

10. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΟΠΗΣ

10.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου διακρίνονται στις **κατεργασίες κοπής** και στις **μη συμβατικές κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου** (με θερμική, ηλεκτρική χημική ή άλλη μέθοδο).

Στις κατεργασίες κοπής που θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια, αφαιρείται προοδευτικά υλικό από το **ακατέργαστο τεμάχιο** με τη βοήθεια **κοπτικού εργαλείου**, υπό μορφή **αποβλήτων (γρεζιών)**, λόγω **πλαστικής παραμόρφωσης** του υλικού. Τόσο το ακατέργαστο τεμάχιο όσο και το κοπτικό εργαλείο έχουν συγκεκριμένο σχήμα και υλικό κατασκευής. Η πραγματοποίηση της κατεργασίας γίνεται με τη βοήθεια μιας εργαλειομηχανής η οποία εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Παρέχει την **αναγκαία ισχύ** για την κατεργασία
- **Συγκρατεί με ασφάλεια** τόσο το τεμάχιο όσο και το εργαλείο.
- Εκτελεί τις αναγκαίες **κινήσεις** τόσο του τεμαχίου όσο και του εργαλείου για την επίτευξη της επιθυμητής σχετικής τους θέσης και κίνησης.
- Παρέχει την αναγκαία και δυνατή **ποιότητα επιφάνειας** και ποιότητα **ανοχών** (σε συνδυασμό με τις ικανότητες του τεχνίτη).
- Εξασφαλίζει την **αναγκαία αξιοπιστία** για την εξασφάλιση οικονομικής απόδοσης.

Συνεπώς οι εργαλειομηχανές θα πρέπει να περιλαμβάνουν

- **δομικά στοιχεία** (βάση, κορμός, κ.α.)
- **συγκρότημα ισχύος**,
- συσκευές **συγκράτησης τεμαχίου και εργαλείων**,
- συγκροτήματα **μετάδοσης κίνησης**,
- στοιχεία **οδήγησης της κίνησης**,
- στοιχεία **ελέγχου**
- στοιχεία **προστασίας** από βλάβες.

Όλα αυτά κατασκευασμένα με κατάλληλη ποιότητα ανοχών.

Οι εργαλειομηχανές διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες:

- Ως προς το είδος της κατεργασίας που εκτελούν (τόρνοι, φρέζες, δράπανα πλάνες κ.α..)
- Ως προς την πρωτεύουσα κίνησή τους (περιστροφική ή ευθύγραμμη).
- Ως προς το βαθμό εξειδίκευσης (γενικής χρήσεως, ειδικές, εξειδικευμένες, μεταφοράς).
- Ως προς την ακρίβεια κατεργασίας (συνήθους ακριβείας, ακριβείας, μεγάλης ακριβείας, υψίστης ακριβείας).
- Ως προς το βάρος (ελαφρές - <1 ton -, μέσου βάρους - <10 ton -, βαριές - >10 ton -).

- Ως προς τον αυτοματισμό (κοινές, ημιαυτόματες - αυτόματες κινήσεις - , αυτόματες – αυτόματες κινήσεις και τροφοδοσία -).

Αντίστοιχα, οι κατεργασίες κοπής ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες:

- Κατεργασίες ενός ή περισσότερων περασμάτων.
- Κατεργασίες με εργαλείο μιας ή περισσότερων όψεων.
- Κατεργασίες με μορφή εργαλείου γεωμετρικώς καθορισμένη ή ακαθόριστη.
- Κατεργασίες με ένα ή περισσότερα εργαλεία (σε ταυτόχρονη χρήση)
- Συνεχείς ή διακοπτόμενες κατεργασίες.
- Με μεταφορική ή περιστροφική πρωτεύουσα κίνηση
- Ανάλογα με το είδος της εργαλειομηχανής (δράπανο, τόννος, φρέζα, πλάνη, κ.α.)
- Ανάλογα με την ακρίβεια μορφής, διαστάσεων και τραχύτητας σε υψίστης, υψηλής, μέσης, χαμηλής ή μέτριας ακρίβειας **ή ποιοτικής δυναμικότητας**.
- Ανάλογα με τον ρυθμό αφαιρέσεως του μετάλλου σε υψηλής μέσης και χαμηλής **παραγωγικότητας ή ποσοτικής δυναμικότητας κατεργασίας**.

Οι κατεργασίες κοπής σε σχέση με τις κατεργασίες διαμόρφωσης δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια μορφής και διαστάσεων, καλύτερη τραχύτητα επιφάνειας με μεγαλύτερο όμως κόστος. Οι κατεργασίες διαμορφώσεως επειδή ενέχουν μεγάλο αρχικό κόστος εργαλείων απαιτούν μεγάλο αριθμό κομματιών στην παραγωγή για επιμερισμό του κόστους αυτού. Σε μικρό αριθμό κομματιών υπερτερούν οι κατεργασίες κοπής. Στις κατεργασίες διαμόρφωσης έχουμε πλαστική παραμόρφωση όλης της μάζας του υλικού και ανάλογη αλλαγή των ιδιοτήτων του. Στις κατεργασίες κοπής η πλαστική παραμόρφωση περιορίζεται στην κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου.

Οι κατεργασίες κοπής, όπως αναφέρθηκε, έχουν μεγαλύτερο κόστος από τις κατεργασίες διαμόρφωσης. Η μείωση του κόστους επιτυγχάνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

- Ελαχιστοποίηση του χρόνου κατεργασίας.
- Σωστή επιλογή και χρήση των εργαλείων για αύξηση του ορίου ζωής τους.
- Οικονομία ενέργειας.
- Κατάλληλες συνθήκες κοπής για σωστό συνδυασμό υλικών τεμαχίου – εργαλείου και μεθόδου κατεργασίας

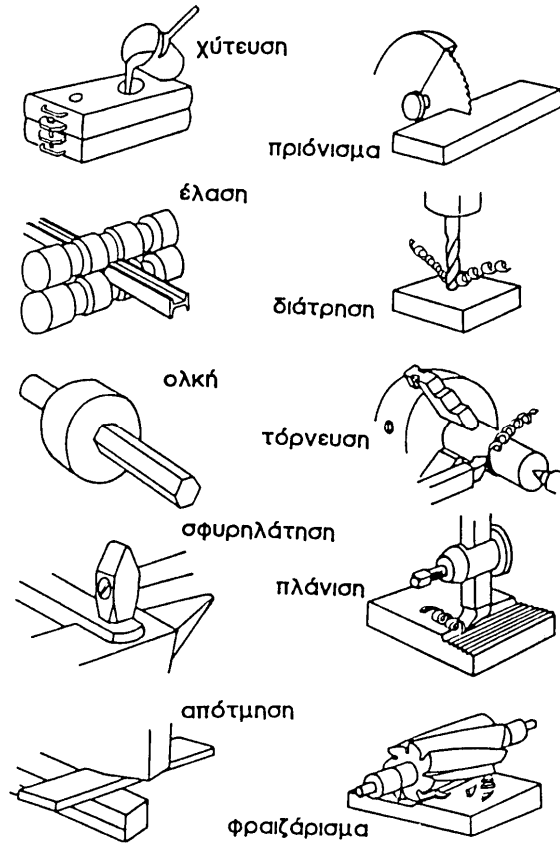
Η κατεργασία με αφαίρεση υλικού ενός τεμαχίου ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

- **Προκαταρκτική κοπή** (αρχική κατεργασία), για την απομάκρυνση άχρηστων στρωμάτων υλικού, (ή την κοπή τεμαχίων από μεγαλύτερα τμήματα, π.χ. σωλήνες).
- **Εκχόνδριση** (ή βασική κατεργασία), όπου με συνεχή περάσματα του

κοπτικού εργαλείου, επιτυγχάνεται σχεδόν η τελική του μορφή (αφήνοντας όμως λίγο πάχος υλικού για την τελική κατεργασία. Στη φάση αυτή έχουμε υψηλή παραγωγικότητα, αλλά χαμηλή ποιοτική δυναμικότητα.

- **Αποπεράτωση ή φινιρίσμα** (τελική κατεργασία), που περιλαμβάνει σειρά από κατεργασίες για την επίτευξη των τελικών γεωμετρικών διαστάσεων με την επιθυμητή τραχύτητα επιφάνειας, ποιότητα ανοχών και επιφανειακών ιδιοτήτων. Στη φάση αυτή έχουμε χαμηλή παραγωγικότητα αλλά υψηλή ποιοτική δυναμικότητα.

ΣΧΗΜΑ 10.1:

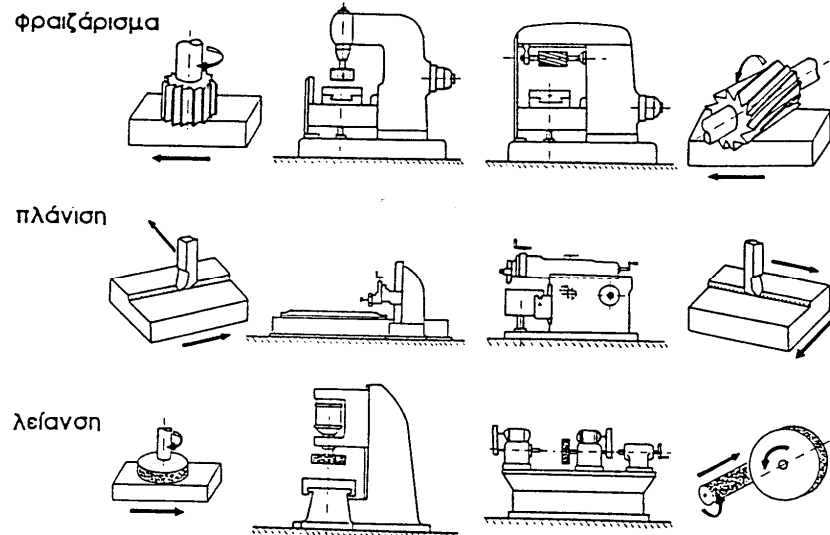


Οι βασικές κατεργασίες κοπής είναι οι ακόλουθες:

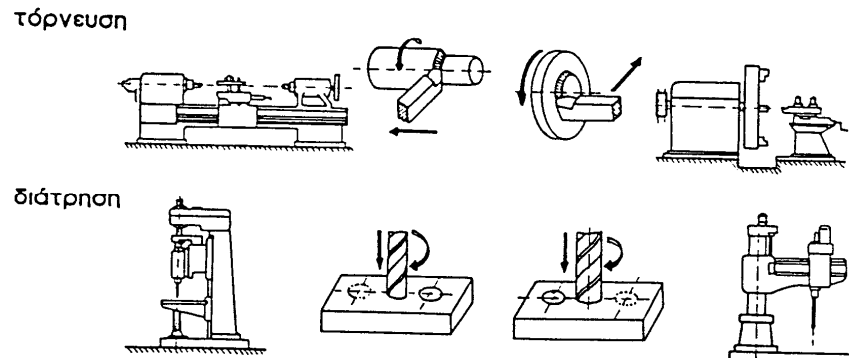
- **Τόρνευση** (Turning)
- **Διάτρηση** (Drilling), (γλύφανση, εμβύθιση, εσωτερική σπειροτόμηση)
- **Φρεζάρισμα** (Milling)
- **Πλάνισμα** (Planing)
- **Αυλάκωση ή διάνοιξη** (Broaching)
- **Πριόνισμα** (Sawing)
- **Κοπή οδοντώσεων**
- **Σπειροτόμηση**
- **Λείανση** (abrasive machining)
- **Χόνινγκ** (honing)
- **Λάμπινγκ** (lapping)
- **Υπερλείανση**

Οι τελευταίες τέσσερις κατεργασίες που αφορούν σε είδη λείανσης γίνονται με γεωμετρικώς **ακαθόριστη** μορφή κοπτικού εργαλείου, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες που πραγματοποιούνται με **γεωμετρικώς καθορισμένη** μορφή εργαλείου.

ΣΧΗΜΑ 10.2:



ΣΧΗΜΑ 10.3:



	ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΚΙΝΗΣΗ ΚΟΠΤΙΚΟΥ				
		ΑΚΙΝΗΣΙΑ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ	ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ	ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ
ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΕΜΑΧΙΟΥ	ΑΚΙΝΗΣΙΑ		ΠΛΑΝΙΣΜΑ		ΔΙΑΤΡΗΣΗ
	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ	ΠΛΑΝΙΣΜΑ (τραπαιζοπλάνη)		ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ	
	ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ		ΤΟΡΝΕΥΣΗ		
	ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ			ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ ΚΥΛΙΣΕΩΣ	

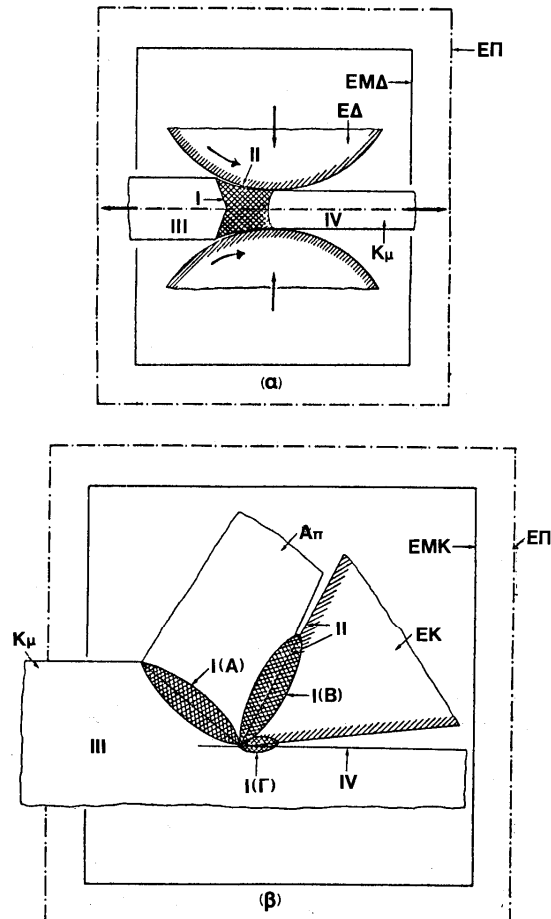
Οι κατεργασίες διαμορφώσεως και κοπής θεωρούνται ως σύστημα το **Μηχανουργικό σύστημα**. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει το τεμάχιο, το εργαλείο, την εργαλειομηχανή, την κατεργασία και το περιβάλλον

Τα χαρακτηριστικά του Μηχανουργικού συστήματος είναι:

- Η ζώνη (ή οι ζώνες) πλαστικής παραμόρφωσης.
- Οι τριβολογικές συνθήκες στις επιφάνειες επαφής εργαλείου – κομματιού και εργαλείου – αποβλήτου.
- Οι ιδιότητες του αρχικού ανέπαφου κομματιού προ της κατεργασίας.

- Οι ιδιότητες του κομματιού κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.
- Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του κατεργασμένου κομματιού (επιφανειακή μεταβολή σε κατεργασίες κοπής ή μεταβολή σε όλη του τη μάζα σε κατεργασίες παραμόρφωσης).
- Ο περιβάλλον χώρος και η λοιπή διαδικασία παραγωγής.

ΣΧΗΜΑ 10.4:



Οι ιδιότητες του αρχικού κομματιού που επηρεάζουν την κατεργασία του (και ειδικά την πλαστική συμπεριφορά του) είναι:

- **Μεταλλογνοσιακές** ιδιότητες (κρυσταλλική δομή, φάσεις, ομοιογένεια, προσμίξεις, ατέλειες κρυσταλλικής δομής, μέγεθος κόκκων, υπάρχουσες παραμορφώσεις κ.α.)
- **Μηχανικές** ιδιότητες (όριο διαρροής, όριο θραύσης, παραμόρφωση θραύσης, σκληρότητα, δυσθραυστότητα, συμπεριφορά σε ερπυσμό, κράτυνση λόγω πλαστικής παραμόρφωσης κ.α.)
- **Φυσικές και χημικές** ιδιότητες του υλικού.

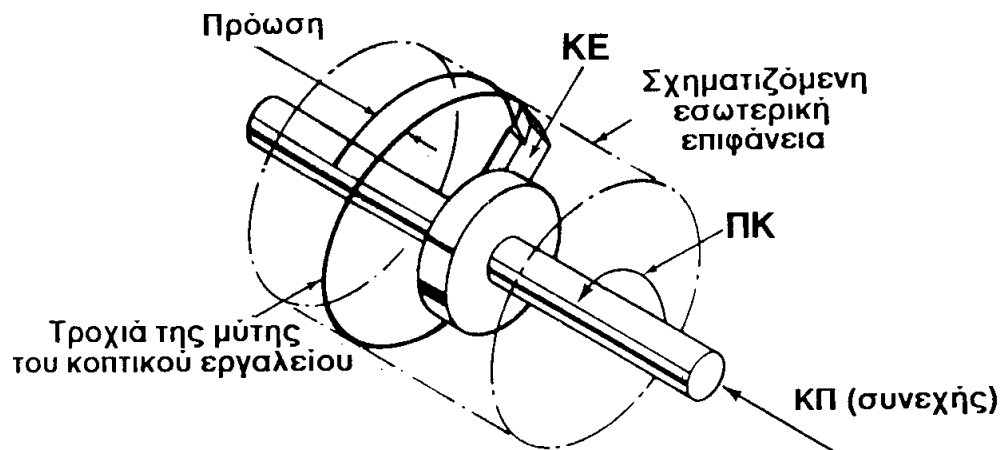
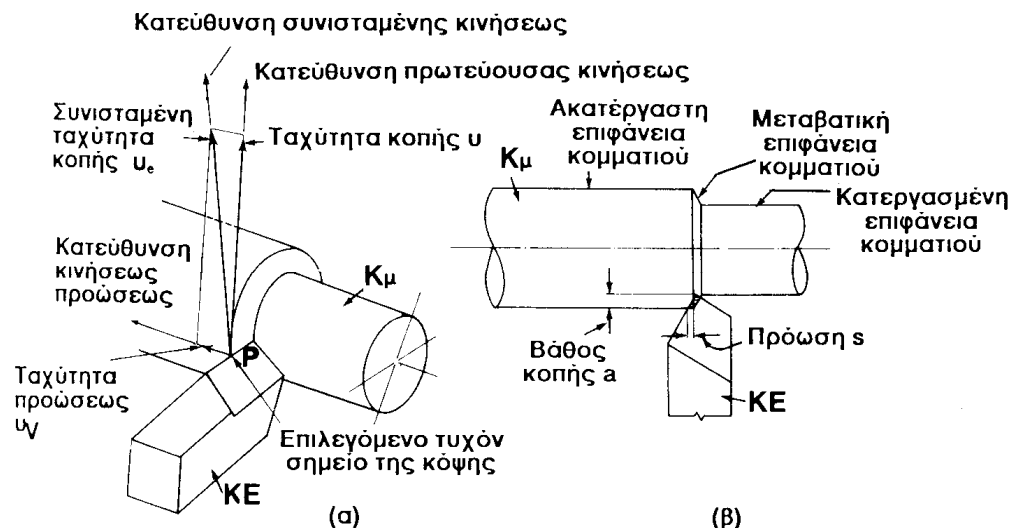
10.2 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ

Για να πραγματοποιηθεί η κοπή πρέπει να λαμβάνει χώρα σχετική κίνηση μεταξύ τεμαχίου και κοπτικού εργαλείου με τέτοιο τρόπο ώστε το εργαλείο να εισχωρεί στο τεμάχιο. Η σχετική αυτή κίνηση εργαλείου – τεμαχίου

επιτυγχάνεται με δύο θεμελιώδεις κινήσεις:

- την Πρωτεύουσα Κίνηση και
- την Κίνηση Προώσεως.

Πρωτεύουσα ή κύρια κίνηση είναι εκείνη που δίνεται στο εργαλείο ή στο τεμάχιο μέσω της κύριας ατράκτου της εργαλειομηχανής. Συνήθως αυτή είναι που απορροφά και το μεγαλύτερο τμήμα της ισχύος. Η κίνηση προώσεως είναι συνήθως μεταφορική και δίνεται είτε στο τεμάχιο είτε στο εργαλείο. Ο συνδυασμός τους δίνει τη συνισταμένη κίνηση κοπής, η οποία δημιουργεί με την αφαίρεση υλικού την τελική επιφάνεια του κατεργασμένου τεμαχίου. Η κίνηση προώσεως μπορεί να είναι συνεχής (τόρνος) ή διακοπτόμενη (πλάνισμα). Για την κίνηση προώσεως απαιτείται συνήθως μικρό ποσοστό της ισχύος.

ΣΧΗΜΑ 10.5:**ΣΧΗΜΑ 10.6:**

Οι δύο θεμελιώδεις κινήσεις μπορεί να κατανέμονται μεταξύ τεμαχίου και εργαλείου (φρεζάρισμα, τόννευση), μπορεί να εκτελούνται όμως και οι δύο από το εργαλείο (διάτρηση).

Μα βάση τις δύο κινήσεις και τη συνιστάμενη κίνηση, μπορούμε να ορίσουμε τις **στιγμαϊκές κατευθύνσεις** της πρωτεύουσας κίνησης, της κίνησης

προώσεως και της συνιστάμενης κίνησης. Οι κατευθύνσεις αυτές αναφέρονται σε **ορισμένο σημείο** της κόψης του εργαλείου.

Ορίζουμε ως **ταχύτητα κοπής v** τη στιγμιαία ταχύτητα της πρωτεύουσας κίνησης σε κάποιο σημείο της κόψης του εργαλείου (m/min για τórνευση διάτρηση, πλάνισμα, φρεζάρισμα, m/s για λείανση).

Ανάλογα ορίζεται η **ταχύτητα προώσεως v_v** ως η στιγμιαία ταχύτητα κατά την κατεύθυνση προώσεως ορισμένου σημείου στην κόψη του εργαλείου. Μετράται σε mm/min και έχει νόημα μόνο για συνεχή κίνηση. Η **συνιστάμενη ταχύτητα κοπής v_c** είναι πρακτικά ίση με τη ταχύτητα κοπής γιατί η ταχύτητα προώσεως είναι πολύ μικρότερη.

Επειδή σε περιστρεφόμενα τεμάχια με τη μεταβολή της διαμέτρου η ταχύτητα κοπής μεταβάλλεται, θεωρούμε, κατά σύμβαση, σαν ταχύτητα κοπής τη **μέγιστη**.

Ορίζουμε ως **πρόωση s** τη σχετική μετατόπιση του εργαλείου ή του τεμαχίου (ως προς το τεμάχιο ή το εργαλείο αντίστοιχα) στην κατεύθυνση προώσεως σε μια περιστροφή (ή σε μία ενεργό διαδρομή. Για κοπτικά εργαλεία με πολλές κύριες κόψεις, χρησιμοποιούμε την **πρόωση ανά δόντι ή ανά κύρια κόψη s_z** .

Αν n οι στροφές ανά λεπτό και z ο αριθμός των δοντιών, τότε ισχύει:

$$v_v = ns = zns_z$$

Βάθος κοπής a είναι η απόσταση μεταξύ ακατέργαστης και κατεργασμένης επιφάνειας.

Ο Ρυθμός αφαίρεσης μετάλλου είναι ο δείκτης της παραγωγικότητας και δίδεται ως

$$\Theta = Av \text{ [cm}^3\text{/min]}$$

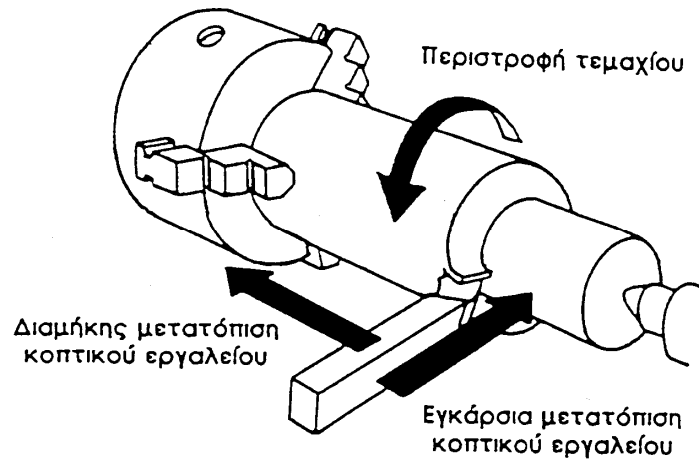
Όπου A η θεωρητική διατομή του αποβλήτου. Για την περίπτωση του τórνου η θεωρητική διατομή του αποβλήτου γίνεται:

$$A = a s$$

Έτσι για την αύξηση της παραγωγικότητας απαιτείται αύξηση της ταχύτητας κοπής (χρήση σκληρών κοπτικών) και αύξησης της θεωρητικής επιφάνειας του αποβλήτου (χρήση στιβαρών εργαλειομηχανών).

Ο χρόνος κοπής περιλαμβάνει τον καθαρό χρόνο κοπής συν τους χρόνους προσέγγισης και απομάκρυνσης. Ο συνολικός χρόνος κατεργασίας περιλαμβάνει επιπλέον και το χρόνο που απαιτείται για διάφορες βοηθητικές εργασίες (μετρήσεις, σύνδεση και αποσύνδεση τεμαχίου και εργαλείου κ.α.).

ΣΧΗΜΑ 10.7: Οι κινήσεις τεμαχίου και κοπτικού εργαλείου στον τόρνο.



10.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των διαφόρων κινήσεων στις εργαλειομηχανές (κυρίως για τον ψηφιακό τους έλεγχο) είναι **δεξιόστροφο τρισσορθογώνιο** και έχει τυποποιηθεί κατά ISO και DIN. Οι τρεις άξονες X, Y, Z αντιστοιχούν στις δυνατές μεταφορικές κινήσεις (ταχύτητες U, V, W αντίστοιχα), ενώ σε κάθε άξονα αντιστοιχεί μία **δεξιόστροφη** περιστροφική κίνηση γύρω από αυτόν (A, B, C αντίστοιχα). Έχουμε δηλαδή **6 βαθμούς ελευθερίας** στο σύστημα.

Ο άξονας **Z** είναι πάντα παράλληλος με την κύρια άτρακτο της εργαλειομηχανής που παρέχει την πρωτεύουσα κίνηση.

Ο άξονας **X** συνήθως λαμβάνεται οριζόντιος. Σε εργαλειομηχανές με περιστροφή του τεμαχίου (τόρνος), ο X είναι ακτινικός ως προς το τεμάχιο και παράλληλος στην οριζόντια επιφάνεια του εργαλειοφορείου, με θετική φορά αυτή που απομακρύνεται από τον άξονα περιστροφής.

Στην περίπτωση που περιστρέφεται το εργαλείο (φρέζα, δράπανο) τότε έχουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

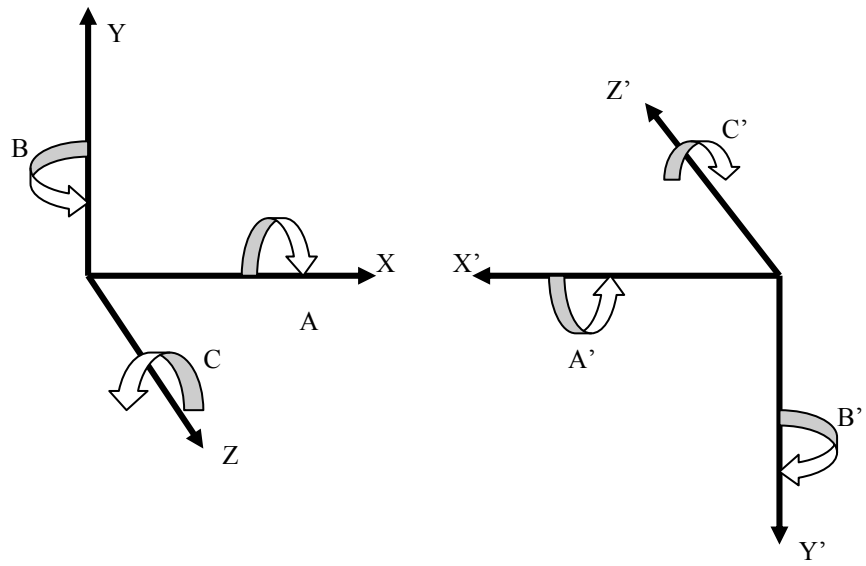
- Για **οριζόντιο Z** (οριζόντια φρέζα) η θετική φορά του X είναι προς τα δεξιά του παρατηρητή που βλέπει από την κύρια άτρακτο προς το τεμάχιο.
- Για **κατακόρυφο Z** (κατακόρυφη φρέζα, δράπανο) ο θετικός X είναι προς τα δεξιά παρατηρητή που στέκεται στην κύρια άτρακτο και βλέπει προς τον ορθοστάτη της εργαλειομηχανής.

Η κατεύθυνση του **Y** είναι πλήρως ορισμένη από τις άλλες δύο με βάση το τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων.

Οι κινήσεις του κομματιού περιγράφονται πάλι με τρισσορθογώνιο κανονικό σύστημα με αντίθετες όμως φορές. Οι χαρακτηρισμοί είναι αντίστοιχοι αλλά τονούμενοι (π.χ. X', Y', Z', A', B', C'). Η αντιστροφή των αξόνων συμβαδίζει με το γεγονός ότι το αποτέλεσμα είναι το ίδιο είτε με θετική κίνηση του εργαλείου είτε με θετική κίνηση (στον αντίθετο άξονα) του τεμαχίου.

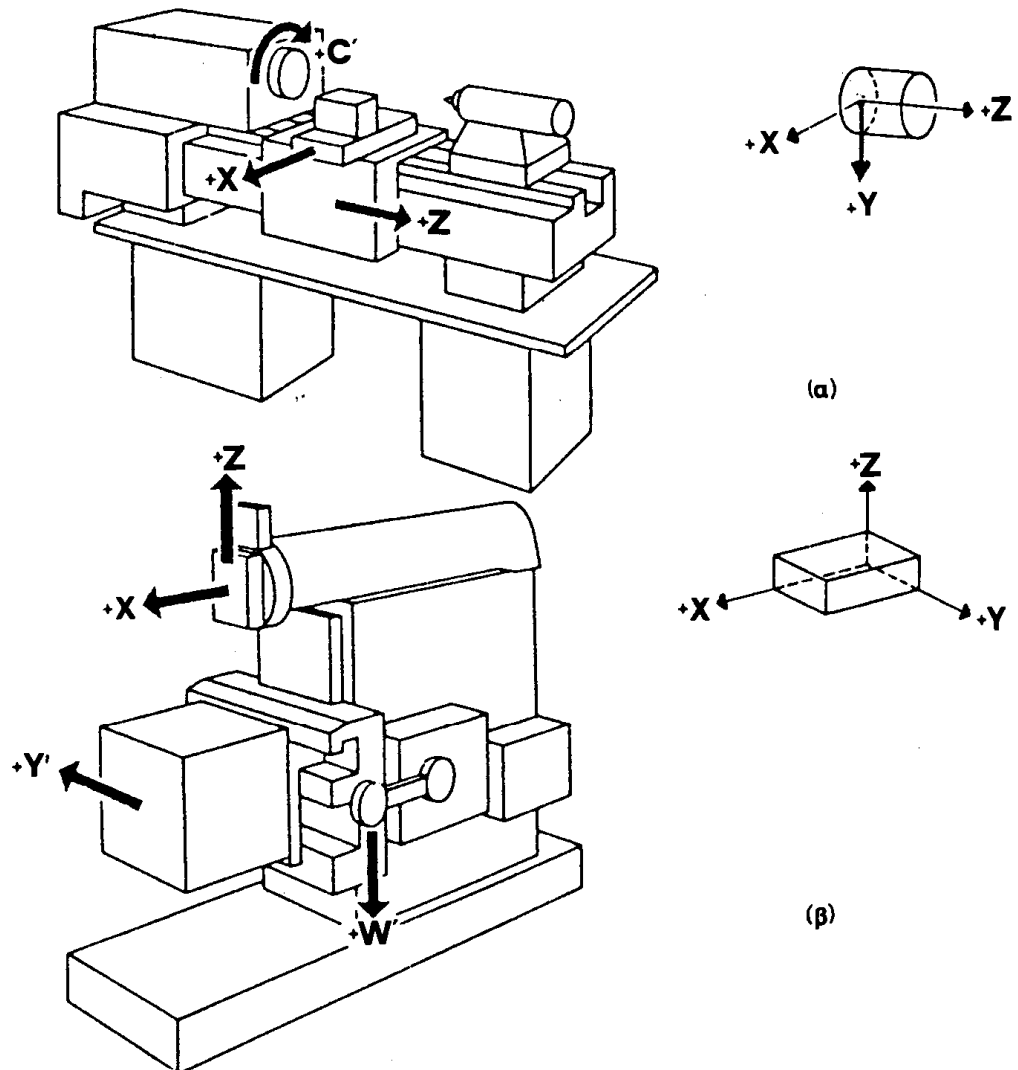
ΣΧΗΜΑ 10.8:

Συστήματα
συντεταγμένων
εργαλειομηχανής και
τεμαχίου.



ΣΧΗΜΑ 10.9:

Παραδείγματα εφαρμογής συστημάτων συντεταγμένων.



10.4 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ

Αρχικά θα εξετάσουμε για απλότητα την ειδική περίπτωση της **ορθογωνικής κοπής**. Στην κοπή αυτή το κοπτικό εργαλείο έχει μορφή σφήνας, με την κύρια ακμή κοπής να είναι κάθετη στην κύρια διεύθυνση της κοπής. Η ακμή κοπής προεξέχει και από τις δύο πλευρές από το τεμάχιο.

Οι πλευρές του κοπτικού εργαλείου της ορθογωνικής κοπής εμφανίζουν τις ακόλουθες χαρακτηριστικές γωνίες, οι οποίες ονομάζονται **γωνίες κοπής**:

- **Γωνία αποβλήτου γ** : η οποία σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας του κοπτικού εργαλείου πάνω στην οποία ολισθαίνει το απόβλητο (**επιφάνεια αποβλήτου**) και το κάθετο στην διεύθυνση της κοπής επίπεδο. Παίρνει θετικές, αρνητικές ή μηδενική τιμή. Η σημασία της είναι μεγάλη για το σχηματισμό του αποβλήτου.
- **Γωνία ελευθερίας α** : η οποία σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας του κοπτικού εργαλείου που βρίσκεται προς την κατεργασμένη επιφάνεια (**ελεύθερη επιφάνεια**) και της διεύθυνσης κοπής. Επηρεάζει τη φθορά του εργαλείου.

- **Γωνία σφήνας β :** η γωνία μεταξύ της επιφάνειας αποβλήτου και της ελεύθερης επιφάνειας του εργαλείου.

Προφανώς για τις τρεις γωνίες ισχύει η σχέση:

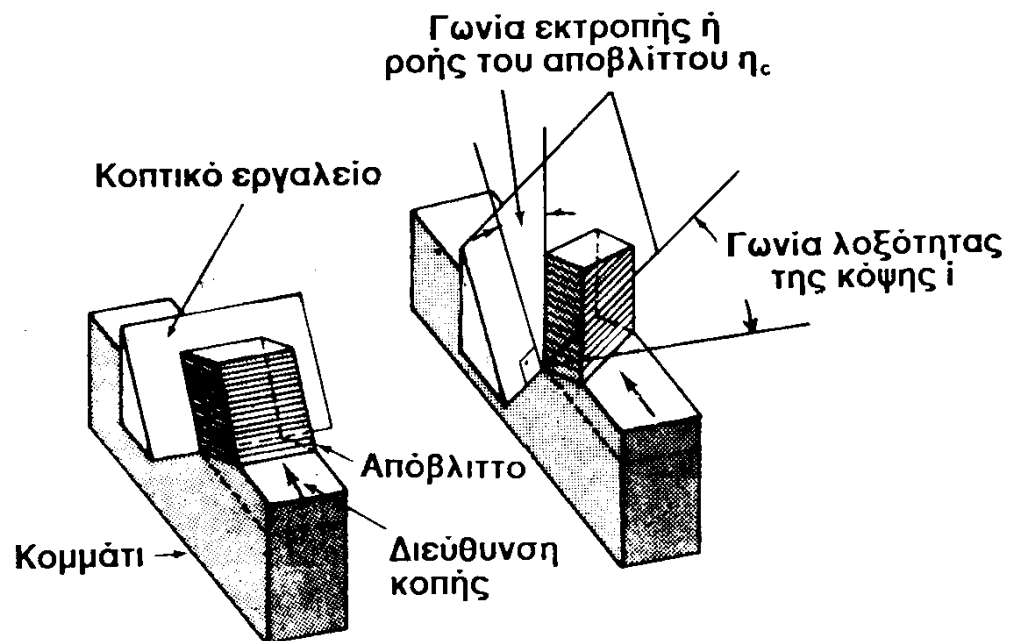
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Το πάχος του στρώματος που αφαιρείται καλείται θεωρητικό πάχος αποβλήτου ενώ το πάχος του αποβλήτου μετά την κοπή ονομάζεται πραγματικό πάχος αποβλήτου.

Οι βασικές αρχές της ορθογωνικής κοπής επεκτείνονται και για τη λοξή κοπή (η συνήθης πρακτική). Στη λοξή κοπή η ακμή κοπής του κοπτικού εργαλείου βρίσκεται υπό γωνία διαφορετική της ορθής, ως προς την κύρια διεύθυνση κοπής. Η γωνία μεταξύ της ακμής κοπής και της καθέτου στη διεύθυνση κοπής ονομάζεται **γωνία λοξότητας της κόψης i** .

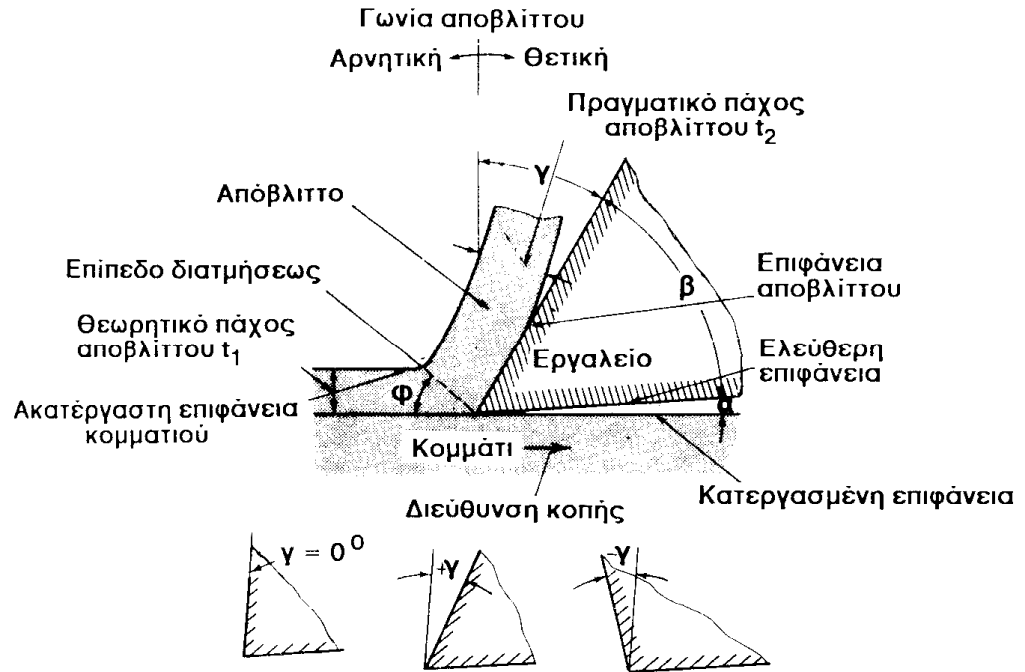
Η γωνία αποβλήτου είναι η σημαντικότερη των γωνιών. Όσο μεγαλώνει τόσο μικραίνει η δύναμη κοπής. Εξασθενίζει όμως το εργαλείο και φθείρεται γρήγορα. Όσο σκληρότερο είναι το προς κατεργασία υλικό τόσο πρέπει να μικραίνει η γωνία αποβλήτου. Για ευκολότριφτα υλικά μπορεί να πάρει μέχρι και μηδενική τιμή. Η γωνία ελευθερίας είναι σχεδόν ίδια σε όλα τα εργαλεία και κυμαίνεται μεταξύ 6 και 8 μοιρών.

ΣΧΗΜΑ 10.10:
Ορθογωνική και λοξή κοπή.



ΣΧΗΜΑ 10.11:

Χαρακτηριστικές έννοιες της ορθογωνικής κοπής.



Το υλικό αποβάλλεται από το τεμάχιο υπό μορφή αποβλήτου, το οποίο μπορεί να είναι **συνεχές, ασυνεχές ή συνεχές με ψευδόκοψη**.

Στο **συνεχές απόβλητο** έχουμε συνεχή πλαστική παραμόρφωση σε διάτμηση του μετάλλου στη **ζώνη διάτμησης ή (προσεγγιστικά) το επίπεδο διάτμησης**. Η ζώνη αυτή είναι το σύνορο μεταξύ του παραμορφωμένου υλικού και του παραμορφωμένου αποβλήτου. Το επίπεδο διάτμησης (η ζώνη στην πραγματικότητα) κείται υπό γωνία ϕ ως προς τη διεύθυνση κοπής. Η γωνία αυτή ονομάζεται **γωνία διάτμησης**. Το πάχος της ζώνης διάτμησης μικραίνει με την αύξηση της ταχύτητας κοπής.

Το συνεχές απόβλητο το συναντούμε κατά την κοπή όλκιμων υλικών σε υψηλές ταχύτητες κοπής. Υψηλές ταχύτητες κοπής συνδυάζονται με χρήση κοπτικών από σκληρομέταλλα. Η παρουσία του είναι ιδιαίτερα **επιθυμητή** (δείχνει ευνοϊκές συνθήκες κοπής), δυσχεραίνει όμως με το μεγάλο μήκος του την διαδικασία. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι **γρεζοθραύστες** στην επιφάνεια αποβλήτου του κοπτικού (ειδικοί αναβαθμοί ή αύλακες).

Το απόβλητο κινείται πάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου υπό συνθήκες ισχυρής τριβής (δευτερεύουσα ζώνη παραμόρφωσης). Η νέα επιφάνεια σχηματίζεται με στοιχειώδεις θραύσεις του υλικού, απαιτώντας μικρό ποσοστό της συνολικής ενέργειας. Στην επιφάνεια μεταξύ εργαλείου και κατεργασμένης επιφάνειας εμφανίζεται επίσης ισχυρή τριβή στις περιπτώσεις προχωρημένης **φθοράς** του κοπτικού.

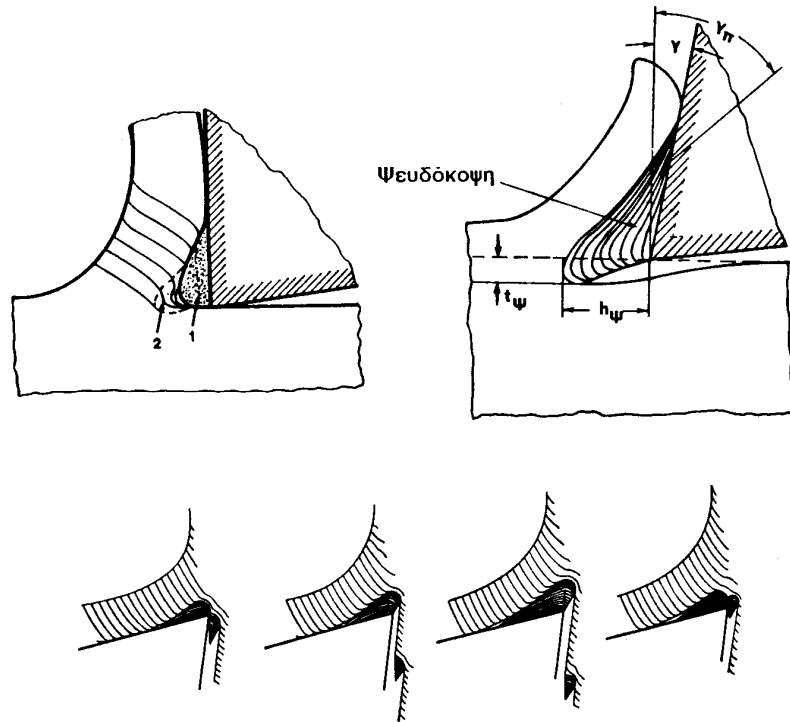
Κατά τον σχηματισμό **ασυνεχούς αποβλήτου** έχουμε **περιοδική** θραύση του μετάλλου στη ζώνη διάτμησης, λόγω υπέρβασης του ορίου θραύσεως. Το ασυνεχές απόβλητο παρατηρείται στην κοπή ψαθυρών υλικών, μπορεί όμως να παρατηρηθεί και για όλκιμα υλικά σε συγκεκριμένες συνθήκες κοπής (**χαμηλές ταχύτητες κοπής, μεγάλες προώσεις, μικρές γωνίες αποβλήτου**). Το ασυνεχές απόβλητο έχει τις ακόλουθες επιπτώσεις:

- προκαλεί χειροτέρευση της τραχύτητας της επιφάνειας, προκαλώντας **μικρορωγμές** με δυσμενή αποτελέσματα στην αντοχή σε **κόπωση**.
- Είναι μία πηγή εξαναγκασμένων ταλαντώσεων στο σύστημα κατεργασίας, με αποτέλεσμα την χειροτέρευση της ποιότητας κατεργασίας.
- Μειώνει την επιφάνεια επαφής μετάλλου εργαλείου με αποτέλεσμα την ιδιαίτερη αύξηση των τάσεων κοντά στην ακμή του εργαλείου, προκαλώντας περιορισμούς όσον αφορά τη γεωμετρία του.
- Σαν θετική επίπτωση έχει την εύκολη απομάκρυνση του αποβλήτου, αυξάνοντας έτσι την κατεργαστικότητα του μετάλλου.

Στην περίπτωση του συνεχούς αποβλήτου με ψευδόκοψη σχηματίζεται ένα σφηνοειδές σώμα από ισχυρά σκληρυμένο (λόγω παραμόρφωσης) μέταλλο πάνω στη επιφάνεια αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου. Το σώμα αυτό αποτελείται από επάλληλα λεπτά στρώματα, ενώ η κορυφή της ψευδόκοψης είναι **ασταθής**. Η ψευδόκοψη αυξάνεται με την ανάπτυξη της κοπής μέχρι ένα ορισμένο μέγεθος, ενώ στη συνέχεια τμήματά της αποκολλώνται προς την πλευρά του αποβλήτου και προς την πλευρά την κατεργασμένης επιφάνειας (χειροτερεύοντας την τραχύτητα). Οι συνέπειες της ψευδόκοψης συνοψίζονται στη συνέχεια:

- Χειροτέρευση της τραχύτητας της κατεργαζόμενης επιφάνειας.
- Επίδραση στις μηχανικές, μεταλλουργικές και φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας (δημιουργία παραμενουσών τάσεων, μεταβολή στην κρυσταλλική δομή, μείωση της αντοχής σε κόπωση λόγω της δημιουργίας μικρορωγμών.
- Αύξηση της φθοράς του εργαλείου (μείωση της διάρκειας ζωής του, αύξηση του κόστους παραγωγής).
- Επίδραση στην ακρίβεια διαστάσεων και στο πεδίο ανοχών.
- Δημιουργία ταλαντώσεων στο σύστημα κατεργασίας.

ΣΧΗΜΑ 10.12: Φάσεις δημιουργίας της ψευδόκοψης (1: ευσταθές τμήμα, 2: ασταθές τμήμα της ψευδόκοψης).



Οι παράγοντες που ρυθμίζουν την εμφάνιση ψευδόκοψης συνοψίζονται στη συνέχεια:

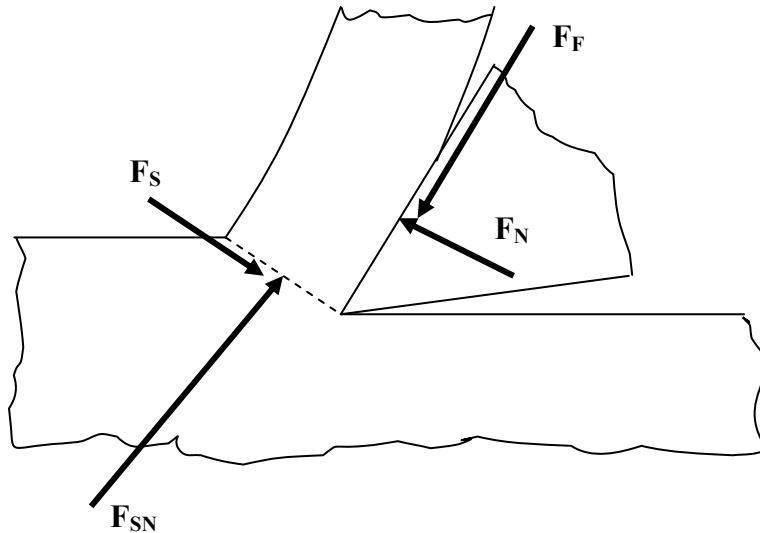
- Η ταχύτητα κοπής: με αύξηση της ταχύτητας (και τη συνακολουθούμενη αύξηση της θερμοκρασίας) η ψευδόκοψη εκφυλίζεται σε ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου (ο ισχυρότερος παράγοντας).
- Οι διαστάσεις της θεωρητικής διατομής του αποβλήτου (βάθος κοπής, πρόωση): επηρεάζουν το σχηματισμό μέσω της εκλυόμενης θερμότητας (θερμοκρασιακή στάθμη). Όσο μικρότερες οι διαστάσεις τόσο μικρότερη η θερμοκρασία άρα τόσο μεγαλύτερη η κρίσιμη ταχύτητα εξαφανισμού της ψευδόκοψης.
- Η γωνία αποβλήτου του κοπτικού: η αύξηση της γωνία αποβλήτου συνεπάγεται ευνοϊκότερη κοπή, μείωση της θερμοκρασίας και αύξηση της κρίσιμης ταχύτητας που εξαφανίζεται η ψευδόκοψη.
- Η ικανότητα κράτυνσης του μετάλλου: όσο μεγαλύτερος ο εκθέτης κράτυνσης τόσο εντονότερη η τάση δημιουργίας ψευδόκοψης.
- Το υγρό κοπής: το υγρό κοπής χρησιμοποιείται για τη μείωση των τριβών και την απαγωγή θερμότητας. Στις χαμηλότερες ταχύτητες κοπής που λειτουργεί ως λιπαντικό μειώνει την πιθανότητα σχηματισμού ψευδόκοψης, μετατίθοντάς την σε υψηλότερες ταχύτητες. Στις υψηλότερες ταχύτητες που λειτουργεί ως ψυκτικό αυξάνει την πιθανότητα σχηματισμού ψευδόκοψης.

10.5 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ

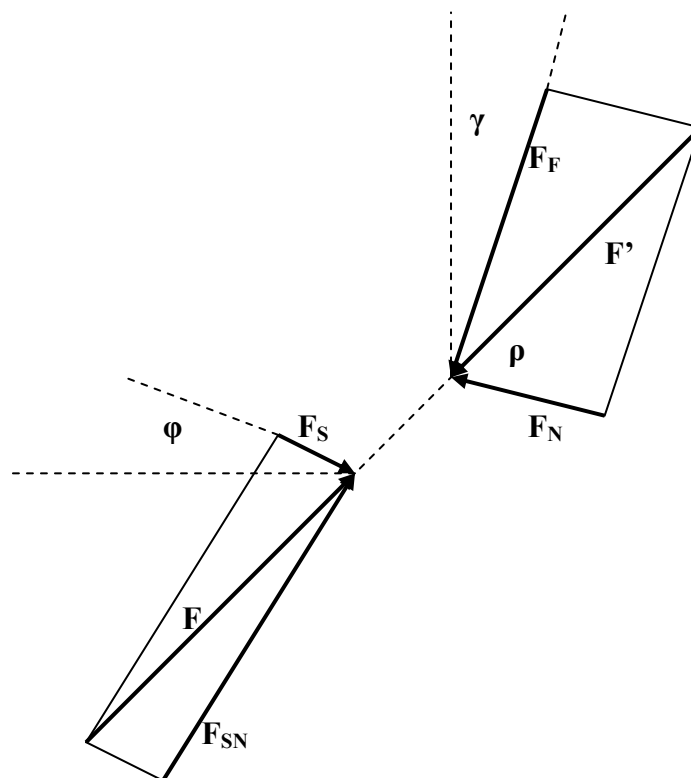
Η κοπή πραγματοποιείται με την πλαστική παραμόρφωση του μετάλλου. Για να πραγματοποιηθεί η πλαστική παραμόρφωση απαιτείται η επιβολή κάποιας

δύναμης. Επιπλέον πρέπει να υπερνικηθούν οι τριβές μεταξύ του αποβλήτου και του εργαλείου και μεταξύ εργαλείου και κατεργασμένης επιφάνειας (όταν το εργαλείο δεν είναι οξύ). Με την προϋπόθεση ότι το εργαλείο είναι οξύ και δεν έχουμε εμφάνιση τριβής στην ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου το σύστημα των δυνάμεων που αναπτύσσονται στην **ορθογωνική κοπή** φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (για απολύτως στερεό σύστημα που βρίσκεται σε ηρεμία). Το σύστημα αυτό των δυνάμεων προκύπτει θεωρώντας το **διάγραμμα ελευθέρου σώματος του αποβλήτου**.

ΣΧΗΜΑ 10.13: Οι συνιστώσες της δύναμης κοπής που ασκεί το κοπτικό στο τεμάχιο και οι συνιστώσες της αντίδρασης (αντίσταση κοπής) στο επίπεδο διάτμησης.



ΣΧΗΜΑ 10.14: Ανάλυση της δύναμης και της αντίστασης κοπής.



Οι δυνάμεις που ασκούνται είναι οι ακόλουθες:

- Η δύναμη διάτμησης F_s στη διεύθυνση του επιπέδου διάτμησης (η συνισταμένη των διατμητικών τάσεων).
- Η κάθετη στο επίπεδο διάτμησης F_{SN} .

Η συνισταμένη των δύο παραπάνω δυνάμεων είναι η δύναμη F (η αντίδραση του τεμαχίου στο κοπτικό εργαλείο). Το κοπτικό εργαλείο ασκεί μία δύναμη F' , η οποία, για να υπάρχει ισορροπία, πρέπει να είναι ίση με την F (για μηδενική ροπή στο κοπτικό εργαλείο). Η F' αναλύεται σε δύο συνιστώσες:

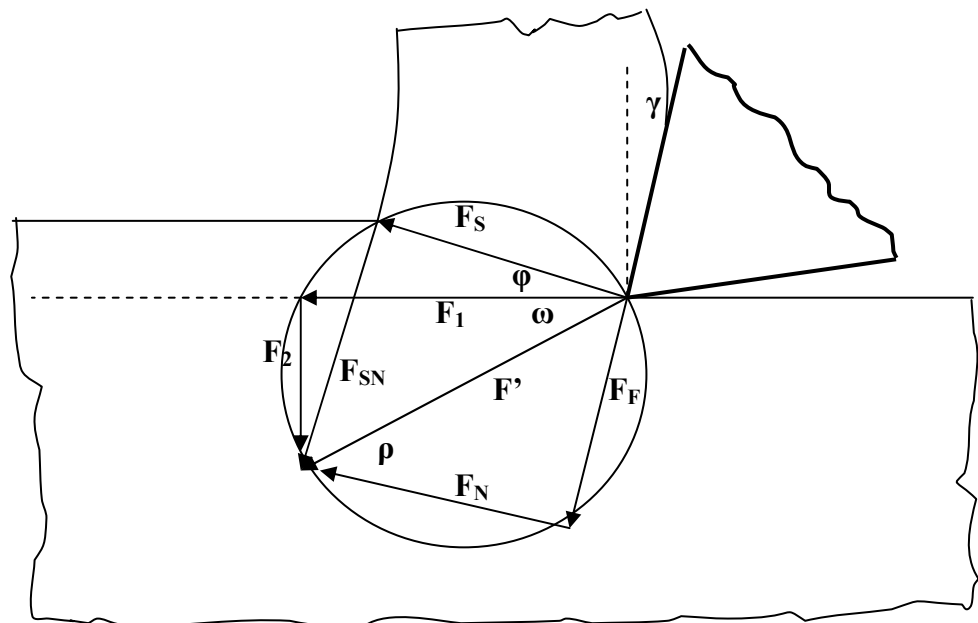
- Την κάθετη στην επιφάνεια αποβλήτου δύναμη F_N .
- Την εφαπτόμενη στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου δύναμη F_F , η οποία αποτελεί την τριβή μεταξύ εργαλείου και αποβλήτου.

Η δύναμη F' ονομάζεται **δύναμη κοπής**, ενώ η F ονομάζεται **αντίσταση κοπής**. Η γωνία μεταξύ της F' και της F_N ονομάζεται **γωνία τριβής ρ** , ενώ η γωνία μεταξύ του επιπέδου διάτμησης και της διεύθυνσης κοπής ονομάζεται **γωνία διάτμησης ϕ** .

Καθώς κανένα από τα δύο αυτά ζεύγη συνιστωσών δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί, εισάγεται ένα τρίτο ζεύγος, οι συνιστώσες F_1 , F_2 της δύναμης κοπής, όπου η πρώτη είναι η **κύρια συνιστώσα της δύναμης κοπής** (η συνιστώσα κατά την διεύθυνση της κοπής) και η δεύτερη είναι κάθετη στην προηγούμενη. Οι δύο αυτές δυνάμεις είναι εύκολο να μετρηθούν με τη βοήθεια δυναμόμετρου. Αν λοιπόν είναι γνωστές οι δύο αυτές συνιστώσες, οι υπόλοιπες συνιστώσες μπορούν να προκύψουν με απλές γεωμετρικές σχέσεις, με βάση το σχήμα. Που ακολουθεί, όπου οι δυνάμεις έχουν σχεδιαστεί στο εσωτερικό βοηθητικού κύκλου, με διάμετρο τη δύναμη κοπής.

ΣΧΗΜΑ 10.15:

Ανάλυση της δύναμης κοπής με τη χρήση του βοηθητικού κύκλου.



Αν το κοπτικό εργαλείο βρίσκεται σε προχωρημένη φθορά, εμφανίζονται στην ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου δυνάμεις τριβής (εφαπτομενικές στην

κατεργασμένη επιφάνεια) και δυνάμεις λόγω πλαστικής παραμόρφωσης (κάθετες στην κατεργασμένη επιφάνεια) – οι λεγόμενες παρασιτικές δυνάμεις - με αποτέλεσμα την τροποποίηση του παραπάνω διαγράμματος.

Στην περίπτωση της ορθογωνικής κοπής έχουμε την δύναμη κοπής να αναλύεται σε δύο κάθε φορά συνιστώσες. Στη γενική περίπτωση την πραγματικής κοπής, έχουμε τρεις συνιστώσες της δύναμης κοπής, λόγω της λοξότητας της κοπής.

Η δύναμη διάτμησης F_s χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τάσης διαρροής σε διάτμηση τ_s στο επίπεδο διάτμησης, διαιρώντας με την επιφάνεια διάτμησης A_s :

$$F_s / A_s = \tau_s$$

Για δεδομένο πολυκρυσταλλικό μέταλλο τάση διαρροής σε διάτμηση είναι σταθερά του μετάλλου, μη ευαίσθητη σε μεταβολές των παραμέτρων κοπής.

Κατά τη διάρκεια της κοπής η δύναμη κοπής μεταβάλλεται με το χρόνο, λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως η μεταβολή των δυνάμεων τριβής λόγω διακυμάνσεων στην παροχή ψυκτικού, η παρουσία ψευδόκοπης, το ασυνεχές απόβλητο,, το μεταβαλλόμενο θεωρητικό βάθος αποβλήτου, οι ελαστικές παραμορφώσεις τεμαχίου – εργαλείου, κ.α..

10.6 ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΚΛΥΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Στην πραγματικότητα η κοπή δεν είναι ορθογωνική και εκτός των δύο δυνάμεων F_1 και F_2 υπάρχει και μία τρίτη δύναμη F_3 κατά τη διεύθυνση προώσεως. Η F_1 είναι η κύρια συνιστώσα της δύναμης κοπής και καταναλώνει το 99% της ισχύος κατά την κοπή, αφού συνδυάζεται με την μεγαλύτερη συνιστώσα της ταχύτητας. Η F_3 επιδρά κατά τη διεύθυνση προώσεως και το μέτρο της είναι περίπου το 50% της F_1 . Επειδή όμως η μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της γίνεται με μικρή ταχύτητα (την ταχύτητα πρόωσης) καταναλώνει πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής ισχύος. Η δύναμη F_2 είναι περίπου το 50% της F_3 αλλά η ισχύς που καταναλώνει είναι αμελητέα, λόγω της αμελητέας ταχύτητας στη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Οπότε ουσιαστική η καταναλισκόμενη ισχύς για την κοπή δίδεται:

$$P_k = F_1 v$$

Ενώ η ενέργεια ανά μονάδα όγκου αφαιρούμενου υλικού (**ανηγμένη ενέργεια κοπής**) προκύπτει:

$$u = (F_1 v) / (A v) = F_1 / A$$

όπου A η θεωρητική διατομή του αποβλήτου. Ο λόγος της F_1 με την επιφάνεια A ονομάζεται ειδική **αντίσταση κοπής k_s** , με την οποία ταυτίζεται αριθμητικά η ανηγμένη ενέργεια κοπής.

Εξετάζοντας τον καταμερισμό της ισχύος που καταναλώνεται με την περιοχή έχουμε ότι στην πρωτεύουσα ζώνη παραμόρφωσης (δηλαδή στη ζώνη διάτμησης) καταναλώνεται περίπου το 75% της ισχύος. Στη δευτερεύουσα ζώνη παραμόρφωσης (μεταξύ αποβλήτου και εργαλείου) καταναλώνεται περίπου το 25% της ισχύος. Το υπόλοιπο 5% της ισχύος καταναλώνεται στο σχηματισμό της νέας επιφάνειας, την περιστροφή του αποβλήτου και τη μεταβολή της κινητικής κατάστασης του μετάλλου πριν και μετά τη ζώνη διάτμησης.

Κατά την κοπή, η προσδιδόμενη ισχύς μετατρέπεται κυρίως σε θερμότητα, αυξάνοντας στη συνέχεια τη θερμοκρασία τόσο του τεμαχίου όσο και του κοπτικού και του αποβλήτου. Η θερμότητα παράγεται σε τρεις κυρίως ζώνες:

- Η ενέργεια κοπής μετατρέπεται κατά κύριο λόγο σε θερμότητα στη ζώνη διάτμησης, όπου και πραγματοποιείται και η μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος. Το 80% της θερμότητας παράγεται στην ζώνη αυτή.
- Δευτερευόντως η παραγωγή θερμότητας πραγματοποιείται στη ζώνη επαφής αποβλήτου εργαλείου, όπως θα έπρεπε να περιμένουμε, όπου πραγματοποιείται επιπλέον πλαστική παραμόρφωση αλλά και τριβή. Στη ζώνη αυτή παράγεται περίπου το 18% της εκλυόμενης θερμότητας.
- Στην περίπτωση που η ακμή του εργαλείου έχει φθαρεί (συνήθης περίπτωση), έχουμε πλαστική παραμόρφωση και τριβή και στην περιοχή μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του εργαλείου και της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου, όπου και εκλύεται θερμότητα. Η παραγόμενη αυτή θερμότητα και η συνεπαγόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, έχει σημαντική επίδραση στην Τροποποίηση των φυσικών, μεταλλογονωσιακών και μηχανικών ιδιοτήτων της επιφανειακής στοιβάδας της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου.

Η θερμότητα αυτή αυξάνει τη θερμοκρασία της περιοχής και απάγεται με διαφορετικό ρυθμό από τα τρία στοιχεία που συνθέτουν την περιοχή κοπής. Το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας απάγεται μαζί με το απόβλητο. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται γύρω στο 75%. Ένα 17% της παραγόμενης θερμότητας απάγεται από το εργαλείο ενώ το υπόλοιπο 8% απάγεται από το τεμάχιο.

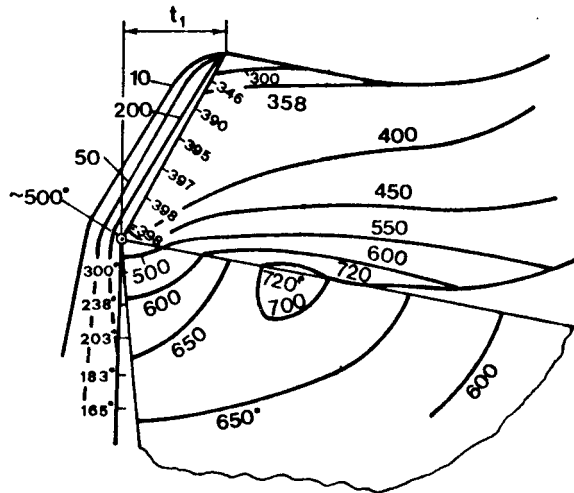
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι ιδιαίτερα υψηλές. Οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες στο κοπτικό εργαλείο απ' ό,τι στο τεμάχιο και το απόβλητο. Η θέση της μέγιστης θερμοκρασίας βρίσκεται στο κοπτικό εργαλείο σε απόσταση από την ακμή του, πάνω στην επιφάνεια αποβλήτου. Στη θέση αυτή ξεκινάει η φθορά κρατήρα του εργαλείου. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται μία τυπική διανομή θερμοκρασιών στην περιοχή κοπής.

Οι δυνάμεις κοπής εφαρμόζονται σε ιδιαίτερα μικρές επιφάνειες προκαλώντας την εμφάνιση ισχυρών πιέσεων στην επιφάνεια του κοπτικού. Το γεγονός αυτό επιβάλλει την υψηλή σκληρότητα της επιφάνειας του κοπτικού. Η σκληρότητα και η αντοχή του κοπτικού θα πρέπει να διατηρείται σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, κάτι το οποίο επιβάλλει τη χρήση πολύ ειδικών υλικών για την κατασκευή κοπτικών εργαλείων, καθώς πολλά υλικά χάνουν απότομα τη

σκληρότητά τους πάνω από ορισμένη θερμοκρασία.

ΣΧΗΜΑ 10.16:

Τυπική διανομή
θερμοκρασιών στην
περιοχή της κοπής.



10.7 ΥΛΙΚΑ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Εξετάσαμε ήδη τυπικά εργαλεία τόννευσης ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους (μορφή κοπτικού εργαλείου). Θα αναφερθούμε, στη συνέχεια, στα υλικά κατασκευής των κοπτικών εργαλείων όχι αποκλειστικά της τόννευσης αλλά εν γένει των κατεργασιών κοπής.

Το κοπτικά εργαλεία λειτουργούν σε ακραίες συνθήκες όσον αφορά στα επιβαλλόμενα φορτία και στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σ' αυτά. Τα υλικά κατασκευής τους πρέπει να συνδυάζουν ιδιότητες οι σημαντικότερες από τις οποίες αναφέρονται στη συνέχεια:

1. Υψηλή σκληρότητα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ικανότητα διατήρησης της σκληρότητας στις υψηλές θερμοκρασίες κατά την κοπή.
2. Χαμηλό ρυθμό φθοράς και συνακόλουθα μεγάλη αναμενόμενη ζωή.
3. Μεγάλη δυσθραυστότητα, αντοχή σε θλίψη, κάμψη και απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές.
4. Ικανότητα διατήρησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κατά την κατεργασία.
5. Καλή κατεργαστικότητα και διαμορφωσιμότητα, χαμηλή τριβή ολίσθησης
6. Εμπορική διαθεσιμότητα και παραδεκτό κόστος κτήσεως.

Η σημασία κάθε ιδιότητας σχετίζεται με το είδος της κατεργασίας κοπής, την ακρίβεια της κατασκευής, την παραγόμενη ποσότητα, το βαθμό αυτοματοποίησης και την ποιότητα της εργαλειομηχανής καθώς και τις ιδιότητες του κατεργαζόμενου υλικού.

Οι κυριότερες κατηγορίες υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων είναι οι ακόλουθες:

1. Χάλυβες κοπτικών εργαλείων, στους οποίους περιλαμβάνονται οι:

Ανθρακούχοι ή κοινοί χάλυβες,

- Κεκραμένοι χάλυβες και
Ταχυχάλυβες,
2. Χυτά κράματα κοπτικών εργαλείων (στελλίτες),
 3. Σκληρομέταλλα,
 4. Κεραμικά πυρίμαχων οξειδίων,
 5. Υπέρσκληρα υλικά

Χάλυβες κοπτικών εργαλείων

A. Ανθρακούχοι χάλυβες

Η περιεκτικότητα σε άνθρακα των ανθρακούχων χαλύβων κυμαίνεται από 0.60% έως 1.50%. Διατίθενται σε κατάσταση ανοπτήσεως και υφίστανται βαφή, κατά κύριο λόγο σε νερό ή σε άλμη (χάλυβες νερού).

Ως κοπτικά εργαλεία οι ανθρακούχοι χάλυβες χρησιμοποιούνται σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, χαμηλές προώσεις και μικρά βάθη κοπής. Τυπικά υλικά για την κατεργασία των οποίων χρησιμοποιούνται ανθρακούχοι χάλυβες είναι ο χάλυβας ελευθέρως κοπής, κράματα του χαλκού και του αργιλίου. Χρησιμοποιούνται και στην κατασκευή εργαλείων χειρός, όπως είναι τα σφυριά, οι λεπίδες μεταλλοπριόνων, οι λίμες κ.ά.

B. Κεκραμένοι χάλυβες

Πέραν του άνθρακα περιέχουν μία ή περισσότερες προσθήκες, όπως χρώμιο (Cr), βολφράμιο (W), βανάδιο (V), μολυβδαίνιο (Mo) και μαγγάνιο (Mn). Με τις προσθήκες αυτές επιτυγχάνεται κυρίως αύξηση της αντιστάσεως του χάλυβα στη φθορά, καθώς επίσης και καλύτερος βαθμός εμβαπτότητας (ικανότητα βαφής σε όλη τη μάζα του χάλυβα). Η αντοχή τους όμως σε επαναφορά (ιδιότητα διατήρησης 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 για την κατασκευή σπειροτόμων, τρυπανιών και εν γένει εργαλείων χειρός.

Γ. Ταχυχάλυβες

Οι ταχυχάλυβες, συγκρινόμενοι με τους υπόλοιπους χάλυβες κοπτικών εργαλείων, περιέχουν μεγάλο ποσοστό προσθηκών. Στους ταχυχάλυβες, πλην του άνθρακα, προστίθεται Cr, W, V, 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.

Η επίδραση των προσθηκών στις ιδιότητες των ταχυχαλύβων παρουσιάζεται σε Πίνακα που ακολουθεί.

Σε ανοπτημένη κατάσταση η κρυσταλλική δομή του ταχυχάλυβα συνίσταται από λεπτότατα σύνθετα και απλά καρβίδια ($\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$, $(\text{MoW}_6)\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, V_4C_3 κ.ά.) διεσπαρμένα σε περλίτη με πολύ μικρού πάχους εναλλασσόμενες στρώσεις σεμεντίτη και φερρίτη. Τα σκληρότατα καρβίδια που σχηματίζονται στο πλέγμα των ταχυχαλύβων είναι εκείνα που προσδίδουν τις καλές ιδιότητές τους ως υλικά

κοπτικών εργαλείων .

Οι ταχυχάλυβες διακρίνονται σε α) εκείνους, που έχουν ως βάση το μολυβδαίνιο (κατηγορία Μ) με προσθήκες το βολφράμιο, το βανάδιο και το κοβάλτιο και β) σε αυτούς, οι οποίοι έχουν ως βάση το βολφράμιο (κατηγορία Τ) με προσθήκες το βανάδιο και το κοβάλτιο. Οι ταχυχάλυβες με βάση το βολφράμιο είναι περίπου ισοδύναμοι ως προς εκείνους, που έχουν βάση το μολυβδαίνιο από απόψεως αποδοτικότητας. Οι πρώτοι παρουσιάζουν 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 Μ είναι φθηνότεροι από εκείνους της κατηγορίας Τ .

Όλοι οι ταχυχάλυβες έχουν εξαιρετική εμβαιπτότητα και μπορούν να αποκτήσουν σκληρότητα RHNc από 64 μέχρι 66 σε όλη τους τη διατομή. Οι ταχυχάλυβες υφίστανται βαφή σε θερμοκρασία μεταξύ 1180° C και 1300° C, ανάλογα με τη χημική σύνθεση του ταχυχάλυβα.

Οι ταχυχάλυβες διατίθενται στο εμπόριο σε κατάσταση ανοπτήσεως ως ράβδοι κυκλικής, εξαγωνικής ή τετραγωνικής διατομής, καθώς επίσης και ως ταινίες εξελασμένες εν θερμώ ή εν ψυχρώ. Επιπλέον διατίθενται ως ράβδοι έτοιμες για τη μορφοποίηση (με λείανση μόνο στην επιθυμητή γεωμετρική μορφή) εργαλείων торνεύσεως, πλανίσματος, τρυπανιών ή γλυφάνων κ.α.

<u>ΠΡΟΣΘΗΚΗ</u>	<u>Ιδιότητες / Επίδραση</u>
Cr-Χρώμιο	Μέση τάση σχηματισμού σκληρών καρβιδίων . Μείωση της κρίσιμης ταχύτητας απογύξεως, Αύξηση 1) του μεγέθους των κρυσταλλινών, 2) της αντοχής σε επαναφορά, 3) της αντίστασης του σε φθορά, 4) της εμβαιπτότητας.
W-Βολφράμιο	Μεγάλη τάση σχηματισμού σκληρών καρβιδίων. Αύξηση 1) της αντοχής σε επαναφορά, 2) της αντίστασης του σε φθορά.
Mo-Μολυβδαίνιο	Μέση τάση σχηματισμού σκληρών καρβιδίων . Αύξηση 1) της δυσθραυστότητας, 2) της αντοχής σε επαναφορά, 3) της αντίστασης του σε φθορά και 4) της τάσης απανθράκωσης του χάλυβα.
V-Βανάδιο	Πολύ μεγάλη τάση σχηματισμού σκληρών καρβιδίων. Αύξηση 1) της αντοχής σε επαναφορά, 2) της αντίστασης του σε φθορά 3) της ανάπτυξης κρυσταλλινών, μικρού μεγέθους,
Co-Κοβάλτιο	Μικρή τάση σχηματισμού σκληρών καρβιδίων. Αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και της τάσης απανθράκωσης
C-Ανθρακας	Σχηματισμός καρβιδίων των προσθηκών V, Mo, W

Σκληρομέταλλα

Τα σκληρομέταλλα είναι προϊόν της κονιομεταλλουργίας (Κεφάλαιο 9). Σκόνη καρβιδίου του βολφραμίου (WC), πυροσυσσωματώνεται σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (1350-1500 °C) και πίεσεως μαζί με σκόνη κοβαλτίου ή νικελίου ή σιδήρου ως συνδετικό υλικό, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός καρβιδίου μεγάλης σκληρότητας και αντοχής. Επιπρόσθετα καρβίδια που δύναται να συμμετέχουν στην πυροσυσσωμάτωση, είναι του τιτανίου (TiC) και του τανταλίου (TaC), σε ειδικές δε περιπτώσεις του ζirkονίου, του μολυβδαινίου, του βαναδίου του χρωμίου ή του νιόβιου. Ως συνδετική ύλη χρησιμοποιείται συνήθως το κοβάλτιο, το νικέλιο και ο σίδηρος. Το είδος των καρβιδίων και της συνδετικής ύλης, καθώς επίσης και οι αναλογίες τους

εκλέγονται ανάλογα με το είδος χρήσεως του σκληρομετάλλου.

Τα σκληρομέταλλα, ως υλικό για κοπτικά εργαλεία, κατατάσσονται σύμφωνα με την προδιαγραφή DIN 4990, σε τρεις κύριες κατηγορίες που συμβολίζονται με τα γράμματα P, M και K και που έχουν ως διακριτικό χρώμα το μπλε, το κίτρινο και το κόκκινο, αντίστοιχα.

Σε κάθε κατηγορία P, M ή K ανήκει και μία σειρά από ποιότητες, που χαρακτηρίζονται από τους διηέφιους 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 ποιότητας 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 σκληρομετάλλου.

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

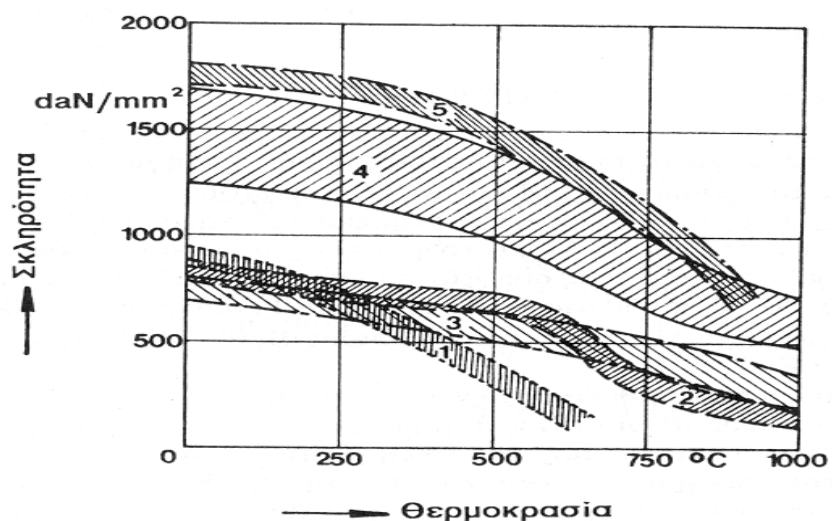
Τα σκληρομέταλλα της κατηγορίας M εφαρμόζονται για κατεργασία χαλύβων, χυτοχαλύβων, ωστενιτικών χαλυβοκραμάτων, ειδικών χυτοσιδήρων, μαλακτικοποιημένων χυτοσιδήρων και χυτοσιδήρων σφαιροειδούς γραφίτη.

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.

Στο σχήμα 10.17 συγκρίνονται τα σκληρομέταλλα με άλλα υλικά κοπτικών εργαλείων με κριτήριο τη σκληρότητα, που παρουσιάζουν σε αυξανόμενη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία κοπής αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας κοπής και συνεπώς το κοπτικό το οποίο διατηρεί τη σκληρότητά του σε υψηλές θερμοκρασίες, την διατηρεί και σε υψηλές ταχύτητες κοπής.

ΣΧΗΜΑ 10.17:

Επίδραση της θερμοκρασίας στη σκληρότητα υλικών κοπτικών εργαλείων
 1: Ανθρακούχοι χάλυβες
 2: Ταχυχάλυβες
 3: Στελλίτες
 4: Σκληρομέταλλα
 5: Κεραμικά πυρίμαχων οξειδίων

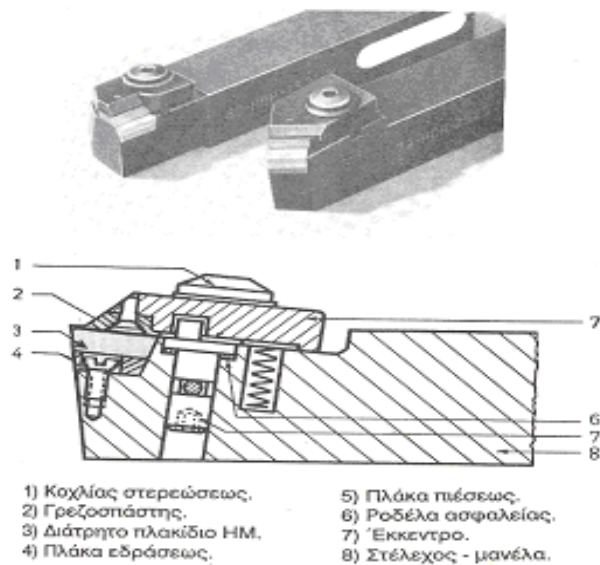


Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται βασικές ιδιότητες υλικών κοπτικών εργαλείων σε θερμοκρασία δωματίου.

Ιδιότητα	Ανθρακούχος χάλυβας	Ταχυχάλυβας 18-4-1	Χυτευτό κράμα Co-Cr-W	Σκληρομέταλλο για κατεργασία		Κεραμειτικά πυριμάχων οξειδίων	Αλουμίνα	Καρβίδιο του πυριτίου	Διαμάντι
				Χάλυβα	Χυτοσιδήρου				
Σκληρότητα [BHN]	700	700	600	1350	1400	1400	1900	2200	7000
Αντοχή θλίψεως [daN/mm^2]	120	300	210	300	350	300	–	–	–
Αντοχή κάμψεως [daN/mm^2]		250	–	140	160	50	–	–	–
Μέτρο ελαστικότητας [10^4 daN/mm^2]	2,1	2,3	2,5	6,0	6,4	4,5	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	5,5	–	–	–
Συντελεστής θερμικής διαστολής [$10^{-6}/^\circ\text{F}$]	8,2	7,0	8,0	3,5	3,0	4,0	4,3	–	0,56
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας [$10^{-4} \times \text{BTU/in, sec, } ^\circ\text{F}$]	7,85	3,4	–	4,5	11,2	–	0,56	1,35	18,5
Ειδική θερμότητα [$\text{BTU/lb, } ^\circ\text{F}$]	0,11	–	–	0,06	0,05	–	0,18	–	0,10

ΣΧΗΜΑ 10.18:

Σύστημα πρόσδεσης ένθετων πλακιδίων.



Τα σκληρομέταλλα ως κοπτικά εργαλεία προσφέρονται στο εμπόριο σε μορφή ένθετων πλακιδίων τυποποιημένων γεωμετρικών στοιχείων και με διάφορες εμπορικές ονομασίες, όπως: βίντια (Windia), τιτανίτ (Titanit), καρμπολόι (Carbology), κόρομαντ (Coromant) κ.λ.π.

Τα κοπτικά εργαλεία σκληρομετάλλου προσδένονται σε κατάλληλο στέλεχος από χαλυβόκραμα (ή στο σώμα του εργαλείου) με τη βοήθεια ψυχρής κολλήσεως (ασημοκολλήσεως) ή με μηχανικά μέσα. Τα πλακίδια σκληρομετάλλου μπορούν να φέρουν γρεζοθραύστη.

Κεραμικά από πυρίμαχα οξείδια

Είναι πυκνά πολυκρυσταλλικά σύνολα με μέσο μέγεθος κόκκων από 2 μέχρι 5 μm . Κατά βάση περιέχουν κορούνδιο (οξείδιο του αργιλίου: Al_2O_3). Κατασκευάζονται με πυροσυσσώματωση σε μορφή ενθέτων πλακιδίων όπως και τα καρβίδια.

Τα κεραμικά από πυρίμαχα οξείδια υπερτερούν σημαντικά απέναντι στα σκληρομέταλλα, με κριτήριο τη διατήρηση της σκληρότητάς τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Η αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες οφείλεται στο κορούνδιο (έχει σημείο τήξεως 2000°C). Είναι ψαθυρά υλικά και παρουσιάζουν μειωμένη δυσθραυστότητα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά σε πολύ υψηλές ταχύτητες κοπής και για μικρές θεωρητικές διατομές αποβλήτου (σε χαμηλές φορτίσεις του εργαλείου) σε κατεργασίες χωρίς ταλαντώσεις.

Χρησιμοποιούνται ικανοποιητικά ως εργαλεία торνεύσεως χαλύβων (και των σκληρότερων χαλυβοκραμάτων ακόμα) κατά κύριο λόγο επίσης στην τόννευση χυτοσιδήρων, μη σιδηρούχων μετάλλων και κραμάτων (με εξαίρεση το αργίλιο και τα κράματά του, το τιτάνιο και το ζirkόνιο), όπως και μη μεταλλικών υλικών.

Υπέρσκληρα υλικά κοπτικών εργαλείων: Το διαμάντι και τα κυβικά βοριονιτρίδια

Οι ιδιότητες του **διαμαντιού** συνοψίζονται, ως ακολούθως:

- α) Είναι η σκληρότερη γνωστή ουσία.
- β) Έχει το μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από όλες τις γνωστές ουσίες.
- γ) Έχει υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.
- δ) Έχει μεγάλο μέτρο ελαστικότητας.
- ε) Καίγεται στους 820°C περίπου.
- στ) Παρουσιάζει χαμηλό συντελεστή τριβής ολισθήσεως.

Το υψηλό κόστος των κατάλληλων για εργαλεία κοπής διαμαντιών περιορίζει τη χρήση τους σε απολύτως εξειδικευμένες περιπτώσεις εφαρμογών.

Τα συνθετικά διαμάντια (διαμαντοεργαλεία) κατασκευάζονται σε μορφή πλακίδια σκληρομετάλλου με επίθεση λεπτού στρώματος τεμαχιδίων συνθετικού διαμαντιού και είναι πιο στιβαρά και λιγότερο εύθραυστα από το φυσικό διαμάντι.

Τα **κυβικά βοριονιτρίδια** είναι συνθετικό υπέρσκληρο υλικό, δεύτερο σε σκληρότητα μετά το διαμάντι. Είναι αλλοτροπική μορφή των εξαγωνικών βοριονιτρίδιων (BN) και παρασκευάζονται με μεθόδους υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων, όπως και τα τεχνητά διαμάντια. Χρησιμοποιούνται σε πλακίδια διαφόρων σχημάτων (τριγωνικού, τετραγωνικού, κυκλικού, ημικυκλικού κ.ά.) όπως και τα τεμαχίδια τεχνητού διαμαντιού. Εμφανίστηκαν στις ΗΠΑ με το εμπορικό όνομα Borazon από την The General Electric Company. Πλεονεκτούν ως προς το διαμάντι κατά το ότι δεν οξειδώνονται στον αέρα τόσο εύκολα. Είναι σταθερά και αδρανή κατά την κατεργασία χαλύβων και κραμάτων του Ni σε υψηλότερες θερμοκρασίες απ' το διαμάντι. Είναι αξιόλογο υλικό για τελική κατεργασία υλικών με μικρό βαθμό κατεργαστικότητας. Η χρήση του όμως περιορίζεται σε ορισμένες εφαρμογές λόγω του υψηλού κόστους του.

10.8 ΖΩΗ ΤΟΥ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ

Λέγοντας **ζωή κοπτικού εργαλείου** εννοούμε την χρονική περίοδο απ' τη στιγμή που το εργαλείο θ' αρχίσει να εργάζεται μέχρι κάποιου σημείου λειτουργίας, το οποίο καθορίζεται από επιλεγμένο κριτήριο αστοχίας, οπότε το εργαλείο αφαιρείται για ανατροχίση ή για αντικατάσταση. Η ζωή του εργαλείου μεταξύ δύο διαδοχικών τροχίσεων ή μεταξύ της τελευταίας ανατροχίσεως και της αντικατάστασής του δύναται να ορισθεί εναλλακτικά ως:

- 1) Ενεργός χρόνος κοπής μέχρις αστοχίας.
- 2) Συνολικός χρόνος κοπής μέχρις αστοχίας σε διακοπτόμενες κατεργασίες κοπής.
- 3) Θεωρητικό μήκος αποβλήτου ή μήκος κατεργασμένης επιφάνειας μέχρις αστοχίας.
- 4) Όγκος αφαιρούμενου υλικού μέχρις αστοχίας.
- 5) Αριθμός κατεργασμένων τεμαχίων μέχρις αστοχίας.

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

- 1) Καθορισμένη τιμή του πλάτους ζώνης φθοράς.
- 2) Καθορισμένη τιμή του βάθους κρατήρα ή του δείκτη φθοράς κρατήρα.
- 3) Συνδυασμός των (1) και (2).
- 4) Καθορισμένη τιμή του όγκου ή του βάρους του αφαιρούμενου λόγω φθοράς υλικού του εργαλείου.
- 5) Πλήρης καταστροφή της κόπης του εργαλείου, οπότε το εργαλείο καθίσταται εντελώς ανίκανο για κοπή.
- 6) Άμβλυνση της κόπης του εργαλείου.
- 7) Καθορισμένο όριο τραχύτητας επιφανείας του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
- 8) Καθορισμένο πεδίο ανοχών κρίσιμων διαστάσεων του τεμαχίου.
- 9) Καθορισμένο ποσοστό αύξησεως των δυνάμεων κοπής ή της ισχύος κοπής.

Η ζωή του κοπτικού εργαλείου μοντελοποιείται μαθηματικά από την εξίσωση *Taylor* (1906):

$$VT^n = C$$

όπου V είναι η ταχύτητα κοπής, T είναι ο χρόνος (σε λεπτά) μέχρι τη δημιουργία φθοράς συγκεκριμένου εύρους, n εκθέτης που εξαρτάται από τα υλικά του εργαλείου και τεμαχίου καθώς και τις συνθήκες κοπής και C μια σταθερά. Ενώ η ταχύτητα κοπής είναι η σημαντικότερη παράμετρος για τη ζωή του κοπτικού εργαλείου, δεν υποβαθμίζεται η επίδραση του βάθους κοπής και του ρυθμού πρόωσης. Η εξίσωση *Taylor* τροποποιείται

$$VT^n d^x f^y = C$$

ώστε να περιλαμβάνει το βάθος κοπής d και το ρυθμό πρόωσης f (σε mm/στρ ή in/στρ). Οι εκθέτες x και y προσδιορίζονται πειραματικά για τις εκάστοτε συνθήκες κοπής. Ο χρόνος T είναι

$$T = C^{1/n} V^{-1/n} d^{x/n} f^{y/n}$$

ή προσεγγιστικά

$$T = C^7 V^7 d^1 f^4.$$

Οι παράγοντες, που καθορίζουν την ωφέλιμη 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.

Το σύστημα εργαλειομηχανή-εργαλείο-τεμάχιο

Ο τρόπος προσδέσεως εργαλείου και τεμαχίου.

A. Οι συνθήκες κατεργασίας. Καθορίζουν το ρυθμό αφαιρούμενου υλικού και το ρυθμό παραγωγής. Η ταχύτητα κοπής ασκεί την εντονότερη επίδραση στη ζωή του εργαλείου, ενώ η πρόωση και το βάθος κοπής ακολουθούν.

B. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εργαλείου. Αύξηση της γωνίας αποβλήτου (μέχρι ορισμένη τιμή) του εργαλείου έχει ευνοϊκά αποτελέσματα στην κοπή, άρα και στη ζωή του εργαλείου. Υπέρμετρη αύξηση της γωνίας αποβλήτου έχει ως συνέπεια αύξηση της θερμοκρασίας και συνεπώς χειροτέρευση της ζωής του εργαλείου. Οι αντικρουόμενοι παράγοντες επιβάλλουν βέλτιστη επιλογή της γωνίας αποβλήτου. Αύξηση της γωνίας ελευθερίας συνεπάγεται ελάττωση του πλάτους της ζώνης φθοράς και επομένως αύξηση της ζωής του κοπτικού εργαλείου.

Γ Επιρροή του υλικού του εργαλείου. Η αξιολόγηση του υλικού κατασκευής του εργαλείου βασίζεται κατά κύριο λόγο στο βαθμό διατηρήσεως της σκληρότητάς του σε αύξηση της θερμοκρασίας. Ο εκθέτης n της εξίσωσης *Taylor* εκφράζει την επίδραση της ταχύτητας κοπής στη ζωή του εργαλείου. Έτσι, όσο μικρότερη είναι η τιμή του n , τόσο πιο έντονη είναι η επίδραση της ταχύτητας κοπής στη ζωή του εργαλείου. Ο εκθέτης n παίρνει τιμές ως ακολούθως:

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 πυρίμαχων οξειδίων.

Δ. Το υλικό του τεμαχίου. Ασκήει σημαντική επιρροή στη ζωή του εργαλείου. Έτσι, ενδιαφέρει η χημική σύνθεση του υλικού, η κρυσταλλική του δομή, η σκληρότητα, καθώς και οι ακαθαρσίες και τα εγκλείσματα που ενδεχομένως περιέχει.

Ε. Επίδραση του υγρού κοπής. Η χρησιμοποίηση του κατάλληλου υγρού κοπής ασκεί γενικά ευνοϊκή επίδραση στη ζωή του εργαλείου μέσω της ψυκτικής ή και λιπαντικής του δράσεως.

10.9 ΦΘΟΡΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΚΟΠΗΣ

Κατά την κοπή των μετάλλων, όπως γνωρίζουμε, το κοπτικό εργαλείο υπόκειται σε υψηλές θερμοκρασίες και τάσεις. Κάτω από τις πολύ δυσμενείς συνθήκες εργασίας το κοπτικό εργαλείο *φθείρεται ή εν γένει αστοχεί*. Όταν λέμε ότι ένα κοπτικό εργαλείο αστοχεί, σημαίνει ότι το εργαλείο δεν εκτελεί πλέον ικανοποιητικά την αποστολή του, και πρέπει είτε να ανατροχισθεί είτε να αποσυρθεί 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. Η ζώνη φθοράς είναι μία ζώνη κατά προσέγγιση επίπεδη, που εκτείνεται προς τα πίσω της κυρίας κόψης του εργαλείου επάνω στην ελεύθερη επιφάνεια του. Χαρακτηριστικό μέγεθος της φθοράς του εργαλείου είναι το πλάτος της ζώνης φθοράς (ή απλούστερα πλάτος φθοράς). Το πλάτος της ζώνης φθοράς αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου κοπής ή του μήκους του αποβλήτου.

β) Στην δημιουργία φθοράς επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, την **φθορά κρατήρα**. Η φθορά κρατήρα (η ονομασία προέρχεται από τη χαρακτηριστική μορφή της φθοράς) εμφανίζεται στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου. Τα μεγέθη που σχετίζονται με τη φθορά κρατήρα είναι: το μέγιστο βάθος κρατήρα, η απόσταση της μέσης θέσεως του κρατήρα από την κόψη του φθειρόμενου εργαλείου, το πλάτος κρατήρα και το πλάτος του χείλους του κρατήρα.

Πειραματικώς έχει ευρεθεί, ότι το βάθος του κρατήρα συναρτίζεται του χρόνου κοπής και με παράμετρο την ταχύτητα κοπής (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) μεταβάλλεται εκθετικά.

Ο σχηματισμός προχωρημένου κρατήρα αδυνατίζει την περιοχή της κόψης με κίνδυνο θραύσεως, αυξάνει την πραγματική γωνία αποβλήτου του εργαλείου γεγονός ευνοϊκό για τις δυνάμεις και την ισχύ κοπής. Λόγω σχήματος ο κρατήρας παίζει το ρόλο γρεζοθραύστη.

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

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

ε) Πλαστική παραμόρφωση της ακμής 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 ακμής του εργαλείου, που οφείλεται κυρίως σε επιβολή κρουστικών φορτίων .

Από τις αναφερθείσες αιτίες αστοχίας των κοπτικών εργαλείων η ανάπτυξη της ζώνης φθοράς και η φθορά κρατήρα, δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν .

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 .Η φθορά κρατήρα και η ζώνη φθοράς επηρεάζουν τη λειτουργία του

κοπτικού εργαλείου. Εν γένει οι δυνάμεις κοπής αυξάνονται με την πρόοδο της φθοράς. Η φθορά κρατήρα εν τούτοις, υπό ορισμένες συνθήκες, έχει ως αποτέλεσμα ελάττωση των δυνάμεων κοπής, λόγω αυξήσεως της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου. Η ζώνη φθοράς συμβάλλει στην αύξηση των δυνάμεων κοπής, λόγω της αύξησης της τριβής στην επιφάνεια επαφής εργαλείου-τεμαχίου. Προφανώς, η τραχύτητα επιφανείας χειροτερεύει καθώς το εργαλείο φθείρεται.

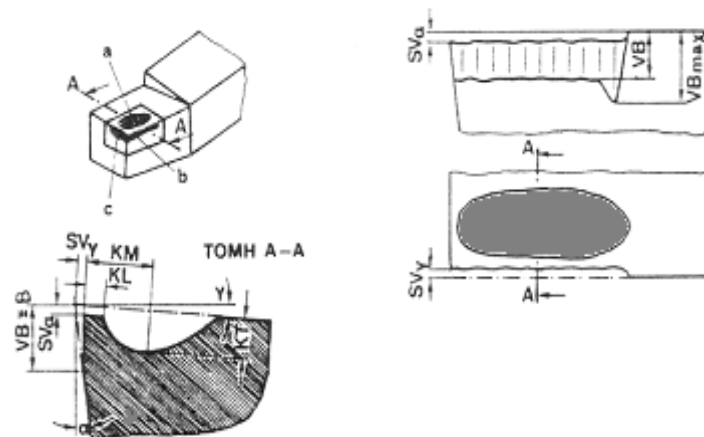
Η ζώνη φθοράς μεταβάλλει τη γεωμετρία του εργαλείου, με αποτέλεσμα να επηρεάζει την διαστατική ακρίβεια του τεμαχίου ή την ακρίβεια μορφής του, όταν τούτο κατεργάζεται με εργαλείο μορφής. Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος εργαλείο-τεμάχιο-εργαλειομηχανή επηρεάζεται δυσμενώς από τη φθορά του εργαλείου. Η ζώνη φθοράς αυξάνει την τάση του κοπτικού εργαλείου για δυναμική αστάθεια (ταλαντώσεις εργαλείου, κραδασμοί εργαλειομηχανής).

Οι κυριότεροι τρόποι με τους οποίους ερμηνεύεται η φθορά του κοπτικού εργαλείου, συνοψίζονται στη συνέχεια:

- 1. Φθορά λόγω σχηματισμού και λύσης συγκολλητών δεσμών.** Στην κοπή των μετάλλων, σχηματίζονται συγκολλητοί μικροδεσμοί 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 τεμαχίδια από το εργαλείο και μεταφέρονται προς το απόβλητο και την κατεργασμένη επιφάνεια.
- 2. Φθορά λόγω αφαίρεσης υλικού.** Από το εργαλείο αφαιρούνται μικρά τμήματα λόγω της επαφής του με το απόβλητο και πολύ σκληρών τεμαχιδίων που έχουν σχηματιστεί πάνω σ' αυτό. Τα σκληρά αυτά τεμαχίδια είναι δυνατό να είναι κομματάκια της ψευδόκοπης ή του υλικού του εργαλείου ή σκληρά εγκλείσματα στο υλικό του κομματιού.
- 3. Φθορά από διάχυση στερεάς καταστάσεως.** Κατά την κοπή δημιουργούνται, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της εκτεταμένης επαφής των μετάλλων, συνθήκες που ευνοούν τη διάχυση ατόμων από το υλικό του εργαλείου προς το απόβλητο και το κομμάτι, αλλά και αντίστροφα. Η διάχυση έχει ως αποτέλεσμα αλλαγές στη δομή του υλικού του εργαλείου στην επιφανειακή του στιβάδα και συνακόλουθα ταχύτερη φθορά.
- 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- τεμάχιο-εργαλείο μηχανή-εργαλείο .
- 5. Φθορά από οξείδωση.** Οξειδώνονται κατά κύριο λόγο τα σκληρομέταλλα που περιέχουν μονοκαρβίδιο του βολφραμίου. Η οξείδωση εκδηλώνεται έντονα σε υψηλές ταχύτητες κοπής .
- 6. Χημική ή ηλεκτρολυτική φθορά.** Προκαλείται από την αλληλεπίδραση εργαλείου-τεμαχίου σε ένα χημικό περιβάλλον, που δημιουργείται συνήθως από το χρησιμοποιούμενο υγρό κοπής.

ΣΧΗΜΑ 10.19:

Γεωμετρικά
χαρακτηριστικά της
ζώνης φθοράς και της
φθοράς κρατήρα του
τυπικού εργαλείου:
a φθορά κρατήρα,
b ζώνη φθοράς,
c φθορά λόγω
οξειδώσεως.

**10.10 ΥΓΡΑ ΚΟΠΗΣ**

Τα υγρά κοπής χρησιμοποιούνται συχνά στις διάφορες κατεργασίες, κατάλληλα προσαγόμενα στην περιοχή κοπής την οποία διαβρέχουν. Ένα υγρό κοπής μπορεί να επενεργήσει είτε ως λιπαντικό είτε ως ψυκτικό είτε ως λιπαντικό και ψυκτικό μαζί. Με τη χρήση των υγρών κοπής μπορούμε να επιτύχουμε:

- α) Μείωση των τριβών στην επιφάνεια επαφής αποβλήτου-εργαλείου αλλά και στην επιφάνεια επαφής εργαλείου-τεμαχίου.
- β) Ελάττωση της θερμοκρασίας (εργαλείου, κομματιού) μέσω απαγωγής μέρους της θερμότητας που παράγεται κατά την κοπή.
- γ) Μείωση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου ως επίπτωση των (α) και (β).
- δ) Βελτίωση της τραχύτητας της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου.
- ε) Μείωση στις δυνάμεις και την ισχύ κοπής.
- ζ) Περιορισμό των στρεβλώσεων του τεμαχίου που προκαλούνται λόγω υψηλών τοπικών διαφορών της θερμοκρασίας.
- η) Προστασία από οξείδωση του τεμαχίου και των μερών της εργαλειομηχανής.

Τα ευεργετικά χαρακτηριστικά των υγρών κοπής μεταβάλλονται με την κατεργασία, το είδος υλικού τεμαχίου και εργαλείου, τη γεωμετρική μορφή του εργαλείου και τις συνθήκες κατεργασίας. Το ίδιο υγρό κοπής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγχρόνως ως λιπαντικό και ως ψυκτικό. Και αυτό γιατί πρέπει να έχει ορισμένες για κάθε δράση του χαρακτηριστικές ιδιότητες. Οι δύο βασικές κατηγορίες υγρών κοπής είναι τα **λάδια κοπής** και τα **υδατικά υγρά κοπής**.

Πιο συγκεκριμένα, τα υγρά κοπής τα κατατάσσουμε ως ακολούθως:

- α) Λάδια κοπής: 1) Χημικώς μη ενεργά ή απλά λάδια κοπής, 2) Χημικώς ενεργά ή λάδια κοπής με πρόσθετα υψηλής πίεσης.
- β) Υδατικά υγρά κοπής: 1) Γαλακτώματα, 2) Υδατικά διαλύματα.

Η επιλογή υγρού κοπής γίνεται με βάση:

- α) Την κατεργασία (τόρνευση, διάτρηση, φρεζάρισμα, σπειροτόμηση κ.ά.), μαζί με ορισμένα χαρακτηριστικά της και γεωμετρικά μεγέθη του εργαλείου. Αναλυτικότερα: Συνθήκες κατεργασίας, συνεχής ή διακοπτόμενη κατεργασία, ρυθμός αφαίρεσεως μετάλλου, κόστος, κλπ.
- β) Το είδος της κατεργασίας (π.χ. εκχόνδριση ή αποπεράτωση).
- γ) Το υλικό του τεμαχίου.
- δ) Το υλικό του κοπτικού εργαλείου.