

Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ
ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗΣ
ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ: ΜΗΤΡΟΒΓΕΝΗ ΙΩΑΝΝΑ
ΜΗΤΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην πτυχιακή εργασία μας υπό τον τίτλο <<Μηχανική κατεργασία εν ψυχρώ αφαίρεσης υλικού ανάλογα με το είδος της χρησιμοποιούμενης εργαλειομηχανής και του κοπτικού εργαλείου>> περιέχονται οι κατεργασίες κοπής, οι κατεργασίες διαμορφώσεως και οι εργαλειομηχανές κοπής. Περιγράφονται ακόμα, τα διάφορα εργαλεία, μέσα και όργανα μετρήσεως που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση και τον έλεγχο τους.

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί σήμερα μια πολύ μεγάλη ποικιλία τεχνικών κατασκευών απο τις πιο απλές μέχρι και τα πιο σπουδαία επιτεύγματα της σύγχρονης τεχνολογίας.

Η πολύ πλατιά χρήση των κατεργασιών κοπής στη βιομηχανική πράξη , τόσο των βασικών από αυτές (τόρνευση, τρυπάνισμα, πλάνισμα, φρεζάρισμα και λείανση και των ποικίλων παραλλαγών τους, αλλά και των υλικών κατεργασιών κοπή οδοντώσεων, σπειροτόμηση κλπ.), οφείλεται σε τούτο το βασικό τους πλεονέκτημα, αν τις συγκρίνουμε με τις λοιπές κατεργασίες και μεθόδους μορφοποίησεως μεταλλικών προϊόντων: παρέχουν γενικά ακρίβεια διαστάσεων και μορφής υψηλής στάθμης, όπως και καλή τραχύτητα επιφάνειας. Είναι δυνατό, με τις κατεργασίες αυτές, να επιτύχουμε την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και την καλύτερη δυνατή τραχύτητα επιφάνειας με παραγωγικό κόστος βεβαίως ανάλογα ψηλό.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αλματώδης πρόοδος σε πολλούς τομείς της τεχνολογίας, με αποτέλεσμα ν'αλλάζει ριζικά η οργάνωση της ζωής του ανθρώπου.

Η μεγάλη εξέλιξη των τεχνικών υλικών συντελέστηκε τα τελευταία διακόσια χρόνια.Ομως τις τελευταίες δεκαετίες η πρόοδος στον τομέα των υλικών υπήρξε θεαματική και τούτο γιατί οι απαιτήσεις των σύγχρονων κατασκευών και ιδιαίτερα σε νέους κλάδους έδωσαν ώθηση για τη βελτίωση των παλιών υλικών και την ανάπτυξη νέων.

Έτσι η παραγωγή υλικών καλής ποιότητας, οι νέες τεχνικές μέθοδοι και η χρήση νέων υλικών είχε σαν αποτέλεσμα και τη βελτίωση των διαφόρων κατασκευών, γιατί είναι γνωστό ότι ανάμεσα στους πολλούς παράγοντες που παίζουν ρόλο στην αντοχή, την αποδοτική λειτουργία και τη μακροζωία μιας κατασκευής σημαντικός παράγοντας είναι η χρησιμοποίηση του κατάλληλου υλικού, κοπτικών εργαλείων, και εργαλειομηχανής.

Η κάθε κατεργασία εκτίθεται κατά τρόπο απλό, ως προς την αρχή, στην οποία βασίζεται. Τα εργαλεία και μέσα που εξετάζονται είναι τα βασικότερα και πιο αναγκαία στην πράξη. Κάθε εργαλείο, αφού πρώτα περιγραφεί, μελετάται ως προς την ταξινόμηση, προτυποποίηση και τη χρήση τους.

Καταβλήθηκε προσπάθεια για την, όσο το δυνατόν, απλούστερη και ομοιόμορφη παρουσίαση των διαφόρων θεμάτων, να περιληφθούν σ'αυτο τα απαραίτητα σχήματα ή εικόνες. Επίσης, όπου ήταν δυνατό, παραθέσαμε και σχετικούς πίνακες προτυποποίησης.

Με την ελπίδα, ότι η πτυχιακή εργασία μας θα ανταποκριθεί στο σκοπό, για τον οποίο γράφτηκε, ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή μας για την συνεργασία κατά την συγγραφή της πτυχιακής μας, όσο και για την αρτιότερη εμφάνιση της.

Μητροβγένη Ιωάννα
Μητρογιάννης Αθανάσιος

ΔΟΜΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1. Εξώφυλλο	
2. Πρόλογος	σελ.1
3. Πίνακες περιεχομένων	σελ.4
4.Κεφάλαια	σελ.4
5. Βιβλιογραφία αναφοράς	σελ.319
6. Ευρετήριο κύριων ονομάτων.	σελ.320
7. Ευρετήριο όρων και αντικειμένων.	σελ.320
8. Ευρετήριο πινάκων.	σελ.322
9. Ευρετήριο σχημάτων.	σελ.325
10. Παράρτημα	σελ.330

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΟΠΗΣ

1.1.ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ, ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.

1.1.1 Μέθοδος παράγωγης μεταλλικών προϊόντων.	σελ.9
1.1.2.1 Ταξινόμηση των κατεργασιών κοπής των μετάλλων.	σελ.13
1.1.2.2 Κατάταξη κατεργασιών κοπής.	σελ.18
1.1.2.3 Κινηματική των κατεργασιών κοπής των μετάλλων.	σελ.26
1.1.2.4 Παράγοντες κοπής.	σελ.34
1.1.2.5 Συστήματα συντεταγμένων και επίπεδα αναφοράς.	σελ.34

1.2 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

1.2.1 Μηχανική της κοπής των μετάλλων.	σελ.40
1.2.1.1 Ο μηχανισμός της κοπής των μετάλλων.	σελ.40
A. Έννοιες και ορισμοί.	σελ.40
B. Μορφολογία και σχηματισμός απόβλητων.	σελ.43
Γ. Ο σχηματισμός των απόβλητων και πως επηρεάζεται η ταχύτητα κοπής και η γωνία αποβλήτου του εργαλείου.	σελ.50
1.2.1.2 Το σύστημα δυναμικής κοπής.	σελ.51
1.2.1.3 Η κινηματική της ορθογώνιας κοπής.	σελ.55
A. Ο συντελεστής συμπίεσης του αποβλήτου.	σελ.55
B. Οι ταχύτητες κατά την κοπή των μετάλλων.	σελ.55
1.2.1.4 Η γωνία διατμήσεως.	σελ.56
1.2.1.5 Η τριβή στην κοπή των μετάλλων.	σελ.59
1.2.2 Εκλυόμενη θερμότητα και αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες κατά την κοπή των μετάλλων.	σελ.61
1.2.3 Το κοπτικό εργαλείο.	σελ.65
1.2.3.1 Γενικές παρατηρήσεις.	σελ.65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΥΛΙΚΑ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΑ ΚΟΠΗΣ

2.1.Υλικά κοπτικών εργαλείων και υγρά κοπής.	σελ.68
2.1.1 Ανθρακούχοι και κεκραμένοι χάλυβες κοπτικών εργαλείων.	σελ.69
A. Ανθρακούχοι χάλυβες.	σελ.69
B.Κεκραμένοι χάλυβες.	σελ.69
2.1.2 Ταχυχάλυβες.	σελ.70
A. Γενικά.	σελ.70
B. Προτυποποίηση των ταχυχαλύβων.	σελ.71

Γ. Θερμικές κατεργασίες των ταχυχαλυβων.	σελ.72
Δ. Βιομηχανικές χρήσεις των ταχυχαλυβων.	σελ.73
2.1.3 Χυτευτά κράματα κοπτικών εργαλείων.	σελ.74
2.1.4 Τα σκληρομέταλλα(κεραμικά καρβιδίων) ως υλικό εργαλείων κοπής.	σελ.74
A. Γενική θεώρηση των σκληρομέταλλα.	σελ.74
B. Βιομηχανικές χρήσεις και προτυποποίηση των σκληρομετάλλων.	σελ.76
Γ. Μηχανουργικές εφαρμογές των σκληρομετάλλων.	σελ.77
Δ. Ιδιότητες των σκληρομετάλλων και σύγκριση τους με όμοιες άλλων υλικών για εργαλεία κοπής.	σελ.78
E. Τα σκληρομέταλλα ως εργαλεία κοπής.	σελ.80
2.1.5 Κεραμικά από πυρίμαχα οξειδία.	σελ.81
2.1.6 Υπέρσκληρα υλικά κοπτικών εργαλείων: Το διαμάντι και τα κυβικά βοριοιτριδία(CBN,Cubic,Boron Nitrides).	σελ.82
2.1.7 Λειαντικές ουσίες(σκόνες).	σελ.83
2.1.8 Κριτήρια εκλογής υλικών κοπτικών εργαλείων.	σελ.83
2.1.9 Επιφανειακή επεξεργασία κοπτικών εργαλείων.	σελ.84
A. Εργαλεία από ταχυχάλυβα.	σελ.85
B. Εργαλεία από σκληρομέταλλα.	σελ.85
2.2 Φθορά του εργαλείου κοπής.	σελ.86
2.2.1 Γενικά για τη φθορά του εργαλείου.	σελ.86
2.2.2 Μηχανισμοί φθοράς του εργαλείου.	σελ.89
2.2.3 Η ζώνη φθοράς και η φθορά κρατήρα.	σελ.91
A. Ζώνη φθοράς.	σελ.92
B. Φθορά κρατήρα.	σελ.92
Γ. Φθορά ταχυχαλύβων και σκληρομετάλλων.	σελ.93
1. Ταχυχάλυβες.	σελ.93
2. Σκληρομέταλλα.	σελ.94
2.3 Η ζωή του κοπτικού εργαλείου.	σελ.95
2.3.1 Τα κριτήρια αστοχίας των εργαλείων.	σελ.96
2.3.2 Η σχέση ζωής εργαλείων T και ταχύτητας κοπής u (T-u)- Η σχέση TAYLOR.	σελ.97
2.3.3 Παράγοντες κοπής που επηρεάζουν τη ζωή του εργαλείου.	σελ.99
2.4 Υγρά κοπής.	σελ.102
2.4.1 Γενικά για υγρά κοπής.	σελ.102
2.4.2 Οι δράσεις του υγρού κοπής.	σελ.104
2.4.3 Ειδή υγρών κοπής.	σελ.106
2.4.4 Βιομηχανικές χρήσεις των υγρών κοπής.	σελ.110
2.5 Η ποιότητα κατεργασμένων με κοπή επιφανειών.	σελ.112
2.5.1 Γενικά για μεταλλικές επιφάνειες.	σελ.112
2.5.2 Η τραχύτητα των επιφανειών.	σελ.114

2.5.3 Συσχέτιση τραχύτητας-ανοχών.	σελ.121
2.5.4 Επίδραση των παραγόντων της κοπής στην τραχύτητα της επιφάνειας.	σελ.123
2.5.5 Στατιστική ανάλυση της τραχύτητας κατεργασμένων με κοπή επιφανειών.	σελ.125
2.5.6 Χαρακτηριστικά της κατεργασμένης επιφάνειας.	σελ.126
2.6 Η κατεργασιμότητα των μετάλλων.	σελ.129
2.6.1 Εισαγωγική θεώρηση.	σελ.129
2.6.2 Κατεργασιμότητα κύριων μηχανουργικών μετάλλων και κραμάτων.	σελ.134

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΚΟΠΗΣ

3.1 Γενικά .	σελ.142
3.2 Ταξινόμηση εργαλειομηχανών κοπής.	σελ.144
3.2.1 Κατάταξη ως προς το είδος της κατεργασίας.	σελ.144
3.2.2 Κατάταξη ως προς το είδος της πρωτεύουσας κινήσεως.	σελ.148
3.2.3 Κατάταξη ως προς το βαθμό εξειδίκευσης.	σελ.149
3.2.4 Κατάταξη ανάλογα με την ακρίβεια κατεργασίας.	σελ.150
3.2.5 Κατάταξη ανάλογα με τη μορφή των κατεργασμένων επιφανειών.	σελ.151
3.2.6 Κατάταξη ως προς το βάρος τους.	σελ.151
3.2.7 Κατάταξη ανάλογα με το βαθμό αυτοματισμού.	σελ.152
3.3 Κατασκευαστικές απαιτήσεις των εργαλειομηχανών κοπής.	σελ.153
3.4 Η εξέλιξη των εργαλειομηχανών κοπής.	σελ.156
3.4.1 Παράγοντες εξελίξεως των εργαλειομηχανών κοπής.	σελ.156
3.4.2 Οι σύγχρονες γενικές τάσεις στη σχεδίαση και ανάπτυξη των εργαλειομηχανών κοπής.	σελ.161
3.5 Η επιλογή, προδιαγραφές και οι δοκιμασίες παραδοχής των εργαλειομηχανών κοπής.	σελ.165
3.5.1 Γενικά.	σελ.165
3.5.2 Επιλογή εργαλειομηχανών κοπής.	σελ.165
3.5.3 Κατάρτιση προδιαγραφών εργαλειομηχανών.	σελ.168

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΤΟΡΝΕΥΣΗ

4.1 Γενική θεώρηση της τορνεύσεως και των τórνων.	σελ.171
---	---------

4.1.1 Κινηματική και είδη торνεύσεως.	σελ.171
4.1.2 Ταξινόμηση, μορφολογία και προδιαγραφές τόνων.	σελ.174
4.2 Εργαλεία торνεύσεως.	σελ.175
4.2.1 Η γεωμετρία του τυπικού εργαλείου торνεύσεως (εργαλείο λοξής κοπής μιας κύριας κόψης).	σελ.176
4.2.1.1 Γενικά.	σελ.176
4.2.1.2 Οι προδιαγραφές του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης.	σελ.178
4.2.2 Μορφολογία εργαλείων торνεύσεως.	σελ.182
4.3 Η κυλινδρική κατά μήκος τόννευση.	σελ.186
4.3.1 Κινηματικά και αλλά χαρακτηριστικά μεγέθη. Στοιχεία του παραμόρφωτου αποβλήτου.	σελ.186
4.3.2 Προσδιορισμός των δυνάμεων και της ισχύος κοπής στη διαμήκη τόννευση.	σελ.189
4.3.2.1 Η εκτίμηση των δυνάμεων κοπής.	σελ.189
4.3.2.2 Προσδιορισμός της μηχανικής λοξής κοπής.	σελ.189
4.3.2.3 Οι βασικοί παράγοντες της κοπής των μετάλλων κατά τη διαμήκη τόννευση.	σελ.192
4.3.3 Φθορά και ζωή του κοπτικού εργαλείου στην κατά μήκος τόννευση.	σελ.202
4.3.3.1 Φθορά του εργαλείου.	σελ.203
4.3.3.2 Η ζωή του κοπτικού εργαλείου.	σελ.208
4.4 Κοπτικά εργαλεία торνεύσεως.	σελ.212
4.4.1 Πρόσδεση κοπτικών εργαλείων και τεμαχίων.	σελ.212
4.4.2 Εκλογή παραγόντων κοπής.	σελ.213
4.4.2.1 Εξωτερική κυλινδρική διαμήκης τόννευση.	σελ.213
4.4.2.2 Εσωτερική κυλινδρική διαμήκης τόννευση.	σελ.221
4.4.2.3 Επιλογή παραγόντων κοπής για κατεργασίες που εκτελούνται σε ημιαυτόματους και αυτόματους τόννους.	σελ.222

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

5.1 Διάτρηση και δράπανο.	σελ.226
5.1.1 Το άνοιγμα και η αποπεράτωση οπών.	σελ.226
5.1.2 Κινηματική και διάτρηση.	σελ.229
5.1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά δραπάνου.	σελ.230
5.1.3.1 Κινηματικά χαρακτηριστικά μεγέθη της διάτρησης. Στοιχεία αποβλήτου.	σελ.232
5.1.3.2 Το ελικοειδή τρυπάνι ως κοπτικό εργαλείο.	σελ.236
5.1.3.3 Φθορά και ζωή του τρυπανιού.	σελ.244
5.2 Γλύφανση.	σελ.250

5.2.1 Γενική θεώρηση της γλυφάνσεως.	σελ.250
5.2.1.1 Δυναμικότητα της κατεργασίας.	σελ.250
5.2.1.2 Το γλύφανο.	σελ.254
5.2.1.3 Δυνάμεις κοπής και ισχύς κοπής.	σελ.259
5.2.1.4 Εκλογή συνθηκών κατεργασίας.	σελ.260
5.2.1.5 Χρόνος κοπής.	σελ.261

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ

6.1 Εισαγωγικά στοιχεία του φρεζαρίσματος και των φρεζομηχανών.	σελ.262
6.1.1 Κινηματική και ειδή φρεζαρίσματος.	σελ.262
6.1.2 Διάκριση ,μορφολογία και τεχνικά χαρακτηριστικά φρεζομηχανών.	σελ.267
6.2.1 Το μετωπικό φρεζάρισμα.	σελ.268
6.2.1.1 Στοιχεία μετωπικού φρεζαρίσματος.	σελ.268
6.2.1.2 Ο κοπτήρας του μετωπικού φρεζαρίσματος.	σελ.272
6.2.2 Το περιφερειακό φρεζάρισμα.	σελ.279
6.2.2.1 Στοιχεία περιφερειακού φρεζαρίσματος.	σελ.279
6.2.2.2 Ο κοπτήρας του περιφερειακού φρεζαρίσματος.	σελ.285
6.2.3 Φθορά και ζωή του κοπτήρα.	σελ.287
6.2.3.1 Μετωπικό φρεζάρισμα.	σελ.287
6.2.3.2 Περιφερειακό φρεζάρισμα.	σελ.292
6.2.4 Επιφάνειες κατεργασμένων κομματιών με φρεζάρισμα.	σελ.299

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΠΛΑΝΙΣΜΑ

7.1 Πλάνισμα.	σελ.302
7.1.1 Κινηματική και ειδή πλανίσματος.	σελ.302
7.2.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία πλανίσματος.	σελ.305
7.2.2 Κοπτικά εργαλεία πλανίσματος-Φθορά και ζωή των εργαλείων.	σελ.310
7.2.3 Επιφάνεια υλικού μετά την κοπή.	σελ.312
7.3 Εκτέλεση του πλανίσματος.	σελ.312
7.3.1 Κοπτικό εργαλείο πλάνης.	σελ.312
7.3.2 Κινηματική διαδικασία πλανίσματος.	σελ.314
7.3.3 Χρόνος κοπής.	σελ.315
7.3.4 Εκλογή παραγόντων της κοπής κατά το πλάνισμα.	σελ.317

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΟΠΗΣ

1.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ, ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.

1.1.1. Γενική θεώρηση των μεθόδων παραγωγής μεταλλικών προϊόντων.

Τα ποικίλα μεταλλικά προϊόντα, τα καλούμενα **μηχανουργικά προϊόντα** (τεμάχια, συγκροτήματα, μηχανές, συσκευές, διατάξεις κ.ά.) παράγονται με κάποια από τις *μεθόδους βιομηχανικής παραγωγής* (Πίνακας 1.1) ή και με συνδυασμούς τους, με τη βοήθεια πάντοτε των εκάστοτε αναγκαίων μέσων παραγωγής, όπως είναι κυρίως οι πάσης φύσεως εργαλείο μηχανές και εργαλεία, της απαραίτητης τεχνολογικής, οργανωτικής και διοικητικής υποστηρίξεως και με κατανάλωση του κατά περίπτωση κατεργασίας απαιτούμενου ποσού ενέργειας. Στις μεθόδους αυτές παραγωγής συγκαταλέγονται οι λεγόμενες **μηχανικές κατεργασίες των μετάλλων** (όπως αυτές θα ορισθούν παρακάτω), καθώς επίσης και άλλες μέθοδοι μορφοποιήσεως ή ακόμη και ορισμένες διεργασίες, που όλες αυτές ταξινομημένες κατά κύριες ομάδες φαίνονται στον Πίνακα 1.1. σύμφωνα με την προδιαγραφή DIN 8580. Οι κύριες ομάδες ταξινόμησης υποδιαιρούνται περαιτέρω σε ομάδες και υποομάδες όπως καθορίζει το αντίστοιχο κατά περίπτωση φύλο DIN ή άλλης προτυποποίησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1. Μέθοδοι βιομηχανικής παραγωγής μεταλλικών προϊόντων κατά DIN 8580.

Όνομασία μεθόδου παραγωγής	Προδιαγραφή DIN
Χύτευση.	8593
Κατεργασίες διαμορφώσεως.	8582
Κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου.	8588
Εργασίες συνδέσεως μεταλλικών εξαρτημάτων συγκολλήσεις, κοχλιοσυνδέσεις, ηλώσεις κ.ά.	8593
Διεργασίες επικάλυψης.	
Διεργασίες αλλαγής ιδιοτήτων του μετάλλου. _	

Θεωρούμε σκόπιμο να δώσουμε εδώ τον ορισμό της **βιομηχανικής παραγωγής μεταλλικών προϊόντων**. Και τούτο, γιατί με αυτή άμεσα σχετίζονται οι μηχανικές κατεργασίες των μετάλλων, που όπως θα διαπιστώσουμε στα επόμενα, αποτελούν θεμελιώδεις μεθόδους μορφοποίησης μεταλλικών προϊόντων. Έτσι, με τον όρο βιομηχανική παραγωγή εννοούμε την αλληλουχία λειτουργιών (οι λειτουργίες αυτές είναι δυνατό να είναι **φάσεις κατεργασιών και ειδικές εργασίες**, όπως π.χ. βαφή, αποσκωρίωση, επικάλυψης κ.ά.), που στοχεύουν στην κατασκευή **τεμαχίων (Τμ) ή κομματιών (Κμ)** και στη μετέπειτα **συναρμολόγηση** τους σε **έτοιμα προϊόντα**, για πώληση και χρησιμοποίηση, με τη βοήθεια των αναγκαίων κατά περίπτωση μεθόδων παραγωγής (Πίνακας 1.1) έτσι, ώστε σε όλα τα στάδια της παραγωγής να καλύπτονται οι απαιτήσεις των σχετικών προδιαγραφών που απαραίτητως θα πρέπει να προκαθορίζονται με πληρότητα και σαφήνεια, με το **χαμηλότερο δυνατό κόστος παραγωγής**, θα ήταν παράλειψη, αν στις συνιστώσες αυτές της βιομηχανικής παραγωγής δεν συμπεριλαμβάνονταν και ο συναφής έλεγχος ποιότητας (εξασφαλίζεται με την επιτυχή εφαρμογή του η ποιότητα της παραγωγής) τόσο των τεμαχίων σε καθορισμένες κρίσιμες φάσεις κατεργασίας τους, όσο και του τελικού προϊόντος, αλλά και των πρώτων υλών ή εξαρτημάτων (κομματιών), που εισρέουν στην παραγωγική διαδικασία από προμήθειες. Ακόμη, η οργάνωση και εκτέλεση της βιομηχανικής παραγωγής ενός προϊόντος θα πρέπει εν γένει να είναι τέτοια, ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος της μονάδος παραγωγής, μέσα βεβαίως στα όρια αποδεκτής στάθμης ποιότητας.

Συνηθίζεται, η βιομηχανική παραγωγή μεταλλικών προϊόντων με τη βοήθεια των μεθόδων του Πίνακα 1.1, με εξαίρεση τη χύτευση (μόνον όμως αυτή και όχι παραπέρα κατεργασίες μορφοποίησεως των χυτών), να αποκαλείται **μηχανουργική παραγωγή** και η αντίστοιχη βιομηχανία **μηχανουργική βιομηχανία**.

Οι μηχανουργικές κατεργασίες των μετάλλων, που συνιστούν σχεδόν στο σύνολο της τη μηχανουργική παραγωγή, της προσδίδουν χαρακτήρα **καθέτου βιομηχανίας** καλύπτουσες ευρύ φάσμα κατεργασιών από μορφοποίηση π.χ. πλινθωμάτων χάλυβα (προερχόμενων από καμίνους παρασκευής χάλυβα), πρώτης δηλαδή ύλης, μέχρι την παραγωγή ποικίλων τεμαχίων (μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους) και τη συναρμολόγηση τους σε έτοιμα προϊόντα για πώληση και χρησιμοποίηση.

Από τις κύριες ομάδες ταξινόμησης των μεθόδων παραγωγής μεταλλικών προϊόντων του Πίνακα 1.1 θα μας απασχολήσουν ευθύς αμέσως στα επόμενα οι εξής κύριες ομάδες:

Οι κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου (κύρια ομάδα 3) και οι κατεργασίες διαμορφώσεως (κύρια ομάδα 2).

Και τις δύο αυτές ομάδες μαζί θα τις ονομάσουμε μηχανικές κατεργασίες μορφοποίησεως των μετάλλων ή κατεργασίες πλαστικής μορφοποίησεως των μετάλλων ή μηχανουργικές κατεργασίες για λόγους που θα φανούν πιο κάτω. Οι κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου ομαδοποιούνται στις κατεργασίες κοπής και στις λεγόμενες μη συμβατικές κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου. Στις τελευταίες η αφαίρεση του μετάλλου δεν λαμβάνει χώρα μηχανικώς με πλαστική παραμόρφωση, αλλά θερμικός, ηλεκτρικώς, χημικώς ή κατ' άλλο τρόπο. Παρόλο τούτο, έχει επικρατήσει η συνήθεια να περιλαμβάνονται και αυτές στην κατηγορία των μηχανικών κατεργασιών των μετάλλων.

Με τις κατεργασίες κοπής, ως μεθόδου παραγωγής μεταλλικών προϊόντων, **αφαιρείται** προοδευτικά προκαθορισμένος κατά στρώσεις όγκος μετάλλου με τη βοήθεια εργαλείου σε σχήμα σφήνας, με **πλαστική παραμόρφωση** του κατεργαζόμενου τεμαχίου υπό μορφή **αποβλήτων** (γρεζιών) σε μέγεθος και σχήμα που ποικίλλουν κατά περίπτωση κατεργασίας. Έτσι, με τις κατεργασίες κοπής προσδίδουμε στο κατεργαζόμενο τεμάχιο την επιθυμητή (προδιαγεγραμμένη) μορφή και διαστάσεις μέσα σε επιτρεπόμενα όρια ανοχών και ακόμη την απαραίτητη ποιότητα των τεχνολογικών επιφανειών του τεμαχίου, ώστε αυτό να μπορέσει να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στις λειτουργικές απαιτήσεις κατά τη χρήση του, για την οποία και προορίζεται.

Η κοπή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του κατάλληλου εκάστοτε **κοπτικού εργαλείου** (απλούστερα **εργαλείου ή κοπτικού**), οπωσδήποτε αρκετά σκληρότερου από το υλικό που κατεργαζόμαστε και της συναφούς **εργαλειομηχανής**, που προσδίδει την απαιτούμενη για την κοπή ισχύ και εκτελεί τις αναγκαίες για την μορφοποίηση του κομματιού κινήσεις τόσο του κομματιού, όσο και του εργαλείου.

Οι **μη συμβατικές (μη καθιερωμένες) κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου** έχουν ως κοινό γνώρισμα με τις κατεργασίες κοπής το ότι και με τις πρώτες, για να μορφοποιηθεί το τεμάχιο, αφαιρείται από αυτό το μέταλλο που πλεονάζει. Όμως, το αποβαλλόμενο μέταλλο δεν έχει τη μορφή αποβλήτου ούτε και σχηματίζεται με τον ίδιο μηχανισμό (υψηλού βαθμού πλαστική παραμόρφωση), αλλά παρουσιάζεται υπό μορφή ποικίλων τελικά σχημάτων, όπως σφαιριδίων, ακανόνιστων τεμαχίων κ.ά. Ακόμη, η προσδιδόμενη, για να λάβει χώρα μία μη συμβατική κατεργασία αφαιρέσεως μετάλλου ενέργεια, δεν είναι εν γένει μηχανική, όπως συμβαίνει στις κατεργασίες κοπής, αλλά θερμική, χημική, ηλεκτροχημική ή κάποιας άλλης μορφής. Υπάρχει επιπλέον και η δυνατότητα συνδυασμού μη συμβατικών κατεργασιών αφαιρέσεως μετάλλου με κατεργασίες κοπής. Πολλές τέτοιες κατεργασίες έχουν αναπτυχθεί εν γένει, πλην όμως ένας μικρός αριθμός από αυτές, όπως λ.χ. η αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα (EDM), η ηλεκτροχημική λείανση (ECG) και η αφαίρεση μετάλλου με υπερήχους (USM) έχουν αναπτυχθεί σε υψηλό βαθμό από αρκετών ετών και έχουν τύχει ευρείας και επιτυχούς εφαρμογής στη μηχανουργική πράξη. Άλλες από τις κατεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται ήδη, αλλά σε περιορισμένη έκταση και για πολύ ειδικές κατεργασίες, ενώ οι υπόλοιπες ευρίσκονται ακόμη σε στάδια θεωρητικής και πειραματικής μελέτης και εξελίξεως.

Στις κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου, μόνο μία στρώση υλικού της κατεργασμένης επιφάνειας σε μικρό ή σε μεγαλύτερο βάθος, ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίες, υφίσταται πλαστική παραμόρφωση και αλλαγές ή και μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική του δομή, άρα και σε ορισμένες ιδιότητες του, σε πλήρη αντίθεση με τις κατεργασίες διαμορφώσεως, όπου τέτοιες μεταβολές πραγματοποιούνται στην όλη μάζα του κομματιού ή σε σημαντικό μέρος του. Η κατ' αυτό τον τρόπο διαμορφωμένη επιφανειακή στιβάδα των κατεργασμένων επιφανειών ενός κομματιού, είναι φανερό, ότι θα έχει οπωσδήποτε λειτουργικές επιπτώσεις, όπως και επιπτώσεις σε

τυχόν παραπέρα κατεργασία του.

Με τις **κατεργασίες διαμορφώσεως** αλλάζει η μορφή στερεών (συμπαγών) μεταλλικών τεμαχίων με τη βοήθεια κατάλληλων προς τούτο εργαλείων (των **εργαλείων διαμορφώσεως**) και με εφαρμογή των αναγκαίων φορτίων (η απαιτούμενη ενέργεια διαμορφώσεως προσδίδεται από την αντίστοιχη εργαλείο μηχανή). Η μορφοποίηση των κομματιών επιτυγχάνεται μέσω **μηχανισμών πλαστικής παραμορφώσεως** χωρίς πρακτικώς αφαίρεση μετάλλου και χωρίς να παρατηρούνται φαινόμενα αστάθειας της κατεργασίας (όπως π.χ. εκλεππύνσεις), ρωγμές ή θραύση. Οι κατεργασίες διαμορφώσεως μπορούν κατά περίπτωση να εκτελεσθούν στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (*διαμόρφωση εν ψυχρώ*), σε θερμοκρασία ανώτερη από τη θερμοκρασία ανακρυσταλλώσεως του μετάλλου του κομματιού (*διαμόρφωση εν θερμό*) ή και σε ενδιάμεση θερμοκρασία, οπωσδήποτε όμως αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη του περιβάλλοντος (*ημίθερμη διαμόρφωση*). Στις κατεργασίες διαμορφώσεως συνήθως δεν λαμβάνει χώρα γένεση (με συνδυασμό κινήσεων) της επιθυμητής μορφής του τεμαχίου, πράγμα που συμβαίνει στις κατεργασίες κοπής. Το διαμορφωμένο τεμάχιο θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των προδιαγραφών σε ότι αφορά την ακρίβεια μορφής και διαστάσεων, όπως επίσης και την ποιότητα επιφάνειας (τραχύτητα, κρυσταλλοδομή και μηχανικές ιδιότητες της επιφανειακής στιβάδας, παραμένουσες τάσεις.

Θεωρούμε σκόπιμο να τονίσουμε στο σημείο αυτό, ότι στις κατεργασίες διαμορφώσεως συντελείται κατά κανόνα πλαστική παραμόρφωση, όπως έχουμε προαναφέρει, ομοιογενής ή ανομοιογενής, σε όλη τη μάζα του διαμορφούμενου μετάλλου (καθολικώς) ή και μερικώς, με συνέπεια αλλαγές εν γέννη στην κρυσταλλική του δομή, άρα και στις μηχανικές του ιδιαίτερα ιδιότητες.

1.1.2. Ταξινόμηση των κατεργασιών κοπής των μετάλλων

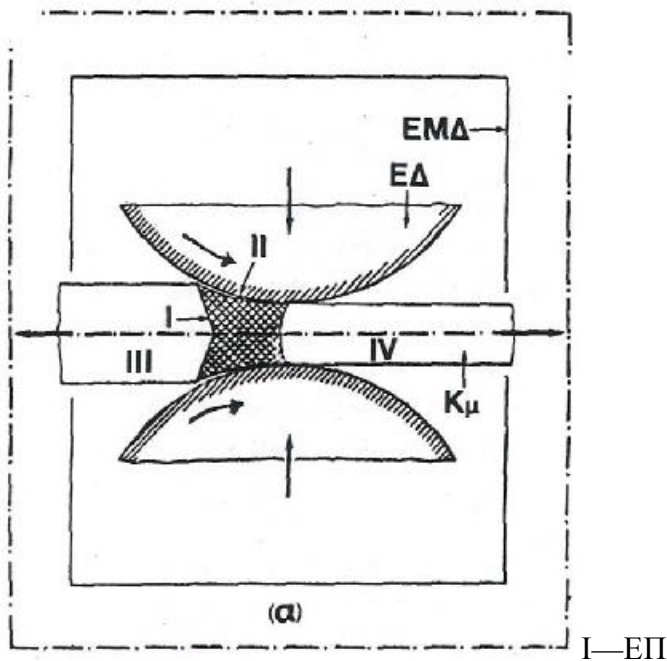
1.1.2.1. Οι μηχανικές κατεργασίες των μετάλλων (μηχανουργικές κατεργασίες) ως σύστημα.

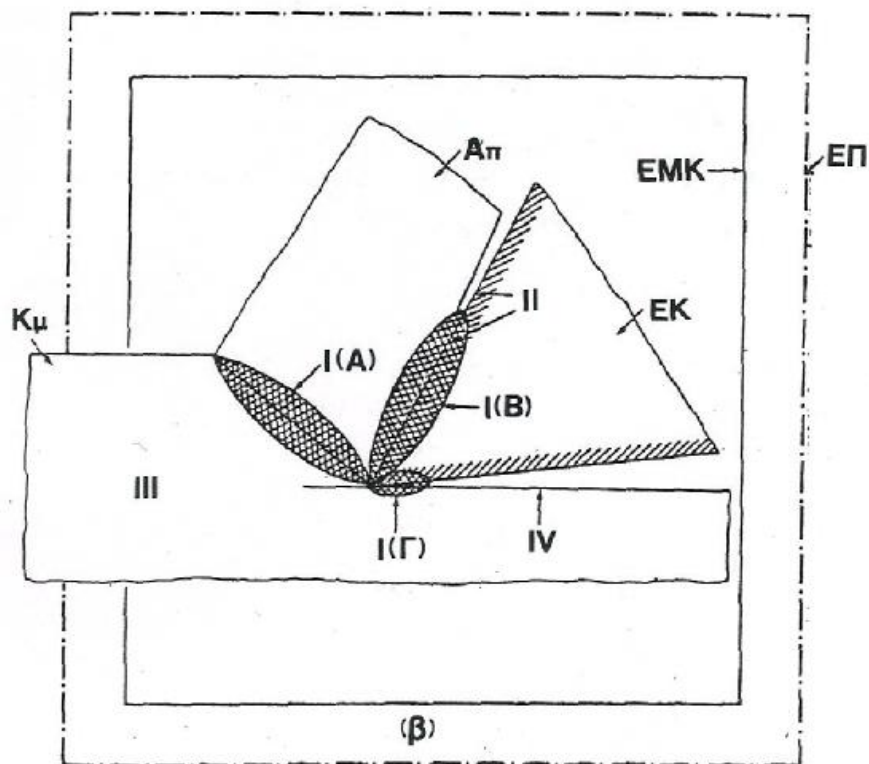
Στην προηγούμενη παράγραφο συμπεριλάβαμε στις μηχανικές κατεργασίες ή μηχανουργικές κατεργασίες μορφοποιήσεως των μετάλλων τις κατεργασίες διαμορφώσεως και τις κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου. δηλαδή τις

κατεργασίες κοπής μαζί με τις μη συμβατικές κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου, δηλαδή τις κατεργασίες κοπής μαζί με τις μη συμβατικές κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου.

Οι κατεργασίες διαμορφώσεως, όπως και οι κατεργασίες κοπής, θεωρούμενες ως σύστημα (δηλαδή ως συνδυασμός διαφόρων μονάδων ή χαρακτηριστικών συνιστωσών κατά τρόπο, ώστε αυτές να απαρτίζουν ένα οργανικό σύνολο που, λειτουργώντας αρμονικά, να οδηγεί στην επίτευξη κάποιου επιδιωκόμενου σκοπού ή αποτελέσματος) εμφανίζονται στα γενικευμένα υποδείγματα των σχημάτων 1.1α και 1.1β, αντιστοίχως.

Και τα δύο αυτά πρότυπα ουσιαστικώς έχουν κοινά όλα τους σχεδόν τα χαρακτηριστικά, παρά τη μεγάλη ποικιλία κατεργασιών της μηχανουργικής πράξεως, με ελάχιστες διαφορές τις οποίες θα επισημάνομε στο τέλος της παραγράφου 1.1.2.2, όπου θα επιχειρήσουμε μία κριτική σύγκριση ανάμεσα





Σχ. 1.1. Κατεργασία και εργαλειομηχανή ως σύστημα,
α) Διαμόρφωση, β) Κοπή

στις κατεργασίες διαμορφώσεως και στις κατεργασίες κοπής. Έτσι, οι κύριες συγκροτούσες μονάδες του κοινού πλέον συστήματος των μηχανικών κατεργασιών μορφοποίησης των μετάλλων είναι το τεμάχιο ή κομμάτι (Τμ) ή (Κμ) και το εργαλείο (Ε) μαζί με τις αντίστοιχες συσκευές ή διατάξεις συγκρατήσεως τους και την περιβάλλουσα αυτά ατμόσφαιρα, η εργαλειομηχανή (ΕΜ) και η κατεργασία (Κ). Κατά συνέπεια, μπορούμε το σύστημα αυτό να το παραστήσουμε με το συμβολισμό (Κ-Ε-Τμ-Ε), οποίο και θα ονομάσουμε *σύστημα Κατεργασίας-Εργαλειομηχανής*.

Το σύστημα αυτό μπορεί να αναφέρεται σε *διαμόρφωση* ή σε *κοπή* των μετάλλων.

Άλλα χαρακτηριστικά του υπόψη συστήματος, για πλήρη μελέτη του είναι τα ακόλουθα:

- Η ζώνη πλαστικής παραμορφώσεως ή πλαστικής ροής (I) [ή οι ζώνες I(A), I(B) και I(Γ) στις κατεργασίες κοπής].
- Οι συνθήκες, που επικρατούν στις επιφάνειες επαφής εργαλείου -κομματιού (II) στις κατεργασίες διαμορφώσεως ή εργαλείου- αποβλήτου ή εργαλείου- κομματιού στις κατεργασίες κοπής, δηλαδή οι *τριδολογικές λεγόμενες συνθήκες*.
- Οι ιδιότητες και χαρακτηριστικά του αρχικού ανέπταφου υλικού του κομματιού προ της κατεργασίας, όπως και εκείνες κάτω από τις συνθήκες κατεργασίας (III).

- Οι ιδιότητες και χαρακτηριστικά του κατεργασμένου κομματιού (IV) σε όλη του τη μάζα στις κατεργασίες διαμορφώσεως (ή μερικώς σε ορισμένες) και σε επιφανειακό στρώμα της κατεργασμένης επιφάνειας στις κατεργασίες κοπής.
- Ο χώρος (το περιβάλλον) και ο εξοπλισμός (πλην εργαλειομηχανών, εργαλείων και συναφών συσκευών και διατάξεων) του μηχανουργείου ή του εργοστασίου - μηχανουργείου, όπου εκτελείται η κατεργασία και οι διάφορες δραστηριότητες σχεδιασμού και ελέγχου της μηχανουργικής παραγωγής, όπως και οι ποικίλες υπηρεσίες υποστηρίξεως.

Πριν προχωρήσουμε, σε περιορισμένο έστω σχολιασμό των αναφερθέντων χαρακτηριστικών του συστήματος των μηχανικών κατεργασιών μορφοποίησης των μετάλλων, κρίνουμε αναγκαίο να δώσουμε εδώ μερικούς απαραίτητους ορισμούς:

Ακατέργαστο κομμάτι ή τεμάχιο: Στη γενική του έννοια είναι ένας όγκος μετάλλου ή κράματος (ένα σώμα) με καθορισμένη κατά περίπτωση μορφή και διαστάσεις, που μορφοποιείται σύμφωνα με προκαθορισμένες προδιαγραφές (που αναφέρονται στη μορφή και στις διαστάσεις, όπως και στην ακρίβεια επιτεύξεως τους και ακόμα στην ποιότητα των κατεργασμένων επιφανειών του), σε επιθυμητό **κατεργασμένο κομμάτι ή τεμάχιο** με τη βοήθεια επιλεγόμενων εκάστοτε κατάλληλων μηχανικών κατεργασιών και με την εφαρμογή αποτελεσματικού ποιοτικού ελέγχου.

Στην ευρεία του σημασία ως **εργαλείο (κοπτικό εργαλείο ή εργαλείο διαμορφώσεως)** μπορεί να ορισθεί κάθε μέσον ή όργανο, που έρχεται σε άμεση επαφή με το κομμάτι κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, με σκοπό την επιβολή σε αυτό (στο κομμάτι) δυνάμεων και τον έλεγχο της ροής του υλικού του κομματιού και όλα αυτά για την επίτευξη προδιαγεγραμμένης μορφοποίησης του κομματιού.

Η εργαλειομηχανή (κοπής ή διαμορφώσεως), με τη βοήθεια της οποίας πραγματοποιείται η μορφοποίηση ενός ακατέργαστου τεμαχίου, εκτελεί εν γένει τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες:

- α) Παρέχει την αναγκαία για την εκάστοτε συγκεκριμένη κατεργασία ισχύ, συνήθως με τη βοήθεια ενός ή και περισσότερων επιλεγμένων ηλεκτροκινητήρων.
- β) Διαθέτει μέσα για τη στερεά και ασφαλή συγκράτηση τόσο του εργαλείου, όσο και του κομματιού και εξασφαλίζει τη σωστή αρχική σχετική μεταξύ τους θέση.
- γ) Εκτελεί και ελέγχει τις απαραίτητες για την κατεργασία βασικές κινήσεις έτσι, ώστε

να διατηρείται η ορθή σχετική θέση του εργαλείου και του κομματιού καθ' όλη τη διάρκεια της κατεργασίας.

δ) Επιτυγχάνει προκαθορισμένη, μέσα σε ορισμένα όρια, διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής στο κομμάτι μαζί με τον απαιτούμενο βαθμό τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών του (σε συνάφεια πάντοτε με την κατεργασία) και όλα αυτά σταθερά στο χρόνο και ανεξάρτητα, κατά το δυνατό, από τη δεξιότητα του τεχνίτη.

ε) Πρέπει, τέλος, να είναι συναγωνιστική λειτουργικά, παρουσιάζουσα υψηλό βαθμό αξιοπιστίας και οικονομικής αποδόσεως.

Κάθε κατεργασία εκτελείται σε ειδικά γι' αυτή σχεδιασμένη και συγκροτημένη εργαλειομηχανή. Και για να ανταποκριθεί μια εργαλειομηχανή στις παραπάνω βασικές της λειτουργίες, αποτελείται από τα **δομικά της στοιχεία** (βάση, ορθοστάτης ή κορμός κ.ά.), όπως και από τα λειτουργικά στοιχεία που συνδέονται με τα δομικά (άτρακτος, έδρανα, ολισθητήρες κ.λπ.), από τα **στοιχεία μεταδόσεως κινήσεως**, από τα **ποικίλα εξαρτήματα, συσκευές και διατάξεις για την πρόσδεση των εργαλείων και των κομματιών**, καθώς και από τα **στοιχεία ελέγχου** των διαφόρων λειτουργιών της εργαλειομηχανής και τα **στοιχεία προστασίας** από βλάβες και ατυχήματα.

Και μετά τον ορισμό του *τεμαχίου, εργαλείου* και της *εργαλειομηχανής*, που έχουμε δώσει, ας επανέλθουμε στα χαρακτηριστικά του συστήματος των μηχανικών κατεργασιών μορφοποίησεως των μετάλλων.

Αναφορικά προς το ακατέργαστο και κατεργασμένο τεμάχιο, πέρα από τα γεωμετρικά του στοιχεία, μας ενδιαφέρουν αντίστοιχα και οι ιδιότητες του υλικού του προ της κατεργασίας και μετά την κατεργασία, όπως επίσης και κάτω από τις συνθήκες παραμορφώσεως του στη ζώνη (πλαστικής) ροής. Οι προ της κατεργασίας ιδιότητες του υλικού του κομματιού, που επηρεάζουν την πλαστική του συμπεριφορά είναι κατά κύριο λόγο οι ακόλουθες:

α) Οι **μεταλλογνωσιακές ιδιότητες**: Κρυσταλλοδομή, φάσεις, βαθμός ομοιογένειας, ξένες προσμίξεις, κατακρημνίσματα, μέγεθος κόκκων κ.ά.

β) Οι **μηχανικές ιδιότητες**: Στιγμαίο όριο διαρροής (το όριο διαρροής που αντιστοιχεί σε δοσμένη παραμόρφωση, όπως αυτό δίνεται από την καμπύλη πραγματικών τάσεων - πραγματικών παραμορφώσεων του υλικού), μέγιστη αντοχή, παραμόρφωση θραύσεως, σκληρότητα, δυσθραυστότητα, συμπεριφορά σε ερπυσμό, τυχόν κράτυνση μετάλλου λόγω πλαστικής παραμορφώσεως, κ.λπ.

γ) Ορισμένες φυσικές και χημικές του ιδιότητες.

Σε ότι αφορά την τιμή και κατευθυντικότητά τους, όπως είναι γνωστό, οι μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων εξαρτώνται στενά από τις μεταλλογνωσιακές τους ιδιότητες.

Το κατεργασμένο υλικό διακρίνεται από τα αυτά χαρακτηριστικά στοιχεία, όπως και το ακατέργαστο, με τη διαφορά ότι **μετά την κατεργασία επισυμβαίνουν μεταλλογνωσιακές αλλαγές στο υλικό** (μέγεθος κόκκων, ανισοτροπία, κράτυνση) **με συνακόλουθες μεταβολές στις μηχανικές του ιδιότητες** (σε όλη τη μάζα του κομματιού συνήθως στις κατεργασίες διαμορφώσεως και στο απόβλητο και σε επιφανειακή στιβάδα του κατεργασμένου κομματιού στις κατεργασίες κοπής). Οι αλλαγές αυτές στα χαρακτηριστικά του κατεργασμένου υλικού αποτελούν συνέπεια των συνθηκών, που επικρατούν στη ζώνη παραμορφώσεως, όπως θα ιδούμε ευθύς αμέσως.

Κατά βάση, τα απαιτούμενα φορτία για την εκτέλεση κάποιας συγκεκριμένης κατεργασίας διαμορφώσεως ή κοπής, όπως και το αναπτυσσόμενο τασικό πεδίο έχουν στενή σχέση με την καμπύλη πραγματικών τάσεων - πραγματικών παραμορφώσεων, με το μέγεθος της παραμορφώσεως, με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία και με την ταχύτητα παραμορφώσεως. Ακόμη, η κατανομή των τάσεων στη ζώνη πλαστικής παραμορφώσεως του μετάλλου και με τη σειρά της η κατανομή των παραμορφώσεων εξαρτώνται τόσο από τις τριβολογικές συνθήκες (ή τριβολογικά γνωρίσματα: τριβή, φθορά, λίπανση) που επικρατούν στη διεπιφάνεια εργαλείου – τεμαχίου ή εργαλείου - αποβλήτου, όσο και από την τραχύτητα επιφάνειας του ακατέργαστου κομματιού στις κατεργασίες διαμορφώσεως ή της προς το εργαλείο πλευράς του αποβλήτου και της νεοκατεργασμένης επιφάνειας του κομματιού στις κατεργασίες κοπής. Επί πλέον, τα τριβολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται και από την επικρατούσα θερμοκρασία στη θεωρούμενη ζώνη και από την ταχύτητα παραμορφώσεως. Τέλος η κατανομή των τάσεων στη ζώνη παραμορφώσεως επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του κατεργαζόμενου υλικού, όπως επίσης και από το είδος της κατεργασίας.

1.1.2.2. Κατάταξη των κατεργασιών κοπής.

Στην παράγραφο 1.1.1. ομαδοποιήσαμε τις **κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου** (κύρια ομάδα 3), σε **κατεργασίες κοπής** και σε **μη συμβατικές κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου** και δώσαμε τον ορισμό των τελευταίων. Οι κατεργασίες κοπής ταξινομούνται βάσει ορισμένων κριτηρίων, στα οποία θα αναφερθούμε ευθύς αμέσως. Προς το σκοπό αυτό τίθεται ως κριτήριο η **μορφή του κοπτικού εργαλείου**, η οποία

είναι δυνατό να είναι **γεωμετρικώς καθορισμένη**, όπως επί παραδείγματι είναι το τυπικό εργαλείο торνεύσεως, το τρύπανο, η φρέζα, ο κοπτήρας περιφερικού φρεζαρίσματος κυλίσεως για κοπή οδοντώσεων και άλλα ή **γεωμετρικώς ακαθόριστη**, πράγμα που συμβαίνει στο λειαντικό τροχό. Ακόμη, το εργαλείο με γεωμετρικώς καθορισμένη μορφή μπορεί να έχει μία και μόνο κύρια κόψη (π.χ. το εργαλείο торνεύσεως) ή και περισσότερες .(λ.χ. το τρυπάνι ή η φρέζα).

Ούτω στον Πίνακα 1.2 γίνεται μία γενική κατάταξη των κατεργασιών κοπής με παράθεση των πιο αντιπροσωπευτικών από αυτές.

Οι κατεργασίες κοπής κατατάσσονται περαιτέρω με βάση και άλλα συχνά χρησιμοποιούμενα κριτήρια, εκτός από το κριτήριο της μορφής του κοπτικού εργαλείου, που μόλις αναφέραμε. Έτσι:

α) Στον Πίνακα 1.3 παραθέτουμε ομαδοποιημένες τις κυριότερες από τις κατηγορίες κοπής με κριτήριο τις δυνατότητες τους να παράγουν διάφορα είδη επιφανειών [δηλαδή επιπέδων, κυλινδρικών (εξωτερικών και εσωτερικών), επιφανειών ειδικής μορφής κ.ά.].

β) Αναφορικά προς τον βαθμό μηχανοποίησης και αυτοματοποίησης, διακρίνομε κατεργασίες κοπής: εκτελούμενες με εργαλεία χεριού (λιμάρισμα, κοπιδίασμα, πριόνισμα κ.λπ.), εκτελούμενες με το χέρι αλλά με μηχανοποιημένα εργαλεία κινούμενα ηλεκτρικώς ή πνευματικώς (π.χ. διάτρηση με φορητό δρόπανο), κατεργασίες που πραγματοποιούνται σε εργαλειομηχανές ελεγχόμενες από τον τεχνίτη ή ελεγχόμενες αυτόματα ή ημιαυτόματα, όπως τέλος και κατεργασίες οι οποίες συντελούνται στις σύγχρονες εργαλειομηχανές, απλές ή σύνθετες με ψηφιακό έλεγχο.

γ) Ανάλογα με το είδος της κινήσεως του κομματιού και του εργαλείου (περιστροφικής ή μεταφορικής ή και την μη ύπαρξη κινήσεως του ενός από αυτά), όπως και της μορφής του τελευταίου, μπορούμε να λάβομε την ανα-φερόμενη στον Πίνακα 1.4 ποικιλία δυνατών μεθόδων κατεργασιών κοπής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Ταξινόμηση των κατεργασιών κοπής.

Κύρια ομάδα DIN 8550	Ονομασία ομάδων	Ονομασία υποομάδων	Ονομασία βασικών κατεργασιών αφαιρέσεως μετάλλου κάθε υπομάζας	Παρατηρήσεις
3. Κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου	3.1. Κατεργασίες κοπής	3.1.1.1. Τόρευση		Οι κατεργασίες 3.1. 1.1. ως 3.1. 1.6. μπορούν να χαρακτηρισθούν ως βασικές κατεργασίες κοπής, ενώ οι 3.1.1.7. και 3.1.1.8. ως ειδικές κατεργασίες κοπής.
		3.1.1.2. Διάτρηση και συναφείς κατεργασίες (γλύφανση, εμβύθιση, εσωτερική σπειροτόμηση).		
3.1.1.3. Φρεζάρισμα				
3.1.1.4. Πλάνισμα				
3.1.1.5. Αυλάκωση ή διάνοιξη (μπρόουτσιγκ, broaching)				
3.1.1.6. Πριόνισμα				
3.1.1.7. Κοπή οδοντώσεων				
3.1.1.8. Σπειροτόμηση (κοπή σπειρωμάτων) κ.α.				
		3.1.2.1. Λείανση (βασική ¹ και ειδική ¹).		Οι κατεργασίες χόνιγκ, λάππιγκ και υπερλείανση θεωρούνται ως συναφείς με τη λείανση κατεργασίες.
		3.1.2.2. Χόνιγκ (honing).		
		3.1.2.3. Λάππιγκ (lapping).		
		3.1.2.4. Υπερλείανση.		

1.Βασική λείανση: Λείανση επιπέδων και κυλινδρικών (εξωτερικών και εσωτερικών) επιφανειών κατά κύριο λόγο.

Ειδική λείανση: Λείανση οδοντώσεων και σπειρωμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 Οι κυριότερες κατεργασίες κοπής και οι δυνατότητες τους στη μορφοποίηση τεχνολογικών επιφανειών

Είδος κατεργασμένης επιφάνειας. Βασική κατεργασία κοπής	Επίπεδες επιφάνειες	Κυλινδρικές επιφάνειες	Επιφάνειες με ειδική μορφή	Ελικοειδείς επιφάνειες (σπειρώματα), επιφάνειες κυλίσεως (οδοντώσεις)	
Καθορισμένη γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου	1. Τόρνευση	Μετωπική τόρνευση	Διαμήκης τόρνευση (εξωτερική ή εσωτερική)	Τόρνευση μορφής, τόρνευση αντιγραφής	Τόρνευση σπειρωμάτων
	2. Τρυπάνισμα (διάτρηση) και συναφείς κατεργασίες α) Γλύφανση β) Εμβύθιση γ) Εσωτερική σπειροτόμηση	Επίπεδη εμβύθιση	Άνοιγμα ή διεύρυνση τρύπας Γλύφανση	Τυπάνισμα, γλύφανση εμβύθιση μορφής	Κοπή εσωτερικών σπειρωμάτων με κατάλληλο σπειροτόμο
	3. Φρεζάρισμα	Φρεζάρισμα επιπέδων επιφανειών: περιφερικό (αντίρροπο ή ομόρροπο), μετωπικό		Φρεζάρισμα μορφής (κοπή οδοντώσεων), φρεζάρισμα αντιγραφής	Φρεζάρισμα σπειρωμάτων
	4. Πλάνισμα (σε ταχυπλάνη ή σε τραπεζοπλάνη)	Πλάνισμα επιπέδων επιφανειών		Πλάνισμα μορφής, πλάνισμα αντιγραφής	Κοπή οδοντώσεων με πλάνισμα κυλίσεως
Ακαθόριστη γεωμετρική, μορφή του κοπτικού εργαλείου	5. Λείανση και συναφείς κατεργασίες α) Χόνιγκ [honing], β) Λάππιγκ [Lapping]	Λείανση και λάππιγκ επιπέδων επιφανειών	Λείανση, χόνιγκ και λάππιγκ κυλινδρικών επιφανειών (εξωτερικών ή εσωτερικών)	Λείανση μορφής, λείανση αντιγραφής	Λείανση σπειρωμάτων και οδοντώσεων Λάππιγκ οδοντώσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4. Διάκριση και ονομασία δυνατών κατεργασιών κοπής με κύριο γνώρισμα το συνδυασμό πρωτεύουσας κινήσεως εργαλείου - τεμαχίου.

		Πρωτεύουσα κίνηση κοπτικού εργαλείου			
		•			
Πρωτεύουσα κίνηση τεμαχίου	•	1. X	2. Πλάνισμα σε ταχυπλάνη - Αυλάκωση	3. x	4. Διάτρηση
		5. Πλάνισμα σε τραπεζοπλάνη	6. x	7. Φραιζάρισμα	8. x
		9. x	10. Τόρνευση	11. x	12. x
		13. x	14. x	15. Φρεζάρισμα κυλίσεως (χόμπιγκ)	16. X
Συμβολισμοί: • ακινησία,  μεταφορική κίνηση,  περιστροφική κίνηση,  συνισταμένη κίνηση: ελικοειδής, σπειροειδής ή κυκλοειδής					

δ) Ακόμη, είναι δυνατό να κατατάξομε τις κατεργασίες κοπής σε:

- = Κατεργασίες ενός περάσματος (ενός πάσσου) και πολλών περασμάτων (πολλών πάσσων) ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών του εργαλείου ή του κομματιού, που απαιτείται για την πλήρη κατεργασία του τελευταίου.
- = Κατεργασίες με εργαλείο μιας κύριας κόψης ή πολλών κύριων κόψεων, από το κατά πόσο το εργαλείο, που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη κατεργασία, έχει μία ή περισσότερες κύριες κόψεις (εργαλείο τورνεύσεως ή πλανίσματος και φρέζα αντίστοιχα).
- = Κατεργασίες με ένα ή πολλά εργαλεία αναφορικά στο πόσα εργαλεία (ένα ή περισσότερα) αποκόπτουν συγχρόνως κατά τη μορφοποίηση του
- = Συνεχείς ή διακοπτόμενες κατεργασίες κοπής, όπου το εργαλείο (ή τα εργαλεία)

αποκόπτει καθόλη τη διάρκεια του περάσματος του στο κομμάτι ή περιοδικώς, αντίστοιχα.

= Ταξινόμηση των κατεργασιών κοπής μπορεί να γίνει και με βάση το είδος της εργαλειομηχανής, στην οποία οι κατεργασίες εκτελούνται. Λ.χ. κατεργασίες που εκτελούνται στο δράπανο (διάτρηση, σπειροτόμηση, εμβύθιση), στον τόρνο (διαμήκης τórνευση, μετωπική τórνευση, κωνική τórνευση, τórνευση μορφής) κ.ά.

= Κατάταξη ανάλογα με το είδος της πρωτεύουσας κινήσεως (μεταφορική, περιστροφική).

= Αναφορικά προς τη διαστατική ακρίβεια, την ακρίβεια μορφής και τον βαθμό τραχύτητας επιφανείας του κομματιού, που επιτυγχάνεται με τις ποικίλες κατεργασίες ότι δηλαδή περιεκτικά καλούμε **ποιοτική δυναμικότητα κατεργασίας¹ ή φυσικά όρια ανοχών της**, είναι δυνατό να τις διακρίνομε σε κατεργασίες κοπής υψίστης, υψηλής, μέσης και χαμηλής ή μέτριας ακρίβειας ή ποιοτικής δυναμικότητας.

Τα φυσικά αυτά όρια ανοχών της κατεργασίας δεχόμαστε ότι εκτείνονται σε εύρος έξι τυπικών αποκλίσεων ($\pm 3\sigma$) για κανονική στατιστική κατανομή, την οποία συνήθως ακολουθούν τα σφάλματα στις διαστάσεις ή στη μορφή των τεμαχίων. Το εύρος των φυσικών ανοχών, προδήλως, θα πρέπει να είναι μικρότερο συγκρινόμενο με το εύρος των ανοχών (κατά ISO για διαστάσεις επί παραδείγματι), το οποίο προδιαγράφεται στο μηχανολογικό σχέδιο, έτσι, που να μειώνεται κατά πολύ ή ακόμη και να μηδενίζεται η πιθανότητα μορφοποιήσεως σκάρτων τεμαχίων. Όμως, θα πρέπει να προσέχουμε ιδιαίτερος, ώστε οι φυσικές ανοχές της κατεργασίας (που επιτυγχάνονται ύστερα από επιλογή τόσο της κατεργασίας, όσο και των διαφόρων παραγόντων κοπής) να μην είναι ούτε στενότερες ούτε πλατύτερες εκείνων που, για τη συγκεκριμένη περίπτωση κατεργασίας, απαιτούνται. Η επίτευξη στενότερων φυσικών ανοχών απαιτεί υψηλότερο κόστος κατεργασίας, ενώ πλατύτερες ανοχές εγκυμονούν τον κίνδυνο παραγωγής απαράδεκτου ποσοστού σκάρτων.

= Τέλος, σε ότι αφορά την παραγωγικότητα των κατεργασιών κοπής, με χαρακτηριστικό μέγεθος τον **ρυθμό αφαιρέσεως μετάλλου** (ορίζεται ως ο όγκος αφαιρούμενου μετάλλου στη μονάδα του χρόνου) ότι δηλαδή ονομάζομε **ποσοτική δυναμικότητα κατεργασίας¹**, μπορούμε να τις κατατάξομε σε κατεργασίες κοπής υψηλής, μέσης και χαμηλής ποσοτικής δυναμικότητας. Επί παραδείγματι, το μετωπικό φρεζάρισμα με τη βοήθεια φρέζας (κεφαλής) ένθετων δοντιών από σκληρομέταλλο αποτελεί μια υψηλής παραγωγικότητας κατεργασία κοπής, γιατί υπάρχει δυνατότητα

χρησιμοποίησεως υψηλών ταχυτήτων κοπής και προώσεων, όπως και μεγάλου βάθους κοπής, ενώ η λείανση είναι κατεργασία υψηλής μεν ποιοτικής, χαμηλής όμως ποσοτικής δυναμικότητας.

Για την κατεργασία ενός κομματιού, ώστε αυτό να μπορέσει να ανταποκριθεί πλήρως προς τις προδιαγραφές, διακρίνομε τα ακόλουθα είδη κοπής:

– **Προκαταρκτική κοπή**, που συνίσταται στην αφαίρεση του βλαμμένου, αν υπάρχει, επιφανειακού στρώματος του ακατέργαστου κομματιού, όπως συμβαίνει π.χ. με τα χυτά ή καμινευμένα κομμάτια. Ακόμη και η αποκοπή κομματιών, συνήθως από ράβδους στο αναγκαίο μέγεθος, μπορεί να καταταγεί στο είδος αυτό κοπής.

– **Εκχόνδριση** είναι η αλληλουχία περασμάτων του κοπτικού (ανάλογα βέβαια με το στρώμα του μετάλλου, που θα πρέπει να αφαιρεθεί) με μία ή περισσότερες κατεργασίες κοπής, ώστε το κομμάτι να πάρει την κατά προσέγγιση μορφή του έτοιμου κομματιού, αφού βεβαίως αφεθεί ένα λεπτό στρώμα μετάλλου για την αποπεράτωση του.

Αποπεράτωση ή τελική κατεργασία του κομματιού, που περιλαμβάνει σειρά από κατεργασίες με σκοπό την πρόσδοση σε αυτό των τελικών του διαστάσεων και της τελικής του μορφής, με την επιθυμητή ακρίβεια και ποιότητα των κατεργασμένων επιφανειών του. Στην εκχόνδριση η παραγωγικότητα της κατεργασίας είναι υψηλή και η ποιοτική της δυναμικότητα χαμηλή, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην αποπεράτωση, όπου η παραγωγικότητα είναι χαμηλή και η ποιοτική δυναμικότητα της κατεργασίας υψηλή.

Μπορούμε ακόμη να εφαρμόσουμε ως κανόνα το ότι η εκχόνδριση εκτελείται με εκλογή μεγάλης θεωρητικής διατομής του αποβλήτου (πρόωση και (βάθος κοπής) και μέσης σχετικά ταχύτητα κοπής, ενώ στην αποπεράτωση, όπου κατά κανόνα ενδιαφέρει πέραν της ακρίβειας διαστάσεων και μορφής και η τραχύτητα επιφάνειας, με υψηλή ταχύτητα κοπής και μικρή πρόωση. Εξυπακούεται ότι, ιδιαίτερα στην εκχόνδριση, θα πρέπει να ελέγχονται τόσο η επάρκεια ισχύος της εργαλειομηχανής, όσο και η μηχανική αντοχή και οι παραμορφώσεις κρίσιμων μερών της εργαλειομηχανής, του κομματιού, του εργαλείου και των συσκευών και διατάξεων συγκρατήσεως της.

1. Οι όροι αυτοί έχουν επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία. Από το γεγονός όμως ότι το μηχανουργικό σύστημα περιλαμβάνει τόσο την κατεργασία όσο και την εργαλειομηχανή, η ορθότερη διατύπωση θα ήταν: ποιοτική ή ποσοτική δυναμικότητα τον μηχανουργικού συστήματος ή κατεργασίας - εργαλειομηχανής κομματιού.

Επιχειρώντας τέλος μία γενικευμένη σύγκριση ανάμεσα στις κατεργασίες διαμορφώσεως και στις κατεργασίες κοπής, προκειμένου να τονίσουμε τη σημασία των δεύτερων, επισημαίνουμε τα εξής:

α) Οι κατεργασίες κοπής (με τις υψηλές τους αποδόσεις σε ποιοτική δυναμικότητα, όπως προαναφέραμε) συγκρινόμενες με τις κατεργασίες διαμορφώσεως, αλλά και με τις άλλες μεθόδους μορφοποίησης μεταλλικών προϊόντων **κατέχουν δεσπόζουσα θέση** ανάμεσα τους, γιατί υλοποιούν υψηλής στάθμης απαιτήσεις αναφορικά προς τη **διαστατική ακρίβεια, την ακρίβεια μορφής και το βαθμό τραχύτητας επιφάνειας με αυξημένο**

όμως παραγωγικό κόστος. Επί πλέον, οι κατεργασίες κοπής ευρίσκουν πολλές και ποικίλες εφαρμογές και παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό ευελιξίας.

β) Οι κατεργασίες διαμορφώσεως σε σύγκριση με τις κατεργασίες κοπής είναι **σημαντικά οικονομικότερες**, όπου βεβαίως είναι δυνατή η εφαρμογή τους, ενώ, όπως μόλις αναφέραμε, υπολείπονται σε ακρίβεια. Εδώ όμως πρέπει να διευκρινίσουμε ότι, εξαιτίας του λίαν υψηλού κόστους των εργαλείων διαμορφώσεως, ο αριθμός των διαμορφούμενων κομματιών οφείλει να είναι μεγάλος, ώστε η συμμετοχή του μερικού κόστους του εργαλείου ανά κομμάτι στο συνολικό κόστος παραγωγής να είναι παραδεκτά χαμηλό.

Εξαντιθέτου, στην παραγωγή κομματιών σε μικρό αριθμό πλεονεκτούν οι κατεργασίες κοπής (όπου βέβαια μπορούν αυτές να εφαρμοσθούν) για οικονομικούς λόγους.

γ) Στις κατεργασίες διαμορφώσεως κατά κανόνα ολόκληρη η μάζα του κατεργαζόμενου μετάλλου παραμορφώνεται πλαστικός στιγμιαία ή προοδευτικά, ομοιογενώς ή ανομοιογενώς κατά περίπτωση κατεργασίας. Αντίθετα, στις κατεργασίες κοπής μόνο μία λεπτή εν γένει επιφανειακή στρώση της κατεργασμένης επιφάνειας υφίσταται πλαστική παραμόρφωση (το υπόλοιπο μέταλλο του κομματιού παραμένει ανέπαφο) ή και άλλες επιδράσεις κατά την κοπή, όπως θα ιδούμε στην οικεία παράγραφο και μάλιστα σε εκάστοτε καθορισμένο βάθος, ενώ το απόβλητο που σε όλη του τη μάζα παραμορφώνεται πλαστικά απορρίπτεται ως άχρηστο υλικό. Άρα, στις κατεργασίες διαμορφώσεως (ιδιαίτερα στις εκτελούμενες εν ψυχρώ) παρατηρούνται μεταβολές στην κρυσταλλοδομή του κατεργασμένου υλικού και συνεπώς και στις μηχανικές του ιδιότητες. Επομένως, επιθυμητές αλλαγές στις μηχανικές ή και άλλες ιδιότητες έτοιμων κομματιών είναι δυνατό να επιτευχθούν με κατάλληλες κατεργασίες

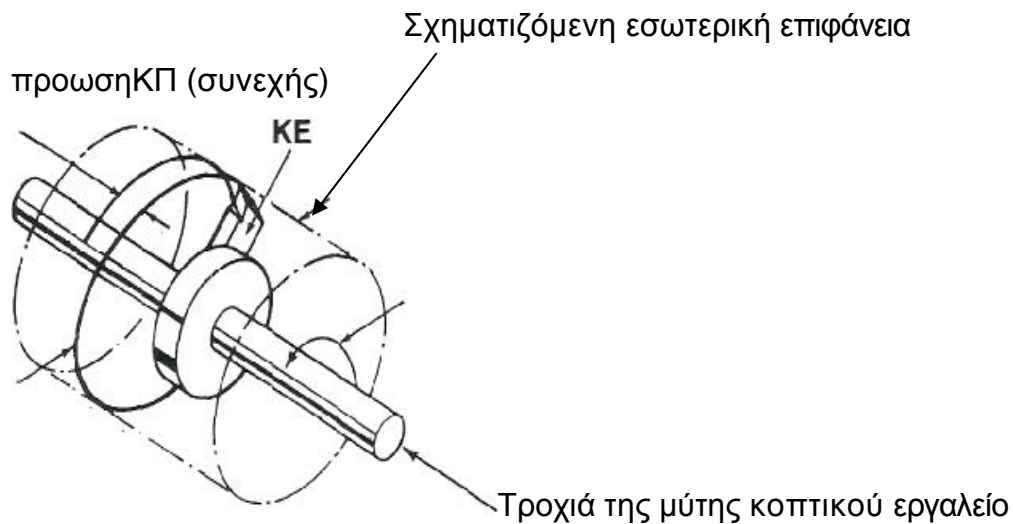
διαμορφώσεως.

1.1.2.3. Κινηματική των κατεργασιών κοπής των μετάλλων.

Όταν λέμε **κινηματική** μιας κατεργασίας εννοούμε την παράσταση των κινήσεων, που οφείλουν να εκτελέσουν τόσο το κοπτικό εργαλείο (ή τα κοπτικά εργαλεία σε περιπτώσεις κατεργασιών που εκτελούνται με τη βοήθεια πολλών εργαλείων), όσο και το κομμάτι, ώστε να σχηματισθεί η επιφάνεια του κομματιού, την οποία επιδιώκομε με τη συγκεκριμένη κατεργασία που εφαρμόζουμε.

Κάθε μία από τις κατεργασίες κοπής εκτελείται, όπως έχουμε αναφέρει, σε ειδικώς γι' αυτή μελετημένη και σχεδιασμένη *εργαλειομηχανή*. Μία εργαλειομηχανή κοπής πρέπει να διαθέτει τα κατάλληλα μέσα για την εκτέλεση και τον έλεγχο των αναγκαίων για την κατεργασία βασικών κινήσεων ανάλογα με την κινηματική της κάθε κατεργασίας, ώστε να διατηρείται έτσι η ορθή σχετική θέση και του κοπτικού εργαλείου και του κομματιού καθ' όλη τη διάρκεια της κατεργασίας. Η κοπή λαμβάνει χώρα και διατηρείται, όταν το κομμάτι κινείται σε σχέση με το εργαλείο, που βρίσκεται κάθε φορά σε τέτοια θέση, ώστε να **δισιδύει** στο κομμάτι. Εκτός των βασικών κινήσεων, για να εκτελεσθεί μία κατεργασία κοπής είναι αναγκαίες και οι λεγόμενες **προπαρασκευαστικές ή βοηθητικές κινήσεις**. Είναι όλες εκείνες οι κινήσεις που έχουν σχέση με τη θέση εργαλείου και κομματιού επάνω στην εργαλειομηχανή, ούτως ώστε να καθίσταται εφικτή εκάστοτε η έναρξη της κοπής, όπως π.χ. είναι οι κινήσεις προσεγγίσεως και απομακρύνσεως του κομματιού ή εργαλείου, όπως και οι κινήσεις ρυθμίσεως τους στην εργαλειομηχανή.

Δύο είναι οι θεμελιώδεις κινήσεις στις κατεργασίες κοπής, τις οποίες οφείλει να παρέχει, με ανάλογη κατά περίπτωση ακρίβεια, κάθε εργαλειομηχανή κοπής: η **πρωτεύουσα κίνηση (ΠΚ)** και η **κίνηση προώσεως (ΚΠ)**(σχ. 1.2,1.3).



Σχ.1.2

Κινηματική γενέσεως εσωτερικής κατεργασμένης κυλινδρικής επιφάνειας (κοίλου) με εσωτερική τόννευση.

Ως τυπική κατεργασία για την μελέτη της κινηματικής των κατεργασιών κοπής θεωρούμε τη **διαμήκη εξωτερική κυλινδρική τόννευση** (σχ. 1.3) λόγω της απλότητάς της. Εξάλλου, οι ορισμοί που θα δοθούν με αρχέτυπο την κατεργασία αυτή είναι δυνατό να επεκταθούν, ύστερα από συμπλήρωση, αν παρίσταται ανάγκη και στις λοιπές κατεργασίες κοπής

Πρωτεύουσα ή κύρια κίνηση είναι η κίνηση, που δίνεται από την εργαλειομηχανή μέσω της κυρίας ατράκτου στο εργαλείο ή στο κομμάτι με σκοπό τη δημιουργία σχετικής κινήσεως ανάμεσα τους έτσι, ώστε η κόψη του εργαλείου να προσεγγίζει και να εφάπτεται στο υλικό του κομματιού ή να αφαιρεί μία στρώση υλικού σε καθορισμένη ανάλογη θέση. Συνήθως η πρωτεύουσα κίνηση απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος κοπής.

Η κίνηση προώσεως είναι μία κίνηση, ως επί το πλείστον μεταφορική, που μπορεί να δοθεί από την εργαλειομηχανή είτε στο κοπτικό εργαλείο είτε στο κατεργαζόμενο κομμάτι. Η κίνηση αυτή συνδυαζόμενη με την πρωτεύουσα κίνηση έχει ως αποτέλεσμα συνεχή ή διακοπτόμενη (διαλείπουσα) αφαίρεση επιφανειακού στρώματος από το

τεμάχιο, άρα και τη **γένεση** της κατεργασμένης επιφάνειας (σχ, 1.3) του κομματιού με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να προσθέσουμε ότι κάθε επιφάνεια ενός κομματιού, η οποία μορφοποιείται με τη βοήθεια μιας ή περισσότερων από τις μεθόδους παραγωγής μεταλλικών προϊόντων (**τεχνολογική επιφάνεια αποκαλούμενη**) αποτελεί κάποια προσέγγιση της αντίστοιχης γεωμετρικής (ιδεατής) επιφάνειας· η διαδικασία επομένως, που ακολουθείται για τη δημιουργία μιας τεχνολογικής επιφάνειας, θα πρέπει οπωσδήποτε να εμπεριέχει τον τρόπο μορφοποίησής της οικείας γεωμετρικής επιφάνειας.

Η κίνηση προώσεως μπορεί να έχει διάφορες κατευθύνσεις ανάλογα με το είδος της κατεργασίας και με το επιλεγόμενο σύστημα συντεταγμένων (παραγρ. 1.1.2.5).

Η κίνηση προώσεως είναι δυνατό να είναι **συνεχής**, όπως π.χ. στην τórνευση ή στην διάτρηση αντίστοιχα ή κατά βήματα (**διακοπτόμενη κίνηση προώσεως**), όπως συμβαίνει στο πλάνισμα.

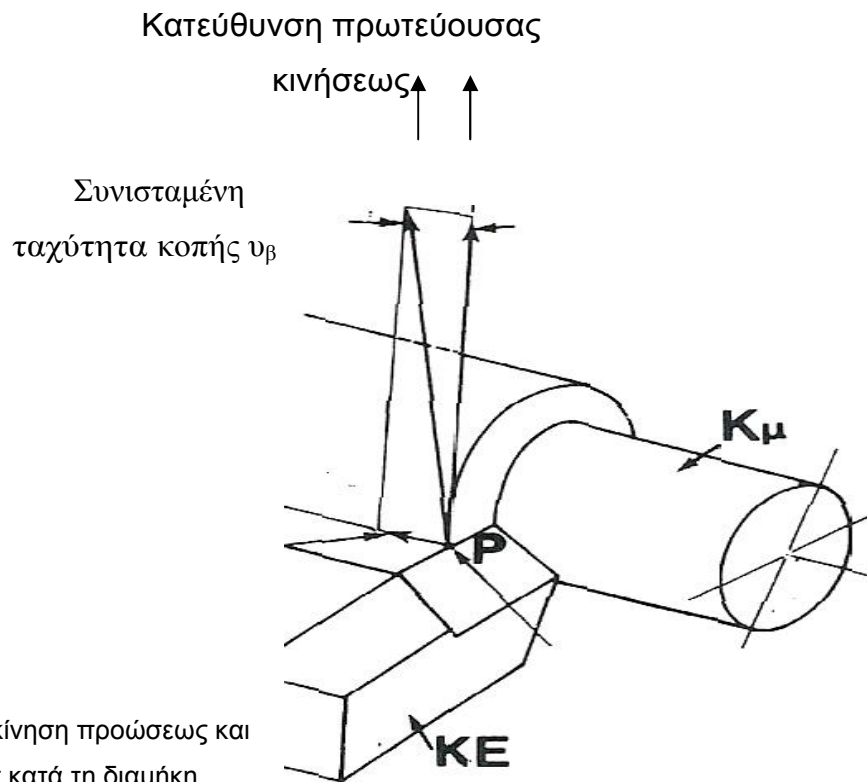
Για την κίνηση προώσεως ξοδεύεται ένα μικρό ποσοστό από τη συνολική ισχύ κοπής. **Συνισταμένη κίνηση κοπής** ονομάζουμε την κίνηση εκείνη, που προέρχεται από την σύνθεση της πρωτεύουσας κινήσεως και της κινήσεως προώσεως.

Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να πούμε ότι κατά την εκτέλεση των ποικίλων κατεργασιών κοπής συνήθως οι δύο βασικές κινήσεις, που αναφέραμε, δηλαδή η πρωτεύουσα κίνηση και η κίνηση προώσεως, εναλλάσσονται μεταξύ κομματιού και κοπτικού εργαλείου. Άλλοτε δηλαδή η πρωτεύουσα κίνηση δίνεται στο κομμάτι και η κίνηση προώσεως στο εργαλείο (π.χ. στην τórνευση) και άλλοτε συμβαίνει το αντίθετο (λ.χ. στο φρεζάρισμα).

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, όπου και οι δύο αυτές βασικές κινήσεις εκτελούνται από το εργαλείο (όπως π.χ. στη διάτρηση, Πίνακας 1.3).

Σε ότι αφορά την πρωτεύουσα κίνηση, την κίνηση προώσεως και τη συνισταμένη κίνηση, καθορίζονται αντίστοιχα η στιγμιαία κατεύθυνση της πρωτεύουσας κινήσεως, η στιγμιαία κατεύθυνση της κινήσεως προώσεως και η στιγμιαία κατεύθυνση της συνισταμένης κινήσεως κάποιου σημείου P της κόπης του εργαλείου, που επιλέγομε, ως προς το κομμάτι (π.χ. ως προς την κατεύθυνση του άξονα του κομματιού στη διαμήκη τórνευση, σχ. 1.3α).

Με βάση τις δύο κινήσεις, δηλαδή την πρωτεύουσα κίνηση και την κίνηση προώσεως, μπορούμε τώρα να ορίσουμε δύο θεμελιώδεις παράγοντες της κοπής (παραγρ. 1.1.2.4.): την **ταχύτητα κοπής** και την **ταχύτητα προώσεως** (ή την **πρόωση**) (σχ. 1.3.α).



Σχ.1.3

Πρωτεύουσα κίνηση, κίνηση προώσεως και συνθήκες κατεργασίας κατά τη διαμήκη κυλινδρική τόννευση. (Κμ κομμάτι, ΚΕ κοπτικό εργαλείο).

Ταχύτητα κοπής $υ$ ονομάζουμε τη στιγμιαία ταχύτητα της πρωτεύουσας κινήσεως κάποιου σημείου P της κόπης του εργαλείου, που επιλέγουμε, ως προς το κατεργαζόμενο κομμάτι. Τη μετρούμε συνήθως σε μέτρα ανά πρώτο λεπτό (m/min) για την τόννευση, τρυπάνισμα, πλάνισμα και φρεζάρισμα και σε μέτρα ανά δεύτερο λεπτό (m/s) για τη λείανση. Στην πράξη η ταχύτητα κοπής είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα προώσεως, γεγονός που μας επιτρέπει να θεωρήσουμε τη δεύτερη αμελητέα και να δεχθούμε ότι η ταχύτητα κοπής $υ$ είναι κατά προσέγγιση ίση με τη συνισταμένη ταχύτητα κοπής $υ_{\beta}$.

Η ταχύτητα κοπής σε περιστρεφόμενα κοπτικά εργαλεία ή κομμάτια με-μεταβάλλεται κατά μήκος της κύριας κόπης. Έχει επικρατήσει η άποψη (και αυτό εφαρμόζεται στην

πράξη κατά την εκλογή λ.χ. της ταχύτητας κοπής στις ποικίλες κατεργασίες) να λαμβάνεται ως επί το πλείστον ως ταχύτητα κοπής η **μέγιστη τιμή** της, που κάθε φορά απαντάται και όχι η μέση της τιμή ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατεργασιών, όπου η διάμετρος του ακατέργαστου κομματιού (διαμήκης τórνευση) ή η ονομαστική διάμετρος του κοπέα (φρεζάρισμα) είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το χρησιμοποιούμενο βάθος κοπής.

.Επί παραδείγματι, στη διαμήκη τórνευση η ταχύτητα κοπής (μέγιστη ταχύτητα της πρωτεύουσας κινήσεως) προσδιορίζεται από τη σχέση

$$U=\pi nD/1000 \text{ [m/mim]}$$

ένώ η μέση της ταχύτητα από τον τύπο

$$u_m=\pi n(D-d)/1000 \text{ [m/min]}$$

όπου η σε αριθμό στροφών ανά πρώτο λεπτό (στρ./min)¹ είναι η συχνότητα περιστροφής της κύριας ατράκτου του τórνου (ή του κατεργαζόμενου κομματιού) και D, d σε mm η διάμετρος της ακατέργαστης και κατεργασμένης επιφάνειας του κομματιού, αντίστοιχα.

Η ταχύτητα κοπής παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια του περάσματος (πάσσου) του κοπτικού, εφόσον η διάμετρος D του ακατέργαστου κομματιού, το μήκος κατεργασίας, όπως και η συχνότητα περιστροφής η της κύριας ατράκτου της εργαλειομηχανής, δεν μεταβάλλονται.

Ταχύτητα προώσεως u_v είναι η στιγμιαία ταχύτητα της συνεχούς κινήσεως προώσεως ενός σημείο P της κόψης του εργαλείου ως προς το κομμάτι. Την εκφράζομε σε χιλιοστόμετρα ανά πρώτο λεπτό (mm/min). Στη διακοπτόμενη κίνηση προώσεως δεν έχει νόημα η ταχύτητα προώσεως.

Η πρόωση s ορίζεται ως η μετατόπιση του εργαλείου (ή του κομματιού) σχετικά προς το κομμάτι (ή το εργαλείο) στην κατεύθυνση της κινήσεως προώσεως σε μία περιστροφή ή μία ενεργό διαδρομή του κομματιού ή του εργαλείου. Στη διαμήκη τórνευση, π.χ. η πρόωση εκφράζεται ως η μετατόπιση του εργαλείου σε

χιλιοστόμετρα κατά μήκος του άξονα του κομματιού (κατεύθυνση προώσεως) σε μία περιστροφή του κομματιού, δηλαδή σε $\text{mm}/\sigma\text{r}^2$, ενώ στο πλάνισμα σε ταχυπλάνη η πρόωση ορίζεται ως η μετακίνηση του κομματιού, σε χιλιοστόμετρα, κάθετα προς την παλινδρομική κίνηση του εργαλείου στο οριζόντιο επίπεδο (πρωτεύουσα κίνηση) σε μία ενεργό διαδρομή του κομματιού (της τράπεζας της πλάνης), δηλαδή σε $\text{mm}/\text{ενεργό διαδρομή}$. Ακόμη, σε κοπτικά εργαλεία με πολλές κυρίες κόψεις, όπως λ.χ. είναι οι φρέζες ή κοπτήρες φρεζαρίσματος, τα τρύπανα, τα γλύφανα χρησιμοποιούμε και άλλο είδος προώσεως, την καλούμενη πρόωση ανά κύρια **κόψη ή πρόωση ανά δόντι** s_z , την οποία μετρούμε σε $\text{mm}/\text{κύρια κόψη}$ ή $\text{mm}/\text{δόντι}$.

Η ταχύτητα προώσεως u_v και οι προώσεις s και s_z συνδέονται μεταξύ τους με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$u_v = ns = zns_z, (1-3)$$

όπου z είναι ο αριθμός των κύριων κόψεων ή δοντιών του εργαλείου ή του κοπτήρα.

Η σχέση (1.3) παίρνει την ακόλουθη μορφή, αν λάβομε υπόψιν τη σχέση (1.1):

$$u_v = 1000 u_s z / \pi D (1-4)$$

Η ταχύτητα κοπής και η πρόωση μαζί με το βάθος κοπής a αποτελούν ότι ονομάζουμε συνθήκες κατεργασίας ή **συνθήκες κοπής**. Λέγοντας βάθος κοπής εννοούμε την απόσταση ανάμεσα στην ακατέργαστη και στην κατεργασμένη επιφάνεια (ιδέ πιο κάτω τους οικείους ορισμούς) του τεμαχίου ή το βάθος στο οποίο θέλουμε να εισχωρήσει το εργαλείο μέσα στο υλικό του τεμαχίου (σχ. 1.3β). Σύμφωνα πάλι με άλλον ορισμό, βάθος κοπής είναι το βάθος της επιφανειακής στρώσεως μετάλλου, που αφαιρείται σ' ένα πέρασμα του εργαλείου (ως προς το κομμάτι) ή του κομματιού (ως προς το εργαλείο), μετρούμενο κάθετα προς την κατεργασμένη επιφάνεια, όπως λ.χ. (ακτινικός στη διαμήκη τórνευση (σχ. 1.3β). Το βάθος κοπής μετριέται κατά κανόνα κάθετα προς την κατεύθυνση της κινήσεως προώσεως ή στο επίπεδο $u-u_v$, όπως συμβαίνει στο περιφερικό φρεζάρισμα ή κάθετα προς αυτό (λ.χ. στη διαμήκη τórνευση ή στο μετωπικό φρεζάρισμα).

Πέρασμα του εργαλείου ή κοινώς πάσσο καλούμε την αφαίρεση μιας επιφανειακής στρώσεως μετάλλου πάχους ίσου προς το βάθος κοπής (ή προς το θεωρητικό πάχος

του αποβλήτου στην ορθογωνική κοπή) από το τεμάχιο καθ' όλο το μήκος κατεργασίας. Το πάχος παραμένει σταθερό, χωρίς να αποκλείεται να είναι και μεταβαλλόμενο. Σε περιπτώσεις όμως κατεργασιών με εργαλείο πολλών κόψεων, όπως λ.χ. γίνεται στην αυλάκωση, ως βάθος κοπής λαμβάνεται το μέγιστο δυνατό.

Από τώρα, θα πρέπει να τονίσουμε εδώ, ότι η κατάλληλη εκλογή των τιμών για τις συνθήκες κατεργασίας, δηλαδή των u , s και a , κατά περίπτωση κατεργασίας, ενέχει εξαιρετική σημασία στην όλη επιτυχία και αποδοτικότητα (ποιοτική και ποσοτική) του συστήματος κατεργασία – εργαλειομηχανή.

Πέρα από τις συνθήκες κατεργασίας, που μόλις έχουμε ορίσει, κρίνουμε σκόπιμο να δώσουμε τον ορισμό και δύο ακόμη κύριων μεγεθών, που ενδιαφέρουν τις κατεργασίες κοπής: το **ρυθμό αφαιρέσεως μετάλλου** και το **χρόνο κοπής**.

Ο ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου αποτελεί το **δείκτη ποσοτικής δυναμικότητας (παραγωγικότητας)** και δίνεται γενικευμένα από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Theta = Au \text{ [cm}^3\text{/min]}, \quad (1.5)$$

όπου A σε mm^2 είναι η θεωρητική διατομή του αποβλήτου (π.χ. $A = as$ για την τórνευση) και u σε m/min η ταχύτητα κοπής. Από τη σχέση (1.5) συμπεραίνουμε ότι: όσο αυξάνεται η ταχύτητα κοπής (λ.χ. σε κατεργασίες, όπου χρησιμοποιούνται ως εργαλεία σκληρομέταλλα: μετωπικό φρεζάρισμα με κοπήρα ένθετων πλακιδίων σκληρομετάλλων) και η θεωρητική διατομή του αποβλήτου (π.χ. σε στιβαρές και μεγάλης ονομαστικής ισχύος εργαλειομηχανές), τόσο μεγαλώνει και ο αντίστοιχος ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου, δηλαδή η ποσοτική δυναμικότητα του μηχανουργικού συστήματος.

Ο χρόνος κοπής περιλαμβάνει τον καθαρό χρόνο κοπής, κατά τον οποίο το κοπτικό εργαλείο αποκόπτει, μαζί με το χρόνο που απαιτείται για την προσέγγιση του εργαλείου στο κομμάτι και το χρόνο για την απομάκρυνση του εργαλείου από το κομμάτι. Ο χρόνος κοπής t_c σε min εκφράζεται στη γενική περίπτωση ως εξής:

$$t_c = L/uv \cdot i = L/sn \cdot i \text{ [min]} \quad (1-6)$$

ένθα L , σε mm, είναι το μήκος κατά το οποίο μετατοπίζεται συνολικά το εργαλείο ή το κομμάτι ανά πέρασμα, i είναι ο αριθμός των απaráλλακτων περασμάτων και αναγκαίους για την εκτέλεση της συγκεκριμένης κατεργασίας και u_v , σε mm/min, η ταχύτητα προώσεως.

Η έκφραση του χρόνου κοπής μας ενδιαφέρει, γιατί υπεισέρχεται στο μαθηματικό υπόδειγμα (μοντέλο) του κόστους της μονάδος παραγωγής ή του ρυθμού παραγωγής εισάγοντας τις ανεξάρτητες μεταβλητές u και s , όπως προκύπτει από το συνδυασμό των σχέσεων (1.1) και (1.6).

Ο συνολικός χρόνος κατεργασίας, πέρα από το χρόνο κοπής περιλαμβάνει και χρόνους, που απαιτούνται για την εκτέλεση διαφόρων βοηθητικών κινήσεων και εργασιών.

Με τον όρο **τεχνολογική επιφάνεια** θα εννοούμε οποιαδήποτε επιφάνεια, που μορφοποιείται με κάποια από τις μεθόδους του Πίνακα 1.1. Η τεχνολογική επιφάνεια, ανάλογα με την κατεργασία από την οποία προέρχεται αλλά και από τους εκάστοτε παράγοντες κατεργασίας, εμφανίζει ιδιότυπη τοπομορφία, κρυσταλλοδομή και μηχανικές και άλλες ιδιότητες.

Σε κάθε κατεργαζόμενο τεμάχιο διακρίνομε τις ακόλουθες τρεις ενδιαφέρουσες τεχνολογικές επιφάνειες (σχ. 1.3):

- **Την ακατέργαστη** (ή **ημικατεργασμένη επιφάνεια**, που πρόκειται να υποστεί παραπέρα κατεργασία ή κατεργασίες) **επιφάνεια**: Είναι η ελεύθερη επιφάνεια του ακατέργαστου ή ημικατεργασμένου κομματιού, η οποία πρόκειται με την κοπή να αφαιρεθεί,
- **Την κατεργασμένη ή ημικατεργασμένη**, κατά περίπτωση, **επιφάνεια** του κομματιού: Είναι η επιθυμητή τεχνολογική επιφάνεια του κομματιού, που μορφοποιείται με τη βοήθεια του εργαλείου και της εργαλειομηχανής.

Η επιφάνεια αυτή μπορεί να είναι η τελική (κατεργασμένη), είναι δυνατό όμως να είναι και μία προσωρινή ενδιάμεση επιφάνεια που προκύπτει από κάποια φάση κατεργασίας (ημικατεργασμένη). Στο εξής δεν θα κάνομε αυτό το διαχωρισμό στις επιφάνειες αυτές και θα χρησιμοποιούμε τον όρο *κατεργασμένη επιφάνεια* και στις δύο περιπτώσεις.

- **Τη μεταδοτική επιφάνεια**: Είναι η επιφάνεια εκείνη του κομματιού, που σχηματίζεται από την κόψη του εργαλείου, ως επί το πλείστον μεταξύ της

κατεργασμένης και ακατέργαστης επιφάνειας του και η οποία αφαιρείται κατά την επόμενη περιστροφή ή διαδρομή του κομματιού ή του εργαλείου (σχ. 1.3β).

1.1.2.4. Παράγοντες κοπής

Με τον όρο **παράγοντες κοπής ή φυσικές μεταβλητές κοπής** θα εννοούμε περιεκτικά τα ακόλουθα:

- Συνθήκες κατεργασίας (ταχύτητα κοπής, πρόωση ανά περιστροφή ή ανά δόντι, βάθος κοπής).
- Γεωμετρική μορφή εργαλείου (γωνία αποβλήτου, γωνία λοξότητας, γωνία θέσεως κ.ά.).
- Κατεργαζόμενο υλικό.
- Υλικό κοπτικού εργαλείου.

1. Η έκφραση *φυσικές μεταβλητές κοπής* χρησιμοποιείται με την έννοια ότι αυτές καθαυτές οι μεταβλητές είτε δίδονται (π.χ. το κατεργαζόμενο υλικό) είτε επιλέγονται από εγχειρίδια ή βάσει εμπειρίας ή ως αποτέλεσμα κάποιας διαδικασίας βελτιστοποιήσεως (λ.χ. το υλικό του εργαλείου, οι συνθήκες κατεργασίας, η γεωμετρική μορφή του εργαλείου κ.ά.), είναι δηλαδή γνωστές προτού αρχίσει η κατεργασία. Άλλες από τις φυσικές μεταβλητές κοπής εφαρμόζονται ποιοτικά και άλλες ποσοτικά.

- Υγρό κοπής.
- Δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος εργαλειομηχανή - εργαλείο -τεμάχιο.

Ορισμένοι, κατά περίπτωση κατεργασίας παράγοντες κοπής, ιδιαίτερα οι ποσοτικά εκφραζόμενοι, είναι δυνατό να αποτελέσουν ανεξάρτητες μεταβλητές ή παραμέτρους σε θεωρητικές ή εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμοί εξηρημένων μεταβλητών της κοπής, όπως είναι η ζωή του εργαλείου, οι δυνάμεις κοπής, το μέσο ύψος τραχύτητας κ.λπ., όπως επίσης και σε εκφράσεις παράγωγων μεγεθών της κοπής (γωνία διατμήσεως, διατμητική παραμόρφωση, δείκτης συμπίεσεως αποβλήτου, μέση θερμοκρασία κοπής κ.ά.).

1.1.2.5. Συστήματα συντεταγμένων και επιπέδων αναφοράς.

Για ευκολία της περιγραφής των διαφόρων κινήσεων που επιτελούνται στην εργαλειομηχανή, για να επιτευχθεί η γένεση των επιθυμητών κατεργασμένων επιφανειών του κάθε κομματιού, αλλά και των απαραίτητων προπαρασκευαστικών κινήσεων, είναι αναγκαία η καθιέρωση και εφαρμογή κάποιου (ή κάποιων) **συστήματος** (ή συστημάτων) **συντεταγμένων**. Ως ένα τέτοιο σύστημα συντεταγμένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα το προτεινόμενο από το Διεθνή Οργανισμό

Προτυποποίησης (ISO), το οποίο ακολουθείται και από το DIN 66217.

Αν και το σύστημα αυτό συντεταγμένων έχει προδιαγραφεί για σκοπούς ψηφιακού ελέγχου των εργαλείο μηχανών, μπορεί αξιολογικά να θεωρηθεί ως ένα γενικευμένο σύστημα συντεταγμένων για όλες τις εργαλείο μηχανές και συναφείς κατεργασίες, κατάλληλα βεβαίως κατά περίπτωση εφαρμοζόμενο.

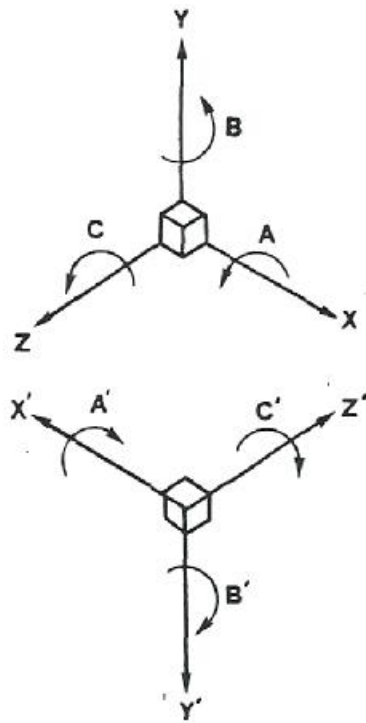
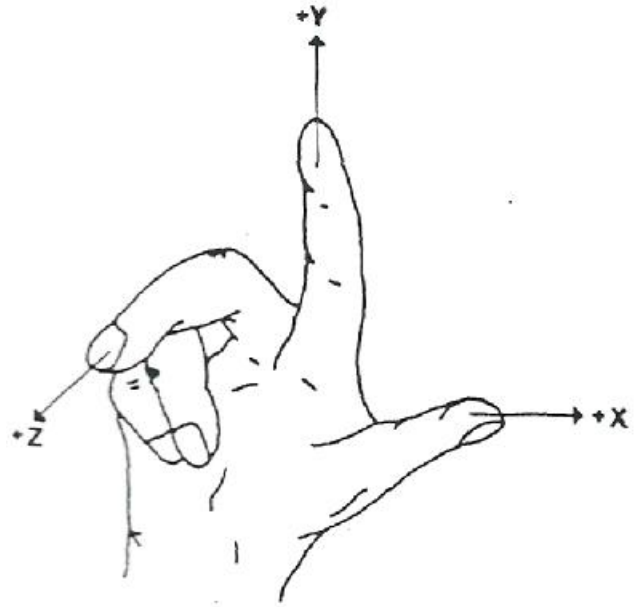
Το εν λόγω σύστημα συντεταγμένων (σχ. 1.4) είναι **δεξιόστροφο τρισσορθογώνιο** (κατά το γνωστό ορισμό ενός τέτοιου συστήματος) και περιγράφει τις δυνατές μεταφορικές και περιστροφικές κινήσεις στην εργαλειομηχανή τόσο του εργαλείου, όσο και του κομματιού. Έτσι, αναφερόμενοι πρώτα στο κοπτικό εργαλείο, οι τρεις άξονες συντεταγμένων X, Y και Z αντιπροσωπεύουν τις μεταφορικές του κινήσεις, ενώ οι κινήσεις A, B και C παριστάνουν τις αντίστοιχες δυνατές περιστροφές του εργαλείου γύρω από τους τρεις αυτούς άξονες X, Y και Z. Το σύστημα, δηλαδή, παρέχει στο εργαλείο εξ βαθμούς ελευθερίας κίνησης.

Κινήσεις παράλληλες προς τους άξονες X, Y και Z συμβολίζονται αντιστοίχως με τα γράμματα U, V και W, ενώ για τυχόν τρίτο σύνολο τέτοιων κινήσεων χρησιμοποιούνται τα στοιχεία P, Q και R.

1. Αναφερόμενοι π.χ. στο κατεργαζόμενο μέταλλο μπορούμε να χρησιμοποιήσαμε ποσοτικά του μεγέθη, όπως είναι το όριο διαρροής, η μέγιστη αντοχή ή η σκληρότητα του και ούτω καθεξής.

Ο προσανατολισμός του συστήματος τούτου συντεταγμένων ως προς την εργαλειομηχανή έχει ως ακολούθως:

Ο άξονας Z του συστήματος είναι παράλληλος προς την κύρια άτρακτο



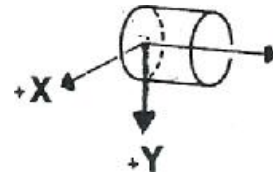
Σχ. 1.4.
Σύστημα συντεταγμένων κατά ISO (ή DIN 66217).

της εργαλειομηχανής, που προσδίνει στο κομμάτι (π.χ. κατά την τórνευση) ή στο εργαλείο (π.χ. στο φρεζάρισμα) την πρωτεύουσα κίνηση. Αν η εργαλειομηχανή δεν διαθέτει κύρια άτρακτο, (όπως π.χ. οι πλάνες), τότε ο άξονας Z υποδηλώνει κατεύθυνση κάθετη προς την ανώτερη οριζόντια επιφάνεια της συσκευής συγκρατήσεως του κομματιού (όπως π.χ. στο πλάνισμα σε ταχυπλάνη) (σχ. 1.5) και λαμβάνεται θετικός, όταν αυξάνεται η απόσταση ανάμεσα στον εργαλειοδέτη και στο κομμάτι.

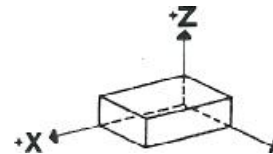
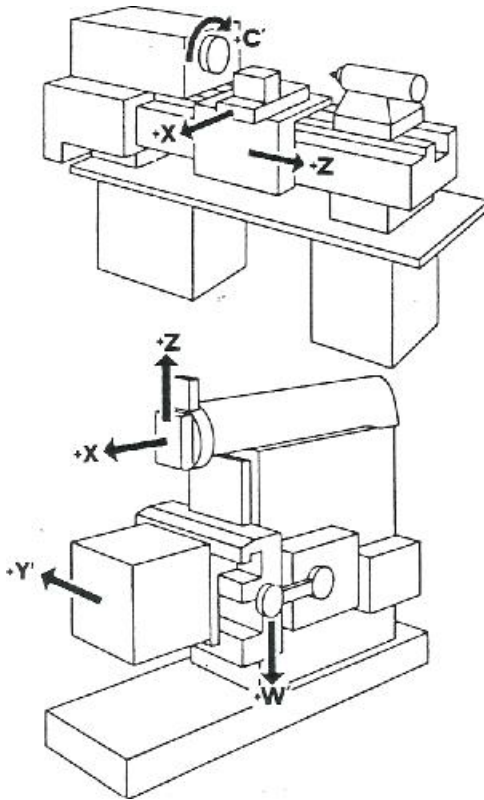
Σε ότι αφορά τον άξονα X, αυτός συνήθως παίρνει οριζόντια κατεύθυνση. Σε εργαλειομηχανές με περιστροφική κίνηση του κομματιού (όπως λ.χ. ο τórνος) η διεύθυνση του άξονα X είναι ακτινική ως προς αυτό και παράλληλη προς την ανώτερη (οριζόντια) επιφάνεια εργαλειοφορείου. Ως θετική φορά του άξονα X ορίζεται εκείνη, προς την οποία το εργαλείο απομακρύνεται από τον άξονα περιστροφής του κομματιού.

Περαιτέρω, σε εργα-λειομηχανές με περιστρεφόμενο εργαλείο (λ.χ. η φρεζομηχανή ή το δρόπανο) η φορά του άξονα X καθορίζεται ως εξής:

- Αν ο άξονας Z είναι οριζόντιος, η θετική φορά του άξονα X είναι προς



(α)



(β)

Σχ. 1.5.

Το σύστημα συντεταγμένων του ISO (ή DIN 66217), όπως αυτό εφαρμόζεται επί παραδείγματι: α) στον οριζόντιο τόρνο και β) στην οριζόντια ταχυπλάνη.

τα δεξιά ενός παρατηρητή, που βλέπει από την κύρια άτρακτο προς το κατεργαζόμενο κομμάτι (όπως λ.χ. στο διαμήκη τόρνο ή στην οριζόντια φρεζομηχανή).

- Στην περίπτωση που ο άξονας Z είναι κατακόρυφος, τότε η θετική φορά του X καθορίζεται ως εκείνη προς τα δεξιά για παρατηρητή που στέκεται στην κύρια άτρακτο και βλέπει προς τον ορθοστάτη της εργαλειομηχανής (π.χ. στο δρόπανο ή σε κατακόρυφη φρεζομηχανή).

Η κατεύθυνση του άξονα Y, όπως και η θετική του φορά εκλέγονται κάθε φορά έτσι, ώστε να συμπληρώνεται το τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων X, Y και Z.

Αναφορικά προς τις κινήσεις του κομματιού (μεταφορικές ή περιστροφικές) στην εργαλειομηχανή, εφαρμόζεται πάλι δεξιόστροφο τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων X', Y' και Z' (σχ. 1.5), με αντίθετη όμως φορά των αξόνων X', Y' και Z' ως προς τους αντίστοιχους του συστήματος X, Y και Z ακόμη και των δυνατοτήτων περιστροφής του κομματιού A', B' και C' (ως προς τους άξονες X', Y' και Z') ως προς εκείνες A, B και C γύρω από τους άξονες X, Y και Z, αντιστοίχως.

Η αντιστροφή της φοράς των αξόνων, όπως επί παραδείγματι θετική για την κίνηση του εργαλείου και αρνητική για την κίνηση του κομματιού, μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι, όταν το εργαλείο λ.χ., πλησιάζει το κομμάτι κινούμενο κατά τη θετική φορά του άξονα X, απaráλλακτο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί με κίνηση του κομματιού κατά τη θετική επίσης φορά (αρνητική σε σχέση ως προς τον άξονα X) του άξονα X'. Η ίδια σκέψη μπορεί να ισχύσει και για την αναστροφή των κινήσεων περιστροφής γύρω από τους άξονες του συστήματος.

Τέλος, για τον ακριβή προσδιορισμό των διαφόρων γωνιών του κοπτικού εργαλείου τόσο για λόγους κατασκευής και ελέγχου, όσο και λειτουργίας τον, καθορίζονται τα συστήματα των λεγόμενων **ονομαστικών επιπέδων** αναφοράς και **ενεργών επιπέδων αναφοράς** αντιστοίχως, σύμφωνα με τις οικείες προδιαγραφές. Για τον προσανατολισμό του κοπτικού εργαλείου ως προς την εργαλειομηχανή απαιτείται ο καθορισμός και τρίτου συστήματος αναφοράς. Λεπτομερείς σχετικές πληροφορίες θα δοθούν στη συνέχεια στο αντικείμενο το σχετικό με την προτυποποίηση της γεωμετρίας του τυπικού εργαλείου τριτογενούς στο δεύτερο Κεφάλαιο.

1.2. ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.

1.2.1. Μηχανική της κοπής των μετάλλων.

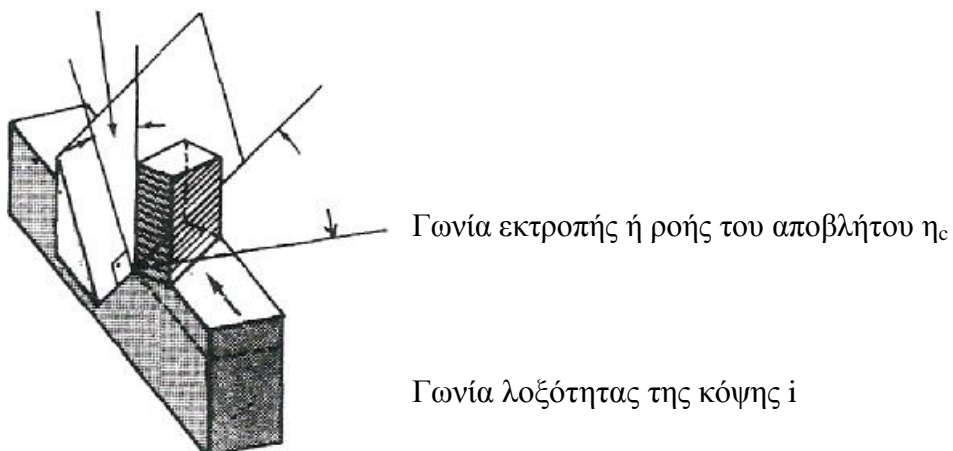
1.2.1.1. Ο μηχανισμός της κοπής των μετάλλων

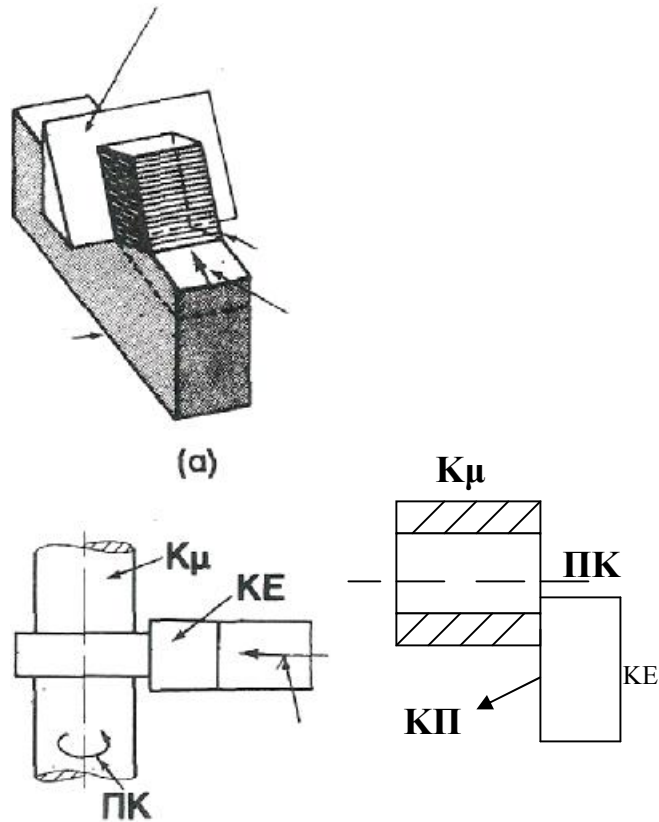
Α. Έννοιες και ορισμοί.

Ο μηχανισμός της κοπής των μετάλλων, τον οποίο θα αναπτύξουμε παρακάτω, 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** [σχ. 1.6α]. 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), ώστε η σχηματιζόμενη μετά την κοπή επιφάνεια του τεμαχίου να προκύψει επίπεδη και παράλληλη προς δεδομένο επίπεδο αναφοράς. 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 1.6(γ).

Οι βασικές αρχές που ισχύουν στην ορθογωνική κοπή επεκτεινόμενες έχουν εφαρμογή και στη **λοξή κοπή** [σχ. 1.6(β)], την οποία συναντούμε





Σχ. 1.6.

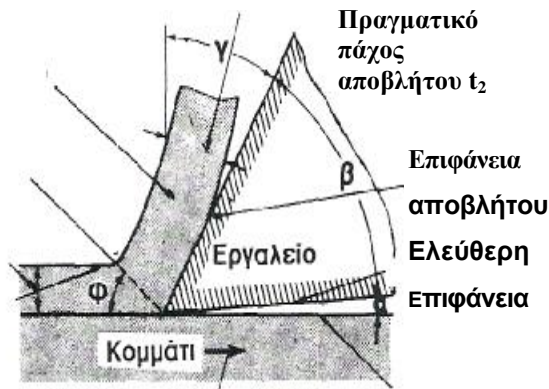
α) Ορθογωνική κοπή. β) Λοξή κοπή. γ) Ορθογωνική τόννευση. (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, Κμ κομμάτι, ΚΕ κοπτικό εργαλείο).

κατά κύριο λόγο στην πράξη, τόσο για κατεργασίες με εργαλείο με μία κύρια κόψη (π.χ. τόννευση, πλάνισμα κ.ά.), όσο και για κατεργασίες με εργαλείο πολλών κύριων κόψεων (π.χ. φρεζάρισμα, αυλάκωση κλπ.). Κατά τη λοξή κοπή η κόψη του εργαλείου κλίνει ως προς την κάθετο στη διεύθυνση κοπής κατά μία γωνία γ , την οποία καλούμε **γωνία λοξότητας της κόψης**.

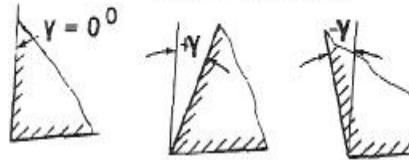
Γωνία αποβλήτου Αρνητική 1 θετική

Απόβλητο

Επίπεδο διατομής
θεωρητικό πάχος αποβλήτου t_1
> κατεργαστη επιφάνεια κομματιού



Κατεργασμένη επιφάνεια Διεύθυνση κοπής



Σχ.1.7

Χαρακτηριστικές γωνίες, επιφάνειες και μεγέθη κατά την ορθογωνική κοπή.

Το κοπτικό εργαλείο της ορθογωνικής κοπής (σχ. 1.7) έχει τις εξής γωνίες:

α) Τη **γωνία αποβλήτου** γ , 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 [παραγρ. 1.2.1.1]. Μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδενική.

β) Την **γωνία ελευθερίας** α , 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 διεύθυνσεως κοπής. Η ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου δεν παίρνει μέρος στο σχηματισμό του αποβλήτου, η γωνία ελευθερίας όμως επηρεάζει τη φθορά του εργαλείου.

γ) Τη **γωνία σφήνας** β , 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:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ. (1.7)$$

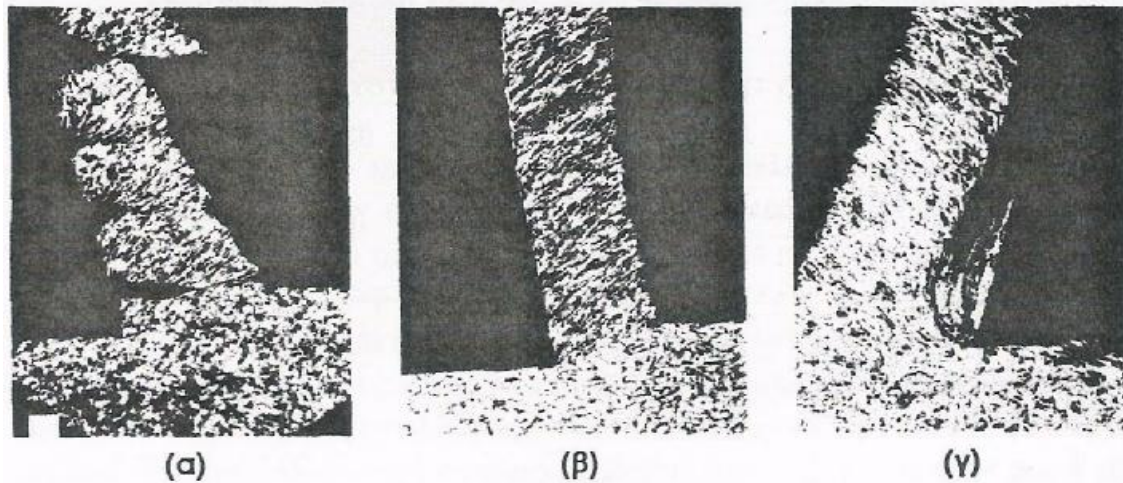
Το πάχος t_1 του στρώματος του μετάλλου που αφαιρείται με τη βοήθεια του εργαλείου είναι γνωστό ως **θεωρητικό πάχος αποβλήτου**, ενώ το πάχος \tilde{t}_2 που αποκτά το απόβλητο μετά την κοπή ονομάζεται **πραγματικό πάχος αποβλήτου**.

B. Μορφολογία και σχηματισμός τον αποβλήτου.

Όπως γνωρίζουμε, 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 το προϊόν της κοπής των μετάλλων και η μελέτη του μας δίνει τη δυνατότητα να βγάξουμε ενδιαφέροντα συμπεράσματα για το φαινόμενο της κοπής.

Το απόβλητο, όπως θα ιδούμε στη συνέχεια, σχηματίζεται σε διάφορα μεγέθη και παίρνει ποικίλες μορφές ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας, δηλαδή από ταινιοειδές ευθύ και μακρό μέχρι σπειροειδές τεμαχισμένο ή ακόμη κατακερματισμένο σε τεμάχια.

Διακρίνουμε τρία βασικά είδη αποβλήτου: το **ασυνεχές απόβλητο** [σχ. 1.8(α)], το **συνεχές απόβλητο** [σχ. 1.8(β)] και το **συνεχές απόβλητο με ψευδόκοψη** [σχ. 1.8(γ)].



Σχ. 1.8.

Τα τρία είδη αποβλήτου: α) Το ασυνεχές απόβλητο. β) Το συνεχές απόβλητο. γ) Το συνεχές απόβλητο με ψευδόκοψη.

1) 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 διαμήσεως (όταν η πραγματική παραμόρφωση υπερβαίνει την παραμόρφωση θραύσεως του κατεργαζόμενου μετάλλου υπό τους εκάστοτε θεωρούμενους παράγοντες κοπής) συνήθως περιοδικά και το απόβλητο **τεμαχίζεται**. Τέτοιο απόβλητο συναντούμε στην κοπή ψαθυρών μετάλλων, όπως είναι ο χυτοσίδηρος ή ο χυτευτικός ορείχαλκος κ.ά. Είναι δυνατός όμως ο σχηματισμός ασυνεχούς αποβλήτου και κατά την κοπή όλκιμων μετάλλων ή κραμάτων (μαλακός χάλυβας, αργίλιο, χαλκός, μόλυβδος κ.λπ.) γενικά σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, σε μεγάλες προώσεις και με εργαλεία με μικρές τιμές της γωνίας αποβλήτου.

Οι επιπτώσεις του ασυνεχούς αποβλήτου είναι οι ακόλουθες:

α) Ως ευνοϊκό αποτέλεσμα μπορεί να θεωρηθεί η εύκολη απομάκρυνση των μικρού μεγέθους αποβλήτων από τη θέση κατεργασίας. Αυτό είναι ένα πολύ θετικό στοιχείο για καλή κατεργαστικότητα του μετάλλου.

β) Κατά το σχηματισμό ασυνεχούς αποβλήτου, χειροτερεύει η τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας, γιατί δημιουργούνται ανωμαλίες και μικρορωγμές. Οι τελευταίες

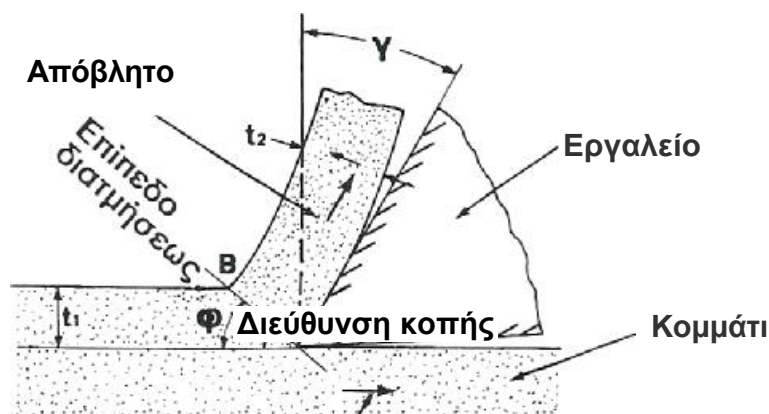
ασκούν δυσμενή επίδραση στην αντοχή σε κόπωση του υλικού του τεμαχίου που κατεργαζόμαστε.

γ) Ο κατά κάποιο τρόπο περιοδικός τεμαχισμός, που χαρακτηρίζει το ασυνεχές απόβλητο, αποτελεί μια πηγή εξαναγκασμένων ταλαντώσεων στο σύστημα (Κ-ΕΜ-Τμ-Ε) με τις γνωστές συνέπειες.

δ) Τέλος, εξαιτίας του τύπου αυτού αποβλήτου, το μήκος της επιφάνειας επαφής αποβλήτου - εργαλείου εμφανίζεται σχετικά μικρό. Αυτό, πέρα από την ευνοϊκή επιρροή που ασκεί στη δύναμη κοπής, σημαίνει ότι η μέση ορθή τάση στο πρόσωπο του εργαλείου εφαρμόζει πλησίον της κόψης, γεγονός που επιβάλλει περιορισμούς στην επιλογή γεωμετρίας του εργαλείου, όπως επί παραδείγματι, την εκλογή μικρότερες τιμές της γωνίας αποβλήτου κατά τη χρήση σκληρομετάλλων, για μεγαλύτερη μηχανική αντοχή του.

2) 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) στο επίπεδο ή στη ζώνη διατμήσεως (σχ. 1.9) 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.



Σχήμα 1.9.

Πως σχηματίζεται το συνεχές απόβλητο.

Το εν λόγω απόβλητο 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. Το απόβλητο όμως αυτό έχει τέτοια μορφή και το μήκος του μπορεί να είναι τόσο μεγάλο, ώστε να δυσχεραίνει γενικά την κοπή. Τούτο όμως αντιμετωπίζεται πρακτικά με τους λεγόμενους γρεζοθραύστες, δηλαδή με τη δημιουργία στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου **αναβαθμού** ή **αύλακος** καταλλήλων διαστάσεων.

Αναλυτικότερα ο μηχανισμός σχηματισμού του συνεχούς αποβλήτου συνοπτικά έχει ως εξής:

Καταρχήν παραδεχόμαστε ότι η κοπή είναι συνεχής και ορθογωνική, το εργαλείο είναι οξύ, η πλαστική παραμόρφωση για το σχηματισμό του αποβλήτου λαμβάνει χώρα μέσα σε ζώνη μικρού πάχους, η οποία πρακτικά μπορεί να παρασταθεί από το επίπεδο (AB) και ότι το απόβλητο δεν ρέει πλευρικά. Εξαιτίας της δυνάμεως 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** (AB) με αποτέλεσμα το σχηματισμό του αποβλήτου (με πάχος i_2). Το απόβλητο σχηματισμένο πλέον κινείται προς τα επάνω (μας το δείχνει το βέλος, σχ. 1.9) στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, εφραπτόμενο κατά τη ζώνη τριβής, υπό μορφή ταινίας (συνεχές απόβλητο) υπερνικώντας σημαντική τριβή. Το επίπεδο διατμήσεως, κλίνει ως προς τη διεύθυνση κοπής κατά μία γωνία φ , την οποία ονομάζουμε **γωνία διατμήσεως**. Στην πραγματικότητα η πλαστική διάτμηση του μετάλλου δεν γίνεται ακριβώς στο επίπεδο διατμήσεως, αλλά σε μια 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 προσεγγισθεί με το **επίπεδο διατμήσεως**, που διευκολύνει την ανάλυση και μελέτη της κοπής.

Συμπερασματικά, μπορούμε να διατυπώσαμε τα ακόλουθα σχετικά με το μηχανισμό σχηματισμού του συνεχούς αποβλήτου:

α) Το απόβλητο σχηματίζεται με συνεχή πλαστική απλή διάτμηση μέσα στη ζώνη διατμήσεως (πρωτεύουσα ζώνη παραμορφώσεως). Η ζώνη αυτή είναι το σύνορο μεταξύ του απαραμόρφωτου (μητρικού) υλικού του τεμαχίου και του σχηματισμένου αποβλήτου.

β) Το σχηματισμένο απόβλητο κινείται επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου κάτω από συνθήκες ισχυρής τριβής (δευτερεύουσα ζώνη παραμορφώσεως). Αποτελεί τη ζώνη επαφής (ή τη διεπιφάνεια) αποβλήτου - εργαλείου.

γ) Η νέα επιφάνεια του τεμαχίου δημιουργείται με διαδοχικές στοιχειώδεις θραύσεις του μετάλλου, ενώ η απαιτούμενη γ^1 αυτό ενέργεια θεωρείται αμελητέα σε σχέση με την συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια κοπής.

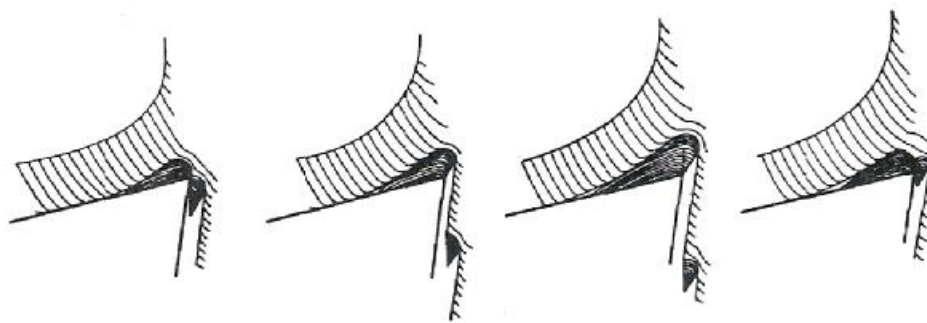
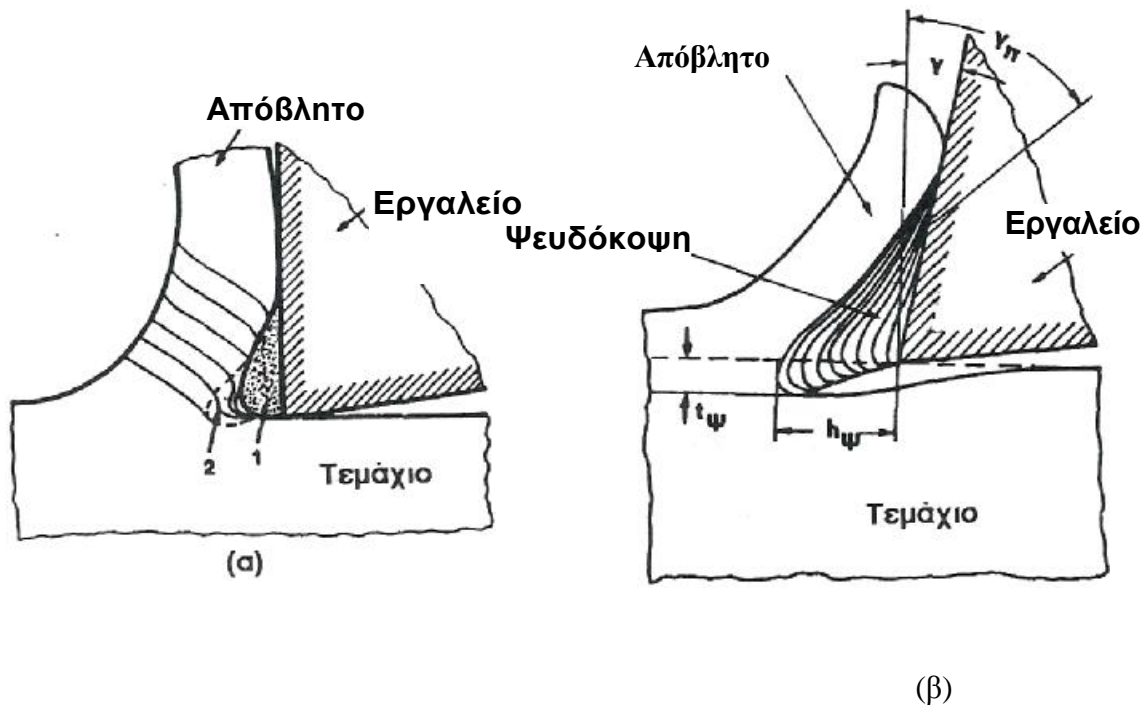
δ) Σε περιπτώσεις προχωρημένης σχετικά ζώνης φθοράς του εργαλείου, είναι δυνατό να εμφανισθεί ισχυρά τριβή και στην επιφάνεια επαφής εργαλείου και κατεργασμένης επιφάνειας.

ε) Οι μόλις νεοσχηματιζόμενες επιφάνειες, δηλαδή η προς το εργαλείο επιφάνεια του αποβλήτου (*υποκείμενη επιφάνεια αποβλήτων*) και η κατεργασμένη επιφάνεια του τεμαχίου, είναι καθαρές από φυσική και χημική άποψη. Αυτό έχει σημασία γιατί, με τη πρόοδο της κοπής, διευκολύνει το σχηματισμό οξειδίων (επηρεάζουν το μέσο φαινόμενο συντελεστή τριβής), ή άλλων χημικών ενώσεων (όπως επί παραδείγματι συμβαίνει στην χρησιμοποίηση υγρών κοπής με πρόσθετα υψηλής πίεσεως).

3) Το *συνεχές απόβλητο με ψευδόκοψη* [σχ. 1.8(γ), σχ. 1.10]. Αυτό σχηματίζεται, όπως και το συνεχές απόβλητο, με τη διαφορά ότι στην περιοχή της κόψης του εργαλείου και επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου δημιουργείται η λεγόμενη **ψευδόκοψη**.

Η ψευδόκοψη αποτελεί ένα σώμα, με όχημα ασυμμετρικής σφήνας κατά προσέγγιση, από ισχυρά παραμορφωμένο (και σκληρωμένο) μέταλλο, που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της κοπής από επάλληλα λεπτά στρώματα. Η ψευδόκοψη παραμένει προσκολλημένη στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, ενώ η κίνηση του αποβλήτου 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 αποβλήτου και κοπτικού εργαλείου· επίσης, αποδίδεται και στο κατεργαζόμενο υλικό και στο υλικό του εργαλείου. Συνήθως, η ψευδόκοψη συνεχίζει ν' αναπτύσσεται, καθώς η κοπή προχωρεί και, όταν αποκτήσει ορισμένο

μέγεθος, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, τότε (το προς την κορυφή μέρος της ψευδόκοψης είναι ασταθές) αποκολλώνται τεμάχια από το κυρίως σώμα της ψευδόκοψης και παρασύρονται, προσκολλώμενα στην προς το εργαλείο πλευρά του αποβλήτου (τεμάχιο A) και επάνω στη νεοσχηματιζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου (τεμάχιο B), με σοβαρή συνέπεια τη χειροτέρευση της τραχύτητας της, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10γ.



Σχ. 1.10.
Χαρακτηριστικά της ψευδόκοψης,

α) Ευσταθές (1) και ασταθές (2) τμήμα της ψευδόκοψης.

β) Γεωμετρικά μεγέθη της.

γ) Ο κύκλος σχηματισμού και τεμαχισμού της ψευδόκοψης.

Οι βασικές προϋποθέσεις δημιουργίας ψευδόκοψης είναι οι ακόλουθες:

α) Να υφίστανται συνθήκες τριβής ακινησίας (παραγρ. 1.2.1.7),

β) το κατεργαζόμενο υλικό να είναι κρατυνόμο και

γ) να μην παραβιάζεται η συνθήκη διαρροής στο ευσταθές τμήμα της ψευδόκοψης (σχ. 1.10α).

Οι συνέπειες σχηματισμού της ψευδόκοψης συνοψίζονται ως εξής:

α) Αύξηση της ονομαστικής γωνίας αποβλήτου του εργαλείου από γ σε μία μέση τιμή γ_{π} (μέση πραγματική γωνία αποβλήτου, σχ. 1.10β).

β) Μείωση στη φυσική επιφάνεια επαφής (ή στο φυσικό μήκος επαφής) αποβλήτου - εργαλείου.

γ) Χειροτέρευση της τραχύτητας της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου.

δ) Επιρροή στις μηχανικές και σε φυσικές ιδιότητες της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου (μεταβολή στην κρυσταλλοδομή, παραμένουσες τάσεις, αντοχή σε κόπωση του τεμαχίου κ.ά.).

ε) Επίδραση στη φθορά, άρα και στη ζωή, του εργαλείου.

στ) Επίδραση στη διαστατική ακρίβεια του τεμαχίου.

ζ) Δημιουργία ταλαντώσεων στο μηχανουργικό σύστημα (Κ-ΕΜ-Ε-Τμ).

Οι κύριοι παράγοντες κοπής επηρεάζουν το σχηματισμό και τα χαρακτηριστικά της ψευδόκοψης. Ούτως:

α) Με αύξηση της ταχύτητας κοπής (και σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες κοπής) και της συνακόλουθης αυξήσεως της θερμοκρασίας στη ζώνη τριβής το μέγεθος της ψευδόκοψης μειώνεται και τελικά η *ψευδόκοψη εκφυλίζεται σε ένα λεπτό επικόλλημα μετάλλου* (όπως το αρχικό πρόδρομο στρώμα της ψευδόκοψης) στο μέτωπο του κοπτικού εργαλείου με γειτονική τη ζώνη πλαστικής ροής του υλικού του αποβλήτου.

β) Η πρόωση, το βάθος κοπής και η ονομαστική γωνία αποβλήτου: Οι διαστάσεις της θεωρητικής διατομής του αποβλήτου (π.χ. $t \cdot b$, στην ορθογωνική κοπή ή $s \cdot a$ στην τórνευση) επηρεάζουν το σχηματισμό ψευδόκοψης μέσω του ποσού της εκλυόμενης

θερμότητας, άρα και της στάθμης της θερμοκρασίας στη διεπιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου. Όσο δηλαδή μικρότερο είναι το s ή το t_1 (για σταθερά τα a ή b_1 αντιστοίχως, και τους λοιπούς παράγοντες κοπής), τόσο λιγότερη είναι η εκλυόμενη θερμότητα (και χαμηλότερη η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία) και *τόσο υψηλότερη θα είναι η κρίσιμη ταχύτητα κοπής, όπου εξαφανίζεται η ψευδόκοψη*. Το a ή το b_1 επηρεάζει τη δημιουργία της ψευδόκοπης σύμφωνα με τον ίδιο μηχανισμό, πλην όμως σε σημαντικά μικρότερη ένταση αφ' ότι το s ή t_1 .

Κατά τον ίδιο τρόπο δρουν και μεταβολές στην ονομαστική γωνία αποβλήτου του εργαλείου. Αύξηση στη γωνία αποβλήτου συνεπάγεται ευνοϊκότερη κοπή (παραγρ. 1.2.1.4), δηλαδή μείωση των δυνάμεων της εκλυόμενης θερμότητας, άρα και της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας.

γ) Το κατεργαζόμενο μέταλλο και το χρησιμοποιούμενο υγρό κοπής: Σημαντικός παράγοντας σχηματισμού της ψευδόκοπης είναι η ικανότητα κρατύνσεως του κατεργαζόμενου υλικού. *Όσο πιο μεγάλος είναι ο εκθέτης κρατύνσεως, τόσο εντονότερη είναι η τάση του υλικού για δημιουργία ψευδόκοπης*.

Με τη χρησιμοποίηση κατάλληλου υγρού κοπής, *ο σχηματισμός της ψευδόκοπης μετατίθεται σε υψηλότερες ταχύτητες κοπής*, αφού χωρίς υγρό κοπής. Και αυτό γιατί, όπως θα δούμε στη σχετική με τα υγρά κοπής παράγραφο, η λιπαντική δράση του που έχει ως αποτέλεσμα μείωση στο μέσο φαινόμενο συντελεστή τριβής (πράγμα δυσμενές για το σχηματισμό ψευδόκοπης) εκδηλώνεται σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες κοπής, ενώ σε υψηλότερες το υγρό κοπής καθίσταται ανενεργό από λιπαντικής απόψεως.

Σε υψηλότερες ταχύτητες κοπής, όπου εκμεταλλευόμαστε την ψυκτική δράση του υγρού κοπής, ευνοείται ο σχηματισμός ψευδόκοπης. Επί πλέον, σε χαμηλές σχετικά ταχύτητες κοπής και με χρησιμοποίηση υγρού κοπής με πρόσθετα υψηλής πίεσεως περιορίζεται η έκταση, όπου λαμβάνει χώρα τριβή ακινησίας και έτσι περιορίζεται το μέγεθος της ψευδόκοπης

Γ.Ο σχηματισμός του αποβλήτου και πως επηρεάζεται η ταχύτητα κοπής u και η γωνία αποβλήτου του εργαλείου γ (ή γ_{π}).

α) Η ταχύτητα κοπής.

Η ταχύτητα κοπής είναι μία θεμελιώδης ανεξάρτητη μεταβλητή της κοπής των μετάλλων. Ασκεί, συνεπώς, σημαντική επίδραση στο φαινόμενο της κοπής και ο μηχανισμός της εν γένει δράσεως της είναι αρκετά περίπλοκος. Συνοπτικά:

— Επίδρα έμμεσα στο σχηματισμό του αποβλήτου μεταβάλλοντας το μέσο φαινόμενο συντελεστή τριβής μ (ή τη μέση φαινόμενη γωνία τριβής ρ) και από αυτόν τη γωνία επενέργειας της δύναμης κοπής $\omega = \rho - \gamma$ (σχ. 1.12) και τελικά τη γωνία διατμήσεως ϕ [σχέσεις (1.11)]. Στην περίπτωση, που σχηματίζεται ψευδόκοψη, τότε η επιρροή της ταχύτητας κοπής εκδηλώνεται κυρίως με μεταβολές στη μέση πραγματική γωνία αποβλήτου γ_{π} .

— Ασκεί άμεση επίδραση στο όριο διαρροής του υλικού (τόσο στη ζώνη διατμήσεως, όσο και στη ζώνη τριβής) μέσω της ταχύτητας παραμορφώσεως κάτω από ορισμένες συνθήκες.

β) Η γωνία αποβλήτου του εργαλείου.

Η ονομαστική γωνία αποβλήτου γ , όντας και αυτή βασική ανεξάρτητη μεταβλητή της κοπής ή η πραγματική γωνία γ_{π} (όταν σχηματίζεται ψευδόκοψη) του κοπτικού εργαλείου ασκεί διπλή επιρροή στο σχηματισμό του απόβλητου: άμεση και έμμεση.

Άμεση επίδραση: Η γωνία αποβλήτου συμβάλλει σημαντικά στον καθορισμό του τασικού πεδίου στη ζώνη διατμήσεως.

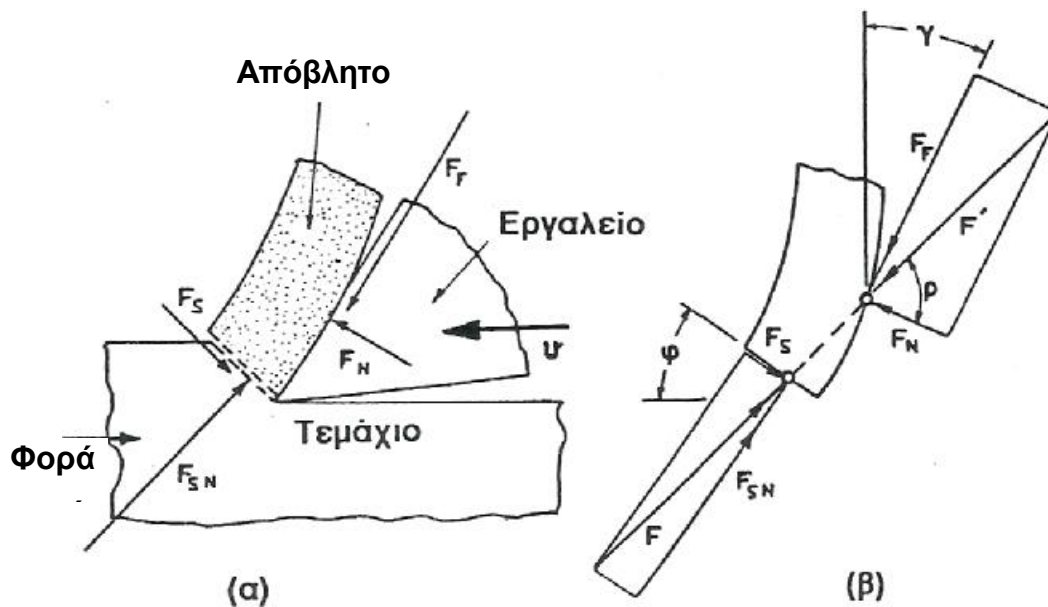
Μεγαλύτερη γωνία αποβλήτου συνεπάγεται μικρότερη πλαστική παραμόρφωση, την οποία πρέπει να υποστεί το στρώμα μετάλλου στη ζώνη διατμήσεως καθώς αυτό μετατρέπεται σε απόβλητο. Το αντίθετο συμβαίνει με μείωση της γωνίας γ . Ελάττωση όμως της πλαστικής παραμορφώσεως στη ζώνη διατμήσεως σημαίνει, προφανώς, βελτίωση εν γένει στη διαδικασία (στις συνθήκες) σχηματισμού του αποβλήτου (μικρότερος δείκτης συμπίεσεως αποβλήτου, μικρότερη ανηγμένη ενέργεια κοπής κ.ά.). Έμμεση επιρροή της γωνίας γ : Υπεισέρχεται στον προσδιορισμό της γωνίας ω , άρα ασκεί επίδραση και στη γωνία διατμήσεως ϕ με συνέπειες στο σχηματισμό του αποβλήτου (παραγρ. 1.2.1.4).

1.2.1.2. Το σύστημα των δυνάμεων κοπής.

Για να αρχίσει (και να διατηρηθεί) η κοπή, είναι αναγκαία η επιβολή μιας δύναμης επαρκούς μεγέθους και κατάλληλης διεύθυνσεως στο χώρο. Η δύναμη αυτή υποτιθέμενη συγκεντρωμένη (μοναχική) 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 νεοκατεργασμένης επιφάνειας.

Το σύστημα των δυνάμεων, που αναπτύσσονται κατά το σχηματισμό του



Σχ. 1.11.

Το σύστημα των δυνάμεων, που ασκούνται στο απόβλητο κατά την ορθογωνική κοπή.

συνεχούς αποβλήτου με ορθογωνική κοπή έχει, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11, με την προϋπόθεση ότι δεν αναπτύσσεται τριβή στην ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου (το εργαλείο είναι οξύ) και ότι η διαμητική πλαστική παραμόρφωση λαμβάνει χώρα κατά μήκος του επιπέδου διαμήσεως και όχι σε ζώνη διαμήσεως.

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

α) Η αντίσταση σε διάτμηση του υλικού του τεμαχίου F_s (ή δύναμη διατμήσεως), που εφαρμόζεται κατά μήκος του επιπέδου διαμήσεως.

β) Η κάθετη προς το επίπεδο διαμήσεως δύναμη F_{sN} , η οποία αποτελεί κατά κάποιο

τρόπο αντίδραση, που ασκείται από το τεμάχιο προς το απόβλητο.

γ) Η δύναμη τριβής F_F , που ασκείται κατά μήκος της επιφάνειας επαφής αποβλήτου - εργαλείου και αντιτίθεται στην κίνηση του αποβλήτου.

δ) Η κάθετη προς την επιφάνεια επαφής αποβλήτου-εργαλείου δύναμη F_N .

Με την προϋπόθεση ότι δεν επενεργεί οιαδήποτε ροπή στο απόβλητο, για τη στατική ισορροπία του, θα πρέπει να ισχύει η σχέση

$$F = F'.$$

Έτσι, οι δυνάμεις F_S και F_{SN} αφ' ενός και οι F_F και F_N αφ' ετέρου αντικαθίστανται από τις συνισταμένες τους F και F' αντίστοιχα, οι οποίες είναι ίσες και αντίρροπες. Η συνισταμένη F' καλείται **δύναμη κοπής**, ενώ η F παίρνει την ονομασία **αντίσταση κοπής**.

Στο σχήμα 1.12 απεικονίζεται το σύστημα των δυνάμεων κοπής σε μορφή κυκλικού διαγράμματος εύχρηστου για τον προσδιορισμό των σχέσεων, οι οποίες υφίστανται μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών.

Στο διάγραμμα αυτό περιλαμβάνεται επί πλέον και η λεγόμενη **κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής** F_1 , που επενεργεί στην κατεύθυνση της σχετικής κινήσεως του τεμαχίου ως προς το εργαλείο (η συνιστώσα αυτή $P!$

προσδιορίζει την ισχύ κοπής), 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 1.12 υποδηλοί ότι αυτές ασκούνται από το εργαλείο στο τεμάχιο. Οι συνιστώσες της δυνάμεως κοπής F_1 και F_2 μετρούνται συνήθως με τη βοήθεια κατάλληλου δυναμόμετρου κοπής και η γνώση τους ενδιαφέρει ιδιαίτερα για τον προσδιορισμό και άλλων συνιστωσών της δυνάμεως κοπής, αλλά και άλλων μεγεθών της κοπής των μετάλλων με συμμετοχή και των γωνιών γ και φ .

Σε περιπτώσεις προχωρημένης φθοράς του εργαλείου στην ελευθέρα του επιφάνεια, τότε προστίθενται στις συνιστώσες F_F και F_N της δυνάμεως κοπής και άλλες αντίστοιχες συνιστώσες (παρασιτικές).

Η δύναμη κοπής και οι διάφορες συνιστώσες της, ανάλογα με το σύστημα αναφοράς που επιλέγουμε (ιδιαίτερα η κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής), υπολογίζονται για τις ανάγκες της πράξεως κατά διάφορους τρόπους: θεωρητικά, εμπειρικά και ημιεμπειρικά. Σχετικά στοιχεία θα δίδουμε στα επόμενα κατά τη μελέτη των διαφόρων κατεργασιών, ιδιαίτερα δε της τονεύσεως.

1.2.1.3. Η κινηματική της ορθογωνικής κοπής

A. Ο συντελεστής συμπίεσεως τον αποβλήτων λ.

Ορίζεται ως $\lambda = (t_2/t_1) > 0$ και αποτελεί σημαντικό πειραματικό μέγεθος της κοπής, καθόσον μας δίδει το μέτρο της πλαστικής παραμορφώσεως, την οποία υφίσταται το μέταλλο κατά το σχηματισμό του αποβλήτου. Υψηλές τιμές τον συντελεστή αυτού σημαίνουν ισχυρά (έντονη) πλαστική παραμόρφωση του υλικού, ενώ χαμηλές τιμές του σημαίνουν ηπιότερη παραμόρφωση τον. Ο δείκτης συμπίεσεως του αποβλήτου, συνεπώς, παρέχει ξεκάθαρη, αλλά αδρή κάπως ένδειξη σχετικά με τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις και την καταναλισκόμενη 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 ευνοϊκά ή δυσμενέστερα. Ακόμη, ο δείκτης αυτός υπεισέρχεται σε μια απλή εμπειρική σχέση εκτιμήσεως της γωνίας διαμήσεως φ (σχ. 1.9), την ακόλουθη:

συνγ λ-ημγ

$$\eta \varphi = \text{τοξεφ} \quad (1.8)$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{\text{συνγ}}{\lambda - \eta\mu\gamma}$$

B. Οι ταχύτητες κατά την κοπή των μετάλλων.

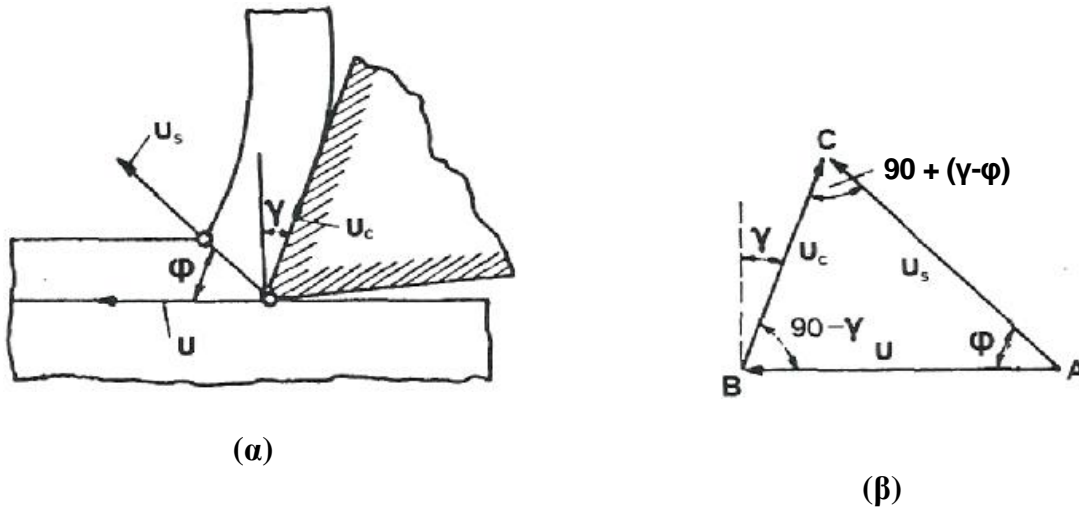
Κατά το σχηματισμό του αποβλήτου διακρίνομε τις ακόλουθες τρεις ταχύτητες (σχ. 1.13), που μπορούν εύκολα να προσδιορισθούν από τα παρεχόμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

α) Την ταχύτητα του εργαλείου σχετικά με το τεμάχιο υ, την οποία καλούμε **ταχύτητα κοπής**,

β) την ταχύτητα του αποβλήτου ως προς το τεμάχιο κατά την κατεύθυνση του επιπέδου διαμήσεως u_5 , την οποία ονομάζαμε **ταχύτητα διαμήσεως**

και

γ) την ταχύτητα κινήσεως του αποβλήτου σε σχέση με το εργαλείο u_c , την καλούμενη **ταχύτητα αποβλήτου**.



Σχ. 1.13.

Οι τρεις ταχύτητες κατά την ορθογωνική κοπή των μετάλλων.

1.2.1.4. Η γωνία διατμήσεως.

Η γωνία διατμήσεως ϕ αποτελεί βασικό μέγεθος της κοπής των μετάλλων και εκφράζει ποσοτικά ότι συμβαίνει στη ζώνη διατμήσεως. Η γνώση της, για δοσμένη περίπτωση κοπής, βοηθάει σημαντικά στο θεωρητικό υπολογισμό σπουδαίων μεγεθών της κοπής, όπως δυνάμεων, τάσεων, της ισχύος κοπής, παραμορφώσεων, ταχυτήτων παραμορφώσεως, θερμοκρασιών κ.ά..

Μέχρι σήμερα έχουν διατυπωθεί πολλές σχέσεις εκτιμήσεως της γωνίας διατμήσεως (είκοσι περίπου τον αριθμό). Οι σχέσεις όμως αυτές, βασισμένες σε διάφορες παραδοχές και απλουστεύσεις, ισχύουν για περιορισμένη περιοχή της πράξεως και δεν μπορούν να χαρακτηρισθούν ως γενικευμένες.

Όπως φαίνεται από τη μορφή των σχέσεων αυτών, η γωνία διατμήσεως δίδεται κατά βάση σαν συνάρτηση της γωνίας αποβλήτου γ και της γωνίας τριβής ρ (βρίσκεται εξάλλου και σε συμφωνία με διαστατική ανάλυση, που έχει διεξαχθεί) και η σχέση $\phi =$

σ(ρ,γ) προκύπτει κατά κύριο λόγο γραμμική. Προτείνονται όμως και περίπλοκοι τριγωνομετρικοί νόμοι.

Οι διάφοροι επιστήμονες έχουν ασχοληθεί με δύο ειδών πρότυπα του φαινομένου της κοπής: με το πρότυπο **επιπέδου διατμήσεως** και με το πρότυπο **ζώνης διατμήσεως** και από αυτό έχουν προκύψει, κατά κάποιο τρόπο, δύο σχολές για την αντιμετώπιση του προβλήματος της εκτιμήσεως της γωνίας διατμήσεως. Έτσι ερευνητές, όπως ο Piispanen, οι Ernst και Merchant, οι Lee και Shaffer κ.ά. ευνοούν το πρώτο πρότυπο, ενώ άλλοι όπως λ.χ. οι Palmer και Oxley έχουν βασίσει την ανάλυση τους στο δεύτερο.

Μία γενικευμένη θεωρία της κοπής των μετάλλων είναι αναγκαίο να περιλαμβάνει κατά σειρά σπουδαιότητας, τα ακόλουθα σημεία:

α) Το απόβλητο σχηματίζεται με πλαστική διάτμηση.

β) Υπάρχει ισχυρά αλληλεξάρτηση μεταξύ της παραμορφώσεως, η οποία συμβαίνει στη ζώνη διατμήσεως (πρωτεύουσα ζώνη παραμορφώσεως) και εκείνης, η οποία λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια επαφής αποβλήτου-εργαλείου (δευτερεύουσα ζώνη παραμορφώσεως). Αυτό σημαίνει αλληλεξάρτηση της γωνίας διατμήσεως και της μέσης φαινόμενης γωνίας τριβής.

γ) Πολλά μέταλλα και κράματα υφίστανται κράτυνση, λόγω πλαστικής παραμορφώσεως.

δ) Σχηματίζεται κάτω από ορισμένες συνθήκες ψευδόκοψη.

ε) Το απόβλητο συχνά βοστρυχοποιείται, καθώς κινείται επάνω στο εργαλείο. Τούτο μεταβάλλει το μήκος επαφής αποβλήτου - εργαλείου, γεγονός που θεωρούμε σημαντικό.

στ) Φθαρμένα εργαλεία ή εργαλεία με σχηματισμένη σταθερή ψευδόκοψη αποκλίνουν από το υποτιθέμενο θεωρητικό σφηνοειδές σχήμα τους. Στην περίπτωση αυτή, δημιουργείται τριβή ή και λαμβάνει χώρα ακόμη και πλαστική παραμόρφωση της νεοσχηματιζόμενης επιφάνειας τον τεμαχίου (τριβή ακινησίας) και συνεπώς, αλλάζει το υποτιθέμενο σύστημα των δυνάμεων κατά την ορθογωνική κοπή με την εμφάνιση και άλλης επιπρόσθετης δυνάμεως.

ζ) Υπάρχουν περιπτώσεις, όπου το πρόβλημα της κοπής χαρακτηρίζεται ως δυναμικό, όπως π.χ., αν το θεωρητικό πάχος του αποβλήτου, η ταχύτητα κοπής, η γωνία αποβλήτου, το βάθος κοπής ή ιδιότητες του υλικού του τεμαχίου, που επηρεάζουν τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου.

Βάσει πληθώρας πειραματικών αποτελεσμάτων έχει διαπιστωθεί, ότι ουδεμία από τις προταθείσες σχέσεις εκτιμήσεως της γωνίας φ καλύπτει μεγάλο φάσμα (το ιδανικό θα ήταν η κάλυψη όλων των περιπτώσεων κοπής της πράξεως) υλικών και παραγόντων κοπής. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στις υπεραπλουστεύσεις, που έχουν γίνει από τους διάφορους ερευνητές στην προσπάθεια τους να επιλύσουν ένα λίαν περίπλοκο (άρα και δύσκολο) πρόβλημα. Χαρακτηριστικά αναφέρομε ότι όλες οι προταθείσες θεωρίες βασίζονται σε ένα ή δύο από τα επτά προσημειωθέντα σημεία.

Συμπερασματικά μπορούμε να διατυπώσουμε τα ακόλουθα:

α) Πολλές από τις προταθείσες σχέσεις είναι **γραμμικές** της μορφής (1-9)

$$\varphi = A - B(\rho - \gamma) \quad \text{ή} \quad \varphi = A - B\omega,$$

όπου ρ είναι η μέση φαινόμενη γωνία τριβής και A, B σταθερές κατά περίπτωση θεωρίας.

β) Πέρα από τις θεωρητικές αυτές σχέσεις και οι αντίστοιχες τους πειραματικές ακολουθούν γραμμική συσχέτιση μεταξύ φ και $(\rho - \gamma)$, που μόνο για συγκεκριμένο όμως μέταλλο ή κράμα (και όχι για πολλά) και εύρος μεταβολής βασικών παραγόντων κοπής έχει αποδειχθεί ικανοποιητική σχετικά.

γ) Η παρατηρούμενη τάση είναι ότι ελάττωση της διαφοράς $(\rho - \gamma)$ συνεπάγεται πάντοτε αύξηση της γωνίας διατμήσεως φ και συνεπώς ελάττωση του δείκτη συμπίεσεως του αποβλήτου με τις γνωστές ευνοϊκές επιπτώσεις.

Έτσι, για δεδομένη γωνία αποβλήτου, μείωση της μέσης φαινόμενης γωνίας τριβής έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της γωνίας διατμήσεως με επακόλουθο την ελάττωση της επιφάνειας διατμήσεως. Εξάλλου, εφ' όσον το δυναμικό όριο διαρροής του υλικού στην ζώνη διατμήσεως παραμένει κατά προσέγγιση σταθερό, έπεται

ότι η απαιτούμενη για το σχηματισμό του αποβλήτου δύναμη διατμήσεως μειώνεται και κατ' επέκταση και η δύναμη κοπής. Αύξηση της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου γ συνεπάγεται [σχέση (1.9)] αύξηση της γωνίας φ και συνεπώς ελάττωση της δυνάμεως κοπής, άρα και αποδοτική κοπή. Εν τούτοις θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι η αύξηση της γωνίας γ ακολουθείται και από σχετικά μικρότερη αύξηση της μέσης φαινόμενης γωνίας τριβής, ρ (παραγρ. 1.2.1.5). Με βάση τον κανόνα αυτό, θα πρέπει να εκλέγουμε στην πράξη μεγάλες τιμές της γωνίας αποβλήτου (όσο βέβαια το επιτρέπει η μηχανική αντοχή του κοπτικού εργαλείου και η ικανοποιητική συμπεριφορά του από άποψη φθοράς και ζωής του) και να παίρνομε κάθε δυνατό μέτρο για τη μείωση του μέσου φαινόμενου συντελεστή τριβής [π.χ. να χρησιμοποιούμε κατάλληλο υγρό κοπής σε χαμηλές και μέσες ταχύτητες κοπής,].

δ) Από πειραματικά αποτελέσματα έχει διαπιστωθεί ότι δεν είναι δυνατό να ευρεθούν θεωρητικές σχέσεις προσδιορισμού της γωνίας διατμήσεως φ , αν δεν περιληφθεί και η επίδραση της ταχύτητας πλαστικής παραμορφώσεως τόσο στο φαινόμενο της κοπής αυτό καθαυτό, όσο και στις ιδιότητες του κατ εργαζόμενου μετάλλου επί πλέον και η επιρροή της θερμοκρασίας.

1.2.1.5. Η τριβή στην κοπή των μετάλλων.

Στην κοπή των μετάλλων οι τριβόμενες επιφάνειες είναι, κατά κύριο λόγο, η προς το εργαλείο επιφάνεια των αποβλήτων και η επιφάνεια αποβλήτων του εργαλείου και δευτερευόντως η ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου με τη νεοκατεργασμένη επιφάνεια του τεμαχίου. Λόγω των υψηλών ορθών τάσεων, που επικρατούν, η πραγματική επιφάνεια επαφής αποβλήτου - εργαλείου αυξάνεται και κάτω από ορισμένες συνθήκες προσεγγίζει τη φαινόμενη επιφάνεια επαφής ή και εξισώνεται προς αυτή. Από αυτό έπεται, ότι η αναλογία μεταξύ του κάθετου φορτίου και της πραγματικής επιφάνειας επαφής προοδευτικά καθίσταται ανακριβής με την αύξηση του πρώτου μέχρις ότου, σε υψηλές τιμές τον κάθετον φορτίου, η πραγματική επιφάνεια επαφής σταθεροποιηθεί, αφού εξισωθεί προς τη φαινόμενη επιφάνεια επαφής (ισχύουν, δηλαδή συνθήκες τριβής ακινησίας οπότε λαμβάνει χώρα πλαστική ροή σε υπόστρωμα του αποβλήτων). Κάτω από τις συνθήκες αυτές, η δύναμη τριβής προκύπτει ανεξάρτητη του κάθετου φορτίου και, συνεπώς, δεν ισχύουν οι δασικοί νόμοι της ξηράς τριβής ολισθήσεως. Ο συντελεστής τριβής μειώνεται προοδευτικά από τη σταθερή τιμή, που παίρνει σε μικρά κάθετα φορτία και για

πολύ υψηλά φορτία **μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς το κάθετο φορτίο, εφ' όσον η δύναμη της τριβής παραμένει πλέον σταθερή.** Συμπληρωματικά, παρατηρούμε ότι εξαιτίας των συνθηκών που επικρατούν κατά την κοπή, η επαφή αποβλήτου - εργαλείου είναι σχεδόν πλήρης (περιοχή τριβής ακινησίας) σε πολύ μεγάλο μερίδιο της συνολικής διεπιφανείας (φαινόμενης επιφάνειας), ώστε ανάπτυξη αμιγούς τριβής ολισθήσεως να αποκλείεται σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις κοπής.

Έχει διαπιστωθεί από πειραματικά αποτελέσματα μεγάλης εκτάσεως, ότι κατά την κοπή των μετάλλων ο συντελεστής τριβής, για δεδομένο ζεύγος υλικών τεμαχίου και εργαλείου, δεν παραμένει σταθερός, αλλά μεταβάλλεται σημαντικά από μεταβολές κυρίως της γωνίας αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου και δευτερευόντως της ταχύτητας κοπής (ή της μέσης θερμοκρασίας επιφάνειας επαφής αποβλήτου - εργαλείου) και της προώσεως. Επιπρόσθετα και το είδος του υγρού κοπής, που τυχόν χρησιμοποιείται, επηρεάζει το συντελεστή τριβής.

Ούτως, η **γωνία αποβλήτου του εργαλείου επιδρά σημαντικά στο μέσο φαινόμενο συντελεστή τριβής (ή στη μέση φαινόμενη γωνία τριβής) και μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αύξηση της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου να συνεπάγεται και αύξηση του μέσου φαινόμενου συντελεστή τριβής (ή της μέσης φαινόμενης γωνίας τριβής).** Συνάγεται επίσης, ότι ο μέσος φαινόμενος συντελεστής τριβής κατά την κοπή των μετάλλων λαμβάνει ασυνήθιστα υψηλές τιμές **αφ' ότι κατά την συνήθη τριβή ολισθήσεως του ίδιου ζεύγους υλικών.**

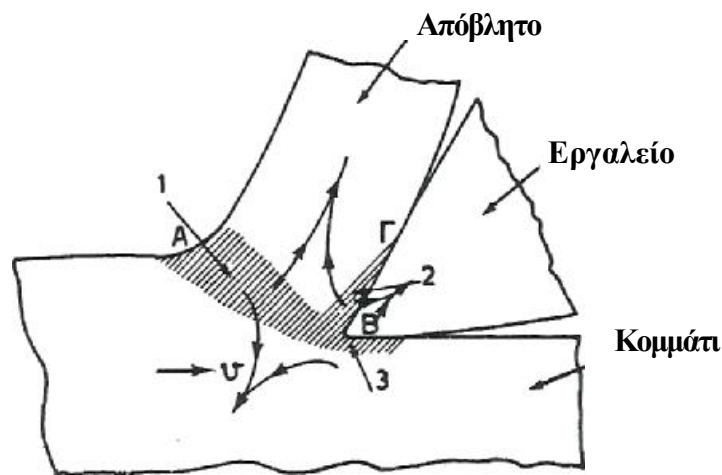
Το τελευταίο μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός, ότι στην κοπή των μετάλλων, **ο αποκαλούμενος μέσος φαινόμενος συντελεστής τριβής: παύει πλέον, εξαιτίας των συνθηκών που επικρατούν, να έχει τη γνωστή μας φυσική του έννοια και δεν εκφράζει παρά μόνο λόγο δυνάμεων ή τάσεων.**

Το μέγεθος που χαρακτηρίζει τη ζώνη τριβής στην κοπή των μετάλλων είναι ο **μέσος φαινόμενος συντελεστής τριβής,** ενώ εκείνο που εκφράζει τη ζώνη διατμήσεως είναι η **γωνία διατμήσεως.** Από διαπιστώσεις ερευνητών αλλά και βάσει της εμπειρίας που έχει αποκτηθεί μέχρι σήμερα, οδηγούμαστε στο ότι **η γωνία διατμήσεως εξαρτάται από το μέσο φαινόμενο συντελεστή τριβής και αντίθετα, ο μέσος**

φαινόμενος συντελεστής τριβή: εξαρτάται από τη γωνία διατμήσεως, ότι δηλαδή, υφίσταται άμεση αλληλεξάρτηση.

1.2.2. Εκλυόμενη θερμότητα και αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες κατά την κοπή των μετάλλων.

Η ενέργεια κοπής μετατρέπεται σε θερμότητα κατά κύριο λόγο στη ζώνη διατμήσεως και κατά δευτερεύοντα στη ζώνη επαφής αποβλήτου και εργαλείου. Αν, όπως συμβαίνει στις περισσότερες των πρακτικών εφαρμογών, το



Σχ. 1.14

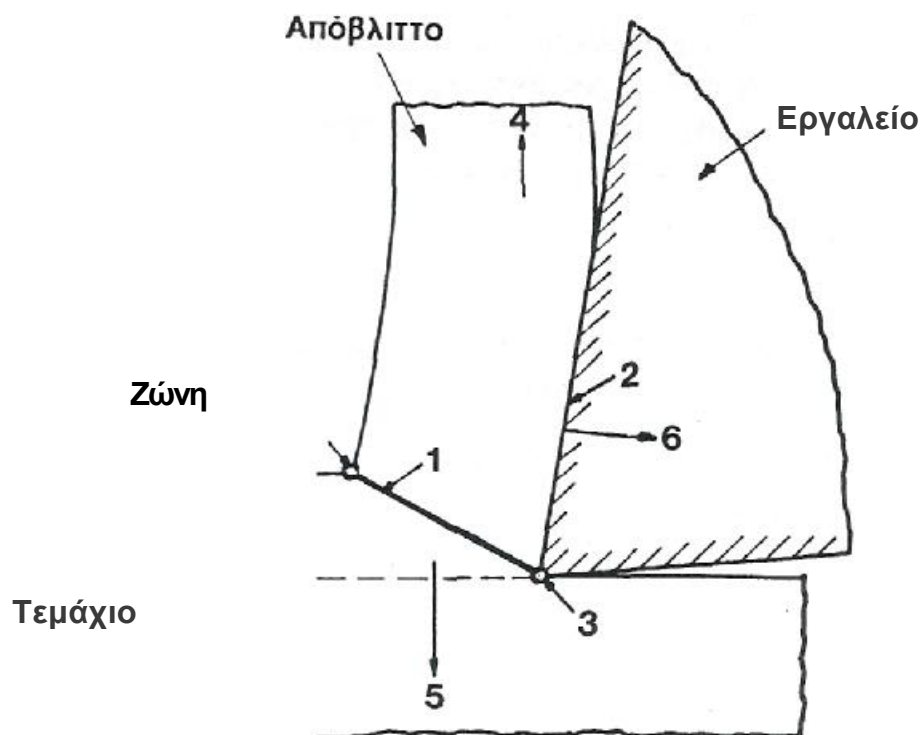
Ζώνες παραγωγής θερμότητας κατά την ορθογωνική κοπή των μετάλλων.

- 1: Ζώνη διατμήσεως.
- 2: Ζώνη επαφής αποβλήτου - εργαλείου (ή ζώνη τριβής).
- 3: Ζώνη επαφής εργαλείου – τεμαχίου.

εργαλείο δεν είναι απολύτως οξύ, τότε παράγεται θερμότητα και στην ζώνη επαφής τεμαχίου - εργαλείου, η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν. Στην περίπτωση αυτή η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία επηρεάζει τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και την κρυσταλλική δομή της επιφανειακής στιβάδας του τεμαχίου.

Το σχήμα 1.15 μας δείχνει μία τυπική διανομή της συνολικής παραγόμενης κατά την κοπή των μετάλλων θερμότητας μεταξύ τεμαχίου, αποβλήτου και εργαλείου σε συνήθεις ταχύτητες κοπής.

Η μέτρηση και η διανομή των θερμοκρασιών, που αναπτύσσονται κατά την κοπή των μετάλλων και στις τρεις περιοχές εκλύσεως θερμότητας.



Σχ. 1.15.

Τυπική κατά προσέγγιση διανομή της παραγόμενης κατά την κοπή των μετάλλων συνολικής θερμότητας σε συνήθεις ταχύτητες κοπής.

- 1) 80% της συνολικής ενέργειας κοπής μετατρέπεται σε θερμότητα στη ζώνη διατμήσεως.
- 2) 18% της συνολικής ενέργειας κοπής μετατρέπεται σε θερμότητα στην περιοχή επαφής αποβλήτου - εργαλείου.

- 3) 2% της συνολικής ενέργειας κοπής μετατρέπεται σε θερμότητα στην περιοχή επαφής εργαλείου - τεμαχίου.
- 4) 75% της συνολικής ενέργειας κοπής απάγεται από το απόβλητο.
- 5) 8% της συνολικής ενέργειας κοπής απάγεται από το τεμάχιο.
- 6) 17% της συνολικής ενέργειας κοπής απάγεται από το εργαλείο.

διατμήσεως, ζώνη τριβής, διεπιφάνεια εργαλείου - τεμαχίου, (σχ. 1.14), παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εν γένει μελέτη και κατανόηση του φαινομένου της κοπής. Και πιο συγκεκριμένα: Η θερμοκρασία, κυρίως στη ζώνη τριβής και κατά δεύτερο λόγο στη διεπιφάνεια εργαλείου - τεμαχίου (όταν η φθορά του εργαλείου στην ελεύθερη επιφάνεια του αρχίζει να βρίσκεται σε κάπως προχωρημένο στάδιο), παίζει ρυθμιστικό κυρίαρχο ρόλο ρυθμό φθοράς του κοπτικού εργαλείου, γεγονός που υποβοηθεί από τη μία μεριά στην εκλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής του εργαλείου και από την άλλη τέτοιων παραγόντων κοπής, ώστε να μειώνεται ο ρυθμός φθοράς του εργαλείου με συνακόλουθη αύξηση της ζωής του.

Θεωρητικός προσδιορισμός του θερμοκρασιακού πεδίου έχει επιχειρηθεί, κάτω όμως από απλουστευτικούς περιορισμούς, βάσει της θεωρίας της μεταδόσεως θερμότητας, ενώ έχει εφαρμοσθεί η διαστατική ανάλυση για υπολογισμό όμως της μέσης θερμοκρασίας Θ_F στη διεπιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου. Άλλωστε, πειραματικά αποτελέσματα συμφωνούν σε πολλά σημεία με τα θεωρητικά. Έτσι, είναι δυνατό να καταλήξουμε σε ορισμένα βασικά συμπεράσματα:

- α) Το μέγεθος, που ασκεί τη μεγαλύτερη επιρροή στη μέση θερμοκρασία Θ_F είναι η ειδική αντίσταση κοπής, και μάλιστα η επίδραση της είναι ευθέως ανάλογη.
- β) Τα δύο θερμικά μεγέθη του κατεργαζόμενου υλικού, που υπεισέρχονται, δηλαδή η ογκομετρική ειδική θερμότητα και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, κατατάσσονται δεύτερα, σε ότι αφορά το βαθμό επιρροής τους στη μέση θερμοκρασία Θ_F .
- γ) Η ταχύτητα κοπής επιδρά στη μέση θερμοκρασία Θ_F εντονότερα αφοτί η **θεωρητική διατομή του αποβλήτου**. Η θερμοκρασία Θ_F μεταβάλλεται περίπου ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα της ταχύτητας κοπής και με την τέταρτη ρίζα της θεωρητικής διατομής του αποβλήτου.

Παρά τις σοβαρές προσπάθειες, που έχουν καταβληθεί από το 1925 περίπου, δεν έχει ακόμη επινοηθεί μέχρι σήμερα μέθοδος αξιόπιστη, γενικευμένη, απλή και γρήγορη για τη μέτρηση και την τοπική διανομή των θερμοκρασιών, που αναπτύσσονται στην κοπή των μετάλλων. Στο σημείο αυτό επισημαίνουμε, ότι η μέτρηση των θερμοκρασιών στην κοπή των μετάλλων, έστω και με τις διατιθέμενες σήμερα μεθόδους, είναι μία πολύ δύσκολη εργασία, που απαιτεί εμπειρία και προσοχή.

Οι χρησιμοποιούμενες σήμερα μέθοδοι μετρήσεως των αναπτυσσομένων κατά την κοπή θερμοκρασιών, έχουν ως ακολούθως:

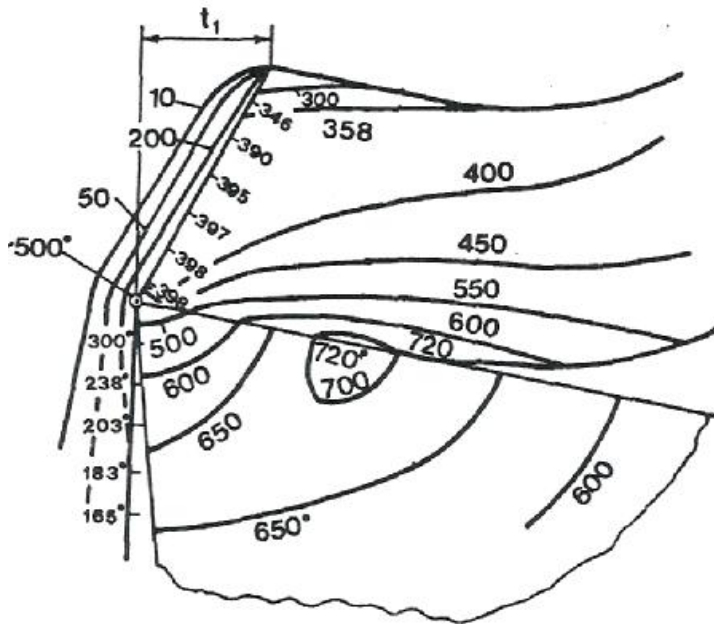
α) Η θερμιδομετρική μέθοδος.

β) Η θερμοηλεκτρική θερμομετρία, που περιλαμβάνει αφενός τη μέθοδο του απλού ελεύθερου θερμοηλεκτρικού ζεύγους και αφετέρου τη μέθοδο εντιθέμενων θερμοηλεκτρικών ζευγών. Η πρώτη είναι η πλέον διαδιδόμενη σήμερα μέθοδος εκτιμήσεως της *μέσης θερμοκρασίας* στη ζώνη τριβής. Το εργαλείο και το τεμάχιο (διαφορετικά υλικά) δρουν ως στοιχεία ενός *θερμοηλεκτρικού ζεύγους*. Με τη μέτρηση αυτή μπορούμε να δεχθούμε, ότι κάνουμε μίαν αδρή εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας.

Με τη δεύτερα μέθοδο, δηλαδή με τη τοποθέτηση σε κατάλληλη οπή (ή οπές) του εργαλείου θερμοηλεκτρικού ζεύγους (ή ζευγών), είναι δυνατή μία χονδρική κάπως χάραξη θερμοκρασιακού πεδίου στη μάζα ενός εργαλείου και όταν ακόμη οι μετρήσεις εκτελούνται από πεπειραμένο προσωπικό (η διεξαγωγή των μετρήσεων αυτών είναι χρονοβόρα, περίπλοκη και κουραστική).

γ) Μέθοδοι ραδιοθερμογραφίας, που βασίζονται στην ακτινοβολία, την οποία εκπέμπουν θερμαινόμενες επιφάνειες και

δ) μέθοδοι αλλαγών στην κρυσταλλική δομή ταχυχαλύβων εξαιτίας μεταβολών θερμοκρασίας.



Σχ. 1.16

Διανομή θερμοκρασιών στο απόβλητο, στο κοπτικό εργαλείο και στο τεμάχιο.

Χάλυβας παρόμοιος με SAE 1095, $u = 66 \text{ m/mm}$, $T_f = 0,195 \text{ mm}$, $\gamma = 10^\circ$. Οι θερμοκρασίες δίδονται σε $^\circ\text{C}$.

Στο σχήμα 1.16 παρουσιάζεται η διανομή θερμοκρασιών στο εργαλείο, στο απόβλητο και στο τεμάχιο κατά την κοπή ενός χάλυβα κάτω από τους αναφερόμενους παράγοντες κοπής, όπου φαίνονται και οι θέσεις των αναπτυσσόμενων μέγιστων θερμοκρασιών ακόμη, παρατηρούμε σε αυτό:

- α) Ότι οι θερμοκρασίες είναι κατά πολύ υψηλότερες στο εργαλείο από ότι είναι στο απόβλητο και φυσικά και στο κομμάτι και
- β) ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες αναπτύσσονται συνήθως σε θέσεις που απέχουν από την άκρη του εργαλείου. Πολύ συχνά στη θέση των μέγιστων θερμοκρασιών αρχίζει να αναπτύσσεται η φθορά κρατήρα.

1.2.3. Το κοπτικό εργαλείο

1.2.3.1. Γενικές παρατηρήσεις

Κάθε κοπτικό εργαλείο, χρησιμοποιούμενο για συγκεκριμένη κατεργασία, το εξετάζουμε από απόψεως μορφής (δηλαδή γεωμετρικών χαρακτηριστικών) και υλικού κατασκευής του.

Το γεγονός, ότι στην κατηγορία των εργαλείων με γεωμετρικώς καθορισμένη μορφή (παραγρ. 1.1.2.2) τα εργαλεία πολλών κύριων κόψεων (όπως λ.χ. είναι τα τρύπανα και οι φρέζες) δεν είναι τίποτε άλλο παρά συσσωματωμένα σε ένα σύνολο **τυπικά εργαλεία торνεύσεως**, μας οδηγεί στην ανάγκη ενδελεχούς γεωμετρικής αναλύσεως και προτυποποίησης των εργαλείων αυτών, πράγμα με το οποίο θα ασχοληθούμε στο περί торνεύσεως

Αναφερόμενοι τώρα στο θέμα των υλικών κατασκευής εργαλείων κοπής, .-τρέπεται να τονίσουμε ότι η επιτυχής εκλογή τέτοιου υλικού συνιστά μια σημαντική ενέργεια ανάμεσα στις τεχνολογικές διαδικασίες της μηχανουργικής παραγωγής με σοβαρά οικονομικά και λειτουργικά αποτελέσματα.

Το εργαλείο κοπής λειτουργεί, κατά τα γνωστά, κάτω από λίαν δυσμενείς συνθήκες επιβαλλόμενων φορτίων, αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών και τριβολογικών φαινομένων σε κρίσιμες επιφάνειες του κοπτικού [αξιοσημείωτα είναι η τριβή στη διεπιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου και η φθορά του εργαλείου]. Επί πλέον, από το εργαλείο απαιτούμε υψηλό βαθμό αξιοπιστίας κατά τη λειτουργία τους στις συνήθεις συμβατικές κατεργασίες και εργαλειομηχανές, ιδιαίτερα όμως στις κατεργασίες που εκτελούνται σε εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση (NC, CNC) και στα συναφή συστήματα (DNC, FMS, CIS κ. ά.), σε εργαλειομηχανές πολλαπλών κατεργασιών, καθώς και σε ημιαυτόματες και αυτόματες συμβατικές εργαλειομηχανές. Κατά συνέπεια, τα υλικά κατασκευής του πρέπει να συνδυάζουν ορισμένες, κατά περίπτωση κατεργασίας, από τις ακόλουθες ιδιότητες:

α) Μεγάλη σκληρότητα μετά τις ενδεδειγμένες θερμικές κατεργασίες (προφανώς, όπου αναγκαίοι η εκτέλεση θερμικών κατεργασιών) στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (άλλωστε η σκληρότητα αυτή αποτελεί ένα από τα προδιαγραφόμενα μεγέθη του υλικού) και ικανότητα διατηρήσεως της σκληρότητας, στο βαθμό που απαιτείται, στις συναντώμενες υψηλές θερμοκρασίες κατά την κοπή. Τούτο αποκτά προοδευτικά αυξανόμενη σημασία, καθώς η ταχύτητα κοπής αυξάνεται και κατακολουθίαν και η θερμοκρασία.

β) Μεγάλη αντίσταση στη φθορά, ώστε ο ρυθμός φθοράς του εργαλείου και συνεπώς η (ωφέλιμη) ζωή του να είναι αποδεκτά από απόψεως ποιότητας και οικονομίας της κατεργασίας.

γ) Καλή δυσθραυστότητα, αντοχή σε θλίψη και κάμψη, όπως και σε θερμικά πλήγματα.

δ) Διατήρηση της ευστάθειας μορφής κατά την κατεργασία.

ε) Χαμηλό συντελεστή τριβής ολισθήσεως.

στ) Καλή κατεργαστικότητα και διαμορφωσιμότητα και

ζ) να έχουν παραδεκτό κόστος κτήσεως και να είναι διαθέσιμα.

Είναι προφανές, ότι δεν υπάρχει υλικό εργαλείου, που να συγκεντρώνει όλες αυτές τις απαιτήσεις, που αναφέραμε. Και αυτό, γιατί ορισμένες ιδιότητες αλληλοαντιστρατεύονται, όπως λ.χ. η σκληρότητα αντιμάχεται τη δυσθραυστότητα.

Η σχετική σημασία κάθε ιδιότητας ποικίλει αναλόγως:

α) Της φύσεως του κατεργαζόμενου τεμαχίου, δηλαδή, εκ του κατά πόσο αυτό απαιτεί μεγάλη ή μικρή ακρίβεια κατασκευής και, συνεπώς, χαμηλό ή υψηλό κόστος παραγωγής, αντίστοιχα,

β) του όγκου της παραγωγής,

γ) του είδους της κατεργασίας κοπής, από το αν η κοπή, δηλαδή, είναι συνεχής ή διακοπτόμενη και αν η κατεργασία είναι εκχόνδριση ή αποπεράτωση,

δ) των συνθηκών κατεργασίας και της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου,

ε) της γενικής καταστάσεως της εργαλειομηχανής και στ) των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του κατεργαζόμενου υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΥΛΙΚΑ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΑ ΚΟΠΗΣ.

2.1. Υλικά κοπτικών εργαλείων.

Τα υλικά κοπτικών εργαλείων κατατάσσονται ως εξής:

α) Στους χάλυβες κοπτικών εργαλείων, στους οποίους περιλαμβάνονται:

- οι ανθρακούχοι ή κοινοί χάλυβες εργαλείων,
- οι κεκραμένοι χάλυβες εργαλείων (πλην ταχυχαλύβων) και
- οι ταχυχάλυβες,

β) στα χυτευτά κράματα κοπτικών εργαλείων (στελλίτες),

γ) στα σκληρομέταλλα,

δ) στα κεραμεικά πυριμάχων οξειδίων,

ε) στους αδάμαντες και τέλος

στ) στις λειαντικές σκόνες.

Στα αμέσως επόμενα, θα προβούμε σε ανακεφαλαίωση βασικών (και χρήσιμων) ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των εν λόγω υλικών κατασκευής εργαλείων κοπής με έμφαση στους ταχυχάλυβες και στα σκληρομέταλλα, που χρησιμοποιούνται ευρύτερα και αποδοτικότερα στη μηχανουργική παραγωγή. Περαιτέρω, στο Παράρτημα Ι [στο τέλος του πρώτου (Α) Μέρους] θα παραθέσουμε Πίνακες (Π) (από Ι-Π01 έως Ι-Π16) επιλεγμένων προτυποποιημένων υλικών κοπτικών εργαλείων με συμπληρωματικές χρήσιμες πληροφορίες, που αφορούν σε συστάσεις για πρακτικές εφαρμογές τους, για θερμικές κατεργασίες των χαλύβων κ.ά.

2.1.1 Ανθρακούχοι και κεκραμένοι χάλυβες.

A. Ανθρακούχοι χάλυβες.

Χρησιμοποιούνται, όπου οι απαιτήσεις για υλικό εργαλείου, που προαναφέραμε, είναι ήπιες. Η σε άνθρακα περιεκτικότητα των χαλύβων αυτών κυμαίνεται από 0,60% έως 1,50% ανάλογα με τη χρήση του χάλυβα. Πρέπει να έχουν μεγάλη καθαρότητα. Να περιορίζεται, δηλαδή, το ποσοστό των ακαθαρσιών (μαγγάνιο, πυρίτιο, θείο, φωσφόρος και άζωτο) στο ελάχιστο οικονομικά αποδεκτό ποσοστό, σύμφωνα με τα κατά περίπτωση ομάδας χαλύβων ισχύοντα πρότυπα.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες εργαλείων διατίθενται στο εμπόριο συνήθως σε κατάσταση αποπύσεως (αυτό συμβαίνει με το πλείστο των χαλύβων εργαλείων), για να μορφοποιούνται εύκολα. Ακολουθως, υφίστανται βαφή, κατά κύριο λόγο στο νερό ή σε άλμη (γι' αυτό έχουν πάρει και την ονομασία *χάλυβες νερού*) και κατόπιν την ενδεδειγμένη επαναφορά. Ορισμένες ποσότητες από τους χάλυβες αυτούς, με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα, βάφονται στο λάδι.

Ως κοπτικά εργαλεία οι ανθρακούχοι χάλυβες χρησιμοποιούνται σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, χαμηλές προώσεις και μικρά βάθη κοπής, καθώς επίσης και για την κατεργασία ευκολοκατέργαστων υλικών, όπως είναι ο χάλυβας ελευθέρας κοπής, κράματα του χαλκού και του αργιλίου και άλλα. Χρησιμοποιούνται επί πλέον και στην κατασκευή εργαλείων χειρός, όπως είναι τα σφυριά (σφύρες), οι λεπίδες μεταλλοπριόνων, οι λίμες (ρίνες), τα εργαλεία σιδηρουργού κ.ά.

B. Κεκραμένοι χάλυβες.

Οι χάλυβες αυτοί κατασκευής κοπτικών εργαλείων διαφέρουν από τους ανθρακούχους χάλυβες κατά το ότι περιέχουν πλην του άνθρακα και μία ή περισσότερες προσθήκες, όπως είναι το χρώμιο, το βολφράμιο, το βανάδιο το μολυβδαίνιο και το μαγγάνιο. Με τις προσθήκες αυτές επιτυγχάνεται κυρίως αύξηση της αντιστάσεως του χάλυβα (στη φθορά, καθώς επίσης και καλύτερος βαθμός εμβαιπτότητας (είναι η ικανότητα πλήρους βαφής καθόλη τη μάζα του χάλυβα). Η αντοχή τους όμως σε επαναφορά (δηλαδή η ιδιότητα διατηρήσεως της σκληρότητας των χαλύβων μόνον με αύξηση της θερμοκρασίας) παραμένει χαμηλή, πλησιάζουσα, εκείνη των ανθρακούχων χαλύβων. Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο οι κεκραμένοι αυτοί χάλυβες δεν αποδίδουν σε κατεργασίες κοπής

με αυξημένες σχετικά ταχύτητες, ενώ χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα ως σπειροτόμοι, γλύφανα, τρύπανα και εν γένει ως εργαλεία χειρός.

2.1.2. Ταχυχάλυβες.

A. Γενικά.

Οι ταχυχάλυβες, συγκρινόμενοι με τους υπόλοιπους χάλυβες κοπτικών εργαλείων, περιέχουν μεγάλο ποσοστό προσθηκών. Στους ταχυχάλυβες, πλην του άνθρακα, προστίθεται χρώμιο (Cr), βολφράμιο (W), βανάδιο (V), μολυβδαίνιο (Mo) και κοβάλτιο (Co). Με συνδυασμούς των προσθηκών αυτών και του ποσοστού τους, προσδίδονται στους ταχυχάλυβες κατά κύριο λόγο:

- α) Μεγάλη σκληρότητα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μετά την εκτέλεση των ενδεδειγμένων θερμικών κατεργασιών και
- β) μεγάλη αντοχή σε επαναφορά (σχ. 2.1).

Αναλυτικότερα, οι προσθήκες στους ταχυχάλυβες επιδρούν στις ποικίλες ιδιότητες τους και στην κρυσταλλική τους δομή, όπως σύντομα αναφέρουμε παρακάτω:

α) **Το χρώμιο:** Έχει μέση τάση σχηματισμού σκληρών καρβιδίων. Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως και την ευτηκτοειδή αναλογία σε άνθρακα. Αυξάνει το μέγεθος των κρυσταλλικών (κόκκων). Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά και την αντίσταση του σε φθορά. Εμφανίζει αυξημένη εμβαπτότητα.

β) **Το βολφράμιο:** Παρουσιάζει μεγάλη τάση σχηματισμού σκληρών καρβιδίων. Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά και την αντίσταση του σε φθορά.

γ) **Το μολυβδαίνιο:** Έχει μέση τάση σχηματισμού καρβιδίων. Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά και σε φθορά. Ελαττώνει την κρίσιμη ταχύτητα αποψύξεως του χάλυβα και βελτιώνει ιδιαίτερα τη δυσθραυστότητά του.

δ) **Το βανάδιο:** Εμφανίζει λίαν ισχυρά τάση σχηματισμού καρβιδίων. Αυξάνει, την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά και την αντίσταση του σε φθορά. Ευνοεί την ανάπτυξη κρυσταλλικών μικρού μεγέθους (εκλεπτύνει τους κρυσταλλίτες).

ε) **Το κοβάλτιο:** Έχει μικρή τάση σχηματισμού καρβιδίων. Αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε επαναφορά.

Η παρουσία του κοβαλτίου στον ταχυχάλυβα φαίνεται ότι περιορίζει την αύξηση κατά μέγεθος των κατακρημνιζόμενων υπομικροσκοπικών τμηματιδίων καρβιδίων κατά τη δευτερογενή σκλήρωση του ταχυχάλυβα. κάτι που είναι ευνοϊκό.

στ) **Ο άνθρακας:** Αναγκαίοι για το σχηματισμό καρβιδίων των προσθηκών V,Mo,W. Κάποιο ποσοστό του διαλύεται σε υψηλή θερμοκρασία και είναι ουσιώδες για το σχηματισμό του μαρτενσίτη. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα άνθρακα βρίσκεται στους ταχυχάλυβες με μεγάλο ποσοστό βαναδίου. Όπως βλέπουμε, η παρουσία του άνθρακα στον ταχυχάλυβα είναι ουσιώδης και κατά συνέπεια απαιτείται ακριβής έλεγχος του περιεχόμενου στον ταχυχάλυβα άνθρακα.

Σε ανοπτημένη κατάσταση η κρυσταλλική δομή του ταχυχάλυβα συνίσταται από λεπτότατα σύνθετα και απλά καρβίδια ανάλογα με τη χημική του σύνθεση [$Fe_{4,w_2}C$, $(MoW_6)C$, Fe_3W_3C , V_4C_3 κ.α.) διεσπαρμένα σε φόντο σορμπιτικού περλίτη (περλίτης με πολύ μικρού πάχους εναλλασσόμενες στρώσεις σεμεντίτη και (φερρίτη).

Τα σκληρότατα καρβίδια (πολύ πιο σκληρά από το σεμεντίτη) που σχηματίζονται στο πλέγμα (μήτρα) των ταχυχαλύβων είναι εκείνα, που προσδίδουν τις καλές ιδιότητες τους ως υλικό κοπτικών εργαλείων, όπως έχουμε προαναφέρει, αφού όμως υποστούν τις ενδεδειγμένες θερμικές κατεργασίες. Και μάλιστα όσο πιο μεγάλη είναι η πυκνότητα των καρβιδίου αυτών (μέχρι βεβαίως κάποιου ορίου), τόσο αυξάνεται η αντίσταση τους σε επαναφορά.

Εδώ πρέπει να επισημάνουμε, ότι το κοβάλτιο και το μολυβδαίνιο, όταν περιέχονται στους ταχυχάλυβες, ευνοούν την τάση απανθρακώσεώς τους κατά τις θερμικές κατεργασίες. Με τα διατιθέμενα όμως σήμερα σύγχρονα μέσα εκτελέσεως θερμικών κατεργασιών, η επισυμβαίνουσα απανθράκωση των ταχυχαλύβων αυτών περιορίζεται μέσα σε επιτρεπτά όρια.

B. Προτυποποίηση των ταχυχαλυβων.

Οι ταχυχάλυβες προτυποποιούνται κατά τους Γερμανικούς Κανονισμούς, όπως δείχνεται στον πίνακα I-Π07.

Οι ταχυχάλυβες σύμφωνα με την Αμερικανική τυποποίηση A.I.S.I (American Iron and Steel Institute) διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- α) Σε εκείνους, που έχουν ως βάση το μολυβδαίνιο (κατηγορία M) με προσθήκες το

βολφράμιο, το βανάδιο και το κοβάλτιο και

β) σε αυτούς, οι οποίοι έχουν ως βάση το βολφράμιο (κατηγορία T) με προσθήκες το βανάδιο και το κοβάλτιο.

Τυπικοί ταχυχάλυβες της πρώτης κατηγορίας είναι οι:

M4: 1,30% C-4,00% Cr-4,00% V -5,50% W-4,50% Mo

M34: 0,90% C-4,00% Cr-2,00% V-1,50% W-8,00% Mo-8,00% Mo, ενώ της δεύτερης κατηγορίας με βάση το βολφράμιο είναι ο γνωστός ταχυχάλυβας 18-4-1 που συμβολίζεται ως T₁ με: 0,75% C, 18% W, 4% Cr και 1% V.

Χονδρικά μπορούμε να διατυπώσουμε, ότι οι ταχυχάλυβες με βάση το μολυβδαίνιο είναι περίπου ισοδύναμοι προς εκείνους, που έχουν ως βάση το μολυβδαίνιο από απόψεως αποδοτικότητας ως υλικού κοπτικών εργαλείων. Οι πρώτοι παρουσιάζουν μόνο ελαφρώς μικρότερη δυσθραυστότητα συγκρινόμενοι με τους δεύτερους στην αυτή σκληρότητα. Η παρουσία του κοβαλτίου ως προσθήκης αυξάνει ακόμη περισσότερο την αντοχή των ταχυχαλύβων και των δύο κατηγοριών σε επαναφορά, σε βάρος όμως της δυσθραυστότητάς τους. Οι ταχυχάλυβες της κατηγορίας M είναι φθηνότεροι από εκείνους της κατηγορίας T.

Οι ταχυχάλυβες της κατηγορίας M είναι εν γένει περισσότερο ευαίσθητοι από τους ταχυχάλυβες της κατηγορίας T, σε ότι αφορά την επιρροή των συνθηκών βαφής, ιδιαίτερα της θερμοκρασίας και του περιβάλλοντος του κλιβάνου. Και τούτο, γιατί οι ταχυχάλυβες M υφίστανται εύκολα απανθράκωση κάτω από δυσμενείς συνθήκες πυρώσεως. Σημαντική τάση για απανθράκωση παρουσιάζουν και οι ταχυχάλυβες της κατηγορίας T, με προσθήκη όμως κοβαλτίου.

Όλοι οι ταχυχάλυβες και των δύο κατηγοριών έχουν εξαιρετη εμβαπτότητα και μπορούν να αποκτήσουν σκληρότητα RHN_c από 64 μέχρι 66 σε όλη τους τη διατομή, μέχρι μία διάμετρο ή πάχος 25mm με απόψυξη στον αέρα και μέχρι 75mm με απόψυξη σε λουτρό λαδιού ή σε λουτρό κατάλληλων αλάτων.

Γ. Θερμικές κατεργασίες των ταχυχαλύβων.

Οι ταχυχάλυβες υφίστανται *βαφή* και συνήθως *διπλή επαναφορά*. Η θερμοκρασία βαφής είναι αρκετά υψηλή ποικίλλουσα μεταξύ 1180°C και 1300°C, ανάλογα με τη χημική σύνθεση του ταχυχάλυβα. Εξαιτίας όμως

καθυστερήσεως στον μετασχηματισμό του ωστενίτη σε μαρτενσίτη, που παρατηρείται λόγω των προσθηκών, ο βαμμένος ταχυχάλυβας περιέχει σημαντικό ποσό *παραμένοντος ή απολειπόμενου ωστενίτη* (περίπου 30% σε θερμοκρασία 50°C κατά την απόψυξη του στον αέρα ή σε λουτρό κατάλληλου λαδιού).

Τούτο, προφανώς, είναι ανεπιθύμητο, γιατί ο ταχυχάλυβας δεν θα έχει την ενδεδειγμένη για βέλτιστη απόδοση κρυσταλλοδομή. Άρα, εκ των πραγμάτων, καθίσταται αναγκαίος ο μετασχηματισμός του παραμένοντος ωστενίτη σε μαρτενσίτη, πράγμα που επιτυγχάνεται με επαναφορά του ταχυχάλυβα. Ούτω, με επαναφορά του ταχυχάλυβα σε 500°C έως 600°C η σκληρότητα του αυξάνεται και μάλιστα σε τιμή υψηλότερη της αρχικής. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **δευτερογενής σκλήρωση**, που συντελείται συνήθως με παραμονή του ταχυχάλυβα στην θερμοκρασία αυτή από μίση μέχρι τρεις ώρες, ανάλογα με τη χημική του σύνθεση. Μετά την πρώτη αυτή επαναφορά, συνεχίζει να υπάρχει στον ταχυχάλυβα ακόμη ορισμένη ποσότητα υπολειπόμενου ωστενίτη. Για το λόγο αυτό, αλλά και για απαλλαγή του από παραμένουσες τάσεις, ο ταχυχάλυβας υφίσταται και δεύτερη επαναφορά.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσαμε ότι η θερμική κατεργασία των ταχυχαλύβων αποτελεί λεπτή εργασία και πρέπει να εκτελείται, για κάθε ποιότητα ταχυχάλυβα, συμπονά με τις οδηγίες του κατασκευαστή οίκου και με κάθε προσοχή.

Η τελική κρυσταλλική δομή επιτυχώς θερμικά κατεργασμένου ταχυχάλυβα σύγκειται από διακεκριμένα (ξεχωριστά) συσσωρεύματα σύνθετων καρβιδίων σε φάση μαρτενσίτη, ο οποίος επί πλέον περιέχει αρκετό ποσοστό διαλυμένων προσθηκών.

Δ. Βιομηχανικές χρήσεις των ταχυχαλύβων.

Οι ταχυχάλυβες διατίθενται στο εμπόριο σε κατάσταση ανοπτήσεως ως ράβδοι κυκλικής, εξαγωγικής ή τετραγωνικής διατομής, καθώς επίσης και ως ταινίες εξελασμένες εν θερμό ή εν ψυχρώ. Για την κατασκευή φρεζών ή άλλων ειδικής μορφής εργαλείων, ορισμένοι τύποι ταχυχαλύβων προσφέρονται ως τεμάχια σφυρηλατημένα, σε κατάσταση ανοπτήσεως και αυτά και σε σειρά μεγεθών ή σε οποιοδήποτε άλλο σχήμα και μέγεθος, ύστερα βεβαίως, από ειδική παραγγελία.

Οι ταχυχάλυβες προσφέρονται επί πλέον στο εμπόριο ως ράβδοι έτοιμες για τη μορφοποίηση (με λείανση μόνο στην επιθυμητή γεωμετρική μορφή) εργαλείων торνεύσεως, πλανίσματος, τρυπάνων ή γλυφάνων κ.ά.

2.1.3. Χυτευτά κράματα κοπτικών εργαλείων (στελλίτες).

Χυτευτά (μη σιδηρούχα) κράματα κοβαλτίου και χρωμίου με προσθήκη βολφραμίου και άνθρακα, μερικές δε φορές και μολυβδαινίου, παράγονται από ορισμένους οίκους σε ποικιλία τύπων, οι οποίοι καλύπτουν ευρεία περιοχή σκληρότητας και άλλων ιδιοτήτων. Οι μαλακότεροι και πλέον δύσθραυστοι τύποι χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπου απαιτείται αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως π.χ. στην κατασκευή διακοπών (βανών) αέριοστροβίλων. Οι σκληρότεροι τύποι, με τους οποίους και θ' ασχοληθούμε στην παράγραφο αυτή, ευρίσκουν εφαρμογές ως κοπτικά εργαλεία ή στην κατασκευή τεμαχίων, που να αντέχουν σε φθορά.

Η χημική σύνθεση και φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τυπικών χυτευτών κραμάτων κοπτικών εργαλείων δίδονται στον Πίνακα 2.1. Οι αναφερόμενες στον Πίνακα τιμές αποτελούν τον μέσο όρο δοκιμασιών, που έχουν εκτελεστεί στη θερμοκρασία δωματίου και σε δοκίμια χυτευμένα.

Ως εργαλεία торνεύσεως, τα χυτευτά κράματα εφαρμόζονται υπό μορφή λεπίδων, πλακιδίων ή ολόσωμων εργαλείων. Κατά το φρεζάρισμα χρησιμοποιούνται υπό μορφή ένθετων λεπίδων για μεγάλου μεγέθους φρέζες, όπως και υπό μορφή ολόσωμων χυτών φρεζών, μικρού όμως μεγέθους.

2.1.4. Τα σκληρομέταλλα (κεραμικά καρβιδίων) ως υλικό εργαλείων κοπής.

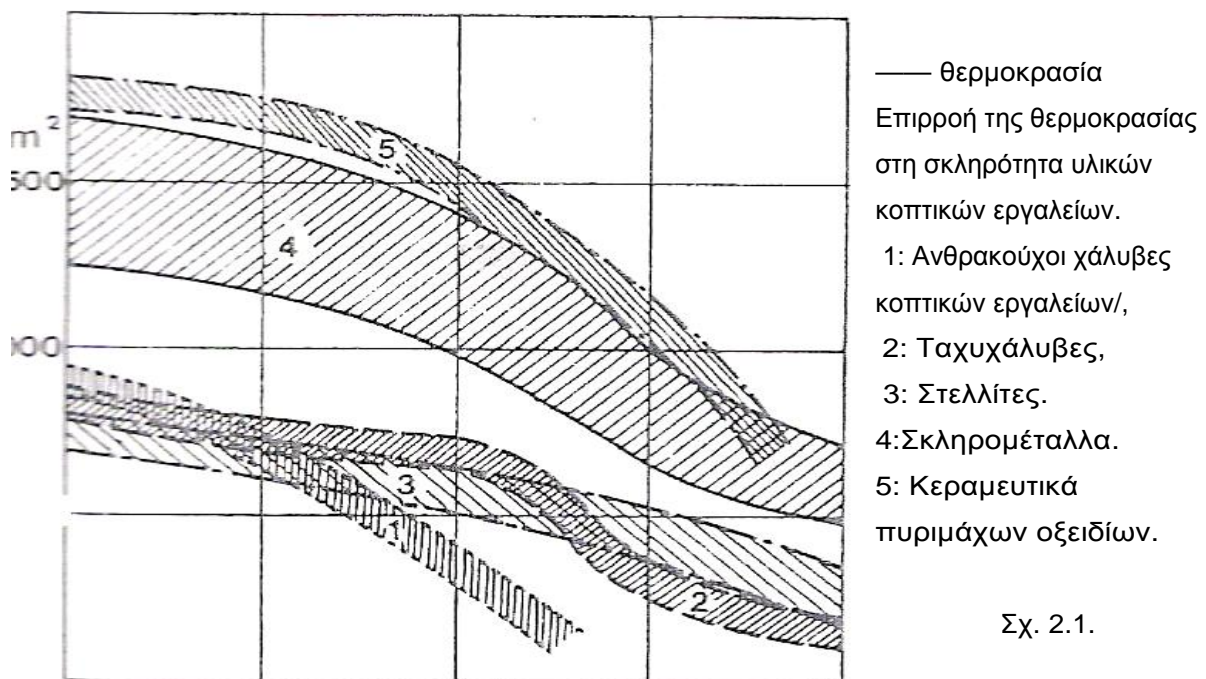
A. Γενική θεώρηση των σκληρομετάλλων.

Η *κονιομεταλλουργία* μας έχει δώσει και ένα άλλο είδος υλικού κοπτικών εργαλείων, πολύ σημαντικό, όπως θα δούμε παρακάτω: τα **σκληρομέταλλα**. Τα σκληρομέταλλα, ως εργαλεία κοπής (χρησιμοποιούνται και σε άλλες εφαρμογές, όπως π.χ. σε μήτρες διαμορφώσεως), πλεονεκτούν σε μεγάλο βαθμό έναντι των υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων, που έχομε προαναφέρει. Έτσι, με την εφαρμογή των σκληρομετάλλων είναι δυνατό να

χρησιμοποιηθούν στην πράξη πολύ υψηλότερες ταχύτητες κοπής, από εκείνες που εφαρμόζονται με τους ανθρακούχους χάλυβες ή τους ταχυχάλυβες κ.ά. ως κοπτικά εργαλεία και συνεπώς η κοπή να εκτελεσθεί αποδοτικότερα.

Στο σχήμα 2.1 συγκρίνονται τα σκληρομέταλλα με άλλα υλικά κοπτικών εργαλείων με κριτήριο τη σκληρότητα, που παρουσιάζουν σε αυξανόμενη θερμοκρασία. Σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει, η θερμοκρασία κοπής αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας κοπής και συνεπώς το εργαλείο, το οποίο διατηρεί τη σκληρότητα του σε υψηλές θερμοκρασίες, θα την διατηρεί και σε υψηλές ταχύτητες κοπής. Όπως διαπιστώνουμε από τις καμπύλες του σχήματος 2.1 η υπεροχή των σκληρομετάλλων ως κοπτικών εργαλείων, με βάση το κριτήριο που μόλις θέσαμε, είναι συντριπτική.

Είπαμε, ότι το σκληρομέταλλο είναι προϊόν της κονιομεταλλουργίας.



Σχ. 2.1.

Σύγκειται από σωματίδια καρβιδίων, πατά κύριο λόγο καρβιδίου του βολφραμίου (WC), σε συνδυασμό συνήθως και με άλλα καρβίδια, σε μικρότερο όμως ποσοστό.

Τα καρβίδια αυτά πυροσυσσωματώνονται σε υψηλή θερμοκρασία (1350-15000 C) και σε αναγωγική ατμόσφαιρα κατόπιν συμπίεσεως μαζί με κοβάλτιο ή νικέλιο ή

σίδηρο ως συνδετικό υλικό και σχηματίζουν έτσι ένα σώμα μεγάλης σκληρότητας και αντοχής σε Θλίψη. Τα επιπρόσθετα καρβίδια είναι το του τιτανίου (TiC) και το του τανταλίου (TaC). σε ειδικές δε περιπτώσεις είναι δυνατό να είναι του ζirkονίου, του μολυβδαινίου, του βαναδίου. του χρωμίου ή του νιοβίου. Ως συνδετική ύλη πλεονεκτεί, όπως θα δούμε και χρησιμοποιείται συνήθως το κοβάλτιο. Το νικέλιο ή ο σίδηρος εφαρμόζεται σπάνια και σε ειδικές περιπτώσεις. Το είδος των καρβιδίων και της συνδετικής ύλης, καθώς επίσης και οι αναλογίες τους εκλέγονται ανάλογα με το είδος χρήσεως του σκληρό μετάλλου.

B. Προτυποποίηση των σκληρομεταλλων και βιομηχανικές τους χρήσεις.

α) Η Γερμανική προδιαγραφή DIN 4990.

Σύμφωνα με την προδιαγραφή αυτή τα σκληρομέταλλα ως υλικό για κοπτικά εργαλεία κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες, που συμβολίζονται με τα γράμματα P, M και K και που έχουν ως διακριτικό χρώμα αντίστοιχα το μπλε, το κίτρινο και το κόκκινο.

Σε κάθε κατηγορία P, M ή K ανήκει και μία σειρά από ποιότητες, που χαρακτηρίζονται από τους διψήφιους αριθμούς (αριθμούς ποιότητας) 01, 10, 20, 25, 30, 40 και 50 για την κατηγορία P, από τους 10, 20, 30 και 40 για την κατηγορία M και από τους αριθμούς 01, 05, 10, 20, 30 και 40 για την κατηγορία K.

Ελάττωση των αριθμών αυτών ποιότητας από 50 σε 01 (για την κατηγορία P), από 40 σε 10 (για την κατηγορία M) και από 40 σε 01 (για την κατηγορία K) σημαίνει **αύξηση της σκληρότητας και της αντιστάσεως σε φθορά του σκληρομετάλλου και πτώση της δυσθραυστότητάς του.** Αντίθετα, **αύξηση των αριθμών ποιότητας συνεπάγεται αύξηση της δυσθραυστότητας και πτώση της σκληρότητας και της αντιστάσεως σε φθορά του σκληρομέταλλου** προφανώς όλα αυτά με τις συνακόλουθες γνωστές επιπτώσεις τους.

β) Αμερικανική ταξινόμηση.

Τα σκληρομέταλλα κατατάσσονται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

α) Στα σκληρομέταλλα που περιέχουν κατά βάση καρβίδιο του βολφραμίου και κοβάλτιο με μικρές προσθήκες από καρβίδια του τιτανίου και του τανταλίου, οι οποίες δεν υπερβαίνουν το 5%. Τα σκληρομέταλλα αυτής της κατηγορίας μπορούμε να τα αντιστοιχίσουμε με τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας K κατά τους γερμανικούς κανονισμούς.

β) Στα σκληρομέταλλα, που εκτός από τα καρβίδια του βολφραμίου και το συνδετικό κοβάλτιο, περιέχουν μεγαλύτερα ποσοστά από καρβίδια του τιτανίου και του τανταλίου και μάλιστα κατά προσέγγιση από 8% μέχρι 42%. Είναι δυνατό να γίνει αντιστοίχιση των σκληρομεταλλων αυτών στο σύνολο τους με εκείνα των κατηγοριών P και M, σύμφωνα με τη γερμανική προτυποποίηση.

Τυπικό σκληρομέταλλο της πρώτης κατηγορίας είναι εκείνο που περιέχει 8% ως 14% Co και 0% ως 2% (TiC+TaC με WC το υπόλοιπο, ενώ αντιπροσωπευτικό σκληρομέταλλο της δεύτερης κατηγορίας είναι αυτό με 3% μέχρι 7% Co, 20% ως 42% (TiC+TaC) και με WC το υπόλοιπο.

Γ. Μηχανουργικές: εφαρμογές των σκληρό μετάλλων.

Δίνουμε τους εξής βασικούς κανόνες εφαρμογών των σκληρομετάλλων των κατηγοριών P, M και K και ισοδυνάμων τους:

Τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας P χρησιμοποιούνται για την κατεργασία κυρίως χαλύβων και χυτοχαλύβων.

Τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας M εφαρμόζονται για κατεργασία χαλύβων, χυτοχαλύβων, ωστενιτικών χαλυβοκραμάτων, ειδικών χυτοσιδήρων, μαλακτικοποιημένων χυτοσιδήρων και χυτοσιδήρων σφαιροειδούς γραφίτη.

Τέλος, τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας K ευρίσκουν εφαρμογές σε κατεργασίες φαιού και λευκού χυτοσιδήρου, μαλακτικοποιημένων χυτοσιδήρων, βαμμένων χαλύβων, μη σιδηρούχων μετάλλων και κραμάτων, πλαστικών και συνθετικών υλών και ξύλου, αλλά και χαλύβων κατασκευών με όριο θραύσεως μικρότερο από 500 daN/mm².

Δ. Ιδιότητες των σκληρομεταλλων και σύγκριση τους με όμοιες άλλων υλικών για εργαλεία κοπής.

Στον Πίνακα 2.1 συγκρίνονται βασικές ιδιότητες των σκληρομετάλλων και άλλων υλικών κοπτικών εργαλείων στην θερμοκρασία δωματίου. Οι τιμές, που δίδονται, αποτελούν τυπικές μέσες τιμές των διαφόρων ιδιοτήτων των υλικών αυτών. Από τα στοιχεία του Πίνακα αυτού, αλλά και από όσα έχομε αναπτύξει, παρατηρούμε αναφορικά με βασικές ιδιότητες των σκληρομετάλλων τα ακόλουθα.

Τα σκληρομέταλλα:

α) Έχουν μεγάλη σκληρότητα στην θερμοκρασία δωματίου και μεγάλη ικανότητα διατηρήσεως της σκληρότητας τους σε υψηλές θερμοκρασίες.

β) Παρουσιάζουν μεγάλη δυσκαμψία (λέγουμε ότι το υλικό έχει μεγάλη δυσκαμψία, όταν παρουσιάζει μικρά σχετικά παραμόρφωση στην ελαστική περιοχή για ορισμένη επιβεβλημένη τάση. Η δυσκαμψία του υλικού εκφράζεται με το μέτρο ελαστικότητας). Το μέτρο ελαστικότητας των σκληρομετάλλων είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο εκείνου των χαλύβων.

γ) Έχουν υψηλή αντοχή σε θλίψη.

δ) Έχουν μεγάλη πυκνότητα.

ε) Έχουν χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.

στ) Εμφανίζουν σχετικά υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (σε σχέση προς τον ταχυχάλυβα), ιδιαίτερα δε τα σκληρομέταλλα, που προορίζονται για κατεργασία χυτοσιδήρου.

Ιδιότητες	Ανθρακούχος χάλυβας	Ταχυχαλύβας 18-4-1	Χυτευτο κράμα Co-Cr-W	μετάλλα για κατεργασια για χάλυβα Χυτοσιδηρος	Κεραμευτι κα πυρίμαχων οξειδίων	Αλουμίνα	Καρβίδιο του πυριτίου	Διαμάντι
Σκληρότητα [BHN]	700	700	600	1350	1400	1900	2200	7000
Αντοχή θλιψεως [daN/mm ²]	120	300	210	300	350	-	-	-
Αντοχή κάμψεως [daN/mm ²]	-	250	-	140	160	-	-	-
Μέτρο ελαστικότητας [10 ⁴ daN/mm ²]	2,1	2,3	2,5	6,0	6,4	5,0	-	9,2
Μέτρο διατμήσεως [10 ⁴ daN/mm ²]	0,81	0,88	-	2,5	2,7	-	-	-
Πυκνότητα [g/cm ³]	7,9	8,8	8,5	13,0	14,0	-	-	-
Συντελεστής θερμικής διαστολής [10 ⁻⁶ /°F]	8,2	7,0	8,0	3,5	3,0	4,3	-	0,56
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας [10 ⁻⁴ ×BTU/in.sec.°F]	7,85	3,4		4,5	11,2	0,56	1,35	18,5
Ειδική θερμότητα [BTU/lb, °F]	0,11	-	-	0,06	0,05	0,18	-	0,10

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

Οι χαρακτηριστικές αυτές ιδιότητες των σκληρομετάλλων επιβάλλουν ειδικές απαιτήσεις τόσο στη σχεδίαση και στη στήριξη των κοπτικών εργαλείων, όσο και στις χρησιμοποιούμενες εργαλειομηχανές.

Ε. Τα σκληρομέταλλα ως εργαλεία κοπής

Τα σκληρομέταλλα ως κοπτικά εργαλεία προσφέρονται στο εμπόριο ως επί το πλείστον υπό μορφή πλακιδίων τυποποιημένων γεωμετρικών στοιχείων και με διάφορες εμπορικές ονομασίες [βίντια (Windia), τιτανίτ (Titanit), καρμπολόι (Carboloy), κόρομαντ (Coromant) κ.λπ.]. Με την τυποποίηση της μορφής των σκληρομετάλλων θ' ασχοληθούμε κατά την ανάπτυξη των καθ' έκαστα κατεργασιών κοπής (π.χ., κατά την τórνευση, το φρεζάρισμα κ.λπ.).

Έχουμε αναφέρει ότι, τα σκληρομέταλλα είναι πολύ σκληρά υλικά μετά την πυροσυσσώματωση, που υφίσταται, και συνεπώς μικρές εκτάσεως μορφοποίηση είναι δυνατή, όπως είναι η λείανση τους (ή η κατεργασία χόνιγκ ή λάπππγκ) στην τελική γεωμετρική τους μορφή ή η ανατρόχισή τους, λόγω φθοράς κατά την εργασία. Με την τρύχιση των σκληρομετάλλων θα ασχοληθούμε στο περί λειάνσεως Κεφάλαιο.

Τα κοπτικά εργαλεία σκληρομετάλλου σύγκεινται από το πλακίδιο (ή τα πλακίδια σε εργαλεία πολλών κόψεων, όπως λ.χ. είναι οι φρέζες), που προσαρμόζεται σε κατάλληλο στέλεχος από χαλυβόκραμα (ή στο σώμα του εργαλείου) με τη βοήθεια ψύχρας κολλήσεως (ασημοκολλήσεως: επικολλώμενο πλακίδιο) ή με μηχανικά μέσα (ένθετο πλακίδιο). Τα πλακίδια σκληρομετάλλου μπορούν να φέρουν ή να μη φέρουν γρεζοθραύστη. Ο δεύτερος τρόπος προσαρμογής του πλακιδίου στο στέλεχος, εφόσον ο χώρος το επιτρέπει, προτιμάται και με την πάροδο του χρόνου εφαρμόζεται ευρύτερα, γιατί εμφανίζει σοβαρά πλεονεκτήματα έναντι του πρώτου τρόπου δηλαδή, εκείνου με κόλληση του πλακιδίου. Έτσι, στην περίπτωση κολλήσεως του πλακιδίου στο στέλεχος ή στο σώμα του εργαλείου, για την ανατρόχισή τον λόγω φθοράς κατά τη χρήση, απαιτείται αφαίρεση του εργαλείου από την εργαλειομηχανή. Χρειάζεται ακόμη επικόλληση νέου πλακιδίου σε αντικατάσταση του φθαρμένου. Συνήθως, μία ή δύο το πολύ κόψεις του πλακιδίου χρησιμοποιούνται.

2.1.5. Κεραμικά από πυρίμαχα οξειδία.

Είναι πυκνά πολυκρυσταλλικά σύνολα με μέσο μέγεθος κόκκων από 2μm μέχρι 5 μm. Κατά βάση περιέχουν κορούνδιο (οξείδιο του αργιλίου: Al_2O_3). Προσθέτονται όμως, σε πολύ μικρές ποσότητες, και άλλα πυρίμαχα οξειδία για βελτίωση των ιδιοτήτων του υλικού αυτού.

Τα συναντούμε στο εμπόριο σε μορφή πλακιδίων, όπως και τα σκληρομέταλλα.

Τα πλακίδια αυτά παρασκευάζονται με συμπίεση και πυροσυσσωμάτωση.

Τα κεραμεικά από πυρίμαχα οξειδία υπερτερούν σημαντικά απέναντι στα σκληρομέταλλα, όπως βλέπουμε στο σχήμα 2.1, όπου συγκρίνονται τα διάφορα υλικά για κοπτικά εργαλεία με κριτήριο τη διατήρηση της σκληρότητας τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Η αντοχή τους αυτή σε υψηλές θερμοκρασίες οφείλεται στο κορούνδιο (έχει σημείο τήξεως $2000^{\circ}C$, το οποίο στις θερμοκρασίες αυτές διατηρεί μεγάλη σκληρότητα (άρα αντέχει στη φθορά από τριβή) και είναι χημικώς αδρανές.

Τα κεραμεικά από πυρίμαχα οξειδία είναι ψαθυρά υλικά και από αυτό παρουσιάζουν μειωμένη δυσθουαστότητα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά σε *πολύ υψηλές ταχύτητες κοπής και για μικρές θεωρητικές διατομές αποβλήτου* (σε χαμηλές φορτίσεις του εργαλείου) σε κατεργασίες χωρίς ταλαντώσεις. Η μηχανική αντοχή των εργαλείων από το υλικό αυτό ενισχύεται με το τρόχισμα αρνητικής γωνίας αποβλήτου (σχ. 1.7) μέχρι και $\gamma = -15^{\circ}$ για την τόννευση χαλύβων.

Χρησιμοποιούνται ικανοποιητικά ως εργαλεία τόννευσεως χαλύβων (και των σκληρότερων χαλυβοκραμάτων ακόμα) κατά κύριο λόγο· επίσης στην τόννευση χυτοσιδηρών, μη σιδηρούχοι μετάλλων και κραμάτων (με εξαίρεση το αργίλιο και τα κράματα του, το τιτάνιο και το ζirkόνιο!, όπως επί πλέον και μη μεταλλικών υλικών (πλαστικά, σκληρό ελαστικό κ. ά.)

Στον Πίνακα 2.1 δίδονται τιμές βασικών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους, συγκρινόμενες μάλιστα με ίδιες ιδιότητες των άλλων υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων.

2.1.6. Υπέρσκληρα υλικά κοπτικών εργαλείων:

Το διαμάντι και τα κυβικά βορίονιτρίδια (CBN:Cubic Boron Nitrides)

Σε ορισμένες εφαρμογές, το **διαμάντι**, κατάλληλα μορφοποιούμενο και προσαρμοζόμενο σε στέλεχος, χρησιμοποιείται ως κοπτικό εργαλείο, όπως λ.χ. κατά την τόννευση αποπερατώσεως (εξωτερική και εσωτερική), όταν απαιτείται μεγάλη διαστατική ακρίβεια και λίαν βελτιωμένη τραχύτητα επιφανείας.

Οι ιδιότητες του διαμαντιού συνοψίζονται, ως ακολούθως (Πίνακας 2.1):

- α) Είναι η σκληρότερη γνωστή ουσία (BHN = 7000 και με σκληρότητα στην κλίμακα Mohs: 10).
- β) Έχει το μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από όλες τις γνωστές ουσίες.
- γ) Έχει υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.
- δ) Έχει μεγάλο μέτρο ελαστικότητας.
- ε) Καίεται στον ελεύθερο αέρα προς διοξείδιο του άνθρακα σε 820°C περίπου.
- στ) Παρουσιάζει λίαν χαμηλό συντελεστή τριβής ολισθήσεως συνεργαζόμενο με μέταλλα (π.χ. 0,05 με χάλυβα στον ελεύθερο αέρα).

Κατά τη χρήση του διαμαντιού ως κοπτικού εργαλείου, θα πρέπει να έχουμε υπόψιν τις αναφερθείσες ιδιότητες του και κατά συνέπεια να ικανοποιούμε τους περιορισμούς που αυτές επιβάλλουν τόσο στη σχεδίαση των συναφών εργαλείων, όσο και στη χρήση τους.

Εδώ, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι το υψηλό κόστος των κατάλληλων για εργαλεία κοπής διαμαντιών περιορίζει τη χρήση τους σε απολύτως εξειδικευμένες περιπτώσεις εφαρμογών.

Πέραν όμως των διαμαντιών που βρίσκουν εφαρμογή ως εργαλεία μίας κύριας κόψης, χρησιμοποιείται και η *λεπτή διαμαντόσκονη* στην κατασκευή λειαντικών τροχών (διαμαντοτροχών) για λείανση σκληρομετάλλοι και άλλων λίαν σκληρών υλικών (Πίνακας 2.1). Επιπλέον, η ανάπτυξη συνθετικών διαμαντιών άνοιξε το δρόμο στην κατασκευή *διαμαντοεργαλείων* (πλακίδια σκληρομετάλλου με επίθεση λεπτού στρώματος τεμαχίων συνθετικού διαμαντιού) που υπερτερούν εκείνων από φυσικό διαμάντι

είναι πιο στιβαρά και λιγότερο εύθραυστα.

Τα **κυβικά βοριονιτρίδια** είναι συνθετικό υπέρσκληρο υλικό, δεύτερο κατά τάξη σκληρότητας μετά το διαμάντι. Είναι αλλοτροπική μορφή των εξαγωνικών βοριονιτρίδιων (BN) και παρασκευάζονται με μεθόδους υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων, όπως τα τεχνητά διαμάντια.

Χρησιμοποιούνται επιτιθέμενα σε πλακίδια σκληρομετάλλου διαφόρων σχημάτων (τριγωνικού, τετραγωνικού, κυκλικού, ημικυκλικού κ.ά.) κατά τον ίδιο τρόπο, όπως τεμάχια τεχνητού διαμαντιού στα εργαλεία της προηγούμενης παραγράφου. Εμφανίστηκαν στις ΗΠΑ με το εμπορικό όνομα Borazon από την General Electric Company.

Πλεονεκτούν ως προς το διαμάντι κατά το ότι δεν οξειδώνονται στον αέρα τόσο εύκολα, όσο αυτό· ακόμη, είναι σταθερά και αδρανή κατά την κατεργασία χαλύβων και κραμάτων του Ni σε υψηλότερες θερμοκρασίες απ' ότι το διαμάντι. Είναι αξιόλογο υλικό για τελική κατεργασία υλικών με πολύ μικρό βαθμό κατεργαστικότητας. Η χρήση του όμως περιορίζεται σε εντελώς ορισμένες εφαρμογές λόγω του υψηλού κόστους κτήσεως του (εξηκονταπλάσιο και πλέον εκείνου του σκληρομετάλλου).

2.1.7. Λειαντικές ουσίες (σκόνες).

Στοιχειώδη κοπτικά εργαλεία αποτελούν οι *κόκκοι λειαντικών ουσιών* (Abrasives), οι οποίες ευρίσκουν εφαρμογές στους λειαντικούς τροχούς (δηλαδή, στους κοινώς λεγόμενους *σμουριδοτροχούς*), στα σμουριδόπανα και σμουριδόχαρτα κ.ά. με σκοπό τη λείανση. Κατά τη λείανση λαμβάνει χώρα κοπή, όπου κάθε κόκκος (στοιχειώδης κοπτικό εργαλείο) αφαιρεί από το κατεργαζόμενο τεμάχιο υλικό υπό μορφή λεπτότατων ξεχωριστών αποβλήτων.

2.1.8. Κριτήρια εκλογής υλικών κοπτικών εργαλείων.

Το υλικό κατασκευής του κοπτικού εργαλείου, όπως και η πρέπουσα γεωμετρική του μορφή θα πρέπει να εκλέγονται με επιμέλεια και προσοχή (απαιτούν και εμπειρία) σε σχέση με το προς κατεργασία υλικό, το είδος της κατεργασίας και την στιβαρότητα της εργαλειομηχανής (καλύτερα την εν γένει κατάσταση της εργαλείο μηχανής) που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, το ρυθμό αφαιρέσεως υλικού, την επιθυμητή ακρίβεια των

διαστάσεων και της μορφής του τεμαχίου και την ποιότητα των κατεργασμένων επιφανειών του.

Το πιο αποτελεσματικό κοπτικό εργαλείο είναι εκείνο, που θα μας δώσει το ελάχιστο συνολικό μοναδιαίο κόστος της κατεργασίας, που κάθε φορά θεωρούμε, με σύγχρονη κάλυψη των προδιαγραφών ποιότητας του τεμαχίου.

Τα σε μεγαλύτερη έκταση χρησιμοποιούμενα υλικά κοπτικών εργαλείων είναι οι ταχυχάλυβες και τα σκληρομέταλλα. Ακολουθούν οι ανθρακούχοι και οι κεκραμένοι χάλυβες (πλην ταχυχαλύβων), που ευρίσκουν εφαρμογές σπανιότερα και μάλιστα όχι στη μαζική παραγωγή. Μετά έπονται τα χυτευτά κράματα Co-Cr-W. Τα κεραμεικά πυριμάχων οξειδίων ευρίσκονται σε περιορισμένη χρήση. Το διαμάντι και τα κυβικά βοριονιτρίδια, λόγω του υψηλού κόστους κτήσεως τους, ευρίσκουν λίαν εξειδικευμένες εφαρμογές.

Αναφορικά προς το κόστος κτήσεως του υλικού για εργαλεία κοπής, παρατηρούμε ότι αυτό αποτελεί μικρό εν γένει ποσοστό του συνολικού κόστους του έτοιμου για χρήση εργαλείου (εδώ θεωρούμε εργαλεία μικρού σχετικά μεγέθους). Πρακτικά, θεωρούμε αναγκαίο (κατά την προμήθεια υλικών για κοπτικά εργαλεία) να προσαρμοζόμαστε στα εκάστοτε προσφερόμενα στην αγορά, *επιλέγοντας κατά κανόνα υλικά ισοδυνάμου κοπτικής ικανότητας* και να αποφεύγαμε παραγγελίες *εξεζητημένων ή σπανιζόντων στην αγορά υλικών*, που και στοιχίζουν πανάκριβα (χωρίς να προσφέρουν στο χρήστη ανάλογο οικονομικό ωφέλημα) και καθυστερεί (πολλές φορές απαράδεκτα) η παράδοση τους.

2.1.9. Επιφανειακή επεξεργασία κοπτικών εργαλείων.

Τα εργαλεία κοπής (ιδιαίτερα εκείνα από σκληρομέταλλο ή ταχυχάλυβα), για βελτίωση της αποδοτικότητάς τους υφίστανται ειδικές κατεργασίες, διεργασίες ή επικαλύψεις στις κρίσιμες επιφάνειες τους, δηλαδή στην επιφάνεια αποβλήτου κατά κύριο λόγο και, στην ελευθέρα επιφάνεια δευτερευόντως. Με τις τεχνικές αυτές αποσκοπείτε η δημιουργία κατάλληλης εκάστοτε υφής της επιφάνειας ή της επιφανειακής στιβάδας, ώστε να βελτιώνεται η συμπεριφορά του εργαλείου (κάτω από τις κατά περίπτωση, δημιουργούμενες συνθήκες κοπής) έναντι φθοράς του με συνακόλουθη αύξηση της ωφέλιμης ζωής του.

A. Εργαλεία από ταχυχάλυβα.

1. Κατεργασίες και επιφανειακές επεξεργασίες βελτιωτικές της ποιότητας των επιφανειών.

Τα εργαλεία από ταχυχάλυβα μετά την πλήρη μορφοποίηση τους, υφίστανται λείανση αποπερατώσεως.

Για περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας των επιφανειών, που μας ενδιαφέρουν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χόνιγκ ή λάππιγκ (κατεργασίες υψηλού κόστους) ή προσβολή τους με ειδική σκόνη, ώστε να χάσουν τη χαρακτηριστική τους από τη λείανση υφή (να εξαφανισθούν τα ίχνη των λειαντικών κόκκων) και έτσι να αποκτήσει η επιφανειακή στιβάδα μεγαλύτερη αντοχή I και δυσθραυστότητα και το εργαλείο μακρύτερη ζωή.

2. Επεξεργασίες, που τείνουν στην αύξηση της λιπαντικής δράσεως του υγρού κοπής.

Είναι η *οξειδωση*, η *φωσφάτωση* και η *σουλφιδίωση* των επιφανειών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πορώδους επιφανειακού στρώματος που συγκρατεί καλύτερα το υγρό κοπής (προφανώς κάτω από συνθήκες κοπής που ευνοούν τη δράση του), αφού καθαρά λείες επιφάνειες του εργαλείου.

3. Διεργασίες επιφανειακής σκληρώσεως. Εφαρμόζεται κυρίως η *εναζώτωση*, σε πάχος επιφανειακού στρώματος συνήθως κάτω των 50 μm.

4. Επικαλύψεις. Οι κρίσιμες επιφάνειες του κοπτικού εργαλείου επικαλύπτονται με χρώμιο, βολφράμιο, καρβίδιο του βολφραμίου ή άλλα κατάλληλα για το σκοπό καρβίδια.

B. Εργαλεία, από σκληρομέταλλο.

1. Επικάλυψη κατά στρώσεις (σκληρομέταλλα πολλαπλής επενδύσεως)

Ιδιαίτερα στα ένθετα πλακίδια, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτερα λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν, γίνεται επικάλυψη κατά στρώσεις. Η επιφάνεια αποβλήτου του πλακιδίου επικαλύπτεται με λεπτό στρώμα σκληρομετάλλου κατάλληλου συνήθως για την κατεργασία χάλυβα (το πάχος του επιφανειακού στρώματος φθάνει τα 250 μm περίπου), ενώ το κύριο σώμα του πλακιδίου είναι ένα

δύσθραυστο σκληρομέταλλο WC-Co με υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Είναι δυνατό όμως να σχηματίζονται και διαδοχικές στρώσεις από καρβίδια και νιτρίδια. Το επιφανειακό στρώμα είναι καθαρό νιτρίδιο του τιτανίου (TiN).

2. Σκληρομέταλλα με απλή επικάλυψη υπέρσκληρων ουσιών. Το σκληρομέταλλο επικαλύπτεται με μία στρώση από μία πολύ σκληρά και κατάλληλη για την περίπτωση ουσία με τη μέθοδο της λεγόμενης χημικής επιθέσεως με ατμό (CVD:Chemical Vapour Deposition). Αρχικά ως ουσία επικάλυψης χρησιμοποιήθηκε εμπορικώς το καρβίδιο του Τι (TiC)- έχει εφαρμοσθεί, επίσης και το νιτρίδιο του τιτανίου (TiN). Το πάχος της επικάλυψης είναι μικρό (της τάξεως των 5 μm). Το επιφανειακό στρώμα (επικάλυψη) αποτελείται από καθαρό καρβίδιο και / ή νιτρίδιο, που βρίσκεται σε κρυσταλλική σύνδεση με το πλακίδιο σκληρομετάλλου και έχει πάχος 4 έως 8 μm.

Τα σκληρομέταλλα με αυτή τη μέθοδο επικάλυψης, σύμφωνα με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τη βιομηχανική τους χρήση έχουν χαρακτηριστικά μεγαλύτερη (πολλαπλάσια) αποδοτικότητα στην κοπή χαλύβων και χυτοσιδήρων σε υψηλές ταχύτητες κοπής σε σχέση με τα χωρίς την επικάλυψη αυτή πλακίδια σκληρομετάλλου. Δεν ενδείκνυνται για διακοπόμενες κατεργασίες, όπως λ.χ. είναι το φρεζάρισμα ή το πλάνισμα, γιατί παρατηρούνται απολεπίσεις και αποφλοιώσεις στο επικαλυμμένο στρώμα-επίσης και για εργαλεία, τα οποία πρόκειται να ανατροχίζονται.

2.2. Φθορά του εργαλείου κοπής

2.2.1. Γενικά για τη φθορά του εργαλείου.

Κατά την κοπή των μετάλλων, όπως γνωρίζουμε, το κοπτικό εργαλείο υπόκειται σε υψηλές θερμοκρασίες, των οποίων η διανομή μάλιστα παρουσιάζει απότομες τοπικές μεταβολές (σχ. 2.3), όπως και σε υψηλές τάσεις. Ακόμα η νεοσχηματιζόμενη επιφάνεια του αποβλήτου και του κομματιού επάνω στις οποίες τρίβεται το εργαλείο δεν προφθάνουν να οξειδωθούν ή να σκεπασθούν από άλλα στρώματα και κατά συνέπεια μπορούμε να δεχθούμε ότι υφίσταται καθαρή μεταλλική επαφή ανάμεσα στο εργαλείο και στο απόβλητο και ανάμεσα στο εργαλείο και στο κομμάτι. Περιορίζεται βέβαια σημαντικά η μεταλλική αυτή επαφή με χρήση τέτοιου υγρού κοπής, που να μπορεί να δράσει ως λιπαντικό. Κάτω από τις πολύ δυσμενείς αυτές συνθήκες εργασίας του, το κοπτικό εργαλείο φθείρεται ή και αστοχεί, γενικότερα. Όταν λέμε ότι ένα κοπτικό εργαλείο αστοχεί, αυτό σημαίνει ότι το εργαλείο παύει πλέον να εκτελεί

ικανοποιητικά την αποστολή του. έχει δηλαδή φθάσει στο τέλος της ζωής του και θα πρέπει να αποσυρθεί από την εργαλειομηχανή και είτε να ανατροχισθεί είτε να απορριφθεί ως άχρηστο.

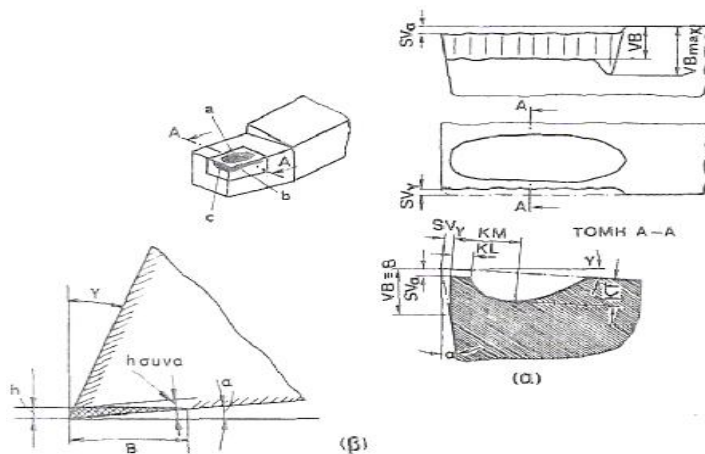
Η αστοχία ενός εργαλείου μπορεί να οφείλεται σε μία ή σε συνδυασμό από τις παρακάτω αιτίες.

α) Στην ανάπτυξη ζώνης φθοράς στην ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου (σχ. 2.2).

β) Στην δημιουργία φθοράς επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, την οποία θα καλέσαμε φθορά **κρατήρα** (σχ. Κ18) από τη χαρακτηριστική μορφή, την οποία παίρνει.

γ) Στην απολέπιση του εργαλείου στην κόψη του και στην επιφάνεια αποβλήτου κατά τον τεμαχισμό της ψευδόκοπης και- γενικότερα εξαιτίας δημιουργίας συγκολλητών μικροδεσμών.

δ) Μικροθραύσεις την κόψη, εξαιτίας μηχανικών τάσεων ή κρούσεων.



Σχήμα 2.2

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ζώνης φθοράς και της φθοράς κρατήρα του τυπικού εργαλείου. α φθορά κρατήρα, β ζώνη φθοράς, c φθορά λόγω οξειδώσεως

ε) Πλαστική παραμόρφωση της άκρης του κοπτικού εργαλείου, από τις υψηλές θερμοκρασίες και τάσεις, που επικρατούν στην περιοχή αυτή.

στ) Δημιουργία ρωγμών, λόγω μεγάλων διαφορών θερμοκρασίας και

ζ) θραύση της άκρης του εργαλείου, που οφείλεται κυρίως σε επιβολή κρουστικών φορτίων.

Από τις αναφερθείσες αιτίες αστοχίας των κοπτικών εργαλείων οι δύο πρώτες, δηλαδή: (α) η ανάπτυξη της ζώνης φθοράς και (β) η φθορά κρατήρα, δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν, οποιαδήποτε μέτρα και αν ληφθούν και πρακτικώς τα δύο αυτά είδη φθοράς αποτελούν αύξουσα συνεχή συνάρτηση του χρόνου κοπής. Το κοπτικό εργαλείο, συνεπώς, φθείρεται προοδευτικά στην επιφάνεια αποδλίπτου και στην ελεύθερα επιφάνεια του μέχρι να αστοχήσει. Η αστοχία του κοπτικού είναι δυνατό να χαρακτηρίζεται είτε από στόμωση ή από θραύση της άκρης του είτε από υπέρβαση προκαθορισμένης κρίσιμης τιμής κάποιου χαρακτηριστικού μεγέθους της ζώνης φθοράς ή της φθοράς κρατήρα ή και των δύο μαζί, όπως θα ιδούμε στην συνέχεια. Τα δύο αυτά είδη φθοράς των κοπτικών εργαλείων θα μας απασχολήσουν εκτενέστερα στα επόμενα, γιατί πλην του ότι συνοδεύουν κάθε κατεργασία κοπής, υπόκεινται και σε ποιοτική μελέτη και ανάλυση και από αυτό είναι δυνατό (κατά κύριο λόγο η ζώνη φθοράς) να παίξουν το ρόλο κριτηρίων αστοχίας των κοπτικών εργαλείων. Οι λοιπές αιτίες αστοχίας από (γ) έως (ζ) δεν είναι δυνατό να αποτελέσουν, προς το παρόν, κριτήρια αστοχίας των κοπτικών εργαλείων, λόγω ανεπαρκούς γνώσεως της οπωσδήποτε πολύπλοκης εξαρτήσεως τους από βασικές μεταβλητές και παραμέτρους της κοπής των μετάλλων.

Η φθορά του κοπτικού εργαλείου έχει άμεση σχέση με τη ζωή του, .το είδος της κατεργασίας, οι συνθήκες κατεργασίας, η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, ο συνδυασμός υλικών τεμαχίου - εργαλείου και το είδος του υγρού κοπής καθορίζουν τη μορφή και το μέγεθος της φθοράς των κοπτικών εργαλείων-επίσης, και η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος.

Η φθορά κρατήρα και η ζώνη φθοράς επηρεάζουν τη λειτουργία του κοπτικού εργαλείου κατά διαφόρους τρόπους. Οι δυνάμεις κοπής αυξάνονται εν γένει με την πρόοδο της φθοράς. Η φθορά κρατήρα εν τούτοις, υπό ορισμένες συνθήκες, έχει ως αποτέλεσμα ελάττωση των δυνάμεων κοπής, λόγω αύξησεως της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου. Η ζώνη φθοράς πάντοτε, χωρίς εξαίρεση, συμβάλλει στην αύξηση των δυνάμεων κοπής, από την αύξηση της δυνάμεως τριβής στην επιφάνεια, επαφής εργαλείου - τεμαχίου. Η τραχύτητα επιφανείας γενικά χειροτερεύει, καθώς το εργαλείο φθείρεται στην ελεύθερη του επιφάνεια.

Η ζώνη φθοράς μεταβάλλει τη γεωμετρία του εργαλείου, με αποτέλεσμα να επηρεάζει την διαστατική ακρίβεια του τεμαχίου ή την ακρίβεια μορφής του, όταν τούτο κατεργάζεται με εργαλείο μορφής ή προκύπτει από γένεση. Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος εργαλείο - τεμάχιο - εργαλειομηχανή επηρεάζεται δυσμενώς από τη φθορά του εργαλείου, Η ζώνη φθοράς αυξάνει την τάση του κοπτικού εργαλείου για δυναμική αστάθεια. Κατεργασία κοπής, για παράδειγμα, που είναι απαλλαγμένη από ταλαντώσεις, όταν το κοπτικό εργαλείο είναι οξύ, είναι δυνατό να εμπλακεί σε απαράδεκτες ταλαντώσεις, όταν αυτό φθείρεται.

2.2.2 Μηχανισμοί φθοράς των εργαλείου.

Πριν να μιλήσουμε για τη φθορά του κοπτικού εργαλείου, θα πρέπει να αναφερθούμε εν συντομία στους διάφορους μηχανισμούς φθοράς του:

1. Μηχανισμός φθοράς με σχηματισμό και λύση συγκολλητών μικροδεσμών.

Στην κοπή των μετάλλων, σχηματίζονται συγκολλητοί δεσμοί ως μέρος του μηχανισμού τριβής μεταξύ αποβλήτου και εργαλείου, όπως και ανάμεσα στο εργαλείο και στο κομμάτι. Με την καταστροφή αυτών των δεσμών, καθώς η κοπή προχωρεί, αποσπώνται τεμάχια από το εργαλείο και μεταφέρονται στην προς αυτό πλευρά του αποβλήτου και στην κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού.

2. Μηχανισμός φθοράς με απόξεση.

Εδώ η φθορά οφείλεται στην αφαίρεση υλικού από το εργαλείο με απόξεση (κοπή σε μικρή κλίμακα) που προξενείτε από πολύ σκληρά τεμάχια, τα οποία βρίσκονται στην προς το εργαλείο πλευρά του αποβλήτου (ή και από ελεύθερα τεμάχια), καθώς αυτά περνούν πιεζόμενα επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου. Τα σκληρά αυτά τεμάχια είναι δυνατό να είναι κομματάκια της ψευδόκοψης ή του υλικού του εργαλείου που αφαιρούνται με τον προηγούμενο μηχανισμό φθοράς του (δηλαδή με δημιουργία και λύση συγκολλητών δεσμών) ή σκληρά εγκλείσματα στο υλικό του κομματιού.

3. Μηχανισμός φθοράς με διάχυση στερεάς καταστάσεως.

Κατά την κοπή των μετάλλων δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για διάχυση ατόμου από το υλικό του εργαλείου στο απόβλητο και στο κομμάτι και αντίστροφα από το απόβλητο ή το κομμάτι στο εργαλείο μέσα σε στενή ζώνη στις επιφάνειες επαφής τους.

Οι ευνοϊκές αυτές συνθήκες για διάχυση οφείλονται από το ένα μέρος στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κοπή (η επιρροή της αύξησης της θερμοκρασίας είναι δραματική στην ταχύτητα της διαχύσεως) και από το άλλο στη μεταλλική επαφή (μέσα σε ορισμένη έκταση βέβαια) που αποκαθίσταται μεταξύ αποβλήτου και εργαλείου, όπως και ανάμεσα στο εργαλείο και στο κομμάτι ακόμη, και ο βαθμός διαλυτότητας των εν επαφή μεταλλικών επιφανειών παίζει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου της διαχύσεως. Η διάχυση έχει ως αποτέλεσμα αλλαγές στη δομή του υλικού του εργαλείου στην επιφανειακή του στιβάδα, άρα εξασθένηση του και τελικά ταχύτερη φθορά του.

4.Θερμοηλεκτρική φθορά.

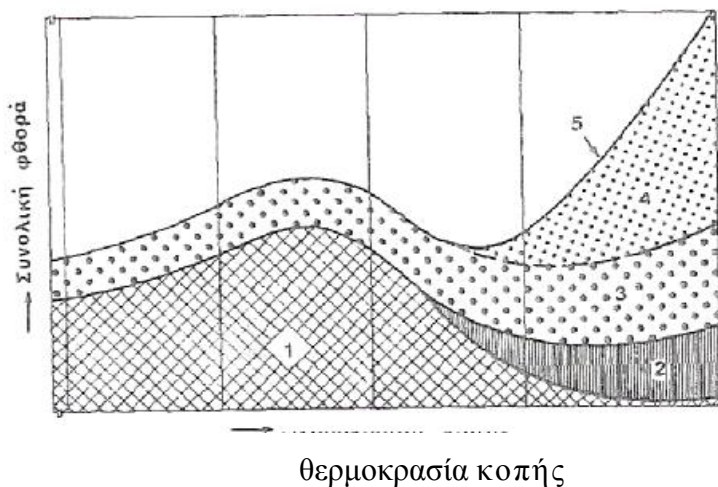
Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, που αναπτύσσονται στην επιφάνεια επαφής ανόμοιων υλικών κατά την κοπή των μετάλλων, δημιουργείται θερμοηλεκτρική ηλεκτρεγερτική δύναμη, με συνέπεια τη ροή ρευμάτων στο ηλεκτρικό κύκλωμα εργαλείο - απόβλητο -τεμαχίο - εργαλειομηχανή - εργαλείο. Τα ρεύματα αυτά υποστηρίζεται, ότι διευκολύνουν τη διάχυση άνθρακα από τα σκληρομέταλλα στο υλικό του τεμαχίου.

5. Φθορά από οξειδωση.

Οξειδώνονται κατά κύριο λόγο τα σκληρομέταλλα που περιέχουν μονοκαρβίδιο του βολφραμίου (λ.χ. τα καρβίδια της κατηγορίας Κ του Πίνακα Ι-Π12). Η οξειδωση εκδηλώνεται έντονα σε υψηλές ταχύτητες κοπής και είναι δυνατό να έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα στις περιοχές εμφάνισης της. Εμφανίζεται στη δευτερεύουσα κόψη, αλλά και σε άλλες περιοχές του εργαλείου.

6. Αυλακοειδής ή συγκεντρωμένη φθορά.

. Χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό έντονων αυλάκων σε θέσεις του εργαλείου, όπου λαμβάνει χώρα τριβή υλικού του τεμαχίου (στην ελευθέρη επιφάνεια του εργαλείου τρίβεται η προερχόμενη και σκληρωμένη από το προηγούμενο πέρασμα του εργαλείου επιφάνεια του τεμαχίου και στη δευτερεύουσα ελευθέρη επιφάνεια η νεοκατεργασμένη επιφάνεια) ως προς το εργαλείο.



Σχήμα 2.3.

Θέση βασικών μηχανισμών φθοράς στο πεδίο θερμοκρασιών κοπής (ποιοτικά).

1. φθορά με σχηματισμό και λύση συγκολλητών μικροδεσμών.
2. φθορά από οξείδωση,
3. μηχανική φθορά (από πλαστική παραμόρφωση),
4. φθορά από διάχυση,
5. καμπύλη συνολικής φθοράς.

7. Χημική φθορά.

Προκαλείται από την αλληλεπίδραση εργαλείου - τεμαχίου σε ένα χημικό περιβάλλον, που δημιουργείται συνήθως από το χρησιμοποιούμενο υγρό κοπής.

8. Ηλεκτρολυτική φθορά,

οφειλόμενη σε πιθανή γαλβανική διάβρωση μεταξύ των υλικών εργαλείου και τεμαχίου.

Στο σχήμα 2.3 εικονίζονται- ποιοτικά οι θέσεις, που καταλαμβάνουν οι βασικοί μηχανισμοί φθοράς που κοπτικών εργαλείων στο πεδίο της θερμοκρασίας κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση κ.ά.). Στον άξονα των τεταγμένων τίθεται η συνολική φθορά (ως υπέρθεση της μερικής φθοράς εξαιτίας των διαφόρων μηχανισμών).

2.2.3. Η ζώνη φθοράς και η φθορά κρατήρα.

Εδώ θα δώσουμε βασικά ποσοτικά χαρακτηριστικά της ζώνης φθοράς και του κρατήρα ενός τυπικού εργαλείου τριτογενούς κοπής και τούτο, γιατί το σώμα των γνώσεων που έχουν σωρευθεί για τη φθορά των εργαλείων κοπής αναφέρονται στο εργαλείο αυτό. Όμως κατά τη μελέτη των κατεργασιών κοπής που ακολουθεί θα αναφερόμαστε κάθε φορά ειδικότερα στη φθορά του αντίστοιχου κοπτικού εργαλείου.

A. Ζώνη φθοράς.

Είναι μία ζώνη κατά προσέγγιση επίπεδη, που εκτείνεται προς τα πίσω της κυρίας κόψης του εργαλείου επάνω στην ελεύθερη του επιφάνεια.

Χαρακτηριστικό μέγεθος της φθοράς του εργαλείου στην ελεύθερη επιφάνεια του είναι το λεγόμενο πλάτος ζώνης φθοράς (ή απλούστερα πλατό: φθοράς)B.

Η ζώνη φθοράς μπορεί να είναι, ανάλογα με την περίπτωση κοπής, ομοιόμορφη ή ανομοιόμορφη. Σε περιπτώσεις ανομοιόμορφης ζώνης φθοράς μας ενδιαφέρει κυρίως η μέγιστη τιμή του πλάτους φθοράς, η οποία -όπως έχει πειραματικά αποδειχθεί- επιδρά αποτελεσματικά στη ζωή του εργαλείου.

Το πλάτος φθοράς B αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου κοπής t ή του θεωρητικού μήκους του αποβλήτου L_1 σύμφωνα με μία τυπική καμπύλη που περιλαμβάνει τρεις περιοχές: Μίαν αρχική περιοχή, όπου η οξεία κόψη του εργαλείου αρχίζει ταχέως να αμβλύνεται- ακολουθεί μία άλλη περιοχή ένθα το πλάτος φθοράς αυξάνεται με σταθερό ρυθμό. Τέλος στην τρίτη περιοχή, η φθορά συντελείται με προοδευτικά αυξανόμενο ρυθμό μέχρι να καταστραφεί ολοσχερώς (αν συνεχισθεί η κοπή) η κόψη του εργαλείου.

Από πληθώρα πειραματικοί δεδομένοι, έχει προκύψει, ότι το B εκφράζεται συναρτήσει του t ή του L_1 , με σχέσεις της μορφής δυνάμει (t και L_1 ανεξάρτητες μεταβλητές C_B , C'_B σταθερές και m_B και m'_B σταθεροί εκάστοτε εκθέτες), δηλαδή

$$\text{και } B=C_B t^{m_B}$$

$$B=C'_B L_1^{m'_B}$$

με παράμετρο την ταχύτητα κοπής και με σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες κοπής.

B. Φθορά κρατήρα (Σχ. 2.2α)

Η φθορά κρατήρα (η ονομασία προέρχεται από τη χαρακτηριστική μορφή της φθοράς) εμφανίζεται στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου. Στο σχετικό σχήμα εικονίζεται το είδος αυτό φθοράς μαζί με τα σχετικά μεγέθη της, δηλαδή,

(α) το μέγιστο βάθος κρατήρα KT,

(β) την απόσταση KM της μέσης θέσεως του κρατήρα από τη στιγμιαία κόψη του φθειρόμενου εργαλείου,

(γ) το πλάτος κρατήρα KB,

δ) το πλάτος KL του χείλους του κρατήρα και

(ε) το πλάτος $KB_g = KL + KB$.

Ως χαρακτηριστικός δείκτης φθοράς κρατήρα επεκράτησε να χρησιμοποιείται στην πράξη ο λόγος

$$K = (KT) / (KM)$$

Πειραματικώς έχει ευρεθεί, ότι το βάθος KT του κρατήρα συναρτήσκει του χρόνου κοπής και με παράμετρο την ταχύτητα κοπής u (και με σταθερούς τους άλλους παράγοντες κοπής) κατά τη χρησιμοποίηση σκληρομετάλλων και κεραμικών πυριμάχων οξειδίων ως εργαλείων (δηλαδή σε υψηλές και λίαν υψηλές ταχύτητες κοπής) μεταβάλλεται γραμμικά. Κατά τη χρήση όμως εργαλείων από ταχυχάλυβα (μέσες ταχύτητες κοπής) η σχέση (KT - t) λαμβάνει τη μορφή.

$$KT = C_{KT} t^{m_{KT}}$$

Επιπλέον παρόμοια, η εμπειρική σχέση που συνδέει το δείκτη φθοράς κρατήρα K με το χρόνο κοπής t για εργαλεία από ταχυχάλυβα ή από σκληρομέταλλο παίρνει τη μορφή $K = C_K t^{m_K}$. Αναφορικά προς το σχηματισμό κρατήρα, παρατηρούμε ότι σε υψηλές ταχύτητες κοπής οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στο μηχανισμό φθοράς με διάχυση εξαιτίας των υψηλών επίσης θερμοκρασιών που επικρατούν στη επιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου. Κατά την κοπή όμως όλκιμων μετάλλων σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες, σχηματίζεται και εδώ κρατήρας αλλά με δράση άλλων μηχανισμών φθοράς: του μηχανισμού φθοράς με σχηματισμό και λύση συγκολλητών δεσμών και εκείνου με απόξεση.

Ο σχηματισμός προχωρημένου κρατήρα έχει τις ακόλουθες επιπτώσεις: Αδυνατίζει την περιοχή της κόψης με κίνδυνο θραύσεως, αυξάνει την πραγματική γωνία αποβλήτου του εργαλείου, πράγμα ευνοϊκό για τις δυνάμεις και την ισχύ κοπής και ακόμη ο κρατήρας παίζει το ρόλο γρεζοθραύστη.

Γ. Φθορά ταχυχαλύβων και σκληρομεταλλων.

1. Ταχυχαλυβες

—Μηχανισμός φθοράς με σχηματισμό και λύση συγκολλητών μικροδεσμών. Δρα σε χαμηλές σχετικά ταχύτητες κοπής.

—Μηχανισμός φθοράς με απόξεση.

–Μηχανισμός φθοράς με διάχυση. Δημιουργούνται συνθήκες επενέργειας αυτού του μηχανισμού φθοράς στην περιοχή των πρακτικών ταχυτήτων κοπής για ταχυχύλινβες η ταχύτητα όμως φθοράς είναι χαμηλή, γιατί οι επικρατούσες θερμοκρασίες στη διεπιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου είναι χαμηλές σχετικά.

–Πλαστική παραμόρφωση από θλιπτικά φορτία: Παρατηρείται απαράδεκτη πλαστική παραμόρφωση του εργαλείου, σε υψηλές όμως ταχύτητες κοπής (άρα και θερμοκρασίες), παρά προχωρημένη φθορά του. Δεν αφαιρείται υλικό από το εργαλείο. Η παραμόρφωση αυτή προξενεί αύξηση που δυνάμεων κοπής, με επακόλουθο τη δράση ή επιτάχυνση άλλων μηχανισμών φθοράς δυσμενών για τη ζωή του εργαλείου. Και η πλαστική παραμόρφωση του εργαλείου, όπως και ο σχηματισμός κρατήρα με πλαστική διάτμηση, θέτει και αυτή ανώτερο όριο στην ταχύτητα κοπής και στο ρυθμό προώσεως κατά περίπτωση κατεργασίας.

–Αυλακοειδής φθορά.

Άλλοι από τους αναφερθέντες μηχανισμούς δρουν σε υψηλές ταχύτητες κοπής (και θερμοκρασίες) και άλλοι στην περιοχή μέσων και χαμηλών ταχυτήτων κοπής. Είναι δυνατόν να επενεργούν συγχρόνως περισσότεροι από ένας μηχανισμοί και ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες δεσπόζει πότε ο ένας και πότε ο άλλος μηχανισμός, ο οποίος και επιφέρει την αστοχία του εργαλείου.

2. Σκληρομέταλλα:

–Η επιρροή του μηχανισμού φθοράς με σχηματισμό και λύση συγκολλητών μικροδεσμών θεωρείται περιορισμένη.

–Η φθορά με απόξεση, λόγω της λίαν αυξημένης σκληρότητας των σκληρομετάλλων, δεν μπορεί να αποτελέσει ένα χαρακτηριστικό είδος φθοράς των σκληρομετάλλων.

–Κυρίαρχος μηχανισμός φθοράς κρατήρα των σκληρομετάλλων είναι εκείνος της διαχύσεως στερεάς καταστάσεως. Είναι προφανές, ότι τούτο οφείλεται στις αναπτυσσόμενες κατά την κοπή υψηλές θερμοκρασίες, όπου η ταχύτητα διαχύσεως είναι λίαν υψηλή.

Ο ρυθμός φθοράς κρατήρα των σκληρομετάλλων (δηλαδή λόγω διαχύσεως) εξαρτάται από τη σύνθεση τους. Έτσι, η αντίσταση σε φθορά ενός σκληρομετάλλου καρβιδίου του βολφραμίου - κοβαλτίου (WC-Co, Κατηγορία K κατά τη γερμανική τυποποίηση) εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη συγκριτικά με ένα σκληρομέταλλο της κατηγορίας P, που πλην του καρβιδίου του βολφραμίου και του κοβαλτίου ως συνδετικού, περιέχει και

καρβίδια του τιτανίου και του τανταλίου (WC-TiC-TaC-Co).

Στην περιοχή ταχυτήτων, όπου χρησιμοποιούμε ως εργαλεία σκληρομέταλλα, όταν κατεργαζόμαστε μέταλλα με υψηλό σημείο τήξεως και η φθορά στην ελευθέρα επιφάνεια του εργαλείου (ζώνη φθοράς) βασίζεται στη διάχυση.

Είναι προφανές, ότι τα σκληρομέταλλα καταπονούμενα κατά τη λειτουργία τους πρακτικώς δεν παραμορφώνονται πλαστικώς, αλλά σε ελαστικές παραμορφώσεις, που αδυνατούν να παραλάβουν (τα σκληρομέταλλα έχουν πολλαπλάσιο μέτρο ελαστικότητας από εκείνο των ταχυχαλύβων, Πίνακας 2.1), θραύονται με ψαθυρά θραύση.

Συχνά επέρχεται απότομη θραύση στο κοπτικό μέρος του σκληρομετάλλου, προτού εκπνεύσει η ωφέλιμη ζωή του. Εδώ ενδιαφέρουν ιδιαίτερα η αντοχή και η δυσθραυστότητα του σκληρομετάλλου. Συμβαίνει ιός αίτιο αποτόμου θραύσεως να είναι μικρορωγμές, που δημιουργούνται από υπέρμετρη παραμόρφωση του.

2.3. Ζωή τον κοπτικού εργαλείου.

Λέγοντας **ζωή κοπτικού εργαλείου** εννοούμε την ωφέλιμη (ή ενεργό) ζωή του, από την στιγμή, κατά την οποία νεοτροχισμένο εργαλείο θ' αρχίσει να εργάζεται μέχρι κάποιου σημείου λειτουργίας, το οποίο καθορίζεται από ορισμένο επιλεγμένο κριτήριο αστοχίας, οπότε το εργαλείο αφαιρείται για ανατροχίση ή για αντικατάσταση,

Η ζωή του εργαλείου μεταξύ δύο διαδοχικών ανατροχίσεων ή μεταξύ της τελευταίας ανατροχίσεως και της αντικαταστάσεως του δύναται να ορισθεί ποσοτικά κατά ποικίλους τρόπους, δηλαδή, ως

- 1) Ενεργός χρόνος κοπής μέχρις αστοχίας.
- 2) Συνολικός χρόνος κοπής μέχρις αστοχίας σε διακοπτόμενες κατεργασίες, όπως είναι το φρεζάρισμα.
- 3) Θεωρητικό μήκος αποκοπτόμενου αποβλήτου ή μήκος κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου μέχρις αστοχίας.
- 4) Όγκος αφαιρούμενου υλικού μέχρις αστοχίας.
- 5) Αριθμός κατεργασμένων τεμαχίων μέχρις αστοχίας.

6) Ταχύτητα κοπής για καθορισμένο χρόνο μέχρις αστοχίας, όπως π.χ. η ταχύτητα κοπής για χρόνο κοπής 60min ή όπως συμβολίζεται u_{60} .

2.3.1. Τα κριτήρια αστοχίας των εργαλείων.

Ως κριτήρια αστοχίας του κοπτικού εργαλείου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πράξη τα ακόλουθα:

- 1) Καθορισμένη τιμή του πλάτους ζώνης φθοράς B.
- 2) Καθορισμένη τιμή του βάθους κρατήρα KT ή του δείκτη φθοράς κρατήρα K.
- 3) Συνδυασμός των (1) και (2).
- 4) Καθορισμένη τιμή του όγκου ή του βάρους του αφαιρούμενου λόγου φθοράς υλικού του εργαλείου.
- 5) Πλήρης καταστροφή της κόψης του εργαλείου, οπότε το εργαλείο καθίσταται εντελώς ανίκανο για κοπή.
- 6) Άμβλυση (στόμωση) της κόψης του εργαλείου, που εκδηλώνεται με την εμφάνιση λίκν σιλπνής ζώνης (δακτυλίου), που είναι ενδεικτική της ισχυρής τριβής μεταξύ ελευθέρως επιφάνειας του εργαλείου και νεοσχηματιζόμενης επιφάνειας του τεμαχίου και με σύγχρονο χαρακτηριστικό θόρυβο (σύριγμα).
- 7) Καθορισμένη (περιοριστική) τιμή της τραχύτητας επιφανείας του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
- 8) Καθορισμένο πεδίο ανοχών κρίσιμων διαστάσεων του τεμαχίου.
- 9) Καθορισμένο ποσοστό αύξησης των δυνάμεων κοπής (κριτήριο Schlesinger) ή της ισχύος κοπής.

Τα πρώτα τέσσερα (1 έως 4) κριτήρια βασίζονται σε μετρήσεις στοιχείων της φθοράς του εργαλείου (μπορούμε να τα ονομάσομε *άμεσα κριτήρια ζωής του εργαλείου*), τα κριτήρια 5 και 6 σε παρατήρηση, ενώ τα υπόλοιπα τρία αναφέρονται σε καθορισμό κάποιας περιοριστικής τιμής μεγεθών, που επηρεάζονται σημαντικά από τη φθορά του εργαλείου (*έμμεσα κριτήρια φθοράς του εργαλείου*).

Η εκλογή του κριτηρίου αστοχίας του εργαλείου, για δεδομένη περίπτωση εφαρμογής, εξαρτάται κατά βάση από τις απαιτήσεις, οι οποίες τίθενται σχετικά με το προς κατεργασία τεμάχιο. Σε μια κατεργασία εκχονδρίσεως π.χ., δεν ενδιαφέρουν η τραχύτητα επιφάνειας και η ακρίβεια των διαστάσεων του τεμαχίου και κατ' ακολουθία μπορεί να τεθεί ως κριτήριο αστοχίας του εργαλείου καθορισμένο ποσοστό αύξησης

των δυνάμεων κοπής ή της ισχύος κοπής ή και το κριτήριο αμβλύνσεως (στομώσεως) του εργαλείου. Σε κατεργασίες όμως αποπερατώσεως, η τραχύτητα επιφάνειας και η ακρίβεια των διαστάσεων του τεμαχίου παίζουν πρωταρχικό ρόλο και, συνεπώς, το εργαλείο θεωρείται ότι έχει αστοχήσει, όταν δεν επιτυγχάνονται πλέον προδιαγεγραμμένα όρια για τα μεγέθη αυτά. Σε κατεργασίες εκχονδρίσεως μπορεί επίσης να επιλεγεί ως κριτήριο αστοχίας του εργαλείου η πλήρης καταστροφή της κόψης του. Αυτό όμως πρέπει ν' αποφεύγεται για προφανείς λόγους.

Από τα αναφερθέντα κριτήρια αστοχίας των κοπτικών εργαλείων, τα υπ' αριθμό (1), (2), (3) και (6) έχουν εφαρμοσθεί ευρύτερα και πάλι, από αυτά χρησιμοποιούνται ακόμη περισσότερο τα υπ' αριθμό (1) και (6), δηλαδή μία κρίσιμη, κατά περίπτωση, τιμή B του πλάτους ζώνης φθοράς ή η στόμωση της κόψης του εργαλείου. Το τελευταίο εφαρμόζεται σε κατεργασίες εκχονδρίσεως κυρίως, με εργαλεία από ταχυχάλυβα.

2.3.2. Η σχέση ζωής εργαλείου T και ταχύτητας κοπής v (T - u) ή σχέση Taylor.

Ο αμερικανός μηχανικός F.W.. Taylor στις αρχές του αιώνα μας μελέτησε τη σχέση ανάμεσα στη ζωή του εργαλείου και στην ταχύτητα κοπής με σταθερούς τους υπόλοιπους παράγοντες της κοπής. Ύστερα από πολλά πειράματα κατέληξε στη γνωστή μας εφαρμοζόμενη και σήμερα σχέση:

$$u \cdot T^n = C \quad \text{ή} \quad T \cdot u^{1/n} = C^{1/n} = C' \quad (2.1)$$

όπου u είναι η ταχύτητα κοπής σε m/min , T η ζωή του εργαλείου σε min (με κριτήριο αστοχίας τη στόμωση της κόψης) και όπου $η$ είναι εκθέτης και C σταθερά, που εξαρτώνται από το υλικό του κομματιού και του εργαλείου, από τις συνθήκες κατεργασίας, από τη γεωμετρική μορφή του εργαλείου και από το υγρό κοπής. Όπως προκύπτει από τη σχέση (2.1). η σταθερά C παριστάνει την ταχύτητα κοπής για ζωή του εργαλείου ίση με 1 min ($T=1 \text{ min}, u=C$).

Πλήθος Μεταγενέστερων πειραματικών δεδομένων αποδεικνύει, ότι μέσα σε ορισμένο εύρος ταχυτήτων κοπής και προώσεων (που καλύπτει συνήθως τις ανάγκες της πράξεως), ισχύει η σχέση. Έτσι, η εξίσωση αυτή θεωρείται ως η βασική σχέση ζωής του εργαλείου. Χρησιμοποιείται, προσδιοριζόμενη εμπειρικά, ως μια συναρτησιακή (deterministic) σχέση δυνάμεως. Επειδή όμως προέρχεται πάντοτε από πειραματικά

αποτελέσματα (και ισχύει για συγκεκριμένη περίπτωση κατεργασίας), ίσως θα ήταν προσφορότερο να αντιμετωπίζεται ως στοχαστικό πρότυπο (μοντέλο). θεωρούμε αξιοσημείωτο να επισημάνομε, ότι οι σχέσεις T-u ισχύουν αποκλειστικά και μόνο για την περιοχή ταχυτήτων και προώσεων (καθώς και δεδομένων τιμών άλλων παραγόντων της κοπής), για την οποία προσδιορίστηκαν. Οποιαδήποτε προεκβολή τους **ενέχει κινδύνους** σοβαρών σφαλμάτων και δεν επιτρέπεται.

Αν ως κριτήριο αστοχίας του εργαλείου ληφθεί προκαθορισμένη κρίσιμη τιμή τον πλάτους (φθοράς B ή προκαθορισμένη τιμή του δείκτη φθοράς κρατήρα K, τότε. όπως πειραματικά επαληθεύεται, ισχύουν μεταξύ της ζωής του εργαλείου T_B και T_K και της ταχύτητας κοπής ο σχέσεις παρόμοιες με την 2.1 ήτοι

$$u T_B^{nB} = C_{oB}$$

$$u \cdot T_K^{nK} = C_{oK}$$

Οι σταθερές C_{oK} και C_{oB} ορίζονται, όπως η σταθερά C της σχέσεως (2.1), δηλαδή για $T_B = 1 \text{ min}$ ή $T_K = 1 \text{ min}$.

Ενδεικτικές τιμές του πλάτους φθοράς B, που τίθεται ως κριτήριο ζωής των κοπτικών εργαλείων σύμφωνα με διάφορες συστάσεις είναι οι ακόλουθες, εξαρτώμενες από το είδος του υλικού του εργαλείου, καθώς επίσης και από το είδος της κατεργασίας, δηλαδή από το αν η κατεργασία θα είναι εκχόνδριση ή αποπεράτωση:

B[mm]	Υλικό εργαλείου	Είδος κατεργασίας
0,75	Σκληρομέταλλο	Εκχόνδριση
25 - 0,40	Σκληρομέταλλο	Αποπεράτωση
1,50	Ταχυχάλυβας	Εκχόνδριση
0,25 - 0,40	Ταχυχάλυβα	Αποπεράτωση
0,25 - 0,40	Κεραμευτικό πυριμάχων οξειδίων	Εκχόνδριση και αποπεράτωση

Τέλος σε περίπτωση, που το βάθος κρατήρα K_T ή ο δείκτης φθοράς κρατήρα K τίθενται ως κριτήριο ζωής του κοπτικού εργαλείου, τότε ως επιτρεπόμενες τιμές τους λαμβάνονται για τόννευση και σκληρομέταλλο οι εξής:

$K_T = (0,1-0,4)\text{mm}$ και $K = 0,4$.

Ο προσδιορισμός της εξισώσεως ζωής του εργαλείου παρουσιάζει σοβαρές δυσχέρειες. Μπορεί να επιτευχθεί πειραματικά με δύο τρόπους: με κανονικές (φυσιολογικές) δοκιμές στον αναγκαίο αριθμό και με δοκιμές βραχείας διάρκειας και με μικρό αριθμό δοκιμών. Ο πρώτος τρόπος είναι χρονοβόρος, άρα και πολυέξοδος, όμως σε ικανοποιητικό βαθμό αξιόπιστος, ενώ ο δεύτερος αντίθετα απαιτεί βραχύ χρονικό διάστημα και είναι ευθυνότερος, υπολείπεται όμως οπωσδήποτε σε αξιοπιστία.

Η αναφερθείσα σχέση Taylor είναι δυνατόν να επεκταθεί βάσει πειραματικών δεδομένων, ώστε να περιλάβει και άλλους (πλην της ταχύτητας) παράγοντες κοπής [σχέσεις (2.2)] ή αντίστοιχους διορθωτικούς συντελεστές και για άλλες κατεργασίες κοπής, πλην της κατά μήκος τόννευσεως (το πλείστον των πειραματικών αποτελεσμάτων αναφέρονται, όπως και αλλού έχομε τονίσει, στη σχετικά απλή αυτή κατεργασία).

2.3.3. Παράγοντες κοπής, που επηρεάζουν τη ζωή τον εργαλείου.

Οι παράγοντες, που επιδρούν στη ζωή του εργαλείου είναι οι εξής:

- Οι συνθήκες κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
- Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου.
- Το υλικό του εργαλείου.
- Το υλικό του τεμαχίου.
- Το υγρό κοπής.
- Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος εργαλειομηχανή - εργαλείο τεμάχιο και
- ο τρόπος προσδέσεως εργαλείου και τεμαχίου.

A. Οι συνθήκες κατεργασίας.

Η επιρροή των συνθηκών κατεργασίας (u , s , a για τόννευση και ομόλογοι παράγοντες για άλλες κατεργασίες ή u , b , και t_1 για ορθογωνική κοπή) ενέχει εξαιρετική σημασία, γιατί αυτές ελέγχουν το ρυθμό αφαιρούμενου υλικού ($s \cdot a \cdot u$ ή $t_1 \cdot b \cdot u$) και κατ'

ακολουθίαν το ρυθμό παραγωγής, δηλαδή την παραγωγικότητα της κατεργασίας.

Τούτο εκφράζει πολύ καθαρά στην αποκαλούμενη **γενικευμένη εξίσωση ζωής του εργαλείου ή γενικευμένη σχέση Taylor, ήτοι:**

$$T u^{1/n} s^{1/m} a^{1/k} = C_1 \quad (2.2)$$

$$\text{ή } u T^n s^{n/m} a^{n/k} = C_2$$

όπου n, m, k, C_1 και C_2 σταθερές.

Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει, ότι η ταχύτητα κοπής ασκεί την εντονότερη επίδραση στη ζωή του εργαλείου, ενώ η πρόωση και το βάθος κοπής ακολουθούν, δηλαδή $1/n > 1/m > 1/k$.

B. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εργαλείου.

Όπως γνωρίζουμε, αύξηση στη γωνία αποβλήτου του εργαλείου έχει ευνοϊκά αποτελέσματα στην κοπή, άρα και στη ζωή του εργαλείου. Αυτό όμως ισχύει μέχρι ένα όριο στην τιμή της γωνίας αποβλήτου. Και τούτο, γιατί, αν μεγαλώσει υπέρμετρα η γωνία αυτή, τότε θα ελαττωθούν απaráδεκτα οι διατομές, μέσα από τις οποίες απάγεται η παραγόμενη στην περιοχή κοπής θερμότητα στην υπόλοιπη μάζα του εργαλείου, με συνέπεια αύξηση της θερμοκρασίας και συνεπώς χειροτέρευση της ζωής του εργαλείου. Οι αντιμαχόμενοι αυτοί δύο παράγοντες επιβάλλουν κάποια βέλτιστη τιμή στη γωνία αποβλήτου του εργαλείου. Πιο συγκεκριμένα, π.χ. για τόννευση εκχονδρίσεως σκληρού χάλυβα με εργαλείο από ταχυχάλυβα και από σκληρομέταλλο η βέλτιστη τιμή της γωνία αποβλήτου λαμβάνεται 14° και $3,5^\circ$ αντίστοιχα.

Σχετικά με την γωνία ελευθερίας α του εργαλείου μπορούμε να διατυπώσαμε τον κανόνα ότι, αύξηση της γωνίας ελευθερίας συνεπάγεται ελάττωση του πλάτους της ζώνης φθοράς και επομένως αύξηση της ζωής του κοπτικού εργαλείου. Το αντίθετο συμβαίνει με μείωση της γωνίας ελευθερίας του εργαλείου. Εδώ θα πρέπει να σημειώσαμε ότι λόγοι μηχανικής αντοχής του εργαλείου περιορίζουν την αύξηση της γωνίας ελευθερίας, λόγω της επερχόμενης εξασθένησης του εργαλείου. Συνιστώμενες τιμές της γωνίας α είναι κατά μέσο όρο 8° για εργαλείο από ταχυχάλυβα και 6° για εργαλείο από σκληρομέταλλο.

Γ. Επιρροή τον υλικού τον εργαλείου.

Η αξιολόγηση του υλικού κατασκευής του εργαλείου βασίζεται κατά κύριο λόγο στο βαθμό διατηρήσεως της σκληρότητας του σε αύξηση της θερμοκρασίας (σχ. 1.17). Έχει διαπιστωθεί, ότι περισσότερο ευαίσθητοι σε μεταβολές της θερμοκρασίας είναι οι ταχυχάλυβες με ακολουθούντα τα σκληρομέταλλα, τα οποία όμως είναι περισσότερο ευαίσθητα από τα κεραμεικά πυριμάχων οξειδίων. Επειδή όμως οι αναπτυσσόμενες κατά την κοπή των μετάλλων θερμοκρασίες έχουν άμεση σχέση με την ταχύτητα κοπής και η πτώση της σκληρότητας των υλικών για κοπτικά εργαλεία συνδέεται με τη φθορά και κατ' επέκταση με τη ζωή των εργαλείων, μπορούμε να διατυπώσαμε την άποψη, ότι διατηρείται η αυτή τάξη ευαισθησίας των υλικών αυτών και ως προς μεταβολές της ταχύτητας κοπής.

Πράγματι, αυτό επιβεβαιώνεται από πειραματικά δεδομένα σε πλατιά έκταση. Ο εκθέτης η της ζωής του εργαλείου (σχέση 2.1) ή ο εκθέτης $1/\eta$ της ταχύτητας κοπής εκφράζουν την επιρροή της ταχύτητας κοπής στη ζωή του εργαλείου. Έτσι, όσο μικρότερη είναι η τιμή του π (ή μεγαλύτερη η τιμή του $1/\eta$), τόσο πιο έντονη είναι η επίδραση της ταχύτητας κοπής στη ζωή του εργαλείου. Έχει ευρεθεί ότι ο μικρότερος εκθέτης η ανήκει στους ταχυχάλυβες, μεγαλύτερος εκθέτης χαρακτηρίζει τα σκληρομέταλλα και ο μέγιστος αναφέρεται στα κεραμεικά πυριμάχων οξειδίων.

Αναλυτικότερα, οι εκθέτες της ζωής του εργαλείου καλύπτουν πρακτικά τις περιοχές:
από 0,08 - 0,20 για τους ταχυχάλυβες,
από 0,20 έως 0,50 για τα σκληρομέταλλα και
από 0,50 έως 0,70 για τα κεραμεικά πυριμάχων οξειδίων.

Δ. Πως επιδρά το υλικό τον τεμαχίου στη ζωή τον εργαλείου.

Το υλικό του κομματιού ασκεί σημαντική επιρροή στη ζωή του εργαλείου. Έτσι, ενδιαφέρει η χημική σύνθεση του υλικού, η κρυσταλλική του δομή (π.χ. η αναλογία περλίτη στους ανθρακούχους χάλυβες), η σκληρότητα, η ικανότητα του για σκλήρωση και οι διάφορες ακαθαρσίες και εγκλείσματα που περιέχονται σε αυτό.

Η σκληρότητα του υλικού, όπως είναι προφανές, επηρεάζει τη ζωή του εργαλείου κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αύξηση της σκληρότητας να έχει ως επακόλουθο τη μείωση της ζωής του εργαλείου, με σταθερούς βέβαια τους υπόλοιπους παράγοντες κοπής.

Επίσης σκληρά εγκλείσματα και επιφανειακές σκουριές (ιδιαίτερα στα χυτά) επιδρούν δυσμενώς στη ζωή του εργαλείου. Επιπλέον, προσθήκη αργιλίου μπορεί να δράσει δυσμενέστατα σε αυτή, αν αντιδράσει με το οξυγόνο και σχηματίσει τη σκληρότατη λειαντική ουσία οξειδίο του αργιλίου.

E. Επίδραση τον υγρού κοπής.

Η χρησιμοποίηση του κατάλληλου εκάστοτε υγρού κοπής ασκεί γενικά ευνοϊκή επίδραση στη ζωή του εργαλείου μέσω της ψυκτικής ή /και λιπαντικής του δράσεως, όπως θα ιδούμε λεπτομερώς στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

2.4. Υγρά κοπής

2.4.1. Γενικά για υγρά κοπής.

Τα **υγρά κοπής** χρησιμοποιούνται συχνά στις διάφορες κατεργασίες, κατάλληλα προσαγόμενα στην περιοχή κοπής την οποία διαβρέχουν, για πιο αποδοτική κοπή σε σύγκριση με τη λεγόμενη **ξηρή κοπή** που εκτελείται χωρίς υγρό κοπής. Η δράση του υγρού κοπής οφείλεται, όπως θα αναπτύξαμε παρακάτω, σε ορισμένες χαρακτηριστικές του ιδιότητες και εκδηλώνεται διαφορετικά ανάλογα με το υλικό του κατεργαζόμενου κομματιού, το υλικό και τη γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και με τις συνθήκες κοπής. Έτσι, ένα υγρό κοπής μπορεί να επενεργήσει είτε ως λιπαντικό είτε ως -ψυκτικό και συχνά ως λιπαντικό και ως ψυκτικό μαζί. Η γνώση των δράσεων αυτών του υγρού κοπής μας είναι πολύ χρήσιμη, γιατί μας διευκολύνει στην επιτυχή εκλογή του στις διάφορες εφαρμογές.

Πιο αναλυτικά, με τη χρησιμοποίηση των υγρών κοπής μπορούμε να επιτύχουμε:

- α) Μείωση στο μέσο φαινόμενο συντελεστή τριβής στη διεπιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου, αλλά και στο μέσο συντελεστή τριβής στην επιφάνεια επαφής εργαλείου και τεμαχίου (σε περιπτώσεις, που εμφανίζεται σημαντική σχετικά ζώνη φθοράς) ως απόρροια της *λιπαντικής δράσεως* του υγρού κοπής.
- β) Ελάττωση της θερμοκρασίας του εργαλείου, του κομματιού και του αποβλήτου μέσω απαγωγής μέρους της θερμότητας (που παράγεται κατά την κοπή) ως αποτέλεσμα της *ψυκτικής δράσεως* του υγρού κοπής.
- γ) Μείωση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου (και αύξηση της ζωής του) έμμεσα,

ως επίπτωση της ελαττώσεως του συντελεστή τριβής και της ψύξεως, ως (α) και (β) παραπάνω.

δ) Βελτίωση της τραχύτητας της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου.

ε) Μείωση στις δυνάμεις και στην ισχύ κοπής.

στ) Περιορισμό στις στρεβλώσεις του τεμαχίου, οι οποίες προκαλούνται λόγω υψηλών τοπικών διαφορών της θερμοκρασίας, που αναπτύσσεται.

ζ) Ευκολία στο χειρισμό των έτοιμων κομματιών. Με τη χρησιμοποίηση κατάλληλου ψυκτικού κοπής είναι δυνατή η διατήρηση ομοιόμορφης, σε κάποιο βαθμό, θερμοκρασίας του κομματιού σε χαμηλότερη στάθμη.

η) Προστασία του τεμαχίου και των μερών της εργαλείου μηχανής ζ, που έρχομαι- σε επαφή με το υγρό κοπής, από οξείδωση ή διάβρωση και

θ) Απομάκρυνση μικρών τεμαχίων αποβλήτου και άλλων σωμάτων (μικροτμηματιδίων, που προκύπτουν από τη φθορά του εργαλείου, όπως λ.χ. από φθορά λόγω αποξέσεως κ.λπ.). Αυτό προφυλάσσει από τραυματισμούς της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου και συνεπώς συμβάλλει, στη διατήρηση της επιθυμητής τραχύτητας της.

Το υγρό κοπής πρέπει να έχει *ικανοποιητικές ιδιότητες διαβρεκτικότητας* των επιφανειών, με τις οποίες αυτό έρχεται σε επαφή. Επί πλέον οφείλει το υγρό κοπής να είναι (και να παραμένει) φυσικώς και χημικώς ευσταθές και να διατηρεί την αποτελεσματικότητα του καθ' όλη την ωφέλιμη ζωή του, που μπορεί να φθάσει και τους 12 μήνες. Τέλος, πρέπει να είναι οικονομικό. Δηλαδή, το κόστος κτήσεως του υγρού κοπής, μαζί με εκείνο τις εγκαταστάσεως και λειτουργίας του συστήματος παροχής του, οφείλει να αντισταθμίζει τουλάχιστον στις ωφέλειες, που προκύπτουν από τη χρήση τον στις διάφορες κατεργασίες.

Όπως άλλωστε έχουμε προαναφέρει, βασικές δράσεις του υγρού κοπής είναι οι (α) και (β), τις οποίες θα αναπτύξαμε στη συνέχεια. Όμως, άλλες από τις επενέργειες του μπορούν να θεωρηθούν ως επακόλουθο των πρώτων.

Τα υγρά κοπής χρησιμοποιούμενα στο μηχανουργείο εμφανίζουν εν γενεί και *ορισμένες ανεπιθύμητες παρενέργειες*, που είναι δυνατό ή να καταστήσουν αδύνατη τη χρησιμοποίησή τους ή να περιορίσουν το πεδίο εφαρμογών τους. Ως τέτοιες βασικές παρενέργειες παραθέτομε τις ακόλουθες:

α) Φυσιολογικές παρενέργειες επάνω στον τεχνίτη (τοξικοί ατμοί, δυσάρεστες οσμές, αναθυμιάσεις, δερματίτιδες, καρκίνοι κ.ά.) και

β) επιδράσεις στο υλικό του κομματιού ή σε υλικά της εργαλειομηχανής, που εκδηλώνονται συνήθως με οξειδωση ή διάβρωση. Υγρά κοπή; επί παραδείγματι με πρόσθετα υψηλής πίεσεως, τα οποία περιέχουν θείο. προσβάλλουν τα κράματα του χαλκού, που τυχόν κατεργαζόμαστε, όπως και τα έδρανα της εργαλειομηχανής, τα οποία έχουν ως βάση το χαλκό και είναι προσιτά στο υγρό κοπής.

Ανεπιθύμητες παρενέργειες του υγρού κοπής μπορούμε να τις περιορίσουμε ή και να τις εξαφανίσουμε ακόμη εκλέγοντας κάθε φορά υγρό κοπής με τις ενδεδειγμένες ιδιότητες (προσθέτοντας π.χ. κάποια αντιβακτηριδιακή ουσία).

2.4.2. Οι δράσεις του υγρού κοπής.

A. Το υγρό κοπής ως λιπαντικό.

Η λιπαντική δράση του υγρού κοπής συνδέεται άμεσα με τη **συνοριακή τριβή** και με την αντίστοιχη κατάσταση της συνοριακής λιπάνσεως.

Από τη θεωρία της οποίας υπενθυμίζουμε ότι είναι δυνατόν αυτή να εμφανισθεί είτε υπό μορφή προσκολλησεως μορίων του λιπαντικού (αν αυτό είναι π.χ. λιπαρό έλαιο) στις τριβόμενες επιφάνειες λόγω φυσικής ή χημικής προσροφήσεως είτε με σχηματισμό μεταξύ των επιφανειών ενός λεπτού στρώματος (*συνοριακού στρώματος* ή *στιβάδας*) κάποιας *στερεάς χημικής ενώσεως* (αν το λάδι κοπής περιέχει πρόσθετα υψηλής πίεσεως, π.χ. θείο, χλώριο ή φωσφόρο, που αντιδρούν με τη μεταλλική επιφάνεια του τεμαχίου και σχηματίζουν αντίστοιχα οξειδία), με *μειωμένη όμως αντοχή* σε διάτμηση και με υψηλό σχετικά σημείο τήξεως. Η χαμηλή αντοχή σε διάτμηση έχει ως επακόλουθο ελάττωση της τριβής (και πιο συγκεκριμένα του συντελεστή τριβής) και το υψηλό σημείο τήξεως της χημικής ενώσεως έχει ως συνέπεια τη διατήρηση της χημικής ενώσεως στις αναπτυσσόμενες από την τριβή υψηλές θερμοκρασίες. Εξαιτίας όμως των υψηλών ορθών πιέσεων, παρά το σχηματισμό του συνοριακού στρώματος, παρατηρείται στις θέσεις επαφής των ανωμαλιών καθαρή μεταλλική επαφή (και από αυτή συγκολλητοί μικροδεσμοί), σε πολύ όμως περιορισμένη έκταση σχετικά με ότι θα συνέβαινε, αν η τριβή ήταν ξερή, δηλαδή χωρίς λιπαντικό. Όπως είναι φανερό και στις δύο μορφές συνοριακής τριβής (ή συνοριακής λιπάνσεως) επιτυγχάναμε σημαντική μείωση του συντελεστή τριβής με μείωση κατά κύριο λόγο της

καθαρής μεταλλικής επαφής των επιφανειών που τρίβονται, άρα και της τάσεως για σχηματισμό συγκολλητών δεσμών.

Από όσα μέχρι τώρα γνωρίζουμε από τη θεωρία της κοπής των μετάλλων, η ελάττωση του μέσου φαινόμενου συντελεστή τριβής, που επιτυγχάνεται με τη χρήση του εκάστοτε κατάλληλου υγρού κοπής, έχει τις ακόλουθες ευνοϊκές συνέπειες:

α) Αύξηση στη γωνία διατμήσεως με τις γνωστές ευεργετικές επιπτώσεις στην κοπή, δηλαδή ελάττωση στις δυνάμεις κοπής και στην εκλυόμενη θερμότητα, όπως και στις θερμοκρασίες, που τελικά αναπτύσσονται.

β) Μείωση στη φθορά (και αύξηση στη ζωή) του κοπτικού εργαλείου, ως επακόλουθο της μείωσης των θερμοκρασιών και

γ) καλύτερευση εν γένει στην τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου, μέσω περιορισμού στο σχηματισμό της ψευδόκοπης.

Η λιπαντική δράση του υγρού κοπής, φυσικό-χημικού χαρακτήρα, όπως την έχουμε περιγράψει, είναι έντονη στις χαμηλές ταχύτητες κοπής (κάτω των 30 m/min περίπου στην κατεργασία χαλύβων) και εξασθενίζει, όσο η ταχύτητα κοπής μεγαλώνει, μέχρι να μηδενισθεί εντελώς στις υψηλές ταχύτητες κοπής.

Τη συμπεριφορά αυτή ενός υγρού κοπής με λιπαντική ικανότητα στις υψηλές ταχύτητες κοπής μπορούμε να την αποδώσαμε: Από το ένα μέρος στο διατιθέμενο μειωμένο χρόνο για την αντίδραση προς σχηματισμό της χημικής ενώσεως (συνοριακό στρώμα) ανάμεσα στο απόβλητο και στο πρόσωπο του εργαλείου και για την απαγωγή του μεγαλύτερου ποσού θερμότητας, που παράγεται στις υψηλότερες ταχύτητες κοπής και από το άλλο μέρος στους περιορισμούς στη διείσδυση του υγρού στην περιοχή κοπής, τους οποίους επιβάλλει το αντίθετα κινούμενο με μεγάλη ταχύτητα απόβλητο (το υγρό κοπής εκτινάσσεται και έτσι δυσκολεύεται η διείσδυση του στην περιοχή κοπής).

B. Το υγρό κοπής ως ψυκτικό.

Η ψυκτική επενέργεια ενός υγρού κοπής χαρακτηρίζεται από την ικανότητα τον να αφαιρεί ένα μέρος από την παραγόμενη θερμότητα στην περιοχή κοπής, *ιδιαίτερα κατά την κοπή χαλύβων, μετάλλων και κραμάτων με υψηλό σημείο τήξεως*, Στο υγρό κοπής ως ψυκτικό, σοβαρό ρόλο, όπως άλλωστε μας είναι γνωστό, παίζουν οι

θερμικές ιδιότητες του. Έτσι, υψηλή ειδική θερμότητα και λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης, μεγάλος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και χαμηλό ιξώδες, συντελούν στην επίτευξη ικανοποιητικού ρυθμού αφαιρέσεως θερμότητας. Επίσης, η παροχή (άγχος υγρού στη μονάδα του χρόνου) του υγρού κοπής, όπως και οι συνθήκες μεταδόσεως θερμότητας (θέση ή θέσεις, από τις οποίες γίνεται η απαγωγή της θερμότητας κ.ά.) παίζουν το ρόλο τους.

Ο μηχανισμός απαγωγής της θερμότητας με τη βοήθεια υγρού κοπής είναι περίπλοκος, λόγω μεταβαλλόμενης γεωμετρικής μορφής του εργαλείου κατά τη διάρκεια της κοπής, αλλά και μεταβολών σε ορισμένες ιδιότητες του υλικού- του τεμαχίου, εξαιτίας της εντόνου πλαστικής παραμορφώσεως, που αυτό υφίσταται κατά την κοπή.

Με την ψυκτική όραση του υγρού κοπής, επέρχεται πτώση της θερμοκρασίας στο κοπτικό εργαλείο (έστω και λίγων βαθμών ακόμη) με αποτέλεσμα λίαν σημαντική βελτίωση στη ζωή του· ακόμη επιτυγχάνεται ταπείνωση στη γενική στάθμη της θερμοκρασίας του κομματιού και αποφεύγονται έτσι στρεβλώσεις του. ενώ διευκολύνονται οι χειρισμοί του.

Τα υγρά κοπής ως ψυκτικά χρησιμοποιούνται αποτελεσματικώς εν γένει σε σχετικά υψηλές ταχύτητες κοπής, ενώ σε λίαν υψηλές ταχύτητες περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό (ή και εξαφανίζεται ακόμη) η τον: δράση.

2.4.3. Είδη υγρών κοπής.

A. Επιθυμητά χαρακτηριστικά των υγρών κοπής και ταξινόμηση τους.

Τα εν γένει χαρακτηριστικά, που πρέπει να έχουν τα υγρά κοπής, ώστε να δρουν αποτελεσματικά, μπορούν να είναι τα ακόλουθα:

α) Μεγάλη ικανότητα απαγωγής θερμότητας.

β) Σε υψηλό βαθμό ικανότητα διαβροχής των θερμών επιφανειών του εργαλείου και του κομματιού, για πιο αποτελεσματική ψύξη.

γ) Καλές ιδιότητες αντιτριβής εν γένει (προφανώς, όταν χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά κοπής).

δ) Ικανότητα προστασίας από διάβρωση.

ε) Να μην έχουν δυσάρεστη οσμή και να μην προκαλούν, κατά το δυνατό, τις

δυσμενείς παρενέργειες, που ήδη έχουμε αναφέρει.

στ) Να παρουσιάζουν σταθερότητα τόσο κατά τη χρήση, όσο και κατά την αποθήκευσή τους.

ζ) Αξιοσημείωτη απαίτηση επίσης είναι το υγρό κοπής να έχει το κατάλληλο, κατά περίπτωση κατεργασίας, ιξώδες. Συνήθως, το ιξώδες πρέπει να είναι αρκετά ταπεινό, ώστε να επιτυγχάνεται εύκολη κυκλοφορία του υγρού και γρήγορη κατακάθιση των αποβλήτων και άλλων σωμάτων, που αιωρούνται σ' αυτό.

η) Μία άλλη απαίτηση, τέλος, είναι να έχουν τα υγρά κοπής, όσο γίνεται, διαύγεια, ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση της εκτελούμενης κατεργασίας, ιδιαίτερα σε κατεργασίες αποπερατώσεως ακριβείας (π.χ. κατά τη λείανση αποπερατώσεως).

Είναι προφανές, ότι τα ευεργετικά αυτά χαρακτηριστικά των υγρών κοπής μεταβάλλονται ανάλογα με το είδος της κατεργασίας, το είδος υλικού τεμαχίου και εργαλείου, τη γεωμετρική μορφή του εργαλείου και τις συνθήκες κατεργασίας. Επί πλέον, ορισμένα από τα προσημειωθέντα χαρακτηριστικά είναι κοινά σε όλα τα είδη των υγρών κοπής, ενώ άλλα ενδιαφέρουν αυτό καθαυτό το είδος του υγρού κοπής.

Έτσι, είναι αδύνατο το ίδιο υγρό κοπής να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί συγχρόνως τόσο ως λιπαντικό, όσο και ως ψυκτικό. Και αυτό γιατί, όπως έχουμε εξηγήσει, το υγρό κοπής θα πρέπει να έχει ορισμένες για κάθε δράση του (λιπαντική ή ψυκτική) χαρακτηριστικές ιδιότητες. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι το νερό είναι το καλύτερο ψυκτικό από τα γνωστά μας, ενώ στερείται ολωσδιόλου λιπαντικών ιδιοτήτων. Από το άλλο μέρος το λάδι έχει σημαντική λιπαντική ικανότητα, ενώ η ψυκτική του ικανότητα παρουσιάζεται σχετικά μειωμένη. Έτσι καταλήγομε σε δύο βασικές κατηγορίες υγρών κοπής: Στα λάδια κοπής και στα υδατικά υγρά κοπής.

Πιο συγκεκριμένα, τα υγρά κοπής τα κατατάσσαμε ως ακολούθως:

α) Λάδια κοπής:

Χημικώς μη ενεργά ή απλά λάδια κοπής.

Χημικώς ενεργά ή λάδια κοπής με πρόσθετα υψηλής πιέσεως.

β) Υδατικά υγρά κοπής:

–Γαλακτώματα.

–Υδατικά διαλύματα.

Μία γενική παρατήρηση, που μπορούμε να κάμουμε στο σημείο αυτό, είναι ότι τα απλά λάδια κοπής και τα λάδια κοπής με πρόσθετα υψηλής πίεσεως ευρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις κοπής, όπου και όταν μας ενδιαφέρει κυρίως η λιπαντική όραση τον υγρού κοπής, ενώ τα γαλακτώματα και τα υδατικά διαλύματα (υδατικά υγρά κοπής και τα όνο μαζί), το χρησιμοποιούμε, όπου και όταν η ψυκτική επενέργεια τον υγρού κοπής αποτελεί δεσπόζουσα απαίτηση).

B. Τα λάδια κοπής.

1. Χημικώς μη ενεργά ή απλά λάδια κοπής.

α) Λιπαρά λάδια. Περιέχουν α συμμετρικά πολικά μόρια μακράς αλυσίδας και προσκολλόνται επάνω στις μεταλλικές επιφάνειες με φυσική ή χημική προσρόφηση. Ως τέτοια αναφέρουμε το λάδι από χοίρειο λίπος, το βαμβακέλαιο, το κραμβέλαιο κ.ά. Οξειδώνονται εύκολα και σχηματίζουν διαβρωτικά οξέα. Είναι αρκετά ακριβά και πλεονεκτούν σε σύγκριση με τα ορυκτέλαια.

β) Ορυκτέλαια. Χρησιμοποιούνται συνήθως λεπτάρρευστα ορυκτέλαια. Είναι κατάλληλα για πολύ ελαφρές κατεργασίες.

γ) Μίγματα από ορυκτέλαια και λιπαρά λάδια. Παρασκευάζονται με ανάμιξη. Προσθήκη 10% ως 30% λιπαρού λαδιού (κυρίως λαδιού από χοίρειο λίπος) σε ορυκτέλαιο μας δίνει υγρό κοπής που συναγωνίζεται τα αμιγή λιπαρά λάδια.

2. Χημικώς ενεργά ή λάδια κοπής με πρόσθετα υψηλής πίεσεως.

Τα απλά λάδια κοπής, τα οποία μόλις αναφέραμε, αν και έχουν καλές λιπαντικές ιδιότητες, εντούτοις δεν μπορούν να αντέξουν κάτω από τις γνωστές μας δυσμενείς συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσεως που συναντούμε σε πολλές περιπτώσεις κοπής.

Η αδυναμία αυτή των απλών λαδιών κοπής οδήγησε στην ανάπτυξη των χημικώς ενεργών λαδιών κοπής. Είναι ορυκτέλαια που περιέχουν ειδικά **πρόσθετα υψηλής πίεσεως**. Πέρα όμως από αυτά, είναι δυνατή η προσθήκη και άλλων ουσιών (π.χ. λιπαρού λαδιού), για να προσδώσουν στο υγρό κοπής άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Τα πρόσθετα υψηλής πίεσεως περιέχουν κυρίως θείο ή χλώριο ή θείο και χλώριο ή φωσφόρο σπανιότερα.

Τα στοιχεία αυτά σχηματίζουν με τις τριβόμενες μεταλλικές επιφάνειες επί τόπου αντίστοιχα θειούχες, χλωριούχες ή φωσφορούχες χημικές ενώσεις.

Με βάση το είδος του προσθέτου διακρίναμε τα λάδια κοπής ψηλής πίεσεως, σε **Θειωμένα, χλωριωμένο, ή θειοχλωριωμένα**. Τα θειωμένα και θειοχλωριωμένα λάδια, κοπής χρησιμοποιούνται ευρύτερα, ενώ τα τελευταία είναι το πιο ισχυρά.

3. Υδατικά υγρά κοπής.

1. Γαλακτώματα, Για το σχηματισμό του **γαλακτώματος** προσθέταμε σε ορισμένη αναλογία στο νερό ένα **διαλυτό λάδι**, όπως το ονομάζαμε. Το διαλυτό λάδι, αποτελείται συνήθως από ορυκτέλαιο, από κατάλληλο **παράγοντα γαλακτοματοποιήσεως** και από μία **αντισκληρωτική ουσία**. Ο παράγοντας γαλακτοματοποιήσεως προκαλεί τον λεπτότατο καταμερισμό του λαδιού στο νερό για να παραχθεί το γαλάκτωμα (χαρακτηρίζεται ως κολλοειδές αιώρημα). Τα γαλακτώματα είναι δυνατό να δεχθούν και πρόσθετα υψηλής πίεσεως. Βρίσκουν ευρύτατη χρήση στις κατεργασίες κοπής (στις 70% περίπου των περιπτώσεων), γιατί συνδυάζουν την ασυναγώνιστη ψυκτική ικανότητα του νερού απαλλαγμένου από το βασικό του μειονέκτημα (δηλαδή την οξειδωτική του δράση) μαζί με κάποια μικρή λιπαντική ικανότητα.

Η εκατοστιαία αναλογία του διαλυτού λαδιού που προστίθεται στο νερό για το σχηματισμό του γαλακτώματος κυμαίνεται ανάλογα με τη βιομηχανική χρήση του τελευταίου (1% μέχρι περίπου 10%).

2. Υδατικά διαλύματα. Είναι διαλύματα ανόργανων αλάτων σε νερό. Τυπικό και συνηθισμένο υδατικό διάλυμα είναι εκείνο που περιέχει 1% ανθρακικό νάτριο (σόδα). Παρασκευάζαμε επίσης υδατικά διαλύματα βόρακα ή τριφωσφορικού νατρίου. Είναι εξαιρετα από ψυκτική άποψη και προφυλάσσουν το κατεργαζόμενο κομμάτι και την εργαλειομηχανή από την οξείδωση.

Ως τυπικό σύγχρονο υδατικό διάλυμα αναφέρομε εκείνο με νιτρώδες νάτριο και προσθήκη τριαιθανολαμίνης.

Για να καλυφθούν μειονεκτήματα των υδατικών διαλυμάτων, που μόλις αναφέραμε, έχουν εισαχθεί και χρησιμοποιούνται τα καλούμενα **χημικά ψυκτικά υγρά κοπής**.

Στα διαλύματα αυτά περιέχονται τα αυτά είδη αντιδιαβρωτικών, με προσθήκη όμως και άλλων χημικών ουσιών, όπως είναι οι πολυγλυκόλες, τα βορικά και άλλα μαζί με συμβατικά προσθέματα υψηλής πίεσεως σε τρόπον, ώστε τα χημικά ψυκτικά υγρά κοπής να αποκτήσουν και κάποια λιπαντική ικανότητα. Όπου κρίνεται αναγκαίο, προστίθενται και παράγοντες γαλακτωματοποιήσεως. Τα σχηματιζόμενα γαλακτώματα είναι διαφανή. Επί πλέον, ορισμένα από αυτά περιέχουν και ορυκτέλαιο.

2.4.4. Βιομηχανικές χρήσεις των υγρών κοπής.

Από όσα μέχρι τώρα έχουμε αναπτύξει σχετικά με τις δράσεις και τα είδη των υγρών κοπής, μπορούμε να διατυπώσαμε τον ακόλουθο γενικό κανόνα χρήσιμο για την εκλογή του κατάλληλου υγρού κοπής στις διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές:

"Τα λάδια κοπής (απλά ή με πρόσθετα υψηλής πίεσεως) ασκούν κυρίως λιπαντική δράση σε χαμηλές σχετικά ταχύτητες κοπής (κακό από 30 m/min). Τα απλά λάδια χρησιμοποιούνται σε ελαφρές κατεργασίες (θα μιλήσαμε παρακάτω για το βαθμό δυσκολίας ή ευκολίας εκτελέσεως των κατεργασιών κοπής), ενώ τα λάδια με πρόσθετα υψηλής πίεσεως ευρίσκουν εφαρμογές σε βαριές κατεργασίες. Επίσης, με εφαρμογή των λαδιών κοπής επιτυγχάνουμε βελτίωση της τραχύτητας επιφάνειας των κομματιών. Σε υψηλότερες ταχύτητες κοπής ενδείκνυται η χρησιμοποίηση υδατικών υγρών κοπής (γαλακτώματα ή υδατικές διαλύσεις), που επενεργούν βασικά ως ψυκτικό".

Συμπληρώνοντας το σοβαρό αυτό πρόβλημα της εκλογής του κατά περίπτωση κατεργασίας σωστού υγρού κοπής, δίνουμε και τις εξής χρήσιμες πληροφορίες:

Η επιλογή υγρού κοπής στο μηχανουργείο γίνεται με βάση:

α) Το είδος κατεργασίας (τόρνευση, διάτρηση, φρεζάρισμα, σπειροτόμηση κ.ά.), μαζί με ορισμένα χαρακτηριστικά της και γεωμετρικά μεγέθη του εργαλείου.

Αναλυτικότερα: Συνθήκες κατεργασίας, συνεχής ή διακοπτόμενη κατεργασία, ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου κ.λπ.

β) Το αν η κατεργασία είναι εκχόνδριση ή αποπεράτωση.

- γ) Το υλικό του τεμαχίου, που κατεργαζόμαστε και
- δ) το υλικό του κοπτικού εργαλείου.

Οι ποικίλες κατεργασίες κοπής (ή κάθε μία ανάλογα με τον τρόπο, με τον οποίο γίνεται) παρουσιάζουν διαφορετικό **βαθμό δυσκολίας** κατά την εκτέλεση τους.

Έτσι, με κριτήριο το βαθμό δυσκολίας εκτελέσεως τους, μπορούμε να κατατάξουμε τις συνήθεις κατεργασίες κοπής κατά τάξη τέτοια, ώστε να περιορίζονται οι απαιτήσεις για λιπαντική ικανότητα του υγρού κοπής, ως ακολούθως

- Εσωτερική αυλάκωση.
- Εξωτερική αυλάκωση.
- Σπειροτόμηση.
- Κοπή οδοντώσεων, φρεζάρισμα κυλίσσεως, πλάνισμα κυλίσσεως, απλό φρεζάρισμα.
- Γλύφανση.
- Διάτρηση οπών μεγάλου μήκους.
- Διάτρηση.
- Φρεζάρισμα και τórνευση μορφής.
- Πλάνισμα.
- Τórνευση.
- Πριόνισμα.

Οι εσωτερικές κατεργασίες εμφανίζουν υψηλότερο βαθμό δυσκολίας εκτελέσεως συγκρινόμενες με τις ομόλογες εξωτερικές: Κατά τις πρώτες η επιφάνεια επαφής εργαλείου - τεμαχίου είναι μεγαλύτερη, δεν λαμβάνει χώρα ψύξη από τον ατμοσφαιρικό αέρα, η διείδυση του υγρού κοπής συναντά δυσκολίες κ.ά.

Για ικανοποιητική απόδοση του υγρού κοπής, είναι αναγκαίος ο συνδυασμός της φυσικοχημικής δράσεως του υγρού κοπής με τις απαιτήσεις λιπάνσεως της κατεργασίας, που εξαρτώνται και από το βαθμό δυσκολίας εκτελέσεως της.

Συστάσεις για επιλογή, κατά περίπτωση κατεργασίας, υγρού κοπής ευρίσκονται σε τεχνικά εγχειρίδια¹, σε εγχειρίδια παρασκευαστών υγρών κοπής (όπως είναι οι

ποικίλες εταιρίες πετρελαιοειδών) και ακόμη οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αρρυσθούν σχετικές πληροφορίες από τράπεζες δεδομένων κατεργαστικότητας των μετάλλων. Πέραν όμως τούτου για κάθε, κατεργασία με την οποία θα ασχοληθούμε στα κεφάλαια που ακολουθούν θα παραθέταμε και χρήσιμα στοιχεία για επιτυχή εκλογή του εκάστοτε αναγκαίου υγρού κοπής.

2.5. Η ποιότητα κατεργασμένων με κοπή επιφανειών.

2.5.1- Γενικά για μεταλλικές επιφάνειες.

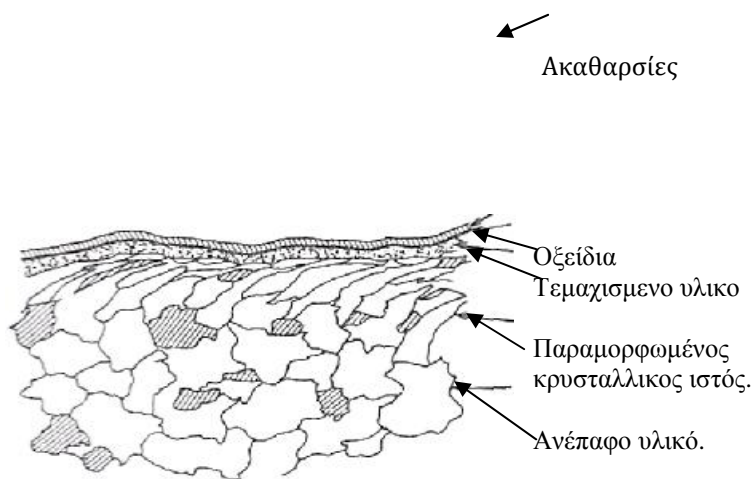
Στις ποικίλες μηχανουργικές εφαρμογές συναντάμε συχνά μεταλλικές κυρίως επιφάνειες, που συνεργάζονται, όπως π.χ. σε μίαν άτρακτο με τα έδρανά της. στο εργαλειοφορείο μίας εργαλειομηχανής με τους ολισθητήρες της, στα ελατήρια ενός εμβόλου με τον κύλινδρο μιας μηχανής εσωτερικής καύσεως, κ.ά.

Κάθε *κατεργασμένη μεταλλική επιφάνεια* (από τις πιο σημαντικές από το σύνολο των τεχνολογικών επιφανειών, ιδέ προς το τέλος της παραγρ. 1.1.2.3) προερχόμενη, όπως είναι γνωστό, από κάποια από τις μηχανουργικές κατεργασίες είτε αυτή είναι κατεργασία αφαιρέσεως μετάλλου (κατεργασία κοπής ή μη συμβατική) είτε είναι κατεργασία διαμορφώσεως, παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον στην τεχνική και γι' αυτό αξίζει να μελετηθεί σοβαρά. Δημιουργείται ως αποτέλεσμα της γεωμετρικής και κινηματικής αναπαραγωγής της άκρης του εργαλείου, που ακολουθείται και από ορισμένα φυσικά φαινόμενα. Η κατεργασμένη επιφάνεια αποκτά μετά την κατεργασία (ή τις κατεργασίες), με την οποία μορφοποιείται, ορισμένες νέες ιδιότητες και χαρακτηριστικά, που συνιστούν ότι καλούμε *ποιότητα, επιφάνειας*. Τα χαρακτηριστικά αυτά, βεβαίως δεν τα είχε η επιφάνεια προ της κατεργασίας, δηλαδή ως ακατέργαστη επιφάνεια. Οι μεταβολές, που επέρχονται εν γένει σε ιδιότητες και χαρακτηριστικά με την κατεργασία τους οφείλονται σε επιρροές, τόσο της κατεργασίας αυτής καθαυτής, όσο και του περιβάλλοντος, με το οποίο κάθε νεοκατεργασμένη επιφάνεια του τεμαχίου έρχεται σε επαφή.

Η ενδεδειγμένη για κάθε εφαρμογή ποιότητα των κατεργασμένων επιφανειών συντείνει αποφασιστικά στην αποδοτική λειτουργία και στην ασφάλεια εργασίας των συναφών τεμαχίων.

Έτσι, η κατεργασμένη επιφάνεια αποκτά ιδιάζουσα τοπομορφία, ορισμένη ακρίβεια διαστάσεων και μορφής και διαφορετικές εν γένει (από ότι είχε) ιδιότητες και χαρακτηριστικά, που εκτείνονται σε ορισμένο κατά περίπτωση βάθος της επιφανειακής στιβάδας του τεμαχίου.

Στο σχήμα εικονίζεται μία κάθετη τομή κατεργασμένης με κοπή μεταλλικής επιφάνειας, όπου εκδηλώνεται έντονα και παραστατικά η επιρροή της κατεργασίας και του περιβάλλοντος με τη δημιουργία επάλληλων κατά βάθος στρώσεων διαφορετικής καταστάσεως, σε καθορισμένο για κάθε στιβάδα βάθος, δηλαδή λαμβάνουν χώρα αλλαγές σε μεγάλο ή σε μικρό βαθμό, τόσο από μηχανικές και χημικές επιδράσεις, όσο και από κρύσταλλο γραφικούς μετασχηματισμούς.



Σχήμα 2.4

Κάθετη τομή μιας κατεργασίας με κοπή επιφάνειας.

Πιο συγκεκριμένα, ο όρος "ποιότητα κατεργασμένης επιφανείας" που προέρχεται, λόγου χάριν, από τórνευση, φρεζάρισμα, λείανση, διέλαση, ολκή, βαθειά κοίλανση κ.ά. αναφέρεται στο σύνολο του.

—στην ακρίβεια διαστάσεων και μορφής,

- στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας (τοπομορφία) και
- στα φυσικά, μηχανικά, χημικά και κρυσταλλογραφία χαρακτηριστικά του υλικού της επιφάνειας, όπως είναι η σκληρότητα, οι παραμένουσες τάσεις, η αντίσταση σε διάβρωση ή οξείδωση, ο κρυσταλλικός ιστός (βαφή, επαναφορά, αλλαγή φάσεων, μεταβολές στο μέγεθος των κρυσταλλιτών κ.λπ.), ο χρωματισμός, η εμφάνιση, διάφορα ελαττώματα κ.ά.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε συνοπτικά με τις δύο κύριες συνιστώσες της ποιότητας μιας κατεργασμένης με κοπή επιφάνειας, δηλαδή με την τραχύτητα της, που αναφέρεται σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά της (με την τοπομορφία της) και με τα λοιπά μη γεωμετρικά χαρακτηριστικά της, όπως τα έχουμε ήδη σκιαγραφήσει. Ως κατεργασία επιλέγομε την διαμήκη τόννευση, για την οποία -υπάρχουν δημοσιευμένες οι περισσότερες συναφείς πληροφορίες, κυρίως πειραματικές.

2.5.2. Η τραχύτητα επιφανείας.

Το πρόβλημα καθορισμού του βαθμού¹ της τραχύτητας τεχνολογικών επιφανειών για δεδομένη εφαρμογή, της ποιοτικής δυναμικότητας, δηλαδή, σε ότι αφορά την τραχύτητα των διαφόρων κατεργασιών, όπως και της με παραδεκτή ακρίβεια και με χαμηλό κόστος μετρήσεως (εκτιμήσεως) της αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία τόσο στη σχεδίαση μηχανών και μηχανολογικών εν γένει συστημάτων (ιδιαίτερα σε περιπτώσεις συνεργαζόμενων επιφανειών), όσο και στη σχεδίαση και την αξιολόγηση της μηχανουργικής παραγωγής.

Στη Μετροτεχνία και στο εγχειρίδιο έχουμε ασχοληθεί συστηματικά με ορισμούς και έννοιες των διαφόρων μεγεθών και χαρακτηριστικών της τραχύτητας κατεργασμένων επιφανειών, με τα συστήματα προτυποποιήσεώς της (και τις αντίστοιχες προδιαγραφές), με τις μεθόδους μετρήσεως της και με τη συναφή οργανολογία και, τέλος, με τις απαιτήσεις τραχύτητας στην εν γένει σχεδίαση τεμαχίων για μηχανουργική παραγωγή.

Στην παράγραφο αυτή, θα προβούμε σε λίαν συνοπτική ανασκόπηση εννοιών και μεγεθών της τραχύτητας που μας ενδιαφέρουν στη μελέτη και εκτέλεση των κατεργασιών κοπής- η τραχύτητα επιφανείας (το τονίζομε από τώρα) θα εκφράζεται

κατά κύριο λόγο με το μέσον ύψος της R_a και δευτερευόντως με το μέγιστο ύψος R_{max} ή R_t λόγους που θα εξηγήσουμε.

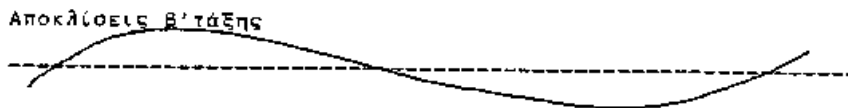
Ούτως, μία κατεργασμένη επιφάνεια παρουσιάζει γενικά αποκλίσεις από τη θεωρητική μορφή της (ή από τη λεγόμενη ονομαστική επιφάνεια, της οποίας η μορφή και οι διαστάσεις δίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο του κομματιού), οι οποίες μπορούν να καταταγούν στις κατηγορίες, που φαίνονται στο σχήμα.. Εδώ, ως ονομαστική επιφάνεια θεωρείται η επίπεδη επιφάνεια, τα ίδια όμως ισχύουν και για άλλες μορφές επιφάνειας από αυτές, που απαντούμε στις μηχανουργικές κατασκευές.

1. Υψηλός βαθμός τραχύτητα; αντιστοιχεί σε βελτιωμένη τραχύτητα, δηλαδή σε μικρές τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών της τραχύτητας και χαμηλός βαθμός τραχύτητας, αντιστρόφως.

Αποκλίσεις πρώτης τάξεως ή αποκλίσεις μορφή



Ονομαστική επιφάνεια Αποκλίσεις δεύτερης τάξεως



Αποκλίσεις τρίτης τάξεως



Αποκλίσεις τέταρτης τάξεως

Κατεργασμένη επιφάνεια (υπέρθεση των αποκλίσεων 1ης μέχρι 4ης



Σχ. 2.5

Κατηγορίες αποκλίσεων μιας κατεργασμένης επιφάνειας από την ονομαστική επιφάνεια.

θα έχουμε έτσι:

–**Αποκλίσεις πρώτης τάξεως.** Είναι μακρογεωμετρικές αποκλίσεις από την

ονομαστική επιφάνεια (π.χ., αποκλίσεις από επιπεδότητα, παραλληλότητα, καθετότητα, κυλινδρικότητα, κ.λπ.). Τις ονομάζουμε και **αποκλίσεις μορφής**. Οφείλονται σε σφάλματα στους ολισθητήρες της εργαλειομηχανής, σε σοβαρές παραμορφώσεις της εργαλείο μηχανής, του εργαλείου ή του κομματιού, σε κακή στήριξη του κομματιού και/ή του εργαλείου, κ.ά.

–**Αποκλίσεις δευτέρας τάξεως**. Αναφέρονται στις κυματώσεις της επιφάνειας με μεγάλη σχετικά περίοδο, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε εκκεντρότητα του κομματιού και/ή του εργαλείου, σε ταλαντώσεις, κ.λπ.

–**Αποκλίσεις τρίτης τάξεως**. Είναι ανωμαλίες της επιφάνειας συνήθως υπό μορφή αυλακώσεων, που οφείλονται στη μορφή των εργαλείων και στην κινηματική των κατεργασιών.

–**Αποκλίσεις τέταρτης τάξεως**. Είναι μικρογεωμετρικές ανωμαλίες της επιφάνειας, οι οποίες προκύπτουν από ατέλειες στην τροχισή του εργαλείου, στη φθορά του εργαλείου, στην ψευδόκοψη κ.λπ.

–**Αποκλίσεις πέμπτης και ανωτέρας τάξεως**– Είναι ανωμαλίες της επιφάνειας, μικρογεωμετρικής βέβαια μορφής, τις οποίες μπορούμε να αποδώσουμε σε χημικές, επιδράσεις, σε μεταβολές στον κρυσταλλικό ιστό του μετάλλου και σε άλλες αιτίες.

Οι αποκλίσεις τρίτης και ανωτέρας τάξεως, αναφερόμενες στη μικρομορφή της επιφάνειας, συνιστούν ότι ονομάζουμε "τραχύτητα επιφάνειας".

Τις απαιτήσεις των συγχρόνων μηχανουργικών κατασκευών σε ότι αφορά την τραχύτητα συναρμοζομένων ή και ελευθέρων (όπως π.χ. τεμαχίων τα οποία καταπονούνται με επαναλαμβανόμενα φορτία, που προκαλούν μείωση της αντοχής του μετάλλου, λόγω κοπώσεως) επιφανειών είναι δυνατόν να τις συνοψίσουμε στα παρακάτω τρία σημεία:

α) Στον προσδιορισμό του βαθμού της τραχύτητας επιφάνειας, που απαιτείται για κάθε δοσμένη εφαρμογή.

β) Στη γνώση του βαθμού της τραχύτητας, τον οποίο απορούν να αποδώσουν, με συμφέρον κόστος, οι χρησιμοποιούμενες στην πράξη κατεργασίες κοπής (ή διαμορφώσεως) και

γ) στην προτυποποίηση χαρακτηριστικών μεγεθών της τραχύτητας, όπως και μεθόδων και συναφών οργάνων για τη μέτρηση ή τον έλεγχο των μεγεθών αυτών.

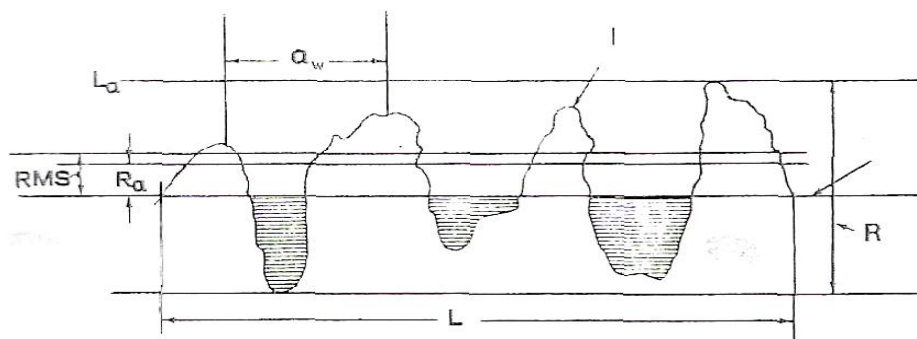
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε, ότι η μηχανουργική παραγωγή έχει ανάγκη απλών και φθηνών οργάνων μετρήσεως. Αυτό όμως δυστυχώς δεν έχει μέχρι τώρα επιτευχθεί.

Για την μέτρηση της τραχύτητας έχουν αναπτυχθεί δύο συστήματα: το σύστημα **Κεντρικής Γραμμής ή σύστημα (M)** και το σύστημα **Περιβαλλούσης (E)**. Παρακάτω, θα δώσαμε ορισμένα χρήσιμα στοιχεία του συστήματος (M), το οποίο και μας ενδιαφέρει.

Κατά το σύστημα αυτό σύρουμε (σχ. 2.6) στο πραγματικό περίγραμμα της επιφανείας¹ την καλούμενη κεντρική γραμμή, ώστε η γραμμή αυτή να ισομοιράζει τα επάνω και κάτω της εμβαδά (τα περιεχόμενα ανάμεσα στο πραγματικό περίγραμμα και στην κεντρική γραμμή), μέσα όμως σε καθορισμένο μήκος l , το οποίο καλούμε **δειγματοληπτικό μήκος**. Η κεντρική αυτή γραμμή, στα τραχύμετρα με στυλίσκο, που μετρούν την τραχύτητα σύμφωνα με το σύστημα τούτο, υλοποιείται μηχανικά με ένα ειδικό πέδιλο.

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

1. θεωρούμε ότι το πραγματικό περίγραμμα της επιφανείας συμπίπτει πρακτικά με το μετρούμενο περίγραμμα, που μας δίδει το καταγραφικό τραχυμέτρου τύπου στυλίσκου· κάποια αμελητέα συνήθως απόκλιση μεταξύ τους οφείλεται στην πεπερασμένη τιμή της ακτίνας καμπυλότητας; της άκρης του στυλίσκου



Σχ. 2.6

Χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας επιφάνειας κατά το σύστημα Κεντρικής Γραμμής (M).

Για να καθοριστεί με πληρότητα η γεωμετρική μορφή μιας επιφάνειας, όπως μας την παρουσιάζει το πραγματικό περίγραμμα της, χρειάζονται πολλά μεγέθη, που μπορούν να μετρηθούν είτε κατά βάθος, δηλαδή κάθετα προς την κεντρική γραμμή, είτε κατά μήκος της, όπως και διάφοροι δείκτες, οι οποίοι δίνονται ως λόγοι τέτοιων μεγεθών.

Μάλιστα, σύμφωνα με ισχύουσες προδιαγραφές τραχύτητας επιφανείας, προβλέπεται πληθώρα από τέτοια μεγέθη και δείκτες. Αυτό όμως περιπλέκει και δυσκολεύει τις μετρήσεις στην παραγωγή και ακόμα τα κατάλληλα όργανα για μετρήσεις πολλών τέτοιων χαρακτηριστικών στοιχείο:) ν της τραχύτητας είναι πανάκριβα.

Έτσι, για πρακτικούς λόγους, έχουν επιλεγεί ένα ή δύο βασικά μεγέθη της τραχύτητας, όπως θα ιδούμε αμέσως παρακάτω, τα οποία, συνδυαζόμενα και με το είδος της κατεργασίας από την οποία προέρχεται ή επιφάνεια, θεωρούνται ικανοποιητικά στην πράξη για τον χαρακτηρισμό της τραχύτητας τεχνολογικών επιφανειών.

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

α) **Το μέσο ύψος της τραχύτητας** R_a που ορίζεται από την αριθμητική μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων του πραγματικού περιγράμματος από την κεντρική γραμμή, μέσα στο καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος (όλες οι αποκλίσεις παίρνονται θετικές).

Στα τραχύμετρα, που μετρούν βάσει του συστήματος αυτού, το μέσο ύψος K_3 δίδεται κατευθείαν από το όργανο σε ενδεικτική πλάκα.

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

γ) Το δια δέκα υψών προσδιοριζόμενο ύψος H_z της **τραχύτητας**, δηλαδή η μέση διαφορά μεταξύ των υψών των πέντε υψηλότερων επαρμάτων και των πέντε βαθύτερων ανωμαλιών του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας, τα οποία

λαμβάνονται μέσα στο δειγματοληπτικό μήκος L και μετρούνται από γραμμή αναφοράς παράλληλο προς την κεντρική γραμμή.

Η μέθοδος μετρήσεως της τραχύτητας, που ευρύτατα χρησιμοποιείται σήμερα στην πράξη (μπορούμε να ειπούμε σχεδόν αποκλειστικά) είναι εκείνη, που βασίζεται στο καλούμενο *Σύστημα Κεντρικής Γραμμής* ή *Σύστημα (M)*, όπως έχουμε προαναφέρει. Το προτυποποιημένο μέγεθος της είναι το μέσο ύψος τραχύτητας R_a και η μέτρηση του γίνεται σε τραχύμετρο τύπου στυλίσκου (όπως π.χ. είναι το τραχύμετρο Talysurf, Perth-O-Meter κ.ά.). Έχει γίνει γενικά αποδεκτό, ότι το μέγεθος αυτό της τραχύτητας, δηλαδή το μέσο ύψος K_a , αποτελεί το ενδεδειγμένο αντιπροσωπευτικό μέγεθος αποτιμήσεως της τραχύτητας κατεργασμένων με κοπή επιφανειών, εφόσον όμως απαραίτητους αναφέρεται και το είδος της κατεργασίας. Και τούτο, γιατί κάθε κατεργασία κοπής (κινηματική και γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου) προσδίδει χαρακτηριστική μορφή (υφή) στην κατεργασμένη επιφάνεια. Ακόμη, είναι δυνατό πραγματικά περιγράμματα επιφανειών να έχουν εντελώς διαφορετική μορφή, ενώ έχουν το ίδιο μέσο ύψος K_a τραχύτητας.





Το εύρος του μέσου ύψους K_a της τραχύτητας (ή του μέγιστου ύψους K_{max} ή R_t που επιτυγχάνεται πρακτικώς με τις διάφορες κατεργασίες κοπής στο Μηχανουργείο ποικίλλει από κατεργασία σε κατεργασία (διαφορετική κινηματική, άλλος τρόπος σχηματισμού του αποβλήτου, άλλη γεωμετρική μορφή του εργαλείου, είδος φθοράς του εργαλείου, υγρό κοπής κ.λπ.) για το αυτό κατεργαζόμενο υλικό. Και τούτο, από το γεγονός ότι η τραχύτητα επηρεάζεται (και μεταβάλλεται) από μεταβολές των κύριων παραγόντων κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση, υγρό κοπής κ.ά.) μέσα στα πλαίσια μιας και της αυτής κατεργασίας.

Στοιχεία σχετικά με την δυναμικότητα των κατεργασιών κοπής, με τις οποίες θα ασχοληθούμε στη συνέχεια, αναφορικά προς την επιτυγχανόμενη τραχύτητα των αντιστοίχων επιφανειών (προφανώς μέσα σε προσεγγιστικά όρια) θα παραθέσαμε ξεχωριστά για κάθε κατεργασία.

Προτυποποιημένες τιμές του μέσου ύψους τραχύτητας K_a , του μέγιστου ύψους R_{max} ή R_t και του ύψους R_z (όπου τα R_{max} και R_z δίδονται στα πρότυπα) παραθέταμε στον Πίνακα 1.6 βάσει των κυριότερων ισχυόντων εθνικών προτύπων, καθώς και του Διεθνούς

Οργανισμού Προτυποποίησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2. Προτυποποιημένες τιμές των μεγεθών της τραχύτητας R_a και R_{max} βάσει των κυριότερων ισχύοντων συναφών προτύπων.

Χώρα	Στοιχεία προτύπου	Προτυποποιημένες τιμές των μεγεθών R_a και R_{max} (ή R_t) μετρούμενες στην αναφερόμενη εκάστοτε μονάδα μετρήσεως (μm ή μin)																																													
Μ. Βρετανία	BS 1134:1961	R_a (CLA) ^α [μin] 1 2 4 8 16 32 63 125 250 500 1000 2 (3) Συμβολισμός στο μηχανολογικό σχέδιο  1. Είδος κατεργασίας, 2. Τιμή της R_a ή CLA, 3. Τιμή μήκους κύματος αποκοπής λ																																													
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	ASA B 46.1-1962	R_a (AA) ^β [μin] 1 2 3 4 5 6 8 10 13 16 20 25 32 40 50 63 80 100 125 160 200 250 320 400 500 600 800 1000 Συμβολισμός:  1. Τιμή της R_a ή AA, 2, 3. Τιμές διαφορών, κατά περίπτωση, χαρακτηριστικών στοιχείων της τραχύτητας																																													
Δ. Γερμανία	DIN 4763	R_{max} ή R_t [μm] Τιμές από 0,04 μm έως 2500 μm , ακολουθούσες κατά προσέγγιση την σειρά Renard R5 (λόγος 1,6)																																													
	DIN 3142-1960	Συμβολισμός  1. R_a σε μm , 2. Είδος κατεργασίας, 3. Άλλα χαρακτηριστικά της τραχύτητας																																													
	DIN 3141	Συμβολισμός  Σειρά <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td> </tr> </table> R_{max} ή R_t [μm] <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td>160</td><td>100</td><td>63</td><td>25</td><td>40</td><td>25</td><td>16</td><td>10</td><td>16</td><td>6,3</td><td>4</td><td>2,5</td><td>-</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,4</td></tr> </table>		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		160	100	63	25	40	25	16	10	16	6,3	4	2,5	-	1,0	1,0	0,4											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																															
	160	100	63	25	40	25	16	10	16	6,3	4	2,5	-	1,0	1,0	0,4																															
Σοβιετική Ένωση	GOST 2789-1959	Συμβολισμός ποιότητας <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> </table> R_z [μm] <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td>320</td><td>160</td><td>80</td><td>40</td><td>20</td><td>10</td><td>6,3</td><td>3,2</td><td>1,6</td><td>0,8</td><td>0,4</td><td>0,2</td><td>0,1</td><td>0,05</td></tr> </table> R_a [μm] <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td>80</td><td>40</td><td>20</td><td>10</td><td>5</td><td>2,5</td><td>1,25</td><td>0,63</td><td>0,32</td><td>0,16</td><td>0,08</td><td>0,04</td><td>0,02</td><td>0,01</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		320	160	80	40	20	10	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05		80	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14																																	
	320	160	80	40	20	10	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05																																	
	80	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01																																	
Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης ISO	ISO R1302-1971	Συμβολισμός ποιότητας <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td>N12</td><td>N11</td><td>N10</td><td>N9</td><td>N8</td><td>N7</td><td>N6</td><td>N5</td><td>N4</td><td>N3</td><td>N2</td><td>N1</td></tr> </table> R_a [μm] <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td>50</td><td>25</td><td>12,5</td><td>6,3</td><td>3,2</td><td>1,6</td><td>0,8</td><td>0,4</td><td>0,2</td><td>0,1</td><td>0,05</td><td>0,025</td></tr> </table> R_a [μin] <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td><td>2000</td><td>1000</td><td>500</td><td>250</td><td>125</td><td>63</td><td>32</td><td>16</td><td>8</td><td>4</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table>		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025		2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1						
	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1																																			
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025																																			
	2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1																																			

α) $R_a \equiv \text{CLA}$: Centre Line Average, β) $R_a \equiv \text{AA}$: Arithmetic Average.

γ) Μήκος κύματος αποκοπής του τραχυμέτρου: Αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό για τις μετρήσεις του μεγέθους R_a και σημαίνει ότι το όργανο κατά τον υπολογισμό της τιμής R_a αποκρίνεται σε τραχύτητα βήματος (μήκους κύματος) μικρότερου ή ίσου προς το εκάστοτε επιλεγόμενο μήκος κύματος αποκοπής. Στα πρότυπα BS 1134 και ASA B46.1 λαμβάνει τιμές σε in: 0,003 - 0,01 - 0,03 - 0,10 - 0,30 - 1,00.

ISO). Τα εν λόγω μεγέθη της τραχύτητας μετρούνται με την βοήθεια *τραχυμέτρου τύπου στυλίσκου*¹ εφοδιασμένου με ειδικό καταγραφικό, με μεγέθυνση που κυμαίνεται κατά μέσον όρον μέχρις $\times 100.000$ κατά την κατακόρυφο διεύθυνση και μέχρι $\times 200$ κατά την οριζόντια. Καθόσον αφορά στα ποικίλα εθνικά πρότυπα

τραχύτητας, παρατηρούμε ότι υφίσταται έντονη ασυμφωνία τόσο στα προτυποποιούμενα μεγέθη της τραχύτητας (ορισμένα δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν απευθείας και με ειδικά ακόμα όργανα), όσο και στο συμβολισμό της τραχύτητας στα μηχανολογικά σχέδια.

Εδώ θεωρούμε σκόπιμο να υπογραμμίσουμε, ότι είναι αναγκαίο να καταβάλλεται προσπάθεια, ώστε να συσχετίζεται, όσο είναι δυνατόν, ο βαθμός τραχύτητας της επιφάνειας με τον ελάχιστο αναγκαίο για την αποδοτική λειτουργία της θεωρούμενης επιφάνειας, υπό τη βασική προϋπόθεση ελαχιστοποίησης του κόστους κατασκευής. Κατεργασμένες επιφάνειες με υψηλότερο βαθμό τραχύτητας από τον απαιτούμενο για τη συγκεκριμένη εφαρμογή έχουν υψηλότερο κόστος, χωρίς κανένα επί πλέον **πλεονέκτημα**

Συμπληρώνοντας αναφέρουμε ότι η τραχύτητα των κατεργασμένων επιφανειών ασκεί επίδραση:

- Στις συνθήκες επαφής ανάμεσα σε συνάρμοζα μένε ς επιφάνειες (συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικά λιπάνσεως, φθορά, κ.λπ.).
- Στην αντοχή σε κόπωση των μετάλλων.
- Στην κατάσταση ροής ρευστών κατά μήκος τοιχωμάτων.
- Στους συντελεστές μεταδόσεως θερμότητας.
- Στην αντίσταση σε διάβρωση.
- Στην εμφάνιση και σε άλλα.

1.Βεβαίως, για την μετρηση, τον έλεγχο και την ανάλυση της χρησιμοποιούνται οπτικά κυρίως όργανα, όπως είναι τα συμβολομετρα, διάφορα μικροσκόπια (μεταλλογραφικό, ηλεκτρονικό, ηλεκτρονικό σαρώσεως.κ.α.), τα οποία είναι ποσοτικά ή ποιοτικά στοιχεία.

2.5.3. Συσχέτιση τραχύτητας – ανοχών.

Για την κανονική λειτουργία μιας συναρμογής, όπως είναι ένας άξονας - έδρανο ολισθήσεως, λαμβάνουν μέρος πολλοί παράγοντες, μεταξύ των οποίων και η

τραχύτητα των συναρμολοζόμενων τεμαχίων. Λόγω της υπάρξεως της τραχύτητας παρατηρείται κάποια αβεβαιότητα στη μέτρηση της διαστάσεως των τεμαχίων. Από αυτό εκπηγάζει η ανάγκη της συσχετίσεως ανοχών διαστάσεως - τραχύτητας. Έτσι, τίθεται ο οριακός περιορισμός, ότι οι εισαγόμενες λόγω τραχύτητας μεταβολές της διαστάσεων να μην υπερβαίνουν το πιθέμενο για τη διάσταση πεδίο ανοχών.

Μέχρι σήμερα δεν έχει συστηματικά μελετηθεί το θέμα της συσχετίσεως τραχύτητας - ανοχών και μάλιστα σε βαθμό τέτοιο, που να επιτρέπει την κατάρτιση πρότυπου.

"Όμως, το θέμα αυτό έχει αντιμετωπισθεί στην πράξη εμπειρικά και προσεγγιστικά κατά διαφόρους τρόπους, που μπορούν να χρησιμεύσουν ως οδηγός στις εφαρμογές.

Στο ιταλικό πρότυπο τραχύτητας επιφάνειας UNI 3963 (1960) καταβάλλεται προσπάθεια συνδέσεως των ανοχών κατά ISO με τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου ύψους τραχύτητας (Πίνακας 2.3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 Συσχέτιση επιτρεπομένου ν τιμών R_a - ανοχών κατά ISO.

ISO	Διάσταση σε mm				
	<3	3-18	18-80	80-250	>250
επιτρεπόμενη τιμή R_a [μm]					
IT6	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
IT7	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0
IT8	0,5	0,8	1,2	2	3
IT9	0,8	1,2	2	3	5
IT10	1,2	2	3	5	8
IT11	2	3	5	8	11
IT12	3	5	8	12	20
IT13	5	8	12	20	-
IT14	8	12	20	-	-

Άλλες σχέσεις που συναρτούν την επιτρεπόμενη μέγιστη τιμή της τραχύτητας R_t με το πεδίο ανοχών T συναρμογών είναι οι εξής:

$R_t = 0,25 T$ για τραχείες επιφάνειες και

$R_t = 0,125 T$ για λείες επιφάνειες,

Οι ακόλουθες επίσης τιμές ανοχών- μέσου ύψους τραχύτητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για τις εφαρμογές:

Ανοχές διαστάσεως [μm] R_a [μm]

Κάτω των ± 5 Κάτω των 0,2

± 5 έως $\pm 12,5$, 0,2 έως 0,4

±12,5 έως ±50	0,4 έως 0,8
±50 έως ±125	0,8 έως 1,6
±125 έως ±250	1,6 έως 6,25.

A. Θεωρητική και φυσική τραχύτητα.

2.5.4. Επίδραση των παραγόντων της κοπής στην τραχύτητα της επιφάνειας.

Η πραγματική τραχύτητα των ποικίλων κατεργασμένων με κοπή επιφανειών, όπως αυτές εμφανίζονται στην πράξη, αποτελεί υπέρθεση δύο ανεξαρτήτων μεταξύ τους συνιστωσών τραχυτήτων:

α) Της *θεωρητικής τραχύτητας*, που εξαρτάται από την κινηματική τη; κατεργασίας και από τη γεωμετρική μορφή του κοπτικού μέρους του εργαλείου και που μπορεί να υπολογισθεί αναλυτικά και

β) της *φυσικής τραχύτητας*, η οποία περιλαμβάνει ανωμαλίες της κατεργασμένης επιφάνειας, δημιουργούμενες κατά τη διάρκεια της κοπής και οφειλόμενες κυρίως στην ψευδόκοψη (και στον εν γένει τρόπο σχηματισμού του αποβλήτου), καθώς και σε φθορά του εργαλείου, ταλαντώσεις, επιδράσεις της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας κ.λπ., όπως αναλυτικότερα θα αναπτύξουμε στη συνέχεια.

1) Θεωρητική τραχύτητα.

Η θεωρητική τραχύτητα αποτελεί την κάλλιστη δυνατή τραχύτητα, η οποία επιτυγχάνεται με την εκάστοτε θεωρούμενη κατεργασία και με τους επιλεγόμενους κάθε φορά παράγοντες κοπής.

Σχέσεις προσδιορισμού μεγεθών θεωρητικής τραχύτητας για τόννευση και φρεζάρισμα θα δοθούν στα οικεία Κεφάλαια.

2) Φυσική τραχύτητα.

Στην πράξη είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί τόσο υψηλός βαθμός

τραχύτητας, ώστε να προσεγγίζεται η θεωρητική τιμή της. Όπως έχει διαπιστωθεί από πειραματικές εργασίες, η πραγματική τραχύτητα διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη θεωρητική (σχεδόν πάντοτε παίρνει μεγαλύτερη τιμή) και μάλιστα πολλές φορές είναι πολλαπλάσια.

Αποφασιστικής σημασίας παράγοντας στη δημιουργία της φυσικής τραχύτητας κατεργασμένων με κοπή επιφανειών είναι ο τρόπος σχηματισμού του αποβλήτου (σχηματισμός ψευδόκοψης, ασυνεχούς αποβλήτου, θερμοκρασιακές διαφορές, επέκταση της ζώνης διατμήσεως και στην περιοχή του τεμαχίου κ.ά.). Επιπροσθέτως, άλλοι παράγοντες που συνεισφέρουν στη διαμόρφωση της φυσικής τραχύτητας είναι οι ποίκιλες ταλαντώσεις του συστήματος (Κ-ΕΜ-Τμ-Ε), ελαττώματα του κατεργαζόμενου μετάλλου (εγκλείσματα, έγκοιλα κλπ.), η φθορά του κοπτικού εργαλείου, σφάλματα στις κινήσεις τη' κινητών μερών της εργαλειομηχανής, ανωμαλίες στο μηχανισμό προώσεως κ.λπ.

Από τα προεκτεθέντα προκύπτει, ότι η φυσική τραχύτητα αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα της κοπής των μετάλλων, που εκτείνεται ακόμη περισσότερο για κατεργασίες με εργαλείο πολλών κύριων κόψεων ή για τη λείανση, όπου πάθε κόκκος του λειαντικού τροχού είναι και ένα στοιχειώδες κοπτικό εργαλείο.

B. Επιρροή των βασικών παραγόντων κοπής και άλλων επί της τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών.

Οι παράγοντες κοπής, που επηρεάζουν, σε ποικίλλοντα όμως βαθμό ο καθένας, την τραχύτητα κατεργασμένων επιφανειών, μπορούν να συνοψισθούν, ως ακολούθως:

- 1) Η κινηματική της κατεργασίας (σχετική κίνηση εργαλείου - τεμαχίου).
- 2) Το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
- 3) Το υλικό του κοπτικού εργαλείου.
- 4) Η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, ο βαθμός τραχύτητας των κοπτικών επιφανειών του και ο βαθμός φθοράς του.
- 5) Οι συνθήκες κατεργασίας (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
- 6) Το υγρό κοπής, αν αυτό χρησιμοποιείται.

Η κατάσταση της εργαλειομηχανής, από απόψεως επιτυχημένης ακρίβειας και Οι ταλαντώσεις του συστήματος (Κ-ΕΜ-Τμ-Ε), όπως έχουμε προσημειώσει.

Καθώς προκύπτει από τη βιβλιογραφία αλλά και για εξυπηρέτηση της πράξεως,

συνήθως ως ανεξάρτητες μεταβλητές (ή και ως παράμετροι κατά περίπτωση) στην μελέτη της τραχύτητας λαμβάνονται: η ταχύτητα κοπής, η πρόωση και ενίοτε η ακτίνα καμπυλότητας της άκρης του εργαλείου, για οξύ και για εφθαρμένο εργαλείο, ενώ οι λοιποί βασικοί παράγοντες παραμένουν εκάστοτε σταθεροί.

Η επιρροή των ανεξαρτήτων αυτών μεταβλητών της κοπής επί της ταχύτητας επιφανείας θα μελετηθεί για την **διαμήκη τόννευση** (παραγρ. 1.2.6.1) στο σχετικό Κεφάλαιο. Η τραχύτητα θα εκφρασθεί με το μέσο ύψος της K_{ε} και σε ορισμένες περιπτώσεις και με το μέγιστο ύψος της K . Κατ-αυτόν τον τρόπο θα καταλήξαμε σε βασικούς νόμους, που συνδέουν την τραχύτητα με τις ανεξάρτητες αυτές μεταβλητές. Πέρα από σχέσεις εκτιμήσεως της τραχύτητας για οξύ πρακτικώς κοπτικό εργαλείο, θα μελετήσαμε και περιπτώσεις μεταβολής της τραχύτητας καθόλην την ωφέλιμη ζωή του εργαλείου, δηλαδή και για διαφόρους βαθμούς φθοράς του εργαλείου.

2.5.5. Στατιστική ανάλυση της τραχύτητας κατεργασμένων με κοπή επιφανειών.

A. Συμβατική στατιστική ανάλυση.

Η γνώση του είδους της στατιστικής κατανομής, την οποία ακολουθεί το μέσο ύψος της τραχύτητας R_a και άλλα μεγέθη της (όπως λ.χ. το μέγιστο ύψος της R_{max}) παρουσιάζει ενδιαφέρον, ιδιαίτερα στον έλεγχο ποιότητας της τραχύτητας κατεργασμένων με κοπή επιφανειών, αλλά και σε άλλες εφαρμογές.

Από τα δεδομένα της βιβλιογραφίας συγκλίνουν τα πορίσματα σχετικών πειραματικών εργασιών σε διαμήκη κυρίως τόννευση, ότι τόσο το μέγεθος της τραχύτητας R_a , όσο και το R_{max} ακολουθούν κατά παραδεκτή προσέγγιση την κανονική ή την λογαριθμική κατανομή.

B. Εφαρμογή της αναλύσεως στοχαστικών διαδικασιών.

Η μελέτη φαινομένων και η ανάπτυξη συστημάτων, που περιλαμβάνουν τεχνολογικές επιφάνειες (τριβή, φθορά, λίπανση, μεταφορά θερμότητας, λειτουργία συναρμογών, ηλεκτρική αγωγιμότητα και αντίσταση, κόπωση των μετάλλων, στιβαρότητα συνδέσμων, δυναμική των εργαλειομηχανών, κ.ά.) απαιτούν πληρέστερο χαρακτηρισμό της τοπομορφίας των επιφανειών, που εμφανίζουν εν γένει έντονο στοχαστικό χαρακτήρα, αφ' ότι μέχρι σήμερα. Το μέσο, δηλαδή, ύψος της τραχύτητας R_a που το θεωρούμε ως κύριο μέγεθος της τραχύτητας, αλλά και άλλες παράμετροι της

προσδιοριζόμενες καθ' ύψος και κατά μήκος του πραγματικού περιγράμματος της κατεργασμένης επιφάνειας θεωρούνται για τα σύγχρονα δεδομένα ανεπαρκείς για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων.

Για πληρέστερη περιγραφή (κατάρτιση γεωμετρικού προτύπου) των επιφανειών σε περιπτώσεις, όπου αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο και επηρεάζουν τη συμπεριφορά (λειτουργία) φυσικών διαδικασιών σε δυο ή και σε τρεις διαστάσεις, **η ανάλυση στοχαστικών διαδικασιών** παρέχει τις αναγκαίες μεθόδους και τεχνικές, όπως είναι:

Η συνάρτηση στατιστικής κατανομής των υψών της τραχύτητας (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, λοξότητα και κύρτωση ή αιχμηρότητα).

Η στατιστική κατανομή της κλίσεως και της ακτίνας καμπυλότητας των επαυμάτων και των εσοχών του πραγματικού περιγράμματος.

Η συνάρτηση αυτοσυσχετίσεως και διασυσχετίσεως και η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας.

2.5.6. Χαρακτηριστικά της κατεργασμένης επιφάνειας.

Στη συνέχεια των όσων έχουμε διατυπώσει στην παράγραφο 2.2.8.1 σχετικά με την ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας, εδώ θα ασχοληθούμε, όπως αναφέρεται και στον τίτλο της παραγράφου αυτής, με τα λοιπά (μη γεωμετρικά) χαρακτηριστικά της επιφανειακής στιβάδας του τεμαχίου μετά την κατεργασία, δηλαδή με τη λειτουργική του πλέον επιφάνεια (ή επιφάνειες).

Η **επιφανειακή στιβάδα** ορίζεται ως ένα στρώμα υλικού, που περιορίζεται από τη γεωμετρική επιφάνεια του κατεργασμένου τεμαχίου και περιλαμβάνει το μέρος εκείνο του υλικού (από τη γεωμετρική επιφάνεια και προς το εσωτερικό του τεμαχίου), στο οποίο εμφανίζονται φυσικές, χημικές και κρυσταλλογραφίες αλλαγές σε σχέση με εκείνες του ακατέργαστου υλικού.

Το εξωτερικό μέρος της στιβάδας (ακαθαρσίες, οξειδία), πολύ μικρού πάχους, παίζει σημαντικό ρόλο, ιδιαίτερα σε διαδικασίες φθοράς. Η πλαστικά παραμορφωμένη ζώνη (συμπιεσμένη ζώνη) της επιφανειακής στιβάδας, που αποτελεί και το κύριο μέρος της, ποικίλλει σε πάχος από λίγα εκατοστά μέχρις αρκετά δέκατα του χιλιοστού, ανάλογα με το είδος της κατεργασίας και τους παράγοντες κοπής, που εφαρμόστηκαν.

Πέρα από την επιρροή της επικρατούσας εντάσεως, και το θερμοκρασιακό πεδίο

ασκεί επίδραση στην κρυσταλλοδομή του μετάλλου.

Έτσι, είναι δυνατό να προκληθούν διάφοροι μετασχηματισμοί στο κρυσταλλικό του πλέγμα, όπως είναι διαδικασίες κρατύνσεως και επαναφοράς, αλλαγές φάσεως, μεταβολές στο μέγεθος των κρυσταλλιτών, κ. ά. Βεβαίως, όλα αυτά εξαρτώνται από τη στάθμη της θερμοκρασίας. Το βάθος, στο οποίο επηρεάζουν το μέταλλο τα διάφορα θερμικά φαινόμενα στις μηχανικά κατεργασμένες επιφάνειες αποτελεί, συνήθως, ένα μέρος της συμπιεσμένης ζώνης.

Σε μη συμβατικές όμως κατεργασίες, όπως είναι η αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα, η θερμικά επηρεασμένη ζώνη του υλικού διεισδύει και ξεπερνά ολόκληρη την επιφανειακή στιβάδα σε βάθος, που μπορεί να υπερβεί και το ένα χιλιοστό μετρό.

Οι ιδιότητες και χαρακτηριστικά της επιφανειακής στιβάδας ενός τεμαχίου χαρακτηρίζονται από τις φυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες της κατεργασμένης επιφάνειας. Ούτως, οι πρώτες επηρεάζονται από την κρυσταλλική και νηματώδη (τεμαχισμένη) δομή και τη διανομή και το μέγεθος της στην επιφανειακή στιβάδα, από την πλαστική παραμόρφωση με τις συνακόλουθες αλλαγές στην αντοχή του μετάλλου (επιφανειακή σκλήρωση) και από το μέγεθος των παραμενουσών τάσεων και από τη διανομή τους στην επιφανειακή στιβάδα και στο μητρικό υλικό. Οι δεύτερες, δηλαδή οι γεωμετρικές ιδιότητες της κατεργασμένης επιφάνειας, δέχονται την επίδραση ανωμαλιών της επιφάνειας (τραχύτητα, κυματώσεις, υφή και πιθανά ελαττώματα, όπως μικρορωγμές, απολεπίσεις κ.λπ. της επιφάνειας).

Το τασικό πεδίο, που αναπτύσσεται στο κατεργαζόμενο υλικό κατά την κοπή, προξενεί εκάστοτε και ένα καθορισμένο πεδίο παραμορφώσεων. Το τελευταίο τροποποιείται και από το δημιουργούμενο θερμοκρασιακό πεδίο. Άρα, τα χαρακτηριστικά και το πάχος της επιφανειακής στιβάδας εξαρτώνται από όλους τους παράγοντες που προξενούν μεταβολές στα πεδία τάσεων, παραμορφώσεων και θερμοκρασιών.

A. Αλλαγές στην κρυσταλλική δομή του επιφανειακού στρώματος.

Για μεταβολές φάσεων και της κρυσταλλοδομής του κατεργαζόμενου μετάλλου απαιτούνται αρκετά -υψηλές θερμοκρασίες, υπό τις οποίες το υλικό θα πρέπει να

παραμένει επί αρκετό χρονικό διάστημα. Στην πράξη συναντώνται θερμοκρασίες και άνω των 1000° Ο στο επιφανειακό στρώμα, ιδιαίτερα κατά την κοπή μετάλλων ή κραμάτων με υψηλό σημείο τήξεως. Αυτό σημαίνει ότι θερμοκρασίες αυτής της τάξεως μπορούν να προξενήσουν αλλαγές φάσεων και κρυσταλλικής δομής. Όμως, ο χρόνος κατά τον οποίο ένα μέρος του μετάλλου δέχεται την υψηλή θερμοκρασία, είναι πολύ βραχύς στην κοπή με συνήθεις ταχύτητες της πράξεως, για να λάβουν χώρα τέτοιες αλλαγές και για το λόγο αυτό θα πρέπει να αναμένονται σε λίαν περιορισμένη κλίμακα. Κατά την κοπή χαλύβων εμφανίζεται συνήθως, εφόσον είναι εφικτός ο σχηματισμός της από το είδος του θεωρούμενου χάλυβα, περλιτική - μαρτενσιτική δομή, δηλαδή βαφή ή επαναφορά. Οι αλλαγές αυτές στη δομή της επιφανειακής στιβάδας είναι ανεπιθύμητες και θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα αποφυγής τους με κατάλληλη επιλογή παραγόντων κοπής, ώστε να μειώνεται καταλλήλως η θερμοκρασία κοπής. Το φαινόμενο της κρατύνσεως της επιφανειακής στιβάδας (ως αποτέλεσμα πλαστικής παραμορφώσεως) είναι πιο έντονο, όσο πιο όλκιμο είναι το κατεργαζόμενο υλικό, όπως είναι ο μαλακός χάλυβας. Ο βαθμός κρατύνσεως μειώνεται όσο πιο βαθύτερα προχωρούμε στην επιφανειακή στιβάδα.

B. Παραμένουσες τάσεις.

Δεν θα πρέπει να αποδίδονται μόνο στην τελευταία κατεργασία, αλλά και σε προηγούμενες, αν έχουν προφανώς λάβει χώρα.

Γενικά, οι μεγαλύτερου μεγέθους παραμένουσες τάσεις είναι εκείνες προς τη διεύθυνση της πρωτεύουσας κινήσεως ή τη; κύριας συνιστούσας της δυνάμεως κοπής.

Οι παραμένουσες τάσεις ως αποτέλεσμα κατεργασίας οφείλονται σε:

μόνιμες στρεβλώσεις λόγω πλαστικής διατμήσεως.

μεταβολές όγκου στην κρυσταλλική δομή εξαιτίας αλλαγών φάσεως και διαφορές τοπικών θερμοκρασιών.

Κρυσταλλικές αλλαγές, που συνδέονται με αύξηση του ανηγμένου όγκου του μετάλλου. δημιουργούν θλιπτική ένταση στην επιφανειακή στιβάδα, ενώ εκείνες που σχετίζονται με μείωση του ανηγμένου όγκου προξενούν εφελκυστική εντατική κατάσταση.

Παράγοντες κοπής, που επηρεάζουν τις παραμένουσες τάσεις είναι:

- το θεωρητικό πάχος του αποβλήτου.
- η πρόωση, η γωνία αποβλήτου,
- η ακτίνα καμπυλότητας του κοπτικού εργαλείου και
- η ταχύτητα κοπής.

Η γωνία αποβλήτου του εργαλείου ασκεί έντονη επιρροή στην ανάπτυξη παραμενουσών τάσεων έτσι, ώστε μείωση της (ιδιαίτερα αρνητικές τιμές της) να συμβάλλει στην ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων στην επιφανειακή στιβάδα.

2.6. Η κατεργασιμότητα των μετάλλων.

2.6.1. Εισαγωγική θεώρηση.

Η *κατεργαστικότητα* είναι μία τεχνολογική ιδιότητα (ανάμεσα σε άλλες, όπως η διαμορφωσιμότητα, η χυτευτότητα, η συγκολλητότητα, κ.λπ.) των μετάλλων. Με τον όρο "κατεργαστικότητα" εννοούμε τη σχετική ευκολία (ή δυσκολία) κατεργασίας ενός δεδομένου μετάλλου με κοπή. Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι ένα μέταλλο έχει καλή κατεργαστικότητα, όταν κατά την κατεργασία ο ρυθμός φθοράς του κοπτικού εργαλείου είναι χαμηλός (άρα η ζωή του θα είναι μακρά), οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις (και η ισχύς κοπής) είναι χαμηλές, η τραχύτητα των κατεργασμένων επιφανειών είναι ικανοποιητική (συγκριτικά προς τα εκάστοτε τιθέμενα πρότυπα) και η ακρίβεια διαστάσεων και μορφής ευρίσκονται μέσα στα προδιαγραφόμενα όρια¹ προσέτι, ο ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου είναι υψηλός, το κόστος της μονάδος παραγωγής είναι χαμηλό, το απόβλητο σχηματίζεται ευνοϊκά και μάλιστα τεμαχισμένο, ώστε να μην εμποδίζει γενικά και να μην προξενεί βλάβες στο κομμάτι και στην εργαλειομηχανή και ακόμη να απομακρύνεται εύκολα από τη θέση κοπής, κ.ά.

Προφανώς, τα αντίθετα θα συμβαίνουν στις περιπτώσεις κατεργασιών, όπου θεωρούμε ότι η κατεργαστικότητα είναι χαμηλή (και πολλές φορές απαράδεκτη). Από όσα έχουμε μέχρι εδώ αναφέρει, διαπιστώνουμε ότι η κατεργαστικότητα P ίνα i μία *περίπλοκη έννοια* (στην πράξη τον όρο αυτό τον συναντούμε συχνά και σπάνια τον κατανοούμε πλήρως) και το σπουδαιότερο, ότι θεωρείται απαραίτητο η

κατεργαστικότητα να αναφέρεται σε κάποιο τιθέμενο εκ των προτέρων κριτήριο (Πίνακας 2.4), *αναγκαίοι, δηλαδή, η θέσπιση κριτηρίων κατεργαστικότητας*. Έτσι, η έννοια της κατεργαστικότητας από γενικευμένη που είναι, γίνεται πιο συγκεκριμένη κατά περίπτωση κατεργασίας.

Οι παράμετροι, που έχουμε προαναφέρει (είναι δυνατό και κάθε μία από αυτά να αποτελέσει και κριτήριο κατεργαστικότητας) είναι πολλές και επί πλέον εξαρτώνται, όπως μας είναι γνωστό, από μεγάλο αριθμό παραγόντων και χαρακτηριστικών της κοπής. Συνεπώς, δεν θα πρέπει να μας εκπλήσσει το γεγονός ότι, με τα σημερινά θεωρητικά και πειραματικά δεδομένα, *είναι αδύνατο να προσδιορισθεί ποσοτικά η κατεργαστικότητα* των μετάλλων. Δηλαδή, σε κάθε μέταλλο ή κράμα να δοθεί ένας ποσοτικός (αριθμητικός) δείκτης κατεργαστικότητας, ο οποίος να έχει γενική ισχύ. Να υπάρξει, δηλαδή, ποσοτικά πλέον μία απόλυτη κατάταξη των υλικών κατά τάξη αυξανόμενου ή ελαττούμενου δείκτη (ή βαθμού) κατεργαστικότητας, η οποία να ικανοποιεί όλα τα συναφή κριτήρια. Και τούτο, πέραν των άλλων, γιατί ορισμένα από τα κριτήρια αυτά είναι αντιφατικά; Σε όλκιμα λ.χ. μέταλλα μακρό συνεχές απόβλητο σε συνήθεις ταχύτητες κοπής χαρακτηρίζει ευνοϊκή κοπή. Το είδος όμως αυτό αποβλήτου δυσχεραίνει την κατεργασία, γιατί δύσκολα απομακρύνεται από τη θέση κοπής και εγκυμονεί κινδύνους τραυματισμού του τεμαχίου, μερών της εργαλειομηχανής ή του τεχνίτη- με το ένα, συνεπώς, κριτήριο το απόβλητο αποδεικνύεται ευνοϊκό (καλός δείκτης κατεργαστικότητας), ενώ με το άλλο προκύπτει δυσμενές (κακός δείκτης κατεργαστικότητας).

Τεράστιες προσπάθειες έχουν κατά καιρούς καταβληθεί με σκοπό τον καθορισμό ενός απλού γενικού δείκτη κατεργαστικότητας των μετάλλων, χωρίς μέχρι σήμερα να έχει επιτευχθεί η καθιέρωση ενός τέτοιου δείκτη και αντιστοίχου μονάδος μετρήσεως κατεργαστικότητας.

Σήμερα, ο ευρύτερα αποδεκτός **δείκτης κατεργαστικότητας** των μετάλλων είναι η ταχύτητα κοπής για καθορισμένη ζωή T' του κοπτικού εργαλείου, εκφρασμένη σε χρονικές μονάδες (min), η οποία συμβολίζεται ως uT' . Ως κριτήριο αστοχίας του εργαλείου επιλέγεται συνήθως η στόμωσή του. Το T' λαμβάνει την τιμή 60 min (εργαλεία από ταχυχάλυβα) ή πολλαπλάσια της: 120 min, 240 min ή 480 min. Οι τελευταίες τιμές προορίζονται ως δείκτες κατεργαστικότητας, όπου χρησιμοποιούμε

σκληρομέταλλα ή κεραμευτικά πυριμάχων οξειδίων ως εργαλεία. Οι αντίστοιχοι δείκτες κατεργαστικότητας θα συμβολίζονται ω; u60, u120, u240 ή u480.

Προχωρώντας, μπορούμε να ορίσομε *δείκτες σχετικής κατεργαστικότητας* (και αυτό έχει σε μεγάλη έκταση εφαρμοσθεί, Πίνακας 2.4), αν συσχετίσαμε (συγκρίναμε) την ταχύτητα u_T , του θεωρούμενου μετάλλου με την ταχύτητα κοπής u_T ενός *μετάλλου αναφοράς*, κάτω όμως από τους αυτούς παράγοντες, κοπής. Ούτω, προκύπτουν οι ακόλουθοι δείκτες:

- Απλός δείκτης σχετικής κατεργαστικότητας:

$$Z = u_T / u_T^* \text{ και για } T' = 60 \text{ min, } Z = u_{60} / u_{60}^*$$

- Δείκτης εκατοστιαίας σχετικής κατεργαστικότητας:

$$\text{και για } T' = 60 \text{ min, } Z_{100} = u_{60} / u_{60}^* \times 100 [\%]$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4. Παράγοντες κοπής, ιδιότητες και χαρακτηριστικά υλικών, που επηρεάζουν την κατεργαστικότητα. Κριτήρια κατεργαστικότητας.

Ομάδα Α Παράγοντες κοπής	Ομάδα Β: Ιδιότητες και χαρακτηριστικά	Ομάδα Γ: Κριτήρια κατεργαστικότητας
–Ταχύτητα κοπής –θεωρητική διατομή αποβλήτου (πρόωση, βάθος κοπής) –Γεωμετρική μορφή εργαλείου –Υλικό εργαλείου –Υγρό κοπής • –Στιβαρότητα εργαλειομηχανής' • Συνεχής ή διακόπτομενη κατεργασία	–Σκληρότητα –Μέγιστη αντοχή –Χημική σύνθεση –Κρυσταλλοδομή –Ικανότητα εργοκρατύσεως –Μορφή και διαστάσεις; τεμαχίου	–Ζωή εργαλείου ² –Ποιότητα κατεργασμένης επιφάνειας (τραχύτητα και λοιπά χαρακτηριστικά) ³ –Δυνάμεις, ισχύς ή ενέργεια κοπής ⁴ –Ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου (ή ρυθμός παραγωγής) –θερμοκρασιακό πεδίο στο εργαλείο, στο απόβλητο ή στο τεμάχιο ή αντίστοιχες μέσες θερμοκρασίες –Συντελεστής συμπίεσεως αποβλήτου % Ευκολία απομακρύνσεως αποβλήτων –Ανηγμένο κόστος (ανά μονάδα παραγωγής ή ανά μο-

		νάδα όγκου αφαιρουμένου υλικού)
--	--	---------------------------------

1. Ικανοποιητική δυναμική συμπεριφορά του συστήματος (Κ-ΕΜ-Τμ-Ε).
- 2, 3, 4. Τα κριτήρια αυτά κατεργαστικότητα, συνδεόμενα αμέσως με το κόστος κατεργασίας και εκφραζόμενα αριθμητικώς ως μεγέθη, έχουν καταστεί τα δεσπόζοντα κριτήρια στη μηχανουργική πράξη .

Αν, λ.χ., ένα μέταλλο έχει εκατοστιαία σχετική κατεργαστικότητα 50%, αυτό σημαίνει ότι θα μπορεί το μέταλλο αυτό να κατευνασθεί χονδρικά με τη-μισή ταχύτητα κοπής από εκείνη του μετάλλου αναφοράς για την ίδια τιμή ζωής του εργαλείου. Δεν θα πρέπει όμως να μας διαφεύγει το γεγονός, ότι και οι λοιποί παράγοντες κοπής για τους οποίους έχει γίνει η κατάταξη των μετάλλων κατά σειρά εκατοστιαίας σχετικής κατεργαστικότητας, θα παραμένουν οι αυτοί.

Σύμφωνα με τους ορισμούς που δώσαμε, όσο υψηλότερος είναι ο δείκτης κατεργαστικότητας u_T ή ο απλός και εκατοστιαίος δείκτης σχετικής κατεργαστικότητας (Z ή Z_{100} αντίστοιχα), τόσο πιο αποδοτικά κατεργάζεται το υλικό αυτό, με θεώρηση μόνο της ζωής του εργαλείου.

Συγκεκριμενοποιώντας όσα μέχρι τώρα έχουμε συζητήσει αναφορικά με την έννοια, τον ορισμό και τους παράγοντες που επηρεάζουν ότι ονομάσαμε κατεργαστικότητα μετάλλου, επιφέραμε τις ακόλουθες συμπληρώσεις:

α) Ο δείκτης (βαθμός) κατεργαστικότητας ενός δεδομένου μετάλλου εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες κοπής (Πίνακας 2.4, ομάδα Α).

β) Για δεδομένους τώρα παράγοντες κοπής, ο δείκτης κατεργαστικότητας επηρεάζεται από ορισμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά του κατεργαζόμενου μετάλλου (Πίνακας 2.4 ομάδα Β) και

γ) περαιτέρω, τα ποικίλα κριτήρια κατεργαστικότητας, που θα πρέπει να ισχύουν, εξαρτώνται από τις απαιτήσεις ακρίβειας κατασκευής και βαθμού τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών του τεμαχίου, που πρόκειται να μορφοποιήσουμε με κατεργασίες κοπής, όπως επίσης και από οικονομικούς παράγοντες. Εφαρμόσιμα

κριτήρια κατεργαστικότητας παραθέταμε στην ομάδα Γ του Πίνακα 2.4.

Τα πρώτα τρία κριτήρια κατεργαστικότητας, που αναφέρονται στον Πίνακα αυτό, δηλαδή η ζωή του εργαλείου, η ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας και οι δυνάμεις ή η ισχύς ή η ενέργεια κοπής συνδέονται αμέσως με το κόστος κατεργασίας¹ από τη μία μεριά και υπάρχει η δυνατότητα να εκφραστούν ποσοτικός (αριθμητικώς) από την άλλη.

Για τους λόγους αυτούς έχουν καταστεί τα κύρια (επικρατούντα) κριτήρια κατεργαστικότητας στη μηχανουργική πράξη.

Το καθένα από τα κριτήρια αυτά ισχύει κάτω από ορισμένες συνθήκες.

1. Η ζωή του εργαλείου, προφανώς, αποτελεί δείκτη κατεργαστικότητας, που ελέγχει το κόστος κατεργασίας. Και οι δυνάμεις κοπής όμως, όταν είναι υψηλές και η ισχύς μεγάλη, τότε αναγκαίοι η χρησιμοποίηση ισχυρότερης εργαλειομηχανής, κάτι που αυξάνει τα γενικά έξοδα και τις αποσβέσεις. Επί πλέον, αν τίθενται προδιαγραφές τραχύτητας και δεν καλύπτονται από την κατεργασία, στην περίπτωση αυτή ένας αριθμός τεμαχίων απορρίπτεται από τον ποιοτικό έλεγχο ως σκάρτα, πράγμα που επηρεάζει και αυτό δυσμενώς το κόστος της κατεργασίας. Επί παραδείγματι σε μία κατεργασία εκχονδρίσεως δεν ενδιαφέρει το **κριτήριο της τραχύτητας** επιφάνειας, ενώ το ίδιο κριτήριο είναι σημαντικό για κατεργασίες αποπερατώσεως, όπου προδιαγράφεται συνήθως ένα ανώτερο όριο έλεγχου για την τραχύτητα.

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να τονίσουμε, ότι οποιαδήποτε κατάταξη μετάλλων κατά σειρά δείκτη (ή βαθμού) κατεργαστικότητας με δάση κάποιο επιλεγμένο κριτήριο εξαρτάται και από άλλους παράγοντες κοπής (πρόωση, γωνία αποβλήτου, βάθος κοπής, κ.ά.). Αυτό σημαίνει ότι κάθε τέτοια κατάταξη ισχύει για τις συνθήκες, κάτω από τις οποίες έλαβε χώρα η οικεία ταξινόμηση. Αν τώρα για την κατά σειρά δείκτη κατεργαστικότητας κατάταξη των ίδιων υλικών εφαρμόζονταν άλλες τιμές κρίσιμων παραγόντων κοπής τότε, χωρίς αμφιβολία, η σειρά κατατάξεως θα ανατρεπόταν. Άρα δεν είναι δυνατόν μία ταξινόμηση υλικών αυτού του είδους, κάτω από καθορισμένες συνθήκες, να ισχύει για οποιαδήποτε κατεργασία και οποιοσδήποτε συνθήκες εκτελέσεως της.

Παρόλα ταύτα, έχουν γίνει πειράματα κάτω από προτυποποιημένες συνθήκες και βάσει

αυτών έχουν καταρτισθεί πίνακες, όπου συνιστώνται τιμές για το δείκτη κατεργαστικότητας u_T για ορισμένα υλικά και κατεργασίες¹, όπως και τιμές για το δείκτη εκατοστιαίας σχετικής κατεργαστικότητας Z_{100} σειράς μηχανουργικών υλικών.

Ένας γενικός κανόνας, που αποδεικνύεται από ανάλυση εμπειρικών σχέσεων σχετικών με την ζωή του κοπτικού εργαλείου, μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: *Ο συνδυασμός μεγάλου βάθους κοπής και προώσεως με χαμηλή ταχύτητα κοπής έχουν ως αποτέλεσμα αφαίρεση μεγάλου ποσού μετάλλου στη διάρκεια δεδομένης ζωής τον κοπτικού εργαλείου.*

2.6.2. Κατεργασιμότητα κυρίων μηχανουργικών μετάλλων και κραμάτων.

A. Αργίλιο και κράματα του.

Παρουσιάζουν υψηλό δείκτη κατεργασσιμότητας σχεδόν ως προς όλα τα τιθέμενα κριτήρια. Το αργίλιο έχει χαμηλό σημείο τήξεως (659°C), όπως και τα κράματα του. Επιτυγχάνεται ικανοποιητική ζωή του εργαλείου κατά την κοπή κραμάτων του αργιλίου, μέχρι ταχύτητα κοπής 600 m/min περίπου για σκληρομέταλλο και 300 m/min για ταχυχάλυβα. Εμφανίζεται, συνήθως, ζώνη φθοράς στα εργαλεία. Σημαντική φθορά συναντούμε στην κοπή χυτών κραμάτων του αργιλίου - πυριτίου με περιεκτικότητα (17-23)% Si, υψηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί στην ευτηκτική αναλογία του κράματος, λόγω σχηματισμού κρυσταλλινών μεγάλου μεγέθους, που επιταχύνουν τη φθορά και σκληρό μετάλλων ακόμη.

Οι δυνάμεις κοπής είναι χαμηλές για τα κράματα του αργιλίου με μικρή τάση μείωσης στις υψηλές ταχύτητες κοπής, ενώ εμφανίζονται αυξημένες στην κοπή καθαρού αργιλίου του εμπορίου, ιδιαίτερα στην περιοχή χαμηλών ταχυτήτων κοπής. Εδώ παρατηρούμε συμπεριφορά του αργιλίου παρόμοια με εκείνη άλλων καθαρών μετάλλων, πλην του μαγνησίου. Η επιφάνεια επαφής αποβλήτου - εργαλείου παρουσιάζεται αρκετά αυξημένη, με τα γνωστά αποτελέσματα (μείωση της γωνίας διαμήσεως και αύξηση στο δείκτη συμπίεσεως). Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι τα κράματα του αργιλίου ('χυτευτά ή σφυρήλατα) κατεργάζονται ευκολότερα από το καθαρό αργίλιο παρόλο ότι αυτό έχει σημαντικός χαμηλότερο όριο διαρροής.

Κατά την κατεργασία καθαρού αργιλίου δεν σχηματίζεται ψευδόκοψη. Η τραχύτητα επιφάνειας δεν είναι καλή, εκτός από κοπή σε λίαν υψηλές ταχύτητες κοπής. Στα

περισσότερα κράματα του αργιλίου (περιέχουν περισσότερες από μία φάση) σχηματίζεται ψευδόκοψη σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, ενώ σε υψηλότερες (60-90 m/min) αυτή περιορίζεται ή και εξαφανίζεται.

Σημαντικό πρόβλημα κατεργαστικότητας τόσο του αργιλίου, όσο και ορισμένων κραμάτων του είναι το μεγάλο μήκος σχηματιζόμενο συνεχές, χονδρό και δύσκολα θραυόμενο απόβλητο. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται ειδική σχεδίαση των εργαλείων ή χρησιμοποίηση γρεζοθραυστών κατάλληλης μορφής. Μπορεί όμως να διευκολυνθεί ο έλεγχος του αποβλήτου με την παρασκευή κραμάτων αργιλίου ελευθέρας «οπής με προσθήκη μολύβδου, μολύβδου και βισμούθιου ή ψευδαργύρου και αντιμονίου σε περιεκτικότητες μέχρι 0,50%. Τα προσθέματα αυτά δεν σχηματίζουν στερεό διάλυμα με το αργίλιο, λόγω του χαμηλού τους σημείου τήξεως και ευρίσκονται στον κρυσταλλικό ιστό του κράματος ως διασκορπισμένα μικροσκοπικά σφαιρίδια.

Ο εξάιρετος δείκτης κατεργαστικότητας των εν γένει κραμάτων αργιλίου τα καθιστά ιδανικά υλικά για κατεργασίες, σε αυτόματα μηχανήματα με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας, μακρά ζωή του εργαλείου και υψηλή παραγωγικότητα.

1. Πειραματικά δεδομένα κατεργαστικότητας υπάρχουν στη βιβλιογραφία, κυρίως για διαμήκη τόννευση. Είναι δυνατό όμως αυτού του είδους δεδομένα να χρησιμοποιηθούν και για άλλες παρεμφερείς κατεργασίες, αφού εφαρμοσθούν κατάλληλοι διορθωτικοί συντελεστές προσδιοριζόμενοι σε κάθε περίπτωση, προφανώς πειραματικώς, με πολλή προσοχή.

B. Χαλκός και κράματα του χαλκού.

Ο χαλκός είναι πολύ όλκιμο μέταλλο με σημείο τήξεως 1083°C. Τα κράματα του χαλκού έχουν καλή κατεργαστικότητα. Χρησιμοποιούνται εργαλεία από ταχυχάλυβα και από σκληρομέταλλο. Εμφανίζεται στα εργαλεία ζώνη φθοράς και / ή φθορά κρατήρα. Οι ορείχαλκοι χρησιμοποιούνται στη μαζική παραγωγή ηλεκτρικών μικροεξαρτημάτων σε αυτόματα μηχανήματα.

Οι δυνάμεις κοπής παρουσιάζονται αρκετά αυξημένες για τον καθαρό χαλκό σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, όπως συμβαίνει και με το αργίλιο. Η επιφάνεια επαφής αποβλήτου - εργαλείου είναι εκτεταμένη με τα δυσμενή της επακόλουθα. Έτσι, ο υψηλής αγωγιμότητας χαλκός θεωρείται ως ένα από τα μέταλλα, που κατεργάζονται,

δυσκολότερα. Η τραχύτητα επιφάνειας είναι κακή και δύσκολος ο έλεγχος του αποβλήτου (συνεχές σπειροειδές απόβλητο). Η κατεργαστικότητα του χαλκού βελτιώνεται κάπως μετά από διαμόρφωση εν ψυχρώ και σημαντικά με κραματοποίηση (ορείχαλκοι, κρατερωματα). Οι ορείχαλκοι με υψηλή περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο παρουσιάζουν υψηλό δείκτη κατεργαστικότητας. Με προσθήκη 2—3% (κατά βάρος) μολύβδου παρασκευάζεται οι ορείχαλκοι ελευθέρας κοπής με επί πλέον βελτιωμένο δείκτη κατεργαστικότητας.

Τα διμερή κράματα του χαλκού (α-β ορείχαλκοι, ορείχαλκοι ελευθέρας κοπής) σχηματίζουν ψευδόκοψη στις χαμηλές ταχύτητες κοπής, η οποία περιορίζεται σε ταχύτητες κοπής ανώτερες των 30 m/min.

Γ. Σίδηρος και χάλυβες.

Έχουν, ως γνωστό, υψηλό σημείο τήξεως. Έτσι, κατά την κατεργασία τόσο του σιδήρου, όσο και των διαφόρων χαλύβων, αλλά και άλλων μετάλλων και κραμάτων με υψηλό σημείο τήξεως, εκλύεται σημαντικό ποσό θερμότητας, με συνέπεια την ανάπτυξη υψηλοί n θερμοκρασιών, οι οποίες συνιστούν δεσπύζοντα παράγοντα, που επιβάλλει περιορισμούς στο ρυθμό αφαιρέσεως μετάλλου, στη συμπεριφορά του εργαλείου και που τελικά επηρεάζει το κόστος κατεργασίας.

1. Σίδηρος.

Ο σίδηρος του εμπορίου (δεν είναι και τόσο καθαρός και μπορεί να θεωρηθεί ως μαλακός χάλυβας) παρουσιάζει (όπως εξάλλου το αργίλιο και ο χαλκός) χαμηλό δείκτη κατεργαστικότητας. Τόσο ως α-Fe, όσο και ως γ-Fe έχει χαμηλό σχετικά όριο διαρροής, αλλά υψηλό βαθμό ολκιμότητας.

Οι δυνάμεις κοπής είναι μεγάλες στην περιοχή χαμηλών ταχυτήτων κοπής, οι οποίες όμως μειώνονται με ταχύ ρυθμό, καθώς οι τελευταίες αυξάνονται. Η συμπεριφορά τους αυτή σχετίζεται με το μεγάλο μέγεθος της επιφάνειας επαφής αποβλήτου - εργαλείου.

Κατά την κοπή σιδήρου δεν σχηματίζεται ψευδόκοψη (αναφέρονται όμως στη βιβλιογραφία και περιπτώσεις σχηματισμού ψευδόκοψης προφανώς σε σίδηρο με ελαφρά πρόσμιξη άνθρακα, όπως έχομε προαναφέρει), πλην όμως παρατηρείται πολύ λεπτή ζώνη πλαστικής ροής του αποβλήτου.

2. Χάλυβες.

α) Ανθρακούχοι και κεκραμένοι χάλυβες.

Το είδος του χάλυβα (μηχανικές ιδιότητες και κρύσταλλο δομή) επηρεάζει τις αναπτυσσόμενες κατά την κοπή δυνάμεις και θερμοκρασίες. Παρόλο ότι, οι χάλυβες έχουν υψηλότερη μηχανική αντοχή (όριο διαρροής, μέγιστη αντοχή) και κατά συνέπεια αναγκαίοι η ανάπτυξη υψηλότερων τάσεων στη ζώνη διατμήσεως, για να λάβει χώρα κοπή συγκριτικά με ότι συμβαίνει στο σίδηρο, εν τούτοις τελικά οι δυνάμεις κοπής είναι χαμηλότερες στην κοπή χαλύβων, το απόβλητο πιο λεπτό (μικρότερος δείκτης συμπίεσεως του αποβλήτου) και η γωνία διατμήσεως μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην εμφανιζόμενη εν γένει πολύ μικρότερη (περιορισμένη) επιφάνεια επαφής; αποβλήτου - εργαλείου κατά την κατεργασία χαλύβων.

Η μεγάλη σκληρότητα χαλύβων (συνήθως ύστερα από θερμικές κατεργασίες) επιβάλλει υψηλές ορθές τάσεις στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, με αποτέλεσμα πολλές φορές τη δημιουργία απαράδεκτων παραμορφώσεων στο αποκόπτον τμήμα του εργαλείου. Ενδεικτικά αναφέρουμε, ότι η κατεργασία χαλύβων με σκληρότητα ανωτέρα των 300 VHN καθίσταται δύσκολη για εργαλεία από ταχυχάλυβα, ακόμη και σε χαμηλές σχετικά ταχύτητες κοπής, όπου δεν παρατηρείται αστοχία του εργαλείου από πλαστική παραμόρφωση.

Με εργαλεία από σκληρομέταλλο είναι δυνατή η κατεργασία χαλύβων με υψηλότερη σκληρότητα (μέχρι 500 VHN περίπου). Όμως για σκληρότητα, που υπερβαίνει τα 500 VHN, η ζωή του εργαλείου βραχύνεται απαράδεκτα, ακόμη και για λίαν χαμηλές ταχύτητες κοπής. Προτιμώνται οι πλήρως ανοπτημένοι- χάλυβες ή εκείνοι, που έχουν υποστεί ανόπτηση σφαιροποίησης του σεμεντίτη (650°C - 700°C για ανθρακούχους χάλυβες).

Αύξηση του άνθρακα και των προσθηκών στους χάλυβες επιταχύνουν τη φθορά τόσο των εργαλείων από ταχυχάλυβα, όσο και των σκληρομετάλλων, προξενούμενη κυρίως από τη δράση μηχανισμών φθοράς που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία.

Στην περιοχή χαμηλών ταχυτήτων κοπής και σε χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη από 0,08% (υπάρχει φάση περλίτη στον χάλυβα) σχηματίζεται ψευδόκοψη, που ασκεί αξιόλογη επίδραση, όπως γνωρίζουμε, στην εν γένει κατεργαστικότητα των χαλύβων.

Ορισμένες προσθήκες σε μικρή περιεκτικότητα, όταν προστεθούν στο φερρίτη (στερεό διάλυμα) βελτιώνουν την κατεργαστικότητα του χάλυβα μέσω πτώσεως της ολκιμότητας του. Εν τούτοις, η τάση για πιο έντονη κράτυνση μεγαλώνει στις περιπτώσεις αυτές και γενικά η προσθήκη στοιχείου (ή στοιχείων) κραματώσεως χειροτερεύει τη φθορά του εργαλείου

Ιδιαίτερα, για τους ανθρακούχους χάλυβες έχουμε να προσθέσουμε τα εξής:

Οι με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα ανθρακούχοι χάλυβες εμφανίζουν χαμηλό βαθμό κατεργαστικότητας, γιατί είναι τόσο όλκιμοι που ο μόνος τρόπος περιορισμού (ή και αποφυγής) του σχηματισμού συγκολλητών μικροδεσμών (κύρια αιτία δημιουργίας ψευδόκοψης) είναι η διατήρηση της ταχύτητας κοπής σε υψηλά επίπεδα. Οι με μέση ή υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα χάλυβες διαφέρουν, προφανώς, σημαντικά στην κρυσταλλοδομή τους. Άρα και στη συμπεριφορά τους κατά την κοπή. Όπως γνωρίζουμε, το ποσό του περλίτη, που υπάρχει σε ένα ανθρακούχο χάλυβα αυξάνεται με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα και φθάνει στο 100% (κρυσταλλοδομή μόνο περλίτη) στην ευτηκτοειδή αναλογία (~0,9%C). Όμως όσο αυξάνεται η σκληρότητα του χάλυβα (εδώ με την αύξηση του ποσοστού του περλίτη), τόσο περιορίζεται και η τάση για δημιουργία συγκολλητών μικροδεσμών. Άρα, μπορούμε να διατυπώσουμε την άποψη, ότι υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα βελτιώνει το βαθμό κατεργαστικότητας του άνθρακα (βεβαίως, βάσει τον κριτηρίου ψευδόκοψης), από την άλλη όμως μεριά όσο μεγαλώνει η σκληρότητα του χάλυβα, τόσο επιταχύνεται ο ρυθμός φθοράς του εργαλείου. Υπάρχουν εισηγήσεις στη βιβλιογραφία, ότι περιεκτικότητα σε άνθρακα της τάξεως του 0-25 % μας δίνει γενικά ένα βέλτιστο δείκτη κατεργαστικότητας. Ανθρακούχοι χάλυβες με περιεκτικότητα (0,5-0,9)%C παρουσιάζουν χειροτέρευση στην κατεργαστικότητά τους. Μπορεί- να βελτιωθεί η κατεργαστικότητα ανθρακούχων χαλύβων με περιεκτικότητα σε άνθρακα υψηλότερη του 0,9% (περλίτης + σεμεντίτης) με επαναφορά σφαιροποίησης του σεμεντίτη, όπως και έχουμε προαναφέρει.

β) Χάλυβες ελευθέρας κοπής.

Με τη χρησιμοποίηση των χαλύβων αυτών επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ποσοτική δυναμικότητα των κατεργασιών και μακρότερη ζωή του εργαλείου, σημαντικά δηλαδή, κίνητρα στη μηχανουργική οικονομία.

Είναι ανθρακούχοι χάλυβες (με κατά προσέγγιση από 0,15 έως 0,45 %C), που περιέχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε θείο (από 0,12% έως και 0,6%) και

επιπροσθέτως μόλυβδο, μερικές σε φορές και τελλούριο· ακόμη, η περιεκτικότητα του χάλυβα σε μαγγάνιο (Mn) πρέπει, να είναι αρκετά υψηλότερη (μέχρι 1,3% περίπου) από τη φυσιολογική των χαλύβων. Η παρουσία επαρκούς μαγγανίου διευκολύνει το σχηματισμό θειούχου μαγγανίου (MnS), το οποίο παίζει τον κύριο ρόλο στη συμπεριφορά των χαλύβων αυτών κατά την κοπή. Δεν ενδιαφέρει μόνο η ποσότητα του MnS, αλλά και η κατανομή του στη μάζα του χάλυβα. Η χημική αυτή ένωση έχει χαμηλό όριο διαρροής σε διάτμηση και μπορεί κανείς να αντιστοιχίσει τη δράση της κατά την κοπή με εκείνη των προσθέτων υψηλής πίεσεως στα υγρά κοπής.

Οι χάλυβες ελευθέρως κοπής χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη μαζική παραγωγή σε αυτόματες ή ημιαυτόματες εργαλειομηχανές (π.χ. σε τόνους) για τους ακόλουθους λόγους:

- Η χρησιμοποίησή τους επιφέρει υψηλότερες ταχύτητες κοπής.
- Η ζωή του εργαλείου προκύπτει μακρύτερη.
- Η τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας βελτιώνεται.
- Οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής και η ανηγμένη ισχύς κοπής είναι μικρότερες.
- Σχηματίζεται απόβλητο, που ελέγχεται εύκολα (αυτό θεωρείται ως το πιο αξιόλογο πλεονέκτημα τους) και
- παρέχουν εν γένει μεγαλύτερη αξιοπιστία από ότι οι συνήθεις αντίστοιχοι χάλυβες.

Εξαιτίας του σχηματιζόμενου MnS, το οποίο πλαστικοποιημένο επικάθεται στη διεπιφάνεια αποβλήτου εργαλείου υπό μορφή μικροσκοπικών ταινιών, παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση στη ζώνη επαφής με τα ευνοϊκά της αποτελέσματα.

Το MnS, σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, μπορεί να περιορίσει ή και να αποτρέψει το σχηματισμό ψευδόκοψης. Σε υψηλές ταχύτητες φαίνεται ότι παίζει το ρόλο λιπαντικού στρώματος.

γ) Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.

Οι χάλυβες αυτοί έχουν σημαντικά μικρότερο δείκτη κατεργαστικότητας σε σχέση με τους ανθρακούχους και τους ελαφρά κεκραμένους χάλυβες. Προσκολλώνται ισχυρά στο εργαλείο και πολλές φορές το απόβλητο παραμένει επικολλημένο στο εργαλείο και μετά την κοπή. Τούτο είναι δυνατό να δημιουργεί απολεπίσεις του εργαλείου, αν μάλιστα αυτό είναι σκληρομέταλλο, δηλαδή το θραυόμενο απόβλητο να παρασύρει μαζί του και τμηματίδια του υλικού του εργαλείου.

Για το λόγο αυτό, η ζωή του εργαλείου κατά την κοπή ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων παρουσιάζει μεγάλη διασπορά τιμών (κάτω από σταθερούς παράγοντες κοπής), άρα και μικρό σχετικά βαθμό αξιοπιστίας.

Σχηματίζει έντονα ψευδόκοψη, αλλά σε περιοχή ταχυτήτων κοπής χαμηλότερη εκείνης για ταχυχάλυβες, λ.χ. μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα. Η ψευδόκοψη προσεγγίζει μάλλον μία πλατιά (διευρυμένη) ζώνη πλαστικής ροής του αποβλήτου. Ενδεικτικά, για πρόωση $s = 0,25$ mm/στρ. (διαμήκης τórνευση) και για εργαλείο από ταχυχάλυβα, η επιτρεπόμενη ταχύτητα κοπής φθάνει τα 25 με 30 m/min.

Οι χάλυβες αυτοί κρατούνται ισχυρά. Το γεγονός αυτό εισάγει δυσκολίες στην κοπή τεμαχίων, που έχουν υποστεί προηγουμένως άλλη κατεργασία (πλαστική παραμόρφωση με τη συνοδή κράτυνση).

Χρησιμοποιούνται και ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες ελευθέρας κοπής με υψηλή σχετικά περιεκτικότητα σε θείο. Η χρησιμοποίησή τους όμως περιορίζεται, γιατί μεγάλο ποσό θειούχων εγκλείσματος μειώνει την αντοχή σε διάβρωση του χάλυβα κάτω από ορισμένες συνθήκες. Ενδείκνυται η χρησιμοποίηση σελινίου αντί του θείου.

δ. Χυτοσίδηροι.

Ο φαιός χυτοσίδηρος παρουσιάζει πολύ καλή κατεργαστικότητα. από απόψεως; όλων των κριτηρίων εξεταζόμενη: χαμηλός ρυθμός φθοράς του εργαλείου, υψηλή παραγωγικότητα της κατεργασίας και χαμηλές σχετικά δυνάμεις και ανηγμενη ισχύς κοπής. Ο περιεχόμενος υπό μορφή λεπιών ή οχραιορων γραφίτης μειώνει την εσωτερική τριβή και δρα ανασχετικά στο σχηματισμό ψευδόκοψης.

Κατάλληλα κατεργασμένες επιφάνειες χυτοσίδηροι τεμαχίων παρουσιάζουν αξιόλογη αντίσταση σε φθορά από τριβή (π.χ. ολισθητήρες εργαλειομηχανών).

Το απόβλητο σχηματίζεται ασυνεχές σε μικρά τεμάχια (ολίγων χιλιοστομέτρων), ακόμη και με χρησιμοποίηση λίαν υψηλών ταχυτήτων κοπής. Αυτό οφείλεται σε θραύση, με υψηλή συχνότητα, του αποβλήτου, που έχει την

απαρχή της (η θραύση) σε ασθενή λέπια (ή σφαίρες) γραφίτη.

Λόγω του μικρού μήκους των τεμαχίων του αποβλήτου και το μέγεθος της ζώνης επαφής θα είναι περιορισμένο.

Οι δυνάμεις κοπής είναι χαμηλές, γιατί ο εμπειριεχόμενος γραφίτης έχει πολύ χαμηλή μηχανική αντοχή.

Ο υψηλότερος ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου παρουσιάζεται στην κατεργασία χυτοσιδήρων χαμηλής μηχανικής αντοχής (κρυσταλλοδομή φερρίτη -περλίτη), οι οποίοι και εμφανίζουν την καλλίτερη κατεργαστικότητα. Οι εφαρμοζόμενες ταχύτητες κοπής είναι χαμηλότερες για περλιτικούς χυτοσιδήρους και περιορίζονται ακόμη περισσότερο, καθώς η σκληρότητα και η μηχανική αντοχή των χυτοσιδήρων μεγαλώνει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΚΟΠΗΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΚΟΠΗΣ:ΓΕΝΙΚΑ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ, ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ, ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥΣ.

3.1. Γενικά.

Την εργαλειομηχανή (ΕΜ) επεξεργασίας μετάλλου (είναι δυνατή και η επεξεργασία ορισμένων μη μεταλλικών υλικών) την ορίζουμε ως μία στατική μηχανή, που τροφοδοτείται με την αναγκαία για τη λειτουργία της ισχύ αυτοδύναμα (από ένα ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες), στην οποία η μορφοποίηση του μετάλλου (μέσα σε καθορισμένα όρια διαστατικής ακριβείας, ακριβείας μορφής και βαθμού τραχύτητας επιφανείας) πραγματοποιείται με κοπή, με διαμόρφωση ή με τη βοήθεια μη συμβατικών κατεργασιών ή και με συνδυασμούς τους. Όπως βλέπουμε, στις μηχανές που χρησιμοποιούνται για μορφοποίηση με τις λοιπές μεθόδους του DIN 8580 (Πίνακας 1.1) όπως είναι οι μηχανές χυτεύσεως ή συγκολλήσεως, δεν δίδουμε την ονομασία "εργαλειομηχανές".

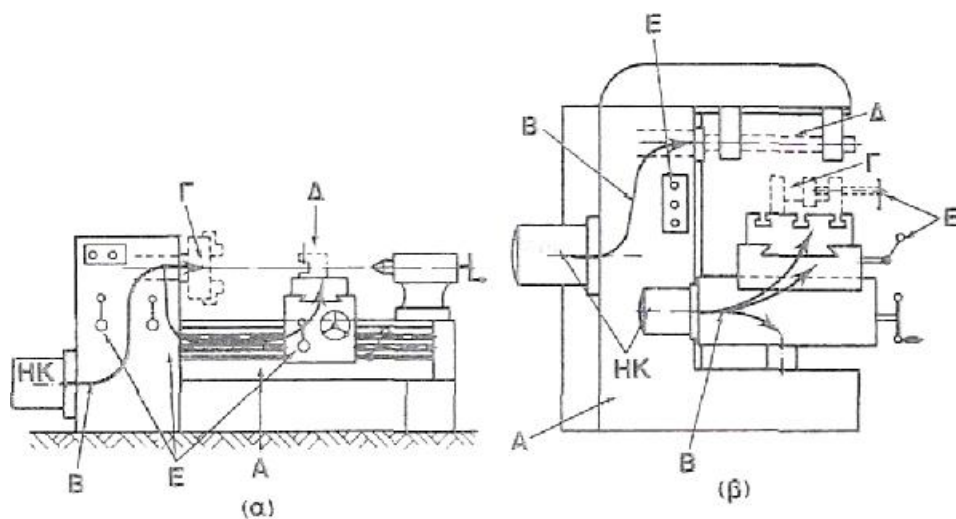
Οι εργαλειομηχανές αποτελούν το κύριο μέσο της μηχανουργικής παραγωγής και το κόστος κατασκευής τους αποτελεί ένα σημαντικό μερίδιο στη συνολική αξία κατασκευής μηχανημάτων εν γένει. Ενδεικτικά αναφέρομε ότι στην Γερμανία, που καταλαμβάνει μία από τις πρώτες θέσεις στον κόσμο στην κατασκευή εργαλειομηχανών, η αξία της παραγωγής EM υπολογίζεται στο 10% περίπου της αξίας του συνολικού όγκου παραγωγής μηχανών κάθε είδους με ισοποσοστιαία συμμετοχή εργατικού δυναμικού.

Πέρα από όσα συνοπτικώς αναφέραμε σχετικά με τις βασικές λειτουργίες μιας εργαλειομηχανής, καθώς και επιγραμματικώς με τα κύρια μέρη, από τα οποία αυτή συγκροτείται, συμπληρώνουμε με τα ακόλουθα στοιχεία:

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται σχηματικώς τα μέρη που αποτελούν ένα απλό διαμήκη τόρνο και μία οριζόντια φρεζομηχανή, καθώς και τη ροή της κινήσεως στις εργαλειομηχανές αυτές. Και ειδικότερα:

α) Τα δομικά στοιχεία της εργαλειομηχανής, δηλαδή το σώμα της (βάση, κλίνη, ορθοστάτης ή κορμός ή στήλη), την κεφαλή, την τράπεζα μαζί με τα συναφή λειτουργικά στοιχεία, δηλαδή τα διάφορα φορεία, τους απαραίτητους ολισθητήρες (ευθυντηρίες ή γλίστρες) στο σώμα της και στα φορεία ή στην τράπεζα, όπως επίσης και την κύρια άτρακτο (ή πιο απλά άτρακτο) με τα έδρανα της.

β) Τα στοιχεία μεταδόσεως κινήσεως. Είναι μηχανισμοί, που πραγματοποιούν την πρωτεύουσα κίνηση και την κίνηση προώσεως της εργαλειομηχανής (όπως είναι το κιβώτιο ταχυτήτων και το κιβώτιο προώσεων αντίστοιχα) μηχανισμοί για τη μετατροπή της περιστροφικής κινήσεως σε παλινδρομική, καθώς και διατάξεις περιοδικής ή διακοπτόμενης κινήσεως ή μηχανισμοί για την υλοποίηση βοηθητικών κινήσεων.



Σχ. 3.1.

Τα κύρια μέρη:

α) Ενός τόρνου γενικής χρήσεως και

β) μιας οριζόντιας φρεζομηχανής.

(HK ηλεκτροκινητήρας, A δομικά στοιχεία, B στοιχεία μεταδόσεως κινήσεως, Γ συσκευή συγκρατήσεως, κομματιών, Δ συσκευή συγκρατήσεως εργαλείων, E στοιχεία ελέγχου).

γ) Τα ποικίλα εξαρτήματα, συσκευές και διατάξεις για την πρόσδεση των κοπτικών εργαλείων και των κομματιών και

δ) τα στοιχεία ελέγχου των διαφόρων λειτουργιών της EM (κινήσεις βασικές και βοηθητικές, έναρξη και παύση λειτουργίας κ.λπ.) και τα στοιχεία προστασίας από βλάβες και ατυχήματα. Τα στοιχεία ελέγχου είναι τα στοιχεία καθοδήγσεως και ρυθμίσεων της EM.. Η καθοδήγηση της αναφέρεται τόσο στη συμβατική καθοδήγηση (μηχανική, υδραυλική, πνευματική, ηλεκτρική και ηλεκτρονική), όσο και στη σύγχρονη με ψηφιακό έλεγχο καθοδήγηση.

Πέρα από τα κύρια αυτά μέρη τους που αναφέραμε, οι EM κοπής είναι εφοδιασμένες, κατά περίπτωση, με σύστημα παροχής υγρού κοπής,, με σύστημα λιπάνσεως και ακόμη με διάφορα παρελκόμενα και εξαρτήματα.

Από όσα έχουν λεχθεί μέχρι τώρα, καταλήγαμε στη διαπίστωση, ότι μία EM κοπής αποτελεί ένα περίπλοκα· σύστημα (ένα μηχανολογικό δομικά μαζί με τα ποικίλα λειτουργικά του και άλλα στοιχεία και ως τέτοιο θα αντιμετωπίζεται στη συνέχεια).

3.2. Ταξινόμηση εργαλειομηχανών κοπής.

Στη μηχανουργική πράξη συναντούμε μεγάλη ποικιλία ειδών εργαλειομηχανών και επί πλέον πληθώρα τύπων στο αυτό είδος. Άρα, προκύπτει η ανάγκη κατατάξεως των ΕΜ με τα γνωστά οφέλη, που αποκομίζαμε.

Η ταξινόμηση των ΕΜ γίνεται επί τη βάσει επιλεγόμενων εκάστοτε κριτηρίων, τα οποία και θα αναφέρομε στη συνέχεια.

3.2.1. Κατάταξη ως προς το είδος της κατεργασίας.

Είναι η κλασσική κατάταξη, που χάνομε στις ΕΜ, σύμφωνα με τη βασική κατεργασία κοπής, για την οποία η κάθε μία από αυτές είναι μελετημένη, σχεδιασμένη και κατασκευασμένη.

Έχουμε :

- α) Για την τόννευση τον τόρνο.
- β) Για τη διάτρηση (τρυπάνισμα) το δράπανο.
- γ) Για το πλάνισμα την πλάνη.
- δ) Για το φρεζάρισμα τη φρεζομηχανή και
- ε) για τη λείανση το λειαντικό μηχάνημα κ.ά.

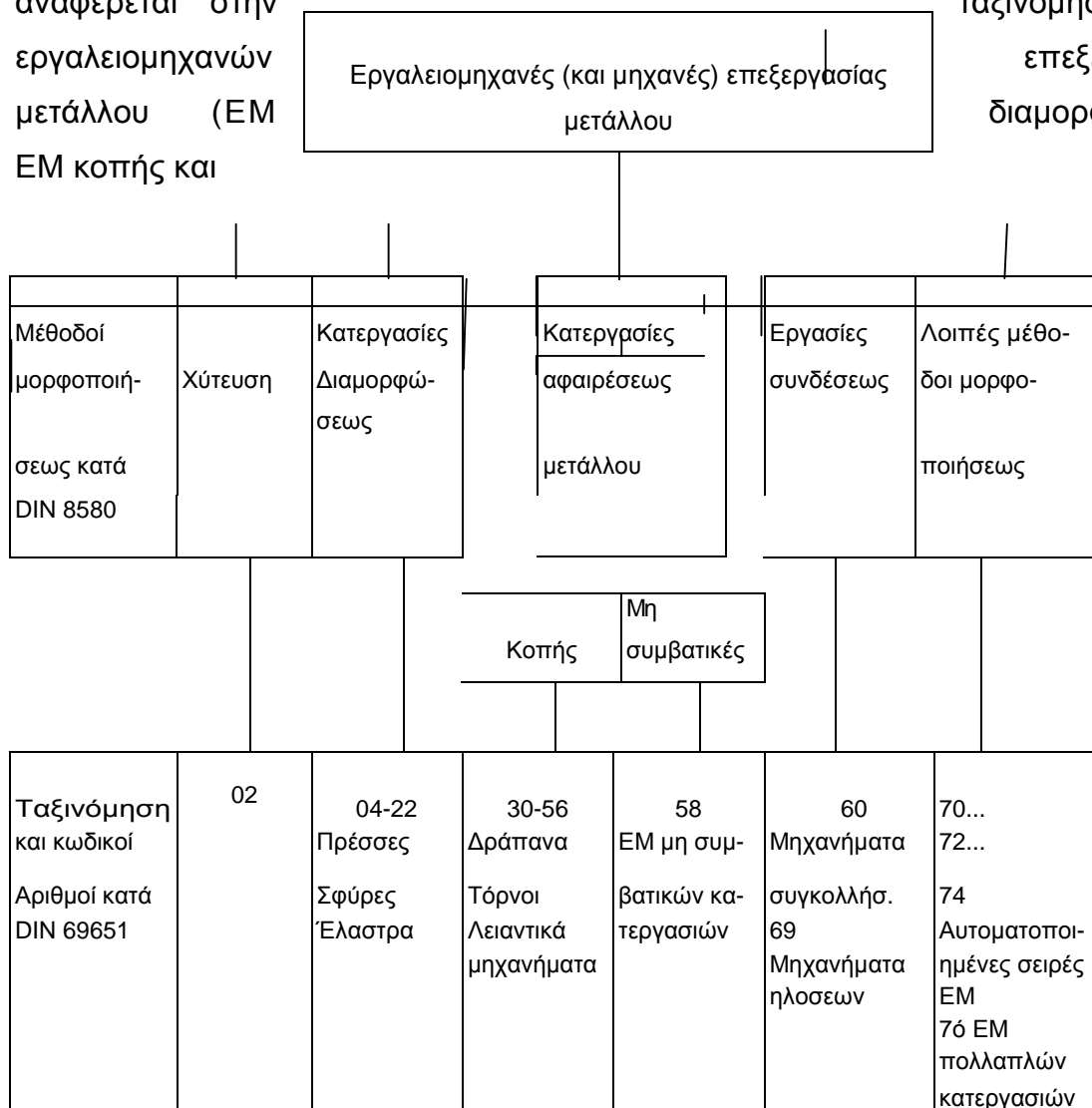
Τις κλασσικές αυτές εργαλειομηχανές είναι δυνατό να τις συναντήσαμε είτε ως εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως είτε ως ειδικές εργαλειομηχανές (παραγρ. 3.1.4).

Σε δύο βασικά πρότυπα ταξινομήσεως, με βάση την αρχή κατατάξεως που θέσαμε, θα αναφερθούμε εδώ: στο πρότυπο DIN 69651 και στο BS 4640/1970. Σύμφωνα με το προπό, δηλαδή το DIN 69651 (σχ.3.2), η κατάταξη των ΕΜ γίνεται ως προς τις μεθόδους παραγωγής μεταλλικών προϊόντων, που προβλέπονται από το DIN 8580.

Σε κάθε μέθοδο παραγωγής αναφέρονται οι εργαλειομηχανές (για κατεργασίες διαμορφώσεως και κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου ή οι μηχανές για χύτευση, συγκολλήσεις κλπ.), που χρησιμοποιούνται και σε κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί ένας κωδικός αριθμός. Επί παραδείγματι, οι κατεργασίες διαμορφώσεως ταξινομούνται με τους κωδικούς αριθμούς από 04 έως 22, ενώ οι κατεργασίες κοπής με τους κωδικούς αριθμούς από 30 έως 56.

Η προδιαγραφή αναφέρεται στην εργαλειομηχανών μετάλλου (EM EM κοπής και

BS 4640/1970 ταξινόμηση μόνο επεξεργασίας διαμορφώσεως,



Σχ.3.2

Μέθοδοι μορφοποίησης μεταλλικών προϊόντων (DIN 8580) και ταξινόμηση των συναφών εργαλειομηχανών (και μηχανών) κατά DIN 69651.

EM μη συμβατικών κατεργασιών, όπως και EM με ψηφιακή καθοδήγηση) και προβλέπει συμβολισμό τους, που περιλαμβάνει τρία ζεύγη ψηφίων, δηλαδή έξι συνολικώς ψηφία. Κάθε ζεύγος ψηφίων έχει ξεχωριστή έννοια. Το πρώτο ζεύγος ψηφίων χαρακτηρίζει το γενικό είδος, στο οποίο ανήκει η EM, όπως πχ τα φρεζοδράπανα (01), τα δρόπανα (03), οι τόρνοι (11) κ.λπ. Το δεύτερο ζεύγος ψηφίων συμβολίζει τους

διαφόρους τύπους ΕΜ στο αυτό είδος, όπως λ.χ. ένας γριναζοκόπτης περιφερικού φρεζαρίσματος κυλίσεως συμβολίζεται με το (11) στο είδος ΕΜ κοπής (04), που είναι, οι ΕΜ κοπής και αποπερατώσεως οδοντώσεων. Τέλος, το τρίτο ζεύγος ψηφίων είναι δυνατό να σημαίνει το μέγεθος ή κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ΕΜ, που να ξεχωρίζουν όμως μίαν εργαλείο μηχανή από μίαν άλλη που δεν είναι δυνατό να γίνει στο δεύτερο ζεύγος ψηφίων. Ως παράδειγμα δίδουμε το δράπανο δαπέδου με μία κύρια άτρακτο συμβολιζόμενο με (10). Έτσι, ο πλήρης κωδικός αριθμός (συμβολισμός) ενός μονοάτρακτου δραπάνου δαπέδου θα είναι 03.14.10, που αναλύεται ως εξής: Η πρώτη ομάδα ψηφίων (03) αναφέρεται στο δράπανο, η δεύτερη (14) συμβολίζει το ότι το δράπανο εγκαθίσταται στο δάπεδο και η τρίτη δυάδα ψηφίων (10) καθορίζει ότι το δράπανο αυτό φέρει μία κύρια άτρακτο.

Εξάλλου, μία μηχανική πρέσα (36), ανοικτή από όλες τις πλευρές, με κίνηση της παλινδρομούσας κεφαλής από ένα και μόνο κινηματικό στοιχείο (11) και με δυνατότητα επιβολής φορτίου μεγαλύτερου των 40 τόνων (40), συμβολίζεται ως 36.11.40.

Αναφορικά με το συμβολισμό των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση (ΨΚ), προστίθεται στα γνωστά μας τρία ζεύγη ψηφίων και μία ακόμη ομάδα, κατά σειρά, ενός ψηφίου, ενός κεφαλαίου γράμματος του λατινικού αλφαβήτου και ενός επί πλέον ψηφίου. Το καθένα από τα τρία αυτά τελευταία σύμβολα αναφέρεται σε χαρακτηριστικά του συστήματος καθοδήγησης.

Έτσι, το πρώτο ψηφίο αναφέρεται στο μέσο εισαγωγής των δεδομένων στο σύστημα: η μαγνητοταινία λ.χ. συμβολίζεται ως (4). Το δεύτερο (γράμμα) συνδέεται με τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος ΨΚ, όπως επί παραδείγματι το τροχιακό σύστημα καθοδήγησης ως συμβολίζεται με το γράμμα Ο Τέλος, το τρίτο σύμβολο (ψηφίο) ή το τελευταίο του συνολικού συμβολισμού μίας ΕΜ με ΨΚ δείχνει το αν το σύστημα περιλαμβάνει και έλεγχο βοηθητικών κινήσεων ή αυτόματη αλλαγή εργαλείου, πρόσδεση του τεμαχίου κ. ά.

Ως παράδειγμα αναφέρομε το συμβολισμό ενός φρεζοδράπανου (01), καθέτου, ακριβείας (25) με ΨΚ, με χρήση διάτρητης ταινίας (3) με τροχιακό σύστημα καθοδήγησης (C) και χωρίς έλεγχο βοηθητικών εργασιών: 01.25.00.3C0.

Στα επόμενα θα προβούμε στην κατάταξη των ΕΜ κοπής με βάση και άλλα

κριτήρια.

3.2.2. Κατάταξη ως προς το είδος της πρωτεύουσας κινήσεως.

A. Εργαλειομηχανές με περιστροφική την πρωτεύουσα κίνηση.

α) Τόρνοι:

- Οριζόντιοι.

- Κατακόρυφοι.

- Πυργωτοί (ή ρεβόλβερ, με περιστρεφόμενο εργαλειοφορέα πολλών εργαλείων) ημιαυτόματοι ή αυτόματοι, μονοάτρακτοι ή πολυάτρακτοι.

- Σπειροτομήσεως.

β) Δράπανα:

- Κατακόρυφα (συνήθη στήλης).

- Οριζόντια.

- Ακτινωτά (ή ράντιαλ).

- Ημιαυτόματα (μονοάτρακτα ή πολυάτρακτα).

γ) Φραιζομηχανές:

- Οριζόντιες.

- Κατακόρυφες.

- Αντιγραφής (Παντογράφοι).

δ) Φρεζοδράπανα.

ε) Λειαντικά μηχανήματα:

- Επιπέδων επιφανειών (με παλινδρομούσα ή με περιστρεφόμενη τράπεζα)

- Κυλινδρικών επιφανειών (εξωτερικών ή εσωτερικών).

- Ακεντρης λειάνσεως.

- Οδοντώσεων.

- Σπειρωμάτων.

- Ειδικά (π.χ. στροφαλοφόρων αξόνων).

- Τροχιστικά (κυρίως κοπτικών εργαλείων).

στ)Εργαλειομηχανές χόνιγκ και λάππιγκ.

ζ)Εργαλειομηχανές αποξέσεως οδοντοτροχών.

η)Εργαλειομηχανές κοπής οδοντώσεων (γρاناζοκόπτες).

- Μετωπικών οδοντωτών τροχών με ίσα ή ελικοειδή δόντια με τη μέθοδο περιφερικού φρεζαρίσματος κυλιστός (χόμπιγκ: hobbing,. όπου το κοπτικό εργαλείο είναι ατέρμονας κοχλίας).

- Κωνικών οδοντοτροχών με ευθεία οδόντωση με χρησιμοποίηση δισκοειδων κοπτήρων και υποειδών οδοντοτροχών.

θ)Εργαλειομηχανές αποκοπής:

- Τόρνοι αποκοπής.

- Λειαντικά μηχανήματα αποκοπής.

- Περιστροφικά πριόνια.

B.Εργαλειομηχανές με ευθύγραμμη την πρωτεύουσα κίνηση.

α) Πλάνες:

-Οριζόντιες βραχείες πλάνες ή ταχυπλάνες.

-Τραπεζοπλάνες (με ένα ή με δύο ορθοστάτες).

-Κατακόρυφες βραχείες πλάνες.

β)Εργαλειομηχανές αυλακώσεως ή διανοίξεως (μηχανήματα μπρόουτσιγκ) οριζόντιες ή κατακόρυφες.

γ)Εργαλείο μηχανές κοπής οδοντώσεων (γρاناζοκοπτες):

- Μετωπικών οδοντοτροχών με ευθεία ή ελικοειδή οδόντωση με πλάνισμα κυλίσεως (το κοπτικό εργαλείο μπορεί να είναι οδοντοτροχός, που παλινδρομεί ευθύγραμμη ή οδοντωτός κανόνας).

-Κωνικών οδοντοτροχών με ευθεία οδόντωση μορφοποιούμενη με ζεύγος παλινδρομουντών απλών κοπτικών εργαλείων.

δ) Εργαλειομηχανές αποκοπής.

-Παλινδρομικά πριόνια.

3.2.3. Διάκριση ως προς το βαθμό εξειδικεύσεως.

A. Εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως:

Ονομάζουμε έτσι τις εργαλειομηχανές, που είναι κατασκευασμένες να εκτελούν πολλά είδη εργασιών της κατηγορίας τους σε ποικιλία από τεμάχια σε ότι αφορά το μέγεθος και τη μορφή τους. Ένας συνήθης μηχανουργικός τόρνος είναι τυπική

περίπτωση μιας εργαλειομηχανής γενικής χρήσεως. Μπορούμε σ¹ αυτόν να κατεργασθούμε εξωτερικές ή εσωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες, κωνικές επιφάνειες, να κόψομε σπείρωμα κ.ά. Οι εργαλειομηχανές αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή κατά μονάδα και κατά μικρές παρτίδες· επίσης και για επισκευαστικές εργασίες.

Β. Ειδικές εργαλειομηχανές ή εργαλειομηχανές ειδικής χρήσεως.

Ειδικές ονομάζομε τις εργαλειομηχανές, στις οποίες εκτελείται αποκλειστικά και μόνο μια καθορισμένη εργασία. Ένας γριναζοκόπτης, ένα λειαντικό μηχάνημα οδοντώσεων ή ένας τόνος για την τόννευση εδράνων σε μία μηχανή εσωτερικής καύσεως είναι τυπικά παραδείγματα ειδικών εργαλειομηχανών.

Γ. Αυστηρά εξειδικευμένες εργαλειομηχανές.

Χαρακτηρίζονται έτσι οι εργαλειομηχανές, που είναι μελετημένες μόνο για την εκτέλεση ορισμένης φάσεως κατεργασίας σε ορισμένο τεμάχιο.

Οι ειδικές και οι αυστηρά εξειδικευμένες εργαλειομηχανές βρίσκουν εφαρμογή στην παραγωγή κατά παρτίδες μεγάλου μεγέθους και στη μαζική παραγωγή.

Δ. Σειρά εργαλειομηχανών ή εργαλειομηχανές μεταφοράς.

Είναι συγκροτήματα εργαλειομηχανών. όπου το ακατέργαστο κομμάτι [π.χ. το σώμα μίας μηχανής εσωτερικής καύσεως ή ένας μισοέτοιμος (μετά από την καμίνευσή του) διωστήρας] μεταφερόμενο. κατεργαζόμενο και ελεγχόμενο (όπου απαιτείται έλεγχος) από εργαλειομηχανή σε εργαλειομηχανή. απολαμβάνεται τελικά έτοιμο. Τέτοια συγκροτήματα εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται στη ροϊκή παραγωγή.

Ε. Εργαλειομηχανές πολλαπλών κατεργασιών.

Είναι σύνθετες εργαλειομηχανές ως επί το πλείστον ψηφιακά καθοδηγούμενες με δυνατότητα εκτελέσεως πολλών διαφορετικών κατεργασιών σε περίπλοκα συνήθως τεμάχια.

3.2.4. Κατάταξη ανάλογα με την ακρίβεια κατεργασίας.

Διακρίνονται σε:

A. Εργαλειομηχανές συνήθους ακριβείας (standard).

Σε αυτές ανήκουν, ως επί το πλείστον, οι γενικής χρήσεως εργαλειομηχανές.

B. Εργαλειομηχανές ακριβείας άνω της συνήθους στάθμης (above standard)- Κατασκευάζονται βάσει των αυτών προδιαγραφών, όπως οι εργαλειομηχανές συνήθους ακρίβειας, με τη διαφορά ότι οι απαιτήσεις ακριβείας: ορισμένων κρίσιμων τεμαχίων είναι μεγαλύτερες. Επίσης, η ποιότητα συναρμολόγησεως των εργαλειομηχανών αυτών, όπως και εκτελέσεως των αναγκαίων ρυθμίσεων είναι ανωτέρα.

Γ. Εργαλειομηχανές μεγάλης ακριβείας (high accuracy).

Κρίσιμα μέρη των εν λόγω εργαλειομηχανών σχεδιάζονται και κατασκευάζονται βάσει προτύπων υψηλού βαθμού ακριβείας. Εφαρμόζονται στενές ανοχές για όλα τα εξαρτήματα της εργαλειομηχανής, επιπλέον δε και για τη συναρμολόγηση και τη ρύθμιση της ως συνόλου.

Δ. Εργαλειομηχανές μεγάλης ακριβείας, (precision).

Συγκαταλέγονται εργαλείο μηχανές, των οποίων οι απαιτήσεις ακριβείας είναι ακόμη μεγαλύτερες από εκείνες των εργαλειομηχανών ακριβείας.

E. Εργαλειομηχανές υψίστης ακριβείας (high precision ή master).

Με τη βοήθεια τους μορφοποιούνται εξαρτήματα, που χρησιμοποιούνται και καθορίζουν την ακρίβεια των εργαλειομηχανών στάθμης ακριβείας (Γ) και (Δ).

Οι εργαλειομηχανές (Γ), (Δ) και (E) εγκαθίστανται σε κατάλληλα κλιματισμένους χώρους, όπου διατηρούνται σταθερές η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία-ακόμη, λαμβάνονται μέτρα, προστασίας των χώρων αυτών έναντι διεισδύσεως σκόνης.

3.2.5. Κατάταξη ανάλογα με τη μορφή των κατεργασμένων επιφανειών.

A. Εργαλειομηχανές κατεργασίας κυλινδρικών επιφανειών, όπως είναι οι τόρνοι, τα δράπανα, τα λειαντικά μηχανήματα κυλινδρικών επιφανειών κ.λπ.

B. Εργαλειομηχανές κατεργασίες επιφανειών με ειδική μορφή. Σ'αυτές ανήκουν οι γριναζοκόπτες, η φρεζομηχανή αντιγραφής, τα λειαντικά μηχανήματα οδοντώσεων, εργαλείο μηχανές σπειροτομήσεως κ.λπ.

Η παράγραφος αυτή χρήσιμο είναι, για καλύτερη ενημέρωση, να συνδυασθεί με τον Πίνακα 1.3.

3.2.6 Κατάταξη ανάλογα με το βάρος τους.

Με βάση το κριτήριο αυτό διακρίνουμε τις εργαλειομηχανές σε **ελαφρές** (συνήθως με βάρος μέχρι ένα τόνο), σε **βαριές** (με βάρος άνω των 10 τόνων) και σε εργαλειομηχανές **μέσου βάρους** (με βάρος άνω του ενός τόνου και μέχρι 10 τόνων).

3.2.7. Κατάταξη ανάλογα με το βαθμό αυτοματισμού.

Εδώ διακρίνουμε τις εργαλειομηχανές σε κοινές, ημιαυτόματες και αυτόματες.

Ημιαυτόματες ονομάζουμε την εργαλειομηχανή εκείνη, στην οποία οι απαιτούμενες κινήσεις (πρωτεύουσες και κινήσεις προώσεως, όπως και οποιεσδήποτε άλλες βοηθητικές κινήσεις) για την κατεργασία ενός κομματιού γίνονται αυτομάτως, χωρίς δηλαδή οποιαδήποτε ενέργεια του χειριστή. Στο τέλος της κατεργασίας του κομματιού η εργαλειομηχανή σταματά αυτομάτως και για να επαναληφθεί η κατεργασία άλλου όμοιου κομματιού, θα πρέπει να αποσυρθεί από την εργαλειομηχανή το έτοιμο κομμάτι, να τοποθετηθεί το ακατέργαστο και να ξεκινήσει εκ νέου η εργαλειομηχανή- όλα αυτά εκτελούνται από το χειριστή της.

Στην αυτόματη εργαλειομηχανή, εκτός από τις αυτόματες κινήσεις, που χαρακτηρίζουν την ημιαυτόματη εργαλειομηχανή, επί πλέον και η αφαίρεση του έτοιμου κομματιού και η τοποθέτηση του ακατέργαστου γίνονται επίσης αυτομάτως.

Κατασκευαστικές απαιτήσεις των εργαλειομηχανών κοπής.

Οι αυστηρές εν γένει απαιτήσεις, που πρέπει να καλύψει μία εργαλειομηχανή κοπής (προφανώς εξαρτώμενες από την ποιότητα κατασκευής της και το συνακόλουθο κόστος της), εμπεριέχονται σε κύκλους προβλημάτων, όπως είναι:

- Η ακρίβεια (γεωμετρική και κινηματική) σε στατική, δυναμική και θερμική καταπόνηση.
- η μηχανική αντοχή (ένταση και παραμόρφωση),
- αυτοματισμός, η παραγωγικότητα, η ασφάλεια και
- η περιβαλλοντολογική συμπεριφορά.

Ειδικότερα κάθε EM κοπής σε συνδυασμό και με την αντίστοιχη κατεργασία πρέπει να καλύπτει τις ακόλουθες απαιτήσεις:

α) Να είναι σε θέση να αποδίδει σταθερά και όσο το δυνατόν ανεξάρτητα από τη δεξιότητα του τεχνίτη (χειριστή της EM) και μέσα σε καθορισμένα όρια την επιθυμητή ακρίβεια διαστάσεων και μορφής των παραγόμενων τεμαχίων, αλλά και τον επιζητούμενο βαθμό τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών τους.

β) Να εξασφαλίζει υψηλή παραγωγικότητα (βεβαίως με σύγχρονο κάλυψη των απαιτήσεων ποιότητας) μέσω κατάλληλης εκλογής των λειτουργικών της ταχυτήτων (ταχύτητα κοπής και ταχύτητα προώσεως) και του βάθους κοπής και, συνεπώς, του ρυθμού αφαιρέσεως μετάλλου, προφανώς σε συνάρτηση με τις εκάστοτε τελευταίες εξελίξεις των υλικών τεμαχίων και εργαλείων. Το τελευταίο προϋποθέτει ότι η σχεδίαση της EM θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε αυτή να προσαρμόζεται στις αναμενόμενες εξελίξεις υλικών κατασκευής και έτσι να αποφεύγεται η υπολειτουργία της (με μειωμένη παραγωγικότητα) ή η αχρήστευση της μετά σχετικώς βραχεία ωφέλιμη ζωή.

γ) Να παρουσιάζει υψηλό τεχνολογικό και οικονομικό βαθμό αποδόσεως.

δ) Να παρέχει ευκολία λειτουργίας και χειρισμών, καθώς επίσης και ικανοποιητική προστασία του χειριστή, αλλά και της EM καθαυτής (η απαίτηση αυτή είναι λίαν σημαντική), καθώς και των κατεργαζόμενων τεμαχίων έναντι ατυχημάτων και κοπώσεως μέσω ενδεδειγμένης, κατά περίπτωση, εργονομικής μελέτης.

ε) Να συντηρείται και να επισκευάζεται με ευκολία και

στ) η περιβαλλοντολογική της συμπεριφορά (θόρυβοι, μόλυνση κ.ά.) να μπορεί να χαρακτηρίζεται ως ικανοποιητική.

3.3.Κατασκευαστικές απαιτήσεις των εργαλειομηχανών κοπής.

Η κάλυψη από την εργαλειομηχανή των πολλών και σοβαρών απαιτήσεων που προαναφέραμε εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, τους οποίους συνοψίζαμε ως ακολούθως:

Απαίτηση (α): Ο βαθμός ποιοτικής δυναμικότητας (διαστατική ακρίβεια, ακρίβεια μορφής και τραχύτητα επιφάνειας) ενός μηχανουργικού συστήματος κοπής (Κ-EM-Τμ-Ε) ή απλούστερα (Κ-EM), όπως αυτό ορίσθηκε στην παράγραφο 1.1.2.1, προκύπτει ως το αποτέλεσμα συνεργασίας από τη μία πλευρά της *κατεργασίας*

και από την άλλη της ομολόγου *εργαλειομηχανής*. Η εργαλείο μηχανή συμμετέχει στο σύστημα με τα ιδιαίτερα για τη θεωρούμενη περίπτωση τεχνικά της χαρακτηριστικά (δομικά, κινηματικά, λειτουργικά και άλλα), ενώ η κατεργασία με την κινηματική της και με τους κατά περίπτωση κατεργασίας επιλεγόμενους παράγοντες κοπής (παραγρ. 3.1.2.4). Ούτως τιθέμενοι και λειτουργούντες οι διάφοροι παράγοντες κοπής, έχουν ως συνέπεια την ανάπτυξη φορτίων, που καταπονούν και τα διάφορα μέρη της ΕΜ, το εργαλείο και το κατεργαζόμενο τεμάχιο, δημιουργούν μηχανικές ελαστικές παραμορφώσεις, ώστε τελικά να επηρεάζεται η ακρίβεια μορφοποίησης του τεμαχίου, όπως και ο βαθμός τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών του. Προς την αυτή κατεύθυνση οδηγούν και τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές που μπορούν να εμφανισθούν τόσο σε κρίσιμα μέρη της εργαλειομηχανής. όσο και στο εργαλείο ή στο τεμάχιο.

Έτσι, συμπληρωματικώς προς τα προαναφερθέντα, θεωρούμε σκόπιμο να δώσομε στη συνέχεια ορισμένες συναφείς πληροφορίες.

Όπως γνωρίζομε, η ακρίβεια κατεργασίας αξιολογείται από τις αποκλίσεις (σφάλματα) μεταξύ ονομαστικών και πραγματικών διαστάσεων του τεμαχίου.

Το συνολικό σφάλμα μιας κατεργασίας κοπής συνίσταται από τα ακόλουθα εν γένει μερικά σφάλματα, τα οποία με τη σειρά που παρατίθενται, οφείλονται σε γεωμετρικές, κινηματικές, στατικές ή δυναμικές και θερμικές επιρροές με επίδραση στην ακρίβεια του έτοιμου τεμαχίου.

α) Σφάλματα εξαιτίας της σχετικής θέσεως εργαλείου - τεμαχίου: Προξενούνται από σφάλματα κατεργασίας και συναρμολογήσεως διαφόρων κρίσιμων μερών, συγκροτημάτων και διατάξεων της ΕΜ, όπως ακόμη και από όμοια, που οφείλονται στη θέση και σύσφιξη τεμαχίου και εργαλείου σε σχέση με την ΕΜ· επί πλέον και σε παραμορφώσεις λόγω ιδίου βάρους και σε φθορά μερών και συγκροτημάτων.

β) Σφάλματα στις λειτουργικές κινήσεις τεμαχίου και εργαλείου κατά την κοπή: Μπορούν να αποδοθούν σε σφάλματα κατασκευής των στοιχείων της κινηματικής αλύσεως, της συναρμολογήσεως των στοιχείων αυτών, παραμορφώσεων τους που λαμβάνουν χώρα κ.λπ.

γ) Σφάλματα οφειλόμενα σε παραμορφώσεις μερών και / ή συγκροτημάτων

της EM, του τεμαχίου και του κοπτικού εργαλείου ως αποτέλεσμα των αναπτυσσόμενων κατά την κοπή δυνάμεων· η επιρροή αυτή των δυνάμεων κοπής είναι δυνατόν να έχει χαρακτήρα στατικό ή δυναμικό.

δ) Σφάλματα λόγω παραμορφώσεων μερών και συγκροτημάτων της EM, του εργαλείου και του τεμαχίου αποδιδόμενα σε θερμικές επιρροές λόγω της εκλυόμενης κατά την κοπή θερμότητας, καθώς επίσης και εκείνης ως συνεπεία ταφών στους διάφορους μηχανισμούς κινήσεως της E M. Γίνεται φανερό ότι οι επιδράσεις αυτές στην ακρίβεια κατεργασίας συνάπτονται κατευθείαν με τη σχετική θέση εργαλείου-τεμαχίου. Επί παραδείγματι, σε ένα τόρνο τέτοια συγκροτήματα, που επηρεάζουν την ακρίβεια κατασκευής μπορούν να θεωρηθούν: τα συγκροτήματα συγκρατήσεως του τεμαχίου, το εργαλειοφορέο με τον εργαλειοδέτη και ο κεντροφορέας. Εν τούτοις πρακτικούς και άλλα συγκροτήματα, με τις παραμορφώσεις τους, είναι δυνατόν εμμέσως να επιδρούν στη θέση εργαλείου-τεμαχίου, όπως λ.χ. είναι η κλίση ή το σώμα της EM.

Ακόμη, παίζει αξιοσημείωτο ρόλο και η ακρίβεια, με την οποία είναι δυνατό να μετρηθούν η σχετική θέση των κινούμενων μερών της EM και οι διαστάσεις της κατεργασμένης ή των κατεργασμένων επιφανειών και να ελεγχθούν οι κινήσεις των διαφόρων στοιχείων της εργαλειομηχανής.

Και η τραχύτητα κάθε κατεργασμένης με κοπή επιφάνειας, εκτός των βασικών γεωμετρικών, κινηματικών και άλλων παραγόντων (σχηματισμός ασυνεχούς αποβλήτου, κύκλος σχηματισμού και τεμαχισμού ψευδόκοψης, φθορά του κοπτικού εργαλείου), δέχεται την επίδραση και της σχετικής θέσεως εργαλείου-τεμαχίου σε κάθε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Εξαρτάται, δηλαδή και από το σύστημα οδήγησεως και τον εργαλειοφορέα, αλλά και από τη δυνατότητα, που παρέχεται στην EM, να δώσει βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας για επίτευξη καθορισμένου βαθμού τραχύτητας επιφάνειας και από την εν γένει δυναμική συμπεριφορά της. Έτσι οι ταλαντώσεις των διαφόρων μερών της EM [στρεπτικές ταλαντώσεις οδοντοτροχών, στρεπτικές και διαμήκεις ταλαντώσεις ατράκτων και κοχλιών κινήσεως, ταλαντώσεις ολισθητήρων και εδράνων], όπως π.χ. αυτές εξαιτίας του φαινομένου εναλλασσόμενων παύσεων και αλμάτων (φαινόμενο stick-slip), ιδιόμορφες αυτοδιεγειρόμενες ταλαντώσεις οφειλόμενες στο φαινόμενο της κοπής και άλλες, όλες αυτές μαζί συνιστούν ένα περίπλοκο σύστημα, που μπορεί να παραγάγει κατά την κοπή ποικίλες μορφές

τραχύτητας και κυματώσεων στις κατεργασμένες επιφάνειες.

Απαίτηση(β): Αναφέρεται στην παραγωγικότητα της ΕΜ. δηλαδή στις λειτουργικές της ταχύτητες, στο βάθος κοπής και στο ρυθμό αφαιρέσεως; μετάλλου [σχέση (1.5)], γεγονός που αποτελεί σημαντικό οικονομικό παράγοντα στις κατεργασίες εκχονδρίσεως.

Στις περιπτώσεις αυτές είναι αναγκαίο:

–Οι δυνατότητες της ΕΜ για απόδοση ταχυτήτων κοπής (προσδιορίζονται από την περιστροφική ταχύτητα και τη διάμετρο εργαλείου ή τεμαχίου στις κατεργασίες με περιστροφική την πρωτεύουσα κίνηση ή από τη συχνότητα των ενεργών διαδρομών πάλιν του εργαλείου ή του τεμαχίου και από το μήκος τους), καθώς και ταχύτητα)ν προώσεως να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των διατιθέμενων σήμερα υψηλής αποδοτικότητας υλικών για κοπτικά εργαλεία.

– Τα διάφορα στοιχεία της ΕΜ να συμπεριφέρονται αποτελεσματικώς τόσο από απόψεως αντοχής, όσο και δυναμικώς στις δυσμενέστερες συνθήκες φορτίσεως· το ίδιο και η ΕΜ ως σύνολο.

– Να διατίθεται σύστημα παροχής, κατάλληλου κατά περίπτωση, υγρού κοπής και στην αναγκαία παροχή· επί πλέον και σύστημα απομακρύνσεως των αποβλήτων από τη θέση κατεργασίας.

Απαίτηση (γ): Εδώ μας ενδιαφέρει ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως των χρησιμοποιούμενων ηλεκτροκινητήρων για την τροφοδότηση με ισχύ της πρωτεύουσας κινήσεως της εργαλείο μηχανής, της κινήσεως προώσεως, όπως και άλλων βοηθητικών κινήσεων επί πλέον, και ο συνολικός βαθμός αποδόσεως της ΕΜ ως μηχανολογικού συστήματος (παραγρ. 1.3.5.2 Β).

Ο οικονομικός βαθμός αποδόσεως του συστήματος μίας ΕΜ κοπής συνδέεται στενά με το βαθμό αυτοματοποιήσεως της και εξαρτάται από την εν γένει οργάνωση της, θεωρώντας δε την ΕΜ ως μία αυτοδύναμη παραγωγική μονάδα, από τις απαιτήσεις (δ) και (ε), που έχουμε παραθέσει στην αρχή αυτής της παραγράφου.

3.4. Εξέλιξη των εργαλειομηχανών κοπής.

3.4.1. Παράγοντες εξελίξεως των εργαλειομηχανών κοπής.

Η μεγάλη ποικιλία εργαλείο μηχανών κοπής κατά είδος, καθώς και η πληθώρα αντίστοιχων τύπων και μεγεθών στο κάθε είδος, που χρησιμοποιούμε σήμερα στη μηχανουργική βιομηχανία, προέρχεται από συνεχείς με την πάροδο του χρόνου εξελίξεις των βασικών ΕΜ, που εφευρέθηκαν τον προηγούμενο αιώνα, αλλά και από νέες ΕΜ, οι οποίες εν τω μεταξύ αναπτύχθηκαν, κατασκευάστηκαν και παράγονται, για να καλύψουν παραγωγικές ανάγκες. Και έτσι, από τις πρώτες απλές και μικρής ακριβείας ΕΜ, έχουμε φθάσει, στις σύγχρονες περίπλοκες, υψηλής ακριβείας και παραγωγικότητας συμβατικές ΕΜ, αλλά και σε εκείνες με ψηφιακή καθοδήγηση και στα σχετικά με αυτές συστήματα αυτοματοποιήσεων της μηχανουργικής παραγωγής. Όμως, πέρα από τους καθαρά τεχνολογικούς συντελεστές και οργανωτικοί, λειτουργικοί και ανθρώπινοι παράγοντες επηρέασαν και επηρεάζουν ολοένα και πιο πολύ την εξέλιξη, καθώς και τις τάσεις σχεδιάσεως και αναπτύξεως των ΕΜ κοπής.

Οι κύριοι συντελεστές εξελίξεως των ΕΜ κοπής, μπορούν να συνοψισθούν στους ακόλουθους:

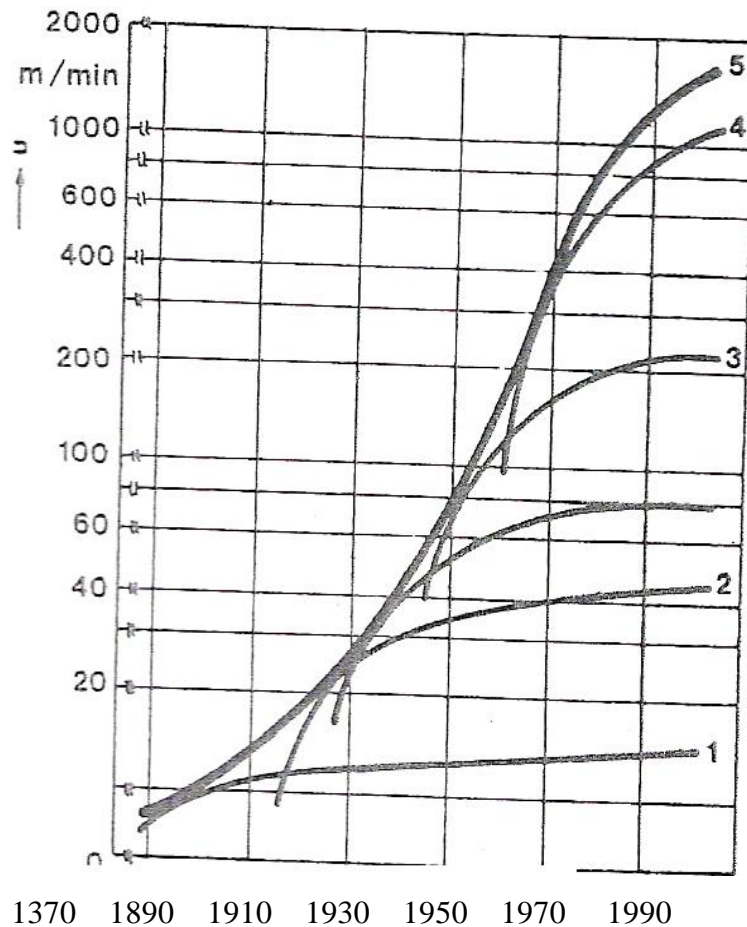
α) Τα υλικά κοπτικών εργαλείων:

Η συνεχής βελτίωση των ιδιοτήτων των υλικών για κοπτικά εργαλεία επέδρασε δραστικά στην εξέλιξη των ΕΜ. Αυτό επέτρεψε τη χρησιμοποίηση όλο και υψηλότερων ταχυτήτων κοπής (σχ.3.3), με αποτέλεσμα ανάλογη αύξηση των περιστροφικών ταχυτήτων και οπωσδήποτε της ισχύος της ΕΜ (έστω και χωρίς αύξηση της θεωρητικής διατομής του αποβλήτου). Ούτως παρατηρούμε ότι με μετάβαση από τους ανθρακούχους χάλυβες στους ταχυχάλυβες ως υλικού κοπτικών εργαλείων, η επιτρεπόμενη ταχύτητα κοπής αυξάνεται κατά τρεις έως πέντε φορές.

Και επί πλέον, μία σύγκριση των ταχυχαλύβων με τα σκληρομέταλλα μας δίνει αύξηση της ταχύτητας κοπής κατά τρεις μέχρι τέσσερες φορές υπέρ των τελευταίων. Τελικά, η επιτρεπόμενη ταχύτητα κοπής με εργαλεία από σκληρομέταλλο έχει αυξηθεί κατά εννέα έως είκοσι φορές συγκρινόμενη με εκείνη, που εφαρμόζεται σε κοπή με εργαλείο από ανθρακούχο χάλυβα.

β) Η ακρίβεια κατασκευής: Παράλληλα με τις αυξανόμενες απαιτήσεις σε ισχύ και σε περιστροφικές ταχύτητες, έχουμε επιτακτικές απαιτήσεις για αύξηση

της ακρίβειας μορφοποιήσεως (διαστάσεων και μορφής), που οφείλουν να δίδουν οι ΕΜ. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η επιζητούμενη ακρίβεια την εποχή του .J. Watt ήταν της τάσεως των 2000 μm, σήμερα όμως είναι δυνατή η επίτευξη διαστατικής ακρίβειας κάτω του ενός μm.



Σχ.3.3

Διαχρονική εξέλιξη υλικών για κοπτικά εργαλεία με κριτήριο την ταχύτητα κοπής.

1. ανθρακούχος χάλυβας,
2. ταχυχάλυβας,
3. σκληρομέταλλο,
4. κεραμειτικά πυριμάχων οξειδίων,
5. περιβάλλουσα.

Η απαιτούμενη ακρίβεια κατασκευής μαζί με τις αυξημένες ταχύτητες κοπής και την ισχύ έδρασαν αποφασιστικά στην ανάπτυξη εξελιγμένων ικανότερων

δομικών (βάση, κλίνη, ορθοστάτες κ.ά.) και λειτουργικών (κιβώτια ταχυτήτων, άτρακτος, ολισθητήρες κ.λπ.) στοιχείων της ΕΜ. καθώς επίσης και συναφών μετρολογικών οργάνων και μεθόδων. Επιπρόσθετα, άρχισε να δίνεται μεγάλη σημασία στη διαμόρφωση στιβαρών εργαλειομηχανών ως δομικών συνόλων και παράλληλα στη δυναμική μελέτη της συμπεριφοράς τους.

γ) Αυτοματοποίηση: Εκτός των συντελεστών εξελίξεως των ΕΜ κοπής, που έχουμε προσημειώσει, σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη τους έπαιξε και η ανάγκη οικονομικότερης (χαμηλότεροι¹ κόστους) μηχανουργικής παραγωγής, γεγονός που έχει άμεση σχέση με την αυτοματοποίηση της παραγωγής. Ο βαθμός αυτοματοποίησης των ΕΜ κοπής έχει, όπως είναι φυσικό, αυξηθεί διαχρονικά και αυτό μπορούμε να το διαπιστώσαμε από το ευρύ φάσμα ΕΜ με διαφορετικό βαθμό αυτοματοποιήσεων, για κάλυψη των ποικίλων απαιτήσεων των εφαρμογών. Ούτως, από γενικής χρήσεως ΕΜ μεταβαίνομε σε ΕΜ μίας χρήσεως και τελικά στις αυτοματοποιημένες σειρές εργαλειομηχανών για μαζική παραγωγή.

Οι ανάγκες όμως αυτοματοποίησης των ΕΜ οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων ελέγχου (καθοδήγησης και ρυθμίσεων), δηλαδή από τον καθαρά μηχανικό έλεγχο (οδηγητικές καμπύλες, έκκεντρα κ.ά.) στον υδραυλικό, πνευματικό, ηλεκτρικό - ηλεκτρονικό και σε συνδυασμούς τους. Εξάλλου, από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής Επεξεργασίας πληροφοριών έδωσε ώθηση σε μία ευρύτερη χρησιμοποίηση του αυτοματισμού στις εργαλειομηχανές. Και στις ημέρες μας έχουμε φθάσει στην ανάπτυξη, παραγωγή και χρησιμοποίηση βελτιωμένων τύπων εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, όπως και σε αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου της μηχανουργικής παραγωγής. Στο σημείο αυτό οφείλομε να επισημαίνομε, ότι υπάρχουν ορισμένα περιοριστικά όρια στην εξέλιξη της αυτοματοποίησης της μηχανουργικής παραγωγής (αλλά και της βιομηχανικής παραγωγής γενικότερα), παρόλο ότι οι πιέσεις για πιο οικονομική παραγωγή πάντοτε υπάρχουν, που θα πρέπει όμως να καθορίζονται από τον ανθρώπινο παράγοντα, δηλαδή από "ανθρώπινο περιεχόμενο" της εργασίας.

δ) Μέθοδοι και όργανα μετρήσεως. Βοηθήματα σχεδιάσεων ΕΜ:

Για διευκόλυνση στη σχεδίαση των ΕΜ κοπής (στατική και δυναμική των διαφόρων στοιχείων της και της ίδιας ως συνόλου) διατίθενται από ειδικές βιβλιοθήκες έτοιμα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ακόμα έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι και συναφή όργανα για μετρήσεις επάνω στην ΕΜ (ή σε πρότυπα υπό κλίμακα) και για ανάλυση και αξιολόγηση τόσο κατά τη διάρκεια της σχεδιάσεως και κατασκευής της, όσο και της έτοιμης για παράδοση ΕΜ· δηλαδή της ακρίβειας κατασκευής, τον αναπτυσσόμενων δυνάμεων, τάσεων παραμορφώσεων και θερμοκρασιών. της δυναμικής της συμπεριφοράς κ.λπ.

Ύστερα από μελέτη της εξελίξεως των βασικών ΕΜ (τόρνοι φρεζομηχανές, δράπανα, πλάνες, λειαντικά μηχανήματα), αλλά και των ειδικών ΕΜ (εργαλειομηχανές μορφοποιήσεις οδοντώσεων, σπειρωμάτων κ.λπ.) καταλήγει κανένας στη διαπίστωση, ότι μέχρι τώρα, οι σχεδιαστές μηχανικοί ΕΜ έχουν συχνά ασχοληθεί (και έχουν επιτύχει) με καινοτομίες (νέες συλλήψεις) και βελτιώσεις σε δομικά και λειτουργικά στοιχεία των ΕΜ παρά με τη σύλληψη και πραγματοποίηση νέων κινηματικών αρχών των υφισταμένων ΕΜ κοπής. Το τελευταίο φαίνεται, ότι έχει μείνει στάσιμο ή εξελίσσεται εν γένει με λίαν χαμηλό ρυθμό. Μία σχετική άποψη για την κατάσταση αυτή μπορεί να είναι το γεγονός ότι οι υπάρχουσες από πολλού χρόνου εργαλειομηχανές (τύποι, μορφή, χαρακτηριστικά) υπήρξαν το αποτέλεσμα μίας φυσικής διεργασίας και η εξέλιξη τους αφορούσε μόνο καθιερωμένα είδη ΕΜ και μάλιστα σε ότι αφορά στοιχεία, τους και όχι βασικά χαρακτηριστικά συλλήψεως και σχεδιάσεως. Σήμερα, ακόμη και οι υπερσύγχρονες εργαλειομηχανές πολλαπλών κατεργασιών με ψηφιακή καθοδήγηση δεν είναι τίποτε άλλο παρά συνδυασμοί συμβατικών ΕΜ, συνήθως τόνου εσωτερικής торνεύσεως, φρεζομηχανής και δραπάνου με αυτόματα μετακινούμενο εργαλειοφόρα ή και με άλλες δυνατότητες αυτοματισμού.

Ενδεικτικά, ως τυπικό παράδειγμα εξελίξεως εργαλειομηχανής κοπής, δίδουμε τον κοινό μηχανουργικό τόννο. Ο τόννος του 1906 παρουσιάζει μία λεπτή ανοικτή μορφή πλαισίου και η μετάδοση περιστροφικής κινήσεως στην άτρακτο δίδεται με ιμαντοκίνηση και σε λίαν περιορισμένο αριθμό βημάτων'. Στον τόννο του 1925 έχει προστεθεί ιδιαίτερος ηλεκτροκινητήρας με ξεχωριστό κιβώτιο (με οδοντοτροχούς), γεγονός που προσδίδει αυτοδυναμία στην εργαλειομηχανή. Ο τόννος του 1960 παρουσιάζει κλειστή μορφή πλαισίου με προφανώς βελτιωμένη στιβαρότητα. Είναι δυνατό να διαθέτει διάταξη αντιγραφής και άλλα στοιχεία μηχανικού, υδραυλικού και ηλεκτρονικού ελέγχου. Τέλος, η σχεδίαση τόννου του 1977 δεν παρουσιάζει σοβαρές διαφορές στη δομή του από

εκείνο του 1960. Οι χειρισμοί για τον έλεγχο των λειτουργικών κινήσεων της EM εκτελούνται με πλήκτρα, που ευρίσκονται στον πίνακα χειρισμού. Ο τόνος αυτός είναι δυνατό να λειτουργεί και με ψηφιακή καθοδήγηση.

3.4.2 Οι σύγχρονες γενικές τάσεις στη σχεδίαση και ανάπτυξη των εργαλειομηχανών κοπής.

Οι τάσεις για εξέλιξη των EM κοπής συνδέονται άμεσα, όπως είναι φυσικό, με τις απαιτήσεις, που τίθενται και τις οποίες καλούνται οι EM να ικανοποιήσουν (παραγρ. 1.3.3). Ως κεντρικός άξονας αναπτύξεως των σύγχρονων EM κοπής είναι δυνατό να θεωρηθεί η επίτευξη της μέγιστης δυνατής ποσοτικής δυναμικότητας τους, κάτω από συνθήκες εξασφάλισης και διατηρήσεως της προβλεπόμενης εκάστοτε ακρίβειας διαστάσεων και μορφής, καθώς και βαθμού τραχύτητας επιφάνειας, της αναγκαίους ασφάλειας λειτουργίας, καθώς επίσης και καθορισμένης περιβαλλοντολογικής συμπεριφοράς και όλα αυτά κατά τον πλέον οικονομικό τρόπο- ακόμη και η κάλυψη ειδικών κατασκευαστικών απαιτήσεων, όπως είναι η κατεργασία ειδικών ιδιόμορφων τεμαχίων, τεμαχίων με απαιτήσεις λίαν υψηλής ποιότητας κ.ά.

Οι γενικές τάσεις σχεδιάσεως και αναπτύξεως των EM κοπής συνοψιζόμενες έχουν ως εξής:

α) Οι λειτουργικές ταχύτητες αυξάνονται, για να ελαττωθεί ο χρόνος κοπής [σχέση(1.6)]. Τούτο οδηγεί σε αύξηση των τύπων EM υψηλών περιστροφικών ταχυτήτων.

β) Εφαρμόζονται ευρύτερα στην πράξη συστήματα συνεχούς μεταβολής των περιστροφικών ταχυτήτων, που επιτρέπουν τη χρήση βέλτιστων συνθηκών κατεργασίας (ταχύτητας κοπής και προώσεως) από τη μια μεριά και την αλλαγή των συνθηκών αυτών χωρίς παύση της EM από την άλλη.

γ) Αυξάνεται ο ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου [σχέση (1.5)], που εξαρτάται ως γνωστόν, από την ταχύτητα κοπής, από τη στιβαρότητα της EM και από τη διαθέσιμη ισχύ της. Πέραν όλων αυτών, το μέγεθος του ρυθμού αφαιρέσεως

μετάλλου επηρεάζεται και από τις ευκολίες, τις οποίες διαθέτει η ΕΜ για την απομάκρυνση των αποβλήτων από τη θέση κατεργασίας. Επί πλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις ο ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου εξαρτάται και από την ασφάλεια έναντι ατυχήματος του χειριστή, την οποία παρέχει η ΕΜ (αποφασιστικός παράγοντας για εκτέλεση λ.χ. λειάνσεως υψηλών ταχυτήτων κοπής).

δ) Η τάση για αύξηση της ακρίβειας κατεργασίας και για την καλύτερευση του βαθμού τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών είναι συνεχής και αδιάλειπτη. Στην προκειμένη περίπτωση δεν αρκεί μόνο η σωστή σχεδίαση, κατασκευή και συναρμολόγηση της εργαλειομηχανής, αλλά παίζει σημαντικό ρόλο και η ικανότητα και οι δυνατότητες των μετρητικών οργάνων, συσκευών και διατάξεων, που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ΕΜ τόσο κατά τη διάρκεια της κατασκευής της, όσο και σαν έτοιμου προϊόντος.

ε) Η ισχύς του συστήματος της κύριας μεταδόσεως κινήσεως αυξάνεται, για να μπορεί να ανταπεξέρχεται η ΕΜ σε αυξημένους ρυθμούς αφαιρέσεως μετάλλου καιTM πολλές φορές, στη σύγχρονο λειτουργία περισσότερων από ένα εργαλείων,

στ) Η στατική και δυναμική συμπεριφορά της ΕΜ βελτιώνεται, ώστε να καθίσταται εφικτή η χρησιμοποίηση υψηλότερων λειτουργικών ταχυτήτων, καθώς και αυξημένης ισχύος με σύγχρονο, βεβαίως, κάλυψη των ποιοτικών απαιτήσεων.

ζ) Οι ΕΜ εφοδιάζονται, με ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό, με ποικιλία διατάξεων προσδέσεως εργαλείων και τεμαχίων ακόμη, με εξαρτήματα και υποβοηθητικές συσκευές και διατάξεις, η χρησιμοποίηση των οποίων αποσκοπεί στη μείωση του συνολικού χρόνου κατεργασίας. Ως διατάξεις αυτού του είδους μπορούμε να αναφέρομε τις διατάξεις ταχείας αλλαγής εργαλείων και τεμαχίων, αυτόματες διατάξεις μετρήσεων κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, που πολλές φορές έχουν τη δυνατότητα αναδράσεως για ρύθμιση τον εργαλείου (διορθωτικός ή προσαρμοστικός έλεγχος: adaptive control). διατάξεις υποβοηθήσεως (ή και αυτομάτου) προσδέσεως του ακατέργαστου τεμαχίου ή απομακρύνσεως του έτοιμου κ.ά. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε και τη σχετικά πρόσφατη ανάπτυξη της ρομποτικής και την συνακόλουθο εισαγωγή των βιομηχανικών ρομπότ, ιδιαίτερα στα σύγχρονα συστήματα αυτοματοποιήσεως της μηχανουργικής παραγωγής. Μία άλλη τάση είναι οι ΕΜ να εφοδιάζονται με ειδικές διατάξεις και εξαρτήματα, ώστε να επεκτείνεται η περιοχή εφαρμογών του και να μην παρίσταται ανάγκη κατεργασίας του τεμαχίου διαδοχικά σε περισσότερες εργαλειομηχανές, με αντίστοιχες νέες προσδέσεις του και με τα συνακόλουθα σφάλματα που συμβαίνουν.

η) Εφαρμόζονται ευρύτατα, με αυξανόμενο ρυθμό εφαρμογών στις ΕΜ κοπής, οι επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις σε κλάδους που σχετίζονται με τη σχεδίαση και γενικά με την ανάπτυξη των ΕΜ. Τέτοιοι κλάδοι είναι η ηλεκτροτεχνία, η υδραυλική, η ηλεκτρονική και ιδιαίτερα η πληροφορική, η οποία μέσοι των ηλεκτρονικών υπολογιστών, μικροϋπολογιστών, μικροεπεξεργαστών κ.ά. έχει παίξει το βασικό ρόλο στην ανάπτυξη των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση και των σύγχρονων συστημάτων αυτοματιοποίησης της μηχανουργικής παραγωγής.

θ) Ο κύκλος" κατεργασίας αυτοματιοποιείται προς ελάττωση του χρόνου κατεργασίας, με σύγχρονο όμως επίτευξη της απαιτούμενης ακρίβειας ανεξάρτητα από τη δεξιότητα του τεχνίτη. Επιπροσθέτως, μειώνεται η πνευματική προσπάθεια του τεχνίτη (χειριστή), ώστε να του δίνεται η ευκαιρία να συγκεντρώνεται σε εργασίες, που δεν μπορούν πάντοτε να προβλεφθούν και που απαιτούν άμεσο λήψη αποφάσεως ή ανάληψη διορθωτικών ενεργειών.

Αναφορικά προς τις μη αυτοματιοποιημένες ΕΜ, μνημονεύαμε την εισαγωγή ψηφιακών συσκευών για παρακολούθηση (μετρήσεις) της ταχύτητα; κοπή; και προώσεως, της θέσεως εργαλείου και τεμαχίου, όπως και για διακόσων ειδών μετρήσεις πατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Οι σημαντικές όμως εξελίξεις έχουν λάβει χώρα στο πεδίο των αυτοματιοποιημένων ΕΜ και ιδιαίτερα εκείνων με ψηφιακή καθοδήγηση και των συναφών με αυτές συστημάτων.

Περισσότερες σχετικές πληροφορίες θα δώσομε στο οικείο Κεφάλαιο. Προσθέτουμε όμως τη γενική παρατήρηση, ότι τόσο για τη σχεδίαση των διαφόρων μερών μίας ψηφιακά καθοδηγούμενης ΕΜ, όσο και για την κατασκευή και τον έλεγχο της, χρησιμοποιείται ότι καλλίτερο έχει να παρουσιάσει η σύγχρονη τεχνολογία (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, μικροεπεξεργαστές, μετατροπείς αναλογικοί - ψηφιακοί και αντιστρόφως, αισθητές, σερβοκινητήρες, βηματικοί ηλεκτροκινητήρες, κυκλώματα αναδράσεως κλπ.).

Δεν θα πρέπει να παραλείψαμε και την τάση αναπτύξεως του καλούμενου *διορθωτικού* ή *προσαρμοστικού ελέγχου*, ενός συστήματος, που συμπληρώνει τη διαδικασία αυτοματιοποίησης των ΕΜ κοπής διορθώνοντας με τη βοήθεια κατάλληλων κυκλωμάτων τυχόν αποκλίσεις από καθορισμένα εκ των προτέρων μεγέθη, λόγω αναπόφευκτων μεταβολών, που συμβαίνουν κατά την κατεργασία (λ.χ. φθορά του

εργαλείου, ανομοιογένεια στο κατεργαζόμενο υλικό κ.ά.). Ένα τέτοιο σύστημα έχει χαρακτήρα συστήματος αναδράσεως και συστήματος βέλτιστου ελέγχου με χαρακτηριστικές λειτουργίες: αναγνώριση, απόφαση, ενέργεια (δράση).

ι) Οι σύγχρονες ανάγκες για εξειδικευμένα και περιορισμένης σχετικά ωφέλιμης ζωής μηχανουργικά προϊόντα μετέθεσαν το ενδιαφέρον των κατασκευαστών από τη μαζική παραγωγή σε συστήματα παραγωγής σε μερίδες μικρού σχετικά μεγέθους.

Το είδος αυτό παραγωγής απαιτεί ευελιξία των μέσων παραγωγής και στην προκείμενη περίπτωση και των ΕΜ κοπής. Έτσι, έχει επικρατήσει μία τάση προς την κατεύθυνση απλουστεύσεως των μέσων μηχανουργικής παραγωγής εν γένει.

Μια περαιτέρω τάση προς λύση του προβλήματος συνδυασμού ευελιξίας και απλουστεύσεως εργαλείο μηχανών είναι η σχεδίαση και κατασκευή ΕΜ με μεθόδους τυποποιημένων δομικών και άλλων μονάδων. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα ελκυστική για ΕΜ, που πρόκειται να εγκατασταθούν σε μηχανουργεία, όπου χρησιμοποιούνται μέθοδοι τεχνολογίας ομαδοποιήσεως με κυψελωτή διάταξη των ΕΜ.

Στο σημείο αυτό, είναι ανάγκη να τονίσουμε ότι τάσεις βελτιώσεως εμφανίζονται και στις αυτοματοποιημένες σειρές εργαλειομηχανών για τη ροϊκή παραγωγή μηχανουργικών προϊόντων.

ια) Πληθύνεται ο αριθμός των ΕΜ με σύγχρονο χρήση πολλών εργαλείων, όπως πχ πολυάτρακτων δραπάνων, φρεζομηχανών, κ.ά.

ιβ) Καταβάλλονται προσπάθειες αυξήσεως του βαθμού χρησιμοποίησεως των μεγάλου μεγέθους ΕΜ με επέκταση του πεδίου εφαρμογών τους με τη διενέργεια μετασκευών. Σε τραπεζοπλάνες, λ.χ., προσαρμόζονται εργαλειομηχανές φρεζαρίσματος,

ιγ) Σε εργαλειομηχανές μεγάλης και υψίστης ακριβείας εφαρμόζονται, όλο και σε μεγαλύτερη έκταση, συσκευές (κυρίως οπτικές) για ακριβή έλεγχο της σχετικής θέσεως εργαλείου - τεμαχίου και συναφείς μετρήσεις συντεταγμένων. Τυπικές περιπτώσεις εφαρμογών εντοπίζονται σε λειαντικές μηχανές μορφής, σε ΕΜ εσωτερικής τριβής ακριβείας, κ.λπ.

ιδ) Παρατηρείται η τάση εφαρμογής της λειάνσεως υψηλών ταχυτήτων κοπής, κυρίως ως κατεργασία εκχονδρίσεως, δηλαδή υψηλού ρυθμού αφαιρέσεως μετάλλου- επίσης και αυξήσεως του ρυθμού αφαιρέσεως μετάλλου στις

κατεργασίες υψίστης ακριβείας, όπως είναι το χόνιγκ και το λάππιγκ.

Τέλος, η σχεδίαση των διαφόρων στοιχεί(ον της ΕΜ, αλλά και αυτής καθαυτής ως μηχανολογικού συνόλου, διευκολύνεται με την εφαρμογή μεθόδων σχεδίασεως με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD), καθώς επίσης και από διαθέσιμα έτοιμα σχετικά προγράμματα, από κατασκευαστικούς καταλόγους κ.ά. Προσέτι, για τη διενέργεια δοκιμών τόσο κατά τη σχεδίαση, όσο και κατά την κατασκευή της ΕΜ, αλλά και για δοκιμές και αξιολόγηση της έτοιμης ΕΜ, χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα συσκευές και διατάξεις. Η τάση είναι η όσο το δυνατόν σε ευρύτερη έκταση και βάθος ανάπτυξη όλων αυτών των βοηθητικών μέσων για τη σχεδίαση, τον έλεγχο και την αξιολόγηση της εργαλειομηχανής.

3.5. Η επιλογή , οι προδιαγραφές και οι δοκιμασίες παραδοχές των εργαλειομηχανών κοπής.

3.5.1.Γενικά.

Η επιλογή εργαλείο μηχανών (κατά είδος και τύπο) για την εκτέλεση συγκεκριμένου μηχανουργικού έργου (μορφοποίηση με κοπή τεχνολογικών επιφανειών δεδομένου τεμαχίου, με προκαθορισμένη ακρίβεια διαστάσεων και μορφής, όπως και βαθμό τραχύτητας και μάλιστα στο χαμηλότερο δυνατό κόστος) αποτελεί μείζονος σημασίας λειτουργία στη σειρά των αναγκαίων συναφών παραγωγικών διαδικασιών [εκλογή είδους κατεργασίας, εργαλείων (υλικό και γεωμετρία) και ιδιοσυσκευών, παραγόντων κοπής κ.ά.]. Και πιο συγκεκριμένα: Η εν λόγω εκλογή ΕΜ" μπορεί να γίνει είτε μεταξύ διαθέσιμων ΕΜ στο μηχανουργείο, είτε μέσω.) προμήθειας, αφού καταρτισθούν σωστές σχετικές προδιαγραφές- επί πλέον, είναι δυνατόν η προμήθεια να ενταχθεί σε κάποιο μεσοπρόθεσμο (ή μακροπρόθεσμο) πρόγραμμα αντικαταστάσεως παλαιωμένων (και αντιοικονομικά λειτουργούσων) ΕΜ ή/και καλύψεως μελλοντικών αναγκών σε συσχέτιση με προγράμματα παραγωγής, επεκτάσεως κτηριακών εγκαταστάσεων κ.λπ. Η περίπτωση προμήθειας είναι γενικότερη και πιο περίπλοκη και οπωσδήποτε καλύπτει τη διαδικασία επιλογής από υπάρχουσες ΕΜ. Με την επιλογή ΕΜ συνάπτονται τόσο η κατάρτιση προδιαγραφών, όπως έχουμε προαναφέρει, όπως και ο καθορισμός δοκιμών παραδοχής τους.

3.5.2. Επιλογή εργαλειομηχανών κοπής.

A. Κύριες περιπτώσεις αντικατάστασης εργαλειομηχανών κοπής.

Ως σοβαρούς λόγους αντικατάστασης, άρα και επιλογής και προμήθειας EM θεωρούμε τους ακόλουθους:

- α) Την απώλεια ακριβείας σε οικονομικά ασύμφορο βαθμό και την ανάγκη για υψηλού, απαράδεκτου κόστους συντήρηση.
- β) Τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις για υψηλότερο βαθμό λειτουργικότητας και αξιοπιστίας των μηχανουργικών προϊόντων,
- γ) Τις τεχνολογικές εξελίξεις συγκροτήσεως και αποδόσεως εν γένει των EM (παραγρ.3.2), που αποσκοπούν στη μείωση του κόστους, στη βελτίωση συνθηκών εργασίας στο μηχανουργείο, όπως και της περιβαλλοντολογικής συμπεριφοράς του και άλλων.
- δ) Την αύξουσα έλλειψη του αναγκαίου ειδικευμένου προσωπικού, γεγονός που μπορεί να αντιμετωπισθεί, ως ένα βαθμό, με αντικατάσταση συμβατικών απλών EM από αυτοματοποιημένες (συμβατικές ή σύγχρονες με ψηφιακή καθοδήγηση), όπου όμως απαιτείται προσωπικό με υψηλού επιπέδου γνώσεις και εμπειρία.
- ε) Την επίτευξη επάρκειας υφιστάμενου ωφελίμου χώρου με την εγκατάσταση νέων EM, που να προσαρμόζονται στο χώρο αυτό και έτσι να εκτελείται το αναγκαίο μηχανουργικό έργο χωρίς επέκταση κτηριακών εγκαταστάσεων.
- στ) Μεταβολές στο μέγεθος της παρτίδας παραγωγής. Το μέγεθος της παρτίδας επηρεάζει σοβαρά το κόστος παραγωγής μέσω του χρόνου γενικής ρυθμίσεως EM και ιδιοσυσκευών, ιδιαίτερα στην κατεργασία τεμαχίων με περίπλοκη μορφή. Εδώ σημειώναμε χαρακτηριστικά, ότι η διαπιστούμενη στην εποχή μας τάση μειώσεως του μεγέθους των παρτίδων [εξαιτίας της ταχύρρυθμης πάσης φύσεως ανανεώσεως των ποικίλων προϊόντων), οδήγησε στην ανάπτυξη και εισαγωγή στη μηχανουργική βιομηχανία των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης και των συναφών συστημάτων.

B. Διαδικασία επιλογής.

Οι πληροφορίες, που ακολουθούν, δίδονται ως οδηγός για μία, κατά το δυνατόν, σωστή σειρά ενεργειών επιλογής EM.

- α) Τα χαρακτηριστικά του τεμαχίου:

Το μέγεθος του τεμαχίου προσδιορίζει και το μέγεθος της ΕΜ.

Το σχήμα των προς μορφοποίηση επιφανειών του τεμαχίου καθορίζει το είδος και τον τύπο της εργαλειομηχανής, που πρέπει να επιλεγεί.

Οι απαιτήσεις γεωμετρικής ακριβείας, όπως και βαθμού τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών, προφανώς στο βαθμό που τούτο εξαρτάται από την ΕΜ (στο μηχανουργικό σύστημα: Κ-ΕΜ-Τμ-Ε).

Οι απαιτήσεις για παραγωγικότητα εν γένει προσδιορίζουν τόσο την ονομαστική ισχύ της ΕΜ, όσο και τις ασκούμενες δυνάμεις κοπής, αλλά και τις σχετικές συνέπειες τους.

Η τυχόν δυνατότητα ομαδοποίησης τεμαχίων βάσει της μορφής τους ή/και της αλληλουχίας των φάσεων κατεργασίας τους.

β) Το είδος (μέθοδος) κατεργασίας:

Μας είναι γνωστό ότι ίδιες κατά μορφή επιφάνειες μπορούν να κατεργαστούν με διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας (Πίνακας 1.3), άρα και στις αντίστοιχες ΕΜ. Για πιο αποδοτική συναφή επιλογή κατεργασίας και ΕΜ, είναι αναγκαία η συνεργασία σχεδιαστή μηχανικού - μηχανικού παραγωγής (σχεδιασμού - μηχανουργικής παραγωγής). Μία αμφίδρομη τέτοια συνεργασία έχει ήδη καθιερωθεί τόσο σε συμβατική αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, όσο και σε σύγχρονη με την εισαγωγή του συστήματος CAD/CAM, με το οποίο θα ασχοληθούμε στο σχετικό με τα σύγχρονα συστήματα μηχανουργικής παραγωγής κεφάλαιο.

γ) Το μέγεθος της παρτίδας παραγωγής και η δυνατότητα ομαδοποίησης τεμαχίων:

Το μέγεθος της παρτίδας παραγωγής επηρεάζει σοβαρά το κόστος παραγωγής-ωστόσο είναι και καθοριστικό στην επιλογή του είδους και του τύπου της ΕΜ (λχ. σε περίπτωση τρνέυσεως είναι δυνατόν ανάλογα να γίνει επιλογή ενός απλού τόννου, ενός ημιαυτόματου ή ενός τόννου με ψηφιακή καθοδήγηση).

Έτσι, σε περιπτώσεις που το κόστος του αναγκαίου εξοπλισμού (ειδικά εργαλεία, ιδιοσυσκευές κ.λπ.) και των ρυθμίσεων είναι υψηλό, τότε και το μέγεθος της παρτίδας θα είναι μεγάλο. Αν το μέγεθος παρτίδας είναι σχετικά μικρό τότε, με εφαρμογή της ομαδοποίησης τεμαχίων, είναι δυνατόν να επιτύχαμε κατανομή του υψηλού κόστους εξοπλισμού και ρυθμίσεων σε μεγαλύτερο αριθμό τεμαχίων και, συνεπώς, μείωση του

κόστους παραγωγής.

δ) Το είδος και ο τύπος της εργαλειομηχανής και ιδιοσυσκευές και ειδικά εργαλεία:

Μετά την απόφαση εκλογής μεθόδου κατεργασίας, ακολουθεί η επιλογή του είδους EM και η μελέτη εναλλακτικών τύπων. Για την τελική επιλογή τύπου EM και του βαθμού αυτοματισμού της (παραγρ. 1.3.2.6.), πέραν του μεγέθους και της μορφής των προς κατεργασία τεμαχίων και άλλων παραγόντων [ιδέ (B) παραπάνω], σημαντικό ρόλο παίζει και το μέγεθος παρτίδας- ακόμη και οι απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό.

3.5.3. Κατάρτιση προδιαγραφών εργαλειομηχανών.

A. Γενικές οδηγίες.

Οι *προδιαγραφές* μίας εργαλειομηχανής κοπής (ή τα *τεχνικά χαρακτηριστικά* της) περιλαμβάνουν κατά βάση τα γεωμετρικά, κινηματικά, τεχνολογικά και κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ή απαιτήσεις του χρήστη. Καταρτίζονται μετά την επιλογή τύπου EM.

Ούτως, προδιαγράφονται:

- Ένα ή περισσότερα πρωτεύοντα (ή κύρια) μεγέθη και
- όσα μεγέθη ή χαρακτηριστικά της EM κρίνονται αναγκαία να απαιτηθούν, ώστε η εργαλειομηχανή να επιτελέσει κατά τον καλλίτερο δυνατό τρόπο το σκοπό για τον οποίον προορίζεται.

Ως παράδειγμα, αναφέρουμε ότι για ένα συνήθη τόρνο πρωτεύοντα προδιαγραφόμενα μεγέθη είναι: η *απόσταση μεταξύ κέντρου*, που καθορίζει το μέγιστο μήκος τεμαχίου το οποίο μπορούμε να κατεργασθούμε στον τόρνο και το *ύψος κέντρων* από την επιφάνεια των ολισθητήρων από το οποίο προσδιορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος τεμαχίου. Δευτερεύοντα προδιαγραφόμενα μεγέθη και χαρακτηριστικά μπορεί να είναι: ο αριθμός περιστροφικών ταχυτήτων και προώσεων, το εύρος περιστροφικών ταχυτήτων και προώσεων, οι δυνατότητες μορφοποιήσεως σπειρωμάτων, η ονομαστική ισχύς, το συνολικό βάρος, οι ολικές διαστάσεις, απαιτούμενος βοηθητικός εξοπλισμός, περιβαντολλογικές απαιτήσεις (όπως π.χ. το ύψος θορύβου) κ.ά. Τέλος, μνημονεύαμε και την ακρίβεια (διαστάσεων και μορφής) μαζί με το βαθμό τραχύτητας των τεμαχίων που απαιτούμε από την EM. Στο θέμα αυτό θα

επανεέλθομε στην παράγραφο 1.3.5.3.

Μετά την κατάρτιση των προδιαγραφών και στον κατάλληλο χρόνο, προκηρύσσονται συνήθως οι προς προμήθεια ΕΜ (είναι δυνατή άλλωστε και η κατευθείαν ανάθεση της προμήθειας σε ορισμένο κατασκευαστή οίκου -προμηθευτή). Ο προμηθευτής μπορεί (εφόσον το κρίνει αναγκαίο ή αν αυτό ζητείται από το χρήστη) να υποβάλλει στην προσφορά του, πέραν των ζητούμενων βάσει των προδιαγραφών στοιχείων και συμπληρωματικές πληροφορίες, όπως είναι: τα προσόντα των χειριστών, οι απαιτήσεις εδράσεως της ΕΜ. οι συνθήκες ασφαλείας που πρέπει να πληρούνται, διαθέσιμες ευκολίες συντηρήσεως και επισκευών κ.ά. Προσέτι, ο κατασκευαστής οίκος είναι δυνατόν να κάνει και κατ' εναλλαγή προσφορές.

Και μία σημαντική παρατήρηση: Για ευνόητους λόγους, καλό θα είναι να καθορίζεται ένα αποδεκτό από τον χρήστη εύρος ανοχών οποιαδήποτε για τα πρωτεύοντα προδιαγραφόμενα μεγέθη, όπως και για κρίσιμα δευτερεύοντα μεγέθη.

Τέλος, οι προσφορές αξιολογούνται συνήθως από επιτροπή εμπειρογνομόνων, η οποία κατακυρώνει (ή προτείνει την κατακύρωση) την προμήθεια ΕΜ, που οπωσδήποτε καλύπτουν τις προδιαγραφές με συμφέρον όμως κόστος προμηθείας. Προς διευκόλυνση κατάρτισεως προδιαγραφών για βασικά είδη εργαλειομηχανών (τόρνοι, φρεζομηχανές, πλάνες, δράπανα και λειαντικά μηχανήματα), στα πλαίσια δύο επί διπλωμάτη εργασιών¹ υπό την εποπτεία του συγγραφέα, πραγματοποιήθηκε συλλογή σχετικών στοιχείων και πινακοποίηση. όπως και στατιστική ανάλυση τους. Το υλικό επιλέχθηκε από καταλόγους κατασκευαστών ΕΜ, από τεχνικά εγχειρίδια και από λοιπές διαθέσιμες πηγές.

Επί πλέον, έχουν πινακοποιηθεί προδιαγραφόμενα στοιχεία και για ΕΜ μορφοποίησεως οδοντώσεων (γρναζοκόπτες, ΕΜ αποξέσεως οδοντώσεων και λειαντικά μηχανήματα οδοντώσεων), σπειρωμάτων κ.ά. Από στατιστική ανάλυση απλής και πολλαπλής παλινδρομήσεως προέκυψαν γραμμικές (ως επί το πλείστον) συσχετίσεις μεταξύ της ονομαστικής ισχύος διαφόρων ειδών ΕΜ και βασικών τους προδιαγραφόμενων μεγεθών. Συσχετίσεις με τιμές του συντελεστή συσχετίσεως μεγαλύτερες του 0,90 θεωρήθηκαν λίαν ικανοποιητικές, ενώ τιμές από 0,90 έως 0,75 αποδεκτές.

Στοιχεία υποβοηθητικά της κατάρτισης προδιαγραφών, σύμφωνα με όσα έχουμε προσημειώσει, θα παραθέταμε για κάθε είδος ΕΜ στα οικεία κεφάλαια μελέτης και διεξαγωγής των κατεργασιών, που θα ακολουθήσουν.

Β. Προτυποποιημένα στοιχεία χρήσιμα στην κατάρτιση προδιαγραφών εργαλειομηχανών κοπής.

α.) Περιστροφικές ταχύτητες και ταχύτητες προώσεως:

Ανεξάρτητα από την πρωτεύουσα κίνηση (είναι δυνατό να είναι περιστροφική ή μεταφορική) μίας ΕΜ και από την κίνηση προώσεως (συνήθως είναι μεταφορική, μπορεί όμως να είναι και περιστροφική όπως λ.χ. συμβαίνει σε εργαλείο μηχανές μορφοποίησης οδοντώσεων), η κίνηση των στοιχείων μεταδόσεως της είναι συνήθους περιστροφική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΤΟΡΝΕΥΣΗ

4 1. ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΡΝΕΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΟΡΝΩΝ

4.1.1. Κινηματική και είδη Τορνεύσεως.

Η **τόρνευση** ανήκει στην ομάδα ταξινομήσεως των κατεργασιών κοπής (Πίνακας 1.2) με περιστροφική την πρωτεύουσα κίνηση και μεταφορική την κίνηση προώσεως, εκτελείται δε με εργαλείο καθορισμένης γεωμετρικής μορφής απλής (μιας) κύριας κόψης (σχ. 2.1 β).

Βάσει της κατευθύνσεως του άξονα περιστροφής του τεμαχίου ή *άξονα τορνεύσεως¹*, διακρίναμε την τόρνευση ως **οριζόντια** ή ως **κατακόρυφη** προφανώς, εφόσον ο άξονας τορνεύσεως είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος,

Γενικά, μπορούν να τορνευθούν επιφάνειες εκ περιστροφής εξωτερικές, όσο και εσωτερικές. Ούτως, έχουμε αντίστοιχα εξωτερική ή εσωτερική τόρνευση.

Περαιτέρω, διάφοροι κινηματικοί τύποι (είδη) τορνεύσεως προκύπτουν με βάση την αμοιβαία σχέση των κύριων λειτουργικών κινήσεων, δηλαδή της *πρωτεύουσας κινήσεως* και της *κινήσεως προώσεως*. Διακρίναμε έτσι:

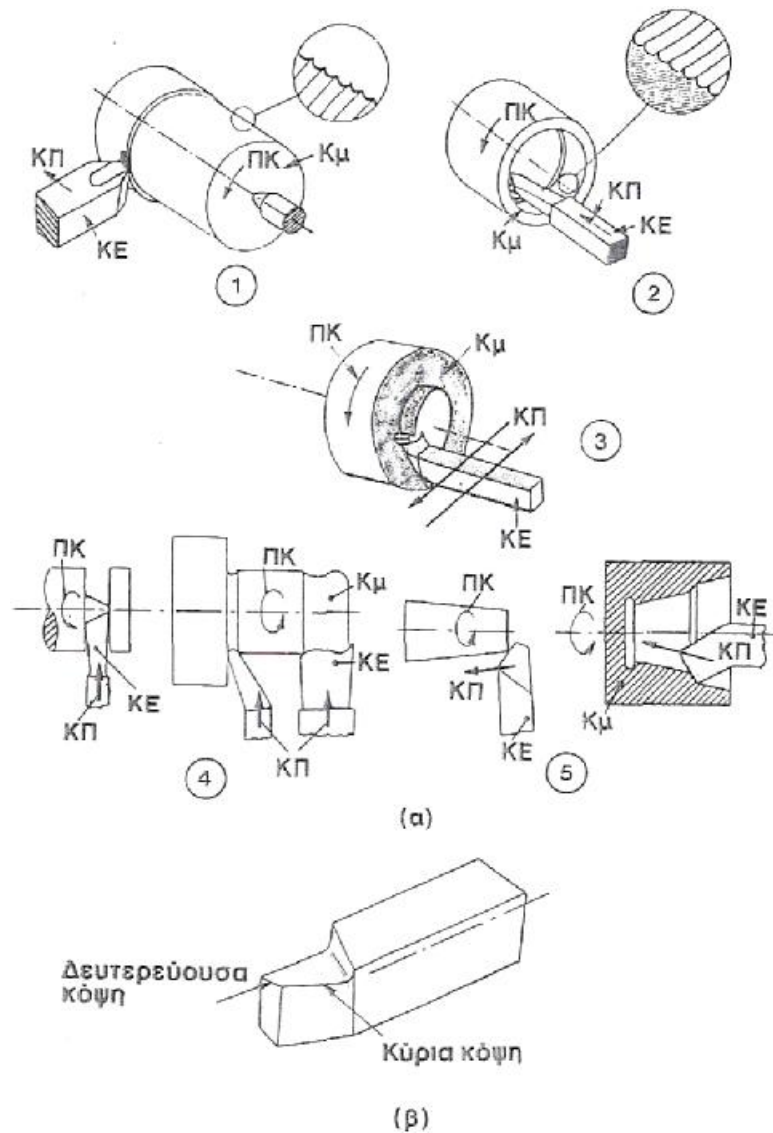
- Την εξωτερική και εσωτερική *κατά μήκος* ή *διαμήκη* *τόρνευση*, όταν η κίνηση

προώσεως βαίνει παράλληλα προς τον άξονα τорνεύσεως [σχ. 2.10(1,2)].

- Την εξωτερική και εσωτερική εγκάρσια τόρνευση, όταν η κατεύθυνση της κινήσεως προώσεως είναι κάθετη προς τον άξονα τорνεύσεως. Επί πλέον, η εγκάρσια τόρνευση συναντάται ως μετωπική τόρνευση [σχ. 4.1 α(3)] και ως ακτινική τόρνευση.

Η πρώτη διακρίνεται περαιτέρω σε μετωπική τόρνευση με φορά της κινήσεως προώσεως από την περιφέρεια του τεμαχίου προς το κέντρο του ή και αντιστρόφως, ενώ στην ακτινική περιλαμβάνονται η αποκοπή και η τόρνευση μορφής [σχ. 4.1.(α)4].

1. θεωρητικά είναι ο νοητός άξονας του κυλινδρικού τεμαχίου, που συμπίπτει με το νοητό επίσης άξονα της ατράκτου του τόρνου. Στις εφαρμογές όμως οι δύο αυτοί άξονες εμφανίζουν αποκλίσεις, που πρέπει να κυμαίνονται μέσα σε επιτρεπτά όρια.

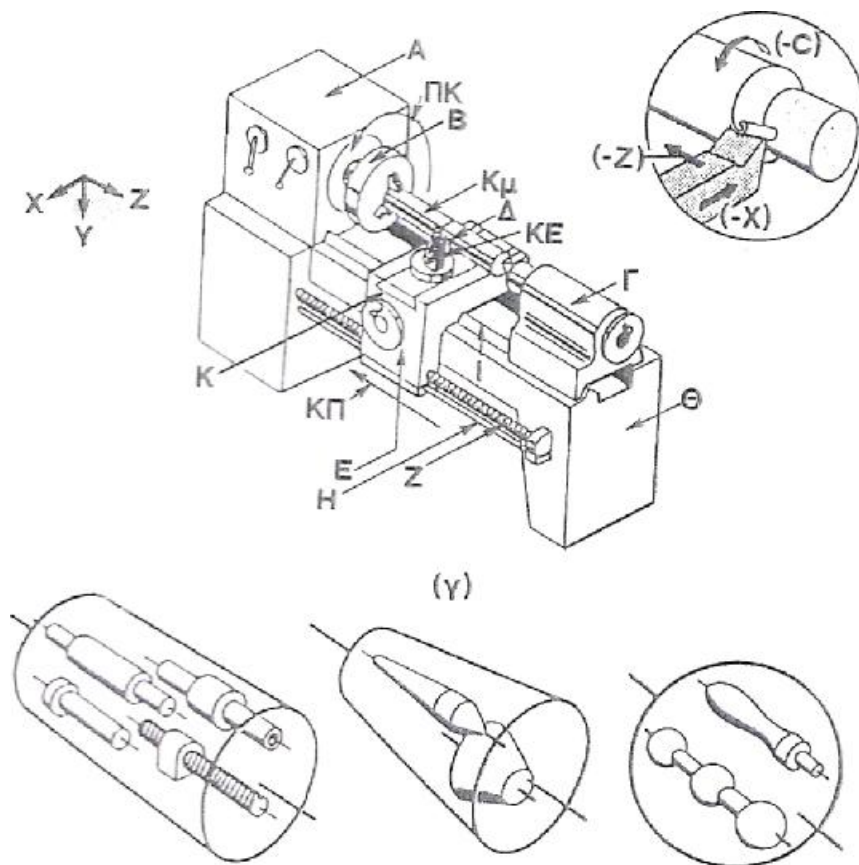


Σχ. 4.1 (συνεχίζεται)

Τόρνευση και τόρνος.

(α) Κινηματική της τорνεύσεως:

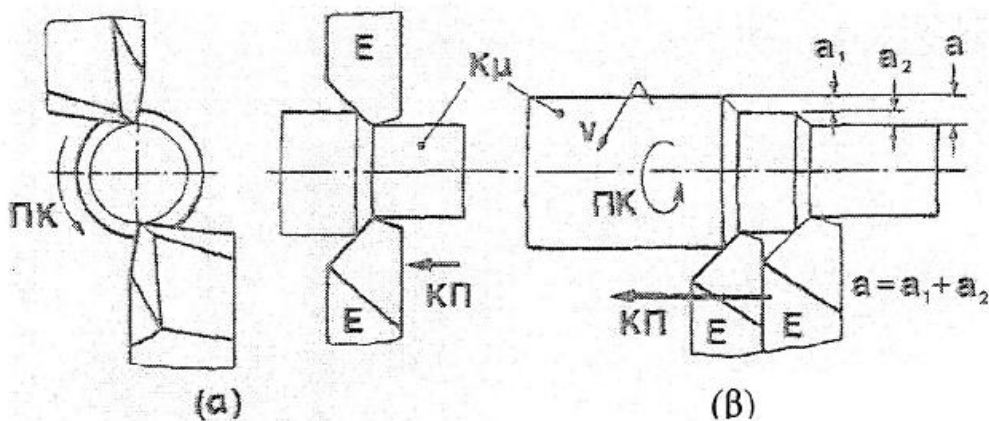
- 1) Διαμήκης εξωτερική τόννευση.
 - 2) Διαμήκης εσωτερική τόννευση.
 - 3) Μετωπική τόννευση.
 - 4) Ακτινική τόννευση: αποκοπή και τόννευση μορφής.
 - 5) Εξωτερική και εσωτερική κωνική τόννευση
- (β) Το κοπτικό εργαλείο της τόννευσης.



Σχ. 4.1
Τόννευση και τόννος,

Πέραν των εργασιών τρνεύσεως, που μόλις προαναφέραμε, είναι δυνατή η εκτέλεση και άλλων στα ποικίλα είδη τόνων, που χρησιμοποιούνται στη μηχανουργική πράξη, όπως π. χ. είναι η σπειροτόμηση στο συνήθη γενικής χρήσεως διαμήκη τόννο. Στο σχήμα 4.1.δ εικονίζονται τυπικές μορφές κομματιών (και επιφανειών), που μορφοποιούνται με τρνευση.

Εκτός από την τρνευση με εργαλείο απλής κύριας κόψης, χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις εφαρμογών και η τρνευση με πολλά εργαλεία (οππού αποκόπτουν συγχρόνως περισσότερα του ενός εργαλεία) που μπορεί να εκτελεσθεί είτε με διαιρούμενη την πρόωση (σχ. 4.2α) είτε με διαιρούμενο το βάθος κοπής (σχ. 4.2β).



Σχ. 4. 2

Σχηματική παράσταση τρνεύσεως με πολλά εργαλεία:
α) με διαιρούμενη την πρόωση και β) με διαιρούμενο το βάθος κοπής.

4.1.2. Ταξινόμηση, μορφολογία και προδιαγραφές τόνων

Στην παράγραφο αυτή θα επιχειρήσουμε σύντομη περιγραφή και αναφορά λειτουργικών και άλλων χαρακτηριστικών των κύριων ειδών τόνων, που

χρησιμοποιούμε στη μηχανουργική βιομηχανία. Επιπροσθέτως, θα δώσουμε στοιχεία χρήσιμα για την κατάρτιση προδιαγραφών τους, συμβάλλοντας έτσι στην κατά το δυνατόν σωστή, εκάστοτε, επιλογή τόνων (ως χρήστες και / ή ως αγοραστές).

Σχετικά με την κατάταξη των τόνων βάσει ειδικών για αυτούς κριτηρίων ισχύει ό, τι έχουμε αναφέρει για τις εργαλειομηχανές γενικά.

Το σύστημα αυτοματοποίησης είναι ως επί το πλείστον, μηχανικό. Νεότεροι όμως τύποι είναι εφοδιασμένοι με ηλεκτροϋδραυλικούς ελέγχους, όπως και με υδραυλικές συσκευές συγκρατήσεως.

Στους ημιαυτόματους κατακόρυφους πολυάτρακτους τόνους τύπου συνεχούς κατεργασίας, ο φορέας των ατράκτων μαζί με μία περιβάλλουσα (εξωτερική) πολύπλευρη στήλη με τις αντίστοιχες εργαλειοφόρους κεφαλές αποτελούν ένα συγκρότημα, που περιστρέφεται συνεχώς γύρω από σταθερή εσωτερική στήλη. Ούτω, κάθε άτρακτος στην οποία προσδένεται τεμάχιο, έχει τη δική της εργαλειοφόρο κεφαλή για όλες τις αναγκαίες (και, προκαθορισμένες) φάσεις κατεργασίας. Ο κύκλος κατεργασίας σχεδιάζεται ούτως, ώστε κάθε τεμάχιο να μορφοποιείται στην ομόλογη άτρακτο και μάλιστα μέσα στο χρόνο που χρειάζεται το συγκρότημα του φορέα ατράκτων και της εξωτερικής πολύπλευρης στήλης για μία πλήρη περιστροφή, αφού όμως αφαιρεθεί ο χρόνος αποφορτώσεως και φορτώσεως τεμαχίων. Το αποτέλεσμα είναι προφανές: η κατεργασία περατούται με την είσοδο της κάθε ατράκτου στη ζώνη αποφορτώσεως-φορτώσεως. Εδώ, η περιστροφή της κάθε ατράκτου σταματά αυτομάτως, το έτοιμο τεμάχιο απορρίπτεται και η εργαλειομηχανή παίρνει την κανονική της θέση για κατεργασία νέου τεμαχίου. Ακολούθως, ο χειριστής απομακρύνει το έτοιμο τεμάχιο και τροφοδοτεί τον τόρνο με το νέο, που συγκρατείται αυτόματα, η άτρακτος αρχίζει να περιστρέφεται και η εργαλειοκεφαλή με ταχεία κίνηση προσεγγίζει το ακατέργαστο τεμάχιο. Είναι φανερό ότι, αν οι εργαλειομηχανές αυτές διαθέτουν αυτόματες συσκευές αποφορτώσεως και φορτώσεως τεμαχίων, τότε καθίστανται πλήρως αυτοματοποιημένες.

4.2. Εργαλεία τόννευσεως

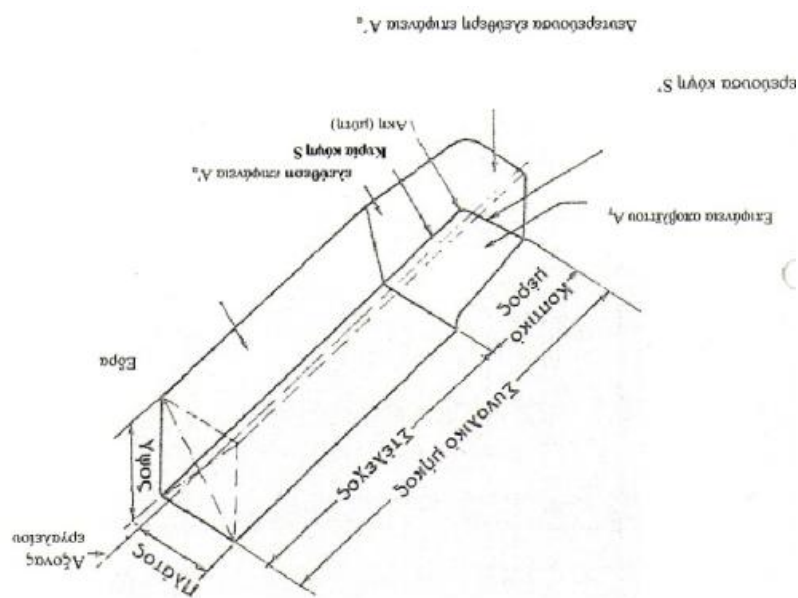
Όπως έχουμε διατυπώσει στην παράγραφο 1.2.3, κάθε κοπτικό εργαλείο, που το χρησιμοποιούμε για συγκεκριμένη κατεργασία, το εξετάζουμε από απόψεως μορφής

(γεωμετρικών χαρακτηριστικών) και υλικού κατασκευής του. Εκεί, ανακεφαλαιώσαμε βασικές (και χρήσιμες) ιδιότητες και χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής εργαλείων κοπής με έμφαση στους ταχυχάλυβες και στα σκληρομέταλλα. κατά συνέπεια εκείνο που απομένει, για να συμπληρωθεί το περί εργαλείων κοπής θεματικό αντικείμενο, είναι καταρχήν η αναφορά των προτυποποιημένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του τυπικού εργαλείου τρννεύσεως (εργαλείο μίας κύριας κόψης) και κατόπιν η παρουσίαση εργαλείων διαφόρων μορφών, που χρησιμοποιούνται στην τρννευση γενικά.

4.2.1. Η γεωμετρία του τυπικού εργαλείου τρννεύσεως(εργαλείου λοξής κοπής μιας κύριας κόψης)

4.2.1.1. Γενικά

Το κοπτικό εργαλείο της ορθογωνικής κοπής, που γνωρίσαμε, έχει την απλούστερη μορφή (παραγρ. 1.2.1.1 Α). Τα εργαλεία, που χρησιμοποιούνται στην πράξη, είναι πιο σύνθετα και τα διακρίνουμε σε δύο ομάδες: σε εργαλεία **μίας ή μόνης κύριας κόψης** και σε εργαλεία **πολλών κύριων κόψεων**.



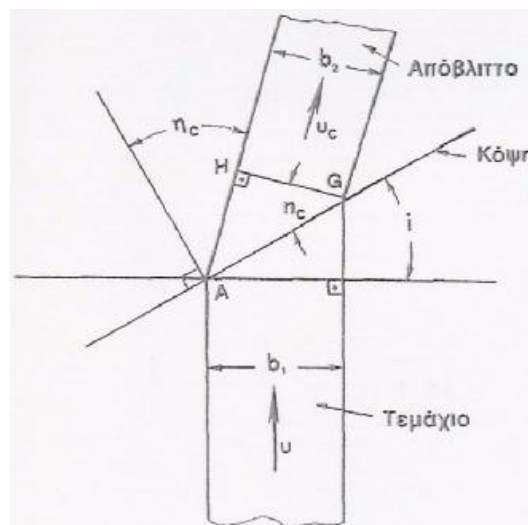
Σχ. 4.3

Το τυπικό εργαλείο τρννεύσεως

Το κοπτικό μέρος ενός εργαλείου, μιας κόψεως, για να μπορέσει αποδοτικά να

λειτουργήσει, μορφοποιείται με τη δημιουργία και μιας άλλης κόψης, της **δευτερεύουσας κόψης**. Οι δύο αυτές κόψεις συνδέονται από μία καμπύλη με καθορισμένη εκάστοτε ακτίνα καμπυλότητας, όπου σχηματίζεται η ακμή του εργαλείου. Η κύρια κόψη αφαιρεί τον όγκο του μετάλλου, ενώ η δευτερεύουσα ελέγχει την ποιότητα (τραχύτητα και λοιπά χαρακτηριστικά της κατεργασμένης επιφάνειας). Το εργαλείο μιας κύριας κόψης αντιπροσωπεύεται από το τυπικό εργαλείο τριαντίνης (σχ. 4.3), το οποίο κατά κανόνα είναι εργαλείο λοξής κοπής και το απλούστερο και συνηθέστερο από όλα. Με την τυποποίηση της γεωμετρίας του θα ασχοληθούμε αμέσως στη συνέχεια.

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε στις πιο βασικές από τις υπάρχουσες προδιαγραφές για τη γεωμετρική μορφή του τυπικού εργαλείου της τριαντίνης και πιο συγκεκριμένα στην προδιαγραφή του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης και στη βρετανική, στη γερμανική κατά DIN και στην



Σχ. 4.4

Η γωνία ή ροή του αποβλήτου η_c στη λοξή κοπή .

αμερικανική. Και πριν να αρχίσουμε τη συζήτηση για τα πρότυπα αυτά, θεωρούμε σκόπιμο να συμπληρώσαμε με συντομία τη λοξή κοπή. δεδομένου ότι το εργαλείο της τριαντίνης, με το οποίο θα ασχοληθούμε, είναι τυπικό εργαλείο λοξής κοπής.

Στη λοξή κοπή (σχ. 4.4). αν θεωρήσουμε ότι το πλάτος του αποβλήτου παραμένει αμετάβλητο κατά το σχηματισμό του, τότε το απόβλητο θα εκτραπεί από την κάθετη στην κόψη του εργαλείου κατά μία γωνία η_c (τη **γωνία εκτροπής** ή **ροής του αποβλήτου**), που προκύπτει ίση με τη **γωνία λοξότητας i** της κόψης. Πειραματικά

έχει αποδειχθεί ότι η ισότητα αυτή δεν ισχύει για πολλές περιπτώσεις της πράξεως, εν τούτοις όμως μπορούμε να τη δεχθούμε ως χονδρική προσέγγιση. Από την παρατήρηση αυτή προκύπτει ότι μεταβάλλοντας τη γωνία λοξότητας της κόψης, είμαστε σε θέση να αλλάζουμε (να ελέγχουμε) τη γωνία εκτροπής του αποβλήτου. Αυτό έχει μεγάλη σημασία στις πρακτικές εφαρμογές, γιατί με κατάλληλη ρύθμιση της γωνίας εκτροπής του αποβλήτου μπορούμε να το απομακρύνουμε εύκολα από την περιοχή της κοπής και να αποφεύγαμε έτσι δυσμενείς του επιδράσεις. Η δυνατότητα αυτή για έλεγχο της γωνίας εκτροπής του αποβλήτου αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της λοξής κοπής (σχ. 4.8).

4.2.1.2. Οι προδιαγραφές τον Διεθνούς Οργανισμού τυποποίησης (ISO/DIS 3002, 1973)

Και οι δύο αυτές παρόμοιες προδιαγραφές για τη γεωμετρία του τυπικού εργαλείου τριαντίνου (σχ. 1. 3) βασίζονται στη γωνία αποβλήτου γ_h του εργαλείου, την οποία μετρούμε στο κάθετο στην κόψη επίπεδο (σχ. 1.3).

Για τον προσδιορισμό των διαφόρων γωνιών του εργαλείου με ακρίβεια και τα δύο αυτά πρότυπα προβλέπουν δύο συστήματα επιπέδων: Το ένα σύστημα, το λεγόμενο **σύστημα ονομαστικών επιπέδων αναφοράς** το χρειαζόμαστε για να καθορίσουμε τη γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου για λόγους κατασκευής, τροχίσματος και ελέγχου των γωνιών του. Το άλλο το **σύστημα των ενεργών επιπέδων αναφοράς** απαιτείται για τον καθορισμό της γεωμετρίας του εργαλείου κατά τη χρήση του. Εξαιτίας δηλαδή της κινήσεως προώσεως κατά την εργασία του εργαλείου, αλλάζει η κατεύθυνση της συνισταμένης κινήσεως κοπής και από αυτό μεταβάλλεται το σύστημα των επιπέδων αναφοράς και οι ποικίλες γωνίες του εργαλείου. Για πλήρη όμως σύνδεση και συσχέτιση των δύο συστημάτων επιπέδων αναφοράς που σημειώσαμε, χρειάζεται να ορίσουμε και δυο ακόμη ομάδες γωνιών: εκείνες, που καθορίζουν τη θέση του εργαλείου στην εργαλειομηχανή (γωνίες θέσεως) και αυτές που ορίζουν τον προσανατολισμό.

Το Επίπεδο αναφοράς P_{re} λαμβάνεται κάθετο στην κατεύθυνση της συνισταμένης κινήσεως κοπής (σχ. 4.6 β), καθώς και της διεύθυνσεως προώσεως αναφορικά προς την εργαλειομηχανή. Οι ομάδες αυτές γωνιών δεν περιλαμβάνονται στις θεωρούμενες προδιαγραφές. Μαθηματικές σχέσεις μεταξύ των γωνιών των

διαφόρων συστημάτων μπορούν να προσδιορισθούν με τη βοήθεια των οικείων μητρώων μετασχηματισμού.

Στο σχήμα 4.5 εικονίζεται το σύστημα των ονομαστικών επιπέδων αναφοράς (με αυτό θα ασχοληθούμε μόνο εδώ) και στο σχήμα 4.6 βλέπουμε τις ονομαστικές γωνίες του εργαλείου, θεωρούμε ότι όλα τα επίπεδα διέρχονται από ένα τυχόν σημείο A της κόψης του εργαλείου και ακόμα καθορίζουμε υποθετικές διευθύνσεις για την πρωτεύουσα κίνηση και για την κίνηση προώσεως.

Το σύστημα των ονομαστικών επιπέδων απαρτίζεται από τα ακόλουθα επίπεδα (σχ. 4.6):

- α) Το επίπεδο αναφοράς του εργαλείου P_r : Επίπεδο διερχόμενο από το τυχόν σημείο A της κόψης και παράλληλο προς την έδρα του στελέχους του εργαλείου (κάθετο προς την υποθετική πρωτεύουσα κίνηση: ΥΠΚ).
- β) Επίπεδο κόψης P_s : Επίπεδο που εφάπτεται στην κύρια κόψη δ του εργαλείου και είναι κάθετο στο επίπεδο αναφοράς P_r .
- γ) Κάθετο στην κόψη επίπεδο P_n : Επίπεδο κάθετο στην κόψη στο τυχόν σημείο της A.
- δ) Υποτιθέμενο ενεργό ρ_f : Επίπεδο που περνά από το σημείο A της κόψης, κάθετο στο επίπεδο αναφοράς P_r και παράλληλο προς την υποθετική διεύθυνση της κινήσεως προώσεως.
- ε) Οπίσθιο επίπεδο P_p : Επίπεδο διερχόμενο από το σημείο A, κάθετο στο επίπεδο αναφοράς P_r και στο επίπεδο P_f .

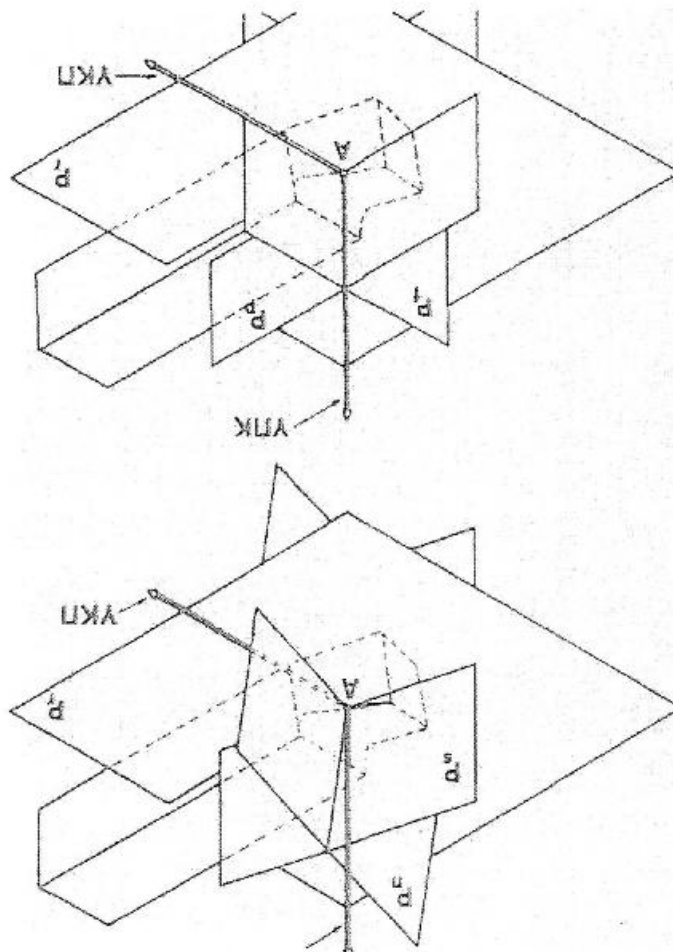
Οι ονομαστικές γωνίες του εργαλείου που σχηματίζονται οριζόμενες ως προς τα παραπάνω επίπεδα αναφοράς έχουν ως εξής:

- α) Γωνία θέσεως της κύριας κόψης κ'_r : Σχηματίζεται μεταξύ των επιπέδων P_s και ρ_f και μετρείται στο επίπεδο P_r .
- β) Γωνία θέσεως δευτερεύουσας κόψης κ : Σχηματίζεται ανάμεσα στα επίπεδα P'_s (επίπεδο εφαιπτόμενο στη δευτερεύουσα κόψη και κάθετο στο επίπεδο αναφοράς P_r) και P_f .
- γ) Περιεχόμενη γωνία ε_r : Σχηματίζεται ανάμεσα στα επίπεδα P_s και P'_s μετρούμενη

στο επίπεδο P_r .

δ) Γωνία λοξότητα; της κόψης λ_s (ταυτίζεται με τη γωνία i της λοξής κοπής, παραγρ.

4. 2.1.1, σχ. 2.9): Η γωνία που σχηματίζεται από την κόψη S του εργαλείου και από το επίπεδο P_r μετρούμενη στο επίπεδο κόψης P_s .



Σχ. 4.5

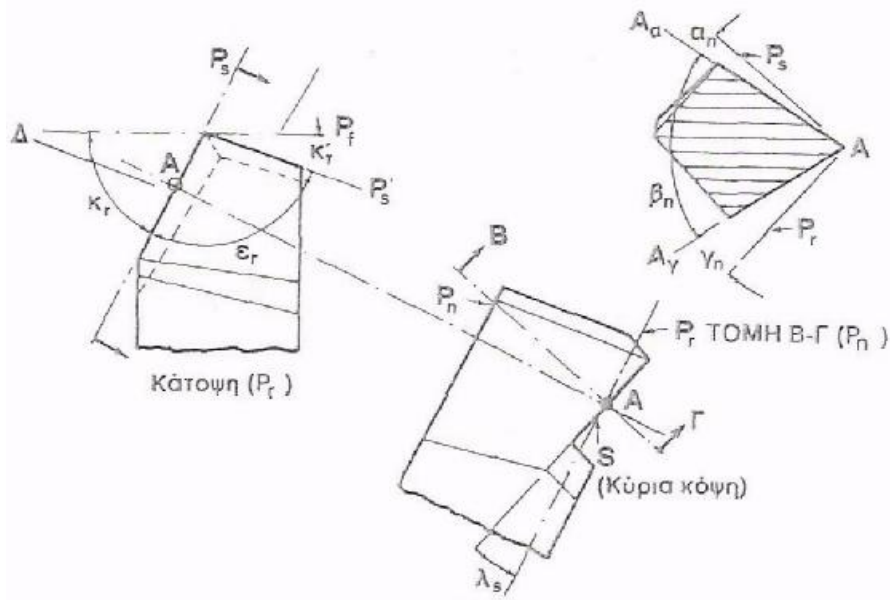
ΥΚΠ υποθετική κίνηση προώσεως

Το σύστημα των ονομαστικών επιπέδων αναφοράς (ΥΠΚ υποθετική πρωτεύουσα κίνηση.)

ε.) Γωνία αποβλήτου σε κάθετο στην κόψη επίπεδο γ_n : είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας αποβλήτου του εργαλείου A_γ , και του επιπέδου αναφοράς P_r . τη μετρούμε στο κάθετο στην κόψη επίπεδο P_n .

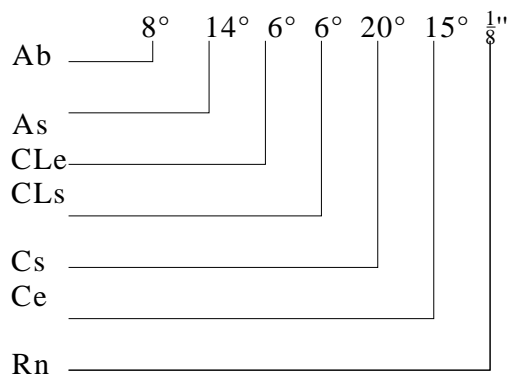
στ) Γωνία σφήνας σε κάθετο στην κόψη επίπεδο β_n : Περιέχεται ανάμεσα στην επιφάνεια αποβλήτου A_γ και στην ελεύθερη επιφάνεια A_α του εργαλείου και μετριέται στο επίπεδο P_n .

ζ)Ελεύθερη γωνία σε κάθετο στην κόψη επίπεδο α_n : Η γωνία μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας A_α του εργαλείου και του επιπέδου κόψεως P_s στο επίπεδο P_n



Όψη $\Delta(P_s)$
Σχ. 4.6

Οι ονομαστικές γωνίες του τυπικού εργαλείου τорνεύσεως, σύμφωνα με την προτυποποίηση ISO και τη βρετανική.



Σχ. 4.7

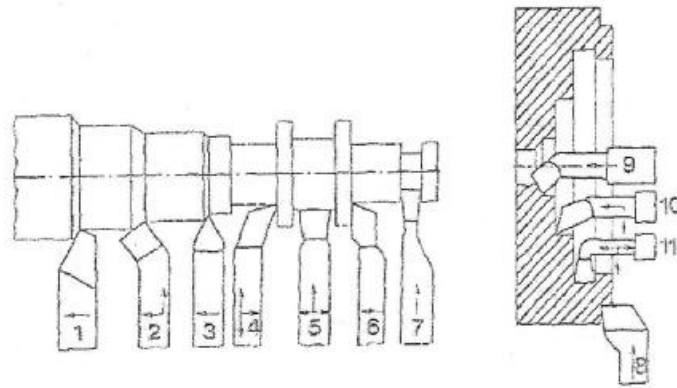
Παράδειγμα γεωμετρικών στοιχείων τυπικού εργαλείου τорνεύσεως κατά την αμερικανική τυποποίηση.

4. 2. 2. Μορφολογία εργαλείων торνεύσεως

Για να καλυφθούν οι ανάγκες εκτελέσεως των ποικίλων ειδών торνεύσεως (παραγρ. 2.1.1), τα αντίστοιχα εργαλεία χαρακτηρίζονται από σημαντική πολυμορφία. Ούτως, αναφορικά προς τη φύση λειτουργίας τους τα διακρίνομε σε: τυπικά, εργαλεία εκχονδρίσεως, εργαλεία αποπερατώσεως, ειδικά εργαλεία, εργαλεία εσωτερικής торνεύσεως, σπειροτομήσεως κ. α. . Στο σχήμα 2. 15 δίδονται σχηματικά συνήθεις μορφές εργαλείων торνεύσεως και συναφείς εφαρμογές τους.

Ως επί το πλείστον, στην κατασκευή των εργαλείων торνεύσεως χρησιμοποιούνται οι ταχυχάλυβες και τα σκληρομέταλλα των εκάστοτε ενδεδειγμένων κοπτικών ιδιοτήτων και γεωμετρικών στοιχείων, χωρίς όμως δευτερευόντως να αποκλείονται σε ειδικές περιπτώσεις: οι ανθρακούχοι και κεκραμένοι χάλυβες εργαλείων, τα χυτευτά κράματα, τα κεραμικά πυρίμαχων οξειδίων και το διαμάντι.

Τα εργαλεία торνεύσεως κατασκευάζονται ως μονομεταλλικά ή ολόσωμα και ως διμεταλλικά, με την ακόλουθη έννοια. Στα πρώτα όλο το εργαλείο κατασκευάζεται από το υλικό του κοπτικού μέρους του όπως στην περίπτωση λ. χ. ενός εργαλείου торνεύσεως από ταχυχάλυβα και σε μικρά σχετικώς μεγέθη. Στα δευτέρα (διμεταλλικά), το στέλεχος είναι από χάλυβα. κατασκευών κατάλληλων μηχανικών ιδιοτήτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών (τέτοιων, ώστε να μην προκύπτουν απαράδεκτες ανακρίβειες κατά τη λειτουργία του εργαλείου, όπως επί παραδείγματι απαράδεκτο βέλος κάμψεως στη θέση της ακής του) και το κοπτικό μέρος είναι κατά κανόνα πλακίδιο σκληρομετάλλων (σχ. 4.9 β, δ) (μπορεί να είναι και λεπίδα ταχυχάλυβα στερεωμένη με συγκόλληση πίεσεως επικολλώμενο με ψυχρή κόλληση (σχ. 4.9 α) ή ένθετο (προσαρμοζόμενο με μηχανικά μέσα) (σχ. 4.9 γ).

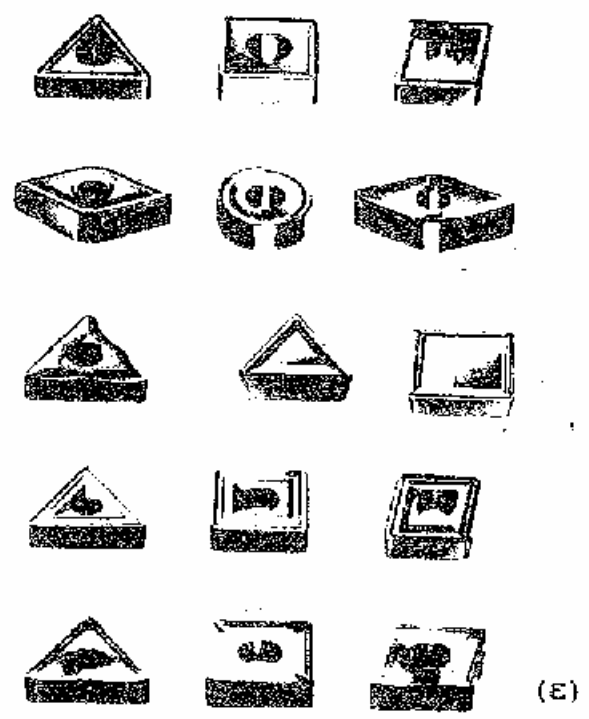
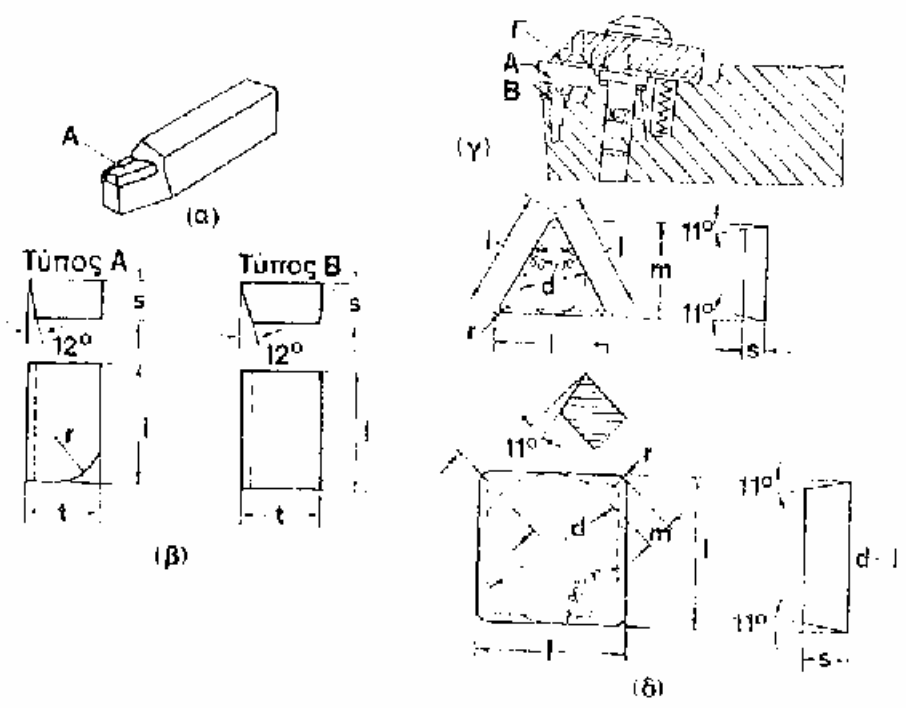


Σχ. 4.8

Σχηματική παράσταση τυποποιημένων μορφών εργαλείων торνεύσεως και παραδείγματα εφαρμογής των: 1. ευθύ εργαλείο εκχονδρίσεως, 2. κεκαμμένο εκχονδρίσεως, 3. οξύ αποπερατώσεως, 4. κεκαμμένο ειδικής μορφής, 5. πλατύ (ορθογωνικό) αποπερατώσεως, 6. ξεθυμάσματος (γωνιάσματος), 7. αποκοπής, 8. μετωπικής торνεύσεως (προσώπου), 9. εσωτερικής торνεύσεως (διαμπερή κοίλα), 10. торνεύσεως τυφλών κοίλων, 11. ορθογωνικό εσωτερικής αυλακώσεως.

Οι ταχυχάλυβες προσφέρονται στο εμπόριο υπό μορφή ράβδων (προτυποποιημένης μορφής και διαστάσεων διατομής, που μπορεί να είναι τετραγωνική, ορθογωνική, κυκλική, τριγωνική ή τραπεζοειδής) έτοιμων προς χρήση (έχουν, δηλαδή, υποστεί την ενδεδειγμένη βαφή και διπλή επαναφορά, παραγρ. 1.2.3.3 Γ). Μετά από προσεκτικό τρόχισμα σε ειδικό τροχιστικά μηχάνημα στην επιθυμητή μορφή, στερεώνονται στα προς τούτο στελέχη (μανέλλες).

Τα σκληρομέταλλα προσφέρονται στο εμπόριο με τη μορφή πλακιδίων σε προτυποποιημένα σχήματα και μεγέθη (σχ. 4.9 β, δ).

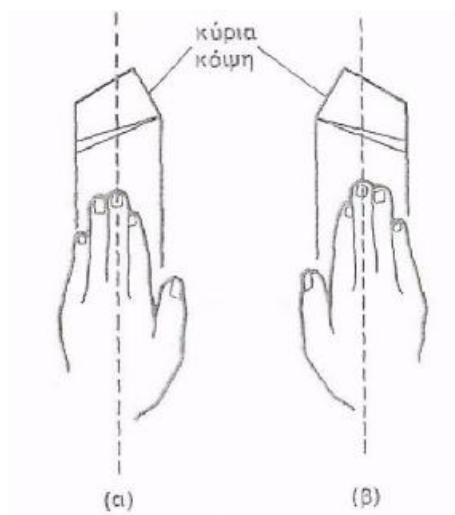


Σχ. 4.9

Μορφές προτυποποιημένων πλακιδίων από σκληρομέταλλο και τρόποι συγκρατήσεως τους στο στέλεχος του κοπτικού εργαλείου. α)Εργαλείο με επικολλώμενο πλακίδιο Α. β)Μορφές επικολλώμενων πλακιδίων γ)Συγκράτηση ένθετου πλακιδίου Α Πλακίδιο , Β Προσθήκη , Γ Γρεζοθραύστης. δ)Μορφές ένθετων πλακιδίων ε)Διάφορες μορφές πλακιδίων σκληρομετάλλων.

Ύστερα από πολλές οικονομοτεχνικές μελέτες που μέχρι σήμερα έχουν διεξαχθεί, αλλά και από τη σωρευμένη εμπειρία, έχει πλέον καθιερωθεί το γεγονός ότι τα εργαλεία με ένθετα πλακίδια πλεονεκτούν σημαντικά έναντι των εργαλείων με επικολλώμενα πλακίδια. Και τούτο, γιατί στα πρώτα χαλάρωση του πλακιδίου και απλή περιστροφή του αρκούν για την αλλαγή της κόψης του που τυχόν έχει φθαρεί (έτσι μπορούν διαδοχικά να χρησιμοποιηθούν και οι έξι ή και οι οκτώ κόψεις του πλακιδίου, αν το πλακίδιο είναι αντίστοιχα τριγωνικό ή τετραγωνικό και έχει μηδενική γωνία ελευθερίας, αλλιώς οι τρεις ή οι τέσσερες κόψεις του), χωρίς να απαιτείται αφαίρεση του εργαλείου από την εργαλειομηχανή και αποκόλληση, τρόχιση και επικόλληση του πλακιδίου, όπως συμβαίνει στα εργαλεία με επικολλώμενα πλακίδια. Προσέτι, τα ένθετα πλακίδια δεν διατρέχουν τον κίνδυνο καταστροφής, ο οποίος επαπειλεί τα επικολλώμενα κατά την κόλληση τους στο στέλεχος (ή στο σώμα του εργαλείου, όπως λ. χ. στις φρεζοκεφαλές).

Τα εργαλεία απλής κύριας κόψης λαμβάνουν την ονομασία **αριστερόκοπα** ή **δεξιόκοπα** βάσει του προσανατολισμού της κύριας κόψης τους. Στο σχήμα 2. 17 φαίνεται παραστατικά η διάκριση αυτή των εν λόγω εργαλείων, αλλά και αναφέρεται ο πρακτικός κανόνας καθορισμού τους ως αριστεροκόπων ή δεξιοκόπων.



Σχ. 4.10

Σύμβαση χαρακτηρισμού ενός κοπτικού εργαλείου απλής και κύριας κόψης ως αριστερόκοπο(α) ή ως δεξιόκοπο(β)

4. 3. Η κυλινδρική κατά μήκος (διαμήκης) τόννευση.

Στην πτυχιακή εργασία μας έχουν παρουσιασθεί και συζητηθεί φυσικές και τεχνολογικές σχέσεις προσδιορισμού ή εκτιμήσεως κύριων εξαρτημένων μεγεθών της κοπής (όπως είναι οι δυνάμεις κοπής, η φθορά και ζωή του εργαλείου και η τραχύτητα των κατεργασμένων επιφανειών) βασισμένες σε πειραματικά ευρήματα με κατά μήκος τόννευση (ορθογωνική ή λοξή), εξαιτίας της απλότητας της. Άρα, οι εξηγήσεις που δίδονται και τα συμπεράσματα που αποκομίζονται, αφορούν αμέσως στην τόννευση. Μπορούν όμως, κατά περίπτωση, να επεκταθούν και σε άλλες κατεργασίες (όπου προφανώς χρησιμοποιούνται εργαλεία καθορισμένης γεωμετρικής μορφής) με τη βοήθεια λόγου χάριν διορθωτικών συντελεστών [A22, A35].

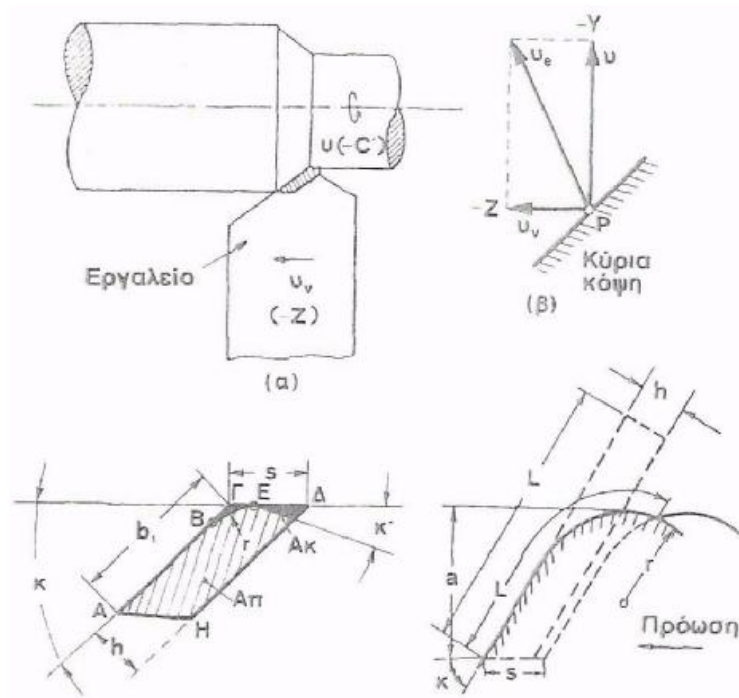
Εξαιτίας των προαναφερθέντος και για λόγου; ευκολότερος αναπτύξεως του αντικειμένου της κατά μήκος τόννευσεως, θεωρήσαμε σκόπιμη τη μεταφορά, κατά τρόπο συνοπτικό, επιλεγμένων πληροφοριών, οι οποίες θα συμπληρωθούν στο κείμενο που θα ακολουθήσει, με τεχνολογικά κυρίως στοιχεία.

4.3.1. Κινηματικά και άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη, Στοιχεία του απαραμόρφωτου αποβλήτου

Κατά τη διαμήκη τόννευση (όπως εξάλλου έχουμε αναφέρει και στην παράγραφο 4.1.1, σχ. 4.11 α) το τεμάχιο εκτελεί περιστροφική ομοιόμορφη πρωτεύουσα κίνηση $(-Z)^2$ γύρω από τον άξονα του (άξονα τόννευσεως), ενώ το εργαλείο μετατοπίζεται ευθύγραμμα (συνεχής κίνηση προώσεως - Z) και ισοταχώς παράλληλα προς τον άξονα του τεμαχίου (σχ. 4.11 α).

Στην παράγραφο 1.1.2.3 δώσαμε ορισμούς, σχέσεις και μονάδες μετρήσεως (που χρησιμοποιούνται στην πράξη) βασικών κινηματικών και άλλων μεγεθών της κυλινδρικής κατά μήκος τόννευσεως. Σε ό, τι αφορά τις διάφορες σχέσεις, για να μην τις επαναλαμβάνουμε και εδώ, παραπέμπουμε ακολούθως:

- Ταχύτητα κοπής,
- Μέση ταχύτητα κοπής,
- Ταχύτητα προώσεως,
- Ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου.
- Χρόνος κοπής
- u : σχέση (1.1).
- u_{π} : σχέση (1.2)
- u_v : σχέσεις(1.3), (1.4).
- θ : σχέση (1.5) και
- i_c : σχέση (1.6).



Σχ 4.11

α, β) Η κινηματική της εξωτερικής κυλινδρικής κατά μήκος τρνέυσεως. γ) Γεωμετρικά στοιχεία του απαράμορφωτου (θεωρητικού) αποβλήτου. δ) Στοιχεία προσδιορισμού του ισοδύναμου πάχους h_e του θεωρητικού αποβλήτου στην διαμήκη τόννευση.

Ανάλογα με τα δεδομένα κάθε περιπτώσεως διαμήκους τρνέυσεως, είναι δυνατόν οι παραπάνω σχέσεις να μετασχηματίζονται.

Η τόννευση πολλαπλών εργαλείων(σχ.4.2) μπορεί να εκτελεσθεί είτε με διαιρούμενη την πρόωση, όπου ισχύει η σχέση(1. 3) είτε με διαιρούμενο το βάθος κοπής, ένθα εφαρμόζεται για το συνολικό βάθος κοπής a η σχέση:

$$a = \sum_{i=1}^{i=z} a_i \quad (4.2)$$

z είναι ο αριθμός των εργαλείων(κύριων κόψεων), που αποκόπτουν συγχρόνως και a_i ($i=1, 2, \dots, z$) το βάθος κοπής, κατά το οποίο αποκόπτει το κάθε εργαλείο(μερικό

βάθος κοπής)

Το απαραμόρφωτο απόβλητο χαρακτηρίζεται από τη διατομή του την κάθετη προς το δάνυσμα της ταχύτητας κοπής και διερχόμενη από την ακή του εργαλείου, την οποία καλούμε θεωρητική διατομή του αποβλήτου

A. Στη διατομή αυτή διακρίνομε τα ακόλουθα μεγέθη(σχ. 4.11 γ):

- Το πλάτος κοπής (ή θεωρητικό πλάτος αποβλήτου b_1) είναι η πλευρά ΑΓ του παραλληλογράμμου ΑΓΔΗ, που προσεγγίζει το σχήμα της διατομής του αποβλήτου.
- Το θεωρητικό πάχος αποβλήτου Η (ή πάχος απαραμόρφωτου αποβλήτου μετρούμενο καθέτως προς την πλευρά ΑΓ.
- το βάθος κοπής a ,
- η πρόωση s ,
- η γωνία θέσεως της κύριας κόψης $\kappa = \kappa_r$ και
- η ακτίνα καμπυλότητας γ της ακής του εργαλείου.

Σε θεωρητική διατομή του αποβλήτου δεχόμεστε το εμβαδόν του παραλληλόγραμμου ΑΓΔΗ, όπου ισχύουν οι σχέσεις:

$$a = b_1 \cdot \eta \mu \kappa \quad h = s \cdot \eta \mu \kappa$$

και (4.3)

$$A = s \cdot a = b_1 \cdot h$$

Το πραγματικό εμβαδόν A_{π} της χαρακτηριστικής διατομής (ως ανωτέρω) του αποβλήτου είναι συνήθως μικρότερο του θεωρητικού A . Το καταλειπόμενο εμβαδόν A_k θα είναι: $A_k = A - A_{\pi}$. Συνήθως το A_k συνιστά ένα μικρό ποσοστό του A . Για το λόγο αυτό μπορούμε, στο πλείστον των περιπτώσεων, να θεωρήσομε $A_{\pi} = A$. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις τερνεύσεως, όπου η A_k δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί αμελητέα (σε μικρά σχετικά βάθη κοπής και μεγάλες τιμές της ακτίνας καμπυλότητας της ακής του εργαλείου).

Ως δείκτης μορφής του απαραμόρφωτου αποβλήτου μπορεί να ορισθεί ο λόγος $G = a/s$ ή $G' = b_1/h$. Συνήθως $G, G' > 1$ και $5 \leq G \leq 10$.

Από ορισμένους ερευνητές έχει επιλεχθεί ως ανεξάρτητη μεταβλητή για την έκφραση της ζωής του εργαλείου το λεγόμενο ισοδύναμο πάχος αποβλήτου h_e (απλουστεύει σχέσεις ζωής του εργαλείου, γιατί συνδέεται με μεγέθη της κοπής, που ασκούν επίδραση σε αυτή), το οποίο για διαμήκη τórνευση δίνεται ως (σχ. 4. 11δ).

$$h_e = \frac{as}{\frac{a-r(1-\sin\kappa)}{\eta\mu\kappa} + \frac{\pi\kappa r}{180} + r \tan\left(\frac{\epsilon}{2r}\right)} \quad (4. 4)$$

4.3.2. Προσδιορισμός των δυνάμεων και της ισχύος κοπής στη διαμήκη τórνευση.

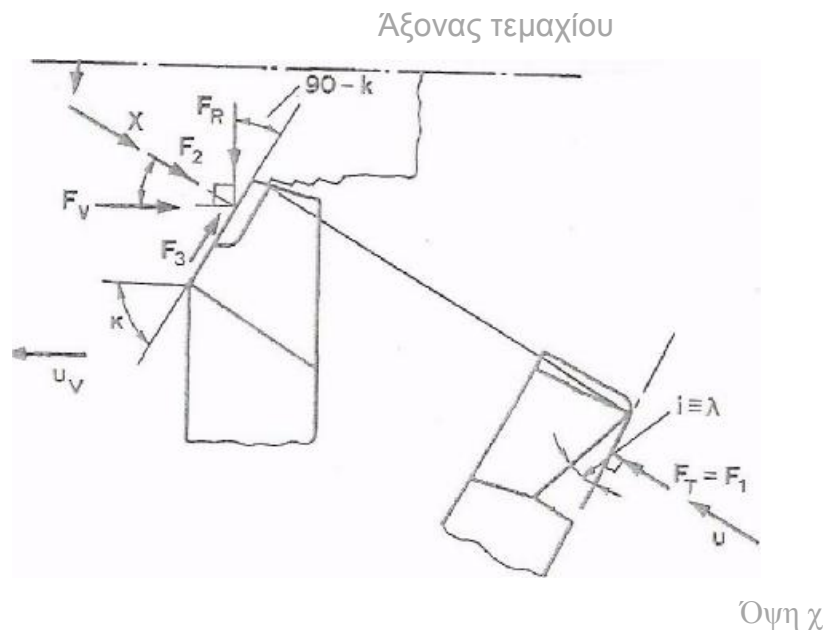
4. 3. 2. 1. Η εκτίμηση των δυνάμεων κοπής γενικά.

Η πλήρης γνώση του μεγέθους και της μορφής των αναπτυσσόμενων κατά την κοπή δυνάμεων (δύναμη κοπής και συνιστώσες της ως προς κάθε φορά επιλεγόμενο, ανάλογα με το είδος και την κινηματική της κατεργασίας, τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένοι) συναρτήσει βασικών παραγόντων της κοπής (πρόωση, βάθος κοπής, ταχύτητα κοπής, γωνία αποβλήτου του εργαλείου κ. ά.) ενέχει μεγάλη σημασία τόσο στον κατασκευαστή της εργαλειομηχανής, όσο και στο χρήστη της. Τον κατασκευαστή τη; εργαλειομηχανής ενδιαφέρουν οι δυνάμεις κοπή; για την εν γένει σχεδίαση της εργαλειομηχανής. των εργαλείων, των διαφόρων συσκευών και διατάξεων προσδέσεως των εργαλείων και των τεμαχίων, όπως ακόμη και των ποικίλων ιδιοσυσκευών. Ο χρήστης της εργαλειομηχανή^ ενδιαφέρεται να κατέχει στοιχεία σχετικά με τις εμφανιζόμενες εκάστοτε δυνάμεις κοπής για λόγους αποδοτικής εκμεταλλεύσεως της εργαλειομηχανής. Έτσι. θα καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της ισχύος κοπής, που αναγκαίοι σε κάθε περίπτωση κατεργασίας, κάτι απαραίτητο για την επιλογή τον μεγέθους της εργαλειομηχανής· επιπλέον και ο υπολογισμός κρίσιμων παραμορφώσεων, που εισάγουν σφάλματα διαστάσεων και μορφής στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Ακόμη, πληροφορίες για τις αναπτυσσόμενες κατά την κοπή δυνάμεις αναγκαιούν για τη μελέτη της δυναμικής ευστάθειας του συστήματος κατεργασία - εργαλειομηχανή - εργαλείο - τεμάχιο.

4. 3. 2. 2. Προσδιορισμός της μηχανικής λοξής κοπής.

Στη λοξή κοπή η δύναμη κοπής F^1 αναλύεται, κατά τα γνωστά, σε τρεις συνιστώσες F_1 , F_2 και F_3 όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12 κατά μήκος τριών αμοιβαίως καθέτων

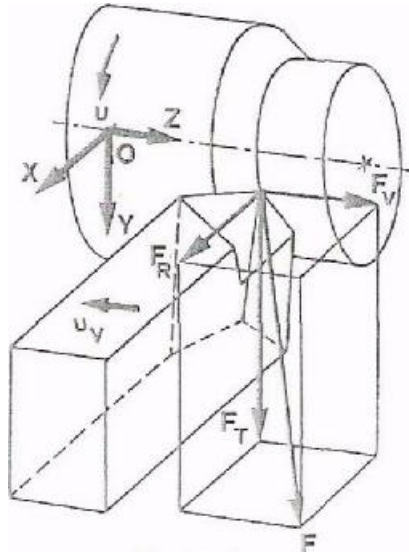
αξόνων. Στο σχήμα 4.13 εικονίζεται η ανάλυση της δυνάμεως κοπής σε τρεις πάλι διαφορετικές συνιστώσες F_T , F_V και F_R στη διαμήκη τórνευση. Η συνιστώσα F_T είναι η κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής και, όπως μας είναι γνωστό, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον (συμπίπτει με τη συνιστώσα F_1 της λοξής κοπής, σχ. 4.12), η συνιστώσα F_V είναι η **δύναμη προώσεως** και τη συνιστώσα F_R την ονομάζουμε **δύναμη απωθήσεως του εργαλείου**.



Σχ. 4.12

Γεωμετρικά στοιχεία συσχετίσεως των συνιστωσών F_T , F_V και F_R της δυνάμεως κοπής στη διαμήκη τórνευση με τις συνιστώσες της F_1 , F_2 και F_3 , στην τυπική λοξή κοπή.

1. Σύμφωνα με τον ορισμό της δυνάμεως κοπής F' και της αντιστάσεως κοπής F , που έχουμε δώσει στην παράγραφο 1. 2. 1. 2 (κατά καθιερωμένη βιβλιογραφική πρακτική), θα έπρεπε, όπως φαίνεται και από τη φορά των συνιστωσών στα οικεία σχήματα, να ονομάσουμε την F αντίσταση κοπής. Δεν το πράξαμε όμως αυτό, πρώτον γιατί $F'=F$ και δεύτερον για λόγους απλουστεύσεως, δεδομένου ότι η εν λόγω διάκριση σε δύναμη ή αντίσταση κοπής να γίνει από τη φορά των συνιστωσών F_1 , F_2 , F_3 ή των F_T , F_V , F_R .



Σχ. 4.13

Ανάλυση της δυνάμεως κοπής F στις στις συνιστώσες F_T , F_V και F_R κατά τη διαμήκη τórνευση.

Μεταξύ των συνιστωσών αυτών F_T , F_V και F_R κατά τη διαμήκη τórνευση και των συνιστωσών F_1 , F_2 και F_3 κατά τη λοξή κοπή υφίσταται οι εξής σχέσεις, αν ληφθούν υπόψιν τα γεωμετρικά στοιχεία του σχήματος 4.12:

$$F_T = F_1$$

$$F_V = F_2 \eta \mu \kappa + F_3 \sigma \nu \eta \kappa$$

$$F_R = F_2 \sigma \nu \eta \kappa - F_3 \eta \mu \kappa$$

(4. 5)

Οι συνιστώσες της δυνάμεως κοπής F_T , F_V και F_R μπορούν να υπολογισθούν από τις παραπάνω σχέσεις σε συνδυασμό και με τις λίαν περίπλοκες εξισώσεις υπολογισμού των συνιστωσών F_1 , F_2 και F_3 όπου ορισμένα από τα υπεισερχόμενα μεγέθη μπορούν να επιλεγούν και συνεπώς να θεωρηθούν γνωστά, άλλα όμως πρέπει να εκτιμηθούν, γεγονός που παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες.

Η ισχύς κοπής δίδεται από τους τύπους

$$P_c = \frac{F_T u}{4500} [\text{PS}] \quad (4. 6)$$

ή

$$P_c = \frac{F_T u}{6120} [\text{KW}] \quad (4. 7)$$

Ενώ η ισχύς προώσεως υπολογίζεται παρόμοια ως:

$$P = \frac{FV_{av}}{4,5 \cdot 10^6} [PS]$$

Οι συνιστώσες F1 και FV δίδονται σε daN, η ταχύτητα κοπής υ σε m/min και η ταχύτητα προώσεως υν σε mm/min.

Η ονομαστική ισχύς του κύριου ηλεκτροκινητήρα της εργαλειομηχανής θα δοθεί προφανώς από τη σχέση:

$$P_e = \frac{P_c}{\eta_e} \quad (4.8)$$

Όπου η ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως της εργαλειομηχανής.

4.3.2.3 Οι βασικοί παράγοντες της κοπής των μετάλλων κατά διαμήκη τόννευση

Οι ακόλουθοι παράγοντες κοπής ασκούν επίδραση, σε ποικίλλοντα όμως βαθμό, επί των δυνάμεων κοπής;

- Παράγοντες σχετιζόμενοι με το κοπτικό μέρος του εργαλείου, δηλαδή, η γεωμετρία του: γωνία αποβλήτου γ, γωνία ελευθερίας α, γωνία λοξότητας λ_s¹, γωνία θέσεως της κύριας κόψης κ_r¹, ακτίνα καμπυλότητας r της ακής, μορφή της επιφανείας αποβλήτου και της κόψης, , βαθμός φθοράς και φθορά κρατήρα), τραχύτητα επιφανείας κρισίμων επιφανειών του εργαλείου), και υλικό κατασκευής του κοπτικού.

- Παράγοντες συνδεδεμένοι με το υπό κατεργασία μέταλλο, ή κράμα: Χημική σύνθεση και κρυσταλλική δομή, χαρακτηριστικά του υλικού που επηρεάζουν θεμελιακά τις μηχανικές του ιδιότητες. Έτσι, οι μηχανικές ιδιότητες του μετάλλου (όριο διαρροής υπό συνθήκες όμως παραμορφώσεως. ταχύτητας παραμορφώσεως και θερμοκρασίας κατά τη θεωρούμενη εκάστοτε περίπτωση κατεργασίας, μέγιστη αντοχή, σκληρότητα κ. ά.) μαζί με τα χαρακτηριστικά της κρυσταλλοδομής του ασκούν ικανή επιρροή στις δυνάμεις κοπής και τέλος

1. Η γωνία λοξότητας λ_s και η γωνία θέσεως της κύριας κόψης κ_r(κατά ISO ή BS, ταυτίζονται με τις γωνίες λ και κ αντιστοίχως(κατά DIN).

- Παράγοντες συναπτόμενοι με τις συνθήκες κατεργασίας, ήτοι: με την ταχύτητα κοπής u , με την πρόωση s (ή s_z), με το βάθος κοπής, με το υγρό κοπής και με τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος (K-EM-Tμ-E)

A. Η γωνία αποβλήτου γ του εργαλείου

Η επιρροή μεταβολών της γωνίας αποβλήτου γ του κοπτικού επί των δυνάμεων κοπής κατά τη διαμήκη τόννευση συνοψίζεται ως εξής:

Καθώς η τιμή της γωνίας γ αυξάνει, η εφαπτομενική συνιστώσα F_T ελαττούται. Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η επιρροή της γ είναι εντονότερη, όσο πιο μαλακό και όλκιμο είναι το κατεργαζόμενο μέταλλο ή κράμα. Κατά την κοπή όμως ψαθυρών μετάλλου (π. χ. φαιός χυτοσίδηρος, κράματα χαλκού κ. ά.), η γ ασκεί ηπιότερη επίδραση, γεγονός που συμβαίνει και σε υψηλές; ταχύτητες κοπής. Μπορούμε επομένως να δεχθούμε (αυτό έχει πειραματικά επιβεβαιωθεί) ότι στην κατά μήκος τόννευση σε λίαν υψηλές ταχύτητες κοπής (όπως οι εφαρμοζόμενες με εργαλεία από σκληρό μέταλλο) και με αρνητικές ακόμη γωνίες αποβλήτου οι δυνάμεις κοπής αυξάνονται πολύ λιγότερο απότι με θετικές τιμές της γωνίας αποβλήτου. Επιπλέον, μικρές τιμές της γωνίας γ ενισχύουν την μηχανική αντοχή του κοπτικού μέρους του εργαλείου.

Η επιρροή της γωνίας αποβλήτου, έχει διαπιστωθεί, ότι είναι έντονη επί της δύναμης προώσεως F_V και της δύναμης απωθήσεως f_r του εργαλείου από εκείνη επί της κύριας συνιστώσας F_T της δύναμης κοπής. Το ποσοστό, δηλαδή, μείωσης ή αύξησεως τους με σταθερή αντίστοιχη αύξηση ή μείωση της γωνίας γ (π. χ. κατά μία μοίρα) είναι μεγαλύτερο από εκείνο που αφορά στην F_T . Επί παραδείγματι για μείωση της γωνίας γ κατά 1° αντιστοιχεί χονδρικά αύξηση των F_T , F_V και F_R κατά 1, 5% - 5, 0%-4, 0% αντιστοίχως. Το αντίθετο συμβαίνει για αύξηση της γ κατά 1° .

Σύμφωνα με την ακολουθούμενη μηχανουργική πρακτική, για κάθε συνδυασμό υλικού τεμαχίου - υλικού εργαλείου, η τιμή της γωνίας γ επιλέγεται από εγχειρίδια ή με διαδικασίες βελτιστοποίησης, ούτως ώστε να. μεγιστοποιείται η ζωή του εργαλείου, κάτι που, δρα ευεργετικά στο κόστος κατεργασίας. Στους Πίνακες 4.7 και 4.8 δίνουμε συστάσεις επιλογής τιμών της γωνίας γ για διαμήκη τόννευση, για

συνήθη κατεργαζόμενα υλικά και για εργαλείο από ταχυχάλυβα και από σκληρομέταλλο, αντιστοίχως.

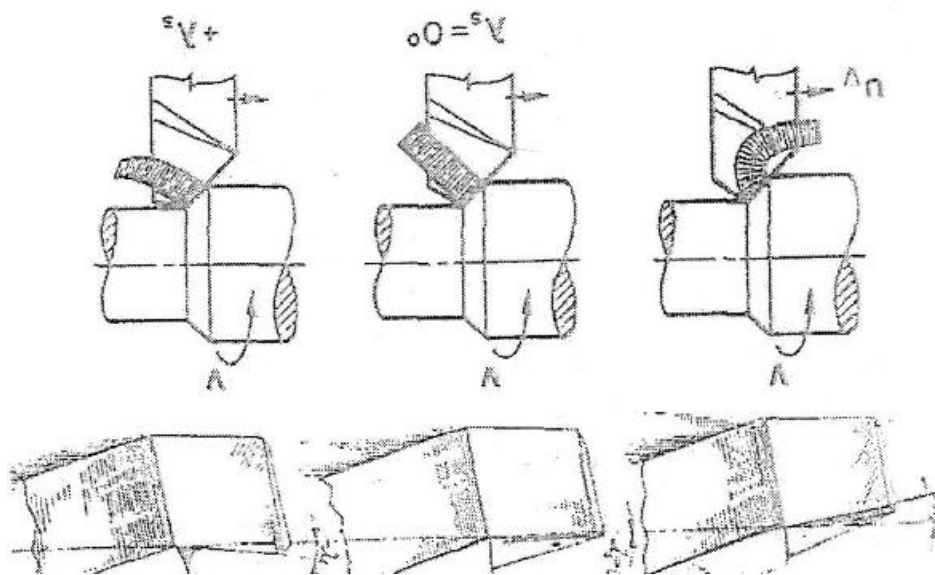
Θεωρούμε χρήσιμο στο σημείο αυτό να σημειώσαμε, ότι σε περιπτώσεις που το βάθος κοπής είναι μικρό συγκρινόμενο με την ακτίνα καμπυλότητας της ακής του εργαλείου, τότε στην ουσία η καμπυλότητα αυτή καθορίζει το μέγεθος της γωνίας γ (πραγματικής). Ακόμη και αν η ονομαστική γωνία αποβλήτου είναι θετική (και μάλιστα μεγάλης σχετικά τιμής) η πραγματική γωνία αποβλήτου μπορεί να λάβει ακόμη και αρνητικές τιμές. Το εργαλείο ενδεχομένως θα τρίβεται ισχυρά, χωρίς να σχηματίζεται απόβλητο, προκαλώντας στίλβωμα της κατεργασμένης επιφάνειας και δημιουργώντας θλιπτικές παραμένουσες τάσεις στην επιφανειακή στιβάδα του τεμαχίου.

Η γωνία ελευθερίας α του κοπτικού, για οξύ σχετικά εργαλείο, εφόσον παίρνει τις εκάστοτε συνιστώμενες τιμές, μπορούμε να δεχθούμε ότι ασκεί αμελητέα επίδραση στις δυνάμεις κοπής. Καθώς όμως η γωνία α μικραίνει, η αναπτυσσόμενη στην ελευθέρα επιφάνεια του εργαλείου δύναμη τριβής αυξάνει, με συνέπεια αύξηση των δυνάμεων κοπής (προστίθεται έτσι μία παρασιτική συνιστώσα, που προφανώς δεν λαμβάνει μέρος στο σχηματισμό του αποβλήτου). Παρόλα, ταύτα, η αύξηση αυτή των δυνάμεων αποτελεί ένα ασήμαντο ποσοστό της δυνάμεως κοπής. Όμως υπό συνθήκες προχωρημένης ζώνης φθοράς (η φθορά εκφράζεται με το πλάτος B της ζώνης φθοράς) του κοπτικού, η γωνία ελευθερίας μεταβάλλεται, όπως αλλάζει χαρακτήρα και η τριβή στη διεπιφάνεια εργαλείου - κατεργασμένης επιφάνειας τεμαχίου (τριβή ακινησίας και τριβή ολισθήσεως). Τούτο ασκεί δυσμενή επιρροή επί των δυνάμεων κοπής.

Μεταβολές της γωνία λοξότητας $\lambda_s = \lambda$ επηρεάζουν την ροή του αποβλήτου (σχ. 4. 15). Η εν λόγω γωνία έχει παρατηρηθεί, ότι παίζει σοβαρό σχετικά ρόλο σε μεγάλες τιμές της. Δεδομένου ότι πρακτικώς οι επιλεγόμενες τιμές της $\lambda_s = -5^\circ$ έως $+5^\circ$, το εύρος δηλαδή μεταβολών της είναι μικρό, μας δίδεται έτσι η δυνατότητα να δεχθούμε ότι η επιρροή της στην κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής F_T είναι αμελητέα, γεγονός που δεν συμβαίνει και με τις συνιστούσες P_v (δύναμη προώσεως) και F_K (δύναμη απωθήσεως του εργαλείου), όπου η επίδραση της παρουσιάζεται εμφανής. Ούτω, πρακτικά για $\kappa = 60^\circ$ επί παραδείγματι, αύξηση της λ_s κατά 1° προ-

καλεί αύξηση στην F_K κατά 2% και μείωση της F_V κατά επίσης 2%. Σε άλλο όμως σύγγραμμα δίδονται διαφορετικά στοιχεία, ήτοι: για αύξηση της l_s κατά 1° . οι συνιστούσες F_Y και F_R ελαττώνονται κατά 1, 5% και 10%, αντιστοίχως.

Μία γενική παρατήρηση αναφορικά με το ρόλο της l_s είναι, ότι αρνητικές τιμές της σταθεροποιούν την κοπή (κάτι ευνοϊκό), ενώ το απόβλητο ρέει



Σχ. 4.14

- α) Η γωνία λοξότητας l_s στο τυπικό εργαλείο τριβής (θετική, μηδενική, αρνητική),
 β) Επιρροή της γωνίας λοξότητας l_s στην διεύθυνση ροής του αποβλήτου

προς την κατεργασμένη επιφάνεια του τεμαχίου, γεγονός που δυσκολεύει την εκτέλεση της κατεργασίας και χειροτερεύει την τραχύτητα.

Δ. Η ακτίνα καμπυλότητας r της ακής του εργαλείου

Έχει ευρεθεί πειραματικά (αλλά εδράζεται και θεωρητικά), ότι αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας r της ακής του εργαλείου συνεπάγεται ανύψωση της δύναμης κοπής (ή της αντιστάσεως κοπής). Η αύξηση αυτή οφείλεται στο μεγαλύτερο σχετικά μήκος της κόψης του κοπτικού και συνεπώς και της επιφάνειας επαφής αποβλήτου - εργαλείου, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη τιμή, του πλαστικού έργου παραμορφώσεως. Προσέτι, η αυξημένη καμπυλότητα της ακής μειώνει το μέσο θεωρητικό πάχος του

αποβλήτου, πράγμα που με τη σειρά του συνεισφέρει και αυτό κατά τα γνωστά στην αύξηση της δυνάμεως κοπής. Το τελευταίο συμβαίνει εντονότερα σε μεγάλες τιμές της ακτίνας καμπυλότητας r του εργαλείου και σε μικρές τιμές του βάθους κοπής a . Η συνιστώσα F_R επηρεάζεται περισσότερο από μεταβολές της r ενώ είναι αμελητέα η επιρροή της τελευταίας επί της συνιστώσας F_V . Στις εφαρμογές, αν υπάρχει λόγος μείωσης της τιμής της δυνάμεως απωθήσεως ρ_k , όπως επί παραδείγματι για μείωση ή αποφυγή ταλαντώσεων, επίτευξη μεγαλύτερης διαστατικής ακρίβειας κ. ά. , αυτό μπορεί να επιτευχθεί με χρησιμοποίηση εργαλείων μικρότερων τιμών της ακτίνας r . Για τόννευση λόγου χάριν χάλυβα με εργαλείο από ταχυχάλυβα ή σκληρομέταλλο και για εκχόνδριση ή αποπεράτωση. αν για $r=2, 0\text{mm}$ ο ένας διορθωτικός συντελεστής της αντιστάσεως κοπής λαμβάνεται ίσος προς την μονάδα, τότε χονδρικά για $r=1, 0\text{mm}$ ο συντελεστής αυτός θα είναι 0, 93 και 1, 10 αν $r=5, 0\text{mm}$.

Αξίζει να σημειώσουμε, ότι η μορφή της κόψης παίζει σημαντικό ρόλο στην τόννευση μορφής (σχ. 4.1α(4))· και μάλιστα όσο πιο περίπλοκη είναι η μορφή της κόψης και πιο μεγαλύτερο το συνολικό της μήκος, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η αντίσταση κοπής.

Ε. Η γωνία θέσεως $\kappa_r \approx \kappa$ της κύριας κόψης του εργαλείου

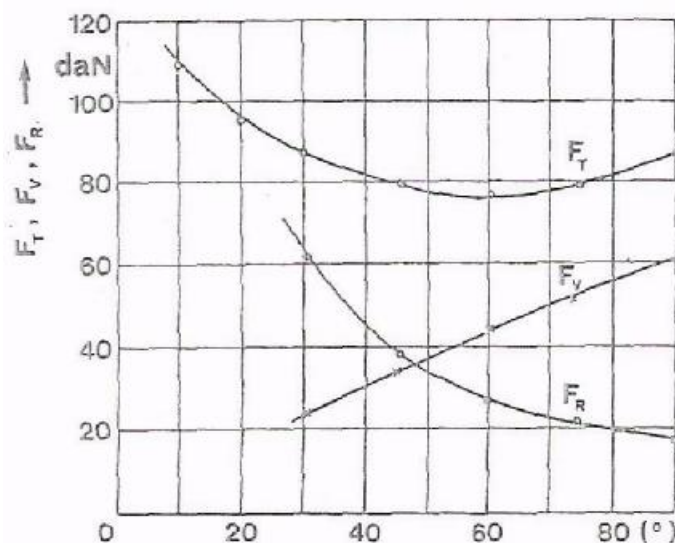
Η επιρροή της γωνίας θέσεως $\kappa_r \approx \kappa$ της κύριας κόψης εκδηλώνεται μέσω μεταβολών στο θεωρητικό πάχος του αποβλήτου καθόν χρόνον οι λοιποί παράγοντες κοπής παραμένουν σταθεροί (η θεωρητική διατομή A του αποβλήτου θεωρείται σταθερή). Άρα λοιπόν, σύμφωνα με τα γνωστά (ως ανωτέρω) αύξηση του θεωρητικού πάχους h του αποβλήτου συνεπάγεται μείωση της ειδικής αντιστάσεως κοπής k_s ενώ αντίθετα μείωσή του έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της τελευταίας.

Η μορφή τυπικών καμπύλων των συνιστωσών F_T , F_R και F_V της δυνάμεως κοπής συναρτήσει της γωνίας κ (αυξανόμενης φαίνεται στο σχήμα 4.16, όπου παρατηρούμε ότι η επίδραση της επί των συνιστωσών F_K και F_V είναι εντονότερη από εκείνη επί της κύριας συνιστώσας F_T της δυνάμεως κοπής. Με αύξηση, δηλαδή, της κ η F_V μειούται, η F_T παρουσιάζει ένα ελάχιστο (για $\kappa=60^\circ$), ενώ η F_R αυξάνεται

Για να πάρουμε μίαν ιδέα ποσοτικών μεταβολών των συνιστωσών F_T , F_R και F_V για διάφορες τιμές της γωνίας κ μέσω διορθωτικών συντελεστών K_{FT} , K_{FR} και K_{FV}

αντιστοίχως, παραθέτομε τα ακόλουθα στοιχεία για εργαλείο από ταχυχάλυβα ($s \geq 0, 25 \text{ mm/στρ}$) ή από σκληρομέταλλο ($s \geq 0, 20 \text{ mm/στρ.}$) και για κατεργασία χαλύβων και χυτοσιδήρων:

	Χάλυβες			Χυτοσίδηροι		
$\kappa [^\circ]$	45	30	90	45	30	90
KFT	1, 0	1, 08	1, 08	1, 0	1, 05	0, 92
KFR	1, 0	1, 63	0, 44	1, 0	1, 23	0, 70
KFV	1, 0	0, 70	1, 82	1, 0	0, 63	1, 28



Σχ. 4.15

Επίδραση της γωνίας θέσεως κ της κύριας κόψης του εργαλείου επί των συνιστωσών F_T , F_R και F_V της δυνάμεως κοπής για δεδομένη περίπτωση κατά μήκος торνεύσεως.

ΣΤ. Η φθορά τον κοπτικού εργαλείου

Εξετάζουμε εδώ την επίδραση της ζώνης φθοράς και της φθοράς κρατήρα του εργαλείου, χαρακτηριστικά της φθοράς του, που υπόκεινται σε μετρήσεις, επί των δυνάμεων κοπής. Έχει παρατηρηθεί, ότι κατά την κοπή όλκιμων μετάλλων και οι δύο αυτές βασικές μορφές φθοράς του εργαλείου λαμβάνουν χωράν συγχρόνως κατά το

μάλλον ή ήπτον, ενώ στην κοπή ψαθυρών μετάλλων ή φθορά κρατήρα ή απουσιάζει εντελώς ή εμφανίζεται λίαν όμως περιορισμένη.

Η εμφάνιση κρατήρα συνοδεύεται από αύξηση της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου με ευνοϊκά, κατά τα γνωστά, αποτελέσματα στην εξέλιξη του φαινομένου της κοπής και προφανώς, στην συγκεκριμένη περίπτωση, έχει ως επίπτωση μείωση στις δυνάμεις κοπής, θεωρούμε χρήσιμο να σημειώσουμε ότι ουσιώδη ρόλο παίζει η θέση του σχηματιζόμενου κρατήρα σε σχέση προς την ακή του εργαλείου. Απομακρυσμένος κρατήρας ελάχιστα συντελεί στο σχηματισμό του αποβλήτου και, συνεπώς, ασκεί αποδυναμωμένη επίδραση επί των δυνάμεων κοπής. Από την άλλη πλευρά, η δημιουργούμενη ζώνη φθοράς (στην ελευθέρα επιφάνεια του εργαλείου) προξενεί ανύψωση στην αντίστοιχη δύναμη τριβής F'_F και τελικά στη δύναμη ή στην αντίσταση κοπής, εξαιτίας αύξησεως της επιφάνειας επαφής με το τεμάχιο. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές (επιβεβαιωμένες πειραματικά και εδραιωμένες θεωρητικά) μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα: Σε πρώτο βήμα (πάντοτε στην κατά μήκος τόννευση) και σε μικρές σχετικά τιμές τον πλάτους της ζώνης φθοράς [λ. χ. για $B=(0, 2 - 0, 4)mm$ και για τόννευση χάλυβα] υπερισχύει η συμμετοχή της φθοράς κρατήρα. Με περαιτέρω όμως αύξηση τη; ζώνης φθοράς, η τριβή στη διεπιφάνεια εργαλείου - τεμαχίου αρχίζει να παίζει προοδευτικά δεσπόζοντα ρόλο, με αποτέλεσμα δυσμενές για τις; δυνάμεις κοπής, πράγμα που σημαίνει ανύψωση των δυνάμεων, καθώς ο χρόνος κοπής του εργαλείου προχωρεί.

Ως παράδειγμα αναφέρουμε ότι με εργαλείο από ταχυχάλυβα, με τεμάχιο από χάλυβα και για διαμήκη τόννευση, ένας διορθωτικός συντελεστής K_{BT} της κύριας συνιστώσας F_T μπορεί να λάβει τις ακόλουθες τιμές:

$B[mm]:$	0. 5 0. 5	1, 0 1, 0	2, 0 2, 0
$K_{BT}:$	0, 93 0. 93	0, 95 0, 95	1. 00 1, 00

Z. Το υλικό του κοπτικού εργαλείου και του προς κατεργασία τεμαχίου.

Το υλικό του εργαλείου ασκεί κάποια μικρή επιρροή στην κύρια συνιστώσα F_T , η οποία βελτιώνεται (η F_T μειούται), καθώς μεταβαίνουμε από ταχυχάλυβες σε σκληρομέταλλα και τελικά σε κεραμευτικά πυριμάχων οξειδίων. Μπορούμε να δεχθούμε ένα διορθωτικό συντελεστή K_e , που να κυμαίνεται από 1, 0 για ταχυχάλυβες μέχρι 0, 9 για κεραμευτικά πυριμάχων οξειδίων. Η επίδραση αυτή του υλικού του εργαλείου επί των δυνάμεων κοπής οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στους παράγοντες, οι οποίοι διαμορφώνουν την φύση της τριβής στη διεπιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου και εργαλείου -κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου.

Αναφορικά προς το ρόλο που παίζει το κατεργαζόμενο μέταλλο επί των δυνάμεων κοπής, συμπληρώνουμε με τις επόμενες πληροφορίες:

Το είδος της κρυσταλλικής δομής του κατεργαζόμενου μετάλλου αποτελεί αναμφισβήτητο παράγοντα που επηρεάζει σοβαρά την αντίσταση κοπής. Ούτως επί παραδείγματι, σε χάλυβες με σορμπιτική δομή ή με δομή σφαιροειδών καρβιδίων η αντίσταση κοπής λαμβάνει υψηλές τιμές, ενώ σε δομή λεπιδοειδούς περλίτη κατά πολύ χαμηλότερες.

Πολλά πειράματα έχουν δείξει ότι η μέγιστη αντοχή σ_B και η σκληρότητα του BHN. σε μονάδες Brinell ή σε άλλες, δεδομένου μετάλλου, μπορούν να θεωρηθούν ως ικανοποιητικοί δείκτες της δυνάμεως (ή αντιστάσεως) κοπής, μόνον όμως σε περιπτώσεις απλής σχετικά κρυσταλλοδομής. Σε χάλυβες λ. χ. και σε εύρος μεταβολών της σ_B μέχρις 110 daN/mm^2 , ισχύει ότι $F_T > F_R > F_V$ με σύγχρονο μονότονο αύξηση τους συναρτήσει του σ_B (αυξανόμενου), ενώ οι λόγοι F_T/F_R και F_T/F_V μειώνονται, όσο αυξάνει η μέγιστη αντοχή τους (των χαλύβων).

Ενδεικτικά παραθέταμε τα ακόλουθα στοιχεία, που αφορούν σε τιμές διορθωτικών συντελεστών των συνιστωσών της δυνάμεως κοπής βάσει της μέγιστης αντοχής σ_B χαλύβων ή της σκληρότητας BHN για χυτοσιδήρους (φαιό, μαλακτικοποιημένο ή σφαιροειδούς γραφίτη) και με εργαλείο από ταχυχάλυβα ή σκληρό μέταλλο:

α) Χάλυβες

σ_B [daN/mm ²]	70-80	40-50
$K_{\sigma T}$	1, 0	0, 76
$K_{\sigma R}$	1, 0	0, 36
$K_{\sigma V}$	1, 0	0, 47

β) Χυτοσίδηροι

BHN[daN/mm ²]	180-200	100-120
K_{HT}	1, 0	0, 74
K_{HR}	1, 0	0, 49
K_{HV}	1, 0	0, 55

Θ. Η πρόωση και το βάθος κοπής.

Πειραματικά ευρήματα έχουν δείξει ότι η επίδραση τον βάθους κοπής a επί των συνιστωσών F_T , F_R και F_v της δυνάμεως κοπής κατά την διαμήκη τórνευση ανθρακούχων χαλύβων, επιβελτιωμένων χαλύβων, χυτοσιδήρων και κρατερώματος με εργαλείο από ταχυχάλυβα ή από σκληρομέταλλο είναι εν γενεί εντονότερη από εκείνη της προώσεως s . Ούτω, για παράδειγμα, στις αναφερθείσες περιπτώσεις, η κύρια συνιστώσα F_T εμφανίζεται ανάλογη του a [εκθέτης της $\gamma_T=1, 0$], ενώ προκύπτει μικρότερη (εκθέτης $\chi_T = 0, 65-0, 80$) ως προς μεταβολές του s για $a \geq s$. Η παρατηρούμενη αυτή διαφορά μπορεί να εξηγηθεί ως εξής: Οι αναπτυσσόμενες κατά την κοπή τάσεις δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στη θεωρητική διατομή του αποβλήτου κατά τη διεύθυνση του πάχους του (σχ. 4.11γ) και μάλιστα κατά τρόπον, ώστε όσο απομακρυνόμαστε από την κόψη, τόσο οι τάσεις μικραίνουν, καθώς και οι συνακόλουθες πλαστικές παραμορφώσεις-ακόμη, με σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες κοπής, αύξηση της προώσεως συνεπάγεται παχύτερο θεωρητικό απόβλητο [σχέση (4. 3)]. Άρα, κατά τα γνωστά, η προκαλούμενη αύξηση στην F_T δεν θα είναι ανάλογη, αλλά θα υπολείπεται, όπως έχουμε προαναφέρει. Από την άλλη όμως πλευρά, οποιαδήποτε αύξηση στο βάθος κοπής, απλώς μεγαλώνει το πλάτος b_1 του αποβλήτου, καθόν χρόνον το πάχος του (με σταθερή την πρόωση) παραμένει αμετάβλητο. Συνεπώς, μία κατά προσέγγιση ανάλογη επιρροή του βάθους κοπής a λαμβάνει χώρα στο πλείστον των περιπτώσεων. Από τα αναπτυχθέντα θα πρέπει να εξαιρεθούν περιπτώσεις πολύ μικρών θεωρητικών διατομών τον αποβλήτου, λόγω του αυξημένου μεριδίου που καταλαμβάνει το καμπύλο τμήμα τους στην όλη θεωρητική διατομή, επιπλέον δε και εξαιτίας της ακτίνας καμπυλότητας της ακής του

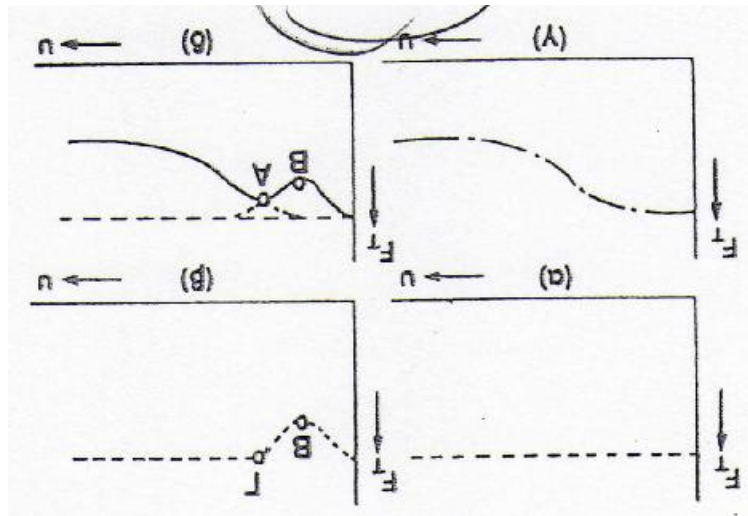
εργαλείου, η οποία δημιουργεί αρνητική πραγματική γωνία αποβλήτου, αμφότερα με δυσμενή επίδραση στη δύναμη κοπής.

1. Η ταχύτητα κοπής.

Η ταχύτητα κοπής αποτελεί μια θεμελιώδη ανεξάρτητη μεταβλητή της κοπής των μετάλλων και ο μηχανισμός δράσεως της γενικά στο φαινόμενο της κοπής και ειδικότερα επί των αναπτυσσόμενων κατόντη v δυνάμεων, παρόλο που είναι λίαν περίπλοκος. Εδώ, στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με την επιρροή της ταχύτητας κοπής στην κύρια συνιστώσα F_T της δυνάμεως κοπής, η οποία παρουσιάζει μείζον ενδιαφέρον, για τον κύριο λόγο ότι συνδέεται αμέσως με την καταναλισκόμενη ισχύ κοπής.

Τυπική καμπύλη μεταβολής της κύριας συνιστούσας F_T συναρτήσει της ταχύτητας κοπής u , για μεγάλο εύρος μεταβολών της με σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες, φαίνεται στο σχήμα 4.16δ. Η μορφή αυτή της καμπύλης $F_T = \sigma(u)$ εξηγείται ως αποτέλεσμα συνδυασμού του σχηματισμού της ψευδόκοψης και της πτώσεως του ορίου διαρροής σε διάτμηση του κατεργαζόμενου υλικού εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας κοπής. Στην περιοχή, δηλαδή, των χαμηλών ταχυτήτων κοπής, όπου ευνοείται ο σχηματισμός της ψευδόκοψης (για τα υλικά, στα οποία αυτό συμβαίνει, όπως π. χ. σε ένα ανθρακούχο χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα), η δύναμη F_T μειούται. Σε υψηλότερες ταχύτητες κοπής η F_T βαίνει μειούμενη. Η επίδραση της u επί της F_T μπορεί να θεωρηθεί ως ασήμαντη στην περιοχή των υψηλών ταχυτήτων κοπής, όπως συμβαίνει με τη χρήση σκληρό μετάλλων ως κοπτικών εργαλείων.

Μία γενική παρατήρηση, που μπορεί να διατυπωθεί στο σημείο αυτό είναι ότι, σε αδρές γραμμές, μέσα στο εύρος των ταχυτήτων κοπής που χρησιμοποιούνται στην πράξη, υπερισχύει η έμμεση επίδραση της ταχύτητας κοπής μέσω των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών. Η ταχύτητα κοπής, που αντιστοιχεί στο σημείο Α, πρακτικώς είναι μικρότερη των 40 m/min, τιμή που συνιστά ένα κατώτερο σύνορο στη χρησιμοποίηση σκληρομετάλλων ως κοπτικών. Άρα, είναι δυνατόν να δεχθούμε ότι υψηλότερες ταχύτητες συνεπάγονται εν γένει μείωση της συνιστώσας F_T .



Σχ. 4.16

Επιρροή της ταχύτητας κοπής u (μεταβαλλόμενης σε ευρέα όρια) στην κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής F_T για σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες κοπής.

- α) Η F_T παραμένει σταθερά καθ' όλη την περιοχή μεταβολών της u , αν δεν ληφθεί υπόψιν η επίδραση της ψευδόκοψης και της θερμοκρασίας.
- β) Επιρροή της ψευδόκοψης. Το σημείο B αντιστοιχεί στο μέγιστο μέγεθος της ψευδόκοψης, το δε Γ στο σημείο εξαφανίσεως της (αύξηση της γωνίας γ και μείωση της επιφανείας επαφής αποβλήτου - εργαλείου εξαιτίας σχηματισμού της ψευδόκοψης).
- γ) Λόγω αναπτύξεως υψηλών θερμοκρασιών (με αύξηση της ταχύτητας κατά την κοπή, μειώνεται το όριο διαρροής του κατεργαζόμενου μετάλλου σε διάτμηση).
- δ) Η πραγματική καμπύλη $F_T = \sigma(u)$.

ΙΑ. Το υγρό κοπής.

Το υγρό κοπής (παράγρ. 2.2.7) με τις δράσεις του στο φαινόμενο της κοπής (ιδιαίτερα με την λιπαντική του δράση) και με τις ποικίλες επιπτώσεις του, κατάλληλα επιλεγόμενο και εφαρμοζόμενο, ασκεί ευεργετική επιρροή επί των δυνάμεων κοπής στην κατά μήκος τόννευση, προφανώς δε και σε άλλες κατεργασίες, όπως θα διαπιστώσαμε στα επόμενα.

4.3.3 Φθορά και ζωή του κοπτικού εργαλείου στην κατά μήκος τόννευση.

Συνεχίζοντας τα όσα έχουμε ανακεφαλαιωτικώς αναφέρει στις παραγράφους 2.2.4 και 2.2.7 αναφορικά προς την φθορά και την ζωή, αντιστοίχως, τον τυπικού εργαλείου διαμήκους τόννευσεως, εδώ θα παραθέσουμε συμπληρωματικά ποσοτικά και ποιοτικά σχετικά στοιχεία. Κατ'αυτόν τον τρόπο, πιστεύουμε ότι θα δημιουργηθεί η αναγκαία θεωρητική και τεχνολογική υποδομή για επιτυχείς επιλογές παραγόντων κοπής εν γέ-

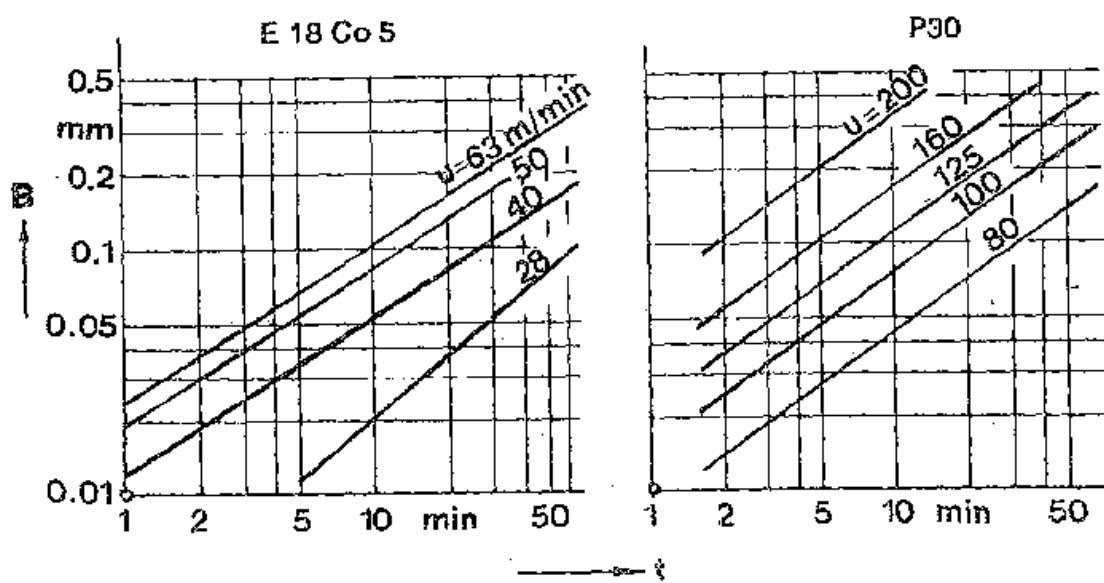
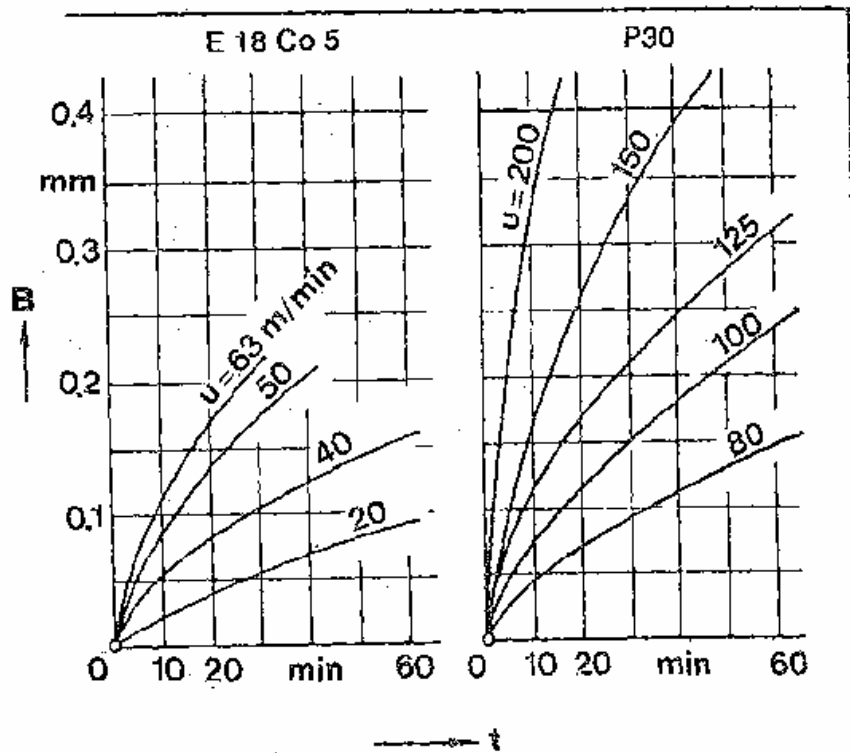
νει κατά περίπτωση διαμήκους τριτοβάθμιας στην πράξη.

4.3.3.1. Φθορά τον εργαλείου.

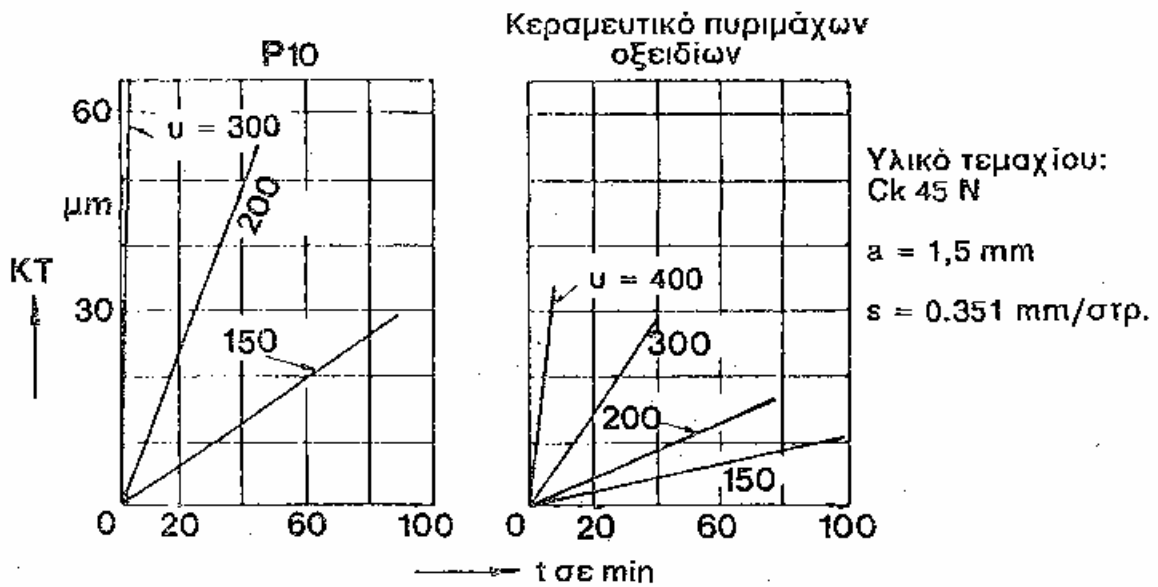
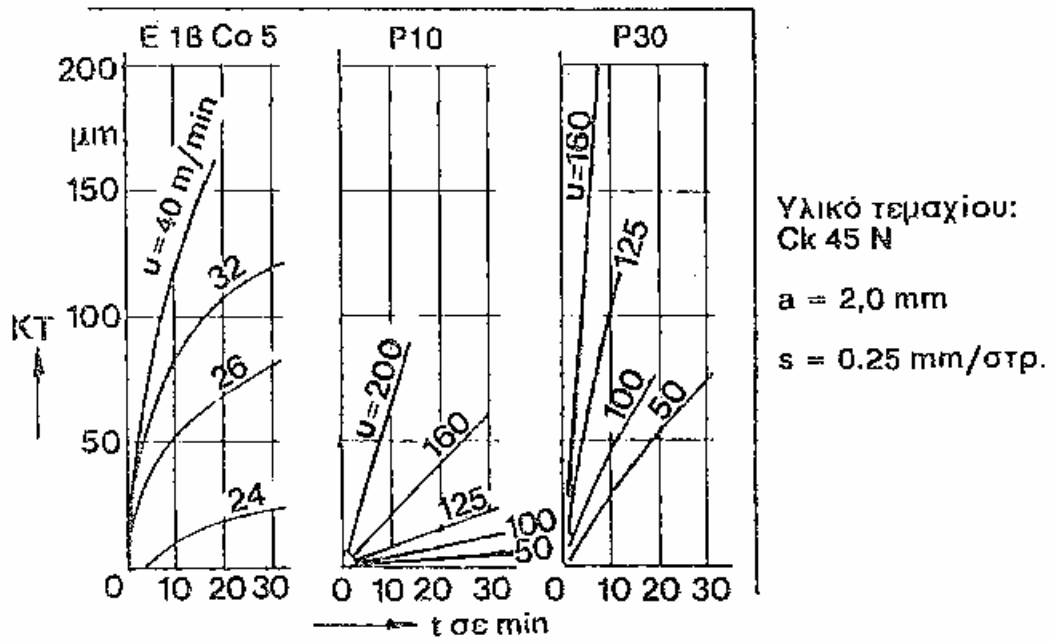
Στο σχήμα 4.17 παρουσιάζονται ενδεικτικά συγκεκριμένες πειραματικές καμπύλες μεταβολών του πλάτους της ζώνης φθοράς B συναρτήσει του χρόνου κοπής t με παράμετρο την ταχύτητα κοπής v για εργαλείο από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο και σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες κοπής (αναφέρονται στο σχήμα) σε γραμμικούς και σε λογαριθμικούς άξονες. Το αυτό γίνεται και για τις μεταβολές του βάθους κρατήρα KT και του δείκτη φθοράς κρατήρα K με τον χρόνο κοπής t , όπως φαίνεται στα σχήματα 4.18 και 4.19, αντιστοίχως. Όπως εύκολα διαπιστώνεται, οι εν λόγω καμπύλες ανταποκρίνονται στενά στις συναρτησιακές σχέσεις δυνάμεως, επί πλέον δε εμφανίζεται, έκδηλη η σημαντικά δυσμενής, για την φθορά τον εργαλείου, επιρροή της ταχύτητας κοπής.

Θεωρούμε χρήσιμο να αναφερθούμε εδώ με λίγα λόγια στο πως επηρεάζει η ψευδόκοψη, προφανώς όταν υφίστανται ευνοϊκές συνθήκες σχηματισμού της, την φθορά και συνακόλουθα την ζωή του εργαλείου.

Ας θεωρήσουμε την τριτοβάθμια ανθρακούχου χάλυβα μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα με εργαλείο από σκληρομέταλλο P30. Στο σχήμα 4.20 έχουν χαραχθεί ποιοτικά οι καλούμενες **καμπύλες φθοράς του υλικού του εργαλείου**, δηλαδή το πλάτος της ζώνης φθοράς B και το βάθος κρατήρα KT ή ο δείκτης κρατήρα K συναρτήσει της ταχύτητας κοπής συνήθως (ή και συναρτήσει της θερμοκρασίας κοπής).

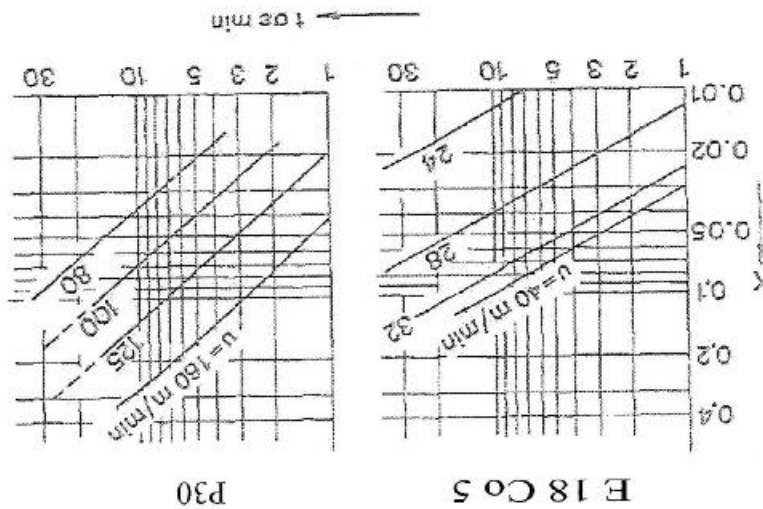


Σχ. 4.17
 Πειραματικές καμπύλες $B=\sigma(t)$ με παράμετρο την ταχύτητα κοπής u
 Υλικό τεμαχίου: Χάλυβας CK45N $\alpha=2, 0 \text{ mm } s=0, 25\text{mm/στρ.}$



Σχ. 4. 18

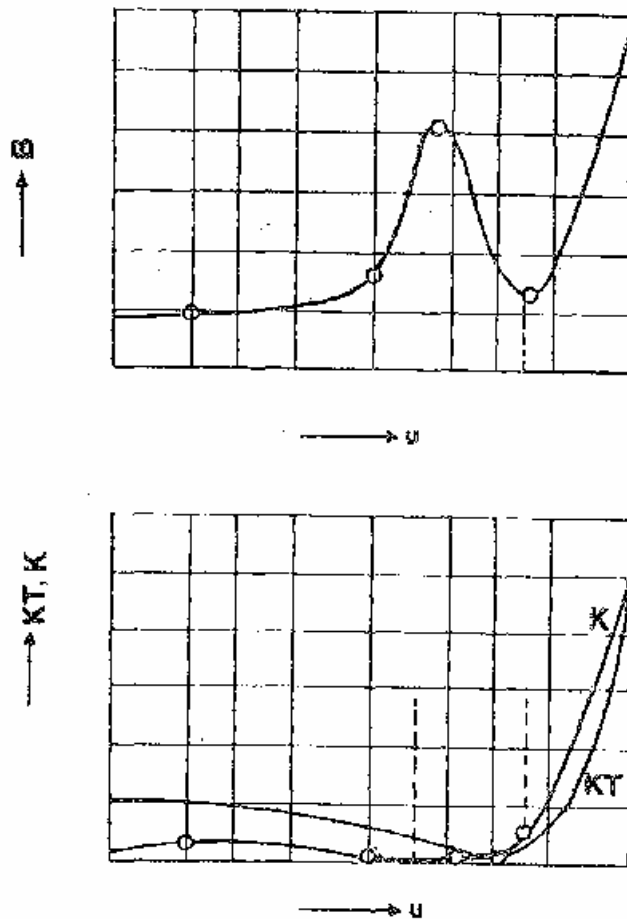
Πειραματικές καμπύλες μεταβολής του βάθους κρατήρα KT συναρτήσεως του χρόνου κοπής t με παράμετρο την ταχύτητα κοπής u για διάφορα υλικά κοπτικών εργαλείων.



Σχ. 4.19

Πειραματικές καμπύλες $K=\sigma(t)$

Υλικό τεμαχίου: Χάλυβας CK45N $\alpha=2$, 0mm $s=0$, $25\text{mm}/\sigma\tau\rho$.

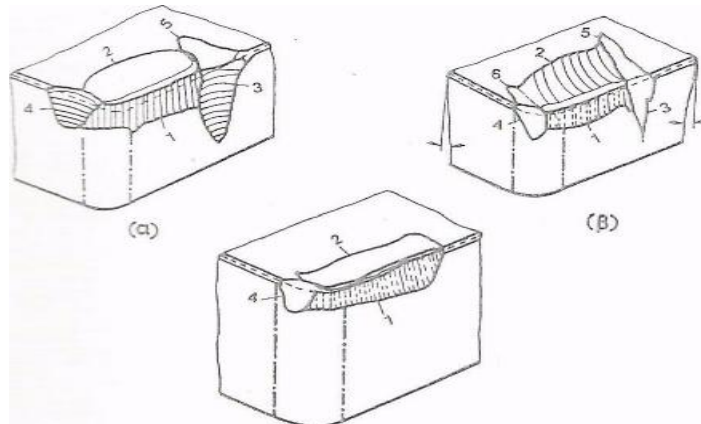


Σχ. 4.20

Ποιοτικές καμπύλες φθοράς του υλικού του εργαλείου: Το πλάτος B της ζώνης φθοράς και το βάθος KT του κρατήρα συναρτῆσει της ταχύτητας κοπής με σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες κοπής.

Οι επιπτώσεις σχηματισμού της ψευδοκοψης στη φθορά του εργαλείου είναι άλλοτε θετικές, άλλοτε αρνητικές και άλλοτε και τα δύο μαζί. Εξαρτάται κάθε φορά ποιο είδος φθοράς εξετάζουμε. Στις καμπύλες αυτές παρατηρούμε, στην ίδια περίπτωση ταχύτητα κοπής, ένα μέγιστο για το πλάτος B και ένα ελάχιστο για το βάθος κρατήρα ή το δείκτη κρατήρα. Στην περιοχή αυτή ταχύτητων κοπής το ευσταθές μέρος 1 της ψευδοκοψης (σχ. 1.10α) προφυλάσσει το πρόσωπο των εργαλείων από φθορά (δεν σχηματίζεται κρατήρας, ενώ τα σκληρότατα τμηματίδια, που προέρχονται από τον περιοδικό κατακερματισμό του ασταθούς τμήματος της ψευδοκοψης 2. , προκαλούν σημαντική αύξηση στο πλάτος της ζώνης φθοράς. Έτσι λεπτομερέστερα, με αυξανόμενο το μέγεθος και την αστάθεια της ψευδοκοψης, όταν αυξάνεται η ταχύτητα κοπής, το B μεγαλώνει και χειροτερεύει η τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Η μέγιστη τιμή του B αντιστοιχεί στην ταχύτητα εκείνη κοπής, όπου και το μέγεθος της ψευδοκοψης αποκτά το μέγιστο του. Με περαιτέρω όμως αύξηση της ταχύτητας κοπής (και βεβαίως της θερμοκρασίας στη διεπιφάνεια αποβλήτου - εργαλείου), αρχίζει να περιορίζεται το μέγεθος της ψευδοκοψης. Αυτό έχει ως επίπτωση τη μείωση του πλάτους της ζώνης φθοράς και τελικά τον περιορισμό ή και την ολική εξαφάνιση της ψευδοκοψης [ελάχιστο του B στην καμπύλη $B=\sigma(u)$]. Έχει, υποστηριχθεί τεκμηριωμένα, ότι η εξαφάνιση της ψευδοκοψης, άρα και η σημαντική μείωση του πλάτους φθοράς, συνδέεται με μετασχηματισμό α -Fe σε γ -Fe (ωστενίτη) για τους χάλυβες, όπως στη θεωρούμενη περίπτωση. Ο ρυθμός κρατύνσεως της ψευδοκοψης ελαττώνεται ως αποτέλεσμα της ανακρυσταλλώσεως και του μετασχηματισμού της φάσεως, που συμβαίνει. Η ψευδοκοπή καθίσταται εντελώς ασταθής και ολισθαίνει στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου και έτσι παύει να ασκείται οποιαδήποτε επιρροή στην ελευθέρα επιφάνεια του εργαλείου. Για αύξηση της ταχύτητας κοπής πέρα από εκείνη που αντιστοιχεί στο ελάχιστο του B ή του KT (ή K), παρατηρείται ραγδαία αύξηση της φθοράς κρατήρα, εξαιτίας αυξήσεως του ρυθμού διαχύσεως, στην οποία συντελεί η παρουσία του ωστενίτη, όπου έχουμε πλήρη διαλυτότητα ωστενίτη- καρβιδίων σκληρομετάλλου.

Στο σχήμα 4.21 Α εικονίζονται μορφές φθοράς κοπτικών εργαλείων τρι-νευσεως από ταχυχάλυβα. σκληρομέταλλο και κεραμικά πυρίμαχων οξειδίων, ενώ στο 4.21 Β παρουσιάζονται καταστροφικές αστοχίες εργαλείων από τα προαναφερθέντα υλικά.



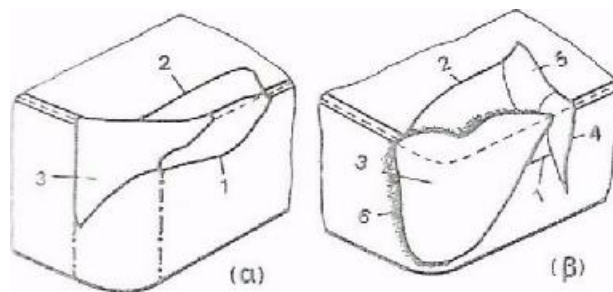
Σχ. 4.21 A

Μορφές φθοράς κοπτικών εργαλείων τριανεύσεως.

α) Μορφές φθοράς του εργαλείου από σκληρομέταλλο.

β) Μορφές φθοράς εργαλείου από ταχυχάλυβα.

γ) Τύποι φθοράς εργαλείου από κεραμικό πυριμάχων οξειδίων. 1 ζώνη φθοράς, 2 κρατήρας, 3 πρωτεύουσα αυλακοειδής φθορά, 4 φθορά από οξείδωση, 5 εξώτερη αυλακοειδής φθορά, 6 εσώτερη αυλακοειδής φθορά.



Σχ. 4.21 B

Καταστροφικές αστοχίες κοπτικών εργαλείων τριανεύσεως.

α) Εργαλεία από ταχυχάλυβα λόγω πλαστικής παραμορφώσεως (πλαστικής ροής).

β) Εργαλεία από κεραμικό πυριμάχων οξειδίων από απολεπίσεις, και τελικά, από θραύση.

Τα σκληρομέταλλα αστοχούν καταστροφικώς συνήθως από θραύση στη θέση της πρωτεύουσας αυλακοειδούς φθοράς ή από θραύση του κρατήρα στη θέση της δευτερεύουσας αυλακοειδούς φθοράς.

4.3.3.2. Ζωή του κοπτικού εργαλείου.

Συνδεδόμενοι με την παράγραφο 2.2.5. μνημονεύουμε τις βασικές εμπειρικές συναρτησιακές σχέσεις (όχι όμως στοχαστικές¹) εκφράσεως της ζωής του εργαλείου του F. W. Taylor, δηλαδή στην απλή και στην γενικευμένη, οι οποίες μέχρι σήμερα αποτελούν την βάση για την ανάλυση της ζωής του κοπτικού, όπως θα αναπτύξουμε στην συνέχεια. Περαιτέρω θα δώσουμε συμπληρωματικές πληροφορίες επιρροής ουσιαστών παραγόντων κοπής επί της ζωής του εργαλείου της διαμήκους

τορνεύσεως και θα ασχοληθούμε με την παραθεση στοιχείων σχετικά με συνιστώμενες τιμές του πλάτους B της ζώνης φθοράς και των μεγεθών της φθοράς κρατήρα KT και K, αναγκαίες για θέσεις κριτηρίων ζωής του εργαλείου, (παρ. 2.2.6.), με την εξίσωση Kronenberg, καθώς και με την εκτίμηση της ταχύτητας κοπής u_T , για δεδομένη ζωή του εργαλείου T' [ως γνωστόν (παραγρ. 2.2.4) η u_T , αποτελεί βασικό δείκτη κατεργαστικότητας των μετάλλων] χρησιμοποιώντας την γενικευμένη σχέση Taylor και κατάλληλους κατά περίπτωση διορθωτικούς συντελεστές.

A. Συμπληρωματικά στοιχεία επιδράσεως παραγόντων κοπής επί της ζωής του εργαλείου

Συνεχίζοντας την παράγραφο 1.2.5.2. , προθέτουμε τις ακόλουθες πληροφορίες:

1. Η ταχύτητα κοπής.

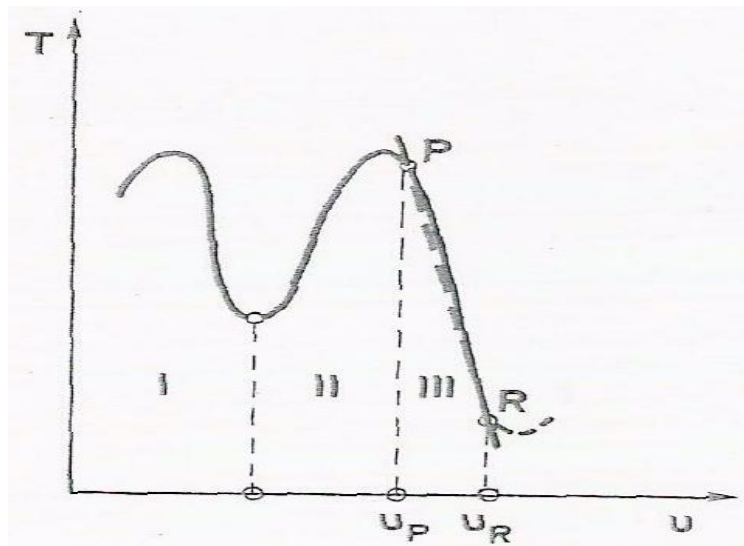
Όπως έχουμε αναφέρει στην παράγραφο 2 2.5. , από όλους τους παράγοντες κοπής που ασκούν επίδραση στη ζωή του εργαλείου Τα, η ταχύτητα κοπής u αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα.

Με μεταβολές της ταχύτητας κοπής μέσα σε ευρεία όρια, η ζωή του κοπτικού (με τιθέμενο καθορισμένο κριτήριο αστοχίας του) μπορεί να αυξάνεται ή μειώνεται (σχ. 4.22) σε σημαντικό βαθμό. Η συσχέτιση, δηλαδή T-u προκύπτει μη μονότονος εν γένει.

Παρατηρούνται, στην γενική περίπτωση, τρεις ζώνες μεταβολών της ταχύτητας κοπής u , πάντοτε με αύξηση της, οφειλόμενες στην επιρροή σχηματισμού της ψευδόκοψης, όπως εξηγείται στην προηγούμενη παράγραφο 4.3.3.1, ήτοι:

1. Οι εξισώσεις Taylor (εκφράζουσες απλώς μέσες τιμές της ζωής του εργαλείου) στην ουσία είναι στοχαστικής φύσεως, εξαιτίας της διαπιστωμένης πειραματικά, αλλά και δικαιολογούμενης εκτεταμένης διασποράς των πειραματικών τιμών της ζωής του εργαλείου κάτω από απαράλλακτους παράγοντες κοπής. Άρα, θα πρέπει να προσδιορίζονται όρια εμπιστοσύνης τόσο για την σταθερά, όσο και για τους εκθέτες των εξισώσεων αυτών σε δεδομένη στάθμη σημαντικότητας.

η ζώνη I, όπου η ζωή του εργαλείου T μειώνεται, δηλαδή για $u < u_1$ η ζώνη II ένθα η T αυξάνεται για $u_1 \leq u \leq u_2$ και η ζώνη III, όπου εμφανίζεται μονότονος μείωση της T όταν $u > u_2$. Είναι φανερό από τα εκτεθέντα, ότι οι σχέσεις Taylor (με σταθερούς τους παράγοντες κοπής, που δεν υπεισέρχονται σε αυτές) ισχύουν υπό τον περιορισμό $u > u_2$ (ζώνη ΙΠ). Τούτο συμβαίνει, συνήθως, κατά την τόννευση (και σε άλλες, βεβαίως, κατεργασίες κοπής) κατά την χρησιμοποίηση σκληρομετάλλων ως κοπτικών, αλλά και ταχυχαλύβων σε υψηλές (για αυτούς) ταχύτητες κοπής. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις της πράξεως (λ. χ. κατά την κοπή (ωστενιτικών χαλύβων, όπου εφαρμόζονται ταχύτητες κοπής με τιμές εμπίπτουσες στις περιοχές II ή I), κατά τις οποίες δεν ισχύουν οι σχέσεις Taylor, γεγονός στο οποίο εφιστούμε την προσοχή του μελετητή.



Σχ. 4. 22

Η μορφή της καμπύλης $T-u$ για μεγάλο εύρος μεταβολών της ταχύτητας κοπής και με σταθερούς τους λοιπούς παράγοντες κοπής

2. Το υλικό του εργαλείου.

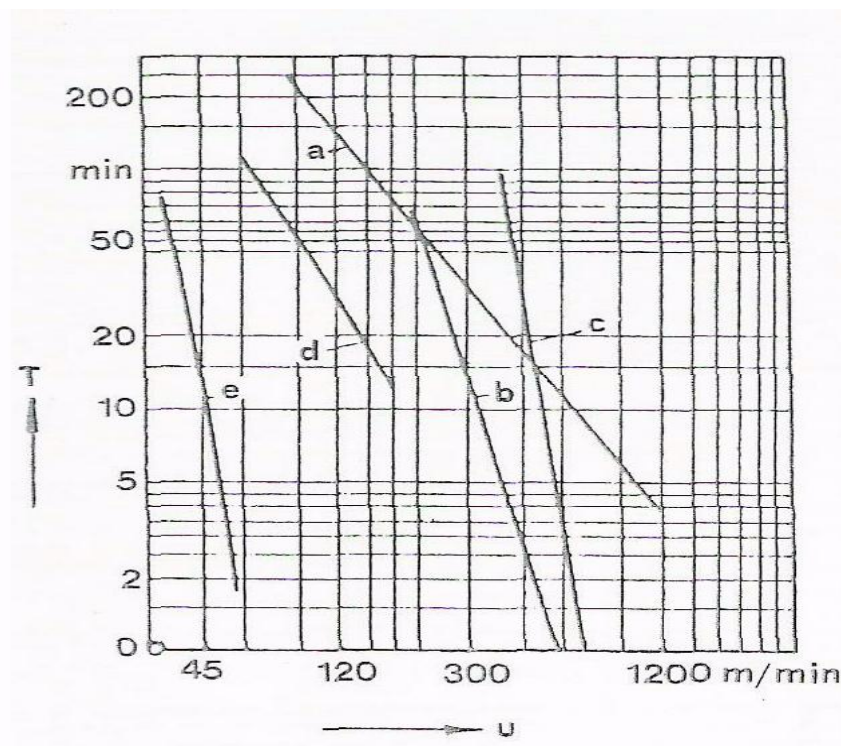
Εν συνεχεία αυτών που έχουμε παραθέσει στην παράγραφο 4.3.3.1 Γ, τονίζουμε ότι δείκτης ευαισθησίας του υλικού του εργαλείου είναι ο εκθέτης η ο οποίος παίρνει διαφορετικές τιμές ανάλογα προς το υλικό (ταχυχάλυβας, σκληρομέταλλο ή κεραμικό πυριμάχων οξειδίων). Στο σχήμα 4.23 αυτό φαίνεται λίαν παραστατικά.

3. Το κατεργαζόμενο μέταλλο.

Συμπληρώνοντας την παράγραφο 4.3.3.1 Δ, προσθέτομε ότι η επιρροή του υλικού του κατεργαζόμενου τεμαχίου μπορεί να πολιτικοποιηθεί με την εισαγωγή, στις σχέσεις Taylor διορθωτικών συντελεστών m_1 , που προσδιορίζονται εμπειρικά (παραγρ. 4.3.3 2 Δ). Επί παραδείγματι, για τόννευση με εργαλείο από ταχυχάλυβα ή σκληρομέταλλο και για:

- ανθρακούχους και νικελιούχους χάλυβες κατασκευών $M_1= 1, 00$
- χρωμιονικελιούχους χάλυβες $0, 95$
- χάλυβες ελευθέρας κοπής $1, 20$
- ταχυχάλυβες (σε ανοπτημένη κατάσταση) $0, 60$

Οι αναφερθείσες τιμές του M_1 αφορούν μέγιστη αντοχή $\sigma_B=75 \text{ daN/mm}^2$ για χάλυβες κάθε ομάδας.



Σχ. 4.23

Σύγκριση της σχέσεως T-u για διάφορα υλικά εργαλείων

Χάλυβας AISI 1045. Οι λοιποί παράγοντες κοπής διατηρούνται σταθεροί.

- a) Κεραμευτικό Al_2O_3 : $n=0, 63$.
- b) Σκληρομέταλλο $\text{C8}=0, 23$
- c) Σκληρομέταλλο $\text{TiC}+\text{Ni}=0, 11$.
- d) Σκληρομέταλλο $\text{C5}=0, 49$ e) Τάχυχάλυβας $=0, 13$

- Τα δεδομένα του μηχανολογικού σχεδιασμού, σε γενικές γραμμές είναι: Πλήρης σχεδιομελέτη του τεμαχίου ή εξαρτήματος. που προκύπτει να μορφοποιηθεί με μηχανουργικές κατεργασίες, δηλαδή μορφή του εξαρτήματος(με τις αναγκαίες όψεις και τομείς), αναγραφή ανοχών των χαρακτηριστικών ως κρίσιμων διαστάσεων, ανοχών μορφής, του βαθμού τραχύτητας κρίσιμο επιφανειών(ανώτερο σύνορο μεγεθών της τραχύτητας, κατά περίπτωση, όπως των R_a , R_{max} , R_x ή αλλιώς, αν επιβάλλονται για λειτουργικούς λόγους του εξαρτήματος). Επιπλέον, πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού κατασκευής του εξαρτήματος, ιδιαίτερος δε εκείνα που επηρεάζουν την κατεργαστικότητα του, όπως επίσης και τον όγκο παραγωγής μαζί με ένδειξη(ή και ακριβή καθορισμό)της ημερομηνίας ολικής παραδόσεως του προϊόντος ή των ημερομηνιών τμηματικών παραδόσεων.

4. 4. Κοπτικά εργαλεία τорνεύσεως.

Τα κοπτικά εργαλεία από ταχυχάλυβα και από ανθρακούχο ή από κεκραμένο χάλυβα κατασκευάζονται ολόσωμα. Τα χυτευτά κράματα κοπτικών εργαλείων χρησιμοποιούνται υπό μορφή πλακιδίων, λεπίδων ή και ολόσωμων, μικρού όμως μεγέθους , ενώ τα σκληρομέταλλα και τα κεραμικά πυρίμαχων οξειδίων εφαρμόζονται ως πλακίδια επικολλώμενα ή ως σύνθετα συγκρατούμενα μηχανικά σε ειδικό στέλεχος. Στο σημείο αυτό οφείλουμε να επισημάνουμε(κάτι που έχει επισημανθεί και αλλού στα κείμενά μας) ότι στην πράξη χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο ποσοστό (έναντι των άλλων υλικών για κοπτικά) οι ταχυχάλυβες και τα σκληρομέταλλα. Και μάλιστα τα τελευταία, υπό μορφή ένθετων πλακιδίων, κερδίζουν συνεχώς έδαφος (όχι μόνον στην τόρνευση, αλλά και σε άλλες κατεργασίες, όπως θα δούμε στην συνέχεια), λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν.

4. 4.1 Πρόσδεση κοπτικών εργαλείων και τεμαχίων.

Για την σωστή στήριξη τόσο των κοπτικών εργαλείων, όσο και των τεμαχίων που κατεργαζόμαστε, μεταχειριζόμαστε κατάλληλες για κάθε περίπτωση **συσκευές συγκρατήσεως (ή προσδέσεως)**.

Όπως γνωρίζουμε, κατά την κατεργασία αναπτύσσονται δυνάμεις (παραγρ. 4.3.2 σε ό, τι αφορά την τόρνευση επί παραδείγματι), που ασκούνται επάνω στο εργαλείο και στο τεμάχιο. Ακόμη, η εργασία μιας συσκευής συγκρατήσεως βασίζεται κατά κύριο λόγο στην τριβή που αναπτύσσεται ανάμεσα στις επιφάνειες συγκρατήσεως

εργαλείου ή τεμαχίου και συσκευής. Έτσι, για να αποφευχθεί μετατόπιση στο εργαλείο και / ή στο τεμάχιο (τούτο είναι ανεπιθύμητο, γιατί εισάγει ανακρίβεια στην κατεργασία και μπορεί ακόμη να προξενήσει και ανωμαλίες στην διεξαγωγή της κατεργασίας), είναι αναγκαίο και τα δύο, δηλαδή **το εργαλείο και το τεμάχιο να είναι σφιχτά και με ασφάλεια συγκρατημένα.**

4. 4. 2 Εκλογή παραγόντων κοπής.

4. 4. 2. 1 Εξωτερική κυλινδρική διαμήκης τórνευση.

Η ποιοτική δυναμικότητα (διαστατική ακρίβεια και βαθμός τραχύτητας επιφάνειας) συστημάτων βασικών κατεργασιών κοπής και αντίστοιχων εργαλειομηχανών (K-EM) κατά τις ποικίλες κατεργασίες κοπής (συμπεριλαμβανομένης και της τoρνεύσεως). η οποία κυμαίνεται σε ευρέα όρια, προφανώς για να καλυφθούν οι κατά περίπτωση μεταβαλλόμενοι παράγοντες κοπής, αλλά και η κατάσταση των εργαλειομηχανών που εκάστοτε χρησιμοποιούνται. Στον πίνακα αυτό δίδονται ορισμένες διευκρινίσεις.

A. Ταχύτητα κοπής: Συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας κοπής u_{60} και u_{240} (παραγρ. 2.2.5) για ποικιλία κατεργαζόμενων υλικών για μεταβαλλόμενες τιμές της προώσεως και για εργαλεία από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο καταχωρίζονται στον Πίνακα 4.1¹. Συντελεστές διορθώσεως των τιμών u_{60} και u_{240} για τιμές της γωνίας θέσεως της κύριας κόψης $\kappa=60^\circ$ και 90° (ο εν λόγω πίνακας έχει καταρτισθεί με $\kappa=45^\circ$), καθώς και διάφορες τιμές του βάθους κοπής a δίδονται στους Πίνακες 4.2 και 4.3, αντιστοίχως. Ένας άλλος πίνακας, ο Πίνακας 4.4 μας δίδει την ταχύτητα κοπής Y_T και τον εκθέτη n της εξισώσεως Taylor κατά την διαμήκη τórνευση χαλύβων με την αναφερόμενη σε αυτόν κρυσταλλική δομή και τις παρατιθέμενες περιπτώσεις κατεργασίας, ενώ στους Πίνακες 4.5 και 4.6 παραθέτουμε στοιχεία τoρνεύσεως χυτοσιδήρων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Συνιστώμενες τιμές του δείκτη κατεργαστικότητας $U_T(u_{240}, u_{60})$ κατά την διαμήκη τόννευση, για μεταβαλλόμενη πρόωση, για διάφορα υλικά τεμαχίου και για εργαλεία από σκληρομέταλλο και ταχυχάλυβα.

Υλικό τεμαχίου	Όριο θραύσεως σ_n [Kp/mm ²]	Σκληρομέταλλα							Ταχυχάλυβες				
		s[mm/στρ.]							s[mm/στρ.]				
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,6			0,2	0,4	0,8	1,6	3,2
u_{240} [m/min]						U_{60} [m/min]							
Ανθρακούχοι Χάλυβες	έως 50	290	245	210	180	-	PIO	60	45	34	25	19	
		-	170	145	125	105	P20						
	50 ... 60	-	-	94	80	67	P30						
		260	215	185	155	-	PIO						
		-	145	121	103	85	P20						
		-	-	78	67	56	P30						
	60 ... 70	225	188	160	155	-	PIO						
		-	122	104	89	71	P20						
		-	-	65	56	48	P30						
	70 ... 85	188	155	128	108	-	PIO						
		-	98	83	70	52	P20						
		-	-	50	44	34	P30						
85 ... 100	167	135	112	95	-	PIO							
	-	84	71	61	45	P20							
	-	-	43	38	28	P30							
	105	86	70	56	-	PIO							
Κεκραμένοι χάλυβες	100... 120	-	55	45	36	28	P20	16	11	8	5,6	4,0	
		-	-	27	22	18	P30						
Ανοξειδωτοι χάλυβες		90	71	56	48	-	PIO	21	15	11	7,5	5,3	
		-	43	34	28	22	P20						
		-	-	22	19	15	P30						
Χυτοχάλυβες	38 ... 52	142	120	101	88	-	PIO	50	38	28	21	10	
		-	78	66	57	45	P20						
Φαιός χυτοσίδηρος	έως 200 HB	-	-	43	36	30	P30	48	34	19	13	η	
		130	108	90	75	63	K20						
	95	80	70	61	50	K40							
Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος	άνω 200 HB	38	32	28	23	20	K10	24	15	10	7,1	4,8	
		-	-	-	-	-	K05						
Κράματα αργιλίου έως 9% Si άνω 9% Si		100	84	70	60	50	K10	43	28	20	13	9	
		-	-	-	-	-	P20						
Κράματα μαγνησίου Ορείχαλκος		226	192	164	140	118	K20	125	85	56	36	24	
		100	90	80	71	67	K20						
Χυτό κρατέρωμα		1800	1500	1250	1060	900	K20	900	800	750	716	600	
		600	530	450	400	350	K20						
Πλαστικές ύλες		500	450	375	335	300	K20	85	63	48	34	24	
		355	280	236	200	180	K20						
							K10						
		280	212	170	132	100	K20	-	-	-	-		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. Συντελεστές διορθώσεως των ταχυτήτων u_{60} και u_{240} ΤΟΥ

Πίνακα 4.1 για διάφορες τιμές της γωνίας θέσεως της κύριας κόψης, κ .

Υλικό εργαλείου και υλικό τεμαχίου	Συντελεστές διορθώσεως των u_{60} και u_{240} για τιμές του κ :		
	45 °	60°	90°
Κοπή χάλυβα και χυτοχάλυβα με εργαλείο από ταχυχάλυβα.	1, 0	0, 80	0, 66
Κοπή χυτοσιδήρου με εργαλείο από ταχυχάλυβα.	1, 0	0, 89	0, 72
Κοπή υπόλοιπων υλικών με εργαλείο από ταχυχάλυβα.	1, 0	0, 96	0, 90
Κοπή ανθρακούχων χαλύβων και χυτο-χαλύβων με εργαλείο από σκληρομέταλλα P10, P20 και P30.	1, 0	0, 96	0, 80
Κοπή χαλυβοκραμάτων με εργαλείο από σκληρομέταλλα P10, P20 και P30.	1, 0	0, 96	0, 70
Κοπή ανθρακούχων χαλύβων και επι-βελτιωμένων χαλυβοκραμάτων με εργαλείο από σκληρομέταλλο P40 και P50.	10	0, 93	0, 86
Κοπή ανθρακούχων χαλύβων, επιβελτιωμένων χαλυβοκραμάτων και χυτοσιδήρων με εργαλείο από σκληρομέταλλα M20 και M30.	1, 0	0, 95	0, 90
Κοπή χυτοσιδήρων με εργαλείο από σκληρομέταλλο K10 και K20.	1, 0	0, 96	0, 90

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 Υλικό κοπτικού εργαλείου για διάφορα βάθη κοπής

Βάθος κοπής a[mm]	Υλικό κοπτικού εργαλείου		
	P10, P20, P30 P40, P50 K 10, K20 a= 2- 1 5 mm	P01, P02, K01 a=0, 4-3, 0 mm	M20, M30 a=0, 4-5, 0 mm
0, 4	1, 30	1, 10	1, 20
0, 8	1, 20	1, 04	1, 14
1, 0	1, 18	1, 00	1, 10
1, 5	1, 16	0, 97	1, 08
2, 0	1, 14	0, 94	1, 04
3, 0	1, 06	0, 90	1, 00
4, 0	1, 03	0, 88] ²	0, 97
5, 0	1, 00	0, 86]	0, 95
6, 0	0, 98	0, 84]	0, 92
8, 0	0, 95		
10, 0	0, 92] ¹		
12, 0	0, 90]		
15, 0	0, 88]		

1. Δεν χρησιμοποιείται το σκληρομέταλλο P10

2. Δεν χρησιμοποιούνται τα σκληρομέταλλα P01 και P02

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4. Τιμές της ταχύτητας κοπής v_T και του εκθέτη n κατά την κατεργασία χαλύβων με διαφορετική κρυσταλλική δομή.

Υλικό τεμαχίου: χάλυβας	Κρυσταλλική δομή	Σκληρομέταλλο		Ταχυχάλυβας	
		v' m/min	n	v' m/min	n
SAE 1020	10% Π ⁴ +90% Φ ⁵	244	0, 282	58	0, 152
SAE 3140	75% Π +25% Φ	111	0, 324	23	0, 282
	Βαμμένος μετά επαναφοράς (300 BHN)+0, 1%S	93	0, 282	32	0, 032
	75%Π+25%Φ+0, 1%S	-	-	372	0, 096
SAE 4140	90% Π+ 10% Φ	107	0, 288	23, 2	0, 270
	90%Π+10%Φ+0, 1%S	122	0, 270	33, 5	0, 174
	Βαμμένος μετά επαναφοράς (300 BHN)				
SAE 8160	50% Π+50% Φ	119	0, 278	40	0, 080
	75%Π+25%Φ	116	0, 323	27, 5	0, 211
	Βαμμένος μετά επαναφοράς (400 BHN)	50, 5	0, 475	15, 3	0, 169
Ανοξείδωτος	Βαμμένος μετά επαναφοράς (300 BHN)+0, 1% S	-	-	30, 5	0, 044
	AISI 430	-	0, 222	42, 7	0, 185
	AISI 410	-	-	42, 7	0, 185

1. Με χρήση υγρού κοπής
2. Για διατομή αποβλήτου $A=0, 645 \text{ mm}^2$, πλάτος ζώνης φθοράς $B=0, 38 \text{ mm}$ και $T'=30 \text{ min}$
3. Για διατομή $A=0, 36 \text{ mm}^2$, πλάτος ζώνης φθοράς $B=1, 5 \text{ mm}$ και $T'=30 \text{ min}$
4. Π, Περλίτης
5. Φ, Φερρίτης

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5 Συστάσεις για διαμήκη τórνευση χυτοσιδήρου με λεπιδοειδή γραφίτη (κριτήριο ζωής του εργαλείου η στόμωσή του).

Υλικό τεμαχίου	Βάθος κοπής a, mm	s, mm/στρ	Υλικό κοπτικού εργαλείου	Γωνία Ελευ-θευρ-ίας α[°]	Γωνία αποβλίττου γ [°]	Γωνία Λοξό-τητας λs[°]	Γωνία θέσεως κ[°]	Ταχύτητα κοπής υ [m/min]
GG 10	0,5	0,1	S 10-4-3-10	8	0-6	0	45-90	40-50
	3,0	0,3						30 - 40
	6,0	0,6						25 - 35
GG 15	1,0	0,1	K05, K10	8	6	0	45 - 90	80 - 120
	3,0	0,3	K10, K20	5 - 8	6-10	-4	45 - 70	70 - 100
	6,0	0,6	K20, P30, M15					50 - 80
	1,0	0,2	Κεραμικό	5 - 8	0	-4	60-75	300 - 400
3,0	0,4	πυρίμαχων οξειδίων	250 - 350					
GG20	0,5	0,1	S 10-4-3-10	8	0-6	0	45 - 90	28 - 38
	3,0	0,3						27-35
	6,0	0,6						20- 30
GG25	1,0	0,1	K05, K10	8	0-6	0	45 - 90	80-110
	3,0	0,3	K 10, K20	5 - 8	6	-4	45 - 70	65 - 85
	6,0	0,6	K20, M15					50-70
	1,0	0,2	Κεραμικό	5 - 8	0	-4	60 - 75	200 - 350
3,0	0,4	πυρίμαχων οξειδίων	200 - 300					
GG30	0,5	0,1	S 10-4-3-10	8	0-6	0	45 - 90	32 - 40
	3,0	0,3						23 - 32
	6,0	0,6						15 - 23
GG40	1,0	0,1	K05, K10	6	0	0	45 - 90	70- 100
	3,0	0,3	K10, K20, M10	5 - 8	6-9	-4	45 - 70	55 - 75
	6,0	0,6	K20, M15					45 - 65
	1,0	0,2	Κεραμικό	5	0	-4	60 - 75	100- 250
3,0	0,4	πυρίμαχων οξειδίων	100- 200					
Κεκραμένος	0,5	0,1	S 10-4-3-10	8	0	0	45 - 90	18 - 25
	3,0	0,3						15-20
	6,0	0,6						12 - 15
χυτοσίδηρος	1,0	0,1	K05	5	0	0	45 - 90	60-90
	3,0	0,3	K10, M 10, M 15	5 - 8	0-6	-4	45 - 70	40- 70
	6,0	0,6	K10, K20, M 15					30 - 60
	1,0	0,2	Κεραμικό	5	0	-4	60 - 75	100-200
3,0	0,4	πυρίμαχων] οξειδίων	80 - 150					

Ταχυχάλυβας: S 10-4-3-10 → W: 10%. Cr: 4%. V: 3%. Co: 10%.

Σκληρομέταλλα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6. Συστάσεις για επιλογή τιμών τον δείκτη εκατοστιαίας σχετικής κατεργαστικότητας Z_{100} [B171]¹, για χάλυβες και χυτοσίδηρους.

Συμβολισμός κατά AISI	Z_{100}	Συμβολισμός κατά AISI	Z_{100}	
121. 14	130	1070. 1340, 2340, 4340, 6352,	45	
1213	110	ανοξειδωτος χάλυβας 18-8.		
1112	100 ¹	25 15, 52100, μαγγανιούχος		
1111	95	χάλυβας βαμμένος σε λάδι.		
1109, 1115, 1117	85	χαλυβοκράματα εργαλείων		
1118, 1119, 1120, 1232	80	(χαμηλού W και Cr, ταχυχάλυβες.		
1132	75			
1016, 1022	70	Χυτοσίδηροι:		
1020, 3030. 1035, 4032, 4047	65	• μέσης σκληρότητας (120-220 BHN)		
1040 _T 1045, 3120, 4042, 4137,	60	• μαλακός (160-190 BHN)		
5140, 8720, 8640, 9140		• μαλακτικοποιημένος τυπικός		
2314, 3130. 3140, 4047, 4145,	55			120
4320. 4640. 5150, 8645	50	• μαλακτικοποιημένος περλιτικός		
1008, 1010, 1015, 1050, 1320,				
1330, 1335, 2330, 3145, 4150,				
6120, 6145, 4815, 8650, σφυρήλατος σίδηρος.			90	
			—	

1. Ως χάλυβας αναφοράς για την εκτίμηση του δείκτη Z_{100} έχει ληφθεί ο χάλυβας ελευθέρως κοπής 1112 προερχόμενος από εν ψυχρώ εξέλαση ή ολκή και κατεργασμένος με τόννευση. με εργαλείο από ταχυχάλυβα και με ταχύτητα κοπής περίπου 60m/min. Προ της εν ψυχρώ διαμορφώσεως βρισκόταν σε κατάσταση ανακτήσεως.

Συμβολισμός χαλύβων: α) Ανθρακούχοι χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα: 1006 . . . 1026. β) Ανθρακούχοι μέσης και υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα: 1027 . . . 1095. γ) Χάλυβες ελευθέρως κοπής (αναθειωμένοι): 1108 . . . 1213. δ) Χάλυβες Ελευθέρως κοπής με προσθήκη και μολύβδου (πέραν του θείου): 10L18, 10L20, 12L13, 12L14. ε) Χαλυβοκράματα με χαμηλό ποσοστό προσθηκών και με μέση και υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα: 1330 . . . 9850, στ) Χάλυβες ενανθρακώσεως 1320 . . . 94B17

B. Η πρόωση και το βάθος κοπής:

Τιμές της προώσεως και του βάθους κοπής Εκλέγονται σε συσχετισμό προς την ταχύτητα u_{60} (συνήθως εργαλεία ταχυχάλυβα) ή u_{240} (ή u_{480}) (συνήθως εργαλεία σκληρομετάλλου). αλλά και προς την ονομαστική ισχύ που διαθέτει η εργαλειομηχανή (παραγρ. 1.3.5.2B).

Λόγω της σημαντικής επιρροής της προώσεως επί της τραχύτητας επιφάνειας

(παραγρ. 2. 3. 3. 3), όπου ενδιαφέρει η τραχύτητα επιφανείας (οι κρίσιμες επιφάνειες του τεμαχίου, όπου γίνεται τόννευση αποπερατώσεως) τίθενται περιορισμοί στο μέσο ύψος τραχύτητας R_a ή στο μέγιστο ύψος R_{max} και τότε η πρόωση (μπορεί και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τραχύτητα εκλέγεται ούτως, ώστε να ισχύουν οι περιορισμοί αυτοί.

Γ. Γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου:

Η γωνία αποβλήτου γ του κοπτικού και η γωνία ελευθερίας α κατά DIN 6581: 1966 εκλέγονται βάσει των δεδομένων των Πινάκων 4.7 και 4.8 με σκοπό την κάλυψη αναγκών διαμήκους τόννευσεως ποικιλίας υλικών τεμαχίου με εργαλεία από ταχυχάλυβα ή σκληρομέταλλο, αντιστοίχως.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7 Εκλογή της γωνίας αποβλήτου γ και της γωνίας ελευθερίας α του κοπτικού εργαλείου κατά την διαμήκη τόννευση με εργαλείο από ταχυχάλυβα.

Υλικό τεμαχίου	α [°]	γ [°]
Χάλυβες St134 έως St70	8	14
St85	8	10
Χαλυβοκράματα: $\sigma_B = 70-85 \text{ daN/mm}^2$	8	14
$\sigma_B = 85-100$	8	10
$\sigma_B = 100-180$	8	6
Χάλυβες εργαλείων	8	6
Χυτοσίδηροι (φαιοί)	8	6
Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος	8	10
Χυτοχάλυβας: $\sigma_B = 50 \text{ daN/mm}^2$	8	10
$\sigma_B = 50-70$	8	10
$\sigma_B = 70$	8	6
Σκληρός χυτοσίδηρος	8	0
Χαλκός	8	18
Ορείχαλκος, κρατέρωμα	8	0
Αργίλιο	12	30
Κράματα αργιλίου	12	18
Κράματα αργιλίου με μεγάλη περιεκτικότητα σε Si	12	18
Κράματα ψευδαργύρου	12	10
Κράματα μαγνησίου	8	6
Πλαστικές ύλες	12	14

σ_B : Μέγιστη αντοχή

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8. Εκλογή της γωνίας αποβλήτου γ και της γωνίας ελευθερίας α του κοπτικού εργαλείου κατά την διαμήκη τόνρευση με εργαλείο από σκληρομέταλλο.

Υλικό τεμαχίου	Μέγιστη αντοχή σ_B , daN/mm ² ή σκληρότητα, BHN	Εκχόνδριση				Αποπεράτωση			
		Κατηγορία και ποιότητα σκληρομετάλλου	α [°]	γ [°]	λ [°]	Κατηγορία και ποιότητα σκληρομετάλλου	α [°]	γ [°]	λ [°]
Χάλυβες κατασκευών	≤50	P20 / P40	6	10	-5 έως -6	P01 /PIO	6	12	-4
Χάλυβες κατασκευών και επιβελτιωμένοι	50-70 70- 100	P20 / P50 P20/P50	6 6	8- 10 6-8	-5 έως -6 -5 έως -6	P01 /PIO P01 /PIO	6 6	10 8	-4 -4
Μαγγάνιοχοι, χρώμιοχοι και χρωμομαγγανιοχοι χάλυβες	70-85 85 - 100	P20 / P40 P20 / P40	6 6	6-8 6	-5 έως -6 -6 έως -8	P01 /PIO	6 6	8 6	-4 -4
Χαλβοκράματα	100- 140	P20 /P30	6	0-4	-8	P01 /PIO	6	4	-4
Ανοξείδωτοι χάλυβες	60-70	P20 / P40	6	4	-6	P01 /PIO	6	6	-4
Χάλυβες εργαλείων	150- 180	P20	6	0	-6	P01 /PIO	6	2	-4
Χυτοχάλυβες	≤50 50-70 > 70	P20 / P40 P20 / P40 P20 / P30	6 6 6	4-6 2 -4 -5 έως 0	-6 -6 -6	P01 /PIO P01 /PIO P01 /PIO	6 6 6	8 6 0-2	-4 -4 -4
Χυτοσίδηροι (φαιοί)	≤200 BHN >200	K20 K10	6 6	0-6 0-4	-6 -6	K20 K01 /K10	6 6	6 4	-4 -4
Ειδικοί χυτοσίδηροι	200 - 250 BHN	K10	6	4	-6	K10	6	6	-4
Μαλακτικοποιημένοι χυτοσίδηροι	≤220 BHN	K20	6	2-4	-6	K10/K20	6	4	-4
Σκληρός χυτοσίδηρος		K10	6	0	-6	K10	6	0	-4
Χαλκός, κρατερώματα		K20	8	10- 12	-4	K20	8	15	-4
Κράματα ψευδαργύρου		K20	6	10	-4	K20	6	10	-4
Κράματα αργιλίου		K20	8	20	-4	K 20	8	25	-4

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9. Συνιστώμενα υγρά κοπής για διάφορες κατεργασίες και κατεργαζόμενα υλικά.

Κατεργασίες	Χάλυβες		Φαιοί χυτοσίδηροι και μαλακτικοποιημένοι χυτοσίδηροι	Κράματα του χαλκού	Ελαφρά μέταλλα και κράματα τους*
	Ευκατέργαστοι	Δυσκατέργαστοι			
Τόνρευση	Γ2 -5	Γ(ΥΠ)10 E4, 5c	Γ2 -5	E 1, 2, 3, b Γ2 -5	E 1, 2, 3, a, b Γ 2 -5
Εσωτερική τόνρευση, διάτρηση	Γ2-5	Γ(ΥΠ)10 E 4, 5c	Γ2-5	E 1, 2, 3, b Γ2 -5	E, 2, 3, a, b Γ2 -5
Εργασίες σε αυτόματους τόνους	E 1, 2, 3c	E 4, 5c	E 1, 2, 3c	E1, 2, 3, c	E1, 2, 3, c
Φρεζάρισμα	Γ 5 – 10 E 2, 3, b, c	E 4, 5c Γ(ΥΠ) 10	Γ 2 - 5	E 1, 2, 3, b Γ2-5	E1, 2, 3, b Γ 2 - 5
Πριόνισμα	Γ 2 -5	Γ(ΥΠ) 10 Γ2-5	Γ2 -5	E 1, 2, 3, b Γ2 -5	E1, 2, 3b Γ2-5
Αυλάκωση (broaching)	E 2, 3, b Γ(ΥΠ) 10	E 4, 5b	Γ2 -5	E 1, 2, 3, b	E 1, 2, 3, b
Λείανση	Γ 1 -2	Γ 1 -2	Γ 1 -2	Γ 1 -2	Γ 1 -2
Χόνγκ (Honing)	E 2, 3, a	E 4, 5a	E 2, a	-	-
Λάπγκ (Lapping)	E2, 3, a, b	E 4, 5, a, b	E 2, a, b	-	-
Σπειροτόμηση	E 3, c	E5, c	E 3, c	E 3, c	E 3, c
Λείανση σπειρωμάτων	E 3, c	E5, c	-	-	-
Κοπή οδοντωτών τροχών με πλάνισμα κυλίσεως (μέθοδος Fellows ή Sunderland)	E 3, c	E5, c	E2, b	-	-
Γλόφανση	Γ2 -5	Γ(ΥΠ) 10 E 4, 5c	ΣΚ, Γ 2 - 5	ΣΚ, Γ 2 -5	Γ 2 -5 E1, 2, 3, b
Κοπή οδοντωτών τροχών με τη μέθοδο Hobbing	E 3, c	E5, c	Γ 5 - 10		E 2, 3, b

Γ: Γαλάκτωμα (οι ακολουθούντες αριθμοί υποδηλούν την περιοχή μεταβολής της εκατοστιαίας αναλογίας του διαλυτού λαδιού, που προστίθεται στο νερό προς σχηματισμό του γαλακτώματος).

Ε. Λάδι κοπής - Ιξώδες: a: 1, 2 - 1, 8 Ε (βαθμοί Egler) σε 20° C, b: 2, 0 - 6, 0 Ε σε 29° C, c: 2, 4 - 4, 0 Ε σε 50° C

(ΥΠ): Γαλάκτωμα με υψηλής πίεσεως προσθέματα.

1: Μίγμα ορυκτελαίου - λιπαρού λαδιού. 2: Λάδι κοπής με ήπιας δράσεως προσθέματα υψηλής πίεσεως. 3: Μίγμα ορυκτελαίου - λιπαρού λαδιού με ήπιας δράσεως προσθέματα υψηλής πίεσεως. 4: Λάδι κοπής με ενεργά προσθέματα υψηλής πίεσεως. 5: Μίγμα ορυκτελαίου -λιπαρού λαδιού με ενεργά προσθέματα υψηλής πίεσεως.

ΣΚ: Στεγνή κοπή.

* Κατά την κατεργασία Mg και κραμάτων του χρησιμοποιείται μόνο λάδι κοπής ή η κατεργασία εκτελείται χωρίς υγρό κοπής (στεγνή κατεργασία).

Δ. Επιλογή υγρού κοπής:

Εκλογή του κατάλληλου υγρού κοπής κατά είδος τρνεύσεως, αλλά και για άλλες κατεργασίες κοπής γίνεται με την βοήθεια του Πίνακα 4.9 και βάσει, των γενικών αρχών που έχουμε ανακεφαλαιωτικά παραθέσει στην παράγραφο 1. 2. 5.

4. 4. 2. 2 Εσωτερική κυλινδρική διαμήκης τόννευση.

Στην παράγραφο 4.4.1 έχουμε διατυπώσει ορισμένες γενικές παρατηρήσεις συναφείς με τον προσδιορισμό βασικών μεγεθών του είδους αυτού τρνεύσεως, ανάμεσα στις οποίες και για τον προσδιορισμό των ταχυτήτων u_{60} και u_{240} από δεδομένα εξωτερικής κατά μήκος τρνεύσεως. Επιπροσθέτως, με τον Πίνακα 4.10 συνιστούνται σχετικές γωνίες κοπής γ , α και κ για ποικιλία κατεργαζόμενων υλικών με εργαλείο από ταχυχάλυβα και από σκληρομέταλλο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10. Συνιστώμενες τιμές γωνιών κοπής (α , γ , κ) για εσωτερική τόννευση, για συνήθη κατεργαζόμενα υλικά.

Υλικό τεμαχίου	Υλικό εργαλείου	Γωνία ελευθερίας α [°]	Γωνία αποβλήτου γ [°]	Γωνία θέσεως κυρίας κόψης κ [°]
Χάλυβες: σ_B έως 60 daN/mm ² "	SS	8	18	
	H M	6	16	
σ_B έως 85 daN/mm ² "	SS	8	16	45
	H M	6	10	
σ_B άνω 85 daN/mm ² "	SS	8	14	□ 60
	H M	5	7	
Χυτοσίδηρος: έως 200 BHN	SS	7	12	
	HM	5	10	□ 60
έως 400 BHN	SS	6	6	
	H M	4	6	
Μαλακτικοποιημένος	SS	6	10	45
	H M	5	10	
Κρατέρωμα,	SS	10	20	75-90
ορείχαλκος	HM	5	13	
Ελαφρά μέταλλα και κράματα	SS	10	35	45
	H M	8	32	

4.4.2.3. Επιλογή παραγόντων κοπής για κατεργασίες, που εκτελούνται σε ημιαυτόματους και αυτόματους τόννους.

Συστάσεις εκλογής τιμών της ταχύτητας κοπής u_T (η ζωή του εργαλείου σε χρονικές μονάδες, αναγράφεται στον σχετικό πίνακα και της προώσεως καταχωρίζονται στους πίνακες 4.11 και 4.12

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11 Επιλεγόμενες ταχύτητες κοπής v_{240} , σε mm/στρ. και προώσεις, σε mm/στρ. , για εκτελούμενες σε ημιαυτόνομους τόνους κατεργασίες¹.

Υλικό τεμαχίου	Μέγιστη αντοχή, daN/mm ² ή σκληρότητα, BHN	Διαμήκης τόννευση						Αποκοπή		Διάτρηση ονομαστική διάμετρος τρυπανιού					Γλύφανση			Γεωμετρία εργαλείου τονεύσεως					
		Υλικό εργαλείου	Εκχόνδριση		Αποπεράτωση		v	s	v	≤5 s	≤10 s	≤25 s	≤25 s	v	≤10 ² s	≤20 s	α[°]	γ[°]					
			v	s	v	s																	
St37 St42 St50	≤50	HSS ³	ECo3	32-37		37-42		28-35	0,06 (v.H)	HG10	23-35	0,12	0,22	0,35	0,4	5-10	0,2	0,3	6-8	12-14			
			EV4Co	37-42	0,2	42-45	0,1																
			EW9Co10	42-48		48-52																	
9S20 22S20 C15	≤70	HSS ³	HS20	75-150		100-200	0,1	50-60	0,15	HG10	60-70	0,04	0,05	0,08	0,1	5-10	0,2	0,3	5-8	10-15			
				HS30	50-100	0,3	-				-												
				HU10	60-120		80-120				0,1												
St60 C45 16MnCr5	≤90	HM ³	Eco3	21-24		27-30		20-25	0,06 (v.H)	HG10	20-30	0,12	0,2	0,35	0,4	5-10	0,2	0,3	6-8	12-14			
				EV4Co	24-27	0,2	30-35				0,1												
				EW9Co10	27-30		35-40																
St70 C60	≤90	HSS	HS20	60-100		70-170	0,1	50-60	0,12	HG10	40-50	0,04	0,05	0,08	0,1	5-10	0,2	0,3	5-8	8-12			
					HS30	40-70	0,3				-	-											
					HU10	50-80					70-170	0,1											
Cr-Ni Cr-Mo και άλλα χαλυβο- κράματα	≤100	HM	ECo3	15-20		20-25		16-20	0,05	HG10	15-20	0,08	0,12	0,25	0,3	6-8	0,2	0,3	6-8	8-10			
					EV4Co	20-25	0,2				25-28	0,1											
					EW9Co10	23-28					28-32												
Cr-Ni Cr-Mo και άλλα χαλυβο- κράματα	≤100	HSS	HS20	50-95		70-120	0,1	30-40	0,1	HG10	40-50	0,04	0,05	0,08	0,1	6-8	0,2	0,3	5-8	6-10			
					HS30	30-60	0,3				-	-											
					HU10	35-85					60-80	0,1											
Cr-Ni Cr-Mo και άλλα χαλυβο- κράματα	≤100	HSS	Eco3	8-10		12-14		8-10	0,03	HG10	10-15	0,05	0,12	0,25	0,3	3-5	0,2	0,3	6-8	6-8			
					EV4Co	10-12	0,2				14-16	0,1											
					EW9Co10	12-15					16-20												
Cr-Ni Cr-Mo και άλλα χαλυβο- κράματα	≤100	HM	HS20	30-70		50-100	0,1	20-30	0,1	HG10	30-45	0,04	0,05	0,08	0,08	3-5	0,2	0,3	5-8	0-6			
					HS30	20-40	0,3				-	-											
					HU10	25-45					-	-											

Υλικό τεμαχίου	Μέγιστη αντοχή, daN/mm ² ή σκληρότητα, BHN	Διαμήκης τόννευση						Αποκοπή		Διάτρηση ονομαστική διάμετρος τρυπανιού					Γλύφανση			Γεωμετρία εργαλείου τριβής		
		Υλικό εργαλείου		Εκχόνδριση		Αποπεράτωση		υ	s	υ	≤5 s	≤10 s	≤25 s	≤25 s	υ	≤10 ² s	≤20 s	α[°]	γ[°]	
				υ	s	υ	s													
Χυτοσίδηρος GGL-25	200-250	HSS	ECo3 EV4Co EW9Co10	18-23	0,2	23-28	0,1	18-25	0,05	HG10	20-30	0,12	0,25	0,4	0,4	6-8	0,2	0,2	6-8	0
				23-28		28-33					33-38	25-40	0,04	0,05	0,12	0,2	5-10	0,2	0,3	5-8
Ορείχαλκος, Κρατέρωμα	≤120	HSS	Eco3 EV4Co EW9Co10	50-70	0,2	80-100	0,1	40-60	0,1	HG10	60-80	0,15	0,25	0,5	0,6	10-12	0,4	0,5	6-8	0
		70-80	80-90	90-110		100-120					70-100	0,08	0,1							
Κράματα αργιλίου	60-100	HSS	ECo3 EV4Co EW9Co10	70-90	0,2	100-120	0,1	80-100	0,2	HG10	80-100	0,15	0,25	0,4	0,5	15-20	0,2	0,3	10-12	15-18
		HM	HG10 HG20 HU10	120-350		250-450					200-400	300-600	200-250	200-300	0,08	0,12	0,2	0,24	25-30	0,2

1. Ο εν λόγω Πίνακας έχει καταρτισθεί βάση στοιχείων των Degner et al

2. Η ονομαστική διάμετρος τρυπανιών και γλυφάνων δίνεται σε mm.

3. Η SS : Ταχυχάλυβας. HM: Σκληρομέταλλα. Οι ταχυχάλυβες συμβολίζονται κατά τους γερμανικούς κανονισμούς. Αντίστοιχα σκληρομετάλλων(κατηγορία ποιότητας σε αυτές) κατά DIN 4990:HS → P , HG→ K , HU →M.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12 Ταχύτητες κοπής v_{480} , σε m/min και προώσεις, σε mm/στρ. , για εκτελούμενες κατεργασίες σε πυργωτούς αυτόματους τórνους.

Υλικό τεμαχίου	Ελαφρά μέταλλα και κράματα	Ορείχαλκος Ms 58	Χάλυβες ελευθέρως κοπής	Χάλυβες κατασκευών και επιβελτιωμένοι Μέγιστη αντοχή, daN/mm ²				
				≤50	≤70	≤85	≤100	
Ταχύτητες κοπής								
Τόρνευση και αποκοπή Διάτρηση σπειροτόμηση	150-200	120-150	60-70	35-42	26-32	20-24	15-20	
	80-120	70-120	40-50	30-35	20-26	16-20	12-15	
	30-50	30-60	6-9	5-7	4-6	2-4	1-3	
Προώσεις για τόρνευση, mm/στρ.								
Διαμήκης τόρνευση Τόρνευση μορφής Αποκοπή	0,15-0,30	0,15-0,25	0,12-0,16	0,11-0,160	0,1-0,14	0,08-0,11	0,08-0,100	
	0,02-0,05	0,02-0,05	0,015-0,04	0,015-0,035	0,013-0,035	0,01-0,03	0,01-0,025	
	0,04-0,08	0,05-0,10	0,035-0,05	0,03-0,045	0,025-0,04	0,02-0,035	0,02-0,030	
Προώσεις για διάτρηση, mm/στρ.								
Ονομαστική διάμετρος τρυπανιού, mm	2-4	0,06-0,12	0,08-0,12	0,05-0,09	0,05-0,08	0,04-0,07	0,03-0,05	0,03-0,05
	4-8	0,10-0,16	0,10-0,16	0,06-0,11	0,06-0,09	0,05-0,08	0,04-0,06	0,04-0,06
	8-14	0,12-0,18	0,12-0,18	0,09-0,12	0,08-0,10	0,06-0,09	0,05-0,07	0,05-0,07
	14-20	0,14-0,20	0,14-0,20	0,09-0,14	0,09-0,12	0,08-0,11	0,06-0,09	0,06-0,09

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

5. 1 ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΡΑΠΑΝΟ

5. 1. 1 Το άνοιγμα και η αποπεράτωση οπών.

Σε πολλά τεμάχια που κατεργαζόμαστε στο μηχανουργείο, για τον ένα ή για τον άλλο λόγο, χρειάζεται να ανοίξουμε από την αρχή οπές (τρύπες) (στο Κεφάλαιο αυτό μας ενδιαφέρουν κατά κύριο λόγο οι κυλινδρικές οπές, δηλαδή αυτές που έχουν σταθερή κυκλική διατομή) και να διευρύνουμε ή να αποπερατώσουμε υπάρχουσες. Οι σκοποί εν γένει, που εξυπηρετούν οι οπές στις μηχανές και στις μηχανολογικές κατασκευές και εγκαταστάσεις μας είναι γνωστοί. Ενδεικτικά αναφέρουμε εδώ τις τρύπες που είναι απαραίτητες στις ηλώσεις και στις κοχλιοσυνδέσεις για το πέρασμα αντιστοίχους των ήλων ή των κοχλιών, στα έδρανα ολισθήσεως (τριβέας) για την συναρμογή με τον περιστρεφόμενο άξονα, στις μηχανές εσωτερικής καύσεως και στις εμβολοφόρους αντλίες (κύλινδροι)¹ για τη συναρμογή με τα παλινδρομούντα έμβολα-επίσης και τρύπες για τη ροή υγρών ή αερίων.

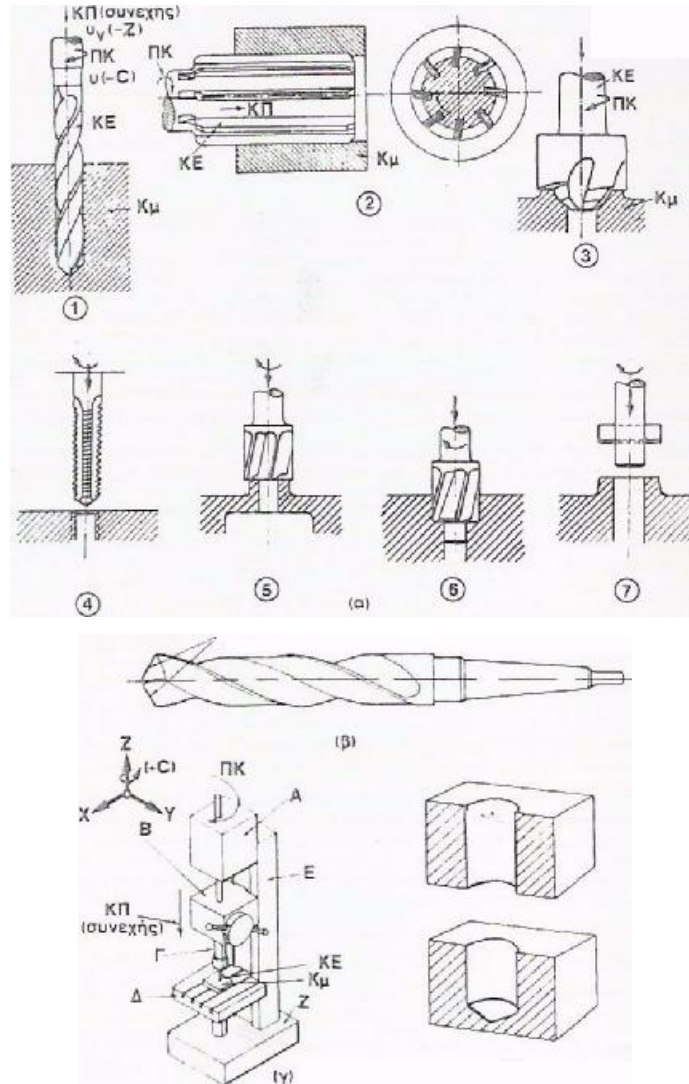
Για να κατεργαστούμε γενικά οπές ή κοίλα έχουμε στη διάθεση μας ποικίλες μεθόδους, που μας δίνουν κυμαινόμενη ακρίβεια και μεταβαλλόμενο βαθμό τραχύτητας επιφάνειας. Έτσι μας είναι δυνατή, σε κάθε περίπτωση που μας απασχολεί, η εκλογή της μεθόδου που ενδείκνυται. Και αναφέρουμε εδώ τις πιο βασικές από τις μεθόδους αυτές: την **διάτρηση** (ή **τρυπάνισμα**) [σχ. 5.1. (α) (1)], που είναι κατάλληλη για να ανοίγουμε από την αρχή διαμπερείς ή τυφλές κυλινδρικές τρύπες, όπως και για να διευρύνουμε ή να αποτελειώνουμε υφιστάμενες τρύπες. Υπάρχουσες μπορούμε να τις κατεργασθούμε παραπέρα, για να τις διευρύνουμε σε όλο το μήκος τους ή και να δώσαμε σε αυτές μεγαλύτερη ακρίβεια και βελτιωμένη τραχύτητα επιφάνειας με **γλύφανση** [σχ. 5.1 (α) (2)], με **εσωτερική τάρνευση**¹ [σχ. 5.1 (α) (2)], με **λείανση**¹ ή με **χόνιγκ**¹. Είναι δυνατόν ακόμη σε τρύπες να κάναμε μερική διεύρυνση, να ανοίξουμε σπείρωμα ή να διαμορφώσαμε τα άκρα τους. Οι τελευταίες αυτές

1. Για οπές, μεγάλης σχετικά διαμέτρου, που συνήθως μορφοποιούνται με εσωτερική τάρνευση, με λείανση ή με χόνιγκ, χρησιμοποιούμε τον όρο κοίλο.

κατεργασίες σε οπές μαζί με τη γλύφανση είναι κατεργασίες **παρόμοιες ή συναφείς με την διάτρηση** με την έννοια ότι το κοπτικό εργαλείο περιστρέφεται (πρωτεύουσα κίνηση), ενώ συγχρόνως προωθείται αξονικά (κίνηση προώσεως) και ότι όλες αυτές είναι δυνατό να γίνουν στο δράπανο. Θα πρέπει ακόμη να αναφέρουμε, ότι τρύπες (χαμηλής όμως ποιότητας) δύνανται να ανοιχθούν σε ελάσματα με **αποκοπή** επίσης και με **χύτευση** δημιουργούμε τρύπες σε χυτά κομμάτια, οι οποίες όμως έχουν τις περισσότερες φορές ανάγκη αποπερατώσεως. Τέλος, δεν θα πρέπει να παραλείψουμε και μη συμβατικές μεθόδους αφαιρέσεως μετάλλου, οι οποίες προσφέρονται για το άνοιγμα οπών σε ορισμένες περιπτώσεις (π. χ. αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα, ηλεκτροχημική αφαίρεση μετάλλου κ. α.)

Στις επόμενες σελίδες θα ασχοληθούμε με την διάτρηση και την γλύφανση. Την εσωτερική σπειροτόμηση στο δράπανο θα την πραγματευθούμε στο ειδικό Κεφάλαιο περί μορφοποιήσεως σπειρωμάτων. Και τούτο γιατί οι κατεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην πράξη. Για την εσωτερική τόννευση, την λείανση και το χόνιγκ οπών θα μιλήσουμε στο σχετικό με την κάθε μία από τις κατεργασίες αυτές Κεφάλαιο.

Στις συναφείς με την διάτρηση κατεργασίες, πλην της γλυφάνσεως [5.1 (α) (2)] και της εσωτερικής σπειροτόμησης [σχ. 5.1 (α) (4)], τις οποίες μόλις μνημονεύσαμε, περιλαμβάνονται και: η ισοπέδωση άκρου οπής [σχ. 5.1 (α) (5) (7)] καθώς και η εμβύθιση [σχ. 5. 1 (α) (3), (6)], που έχει ως σκοπό την δημιουργία υποδοχής στο άκρο της, ώστε να δέχεται χωνευτό κοχλία με αντίστοιχη μορφή. Επιπλέον, στο σχήμα 5.1 (α) εμφανίζεται σχηματικά και η μορφή τον κατάλληλου για κάθε κατεργασία, από τις αναφερθείσες, κοπτικού εργαλείου.



Σχ. 5. 1

Διάτρηση (τρυπάνισμα), συναφείς με αυτό κατεργασίες και δράπανο.

(α) Κινηματική: 1) Τρυπανίσματος. 2) Γλυφάνσεως. 3) Εμβυθίσεως. 4) Σπειροτομήσεως. 5) Ισοπεδώσεων άκρου οπής. 6) Εμβυθίσεως. 7) Ισοπεδώσεις άκρου οπής

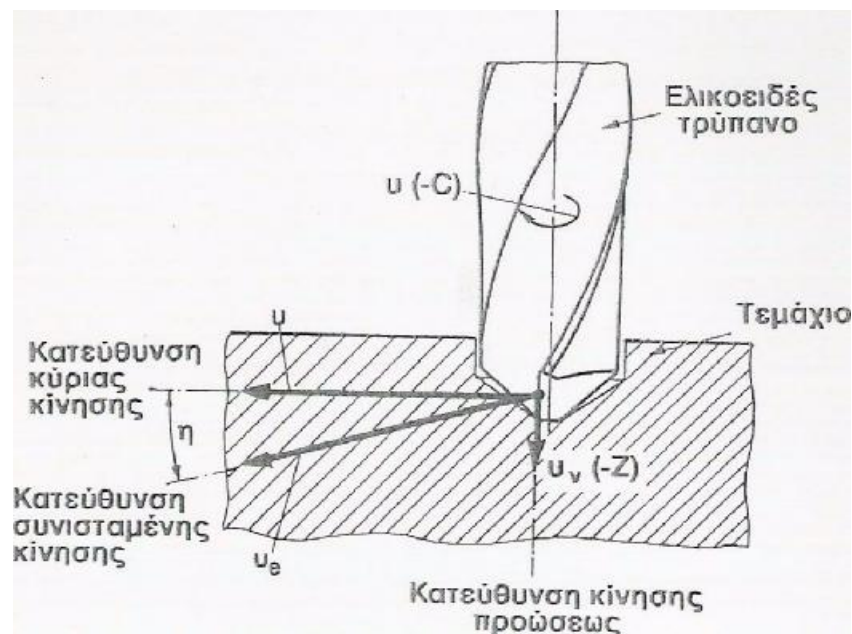
(β) Το ελικοειδές τρυπάνι.

(γ) Σχηματική παράσταση ενός δραπάνου στήλης: Α σταθερή κεφαλή, Β ρυθμιζόμενη κεφαλή, Γ κύρια άτρακτος, Δ τράπεζα, Ε στήλη, Ζ βάση.

(δ) Οπές που ανοίγονται με διάτρηση. (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ κοπτικό εργαλείο, Κμ κομμάτι).

5. 1. 2. Κινηματική της διατρήσεως (σχ. 5. 2).

Με την **διάτρηση** ανοίγουμε κυλινδρικές οπές σε τεμάχια [σχ. 5. 1 (δ)] ή διευρύνουμε ή αποτελειώνουμε υπάρχουσες οπές με κοπτικό εργαλείο το **ελικοειδές τρυπάνι** [σχ. 5. 1 (β)], το οποίο συνήθως έχει δύο κύριες κόψεις. Κατά την διάτρηση συνήθως το τρυπάνι περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του [πρωτεύουσα κίνηση (-C)] και ταυτόχρονα προωθείται αξονικά [κίνηση προώσεως (-Z)] συνεχώς (συνεχής κίνηση προώσεως) εντός του προς διάτρηση τεμαχίου. Το τρυπάνι στερεώνεται ασφαλώς με την βοήθεια ειδικού σφιγκτήρα στην υπάρχουσα κωνική υποδοχή της ατράκτου Γ του δραπάνου [σχ. 5. 1 (γ)], ενώ το τεμάχιο συγκρατείται σταθερά στην τράπεζα του Δ. Στην πράξη συναντούμε σπανιότερα, και σε ειδικές περιπτώσεις, και δύο άλλες κινηματικές παραλλαγές: Κατά την μία, το τρυπάνι παραμένει σταθερό, ενώ το τεμάχιο περιστρέφεται και προωθείται και κατά την άλλη το τεμάχιο περιστρέφεται και το τρυπάνι προωθείται οριζοντίως. Ο τελευταίος τρόπος διατρήσεως ενδείκνυται στην μορφοποίηση οπών μεγάλου μήκους με ειδικό τρυπάνι, γιατί αποδίδει μεγαλύτερη ακρίβεια, κυρίως ακρίβεια μορφής.



Σχ. 5.2

Η κινηματική της διατρήσεως

Η εργαλειομηχανή, όπου εκτελείται η διάτρηση, αλλά και οι παρεμφερείς με αυτή κατεργασίες, που έχουμε ήδη αναφέρει, είναι το γνωστό μας δράπανο, του οποίου σχηματική παράσταση και ονοματολογία των κύριων μερών δίνονται στο σχήμα 5. 1.

Βεβαίως, δεν αποκλείεται και η πραγματοποίηση των εν λόγω κατεργασιών και σε άλλες εργαλειομηχανές, όπως είναι ο τόννος, η φρεζομηχανή, το φρεζοδράπανο, κ. ά.

ΣΤ. Το πυργωτό δρόπανο. Σε αυτό το δρόπανο η εργαλειοφόρος κεφαλή, στην οποία προσδένονται διάφορα τρυπάνια συνήθη ή ειδικά και συναφή εργαλεία., έχει δυνατότητα περιστροφής έτσι, ώστε κάθε φορά να παίρνει θέση για εργασία ένα από τα εργαλεία αυτά. Η περιστροφή της κεφαλής γίνεται αυτόματα. Σε ένα τέτοιο δρόπανο είναι δυνατή και πλήρης αυτοματοποίηση και με ψηφιακή καθοδήγηση.

Ζ. Τα δρόπανο για βαθιές οπές. Κατασκευάζεται συνήθως οριζόντιο και χρησιμοποιεί το ειδικό τρυπάνι για βαθιές. Το συναντούμε τόσο ως μονοάτρακτο, όσο και ως πολυάτρακτο. Έχει μορφή τόννου και συνήθως το τρυπάνι παραμένει σταθερό και περιστρέφεται το τεμάχιο. Ευρίσκει εφαρμογές στην κατεργασία καννών όπλων, στο άνοιγμα οπών σε μεγάλου μήκους ατράκτους, σε διωστήρες και σε άλλα κομμάτια.

5.1.3 Κατάταξη, μορφολογία και προδιαγραφές δροπαίων

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δροπαίου.

Βασικό προδιαγραφόμενο μέγεθος του δροπαίου αποτελεί η μέγιστη διάμετρος του τρυπανιού (ονομαστική διάμετρος) για κατεργασία χάλυβα μέγιστης αντοχής $\sigma_B = 50-60 \text{ daN/mm}^2$. Το μέγεθος αυτό χαρακτηρίζει, ό,τι ονομάζαμε ικανότητα διατρήσεως του δροπαίου. Η ονομαστική ισχύς του δροπαίου, για τις προτυποποιημένες τιμές της διαμέτρου O , αντιστοιχεί στις καταγραφόμενες στον Πίνακα 5.2. ελάχιστες τιμές ταχύτητας κοπής και προώσεως.

Κύρια και δευτερεύοντα προδιαγραφόμενα μεγέθη του δροπαίου έχουν ακολούθως:

- Μέγιστη διάμετρος τρυπανιού D [mm].
- Κώνος Morse ατράκτου.
- Κώνος Morse σφιγκτήρα.
- Μέγιστη διαδρομή τρυπανιού [mm].

- Απόσταση άξονα ατράκτου από την στήλη, A [mm].
- Μέγιστο ύψος ατράκτου από την τράπεζα, H₁ [mm].
- Μέγιστο ύψος ατράκτου από την πλάκα βάσεως, H₂ [mm×mm].
- Διαστάσεις τράπεζας [mm×mm ή [mm].
- Διαστάσεις πλάκας βάσεως [mm× mm]
- Αριθμός περιστροφικών ταχυτήτων.
- Περιοχή περιστροφικών ταχυτήτων (μέγιστη, ελάχιστη) [στρ/min].
- Αριθμός προώσεων.
- Περιοχή προώσεων (μέγιστη, ελάχιστη) [mm /στρ].
- Ονομαστική ισχύς [PS ή Kw]

Θεωρούμε χρήσιμο να παραθέσουμε και τις παρακάτω εκτιμήσεις της ονομαστικής ισχύος P_e σε kW, δραπάνων για μεταβολές της ικανότητας διατρήσεως (ή της ονομαστικής διαμέτρου D, σε mm, του τρυπανιού), της επιφανείας τραπέζης S σε cm² και του βάρους, σε kg, για δράπανα ορθοστάτη και ακτινωτά, όπως αυτές (οι εκτιμήσεις) έχουν προκύψει με εφαρμογή απλής και πολλαπλής παλινδρομήσεως (παραγρ. 1.3.5.2 A) και για δειγματικούς συντελεστές συσχετίσεως περί το 0,9 σε στάθμη σημαντικότητας 95% :

Δράπανα στήλης:

$$P_e = 0,249 + 0,42 \times 10^{-1} D \quad S = 400 \text{ cm}^2 - 2000 \text{ cm}^2$$

$$P_e = 0,147 + 0,91 \times 10^{-3} S$$

Ακτινωτά δράπανα:

$$P_e = 1,045 + 1,025 O \quad D = 25 \text{ mm} - 100 \text{ mm}$$

$$P_e = 2,340 + 0,23 \chi^1 (T^{-3} S) \quad S = 2000 \text{ cm}^2 - 47000 \text{ cm}^2$$

$$P_e = 2,374 + 0,47 \chi^{10} D^{30} \quad G = 500 \text{ kg} - 9500 \text{ kg}$$

$$D = 5 \text{ mm} - 60 \text{ mm}$$

$$P_e = 0,486 + 0,62 \times 10^{-1} D + 0,190 \times 10^{-3} G + 0,710 \times 10^{-4} S$$

Επιπλέον, για διευκόλυνση επιλογής ή προδιαγραφών δραπάνων ορθοστάτη, δίνουμε και τους πίνακες 5.1 και 5.2

5.1.3.1. Κινηματικά χαρακτηριστικά μεγέθη της διατρήσεως. Στοιχεία του θεωρητικού αποβλήτου.

α) Ταχύτητα κοπής:

Αυτή αναφέρεται σε σημείο της περιφέρειας του τρυπανιού και δίνεται

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (5.1)$$

β) Πρόωση: s [mm/στρ.]

γ) Πρόωση ανά κόψη: $s_z = \frac{s}{z}$ [mm/κόψη]

1. Όμως, καθώς οι δύο κόψεις (1,2) στερεά συνδεδεμένες αποκόπουν, κάθε μία από αυτές προχωρεί με πρόωση s_1 και s_2 αντίστοιχα, σχηματίζοντας ξεχωριστό απόβλητο. Με την υπόθεση ότι το κοπτικό μέρος του τρυπανιού μορφοποιείται συμμετρικό, θα ισχύει:

$$s = s_1 + s_2 = \frac{s}{z} = s_z, \text{ εφόσον } s_1 = s_2$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. Κύριες διαστάσεις κατακόρυφων δραπάνων σε [mm].

Μέγιστη διάμετρος τρυπανιού			3	6	10	16	25	32	40	50	63	80
Κώνος Morse ατράκτου κατά DIN 228						2	3	4	5	5	6	6
Κώνος Morse σοριγκτήρα κατά DIN 238			3	6	10		200					400
Μέγιστη διαδρομή τρυπανιού			40	80	100	160	280	250	280	315	355	450
Απόσταση άξονα από τον ορθοστάτη, A			100	200	200	250		315	355	355	400	
Μέγιστο ύψος ατράκτου από την τράπεζα, H ₁ Μέγιστο ύψος ατράκτου από την πλάκα βάσεως, H ₂	Για τύπο δραπάνου:	ΕΔ*		250	280	315	355					
		ΔΣ και ΔΟ		560	600	630	670	710	750	800	850	900
		ΕΔ	130	355	400	450	500					
		ΔΣ και ΔΟ	130			1120	1120	1120	1120	11250	1320	1400
Τράπεζα στρογγυλή		Διάμετρος d ₁ Διάμετρος d ₂		250 40	280 40	355 40	400 50	450 50	500 50			
Τετραγωνική τράπεζα		Διαστάσεις b×l		250 ×315	280 ×355	355 ×450	400 ×500	450 ×560	500 ×630	500 ×630	560 ×710	560 ×710
Πλάκα βάσεως		Διαστάσεις b×l	150 ×150	250 ×315	280 ×355	400 ×450	450 ×500	500 ×560	500 ×630	630 ×630	710 ×710	800 ×710

* Επιτραπέζιο δράπανο: (ΕΔ)
Δράπανο στήλης: (ΔΣ)
Δράπανο ορθοστάτη:(ΔΟ)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 2. Ονομαστική ισχύς και έτερα χαρακτηριστικά στοιχεία κατακόρυφων δραπάνων.

Τύπος δραπάνου	Επιτραπέζιο δράπανο	ΕΔ6	ΕΔ10	ΕΔ16	ΕΔ25					
	Δράπανο στήλης	ΔΣ6	ΔΣ10	ΔΣ16	ΔΣ25	ΔΣ32	ΔΣ40	ΔΣ50		
	Δράπανο ορθοστάτη	ΔΟ6	ΔΟ10	ΔΟ16	ΔΟ25	ΔΟ32	ΔΟ40	ΔΟ50	ΔΟ63	ΔΟ80
Ονομαστική ισχύς για κατεργασία χάλυβα μεγίστης αντοχής, 60 daN/mm ²	Διάμετρος τρυπανιού[mm]	6	10	16	25	32	40	50	63	80
	Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα κοπής[m/min]	32	32	28	28	28	25	25	25	25
	Μέγιστη επιτρεπόμενη πρόωση [mm/στρ.]	0, 1	0, 16	0, 2	0, 22	0, 25	0, 28	0, 32	0, 35	0, 4
Επιτρεπόμενη ροπή στρέψεως [cm daN]		40	160	400	800	1600	3150	5000	8000	12500
Επιτρεπόμενη αξονική δύναμη [daN]		100	200	400	800	1000	1250	1600	2500	4000
Ονομαστική ισχύς [kW]		0, 3	0, 7	1, 4	2, 2	3, 4	4, 6	5, 9	8, 2	12, 5

δ) Ταχύτητα προώσεως:

$$v = sn \text{ [mm/min]} \quad (5.2)$$

ε) Βάθος κοπής:

$$a = \frac{D'}{2} \text{ [mm]}$$

όπου D' σε mm, είναι η διάμετρος της ανοιγόμενης οπής. Στην περίπτωση διευρύνσεως οπής θα έχουμε $a = \frac{(D'_0 - d)}{2}$, όπου D'_0 και d είναι η διάμετρος της τελικής και αρχικής οπής αντίστοιχα.

στ) Θεωρητικό πάχος αποβλήτου ανά κόψη:

Τούτο μετράει σε επίπεδο, που περιλαμβάνει μία κόψη και, είναι παράλληλο προς τον άξονα του τρυπανιού.

$$h_z = s_z \text{ ημκ}$$

ζ) Θεωρητική διατομή αποβλήτου:

1) Περίπτωση πλήρους ή απλής διατρήσεως:

$$A = \frac{D s}{4} = \frac{D s_z}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (5.3)$$

2) Περίπτωση διευρύνσεως οπής με διάτρηση [σχ. 3.12 (β)]:

$$A = \frac{(D-d)s}{4} = \frac{(D-d)s_z}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (5.3\alpha)$$

δ) Ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου:

1) Περίπτωση πλήρους διατρήσεως:

$$\Theta = \frac{\pi D^3}{4} \cdot \frac{sn}{1000} \text{ [cm}^3\text{/min]} \quad (5.4)$$

ή

$$\Theta = \frac{Dsv}{4} \text{ [cm}^3\text{/min]}$$

2) Περίπτωση διευρύνσεως οπής με διάτρηση:

$$\Theta = \frac{\pi(D^2-d^2)}{4} \cdot \frac{sn}{1000} \quad (5.4\alpha)$$

όπου: D, σε mm, η ονομαστική διάμετρος του τρυπανιού (σχ. 5.3),
n, σε στρ/μιν, η περιστροφική ταχύτητα της ατράκτου του δραπάνου, που συμπίπτει με εκείνη του τρυπανιού, z, ο αριθμός κόψεων του τρυπανιού (z=2 ως επί το πλείστον),
d σε mm, η διάμετρος της προς διεύρυνση οπής.

5. 1. 3. 2 Το ελικοειδές τρυπάνι ως κοπτικό εργαλείο δύο κόψεων.

Η μορφή, η ονοματολογία, η γεωμετρία και άλλα χαρακτηριστικά του ελικοειδούς τρυπανιού παρουσιάζονται στα σχήματα 5.3, 5.4 και 5.5.

Η κοπή λαμβάνει χώρα μετωπικώς και κατά βάση στις δύο κύριες κόψεις του τρυπανιού, εκάστη των οποίων αποτελεί πλήρες και κανονικό κοπτικό εργαλείο. Η κοπή στις κύριες κόψεις συντελείται κατά τρόπο παρόμοιο εκείνου, ο οποίος συναντάται κατά την τórνευση. Έτσι, η λειτουργία του τρυπανιού δύο κόψεων, επί παραδείγματι, μπορεί να αντιστοιχισθεί με την εργασία δύο τυπικών εργαλείων εσωτερικής τórνευσεως (σχ. 5.3, 5.4). Η εγκάρσια κόψη, δεν ενεργεί ως κόψη, αλλά κατά κάποιο τρόπο ωθεί το υλικό προς τις κύριες κόψεις παραμορφώνοντας το πλαστικά. Το πλάτος του τρυπανιού κατά την εγκάρσια κόψη προστατεύει και ενισχύει την κορυφή του.

Οι ελικοειδείς αύλακες του τρυπανιού χρησιμεύουν για:

α) να σχηματίζονται οι κόψεις του με την ενδεδειγμένη γεωμετρική μορφή και να διαμορφώνονται στην περιφέρεια του οι δύο οδηγητικές λωρίδες,

β) να βοστρυχοποιούνται, να οδηγούνται ευκόλως προς τα έξω και να απορρίπτονται τα σχηματιζόμενα κατά την διάτρηση απόβλητα και

γ) να διέρχεται και να φθάνει μέχρι τις κύριες κόψεις το υγρό κοπής.

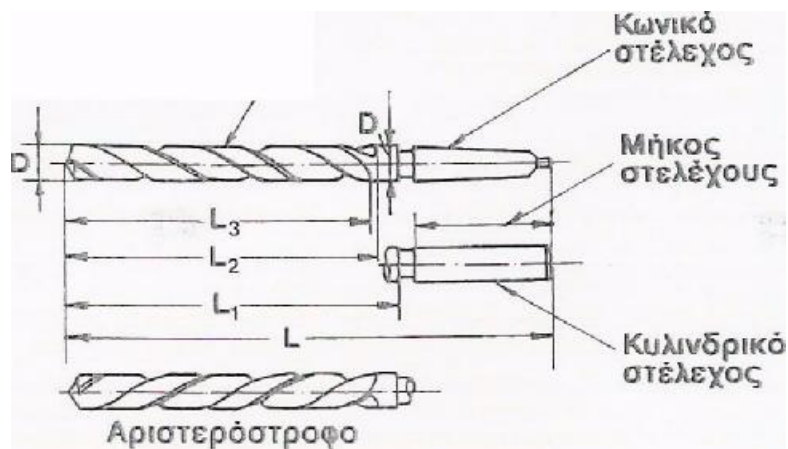
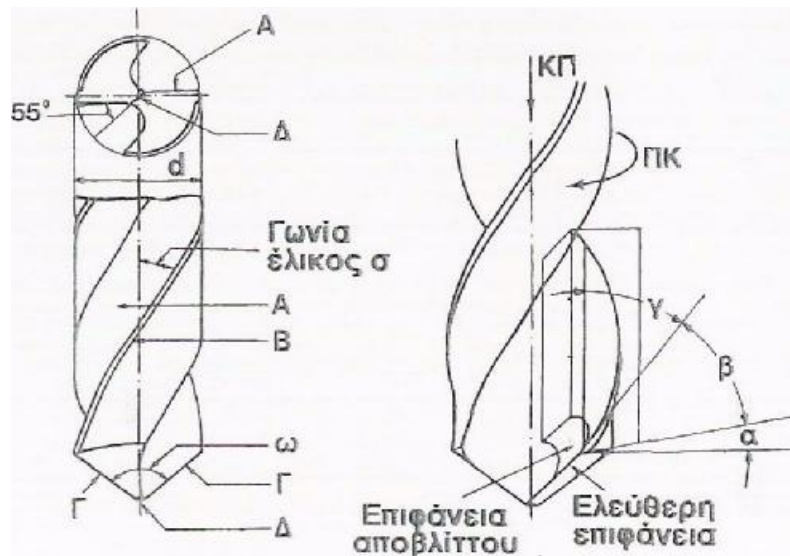
Με την βοήθεια των οδηγητικών λωρίδων επιτυγχάνεται ασφαλής στήριξη και οδήγηση του τρυπανιού μέσα στην ανοιγόμενη οπή, καθώς ελάττωση της τριβής τρυπανιού-τοιχώματος οπής (με τον σχηματισμό των μικρού πλάτους οδηγητικών λωρίδων του στην ονομαστική διάμετρο του τρυπανιού μειώνεται η διάμετρος του σε μεγάλο μέρος της περιφέρειας). Ελάττωση της τριβής τρυπανιού-οπής επιτυγχάνεται επιπλέον μέσω προοδευτικής μικρής μείωσης της ονομαστικής διαμέτρου του τρυπανιού προς το στέλεχος (για μεγάλου μήκους τρυπάνια η ελάττωση αυτή είναι περίπου 0. 1 mm ανά 100 mm μήκους τρυπανιού).

Η ημιγωνία κορυφής $\omega/2$ αντιστοιχίζεται προς την γωνία θέσεως της κύριας κόψης ($\omega/2=\kappa$) εργαλείου τριβής. Η γωνία κορυφής επιτρέπει προοδευτική διεύθυνση του τρυπανιού εντός του υλικού.

Η γωνία έλικος των αυλακών σ στην περιφέρεια του τρυπανιού προσδιορίζεται από την σχέση:

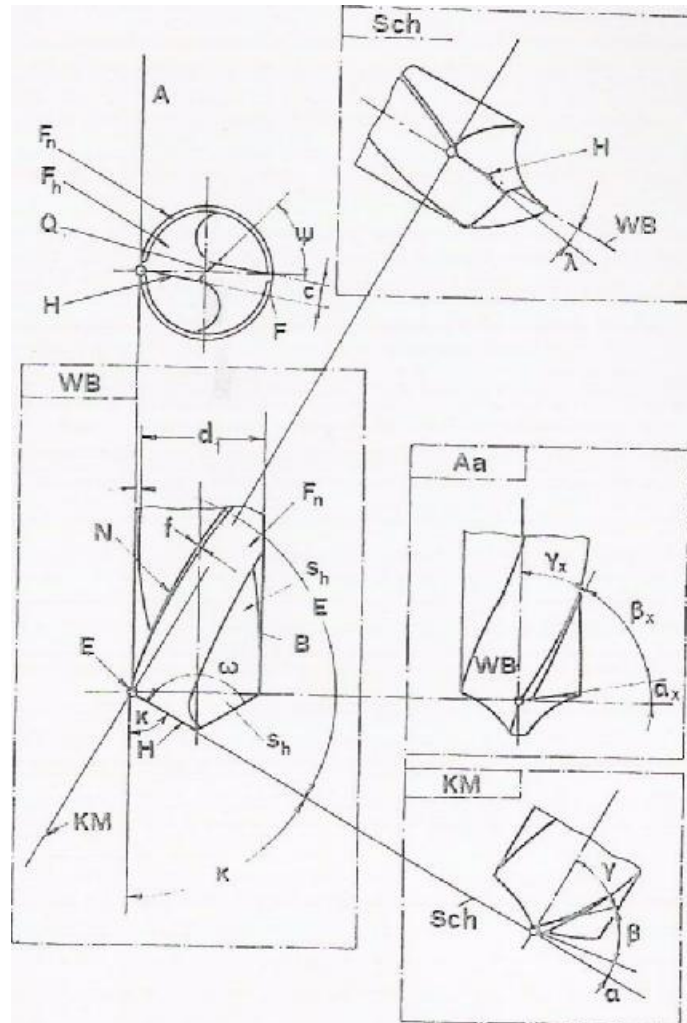
$$\varepsilon\varphi\sigma = \frac{\pi D}{h} \quad (3. 5)$$

όπου h σε mm είναι το βήμα της έλικος.



Σχ. 5. 3

Το τρυπάνι ως κοπτικό εργαλείο. Ονοματολογία και χαρακτηριστικά στοιχεία του τρυπανιού. (Π Κ. πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, Α αυλάκια, Β οδηγητικές λωρίδες, Γ κύριες κόψεις, Δ εγκάρσια κόψη, D ονομαστική διάμετρος τρυπανιού, L συνολικό μήκος, L₁ μήκος σώματος, L₂ μήκος αυλακώσεως, L₃ μήκος κοπής).



Σχ. 5.4

Ονοματολογία και γεωμετρία ελικοειδούς τρυπανιού

A: Άνοψη.

$P_r \equiv WB$: Επίπεδο αναφοράς εργαλείου

Sch: Επίπεδο κόψεως

KM: Κάθετο στο επίπεδο κόψης επίπεδο

Aa: Υποτιθέμενο επίπεδο εργασίας.

H: Κύρια κόψη.

B: Δευτερεύουσα κόψη.

Q: Εγκάρσια κόψη.

E: Επιλεγόμενο σημείο της κυρίας κόψης.

f: Πλάτος οδηγητικής λωρίδας

c: Πλάτος κύριας κόψης

N: Οδηγητική λωρίδα.

S_h : Επιφάνεια αποβλήτου κύριας κόψης.

F_h, F_n : Ελευθέρη επιφάνεια κύριας κόψης,

κ : Γωνία θέσεως κύριας κόψης.

α, β, γ : Γωνίες κοπής.

$\alpha_x, \beta_x, \gamma_x$: Πλευρικές γωνίες κοπής.

$\lambda_s \equiv \lambda$: Γωνία λοξότητας κύριας κόψης

ω : Γωνία κορυφής

Η γωνία της έλικος δεν είναι σταθερή κατά μήκος της ακτίνας του τρυπανιού, αλλά βαίνει ελαττούμενη από την περιφέρεια προς το κέντρο-ομοίως και η γωνία αποβλήτου γ . Σε ό, τι αφορά την γωνία ελευθερίας α , αυτή προχωρεί αυξανόμενη από την περιφέρεια του τρυπανιού προς το κέντρο του.

Η ενεργός γωνία αποβλήτου γ_e εξαρτάται από την κατεύθυνση της συνισταμένης κινήσεως (σχ. 5.2, 5.5) κοπής δηλαδή από την γωνία η , ήτοι:

$$\epsilon\phi\sigma = \frac{s}{\pi D} \quad (5. 6)$$

και προσδιορίζεται ως:

$$\gamma_e = \gamma + \eta \quad (5. 7)$$

Όμοια με την γωνία η συναρτάται και η ενεργός γωνία ελευθερίας α_e σύμφωνα με την σχέση:

$$\alpha_e = \alpha - \eta \quad (5. 8)$$

Οι αναφερόμενες στους διάφορους πίνακες γωνίες σ , γ και α αναφέρονται πάντοτε στην περιφέρεια του τρυπανιού.

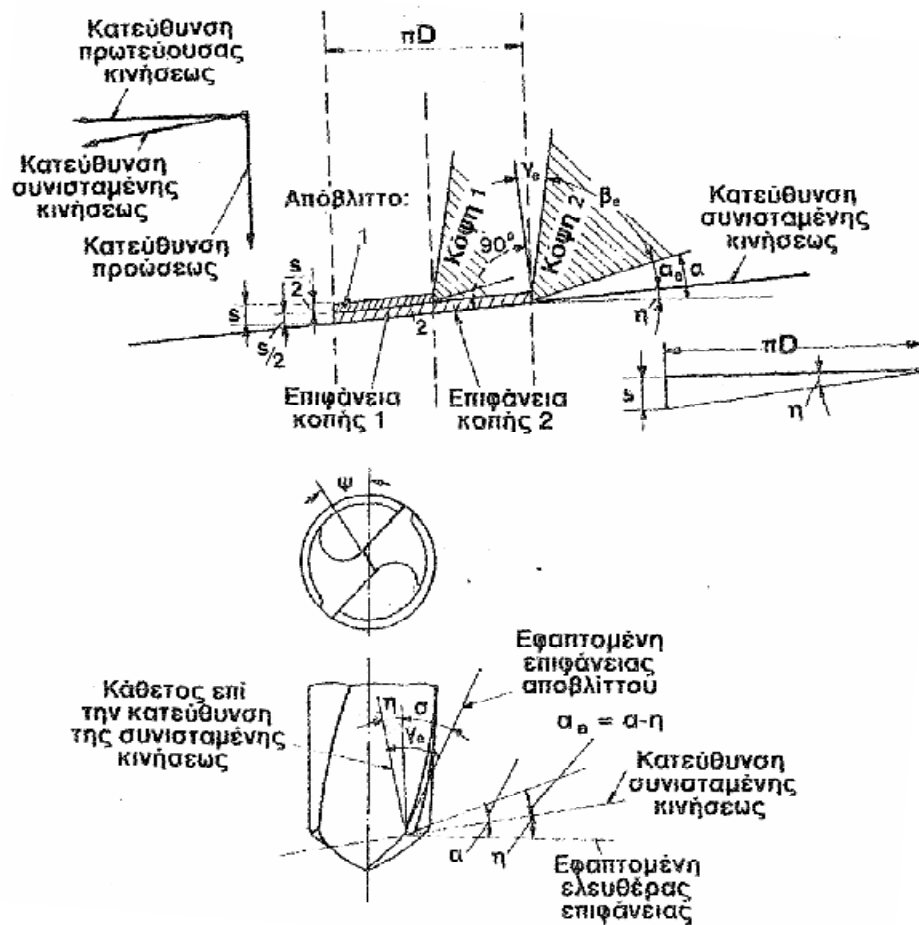
Ανάλογα με το είδος του προς κατεργασία υλικού (χάλυβας, χυτοσίδηρος, ορείχαλκος κ.λπ.), η μορφή και γεωμετρία του τρυπανιού μεταβάλλεται. όπως φαίνεται στο σχήμα 3. 8. Στον Πίνακα 3. 3 καταχωρούνται συνιστώμενες τιμές της γωνίας έλικος του τρυπανιού ανά τύπο τρυπανιού (N, H, W) σαν συνάρτηση της ονομαστικής διαμέτρου του τρυπανιού. Η γωνία κορυφής του τρυπανιού, ο τύπος του, καθώς και το είδος του χρησιμοποιούμενου υγρού κοπής εκλέγονται για διάφορα υλικά με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 5 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. Συνιστώμενες γωνίες έλικος σ τρυπανιών ως συναρτήσεις της ονομαστικής διαμέτρου του τρυπανιού.

Ονομαστική διάμετρος [mm]	σ [°]		
	Τύπος N	Τύπος H	Τύπος W
≤ 0,6	16±3	-	-
0,6-1,0	18±3	-	-
1,0-3,2	20+3	10±3	35+3
3,2-5,0	22±3	12±3	35+3
5,0-10,0	25+3	13+3	40+5
>10,0	30±5	13±3	40+5

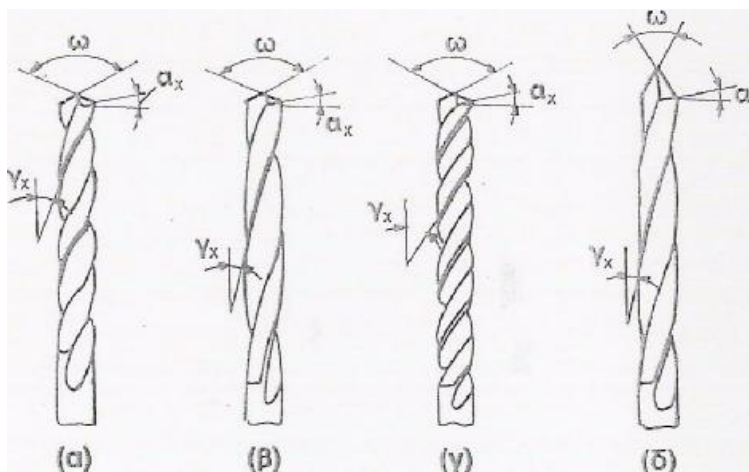
Η εγκάρσια κόψη σχηματίζει ως προς τις κυρίες κόψεις γωνία ψ, η οποία για κατεργασία χάλυβα ή χυτοσιδήρου λαμβάνει την τιμή των 55°.

Τα τρυπάνια κατασκευάζονται είτε από ανθρακούχο χάλυβα κοπτικών εργαλείων και βολφραμιούχο ή χρωμιούχο χάλυβα (τρυπάνια κατωτέρας ποιότητας) είτε από ταχυχάλυβα (τρυπάνια ανωτέρας ποιότητας). Για υψηλό όμως ρυθμό παραγωγής και μακρά ζωή εργαλείου, χρησιμοποιούνται τρυπάνια με κόψεις από πλακίδια σκληρομετάλλου, τα οποία επικολλούνται ή εντίθεται και στερεώνονται μηχανικά.



Σχ. 5.5

Κινήσεις των κυρίων κόψεων του τρυπανιού κατά την κοπή και σχετικές ενεργούς γωνίες κοπής



Σχ. 5.6

Τύποι και μορφές τρυπανιών εξαρτώμενες από το είδος του προς κατεργασία μετάλλου: α) Τύπος Ν. β) Τύπος Η. γ) Τύπος W. 6) Τύπος Η για πλαστικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 4. Στοιχεία εκλογής τύπου τρυπανιού, γωνίας κορυφής και υγρού κοπής κατά την διάτρηση ποικιλίας υλικών

ΥΛΙΚΑ	Όριο θραύσεως [kp/mm ²] ή σκληρότητα [BHN]	Τύπος εργα- λείου	Γωνία κορυφής ω±3	Υγρό κοπής
Χάλυβας, χυτοχάλυβας	40-70	N	118	Γαλάκτωμα
Βελτιωμένος χάλυβας	70-120	N	130	Γαλάκτωμα/ έλαιο κοπής
Ανοξειδωτος χάλυβας		N	140	Γαλάκτωμα/ έλαιο κοπής
Ωστενιτικός χάλυβας		H	140	Γαλάκτωμα/ έλαιο κοπής
Χυτοσίδηρος	240	N	118	Ξηρά κοπή
Χυτοσίδηρος	>240	N(H)	118	Ξηρά κοπή
Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος		N	118	Ξηρά κοπή
Ορείχαλκος έως M _s 58		H(N)	118	Έλαιο κοπής/ γαλάκτωμα
Ορείχαλκος από M _s 60		N	118	Έλαιο κοπής/ γαλάκτωμα
Χαλκός, Διάμετρος τρυπάνου≤30mm		W(N)	140	Γαλάκτωμα
Χαλκός, Διάμετρος τρυπάνου>30mm		N	140	Γαλάκτωμα
Κράματα Al (συνεχούς αποβλήτου)		W(N)	140	Γαλάκτωμα/ξηρά κοπή
Κράματα Al (ασυνεχούς αποβλήτου)		N	140	Γαλάκτωμα/ξηρά κοπή
Κράματα Mg		H(N)	140	Ξηρά κοπή/έλαιο κοπής
Νικέλιο		N	118	Ξηρά κοπή
Κράματα Zn, λευκό μέταλλο		W(N)	118	Ξηρά κοπή
Υλικό πολλαπλών στρώσεων		H(N)	80	Ξηρά κοπή /πεπιεσμένος αέρας
Σκληροελαστικά		H(N)	80	Ξηρά κοπή
Μάρμαρο, Σχιστόλιθος, Άνθρακας		H	80	Ξηρά κοπή

Υπάρχουν και ολόσωμα από σκληρομέταλλο τρυπάνια, για περιορισμένη όμως περιοχή ονομαστικής διαμέτρου(1, 5mm έως 12mm ή 1/16 in έως 1/2 in).

Τα τρυπάνια τυποποιούνται, ως προς το μέγεθος τους, με βάση την ονομαστική τους διάμετρο D. Ως προς την μορφή τους κατατάσσονται στους τύπους N, H και W (σχ. 5.6, Πίνακας 5.5) με κριτήριο την σκληρότητα του κατεργαζόμενου μετάλλου.

5. 1. 3. 3 Φθορά και ζωή του τρυπανιού.

A. Φθορά τον τρυπανιού.

Επειδή η λειτουργία του τρυπανιού, ως κοπτικού εργαλείου, είναι παρόμοια εκείνης του εργαλείου торνεύσεως με ορισμένες δυσκολίες που επισημάνθηκαν στο τέλος της προηγούμενης παραγράφου, θα πρέπει να αναμένονται παρόμοιοι μηχανισμοί και είδη φθοράς του τρυπανιού. Στην βιβλιογραφία, καθ' όσον είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε, αναφέρονται λίαν περιορισμένα πειραματικά δεδομένα. Παρόλα ταύτα, σημειώνουμε σχετικώς τα ακόλουθα:

- Τα τρυπάνια φθείρονται, όπως είναι φυσικό, με τον χρόνο λειτουργίας τους, μέχρις ότου απολέσουν την κοπτική τους ικανότητα. Τα συγκεκριμένα συμπτώματα προοδευτικής φθοράς, όπως αυτά αναμένονται, συνεπάγονται αύξηση της δύναμης (ή αντιστάσεως) και της ισχύος κοπής και χειροτέρευση της τραχύτητας της κατεργασμένης επιφάνειας.
- Από πειραματικά δεδομένα έχει προκύψει, ότι φθορά της εγκάρσιας κόψης του τρυπανιού ακολουθείται αναλογικά από αύξηση της δυνάμεως προώσεως, ενώ φθορά στην ελευθέρα επιφάνεια (ζώνη φθοράς) συνεπάγεται αύξηση της ροπής στρέψεως- προσέτι, σε γωνίες του τρυπανιού προκαλεί ανάλογη (κατά προσέγγιση) ύψωση και στα δύο μεγέθη, δηλαδή στην F_V και M_d .
- Φθορά του τρυπανιού εκδηλώνεται στις ακόλουθες θέσεις του: Στην περιοχή της εγκάρσιας κόψης, στις γωνιές (άκρες) και κατά μήκος των κύριων κόψεων, στις ελεύθερες επιφάνειες του τρυπανιού, στις οδηγητικές λωρίδες κατά το μήκος που εφάπτονται στο τοίχωμα της οπής και σπανιότερα στις επιφάνειες αποβλήτου (φθορά κρατήρα).
- Η φθορά του τρυπανιού χαρακτηρίζεται εν γένει ως ανομοιόμορφη. Τούτο

μπορεί να αποδοθεί σε ανομοιογένεια του κατεργαζόμενου μετάλλου και συχνότερα στην μορφή του κοπτικού μέρους του τρυπανιού μετά από τρόχιση, που απαιτεί την ύπαρξη καταλλήλου τροχιστικού και λειαντικού τροχού, εμπειρία και προσοχή (η τρόχιση, δηλαδή, τρυπανιού είναι μία πολύ δύσκολη εργασία και είναι αναγκαίο να εκτελείται με την δέουσα ακρίβεια!). Ούτως, η φθορά στις άκρες των κύριων κόψεων μπορεί να αποδοθεί στην μείωση της γωνίας σφηνός β, όσο προχωρούμε προς την περιφέρεια του τρυπανιού, ενώ η ταχύτητα κοπής και το συνοδό θερμικό φορτίο, καθώς και η θερμοκρασία ανυψώνονται καθόν χρόνο η διατομή απαγωγής της εκλυόμενης θερμότητας ελαττώνεται το αποτέλεσμα είναι επιτάχυνση της φθοράς του τρυπανιού στις θέσεις αυτές.

Συμπερασματικά, για σωστά τροχισμένο τρυπάνι και επιτυχώς επιλεγμένες συνθήκες κατεργασίας, ως συμπτώματα φθοράς του μπορούν να θεωρηθούν χονδρικές:

- Κατά την διάτρηση χάλυβα: Φθορά στην ελευθέρα επιφάνεια των κύριων κόψεων και κατά μήκος τους (ζώνη φθοράς), η οποία αυξάνεται προς την περιφέρεια του τρυπανιού και
- κατά την διάτρηση χυτοσιδήρου: Φθορά στις άκρες των κόψεων και στην οδηγητική λωρίδα ή μόνο σε αυτή.

Τα παραπάνω συμπτώματα έχουν καθιερωθεί ποσοτικός και ως κριτήρια αξιολογήσεως της ζωής των τρυπανιών. Έτσι, μέσες συνιστώμενες τιμές του πλάτους B της ζώνης φθοράς μπορούν να είναι οι ακόλουθες:

- Για τρυπάνια ταχυχάλυβα: $B=(1, 0-1, 2)$ mm κατά την διάτρηση χάλυβα και $B=(0, 5-1, 2)$ mm στη διάτρηση χυτοσιδήρου.
- Για τρυπάνια με κοπτικό μέρος από σκληρομέταλλο: κατά τη διάτρηση άβαφου χάλυβα και χυτοσιδήρου και

για $D=(10-13)$ mm, $B=0, 4$ mm

για $D=(13-16)$ mm, $B=0, 6$ mm

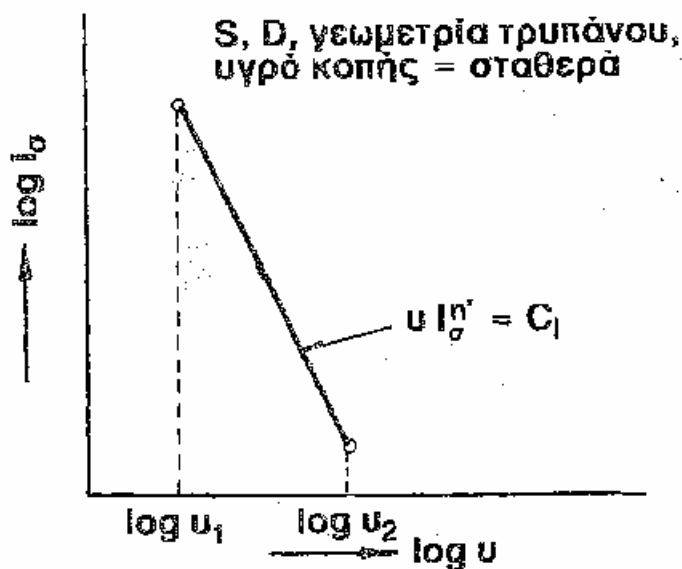
για $D=(19-25)$ mm, $B=1, 0$ mm και

για $D=(26 -30)$ mm, $B=1, 3$ mm

B. Ζωή του εργαλείου.

Κατά την διάτρηση, η ζωή του εργαλείου συνήθως εκφράζεται ως το συνολικό μήκος l_0 των ανοιγόμενων οπών με κριτήριο αστοχίας του τρυπανιού την στόμωσή του, υπό δεδομένους παράγοντες κοπής.

Ο ορισμός της ζωής του τρυπανιού σε μήκος l_σ αντί χρόνου T , όπως συμβαίνει κατά την τόννευση (σχέση Taylor), θεωρήθηκε σκόπιμος, γιατί κατά την διάτρηση ο χρόνος καθαρής κοπής είναι περιορισμένος από το μικρό συνήθως βάθος διατρήσεως και, συνεπώς, προσδιορίζεται με μέτρηση ευκολότερα το μήκος l_σ αντί του συνολικού χρόνου διατρήσεως.



Σχ. 5.7

Η πειραματική σχέση $l_\sigma = \sigma(u)$.

Έχει πειραματικώς βρεθεί, ότι μεταξύ της ζωής του τρυπανιού, ως ανωτέρω και της ταχύτητας κοπής u υφίσταται παρόμοια, ως και κατά την τόννευση, εξάρτηση μεταξύ χρόνου T και μήκους ανοιγμένων οπών l_σ , ήτοι (σχ. 5.7)

$$u l_\sigma^{n'} = C_1, \quad (5.1)$$

όπου C_1 σταθερά και n' εκθέτης, που εξαρτώνται από τις συνθήκες κατεργασίας, από την γεωμετρία και το υλικό του εργαλείου και από το χρησιμοποιούμενο υγρό κοπής.

Η σχέση $(u-l_\sigma)$ (5.2) είναι δυνατόν να μεταπέσει στην σχέση $(u-T_{l_\sigma})$, δηλαδή σε παρόμοια εκείνης που συναντάται κατά την τόννευση.

Έστω ότι θεωρούμε την διάτρηση i οπών του αυτού βάθους l .

Ο συνολικός καθαρός χρόνος διατρήσεως βρίσκεται ως

$$t'_e = \frac{il}{v_v} = \frac{il}{s_n} [\text{min}] \quad (5.3)$$

Εάν τώρα θέσουμε $T_{l\sigma} = t'_e$ και λάβουμε υπόψη και την σχέση (3. 1), θα έχουμε

$$l_\sigma = il = \frac{1000T_{l\sigma} \cdot sv}{\pi D} \quad (5.4)$$

Δυνάμει της σχέσεως (5.4), η εξίσωση (5.2) καθίσταται

$$v^{n+1} T_{l\sigma}^n \left(\frac{1000s}{\pi D}\right)^n = C_l \quad (5.5)$$

$$\text{ή } v T_{l\sigma}^{n+1} \left(\frac{1000s}{\pi D}\right)^{n+1} = C_l^{\frac{1}{n+1}} \quad (5.6)$$

και αν θέσουμε:

$$\frac{n}{n+1} = n_0 \quad \text{και}$$

$$C_l^{\frac{1}{n+1}} \left(\frac{\pi D}{1000s}\right)^{n_0} = C_T \quad (5.7)$$

προκύπτει τελικά

$$v T_{l\sigma}^{n_0} = C_T \quad (5.8)$$

Συνεπώς:

$$L = l + 3 + \frac{D}{2\varepsilon\varphi\left(\frac{\omega}{2}\right)} \text{ για ανοιχτές οπές} \quad (5.9)$$

και

$$L = l + 1 + \frac{D}{2\varepsilon\varphi\left(\frac{\omega}{2}\right)} \text{ για τυφλές οπές} \quad (5.10)$$

Στην περίπτωση διευρύνσεως οπής με διάτρηση το μήκος προσεγγίσεως του τρυπανιού προσδιορίζεται ως:

$$l_a = 1 + \frac{(D-d)}{2\varepsilon\varphi\left(\frac{\omega}{2}\right)} \quad (5.11)$$

Ε. Εκλογή των διαφόρων παραγόντων κοπής κατά την διάτρηση.

Συνιστώμενες τιμές της προώσεως συναρτήσκει της ονομαστικής διαμέτρου του τρυπανιού (ακριβέστερα για περιοχές μεταβολής της ονομαστικής διαμέτρου), αναφορικά προς την διάτρηση ποικιλίας υλικών με τρυπάνια από ταχυχάλυβα δίδονται στον Πίνακα 5.5, ενώ με τρυπάνια κόψεων από σκληρομέταλλο παρατίθενται στον Πίνακα 5.6.

Η ταχύτητα κοπής εκλέγεται για διάφορα υλικά και για τρυπάνια από ταχυχάλυβα ή με κόψεις από σκληρομέταλλο βάσει των στοιχείων του Πίνακα 5.7.

Σε ό, τι αφορά την εκλογή της γεωμετρίας του τρυπανιού, καθώς και του είδους του υγρού κοπής για διάτρηση ποικιλίας υλικών, συνιστώνται τα στοιχεία των Πινάκων 5.3 και 5.4.

Θεωρούμε χρήσιμο να παραθέσουμε και τις ακόλουθες συναφείς παρατηρήσεις:

- Αρχικά επιλέγεται το συνολικό βάθος κοπής [$a=D/2$ ή $a=(D-d)/2$ για πλήρη διάτρηση ή για διάτρηση διευρύνσεως οπής, αντίστοιχα]. Κατόπιν το βάθος αυτό κοπής μερίζεται ανάλογα με τον αριθμό περασμάτων (πάσσων) του εργαλείου (τρυπάνι με διαφορετική εκάστοτε ονομαστική διάμετρο) σε σχέση με την επιθυμητή ακρίβεια διατρήσεως.
- Η ταχύτητα κοπής εκλέγεται, συνήθως, για καθορισμένη ζωή του εργαλείου.
- Ο καθορισμός της προώσεως, κατά περίπτωση διατρήσεως, υπόκειται σε περιορισμούς οφειλόμενους:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5. Συνιστώμενες τιμές της προώσεως s κατά την διάτρηση διαφόρων υλικών με ελικοειδή τρυπάνια από ταχυχάλυβα.

Είδος υλικού	Μέγιστη αντοχή (daN/mm ²) ή σκληρότητα (BHN)	Πρόωση (mm/στρ.) για διάφορες περιοχές ονομαστικής διαμέτρου τρυπανιού D σε mm.			
		2-10	10-20	20-40	40-60
Ανθρακούχοι χάλυβες	έως 50 50-70 70-90 90-100	0. 03-0. 2 0. 03-0. 16 0. 02-0. 125 0. 01-0. 1	0. 2-0. 3 0. 16-0. 24 0. 12-0. 18 0. 1-0. 14	0. 3-0. 4 0. 24-0. 32 0. 18-0. 24 0. 14-0. 2	0. 4-0. 5 0. 32-0. 4 0. 24-0. 32 0. 2-0. 24
Κεκραμένοι χάλυβες	100-120	0. 01-0. 1	0. 1-0. 14	0. 14-0. 2	0. 2-0. 24
Ανοξειδωτοι χάλυβες	38-52	0. 02-0. 125	0. 12-0. 18	0. 18-0. 24	0. 24-0. 32
Χυτοχάλυβες	έως 200 BHN άνω 200 BHN	0. 03-0. 16	0. 16-0. 24	0. 24-0. 32	0. 32-0. 4
Φαίός χυτοσίδηρος		0. 03-0. 16	0. 24-0. 32 0. 18-0. 24	0. 32-0. 35 0. 24-0. 36	0. 45-0. 56 0. 36-0. 45
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη		0. 06-0. 24 0. 04-0. 18	0. 18-0. 24	0. 24-0. 36	0. 36-0. 45
Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος		0. 04-0. 18	0. 12-0. 18	0. 18-0. 24	0. 24-0. 32
Κράματα Al		0. 02-0. 125	0. 24-0. 3	0. 3-0. 45	0. 45-0. 56
Ορείχαλκος		0. 05-0. 24	0. 18-0. 24	0. 24-0. 36	0. 36-0. 45
Κρατέρωμα		0. 04-0. 18	0. 18-0. 24	0. 24-0. 36	0. 36-0. 45
Πλαστικά		0. 04-0. 18 0. 08-0. 32	0. 32-0. 45	0. 45-0. 56	0. 56-0. 70

Στην μηχανική αντοχή του τρυπανιού, στην αντοχή της εργαλειομηχανής (του δραπάνου) λόγω φορτίσεώς της από την αξονική δύναμη (δύναμη προώσεως) F_v και από την ροπή στρέψεως M_d , στα κινηματικά χαρακτηριστικά της κατεργασίας και στα διατιθέμενα βήματα προώσεως του δραπάνου.

Στην διάτρηση, για τους λόγους που έχουμε αναφέρει, η τραχύτητα του τοιχώματος της οπής δεν συνιστά περιορισμό στην επιλογή της προώσεως. Επομένως η εκλογή της επιτρεπόμενης προώσεως επαφίεται στον υπολογισμό της κατά τρόπον, ώστε να ικανοποιούνται οι προαναφερόμενοι περιορισμοί.

Αναφορικά προς την αντοχή του τρυπανιού, για την εκάστοτε ενδεδειγμένη γεωμετρία του και κάτω από σωστές συνθήκες λειτουργίας, αφού όμως έχει αποκλεισθεί η δυνατότητα εμφανίσεως λυγισμού, οι υπολογισμοί γίνονται βάσει συγχρόνου φορτίσεως από την δύναμη F_v και την ροπή στρέψεως M_d . Και αν δεχθούμε ότι η αξονική δύναμη F_v ελάχιστα επηρεάζει την αντοχή του τρυπανιού, τότε απομένει μόνον η ροπή στρέψεως M_d για τον έλεγχο της αντοχής του τρυπανιού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6. Συστάσεις τιμών της προώσεως s κατά την διάτρηση διαφόρων υλικών με ελικοειδή τρυπάνια με κόψεις από σκληρομέταλλο

Είδος υλικού	Μέγιστη αντοχή (daN/mm ²) ή σκληρότητα (BHN)	Πρόωση s (mm/στρ.) για διάφορες περιοχές ονομαστικής διαμέτρου τρυπανιού D σε mm			
		2-10	10-20	20-40	40-60
Ανθρακούχοι χάλυβες	έως 50	0. 02-0. 06	0. 06-0. 1	0. 1-0. 14	0. 14-0. 18
	50-70	0. 02-0. 06	0. 06-0. 1	0. 1-0. 14	0. 14-0. 18
	70-90	0. 02-0. 05	0. 05-0. 08	0. 08-0. 12	0. 12-0. 14
	90-110	0. 02-0. 05	0. 05-0. 08	0. 08-0. 12	0. 12-0. 14
Κεκραμένοι χάλυβες	100-120	0. 03-0. 04	0. 04-0. 06	0. 06-0. 08	0. 08-0. 12
Ανοξείδωτοι χάλυβες		0. 02-0. 04	0. 04-0. 06	0. 06-0. 08	0. 08-0. 12
Χυτοχάλυβες	38-52	0. 02-0. 05	0. 05-0. 08	0. 08-0. 12	0. 12-0. 14
Φαίος χυτοσίδηρος	έως 200 BHN	0. 04-0. 08	0. 08-0. 15	0. 15-0. 03	0. 03-0. 45
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη	άνω 200 BHN	0. 03-0. 05	0. 05-0. 1	0. 1-0. 2	0. 2-0. 3
Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος		0. 02-0. 05	0. 05-0. 08	0. 08-0. 12	0. 12-0. 14
Κράματα Al		0. 06-0. 1	0. 1-0. 18	0. 18-0. 25	0. 25-0. 32
Ορείχαλκος		0. 06-0. 1	0. 1-0. 15	0. 15-0. 2	0. 2-0. 3
Κρατέρωμα		0. 06-0. 1	0. 1-0. 15	0. 15-0. 2	0. 2-0. 3
Πλαστικά		0. 03-0. 06	0. 06-0. 12	0. 12-0. 2	0. 2-0. 3

5. 2. ΓΛΥΦΑΝΣΗ

5. 2. 1 Γενική θεώρηση της γλυφάνσεως.

5. 2. 1. 1 Δυναμικότητα της κατεργασίας.

Η γλύφανση αποτελεί κατεργασία αποπερατώσεως, με την οποία διευρύνονται με ακρίβεια οπές, που έχουν συνήθως ανοιχθεί με διάτρηση ή με εσωτερική τórνευση (δυνατόν όμως να προέρχονται και από χύτευση) με αφαίρεση ολίγου υλικού υπό μορφή λεπτότατων αποβλήτων. Προσδίδονται, έτσι, στις οπές μεγαλύτερη ακρίβεια διαστάσεων και μορφής, καθώς και βελτιωμένη τραχύτητα επιφάνειας. Πρέπει να σημειώσαμε, ότι με την γλύφανση δεν διορθώνονται σφάλματα της οπής σχετιζόμενα

με την θέση της ή με την κατεύθυνση του άξονα της.

Η κινηματική της γλυφάνσεως είναι παρόμοια με εκείνη της διατρήσεως.

Εξεταζόμενη η γλύφανση από απόψεως σχεδιάσεως και μορφής του γλυφάνου, επιτυγχανόμενης ακρίβειας και πάχους στιβάδος μετάλλου που αφήνεται για να αφαιρεθεί με την γλύφανση, διακρίνομε την γλύφανση σε γλύφανση εκχονδρίσεως (γλύφανση χαμηλής και μέσης ακρίβειας και ανάλογου βαθμού τραχύτητας επιφάνειας) και σε γλύφανση αποπερατώσεως (γλύφανση ακριβείας και υψηλού βαθμού τραχύτητας).

Η διαστατική ακρίβεια, που αποδίδει η γλύφανση σε ποιότητες κατά ISO (ποιότητες 5 έως 12). Με την γλύφανση εκχονδρίσεως επιτυγχάνονται ποιότητες από 9 έως 12, ενώ η γλύφανση αποπερατώσεως παρέχει ποιότητες από 5 έως 8. Η διαφορά διαστατικής ακρίβειας και τραχύτητας επιφανείας κατά την γλύφανση, ως προς ό, τι σχετικό μας αποδίδει η διάτρηση, είναι συντριπτική προς όφελος της γλυφάνσεως. Τούτο μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός, ότι το γλύφανο είναι εργαλείο πολλαπλών κόψεων (ενώ το τρυπάνι έχει δύο κόψεις συνήθως), με συνέπεια η κατανομή των φορτίων να είναι πλέον ομοιόμορφη και οι παραμορφώσεις του γλυφάνου να περιορίζονται, ώστε να μορφοποιείται ακριβέστερη οπή προσέτι, το επιλεγόμενο βάθος κοπής και η πρόωση λαμβάνουν χαμηλές σχετικά τιμές, με αποτέλεσμα πτώση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων. Ακόμη, εκλέγονται τέτοιες τιμές της ταχύτητας κοπής (χαμηλές τιμές, Πίνακας 5.11) κατά τρόπον, ώστε να μην σχηματίζεται ψευδόκοψη ή, αν σχηματίζεται, να είναι λίαν περιορισμένη, με αμελητέα επίδραση στην τραχύτητα του τοιχώματος της οπής που υφίσταται γλύφανση. Εδώ, θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι είναι πρακτικά αδύνατο στην γλύφανση, γενικά, και ιδιαίτερα στην γλύφανση αποπερατώσεως, να εφαρμόσουμε τις υψηλές ταχύτητες κοπής, όπου η ψευδόκοψη εξαφανίζεται, για εγγενείς λειτουργικούς λόγους των δραπάνων.

Η γλύφανση εκτελείται σε χάλυβες σκληρότητας από περίπου 15 μέχρι 30 RHN_C, κατά κύριο λόγο, μπορεί όμως να εκτελεσθεί και σε σκληρότερους χάλυβες μέχρι 50 RHN_C ή και παραπάνω. Επιπλέον, χρησιμοποιείται σε ευρεία έκταση για αποπεράτωση οπών σε χυτοσιδηρά τεμάχια, όπως και σε μαλακά μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα.

Η ονομαστική διάμετρος των γλυφάνων κυμαίνεται κατά βάση από 3mm έως 40mm ($\frac{1}{8} \text{ in} - 1\frac{1}{8} \text{ in}$). Συναντούμε όμως στο εμπόριο γλύφανα

για οπές μικρής διαμέτρου, όπως λ. χ. 0, 125mm. Ολόσωμα γλύφανα διατίθενται για οπές διαμέτρου μέχρι 50 mm (2 in) και κατόπιν ειδικής παραγγελίας μέχρι 75 mm (3 in). Ειδικά γλύφανα (σχ. 5.9, 5.10) διατίθενται σε ονομαστική διάμετρο μέχρι 150mm(6 in).

Το μήκος οπής, για επιτυχή γλύφανση εξαρτάται από την ονομαστική διάμετρο του γλυφάνου, από τον τρόπο στηρίξεως και οδηγήσεως (επί παραδείγματι με χρήση δακτυλίου) του γλυφάνου και από την επιδιωκόμενη διαστατική ακρίβεια. Για τυπικά (standard) γλύφανα, το μήκος της οπής ποικίλλει ανάμεσα σε τιμή ελαφρώς μεγαλύτερη του μήκος των αυλακών (σχ. 5.8) μέχρι τιμή πολύ μικρότερη του μήκους αυτού. Εν τούτοις, με αύξηση τον μήκους του στελέχους του γλυφάνου, καθίσταται εφικτή η γλύφανση οπών μήκους πολλαπλάσιου του μήκους των αυλακών. Τούτο όμως παρουσιάζει δυσκολίες οδηγήσεως του γλυφάνου και αποβαίνει σε βάρος της εν γένει ακρίβειας της οπής.

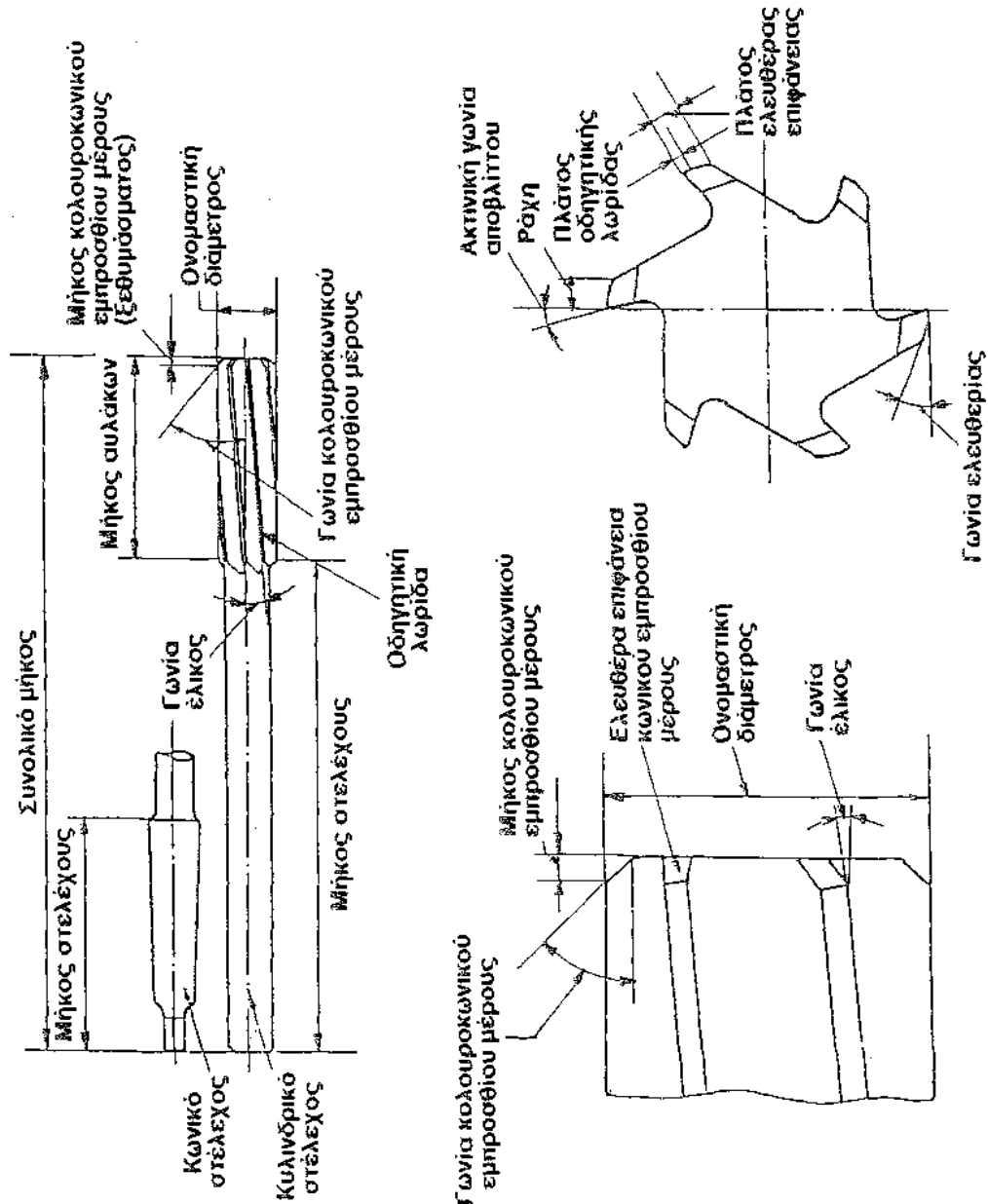
Το ποσό του υλικού που πρόκειται να αφαιρεθεί με γλύφανση εξαρτάται από την χημική σύνθεση και από την σκληρότητα του υλικού του τεμαχίου. Για μαλακά υλικά μεγαλύτερη διάμετρος της οπής κατά 0. 2mm ανά ενεργό διαδρομή του γλυφάνου αποτελεί ένα ελάχιστο για κανονικό σχηματισμό του αποβλήτου και ικανοποιητική ζωή του γλυφάνου. Για σκληρότερα υλικά, το ελάχιστο αυτό είναι δυνατό να μειωθεί μέχρι και την τιμή των 0. 125 mm. κάτωθεν της οποίας θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί άλλη κατεργασία, όπως π. χ. η κατεργασία Honing.

Η γλύφανση αποδίδει διαστατική ακρίβεια 25 μm έως 75 μm , ενώ ακρίβεια μικρότερη των 25 μm μπορεί να επιτευχθεί και να διατηρηθεί κατά την παραγωγή με αυστηρότερο έλεγχο των διαστάσεων του γλυφάνου. της συγκρατήσεως του γλυφάνου τεμαχίου, όπως επίσης και των συνθηκών κατεργασίας.

Η τραχύτητα των κατεργαζόμενων με γλύφανση οπών εξαρτάται από το υλικό του τεμαχίου, από την γεωμετρία και την κατάσταση του γλυφάνου και από τις συνθήκες κατεργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7. Επιλεγόμενες τιμές της ταχύτητας κοπής υ κατά την διάτρηση ποικιλίας υλικών με ελικοειδή τρυπάνια από ταχυχάλυβα και με κόψεις από σκληρομέταλλο.

Είδος υλικού	Μέγιστη αντοχή (daN/mm ²) ή σκληρότητα (BHN)	Ταχύτητα κοπής υ (m/min)	
		Ταχυχάλυβας	Σκληρομέταλλο
Ανθρακούχοι χάλυβες	έως 50	25-40	55-70
	50-70	25-30	45-50
	70-90	12-20	40-45
	90-110	6-12	35-55
Κεκραμένοι χάλυβες	100-120	10-15	35-50
Ανοξειδωτοι χάλυβες		7-12	20-35
Χυτοχάλυβες	38-52	12-20	20-30
Φαίος χυτοσίδηρος	έως 200 BHN	20-35	60-80
	άνω 200 BHN	15-25	30-40
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη		15-30	35-50
Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος		12-20	30-40
Κράματα Al		έως 160	230-300
Ορείχαλκος		έως 70	80-90
Κρατέρωμα		έως 70	80-90
Πλαστικά		15-30	70-100



Σχ. 5.8

Ονοματολογία και γεωμετρία γλυφάνου ελικοειδών οδόντων από ταχυχάλυβα.

5. 2. 1. 2. Το γλύφانو.

Η γλύφανση εκτελείται με κοπτικό εργαλείο, με το καλούμενο γλύφانو (σχ. 5.8). Το γλύφانو είναι εργαλείο πολλών κύριων (είναι πασιφανές ότι εγκάρσια κόψη δεν χρειάζεται) κόψεων και δύναται να χρησιμοποιηθεί είτε με το χέρι (χειρογλύφانو) είτε μηχανικά (μηχανογλύφانو). Το σώμα του γλυφάνου φέρει αύλακες για τους αυτούς λόγους, όπως και το τρύπανο. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τα μηχανογλύφανα. Η κοπή λαμβάνει χώρο κατά κύριο λόγο, στο εμπρόσθιο κολουροκωνικό τμήμα του

γλυφάνου, το οποίο διαμορφώνεται κατάλληλα.

Η διαμόρφωση γλυφάνου στο εμπρόσθιο μέρος του εικονίζεται στο σχήμα 5.9 (α), ενώ κατά μήκος του γλυφάνου στο σχήμα 5.9 (β).

Η συνιστώμενη γεωμετρική μορφή του γλυφάνου για κατεργασία διαφόρων υλικών δίδεται στον Πίνακα 5.8

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8 Γεωμετρία γλυφάνου για κατεργασία διαφόρων υλικών.

Είδος υλικού	Μέγιστη αντοχή [daN/mm ²] ή σκληρότητα (BHN)	Ταχυχάλυβας		Σκληρομέταλλο	
		Γωνία ελευθερίας [°]	Γωνία κολουροκωνικού εμπρόσθ. μέρους [°]	Γωνία ελευθερίας [°]	Γωνία κολουροκωνικού εμπρόσθ. μέρους [°]
Ανθρακούχοι χάλυβες	έως 80	1-1, 5	45	8-10	20-30
Κεκραμένοι χάλυβες	άνω 80	2	45	8-10	20-30
	έως 140	2	45	8-10	30-45
Χυτοχάλυβες	άνω 140	2	45	8-10	30-45
	έως 50	1, 5-2	45	8-10	20-30
Φαίος χυτοσίδηρος	50-70	1, 5-2	45	8-10	20-30
	άνω 70	1, 5-2	45	8-10	20-30
	έως 200 BHN	2-3	45	8-10	15-20
Κράματα Al	έως 200 BHN	3	45	8-10	20-30
	Πλαστικά	-	-	10-15	30
				10-15	10-30

Γωνία αποβλήτου: Γλύφανο από ταχυχάλυβα.

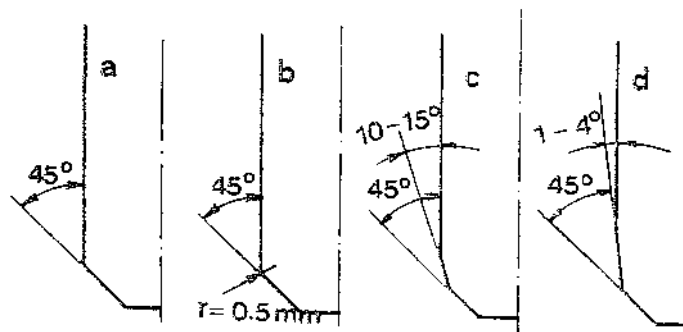
Μαλακοί χάλυβες: $\gamma=8^\circ$

Διάφοροι άλλοι χάλυβες, χαλυβοκράματα, χυτοχάλυβες κα μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος: $\gamma=5^\circ$

Κράματα χαλκού: $\gamma=5^\circ$

Χυτοσίδηρος: $\gamma=8^\circ$

Ελαφρά μέταλλα: $\gamma=12^\circ$.

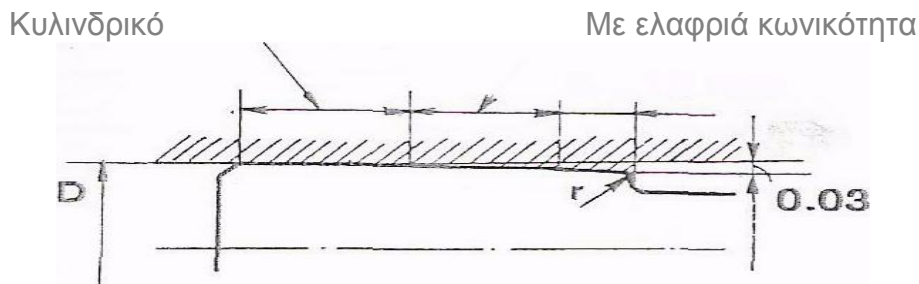


Σχ. 5.9 (α)

Διαμόρφωση γλυφάνων στο εμπρόσθιο μέρος τους.

- a) Εμπρόσθιο μέρος με γωνία 45° .
- b) Εμπρόσθιο μέρος με γωνία 45° και στρογγυλευμένη ακμή.
- c) Εμπρόσθιο μέρος με δύο γωνίες $45^\circ/10^\circ-15^\circ$ (συνιστάται για κατεργασία χάλυβα).
- d) Εμπρόσθιο μέρος με δύο γωνίες $45^\circ/1^\circ-4^\circ$ (συνιστάται για κατεργασία χυτοσιδήρου).

ΜΕΡΟΣ:



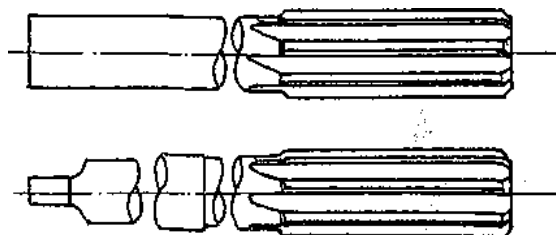
Σχ. 5.9 (β)

Κατά μήκος διαμόρφωση μηχανογλυφάνου.

Προς επίτευξη καλής οδηγήσεως του γλυφάνου εντός της οπής, αφήνεται σε τούτο οδηγητήρια λωρίδα μικρού πλάτους (σχ. 5.8), που εξαρτάται από το υπό κατεργασία υλικό και από την τιμή της ονομαστικής διαμέτρου του γλυφάνου.

Τα γλύφανα ταξινομούνται σε **κυλινδρικά** και σε **κωνικά**.

Τα κυλινδρικά γλύφανα διακρίνονται παραπέρα σε γλύφανα σταθερής διαμέτρου (σχ. 5.10) και σε γλύφανα ρυθμιζόμενης διαμέτρου (σχ. 5.11).

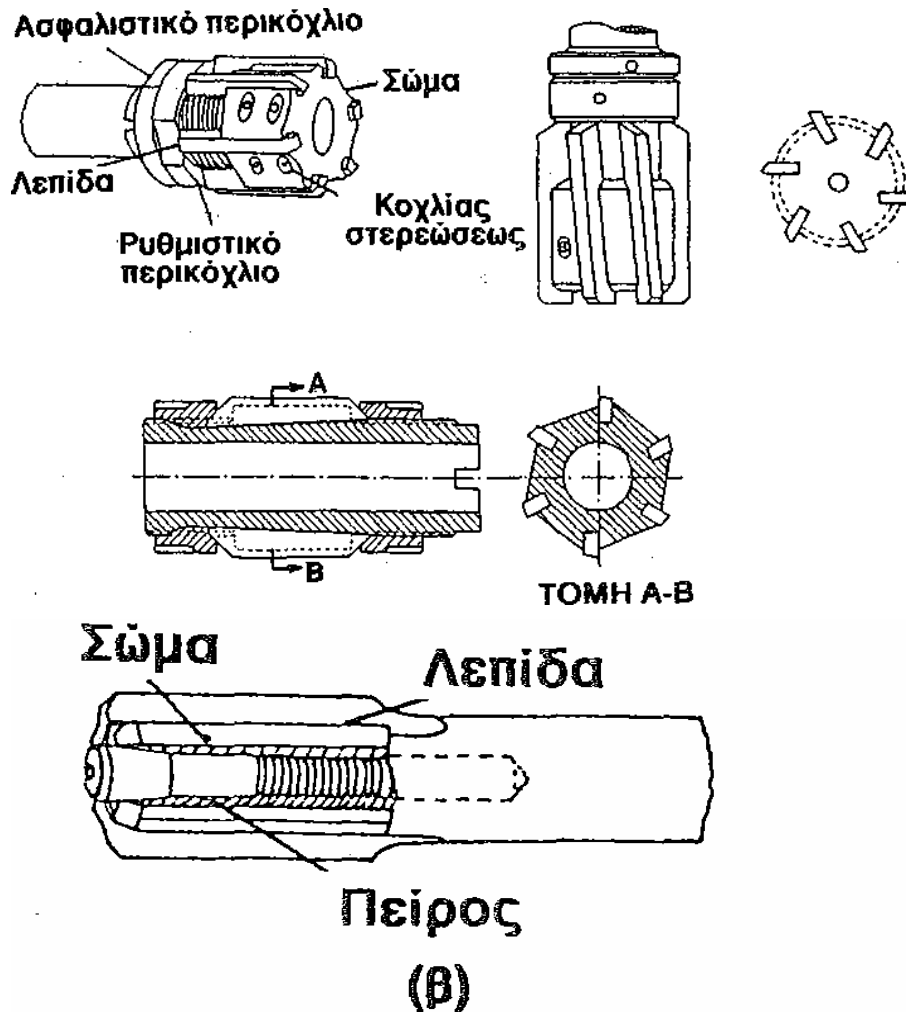


Σχ. 5.10

Γλύφανα σταθερής διαμέτρου.

Τα γλύφανα και των δύο αυτών κατηγοριών απαντώνται ως γλύφανα με ευθείς οδόντες ή με ελικοειδείς οδόντες. Τα δεύτερα αποδίδουν ήσυχη εργασία και βελτιωμένη τραχύτητα επιφανείας.

Τα ρυθμιζόμενης διαμέτρου γλύφανα κατασκευάζονται ως γλύφανα εντιθέμενων κοπτικών λεπίδων [σχ. 5.11 (α)] και ως γλύφανα κοχλιωτού κοχλιωτού κωνικού πείρου [σχ.5.11 (β)].



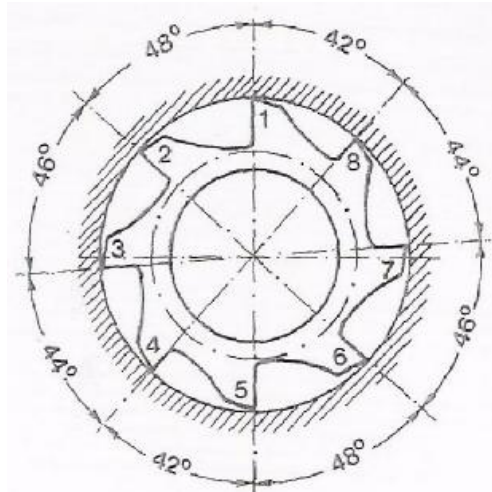
Σχ. 5.11

Γλύφανα ρυθμιζόμενης διαμέτρου.

Υπάρχουν και τα κοίλα γλύφανα (σχ. 5.12), που προσαρμόζονται σε κατάλληλους άξονες. Κατασκευάζονται ως γλύφανα σταθερής διαμέτρου, καθώς και ως γλύφανα ρυθμιζόμενης διαμέτρου. Τα δεύτερα δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την κατεργασία οπών διαφόρων μεγεθών, αλλά υπόκεινται μόνο σε μικρομετρική ρύθμιση προς αντιστάθμιση της φθοράς τους κατά την λειτουργία.

Τα κοίλα γλύφανα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις, όπου το γλύφانو

παραμένει σταθερό και περιστρέφεται το τεμάχιο, όπως επί παραδείγματι στους γνωστούς πυργωτούς τόνους και ενδείκνυνται για γλύφανση αποπερατώσεως. Τούτο, γιατί ως διμερή που είναι, εμφανίζουν μικρότερη στιβαρότητα σε σχέση με τα ολόσωμα γλύφανα.



Σχ. 5.12

Άνισο βήμα οδοντώσεως γλυφάνου για καλύτερη λειτουργία του.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9 Αριθμός οδόντων μηχανογλυφάνων από ταχυχάλυβα, καθώς και με δόντια από σκληρομέταλλο.

Περιοχή ονομαστικής διαμέτρου [mm]	Ολόσωμο γλύφανο		Ρυθμιζόμενο γλύφανο
	Ταχυχάλυβας	Σκληρομέταλλο	Ταχυχάλυβας
3		4	-
4-10	6	4	-
30-12	6	6	-
12-20	8	6	-
20-24	8	6	6
24-28	8	8	6
29-32	10	8	6
32-54	10	8	6
55-59	12	8	6
60-75	12	10	6
7-84	16	10	8
85-100	16	10	8

Κατά την γλύφανση αναπτύσσονται μικρότερα φορτία σε σχέση με την διάτμηση. Τούτο, μπορούμε να δεχθούμε, ότι επιτρέπει αύξηση της σκληρότητας τον γλυφάνου, με συνέπεια μακρύτερη ζωή του και επίτευξη καλύτερης τραχύτητας επιφάνειας.

Ο αριθμός των οδόντων του γλυφάνου δίδεται στον Πίνακα 5.11, για διάφορες περιοχές ονομαστικής διαμέτρου, για γλύφανα από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο και για γλύφανα ολόσωμα και ρυθμιζόμενα.

5. 2. 1. 3 Δυνάμεις κοπής και ισχύς κοπής.

Οι δυνάμεις κοπής, όπως και η ισχύς κοπής και προώσεως κατά την γλύφανση είναι δυνατόν να υπολογισθούν βάσει των όσων έχουμε ήδη εκθέσει για την διεύρυνση οπής με διάτρηση, εφόσον ληφθεί υπόψη ο αριθμός οδόντων του γλυφάνου. Επειδή όμως οι αναπτυσσόμενες κατά την γλύφανση (γλύφανση εκχονδρίσεως και γλύφανση αποπερατώσεως) δυνάμεις, καθώς επίσης και κατά τις υπόλοιπες συναφείς προς την διάτρηση κατεργασίες (σχ. 5.1), είναι κατά πολύ μικρότερες εκείνων, οι οποίες αναπτύσσονται στην διάτρηση, εναπόκειται στον χρήστη ή στον σχεδιαστή της εργαλειομήχανης να αποφασίσει σχετικά. Αν ενδιαφέρει ο υπολογισμός των δυνάμεων κοπής (και της ισχύος κοπής και προώσεως), τότε αυτός μπορεί να εκτελεσθεί βάσει των όσων σχετικών έχουμε παραθέσει για την διεύρυνση οπών με διάτρηση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10. Εκλογή τιμών της προώσεως s για γλύφανση διάφορων υλικών.

Είδος υλικού	Μεγίστη αντοχή [daN/mm ²] ή σκληρότητα (BHN)	Πρόωση s (mm/στρ.)	
		Ταχυχάλυβας	Σκληρομέταλλο
Αθρακούχοι χάλυβες	έως 50	0. 3-1. 2	0. 2-0. 6
	50-70	0. 3-1. 2	0. 2-0. 6
	70-90	0. 16-0. 8	0. 2-0. 6
	90-110	0. 16-0. 8	0. 2-0. 6
Κεκραμένοι χάλυβες	100-120	0. 1-0. 6	0. 1-0. 4
Ανοξειδωτοι χάλυβες		0. 16-0. 8	0. 2-0. 4
Χυτοχάλυβες	38-52	0. 16-0. 8	0. 2-0. 7
Φαίος χυτοσίδηρος	έως 200 B HN	0. 4-2. 0	0. 25-1. 0
	άνω 200 BHN	0. 3-2. 0	0. 2-0. 8
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη			
Μαλακτικοποιημένος χυτοσί- δηρος		0. 3-2. 0	0. 2-0. 8
		0. 3-1. 2	0. 2-0. 6
Κράματα Al		0. 4-2. 0	0. 25-0. 7
Ορείχαλκος		0. 4-2. 0	0. 2-0. 8
Κρατέρωμα Πλαστικά		0. 4-2. 0	0. 2-0. 6
			0. 2-0. 5

5. 2. 1. 4 Εκλογή συνθηκών κατεργασίας.

Συνιστώμενες συνθήκες κατεργασίας κατά την γλύφανση, για ποικιλία υλικών και για γλύφανα ταχυχάλυβα και σκληρομετάλλου, δίδονται στους Πίνακες 5.10 και 5.11. Η πρόωση αυξάνεται με αύξηση της ονομαστικής διαμέτρου του γλυφάνου.

Χρησιμοποίηση του εκάστοτε κατάλληλου υγρού κοπής ασκεί ευνοϊκή επίδραση στην γλύφανση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.11 Συστάσεις επιλογής τιμών της ταχύτητας κοπής v για γλύφανση διαφόρων υλικών.

Είδος υλικού	Μέγιστη αντοχή [daN/mm ²] ή σκληρότητα [BHN]	Ταχύτητα κοπής v (m/min)	
		Ταχυχάλυβας	Σκληρομέταλλο
Ανθρακούχοι χάλυβες	έως 50	8-10	12-16
	50-70	6-8	10-14
	70-90	4-7	9-13
	90-110	3-5	8-12
	100-120	2-3	5-8
Κεκραμένοι χάλυβες Ανοξειδωτοι χάλυβες	38-52	3-5	9-16
	έως 200BHN	7-9	12-15
Χυτοχάλυβες Φαιός ζυτοσίδηρος	άνω 200BHN	4-6	8-11
		4-6	8-11
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος		3-4	6-9
		14-17	15-20
		11-14	12-15
		9-11	10-12
Κράματα Al			10-18
Ορείχαλκος			
Κρατέρωμα			
Πλαστικά			

Συνιστώμενα υγρά κοπής είναι τα κάτωθι:

- Για όλες τις κατηγορίες χαλύβων : Γαλάκτωμα και σε βαριές περιπτώσεις διατρήσεως λάδι με πρόσθετα υψηλής πίεσεως(θειωμένο).

- Φαιός χυτοσίδηρος : Ξηρά κοπή
- Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος ή χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη : Γαλάκτωμα
- Ορείχαλκοι , κρατερώματα : Γαλάκτωμα ή ξηρά κοπή
- Χαλκός : Γαλάκτωμα
- Αργίλιο : Γαλάκτωμα
- Κράματα αργιλίου : Γαλάκτωμα ή ξηρά κοπή ή λάδι κοπής
- Κράματα μαγνησίου : Λάδι κοπής

Στην γλύφανση μη σιδηρούχων μετάλλων και κραμάτων συνιστάται από ορισμένες πηγές και η χρησιμοποίησή ορυκτελαίου ως υγρού κοπής.

5. 2. 1. 5 Χρόνος κοπής.

$$t_c = i \frac{l}{sn} [mm] \quad (5. 12)$$

όπου $l_a + l_u \cong D$ και συνεπώς:

$$l = l + D [mm]$$

ή

$$t_c = i \frac{\pi D l}{1000 sv} [min] \quad (5.13)$$

όπου D, σε mm, είναι η ονομαστική διάμετρος του γλυφάνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΡΕΖΟΜΗΧΑΝΩΝ

6. 1. 1. Κινηματική και είδη φρεζαρίσματος.

Και το φρεζάρισμα, πέραν της τριτορεύσεως και της διατρήσεως ανήκει στην ομάδα ταξινομήσεως των κατεργασιών κοπής, όπου το εργαλείο εκτελεί περιστροφική κίνηση (πρωτεύουσα κίνηση) και το τεμάχιο επίπεδο συνεχή κίνηση, ευθύγραμμο ή καμπυλόγραμμο (συνεχής κίνηση προώσεως). Το εργαλείο (**φρέζα** ή **κοπτήρας φρεζαρίσματος** ή απλούστερα **κοπτήρας**) έχει καθορισμένη γεωμετρική μορφή και φέρει πολλές κύριες κόψεις ή οδόντες (σχ.6.1 α, β), είναι δηλαδή εργαλείο πολλαπλών κύριων κόψεων.

Το φρεζάρισμα γενικά καταλαμβάνει την δεύτερη θέση από απόψεως συχνότητας εφαρμογών και όγκου παραγωγής, ανάμεσα στις κατεργασίες κοπής, μετά την τόννευση.

Κατά το φρεζάρισμα αφαιρείται περιοδικά προκαθορισμένος όγκος μετ- άλλου από το προς κατεργασία τεμάχιο υπό μορφή μεμονωμένων (διακριτών) αποβλήτων. Οι κύριες κόψεις της φρέζας διαμορφώνονται στα δόντια, που μπορεί να φέρει περιφερειακά ή περιφερειακά και μετωπικά (σχ.6.1 α,γ). Η θεωρητική (και πραγματική) διατομή του αποβλήτου μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου αποκοπής κάθε δοντιού και κατά περίπτωση φρεζαρίσματος είναι δυνατόν να έχουμε μεταβαλλόμενο με το χρόνο το πάχος του αποβλήτου ή το πάχος και το πλάτος του συγχρόνως, γεγονός που υποδηλοί και εξάρτηση των δυνάμεων κοπής με τον χρόνο. Η κίνηση προώσεως είναι συνεχής και κάθε δόντι δεν κόβει συνεχώς, αλλά μόνο επί ορισμένο μέρος της περιόδου κινήσεως της φρέζας, που αντιστοιχεί σε ορισμένη γωνία περιστροφής της.

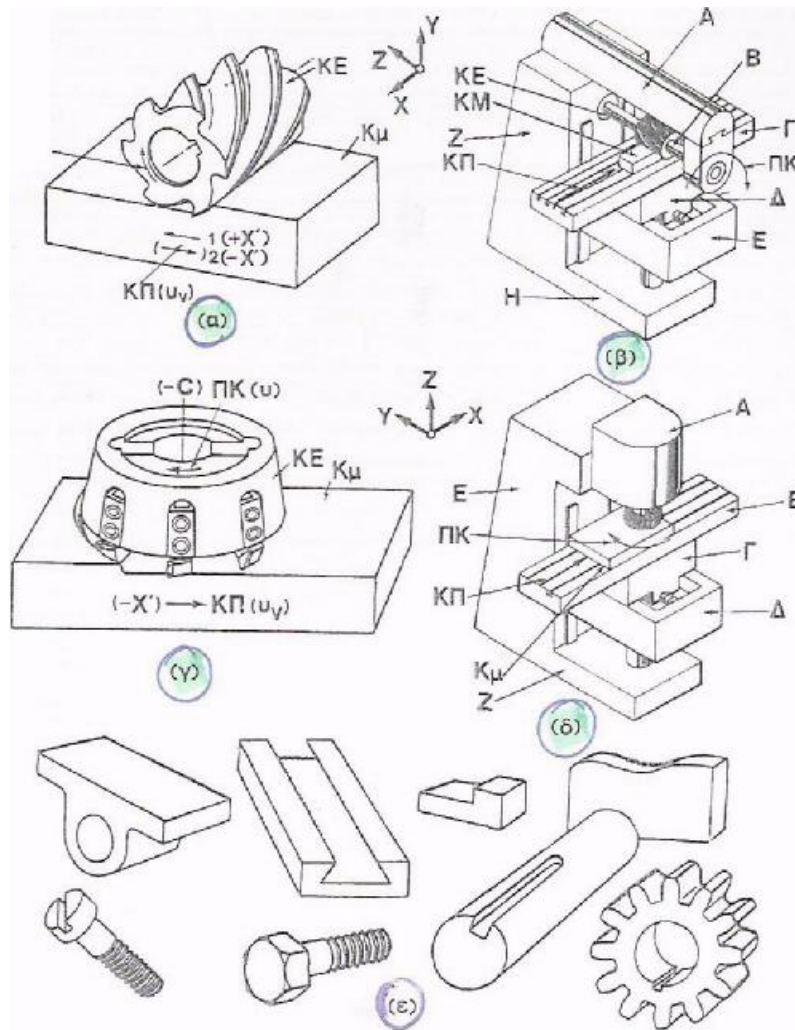
Το φρεζάρισμα το διακρίνουμε σε περιφερικό (σχ. 6. 1α) και σε μετωπικό (σχ. 6. 1γ).

Με το περιφερικό φρεζάρισμα κατεργαζόμαστε επίπεδες επιφάνειες παράλληλες προς τον άξονα της φρέζας. Η φρέζα φέρει δόντια στην περιφέρεια της με την κόψη τους παράλληλη (φρέζα με ευθέα δόντια) ή υπό γωνία (φρέζα με ελικοειδή δόντια) ως προς τον άξονα της.

Κατά το περιφερικό φρεζάρισμα είναι δυνατό η κίνηση προώσεως (κίνηση του κομματιού) να είναι αντίρροπη ή ομόρροπη προς την πρωτεύουσα κίνηση (της φρέζας). Έτσι, διαμορφώνονται αντίστοιχα δύο μέθοδοι για το περιφερικό φρεζάρισμα: το αντίρροπο φρεζάρισμα και το ομόρροπο φρεζάρισμα.

Κατά το μετωπικό φρεζάρισμα η φρέζα έχει δόντια με κόψεις περιφερειακά και μετωπικά και η κατεργασμένη επιφάνεια προκύπτει κάθετη στον άξονα της φρέζας. Κατά αυτό παρουσιάζονται συνήθως συνθήκες αντίρροπου και ομόρροπου φρεζαρίσματος κατά την διάρκεια αποκοπής του ίδιου δοντιού (σχ.6.3).

Με το φρεζάρισμα μπορούμε, εκτός από επίπεδες επιφάνειες να κατεργασθούμε και διάφορες καμπύλες επιφάνειες με φρεζάρισμα μορφής και αντιγραφής, όπως ακόμα να κόψουμε οδοντώσεις με κοπήρα μορφής ή με διαδικασία γενέσεως και σπειρώματα.



Σχ. 6. 1

Το φρεζάρισμα και οι φρεζομηχανές.

- (α) Κινηματική του περιφερικού φρεζαρίσματος: 1) Ομόρροπο φρεζάρισμα. 2) Αντίρροπο φρεζάρισμα.
- (β) Τα κύρια μέρη μιας οριζόντιας γραφομηχανής: Α πρόβολος, Β εργαλειοφόρος άξονας, Γ τράπεζα. Δ ανώτερο φορείο, Ε κατώτερο φορείο, Ζ κορμός, Η βάση.
- (γ) Κινηματική του μετωπικού φρεζαρίσματος.
- (δ) Τα κύρια μέρη μιας κατακόρυφης φρεζομηχανής: Α εργαλειοφόρος κεφαλή, Β τράπεζα, Γ ανώτερα φορείο, Δ κατώτερο φορείο, Ε κορμός, Ζ βάση.
- (ε) Αντιπροσωπευτικά τεμάχια, που παράγονται με φρεζάρισμα γενικά. [ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ κοπτικό εργαλείο (φρέζα ή κοπτήρας, Κμ κομμάτι)].

Για να γίνει το φρεζάρισμα, η φρέζα προσδένεται στον εργαλειοφόρο άξονα της φρεζομηχανής και το κομμάτι στην τράπεζα της.

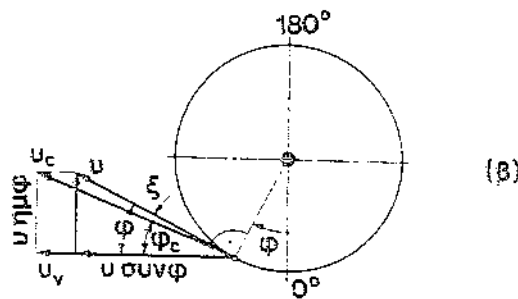
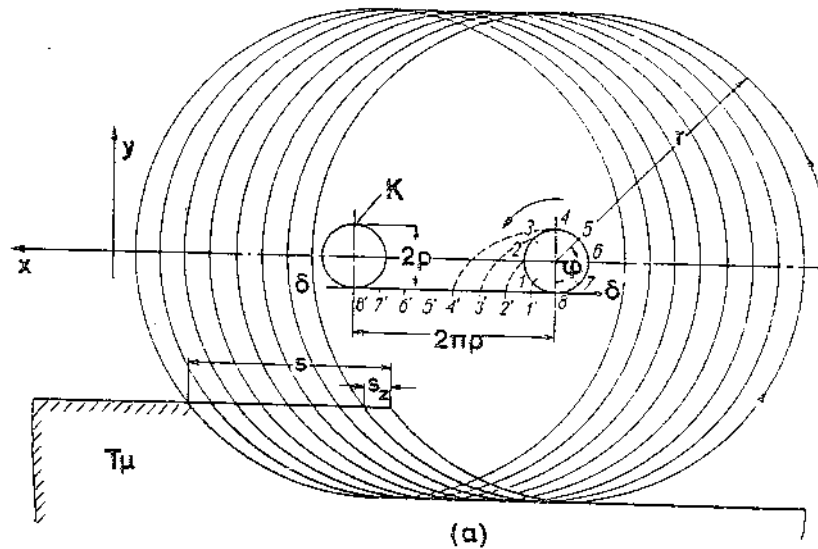
Το περιφερικό φρεζάρισμα εκτελείται σε οριζόντια φρεζομηχανή (σχ. 6.1β), η οποία παίρνει αυτή την ονομασία από το ότι ο εργαλειοφόρος άξονας της λαμβάνει

οριζόντια θέση. Το μετωπικό φρεζάρισμα γίνεται σε κατακόρυφη φρεζομηχανή (σχ. 6.1δ), η οποία φέρει κατακόρυφο εργαλειοφόρο άξονα. Μπορούμε όμως να μετατρέψαμε την οριζόντια φρεζομηχανή σε κατακόρυφη προσθέτοντας ένα συγκρότημα, που το ονομάζουμε προβοσκίδα.

Τέλος, στο σχήμα 6.1ε εικονίζονται τυπικές μορφές επιφανειών και τεμαχίων, που μορφοποιούνται με φρεζάρισμα γενικά.

Από την επαλληλία της περιστροφικής κινήσεως της φρέζας και της ευθύγραμμης κινήσεως προώσεως του τεμαχίου προκύπτει η τροχιά σημείου της κόψης κάθε δοντιού εν αναφορά προς την τράπεζα της φρεζομηχανής. Η εν λόγω τροχιά ακολουθεί την μαθηματική μορφή της καλούμενης επιμηκυσμένης κυκλοειδούς καμπύλης¹ (σχ. 6. 2α).

1. Η συνήθης κυκλοειδής καμπύλη αποτελεί τον γεωμετρικό τόπο ενός σημείου που κείται στην περιφέρεια ενός κύκλου κ ακτίνας ρ , ο οποίος κυλίεται χωρίς ολίσθηση κατά μήκος ευθείας $\delta-\delta$ (σχ. 4. 2α). Επιμηκυσμένη κυκλοειδής καμπύλη είναι, εκείνη που προκύπτει κατά τον ίδιο τρόπο, αλλά από σημείο της περιφέρειας άλλου κύκλου, ακτίνας r αμαξονικού με τον πρώτο και στερεά συνδεδεμένου με αυτόν.



Σχ. 6. 2

α) Διάγραμμα της κινήσεως των δοντιών κοπήρα φρεζαρίσματος σε σχέση με το τεμάχιο (Tμ): Τροχιά στην μορφή της επιμηκυμένης κυκλοειδούς.

β) Συνιστώσες της ταχύτητας κατά την κυκλική και κυκλοειδή κίνηση.

Αποδεικνύεται ότι ο λόγος της ταχύτητας u_c της κυκλοειδούς κινήσεως (σχ. 6. 2β) προς την περιφερειακή ταχύτητα u (ταχύτητα κοπής) της φραίζας δίδεται από την προσεγγιστική σχέση

$$\frac{u_c}{u} \approx \left(1 \pm 2 \frac{u_v}{u} \sigma \nu \varphi\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.1)$$

Θεωρώντας, άρα, από την μία μεριά το μικρό αυτό σφάλμα που παρατηρείται και από την άλλη την απλοποίηση που προκύπτει, δεχόμαστε ότι $u_c \approx u$. Εξάλλου, σε πολλές περιπτώσεις ο λόγος u_v/u είναι μικρότερος του 0. 03 και, συνεπώς, η εν λόγω διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων u_c και u είναι μικρότερη.

6. 1. 2 Διάκριση, μορφολογία και τεχνικά χαρακτηριστικά φρεζομηχανών.

Οι Φρεζομηχανές μπορούν να ταξινομηθούν, ως προς τις εφαρμογές τους στις ακόλουθες ομάδες:

- Φρεζομηχανές γενικής χρήσεως.
- Φρεζοδράπανα και
- ειδικές φρεζομηχανές.

Προς διευκόλυνση κατάρτισεως προδιαγραφών φρεζομηχανών τύπου γόνατος δίνουμε και τις ακόλουθες σχέσεις, που έχουν προκύψει από στατιστική ανάλυση απλής και πολλαπλής παλινδρομήσεως με συντελεστή συσχετίσεως άνω του 0, 90:

$$P_e = -0,38 + 1,4 \times 10^{-3} S \text{ για } 1400 \text{cm}^2 \leq S \leq 8500 \text{cm}^2$$

$$P_e = -0,38 + 1,4 \times 10^{-3} S \text{ για } 1400 \text{cm}^2 \leq G \leq 8500 \text{cm}^2 \quad (6. 2)$$

$$P_e = -0,49 + 1,6 \times 10^{-3} G + 4 \times 10^{-5} S + 1,33 P_{eV}$$

όπου P_e σε kW είναι η ονομαστική ισχύς τον κύριου ηλεκτροκινητήρα της φρεζομηχανής, S σε cm^2 το ωφέλιμο εμβαδόν τραπέζης, G σε kg ή daN το ωφέλιμο βάρος της και P_{eV} σε kW η ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα προώσεως.

6. 2. 1. Το μετωπικό φρεζάρισμα.

6. 2. 1. 1. Στοιχεία μετωπικού φρεζαρίσματος (σχ. 6.3).

α) Ταχύτητα κοπής

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right] \quad (4. 3)$$

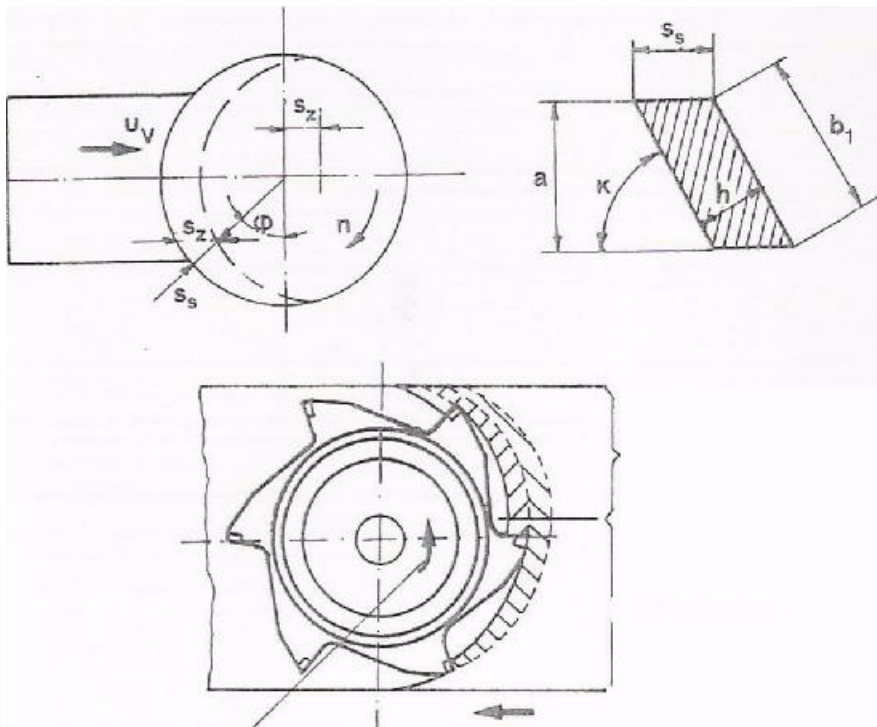
όπου D σε mm είναι η ονομαστική διάμετρος της φραιζας.

β) Ταχύτητα προώσεως : u_v [mm/min]

γ) Πρόωση ανά περιστροφή (της φρέζας): s_n ή s [mm/στρ.]

δ) Πρόωση ανά δόντι (της φρέζας): s_z [mm/δόντι]

Τα u_v , s_n και s_z συνδέονται με τις ακόλουθες σχέσεις:



Σχ. 6.3

Χαρακτηριστικά στοιχεία μετωπικού φρεζαρίσματος

$$s_z = \frac{s_n}{z}, s_n = s_z z, U_v = n s_z z$$

$$s_z = \frac{v_v}{z_n}, s_n = \frac{v_v}{n}, U_v = n s_n \quad v_v = \frac{1000 v z s_z}{\pi D} \quad (6.4)$$

ένθα z είναι ο αριθμός των οδόντων της φρέζας.

ε) Στιγμαίο θεωρητικό πάχος αποβλήτου:

$$h = s_z \eta \mu \kappa \text{ [mm]} \quad (6.5)$$

Επειδή

$$s_s \approx s_z \eta \mu \varphi \quad (6.6)$$

η σχέση (6.5) δίνει:

$$h = s_z \eta \mu \kappa \eta \mu \varphi \quad (6.7)$$

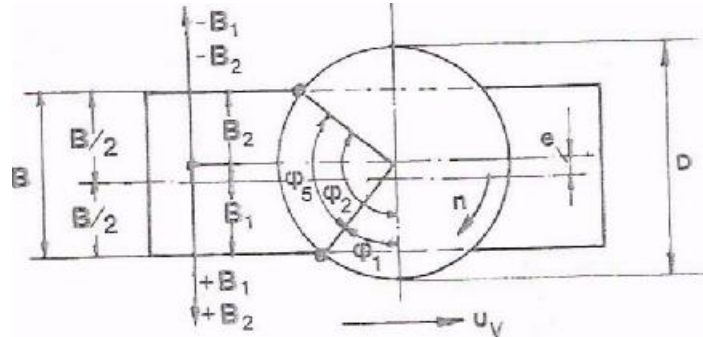
στ) Μέσο θεωρητικό πάχος αποβλήτου (σχ. 6.6):

$$h_m = \frac{1}{\varphi_s} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} h d\varphi = \frac{1}{\varphi_s} s_z \eta \mu \kappa \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \eta \mu \varphi \cdot d\varphi \quad (6.8)$$

όπου

$$h_m = \frac{s_z \eta \mu \kappa}{\varphi_s} (\sigma \nu \nu \varphi_1 - \sigma \nu \nu \varphi_2) \quad (6.9)$$

είναι η γωνία πλήρους αποκοπής (ή επενέργειας κοπής) του δοντιού, σε ακτίνια



Σχ. 6.4

Στοιχεία προσδιορισμού του μέσου θεωρητικού πάχους του αποβλήτου κατά το μετωπικό φρεζάρισμα.

Επειδή

$$\sigma_{\nu\varphi_1} = \frac{2B_2}{D} \quad \sigma_{\nu\varphi_1} = -\frac{2B_2}{D} \quad (6.10)$$

η σχέση (6.8) λαμβάνει την μορφή:

$$h_m = \frac{s_z \eta \mu \kappa}{\varphi_s} \left(\frac{2B_1}{D} + \frac{2B_2}{D} \right)$$

Ή

$$h_m = \frac{s_z \eta \mu \kappa}{\varphi_s} \cdot \frac{2B}{D} \quad (6.11)$$

ή

$$h_m = \frac{114,6}{\varphi_s} s_z \eta \mu \kappa \frac{B}{D} \quad (6.12)$$

$B = B_1 + B_2$ είναι το πλάτος κοπής.

Οι γωνίες φ_1 και φ_2 δύνανται να προσδιορισθούν και από τις σχέσεις:

$$\sigma_{\nu\varphi_1} = \frac{B + 2e}{D} \quad \sigma_{\nu\varphi_1} = -\frac{B + 2e}{D} \quad (6.13)$$

αν e (σχ. 6.4) είναι η απόσταση μεταξύ του άξονα συμμετρίας του κοπήρα και του άξονα του τεμαχίου.

Στην θεωρούμενη περίπτωση (σχ. 6.6) το B_2 λαμβάνεται αρνητικό και, συνεπώς, και το $\sin\varphi_2$. Η γωνία φ_s της σχέσεως (6.12) δίδεται σε $[\circ]$.

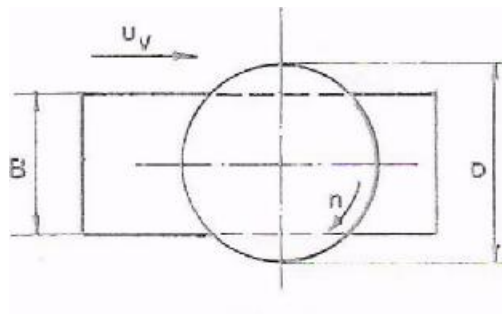
ζ) Μέγιστο πάχος αποβλήτου(περίπτωση συμμετρικού φρεζαρίσματος,

$$B_1 = B_2 = \frac{B}{2}$$

Προκύπτει από την σχέση (6. 7), όταν $\eta\varphi=1$ και, επομένως, $\varphi=90^\circ$, δηλαδή:

$$h_{\max}=s_z \eta\mu\kappa \quad (6. 14)$$

η) Ρυθμός αφαιρέσεως υλικού (σχ. 6.5)



Βοηθητικό σχήμα προσδιορισμού του ρυθμού αφαιρέσεως του μετάλλου.

$$\theta = \frac{\alpha B u_v}{1000}, [\text{cm}^3/\text{min}] \quad (6. 15)$$

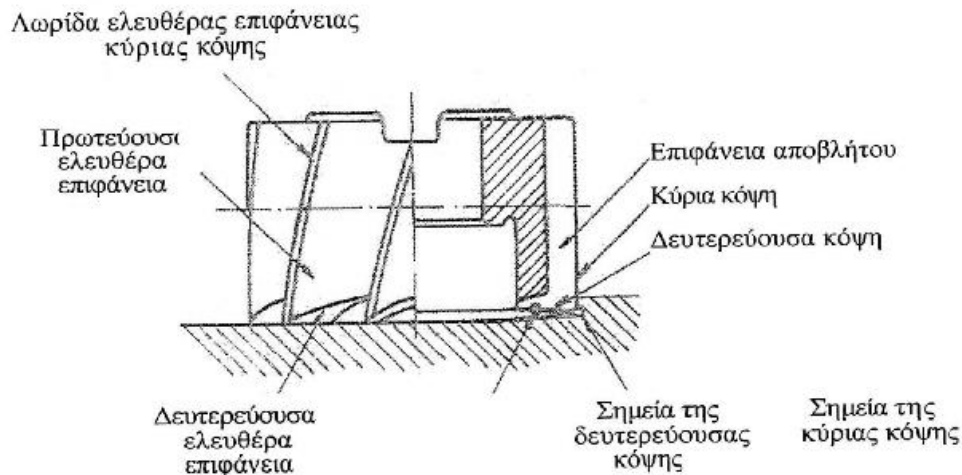
ή

$$\theta = \frac{\alpha B \eta z s_z}{1000}, [\text{cm}^3/\text{min}] \quad (6. 16)$$

όπου α σε mm είναι το βάθος κοπής.

6. 2. 1. 2 Ο κοπτήρας μετωπικού φρεζαρίσματος

Η ονοματολογία κοπτήρα μετωπικού-περιφερικού φρεζαρίσματος δίδεται στο σχήμα 6.6, η γεωμετρία μετωπικού κοπτήρα ένθετων δοντιών στο σχήμα 6.7. και στο σχήμα 6.8 παρουσιάζονται βασικά είδη κοπτήρων φρεζαρίσματος.



Σχ. 6.6

Ονοματολογία κοπτήρα μετωπικού-περιφερικού φρεζαρίσματος(κατά DIN 6581)

Οι γωνίες γ και λ (σχ. 6.7) εκφράζονται συναρτήσει των γωνιών γ_r , γ_a και κ με τις ακόλουθες σχέσεις:

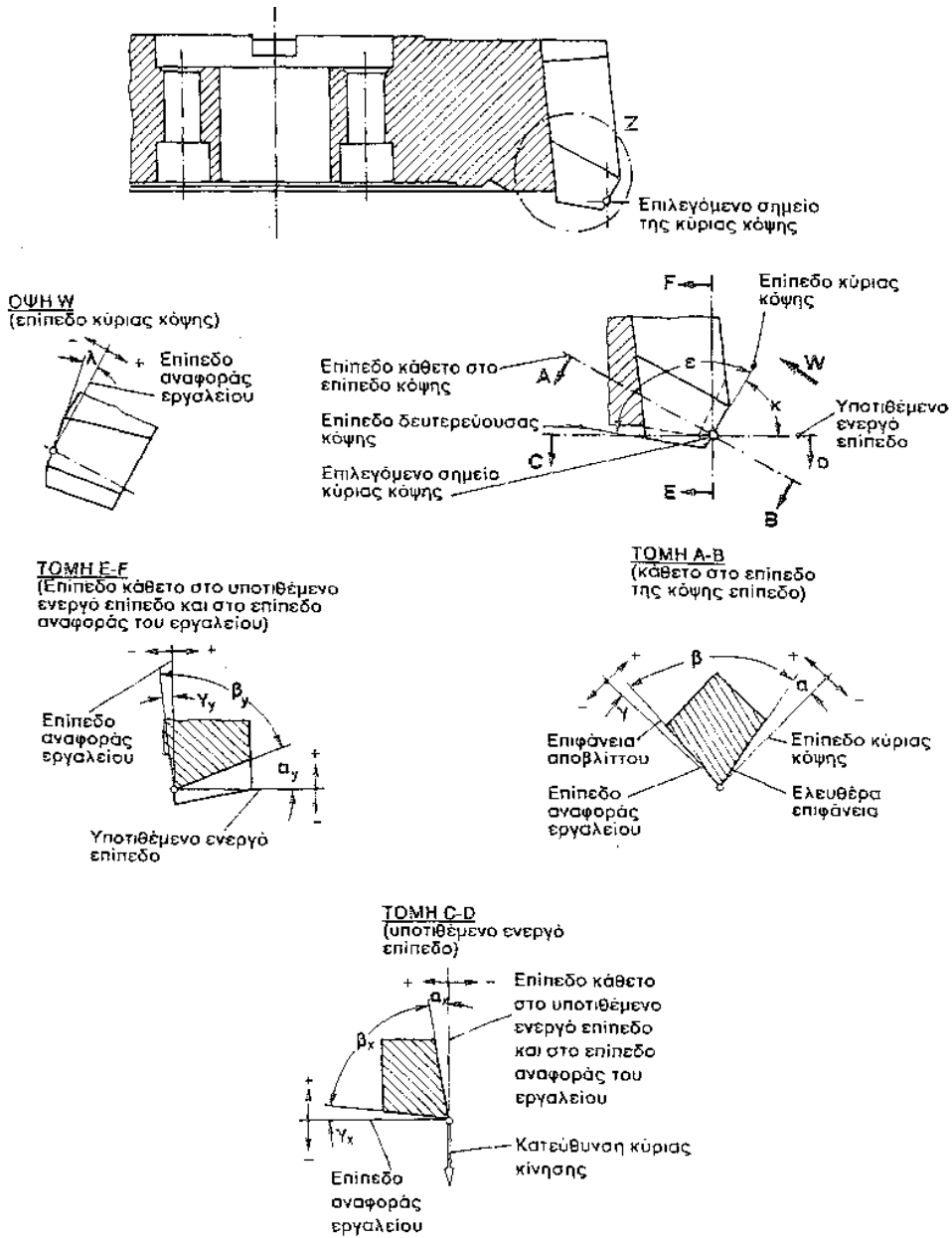
$$\epsilon\phi\gamma = \epsilon\phi\gamma_r \eta\mu\kappa + \epsilon\phi\gamma_a \sigma\upsilon\nu\kappa$$

$$\epsilon\phi\lambda = \epsilon\phi\gamma_r \sigma\upsilon\nu\kappa - \epsilon\phi\gamma_a \eta\mu\kappa$$

(6. 17)

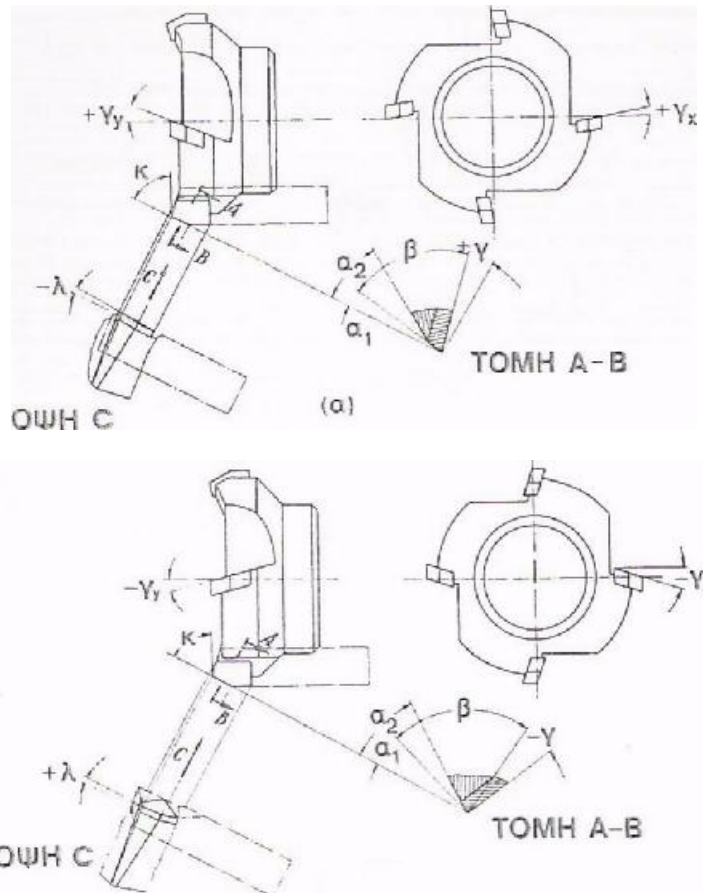
και προσδιορίζονται εύκολα από το νομογράφημα του σχήματος 6.9.

Ο αριθμός των δοντιών μετωπικών φρεζών συναρτήσει της ονομαστικής τους διαμέτρου και για τα διάφορα είδη φρεζών ένθετων δοντιών δίδεται στον Πίνακα 6.1



Σχ. 6.7

Γεωμετρία μετωπικού κοπτήρα ένθετων δοντιών (κατά DIN 6581).



Σχ. 6.7 (συνεχίζεται)

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά μετωπικού κοπτήρα φρεζαρίσματος ένθετων οδόντων κατά την αμερικανική προτυποποίηση.

α) Κοπτήρας με θετικές γωνίες γ_y και γ_x

β) Κοπτήρας με αρνητικές γωνίες γ_y και γ_x .

γ_y αξονική γωνία αποβλήτου

κ γωνία θέσεως κύριας κόψης

γ_x ακτινική γωνία αποβλήτου




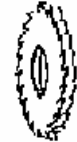




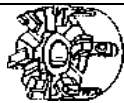
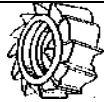
α_1, α_2 γωνίες ελευθερίας

γ γωνία αποβλήτου

β γωνία σφήνας

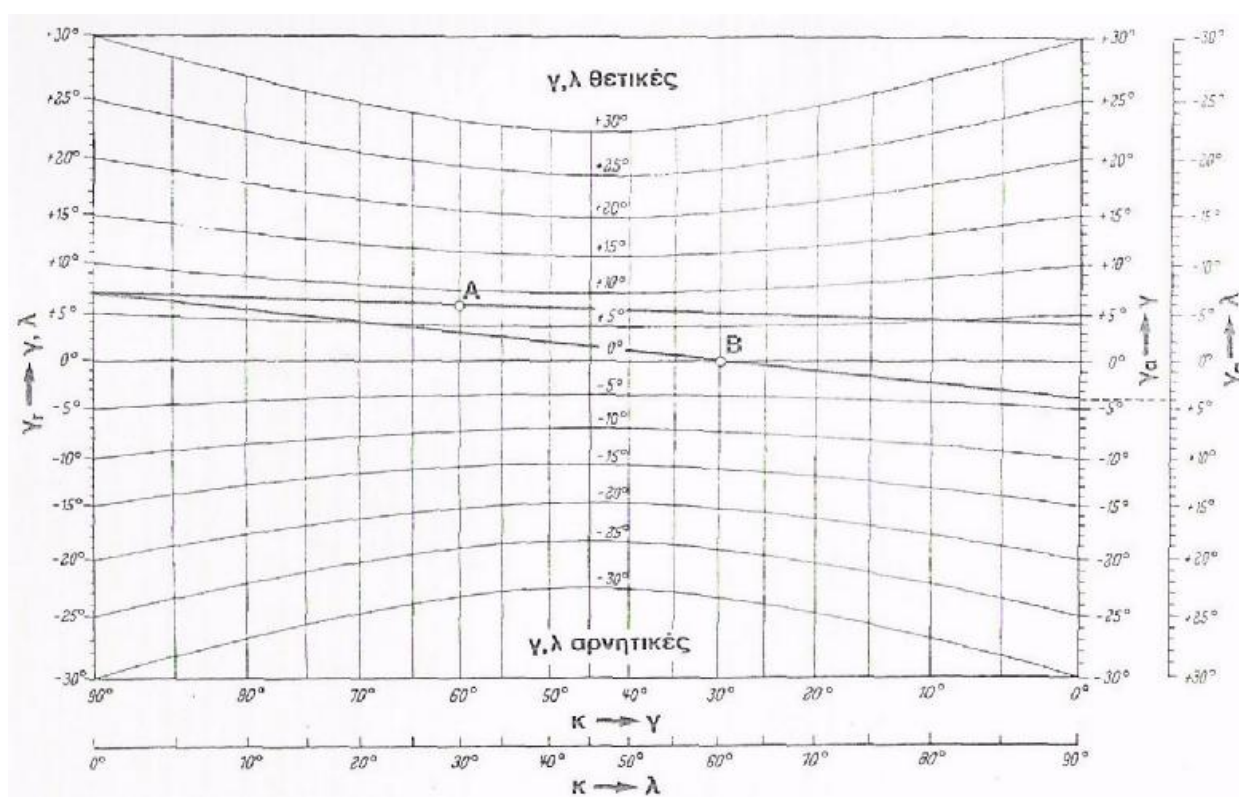
χ γωνία λοξότητας

$$\gamma_x \equiv \gamma_r, \gamma_y \equiv \gamma_a$$

Είδος φρεζαρίσματος	Είδος κοπτήρα (φρέζας)	Μορφή κοπτήρα
Περιφερικό	Περιφερικός ή κυλινδρικός	
	Κονδυλοειδής	
	Αυλάκων (τριπλής τομής ή τρίκοπτος)	
	Δισκοειδής	
	Σχίσματος (πριονόδισκος)	
	Μορφής (μορφοκοπτήρας)	
Μετωπικό	Μετωπικός	
	Πρισματικός (οξείας γωνίας)	
	Μετωπικός (ένθετων οδόντων)	
Περιφερικό-Μετωπικό	Περιφερικός (κυλινδρικός-μετωπικός)	

Σχ. 6.8

Τυπικά είδη κοπτήρων φρεζαρίσματος



Σχ. 6.9

Νομογράφημα υπολογισμού γωνιών μετωπικού κοπτήρα φρεζαρίσματος,

Παράδειγμα: Για $\gamma_r = +7^\circ$ και $\gamma_\alpha = 4^\circ$, καθώς και $\kappa = 60^\circ$ προκύπτει:

$$\gamma = +8^\circ$$

και

$$\lambda = 0^\circ$$

(σημεία A και B προβαλλόμενα αντιστοίχως στην κλίμακα των γωνιών γ και λ).

Τα βέλη \rightarrow σημαίνουν "υπολογισμό" των αναγραφόμενων γωνιών $\gamma_x = \gamma_r, \gamma_y = \gamma_\alpha$

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται συνιστώμενες τιμές των γωνιών κοπής κοπτήρων μετωπικού φρεζαρίσματος με ένθετα δόντια από ταχυχάλυβα ή σκληρομέταλλο, για ποικιλία υλικών τεμαχίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1. Συνιστώμενος αριθμός δοντιών ζ διαφόρων κοπτήρων (φρεζών) συναρτήσει της ονομαστικής τους διαμέτρου.

Ονομαστική διάμετρος κοπτήρα [mm]	Αριθμοί δοντιών ζ για:				Μετωπικό κοπτήρα ένθετων δοντιών			
	Πρειοφερικό κοπτήρα TX*	Κόνδυλοειδή κοπτήρα ΣΜ**	Δισκοειδή κοπτήρα		ΣΜ για χάλυβες			
			TX	ΣΜ	TX για Εκχόν-χάλυβες	Αποπερι-δριση	ΣΜ για χάλυβες	Αποπερι-ράτωση χυτοσίδηρο
50	6	4-5	10					
63	8	6-8	10					
80	8	6-8	12					
100	10		14		10	8		8
125	12		16	8- 10	12	8		8
160	14		18	10- 14	12	8	10	10
180			20		14	8	10	12
200			22	12- 18	14	8	12	12
225					16	10	14	14
250				14-22	16	10	16	16
300					16	10	16	18
315				16-26	20	12	18	18
360					24	12	20	20
400					28	14	22	22
450					32	11	24	24
500					36	16	26	26
560						18	28	28
600						18	28	30
630						20	30	30
650						20	30	32
700						22	32	32
750						22	32	34
800						24	34	34
850						24	34	36
900						26	36	36
950						26	36	40
1000						28	40	40

* TX :Ταχυχάλυβες

** ΣΜ : Σκληρομέταλλο

Από απόψεως κατασκευής, οι μετωπικές φρέζες (αλλά και οι κοπτήρες περιφερικού φρεζαρίσματος) διακρίνονται σε:

- Ολόσωμους κοπτήρες από ταχυχάλυβα,
- κοπτήρες επικολλώμενων δοντιών από πλακίδιο σκληρομετάλλου η χυτευτό κράμα κοπτικών εργαλείων και
- ένθετων δοντιών από ταχυχάλυβα ή πλακιδίων από σκληρομέταλλο ή χυτευτό κράμα κοπτικών εργαλείων.

Πληροφορίες για το πεδίο εφαρμογής των υλικών κατασκευής φρεζών πασιούνται από τον Πίνακα 6.3

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 Συνιστώμενες γωνίες κοπής μετωπικών κοπτήρων ένθετων δοντιών.

Είδος υλικού'	Μέγιστη αντοχή [daN/mm ²] ή σκληρότητα <small>ΓΡΕΙΝΗ</small>	Ταχυχάλυβας						Σκληρομέταλλο					
		α	γ	λ	κ	γ _α	υ _τ	α	γ	λ	κ	γ _α	υ _τ
Ανθρακούχοι χα/λυβες Κεκραμένοι χάλυβες	έως 50	7	15	15	60	-6	19	8	-5	4	60	-6	-3
	50. . . 70	7	15	15	60	-6	19	8	-8	5	60	-8	-5
	70. . . 90	6	10	12	60	-6	14	8	-12	5	60	-11	-9
	90. . . 110	5	6	7	60	-4	8	8	-12	5	60	-11	-9
Χυτοχάλυβες Φαιός ροσ Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη Μαλακτικοποιημένος χυτό-	38. . . 52	5	10	7	60	-1	11	6	-11	5	60	-10	-7
	έως 200	6	15	12	60	-3	18	5	5	5	60	-3	6
	BHN												
	άνω 200	6	12	12	60	-5	16	5	-3	5	60	-6	-1
	BHN												
Κράματα αργιλίου Ορείχαλκος Κρατέρωμα Πλαστικά		8	25	20	30	12	28	10	20	-4	30	19	8
		6	10	12	60	-6	14	5	10	5	60	0	11
		6	15	12	60	-3	18	5	6	-5	60	7	2
		8	20	20	30	7	27	8	20	-4	30	19	7

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 Πεδίο εφαρμογών υλικών κατασκευής κοπτήρων φρεζαρίσματος (φρεζών).

Είδος φρεζαρίσματος	Υλικό φρέζας	Χάλυβας			Χυτοσίδηρος				Μη σιδηρούχα μέταλλα κράματα	Μη μεταλλικά υλικά
		Μαλακός	Μέσης σκληρότητας	Σκληρός	Χυτοχάλυβας	Ανοξειδωτός χάλυβας	Μέσης σκληρότητας	Σκληρός		
Περιφερικό	ΤΧ ΧΚΕ ΣΜ	a b a	a b b	b c b	a c b	a c c	a a a	c c -	a b a	a a a
Μετωπικό	ΤΧ ΧΚΕ ΣΜ	a a a	a b a	b c a	a c a	a c b	a a a	c c b	a a a	a a a
Φρεζάρισμα με κονδυλοειδή κοπέα	ΤΧ ΧΚΕ ΣΜ	a b a	a b a	b c a	a c a	a c b	a a a	c c -	a b a	a a a
Φρεζάρισμα με τρίκοπτο κοπέα	ΤΧ ΧΚΕ ΣΜ	a b a	a b a	b c b	a c b	a c c	a a a	c c b	a - a	a a a
Φρεζάρισμα με κοπέα μορφής (μορφοφραιζα)	ΤΧ ΧΚΕ ΣΜ	a b b	a b b	b c c	a c b	a c c	a a a	c - b	a - a	a b a

ΤΧ: Ταχυχάλυβες

ΧΚΕ: Χυτευτό κράμα κοπτικών εργαλείων

ΣΜ: Σκληρομέταλλο

a: Καλώς

b: Σχεδόν καλώς

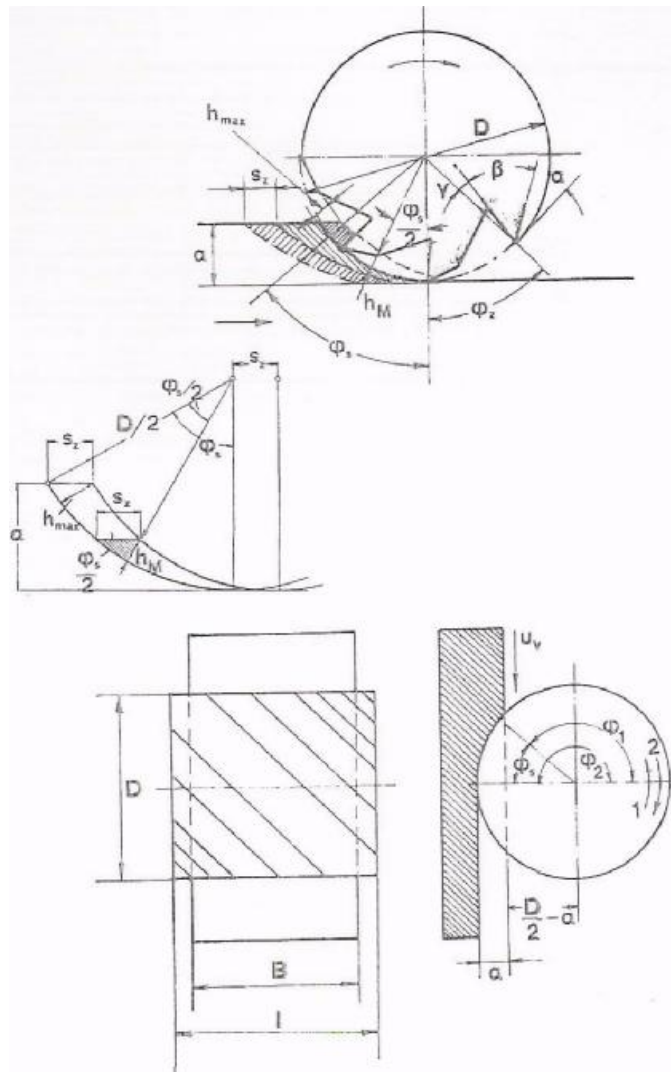
c: Μετρίως

6. 2. 2. Το περιφερικό φρεζάρισμα.

6. 2. 2. 1 Στοιχεία περιφερικού φρεζαρίσματος (Σχ. 6. 10).

Το περιφερικό φρεζάρισμα το διακρίναμε σε αντίρροπο και σε ομόρροπο (6.1.1, σχ. 6.10). Στο αντίρροπο φρεζάρισμα η φορά της ταχύτητας προώσεως \vec{u}_v και της ταχύτητας κοπής \vec{u} (στο σημείο της τροχιάς, όπου τα δύο αυτά διανύσματα είναι παράλληλα) είναι αντίθετη, ενώ κατά το ομόρροπο φρεζάρισμα τα \vec{u}_v και \vec{u} έχουν την ίδια φορά. Οι επιπτώσεις της διαφοράς αυτής ανάμεσα στο αντίρροπο και ομόρροπο φρεζάρισμα θα συζητηθούν λεπτομερώς στην συνέχεια. Ακόμη, κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα, το πάχος του αποβλήτου στην αρχή της τροχιάς της κόψης του δοντιού αποκτά θεωρητικά μηδενική τιμή, η οποία αυξάνεται μέχρι μιας μέγιστης τιμής και μηδενίζεται ακολούθως ταχέως στο τέλος της τροχιάς της κόψης του δοντιού (παύση αποκοπής του δοντιού).

Κατά το ομόρροπο φρεζάρισμα, στην αρχή της τροχιάς της κόψης του δοντιού, το πάχος του αποβλήτου είναι μηδενικό, καθίσταται αμέσως μέγιστο. και κατόπιν ελαττούμενο μηδενίζεται στο τέλος της τροχιάς της κόψης.



Σχ. 6.10

Μέθοδοι και χαρακτηριστικά στοιχεία περιφερικού φρεζαρίσματος

1. Ομόρροπο φρεζάρισμα,
2. αντίρροπο φρεζάρισμα (βλ. και σχήμα 6.1)

Κατόπιν αυτών που προαναφέραμε, προχωρούμε στην αναφορά βασικών μεγεθών του περιφερικού φρεζαρίσματος.

α) Ταχύτητα κοπής: Ισχύει η σχέση (6. 3).

β) Η ταχύτητα προώσεως u_v , η πρόωση ανά περιστροφή s_n και η πρόωση ανά δόντι s_z συνδέονται με τις σχέσεις (6. 4).

γ) Στιγμαίο θεωρητικό πάχος αποβλήτου:

$$h = s_z \eta \mu \varphi \quad (6.18)$$

δ) Μέγιστο θεωρητικό πάχος αποβλήτου:

$$h_{max} = s_z \eta \mu \varphi \text{ [mm]}$$

ή λαμβανομένης υπ' όψιν της σχέσεως (6.19)

$$h_{max} = 2 s_z \sqrt{\frac{a}{D} \left(1 - \frac{a}{D}\right)} \text{ [mm]} \quad (6.20)$$

εξισώσεις (6.20) και (6.21) ισχύουν, με παραδεκτή για την πράξη προσέγγιση, για αντίρροπο και ομόρροπο φρεζάρισμα. Οι ακριβείς σχέσεις, που δίδονται από τον Martelloti, έχουν ως εξής:

– Αντίρροπο φρεζάρισμα:
$$h_{max} = s_z \left[\frac{a(D-a)}{\left(\frac{D}{2} + \frac{s_n}{2\pi} - \frac{a s_n}{\pi}\right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.22)$$

– Ομόρροπο φρεζάρισμα:
$$h_{max} = s_z \left[\frac{a(D-a)}{\left(\frac{D}{2} - \frac{s_n}{2\pi} + \frac{a s_n}{\pi}\right)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ε) Κεντρικό (μεσαίο) θεωρητικό πάχος αποβλήτου:

Αντιστοιχεί σε περιστροφή του κοπτήρα κατά το ήμισυ της γωνίας πλήρους αποκοπής δοντιού του κοπτήρα, δηλαδή $\varphi = s/2$ και δίδεται ως

$$h_M = s_z \eta \mu(\varphi s)/2 \quad (6.23)$$

ή

$$h_M = s_z \sqrt{\frac{a}{D} \left(1 - \frac{a}{D}\right)} \quad (6.24)$$

ή κατά προσέγγιση, επειδή

$$h_M = s_z \sqrt{\frac{a}{D}} \quad (6.25)$$

Το κεντρικό θεωρητικό πάχος αποβλήτου, που αποτελεί γεωμετρικό στοιχείο του περιφερικού φρεζαρίσματος, προσδιορίζεται από τρία σημαντικά μεγέθη του, ήτοι τα s_z , a και D , χρησιμοποιείται ευρέως σαν ανεξάρτητη μεταβλητή για τον προσδιορισμό της μεσαίας ειδικής αντιστάσεως κοπής k_{sm} , όπως επίσης και το μέσο θεωρητικό πάχος αποβλήτου h_m , προς υπολογισμό της μέσης ειδικής αντιστάσεως κοπής k_{sm} ,

στ) Μέσο θεωρητικό πάχος αποβλήτου:

Τούτο δίδεται κατά Martelloti από τον τύπο:

$$h_m = \frac{a s_z}{L_z} \quad [mm] \quad (6.26)$$

όπου

$$L_z = \frac{D \varphi_s}{114,6} \mp \frac{s_z}{\pi D} (D a - a^2)^{1/2} \quad [mm] \quad (6.27)$$

είναι το θεωρητικό μήκος (ανά περιστροφή και δόντι) του αποβλήτου. Το αρνητικό πρόσημο του τύπου (6.27) ισχύει για ομόρροπο φρεζάρισμα.

Απλούστερα, αν η τροχιά του αποκόπτοντος δοντιού θεωρηθεί κυκλική, τότε το μέσο θεωρητικό πάχος αποβλήτου προσδιορίζεται βάσει του τύπου (6.26), ως εξής:

$$h_m = \frac{2 a s_z}{D \varphi_s} \quad [mm] \quad (6.28)$$

και επειδή (σχ. 6.10)

$$\sigma \nu \nu \varphi_s = 1 - \frac{2a}{D} \quad (6.29)$$

ή

$$a = \frac{D}{2} (1 - \sigma \nu \nu \varphi_s).$$

η σχέση (6.28) καθίστανται

$$h_m = s_z \frac{(1 - \sin \varphi_s)}{\varphi_s} \quad (6.30)$$

Εάν τεθεί

$$\sin \varphi_s = 1 - \frac{\varphi_s^2}{2!} + \frac{\varphi_s^4}{4!} \dots$$

Λαμβάνουμε

$$h_m \approx s_z \frac{\varphi_s}{2} \quad [mm] \quad (6.31)$$

Για την περιοχή μεταβολής του h_m κατά τις εφαρμογές (0, 025 mm-0, 25 mm), η υπόθεση κυκλικής τροχιάς του δοντιού αντί επιμηκυσμένης κυκλοειδούς δίδει ικανοποιητική προσέγγιση.

Μπορούμε να προσδιορίσαμε το h_m και κατάλλον τρόπο, αν στην σχέση υπολογισμού του (6.8) για το μετωπικό φρεζάρισμα θέσουμε $\kappa=90^\circ$ και $\varphi_2=180^\circ$ ή βάσει της (6.9) $\varphi_1 = 180^\circ - \varphi_s$ ή $\sin \varphi_1 = -\sin \varphi_s$ και από την (6.29):

$$\sin \varphi_1 = -\left(1 - \frac{2a}{D}\right),$$

οπότε, τελικά, προκύπτει ,

$$h_m = \frac{57,3}{\varphi_s} s_z \left[-\left(1 - \frac{2a}{D}\right) - (-1) \right]$$

ή

$$h_m = \frac{114,6}{\varphi_s} s_z \frac{a}{D} \quad [mm] \quad (6.32)$$

Όμοια σχέση με την (6.32) ευρίσκεται, αν θέσουμε: $\kappa=90^\circ$ και $\varphi_s=\varphi_2$, οπότε βάσει της (6.9) θα προκύψει $\varphi_1=0$. Με αντικατάσταση των τιμών:

$\eta\mu\kappa=1$, $\sin \varphi_1=1$ και $\sin \varphi_2 = 1 - \frac{2a}{D}$ [σχέση (6.29)] στην (6.8) θα καταλήξουμε στην (4. 46).

ζ) Ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου (σχ. 6.5):

Ισχύουν οι σχέσεις (6.15) και (6.16).

η) Γωνία πλήρους αποκοπής δοντιού [σχέση (6.29)]:

$$\varphi_s = \tau \circ \xi \sin \left(\frac{2a}{D} \right) \quad (6.33)$$

θ) Στιγμαία γωνία αποβλήτου και γωνία Ελευθερίας του δοντιού

Λόγω της κινηματικής του περιφερικού φρεζαρίσματος, η γωνία αποβλήτου γ ως και

η γωνία ελευθερίας α κάθε δοντιού του κοπτήρα μεταβάλλεται συναρτήσει της γωνίας αποκοπής φ .

Παρατηρούμε, επομένως:

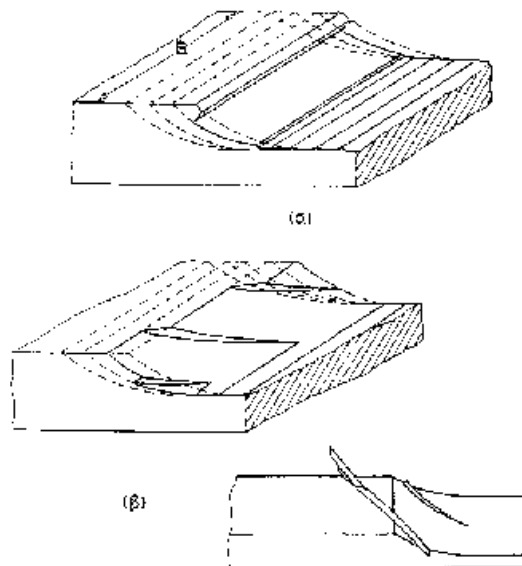
1) Κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα:

Αύξηση της φ (από 0° έως φ_s°) συνεπάγεται αύξηση της γωνίας γ και ελάττωση της γωνίας α .

2) Κατά το ομόρροπο φρεζάρισμα:

Ελάττωση της γωνίας φ (από φ° έως 0°) έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της γωνίας γ και ελάττωση της γωνίας α .

ι) Στο περιφερικό φρεζάρισμα με κοπτήρα ευθέων δοντιών [σχ. 6.11(α)], το πλάτος κοπής B παραμένει σταθερό και το πάχος του αποβλήτου μεταβάλλεται συναρτήσει της γωνίας αποκοπής του δοντιού [σχέση (6.18)] και, συνεπώς, μεταβάλλεται και η διατομή του αποβλήτου και, άρα και η δύναμη κοπής. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης κοπτήρα με ελικοειδή δόντια [σχ. 6.11 (β)], το πλάτος κοπής μεταβάλλεται σε ιονισμένο μέρος της γωνίας αποκοπής του δοντιού, καθώς επίσης, το στιγμιαίο πάχος αποβλήτου μεταβάλλεται κατά μήκος της κόψης του δοντιού. Είναι δυνατόν, υπό ορισμένες συνθήκες, το συνολικό πλάτος κοπής, δηλαδή το άθροισμα των στιγμιαίων πλατών των συγχρόνως αποκοπτόντων δοντιών να παραμείνει σταθερό.



Σχ. 6.11

Μορφολογία του αποβλήτου κατά το περιφερικό φρεζάρισμα με κοπτήρα ευθέων δοντιών (α) και με κοπτήρα ελικοειδών δοντιών (β).

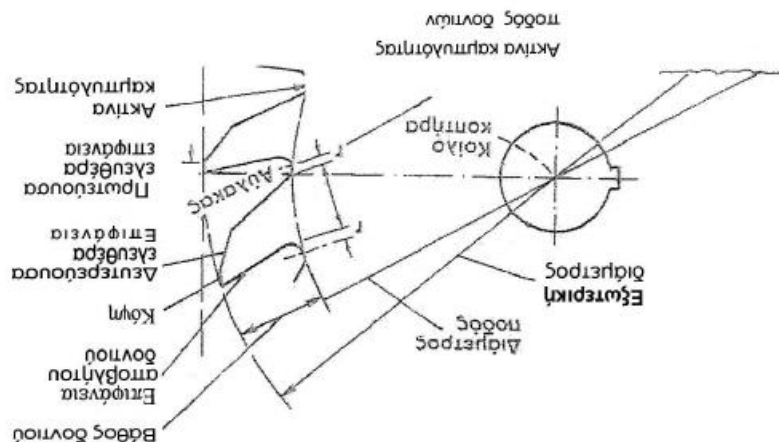
6. 2. 2. 2. Ο κοπτήρας περιφερικού φρεζαρίσματος.

Η ονοματολογία κοπτήρα περιφερικού φρεζαρίσματος δίδεται στο σχήμα 6.12, η γεωμετρία του στο σχήμα 6.13 και στο σχήμα 6.8 φαίνονται διάφορα βασικά είδη του.

Ο συνιστώμενος αριθμός των δοντιών περιφερικών (κυλινδρικών) κοπτήρων (φρεζών), καθώς επίσης κονδυλοειδών και δισκοειδών δίδεται (σχ. 6.8), συναρτήσει της ονομαστικής τους διαμέτρου, στον Πίνακα 6.1.

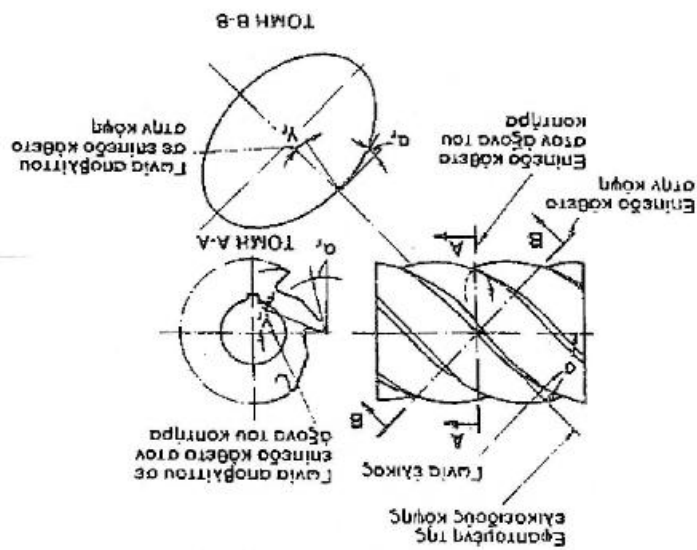
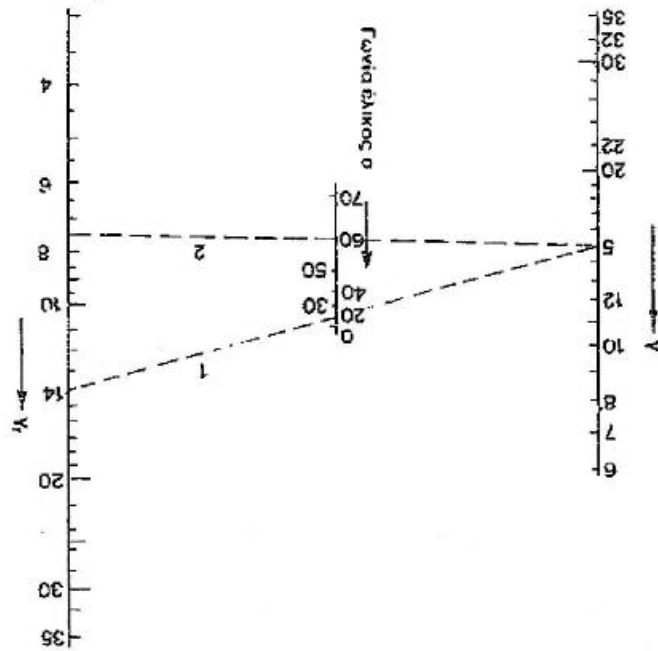
Στον πίνακα 6.5. καταγράφονται συστάσεις επιλογής τιμών των γωνιών κοπής περιφερικών, περιφερικών-μετωπικών, δισκοειδών και κονδυλοειδών φρεζών από ταχυχάλυβα, για κατεργασία ποικιλίας υλικών.

Στους κοπτήρες φρεζαρίσματος κάθε δόντι αντιστοιχεί στο τυπικό εργαλείο τριτογενούς.



Σχ. 6.12

Ονοματολογία κοπτήρα περιφερικού φρεζαρίσματος



Σχ. 6.13

Γεωμετρία περιφερικού κοπτήρα.

Παράδειγμα: Για $\gamma=15^\circ$ και $\sigma = 60^\circ$ και 20° , η γωνία γ_r προκύπτει, αντιστοίχως, 7° , 5° και 14° .

Σε περίπτωση χρησιμοποίησεως κοπτήρα με ελικοειδή δόντια, η μέση κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής μπορεί να υπολογισθεί με εμβαδομέτρηση ή ολοκλήρωση των σχετικών μαθηματικών εκφράσεων της εντός των κατά περίπτωση καθοριζόμενων τιμών των γωνιών ϕ_s , ϕ_m και ϕ_z .

6. 2. 3 Φθορά και ζωή του κοπτήρα.

6. 2. 3. 1 Μετωπικό φραιζάρισμα.

A. Φθορά του κοπτήρα.

Λίαν περιορισμένα είναι τα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας αναφορικά με σχέσεις που περιγράφουν την φθορά των δοντιών του κοπτήρα στο μετωπικό φριζάρισμα

B. Ζωή τον κοπτήρα.

Κατά το μετωπικό φρεζάρισμα ισχύουν εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμού της ζωής του κοπτήρα, με κριτήριο την στόμωση των δοντιών του ή την ανάπτυξη καθορισμένης τιμής του πλάτους της ζώνης φθοράς), δηλαδή:

$$uV_{\sigma z}^x = Cv \quad (6.34)$$

και (σχέση Taylor)

$$uV_{V\sigma z}^y = C_{Tz} \quad (6.35)$$

όπου

$$V_{\sigma z} = n_{\sigma} s_z a L_z \quad (6.36)$$

είναι ο όγκος του αφαιρούμενου υλικού ανά δόντι σε n_{σ} περιστροφές του κοπτήρα και L_z είναι το θεωρητικό μήκος του αποκοπτόμενου αποβλήτου (ή το μήκος του τόξου πλήρους αποκοπής του δοντιού, που αντιστοιχεί σε γωνία φ_s). Αν θεωρήσουμε τώρα την σχέση (6. 36) προκύπτει:

$$T_{V\sigma z} = n_{\sigma} \cdot \frac{L_z}{v} = \frac{V_{\sigma z}}{av s_z}, [mm/δόντι] \quad (6.37)$$

ένθα $T_{V\sigma z}$ είναι ο χρόνος, κατά τον οποίο έκαστο δόντι της φρέζας αφαιρεί όγκο υλικού $V_{\sigma z}$. Αν ο όγκος $V_{\sigma z}$ μετρείται σε $mm^3/δόντι$, τότε ο χρόνος $T_{V\sigma z}$ προκύπτει σε $min/δόντι$. Είναι προφανές, ότι η ζωή του όλου κοπτήρα εκφρασμένη σε όγκο αφαιρούμενου υλικού V_{σ} ή σε χρονικές μονάδες $T_{V\sigma z}$ βρίσκεται, αν το $V_{\sigma z}$ ή το $T_{V\sigma z}$,

πολλαπλασιασθεί επί τον αριθμό των δοντιών του κοπτήρα z , ήτοι

$$V_{\sigma} = zV_{\sigma z} \quad (6.38)$$

και

$$T_{V\sigma} = zT_{V\sigma z} \quad (6.39)$$

Είναι δυνατόν από την σχέση (6.34) να μεταπέσουμε στην σχέση (6.35) και τανάπαλιν μέσω της (6.37). Έτσι, επί παραδείγματι, η (6.34) καθίσταται

$$v(T_{V\sigma z} a v s_z)^x = C_v$$

ή

$$v^{(1+x)} (T_{V\sigma z} a s_z)^x = C_v$$

ή

$$v T_{V\sigma z}^{(x/2+x)} = \frac{C_v^{\frac{1}{1+x}}}{(a s_z)^{x/1+x}} \quad (6.40)$$

λαμβάνομένης δε υπόψη της σχέσεως (6.35) προκύπτει εντέλει

$$y = \frac{x}{x+1} \text{ και } C_T = \frac{C_v^{\frac{1}{1+x}}}{(a s_z)^{x/x+1}} \quad (6.41)$$

Για μετωπικό φρεζάρισμα, π. χ. χάλυβα CK35N, μέγιστης αντοχής 58 daN/mm^2 και για πλάτος ζώνης φθοράς 0.3 mm , $z=10$, $a=3 \text{ mm}$, $B=95 \text{ mm}$, $s_z=0,25 \text{ mm/δόντι}$, οι τύποι (4. 63) και (4. 65) με αριθμητικές τιμές των στα- θερών και των εκθετών καθίστανται

$$vV_{\sigma z}^{0.535} = 11000 \text{ και } vTV_{\sigma z}^{0.348} = 480$$

Επιπλέον, έχουν βρεθεί και εμπειρικές σχέσεις, οι οποίες συνδέουν την ταχύτητα κοπής v , πλην της ζωής του εργαλείου σε μονάδες χρόνου ανά δόντι T_z και με άλλους παράγοντες της κοπής, όπως είναι, η σκληρότητα του κατεργαζόμενου υλικού BHN ή η μέγιστη αντοχή του σ_B , η πρόωση ανά δόντι s_z . το βάθος κοπής a . το

πλάτος κοπής B, ο αριθμός των δοντιών του κοπτήρα ζ και η ονομαστική διάμετρος του D.

Για κατεργασία χυτοσιδήρου με σκληρομέταλλο, επί παραδείγματι, προέκυψαν (εργασία των Gilbert et al) οι εξής

$$\begin{aligned}
 vT_z^y &= C_T \text{ ή } vT_z^{0,32} = 550 \\
 U_{60}(BHN)^{a_1} &= C_1 \\
 U_{60}s_z^b &= C_2 \\
 U_{60}a^c &= C_3 \\
 U_{60}B^d &= C_4 \\
 U_{60}Z^e &= C_5
 \end{aligned} \tag{6.42}$$

και από αυτές η γενικευμένη σχέση:

$$v = \frac{C_0}{T_z^y (BHN)^{a_1} s_z^b a^c B^d Z^e} \tag{6.43}$$

ή ποσοτικά βάσει πειραματικών ευρημάτων

$$v = \frac{15000}{T_z^{0,32} (BHN)^{1,32} s_z^{0,16} a^{0,08} B^{0,57} Z^{0,17}}, [m/min] \tag{6.44}$$

Από την εμπειρική αυτή σχέση, είναι φανερή η σημαντική επιρροή της σκληρότητας του κατεργαζόμενου υλικού (εκθέτης $a_1 = 1.32$) επί της ταχύτητας κοπής, ως και η ανεπαίσθητη σχετικά επίδραση του βάθους κοπής και της πρόωσης ανά δόντι ($c=0, 8$ και $b=0, 16$ αντίστοιχα).

Αποτελέσματα άλλων πειραματικών εργασιών (Burmester) μετωπικού φρεζαρίσματος με σκληρομέταλλο καταλήγουν στις ακόλουθες εμπειρικές εκφράσεις:

α) Κατεργασία χάλυβα με $\sigma_B < 100 \text{ daN/mm}^2$

$$v_T = \frac{110000 k_{vM} D^{0,176}}{T_B^{0,184} \sigma_B^{1,430} s_z^{0,4} a^{0,06} B^{0,2}} [m/min] \tag{6.45}$$

β) Κατεργασία χάλυβα με $\sigma_B > 100 \text{ daN/mm}^2$:

$$v_T = \frac{193000 k_{UM} D^{0.176}}{T_G^{0.27} s_z^{0.333} (BHN)^{3.0}} \text{ [m/min]} \quad (6.46)$$

γ) Κατεργασία φαιού χυτοσιδήρου σκληρότητας BHN < 200:

$$v_T = \frac{2500 \times 10^6 B_1^{0.25}}{T_G^{0.28} s_z^{0.333} (BHN)^{3.0}} \text{ [m/min]} \quad (6.47)$$

δ) Κατεργασία φαιού χυτοσιδήρου σκληρότητας BHN > 200:

$$v_T = \frac{2500 \times 10^6 B_1^{0.25}}{T_G^{0.28} s_z^{0.333} (BHN)^{3.0}} \text{ [m/min]} \quad (6.48)$$

όπου T_G , σε mm, είναι ο συνολικός χρόνος φρεζαρίσματος σε αντιδιαστολή προς τον χρόνο T_z , [σχέσεις (6.43), (6.44)], χρόνο, κατά τον οποίο μόνο ένα δόντι του κοπέα αποκόπτει (πραγματικός χρόνος αποκοπής του δοντιού), B_1 , είναι το μέσο πλάτος της ζώνης φθοράς του δοντιού και k_{UM} σταθερά εξαρτώμενη από το είδος του κατεργαζόμενου χάλυβα και λαμβάνοντας τις ακόλουθες τιμές:

Είδος χάλυβα	k_{UM}
Ανθρακούχοι C < 0,6%	1,
C > 0,6%	0
Χάλυβας: Cr, CrNi, CrV, CrMo	0, 85
Χάλυβας: Mn, CrMn, CrNiW	0, 60
	0, 65

Άλλος τρόπος προσδιορισμού της ταχύτητας κοπής για μετωπικό φρεζάρισμα με κοπέα δοντιών από σκληρομέταλλο, συνιστώμενος από το Πολυτεχνείο του Aachen

και τον κατασκευαστή οίκο G. Greiner , είναι ο ακόλουθος:

α) Για μετωπικό φρεζάρισμα χάλυβα με σκληρομέταλλο P20:

$$v_T = C_u \cdot k_{u_{sz}} \cdot k_{u_M} \cdot k_{u_{\sigma B}} \cdot k_{u_D} \cdot k_{u_a} \cdot k_{u_T} \cdot k_{u_H} \cdot k_{u_W} \quad (6.49)$$

Η σταθερά C_u και οι διορθωτικοί συντελεστές $k_{u_{sz}} \dots k_{u_W}$, εξαρτώμενοι από διάφορους παράγοντες του φρεζαρίσματος, λαμβάνουν κατά περίπτωση, τις τιμές του Πίνακα 6.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4 Τιμές της σταθεράς C_u και των διορθωτικών συντελεστών $k_{u_{sz}} \dots k_{u_W}$ του τύπου (6.49) για μετωπικό φρεζάρισμα χάλυβα.

B[mm]	50	60	75	100	125	150	175	200	250	300
Cu[m/min]	32	313	297	281	270	260	252	246	235	227
Sz[mm/δόντι]	0, 1	0, 15	0, 2	0, 25	0, 3	0, 4	0, 5			
$k_{u_{sz}}$	1, 0	0, 86	0, 77	0, 69	0, 64	0, 57	0, 52			
Κατεργαζόμενο υλικό	Ανθρακούχος χάλυβας C<0, 6%		Ανθρακούχος χάλυβας C≥0, 6%		Cr, CrNi, CrV, CrMo-χάλυβες		Mn, CrMn CrNiW-χάλυβες			
k_{u_M}	1, 0		0, 85		0, 6		0, 65			
σ_B [kp/mm ²]	<60		60-80		80-100		100-120		120-140	
$k_{u_{\sigma B}}$	1, 2		1, 0		0, 69		0, 52		0, 40	
D [mm]	110		150		200		250		300	
k_{u_D}	0, 89		0, 96		1, 00		1, 045		1, 09	
a [mm]	1	2	3	4	5	6				
k_{u_a}	1, 0	0, 96	0, 94	0, 92	0, 91	0, 90				
Tσ [min]	100	100	300	400	500					
k_{u_T}	$\sigma_B > 100$	1, 00	0, 90	0, 82	0, 70	0, 68				
	$\sigma_B < 100$	1, 17	1, 0	0, 90	0, 82	0, 7				
Κατάσταση επιφάνειας	Με σκουριά		Χωρίς σκουριά							
k_{u_H}	1,00		1,05							
Είδος σκληρομετάλλου	P20		P30							
k_{u_W}	$\sigma_B < 90$	1,0	0,7-0,8							
	$\sigma_B > 90$	1,0	0,8							

β) Για μετωπικό φρεζάρισμα φαιού χυτοσιδήρου με σκληρομέταλλο K10:

$$U_T = \frac{535 B_1^{0.25}}{T_\sigma^{0.28}} k_{U_{sz}} k_{U_M} k_{U_H} k_{U_W} \quad (6.50)$$

Συνιστώμενες τιμές των διορθωτικών συντελεστών του τύπου καταγράφονται στον Πίνακα 6.5

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5. Τιμές των συντελεστών διορθώσεως $K_{U_{sz}} \dots K_{U_w}$ και υποβοηθητικοί υπολογισμοί του τύπου (6.50) για μετωπικό φρεζάρισμα φαιού χυτοσιδήρου.

B_1 [mm]	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2
$B_1^{0.25}$	0.56	0.67	0.74	0.80	0.84	0.88	0.95	1.0	1.05
T_σ [mm]	100	200	300	400	500	600	800	1000	1200
$T_\sigma^{0.28}$	3.64	4.40	4.95	5.36	5.70	6.00	6.50	6.90	7.30
s_z [mm/δόντι]	0.1		0.2		0.3		0.4		
$k_{U_{sz}}$	1.25		1.0		0.87		0.79		
Σκληρότητα χυτοσιδήρου[BHN]	140	160	180	200	220	240	260		
	1.3	1.2	1.1	1.0	0.75	0.58	0.45		
Κατάσταση επιφάνειας	Τεμάχιο ως έχει μετά την χύτευση			Τεμάχιο μετά από κατεργασία					
k_{U_H}	0.8			1.0					
Είδος σκληρομετάλλου	K10			K20					
k_{U_w}	1.0			0.7					

6. 2. 3. 2. Περιφερικό φρεζάρισμα

A. Φθορά τον κοπτήρα.

Τα πειραματικά αποτελέσματα της βιβλιογραφίας παρουσιάζονται σχετικά περιορισμένα και στην περίπτωση της φθοράς των δοντιών του κοπτήρα κατά το περιφερικό φρεζάρισμα.

Εκτεταμένη έρευνα από τον συγγραφέα επί της φθοράς του εργαλείου κατά το

περιφερικό φρεζάρισμα (αντίρροπο και ομόρροπο) χάλυβα Ck60, με κοπτήρα ενός δοντιού από ταχυχάλυβα (S 10-4-3-10 ή EW9Co 10), έδωσε σχέσεις προσδιορισμού του μέγιστου πλάτους της ζώνης φθοράς B_1 , του μέγιστου βάθους κρατήρα ΚΤ και του δείκτη φθοράς κρατήρα Κ [σχ. 1. 18, σχέση (1. 16β)] συναρτήσει του θεωρητικού μήκους του αποβλήτου L_σ της μορφής

$$\begin{aligned} B_1 &= C'_{B_1} L_\sigma^{m_{B_1}} \\ K_T &= C_{KT} L_\sigma^{m_{KT}} \\ K &= C_K L_\sigma^{m_K} \end{aligned} \quad (6.51)$$

όπου L_σ υπολογίζεται ως

$$L_\sigma = \frac{L_z n z t_{cz}}{1000} \text{ [m]} \quad (6.52)$$

L_z σε m είναι το θεωρητικό μήκος του αποβλήτου ανά δόντι και περιστροφή και t_{cz} είναι ο χρόνος κοπής σε min, καθώς λαμβάνεται το μήκος L_σ .

Πειραματικά αποτελέσματα σε ό, τι αφορά την εξάρτηση $B_1 = \sigma(L_\sigma)$ καθώς επίσης και καταγραφίματα της φθοράς κρατήρα δίδονται στα σχήματα 6.13, 6.15 και 6.16 για αντίρροπο και ομόρροπο φρεζάρισμα.

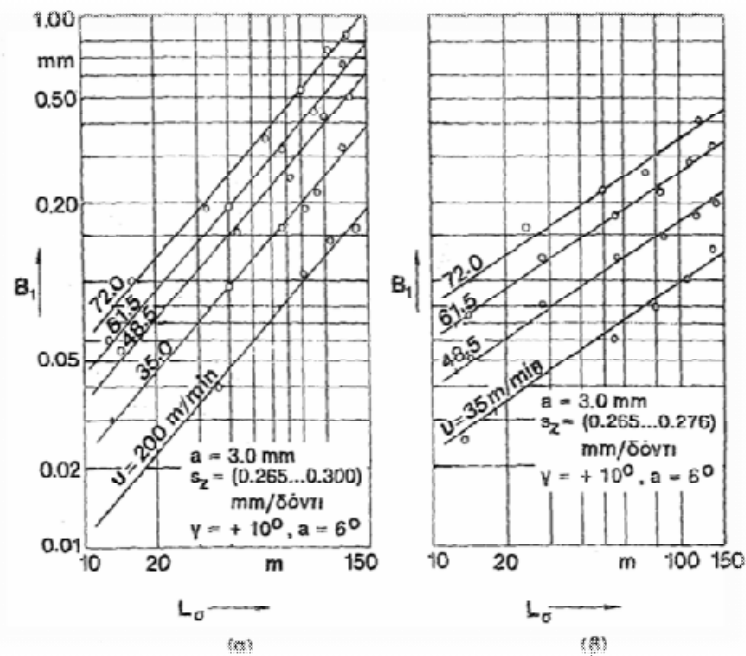
Από την όλη έρευνα συνάγεται το συμπέρασμα, ότι από άποψη φθοράς του κοπτικού εργαλείου πλεονεκτεί σημαντικά το ομόρροπο φρεζάρισμα και ειδικότερα:

Η διαπιστωθείσα σημαντικά μεγαλύτερου πλάτους ζώνη φθοράς κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα μπορεί να αποδοθεί στην ανάπτυξη σοβαρής τριβής ολισθήσεως, καθώς προοδευτικά το εργαλείο αμβλύνεται, μεταξύ εργαλείου και τεμαχίου κατά το αρχικό μέρος του τόξου αποκοπής των δοντιών του κοπτήρα, καθώς και σε δευτερογενείς δυσμενείς επιδράσεις για λόγους:

1) Μορφής του δημιουργούμενου κρατήρα, γιατί το μήκος ΚΜ λαμβάνει μικρότερες τιμές κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα αφοτί κατά το ομόρροπο και, επομένως, η θέση αναπτύξεως της μέγιστης θερμοκρασίας, δηλαδή το μέσο περίπου του κρατήρα, βρίσκεται πλησιεστέρα προς την ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου και

2) κινηματικής της κατεργασίας, γιατί κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα, η γωνία ελευθερίας του δοντιού βαίνει ελαττούμενη, καθώς αυτό αποκόπτει, με δυσμενή επίδραση στην ζώνη φθοράς. Επίσης, η παρατηρούμενη δυσμενέστερη φθορά κρατήρα κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα έναντι του ομόρροπου, μπορεί ν' αποδοθεί στο μικρότερο μήκος επαφής αποβλήτου-εργαλείου κατά το αρχικό μέρος του τόξου αποκοπής του δοντιού (το απόβλητο σχηματίζεται μικρού μεγέθους σπειροειδές και με σπείρα μικρής ακτίνας καμπυλότητας, λόγω της πολύ μικρής τιμής του πάχους

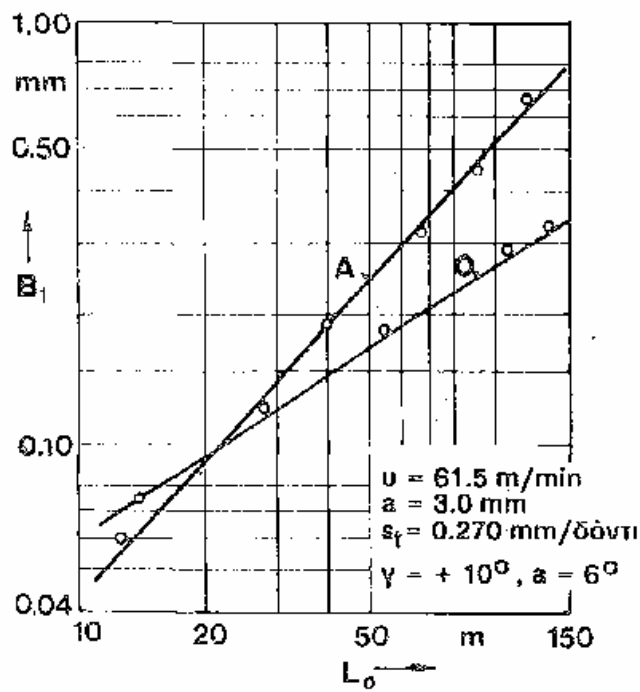
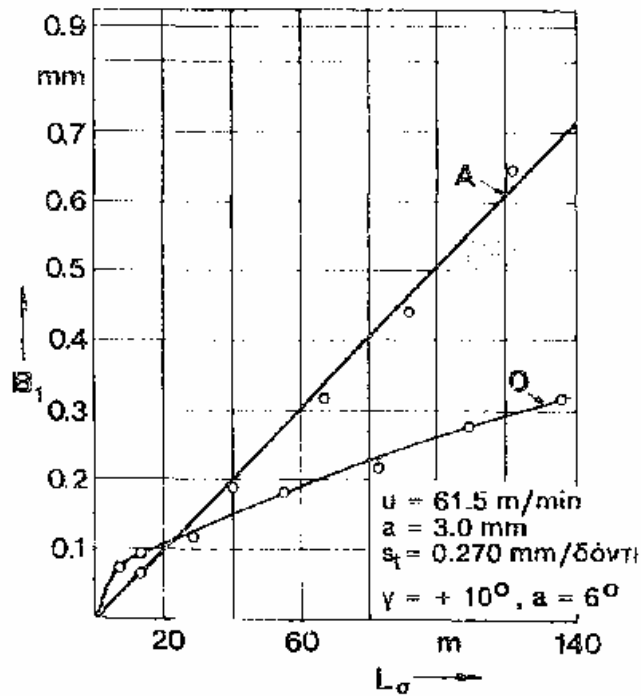
του· στο ομόρροπο φρεζάρισμα, αντίθετα, το μέγεθος του αποβλήτου προκύπτει μεγαλύτερο, καθώς επίσης και η ακτίνα καμπυλότητας της σπείρας του, λόγω του μέγιστου πάχους του αποβλήτου στην θέση αυτή).



Σχ. 6.14

Το μέγιστο πλάτος της ζώνης φθοράς B , ως συνάρτηση του θεωρητικού μήκους αποβλήτου L_σ , κατά
 (α) το αντίρροπο και
 (β) το ομόρροπο φρεζάρισμα.

Υλικό τεμαχίου: CK60. Κοπτήρας από ταχυχάλυβα S10-4-3-10.

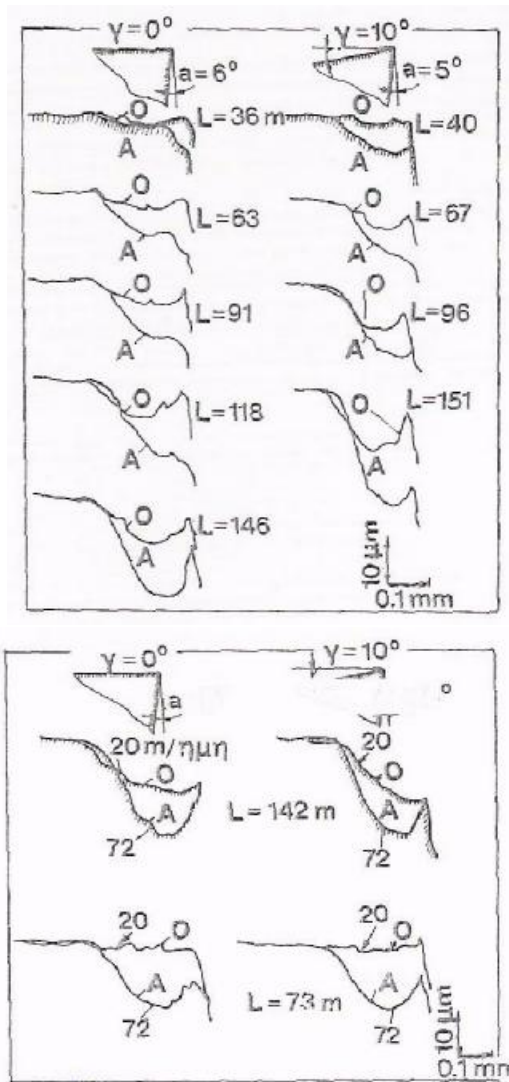


Σχ.6.15

Συγκριτικά διαγράμματα B_1 , L_σ , για αντίρροπο και ομόρροπο φρεζάρισμα

Υλικό τεμαχίου: CK60, Κοπήρας από ταχυχάλυβα S10-4-3-10

A, αντίρροπο - O, ομόρροπο φρεζάρισμα



Σχ. 6.16

Καταγραφήματα της φθοράς κρατήρα.

Υλικό τεμαχίου:CK60. Κοπήρας από ταχυχάλυβα S10-4-3-10

$s_z=0$, 276 mm/δόντι, $\alpha=3$, 0 mm , $u=35$ m/min

B. Ζωή τον κοπτήρα.

Έχουν κατά καιρούς προσδιορισθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν την ζωή του δοντιού του κοπτήρα με την ταχύτητα κοπής κατά το περιφερικό φρεζάρισμα.

Οι σχέσεις αυτές παρουσιάζονται στις κάτωθι μορφές:

$$1) \quad uL_{B_1}^{n_{B_1}} = C_{B_1} \quad (6.53)$$

με κριτήριο προκαθορισμένη μέγιστη τιμή του πλάτους της ζώνης φθοράς B_1 και σταθερούς τους υπόλοιπους παράγοντες της κοπής. L_{B_1} , είναι το θεωρητικό μήκος του αποκοπόμενου αποβλήτου ανά δόντι, για μέγιστο πλάτος ζώνης φθοράς B_1 .

$$2) \quad uT_z^n = C_{Tz} \quad (6.54)$$

ή

$$(u \pm K)T_z^n = C_{Tz} \quad (6.55)$$

ένθα T_z , είναι η ζωή ενός δοντιού του κοπτήρα εκφρασμένη σε min.

$$3) \quad uI_z^n = C_{Iz} \quad (6.56)$$

ή

$$(u \pm K)I_z^n = C_{Iz} \quad (6.57)$$

όπου I_z είναι η ζωή ενός δοντιού της φρέζας εκφρασμένη σε μήκος κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου.

Το I_z προσδιορίζεται, ως εξής:

$$I_z = u_v T_z = n s_n T_z = n z s_z T_z \quad [\text{mm}] \quad (6.58)$$

ή

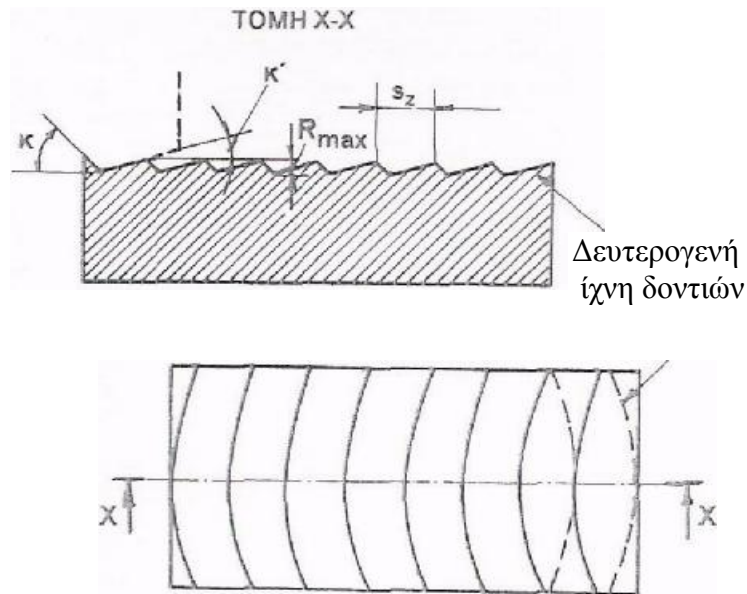
$$I_z = \frac{1000 u v z s_z T_z}{\pi D} \quad [\text{mm}] \quad (6.59)$$

$$4) \quad u_T' = \frac{C_{uT}}{\varepsilon_z^p a^q} \quad (6.60)$$

Για προκαθορισμένη ζωή του δοντιού του κοπέα T' σε min.

Ο σταθερός όγκος K των σχέσεων (6.55) και (6.57) δείχνει ότι οι σχέσεις αυτές, δηλαδή, $T_z = \sigma(u)$ και $I_z = \sigma(u)$ δεν είναι γραμμικές σε διπλής λογαριθμικής κλίμακας άξονες ($\log T_z - \log u$ ή $\log I_z - \log u$). Επίσης, οι τύποι (6.54), (6.55), (6.56) και (6.57) ισχύουν με κριτήριο ζωής του δοντιού την στόμωσή του ή την ανάπτυξη πλάτους ζώνης φθοράς (μέγιστου ή μέσου) προκαθορισμένης τιμής.

Η θεωρητική μέγιστη τιμή της τραχύτητας κατά το μετωπικό φραιζάρισμα (σχ. 6.17) δίδεται από την σχέση



Σχ.6.17

Τραχύτητα επιφάνειας (θεωρητική) κατά το μετωπικό φρεζάρισμα.

$$R_{MAX\theta} = \frac{s_z}{\sigma\phi\kappa + \epsilon\phi\kappa'} \quad (6.61)$$

όπου κ και κ' είναι η γωνία θέσεως της κύριας και δευτερεύουσας κόψης του δοντιού, αντίστοιχα.

Η κατεργασμένη με περιφερικό φρεζάρισμα επιφάνεια χαρακτηρίζεται από τα ίχνη των δοντιών, καθώς το τεμάχιο προωθείται, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.17. Έκαστο δόντι, πριν αρχίσει πάλι να αποκόπτει, διέρχεται άνωθεν της κατεργασμένης επιφάνειας, εφόσον το μέγεθος της το επιτρέπει, οπότε είναι δυνατόν να δημιουργηθούν και δευτερογενή ίχνη του δοντιού σε αυτή, αν ο κοπτήρας δεν είναι πλήρως ευθυγραμμισμένος.

6.2.4.2. Επιφάνεια κατεργασμένων κομματιών με φρεζάρισμα.

Η θεωρητική τραχύτητα (μέγιστη $R_{max\theta}$ και μέση $R_{a\theta}$) στο περιφερικό φρεζάρισμα, αν υποθέσουμε ότι η τροχιά του αποκόπτοντος δοντιού είναι κυκλική, εκφράζεται ως ακολούθως:

$$R_{max\theta} = 250 \frac{s_z^2}{4D} [\mu m] \quad (6.62)$$

και

$$R_{a\theta} \cong 64,2 \frac{s_z^2}{D} [\mu m] \quad (6.63)$$

Οι ανωτέρω σχέσεις δύνανται να μετασχηματισθούν κατάλληλα, αν η πρόωση ανά δόντι αντικατασταθεί με την έκφραση [σχέση (6.4)]

$$s_z = \frac{v_v}{n_z} = \frac{\pi D v_v}{1000}$$

Για τριχοειδή τροχιά του αποκόπτοντος δοντιού, ισχύει η ακόλουθη σχέση προσδιορισμού της μέγιστης τιμής της τραχύτητας:

$$R_{max} = \frac{s_z^2}{4 \left(D \pm \frac{22s_z}{\pi} \right)} \quad (4,94)$$

του θετικού πρόσημου δηλώνοντας αντίρροπο και του αρνητικού ομόρροπο φρεζάρισμα.

Για κοπήρα πολλών δοντιών, η φυσική τραχύτητα λαμβάνει ποιοτικά την μορφή του σχήματος 6.18. Παρατηρούνται, δηλαδή, αποκλίσεις δευτέρας τάξεως (κυματώσεως), στις οποίες υπερτίθεται η τραχύτητα (αποκλίσεις τρίτης και ανωτέρας τάξεως). Οι χαρακτηριστικές αυτές κυματώσεις, μήκους κύματος ίσου προς την πρόωση ανά περιστροφή, οφείλεται σε εκκεντρότητα της ατράκτου της φρεζομηχανής, του κοπήρα, των δοντιών ή και συνδυασμού αυτών



Σχ. 6.18

Τοπομορφία επιφάνειας κατά το περιφερικό φρεζάρισμα με κοπτήρα πολλών οδόντων. Φαίνεται χαρακτηριστικά η κυμάτωση της κατεργασμένης επιφάνειας, στην οποία (κυμάτωση) υπερτίθεται η τραχύτητα.

Από εκτεταμένη έρευνα που έγινε από τον συγγραφέα για την τραχύτητα επιφάνειας χάλυβα Ck60, με κοπτήρα ενός δοντιού από ταχυχάλυβα S10-4-3-10 και από σκληρομέταλλο P40 (μόνο για τις δοκιμές προσδιορισμού της R_a συναρτήσεως της ταχύτητας κοπής), για αντίρροπο και ομόρροπο φρεζάρισμα συνήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α) Αντίρροπο φρεζάρισμα.

- 1) Η μέση τιμή της τραχύτητας R_a αυξάνεται ελαφρά συναρτήσεως της προώσεως ανά δόντι S_z , με σταθερούς τους υπόλοιπους παράγοντες της κοπής. Η αύξηση αυτή είναι εντονότερη στην περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων κοπής.
- 2) Δεν κατέστη δυνατή η εξαγωγή σαφούς συναρτησιακής σχέσης μεταξύ μέσης τιμής της τραχύτητας και βάθους κοπής ή γωνίας αποβλήτου του εργαλείου.
- 3) Η ταχύτητα κοπής ασκεί σημαντική επίδραση στην τραχύτητα επιφάνειας. Αυξανομένης της ταχύτητας κοπής (μέχρι περίπου των 80 m/min), η τραχύτητα επιφάνειας βελτιούται με ρυθμό υψηλότερο στην περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων κοπής. Πέραν της ταχύτητας των 80 m/min, η τραχύτητα επιφάνειας δεν επηρεάζεται πρακτικά από μεταβολές της ταχύτητας κοπής.
- 4) Η καμπύλη R_{a-u} δεν λαμβάνει την τυπική μορφή, όπως συμβαίνει κατά την τórνευση¹. Αυτό μπορεί, ν'αποδοθεί στην κινηματική του αντίρροπου φρεζαρίσματος, κατά την οποία η κατεργαζόμενη επιφάνεια δεν δέχεται την επίδραση του πλήρως σχηματιζόμενου αποβλήτου, όπως συμβαίνει κατά την τórνευση.

5) Αυξανομένης της ταχύτητας κοπής, η κατεργασμένη επιφάνεια, εκτός της βελτιωμένης τραχύτητας, την οποία παρουσιάζει, καθίσταται πλέον ομοιόμορφη,

παρουσιάζουσα δηλαδή, μικρότερη διασπορά τιμών τραχύτητας.

6) Στην περιοχή των υψηλών ταχυτήτων κοπής, μεταβολές της προώσεως ανά δόντι, του βάθους κοπής και της γωνίας αποβλήτου αμελητέα ασκούν πρακτικά επίδραση στην τραχύτητα επιφάνειας.

7) Η φυσική τραχύτητα ουδόλως συμφωνεί με την θεωρητική, παρατηρουμένων σημαντικών σχετικών αποκλίσεων. Έτσι, π.χ., για $a=1,0$ mm, $s_z=0,162$ mm/δόντι, $\gamma=0^\circ$, $u=20,8$ m/min και υλικό δοντιού ταχυχάλυβα, μετρήθηκε μέση μέγιστη πραγματική τιμή της τραχύτητας $6,87$ μm , ενώ η αντίστοιχη θεωρητική υπολογίσθηκε σε $0,057$ μm . Για $a=2,0$ mm, $\gamma=0^\circ$, $s_z=0,3$ mm/δόντι, $u=228$ m/min και υλικό δοντιού σκληρομέταλλο P40, μετρήθηκε μέση μέγιστη πραγματική τιμή της τραχύτητας $2,5$ μm και υπολογίσθηκε θεωρητική $0,188$ μm .

8) Η τραχύτητα επιφάνειας παρουσιάζει μεγάλη σχετικά διασπορά, τιμών, ιδιαίτερα στην περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων κοπής. Αυτό αποδεικνύεται πειραματικά, ότι έχει ισχύ και για άλλες κατεργασίες (π.χ, τórνευση, μετωπικό φρεζάρισμα, κ.λπ.).

9) Τέλος, μεταξύ μέγιστης και μέσης τιμής της τραχύτητας βρέθηκε, ότι ισχύει κατά προσέγγιση γραμμική σχέση, ήτοι

$$R_{\max}=7,0R_a^{0,93},$$

που ισχύει για ευρεία περιοχή μεταβολής των a , s_z , γ και u

β) Ομόρροπο φρεζάρισμα.

Κατά το ομόρροπο φρεζάρισμα η κατεργασμένη επιφάνεια παρουσιάζεται εν γένει τραχεία και ανομοιόμορφη, πλην της περιπτώσεως εφαρμογής λίαν υψηλών ταχυτήτων κοπής, με συνέπεια υψηλές τιμές της τραχύτητας. Αυτό, όπως διαπιστώθηκε από την σχετική πειραματική έρευνα, οφείλεται στο γεγονός ότι, σύμφωνα με την κινηματική του ομόρροπου φρεζαρίσματος, επί της κατεργασμένης επιφάνειας παραμένει, ως στοιχειώδης επιφάνεια, το τελικό τμήμα του τόξου αποκοπής του δοντιού, το οποίο έχει μεγάλη τραχύτητα, λόγω της δημιουργίας της ψευδόκοψης. Επί παραδείγματι, για

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΠΛΑΝΙΣΜΑ

7.1 ΠΛΑΝΙΣΜΑ ΚΑΙ ΠΛΑΝΕΣ.

7.1.1 Κινηματική και είδη πλανίσματος.

Με το πλάνισμα μορφοποιούμε κυρίως επίπεδες επιφάνειες (οριζόντιες, κατακόρυφες ή υπό κλίση), όπως και σύνθετες επιφάνειες που προκύπτουν από συνδυασμούς επιπέδων ακόμη και καμπύλες¹ επιφάνειες με εργαλείο μορφής ή με πλάνισμα αντιγραφής

Γενικά για το πλάνισμα μπορούμε να πούμε, ότι είναι μία κατεργασία κοπής που προσιδιάζει περισσότερο (και είναι πιο οικονομική) στην παραγωγή κατά μονάδα ή σε παραγωγή κατά μικρές σχετικά παρτίδες, παρά στην παραγωγή κομματιών σε πολύ μεγάλο αριθμό. Και αυτό μπορούμε να το αποδώσαμε από το ένα μέρος στην ευελιξία που παρουσιάζει η πλάνη στην εκτέλεση ποικιλίας από εργασίες, στο χαμηλό κόστος αγοράς της ,στο μικρό κόστος των κοπτικών εργαλείου και στη γρήγορη ρύθμιση της σε σύγκριση βέβαια με άλλες εργαλειομηχανές. στις οποίες μπορεί να γίνει η ίδια εργασία (π.χ. με μία φρεζομηχανή) και από το άλλο στο χαμηλό της ρυθμό αφαιρέσεως υλικού, που αποτελεί βασικό μειονέκτημα για αποδοτική εργασία σε μεγάλες παρτίδες κομματιών.

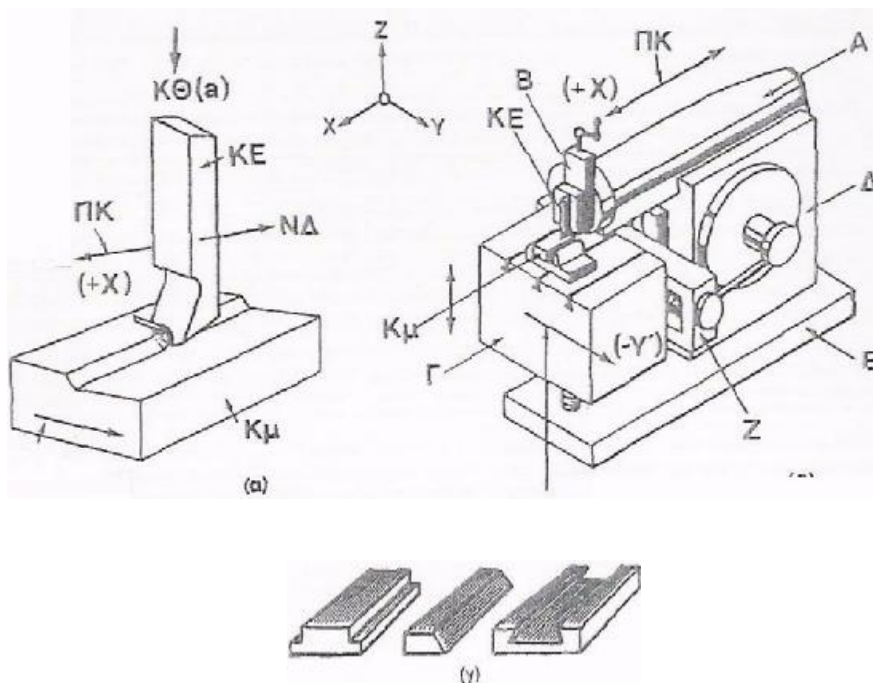
Με το πλάνισμα κατεργαζόμαστε κομμάτια χαλύβδινα (η σκληρότητα τους μπορεί να φθάσει και μέχρι τα 400 Brinell περίπου), χυτοσιδηρά, από μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα, όπως και κομμάτια από ορισμένα πλαστικά.

Ανάλογα με το είδος της πλάνης διακρίνουμε σε **πλάνισμα σε τραπεζοπλάνη** (ή **γεφυροπλάνη**) και σε **πλάνισμα σε βραχεία πλάνη** (ή

1. Θα ήταν παράλειψη, αν δεν αναφέρουμε το πλάνισμα κυλίσεως, με το οποίο μορφοποιούμε μετωπικές οδοντώσεις με κοπτικό οδοντοτροχό ή οδοντοκανονα σε ειδικό γριναζοκόπτη.

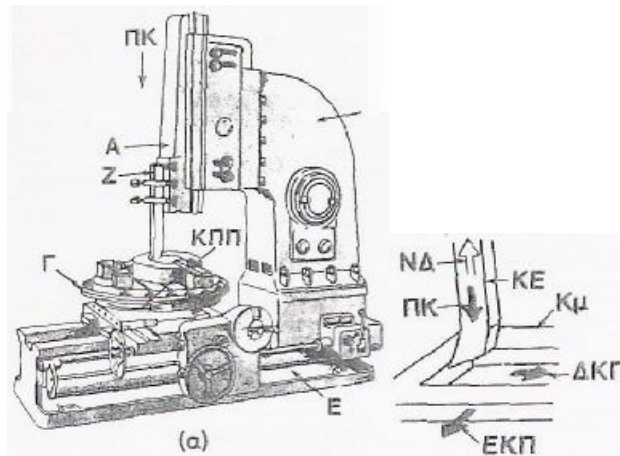
ταχυπλάνη). Το πλάνισμα σε βραχεία πλάνη πάλι εκτελείται τόσο σε **οριζόντια βραχεία πλάνη** όσο και σε **κατακόρυφη βραχεία πλάνη**.

Κατά το πλάνισμα σε οριζόντια βραχεία πλάνη (σχ. 7.1.α), το κοπτικό εργαλείο (εργαλείο μίας κύριας κόψης) εκτελεί ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση. Κάθε παλινδρόμηση (ένας πλήρης κύκλος εργασίας) περιλαμβάνει την **ενεργό** (ή ωφέλιμη) **διαδρομή** για κοπή και την **νεκρά διαδρομή** (μη ωφέλιμη διαδρομή) προς επιστροφή του εργαλείου στην αρχική του θέση. Το τεμάχιο, στο τέλος κάθε νεκρής διαδρομής του κοπτικού εργαλείου, προωθείται κάθετα προς την κατεύθυνση κινήσεως του εργαλείου κατά απόσταση ίση με την πρόωση (χιλιοστόμετρα ανά ενεργό διαδρομή του εργαλείου mm/DH, DH:Doppelhub). Εδώ, πρέπει να σημειώσαμε ότι, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στις κατεργασίες που μέχρι τώρα έχουμε εξετάσει, η πρόωση κατά το πλάνισμα (είτε αυτό εκτελείται σε βραχεία πλάνη είτε σε τραπεζοπλάνη, όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω) επιβάλλεται κατά βήματα η κίνηση δηλαδή προώσεως είναι διακοπτόμενη (ασυνεχής).



Σχ.7.1

Πλάνισμα σε βραχεία πλάνη ή ταχυπλάνη και σχηματική παράσταση βραχείας πλάνης. (α) Κινηματική του πλάνισματος σε βραχεία πλάνη, (β) Τα κύρια μέρη μιας ταχυπλάνης και οι κυρίες κινήσεις της: Α έλκηθρο, Β εργαλειοφορείο, Γ τράπεζα, Δ κορμός ή ορθοστάτης. Ε βάση, Ζ εγκάρσιο φορείο, (γ) Τυπικές επιφάνειες κομματιών, που μορφοποιούνται με πλάνισμα γενικά. (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΕΔ ενεργός διαδρομή, ΝΔ νεκρά διαδρομή, ΚΘ(α) κίνηση θέσεως βάθους κοπής, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ κοπτικό εργαλείο, ΚΕ κομμάτι).



Σχ. 7.2

- α) Η κατακόρυφη βραχεία πλάνη. (Α έλκηθρο, Γ κυκλική περιστρεφόμενη τράπεζα Δ κορμός, Ε βάση, Ζ εργαλειοδέτης. ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠΠ κίνηση περιφερειακής προώσεως),
 β) Κινηματική του πλανίσματος σε κατακόρυφη βραχεία πλάνη. (Π Κ πρωτεύουσα κίνηση. ΕΚΠ εγκάρσια κίνηση προώσεως, ΔΚΠ διαμήκης κίνηση προώσεως (ρυθμιστική κίνηση για το βάθος κοπής), ΕΔ ενεργός διαδρομή, ΝΔ νεκρά διαδρομή, ΚΕ κοπτικό εργαλείο. Κμ κομμάτι).

Το πλάνισμα σε κατακόρυφη βραχεία πλάνη (σχ. 7.2α) είναι παρόμοιο με αυτό που γίνεται στην οριζόντια βραχεία πλάνη με τη διαφορά, ότι το κοπτικό εργαλείο παλινδρομεί κατακόρυφα (η ενεργός διαδρομή του είναι η προς τα κάτω: πρωτεύουσα κίνηση), ενώ το κομμάτι μετακινείται στο οριζόντιο επίπεδο (διακοπτόμενη κίνηση προώσεως) στο τέλος κάθε νεκρής διαδρομής (προς τα επάνω) του εργαλείου.

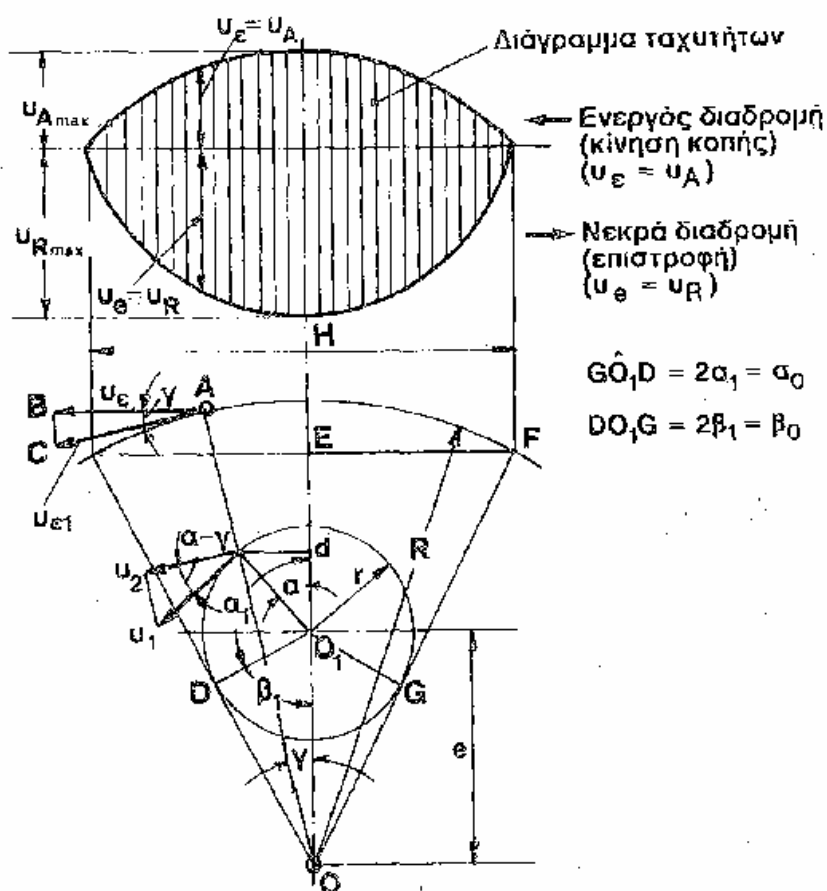
Στο πλάνισμα στην τραπεζοπλάνη (ή γεφυροπλάνη), αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στην βραχεία πλάνη (σχ. 5.3α) η πρωτεύουσα κίνηση (ενεργός διαδρομή) προσδίδεται στο τεμάχιο από την τράπεζα της εργαλείομηχανής, στην οποία αυτό προσδένεται (εδώ παλινδρομεί η τράπεζα), και η κίνηση προώσεως (διακοπτόμενη) στο κοπτικό εργαλείο (εργαλείο μίας κύριας κόψης και αυτό), μετατοπιζόμενο κάθετα προς την κατεύθυνση της πρωτεύουσας κινήσεως.

7.2.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία του πλανίσματος.

A. Ταχύτητα κοπής u . Ταχύτητα ελκθήρου πλάνης.

Η ταχύτητα κοπής συμπίπτει με την ταχύτητα του ελκθήρου u_A κατά την ενεργή διαδρομή του ($u \equiv u_A$) στην βραχεία οριζόντια και κατακόρυφη πλάνη ή με την ταχύτητα της τράπεζας στην τραπεζοπλάνη.

Στην περίπτωση, κατά την οποία η κύρια κίνηση της πλάνης προσδίδεται με διάταξη ταλαντωτή (βραχίονας A) με απλό στρόφαλο B ή ταλαντωτή και δισκοειδές στρόφαλο με πείρο Γ, η στιγμιαία ταχύτητα του ελκθήρου u_e , για περιστροφή του στροφάλου κατά γωνία α και του ταλαντωτή κατά γωνία γ , προσδιορίζεται, ως εξής (σχ.7.3):



Σχ.7.3

Βοηθητικά στοιχεία προσδιορισμού της ταχύτητας του ελκθήρου βραχείας πλάνης

Η ομαλή περιφερειακή ταχύτητα του στροφάλου ή του πείρου θα είναι:

$$U_1 = \frac{2\pi r n}{1000} = \frac{2\pi e \sigma \nu \beta}{1000} \text{ [m/min]} \quad (7.1)$$

όπου r σε mm είναι η ακτίνα του στροφάλου (ή η απόσταση του άξονα του πείρου από τον άξονα του δισκοειδούς στροφάλου Β, στον οποίο ο πείρος προσαρμόζεται) και n , σε στρ/μίν, η περιστροφική ταχύτητα του απλού στροφάλου ή του δισκοειδούς στροφάλου. Είναι πρόδηλο, ότι η n συμπίπτει με τον αριθμό των κύκλων (ενεργών διαδρομών του ελκήθρου) ανά μίν n' , δηλαδή $n \equiv n'$.

Βρίσουμε επίσης:

$$u_2 = u_1 \sigma \nu (\alpha - \gamma) \quad (7.2)$$

$$v_{\varepsilon_1} = u_2 \frac{R}{(OA_1)} = u_2 \frac{R \sigma \nu \gamma}{e + R \sigma \nu \alpha} \quad (7.3)$$

και

$$\gamma = \tau \sigma \xi \varepsilon \varphi \frac{R \sigma \nu \gamma}{e + R \sigma \nu \alpha} \quad (7.4)$$

Εξάλλου

$$v_\varepsilon = v_{\varepsilon_1} \sigma \nu \gamma \quad (7.5)$$

$$U_\varepsilon = \frac{2\pi n R H \sigma \nu^2 \gamma \sigma \nu (\alpha - \gamma)}{1000 (2R + H \sigma \nu \alpha)} \text{ [m/min]} \quad (7.6)$$

ή

$$U_\varepsilon \equiv \frac{n R H \sigma \nu^2 \gamma \sigma \nu (\alpha - \gamma)}{160 (2R + H \sigma \nu \alpha)} \text{ [m/min]} \quad (7.7)$$

αν ληφθούν υπόψη οι σχέσεις (7.3), (7.2) και (7.1), ως και η σχέση

$$e = 2r \frac{R}{H} \quad (7.8)$$

η οποία προκύπτει από την ομοιότητα των τριγώνων ΟΟ1D και ΟΕF.

Με το Η, σε mm, παρίσταται η διαδρομή του ελκήθρου και με το R, σε mm, το μήκος του ταλαντωτή.

Κατά την **ενεργή διαδρομή του ελκήθρου**, η οποία λαμβάνει χώρα με περιστροφή του στροφάλου από την αρχική θέση μέχρι την θέση Ο₁G μέχρι την θέση Ο₁D, δηλαδή, κατά γωνία 2α₁, η στιγμιαία ταχύτητα του ελκήθρου θα είναι $u_e \equiv u_A$ (σχ. 7.3), ενώ κατά την **νεκρή διαδρομή του ελκήθρου** (περιστροφή του στροφάλου από την θέση Ο₁D μέχρι την Ο₁G, δηλαδή κατά γωνία 2β₁), η στιγμιαία ταχύτητα του ελκήθρου θα είναι $u_e \equiv u_R$

Οι γωνίες α₁ και β₁ εκφράζονται ως

$$\text{συν}\beta_1 = \frac{H}{2R} \quad (7.9)$$

και

$$\alpha_1 = 180^\circ - \beta_1 \quad (7.10)$$

Η μέγιστη ταχύτητα του ελκήθρου κατά την ενεργή διαδρομή βρίσκεται για α=γ=0°, δηλαδή:

$$u_{A_{\max}} = \frac{nRH}{160(2R+H)} \quad (7.11)$$

ενώ η μέγιστη ταχύτητα του ελκήθρου κατά την νεκρή διαδρομή προσδιορίζεται για α=180° και γ=0°, ήτοι:

$$u_{A_{\max}} = -\frac{nRH}{160(2R-H)} \quad (7.12)$$

Όπως έχουμε αναφέρει στην αρχή της παραγράφου αυτής, η ταχύτητα κοπής κατά το πλάνισμα συμπίπτει με την ταχύτητα του ελκήθρου (στις βραχείες πλάνες) ή της

τράπεζας (στις τραπεζοπλάνες) στην ενεργό τους διαδρομή και δεν είναι εν γένει σταθερή, αλλά μεταβαλλόμενη, εξαιτίας της κινηματικής διαμορφώσεως της διατάξεως μεταδόσεως της παλινδρομικής κινήσεως. Για το λόγο αυτό και μας ενδιαφέρει η μέση τιμή της ταχύτητας κοπής u_{Am} . Εν τούτοις, όμως, πρακτικά η μέση αυτή ταχύτητα κοπής δεν διαφέρει σημαντικά από τη μέγιστη τιμή της u_{Amax} . Και στις μεν τραπεζοπλάνες, εξαιτίας βέβαια του συστήματος μεταδόσεως της παλινδρομικής κινήσεως στην τράπεζα ελάχιστη διαφορά υπάρχει ανάμεσα στη u_{Am} , και u_{Amax} , ενώ στις βραχείες πλάνες με σύστημα ταλαντωτή με απλό στρόφαλο δισκοειδούς στροφάλου η διαφορά αυτή είναι πιο αισθητή. Μπορούμε συνεπώς, όπου στα επόμενα αναφερόμαστε σε μέση τιμή της ταχύτητας κοπής να υπονοούμε, κατά παραδεκτή για την πράξη προσέγγιση, και την μέγιστη.

Οι μέσες ταχύτητες του ελκήθρου κατά την ενεργή και στην νεκρή διαδρομή του, υπολογίζονται από τις σχέσεις

$$u_{Am} = \frac{H}{t_A} = \frac{0,18nH}{a_1^*} \text{ [m/min]} \quad (7.13)$$

$$u_{Rm} = \frac{H}{t_B} = \frac{0,18nH}{\beta_1^*} \text{ [m/min]} \quad (7.14)$$

ένθα t_A και t_B , σε min, είναι, αντίστοιχα, ο χρόνος της ενεργού και νεκρής διαδρομής, δηλαδή

$$t_A = \frac{2\pi n 2a_1^*}{360} \cdot \frac{1000}{2\pi n} = \frac{1000a_1^*}{180n} = \frac{a_1^*}{0,18n} \text{ [min]} \quad (7.15)$$

και

$$t_B = \frac{\beta_1^*}{0,18n} \text{ [min]} \quad (7.16)$$

Εξαιτίας της μεταβολής των γωνιών α και γ [σχέση (5.7)], η ταχύτητα u_e του ελκήθρου μεταβάλλεται, όπως δείχνει το σχήμα (5.7), για σταθερό n , R και H .

Οι μέγιστες ταχύτητες του ελκήθρου u_{Amax} και u_{Rmax} εξαρτώνται από τα n , R και H , ενώ οι μέσες ταχύτητες του u_{Am} και u_{Rm} από τα n , H και τη γωνία α° και β° ,

αντίστοιχα. Επίσης, επειδή $\alpha^\circ > \beta^\circ$, ο χρόνος $t_B < t_A$, συνεπώς, $u_{Rm} > u_{Am}$. Εξάλλου από τις σχέσεις (5.11) και (5.12) προκύπτει, ότι

$$u_{Rmax} > u_{Amax}.$$

Ο λόγος των μέσων ταχυτήτων του ελκίθρου εκφράζεται ως [σχέσεις (5.13),(5.14)]:

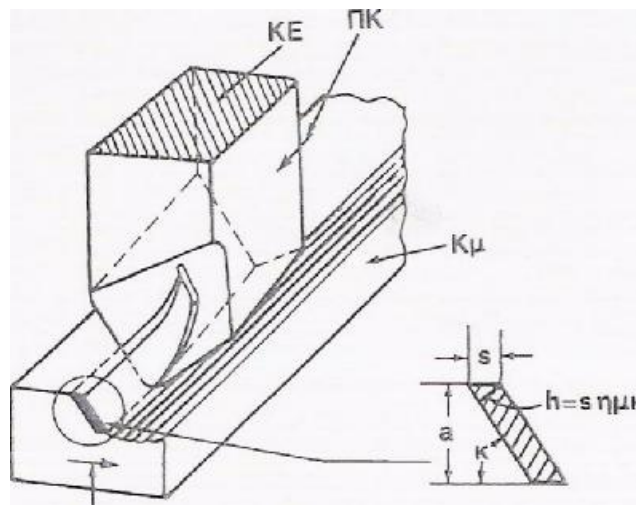
$$q = \frac{u_{Rm}}{u_{Am}} = \frac{\alpha_1}{\beta_1} \quad (7.17)$$

Β. Πρόωση, μεγέθη του θεωρητικού αποβλήτου, ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου.

Η πρόωση s στο πλάνισμα (εγκάρσια πρόωση στο πλάνισμα οριζοντίων επιφανειών ή κατακόρυφη πρόωση για το πλάνισμα κατακόρυφων επιφανειών εκφράζεται (το έχουμε και αλλού αναφέρει) σε χιλιοστόμετρα ανά παλινδρόμηση ή ανά ενεργό διαδρομή ή ανά κύκλο πλανίσματος (mm/DH).

Η θεωρητική διατομή του αποβλήτου (σχ. 5.8) εκφράζεται από την σχέση

$$A = as \quad \text{ή} \quad A = \frac{ah}{\eta\mu\kappa} \quad [\text{mm}^2]. \quad n \quad (7.18)$$



Σχ.7.4

Στοιχεία για τη θεωρητική διατομή και το πάχος του αποβλήτου στο πλάνισμα (ΠΚ πρωτεύουσα κίνηση, ΚΠ κίνηση προώσεως, ΚΕ κοπτικό εργαλείο, Κμ κομμάτι)

Το θεωρητικό πάχος του αποβλήτου δίδεται από τον τύπο

$$h = s \eta \mu \kappa \quad (7.19)$$

και ο ρυθμός αφαιρέσεως μετάλλου ως

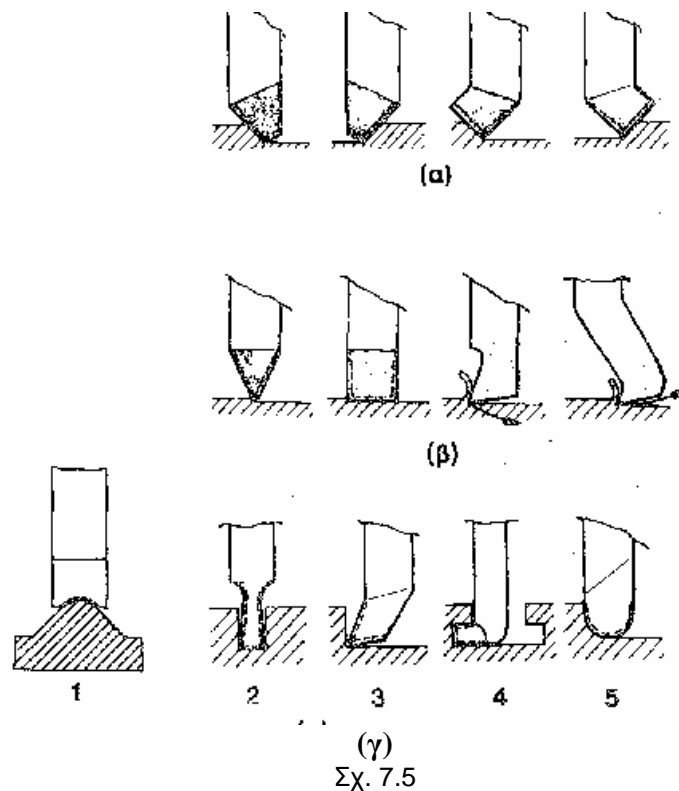
$$\Theta = \frac{asln'}{1000} \quad [(\text{cm}^3)/\text{min}] \quad (7.20)$$

όπου l , σε mm, είναι το μήκος του τεμαχίου.

7.2.2 Κοπτικά εργαλεία πλανίσματος. Φθορά και ζωή των εργαλείων.

Στο σχήμα 7.5 εικονίζονται μορφές διαφόρων κοπτικών εργαλείων πλανίσματος. Η μορφή τους είναι παρόμοια εκείνης των εργαλείων τριβής με την γεωμετρία

τους όμως εν γένει διαφορετική. Τα διακρίνουμε σε εργαλεία εκχονδρίσεως και σε εργαλεία αποπερατώσεως. Συνιστώμενες τιμές των γωνιών κοπής των εργαλείων πλάνισματος, για κατεργασία ποικιλίας υλικών, με εργαλείο από ταχυχάλυβα ή από σκληρομέταλλο (επικολλώμενα ή ένθετα) καταχωρίζονται στον Πίνακα 7.1.



Σχ. 7.5

Είδη κοπτικών εργαλείων πλάνισματος, α) Εργαλεία εκχονδρίσεως. β) Εργαλεία αποπερατώσεως. γ) Ειδικά εργαλεία. 1 εργαλείο μορφής, 2 εργαλείο για αυλάκια, 3 πλευρικό εργαλείο. 4 εργαλείο με κάμψη για πλάνισμα αυλακιών μορφής T, 5 εργαλείο με κυκλική ακή.

Σε ό,τι αφορά την φθορά και ζωή του εργαλείου κατά το πλάνισμα, μπορούμε να εφαρμόζαμε κατά προσέγγιση πειραματικά, κατά περίπτωση, αποτελέσματα τριτοβάθμιας, εξαιτίας της ομοιότητας των δύο αυτών κατεργασιών. Σε αυτό πιθανότατα θα οφείλεται και η έλλειψη σχετικών πειραματικών δεδομένων πλάνισματος στην βιβλιογραφία. Η εκλογή της ταχύτητας κοπής κατά το πλάνισμα (Πίνακας 7.2) γίνεται με κριτήριο καθορισμένη ζωή (σε mm) του κοπτικού εργαλείου.

Οφείλουμε, όμως, να επισημάνουμε το γεγονός, ότι η έναρξη της κοπής στο πλάνισμα (στην αρχή της ενεργού διαδρομής του εργαλείου στις ταχυπλάνες ή του τεμαχίου, δηλαδή της τραπέζης, στις τραπεζοπλάνες) έχει κρουστικό χαρακτήρα. Τούτο είναι δυσμενές για το κοπτικό εργαλείο, ιδιαίτερα δε στα εργαλεία από

σκληρομέταλλο για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μαλακές ποιότητες σκληρομετάλλων, όπως π.χ. P30 ή P40 για πλάνισμα χαλύβων.

Τα εργαλεία πλανίσματος από ταχυχάλυβα γενικής χρήσεως [όπως λ.χ. είναι ο ταχυχάλυβας T₁ (18-4-1) ή ισοδύναμος του] αποδίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για δύο λόγους: ο ένας είναι ότι το πλάνισμα δεν εκτελείται σε υψηλές ταχύτητες κοπής (από τη μία μεριά η κινηματική και η κατασκευαστική διαμόρφωση της πλάνης δεν επιτρέπουν υψηλές ταχύτητες κοπής και από την άλλη το πλάνισμα χρησιμοποιείται για παραγωγή κατά μονάδα ή σε μικρές παρτίδες, όπου δεν εφαρμόζονται τέτοιες ταχύτητες κοπής), στις οποίες πλεονεκτούν τα σκληρομέταλλα και ο άλλος είναι, ότι στην αρχή της ενεργού διαδρομής το εργαλείο κτυπά επάνω στο κομμάτι, όπως προσημειώσαμε, και αν αυτό είναι από σκληρομέταλλο, μπορεί, να υποστεί απολέπιση

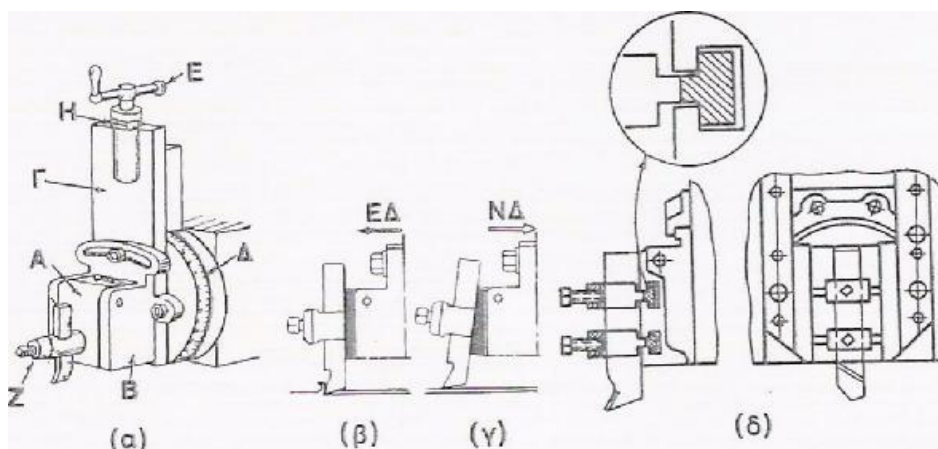
7.2.3 Επιφάνεια υλικού μετά την κοπή.

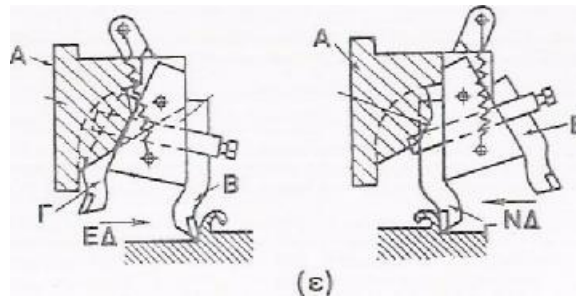
Ποσοτικές σχέσεις υπολογισμού της τραχύτητας επιφάνειας κατά το πλάνισμα, καθόσον γνωρίζουμε, δεν δίδονται στην βιβλιογραφία. Ποιοτικά ισχύουν οι γενικές αρχές, οι οποίες έχουν τεθεί για την τόννευση.

7.3 Εκτέλεση του πλανίσματος.

7.3.1 Το κοπτικό εργαλείο της πλάνης.

Το εργαλείο πλανίσματος, με την εκάστοτε κατάλληλη γεωμετρική του μορφή (σταθερό στο πλάνισμα σε τραπεζοπλάνη ή μετακινούμενο στο πλάνισμα σε βραχεία πλάνη) προσδένεται με ασφάλεια σε εργαλειοδέτη ειδικό για κάθε περίπτωση κατεργασίας. Τυπικοί τρόποι προσδέσεως φαίνονται στο σχήμα 5.10.





Σχ.7.6

Τρόποι προσδέσεως εργαλείων πλανίσματος.

α): (Α αιωρούμενη πλάκα (ποδιά), Β υποδοχή πλάκας Α, Γ ολισθητήρας. Δ μοιρογνωμόνιο, χειρομοχλός, Η άντυγα). ε) Εργαλειοδέτης διπλής ενέργειας (Α εργαλειοδέτης, Β, Γ κοπτικά εργαλεία, ΕΔ ενεργός διαδρομή, ΝΔ νεκρά διαδρομή).

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1. Συνιστώμενες γωνίες κοπής εργαλείων πλανίσματος.

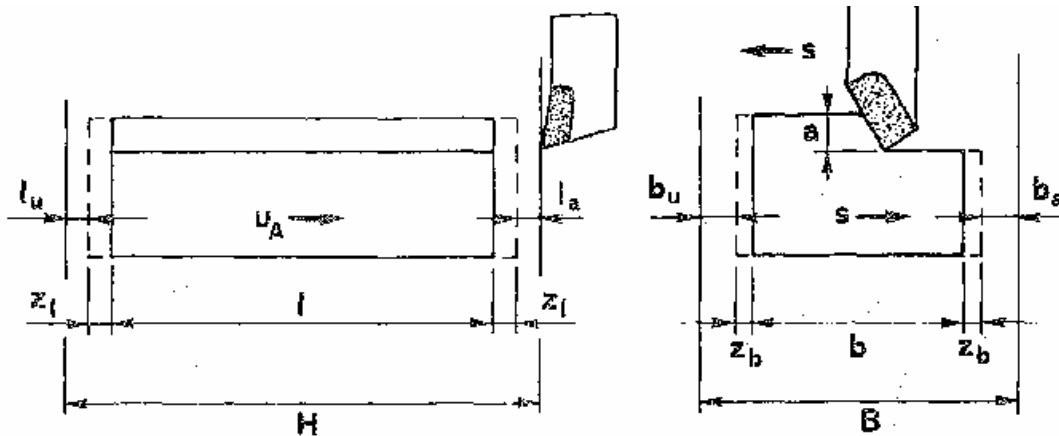
Είδος υλικού κατεργαζόμενου τεμαχίου	Μέγιστη αντοχή [daN/mm ²]	Υλικό κοπτικού εργαλείου								
		Ταχυχάλυβας						Σκληρομέταλλο		
		Εκχόνδριση			Αποπεράτωση			α [°]	γ [°]	λ [°]
		α [°]	γ [°]	λ [°]	α [°]	γ [°]	λ [°]			
St34 - St37 St42 St50 St60	έως 40 έως 50 έως 60 έως 70	10- 12 8 - 10 8 - 10 6-8	20-26 18-24 16-20 14- 18	8 10 12 15	12- 14 10- 12 10- 12 8- 10	18-22 16-20 14 - 18 12- 16	30	8 - 12 6- 10 6- 10 5-8	16-22 12 - 16 10- 16 8 - 14	5 - 8
St70 St85	έως 80 80- 100	6-8 4-6 10- 14 10- 12	18 20	8- 10 6-8	8- 12 8- 10			4 - 8 4-6	8 - 12 6 - 10	6-8 6- 8
Κεκραμένοι χάλυβες	έως 80 85 - 100 άνω 100	6-8 6-8 4-6	8- 14 8- 12 6-8	18 18 20	8- 10 8 - 10 6-8	8- 12 6- 10 5 - 8		4-8 4- 8 4-6	6 - 10 6-8 6 - 8	6-8 6- 8 8
Ανοξειδωτοι χάλυβες	60-80	6-8	8- 12	-	6- 10	8- 10	-	5	4-6	8
Χάλυβες εργαλείων	150- 180	6-8	6-8	-	4-6	6-8	-	5	4	6
Χυτοχάλυβες	30-70 άνω 70	6-8 6-8	8- 14 8 - 10	-	6- 10 8- 10	10- 16 8- 12	-	5 5	4 - 6 2-4	8 8
Φαισί χυτοσίδηροι: GG-12, GC-14 GG-18,GC-26	έως 22 άνω 22	8- 10 6-8	8- 14 2 - 8	12 20	8- 10 6-8	6- 12 0- 6	30 30	6-8 4 -6	8 - 12 2 - 8	30 30
Μαλακτικοποιημέ νος χυτοσίδηρος		6-8	10- 12		6-8	8- 10				
Λευκός χυτοσίδηρος	65 -90	5 - 8	0-2	-	6-8	0	-	-	-	-
Χαλκός		6-8	10-30	-	8- 10	16-24	-	4 - 8	14-24	-
Κράματα χαλκού: Ορείχαλκος, κρατέρωμα	έως 35 έως 45 άνω 45	8- 10 6-8 4-6	12-25 8 - 16 2-8	-	10- 12 8 - Κ) 6-8	10-20 6- 14 0- 6	-	6-8 4-6 2 -4	10-20 6 - 12 0-2	-
Αργίλιο		10- 12	24-30	-	8- 10	20-24	-	8- 10	20-24	-
Κράματα αργιλίου	έως 1 5 άνω 15	8- 10 6- 8	40 - 50 25 - 35	10 20	6- 10 4-8	30 - 40 20-25	40 50	8- 10 5-8	30 - 40 23-30	45 45

7.3.2 Κινηματική Διαδικασία πλανίσματος

Η διαδικασία πλανίσματος τεμαχίου αναλύεται, όπως έχει γίνει και για τις μέχρι τώρα μελετηθείσες κατεργασίες και κατά τον ίδιο τρόπο καταρτίζεται και το σχετικό φύλλο κατεργασίας (ΦΚ) για κάθε πράξη.

7.3.3. Χρόνος κοπής (σχ. 7.7)

Ο χρόνος κοπής στο πλάνισμα αναφέρεται συνήθως ανά κύκλο κατεργασίας, ο οποίος περιλαμβάνει διαδοχικά την ενεργό και την νεκρά διαδρομή του ελκίθρου ή της τραπέζης της πλάνης.



Σχ. 7.7

Βοηθητικό στοιχεία προσδιορισμού του χρόνου κοπής στο πλάνισμα.

Στο πλάνισμα λέγοντας χρόνο κοπής εννοούμε το χρόνο που χρειάζεται το κοπτικό εργαλείο για να κατεργασθεί (να πλανίσει) μία επιφάνεια μήκους l mm και πλάτους b mm ενός κομματιού. Είναι όμως προφανές, ότι στον υπολογισμό της διαδρομής του κοπτικού εργαλείου L , όπως και της εγκάρσιας (προς τη διεύθυνση της προώσεως) κινήσεως του κατά B , για να καλύψει το πλάτος του κομματιού, θα πρέπει να προβλεφθούν και να προστεθούν αντίστοιχα τα μήκη l_u , l_a , z_l και b_u , b_a , z_b για την προσέγγιση του εργαλείου προς το κομμάτι- και για την απομάκρυνση του από αυτό.

Ούτως, αν οι ταχύτητες u_A και u_R παραμένουν (περίπου) σταθερές κατά την διάρκεια των αντίστοιχων διαδρομών, θα έχουμε

$$i_c = i \frac{B}{s_n} \text{ [min]} \quad (7.21)$$

όπου $B = b + 2z_b + b_a + b_u$ [mm].

Επιπλέον,

$$n' = \frac{1000v_m}{2H} \text{ [κύκλοι ή ενεργοί διαδρομές/min]} \quad (7.22)$$

$$v_m = \frac{2v_A v_R}{v_A + v_R} \text{ [m/min]} \quad (7.23)$$

$$v_m = 2v_A \left(\frac{q}{1+q} \right), \text{ αν } q = \frac{v_R}{v_A} \quad (7.24)$$

και

$$H = l + 2z_l + l_\alpha + l_u \text{ [mm]}$$

v_m είναι η μέση ταχύτητα του ελκθήρου ή τραπέζης της πλάνης κατά την διάρκεια ενός πλήρους κύκλου κατεργασίας.

Θεωρουμένων των σχέσεων (7.22), (7.23) και (7.24), η εξίσωση (7.21) μπορεί να εκφρασθεί, ως ακολούθως:

$$t_c = i \frac{2BH}{1000sv_m} \text{ [min]} \quad (7.25)$$

ή

$$t_c = i \frac{BH}{1000sv_m} \left(\frac{1+q}{q} \right) \text{ [min]} \quad (7.26)$$

Σε περίπτωση μεταβαλλόμενων ταχυτήτων v_A και v_R (σχ. 7.3), η μέση ταχύτητα v_m υπολογίζεται από τις μέσες ταχύτητες v_{Am} και v_{Rm} κατά την σχέση [βλ. και σχέση (7.23)]:

$$1. t_c = t_A + t_R = \frac{H}{v_A} + \frac{H}{v_R} = \frac{H}{v_A} \left[\left(\frac{1+q}{q} \right) \right]. \text{ Ομως, επειδή } v_m = \frac{2H}{t_c}, \text{ προκύπτει:}$$

$$v_m = 2v_A \left(\frac{q}{1+q} \right) \text{ ή } v_m = \frac{2v_A v_R}{v_A + v_R}.$$

$$v_m = \frac{2v_{A_m} v_{R_m}}{v_{A_m} + v_{R_m}} \quad (7.27)$$

και με ανάλογο τρόπο προσδιορίζεται ο χρόνος κοπής.

Κατά το πλάνισμα σε τραπεζοπλάνη επιλέγονται

$$b_\alpha + b_u \cong 6 \text{ mm}, \quad l_\alpha + l_u \cong 200 \text{ mm}$$

και

$q = 1,4-3,5$ (η μικρότερη τιμή λαμβάνεται για μικρές διαδρομές της τραπέζης της πλάνης και η μεγαλύτερη για μεγάλες διαδρομές).

Κατά το πλάνισμα σε βραχεία οριζόντια και κατακόρυφη πλάνη λαμβάνονται

$$b_\alpha + b_u \cong 3 \text{ mm}, \quad l_\alpha + l_u \cong (20-50) \text{ mm}$$

και

$$q = 1,4-2,0$$

7.3.4. Εκλογή παραγόντων της κοπής κατά το πλάνισμα.

Συνιστώμενες γωνίες κοπής των εργαλείων πλάνισματος δόθηκαν στον Πίνακα 7.4.

Στον Πίνακα 7.2. παρατίθενται συστάσεις για επιλογή τιμών της ταχύτητας κοπής v_T (για καθορισμένη ζωή του εργαλείου T σε χρονικές μονάδες), για το πλάνισμα ποικιλίας υλικών με εργαλείο από ταχυχάλυβα ή σκληρομέταλλο, συναρτήσει της προώσεως και με δυνατότητα διορθώσεως της ταχύτητας κοπής για μεταβολές του βάθους κοπής.

Κατά το πλάνισμα δεν χρησιμοποιείται συνήθως υγρό κοπής. Η ψυκτική δράση του υγρού κοπής, ως και η ενέργεια του για απομάκρυνση των αποβλήτων δεν έχει τόση σημασία στο πλάνισμα, όσο σε άλλες κατεργασίες (όπως επί παραδείγματι στην τόννευση). Και, αυτό, γιατί το εργαλείο αποκόπτει κατά την ενεργή μόνο διαδρομή, βρίσκοντας τον χρόνο v' αποψυχθεί, έστω και μερικώς, κατά την νεκρή διαδρομή. Επίσης, το απόβλητο έχοντας, κατά κανόνα, μεγάλο πάχος, συνήθως απομακρύνεται του τεμαχίου μετά από κάθε ενεργή διαδρομή.

Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις πλανίσματος, είναι δυνατόν η χρήση κατάλληλου υγρού κοπής να βελτιώσει την διαστατική ακρίβεια της κατεργασίας, την τραχύτητα επιφάνειας και την ζωή του εργαλείου. Κατά το πλάνισμα χάλυβα χρησιμοποιούνται θειωμένα έλαια, ενώ κατά την κατεργασία κραμάτων χαλκού συνιστάται φωτιστικό πετρέλαιο με 10% περίπου λίπος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2 Συστάσεις τιμών της ταχύτητας κοπής v_c [m/min] για πλάνισμα διαφόρων υλικών

	Ταχύτητα κοπής συναρτήσει της πρόωσης s [mm/κύκλο] και της γωνίας θέσεως της κύριας κόψης κ [°]															Υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου	
	0,16		0,25		0,4		0,63		1		1,6		2,5		4		
	45	60	45	60	45	60	45	60	45	60	45	60	45	60	45		60
P30					75	70	67	63	60	56	53	50					St34 St37 C22
SS			25	20	22	18	18	14	14	11	12	10	10	8	9	7	St42
P30					63	60	56	53	50	47	45	42	40	37	36	33	St50
SS			22	18	18	14	16	12	12	10	10	8	8	6	6	5	C35
P30					53	50	47	45	42	40	37	36					St60
SS			18	14	14	12	12	10	10	8	8	6	6	5			C45
P30					42	40	36	33	30	28	25	24					St70
SS			16	12	12	10	10	8	8	6	6	5	5	4			C60
																	42Cr Mo4
P30					42	40	36	33	30	28	25	24					50Cr V4
SS			12	10	10	8	8	7	7	5,6	5,6	4,5	4,5	4			18Cr Ni6
P30					30	28	25	24	20	19	18	17					34Cr Mo4
SS			10		8	6	6	5	5	4,5	4,5	4					16Mn Cr5
P30					18	17	16	15	14	12	12	11					Mn, CrNi, CrMo
SS			7	5,6	5,6	4,5	4,5	3,6	3,6	3							και άλλοι κεκραμένοι
P30					18	17	16	15	14	12							χάλυβες
P30					8	7,5	7	6	6	5,6	5,3	5	4,5	4			Ανοξειδωτοι χάλυβες
P30					33	32	30	28	26	25	24	22	21	20	18	17	Σκληρός Μη χάλυβας
SS			22	18	20	16	16	12	12	10	10	8	8	6	6	5	GS-15
P30					26	25	24	22	21	20	19	18	16	15	14	12	
SS	53	50	16	12	12	10	10	8	8	7	7	6	6	4,5	4,5	3,6	GS-52
K20			50	47	47	45	45	42	42	40	40	37					
SS	36	33	20	18	14	12	11	10	8	7	7	6	5,6	5	4,5	4	GG-14
K10			32	30	28	26	25	25	24	22	20	20					
SS	40	37	12	11	9	8	7	6	5,6	5	5	4,5	4	3			
K10,K20,P10			33	32	28	26	24	22	20	19							GG-26
SS	50	47	18	17	14	13	11	10	8	7,5	7	6	5,6	5	4,5	4	GTS-35
P20			45	42	40	37	36	33	32	30							
SS	15	14	18	17	14	13	11	10	8	7,5	7	6	5,6	5	4,5	4	GTW-40
K10	335	315	12,5	12	12	11	10	9,5	9	8,5	8	7,5					Λευκός χυτοσίδηρος
K20			315	300	300	280	265	250	250	236	224	212					
SS	200	190	40	37	32	30	25	23	20	19	18	17	16	15			Ορείχαλκος (χυτός)
K20	47	45	180	170	160	150	140	132	125	118	112	106	100	95	90	85	
SS	250	236	36	33	26	25	20	19	16	15							Αργίλιο (χυτό)
K20	53	50	224	212	200	190	180	170	160	150	140	132	125	118	112	106	
SS			47,5	45	42,5	40	37,5	36	32	30	28	26,5	25	23	22	21	Κρατέρωμα

1. Οι τιμές της ταχύτητας κοπής του Πίνακα ισχύουν για ζωή του εργαλείου:

– Σκληρομέταλλο P20, P30, K20 και K10: 240 min. – Ταχυχάλυβα (SS): 60 min

2. Οι τιμές της ταχύτητας κοπής του Πίνακα ισχύουν για βάθος κοπής a μέχρι 2,25mm. Για $a=2,25-7,1$ mm, οι τιμές του Πίνακα λαμβάνονται μικρότερες κατά τον λόγο της σειράς R10(1,26), ενώ για $a=7,1-22,4$ mm κατά τον λόγο της σειράς R5(1,6).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διαμαντούδη Θ. Μηχανουργική τεχνολογία-εργαλειομηχανές, Δ' έκδοση Θεσσαλονίκη 1980.
2. Πετρόπουλος Π, Μαθήματα μηχανουργικής τεχνολογίας θεωρία κ' τεχνολογία μηχανουργικών κατεργασιών των μετάλλων, τεύχος Ι ,έκδοση Α.Π.Θ Θεσσαλονίκη1986.
3. Πετρόπουλος Π, Μηχανουργική τεχνολογία εργαστήριο Ι ,Ίδρυμα Ευγενίδου Αθήνα 1985.
4. Μπουζάκης Κ-Δ. Εισαγωγή στην τεχνολογία μηχανουργικών, εκδόσεις Παχούδη-Γιαπούλη Θεσσαλονίκη 1985.
5. Λαζάρου Ε.Λαζαρίδη, Μηχανουργική τεχνολογία εργαστήριο ΙΙ, Ίδρυμα Ευγενίδου Αθήνα 1954.
6. Παπαδανιήλ Δ.Ελευθερίου, Σφαντζικόπουλου Μ.Μιχαήλ, Μηχανουργική τεχνολογία εργαστήριο ΙΙ, Ίδρυμα Ευγενίδου 1954.
7. Δημητρίου Παύλος, Λάμπρου Γεώργιος, Μηχανουργική τεχνολογία τόμος Β, Διδαθήναι τεχνικής εκπαίδευσης Κύπρου Λευκωσία 1983.

Ευρετήριο κύριων ονομάτων.

Taylor 97
Talysurf 118
Perth-o-Mefer 118,119
J. Watt 157
Kronenberg 209
Gilbert et al 289
Aachen 290
G. Greiner 291

Ευρετήριο όρων –αντικειμένων

Προκαταρκτική κοπή 24
Εκχόνδριση 24
Αποπεράτωση 24
Κινηματική 26
Πρωτεύουσα ή κύρια κίνηση 27
Κίνηση προώσεως 27
Συνισταμένη κίνηση κοπής 28
Ταχύτητα κοπής 29,201,216
Ταχύτητα προώσεως 30
Η πρόωση 30,218
Πρόωση ανά κύρια κόψη 31
Πέρασμα του εργαλείου 31
Συνθήκες κοπής 31
Συνολικός χρόνος κατεργασίας 33
Γωνία αποβλήτου 43,217
Γωνία ελευθερίας 43,217
Γωνία σφήνας 43,217

Ψευδόκοψη 47
Abrasives 83
Ζωή κοπτικού εργαλείου 95
Γαλακτώματα 109
Υδατικά διαλύματα 109
Δειγματοληπτικό μήκος 118
Μέσο ύψος τραχύτητας 119
Επιφανειακή στιβάδα 126
Απαίτηση (α) 153
Απαίτηση (β) 155
Αυτοματοποίηση 158
Κύρια κόψη 175
Δευτερεύουσα κόψη 175
Γωνία λοξότητας 176
Γωνία εκτροπής ή ροής του αποβλήτου 178
Γλύφανση 250

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1 Μέθοδοι βιομηχανικής παραγωγής.	σελ.11
Πίνακας 1.2 Ταξινόμηση των κατεργασιών κοπής.	σελ.21
Πίνακας 1.3 Οι κυριότερες κατεργασίες κοπής.	σελ.22
Πίνακας 1.4 Διάκριση και ονομασία δυνατών κατεργασιών κοπής.	σελ.23
Πίνακας 2.1 Τυπικές μέσες τιμές βασικών ιδιοτήτων υλικών κοπτικών εργαλείων στη θερμοκρασία δωματίου.	σελ.80
Πίνακας 2.2 Προτυποποιημένες τιμές των μεγεθών της τραχύτητας.	σελ.121
Πίνακας 2.3 Συσχέτιση επιτρεπόμενου v τιμών R_a .	σελ.123
Πίνακας 2.4 Παράγοντες κοπής, ιδιότητες και χαρακτηριστικά υλικών.	σελ.132
Πίνακας 4.1 Συνιστώμενες τιμές του δείκτη κατεργαστικότητας U_T κατά την διαμήκη τórνευση.	σελ.215
Πίνακας 4.2 Συντελεστές διορθώσεως των ταχυτήτων u_{60} και u_{240} .	σελ.216
Πίνακας 4.3 Υλικό κοπτικού εργαλείου για διάφορα βάθη κοπής	σελ.216
Πίνακας 4.4 Τιμές της ταχύτητας κοπής U_T και του εκθέτη n .	σελ.217
Πίνακας 4.5 Συστάσεις για διαμήκη τórνευση χυτοσιδήρου με λεπτιδοειδή γραφίτη.	σελ.218
Πίνακας 4.6 Συστάσεις για επιλογή τιμών του δείκτη εκατοστιαίας σχετικής κατεργαστικότητας Z_{100} , για χάλυβες και χυτοσιδήρους.	σελ.219
Πίνακας 4.7 Εκλογή της γωνίας αποβλήτου γ και της γωνίας ελευθερίας α του κοπτικού εργαλείου από ταχυχάλυβα.	σελ.220
Πίνακας 4.8 Εκλογή της γωνίας αποβλήτου γ και της γωνίας ελευθερίας α του κοπτικού εργαλείου από σκληρομέταλλο.	σελ.221
Πίνακας 4.9 Συνιστώμενα υγρά κοπής για διάφορες κατεργασίες και κατεργαζόμενα υλικά.	σελ.221

Πίνακας 4.10 Συνιστώμενες τιμές γωνιών κοπής (α, γ, κ) για εσωτερική τόννευση.	σελ.223
Πίνακας 4.11 Επιλεγόμενες ταχύτητες κοπής u_{240} για εκτελούμενες σε ημιαυτόνομους τόννους κατεργασίες.	σελ.224,225
Πίνακας 4.12 Ταχύτητες κοπής u_{480} για εκτελούμενες σε πυργωτούς αυτόματους τόννους.	σελ.226
Πίνακας 5.1 Κύριες διαστάσεις κατακόρυφων δρέπανων σε [mm].	σελ.234
Πίνακας 5.2 Ονομαστική ισχύς και έτερα χαρακτηριστικά στοιχεία κατακόρυφων δρεπάνων.	σελ.235
Πίνακας 5.3 Συνιστώμενες γωνίες έλικος σ τρυπανιών ως συναρτήσεις της ονομαστικής διαμέτρου του τρυπανιού.	σελ.242
Πίνακας 5.4 Στοιχεία εκλογής τύπου τρυπανιού.	σελ.244
Πίνακας 5.5 Συνιστώμενες τιμές της προώσεως s κατά την διάτρηση διαφόρων υλικών με ελικοειδή τρυπάνια από ταχυχάλυβα.	σελ.249
Πίνακας 5.6 Συνιστώμενες τιμές της προώσεως s κατά την διάτρηση διαφόρων υλικών με ελικοειδή τρυπάνια με κόψεις από σκληρομέταλλο.	σελ.251
Πίνακας 5.7 Επιλεγόμενες τιμές της ταχύτητας κοπής u κατά την διάτρηση.	σελ.254
Πίνακας 5.8 Γεωμετρία γλυφάνου για κατεργασία διαφόρων υλικών.	σελ.256
Πίνακας 5.9 Αριθμός οδόντων μηχανογλυφάνων από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο.	σελ.259
Πίνακας 5.10 Εκλογή τιμών της προώσεως s για γλύφανση διαφόρων υλικών.	σελ.260
Πίνακας 5.11 Συστάσεις επιλογής τιμών της ταχύτητας κοπής u για γλύφανση διαφόρων υλικών.	σελ.261

Πίνακας 6.1 Συνιστώμενος αριθμός δοντιών ζ διαφόρων κοπτήρων συναρτήσει της ονομαστικής τους διαμέτρου.	σελ.278
Πίνακας 6.2 Συνιστώμενες γωνίες κοπής μετωπικών κοπτήρων ένθετων δοντιών.	σελ.279
Πίνακας 6.3 Πεδίο εφαρμογών υλικών κατασκευής κοπτήρων φρεζαρίσματος	σελ.280
Πίνακας 6.4 Τιμές της σταθεράς Cu και των διορθωτικών συντελεστών για μετωπικό φρεζάρισμα χάλυβα.	σελ.292
Πίνακας 6.5 Τιμές των συντελεστών διορθώσεως $K_{u_{sz}}$ K_{u_w} για μετωπικό φρεζάρισμα φαιού χυτοσιδήρου.	σελ.293
Πίνακας 7.1 Συνιστώμενες γωνίες κοπής εργαλείων πλάνισματος.	σελ.314
Πίνακας 7.2 Συστάσεις τιμών της ταχύτητας κοπής v_f για πλάνισμα διαφόρων υλικών.	σελ.318

Ευρετήριο σχημάτων

Σχ.1.1 Κατεργασία και εργαλειομηχανή ως σύστημα α) Διαμόρφωση, β) Κοπή .	σελ.14,15
Σχ.1.2 Κινηματική γενέσεως εσωτερικής κατεργασμένης κυλινδρικής επιφάνειας με εσωτερική τórνευση .	σελ.27
Σχ.1.3 Πρωτεύουσα κίνηση, κίνηση προώσεως και συνθήκες κατεργασίας κατά τη διαμήκη κυλινδρική τórνευση.	σελ.29
Σχ.1.4 Σύστημα συντεταγμένων κατά ISO.	σελ.36
Σχ.1.5 Σύστημα συντεταγμένων κατά ISO α) στον οριζόντιο τόρνο και β) στην οριζόντια ταχυπλάνη.	σελ.40
Σχ.1.6 α) Ορθογωνική κοπή β) Λοξή κοπή γ) Ορθογωνική τórνευση.	σελ.40,41
Σχ.1.7 Χαρακτηριστικές γωνίες, επιφάνειες και μεγέθη κατά την ορθογωνική κοπή.	σελ.42
Σχ.1.8 Τα τρία είδη αποβλήτου.	σελ.44
Σχ.1.9 Πως σχηματίζεται το ασυνεχές απόβλητο.	σελ.45
Σχ.1.10 Χαρακτηριστικά της ψευδόκοψης.	σελ.48
Σχ.1.11 Το σύστημα των δυνάμεων, που ασκούνται στο απόβλητο κατά την ορθογωνική κοπή.	σελ.52
Σχ.1.12 α) Το κυκλικό διάγραμμα των δυνάμεων στην ορθογωνική κοπή β) Το ανωτέρω με θεώρησητων συνιστωσών F'_1 και αντίστοιχης δυνάμεως τριβής.	σελ.54
Σχ.1.13 Οι τρεις ταχύτητες κατά την ορθογωνική κοπή των μετάλλων.	σελ.56
Σχ.1.14 Ζώνες παραγωγής θερμότητας κατά την ορθογωνική κοπή των μετάλλων.	σελ.61
Σχ.1.15 Τυπική κατά προσέγγιση διανομή της παραγόμενης κατά την κοπή των μετάλλων συνολικής θερμότητας σε συνήθεις ταχύτητες κοπής.	σελ.62
Σχ.1.16 Διανομή θερμοκρασιών στο απόβλητο, στο κοπτικό εργαλείο και στο τεμάχιο	σελ.65

Σχ.2.1 Επιρροή της θερμοκρασίας στην σκληρότητα υλικών κοπτικών εργαλείων.	σελ.75
Σχ.2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ζώνης φθοράς και της φθοράς κρατήρα του τυπικού εργαλείου.	σελ.87
Σχ.2.3 Θέση βασικών μηχανισμών φθοράς στο πεδίο θερμοκρασιών κοπής.	σελ.91
Σχ.2.4 Κάθετη τομή μιας κατργασίας με κοπή επιφάνειας.	σελ.113
Σχ.2.5 Κατηγορίες αποκλείσεων μιας κατεργασμένης επιφάνειας από την ονομαστική επιφάνεια.	σελ.115
Σχ.2.6 Χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας επιφάνειας κατά το σύστημα Κεντρικής Γραμμής (M).	σελ.117
Σχ.3.1 Τα κύρια μέρη α) Τόρνου και β) Φρεζομηχανής.	σελ.143
Σχ.3.2 Μέθοδοι μορφοποίησεως μεταλλικών προιόντων και ταξινόμηση των συναφών εργαλειομηχανών.	σελ.146
Σχ.3.3 Διαχρονική εξέλιξη υλικών για κοπτικά εργαλεία με κριτήριο την ταχύτητα κοπής.	σελ.158
Σχ.4.1 Τόρνευση και τόρνος.	σελ.172,173
Σχ.4.2 Σχηματική παράσταση торνεύσεως με πολλά εργαλεία	σελ.174
Σχ.4.3 Το τυπικό εργαλείο торνεύσεως.	σελ.176
Σχ.4.4 Η γωνία ή ροή του αποβλήτου η_c στη λοξή κοπή.	σελ.177
Σχ.4.5 ΥΠΚ υποθετική κίνηση προώσεως.	σελ.180
Σχ.4.6 Οι ονομαστικές γωνίες του τυπικού εργαλείου торνεύσεως κατά ISO και Βρετανική.	
Σχ.4.7 Παράδειγμα γεωμετρικών στοιχείων τυπικού εργαλείου торνεύσεως κατά την αμερικάνικη τυποποίηση.	σελ.181
Σχ.4.8 Σχηματική παράσταση τυποποιημένων μορφών εργαλείων торνεύσεως και παραδείγματα εφαρμογής των.	σελ.183
Σχ.4.9 Μορφές προτυποποιημένων πλακιδίων από σκληρομέταλλο και τρόποι συγκρατήσεώς τους.	σελ.184
Σχ.4.10 Σύμβαση χαρακτηρισμού ενός κοπτικού εργαλείου απλής	

και κύριας κόψης.	σελ.185
Σχ.4.11 α,β) Η κινηματική της εξωτερικής κυλινδρικής κατά μήκος τορνεύσεως, γ) Γεωμετρικά στοιχεία του απαραμόρφωτου αποβλήτου δ) Στοιχεία προσδιορισμού του ισοδύναμου πά- χους h_e του θεωρητικού αποβλήτου στην διαμήκη τórνευση.	σελ.187
Σχ.4.12 Γεωμετρικά στοιχεία συσχετήσεως των συνιστώσεων F_T, F_V και F_R της δυνάμεως κοπής στη διαμήκη τórνευση.	σελ.190
Σχ.4.13 Ανάλυση της δυνάμεως κοπής F .	σελ.191
Σχ.4.14 α) Η γωνία λοξότητας λ_s στο τυπικό εργαλείο τορνεύσεως. β) Επιρροή της γωνίας λοξότητας λ_s στην διεύθυνση ροής του αποβλήτου.	σελ.195
Σχ.4.15 Επίδραση της γωνίας θέσεως κ της κύριας κόψης του εργαλείου.	σελ.197
Σχ.4.16 Επιρροή της ταχύτητας κοπής u στην κύρια συνιστώσα της δυνάμεως κοπής F_T .	σελ.202
Σχ.4.17 Πειραματικές καμπύλες $B=\sigma(t)$.	σελ.204
Σχ.4.18 Πειραματικές καμπύλες μεταβολής του βάθους κρατήρα KT συναρτήσσει του χρόνου κοπής t .	σελ.205
Σχ.4.19 Πειραματικές καμπύλες $K=\sigma(t)$.	σελ.206
Σχ.4.20 Ποιοτικές καμπύλες φθοράς του υλικού του εργαλείου.	σελ.206
Σχ.4.21A Μορφές φθοράς κοπτικών εργαλείων τορνεύσεως.	σελ.208
Σχ.4.21B Καταστροφικές αστοχίες κοπτικών εργαλείων τορνεύσεως.	σελ.208
Σχ.4.22 Η μορφή της καμπύλης $T-u$ για μεγάλο εύρος μεταβολών της ταχύτητας κοπής.	σελ.210
Σχ.4.23 Σύγκριση της σχέσεως $T-u$ για διάφορα υλικά εργαλείων.	σελ.211
Σχ.5.1 Διάτρηση, συναφείς με αυτό κατεργασίες και δράπανο.	σελ.228
Σχ.5.2 Η κινηματική της διατρήσεως.	σελ.229
Σχ.5.3 Το τρυπάνι ως κοπτικό εργαλείο.	σελ.238
Σχ.5.4 Ονοματολογία και γεωμετρία ελικοειδούς τρυπανιού.	σελ.239
Σχ.5.5 Κινήσεις των κύριων κόψεων του τρυπανιού κατά την κοπή και σχετικές ενεργοί γωνίες κοπής.	σελ.242
Σχ.5.6 Τύποι και μορφές τρυπανιών εξαρτώμενες από το είδος του προς κατεργασία μετάλλου.	σελ.242
Σχ.5.7 Η πειραματική σχέση $I_\sigma = \sigma(u)$.	σελ.246

Σχ.5.8 Ονοματολογία και γεωμετρία γλυφάνου ελικοειδών οδόντων από ταχυχάλυβα.	σελ.254
Σχ.5.9A Διαμόρφωση γλυφάνων στο εμπρόσθιο μέρος τους.	σελ.255
Σχ.5.9B Κατά μήκος διαμόρφωση μηχανογλυφάνου.	σελ.256
Σχ.5.10 Γλύφανα σταθερής διαμέτρου.	σελ.256
Σχ.5.11 Γλύφανα ρυθμιζόμενης διαμέτρου.	σελ.257
Σχ.5.12 Άνισο βήμα οδοντώσεως γλυφάνου για καλύτερη λειτουργία του.	σελ.258
Σχ.6.1 Φρεζάρισμα και οι φρεζομηχανές.	σελ.264
Σχ.6.2 α) Διάγραμμα της κινήσεως των δοντιών κοπτήρα φρεζαρίσματος σε σχέση με το τεμάχιο β) Συνιστώσες της ταχύτητας κατά την κυκλική και κυκλοειδή κίνηση.	σελ.266
Σχ.6.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία μετωπικού φρεζαρίσματος.	σελ.268
Σχ.6.4 Στοιχεία προσδιορισμού του μέσου θεωρητικού πάχους του αποβλήτου κατά το μετωπικό φρεζάρισμα.	σελ.270
Σχ.6.5 Βοηθητικό σχήμα προσδιορισμού του ρυθμού αφαιρέσεως του μετάλλου.	σελ.271
Σχ.6.6 Ονοματολογία κοπτήρα μετωπικού-περιφερικού φρεζαρίσματος.	σελ.272
Σχ.6.7 Γεωμετρία μετωπικού κοπτήρα ένθετων δοντιών.	σελ.273,274
Σχ.6.8 Τυπικά είδη κοπτήρων φρεζαρίσματος.	σελ.275
Σχ.6.9 Νομογράφημα υπολογισμού γωνιών μετωπικού κοπτήρα φρεζαρίσματος.	σελ.276
Σχ.6.10 Μέθοδοι και χαρακτηριστικά στοιχεία περιφερικού φρεζαρίσματος.	σελ.280
Σχ.6.11 Μορφολογία του αποβλήτου κατά το περιφερικό φρεζάρισμα με κοπτήρα ευθέων δοντιών(α) και με κοπτήρα ελικοειδών δοντιών(β).	σελ.284
Σχ.6.12 Ονοματολογία κοπτήρα περιφερικού φρεζαρίσματος.	σελ.285
Σχ.6.13 Γεωμετρία περιφερικού κοπτήρα.	σελ.286
Σχ.6.14 Το μέγιστο πλάτος της ζώνης φθορά B, ως συνάρτηση του θεωρητικού μήκους αποβλήτου L_{σ} κατά το α) το αντίρροπο και β) το ομόρροπο φρεζάρισμα.	σελ.294
Σχ.6.15 Συγκριτικά διαγράμματα B_1 , L_{σ} για αντίρροπο και ομόρροπο φρεζάρισμα.	σελ.295

Σχ.6.16 Καταγραφήματα της φθοράς κρατήρα.	σελ.296
Σχ.6.17 Τραχύτητα επιφάνειας κατά το μετωπικό φρεζάρισμα.	σελ.298
Σχ.6.18 Τοπομορφία επιφάνειας κατά το περιφερικό φρεζάρισμα με κοπήρα πολλών οδόντων.	σελ.300
Σχ.7.1 Πλάνισμα με βραχεία πλάνη ή ταχυπλάνη και σχηματική παράσταση βραχείας πλάνης.	σελ.303
Σχ.7.2 α) Η κατακόρυφη βραχεία πλάνη. β) Κινηματική του πλανίσματος σε κατακόρυφη βραχεία πλάνη.	σελ.304
Σχ.7.3 Βοηθικά στοιχεία προσδιορισμού της ταχύτητας του ελκήθρου βραχείας πλάνης.	σελ.305
Σχ.7.4 Στοιχεία για τη θεωρητική διατομή και το πάχος του αποβλήτου στο πλάνισμα.	σελ.310
Σχ.7.5 Είδη κοπτικών εργαλείων πλανίσματος.	σελ.311
Σχ.7.6 Τρόποι προσδέσεως εργαλείων πλανίσματος.	σελ.312,313
Σχ.7.7 Βοηθητικά στοιχεία προσδιορισμού του χρόνου κοπής στο πλάνισμα.	σελ.315

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ Τυποποίηση ανθρακούχων χαλύβινων εργαλείων.

Αριθμός προτύπου	Συμβολισμός DIN	Χημική σύνθεση					Αμερικανική τυποποίηση	
		C [%]	Si [%]	Mn [%]	P ≤ [%]	S ≤ [%]	Κατηγορία	AISI*
1.1520	C 70 W1	0,65-0,75	0,10-0,25	0,10-0,35	0,025	0,025	110 Spec.	W 1-0,8 C
1.1530	C 85 W1	0,80-0,90	0,10-0,25	0,10-0,30	0,025	0,025	110 Std.	W 1-0,9 C
1.1540	C 100 W1	0,95-1,05	0,10-0,25	0,10-0,25	0,025	0,025	110 Std.	W 1-1,0 C
1.1550	C 110 W1	1,05-1,15	0,10-0,25	0,10-0,25	0,025	0,025	110 Spec.	W 1-1,2 C
1.1560	C 125 W1	1,20-1,35	0,10-0,25	0,10-0,25	0,025	0,025		
1.1620	C 70 W2	0,65-0,75	0,10-0,30	0,10-0,35	0,030	0,030	110 Extra	W 1-0,8 C
1.1630	C 85 W2	0,80-0,90	0,10-0,30	0,10-0,35	0,030	0,030	110 Extra	W 1-0,9 C
1.1640	C 100 W2	0,95-1,05	0,10-0,30	0,10-0,35	0,030	0,030	110 Extra	W 1-1,0 C
1.1650	C 110 W2	1,05-1,15	0,10-0,30	0,10-0,35	0,030	0,030	110 Extra	W 1-1,2 C
1.1660	C 125 W2	1,20-1,35	0,10-0,30	0,10-0,35	0,030	0,030		
1.1740	C 60 W3	0,56-0,64	0,15-0,40	0,60-0,80	0,035	0,035		
1.1744	C 67 W3	0,64-0,72	0,15-0,40	0,60-0,80	0,035	0,035		
1.1750	C 75 W3	0,72-0,82	0,15-0,40	0,60-0,80	0,035	0,035		
1.1760	C 90 W3	0,85-0,95	0,15-0,40	0,40-0,60	0,035	0,035		
1.1820	C 55 WS	0,50-0,57	≤ 0,15	0,30-0,50	0,030	0,030		
1.1822	C 80 WS	0,78-0,83	0,08-0,15	0,20-0,32	0,030	0,030	110 Std.	W 1-0,8 C
1.1830	C 85 WS	0,80-0,90	0,25-0,40	0,50-0,70	0,025	0,025		
1.1840	C 87 WS	0,82-0,90	0,25-0,40	0,50-0,70	0,025	0,020		

* AISI: American Iron and Steel Institute.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Στοιχεία θερμοκλών καταργισιόν και θερμοπλαστικής σφραγισιόν χαλιβίων εργαλείων.

Αριθμός προτύπου	Θερμοπλαστική [°C]	Ανάπτυξη [°C]	Σκληρότητα ανωπετημένου		Μέγιστη ανωπετημένου		Βαφή σε			Σκληρότητα μετά βαφή [RHIN.] ²	Επαναφορά [°C]
			Ράβδος	Ελασματο	Ράβδος	Ελασματο	[BHN] ¹	≤ [daN/mm ²]	[°C]		
1.1520	1000-800	680-710	190	-	65	-	790-820	.	-	63	180-300
1.1560	1000-800	680-710	190	-	65	-	780-810	.	-	64	180-300
1.1540	1000-800	680-710	190	248	85	85	770-800	.	-	65	180-300
1.1550	1000-800	680-710	195	-	67	-	760-790	.	-	65	180-300
1.1560	1000-800	680-710	210	-	72	-	760-790	.	-	65	180-300
1.1620	1000-800	680-710	190	225	65	78	790-820	.	-	63	180-300
1.1630	1000-800	680-710	190	-	65	-	780-810	.	-	64	180-300
1.1640	1000-800	680-710	190	-	65	-	770-800	.	-	65	180-300
1.1650	1000-800	680-710	195	-	67	-	760-790	.	-	65	180-300
1.1660	1000-800	680-710	210	-	72	-	760-790	.	-	65	180-300
1.1740	1050-800	680-710	207	-	71	-	800-830	.	.	58	180-300
1.1744	1000-800	680-710	217	246	74	85	800-830	.	.	60	180-300
1.1750	1000-800	680-710	217	-	74	-	780-810	.	-	62	180-300
1.1760	1000-800	680-710	225	248	78	85	780-810	.	-	63	180-300
1.1820	1100-800	680-710	170	-	58	-	790-820	.	-	60	180-300
1.1822	1000-800	680-710	190	-	65	-	800-830	.	-	60	180-300
1.1830	1000-800	680-710	(225)	248	(78)	85	800-830	.	.	60	180-300
1.1840	1000-800	680-710	(225)	248	(78)	85	800-830	.	.	61	180-300

1. Αριθμός σκληρότητας κατά Brinell.

2. Αριθμός σκληρότητας κατά Rockwell C.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Θερμικές μεταπτώσεις κερμαμένων χαλύβων κοπτικών εργαλείων (πλήν ταχυχαλύβων).

Αριθμός προτύπου	Θερμότητα [°C]	Απόπτηση [°C]	Σκληρότητα [BHIN]	Βαφή				Επαναφορά [°C]	Σκληρότητα [(RHN)]				
				Νερά	Αάβι	Άσρας	[°C]		Βαμ-μίνος	100	200	300	400
1.2002	1000-800	700-720	200	*	-	-	180-200	66	63	57	50	-	
1.2003	1000-800	700-720	200	*	-	-	180-200	66	60	52	43	-	
1.2004	1050-850	680-720	211	-	-	-	150-300	65	64	56	50	-	
1.2059	1000-800	710-740	211	-	-	-	100-200	64	64	57	51	-	
1.2063	1050-850	750-780	223	-	-	-	150-250	64	64	60	56	-	
1.2067	1050-850	740-770	211	-	-	-	100-180	64	64	60	-	-	
1.2080	1050-850	800-830	231	-	*	*	180-250	63	62	60	58	-	
1.2108	1050-850	710-740	230	-	-	-	180-250	65	62	58	54	-	
1.2109	1050-850	710-740	231	-	-	-	180-250	64	62	58	-	-	
1.2201	1050-850	800-830	231	-	-	-	180-250	64	63	60	58	-	
1.2206	1000-850	710-740	211	-	-	-	100-150	66	65	62	58	-	
1.2210	1050-850	710-740	211	-	-	-	180-250	64	61	58	-	-	
1.2235	1050-800	680-710	250	-	-	-	180-300	63	60	55	50	45	
1.2376	1100-800	820-850	250	-	-	-	180-500	62	61	59	57	58	
1.2378	1000-850	870-900	255	-	-	-	550-570	63	62	61	59	62	
1.2436	1000-850	800-830	239	-	-	-	180-250	64	64	60	58	-	
1.2442	1050-850	710-750	219	-	-	-	180-250	66	65	60	55	-	
1.2516	1050-850	710-740	219	-	-	-	180-250	65	65	60	-	-	
1.2631	1100-850	750-800	228	-	-	-	180-300	58	58	57	56	55	
1.2842	1050-850	690-720	211	-	-	-	150-250	64	62	58	-	-	