  $F_2$ . Η πρώτη, δηλαδή, η  $F_1$  ( $F_s$ ) επενεργεί προς την κατεύθυνση κοπής και καλείται **κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής**. Η γνώση της έχει μεγάλη σημασία, γιατί από αυτή μαζί με την ταχύτητα κοπής υπολογίζουμε την ισχύ κοπής. Η δεύτερη συνιστώσα, δηλαδή η  $F_2$  ( $F_r$ ) έχει διεύθυνση κάθετη στην κατεύθυνση κοπής. Οι συνιστώσες αυτές  $F_1$  και  $F_2$  μετρούνται συνήθως με ειδικά δυναμόμετρα κοπής. Το λόγο  $\mu$  της δυνάμεως τριβής  $F_f$  ( $F_r$ ) ως προς την κάθετη δύναμη  $F_N$ , δηλαδή  $\mu = F_f / F_N$  τον ονομάζουμε μέσο συντελεστή τριβής και τη γωνία  $\rho = \text{τοξ εφμ}$  καλούμε μέση γωνία τριβής. Ο μέσος συντελεστής τριβής (ή η μέση γωνία τριβής) αποτελεί αποφασιστικό μέγεθος για τα φαινόμενα, που λαμβάνουν χώρα στη ζώνη τριβής.



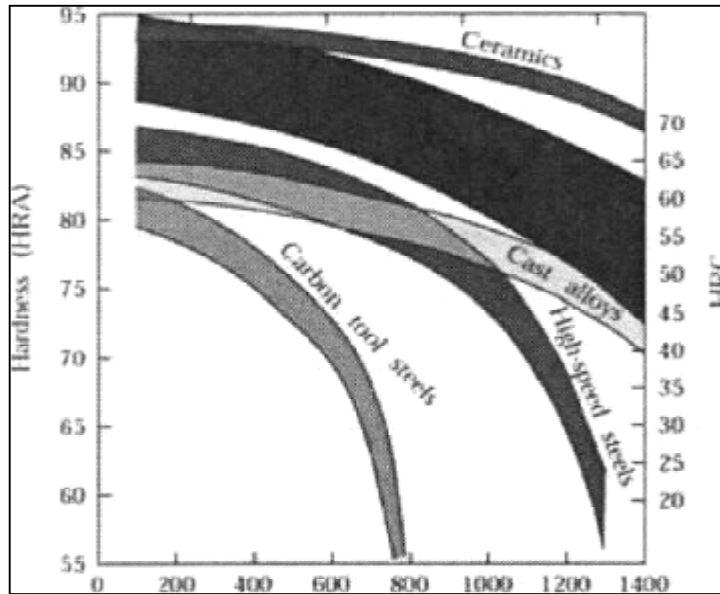


**Σχήμα 3.12β:** Το σύστημα αυτό των δυνάμεων κοπής σε μορφή κυκλικού διαγράμματος πολύ εύχρηστο για τον υπολογισμό διαφόρων ανάμεσα τους σχέσεων

### 3.2 ΤΑ ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ

Τα κοπτικά εργαλεία θα πρέπει να κατέχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ώστε να παράγουν τεμάχια με επιφάνειες καλής ποιότητας και με όσο το δυνατό μικρότερο τελικό κόστος. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα πρέπει να είναι :

- **Σκληρότητα:** ειδικά στις υψηλές θερμοκρασίες (σκλήρυνση εν θερμώ), ώστε η σκληρότητα και η αντοχή του εργαλείου να διατηρούνται στις υψηλές θερμοκρασίες κατά την κοπή. Το εργαλείο πρέπει να είναι σκληρότερο από το σκληρότερο συστατικό του υλικού που κατεργάζεται, όχι μόνο σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά και στις πραγματικές συνθήκες κοπής. Η υψηλή σκλήρυνση εν θερμώ (σχήμα 3.13), αποτρέπει την πλαστική παραμόρφωση, εξασφαλίζει την διατήρηση της γεωμετρίας του εργαλείου κοπής κάτω από τις ακραίες συνθήκες κατά τον σχηματισμού αποβλήτου, και βοηθά επίσης στην αντίσταση σε φθορά.

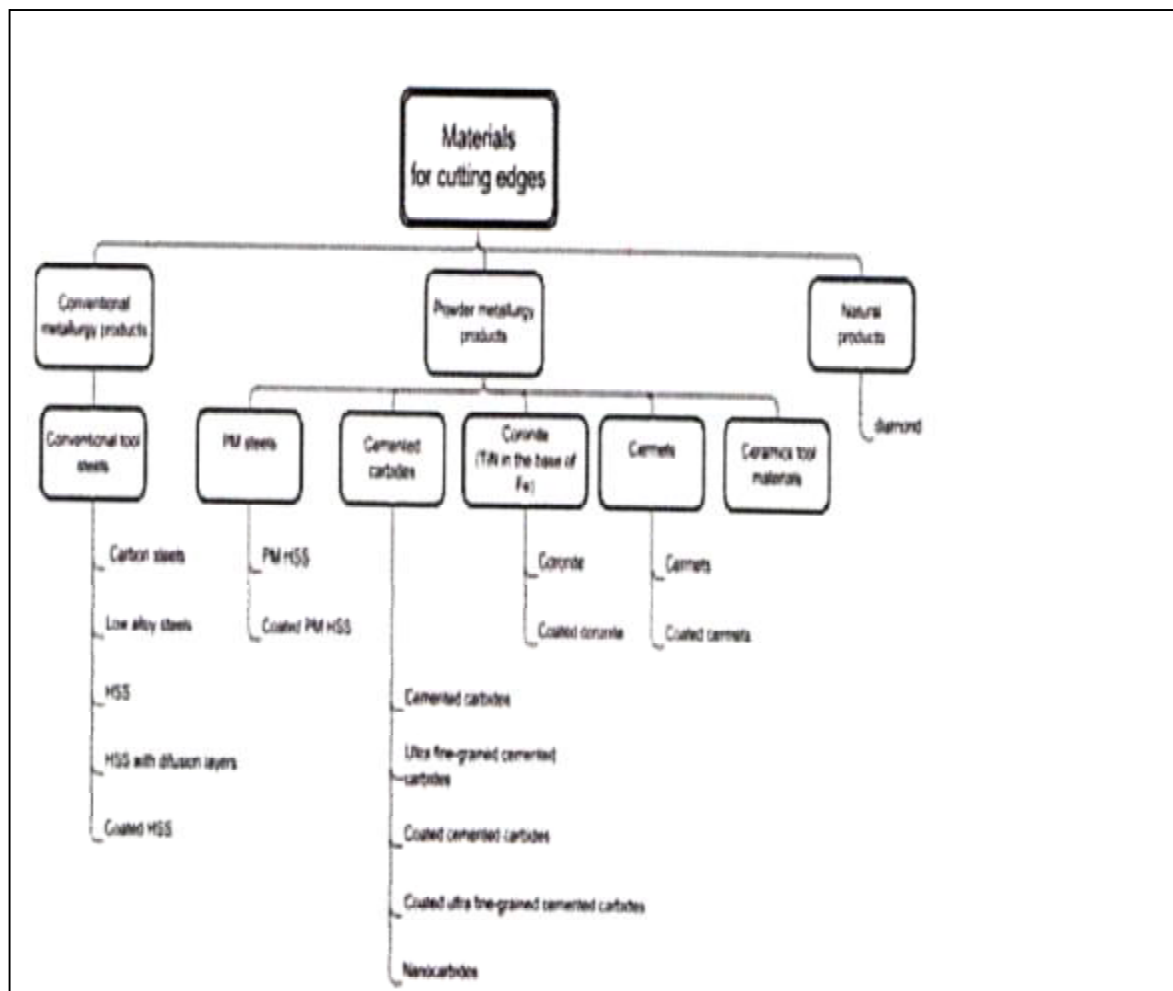


**Σχήμα 3.13** Η σκληρότητα διαφόρων υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων σε συνάρτηση της θερμοκρασίας (σκλήρυνση εν θερμώ). Το μεγάλο εύρος κάθε ομάδας των υλικών προκύπτει από την ποικιλία της σύνθεσης του εργαλείου όπως και από τις διάφορες κατεργασίες που έχει υποστεί (καλρακjian).

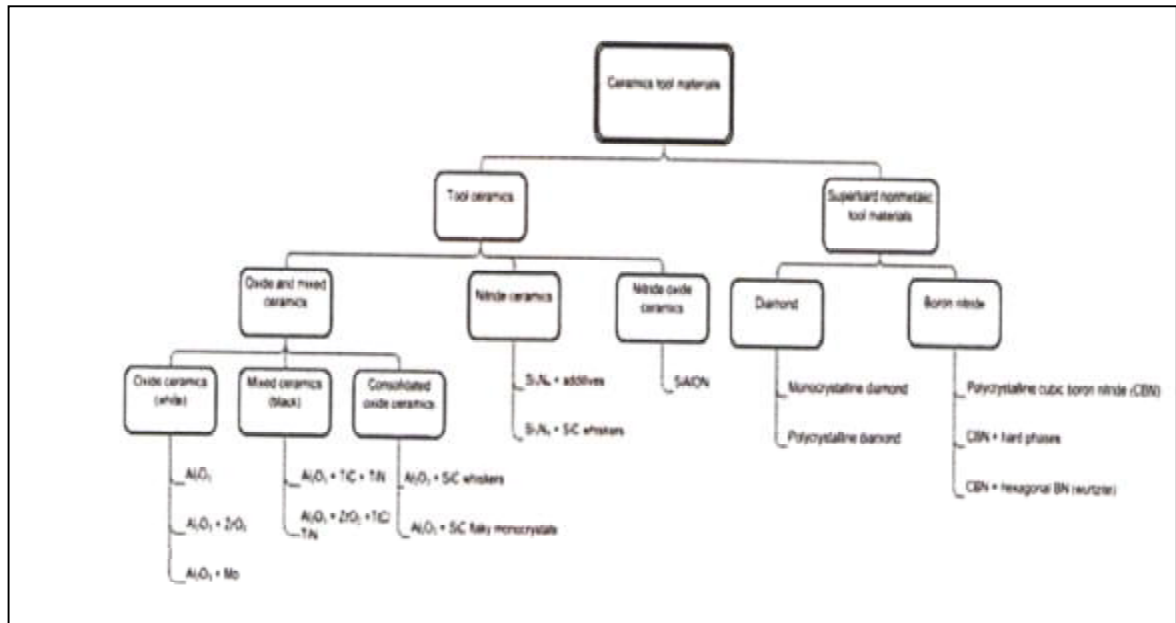
- **Ανθεκτικότητα:** έτσι ώστε οι μεταβαλλόμενες δυνάμεις που δέχεται το εργαλείο σε διακεκομμένες κοπές, να μην προκαλέσουν απότομη θραύση του εργαλείου. Η ανθεκτικότητα είναι απαραίτητη έτσι ώστε το εργαλείο να αντεπεξέρχεται των μηχανικών κλονισμών στις διαδικασίες διακοπτόμενης κοπής. Οι κλονισμοί εμφανίζονται ακόμα και στις διαδικασίες σχηματισμού συνεχούς αποβλήτου, όταν το εργαλείο αντιμετωπίσει κάποιο σκληρό σημείο.
- **Αντοχή σε φθορά:** ώστε η διάρκεια ζωής του να διατηρείται σε αποδεκτά επίπεδα προτού το εργαλείο θα πρέπει να αλλαχθεί.
- **Χημική σταθερότητα:** ή χημική αδράνεια, ώστε να αποφεύγονται οι αντιδράσεις μεταξύ των υλικών του εργαλείου και του τεμαχίου οι οποίες συνηγορούν στην φθορά του πρώτου.
- **Παραδεκτό κόστος:** κτήσεως και διαθεσιμότητα χωρίς να επιβαρύνει σε μεγάλο ποσοστό το συνολικό τελικό κόστος άλλα και να καθιστά την κατεργασία αποδοτική.

Σήμερα, είναι διαθέσιμα διάφορα υλικά κοπτικών εργαλείων, που έχουν ένα μεγάλο εύρος ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών. Στα παρακάτω σχήματα 3.14 και 3.15, φαίνονται όλες οι κατηγορίες υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων σε πλήρη ταξινόμηση. Τα κυριότερα υλικά κατασκευής εργαλείων διακρίνονται συνήθως στις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

- Ανθρακούχοι χάλυβες - χάλυβες με μικρές προσμίξεις (cr, mn κ.λ.π.)
- Χυτοκράματα (στελλίτες)
- Ταχυχάλυβες
- Σκληρομέταλλα (συνήθη και επενδεδυμένα)
- Κεραμικά υλικά
- Υπέρσκληρα υλικά (cbn, διαμάντι, whisker reinforced materials)



**Σχήμα 3.14** Ταξινόμηση υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων



Σχήμα 3.15 Ταξινόμηση κεραμικών υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων

### 3.3 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΠΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

#### 3.3.1 Η θερμότητα που εκλύεται κατά την κοπή

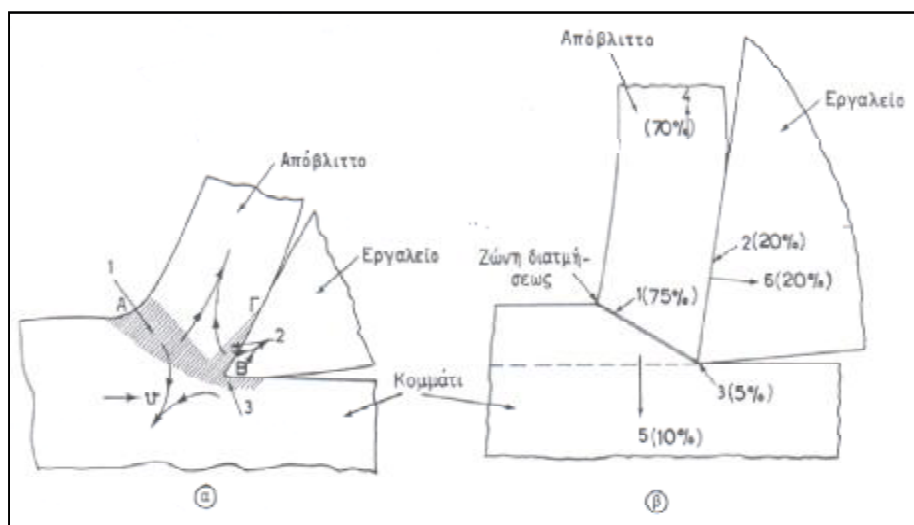
Η συνολική ενέργεια, που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η κοπή ενός μετάλλου ξοδεύεται σε δύο βασικές περιοχές [σχ. 3.16 (α)]: στη ζώνη διατμήσεως (1) και στη ζώνη τριβής (2). Υπάρχει, όμως και μια τρίτη ζώνη, (3) όχι τόσο σημαντική όπως οι προηγούμενες η οποία είναι η επιφάνεια, όπου εφάπτεται η ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου με το κομμάτι. Στη ζώνη αυτή ξοδεύεται ενέργεια από το ένα μέρος για το σχηματισμό της κατεργασμένης επιφάνειας του κομματιού και από το άλλο για την υπερνίκηση της τριβής που αναπτύσσεται στη ζώνη αυτή, ιδιαίτερα όταν το εργαλείο έχει προχωρημένη φθορά στην ελεύθερη του επιφάνεια.

Επειδή η μηχανική ενέργεια που διαθέτουμε κατά την κοπή χρησιμοποιείται τόσο ως ενέργεια πλαστικής παραμορφώσεως στη ζώνη διατμήσεως, όσο και ως ενέργεια τριβής στη ζώνη τριβής και στη ζώνη επαφής εργαλείου – κομματιού,

μετατρέπεται σχεδόν στο σύνολο της σε θερμότητα. Έτσι, οι τρεις ζώνες καταναλώσεως ενέργειας στο σχήμα 3.16(α) θα είναι πηγές θερμότητας.

Στο [σχ. 3.16(β)] παρατηρούμε πώς κατανέμεται χονδρικά η παραγόμενη θερμότητα στις τρεις ζώνες 1,2 και 3 και πως η θερμότητα αυτή απάγεται στο απόβλητο (4), στο εργαλείο (6) και στο κομμάτι (5).

Το μεγαλύτερο ποσοστό θερμότητας παράγεται στη ζώνη διατμήσεως και κυμαίνεται ανάμεσα σε 65 ως 80%. Επίσης, το μεγαλύτερο ποσοστό (75% περίπου) της συνολικής θερμότητας που εκλύεται κατά την κοπή, παραλαμβάνεται από το απόβλητο.



**Σχήμα 3.16α:** Η κατανομή της παραγόμενης θερμότητας σε τρεις ζώνες

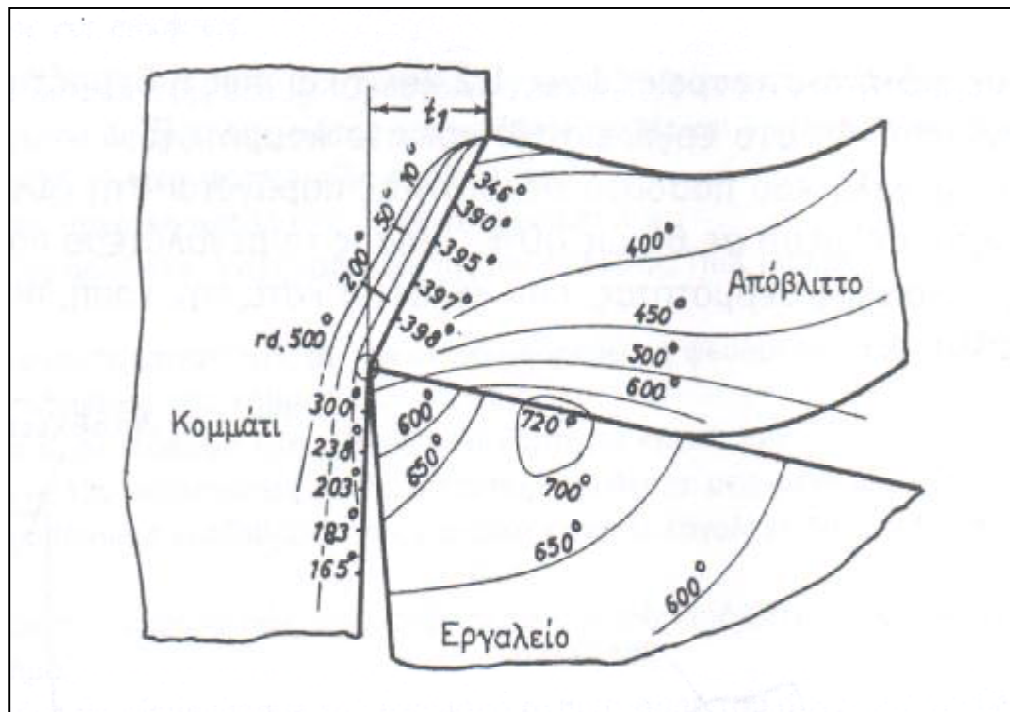
### 3.3.2 Οι αναπτυσσόμενες κατά την κοπή θερμοκρασίες και η διανομή τους

Λόγω της σημαντικής ποσότητας θερμότητας, που εκλύεται κατά την κοπή των μετάλλων, αναπτύσσονται στις ζώνες 1,2 και 3 θερμοκρασίες αρκετά υψηλές, φυσικά ανάλογα με την περίπτωση κοπής. Οι ψηλές αυτές θερμοκρασίες έχουν κατά κύριο λόγο δύο επιπτώσεις: μια ευνοϊκή (τη μείωση στο όριο διαρροής του μετάλλου, άρα πιο εύκολη κοπή) και μια , την πιο σπουδαία, δυσμενή (τη φθορά στο κοπτικό εργαλείο και από αυτό την ελάττωση της ζωής του).

Η μέση θερμοκρασία που αναπτύσσεται στη ζώνη τριβής (2) εξαρτάται από το είδος του κατεργαζόμενου υλικού (ειδική θερμότητα, πυκνότητα, συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και ειδική αντίσταση κοπής), από την ταχύτητα κοπής και από τη θεωρητική διατομή του αποβλήτου. Συγκεκριμένα, η μέση αυτή θερμοκρασία υψώνεται όσο η ταχύτητα κοπής, η θεωρητική διατομή του αποβλήτου και η ειδική αντίσταση κοπής του κατεργαζόμενου μετάλλου μεγαλώνει και όσο η ειδική θερμότητα, η πυκνότητα και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού μικραίνει.

Στο [σχ.3.16β] εικονίζεται η διανομή θερμοκρασιών στο απόβλητο, στο εργαλείο και στο κομμάτι για την αναφερόμενη στο σχήμα περίπτωση κοπής ενός χάλυβα. Από τη διανομή αυτή των θερμοκρασιών, αλλά και από παρόμοιες διανομές σε άλλα πειράματα είμαστε σε θέση να διατυπώσουμε τις εξής δύο βασικές παρατηρήσεις:

- Ότι οι θερμοκρασίες είναι κατά πολύ υψηλότερες στο εργαλείο από ότι είναι στο απόβλητο και φυσικά και στο κομμάτι.
- Ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες αναπτύσσονται συνήθως σε θέσεις που απέχουν αρκετά από τη μύτη του εργαλείου. Πολύ συχνά στη θέση των μέγιστων θερμοκρασιών αρχίζει να αναπτύσσεται ο κρατήρας.



**Σχήμα 3.16β:** Η διανομή θερμοκρασιών στο απόβλητο, στο εργαλείο και στο κομμάτι

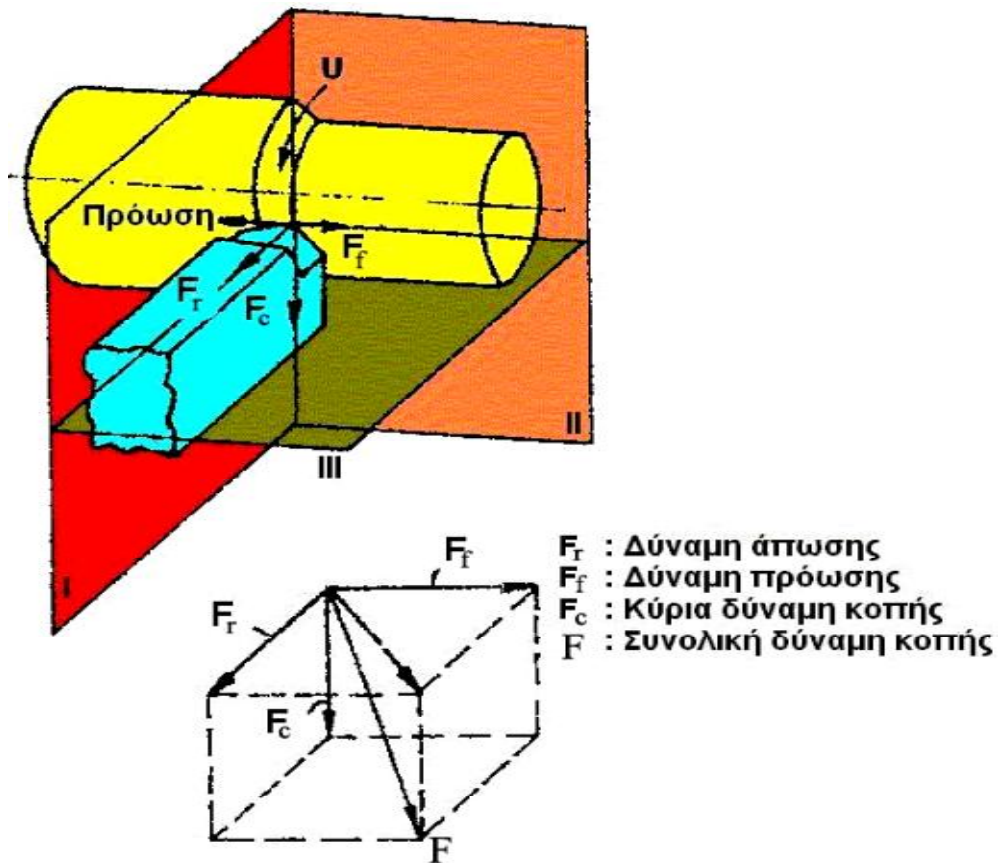
## 3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΟΠΗΣ

### 3.4.1 Γενικά

Παραπάνω, παρατηρήσαμε το σύστημα των δυνάμεων στην ορθογωνική κοπή. Στην λοξή κοπή η δύναμη κοπής αναλύεται σε τρεις συνιστώσες κατά μήκος τριών αξόνων κάθετων ανάμεσα τους ( $O_x$ ,  $O_y$ ,  $O_z$ ). Στο σχήμα [3.17α] εικονίζεται μια τέτοια ανάλυση της δυνάμεως κοπής για τη διαμήκη εξωτερική τórνευση.

Η γνώση των δυνάμεων κοπής παρουσιάζει ενδιαφέρον τόσο στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών για τη σχεδίαση γενικά κάθε εργαλειομηχανής, όσο και στους χρήστες για την εκμετάλλευση της. Τους τελευταίους ενδιαφέρει ιδιαίτερα η γνώση της κύριας συνιστώσας της δυνάμεως κοπής ( $F_1$  στην ορθογωνική κοπή ή  $F_T$  στην τórνευση [σχ.3.17α] για τον προσδιορισμό της ισχύος κοπής και από αυτή για την εκλογή της κατάλληλης εργαλειομηχανής ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας.

Και οι τρεις (ή οι δύο για την ορθογωνική κοπή) δυνάμεις κοπής μπορούν να μετρηθούν εύκολα και με ικανοποιητική ακρίβεια με τη βοήθεια **δυναμομέτρων κοπής**, τα οποία παράγονται τώρα σε βιομηχανική κλίμακα και κυκλοφορούν στο εμπόριο. Στο [σχ.3.17β] εικονίζεται ένα σύγχρονο δυναμόμετρο για τη μέτρηση των τριών δυνάμεων κοπής στην τórνευση. Τα δυναμόμετρα αυτά βασίζονται στην μέτρηση (άμεσα με μηκυσιόμετρα ή έμμεσα με ηλεκτρομηκυσιόμετρα ή με κρυστάλλους χαλαζία) κάποιων (ή κάποιας) παραμορφώσεων ή μετατοπίσεων που προκαλούνται από την αναπτυσσόμενη δύναμη κοπής σε ορισμένες θέσεις του δυναμομέτρου.



**Σχήμα 3.17α:** Η κύρια δύναμη κοπής αναλυμένη σε συνιστώσες

Οι δυνάμεις που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα αντιστοιχούν ως εξής με τις δυνάμεις της δικής μας πειραματικής συσκευής:

<u>Σχήμα</u>		<u>Πειραματική συσκευή</u>
$F_r$	Δύναμη άπωσης	$F_r$
$F_f$	Δύναμη πρόωσης	$F_v$
$F_c$	Κύρια δύναμη κοπής	$F_s$





Σχήμα 3.17β: Απεικόνιση ενός κοινού δυναμόμετρου

### 3.4.2 Υπολογισμός της κύριας συνιστώσας της δυνάμεως κοπής και της ισχύος κοπής από την ειδική αντίσταση κοπής

Ο υπολογισμός της κύριας δυνάμεως κοπής έχει υπολογιστεί βιβλιογραφικά με δύο μεθόδους, θεωρητικά και ημιεμπειρικά.

Παρακάτω δείχνουμε τον θεωρητικό τρόπο για τον υπολογισμό της κύριας δυνάμεως κοπής και από αυτή και της ισχύος κοπής με βάση τη λεγόμενη ειδική αντίσταση κοπής. Ο τρόπος αυτός υπολογισμού αναφέρεται στην ορθογωνική κοπή, μπορεί όμως εύκολα να επεκταθεί και στις διάφορες κατεργασίες κοπής.

Η ειδική αντίσταση κοπής  $k_s$  σε  $\text{kp/mm}^2$  δίνεται από τη σχέση:

$$k_s = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_1}{b_1 t_1} \quad (3.1)$$

όπου  $F_1$  σε **kp** είναι η κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής,  $A_1$  σε  $\text{mm}^2$  η θεωρητική διατομή του αποβλήτου,  $b_1$  το πλάτος του αποβλήτου σε **mm** και  $t_1$  το θεωρητικό πάχος του αποβλήτου σε **mm**.

Με βάση πολλά πειράματα που έχουν γίνει έχει διαπιστωθεί ότι η ειδική αντίσταση κοπής (για σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες της κοπής) εξαρτάται σημαντικά από το θεωρητικό πάχος  $t_1$  του αποβλήτου και μάλιστα έτσι, ώστε όσο το πάχος του αποβλήτου μεγαλώνει τόσο η ειδική αντίσταση μικραίνει.

Η ειδική αντίσταση κοπής  $k_s$  σε συνάρτηση με το θεωρητικό πάχος του αποβλήτου  $t_1$  δίνεται από τη σχέση:

$$k_s = k_1 \cdot t_1^{-z} \quad (3.2)$$

στον τύπο αυτό η σταθερά  $k_1$  (είναι η ειδική αντίσταση κοπής για  $t_1 = 1,0 \text{ mm}$  και  $b_1 = 1,0 \text{ mm}$ , δηλαδή  $A_1 = 1,0 \text{ mm}^2$ ) και ο εκθέτης  $z$  είναι χαρακτηριστικές του υλικού του κατεργαζόμενου κομματιού και έχουν υπολογισθεί πειραματικά (Πίνακας 3.1) για μια σειρά από τυπικά τέτοια υλικά και για τους αναφερόμενους στον πίνακα παράγοντες κοπής.

Η κύρια δύναμη κοπής μπορεί να εκφρασθεί ως:

$$F_1 = A_1 \cdot k_s = b_1 \cdot t_1 \cdot k_s \quad (3.3)$$

ή αν λάβουμε υπόψη τη σχέση (1.6):

$$F_1 = b_1 \cdot t_1 \cdot k_1 \cdot t_1^{-z} = b_1 \cdot k_1 \cdot t_1^{1-z} \quad (3.4)$$

Με σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες της κοπής, η κύρια δύναμη κοπής μεγαλώνει εν γένει με αύξηση του θεωρητικού πάχους  $t_1$ , του πλάτους  $b_1$  ή της διατομής  $A_1$  του αποβλήτου και μειώνεται όσο η γωνία αποβλήτου του εργαλείου και η ταχύτητα κοπής μεγαλώνουν. Το υγρό κοπής ασκεί ευνοϊκή επίδραση στην κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής στις χαμηλές ταχύτητες κοπής.

Τώρα από την κύρια δύναμη κοπής  $F_1$  σε **kp** και την ταχύτητα κοπής  $u$  σε **m/min** είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την ισχύ κοπής  $N_K$  σε **PS** ή σε **kW** από τις σχέσεις:

$$N_K = \frac{F_1 \cdot U}{4500} [\text{PS}] \quad \text{ή}$$

$$N_K = \frac{F_1 \cdot U}{6120} [\text{kW}] \quad (3.5)$$

Επειδή οι τιμές της σταθεράς  $k_1$  και του εκθέτη  $z$  (και οι τιμές της ειδικής αντιστάσεως κοπής  $k_s$  για ορισμένες τιμές του θεωρητικού πάχους του αποβλήτου  $t_1$

του πίνακα (3.1) έχουν προσδιορισθεί και ισχύουν για δοσμένη περιοχή ταχυτήτων κοπής και γεωμετρική μορφή και υλικό του κοπτικού εργαλείου και χωρίς υγρό κοπής μας είναι δυνατό να επιφέρουμε διορθώσεις στη συνιστώσα  $F_1$  [σχέση (3.3) ή (3.4)], εισάγοντες κατάλληλους συντελεστές διορθώσεως ως εξής:

$$F_{1\delta} = (K_U \cdot K_V \cdot K_\epsilon \cdot K_\Phi) \cdot F_1 \quad (3.6)$$

Όπου  $F_{1\delta}$  σε **kp** είναι η διορθωμένη τιμή της κύριας δύναμης κοπής  $F_1$  και :

**$K_U$** : συντελεστής διορθώσεως λόγω ταχύτητας κοπής.

**$K_V$** : συντελεστής διορθώσεως λόγω γωνίας αποβλήτου.

**$K_\epsilon$**  : συντελεστής διορθώσεως λόγω υλικού κοπτικού εργαλείου.

**$K_\Phi$**  : συντελεστής διορθώσεως λόγω φθοράς του εργαλείου.

Σχετικά με τι τιμές παίρνουν οι συντελεστές αυτοί διορθώσεως της συνιστώσας  $F_1$  προσθέτουμε τα ακόλουθα:

Ο συντελεστής  **$K_V$**  προσδιορίζεται από την σχέση:

$$K_V = 1 - \frac{\gamma - \gamma_0}{66,7} \quad (3.7)$$

Όπου  $\gamma_0 = 6^\circ$  για χάλυβες και  $\gamma_0 = 2^\circ$  για χυτοσιδήρους.

Ο συντελεστής  **$K_\epsilon$**  για εργαλεία από σκληρομέταλλα και ταχυχάλυβες παίρνει ως τιμή τη μονάδα, ενώ για εργαλεία από κεραμειτικά πυριμάχων οξειδίων λαμβάνει τιμές  **$K_\epsilon = 0,90$**  ως  **$0,95$** .

Τέλος, ο συντελεστής διορθώσεως λόγω φθοράς του εργαλείου  **$K_\Phi$**  κυμαίνεται από 1,3 μέχρι 1,5 ανάλογα με το κριτήριο αστοχίας του εργαλείου που χρησιμοποιούμε. Αν π.χ. εφαρμόζουμε ως κριτήριο αστοχίας τη στόμωση της κόπης του εργαλείου μπορούμε να εκλέγουμε  **$K_\Phi = 1,5$**  ενώ αν πάρουμε ως κριτήριο αστοχίας κάποια καθορισμένη τιμή στο πλάτος φθοράς είναι δυνατό να λάβουμε μικρότερη τιμή για τον συντελεστή  **$K_\Phi$** .

Με βάση τη διορθωμένη τιμή της κύριας δύναμης κοπής  $F_{1\delta}$  μας είναι δυνατός και ο υπολογισμός διορθωμένης τιμής για την ισχύ κοπής  $N_{k\delta}$  από τη σχέση (3.5) με απλή αντικατάσταση του  $F_1$  από το  $F_{1\delta}$ .

Η ισχύς του κύριου ηλεκτροκινητήρα της εργαλειομηχανής  $N_0$ , (η ισχύς αυτή είναι η λεγόμενη ονομαστική ισχύς κάθε εργαλειομηχανής), βρίσκεται αν η ισχύς

κοπής, (διορθωμένη ή όχι κατά περίπτωση), διαιρεθεί με το συνολικό μηχανικό βαθμό αποδόσεως της εργαλειομηχανής η, δηλαδή:

$$N_0 = \text{—————} \quad (3.8)$$

**Πίνακας 3.1:** Επιλογή παραμέτρων  $k_1$  και  $1-z$  με βάση ιδιότητες του υλικού του κομματιού

	Υλικό κομματιού	$\sigma_B$ [κρ/mm <sup>2</sup> ] ή BHN*	$1-z$	$k_1$ [κρ/mm <sup>2</sup> ]	$k_s$ [κρ/mm <sup>2</sup> ] για θεωρητικό πάχος αποβλίττου σε mm								
					0,06	0,1	0,13	0,25	0,4	0,63	1	1,6	2,5
Ανθρακούχοι χάλυβες	St 50.....	52	0,74	199	420	361	319	283	250	224	199	178	158
	St 60.....	62	0,83	211	331	308	283	262	244	227	211	196	182
	St 70.....	72	0,70	226	512	450	392	341	299	260	226	198	174
	Ck 45.....	67	0,86	222	324	304	284	266	250	234	222	209	196
	Ck 60.....	77	0,82	213	343	315	292	270	249	230	213	196	181
Χαλυβο- κράματα	60 MnCr 5....	77	0,74	210	435	383	340	302	266	236	210	188	167
	18 Cr Ni 6....	63	0,70	226	514	451	392	341	300	259	226	198	175
	42 Cr Mo 4....	73	0,74	250	500	450	400	355	315	280	250	224	200
	34 Cr Mo 4....	60	0,79	224	400	361	329	300	275	246	224	205	187
	50 Cr V 4....	60	0,74	222	462	410	361	319	282	250	222	199	178
	55 Ni Cr Mo V 6G.	94	0,76	174	347	307	272	239	217	193	174	154	135
	55 Ni Cr Mo V6V. EC Mo 80.....	BHN = 352 59	0,76 0,83	192 229	367 365	331 339	295 313	266 290	238 268	210 247	192 229	172 202	153 198
Χυτο- σίδηροι	Φαίδς .....	BHN = 200	0,74	116	236	211	187	166	147	130	116	103	93
	Μαλακτικοποιημένος	36	0,74	127	258	230	205	184	164	144	127	113	101
Κράματα χαλκού	Κρατέρωμα	—	0,83	178	285	263	243	225	208	193	178	164	152
	Ορείχαλκος	—	0,82	78	128	116	109	100	92	85	78	72	66

\* Σκληρότητα σε βαθμούς Βρίνελ.

Στη συνέχεια δείχνουμε τον ημιεμπειρικό τρόπο για τον υπολογισμό των τριών δυνάμεως κοπής, που είναι αυτός που χρησιμοποιήθηκε και από εμάς, μιας και ήταν πιο εφικτό να βρεθούν οι απαραίτητοι συντελεστές.

Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τρεις, ο καθένας τους αντιστοιχεί σε μία συνιστώσα (με βάση την πειραματική μας συσκευή), έτσι όπως ακριβώς φαίνεται παρακάτω:

$$P_z = C_z \times a^{e_z} \times s^{u_z} = F_s = \text{Κύρια δύναμη κοπής}$$

$$P_y = C_y \times a^{e_y} \times s^{u_y} = F_r = \text{Δύναμη άπωσης}$$

$$P_x = C_x \times a^{e_x} \times s^{u_x} = F_v = \text{Δύναμη πρόωσης}$$

όπου  $a$ : το βάθος κοπής σε mm,

$s$ : η πρόωση σε mm/στρ κύριας ατράκτου,

$C_z, C_y, C_x$ : συντελεστές που λαμβάνουν υπόψη τις ιδιότητες των υλικών, του κοπτικού και του κατεργαζόμενου άξονα,

$e_z, u_z, e_y, u_y, e_x, u_x$ : οι εκθέτες που εξαρτώνται από τα υλικά του κοπτικού και του άξονα.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές των σταθερών για τον υπολογισμό των δυνάμεων κοπής για τόννευση και πλάνισμα με κοπτικό εργαλείο από ταχυχάλυβα. Στην περίπτωση μας βέβαια ο συγκεκριμένος πίνακας χρησιμοποιήθηκε μόνο για την κατεργασία της τόννευσης και όχι για την κατεργασία του πλανίσματος. Το κοπτικό μας εργαλείο ήταν φυσικά από ταχυχάλυβα.

Πίνακας 3.2: Επιλογή των σταθερών για τον υπολογισμό των δυνάμεων κοπής

Είδος κατεργαζομένου ύλικου	Τρόπος κατεργασίας	$P_z$			$P_y$			$P_x$		
		$C_z$	$e_z$	$u_z$	$C_y$	$e_y$	$u_y$	$C_x$	$e_x$	$u_x$
Άνθρακο- χάλυψ  $\sigma_{\theta} = 75 \left[ \frac{\text{kp}}{\text{mm}^2} \right]$	Τόρνευσις κυλιν- δρικών έπιφανειών καί όπών	200	1,0	0,75	124,8	0,90	0,75	66,8	1,20	0,65
	Τόρνευσις μορφής	212	1,0	0,75	—	—	—	—	—	—
	Κοπή	247	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—
Όλκιμος χυτοσίδηρος  $H_B = 150 \left[ \frac{\text{kp}}{\text{mm}^2} \right]$	Τόρνευσις κυλιν- δρικών έπιφανειών καί όπών	100	1,0	0,75	87,6	0,90	0,75	39,6	1,20	0,65
	Τόρνευσις μορφής	138,7	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—
Χυτοσίδηρος φαιός  $H_B = 190 \left[ \frac{\text{kp}}{\text{mm}^2} \right]$	Τόρνευσις κυλιν- δρικών έπιφανειών καί όπών	114	1,0	0,75	119,2	0,90	0,75	51,4	1,20	0,65
	Τόρνευσις μορφής	158	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—
Μπροϋντζος μέσης σκληρότ.	Τόρνευσις κυλιν- δρικών έπιφανειών καί όπών	55	1,0	0,66	—	—	—	—	—	—

## 4. ΚΟΠΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

### 4.1 Παρουσίαση-Περιγραφή δυναμόμετρου ΡΗΥWE

Το δυναμόμετρο ΡΗΥWE είναι ένα δυναμόμετρο για την μέτρηση των τριών συνιστωσών μίας δυνάμεως καθώς και για την μέτρηση της αναπτυσσόμενης κατά την κοπή θερμοκρασίας στην άκρη του κοπτικού εργαλείου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- Αξιόπιστο σύστημα μέτρησης δυνάμεως-θερμοκρασίας
- Κατάλληλο για την μέτρηση δυνάμεων κοπής κατά τη διάρκεια τόννευσης και λείανσης
- Ενσωματωμένοι ενισχυτές
- Τρία μετατρέψιμα επίπεδα μετρήσεων
- Απλή λειτουργία

Το δυναμόμετρο αποτελείται από το κύριο μέρος (κορμό), πάνω στον οποίο υπάρχουν τέσσερα κατάλληλα ρολόγια, τέσσερις υποδοχείς-αισθητήρες, περιστρεφόμενοι μοχλοί για αλλαγή κλίμακας, καθώς και μοχλός για αλλαγή πολικότητας. Όλα τα παραπάνω διακρίνονται στην εικόνα 2. Επίσης υπάρχουν τέσσερα καλώδια (εικόνα 3), μετασχηματιστής (εικόνα 4) και φυσικά το κοπτικό εργαλείο με ενσωματωμένο αισθητήρα (εικόνες 5,6,7).

Όλα τα μέρη του δυναμόμετρου που χρησιμοποιήθηκε για τη συγκεκριμένη πτυχιακή φαίνονται στην εικόνα 1, ενώ τα επιμέρους στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν.



**Εικόνα 1:** Το δυναμόμετρο ΡΗΥΩΕ με όλα του τα εξαρτήματα

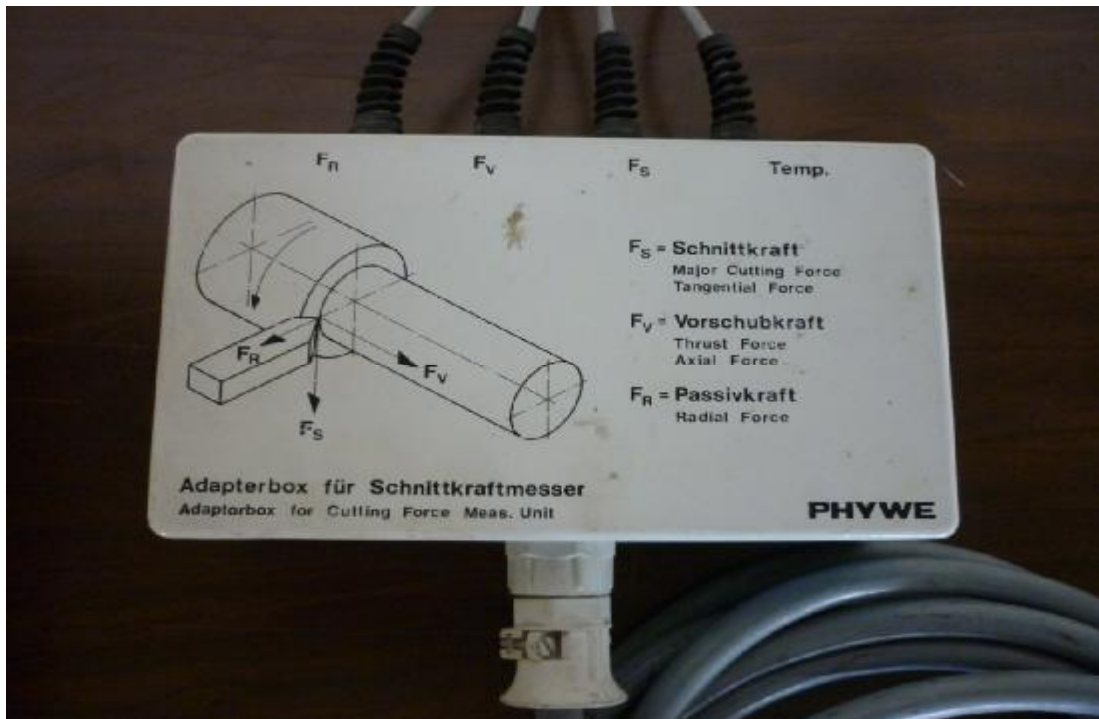


**Εικόνα 2:** Διακρίνονται τα τρία όμοια όργανα για την ένδειξη κάθε δυνάμεως κοπής καθώς επίσης και ένα επιπλέον για την ένδειξη της θερμοκρασίας.

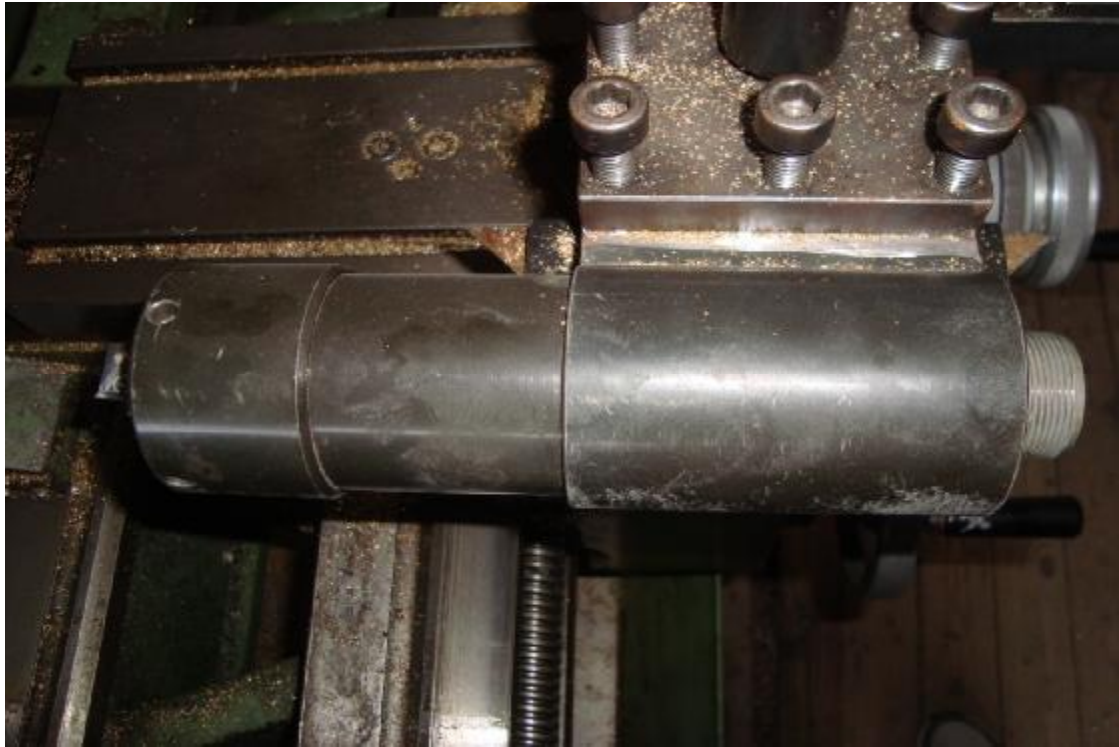




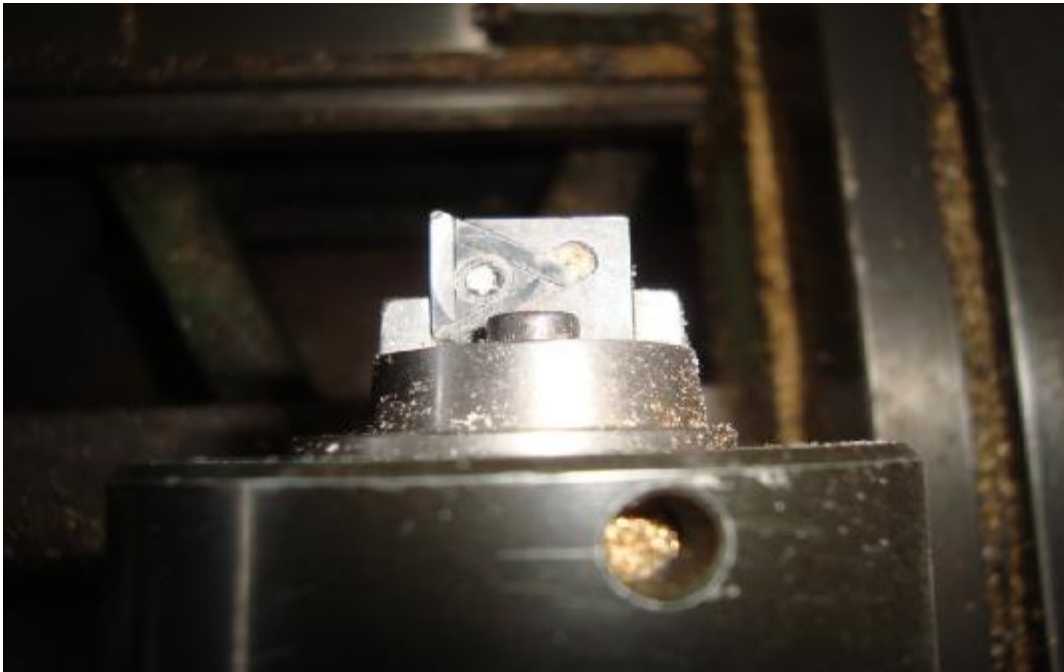
**Εικόνα 3:** Παρατηρούμε τα καλώδια που ενώνουν το μετασχηματιστή με τις ενδείξεις της συσκευής



**Εικόνα 4:** Ο μετασχηματιστής



**Εικόνα 5:** Διακρίνεται ο μηχανισμός του κοπτικού εργαλείου ενσωματωμένος στον εργαλειοδέτη του τέρνου



**Εικόνα 6:** Διακρίνεται στην άκρη του μηχανισμού το κοπτικό εργαλείο τριγωνικής μορφής



**Εικόνα 7:** Αισθητήρας-υποδοχή καλωδίου σύνδεσης του κοπτικού με τον μετασχηματιστή

#### 4.2 Πειραματική διαδικασία

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο χώρο του Μηχανολογικού Εργαστηρίου, του τμήματος Μηχανολογίας του Ανωτάτου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών και συγκεκριμένα στο τμήμα των χειροκίνητων εργαλειομηχανών όπου και βρίσκονται οι χειροκίνητοι τόρνοι και φρέζες, μιας και ο τόρνος ήταν η εργαλειομηχανή πάνω στην οποία προσαρμόστηκε το συγκεκριμένο δυναμόμετρο.

Ο τόρνος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου Maximat V13, φαίνεται στην εικόνα 8 και τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Ισχύς κινητήρα: 3HP-1450rpm
- Εύρος ταχυτήτων: 50-2000rpm
- Αριθμός ταχυτήτων: 8

- Εύρος προώσεων: 0,045-0,787 mm/στρ
- Μέγιστες διαστάσεις κατεργαζόμενου τεμαχίου: 1m×50mm diam
- Τόρνος δύο αξόνων



**Εικόνα 8:** Ο τόρνος πάνω στον οποίο προσαρμόσαμε την πειραματική συσκευή

### 4.3 Συνδεσμολογία

Ο τρόπος προσαρμογής του δυναμόμετρου επάνω στον τόρνο ήταν μία διαδικασία που απαιτήσε αρκετή προσοχή ώστε να λειτουργήσουν όλα σωστά και πάνω από όλα με ασφάλεια.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Αρχικά τοποθετήθηκε η κεφαλή του δυναμόμετρου με το ενσωματωμένο κοπτικό της εργαλείο πάνω στον εργαλειοδέτη και αφού μετρήθηκε και μηδενίστηκε με τις απαραίτητες διαδικασίες συσφίχτηκε καλά και δεν μετακινήθηκε έως ότου πραγματοποιηθούν όλες οι μετρήσεις έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε ο κύριος κορμός του δυναμόμετρου, με τις ενσωματωμένες ενδείξεις για τις δυνάμεις επάνω σε σταθερό σημείο (πάγκο) με αντιολισθητική επιφάνεια, για να μην επηρεάζει η τυχόν κίνηση του τις ενδείξεις. Έπειτα τοποθετήθηκε και ο μετασχηματιστής του σε σταθερό σημείο, ανάμεσα στον τόρνο και τον πάγκο, σε απόσταση τέτοια ώστε να φτάνει για να βιδωθεί το αντίστοιχο καλώδιο (χοντρό) στην υποδοχή της κεφαλής του κοπτικού. Βιδώθηκαν επίσης και τα υπόλοιπα τρία καλώδια στις αντίστοιχες τρεις υποδοχές για την ένδειξη των δυνάμεων, όπως και το καλώδιο για την ένδειξη της θερμοκρασίας, σύμφωνα με τις ενδείξεις του κατασκευαστή. Τέλος τοποθετήθηκε σε κοινή πρίζα παροχής 220V και η συσκευή ήταν έτοιμη για λειτουργία.

Η διαδικασία μέτρησης των δυνάμεων ήταν απλή. Πραγματοποιούνταν μια απλή τórνευση κυλινδρικών τεμαχίων, αλλάζοντας κάθε φορά τις παραμέτρους κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής, αλλαγή τεμαχίου). Πριν από κάθε τórνευση μηδενιζόταν τόσο το εργαλείο κοπής όσο και οι ενδείξεις στα όργανα του δυναμόμετρου με τους κατάλληλους ροοστάτες. Όλες οι μετρήσεις έχουν καταγραφεί στους ακόλουθους πίνακες.

#### 4.4 Πίνακες μετρήσεων

##### Πίνακας 1

Υλικό: Χάλυβας

α/α	Ταχύτητα (στρ/min)	Πρόωση (mm/στρ)	Βάθος κοπής (mm)	F <sub>R</sub> (KN)	F <sub>V</sub> (KN)	F <sub>S</sub> (KN)	T (°C)
1	415	0,090	0,5	0	0	0,14	84
2	415	0,140	0,5	0,02	0,14	0,28	70
3	415	0,090	1	0,12	0,14	0,28	110
4	415	0,140	1	0,20	0,30	0,30	70
5	415	0,225	0,5	0,08	0,02	0,22	90
6	415	0,225	1	0,08	0,12	0,40	90-140
7	415	0,112	0,5	0,06-0,1	0,04	0,16	30-70
8	415	0,112	1	0,08	0,1-0,12	0,20- 0,26	80-110
9	245	0,112	1	0,02- 0,06	0,12- 0,18	0,22- 0,34	80-110
10	700	0,112	0,5	0,06	0,02	0,11	65-85
11	700	0,112	1	-0,06- 0,02	0,06- 0,11	0,18- 0,22	95

## Πίνακας 2

Υλικό: Αλουμίνιο

<b>α/α</b>	<b>Ταχύτητα (στρ/min)</b>	<b>Πρόωση (mm/στρ)</b>	<b>Βάθος κοπής (mm)</b>	<b>F<sub>R</sub> (KN)</b>	<b>F<sub>V</sub> (KN)</b>	<b>F<sub>S</sub> (KN)</b>	<b>T (°C)</b>
1	245	0,112	0,5	0,02	0,02	0,06	20
2	245	0,393	1	0,02	0,08	0,28	40-70
3	415	0,090	0,5	-	-	0,04	8
4	415	0,090	1	-	-	0,06	10
5	415	0,090	2	0,02	-	0,12	22-58
6	415	0,393	1	0,06	0,07	0,23	96
7	415	0,393	1	0,04	0,14	0,24	78
8	415	0,393	1,5	0,08	0,10	0,38	180- 300
9	700	0,045	1	0,02	0	0,02	38
10	700	0,090	1	0	0,02	0,05	36
11	700	0,045	2	0,02	0,04	0,07	70
12	700	0,393	0,5	0,08	0,02	0,13	75
13	700	0,393	1	0,04	0,06	0,20	94
14	700	0,112	1	0,02	0,04	0,08	59-64
15	700	0,112	1,5	0,07	0,09	0,15	80-84
16	700	0,112	2	0,07	0,09	0,16	70-85
17	1180	0,360	0,5	0,04	0	0,06	42
18	1180	0,360	1	0,04	0	0,085	44

<b>19</b>	1180	0,180	0,5	0,02	0	0,02	18
<b>20</b>	1180	0,180	1	0,04	0	0,06	18
<b>21</b>	1180	0,045	1	0	0,04	0,06	52
<b>22</b>	245	0,360	1	0,06	0,03	2	50
<b>23</b>	245	0,180	1	0,02	0,04	0,1	42
<b>24</b>	415	0,180	1	0,02	0,04	1,2	60

### Πίνακας 3

Υλικό: Μπρούτζος

<b>α/α</b>	<b>Ταχύτητα (στρ/min)</b>	<b>Πρόωση (mm/στρ)</b>	<b>Βάθος κοπής (mm)</b>	<b>F<sub>R</sub> (KN)</b>	<b>F<sub>V</sub> (KN)</b>	<b>F<sub>S</sub> (KN)</b>	<b>T (°C)</b>
<b>1</b>	245	0,090	1	0	0,02	0,05	18
<b>2</b>	245	0,180	1	0,02	0,02	0,06	16
<b>3</b>	245	0,180	2	0	0,04	1,2	16
<b>4</b>	245	0,360	1	0,02	0,02	1,3	16
<b>5</b>	415	0,393	1	0,02	0,02	0,12	35
<b>6</b>	415	0,360	1	0,02	0,02	1,02	20



<b>7</b>	415	0,180	1	0,018	0,02	0,07	16
<b>8</b>	415	0,090	1	0	0,01	0,04	16-28
<b>9</b>	415	0,675	1	0,020	0,06	0,29	49
<b>10</b>	415	0,675	2	0	0,06	0,46	60
<b>11</b>	700	0,045	1	0	0,01	0,02	34
<b>12</b>	700	0,090	1	0	0,01	0,02	16
<b>13</b>	700	0,180	1	0	0,01	0,06	16
<b>14</b>	1180	0,045	1	0	0	0,02	30
<b>15</b>	1180	0,090	1	0	0,01	0,04	16
<b>16</b>	1180	0,180	1	0,010	0,01	0,06	18

#### Πίνακας 4

Υλικό: Πλαστικό

<b>α/α</b>	<b>Ταχύτητα (στρ/min)</b>	<b>Πρόωση (mm/στρ)</b>	<b>Βάθος κοπής (mm)</b>	<b>F<sub>R</sub> (KN)</b>	<b>F<sub>V</sub> (KN)</b>	<b>F<sub>s</sub> (KN)</b>	<b>T (°C)</b>
<b>1</b>	1180	0,180	1	0	0	0,02	96
<b>2</b>	1180	0,090	1	0	0	0,01	34-58
<b>3</b>	1180	0,045	1	0	0	0	60
<b>4</b>	700	0,045	1	0	0	0,01	48

5	700	0,090	1	0	0	0,08	45
6	700	0,180	1	0	0	0,08	45
7	415	0,180	1	0	0	0,02	30
8	415	0,090	1	0	0	0,02	28
9	415	0,045	1	0	0	0,01	32
10	415	0,675	1	0,02	0	0,04	10
11	415	0,675	2	0,01	0,02	0,12	60
12	415	0,393	2	0	0,01	0,08	50
13	415	0,025	2	0	0,01	0,06	30-54
14	415	0,180	2	0	0,01	0,01	50
15	415	0,090	2	0	0,01	0,02	30
16	415	0,045	2	0	0,01	0,02	32

### Θεωρητικός υπολογισμός δυνάμεων κοπής

Για να επιτευχθεί η κατεργασία τórνευσης απαιτείται δύναμη κοπής ώστε να αφαιρεθεί το απαραίτητο κατεργαζόμενο υλικό. Ο τρόπος υπολογισμού των δυνάμεων έγινε από τους παρακάτω τύπους, ο οποίος αναφέρθηκε στην παράγραφο (3.4.2):

$$P_z = C_z \times a^{ez} \times s^{uz}$$

$$P_y = C_y \times a^{ey} \times s^{uy}$$

$$P_x = C_x \times a^{ex} \times s^{ux}$$

όπου  $a$ : το βάθος κοπής σε mm,

$s$ : η πρόωση σε mm/στρ κύριας ατράκτου,

$C_z, C_y, C_x$ : συντελεστές που λαμβάνουν υπόψη τις ιδιότητες των υλικών, του κοπτικού και του κατεργαζόμενου άξονα,

$e_z, u_z, e_y, u_y, e_x, u_x$ : οι εκθέτες που εξαρτώνται από τα υλικά του κοπτικού και του άξονα.

Οι τρεις παραπάνω δυνάμεις μετριοούνται σε (Kp) και αντιστοιχούν ως εξής:

$$P_z = \square F_s$$

$$P_y = \square F_r$$

$$P_x = \square F_v$$

Στη συνέχεια, φαίνεται πως υπολογίστηκαν οι θεωρητικές τιμές για κάθε δύναμη ξεχωριστά, για όλες τις τιμές του χάλυβα, όπως αυτές φαίνονται στον πίνακα 1(σ.57), σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους και σύμφωνα με τις τιμές των σταθερών όπως προκύπτουν από τον πίνακα 3.2 στη σελίδα 49. Πιο συγκεκριμένα:

Το 200 είναι σταθερά και προκύπτει από τον πίνακα που αναφέραμε, το 0,5 κ το 1 είναι τα δύο βάθη κοπής που κατεργαζόμασταν σε mm, οι δύο εκθέτες προκύπτουν και αυτοί από τον ίδιο πίνακα,

Δύναμη  $P_z = \square F_s$

- 1)  $200 \times 0,5^1 \times 0,090^{0,75} = 200 \times 0,5 \times 0,164 = 16,4 \text{ kp}$
- 2)  $200 \times 0,5^1 \times 0,140^{0,75} = 22,8 \text{ kp}$
- 3)  $200 \times 1^1 \times 0,090^{0,75} = 32,8 \text{ kp}$
- 4)  $200 \times 1^1 \times 0,140^{0,75} = 45,6 \text{ kp}$
- 5)  $200 \times 0,5^1 \times 0,225^{0,75} = 32,6 \text{ kp}$
- 6)  $200 \times 1^1 \times 0,225^{0,75} = 65,2 \text{ kp}$
- 7)  $200 \times 0,5^1 \times 0,112^{0,75} = 19,3 \text{ kp}$
- 8)  $200 \times 1^1 \times 0,112^{0,75} = 38,6 \text{ kp}$
- 9)  $200 \times 1^1 \times 0,112^{0,75} = 38,6 \text{ kp}$
- 10)  $200 \times 0,5^1 \times 0,112^{0,75} = 19,3 \text{ kp}$
- 11)  $200 \times 1^1 \times 0,112^{0,75} = 38,6 \text{ kp}$

Με την ίδια διαδικασία υπολογίσαμε και τη δύναμη άπωσης με τη διαφορά ότι εδώ το 200 γίνεται 124,8 και έχουμε και διαφορετικούς εκθέτες.

Δύναμη  $P_y = \square F_r$

- 1)  $124,8 \times 0,5^{0,90} \times 0,090^{0,75} = 124,8 \times 0,53 \times 0,164 = 10,8 \text{ kp}$
- 2)  $124,8 \times 0,5^{0,90} \times 0,140^{0,75} = 15,08 \text{ kp}$
- 3)  $124,8 \times 1^{0,90} \times 0,090^{0,75} = 20,46 \text{ kp}$
- 4)  $124,8 \times 1^{0,90} \times 0,140^{0,75} = 28,45 \text{ kp}$
- 5)  $124,8 \times 0,5^{0,90} \times 0,225^{0,75} = 21,56 \text{ kp}$
- 6)  $124,8 \times 1^{0,90} \times 0,225^{0,75} = 40,68 \text{ kp}$
- 7)  $124,8 \times 0,5^{0,90} \times 0,112^{0,75} = 21,56 \text{ kp}$
- 8)  $124,8 \times 1^{0,90} \times 0,112^{0,75} = 24,08 \text{ kp}$
- 9)  $124,8 \times 1^{0,90} \times 0,112^{0,75} = 24,08 \text{ kp}$
- 10)  $124,8 \times 0,5^{0,90} \times 0,112^{0,75} = 12,76 \text{ kp}$
- 11)  $124,8 \times 1^{0,90} \times 0,112^{0,75} = 24,08 \text{ kp}$

Επίσης και για τη δύναμη πρόωσης ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τον υπολογισμό της, αλλά και εδώ η διαφορά παρατηρείται στις διαφορετικές τιμές των σταθερών.

Δύναμη  $P_x = \square F_v$

- 1)  $66,8 \times 0,5^{1,20} \times 0,090^{0,65} = 66,8 \times 0,43 \times 0,209 = 6 \text{ kp}$
- 2)  $66,8 \times 0,5^{1,20} \times 0,140^{0,65} = 7,98 \text{ kp}$
- 3)  $66,8 \times 1^{1,20} \times 0,090^{0,65} = 13,96 \text{ kp}$
- 4)  $66,8 \times 1^{1,20} \times 0,140^{0,65} = 18,57 \text{ kp}$
- 5)  $66,8 \times 0,5^{1,20} \times 0,225^{0,65} = 10,88 \text{ kp}$
- 6)  $66,8 \times 1^{1,20} \times 0,225^{0,65} = 25,31 \text{ kp}$
- 7)  $66,8 \times 0,5^{1,20} \times 0,112^{0,65} = 6,89 \text{ kp}$
- 8)  $66,8 \times 1^{1,20} \times 0,112^{0,65} = 16,03 \text{ kp}$
- 9)  $66,8 \times 1^{1,20} \times 0,112^{0,65} = 16,03 \text{ kp}$
- 10)  $66,8 \times 0,5^{1,20} \times 0,112^{0,65} = 6,89 \text{ kp}$
- 11)  $66,8 \times 1^{1,20} \times 0,112^{0,65} = 16,03 \text{ kp}$

Εντελώς ενδεικτικά παρατίθεται ένας πίνακας για τη δύναμη  $F_s$  ο οποίος περιλαμβάνει μία σύγκριση πειραματικών και θεωρητικών τιμών, αφού πρώτα μετατρέψαμε τις πειραματικές τιμές από KN σε Kp και έπειτα υπολογίσαμε τις θεωρητικές σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο.

<b>α/α</b>	<b><math>F_s</math> (πειραματική) (Kp)</b>	<b><math>F_s</math> (θεωρητική) (Kp)</b>	<b>Απόκλιση %</b>
<b>1</b>	14,27	16,4	12,9
<b>2</b>	28,55	22,8	25,2
<b>3</b>	28,55	32,8	12,9
<b>4</b>	30,59	45,6	32,9
<b>5</b>	22,43	32,6	31,1
<b>6</b>	40,78	65,2	37,4
<b>7</b>	16,31	19,3	15,4
<b>8</b>	24,47	38,6	36,6
<b>9</b>	26,51	38,6	31,3
<b>10</b>	11,21	19,3	41,9
<b>11</b>	18,35	38,6	52,4

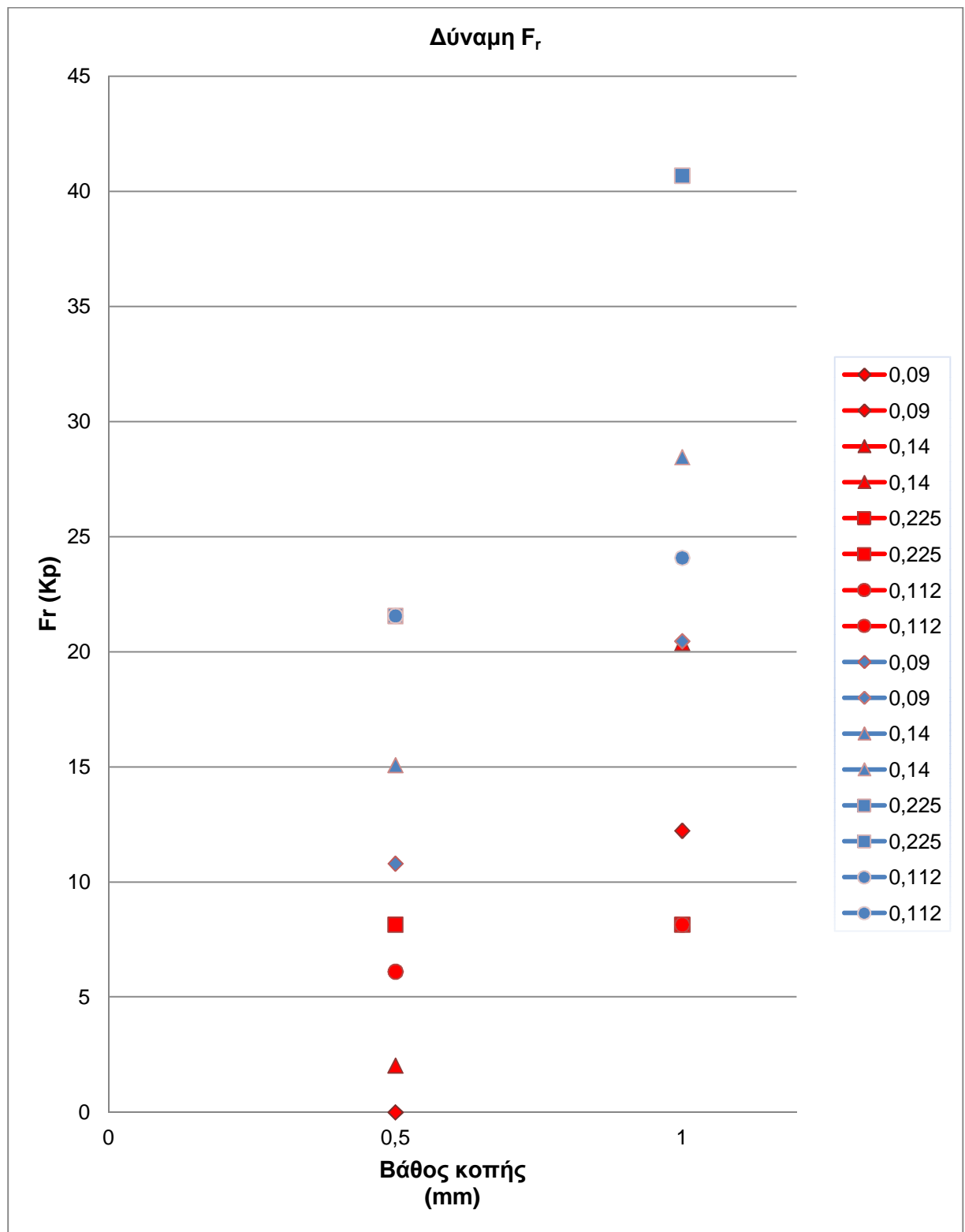
## Διαγράμματα

Αφού ολοκληρώθηκαν οι υπολογισμοί των θεωρητικών τιμών και έχοντας ως δεδομένα και τις πειραματικές μετρήσεις δημιουργήθηκαν τα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα. Τα διαγράμματα αυτά αφορούν το χάλυβα και απεικονίζουν για ίδιες παραμέτρους κοπής τις αντίστοιχες τιμές πειραματικών και θεωρητικών αποτελεσμάτων.

Στο πλάι όλων των διαγραμμάτων υπάρχουν οχτώ συνδυασμοί αριθμών. Ο κάθε ένας συνδυασμός αντιστοιχεί σε μία ταχύτητα πρόωσης. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να βλέπουμε πώς για σταθερή ταχύτητα και για διαφορετικό βάθος κοπής μεταβάλλεται η κάθε δύναμη, αλλά και πώς μεταβάλλεται ταυτόχρονα το μέγεθος κάθε τιμής της δύναμης αυτής ως προς την πρόωση. Για να είναι πιο ευδιάκριτη η αντιπαράθεση των πειραματικών και των θεωρητικών τιμών, έχουν συμβολιστεί με κόκκινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα.

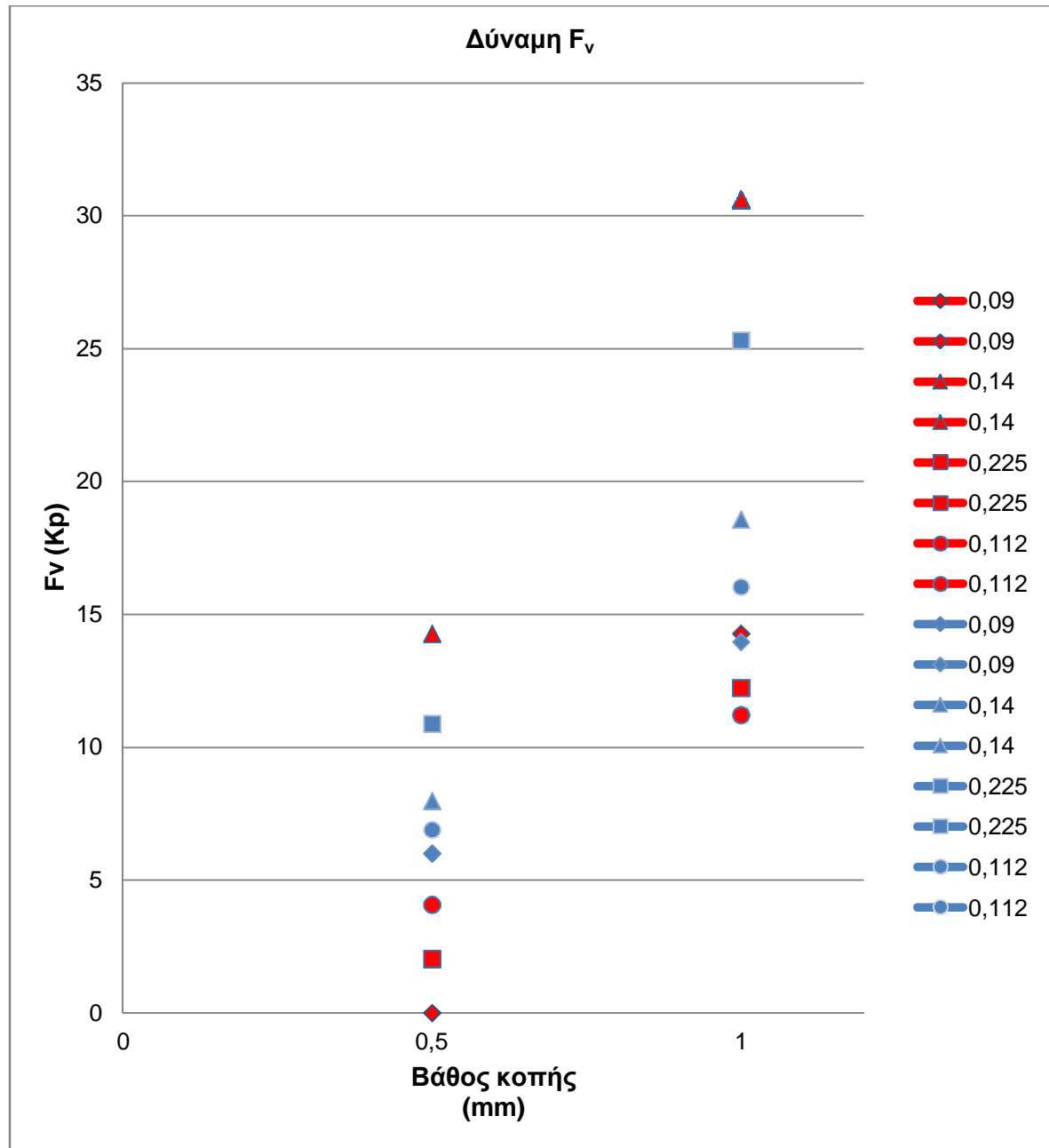
Με τον ίδιο τρόπο έχουν δημιουργηθεί όλα τα διαγράμματα.

Πιο συγκεκριμένα: στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τόσο η πειραματική, όσο και η θεωρητική δύναμη άπωσης ( $F_T$ ) συναρτήσει του βάθους κοπής για ταχύτητα κοπής  $V=415$  στρ/μιν.



**Διάγραμμα 1:** Δύναμη  $F_r$  συναρτήσει βάθους κοπής για το χάλυβα

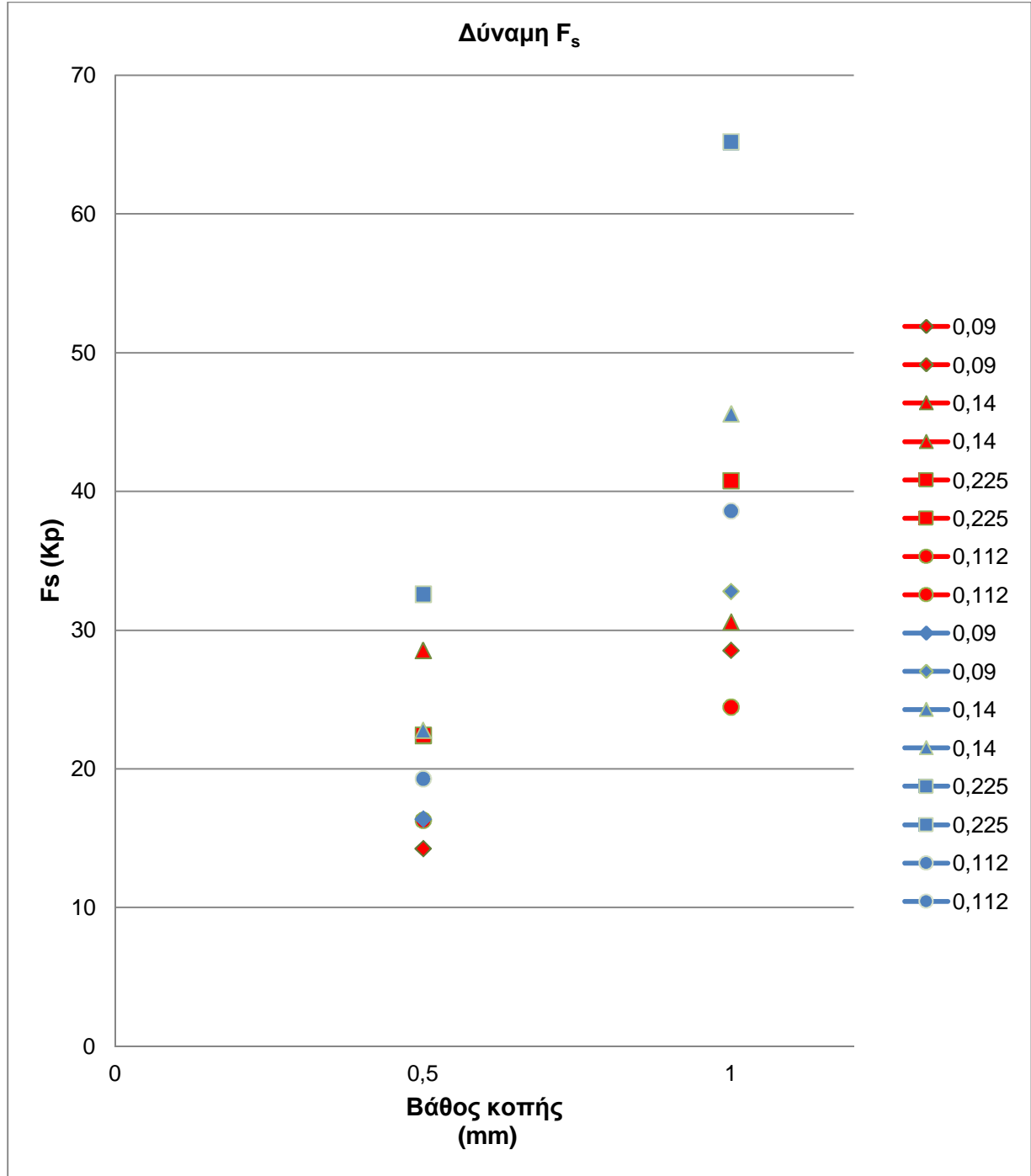
Ακολουθεί το διάγραμμα για τη δύναμη πρόωσης ( $F_v$ ), τόσο για τις θεωρητικές τιμές, όσο και για τις πειραματικές, συναρτήσει του βάθους κοπής, για ταχύτητα κοπής  $V=415$  στρ/min.



**Διάγραμμα 2:** Δύναμη  $F_v$  συναρτήσει του βάθους κοπής για το χάλυβα



Στη συνέχεια, ακολουθεί το διάγραμμα για τη δύναμη κοπής ( $F_s$ ), συμπεριλαμβάνοντας και εδώ τις πειραματικές και θεωρητικές της τιμές, συναρτήσει του βάθους κοπής, για ταχύτητα κοπής  $V=415$  στρ/min.



**Διάγραμμα 3:** Δύναμη  $F_s$  συναρτήσει του βάθους κοπής για το χάλυβα

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήσαμε τις αναπτυσσόμενες κατά την κατεργασία κοπής δυνάμεις. Σκοπός μας ήταν η σύγκριση των πειραματικών μετρήσεων με τις τιμές των δυνάμεων, όπως αυτές προέκυψαν από κατάλληλους υπολογισμούς.

Η πρώτη ενέργεια ήταν να γίνει συντήρηση στην πειραματική συσκευή, μιας και είχε να χρησιμοποιηθεί αρκετό καιρό και έπειτα να διαβαστεί ο οδηγός χρήσεως έτσι ώστε να γίνει σωστή χρήση της. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι υπήρξε επικοινωνία με το εργοστάσιο παραγωγής της συγκεκριμένης συσκευής στο εξωτερικό, αλλά λόγω παλαιότητας του μοντέλου και λόγω αλλαγής προσωπικού δεν έγινε εφικτό να αποσπάσουμε περισσότερες λεπτομέρειες ως προς τον τρόπο λειτουργίας της ή να αποκομίσουμε κάποια ηλεκτρολογικά – μηχανολογικά σχέδια έτσι ώστε να παρατεθούν και αυτά στην εργασία μας. Η παλαιότητα της ήταν μια σοβαρή παράμετρος ως προς τη διεξαγωγή των συμπερασμάτων. Μια άλλη βασική παράμετρος επίσης, ήταν ότι η συσκευή μας δεν είχε δυνατότητα ένδειξης πολύ μικρών τιμών, λόγω μεγάλης κλίμακας στις ρυθμίσεις της, αλλά και λόγω αναλογικών ενδείξεων και όχι ψηφιακών. Για να μπορέσουμε να τη ρυθμίσουμε πραγματοποιήσαμε αρκετές δοκιμαστικές μετρήσεις και έπειτα συγκρίναμε τα δεδομένα μας με άλλα, όμοια, τα όποια βρήκαμε σε βιβλιογραφία και τότε ήμασταν σίγουροι ότι η συσκευή είναι έτοιμη για την υλοποίηση των υπόλοιπων μετρήσεων.

Αφού λοιπόν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και για τα τέσσερα υλικά, το χάλυβα, το αλουμίνιο, τον μπρούτζο και το πλαστικό, ταξινομήθηκαν σε αντίστοιχους πίνακες όπου φαίνονται όλες οι παράμετροι κοπής. Κατόπιν, υπολογίστηκαν οι θεωρητικές τιμές. Αυτό έγινε από τους ημιεμπειρικούς τύπους γιατί ήταν εφικτό να βρεθούν οι απαραίτητοι συντελεστές, σε αντίθεση με τους θεωρητικούς όπου δεν υπήρχε αυτή η δυνατότητα.

Έχοντας λοιπόν τις δύο τιμές κάθε φορά, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα και για κάθε υλικό μπορούμε να πούμε το εξής:

Για το χάλυβα, που ήταν και το υλικό στο οποίο βασιστήκαμε και στηρίξαμε κυρίως τα συμπεράσματά μας, παρατηρήθηκε σχετικά μικρή απόκλιση ανάμεσα στις δύο τιμές, δηλαδή ήταν αποδεκτή, δεδομένου ότι πάντα υπάρχουν τα σφάλματα όσο και αν προσπαθούμε να τα ελαχιστοποιήσουμε. Επίσης, αυτό που είναι εξίσου βασικό είναι η κατανομή των σημείων πάνω στα διαγράμματα. Μετά από προσεκτική μελέτη και επεξεργασία παρατηρήθηκε ότι η νοητή κλίση των καμπυλών είναι συνεχώς ανοδική συναρτήσει του βάθους κοπής, κάτι που είναι απόλυτα φυσιολογικό και αναμενόμενο. Όσο δηλαδή αυξάνεται το βάθος κοπής τόσο μεγαλώνει και το

μέγεθος της δύναμης. Αυτό που παρατηρείται επίσης μέσα από τα διαγράμματα, είναι ότι το μέγεθος της δύναμης εξαρτάται και από την πρόωση, όσο δηλαδή αυξάνεται αυτή αυξάνεται και η δύναμη. Αυτό φαίνεται κυρίως σε μεγαλύτερα βάθη κοπής, μιας και στις μικρότερες τιμές των μετρήσεων υπήρχε γενικά μια μικρή ασάφεια στις ενδείξεις της πειραματικής συσκευής, για το λόγο που αναφέραμε παραπάνω. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι όσον αφορά τη δύναμη άπωσης ( $F_T$ ) παρατηρείται ότι είναι αυτή με τις μικρότερες γενικά και πιο σαφείς ενδείξεις. Αυτό ισχύει για όλα τα υλικά λόγω του ότι αυτή δε συμμετέχει τόσο κατά την κοπή διότι δε γίνεται άμεση κοπή κάθετα στην κυλινδρική επιφάνεια. Αυτός είναι και ο λόγος που η κύρια δύναμη κοπής ( $F_s$ ) και η δύναμη πρόωσης ( $F_v$ ) έχουν σταθερές τιμές και μεγαλύτερου μεγέθους, γιατί αναπτύσσονται καθ' όλη τη διάρκεια κάθε κατεργασίας, η μία εξ' αιτίας του βάθους κοπής ( $F_s$ ) και η άλλη λόγω της ταχύτητας πρόωσης ( $F_v$ ).

Όσον αφορά τώρα τα δύο άλλα μέταλλα, (αλουμίνιο – μπρούτζο), οι μετρήσεις έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα με το χάλυβα. Δηλαδή, μικρή δύναμη άπωσης μεγαλύτερη δύναμη πρόωσης και ακόμα μεγαλύτερη τιμή για την κύρια δύναμη κοπής. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι λόγω του ότι πρόκειται για "μαλακά" υλικά οι αντίστοιχες τιμές συγκριτικά με το χάλυβα ήταν αρκετά μικρότερες, παρά το γεγονός ότι μας επιτρεπόταν λόγω της δομής τους να δοκιμάσουμε και μεγαλύτερες ταχύτητες κοπής. Ωστόσο, δε βρέθηκαν αρκετά δεδομένα ώστε να γίνουν οι κατάλληλες συγκρίσεις.

Τέλος, όσον αφορά το πλαστικό είχαμε και εδώ αρκετά μικρές τιμές για τις δυνάμεις, όπως δηλαδή και στα δύο παραπάνω υλικά. Αυτό συνέβαινε για το λόγο που αναφέραμε πιο πάνω. Επίσης ούτε εδώ βρέθηκαν αρκετά δεδομένα ώστε να γίνουν οι κατάλληλες συγκρίσεις.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε ότι, δεδομένων των δυσκολιών που αντιμετωπίστηκαν και κρίνοντας από τις περιορισμένες δυνατότητες υποστήριξης, το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό γιατί καταφέραμε να οδηγηθούμε σε συμπεράσματα που συμβαδίζουν με την πραγματικότητα αλλά και με τις αρχικές μας υποθέσεις.

Σαφέστατα, ανοίγεται δρόμος για πιο εκτεταμένη μελέτη και εφαρμογή των αναπτυσσόμενων δυνάμεων κατά την κατεργασία κοπής στις κατεργασίες αφαιρέσεως υλικού. Μέσα από την εφαρμογή τους η παραγωγικότητα των κατεργασιών έχει διαρκώς τάσεις ανάπτυξης αλλά και η ποιότητα των υλικών παρουσιάζει δυνατότητες βελτίωσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πέτρος Γ. Πετρόπουλος, "Μηχανουργική Τεχνολογία-Τεχνολογία κατεργασιών κοπής των μετάλλων", τόμος ΙΙ-1 Εκδόσεις Ζήση-Θεσσαλονίκη 1998
2. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο "Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών", Τομέας Τεχνολογίας των κατεργασιών, αρχείο πτυχιακών εργασιών
3. Λάζαρου Ε. Λαζαρίδη "Μηχανουργική Τεχνολογία", Έκδοση 1, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1997
4. Αθανάσιου Μάμαλη "Τεχνολογία Κατεργασιών των υλικών: Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά", Φοίβος, Αθήνα 2006
5. Άγγελου Μαρκόπουλου "Κατεργασία αποβολής υλικού και λείανση υψηλής ακρίβειας", Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2006
6. Δρ. Σωτήρη Ομήρου, Σημειώσεις "Μηχανολογικό Εργαστήριο 1", Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Τμήμα Μηχανολογίας, Σεπτέμβριος 2004
7. Δρ. Φρειδερίκου Μαυροθανάση, Σημειώσεις Θεωρίας "Μηχανολογικό Εργαστήριο 2", Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Τμήμα Μηχανολογίας, Σεπτέμβριος 2005
8. Καβαλλιεράτου Νικόλαου, Σημειώσεις "Μηχανολογικό Εργαστήριο 2", Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Τμήμα Μηχανολογίας, Σεπτέμβριος 2005
9. E. M. Trent, P. K. Wright, "Metal Cutting", Butterworth-Heineman
10. Dr. Sinan Badrawy, "Cutting Dynamics of High Speed Machining", WolfTracks Vol. 8, Issue 1 – 2001
11. [www.phywe-systeme.com](http://www.phywe-systeme.com)
12. [www.thirdwavesys.com](http://www.thirdwavesys.com)