



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΩΣΗΣ ΤΟΥ
ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΣΤΙΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ**

υπό
ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΝΙΚΗΦΟΡΙΔΗ

Διπλωματική Εργασία

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

Βόλος, 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΩΣΗΣ ΤΟΥ
ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΣΤΙΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ**

υπό
ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΝΙΚΗΦΟΡΙΔΗ

Διπλωματική Εργασία

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

Βόλος, 2022

© 2022 Βασίλειος Νικηφορίδης

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

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Εμμανουήλ Μπουζάκης Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Αλέξης Κερμανίδης Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Νικόλαος Χασιώτης Μεταλλουργός Μηχανικός, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μπουζάκη, για την καθοδήγηση, την συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά του καθ' όλη την διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητές κ. Αλέξη Κερμανίδα και κ. Νικόλαο Χασιώτη, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις σημαντικές υποδείξεις τους.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Βέργο για την ουσιαστική συνδρομή του στη διεκπεραίωση του πειραματικού σκέλους της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, σε προσωπικό επίπεδο, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους οικείους μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια των ακαδημαϊκών μου σπουδών.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΣΤΙΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΝΙΚΗΦΟΡΙΔΗΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2022

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Εμμανουήλ Μπουζάκης

Αναπληρωτής Καθηγητής Κατεργασιών Μορφοποίησης Υλικών

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη διερεύνηση της επιρροής της πρόωσης του κοπτικού πλακιδίου στις αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής κατά την κατεργασία της διαμήκου εξωτερικής τórνευσης.

Στο πρώτο σκέλος, το οποίο περιέχει τα κεφάλαια 1, 2 και 3, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των βασικών εννοιών και παραμέτρων των κατεργασιών κοπής με εργαλεία καθορισμένης κόψης ενώ γίνεται λεπτομερής ανάλυση της τórνευσης.

Το δεύτερο σκέλος περιέχει την περιγραφή και την ανάλυση της πειραματικής διαδικασίας και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν και αποτελείται από τα κεφάλαια 4, 5 και 6. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο μηχανουργικών κατεργασιών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με χρήση κατεργαζόμενου τεμαχίου από χάλυβα χρωμίου-μολυβδαίνιου (42CrMo4) κυκλικής διατομής και κοπτικού πλακιδίου από καρβίδιο με επίστρωση CVD TiCN+Al₂O₃+TiN εξαγωνικού σχήματος. Η ταχύτητα και το βάθος κοπής διατηρήθηκαν σταθερά στις τιμές 200 m/min και 2.5mm σε όλες τις πειραματικές διαδικασίες που διεξήχθησαν ενώ η πρόωση μεταβάλλεται επηρεάζοντας την γεωμετρία της κοπής. Οι προώσεις που επιλέχθηκαν είναι 0.1 mm, 0.12 mm, 0.20 mm, 0.24 mm, 0.36 mm, 0.4 mm και 0.5 mm. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε το συμπέρασμα πως η αύξηση της πρόωσης, και

επομένως η αλλαγή στην γεωμετρία της κοπής, οδήγησε σε αύξηση των αναπτυσσόμενων συνιστωσών της δύναμης κοπής.

Λέξεις-κλειδιά: κατεργασίες αφαίρεσης υλικού, διαμήκης εξωτερική τόννευση, πρόωση κοπτικού πλακιδίου, γεωμετρία κοπής, δυνάμεις κοπής

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF TOOL'S FEED ON CUTTING FORCES

VASILEIOS NIKIFORIDIS

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2022

Supervisor: Dr. Emmanouil Bouzakis

Associate Professor in Manufacturing Engineering

Abstract

The current thesis aims to examine the effect of the cutting insert's feed on the developing components of cutting forces during the process of longitudinal external turning.

On the first part, which contains chapters 1, 2 and 3, the basic parameters and fundamentals of machining processes are presented while the turning operation is presented in detail.

The second part contains the description of the experimental process and the analysis of the output data. It consists of chapters 4, 5 and 6. The experimental process took place at the mechanical engineering machining laboratory of University of Thessaly using chromium-molybdenum steel (42CrMo4) bar as a workpiece material and a hexagon shaped carbide cutting insert with CVD TiCN+Al₂O₃+TiN coating. The chosen cutting speed and depth of cut were 200m/min and 2.5mm and remained constant during the seven experimental operations while feed changes for each operation and affects the geometry during machining. The chosen feeds are 0.1 mm, 0.12 mm, 0.20 mm, 0.24 mm, 0.36 mm, 0.4 mm and 0.5 mm. The data analysis leads to the conclusion that the feed speed increase, and therefore the change of the machining geometry, causes an increase in the components of the cutting force.

Key words: machining operations, longitudinal external turning, cutting insert's feed, machining geometry, cutting force

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ	1
1.1 Ταξινόμηση κατεργασιών κοπής	1
1.2 Βασικά στοιχεία κατεργασιών κοπής	2
1.3 Συνθήκες κοπής	3
1.4 Παράγοντες της κοπής	4
1.5 Κατεργασίες κοπής με εργαλεία γεωμετρικά καθορισμένης κόψης	4
Κεφάλαιο 2. ΚΟΠΗ ΜΕ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΚΟΨΗΣ	9
2.1 Είδη κοπής	9
2.2 Μηχανισμός της κοπής	10
2.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	10
2.4 Απόβλιττο	12
2.4.1 Συνεχές απόβλιττο	14
2.4.2 Συνεχές απόβλιττο με ψευδόκοψη	16
2.4.3 Ασυνεχές απόβλιττο	17
2.4.4 Πριονωτό απόβλιττο	18
2.5 Δυνάμεις κοπής	19
2.5.1 Δυναμόμετρα	22
2.6 Θερμοκρασίες κοπής	22
2.7 Κοπτικά εργαλεία	25
2.7.1 Χαρακτηριστικά κοπτικών εργαλείων	25
2.7.2 Φθορά	26
2.7.3 Διάρκεια ζωής	31
2.7.4 Κατηγορίες κοπτικών εργαλείων	31
2.7.4.1 Σιδηρούχα κοπτικά εργαλεία	31

2.7.4.2 Μη σιδηρούχα κοπτικά εργαλεία.....	32
2.7.5 Επιστρώσεις.....	34
2.7.6 Κοπτικά πλακίδια.....	38
2.8 Υγρά κοπής.....	40
2.8.1 Κοπή παρουσία υγρών.....	40
2.8.1.1 Λειτουργία υγρών κοπής.....	40
2.8.1.2 Κατηγορίες υγρών κοπής.....	40
2.8.1.3 Μέθοδοι εφαρμογής υγρών κοπής.....	42
2.8.1.4 Ανακύκλωση υγρών κοπής.....	43
2.8.2 Ξηρή κοπή.....	43
2.9 Ποιότητα επιφάνειας.....	44
2.10 Δυναμική της κοπής.....	45
2.10.1 Κατηγορίες ταλαντώσεων.....	45
2.10.1.1 Ελεύθερες ταλαντώσεις.....	45
2.10.1.2 Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις.....	46
2.10.1.3 Αυτοδιεγερμένες ταλαντώσεις.....	46
2.10.2 Συνέπειες ταλαντώσεων.....	47
2.10.3 Τρόποι αντιμετώπισης.....	47
2.11 Κατεργασιμότητα.....	47
Κεφάλαιο 3. ΤΟΡΝΕΥΣΗ.....	55
3.1 Είδη τórνευσης.....	55
3.2 Τórνος.....	58
3.2.1 Δομή τórνου.....	58
3.2.2 Είδη τórνων.....	60
3.3 Κοπτικά εργαλεία.....	63
3.4 Δυνάμεις στην τórνευση.....	66

3.5 Συνθήκες κοπής	67
3.6 Τάσεις	68
3.7 Μηχανισμοί συγκράτησης τεμαχίου	69
Κεφάλαιο 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΙΚΑΣΙΑ.....	73
4.1. Περιγραφή πειράματος-Συνθήκες κοπής.....	75
4.2. Κοπτικό εργαλείο	75
4.3. Κατεργαζόμενο τεμάχιο.....	77
4.4. Εργαλειομηχανή	78
4.5. Δυναμόμετρο	79
Κεφάλαιο 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	81
Κεφάλαιο 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	94
Βιβλιογραφία	95

Κατάλογος Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 2.1 ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΚΟΠΗ ΚΑΙ ΛΟΞΗ ΚΟΠΗ. [4].....	9
ΣΧΗΜΑ 2.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΟΠΗΣ. [8]	10
ΣΧΗΜΑ 2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΚΟΠΗ. [1]	11
ΣΧΗΜΑ 2.4 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΟΠΗΣ ΜΕ ΚΑΛΑ ΟΡΙΣΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ. [2] ..	12
ΣΧΗΜΑ 2.5 ΖΩΝΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ. [4].....	13
ΣΧΗΜΑ 2.6 ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΟΒΛΙΤΤΩΝ ΚΑΤΑ ISO. [1]	14
ΣΧΗΜΑ 2.7 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ. [4].....	15
ΣΧΗΜΑ 2.8 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΡΕΖΟΘΡΑΥΣΤΗ. [4]	15
ΣΧΗΜΑ 2.9 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΡΕΖΟΘΡΑΥΣΤΗ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ. [4]	16
ΣΧΗΜΑ 2.10 ΓΡΕΖΟΘΡΑΥΣΤΕΣ. [4]	16
ΣΧΗΜΑ 2.11 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ ΜΕ ΨΕΥΔΟΚΟΨΗ. [4].....	17
ΣΧΗΜΑ 2.12 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ. [4].....	18
ΣΧΗΜΑ 2.13 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΡΙΟΝΩΤΟΥ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ. [4].....	19
ΣΧΗΜΑ 2.15 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΕΝΕΡΓΟΥΝ ΣΤΗΝ ΖΩΝΗ ΚΟΠΗΣ. [2]	20
ΣΧΗΜΑ 2.16 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ. [4].....	23
ΣΧΗΜΑ 2.17 ΤΥΠΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΖΩΝΗ ΚΟΠΗΣ. [2].....	23
ΣΧΗΜΑ 2.18 ΥΛΙΚΟ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΓΙΑ ΥΛΙΚΑ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΟΠΗΣ. [4]... 38	
ΣΧΗΜΑ 2.19 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΠΛΑΚΙΔΙΟΥ. [4]	39
ΣΧΗΜΑ 3.1 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ. [1]	55
ΣΧΗΜΑ 3.2 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗ. [1].....	56
ΣΧΗΜΑ 3.3 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗ. [1]	56
ΣΧΗΜΑ 3.4 ΚΩΝΙΚΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗ. [1].....	57
ΣΧΗΜΑ 3.5 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ. [11].....	57
ΣΧΗΜΑ 3.6 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΤΟΡΝΟΥ. [12].....	59
ΣΧΗΜΑ 3.7 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΗΧΑΒΙΣΜΩΝ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ. [1]	59
ΣΧΗΜΑ 3.8 ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ. [14]	62
ΣΧΗΜΑ 3.9 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΔΕΞΙΑΣ ΧΕΙΡΟΣ. [2].....	63
ΣΧΗΜΑ 3.10 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ. [1].....	64
ΣΧΗΜΑ 3.11 ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΠΛΑΚΙΔΙΟΥ ΣΕ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ. [1]	65
ΣΧΗΜΑ 3.12 ΕΙΔΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ. [15]	66
ΣΧΗΜΑ 3.13 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ. [2]	67
ΣΧΗΜΑ 3.14 ΒΑΘΟΣ ΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ. [1]	68
ΣΧΗΜΑ 3.15 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΟΠΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ. [2] 68	
ΣΧΗΜΑ 3.16 ΠΕΔΙΟ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ (ΠΗΓΗ: ZOREV). [5].....	69
ΣΧΗΜΑ 3.17 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΣΙΜΠΙΔΑΣ. [2].....	71

ΣΧΗΜΑ 3.18 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΕΜΑΧΙΟΥ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ ΣΕ ΠΛΑΤΩ. [2].....	71
ΣΧΗΜΑ 3.19 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΑΞΟΝΩΝ. [2].....	72

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΙΒΛΙΠΤΩΝ.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΠΕΔΙΟ ΦΘΟΡΑΣ ΣΕ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ. [4].....	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΦΘΟΡΑ ΚΡΑΤΗΡΑ ΣΕ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ. [4]	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ ΣΕ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ. [4].....	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ. [4]	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΚΟΠΤΙΚΗ ΑΚΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ. [4].....	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΨΕΥΔΟΚΟΨΗ ΣΕ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ. [4]	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.8 ΚΟΠΤΙΚΑ ΠΛΑΚΙΔΙΑ. [10]	39
ΕΙΚΟΝΑ 2.9 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ-ΜΑΝΕΛΕΣ. [10]	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗ. [1].....	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΤΟΡΝΟΣ ΠΑΓΚΟΥ ΚΑΙ ΤΟΡΝΟΣ ΡΕΒΟΛΒΕΡ ΜΕ ΠΥΡΓΙΣΚΟ(TURRET). [13].....	61
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ (CNC). [13].....	62
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 ΕΙΔΗ ΤΣΟΚ. [13]	70
ΕΙΚΟΝΑ 3.5 ΕΙΔΗ ΤΣΙΜΠΙΔΩΝ. [3].....	71
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΕΜΑΧΙΟ ΣΤΕΡΕΩΜΕΝΟ ΣΕ ΠΛΑΤΩ. [9]	72
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΕΜΑΧΙΟ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΤΟΡΝΟΥ. [9]	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 ΤΟ ΚΟΠΤΙΚΟ ΠΛΑΚΙΔΙΟ. [38]	76
ΕΙΚΟΝΑ 4.2 ΤΟ ΚΟΠΤΙΚΟ ΠΛΑΚΙΔΙΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΣΤΗ ΜΑΝΕΛΑ.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΤΟ ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΕΜΑΧΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 4.4 Ο ΤΟΡΝΟΣ ΤΥΠΟΥΤΡΙΟΥΜΡΗ 2500 ΤΗΣ COLCHESTER.	79
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΤΟ ΤΕΜΑΧΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ.	79
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 ΤΟ ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΣΤΟ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ. ...	80
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ.	80

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ/ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΚΟΠΗ ΧΑΛΥΒΑ. [38].....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΠΛΑΚΙΔΙΟΥ. [38].....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΧΑΛΥΒΑ 42CRMO4.	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ 42CRMO4. [39].....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ 42CRMO4. [40], [39]	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΡΝΟΥ TRIUMPH 2500 COLCHESTER. .	78

Κατάλογος Διαγραμμάτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 1.	81
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 2.	82
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 3.	83
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 4.	84
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 5.	85
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 6.	86
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 7.	87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.8 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΟΠΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.	88
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.9 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΑΠΩΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ F_p	89
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.10 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΡΟΩΣΗΣ F_f	91
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.11 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ F_c	92

Κεφάλαιο 1. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ

Οι *κατεργασίες αφαίρεσης υλικού*, που συχνά ονομάζονται και *κατεργασίες κοπής*, αποτελούν μια από τις παλαιότερες κατηγορίες κατεργασιών. Στόχος τους είναι η επεξεργασία τεμαχίων, αφαιρώντας ανεπιθύμητο υλικό με την μορφή αποβλίπτου, για να αποκτήσουν γεωμετρικά χαρακτηριστικά εντός των ορίων των προδιαγραφών τους. [1], [2], [3]

Τις περισσότερες φορές τα συγκεκριμένα τεμάχια έχουν παραχθεί με κάποια άλλη κατεργασία, όπως η χύτευση, η έλαση, η σφυρηλάτηση, και μέσω των κατεργασιών κοπής αποκτούν καλύτερη *διαστατική ακρίβεια και ποιότητα επιφανειών*. [1], [2]

Οι κατεργασίες κοπής συναντώνται σε μικρού πλήθους παραγωγικές διαδικασίες με γρήγορους ρυθμούς και η εφαρμογή τους απαιτεί μορφωτική γνώση και εμπειρία με στόχο τα όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα. Για μεγάλες παραγωγές δεν αποτελούν πρώτη επιλογή καθώς απαιτούν μεγάλα ποσοστά ενέργειας, χρόνου και σπατάλη υλικών. Για τέτοιες διαδικασίες επιλέγονται συνήθως οι κατεργασίες διαμόρφωσης. [1], [2]

1.1 Ταξινόμηση κατεργασιών κοπής

Οι κατεργασίες κοπής μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα τον μηχανισμό κοπής που εφαρμόζεται σε τρεις κατηγορίες:

- κατεργασίες αφαίρεσης υλικού με διάτμηση.
- κατεργασίες αφαίρεσης υλικού με απόξεση/εκτριβή.
- μη συμβατικές/προηγμένες κατεργασίες αφαίρεσης υλικού.

Στις *κατεργασίες αφαίρεσης υλικού με διάτμηση* η κοπή πραγματοποιείται είτε με κίνηση περιστροφής (τόρνευση, διάτρηση) είτε με οποιαδήποτε άλλη μορφή (πλάνιση, φρεζάρισμα, αυλάκωση, πριόνισμα). Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις κατεργασίες είναι συγκεκριμένης γεωμετρίας με ένα ή πολλαπλά σημεία κοπής. [2]

Στις *κατεργασίες αφαίρεσης υλικού με απόξεση* συναντάμε κατεργασίες όπως η λείανση, το honing και το lapping. Σε αυτή την κατηγορία κατεργασιών τα κοπτικά

εργαλεία δεν παρουσιάζουν καθορισμένη γεωμετρία και χαρακτηρίζονται από ακανόνιστο σχήμα. [1]

Τέλος στις προηγμένες κατεργασίες ανήκουν οι κοπές με laser, ηλεκτροχημικές κατεργασίες, θερμικές κατεργασίες και υδροδυναμικές κατεργασίες. Σε αυτές τις κοπές τα κοπτικά εργαλεία δεν παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτά που χρησιμοποιούνται στις προηγούμενες δύο κατηγορίες. Ανάλογα την κατεργασία που εφαρμόζεται κοπτικό εργαλείο μπορεί να θεωρηθεί μια δέσμη laser, νερού, ιόντων ή ηλεκτρονίων . [1], [2]

1.2 Βασικά στοιχεία κατεργασιών κοπής

Τα βασικά στοιχεία για τις κατεργασίες κοπής είναι:

- η *εργαλειομηχανή*, που αποτελεί τη μηχανή στην οποία εκτελείται η εκάστοτε κατεργασία και από αυτή προσφέρεται η απαιτούμενη ισχύς για την κοπή.
- το *κοπτικό εργαλείο*, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η κοπή.
- το *κατεργαζόμενο τεμάχιο*, το οποίο υφίσταται την κοπή.

Ένας γενικός κανόνας που ισχύει στις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού είναι η θεώρηση της εργαλειομηχανής, του κοπτικού εργαλείου, του τεμαχίου καθώς και του χειριστή ως ένα σύστημα όπου όλοι οι παράγοντές του είναι αλληλένδετοι. [1]

Ανάλογα την κατεργασία που επιλέγεται υπάρχει και η αντίστοιχη εργαλειομηχανή. Οι πιο διαδεδομένες είναι ο τόρνος, το δρέπανο και η φρέζα στις οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν διάφορες κατεργασίες.

Πλέον υπάρχουν και οι σύγχρονες εργαλειομηχανές που προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες στον χρήστη και μπορούν να πραγματοποιήσουν πληθώρα κατεργασιών. [1], [2] Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες σύγχρονων εργαλειομηχανών: τα *κέντρα τόννευσης* και τα *κέντρα κατεργασίας*. Αποτελούν αυτοματοποιημένα κέντρα με τη λειτουργία και τον έλεγχό τους να γίνεται μέσω προγραμμάτων που έχουν αναπτυχθεί. Έχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης κινήσεων σε περισσότερους άξονες με μεγαλύτερα εύρη ταχυτήτων και παράγουν τεμάχια υψηλής ποιότητας και πολυπλοκότητας. [4]

Όποια εργαλειομηχανή και να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να διαθέτει υψηλή ακαμψία ώστε να εξασφαλίζει μια όσο το δυνατόν πιο ευσταθή κατεργασία.

Επιπλέον το συνολικό βάρος της πρέπει να περιορίζεται, όσο είναι εφικτό, ώστε να είναι πιο λειτουργικοί οι ρυθμοί επιτάχυνσης και επιβράδυνσης κατά την κατεργασία. [4]

Κάθε κατεργασία έχει και τα κατάλληλα κοπτικά εργαλεία για την καλύτερη απόδοση της. Τα τρυπάνια χρησιμοποιούνται στην διάτρηση, οι λειαντικοί τροχοί στην λείανση και τα κοπτικά εργαλεία τόννευσης κατά την τόννευση. [1], [2]

Όσον αφορά την επιλογή της κατάλληλης κατεργασίας ο βασικότερος παράγοντας και ταυτόχρονα οδηγός είναι το τελευταίο στοιχείο των κατεργασιών κοπής, δηλαδή το κατεργαζόμενο τεμάχιο. Παίζει ρόλο τόσο στην κατεργασία όσο και στο κοπτικό εργαλείο που θα επιλεγθεί. [1], [2]

1.3 Συνθήκες κοπής

Στις κατεργασίες κοπής οι βασικές κινήσεις είναι δύο και εκτελούνται από διαφορετικούς παράγοντες της κοπής ανάλογα την κατεργασία. Η κύρια κίνηση είναι αυτή που συνεισφέρει στην απαιτούμενη ισχύ για την κοπή και σχετίζεται με την *ταχύτητα κοπής*, δηλαδή τη στιγμιαία ταχύτητα κύριας κίνησης του εργαλείου ως προς το τεμάχιο. Η *κίνηση πρόωσης* είναι αυτή που επεξεργάζεται το τεμάχιο και σχετίζεται με την *ταχύτητα πρόωσης*. Η ταχύτητα πρόωσης είναι η στιγμιαία ταχύτητα της δευτερεύουσας κίνησης του κοπτικού εργαλείου ως προς το τεμάχιο. Οι δύο ταχύτητες που αναφέρθηκαν μαζί με το *βάθος κοπής*, δηλαδή το μήκος διείδυσης του κοπτικού εργαλείου στο κατεργαζόμενο τεμάχιο, αποτελούν τις συνθήκες κοπής. [1] Οι συνθήκες κοπής είναι οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την κατεργασία και οι τιμές τους επιλέγονται με σκοπό την καλύτερη απόδοσή της. Ένας επιπλέον παράγοντας που προκύπτει από τις συνθήκες κοπής και περιγράφει την απόδοσή της κατεργασίας είναι το *ποσοστό υλικού που αφαιρείται* σε κάθε περιστροφή ή πέρασμα του κοπτικού εργαλείου. Εκτός από τους παράγοντες της κοπής το ποσοστό επηρεάζεται κατά πολύ και από κοπτικό εργαλείο και το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου που χρησιμοποιείται. [3]

Οι τιμές των συνθηκών κοπής είναι ικανές να βελτιστοποιήσουν ή να δυσχεράνουν την κατεργασία και πρέπει να επιλέγονται με βάση την εμπειρία και ανάλογα τα υλικά των κοπτικών εργαλείων και των τεμαχίων, την εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται και την γεωμετρία που απαιτείται να παραχθεί. [1], [3]

1.4 Παράγοντες της κοπής

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κοπή είναι πολλοί, με τους βασικούς να είναι οι συνθήκες κοπής που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Το κατεργαζόμενο τεμάχιο, το υλικό του, και επομένως οι ιδιότητές του, καθώς και οποιαδήποτε επεξεργασία έχει υποστεί στο παρελθόν επηρεάζουν τον τρόπο που θα αντιδράσει κατά την κοπή. [1], [3] Επιπλέον η γεωμετρία και το υλικό του κοπτικού εργαλείου σε συνδυασμό με τον τρόπο εφαρμογής του επιδρούν στην κατεργασία. [1] Η κοπή επηρεάζεται και από το είδος της εργαλειομηχανής που πραγματοποιείται και από τον μηχανισμό έδρασής της ενώ βασικό ρόλο παίζει ο μηχανισμός συγκράτησης του κατεργαζόμενου τεμαχίου που επιλέγεται για την εκάστοτε εργαλειομηχανή. [1], [3] Επίσης παράγοντες της κατεργασίας αποτελούν το είδος του παραγόμενου αποβλίπτου, τα πεδία δυνάμεων και θερμοκρασιών που αναπτύσσονται καθώς και αν η κοπή πραγματοποιείται παρουσία υγρών και λιπαντικών. [2]

1.5 Κατεργασίες κοπής με εργαλεία γεωμετρικά καθορισμένης κόψης

Στην συγκεκριμένη διπλωματική γίνεται εκτενής αναφορά στην κοπή σε κατεργασίες με κοπτικά εργαλεία καθορισμένης γεωμετρίας και κόψης. Η ανάλυση των μηχανισμών κοπής και τους παράγοντες που τους επηρεάζουν απευθύνεται σε αυτές τις κατεργασίες. Για αυτόν τον λόγο στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά των πιο διαδεδομένων κατεργασιών αυτής της κατηγορίας.

ΤΟΡΝΕΥΣΗ

Η κατεργασία της τórνευσης αποτελεί μια από τις βασικότερες κατεργασίες αφαίρεσης υλικού και αποτελεί την κατεργασία στην οποία επικεντρώνεται η συγκεκριμένη εργασία. Για αυτόν τον λόγο πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή της στο Κεφάλαιο 3 της διπλωματικής εργασίας.

ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Είναι η βασική κατεργασία για διάνοιξη οπών. [4] Τα κοπτικά εργαλεία έχουν δύο κοπτικές ακμές και αναπτύσσουν πολύ υψηλές τάσεις. [5] Και οι δύο κινήσεις της κοπής εκτελούνται από το κοπτικό εργαλείο. Η κύρια κίνηση είναι η περιστροφή του και η δευτερεύουσα η ευθύγραμμη μετακίνησή του προς το τεμάχιο. Διατίθενται σε

διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η γεωμετρία της κορυφής του εργαλείου είναι η πιο σημαντική γεωμετρική του παράμετρος καθώς εκεί πραγματοποιείται η κοπή. [1]

Η εργαλειομηχανή της διάτρησης είναι το δρέπανο και υπάρχει σε διάφορες μορφές, ωστόσο μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε τόρνο με κατάλληλη διάταξη του συστήματος κοπτικό εργαλείο-κατεργαζόμενο τεμάχιο. [3], [4], [5] Κατά την κατεργασία της διάτρησης η ενέργεια/ισχύς που δίνεται στο σύστημα μέσω της στρεπτικής ροπής είναι μικρή με σκοπό την αποφυγή αστοχίας του κοπτικού εργαλείου όμως οδηγεί σε μικρότερο ποσοστό αφαίρεσης υλικού σε σύγκριση με άλλες κατεργασίες.[6] Η ταχύτητα κοπής διαφέρει κατά μήκος της κοπτικής ακμής, με τη μέγιστη τιμή της να είναι στην περιφέρεια. [5]

Η διάτρηση αποτελεί μια πολύπλοκη γεωμετρικά κατεργασία με δυσκολία στη δημιουργία απόλυτης ακρίβειας η οποία βασίζεται πολύ στα υλικά του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου και στις συνθήκες κοπής. [4]

ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ

Στο φρεζάρισμα η κύρια κίνηση είναι η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου με την πρόωση να εκτελείται από το κατεργαζόμενο τεμάχιο, που βρίσκεται στο κρεβάτι της φρέζας. Η φρέζα είναι η εργαλειομηχανή της κατεργασίας και μπορεί να είναι οριζόντια, κατακόρυφη ή σύγχρονο κέντρο κατεργασίας. [1] Τα κοπτικά εργαλεία αποτελούνται από πολλές κοπτικές ακμές και διαθέτουν δόντια. Μπορεί να έχουν διαφορετικές μορφές ανάλογα την κατεργασία που πρέπει να επιτευχθεί. Η κοπή για κάθε δόντι είναι διακοπτόμενη με κρουστική καταπόνηση του εργαλείου με πολύ μικρή διάρκεια και περιοδική μορφή και επομένως οι ταχύτητες συνήθως είναι μικρές για την αποφυγή ταλαντώσεων και μεγάλης φθοράς του εργαλείου. [5], [6] Διακρίνεται σε περιφερειακό και μετωπικό φρεζάρισμα με τις παραγόμενες επιφάνειες να είναι επίπεδες ή αυλακοειδείς. [4], [5]

ΠΛΑΝΙΣΗ

Οι εργαλειομηχανές της πλάνισης ονομάζονται πλάνες. Είναι οριζόντιες ή κατακόρυφες. Η κύρια κίνηση μπορεί να γίνει από το εργαλείο (ταχυπλάνες) ή από το τεμάχιο (τραπεζοπλάνες). [1]

Στην περίπτωση των ταχυπλάνων το κοπτικό εργαλείο πραγματοποιεί παλινδρομική κίνηση με την κοπή να πραγματοποιείται μόνο στη μία κίνηση και όχι στην επιστροφή. Μετά την επιστροφή του εργαλείου, το τεμάχιο κινείται, οριζόντια ή κατακόρυφα, με βάση την πρόωση για την εξέλιξη της κατεργασίας. [5]

Οι ταχύτητες κοπής είναι μικρές όμως το ποσοστό αφαίρεσης υλικού μεγάλο λόγω των υψηλών προώσεων. Εξαιτίας της διακοπτόμενης μορφής της κοπής οι καταπονήσεις στην κοπτική ακμή είναι μεγάλες. Οι επιφάνειες που παράγονται είναι επίπεδες ή αυλακοειδείς με χρήση κοπτικών εργαλείων απλής σημειακής γεωμετρίας που μοιάζουν με τα κοπτικά εργαλεία της τόννευσης. [4], [5] Μπορεί να είναι ενιαία ή να αποτελούνται από κοπτικά πλακίδια που τοποθετούνται στο κύριο σώμα. [1]

ΠΡΙΟΝΙΣΜΑ

Τα κοπτικά εργαλεία της κατεργασίας μπορεί να είναι πριονολάμες, πριονοκορδέλες ή δίσκοι και διαθέτουν κοπτικά δόντια. Το εργαλείο εισέρχεται στο τεμάχιο και κάθε δόντι αποκόπτει υλικό. Οι δύο κινήσεις της κοπής πραγματοποιούνται από το κοπτικό εργαλείο. [1] Μπορούν να παραχθούν διαφορετικής γεωμετρίας τεμάχια.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας για αυτήν την κατεργασία είναι η τοποθέτηση των δοντιών και η απόσταση μεταξύ τους στο κοπτικό εργαλείο ώστε να είναι αποδοτική η κοπή με μεγάλη αφαίρεση υλικού χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα. [2]

ΑΥΛΑΚΩΣΗ

Κατά την αυλάκωση η κοπή πραγματοποιείται με ευθύγραμμη κίνηση του εργαλείου, το οποίο διαθέτει πολλά δόντια και μεγάλο μήκος, προς το τεμάχιο. [1], [2] Το εργαλείο εισέρχεται και εξέρχεται από μια επίπεδη επιφάνεια ή μια οπή αφαιρώντας κάθε φορά υλικό με κάθε κοπτική ακμή. Τα παραγόμενα τεμάχια έχουν πολύ υψηλή ακρίβεια και συνήθως είναι οπές διαφορετικών μορφών, όπου η κατεργασία ονομάζεται εσωτερική αυλάκωση, αλλά μπορεί να είναι και επίπεδες επιφάνειες, όπου η κατεργασία ονομάζεται εξωτερική αυλάκωση. Οι ταχύτητες κοπής και πρόωσης έχουν μεγάλο εύρος και η λίπανση κατά την κατεργασία είναι αναγκαία. Οι εργαλειομηχανές μπορεί να είναι οριζόντιες ή κάθετες και χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακαμψία. [4], [5] Η τιμή των κοπτικών εργαλείων είναι πολύ υψηλή και χρησιμοποιούνται μόνο για τη συγκεκριμένη κατεργασία, γεγονός που περιορίζει την ευρεία χρήση της. [1]

ΓΛΥΦΑΝΣΗ

Η γλύφανση χρησιμοποιείται για διεύρυνση οπών με σκοπό την καλύτερη διαστατική ακρίβεια. Τα χαρακτηριστικά και ο τρόπος εκτέλεσης της κατεργασίας είναι όμοια με αυτά της διάτρησης. Οι εργαλειομηχανές γλύφανσης μοιάζουν με αυτές της διάτρησης όμως παρέχουν μικρότερα ποσά ενέργειας. [4] Τα κοπτικά εργαλεία ονομάζονται γλύφανα και διαθέτουν πολλές κοπτικές ακμές. Υπάρχουν γλύφανα διαφορετικών γεωμετριών ανάλογα το παραγόμενο τεμάχιο. Η κύρια κίνηση είναι η περιστροφή του γλυφάνου και η πρόωση η μετακίνησή του προς το τεμάχιο. [1]

ΜΠΟΡΙΝΓΚ

Ουσιαστικά είναι η εσωτερική τόννευση με μικρές διαφοροποιήσεις. Η εργαλειομηχανή που εκτελείται πρέπει να έχει μεγάλη ακαμψία. [5] Η κατεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλές εργαλειομηχανές ωστόσο είναι πιο αποτελεσματική σε συγκεκριμένες που έχουν κατασκευαστεί για την ίδια. [4] Οι τιμές της πρόωσης και του βάρους κοπής συνιστάται να είναι μικρές καθώς υπάρχει υψηλή πιθανότητα διέγερσης ταλαντώσεων ωστόσο με αυτό τον τρόπο προκύπτει το πρόβλημα της μηχανικής και θερμικής παραμόρφωσης. Κατά την κατεργασία δεν δημιουργείται καινούργια οπή αλλά κυρίως διευρύνεται ή διορθώνεται η εκκεντρότητα μιας ήδη υπάρχουσας. [3], [4], [5] Παρόλο που μοιάζει με την τόννευση τα κοπτικά εργαλεία έχουν διαφορά κατασκευαστικά. [4]

ΚΟΠΗ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ

Η κατεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί με φρεζάρισμα ή πλάνιση με χρήση των κατάλληλων κοπτικών εργαλείων ή σε γριναζοκόπτη με χρήση εργαλείων ίδιας κατατομής αναφοράς. [1], [2]

- *Κοπή μορφής.* Το κοπτικό εργαλείο διαθέτει το σχήμα του διακένου μεταξύ των οδοντώσεων και κινείται αξονικά αποκόπτοντας υλικό από το τεμάχιο. Στην συνέχεια το τεμάχιο στρέφεται και το εργαλείο τίθεται ξανά σε λειτουργία. Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία ολοκληρώνεται η κοπή. Μπορεί να πραγματοποιηθεί σε φρέζες και μηχανές αυλάκωσης. [2]

- *Κοπή με χρήση εργαλείων ίδιας κατατομής αναφοράς.* Το εργαλείο μπορεί να είναι τύπου ripion, ευθύς κοπτικός κανόνας ή κοχλιοειδής φρέζα. Ανάλογα την επιλογή η κοπή πραγματοποιείται με διαφορετικό τρόπο. [2]

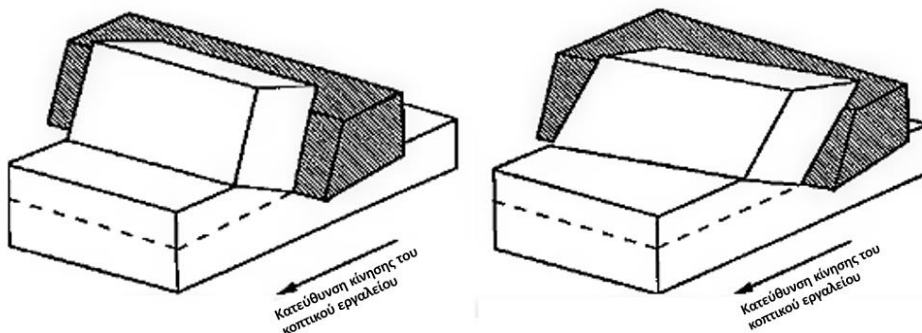
Οι κατεργασίες κοπής εφαρμόζονται για χιλιάδες χρόνια και επομένως μέσα σε όλα τα χρόνια έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό, με κομβικά σημεία την βιομηχανική επανάσταση και τα τελευταία χρόνια την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας. Αυτή η εξέλιξη μπορεί να αποτυπωθεί στις εργαλειομηχανές, στα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται, στα υλικά που κατεργάζονται καθώς και στους αποδοτικούς ρυθμούς τους τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

Κεφάλαιο 2. ΚΟΠΗ ΜΕ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΚΟΨΗΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η κοπή μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση κοπτικών εργαλείων καθορισμένης κόψης ή με εργαλεία με μη συγκεκριμένη γεωμετρία και κόψη. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εξετάζεται η κοπή με καθορισμένη κόψη. Γίνεται αναφορά στα είδη και τη γεωμετρία της κοπής. Επιπλέον παρουσιάζονται με λεπτομέρεια ο μηχανισμός της κοπής και της δημιουργίας αποβλίττου, η ανάπτυξη δυνάμεων και θερμοκρασιών κατά την κοπή. Παρουσιάζονται τα κοπτικά εργαλεία, το υλικό και η χρήση τους, για τη συγκεκριμένη κοπή. Γίνεται αναφορά σε υγρή και ξηρή κοπή καθώς επίσης και στην κατεργασιμότητα των υλικών.

2.1 Είδη κοπής

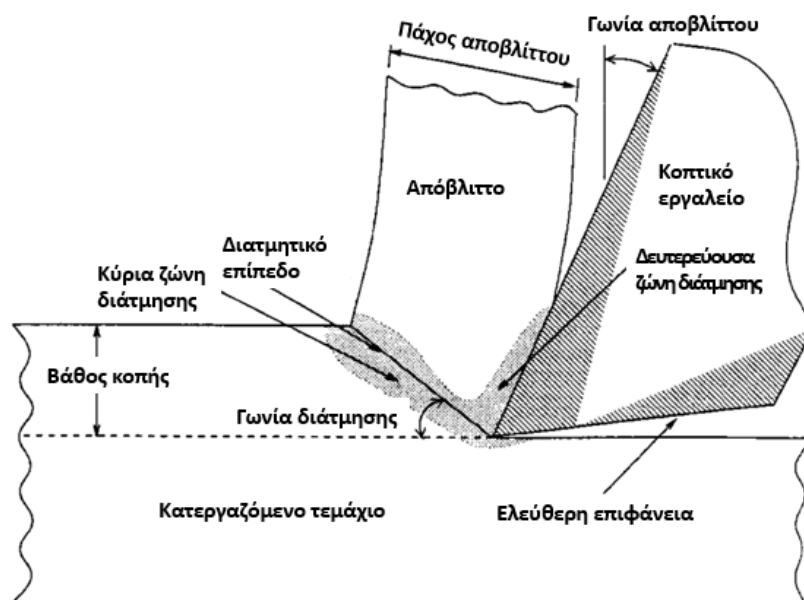
Υπάρχουν δύο είδη κοπής που μπορούν να εφαρμοστούν, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1. Η απλούστερη μέθοδος είναι αυτή που θεωρεί κοπτικό εργαλείο κάθετο στη διεύθυνση που πραγματοποιείται η κοπή με μορφή σφήνας, με δυνάμεις κάθετες μεταξύ τους και ονομάζεται *ορθογωνική κοπή*. Το άλλο είδος κοπής είναι η *λοξή κοπή* κατά την οποία το κοπτικό εργαλείο έχει κλίση σε σχέση με την κάθετο στη διεύθυνση της κοπής η οποία εκφράζεται με τη γωνία κλίσης της κόψης. [7] Η διαφορά μεταξύ ορθογωνικής και λοξής κοπής είναι η ύπαρξη της γωνίας κλίσης της κόψης με τις βασικές αρχές να παραμένουν οι ίδιες. [1] Η ανάλυση της κοπής στη συνέχεια γίνεται με βάση το μοντέλο της ορθογωνικής κοπής λόγω της απλούστερης μορφής του.



Σχήμα 2.1 Ορθογωνική κοπή (αριστερά) και Λοξή κοπή (δεξιά). [4]

2.2 Μηχανισμός της κοπής

Με την πάροδο των ετών και τη μελέτη των κατεργασιών έχει διαπιστωθεί πως η απομάκρυνση υλικού από το κατεργαζόμενο τεμάχιο πραγματοποιείται με τη διαδικασία της διάτμησης με το επίπεδο στο οποίο γίνεται η αφαίρεση του υλικού να ονομάζεται *επίπεδο διάτμησης*. [1] Στο συγκεκριμένο επίπεδο αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις που οδηγούν στη θραύση και απομάκρυνση του υλικού και στη δημιουργία του αποβλίττου. Η *ζώνη διάτμησης* είναι στενή με αποτέλεσμα να εμφανίζονται μεγάλες παραμορφώσεις και ρυθμοί παραμόρφωσης στην κοπή. [3] Το επίπεδο και η ζώνη διάτμησης μαζί με επιμέρους γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κοπής παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2.



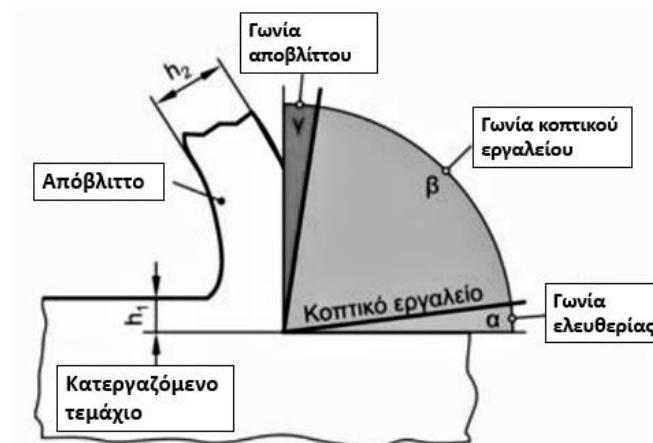
Σχήμα 2.2 Γεωμετρική αναπαράσταση μηχανισμού ορθογωνικής κοπής. [8]

2.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Κατά την ορθογωνική κοπή παρατηρούνται δύο βασικές επιφάνειες: η *επιφάνεια αποβλίττου* και η *ελεύθερη επιφάνεια*. Η πρώτη ορίζει την κατεύθυνση που ακολουθεί το απόβλιττο κατά την κοπή. Αποτελεί βασικό παράγοντα για τον σχηματισμό του αποβλίττου και βρίσκεται πάνω στο κοπτικό εργαλείο. Η δεύτερη είναι η επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου που βρίσκεται απέναντι από την παραγόμενη επιφάνεια τεμαχίου κατά την κοπή. [1], [7]

Επιπλέον υπάρχουν και τρεις βασικές γωνίες κοπής που επηρεάζουν αρκετούς παράγοντες ανάλογα το μέγεθός τους, από το είδος αποβλίττου που δημιουργείται

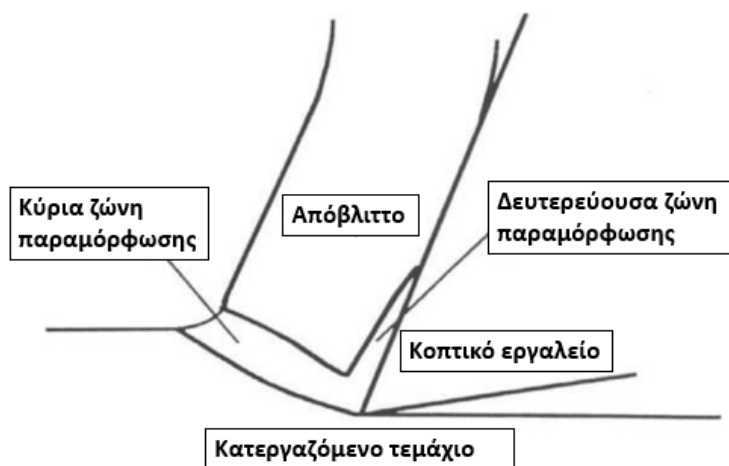
μέχρι τη φθορά του κοπτικού εργαλείου. Η *γωνία ελευθερίας* που ορίζεται ανάμεσα στην επιφάνεια του εργαλείου που δεν συμμετέχει στην κοπή, δηλαδή την επιφάνεια ελευθερίας, και στην κατεύθυνση της κοπής. Η *γωνία αποβλίττου* η οποία είναι η γωνία μεταξύ της καθέτου προς την κοπή και της επιφάνειας του κοπτικού εργαλείου που ρέει το απόβλιττο. Τέλος η *γωνία κοπτικού εργαλείου*, ή αλλιώς *γωνία σφήνας*, που ορίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια και την επιφάνεια αποβλίττου. [1], [7] Οι τρεις αυτές γωνίες είναι αλληλεξαρτώμενες, επομένως οι τιμές τους επηρεάζουν πολύ την κοπή και πρέπει να επιλέγονται με προσοχή καθώς μπορεί να οδηγήσουν σε καλύτερες συνθήκες κατά την κοπή, όπως μείωση των δυνάμεων και τριβών που αναπτύσσονται, μείωση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου, όμως μπορεί να δημιουργήσουν και δυσμενείς συνθήκες με αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής του εργαλείου και αστάθεια της κοπτικής ακμής. [1], [7] Στα σχήματα 2.3 και 2.4 πραγματοποιείται η σχηματική αναπαράστασή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κοπής.



Σχήμα 2.3 Βασικές γωνίες κατά την ορθογωνική κοπή. [1]

Μια ακόμη γωνία που έχει ρόλο στην κοπή αν και δεν ανήκει στις τρεις που αναφέρθηκαν είναι η *γωνία διάτμησης* που ορίζεται ως η κλίση της ζώνης διάτμησης, δηλαδή η γωνία που δημιουργείται μεταξύ του επιπέδου διάτμησης με την κατεύθυνση της κοπής όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Η γωνία διάτμησης έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς επηρεάζει πολλούς παράγοντες της κατεργασίας και σχετίζεται με την καλύτερη απόδοσή της. Ορίζει τις απαιτήσεις σε δύναμη και ισχύ και τον τρόπο ανάπτυξης των θερμοκρασιών κατά την κοπή. Έχει αναπτυχθεί η

την πλαστική παραμόρφωση επηρεάζει τον σχηματισμό της ψευδόκοψης, τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες και τη φθορά του εργαλείου.[4] Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η παραγωγή δύο νέων επιφανειών. Της παραγόμενης επιφάνειας του κατεργαζόμενου τεμαχίου και της εσωτερικής επιφάνειας τους αποβλίττου. [5]






















Σχήμα 2.5 Ζώνες παραμόρφωσης κατά τον σχηματισμό αποβλίττου. [4]

Έχει παρατηρηθεί πως οι παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο σχηματισμού και ροής του αποβλίττου είναι η τριβή που αναπτύσσεται κατά την κοπή, οι ιδιότητες του υλικού του τεμαχίου, και κυρίως ο ρυθμός εργοσκήρυνσής του, και η γωνία αποβλίττου του κοπτικού εργαλείου. [6]

Κατά την κατεργασία πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης των αποβλίττων και μετά την ολοκλήρωσή της η απομάκρυνσή τους από την εργαλειομηχανή. Η πιο απλή μέθοδος αποθήκευσης είναι να αφηθεί το απόβλιττο και να πέσει μέσω της βαρύτητας ή μπορεί να γίνει συλλογή των αποβλίττων σε δεξαμενή καθίζησης. Πέρα από τις παραπάνω συμβατικές μεθόδους υπάρχουν και άλλες τεχνικές συλλογής όπως οι κοχλίες πρόωσης, μέθοδοι κενού καθώς και μαγνητικοί μεταφορείς για σιδηρούχα απόβλιττα. [1], [2]

Τα απόβλιττα μπορεί να έχουν διάφορες μορφές, οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.6, κάθε μια από τις οποίες υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιήθηκε η κοπή και τις ιδιότητες του υλικού κατεργασίας, κυρίως την ολκιμότητά του. [1], [6] Ανάλογα με τη μορφή του αποβλίττου μπορεί να γίνει ταξινόμηση σε ταινιοειδή, σωληνοειδή, ελικοειδή, ελικοειδή τύπου ροδέλας, κωνικά ελικοειδή, σπειροειδή και τα βελονοειδή απόβλιττα. [1] Αξίζει να σημειωθεί πως κατά

την ορθογωνική κοπή το απόβλιττο έχει συνήθως σπειροειδή μορφή ενώ στη λοξή έχει ελικοειδή και επηρεάζεται από τη γωνία λοξότητας. [7]

ΤΑΙΝΙΟ-ΕΙΔΗ	ΣΩΛΗΝΟ-ΕΙΔΗ	ΕΛΙΚΟΕΙΔΗ	ΕΛΙΚΟΕΙΔΗ ΤΥΠΟΥ ΡΟΔΕΛΑΣ	ΚΩΝΙΚΑ ΕΛΙΚΟΕΙΔΗ	ΣΠΕΙΡΟ-ΕΙΔΗ	ΤΕΜΑΧΙΑ ΣΠΕΙΡΟ-ΕΙΔΟΥΣ	ΒΕΛΟΝΟ-ΕΙΔΗ
							
1.1 μακρύ	2.1 μακρύ	3.2 επίπεδο	4.1 μακρύ	5.1 μακρύ	6.1 ενωμένο		
							
1.2 κοντό	2.2 κοντό	3.2 κωνικό	4.2 κοντό	5.2 κοντό	6.2 θρυμματισμένο		
							
1.3 περιπλεγμένο	2.3 περιπλεγμένο		4.3 περιπλεγμένο	5.3 περιπλεγμένο			ISO 3685-1977

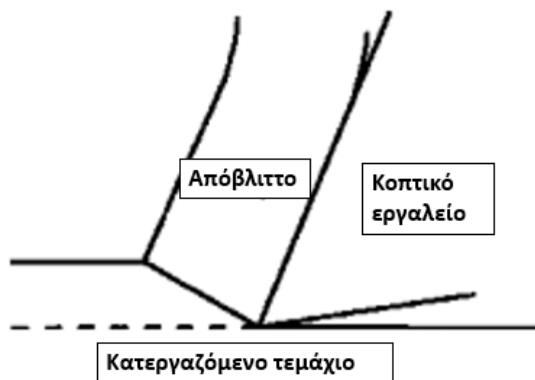
Σχήμα 2.6 Μορφές αποβλίττων κατά ISO. [1]

Επιπλέον τα απόβλιττα μπορούν να χαρακτηριστούν περαιτέρω από το μήκος τους σε *μεγάλο*, *μικρό* ή *μεσαίου* μήκους όμως ο βασικός διαχωρισμός και αυτός που δίνει περισσότερες πληροφορίες για την κοπή είναι αυτός που σχετίζεται με την ομοιογένεια και τη συνοχή του αποβλίττου. Με βάση αυτό το κριτήριο έχουν παρατηρηθεί τέσσερις βασικές κατηγορίες. Το *συνεχές απόβλιττο*, το *συνεχές με ψευδόκοψη*, το *πριονωτό* και το *ασυνεχές*. [1], [2]

2.4.1 Συνεχές απόβλιττο

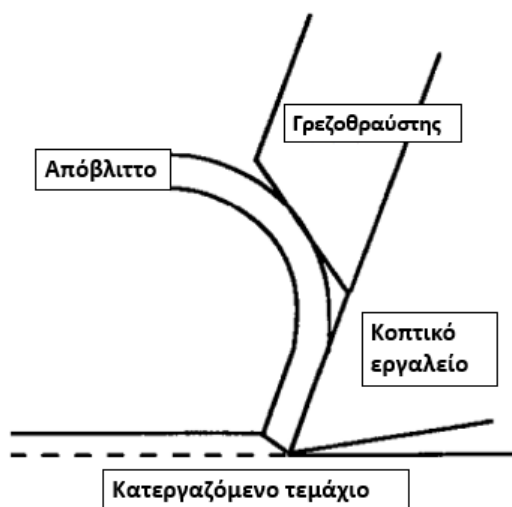
Όταν παρατηρείται συνεχής πλαστική παραμόρφωση στην κύρια ζώνη διάτμησης τότε το απόβλιττο που παράγεται είναι συνεχές. [1] Η παραγωγή συνεχούς αποβλίττου συνήθως οφείλεται σε μεγάλες ταχύτητες κοπής, μικρές ταχύτητες πρόωσης ή μεγάλες γωνίες αποβλίττου και είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί σε κοπή όλκιμων υλικών. [2] Είναι συνυφασμένο με την ομαλή λειτουργία της κοπής και επομένως είναι το επιθυμητό είδος αποβλίττου για επίτευξη καλύτερης απόδοσης της κατεργασίας. [1] Ωστόσο η διαδικασία της κοπής πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς όταν παράγεται συνεχές απόβλιττο αφού σε ακατάλληλες συνθήκες λειτουργίας μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλής ποιότητας επιφάνειες και στον σχηματισμό παραμενουσών τάσεων. Επιπλέον το συνεχές απόβλιττο συνήθως έχει

και μεγάλο μήκος το οποίο μπορεί να παρεμποδίσει την κατεργασία προκαλώντας μη ομαλή λειτουργία της εκάστοτε εργαλειομηχανής και των μερών της. Η συλλογή του κατά την κατεργασία και η απομάκρυνσή του στο τέλος της πραγματοποιείται με δυσκολία. [2] Η αναπαράσταση της μορφής του συνεχούς αποβλίττου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.7.



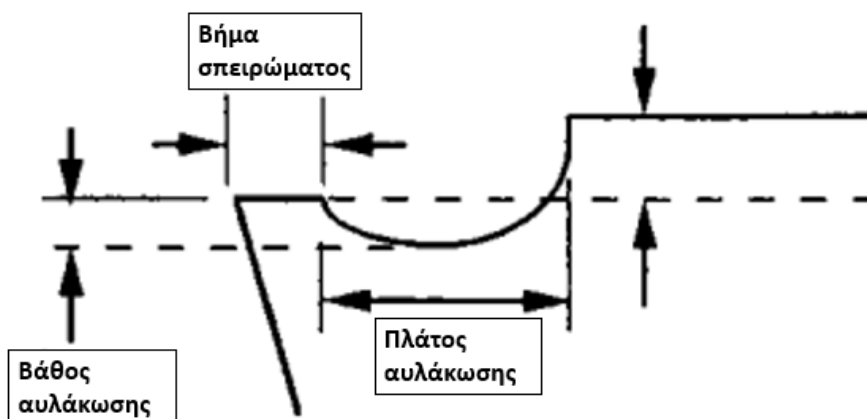
Σχήμα 2.7 Σχηματική αναπαράσταση συνεχούς αποβλίττου. [4]

Για την αποφυγή του παραπάνω προβλήματος που δημιουργείται από το μήκος του αποβλίττου χρησιμοποιούνται γρεζοθραύστες. Οι γρεζοθραύστες τοποθετούνται πάνω στο κοπτικό εργαλείο και έχουν στόχο τη θραύση του αποβλίττου με περιοδικό ρυθμό. Η θραύση του αποβλίττου επιτυγχάνεται με μείωση της ακτίνας καμπυλότητάς του. Η γεωμετρική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός γρεζοθραύστη παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8. Τα περισσότερα σύγχρονα κοπτικά εργαλεία και κοπτικά πλακίδια διαθέτουν ενσωματωμένους γρεζοθραύστες. [1], [2]

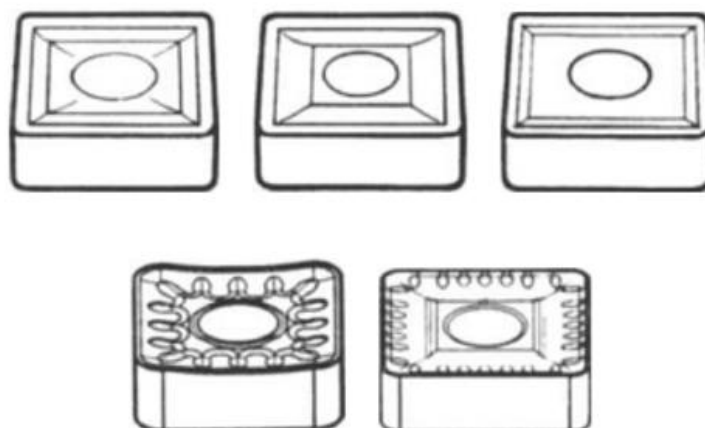


Σχήμα 2.8 Σχηματική αναπαράσταση γρεζοθραύστη προσδεμένου στο κοπτικό εργαλείο. [4]

Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός γρεζοθραύστη με κυκλική διαμόρφωση. Υπάρχουν και διαφορετικού είδους διαμορφώσεις (Σχήμα 2.10) όπως η μηδενική, η θετική και η αρνητική καθώς και ποικιλία γεωμετρικών χαρακτηριστικών για τους γρεζοθραύστες. [1]



Σχήμα 2.9 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γρεζοθραύστη κυκλικής διαμόρφωσης. [4]



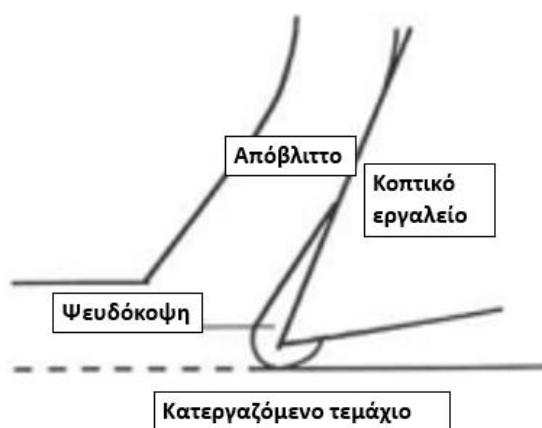
Σχήμα 2.10 Γρεζοθραύστες. [4]

2.4.2 Συνεχές απόβλιττο με ψευδόκοψη

Το συνεχές απόβλιττο με ψευδόκοψη οφείλεται όπως γίνεται κατανοητό και από την ονομασία του στην *ψευδόκοψη*. Η μορφή του είναι ίδια με αυτή του συνεχούς αποβλίττου με την ψευδόκοψη να επηρεάζει κυρίως το κοπτικό εργαλείο και το τεμάχιο και όχι τόσο το απόβλιττο. Στο Σχήμα 2.11 γίνεται η σχηματική αναπαράσταση της συγκεκριμένης μορφής αποβλίττου.

Το φαινόμενο της ψευδόκοψης είναι ουσιαστικά η επαναλαμβανόμενη προσκόλληση και θραύση μέρους του κατεργαζόμενου υλικού στο κοπτικό εργαλείο.

[2] Το υλικό που προσκολλάται είναι υψηλά εργοσκληρούμενο και οφείλεται στην ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών και τάσεων κοντά στην κοπτική ακμή, στη δύναμη της τριβής μεταξύ του αποβλίττου και του εργαλείου και στις συνεχείς παραμορφώσεις. [4], [5], [6]



Σχήμα 2.11 Σχηματική αναπαράσταση συνεχούς αποβλίττου με ψευδόκοψη. [4]

Οι συνέπειες του φαινομένου εντοπίζονται στην αλλαγή της γεωμετρίας της κοπτικής ακμής και εν συνεχεία στη διαστατική ακρίβεια. Επιπλέον η παρουσία ψευδόκοψης επιδρά στην ποιότητα της επιφάνειας του τεμαχίου, δημιουργώντας ασυνέχειες λόγω της περιοδικής θραύσης, καθώς και στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητές της. [2], [4] Ωστόσο όταν η ψευδόκοψη δημιουργείται με μικρούς ρυθμούς μπορεί να συνδράμει θετικά στη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου λειτουργώντας ως ένα στρώμα προστασίας του κατά την κοπή. [2]

Το φαινόμενο της ψευδόκοψης δεν είναι εύκολο να προβλεφθεί όμως έχει παρατηρηθεί πως δημιουργείται ευκολότερα σε όλκιμα υλικά και υλικά που έχουν περάσει από κατεργασίες ανόπτησης και πως με κατάλληλες συνθήκες και χειρισμούς μπορεί να ελεγχθεί. Η αύξηση στην ταχύτητα κοπής και στη γωνία αποβλίττου σε συνδυασμό με μείωση του βάθους κοπής και της ταχύτητας πρόωσης μπορεί να οδηγήσει σε ελάττωση του φαινομένου. Επίσης σημαντική καθίσταται η επιλογή του υλικού του κοπτικού εργαλείου και, στην περίπτωση της υγρής κοπής, των υγρών κοπής για τον περιορισμό της. [1], [2], [4]

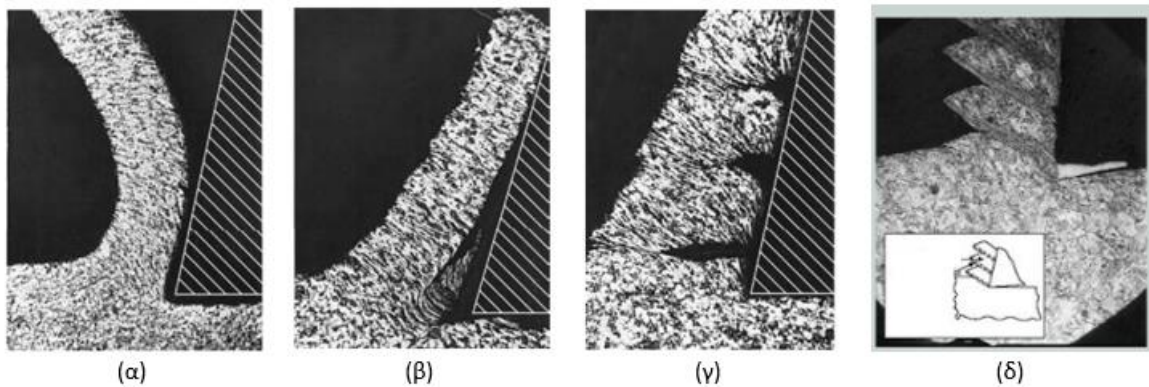
2.4.3 Ασυνεχές απόβλιττο

Το ασυνεχές απόβλιττο οφείλεται σε επαναλαμβανόμενη θραύση του αποβλίττου (Σχήμα 2.12). Η δημιουργία του μπορεί να σχετίζεται με το είδος του



Σχήμα 2.13 Σχηματική αναπαράσταση πριονωτού αποβλίττου. [4]

Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζονται φωτομικρογραφίες της ζώνης κοπής καθώς παράγονται τα διαφορετικά είδη αποβλίττων που έχουν αναφερθεί.



Εικόνα 2.1 Βασικές μορφές αποβλίττων. (α) Συνεχές απόβλιττο [3] (β) Συνεχές απόβλιττο με ψευδόκοψη [3] (γ) Ασυνεχές απόβλιττο [3] (Πηγή: Eugene Merchant at Cincinnati Milacron, Inc., Ohio) (δ) Πριονωτό απόβλιττο [2](Πηγή: M.C. Shaw, P.K. Wright, S. Kalpakjian).

2.5 Δυνάμεις κοπής

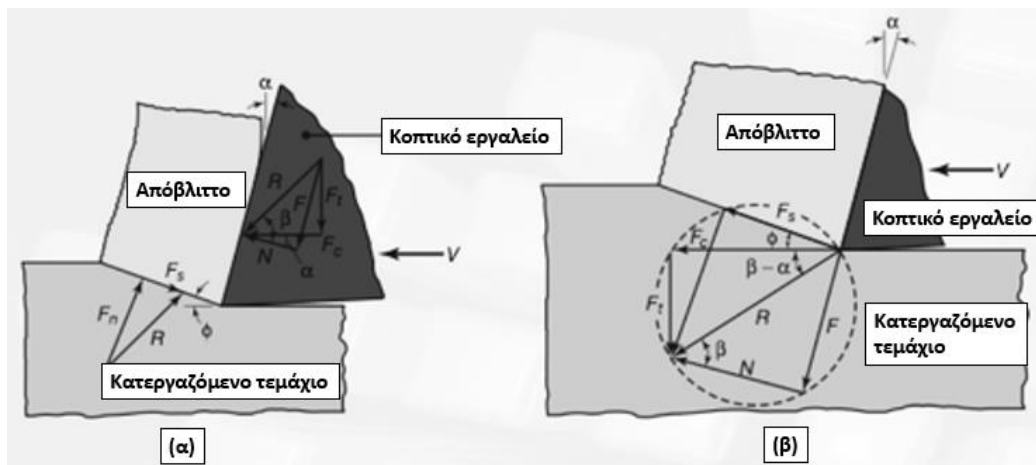
Οι δυνάμεις που λαμβάνουν μέρος στην κοπή αποτελούν έναν βασικό παράγοντα για την κατεργασία. Επηρεάζουν πολύ την εργαλειομηχανή καθώς αυτές είναι που καθορίζουν την ισχύ που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η κατεργασία χωρίς αρνητική επίδραση στην ίδια και τα επιμέρους τμήματά της. [1] Επιπλέον παίζουν βασικό ρόλο στην επιλογή του υλικού του τεμαχίου και του κοπτικού εργαλείου ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα αστοχίας τους κατά την κατεργασία καθώς καθορίζουν το πεδίο των τάσεων που δημιουργείται. Πολύ υψηλές τάσεις μπορεί να προκαλέσουν φθορά στο εργαλείο ή το τεμάχιο και επηρεάζουν την ίδια την κοπή και τον τρόπο σχηματισμού του αποβλίττου. [2], [6]

Αξίζει να σημειωθεί πως οι τιμές των δυνάμεων κοπής είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές σε άλλες κατεργασίες μορφοποίησης λόγω του μικρού πάχους του αποβλίττου και τη μικρή περιοχή στην οποία πραγματοποιείται η κοπή. [5]

Οι βασικές δυνάμεις κατά την ορθογωνική κοπή είναι τέσσερις:

- η δύναμη κοπής, F_c
- η δύναμη άπωσης, F_t
- η διατμητική δύναμη, F_s
- κάθετη δύναμη στην διατμητική, F_n

Πολλές φορές η διατμητική δύναμη και η κάθετη σε αυτή αντικαθίστανται από την δύναμη της τριβής, F , και μια ορθή δύναμη, N , κάθετη στην τριβή καθώς οι συνιστάμενες των δύο αυτών ζευγών είναι ίσες με αντίθετη φορά. [2] Το σύνολο των δυνάμεων που επενεργούν κατά την κοπή και έχουν αναφερθεί έως εδώ αναπαρίστανται στο Σχήμα 2.15.



Σχήμα 2.14 (α) Δυνάμεις που επενεργούν στην ζώνη κοπής κατά την δισδιάστατη κοπή (β) Διάγραμμα εγγεγραμμένων σε κύκλο δυνάμεων. [2]

Η δύναμη της κοπής δρα στην κατεύθυνση της κοπής και είναι αυτή που δίνει την απαραίτητη ενέργεια για να πραγματοποιηθεί η κοπή. Μαζί με την ταχύτητα κοπής καθορίζουν την απαραίτητη ισχύ για την κατεργασία. [2] Αποτελεί την μεγαλύτερη δύναμη κατά την κοπή. Αύξηση του βάθους κοπής και της πρόωσης οδηγεί σε αύξηση της δύναμης ενώ η τιμή της δεν αλλάζει αισθητά με αλλαγή της ταχύτητας κοπής. [3]

Κάθετα στην κοπή επενεργεί η δύναμη της άπωσης. Η άπωση έχει ιδιαίτερη σημασία επειδή σχετίζεται με την εργαλειομηχανή και συγκεκριμένα με την ακαμψία

της, που αποτελεί βασικό παράγοντα για την ομαλή λειτουργία της. Μη ορθός χειρισμός μπορεί να οδηγήσει απομάκρυνση του εργαλείου από το κατεργαζόμενο τεμάχιο και επομένως μη λειτουργική κατεργασία. [2]

Οι κατευθύνσεις των παραπάνω δυνάμεων ενδέχεται να τροποποιούνται ανάλογα την κατεργασία που επιλέγεται να πραγματοποιηθεί. [4]

Οι τιμές των δυνάμεων καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψιν τους περισσότερους παράγοντες της κοπής. Το υλικό της κατεργασίας και του κοπτικού εργαλείου, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου, οι συνθήκες κοπής καθώς και η ελαχιστοποίηση της φθοράς του εργαλείου και της εργαλειομηχανής στο σύνολό της αποτελούν κάποιους από αυτούς. [1] Έχει παρατηρηθεί πως η αύξηση των δυνάμεων είναι ανάλογη με την αύξηση της φθοράς του εργαλείου. Σημειώνεται πως η χρήση υγρών κοπής μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά μειώνοντας τις τιμές των δυνάμεων, για μικρό ωστόσο εύρος ταχυτήτων. [5] Επιπλέον μειωμένες δυνάμεις έχουν παρατηρηθεί και όταν κατά την κατεργασία δημιουργείται ψευδόκοψη. [2]

Η μέτρηση των δυνάμεων κατά τη διάρκεια της κατεργασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί έμμεσα ή άμεσα. Έμμεσα οι τιμές των δυνάμεων μπορούν να προβλεφθούν ή να προσεγγιστούν με βάση μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί και κυρίως με βάση την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από την πραγματοποίηση των κατεργασιών. Τα υλικά και ο τρόπος που συμπεριφέρονται κατά την κατεργασία καθώς και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται οι δυνάμεις κοπής με τους υπόλοιπους παράγοντες της κοπής λαμβάνονται υπόψιν. Άμεσα οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με χρήση των κατάλληλων οργάνων. Ο πιο κοινός μηχανισμός μέτρησης είναι τα *δυναμόμετρα*, που μέσω ηλεκτρικών σημάτων δίνουν τις τιμές των δυνάμεων, όμως υπάρχουν και οι μετατροπείς δύναμης με αισθητήρες και οι διατάξεις μέτρησης φορτίου με ωμικούς μετρητές. Προφανώς οι πιο ακριβείς μέθοδοι είναι οι άμεσες μετρήσεις των σημάτων που δίνουν οι δυνάμεις και αυτές προτιμώνται για τον καλύτερο έλεγχο και τη μεγαλύτερη απόδοση της κατεργασίας. [1], [2], [6]

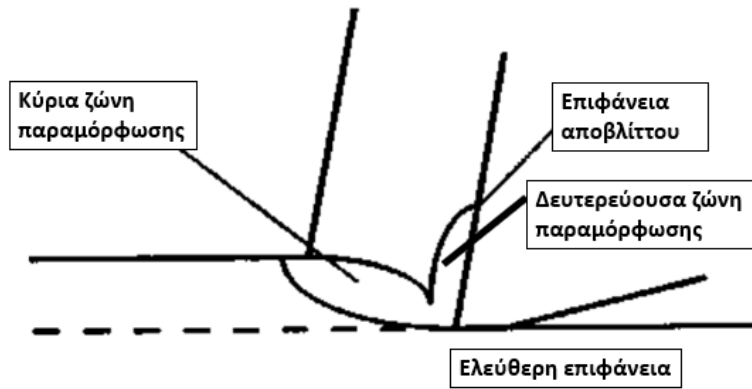
2.5.1 Δυναμόμετρα

Η καλύτερη απόδοσή τους βασίζεται στην υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα και στην ακαμψία τους. Η ακαμψία ενός δυναμόμετρου βασίζεται στην κατασκευή του και η υψηλή τιμή της αποτελεί βασική προϋπόθεση καθώς επηρεάζει την ακαμψία ολόκληρης της εργαλειομηχανής. Υπάρχουν δυναμόμετρα που βασίζονται στις ελαστικές παραμορφώσεις της κοπής. Με τη μέτρηση των ελαστικών παραμορφώσεων αποδίδονται τιμές στις δυνάμεις κοπής. Επιπλέον χρησιμοποιούνται πιεζοηλεκτρικά δυναμόμετρα, τα οποία αποτελούν τα πλέον διαδεδομένα όργανα μέτρησης, που μετρούν τις συνιστώσες των δυνάμεων σε κάθε πιεζοηλεκτρική κατεύθυνση του οργάνου. Έχουν μεγάλη ακαμψία και δεν επηρεάζονται από θερμικές καταπονήσεις. [4], [6]

Στο σύστημα της κοπής τα δυναμόμετρα μπορούν να τοποθετηθούν στον εργαλειοφορέα ή στον μηχανισμό συγκράτησης του τεμαχίου. [3] Η απόσταση της τοποθέτησης του δυναμόμετρου από την περιοχή που λαμβάνει χώρα η κοπή επηρεάζει τη μέτρηση με την απόλυτη ακρίβειά της να είναι δύσκολο να επιτευχθεί. [4]

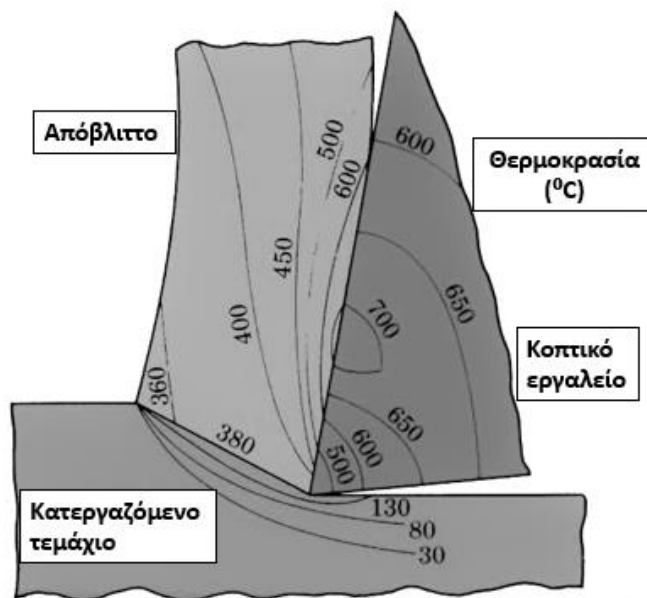
2.6 Θερμοκρασίες κοπής

Η κατεργασία της κοπής βασίζεται στην πλαστική παραμόρφωση του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Η ενέργεια που καταναλώνεται για να επιτευχθεί η πλαστική παραμόρφωση εντοπίζεται κυρίως στη ζώνη διάτμησης, με την κατανάλωση έργου για την κοπή, στην περιοχή τριβής κοπτικού εργαλείου και αποβλίττου καθώς και στη διεπιφάνεια κοπτικού εργαλείου και τεμαχίου (Σχήμα 2.16). [1], [2] Στη συνέχεια η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας κατά την κοπή στο κατεργαζόμενο τεμάχιο, στο κοπτικό εργαλείο και στο απόβλιττο. Η πλαστική παραμόρφωση που λαμβάνει χώρα αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα παραγωγής θερμότητας όμως ένα μικρό ποσοστό οφείλεται στη δύναμη τριβής που αναπτύσσεται. [2], [6]



Σχήμα 2.15 Περιοχές ανάπτυξης θερμοκρασιών που επηρεάζουν τους παράγοντες της κοπής. [4]

Εάν υποθέσουμε το σύστημα κοπτικό εργαλείο, τεμάχιο και απόβλιττο έχει παρατηρηθεί πως οι υψηλότερες θερμοκρασίες συναντώνται στο απόβλιττο με το κοπτικό εργαλείο να ακολουθεί και μικρότερες θερμοκρασίες να αναπτύσσονται στο τεμάχιο. Στο κοπτικό εργαλείο οι μέγιστες θερμοκρασίες δεν παρουσιάζονται στην κοπτική ακμή αλλά κοντά στην επιφάνεια επαφής του με το απόβλιττο. Η αύξηση θερμοκρασιών σε αυτό το σημείο μπορεί να οδηγήσει σε φθορά του κοπτικού εργαλείου, η οποία ονομάζεται φθορά κρατήρα και θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα. Στο κατεργαζόμενο τεμάχιο η αύξηση θερμοκρασιών εντοπίζεται κοντά στη ζώνη διάτμησης όπου λαμβάνει χώρα η κοπή. [1] Στο Σχήμα 2.17 παρουσιάζεται μια τυπική κατανομή των θερμοκρασιών στην ζώνη κοπής.



Σχήμα 2.16 Τυπική κατανομή θερμοκρασιών στην ζώνη κοπής. [2]

Ο τρόπος και το εύρος ανάπτυξης των θερμοκρασιών εξαρτάται από τις συνθήκες κοπής. Αύξηση του βάθους και της ταχύτητας κοπής έχει ως αποτέλεσμα

την αύξηση των θερμοκρασιών, λόγω της αύξησης της ενέργειας παραμόρφωσης, και επομένως της έκλυσης θερμότητας. [2], [4] Το εύρος τιμών των ταχυτήτων κοπής οριοθετείται από το σημείο τήξης του εκάστοτε κατεργαζόμενου υλικού καθώς από αυτό ορίζονται οι μέγιστες τιμές του αναπτυσσόμενου θερμοκρασιακού πεδίου χωρίς την εμφάνιση φθοράς. [5]

Ενδιαφέρον έχει το φαινόμενο που παρατηρείται κατά την κοπή με υψηλές ταχύτητες κοπής. Σε αυτή την περίπτωση το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης θερμότητας αποδίδεται στο απόβλιττο με αποτέλεσμα το τεμάχιο και το κοπτικό εργαλείο να μην παρουσιάσουν μεγάλη άνοδο στη θερμοκρασία τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις ίδιες τις υψηλές ταχύτητες κοπής που δεν επιτρέπουν στη θερμότητα να ρέει με τον ίδιο ρυθμό, λόγω της αύξησης της παραγωγής της, και επομένως οδηγούν σε μια αδιαβατική διαδικασία. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει πως το κοπτικό εργαλείο και το κατεργαζόμενο τεμάχιο δεν παρουσιάζουν θερμοκρασιακές ανόδους κατά την κοπή, αφού παραμένουν καθ' όλη την διάρκειά της όμως συγκριτικά με αυτές στο απόβλιττο είναι μικρότερες. [1], [2]

Τρεις επιπλέον ιδιότητες που επηρεάζουν τον τρόπο ανάπτυξης θερμοκρασιών είναι η αντοχή, η θερμική αγωγιμότητα και η θερμοχωρητικότητα του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Υλικά με υψηλή αντοχή οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας γεγονός που μπορεί να παρατηρηθεί και από την αντίστροφη οπτική, δηλαδή πως με αύξηση της θερμοκρασίας η αντοχή του υλικού μειώνεται με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολα κατεργάσιμο, ενώ υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα παρουσιάζουν μείωση της θερμοκρασίας καθώς η θερμότητα διαχέεται με μεγαλύτερο ρυθμό. [2], [4]

Επίσης τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και κυρίως η αιχμηρότητα του εργαλείου επιδρούν στην ανάπτυξη θερμοκρασιών. Με χρήση λιγότερο αιχμηρού εργαλείου παρατηρείται μείωση στη μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κυρίως λόγω της καλύτερης διασποράς της ενέργειας που παράγεται από την τριβή. [4]

Γενικώς η αύξηση των θερμοκρασιών κατά την κοπή δεν αποτελεί ένα επιθυμητό φαινόμενο καθώς επηρεάζει αρνητικά το κατεργαζόμενο τεμάχιο αλλά και το κοπτικό εργαλείο. Μπορεί να προκαλέσει φθορά ή ακόμη και αστοχία του εργαλείου και αλλαγή των ιδιοτήτων αλλά και των διαστάσεων του κατεργαζόμενου

τεμαχίου. [2] Βασική αιτία αποτελεί η θερμική διαστολή που υφίστανται τα μέρη του συστήματος. Ο περιορισμός του φαινομένου χωρίς αλλαγή στις συνθήκες κοπής μπορεί να γίνει με χρήση υγρών κοπής, για αυτό και αποτελεί βασικό πρόβλημα κατά την ξηρή κοπή. Αποτελεί ένα σχετικά σύγχρονο πρόβλημα και οι έρευνες που έχουν γίνει αποδεικνύουν πως η διαστολή του κοπτικού εργαλείου είναι αυτή που οδηγεί σε μεγαλύτερα διαστατικά λάθη από αυτή του τεμαχίου που κατεργάζεται, καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εργαλείο είναι μεγαλύτερες. [1], [4]

Η μέτρηση του πεδίου των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών δεν είναι μια εύκολη διαδικασία λόγω του μεγάλου εύρους τους και του τρόπου διασποράς τους. [4] Ο έλεγχος τους κατά την κοπή γίνεται με τον κατάλληλο μετρητικό εξοπλισμό. Κάποιες από τις μεθόδους μέτρησης είναι η θερμική emf (ηλεκτρεγερτική δύναμη) στην επιφάνεια επαφής του κοπτικού εργαλείου με το απόβλιττο, η υπέρυθρη ακτινοβολία και η ενσωμάτωση θερμοζευγών στο κατεργαζόμενο τεμάχιο ή στο κοπτικό εργαλείο, που αποτελούν επιτυχημένες μεθόδους παρόλες τις δυσκολίες εφαρμογής τους. [2]

2.7 Κοπτικά εργαλεία

Το κοπτικό εργαλείο, υλικό και γεωμετρία, αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες της κοπής και επομένως η ορθή επιλογή του ανάλογα το κατεργαζόμενο τεμάχιο κρίνεται αναγκαία για την αποδοτικότερη λειτουργία της. [1], [3]

Η κατεργασία της κοπής συνεπάγεται ανάπτυξη θερμοκρασιών, τάσεων και δυνάμεων μεταξύ τεμαχίου και κοπτικού εργαλείου. Το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται πρέπει να διαθέτει τις απαραίτητες ιδιότητες για να μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της κατεργασίας και να αποφευχθούν φαινόμενα αστοχίας. [1], [2] Για αυτούς τους λόγους το κοπτικό εργαλείο επηρεάζει την επιλογή των ταχυτήτων κοπής και πρόωσης ώστε να μπορεί να είναι αποδοτικό. [3]

2.7.1 Χαρακτηριστικά κοπτικών εργαλείων

Ανεξάρτητα από το είδος της κατεργασίας τα κοπτικά εργαλεία απαιτείται να εμφανίζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Η σκληρότητα του εργαλείου και η αντοχή σε θερμικές καταπονήσεις πρέπει να έχουν υψηλές τιμές ώστε να ελαχιστοποιηθούν

φαινόμενα φθοράς του, λόγω της ανάπτυξης τάσεων και θερμοκρασιών, καθώς και για να είναι εφικτή η διεύθυνση του εργαλείου στο τεμάχιο για την πραγματοποίηση της κοπής. Μια ακόμη βασική ιδιότητα των κοπτικών εργαλείων είναι η *δυσθραυστότητα* και πάλι για αποφυγή αστοχίας λόγω θραύσης. Αντοχή σε απότομες αυξομειώσεις των θερμοκρασιών κοπής εξασφαλίζει την αποφυγή πρόωρης αστοχίας. Η επιλογή του υλικού του κοπτικού εργαλείου γίνεται και σύμφωνα το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου για να εξασφαλιστεί η *χημική σταθερότητά* του, δηλαδή η αποτροπή της αλλαγής των ιδιοτήτων των δύο υλικών όταν έρθουν σε επαφή, και επομένως η εξασφάλιση της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους. Επιπλέον η *αντοχή* του υλικού σε πλαστικές παραμορφώσεις κρίνεται αναγκαία λόγω των μεγάλων φορτίων που αναπτύσσονται στην κοπή καθώς επίσης και η αντοχή του σε οξειδωτικά φαινόμενα. Τέλος πρέπει να διαθέτει υψηλή *θερμική αγωγιμότητα* για να διαχέεται η θερμότητα που παράγεται κατά την κοπή και να ελαχιστοποιούνται υψηλές θερμοκρασίες κοντά στην κοπτική ακμή. [1], [2], [4], [6]

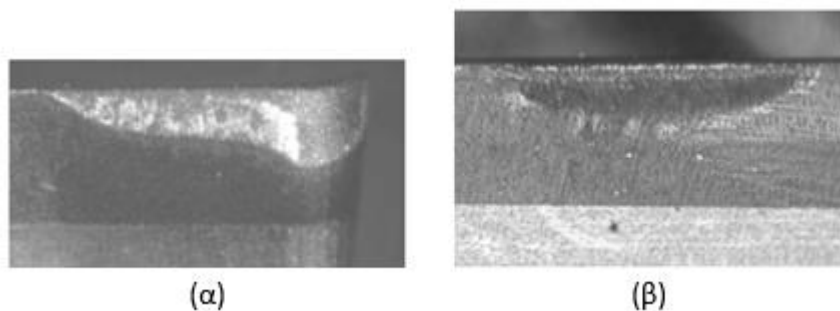
Οι παραπάνω ιδιότητες αντιστοιχούν σε ιδανική συμπεριφορά. Τα περισσότερα υλικά κοπτικών εργαλείων δεν τις διαθέτουν όλες. Επιπλέον οι ιδιότητες εξαρτώνται και από τις συνθήκες της κοπής. Ανάλογα το την ταχύτητα της κοπής τα χαρακτηριστικά τους τείνουν να αλλάζουν καθιστώντας την επιλογή τους ακόμη πιο πολύπλοκη. [4]

2.7.2 Φθορά

Η φθορά του κοπτικού εργαλείου γίνεται με αργούς ρυθμούς και αφορά στη μεταβολή των γεωμετρικών και μηχανικών ιδιοτήτων του. Προφανώς η φθορά του κοπτικού εργαλείου αποτελεί ένα ανεπιθύμητο γεγονός καθώς αλλάζει τη γεωμετρία του εργαλείου και οδηγεί σε επιφάνειες εκτός των προδιαγραφών του τεμαχίου, αύξηση των δυνάμεων της κοπής καθώς επίσης δυσχεραίνει την κατεργασία. Επιπλέον ένα εργαλείο που έχει υποστεί φθορά μπορεί να οδηγήσει και στην εμφάνιση ταλαντώσεων κατά την κοπή. [1], [2], [3], [4], [6] Η ανάπτυξη φθοράς του εργαλείου είναι αναπόφευκτη και σχετίζεται τόσο με το υλικό του κοπτικού εργαλείου και τη γεωμετρία του όσο και με το κατεργαζόμενο τεμάχιο, την εργαλειομηχανή και τις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται η κατεργασία. [1], [2], [6]

Η φθορά μπορεί να εμφανιστεί με διάφορες μορφές. Αυτές που συναντώνται συχνότερα είναι:

- το *πεδίο φθοράς* ή *ζώνη φθοράς*, που εντοπίζεται στην ελεύθερη επιφάνειά του. Οδηγεί σε μείωση της σκληρότητας του εργαλείου. Συνήθως εμφανίζεται σε κατεργασίες χαμηλών ταχυτήτων και κυρίως σε υλικά υψηλής σκληρότητας και μεγάλου ρυθμού εργοσκληρυνσης. Οφείλεται σε απότομες αλλαγές των μηχανικών κρουστικών φορτίων. [1], [3], [4], [9] Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζονται δύο κοπτικά εργαλεία με πεδίο φθοράς.



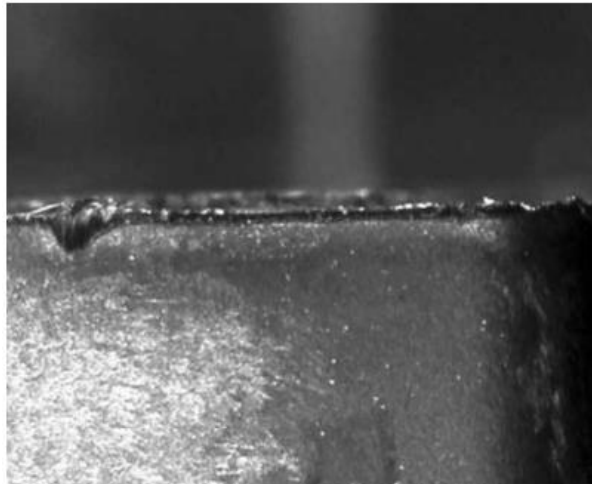
Εικόνα 2.2 (α) Πεδίο φθοράς σε κοπτικό εργαλείο από καρβίδιο σε κοπή 390 Al (β) Πεδίο φθοράς σε εργαλείο από πολυκρυσταλλικό βοριοιτρίδιο κατά την κοπή χάλυβα. [4]

- η *φθορά κρατήρα*, που αφορά την επιφάνεια του αποβλίπτου και σχετίζεται με φαινόμενα διάχυσης από το κοπτικό εργαλείο στο τεμάχιο και αντίστροφα. Αποδυναμώνει την κοπτική ακμή και οδηγεί σε παραμόρφωση των εμπλεκόμενων μερών της κοπής. Κοπτικό εργαλείο που έχει υποστεί φθορά κρατήρα παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3. Κύριος παράγοντας ανάπτυξης αυτού του τύπου φθοράς είναι υψηλές αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες της κοπής. Μπορεί να περιοριστεί με χρήση υλικού υψηλής χημικής σταθερότητας. [1], [4], [9]



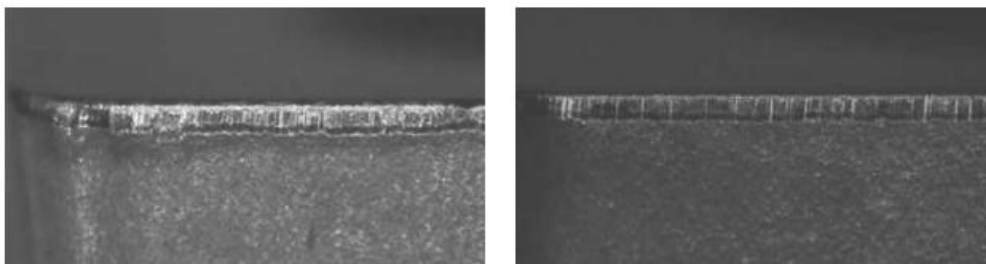
Εικόνα 2.3 Φθορά κρατήρα σε κοπτικό εργαλείο από καρβίδιο σε κοπή κράματος νικελίου. [4]

- η *απολέπιση* (Εικόνα 2.4), που επηρεάζει την περιοχή της κόψης και αποτελεί αποκοπή μικρών κομματιών του υλικού του εργαλείου. Συνήθως παρατηρείται σε κοπές που εφαρμόζεται μικρή ταχύτητα κοπής. Οφείλεται σε επαφή του κοπτικού εργαλείου με σκληρά κομμάτια της μικροδομής του κατεργαζόμενου τεμαχίου ή με κομμάτια του ίδιου το εργαλείου που έχουν αποκολληθεί. [1], [4], [6]



Εικόνα 2.4 Απολέπιση σε κοπτικό εργαλείο από καρβίδιο σε κοπή κράματος νικελίου. [4]

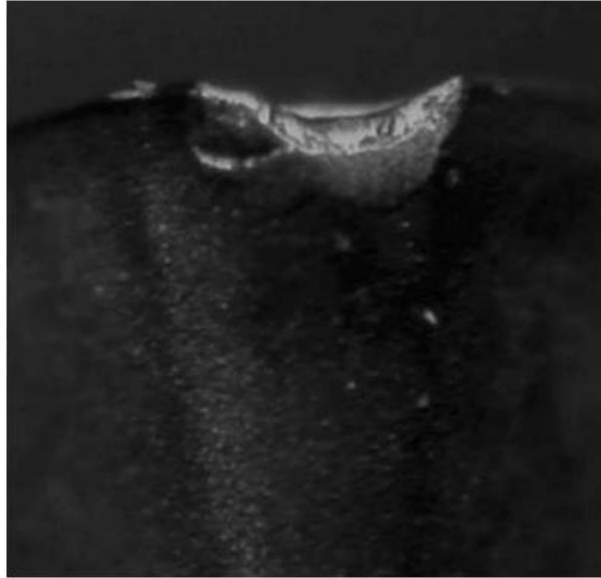
- οι *ρηγματώσεις*, που εντοπίζονται στην κοπτική ακμή του εργαλείου. Εμφανίζονται κυρίως λόγω κυκλικής ή διακοπτόμενης καταπόνησης και ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών. [1], [4] Κοπτικά εργαλεία που έχουν υποστεί αυτό το είδος φθοράς σε κοπή παρουσία και απουσία υγρών παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5 Ρηγματώσεις σε κοπτικό εργαλείο καρβιδίου κατά την κοπή γραφίτη παρουσία (αριστερά) και απουσία (δεξιά) υγρών. [4]

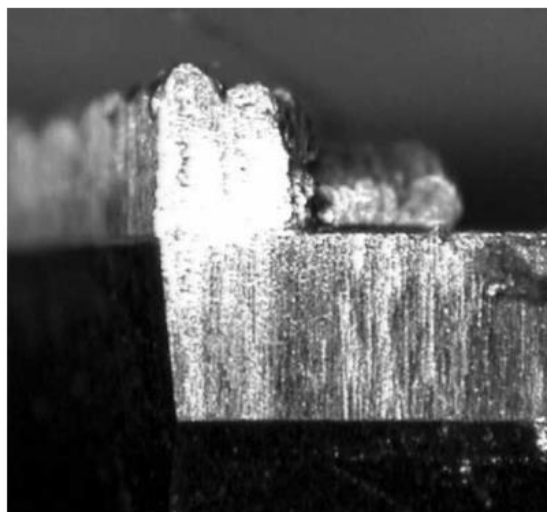
- η *πλαστική παραμόρφωση*, που ενδέχεται να παρουσιαστεί λόγω ανεπαρκούς αντοχής σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Οδηγεί σε αλλαγή στην αιχμηρότητα του εργαλείου και στη γεωμετρία της κοπτικής ακμής, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.6. Οφείλεται σε ανεπάρκεια του υλικού να αντέξει τις ισχυρές πιέσεις

και θλιπτικές τάσεις που αναπτύσσονται στην κοπτική ακμή του και εμφανίζεται κυρίως σε μεγάλους ρυθμούς πρόωσης ή σε κοπές υψηλών ταχυτήτων. [1], [4], [6], [9]



Εικόνα 2.6 Πλαστική παραμόρφωση στην κοπτική ακμή εργαλείου από καρβίδιο σε κοπή κράματος νικελίου. [4]

- η προσκόλληση τεμαχίου ή αποβλίττου στο κοπτικό εργαλείο. Παρατηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες και βασίζεται στη διατμητική τάση που αναπτύσσεται και όταν περάσει το όριο δημιουργείται η προσκόλληση. Εντοπίζεται κυρίως σε κοπές μαλακών μετάλλων σε χαμηλές ταχύτητες. [4], [9] Η Εικόνα 2.7 παρουσιάζει τη δημιουργία ψευδόκοψης σε κοπτικό εργαλείο από πολυκρυσταλλικό διαμάντι.



Εικόνα 2.7 Ψευδόκοψη σε πολυκρυσταλλικό διαμάντι κατά την κατεργασία αλουμινίου. [4]

- η *φθορά ηλεκτροκινητικής δύναμης*. Προκαλείται σε υλικά με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και οφείλεται στη δημιουργία ηλεκτροκινητικής δύναμης λόγω της διαφοράς θερμοκρασιών κοπής με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. [9]
- η *χημική αντίδραση*. Προκύπτει από χημική αντίδραση του κοπτικού εργαλείου με το τεμάχιο ή ανάλογα τις συνθήκες κοπής με την ατμόσφαιρα και το υγρό κοπής. Εμφανίζεται όταν το υλικό κατεργασίας είναι χημικά ενεργό. Η πιο γνωστή μορφή είναι η οξείδωση και εμφανίζεται σε πολλές κατηγορίες μετάλλων. Μπορεί να αποφευχθεί με επιλογή υλικών και συνθηκών κοπής που δεν την ευδοκιμούν. [4], [9]

Όπως προαναφέρθηκε η φθορά του κοπτικού εργαλείου είναι ένα αναπόφευκτο φαινόμενο που απαιτεί διαρκή παρακολούθηση για αποφυγή αστοχίας. Ο έλεγχος του κοπτικού εργαλείου για τον εντοπισμό του βαθμού φθοράς που έχει υποστεί μπορεί να επιτευχθεί συντηρητικά με παρακολούθηση του κοπτικού εργαλείου, το οποίο απαιτεί την ολοκλήρωση της κατεργασίας. Συνήθως γίνεται μέτρηση της τραχύτητας και εν συνεχεία αξιολόγησή της για τη διαπίστωση του βαθμού φθοράς του. Επιπλέον ελέγχεται η αιχμηρότητα του κοπτικού εργαλείου ενώ σημαντικές πληροφορίες για τη λειτουργία του παρέχει και οποιαδήποτε αλλαγή στη μορφή του αποβλίπτου. Εκτός από τους παραπάνω συμβατικούς τρόπους ελέγχου υπάρχουν και πιο προηγμένες μέθοδοι όπως η χρήση μετατροπέων και αισθητήρων. [1], [2], [6]

Ένας τρόπος αξιοποίησης ενός κοπτικού εργαλείου που έχει υποστεί φθορά είναι ο *επανατροχισμός*. Με τον επανατροχισμό το κοπτικό εργαλείο μπορεί να επανέλθει στην αρχική του γεωμετρία και να επαναχρησιμοποιηθεί στην κοπή γεγονός που αποφέρει οικονομικά και οικολογικά οφέλη. [1], [2] Η διαδικασία πρέπει να πραγματοποιηθεί με προσοχή για να μην προκληθεί επιπλέον φθορά στο εργαλείο στην περίπτωση ραγδαίας αύξησης των θερμοκρασιών. [3]

Η *αστοχία* του κοπτικού εργαλείου ουσιαστικά αποτελεί το τελευταίο στάδιο της φθοράς του και συνήθως οφείλεται σε φορτίο που δεν μπορεί να αντέξει το υλικό και σε εκτεταμένη καταπόνηση του. [4]

2.7.3 Διάρκεια ζωής

Ως *διάρκεια ζωής* του κοπτικού εργαλείου ορίζεται το χρονικό πλαίσιο κατά το οποίο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και μηχανικές ιδιότητες του παραμένουν αναλλοίωτες. Ωστόσο η φθορά και η μετέπειτα αστοχία του κοπτικού εργαλείου είναι ένα αναπάντεχο γεγονός κατά την κοπή, το οποίο πραγματοποιείται ακαριαία χωρίς κάποιου είδους προειδοποίηση και ξεκινά με την έναρξη της κοπής. Αυτό στο οποίο στοχεύει η επιλογή του κατάλληλου κοπτικού εργαλείου για την εκάστοτε κατεργασία είναι η όσο το δυνατό μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του, δηλαδή οι όσο το δυνατόν μικρότεροι ρυθμοί φθοράς. [1], [2], [6], [9]

2.7.4 Κατηγορίες κοπτικών εργαλείων

Γενικά δεν υπάρχουν συγκεκριμένοι κανόνες για την επιλογή κοπτικού εργαλείου για το κάθε είδος κατεργασίας και κατεργαζόμενου τεμαχίου, όμως έπειτα από αρκετά έτη χρήσεις τους κάποια υλικά εμφανίζουν ιδιότητες που λαμβάνονται υπόψιν κατά την επιλογή. [2]

Ο βασικός διαχωρισμός των κοπτικών εργαλείων σχετίζεται με το υλικό τους και κυρίως με την ύπαρξη ή όχι σιδήρου. Έτσι τα κοπτικά εργαλεία διακρίνονται σε *σιδηρούχα* και *μη σιδηρούχα*. [1]

2.7.4.1 Σιδηρούχα κοπτικά εργαλεία

Τα σιδηρούχα κοπτικά εργαλεία έχουν υψηλή σκληρότητα καθώς και θερμική και μηχανική αντοχή, ιδιότητες που τα κάνει πολύ εύκολα και αποτελεσματικά στη χρήση. Χωρίζονται περαιτέρω σε ανθρακούχους χάλυβες, κεκραμμένους χάλυβες και ταχυχάλυβες. [1], [2], [9]

ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Στους ανθρακούχους χάλυβες ανήκουν χάλυβες με 0.6-1.5% περιεκτικότητα σε άνθρακα. Παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα, ανάλογη της περιεκτικότητάς τους σε άνθρακα, και έχουν χαμηλό κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά. Ωστόσο τείνουν να χάνουν τα χαρακτηριστικά τους ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες και επομένως δεν συνιστάται η χρήση τους σε κατεργασίες με μεγάλες ταχύτητες κοπής και πρόωσης. [1], [2] Η χρήση τους είναι αποτελεσματική σε κοπή χαλκού. Αποτελούν

ένα από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και με την εξέλιξη των κατεργασιών και της τεχνολογίας παραγωγής κοπτικών εργαλείων η χρήση τους έχει αντικατασταθεί από άλλα πιο αποδοτικά εργαλεία. [3], [5]

ΚΕΚΡΑΜΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι κεκραμμένοι χάλυβες αποτελούν κράματα χαλύβων με άλλα μέταλλα. Η περιεκτικότητα των εκάστοτε μετάλλων είναι αυτή που δίνει στο κοπτικό εργαλείο τις αντίστοιχες ιδιότητες. [2]

ΤΑΧΥΧΑΛΥΒΕΣ

Όπως γίνεται φανερό από την ονομασία τους οι ταχυχάλυβες χρησιμοποιούνται σε κοπές υψηλών ταχυτήτων, συγκριτικά με τους ανθρακούχους ή κεκραμμένους χάλυβες, λόγω της υψηλότερης αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασίες και τη διατήρηση της σκληρότητάς τους. Οι ρυθμοί φθοράς τους είναι μικροί. Είναι εργοσκληρούμενοι χάλυβες και μεγάλη αντίσταση σε αστοχία και σοκ. Το κόστος τους είναι χαμηλό και τους καθιστά ανταγωνιστικούς παρά την υπερίσχυση των ιδιοτήτων των σκληρομετάλλων. Αποτελούν ένα αποδοτικό υλικό για κοπές πολύπλοκης γεωμετρίας. Οι παραπάνω ιδιότητές των ταχυχαλύβων προκύπτουν λόγω της ύπαρξης βολφραμίου, χρωμίου και βαναδίου στην κύρια σύνθεσή τους. Επιδέχονται περαιτέρω κατηγοριοποίηση ανάλογα την περιεκτικότητά τους σε βολφράμιο και μολυβδαίνιο που προσδίδει νέα χαρακτηριστικά χωρίς να επηρεάζουν ιδιαίτερα τα βασικά τους. Η χρήση επιστρώσεων οδηγεί σε καλύτερες ιδιότητες. Ταχυχάλυβες με επίστρωση TiN τείνουν να παρουσιάζουν μικρότερα επίπεδα φθοράς και να είναι αποδοτικοί σε ακόμη υψηλότερες ταχύτητες με βελτιωμένη σκληρότητα. [1], [2], [3], [4]

2.7.4.2 Μη σιδηρούχα κοπτικά εργαλεία

Στα μη σιδηρούχα κοπτικά εργαλεία ανήκουν τα σκληρομέταλλα, τα κεραμικά, τα διαμάντια και τα βοριονιτρίδια.

ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΑΛΛΑ

Τα σκληρομέταλλα αποτελούν καρβίδια μετάλλων με συνδετικό υλικό το κοβάλτιο. Τα πιο κοινά στη χρήση είναι το καρβίδιο βολφραμίου και το καρβίδιο τιτανίου.

Παρουσιάζουν ποικιλία εύρους τιμών και ιδιοτήτων με βασικά χαρακτηριστικά τους τη σκληρότητα, την αντοχή και διατήρηση των ιδιοτήτων τους σε υψηλές θερμοκρασίες και την αποτελεσματικότητα σε κοπές υψηλών ταχυτήτων. [1], [2], [3], [5] Έχουν αντοχή σε πλαστική παραμόρφωση και υψηλή χημική σταθερότητα. [4] Το βασικό μειονέκτημα που εμφανίζεται κατά τη χρήση τους είναι η χαμηλή αντοχή της κοπτικής ακμής και επομένως αλλαγή της γεωμετρίας της. Για αυτό τον λόγο απαιτείται η χρήση επιστρώσεων για τη χρήση τους. [5] Η υπεροχή των ιδιοτήτων τους σε συνδυασμό με το χαμηλό τους κόστος τα καθιστά καλύτερη επιλογή σε σχέση με τους χάλυβες. [1]

ΚΕΡΑΜΙΚΑ

Τα κοπτικά εργαλεία από κεραμικά παρουσιάζουν υψηλές τιμές σκληρότητας που διατηρείται σε θερμικές καταπονήσεις, αντοχή σε φαινόμενα ερπυσμού και οξείδωσης καθώς και αργούς ρυθμούς φθοράς. Έχουν υψηλή χημική σταθερότητα. Παράγουν υψηλής ποιότητας επιφάνειες λόγω του χαμηλού ρυθμού φθοράς τους. Βέβαια η ψαθυρότητά τους τα καθιστά επιρρεπή σε κρουστικά φορτία και θερμικά σοκ, εκτός και αν η βάση τους είναι το νιτρίδιο του πυριτίου. Συνιστάται η χρήση τους σε κατεργασίες υψηλών ταχυτήτων και για την πλειονότητα των υλικών κατεργασίας εκτός των μαλακών μετάλλων. Δεν είναι αποτελεσματικά σε διακοπτόμενες κοπές λόγω της ψαθυρότητάς τους και της μικρής αντοχής σε αυξομειούμενες καταπονήσεις. Διαθέτουν μικρή θερμική αγωγιμότητα και μεγάλη θερμική διαστολή. [1], [2], [4], [5]

ΔΙΑΜΑΝΤΙΑ

Ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών του διαμαντιού το καθιστά ένα ιδανικό υλικό για κατεργασίες σκληρών υλικών και κραμάτων. Εμφανίζει μεγάλη σκληρότητα, μικρούς ρυθμούς φθοράς όμως δεν παρουσιάζει την ίδια απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και κρουστικές καταπονήσεις. Τα χαρακτηριστικά αυτά του επιτρέπουν να παράγει υψηλής ποιότητας επιφάνειες και ικανοποιητική ακρίβεια στις διαστάσεις του τεμαχίου. Αξίζει να σημειωθεί πως επιλέγεται η χρήση κυρίως βιομηχανικά επεξεργασμένων διαμαντιών καθώς τα φυσικά έχουν χαρακτηριστικά που καθιστούν τη χρήση τους απρόβλεπτη, κυρίως λόγω της ανισοτροπίας τους. [1], [2], [5] Το κόστος τους, είτε είναι φυσικά είτε συνθετικά, είναι πολύ υψηλό και δεν

εξυπηρετεί την οικονομική απόδοση της κατεργασίας. Τα βιομηχανικά συνθετικά διαμάντια εκτελούν κοπή με μεγάλη ακρίβεια και μικρή φθορά του εργαλείου, όχι όμως συγκρινόμενη με αυτή που καταφέρνει το φυσικό διαμάντι. Χρησιμοποιούνται σε κοπές αλουμινίου και χαλκού και των κραμάτων τους λόγω της καλύτερης διάρκειας ζωής του εργαλείου που πετυχαίνουν. Έχουν πολύ αιχμηρή κοπτική ακμή, αναπτύσσουν μικρή τριβή, έχουν καλή θερμική αγωγιμότητα και κατά την κοπή δεν είναι αναγκαία η χρήση υγρών. Ωστόσο είναι χημικά ενεργά με πολλά υλικά. [3], [4], [5] Κατά την κοπή υψηλών ταχυτήτων εμφανίζεται πολύ υψηλός ρυθμός φθοράς του εργαλείου και επομένως δεν χρησιμοποιούνται. Επίσης είναι αναποτελεσματικά στην κοπή νικελίου και των κραμάτων του και στους χάλυβες καθώς γρήγορα αποκτούν μικρή διάρκεια ζωής. [5]

ΒΟΡΙΟΝΙΤΡΙΔΙΑ (CBN)

Τα βοριονιτρίδια είναι σε σκληρότητα τα αμέσως επόμενα από τα διαμάντια και διαθέτουν το πλεονέκτημα της αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες. Η χρήση τους εντοπίζεται σε υλικά υψηλής σκληρότητας, όπως οι χάλυβες υψηλής σκληρότητας και τα κράματα νικελίου, και κατεργασίες υψηλών ταχυτήτων. [1], [2], [3] Με σωστή τοποθέτηση και γεωμετρία είναι πολύ αποτελεσματικά σε διακοπόμενες κοπές. Έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα και χαμηλή θερμική διαστολή, γεγονός που τους δίνει μεγάλη αντοχή σε θερμικά σοκ. [4], [5] Επιπλέον παρουσιάζουν υψηλή χημική σταθερότητα και επομένως ελαχιστοποίηση φαινομένων διάχυσης και οξειδωσης. Τα μοναδικά μειονεκτήματά τους είναι η ψαθυρότητα και η δαπανηρή διαδικασία παρασκευής τους, καθώς αποτελούν σύνθετα υλικά. [1], [2], [5]

2.7.5 Επιστρώσεις

Η ανάγκη για ύπαρξη υλικών με υψηλή παραγωγική απόδοση, αντοχή και μη απαγορευτικό κόστος οδήγησε στη δημιουργία κοπτικών εργαλείων με επιστρώσεις. [1]

Η δημιουργία των επιστρώσεων πραγματοποιείται με σύγχρονες μεθόδους όπως η χημική ή φυσική εναπόθεση ατμών, η τεχνολογία μεταφοράς πλάσματος με laser, ο θερμικός ψεκασμός κτλ. Οι δύο πρώτες αποτελούν τις ευρέως χρησιμοποιούμενες. [1], [4]

Η εναπόθεση επιστρώσεων μικρού πάχους σε κοπτικά εργαλεία παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: [1], [2], [4]

- βελτίωση της σκληρότητάς τους
- βελτίωση της αντίστασής τους σε οξειδωτικά φαινόμενα
- βελτίωση της αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες κοπής
- βελτίωση της αντοχής τους σε κρουστικά φορτία
- βελτίωση των τριβολογικών συνθηκών της κοπής
- μείωση των ρυθμών φθοράς τους και αύξηση της διάρκειας ζωής
- μείωση του χρόνου κοπής
- λειτουργούν σαν ένα προστατευτικό τείχος για θερμικές καταπονήσεις και χημικές αντιδράσεις

Η βασική λειτουργία των επιστρώσεων είναι η βελτίωση της σκληρότητας του εργαλείου και επομένως το υλικό επίστρωσης που χρησιμοποιείται ανά περίπτωση πρέπει να είναι μεγαλύτερης σκληρότητας από αυτή του υλικού του εργαλείου. Οι ιδιότητες του υλικού της εκάστοτε επίστρωσης αλλάζουν με αλλαγή των συνθηκών που επικρατούν στην κοπή. [6]

Το μόνο μειονέκτημα της εφαρμογής των επιστρώσεων είναι η αλλαγή στο πάχος του κοπτικού εργαλείου. Το πάχος της επίστρωσης είναι σημαντικός παράγοντας της αποτελεσματικότητας της. Με μεγάλο πάχος αναμένεται αύξηση της διάρκειας ζωής του εργαλείου όμως χάνονται τα οφέλη που παρέχει το υλικό κάτω από την επίστρωση και η ακριβής διαστατική ακρίβεια του εργαλείου. [2], [6] Για αυτόν τον λόγο έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι νανοστρωματικών επιστρώσεων για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς. [1], [2]

Για εργαλεία τα οποία έχουν υποστεί φθορά με την επαναλαμβανόμενη χρήση τους στις κατεργασίες και δεν λειτουργούν όπως είναι αναμενόμενο υπάρχει η δυνατότητα επανεπίστρωσής τους. [3]

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις βασικές επιστρώσεις που χρησιμοποιούνται καθώς και οι ιδιότητες που προσδίδουν στο κοπτικό εργαλείο.

NITΡΙΔΙΟ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Τα βασικά χαρακτηριστικά της επίστρωσης με νιτρίδιο του τιτανίου είναι η βελτίωση της διάρκειας ζωής του κοπτικού εργαλείου, η απόδοση σκληρότητας και η αντίσταση στην φθορά, ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες. Μειώνει την τριβή και τη φθορά λόγω οξείδωσης και λειτουργεί σαν τείχος προστασίας σε φαινόμενα διάχυσης. Για χαμηλές ταχύτητες κοπής δεν προτιμάται. [1], [2], [4]

ΑΝΘΡΑΚΟΝΙΤΡΙΔΙΟ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Τα κοπτικά εργαλεία στα οποία εναποτίθεται η επίστρωση ανθρακονιτρίδιου τιτανίου είναι συνήθως σκληρομέταλλα ή ταχυχάλυβες. Η επίστρωση αυτή προσδίδει αύξηση της αντοχής των κοπτικών εργαλείων σε φθορά, ειδικά σε κατεργασίες κοπής υλικών χαμηλής κατεργασιμότητας. Η χρήση των συγκεκριμένων κοπτικών εργαλείων συνιστάται κυρίως σε διακοπτόμενες κοπές καθώς παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε κρουστικά φορτία και λόγω του άνθρακα υψηλή σκληρότητα. Επιπλέον έχουν υψηλή αντοχή σε οξείδωση. [1], [2], [4]

NITΡΙΔΙΟ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Η επίστρωση του κοπτικού εργαλείου με νιτρίδιο τιτανίου-αλουμινίου βελτιώνει τη σκληρότητα και τη θερμική αντίστασή του και καθιστά την κοπή αποτελεσματική σε υλικά χαμηλής κατεργασιμότητας. Διατηρεί τις ιδιότητές του σε υψηλές θερμοκρασίες και έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα. Οι ιδιότητές τους αλλάζουν ανάλογα την περιεκτικότητα σε αλουμίνιο. Η σκληρότητά του είναι χαμηλότερη από αυτή των δύο προηγούμενων επιστρώσεων. [1], [2], [4]

NITΡΙΔΙΟ ΧΡΩΜΙΟΥ

Η αντοχή του νιτρίδιου του χρωμίου σε υψηλές μηχανικές φορτίσεις το καθιστά χρήσιμο για τέτοιου είδους κατεργασίες. Επιπλέον αυτή η επίστρωση προσδίδει ολκιμότητα και ελαχιστοποίηση του φαινομένου της διάβρωσης στο κοπτικό εργαλείο. [1], [2]

NITΡΙΔΙΟ ΖΙΡΚΟΝΙΟΥ

Η επίστρωση του νιτρίδιου του ζirkονίου χρησιμοποιείται όταν αυτή του νιτρίδιου τιτανίου προκύπτει ανεπαρκής. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει είναι πολλά:

αύξηση της σκληρότητας, μηδενικά φαινόμενα διάβρωσης, ικανοποιητικές τριβολογικές συνθήκες καθώς και περιορισμό της ψευδόκοψης με συνέπεια αποδοτικές ποιότητες επιφάνειας. Συναντάται συνήθως σε κοπές μη σιδηρούχων υλικών όπως το τιτάνιο, το νικέλιο, το αλουμίνιο κτλ. [1], [2]

ΚΑΡΒΙΔΙΟ ΧΡΩΜΙΟΥ

Η επίστρωση καρβιδίου του χρωμίου στα κοπτικά εργαλεία επιδρά θετικά σε κοπές μαλακών μετάλλων. [2]

ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ

Κοπτικά εργαλεία με επίστρωση κεραμικού εμφανίζουν μείωση του ποσού θερμότητας που μεταφέρεται στο εργαλείο και βελτίωση του βαθμού φθοράς στην ελεύθερη επιφάνεια. Επιπλέον παρουσιάζεται βελτίωση στη σκληρότητα και στη θερμική αντίσταση. Αποτελούν υλικά χαμηλής χημικής ενεργητικότητας και η χρήση τους είναι αποτελεσματική σε κοπές τεμαχίων αλουμινίου και τιτανίου. [1], [9]

ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΔΙΑΜΑΝΤΙΟΥ

Η χρήση των επιστρώσεων διαμαντιού συναντάται σε κοπές μαλακών υλικών, μη σιδηρούχων καθώς και σε σύνθετα ινώδη υλικά μεταλλικής μήτρας και στον γραφίτη. [1], [4]

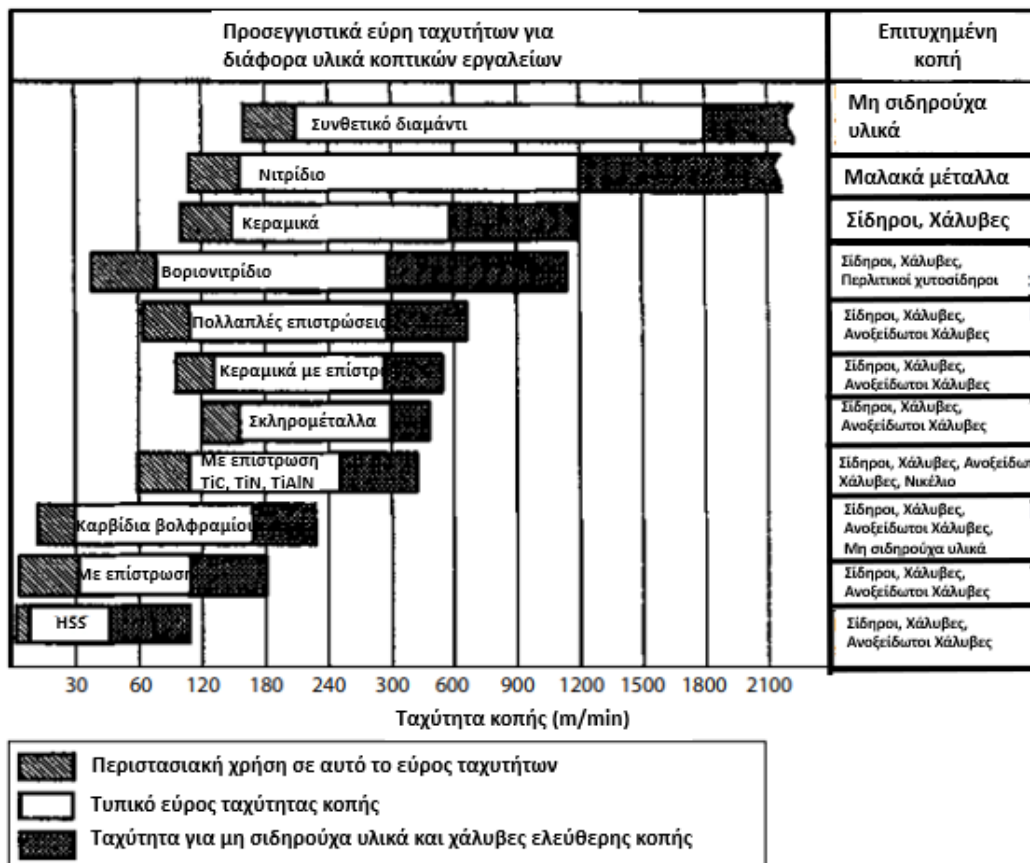
ΚΡΑΜΑΤΑ ΚΟΒΑΛΤΙΟΥ

Αποτελούν υλικά με μεγάλη σκληρότητα ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες οπότε συναντώνται σε κοπές υψηλών ταχυτήτων. Το αρνητικό είναι πως δεν παρουσιάζουν ποικιλία στα μορφολογικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους με αποτέλεσμα να περιορίζουν τις κατεργασίες στις οποίες χρησιμοποιούνται. [9]

ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ

Εκτός από μεμονωμένες επιστρώσεις υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού επιστρώσεων με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του κοπτικού εργαλείου για την κατεργασία. Ο βέλτιστος συνδυασμός επιστρώσεων προκύπτει από το είδος της κοπής και τις συνθήκες που επικρατούν. [1], [2]

Με την πάροδο των ετών που πραγματοποιούνται οι κατεργασίες κοπής έχει παρατηρηθεί πως ο κατάλληλος συνδυασμός υλικών κοπτικών εργαλείων και κατεργαζόμενων τεμαχίων μπορεί να βελτιώσει την απόδοση και τα αποτελέσματα της κοπής. Στο Σχήμα 2.18 παρουσιάζεται ο συνδυασμός υλικών για την επίτευξη κοπής με υψηλή απόδοση καθώς και το εύρος των ταχυτήτων κοπής που ενδείκνυται να εφαρμόζονται.

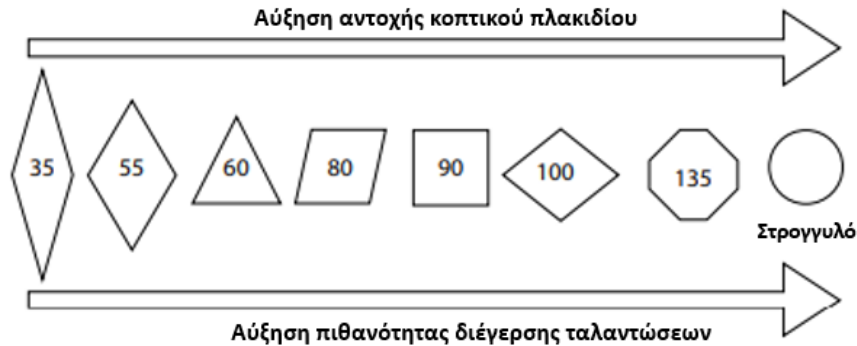


Σχήμα 2.17 Επιλογή υλικού κοπτικού εργαλείου για βασικά υλικά κατεργαζόμενων τεμαχίων και εύρη ταχυτήτων κοπής. [4]

2.7.6 Κοπτικά πλακίδια

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως στην μορφή πλακιδίων με πολλά σημεία κοπής (Εικόνα 2.8) τα οποία προσδένονται σε μανέλες (Εικόνα 2.9) σαν μηχανισμό συγκράτησης. Ο σκοπός της χρήσης τους είναι η ελαχιστοποίηση του νεκρού χρόνου κατά την αλλαγή κοπτικού εργαλείου και η δαπανηρή επιλογή του ενιαίου κοπτικού εργαλείου με το στέλεχος. Μπορούν να κατασκευαστούν από ταχυχάλυβες, συνθετικά διαμάντια, βοριονιτρίδια ή σκληρομέταλλα και ποικίλουν σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Ανάλογα την κατεργασία και τις επιθυμητές ιδιότητες επιλέγεται και η κατάλληλη γεωμετρία. [1],

[2], [4] Στο Σχήμα 2.19 παρουσιάζονται οι διαφορετικές γεωμετρικές κοπτικών πλακιδίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και γίνεται συσχέτιση με την αντοχή τους.



Σχήμα 2.18 Συσχέτιση γεωμετρίας και αντοχής κοπτικού πλακιδίου. [4]

Οι κοπτικές ακμές τους επιδέχονται επιπλέον επεξεργασία μετά τις κατεργασίες που χρησιμοποιούνται με σκοπό να αυξηθεί η απόδοση και η διάρκεια ζωής τους. Συνήθως διαθέτουν μεγαλύτερη σκληρότητα και αντοχή σε φθορά από τα συνήθη κοπτικά εργαλεία και χρησιμοποιούνται σε κοπές με μεγάλα ποσοστά αφαίρεσης υλικού. [4]



Εικόνα 2.8 Κοπτικά πλακίδια. [10]



Εικόνα 2.9 Μηχανισμοί συγκράτησης κοπτικών πλακιδίων-μανέλες. [10]

2.8 Υγρά κοπής

Η κατεργασία της κοπής μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παρουσία ή όχι υγρών κοπής. Όταν η κοπή γίνεται απουσία υγρών ονομάζεται ξηρή. Η ξηρή κοπή αποτελεί μια τάση των τελευταίων ετών και η εφαρμογή της σχετίζεται κυρίως με περιβαλλοντικούς παράγοντες. [1]

2.8.1 Κοπή παρουσία υγρών

2.8.1.1 Λειτουργία υγρών κοπής

Τα υγρά κοπής έχουν ποικιλία εφαρμογών κατά την κοπή. Η αποτελεσματικότητά τους σχετίζεται κυρίως με τον όγκο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί και το είδος του. [4] Οι βασικότερες λειτουργίες τους είναι η *λίπανση* και η *ψύξη* του τεμαχίου και του κοπτικού εργαλείου. Επιπλέον αποτελούν το κύριο μέσο που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του αποβλίττου ενώ λειτουργούν ευεργετικά στη μείωση τριβολογικών φαινομένων και κατ' επέκταση στη φθορά του εργαλείου όπου είναι εφικτό. Άμεση συνέπεια της χρήσης των υγρών κοπής είναι η μείωση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων, της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά την κοπή και των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών με αποτέλεσμα την παραγωγή καλύτερης ποιότητας επιφάνειας. [1], [5], [6]

Η χρήση των υγρών κοπής εκτός από τα οφέλη που προσφέρει στο κοπτικό εργαλείο επιδρά θετικά στη μείωση της φθοράς των επιφανειών και της διάρκειας ζωής και του τεμαχίου. Μέσω της λειτουργίας τους ως ψυκτικά περιορίζεται το φαινόμενο παραμόρφωσης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται αλλαγές στις διαστάσεις του τεμαχίου από τις αναμενόμενες. Η αποτελεσματικότητά του στη συγκεκριμένη ενέργεια εξαρτάται από το ίδιο το υγρό και τη θερμική του αγωγιμότητα. [3] Ωστόσο η επιλογή των υγρών κοπής και ο τρόπος χρήσης και εναπόθεσής τους πρέπει να γίνεται με προσοχή καθώς αρκετές φορές έχει παρατηρηθεί αρνητική επίδρασή τους κατά την κατεργασία τόσο στους παράγοντες της κοπής όσο και στην ασφάλεια του χειριστή. [1], [4]

2.8.1.2 Κατηγορίες υγρών κοπής

Η επιλογή των υγρών κοπής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με κύριο την ίδια την κατεργασία. Επιπλέον τα υλικά του κατεργαζόμενου τεμαχίου και του

κοπτικού εργαλείου και η εργαλειομηχανή της κατεργασίας λαμβάνονται υπόψιν με σκοπό την αποφυγή εμφάνισης φαινομένων χημικών μεταβολών και διάβρωσης κατά την κοπή. [1], [2]

Τα υγρά κοπής που χρησιμοποιούνται ευρέως ανήκουν σε μια από τις παρακάτω κατηγορίες:

- έλαια
- γαλακτώματα
- ημισυνθετικά
- συνθετικά

Τα έλαια μπορεί να προέρχονται από εξορύξεις ή να είναι φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Η χρήση τους εντοπίζεται σε κατεργασίες που δεν αναμένονται υψηλές θερμοκρασίες με χαμηλές ταχύτητες κοπής. Συνιστάται η χρήση τους σε κατεργασίες εύκολα κατεργάσιμων μετάλλων ενώ ένα μειονέκτημά τους είναι η τοξικότητα τους που ενδέχεται να οδηγήσει σε παραγωγή επιφανειών κακής ποιότητας. [1], [2], [9]

Στα γαλακτώματα ανήκουν έλαια που έχουν προσμίξεις σε νερό και άλλα πρόσθετα και η χρήση τους συνιστάται για κατεργασίες με σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω της υψηλής ψυκτικής τους απόδοσης, και μεγάλες τιμές ταχυτήτων κοπής. Επιπλέον απομακρύνουν με ευκολία το απόβλιττο της κατεργασίας. Η χρήση τους αποφεύγεται σε κατεργασίες τεμαχίων μαγνησίου. [2], [9]

Τα ημισυνθετικά αποτελούνται από ορυκτά έλαια διαλυμένα σε νερό και τέλος τα συνθετικά είναι χημικά διαλυμένα σε νερό με απουσία οποιουδήποτε ελαίου. Παρουσιάζουν καλά επίπεδα ψυκτικής απόδοσης και ικανοποιητική λειτουργία απομάκρυνσης του αποβλίττου με τη λειτουργία τους ως λιπαντικά να μην είναι η επιθυμητή. [2], [9]

Μετά την ολοκλήρωση της κατεργασίας το υγρό κοπής πρέπει να απομακρύνεται από τις επιφάνειες του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου καθώς και της εργαλειομηχανής για να αποφεύγονται φαινόμενα μεταβολών στην ποιότητά τους. Για αυτό το λόγο τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υγρά κοπής έχουν ως βάση τους το νερό λόγω των χαμηλών τιμών ιξώδους και επομένως της εύκολης απομάκρυνσής τους. [1], [2]

2.8.1.3 Μέθοδοι εφαρμογής υγρών κοπής

Εκτός από το είδος του υγρού κοπής ο μηχανισμός εφαρμογής και η ορθή τοποθέτησή του στην κατεργασία επιδρά στην αποτελεσματικότητά του. Το υγρό τοποθετείται όσο το δυνατό πλησιέστερα στην κοπτική ακμή και στη ζώνη διάτμησης, όπου παρατηρείται ραγδαία αύξηση θερμοκρασίας και μεταφορά θερμότητας. Η ακριβής εναπόθεση στην περιοχή της κοπής είναι το ιδανικό όμως όχι πάντα εφικτό. [5]

Η πιο διαδεδομένη τεχνική είναι η παροχή υγρού με *υψηλές ταχύτητες* ή παροχή υγρού με *υψηλή πίεση*. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η άμεση ψύξη των επιφανειών και η αποτελεσματική απομάκρυνση των παραγόμενων αποβλίττων. Τα συστήματα υψηλών πιέσεων με χρήση ακροφυσίων παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση στην ανάπτυξη θερμοκρασιών λόγω της πολύ συγκεκριμένης εναπόθεσης του υγρού μέσω των ακροφυσίων. [2], [4]

Επίσης παροχή υγρού μπορεί να γίνει και σε *χαμηλές πιέσεις*. Η εναπόθεση του γίνεται μέσω σωληνώσεων και ακροφυσίων. Για να είναι επιτυχημένη η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτείται προσοχή στην επιλογή του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί και στην τοποθέτηση του μηχανισμού. [4]

Μια άλλη μέθοδος είναι ο *ψεκασμός με νέφος*. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο παρέχεται καλύτερη ορατότητα της κατεργασίας όμως η ψυκτική απόδοσή της δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. [2] Λόγω του νέφους που δημιουργείται η συγκεκριμένη τεχνική δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη στην διαχείριση από τον χρήστη της εργαλειομηχανής. Η πίεση ψεκασμού και ο όγκος του υγρού αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες της μεθόδου. Ο συνδυασμός τους καθιστά εφικτή την υπέρβαση του σημείου ατμοποίησης του υγρού κοντά στην κοπτική ακμή και επομένως εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα της χρήσης του. [4]

Η τελευταία μέθοδος είναι αυτή της παροχής υγρού μέσω του κοπτικού εργαλείου. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται ειδικός εξοπλισμός ο οποίος τοποθετείται στην εργαλειομηχανή. Η αποτελεσματικότητα ψύξης και απομάκρυνσης αποβλίττου είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα και για αυτόν τον λόγο είναι αυτή που συνήθως επιλέγεται. [4]

2.8.1.4 Ανακύκλωση υγρών κοπής

Η ανάγκη για την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου σε οποιαδήποτε κατεργασία έχει οδηγήσει στην ανακύκλωση των υγρών κοπής. [2]

Ο καθαρισμός τους για μελλοντική χρήση τους μπορεί να γίνει με μεθόδους *διαχωρισμού* ή *φιλτραρίσματος*. Κάποιες από αυτές τις μεθόδους είναι η *καθίζηση*, η *φυγοκέντριση*, οι *κυκλώνες*, το *φιλτράρισμα* και οι *μαγνητικοί διαχωριστές*. Συνήθως χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια μέθοδοι για καλύτερο καθαρισμό. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται κατεργασίες φιλικότερες στο περιβάλλον με μικρότερο κόστος. [2], [4]

Η ανακύκλωση των υγρών δεν πρέπει να γίνεται επ' αόριστων καθώς ενδέχεται να προκύψει αλλαγή των ιδιοτήτων τους. Για αυτόν τον λόγο πριν τη χρήση των ανακυκλωμένων υγρών απαιτείται έλεγχός τους με βάση τις συγκεντρώσεις στερεών υπολειμμάτων από την κατεργασία που χρησιμοποιήθηκαν, βακτηρίων και το επίπεδο της ποιότητας των συστατικών τους σε σύγκριση με την αρχική τους κατάσταση. [4]

2.8.2 Ξηρή κοπή

Η κατεργασία κοπής χωρίς τη χρήση υγρών ονομάζεται *ξηρή κοπή*. Η ξηρή κοπή είναι αυτή με την ελάχιστη περιβαλλοντική επίδραση και για αυτό κυρίως τον λόγο είναι ταχεία η ανάπτυξη της κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Επιπλέον διαθέτει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα, μείωση του κόστους της κατεργασίας, λόγω της απουσίας υγρών που αποτελούν μεγάλο μέρος του, ελαχιστοποίηση εμφάνισης προβλημάτων υγείας στον εκάστοτε χειριστή καθώς και τη δημιουργία μιας πιο ευέλικτης κατεργασίας εφόσον δεν απαιτείται η χρήση μηχανισμού τοποθέτησης και απομάκρυνσης των υγρών. [1], [4]

Ωστόσο κάποιες από τις βασικές χρήσεις των υγρών κοπής δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς ένα υποκατάστατο τρόπο και για αυτό τον λόγο στην ξηρή κοπή χρησιμοποιούνται δέσμες πεπιεσμένου αέρα για την ψύξη και την απομάκρυνση του αποβλίττου. [1], [9] Η χρήση του αέρα ως ψυκτικό μέσο δεν αναπτύχθηκε τυχαία. Η παραγόμενη επιφάνεια μετά την κοπή είναι χημικά ενεργή με αποτέλεσμα να είναι ευάλωτη. Το οξυγόνο που βρίσκεται στον αέρα μπορεί να λειτουργήσει θετικά με τη δημιουργία οξειδίων στην επιφάνεια και στο κοπτικό εργαλείο που οδηγούν σε

μείωση των φαινομένων τριβής και της φθοράς που υφίσταται το εργαλείο. Ωστόσο με μη σωστή τοποθέτηση τα οξείδια μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στο κοπτικό εργαλείο με τη μορφή ρηγματώσεων λόγω των χημικών αντιδράσεων. Επιπλέον το άζωτο που περιέχεται στον αέρα λειτουργεί ως προστατευτικό μέσο ενάντια στην οξείδωση της επιφάνειας και των κοπτικών εργαλείων. [5]

Η ξηρή κοπή μπορεί να εφαρμοστεί σε πληθώρα κατεργασιών, όπως η τόννευση, η διάτρηση σπών μικρού πάχους εισχώρησης, και μετάλλων, όπως οι χάλυβες, το τιτάνιο, το αλουμίνιο με προϋπόθεση την ορθή επιλογή των παραμέτρων της κοπής και με στόχο την ελαχιστοποίηση φαινομένων που δυσχεραίνουν την κοπή όταν αυτή πραγματοποιείται παρουσία υγρών. Ωστόσο η ξηρή κοπή δεν είναι αποτελεσματική σε υψηλές ταχύτητες και σε υλικά υψηλής σκληρότητας. [4], [5]

2.9 Ποιότητα επιφάνειας

Ο όρος ποιότητα επιφάνειας τεμαχίου αποτελεί ένα μέτρο της απόδοσης της κατεργασίας κοπής και εκφράζεται μέσω των χαρακτηριστικών του. Οι διαστάσεις, οι ιδιότητες, η σκληρότητα και η αντοχή του αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά για την ερμηνεία της.

Η ποιότητα επιφάνειας είναι δύσκολο να αναλυθεί καθώς επηρεάζεται από την κατεργασία στο σύνολό της. Το είδος της κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκε και η αντίστοιχη εργαλειομηχανή, το κοπτικό εργαλείο και ο μηχανισμός συγκράτησής του, ο ρυθμός ροής και σχηματισμού του αποβλίπτου, τα φαινόμενα ταλαντώσεων στην εργαλειομηχανή, οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες και τάσεις, οι συνθήκες κατεργασίας με βασική παράμετρο την ταχύτητα κοπής, η χρήση ή όχι υγρών κοπής και το είδος τους καθώς και τα φαινόμενα εργοσκλήρυνσης των υλικών και της ψευδόκοψης παίζουν όλοι εξίσου σημαντικό ρόλο στην ποιότητα επιφάνειας που θα παραχθεί. [1], [2], [5]

Ωστόσο η ποσοτικοποίησή της εκφράζεται κυρίως με τον όρο της τραχύτητας. Η μέτρηση της τραχύτητας επιφανειών μπορεί να επιτευχθεί με τραχύμετρα στυλίσκου, που παρουσιάζουν ποικιλία μορφών ανάλογα το είδος επιφάνειας που θα καταμετρηθεί. Επιπλέον φορητά τραχύμετρα και οπτικά προφιλόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα τελευταία να δίνουν τα πιο ακριβή αποτελέσματα. [1]

Γενικά η ποιότητα επιφάνειας είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος κατά την κοπή καθώς σχετίζεται με το παραγόμενο τεμάχιο και δίνει πληροφορίες για την κατεργασία από την οποία προέκυψε.

2.10 Δυναμική της κοπής

Κατά την κατεργασία της κοπής υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας κραδασμών και ταλαντώσεων. Η εμφάνιση του φαινομένου σχετίζεται κυρίως με την ακαμψία της εργαλειομηχανής και ολόκληρου του συστήματος τη κοπής. Χαμηλή ακαμψία δυσχεραίνει την κατεργασία και οδηγεί σε αρνητικά αποτελέσματα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο και στα διάφορα τμήματα της εργαλειομηχανής. Εκτός από την ακαμψία άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη δυναμικών φαινομένων κατά την κοπή είναι οι συνθήκες κοπής και οι δυνάμεις, το κοπτικό εργαλείο και το κατεργαζόμενο τεμάχιο καθώς και οι μηχανισμοί συγκράτησής τους. [2], [3]

Γενικά η εμφάνιση ταλαντώσεων κατά την κοπή οφείλεται και στην ίδια την κατεργασία. Κατά την κοπή εμφανίζονται μεγάλοι ρυθμοί πλαστικών παραμορφώσεων οι οποίοι έπονται ελαστικών παραμορφώσεων. Η ελαστική ενέργεια παραμόρφωσης του συστήματος διαχέεται και όταν το σύστημα δεν είναι ικανό να την απορροφήσει οδηγείται σε εμφάνιση ταλαντώσεων. Επιπλέον η κοπή αποτελεί μια περιοδική κατεργασία με επαναλαμβανόμενες κινήσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε δυναμικά φαινόμενα. [3], [4]

2.10.1 Κατηγορίες ταλαντώσεων

Οι ταλαντώσεις που αναπτύσσονται κατά την κοπή μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις τύπους:

- ελεύθερες ταλαντώσεις
- εξαναγκασμένες ταλαντώσεις
- αυτοδιεγερμένες ταλαντώσεις

2.10.1.1 Ελεύθερες ταλαντώσεις

Η δημιουργία ελεύθερων ταλαντώσεων συνήθως οφείλεται σε απότομη αλλαγή σε κάποιον από τους παράγοντες της κοπής και επομένως στην αλλαγή της

θέσης ισορροπίας της κατασκευής. Αυτή η κατηγορία ταλαντώσεων εμφανίζεται στην ιδιοσυχνότητα του συστήματος κοπής και οδηγείται αυτόνομα σε απόσβεση. [1], [3], [4]

2.10.1.2 Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις

Έναν ακόμη τύπο αποτελούν οι εξαναγκασμένες ταλαντώσεις. Οι παράγοντες ανάπτυξής τους εντοπίζονται σε κατεργασίες διακοπτόμενης κοπής και σε φαινόμενα αζυγοστάθμιας στην εργαλειομηχανή και στο κοπτικό εργαλείο. Επιπλέον εμφανίζονται με την επίδραση μιας εξωτερικής διέγερσης στην κατασκευή. Τέτοιες διεγέρσεις μπορεί να οφείλονται σε ανομοιογένειες του κατεργαζόμενου τεμαχίου, στο φαινόμενο της ψευδόκοψης ή σε φορτία από παράγοντες της εργαλειομηχανής. Ο τρόπος αντιμετώπισής τους είναι η απομάκρυνση του στοιχείου που τις διεγείρει ή η εφαρμογή κάποιου μηχανισμού απόσβεσης καθώς δεν αποσβένουν χωρίς την επέμβαση του χειριστή. [1], [2], [4]

2.10.1.3 Αυτοδιεγερμένες ταλαντώσεις

Ο τελευταίος και ίσως σημαντικότερος τύπος, καθώς εισάγει το σύστημα σε μια ασταθή κατάσταση λειτουργίας, είναι αυτός των αυτοδιεγερόμενων ταλαντώσεων. Η ανάπτυξή τους σχετίζεται με τη λειτουργία του κοπτικού εργαλείου με το κατεργαζόμενο τεμάχιο καθώς και με τον μηχανισμό απομάκρυνσης αποβλίττου στην εργαλειομηχανή. Επιπλέον έχει παρατηρηθεί πως η αύξηση των δυνάμεων κοπής αλλά και του βάθους κοπής λειτουργούν ευεργετικά για την ανάπτυξή τους ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και το είδος του αποβλίττου που παράγεται. Η δημιουργία συνεχούς αποβλίττου τείνει να μην διεγείρει ταλαντώσεις ενώ σε κατεργασίες με παραγωγή ασυνεχούς ή πριονωτού αποβλίττου είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί το φαινόμενο. [1], [2] Το σημαντικό με αυτό το είδος των ταλαντώσεων είναι πως η ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία τους προσδίδεται από το ίδιο το σύστημα της κοπής και επομένως ο μόνος τρόπος εξαφάνισής τους είναι η διακοπή της κατεργασίας. [4]

2.10.2 Συνέπειες ταλαντώσεων

Όποιος και αν είναι ο τύπος της ταλάντωσης η επίδραση στην κατεργασία είναι αρνητική και εντοπίζεται σε όλους τους παράγοντες της κοπής. Οδηγούν σε ανάπτυξη μεγάλων και απρόβλεπτων ευρών δυνάμεων, σε χαμηλής ποιότητας επιφάνειες με αποκλίσεις από τις επιθυμητές διαστάσεις του κατεργαζόμενου τεμαχίου, σε φθορά ή και αστοχία του κοπτικού εργαλείου ενώ υπάρχει και πιθανότητα εμφάνισης βλάβης στην εργαλειομηχανή. [2], [4]

2.10.3 Τρόποι αντιμετώπισης

Η αποφυγή ανάπτυξης ταλαντώσεων δεν γίνεται να επιτευχθεί, όμως μπορεί να περιοριστεί το φαινόμενο με καλύτερο σχεδιασμό της κατεργασίας. Βέλτιστες συνθήκες κοπής με χρήση κατάλληλου κοπτικού εργαλείου και αύξηση της ακαμψίας της εργαλειομηχανής, επιλέγοντας εξαρτήματα και μηχανισμούς συγκράτησης που λειτουργούν ευεργετικά, έχουν θετικά αποτελέσματα όμως ο πιο δραστικός τρόπος αντιμετώπισης και ελέγχου είναι η χρήση μηχανισμού απόσβεσης ή απομόνωσής τους. Η χρήση αποσβεστήρων ή απορροφητών ταλαντώσεων στην εργαλειομηχανή οδηγεί σε μείωση των ταλαντώσεων ενώ παρατηρείται μείωση και με αύξηση των εξαρτημάτων της εργαλειομηχανής παρόλο που μειώνει την ακαμψία της εργαλειομηχανής. [2], [4]

2.11 Κατεργασιμότητα

Η κατεργασιμότητα ενός υλικού αποτελεί ένα συνδυασμό πολλών παραγόντων και σχετίζεται με την απόδοση του κατά την κοπή. Υλικά που παράγουν υψηλής ποιότητας επιφάνειας, ελαχιστοποιούν τη φθορά του εργαλείου και της εργαλειομηχανής, απαιτούν λιγότερη ισχύ και επομένως κατά την κατεργασία τους αναπτύσσονται μικρότερες τιμές δυνάμεων καθώς επίσης παράγουν απόβλιπτο που είναι εύκολα διαχειρίσιμο καθιστούν εύκολο τον έλεγχο της κατεργασίας και χαρακτηρίζονται ως υλικά με καλή κατεργασιμότητα. Προφανώς ένα υλικό με αυτές τις προδιαγραφές αποτελεί το ιδανικό και επομένως ανάλογα τη σύγκλιση ή την απόκλιση των ιδιοτήτων του υλικού με τις προαναφερθείσες το υλικό ορίζεται ως εύκολα ή δύσκολα κατεργάσιμο. Ωστόσο η κατεργασιμότητα δεν αποτελεί ιδιότητα του υλικού αλλά ένα χαρακτηρισμό του τρόπου που αντιδρά το υλικό στην εκάστοτε

κατεργασία και στις συνθήκες στις οποίες αυτή πραγματοποιείται. Επομένως στον χαρακτηρισμό της απαιτείται να λαμβάνονται υπόψιν το κοπτικό εργαλείο, η γεωμετρία και το υλικό του, η ταχύτητα κοπής και η κατεργασία στην οποία θα χρησιμοποιηθεί. [1], [2], [5]

ΧΑΛΥΒΕΣ

Λόγω της ποικιλίας καθώς και της διαδεδομένης χρήσης τους οι πληροφορίες σχετικά με την κατεργασιμότητα των χαλύβων είναι πολλές. Ο βέλτιστος συνδυασμός ολκιμότητας και σκληρότητας αποτελεί τον κύριο παράγοντα αποφυγής ανεπιθύμητων φαινομένων κατά την κοπή ανθρακούχων χαλύβων. Μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα καθιστά τον χάλυβα δύσκολο για κατεργασία όμως η υψηλή περιεκτικότητα ενδέχεται να οδηγήσει σε φθορά του κοπτικού εργαλείου. [7] Είναι ευάλωτα υλικά στη διάβρωση όμως παρουσιάζουν αντοχή και δυσκαμψία σε υψηλές θερμοκρασίες. [9] Χάλυβες με περιεκτικότητα σε θείο και φώσφορο είναι εύκολοι στην κατεργασία τους. Οι απωξειδωμένοι χάλυβες περιορίζουν τη φθορά τύπου κρατήρα ενώ η κατεργασιμότητα κραματωμένων χαλύβων επηρεάζεται από την σύσταση και τις σκληρότητες των υλικών και επομένως δεν είναι δυνατή μια γενική περιγραφή της. [2] Τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται ως προσμίξεις στους χάλυβες είναι το μαγγάνιο, το αλουμίνιο, το νικέλιο και το μολυβδαίνιο με αποτέλεσμα τη βελτίωση της σκληρότητας, της μηχανικής και θερμικής αντοχής τους καθώς και της αντίστασης σε διαβρωτικά φαινόμενα ανάλογα την προσθήκη. [9]

ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες χρησιμοποιούνται στην κοπή όμως ανάλογα τη σειρά τους τείνουν να εμφανίζουν κάποια μειονεκτήματα. [2] Γενικά διαθέτουν μεγάλη σκληρότητα, έντονη εργοσκληρύωση και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. [4] Οι ωστενίτες είναι δύσκολοι κατεργάσιμοι και εργοσκληρώνονται με μεγάλους ρυθμούς. Κατά την κατεργασία τους υπάρχει μεγάλη πιθανότητα δημιουργίας ταλαντώσεων και προσκόλλησης του αποβλίττου στο κοπτικό εργαλείο. Το φαινόμενο της ψευδόκοψης μπορεί να περιοριστεί με χρήση αιχμηρών κοπτικών εργαλείων και μεγάλων ρυθμών πρόωσης κατά την κατεργασία τους. [5], [7] Εμφανίζουν μεγάλη φθορά στο κοπτικό εργαλείο λόγω των υψηλών δυνάμεων που αναπτύσσονται στην κοπή. Είναι πολύ ανθεκτικοί σε διαβρωτικά φαινόμενα. Οι μαρτενσίτες είναι πιο

εύκολοι στην κατεργασία από τους ωστενίτες όμως παρουσιάζουν φαινόμενα εκτριβής. Οι πιο εύκολα κατεργάσιμοι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι οι φερριτικοί, λόγω της μικρότερης σκληρότητάς τους. [2], [4], [9]

ΧΑΛΥΒΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΚΟΠΗΣ

Οι χάλυβες ελεύθερης κοπής είναι ανθρακούχοι χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο και μαγγάνιο. Η χρήση τους συνδέεται με παραγωγικές διαδικασίες υψηλών ρυθμών και ταχυτήτων με μεγάλα βάθη κοπής και ποσοστά αποκοπής υλικού. Κατά την κατεργασία της κοπής τους δεν αναπτύσσονται μεγάλες τιμές δυνάμεων και θερμοκρασιών και επομένως απαιτούνται μικρότερα ποσά ισχύος. Το απόβλιττο που σχηματίζεται έχει μικρό μήκος που είναι εύκολα διαχειρίσιμο. Η φθορά που υφίσταται το εργαλείο είναι μικρή και οι παραγόμενες επιφάνειες υψηλής ποιότητας. [1], [2], [7], [9]

ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

Η κατεργασιμότητα των χυτοσιδήρων εξαρτάται από τους παράγοντες της κοπής. Με χρήση σκληρών και αιχμηρών κοπτικών εργαλείων ο βαθμός κατεργασιμότητάς τους είναι καλός ακόμη και για μεγάλες παραγωγικές διαδικασίες. Ο βαθμός φθοράς των κοπτικών εργαλείων είναι μικρός όπως και οι τιμές των αναπτυσσόμενων δυνάμεων. [7]

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αλουμίνιο αποτελεί ένα υλικό με υψηλή ολκιμότητα, θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και αντοχή στη διάβρωση. Είναι ένα εύκολα κατεργάσιμο υλικό και διαθέτει χαμηλό σημείο τήξης και υψηλό ποσοστό αφαίρεσης υλικού. [2], [4], [5], [9] Λόγω του χαμηλού σημείου τήξης του δεν αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Το σημαντικότερο μειονέκτημα που παρατηρείται στην κατεργασία του αλουμινίου είναι η παραγωγή αποβλίττου μεγάλου μήκους λόγω της εκτεταμένης πλαστικής παραμόρφωσης πριν τη θραύση του. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αντιμετωπιστεί με προσαρμογή των γωνιών κοπής καθώς και με τη χρήση γρεζοθραυστών. [5] Σε μη ιδανικές συνθήκες κοπής, λόγω της ολκιμότητάς του, μπορεί να εμφανιστεί πολύ έντονα το φαινόμενο της ψευδόκοψης. Για την αποφυγή του φαινομένου η κοπή του συνίσταται να πραγματοποιείται με υψηλές ταχύτητες και γωνίες κοπής. [2] Επίσης

διαθέτει μικρή περιοχή ελαστικής επεξεργασίας, γεγονός που δυσκολεύει την κατεργασία. Αυξημένες δυνάμεις κοπής αναπτύσσονται και σε χαμηλές ταχύτητες. [9] Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κράματα αλουμινίου με ελαφρώς καλύτερη κατεργασιμότητα στις περισσότερες συνθήκες και το σημαντικότερο με μείωση των δυνάμεων που αναπτύσσονται σε χαμηλές ταχύτητες κοπής. [5]

ΒΗΡΥΛΛΙΟ

Γενικά το βηρύλλιο δεν χρησιμοποιείται σε κατεργασίες κοπής λόγω της τοξικότητάς του και όταν είναι αναγκαία η χρήση του απαιτείται αυστηρή τήρηση των μέτρων ασφαλείας. [2]

ΚΡΑΜΑΤΑ ΚΟΒΑΛΤΙΟΥ

Τα κράματα κοβαλτίου χρησιμοποιούνται στην κοπή με επιλογή κατάλληλων συνθηκών. Αποτελούν υλικά επιρρεπή σε φαινόμενα εκτριβής κατά την κοπή και για αυτό τον λόγο επιλέγονται χαμηλές ταχύτητες κοπής και πρόωσης με κοπτικά εργαλεία έντονης κόψης. [2]

ΧΑΛΚΟΣ

Ο χαλκός γενικά ανήκει στα δύσκολα κατεργάσιμα υλικά λόγω των υψηλών δυνάμεων και θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά την κοπή του, ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες κοπής. [7] Ανήκει στην κατηγορία των όλκιμων υλικών και παράγει μέτριας ποιότητας επιφάνεια ειδικά σε χαμηλές ταχύτητες. [5] Ωστόσο ορισμένα κράματά του εμφανίζουν βελτιωμένη κατεργασιμότητα με υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, επαρκή αντοχή και αντίσταση στη διάβρωση. [9] Η βιομηχανική του μορφή και ο μπρούτζος ανήκουν στα δύσκολα κατεργάσιμα υλικά, κυρίως λόγω της έντονης ψευδόκοψης που εμφανίζεται και της φθοράς που υφίσταται το κοπτικό εργαλείο, ενώ ο ορείχαλκος αποτελεί ένα υλικό με καλό βαθμό κατεργασιμότητας. Κατά την κατεργασία του ορείχαλκου αναπτύσσονται μικρές τιμές ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη ταχύτητα κοπής. Το απόβλιττο που παράγεται είναι σπειροειδές με μεγάλο μήκος και επομένως δύσκολα διαχειρίσιμο. [2], [5]

ΜΑΓΝΗΣΙΟ

Η κατεργασία κοπής του μαγνησίου, και κυρίως των κραμάτων του, είναι εύκολη με παραγωγή επιφανειών υψηλής ποιότητας και μικρούς ρυθμούς φθοράς. Αποτελεί ένα όλκιμο υλικό και παρουσιάζει μικρές και σταθερές τιμές δυνάμεων και θερμοκρασιών κατά την κατεργασία λόγω του χαμηλού σημείου τήξης του. Κατά την κατεργασία του απαιτείται έλεγχος καθώς είναι επιρρεπές σε οξειδωτικά φαινόμενα και είναι αναγκαία η εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας καθώς τα απόβλιττα που παράγονται είναι μικρού μήκους με υψηλή πιθανότητα ανάφλεξης. [2], [4], [5]

ΜΟΛΥΒΔΑΙΝΙΟ

Το μολυβδαίνιο είναι όλκιμο υλικό και επομένως η παραγόμενη ποιότητα επιφάνειας βασίζεται κυρίως στην επιλογή κατάλληλου κοπτικού εργαλείου. Στα πλεονεκτήματα του εντάσσεται η υψηλή αντοχή σε διάβρωση ενώ στα μειονεκτήματα η μικρή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. [1]

ΚΡΑΜΑΤΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Το νικέλιο αποτελεί ένα εύκαμπτο υλικό με σημείο τήξης στα επίπεδα του σιδήρου. Γενικά είναι δύσκολα κατεργάσιμο με μικρά ποσοστά αποκοπής υλικού, φθορά και αστοχία του εργαλείου και ανάπτυξη υψηλών δυνάμεων και θερμοκρασιών. [5] Για τους παραπάνω λόγους δεν χρησιμοποιείται χωρίς κραματοποίηση. Ανάλογα τις ιδιότητες του κάθε κράματος η κατεργασιμότητα του μεταβάλλεται. Τα κράματα νικελίου είναι ανθεκτικά σε αύξηση της θερμοκρασίας και διαθέτουν υψηλή αντοχή σε μηχανικά φορτία και στη διάβρωση όμως παρουσιάζουν φαινόμενα εκτριβής. [2], [9] Επιπλέον η επιφάνεια επαφής είναι μικρή και οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες υψηλές ανεξάρτητα από την ταχύτητα κοπής που εφαρμόζεται. Το φαινόμενο της εργοσκληύρυνσης είναι πολύ έντονο όμως μπορεί να περιοριστεί με χρήση αιχμηρών κοπτικών εργαλείων. [4], [5]

ΥΠΕΡΚΡΑΜΑΤΑ

Τα υπερκράματα αποτελούν υλικά με υψηλή μηχανική αντοχή και ανήκουν στην κατηγορία των δύσκολα κατεργάσιμων υλικών. [9] Διαθέτουν αντίσταση σε οξειδωτικά και διαβρωτικά φαινόμενα ενώ παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε θερμικά

φορτία. Τα υπερκράματα νικελίου είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί προσθήκη άλλων μετάλλων για την προσθήκη περαιτέρω ιδιοτήτων. [1]

ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ

Ο ψευδάργυρος αποτελεί ένα δύσκολο υλικό για κατεργασία λόγω των μέτριων μηχανικών ιδιοτήτων του. [1]

TANTALIO

Το ταντάλιο αποτελεί ένα υλικό δύσκολο για κατεργασία και δεν συνιστάται η χρήση του για την κοπή. Τα αποτελέσματα είναι μέτρια ενώ κατά την κατεργασία κοπής είναι έντονο το φαινόμενο της εργοσκληρυνσης και υψηλοί οι ρυθμοί φθοράς του κοπτικού εργαλείου. [2]

TITANIO

Το τιτάλιο αποτελεί ένα υλικό που χρησιμοποιείται σε κατεργασίες κοπής λόγω των φαινομενικά ιδανικών ιδιοτήτων του. Διαθέτει υψηλή σκληρότητα, αντοχή σε διάβρωση και διατήρηση των ιδιοτήτων σε υψηλές θερμοκρασίες όμως σε αντιστοιχία με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα είναι αρκετά. [2], [9] Το σημείο τήξης του είναι από τα υψηλότερα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέταλλα και χαρακτηρίζεται από υψηλή ευκαμψία. Κατά γενικό κανόνα κατά την κατεργασία εμφανίζονται έντονα το φαινόμενο της ψευδόκοψης και πλαστικής παραμόρφωσης του εργαλείου, με αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής του. Παρόλο που οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι μικρές λόγω της μικρής επιφάνειας επαφής που επικρατεί κατά την κοπή αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες και τάσεις στην κοπτική ακμή. Το απόβλιττο που παράγεται είναι συνεχές και συνήθως μικρού πάχους ενώ το ποσοστό υλικού που αφαιρείται είναι μικρό. [5] Διαθέτει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και είναι χημικά ενεργά με μεγάλο ποσοστό των υλικών των κοπτικών εργαλείων επομένως απαιτείται προσοχή στην επιλογή τους. [4]

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην κατεργασία του απαιτείται η χρήση υγρών κοπής με παροχή μεγάλης πίεσης που σε συνδυασμό με χαμηλές ταχύτητες κοπής μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη θερμοκρασιών και τη φθορά που υφίσταται το κοπτικό

εργαλείο. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο της ψευδόκοψης χρησιμοποιούνται αιχμηρά εργαλεία. [4]

ΒΟΛΦΡΑΜΙΟ

Το βολφράμιο γενικά δεν αποτελεί ένα υλικό που επιλέγεται για κατεργασίες κοπής καθώς η κατεργασιμότητά του βελτιώνεται μόνο όταν αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. [2]

ΖΙΡΚΟΝΙΟ

Το ζιρκόνιο χρησιμοποιείται στην κοπή καθώς είναι ένα εύκολα κατεργάσιμο υλικό με παραγωγή αποβλίττων μικρού πάχους και μικρή επιφάνεια επαφής. Οι ιδιότητές του μοιάζουν με αυτές του τιτανίου. Προσοχή απαιτείται στην επιλογή του υγρού κοπής, εάν δεν πρόκειται για ξηρή κοπή, για τη διατήρηση της ασφάλειας στην κατεργασία καθώς υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης των αποβλίττων. [2], [5]

ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

Η απόδοση της κοπής των θερμοπλαστικών βασίζεται πολύ στους παράγοντες τις κοπής. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία πρέπει να είναι πολύ συγκεκριμένες για να αποφευχθούν δυσμενή αποτελέσματα. Συνίσταται η χρήση κοπτικών εργαλείων με αιχμηρή κοπτική ακμή, μικρά βάθη κοπής και προώσεις. Οι ταχύτητες κοπής που εφαρμόζονται είναι μεγάλες και πρέπει συνδυάζονται με καλό σύστημα ψύξης. [1], [2]

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ

Ανάλογα το υλικό της μήτρας η ευκολία ή η δυσκολία στην κατεργασία των σύνθετων υλικών διαφέρει. Τα σύνθετα πολυμερικής μήτρας τείνουν να παρουσιάζουν περισσότερα μειονεκτήματα από ότι πλεονεκτήματα ενώ η κατεργασιμότητα των υλικών κεραμικής ή μεταλλικής μήτρας βασίζεται κυρίως στο υλικό της μήτρας και τα χαρακτηριστικά του. [1], [2]

ΓΡΑΦΙΤΗΣ

Η απόδοση του γραφίτη κατά την κοπή εξαρτάται κυρίως από το υλικό του κοπτικού εργαλείου που επιλέγεται και την αιχμηρότητά του. Για καλύτερα αποτελέσματα επιλέγονται υψηλής αιχμηρότητας και σκληρότητας κοπτικά εργαλεία που

περιορίζουν φαινόμενα εκτριβής τα οποία εμφανίζονται κατά την κατεργασία του.

[2] Αποτελεί ένα ανταγωνιστικό υλικό καθώς παρουσιάζει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και ανάλογη αύξηση της αντοχής του με την θερμοκρασία. [9]

ΚΕΡΑΜΙΚΑ

Τα κεραμικά υλικά χαρακτηρίζονται από ψαθυρότητα και μικρή αντίσταση σε κρουστικά φορτία. Αυτές οι δύο βασικές τους ιδιότητες κατέστησαν την χρήση τους στην κατεργασία της κοπής απαγορευτική. Ωστόσο λόγω κάποιων ιδιοτήτων τους, όπως η μικρή θερμική αγωγιμότητα, η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και στην οξείδωση, η κατεργασία τους θεωρήθηκε αναγκαία και πλέον με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την εύρεση νέων κοπτικών εργαλείων και τρόπων εφαρμογής της κατεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν. [1]

ΞΥΛΟ

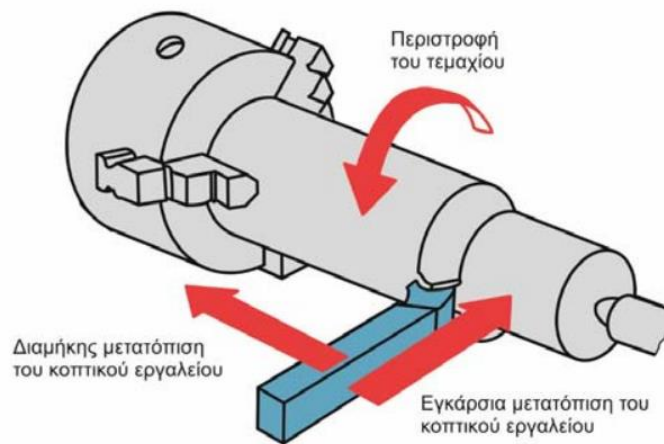
Το ξύλο αποτελεί ένα υλικό που χρησιμοποιείται σε κοπές υψηλών ταχυτήτων. Τα κοπτικά εργαλεία πρέπει να είναι αιχμηρής κοπτικής ακμής. Λόγω των μεταβολών των ιδιοτήτων του ανάλογα τις ίνες και τις ποικιλίας που παρουσιάζει είναι δύσκολη η πρόβλεψη της απόδοσής του χωρίς περαιτέρω γνώση των παραγόντων της κοπής. [2]

ΚΡΑΜΑΤΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥ

Η κραματοποίηση του ουρανίου γίνεται συνήθως με τιτάνιο και νιόβιο για αύξηση της σκληρότητας και της αντίστασης σε διάβρωση. Αποτελούν υλικά εξαιρετικά δύσκολης κατεργασιμότητας. Εμφανίζουν υψηλούς ρυθμούς εργοσκληρυνσης και διαθέτουν υψηλή ολκιμότητα. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι η ανισοτροπία τους ιδιαίτερα σε κατάσταση θερμικής διαστολής. Η χρήση υγρών κοπής και η επιλογή κοπτικών εργαλείων περιορίζονται αισθητά λόγω του χημικά ενεργού χαρακτήρα των κραμάτων. Λόγω των προαναφερθέντων ιδιοτήτων τους κατά την κοπή η φθορά του εργαλείου είναι υψηλή. [4]

Κεφάλαιο 3. ΤΟΡΝΕΥΣΗ

Η τórνευση αποτελεί μια από τις πιο βασικές κατεργασίες αφαίρεσης υλικού καθώς μπορούν να παραχθούν επιφάνειες με πολύ υψηλή ακρίβεια και με υψηλής πολυπλοκότητας γεωμετρίες. Κατά την τórνευση το κατεργαζόμενο τεμάχιο περιστρέφεται και στηρίζεται στον μηχανισμό συγκράτησης που έχει επιλεγθεί με το κοπτικό εργαλείο να κινείται παράλληλα στον άξονα περιστροφής αφαιρώντας υλικό όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. [1], [3], [5], [6] Οι συνήθεις διατομές των τεμαχίων είναι κυλινδρικές ή κωνικές όμως μπορούν να προκύψουν και τεμάχια διαφορετικής γεωμετρίας με μεγαλύτερη ή μικρότερη πολυπλοκότητα που εξασφαλίζεται από τη χρήση κατάλληλου εργαλείου κοπής. [1], [2]

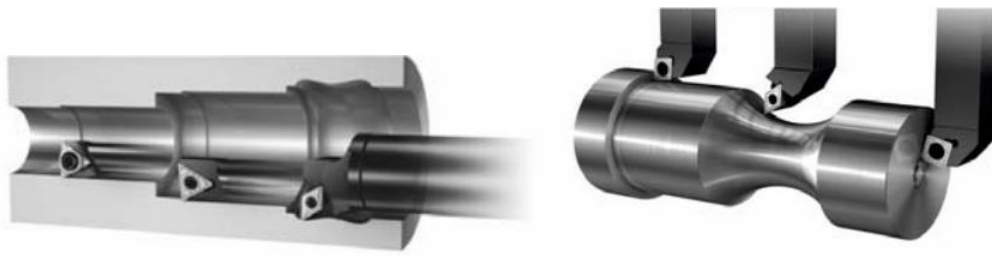


Σχήμα 3.1 Κινηματική της τórνευσης. [1]

Η τórνευση αποτελεί μια κατεργασία που χρησιμοποιείται για πάρα πολλά χρόνια και επομένως με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της μηχανουργίας και ανάλογα τις απαιτήσεις κάθε εποχής έχει αντίστοιχα εξελιχθεί. Η δημιουργία νέων υλικών, η κατασκευή νέων εργαλείων με διαφορετικές γεωμετρίες και διαφορετικά υλικά είναι κάποια από τα χαρακτηριστικά που έπαιξαν και παίζουν ρόλο στην εξέλιξη της με βασικό την κατασκευή εργαλειομηχανών εξελιγμένης τεχνολογίας. [6]

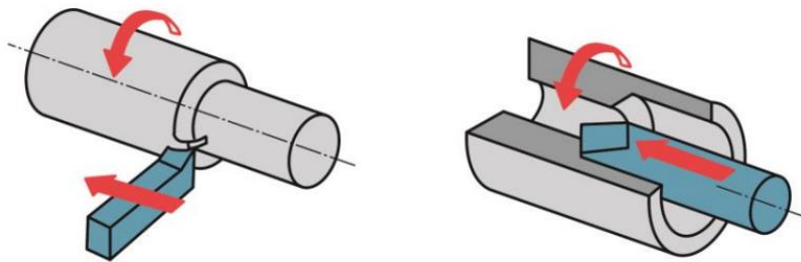
3.1 Είδη τórνευσης

Υπάρχουν διάφορα είδη τórνευσης τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν με βάση το είδος του τεμαχίου που παράγεται. Ανάλογα την επιφάνεια που κατεργάζεται κατά την κοπή η τórνευση μπορεί να διαχωριστεί σε *εσωτερική* και *εξωτερική* (Εικόνα 3.1). [1]

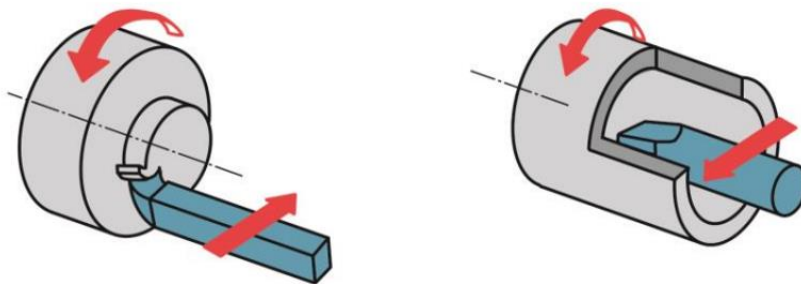


Εικόνα 3.1 Εσωτερική(αριστερά) και εξωτερική(δεξιά) τórνευση (οι φωτογραφίες είναι της Sandvik). [1]

Οι υπόλοιπες κατηγορίες προκύπτουν με γνώμονα τις βασικές κινήσεις, πρωτεύουσα κίνηση και κίνηση πρόωσης, και απαιτούν τη χρήση του κατάλληλου κοπτικού εργαλείου. Όταν η κίνηση πρόωσης είναι παράλληλη με τον άξονα της τórνευσης η τórνευση ονομάζεται *διαμήκης* (Σχήμα 3.2) και τα τελικά τεμάχια έχουν κυλινδρική διατομή με δυνατότητα αυξομείωσής της, ενώ όταν η κίνηση πρόωσης είναι κάθετη στον άξονα της τórνευσης η τórνευση ονομάζεται *εγκάρσια* (Σχήμα 3.3). [1], [2]



Σχήμα 3.2 Διαμήκης εξωτερική και εσωτερική τórνευση. [1]

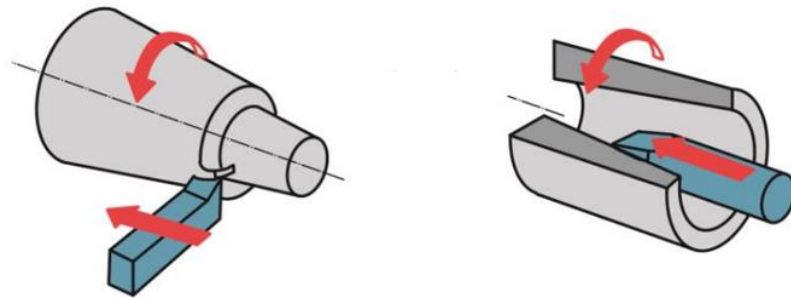


Σχήμα 3.3 Εγκάρσια εξωτερική και εσωτερική τórνευση. [1]

Η εγκάρσια τórνευση διακρίνεται σε *μετωπική* ή *προσώπου*, η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία επίπεδων επιφανειών, κάθετα στον άξονα περιστροφής, στο τεμάχιο με χρήση κοπτικών εργαλείων μεγαλύτερων από το βάθος κοπής, και σε *ακτινική*, η χρήση της οποίας συναντάται στην δημιουργία οπών(διάτρηση) και στην διεύρυνσή τους(boring), στην απομάκρυνση/αποκοπή

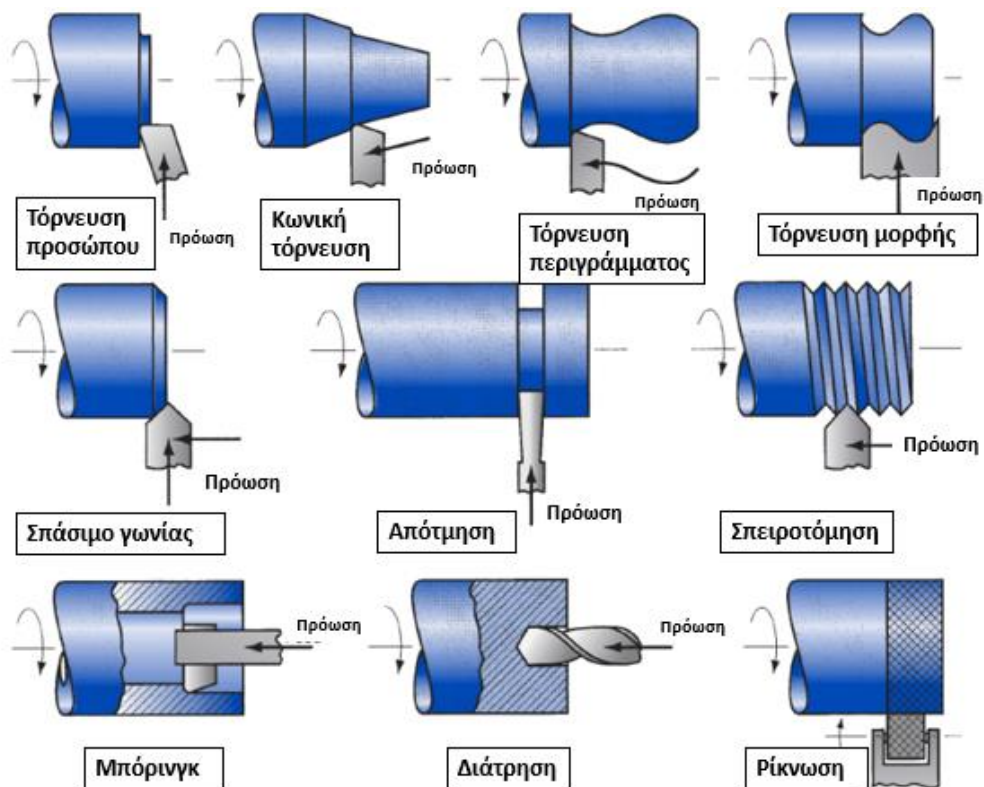
μέρους του κατεργαζόμενου τεμαχίου(απότμηση) καθώς επίσης και στην αποτύπωση της μορφής του εργαλείου στο τεμάχιο(τόρνευση μορφής). [1], [2], [3]

Για τη δημιουργία κωνικών τεμαχίων χρησιμοποιείται η κωνική τórνευση κατά την οποία η διεύθυνση του κοπτικού εργαλείου βρίσκεται σε κλίση με τη διεύθυνση περιστροφής του τεμαχίου (Σχήμα 3.4). [3]



Σχήμα 3.4 Κωνική εξωτερική και εσωτερική τórνευση. [1]

Κάποιες ειδικές κατηγορίες τórνευσης αποτελούν η σπειροτόμηση, για τη δημιουργία σπειρώματος στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό του τεμαχίου, καθώς και η ρίκνωση, για τη δημιουργία ενός μοτίβου σε κυλινδρικές επιφάνειες με σκοπό την απομάκρυνση της ολίσθησης σε συγκεκριμένα σημεία. [1], [2] Τα διαφορετικά είδη τórνευσης αναπαρίστανται σχηματικά στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Σχηματική αναπαράσταση διαφόρων ειδών τórνευσης. [11]

Το σχήμα, οι διαστάσεις και οι ιδιότητες της παραγόμενης επιφάνειας βασίζονται κατά πολύ στη γεωμετρία, το μέγεθος και τον τρόπο εφαρμογής του κοπτικού εργαλείου που επιλέγεται. [3]

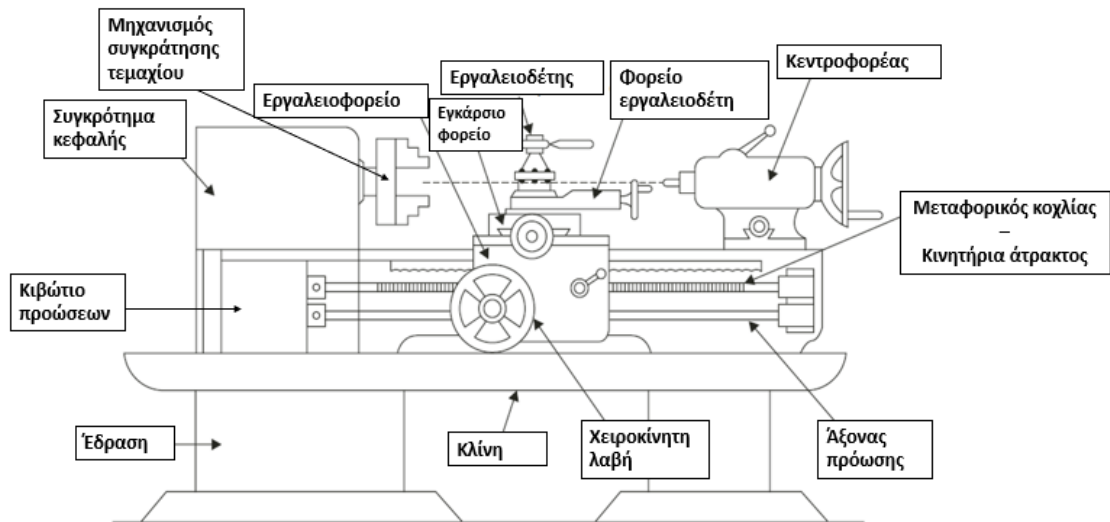
3.2 Τόρνος

Η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται για την κατεργασία της τórνευσης είναι ο *τόρνος*, στον οποίο μπορεί να εκτελεστεί το μεγαλύτερο ποσοστό κοπής μετάλλων. Ο τόρνος αποτελεί μια από τις παλαιότερες εργαλειομηχανές και επομένως υπάρχει μεγάλη εξέλιξη από τους πρώτους ξυλουργικούς τόρνους μέχρι τα σύγχρονα αυτοματοποιημένα κέντρα τórνευσης, όμως η βασική δομή της εργαλειομηχανής παραμένει σε μεγάλο ποσοστό κοινή. [1], [2]

3.2.1 Δομή τόρνου

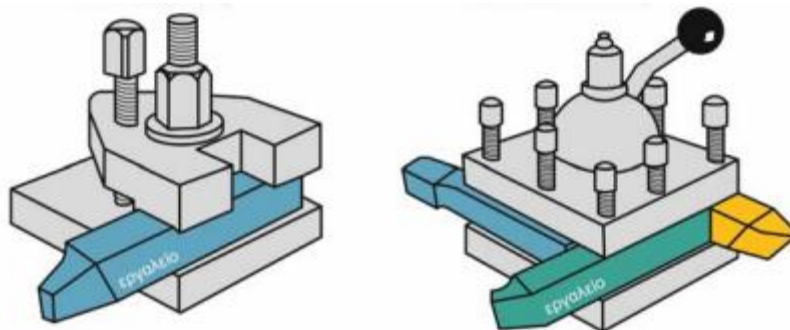
Όλα τα τμήματα του τόρνου είναι αλληλένδετα και συντελούν στην επίτευξη των βασικών λειτουργιών του, όπως η ασφαλής περιστροφή του τεμαχίου και ο έλεγχος του κοπτικού εργαλείου.[8] Τα βασικά μέρη του τόρνου παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 3.6. Στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά στον ρόλο και τη λειτουργία κάθε μέρους της εργαλειομηχανής για την κατεργασία.

Το βασικότερο δομικό στοιχείο του τόρνου είναι η *κλίνη* καθώς αποτελεί τη βάση για τα υπόλοιπα τμήματά του. Επιπλέον το μήκος της κλίνης σε συνδυασμό με τη διατομή του προς επεξεργασία τεμαχίου αποτελούν τους κύριους παράγοντες καθορισμού του μεγέθους του, και επομένως τη δυνατότητα κατεργασίας του τεμαχίου στον συγκεκριμένο τόρνο. [1], [3] Η κλίνη αποτελεί μια κατασκευή με μεγάλη ακαμψία και μεγάλη μάζα και διαθέτει δύο οδηγούς στους οποίους ολισθαίνει το *εργαλειοφορείο*. Το εργαλειοφορείο έχει τη δυνατότητα εκτέλεσης ποικιλίας κινήσεων με βασική την ολίσθηση στους οδηγούς της κλίνης και αποτελείται από το *κυρίως σώμα*, τον *εγκάρσιο οδηγό*, τον *διαμήκη οδηγό* και τον *εργαλειοδέτη* (Σχήμα 3.7), στον οποίο τοποθετείται το κοπτικό εργαλείο. [1], [2]



Σχήμα 3.6 Βασικά μέρη της δομής του τόννου. [12]

Η μεταφορά της περιστρεφόμενης κίνησης στο κατεργαζόμενο τεμάχιο και της απαιτούμενης ισχύς στην άτρακτο πραγματοποιείται με μάντες μέσω του συγκροτήματος κεφαλής ή κιβωτίου ταχυτήτων. Το κιβώτιο ταχυτήτων δεν κινείται πάνω στην κλίνη και εκτός από τους μάντες περιέχει κινητήρες και τροχαλίες όπως επίσης και τον μηχανισμό συγκράτησης του ενός άκρου του τεμαχίου. Το άλλο άκρο του τεμαχίου συγκρατείται από τον κεντροφορέα, ο οποίος έχει τη δυνατότητα κύλισης πάνω στους οδηγούς της κλίνης. Επιπλέον διαθέτει τη δυνατότητα στήριξης κοπτικών εργαλείων για κατεργασίες δημιουργίας σπών. Το τεμάχιο κατά τη διαδικασία της τόννευσης περιστρέφεται και αυτή του η κίνηση εξασφαλίζεται από το συγκρότημα κεφαλής ενώ η κίνηση του εργαλειοφορείου εξασφαλίζεται από το κιβώτιο και τον άξονα πρόωσης. Τέλος ο μηχανισμός συγκράτησης του τεμαχίου προσδένεται στην άτρακτο και περιστρέφεται μαζί της κατά την κατεργασία. [1], [2]



Σχήμα 3.7 Σχηματική απεικόνιση μιας πλάκας συγκράτησης(αριστερά) και ενός τετραπλού εργαλειοδέτη(δεξιά). [1]

3.2.2 Είδη τόνων

Όπως έχει αναφερθεί η κατεργασία της τόννευσης πραγματοποιείται για μεγάλο χρονικό διάστημα και επομένως η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται, δηλαδή ο τόννος, έχει εξελιχθεί από τον αρχικό σχεδιασμό του. Αυτό οφείλεται στις απαιτήσεις που έχουν προκύψει αλλά και στην επίλυση προβλημάτων που εμφάνιζαν παλαιότερου τύπου μηχανές με αξιοποίηση της τεχνολογίας που έχει αναπτυχθεί με στόχο την ομαλότερη λειτουργία κατά την κατεργασία. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαφορετικά είδη μηχανών τόννευσης που υπάρχουν και η λειτουργία τους.

Τόρνοι πάγκου (bench lathe) (Εικόνα 3.2). Αποτελούν την πιο απλή εκδοχή της εργαλειομηχανής. Έχουν χαμηλή ισχύ και δεν χρησιμοποιούνται σε παραγωγικές διαδικασίες. [2]

Τόρνοι ειδικού σκοπού. Χρησιμοποιούνται για κατεργασίες τεμαχίων μεγάλου μήκους και διατομής. [2]

Τόρνοι αντιγραφής. Χρησιμοποιούνται σε τεμάχια διαφόρων γεωμετριών με το κοπτικό εργαλείο να παράγει τη γεωμετρία ενός προτύπου. Η χρήση τους έχει αντικατασταθεί από τα αυτοματοποιημένα κέντρα τόννευσης. [2]

Αυτόματοι τόρνοι. Σε πλήρως αυτόματους τόνους όλες οι λειτουργίες είναι αυτόματες ενώ υπάρχουν και οι ημιαυτόματες μηχανές στις οποίες η κατεργασία της κοπής είναι αυτόματη όμως η λειτουργία βασίζεται στον χειριστή. [2]

Μηχανές αυτοματοποιημένης κατεργασίας ράβδων. Όλες οι λειτουργίες είναι αυτόματες. Χρησιμοποιούνται όταν υπάρχουν υψηλές παραγωγικές απαιτήσεις. Τα τεμάχια που παράγονται είναι κοχλίες ή παρόμοιας γεωμετρίας με σπείρωμα. Μπορεί να πραγματοποιηθεί κοπή σε διαφορετικά σημεία του τεμαχίου. Υπάρχουν μηχανές με μία ή πολλές ατράκτους ανάλογα τα τεμάχια που απαιτείται να επεξεργάζονται. Οι πιο γνωστές είναι η ελβετικού τύπου (Swiss type), η οποία διαθέτει μία άτρακτο και η κοπή πραγματοποιείται με ακτινική μετακίνηση του εργαλείου, και η αμερικανικού τύπου (Brown & Sharpe), η οποία είναι ουσιαστικά μια μικρότερη εργαλειομηχανή τόννου ρεβόλβερ με πυργίσκο. [2], [3]

Τόρνοι ρεβόλβερ με πυργίσκο (turret lathes) (Εικόνα 3.2). Μπορούν να τοποθετηθούν πολλά κοπτικά εργαλεία. Μέσω αυτόματης κίνησης χρησιμοποιούνται

στην κοπή μειώνοντας τον χρόνο που θα απαιτούνταν σε συμβατικούς τόρνους. [3] Στους συγκεκριμένους τόρνους μπορούν να πραγματοποιηθούν και άλλες κατεργασίες εκτός της τόννευσης. Η κατεργασία μπορεί να γίνει είτε αυτοματοποιημένα είτε χειροκίνητα. Ο πυργίσκος στον οποίο βρίσκονται τα εργαλεία μπορεί να είναι κατακόρυφος ή οριζόντιος. [2] Ο πυργίσκος μπορεί να είναι *τύπου εμβόλου(ram type)* στον οποίο μπορούν κατεργαστούν τεμάχια μικρότερου μήκους λόγω του τρόπου λειτουργίας του εμβόλου, ή *τύπου εργαλειοφορέα(saddle type)*, στον οποίο τα μήκος του τεμαχίου καθορίζεται από το μήκος της κλίνης όπως στους συμβατικούς τόρνους. Οι τόρνοι με πυργίσκο τύπου εμβόλου χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατεργασίες με μικρότερες ταχύτητες κοπής. Οι τόρνοι με πυργίσκο τύπου εργαλειοφορέα χρησιμοποιούνται για τεμάχια μεγάλου βάρους και επομένως η κατεργασία πραγματοποιείται με μεγαλύτερο χρόνο. [2], [3]

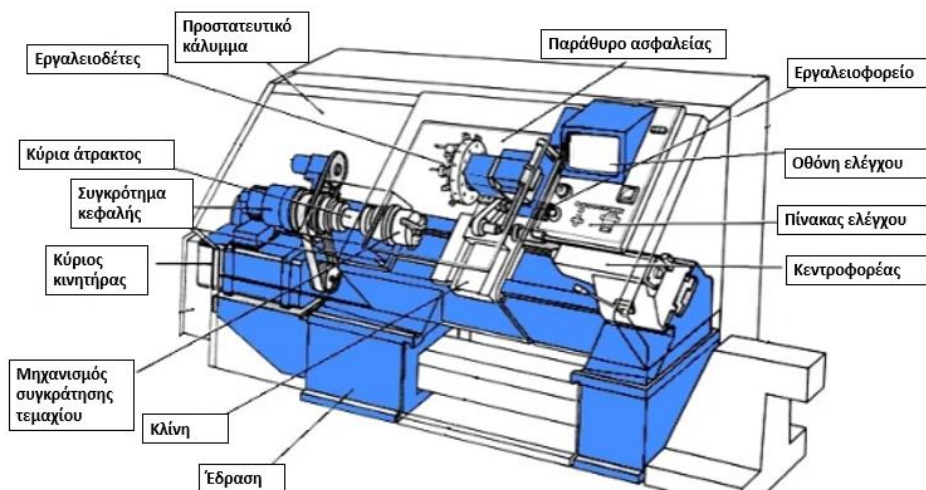
Σύγχρονα κέντρα τόννευσης (Εικόνα 3.3). Στα σύγχρονα κέντρα τόννευσης όλες οι λειτουργίες και ο έλεγχος της εργαλειομηχανής πραγματοποιούνται μέσω υπολογιστή σε αντίθεση με τους συμβατικούς που η ορθή λειτουργία της βασίζεται στον χειριστή. Στο Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται η δομή ενός κέντρου τόννευσης. Όλες οι κινήσεις είναι μηχανικά ανεξάρτητες και μπορούν να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Οι άξονες που μπορούν να πραγματοποιηθούν οι κινήσεις είναι περισσότεροι επιτρέποντας την παραγωγή πολυπλοκότερης γεωμετρίας τεμαχίων. Η εναλλαγή των κοπτικών εργαλείων πραγματοποιείται αυτόματα με αποτέλεσμα τη μείωση των νεκρών χρόνων. Με τη χρήση των κέντρων τόννευσης παράγονται υψηλής ποιότητας επιφάνειες σε πολύ μικρότερο κόστος, ωστόσο το κόστος της ίδιας της εργαλειομηχανής είναι πολύ υψηλό και απαιτεί μεγάλες παραγωγικές διαδικασίες για να αποσβεστεί. [1], [2], [6]



Εικόνα 3.2 Τόρνος πάγκου(αριστερά) και Τόρνος ρεθόλβερ με πυργίσκο(turret) (δεξιά). [13]



Εικόνα 3.3 Κέντρο τόννευσης (CNC). [13]



Σχήμα 3.8 Δομικά μέρη ενός κέντρου τόννευσης. [14]

Ένας βασικός παράγοντας για την ομαλή λειτουργία και τη διάρκεια ζωής της εργαλειομηχανής είναι η συντήρηση σε τακτά χρονικά διαστήματα καθώς και ο απαραίτητος καθαρισμός της, από απόβλιττα και υγρά κοπής, μετά την ολοκλήρωση της εκάστοτε κατεργασίας. Επιπλέον απαιτείται έλεγχος πριν, μετά αλλά και κατά τη διάρκεια της κατεργασίας κοπής. [9]

Με κατάλληλη διάταξη και εξοπλισμό στον τόρνο μπορούν να πραγματοποιηθούν και άλλες κατεργασίες εκτός της τόννευσης, ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό της τόννευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στον τόρνο και επομένως γίνεται κατανοητή η σημασία της συγκεκριμένης εργαλειομηχανής. [3]

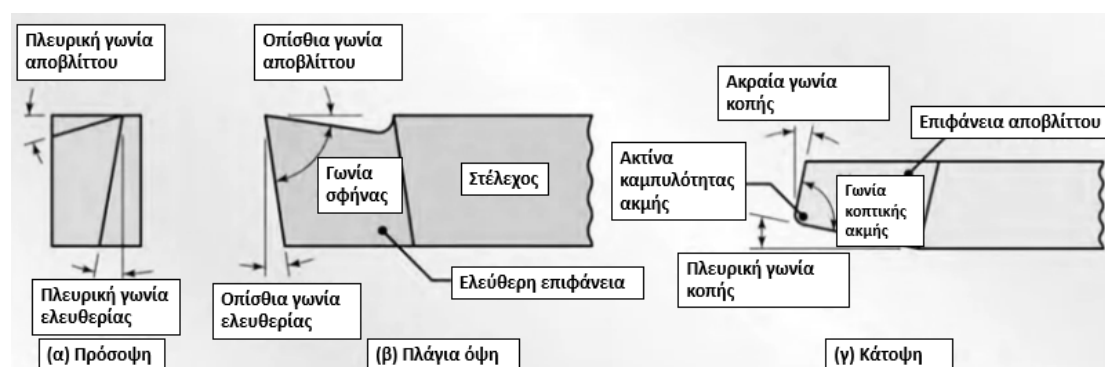
3.3 Κοπτικά εργαλεία

Κατά την κατεργασία της τórνευσης τα κοπτικά εργαλεία είναι συνήθως απλής σημειακής επαφής με τυποποιημένη ονοματολογία. Οι βασικές ιδιότητες που απαιτείται να διαθέτουν είναι:

- υψηλή σκληρότητα, για καλύτερη κατεργασία του τεμαχίου
- αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κατεργασία
- ανθεκτικότητα ώστε να μην μειώνεται η απόδοση του κατά την διάρκεια της τórνευσης

Τα κοπτικά εργαλεία που πληρούν τις παραπάνω προδιαγραφές και επομένως χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι αυτά που κατασκευάζονται από χάλυβα, σκληρομέταλλα και κεραμικά. [1], [2]

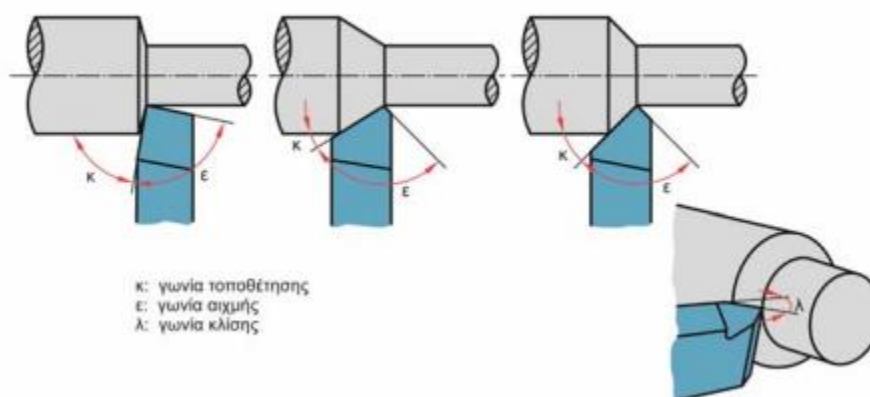
Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην τórνευση αποτελούνται από το στέλεχος, το οποίο είναι το κομμάτι που συγκρατείται στο εργαλειοδέτη και η ορθή τοποθέτησή του παίζει βασικό ρόλο στη λειτουργία του εργαλείου και την πιθανότητα εμφάνισης ταλαντώσεων, και το κοπτικό μέρος, στο οποίο υπάρχουν όλα τα γεωμετρικά στοιχεία που επηρεάζουν την κοπή. [1], [2], [3] Στα Σχήματα 3.9 και 3.10 παρουσιάζονται το στέλεχος και το κοπτικό μέρος του εργαλείου και τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 3.9 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κοπτικού εργαλείου δεξιάς χειρός. [2]

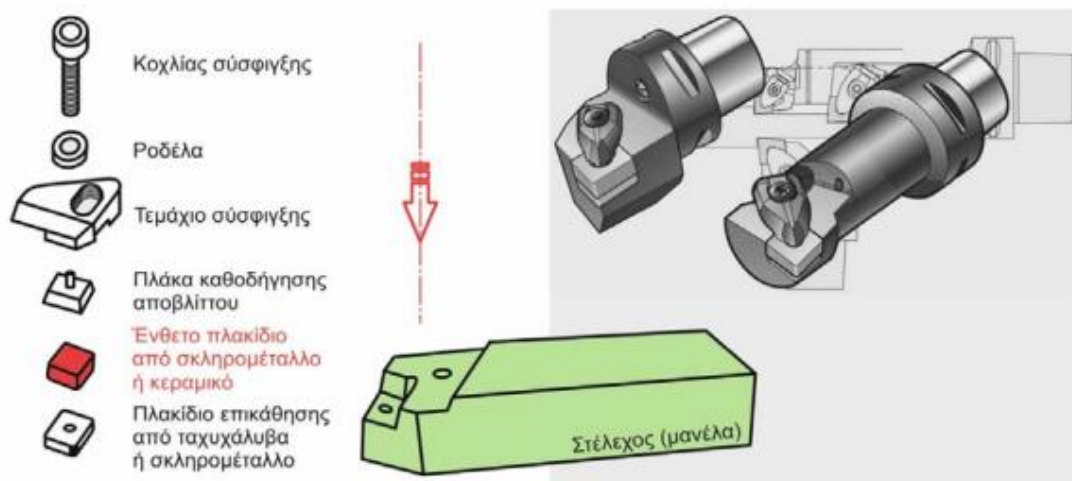
Από τα δύο μέρη του εργαλείου αυτό που επιδέχεται περαιτέρω ανάλυση είναι το κοπτικό μέρος. Οι δύο κύριες επιφάνειες του κοπτικού εργαλείου είναι η επιφάνεια αποβλίττου, στην οποία κινείται το απόβλιττο, και η επιφάνεια ελευθερίας, η οποία βρίσκεται απέναντι από την κατεργασμένη επιφάνεια κατά την τórνευση με βασική προϋπόθεση να μην βρίσκονται σε επαφή. [1], [2], [5] Επίσης

διαθέτει δύο κοπτικές ακμές που βρίσκονται σε κοινό επίπεδο. Η διεύθυνση της κύριας κοπτικής ακμής, δηλαδή αν θα είναι κάθετη ή παράλληλη στον κεντρικό περιστρεφόμενο άξονα, επηρεάζεται από την κατεύθυνση της πρόωσης. Οι κύριες γωνίες κοπής του κοπτικού εργαλείου στην τόννευση είναι η *γωνία ελευθερίας*, η οποία ανάλογα το μέγεθός της επηρεάζει τη φθορά και τη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου καθώς σχετίζεται με τη διεπιφάνεια του κατεργαζόμενου τεμαχίου με το κοπτικό εργαλείο και την ανάπτυξη της τριβής, η *γωνία αποβλίπτου*, που καθορίζει τη διεύθυνση ροής του αποβλίπτου, και η *γωνία σφήνας*, που βρίσκεται ανάμεσα στις επιφάνειες ελευθερίας και αποβλίπτου. Υπάρχουν και άλλες γωνίες εκτός από τις προαναφερθείσες όμως η συνεισφορά τους στην κοπή καθώς και στην ποιότητα του τεμαχίου είναι μικρότερη. [1], [2]



Σχήμα 3.10 Χαρακτηριστικές γωνίες τοποθέτησης στην τόννευση. [1]

Η πλειοψηφία των κατεργασιών τόννευσης πραγματοποιείται πλέον με τη χρήση ένθετων πλακιδίων που προσδένονται σε μανέλες και εν συνεχεία στον εργαλειοδέτη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11. Τα ένθετα πλακίδια είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά σχήματα ανάλογα την κατεργασία. Διαμαντοειδή, τριγωνικά, τετραγωνικά, οκταγωνικά και κυκλικά είναι τα βασικά. Το σχήμα του πλακιδίου παρέχει πληροφορίες για την αντοχή του, τις ιδιότητές του και τις κοπτικές ακμές του αλλά και το κόστος του. Για αύξηση της αντοχής της κοπτικής ακμής τα περισσότερα πλακίδια δεν είναι αιχμηρά αλλά έχουν μικρή καμπύλωση στην κοπτική ακμή, η οποία ονομάζεται ακτίνα καμπυλότητας της κόψης. Εκτός από την αντοχή της κοπτικής ακμής η ακτίνα καμπυλότητας της κόψης επηρεάζει και την ποιότητα της παραγόμενης επιφάνειας. [2], [4]



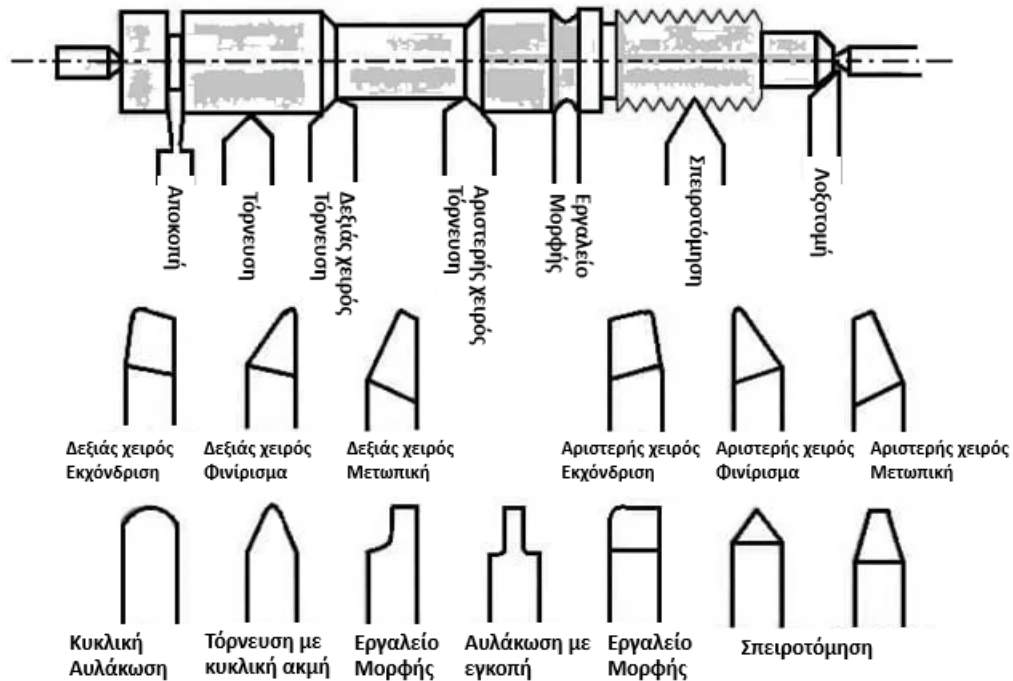
Σχήμα 3.11 Συγκράτηση κοπτικού πλακιδίου σε εργαλείο τórνευσης. [1]

Ο προσανατολισμός με τον οποίο θα λειτουργήσει το ένθετο πλακίδιο βασίζεται κατά πολύ στον τρόπο συγκράτησης του εργαλείου. Κατά την επιλογή του πλακιδίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν πολλοί παράγοντες όπως το είδος της τórνευσης που θα επιτευχθεί, αν είναι συνεχής ή διακοπτόμενη, οι συνθήκες κοπής και η κατάσταση της εργαλειομηχανής. Επιπλέον το υλικό κατεργασίας και οι προδιαγραφές μαζί με τους προηγούμενους παράγοντες λαμβάνονται υπόψιν για την επιλογή όχι μόνο του υλικού του πλακιδίου και της επίστρωσής του αλλά και του σχήματος και των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών, την επιλογή ή όχι γρεζοθραύστη, του τρόπου συγκράτησής του. [4]

Για την καλύτερη διαχείριση του αποβλίπτου κατά την τórνευση χρησιμοποιούνται γρεζοθραύστες στα κοπτικά εργαλεία οι οποίοι τοποθετούνται στην κοπτική ακμή και η λειτουργία τους είναι η θραύση του αποβλίπτου. [9] Ελέγχουν την κατεύθυνση και το μήκος του αποβλίπτου με σκοπό να λειτουργούν ευεργετικά στην κοπή μειώνοντας τις δυνάμεις και τη φθορά του εργαλείου. Η γεωμετρία τους είναι διαφορετική με σκοπό να εξυπηρετεί την εκάστοτε κατεργασία. [4]

Ανάλογα το είδος της κατεργασίας που θα πραγματοποιηθεί υπάρχει μια γενική κατηγοριοποίηση των κοπτικών εργαλείων της τórνευσης (Σχήμα 3.12). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα εργαλεία εκχόνδρισης με μεγάλη αντοχή σε πίεση που χρησιμοποιούνται σε κοπές με μικρό χρόνο. Επιπλέον υπάρχουν τα πλευρικά εργαλεία τα οποία διαθέτουν δύο κοπτικές ακμές με χρήση κυρίως σε μετωπικές

κατεργασίες καθώς και τα *εργαλεία μορφής* για την επίτευξη κατεργασιών όπως η σπειροτόμηση, τόννευση μορφής, απότμηση, διάτρηση, δημιουργία οπών. Η τελευταία κατηγορία είναι τα *εργαλεία αποπεράτωσης* ή *φινιρίσματος* που χρησιμοποιούνται στην τελική επιφάνεια του τεμαχίου. [1], [2] Η απόδοση των εργαλείων στην τόννευση βασίζεται κυρίως στη γεωμετρία και στο σχήμα τους. [5]



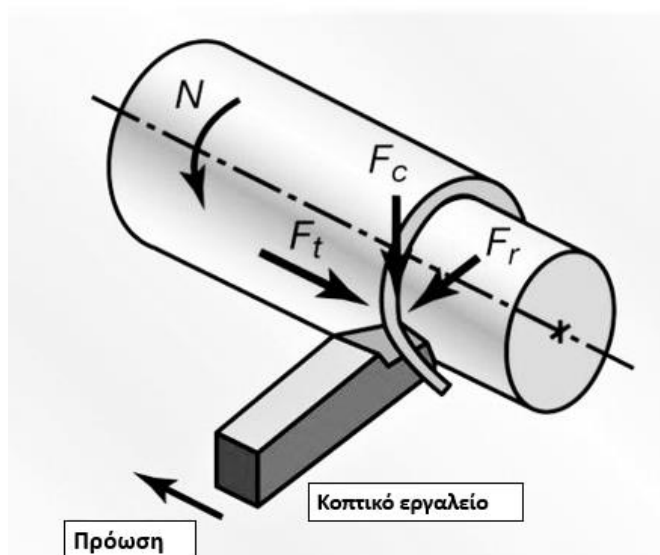
Σχήμα 3.12 Είδη κοπτικών εργαλείων τόννευσης. [15]

Με την πάροδο των χρόνων που πραγματοποιείται η κατεργασία της τόννευσης και την τυποποίηση των κοπτικών εργαλείων της έχουν προκύψει συγκεκριμένοι συνδυασμοί κοπτικών εργαλείων και υλικών κατεργαζόμενων τεμαχίων ανάλογα το είδος της τόννευσης που θα πραγματοποιηθεί με στόχο την καλύτερη απόδοσή της.

3.4 Δυνάμεις στην τόννευση

Οι βασικές δυνάμεις που λαμβάνουν μέρος στην τόννευση επενεργούν όλες στο κοπτικό εργαλείο και είναι τρεις: η *δύναμη κοπής*, η *δύναμη άπωσης* ή *πρόωσης* και η *ακτινική δύναμη* ή *δύναμη απώθησης του εργαλείου*. Η δύναμη κοπής δρα αντίθετα από την κοπτική ακμή του εργαλείου και η τιμή της είναι αυτή που καθορίζει την τιμή της στρεπτικής ροπής της ατράκτου και εν συνεχεία την απαιτούμενη ισχύ για την τόννευση. Η δύναμη άπωσης είναι παράλληλη στην διεύθυνση τα πρόωσης και ωθεί το κοπτικό εργαλείο μακριά από το μηχανισμό συγκράτησής του. Τέλος η

ακτινική δύναμη βρίσκεται πάνω στην ακτινική διεύθυνση με κατεύθυνση απομάκρυνσης του κοπτικού εργαλείου από το κατεργαζόμενο τεμάχιο. Στο Σχήμα 3.13 γίνεται η σχηματική αναπαράσταση των κατευθύνσεων των τριών δυνάμεων που αναφέρθηκαν κατά την κατεργασία. Από τις παραπάνω δυνάμεις μόνο η δύναμη κοπής μπορεί να υπολογιστεί πριν την κατεργασία ενώ οι τιμές των άλλων δύο μπορούν να βρεθούν μόνο πειραματικά. [1], [2]

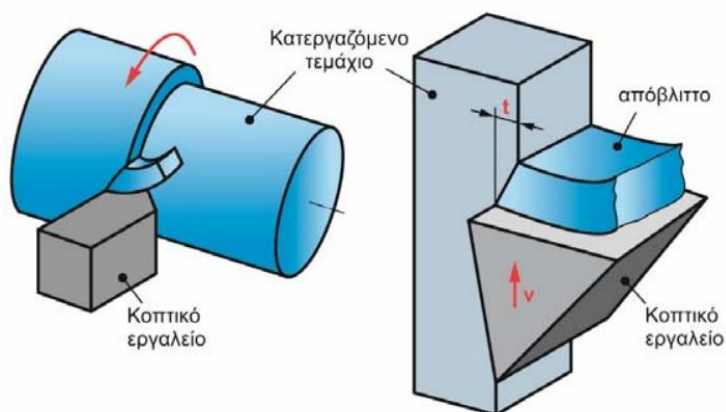


Σχήμα 3.13 Δυνάμεις στο κοπτικό εργαλείο κατά την τόννευση. F_c είναι η δύναμη της κοπής, F_t είναι η δύναμη της άπωσης και F_r είναι η ακτινική δύναμη που ωθεί το εργαλείο μακριά από το κατεργαζόμενο τεμάχιο. [2]

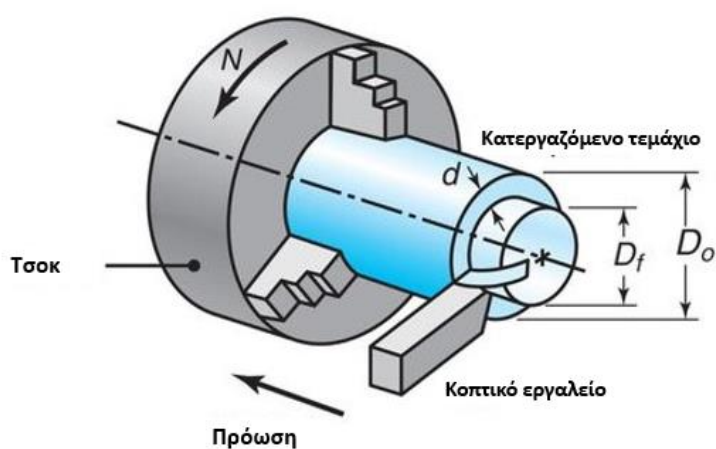
3.5 Συνθήκες κοπής

Η κύρια κίνηση κατά την κατεργασία της τόννευσης είναι η περιστροφή του τεμαχίου και σχετίζεται με την ταχύτητα κοπής. Η ταχύτητα της κοπής (Σχήμα 3.14) στην τόννευση εκφράζει τον ρυθμό της κοπής και επιλέγεται από τον χειριστή του τόννου για να πληροί τις απαιτήσεις της κατεργασίας. [1], [2] Ουσιαστικά η ταχύτητα κοπής εκφράζει τη συχνότητα με την οποία η ακατέργαστη επιφάνεια έρχεται σε επαφή με την κοπτική ακμή του εργαλείου. [5] Μια ακόμη ταχύτητα που παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατεργασία είναι αυτή της πρόωσης, η οποία κατά την τόννευση εκτελείται από το κοπτικό εργαλείο και επομένως εκφράζει τη μετακίνηση του στην αξονική διεύθυνση. [1], [2] Η συγκεκριμένη ταχύτητα επηρεάζει τη μορφή και το πάχος του αποβλίττου καθώς και τον τρόπο με τον οποίο σπάει. [4] Η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου παραμένει σταθερή για όλη τη διάρκεια της κατεργασίας. [5] Τέλος το βάθος κοπής (Σχήμα 3.14), ή διαφορετικά το πάχος υλικού που αποκόπτεται, καθώς και ρυθμός αποβολής υλικού είναι ακόμη δυο παράγοντες

που επηρεάζουν την τόννευση και είναι αλληλένδετοι. Στο Σχήμα 3.15 παρουσιάζονται οι συνθήκες κοπής κατά την τόννευση. Η ορθή επιλογή των παραπάνω παραμέτρων βασίζεται κυρίως στην εμπειρία του χειριστή και οδηγεί σε ομαλή λειτουργία του τόννου κατά την κατεργασία και επομένως καλύτερα αποτελέσματα στην ποιότητα του τελικού τεμαχίου και στην ελαχιστοποίηση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου. [1], [2], [5]



Σχήμα 3.14 Βάθος κοπής, d , και ταχύτητα κοπής, V . [1]



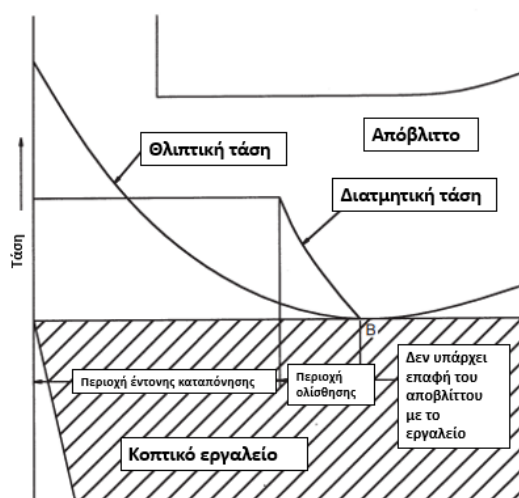
Σχήμα 3.15 Σχηματική αναπαράσταση των συνθηκών κοπής για την βασική κατεργασία τόννευσης. [2]

3.6 Τάσεις

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στο κοπτικό εργαλείο κατά την κατεργασία της τόννευσης οφείλονται στην κατασκευή του εργαλείου, τον τρόπο συγκράτησής του στην εργαλειομηχανή και στις δυνάμεις κοπής. Οι τάσεις που ανήκουν στην τελευταία κατηγορία αποτελούν τις βασικές για την κοπή με δύο να έχουν ιδιαίτερη σημασία και αναπαρίστανται στο Σχήμα 3.16. [5]

Η θλιπτική τάση που αναπτύσσεται στην επιφάνεια αποβλίττου οφείλεται στη δύναμη της κοπής και επηρεάζεται και από το όριο διαρροής σε διάτμηση του εκάστοτε υλικού κατεργασίας. Για μικρές επιφάνειες επαφής η θλιπτική τάση είναι υψηλή λόγω των υψηλών τιμών των δυνάμεων στην κοπή. [5]

Επιπλέον στην ίδια περιοχή αναπτύσσεται μια διατμητική τάση. Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης τάσης οφείλεται στη δύναμη της πρόωσης. Η διαφορά στις τιμές των δυνάμεων κοπής και πρόωσης αντιστοιχίζεται και στις τάσεις που αναπτύσσονται με τη διατμητική τάση να είναι πολύ μικρότερη από τη θλιπτική. [5]



Σχήμα 3.16 Πεδίο τάσεων στο κοπτικό εργαλείο κατά την τόννευση (Πηγή: Zorev). [5]

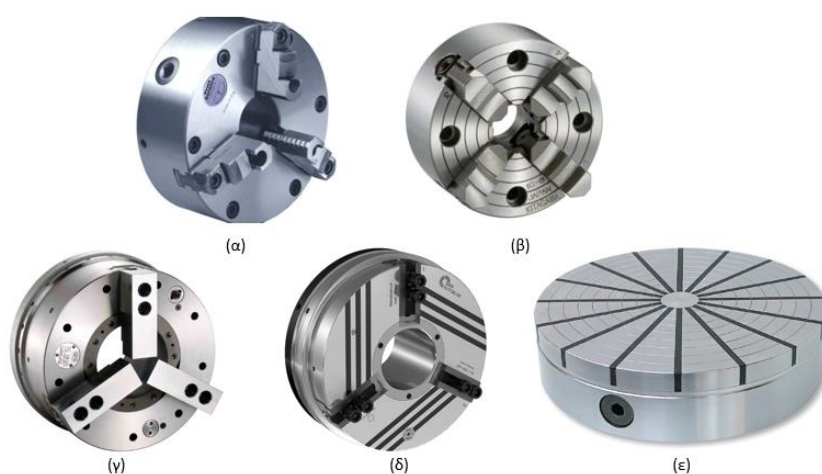
3.7 Μηχανισμοί συγκράτησης τεμαχίου

Ο τρόπος με τον οποίο συγκρατείται το τεμάχιο καθορίζει την ομαλή εξέλιξη της κατεργασίας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ανεπαρκής συγκράτηση μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή χαμηλής ποιότητας επιφάνειας, να προκαλέσει φθορά στο εργαλείο και την εργαλειομηχανή και να διεγείρει ταλαντώσεις καταλήγοντας σε μια ασταθή κατεργασία. Η επιλογή του μηχανισμού συγκράτησης πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τη γεωμετρία του τεμαχίου και τη λειτουργία των υπόλοιπων μερών της εργαλειομηχανής και του κοπτικού εργαλείου ώστε να μην τις παρεμποδίζει. [3], [4]

Για να πραγματοποιηθεί η συγκράτηση το τεμάχιο δέχεται κάποιο φορτίο από τον μηχανισμό. Επομένως ο τρόπος με τον οποίο το τεμάχιο συγκρατείται στον μηχανισμό δεν πρέπει να επιβαρύνει υπερβολικά το τεμάχιο καθώς μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη μόνιμων παραμορφώσεων και ανωμαλιών του. [3]

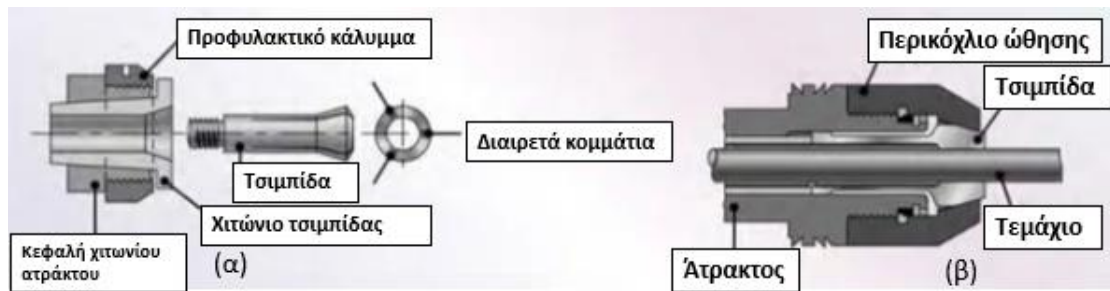
Οι μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να συγκρατείται το τεμάχιο στην άτρακτο του τόννου είναι:

- *Τσοκ* (Εικόνα 3.4). Διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία για να μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικής γεωμετρίας τεμάχια με αποτελεσματική εκκεντρότητα. Διαθέτουν σιαγόνες στις οποίες συγκρατείται το τεμάχιο. Η συγκράτηση μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή για αυτοματοποιημένες μηχανές μηχανικά. Μόνο η μια επιφάνεια του τεμαχίου μπορεί να κατεργαστεί. Αποτελεί τη γρηγορότερη μέθοδο εφαρμογής και επομένως αυτή που ελαχιστοποιεί το κόστος της κατεργασίας. [2], [3], [4], [9]



Εικόνα 3.4 Διάφορα είδη τσοκ (α) Τσοκ με τρεις σιαγόνες (β) Τσοκ με τέσσερις σιαγόνες (γ) Τσοκ αέρος (δ) Υδραυλικό τσοκ (ε) Μαγνητικό τσοκ. [13]

- *Συστελλόμενοι σφιγκτήρες-Τσιμπίδες* (Εικόνα 3.5). Μπορούν να εφαρμοστούν σε συμμετρικά τεμάχια διαφόρων διατομών με μικρή επιφάνεια διατομής. Το τεμάχιο τοποθετείται στο εσωτερικό τους και η συγκράτησή του γίνεται σε όλη του την περιφέρεια με αποτέλεσμα την ομοιόμορφη καταπόνηση του (Σχήμα 3.17). Η εκκεντρότητα είναι καλύτερη από ότι στα τσοκ. Δεν αποτελούν ευέλικτο μηχανισμό καθώς για κάθε τεμάχιο διαφορετικής γεωμετρίας απαιτείται η χρήση διαφορετικού σφιγκτήρα. [2], [3], [4]

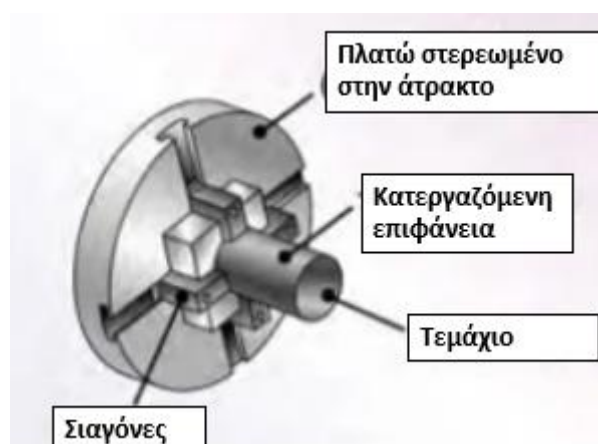


Σχήμα 3.17 Σχηματική αναπαράσταση τσιμπίδας (α) τύπου draw-in και (β) τύπου push-out. [2]

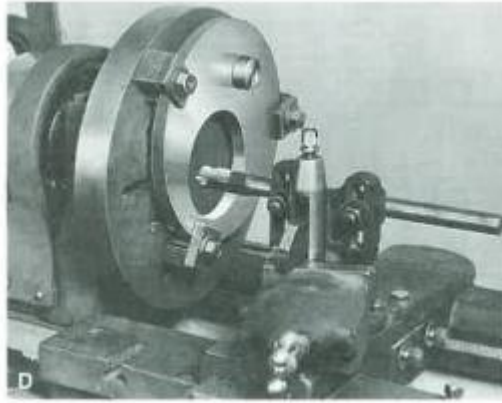


Εικόνα 3.5 Διάφορα είδη τσιμπίδων (Πηγή: South Bend Lathe). [3]

- Πλατώ (Εικόνα 3.6). Χρησιμοποιούνται σε τεμάχια που η γεωμετρία τους δεν επιτρέπει την εφαρμογή των προηγούμενων μεθόδων. Διαθέτουν οπές στις οποίες τοποθετείται το τεμάχιο (Σχήμα 3.18). [2], [3], [9]

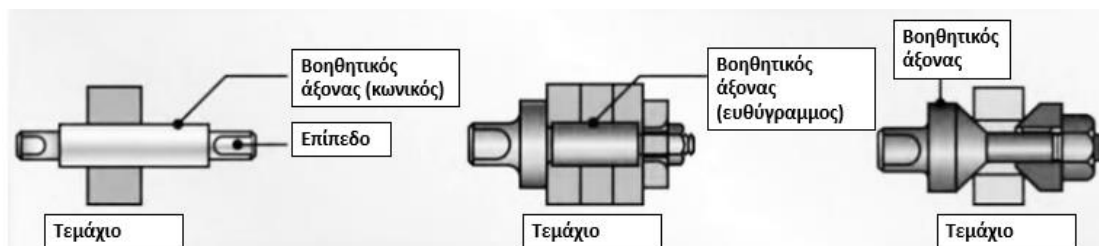


Σχήμα 3.18 Σχηματική αναπαράσταση τεμαχίου συγκρατούμενο σε πλατώ. [2]



Εικόνα 3.6 Κατεργαζόμενο τεμάχιο στερεωμένο σε πλατώ. [9]

- **Βοηθητικοί άξονες** (Εικόνα 3.7). Η μία πλευρά του άξονα τοποθετείται στην οπή της ατράκτου του τέρνου και η άλλη στον κεντροφορέα. Τοποθετούνται στο εσωτερικό του τεμαχίου και μπορούν να συγκρατήσουν κοίλα και κυλινδρικά τεμάχια που απαιτούν επεξεργασία και των δύο επιφανειών τους. Υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία και μέγεθος ανάλογα το κατεργαζόμενο τεμάχιο, όπως φαίνεται στην αναπαράσταση στο Σχήμα 3.19. [2], [3], [4], [9]



Σχήμα 3.19 Σχηματική αναπαράσταση διάφορων βοηθητικών αξόνων που τοποθετούνται μεταξύ των δύο κέντρων του τέρνου. [2]



Εικόνα 3.7 Κατεργαζόμενο τεμάχιο συγκρατούμενο μεταξύ των κέντρων του τέρνου. [9]

Κεφάλαιο 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΙΚΑΣΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε. Στόχος της πειραματικής διαδικασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επιρροή της πρόωσης του κοπτικού πλακιδίου στις δυνάμεις που καταγράφονται κατά την κατεργασία της διαμήκους τόννευσης. Η αλλαγή στην πρόωση επηρεάζει τη γεωμετρία κατά την κοπή και συγκεκριμένα τις γωνίες αποβλίπτου, τριβής και διάτμησης. Με αύξηση της πρόωσης παρατηρείται αύξηση στην γωνία διάτμησης και επομένως όπως έχει αναφερθεί πιο ομαλή κατεργασία. [1]

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορα υλικά έχει παρατηρηθεί η επίδραση της ταχύτητας πρόωσης στις συνιστώσες της δύναμης κοπής κατά την τόννευση. Στην κοπή του κράματος τιτανίου Ti6Al4V αύξηση και μείωση στην ταχύτητα πρόωσης οδήγησε αντίστοιχα σε αύξηση και μείωση των δυνάμεων που καταγράφηκαν. [16], [17]. Αντίστοιχη συμπεριφορά παρατηρήθηκε και σε τόννευση κραμάτων αλουμινίου, Al 6063 και AA219, όπου η αλλαγή στην πρόωση οδήγησε σε ανάλογη αλλαγή στις αναπτυσσόμενες δυνάμεις. [18], [19] Επιπλέον σε ξηρή τόννευση κράματος αλουμινίου UNS A97075 παρατηρήθηκε πως οι δυνάμεις κοπής επηρεάζονται κυρίως από τις συνθήκες κοπής, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες παραμέτρους της κατεργασίας, και με σειρά μεγαλύτερης επιρροής από την πρόωση, το βάθος κοπής, το είδος του κοπτικού εργαλείου, τον συνδυασμό ταχύτητας κοπής και ταχύτητας πρόωσης, την ταχύτητα κοπής και τον συνδυασμό τύπου κοπτικού εργαλείου και ταχύτητας πρόωσης. [20] Ο βασικότερος παράγοντας επιρροής της δύναμης κοπής είναι το βάθος κοπής σε κοπή κράματος ορείχαλκου CuZn39Pb3 ενώ παρουσιάζεται ελαχιστοποίηση της δύναμης κοπής με εφαρμογή χαμηλών ταχυτήτων κοπής και χαμηλών έως μέτριων προώσεων. [21] Ωστόσο σε διαφορετικό κράμα ορείχαλκού (C23000) διαπιστώθηκε πως η πρόωση είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο την συνισταμένη δύναμη κοπής. [22] Σε τόννευση πολυκρυσταλλικού χαλκού οι δυνάμεις επηρεάστηκαν από το βάθος κοπής και την πρόωση. Σημαντική παρατήρηση είναι πως σε πολύ μικρές τιμές των δύο συνθηκών κοπής η δύναμη απώθησης ήταν μεγαλύτερη από την κύρια δύναμη κοπής, που αποτελεί ασυνήθιστη κατάσταση. [23] Σε τόννευση υπερκραμάτων νικελίου-χρωμίου Nimonic 80A και

Haynes 263 καθώς και του υπερκράματος Inconel 718 αύξηση της πρόωσης και του βάθους κοπής οδήγησε σε αύξηση των δυνάμεων. [24] Ο κύριος παράγοντας επιρροής για τις συνιστώσες στην περιφερειακή και στην αξονική κατεύθυνση είναι το βάθος κοπής ενώ για τη δύναμη στην ακτινική κατεύθυνση είναι η πρόωση. [25] Σε τόννευση κραμάτων μαγνησίου η δύναμη κοπής εξαρτάται κατά σειρά μεγαλύτερης επιρροής από το βάθος κοπής, την πρόωση, την ταχύτητα κοπής και την ακτίνα καμπυλότητας. Παρατηρήθηκε μείωση της δύναμης με αύξηση της ταχύτητας κοπής και αύξηση με αύξηση του βάθους κοπής, της πρόωσης και ακτίνας καμπυλότητας. [26], [27] Όσον αφορά τους χάλυβες, στους οποίους ανήκει και το υλικό της πειραματικής διαδικασίας της συγκεκριμένης διπλωματικής, έχει παρατηρηθεί η παρακάτω συμπεριφορά. Σε τόννευση χάλυβα MDN250 καθώς και σε χάλυβα AMS5643 το βάθος κοπής και εν συνεχεία η ταχύτητα πρόωσης αποτελούν τους κύριους παράγοντες επιρροής των δυνάμεων [28], [29] ενώ σε τόννευση χάλυβα AISI D2 η πρόωση είχε τη μεγαλύτερη επίδραση στην κύρια συνιστώσα της δύναμης κοπής με την ταχύτητα κοπής να ακολουθεί και τελευταίο το βάθος κοπής. [30] Η πρόωση έπαιξε ρόλο στην ένταση των δυνάμεων και στην ανάπτυξη ανεπιθύμητων ταλαντώσεων σε κοπή χάλυβα C45. [31] Τέλος το βάθος κοπής είχε τη μεγαλύτερη επίδραση στις δυνάμεις με την πρόωση να ακολουθεί σε πειραματικές διαδικασίες τόννευσης με χάλυβα ως κατεργαζόμενο τεμάχιο (AISI 1055, AISI 201, AISI 5140, AISI 1020, EN 08, E 36, EN 353). [24], [32], [33], [34], [35], [36]

Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν και πειραματικές διαδικασίες όπου δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά τον βαθμό επιρροής των συνθηκών κοπής στις δυνάμεις. Για παράδειγμα στην κοπή Inconel 718 προέκυψε το συμπέρασμα πως η πρόωση επηρεάζει τις δυνάμεις κοπής λιγότερο και από την ταχύτητα κοπής και προφανώς από το βάθος κοπής, γεγονός που διαφέρει από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως. [37] Αυτό συμβαίνει καθώς η κοπή αποτελεί ένα σύστημα όπου όλοι οι παράγοντες είναι αλληλένδετοι και επομένως λόγω των εκάστοτε διαφορών των κατεργασιών μπορούν να προκύψουν και διαφορετικά αποτελέσματα.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στις συνθήκες κοπής που επιλέχθηκαν, στα υλικά και τις ιδιότητες του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου

καθώς επίσης και στην εργαλειομηχανή και τα επιμέρους στοιχεία και εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκαν.

4.1. Περιγραφή πειράματος-Συνθήκες κοπής

Τα πειράματα διεξήχθησαν στο εργαστήριο μηχανουργικών κατεργασιών του τμήματος μηχανολόγων μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και αφορούν τη διαμήκη εξωτερική τόννευση χωρίς την παρουσία υγρού κοπής.

Η ταχύτητα κοπής που επιλέχθηκε είναι 200 m/min και το βάθος κοπής 2.5mm με γνώμονα τις προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου και τις προτεινόμενες τιμές από τον κατασκευαστή. Οι τιμές των δύο παραμέτρων παρέμειναν ίδιες για όλες τις πειραματικές διαδικασίες. Ο χρόνος κοπής για κάθε πειραματική διαδικασία ήταν 5 δευτερόλεπτα.

Για τεχνικούς λόγους έγινε μετατροπή της ταχύτητας κοπής σε στροφές ανά λεπτό με χρήση του τύπου:

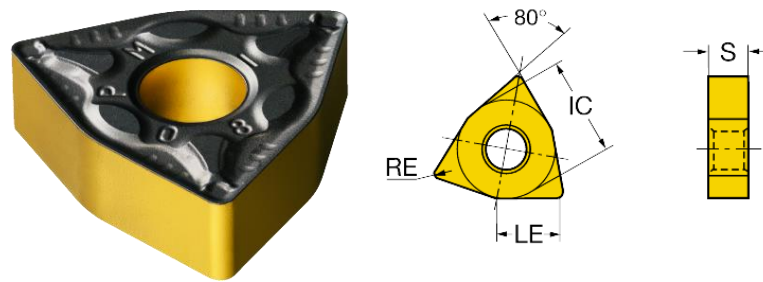
$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_o}$$

διατηρώντας σταθερή την ταχύτητα κοπής $V_c = 200$ m/min και αντικαθιστώντας τη διάμετρο D_o του τεμαχίου για την εκάστοτε πειραματική διαδικασία σε mm.

Πραγματοποιήθηκαν επτά πειραματικές διαδικασίες, μια για κάθε διαφορετική πρόωση, με τις επιλεγμένες προώσεις που εφαρμόστηκαν να είναι 0.1 mm, 0.12 mm, 0.20 mm, 0.24 mm, 0.36 mm, 0.4 mm και 0.5 mm.

4.2. Κοπτικό εργαλείο

Το κοπτικό πλακίδιο που χρησιμοποιήθηκε είναι καρβίδιο με επικάλυψη CVD TiCN+Al₂O₃+TiN εξαγωνικού σχήματος (ISO: WNMG 08 04 08-PM4325) (Εικόνα 4.1). Διαθέτει έξι κοπτικές ακμές και ενσωματωμένο γρεζοθραύστη. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του και οι προδιαγραφές χρήσης του σε κοπές χάλυβα αναφέρονται στους Πίνακες 4.1 και 4.2.



Εικόνα 4.1 Το κοπτικό πλακίδιο. [38]

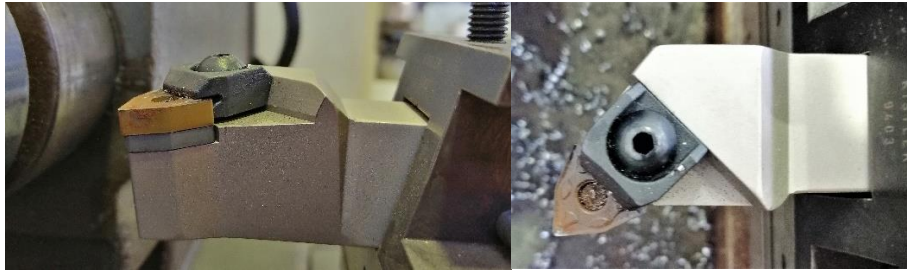
Αξονικό βάθος κοπής	2.5mm (0.5-4)
Ταχύτητα πρόωσης	0.3 mm/route (0.15-0.50)
Ταχύτητα κοπής	310 m/min (365-255)

Πίνακας 4 1 Προδιαγραφές/Προτεινόμενες τιμές παραμέτρων για κοπή χάλυβα. [38]

Διάμετρος οπής	5.156 mm
Μέγεθος και σχήμα πλακιδίου	WN0804
Αριθμός κοπτικών ακμών	6
Διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου	12.7 mm
Κωδικός σχήματος πλακιδίου	W
Ωφέλιμο μήκος κοπτικής ακμής	7.887 mm
Ακτίνα καμπυλότητας	0.794 mm
Τάξη	4325
Υπόστρωμα	HC
Επιστρώσεις	CVD TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN
Πάχος επιστρώσεων	4.762 mm
Γωνία ελευθερίας	0 μοίρες
Βάρος	0.01 kg

Πίνακας 4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά κοπτικού πλακιδίου. [38]

Στην Εικόνα 4.2 φαίνεται το κοπτικό εργαλείο προσδεμένο στην μανέλα για την κατεργασία που πραγματοποιήθηκε.



Εικόνα 4.2 Το κοπτικό πλακίδιο τοποθετημένο στη μανέλα.

4.3. Κατεργαζόμενο τεμάχιο

Το υλικό του τεμαχίου που χρησιμοποιήθηκε είναι ο χάλυβας χρωμίου-μολυβδαίνιου και συγκεκριμένα ο 42CrMo4, η χημική σύσταση, οι φυσικές και οι μηχανικές ιδιότητες του οποίου παρατίθενται στους Πίνακες 4.3, 4.4 και 4.5 αντίστοιχα. Το τεμάχιο ήταν συμπαγές κυκλικής διατομής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.3, με διακυμάνσεις στη διάμετρο. Σε όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν η διάμετρός του ανήκε στο εύρος 100-160 mm και για αυτό το εύρος παρουσιάζονται οι ιδιότητες του υλικού.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	Al
0.43	0.74	0.23	0.009	0.029	1.05	0.21	0.21	0.029

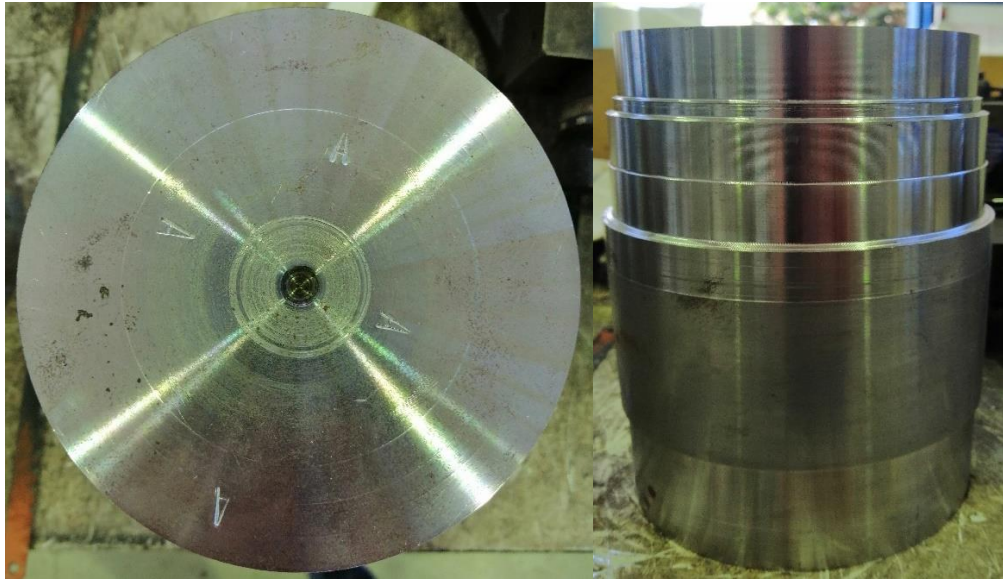
Πίνακας 4.3 Χημική σύσταση χάλυβα 42CrMo4.

Πυκνότητα	7.83g/cm ³
Ειδική θερμοχωρητικότητα	0,473 kJ/(kg*K)
Συντελεστής γραμμικής διαστολής	11,2 K ⁻¹
Θερμική αγωγιμότητα	0,42 kW/(cm*K)
Ηλεκτρική αντίσταση	0,223 Ω*cm
Μέτρο ελαστικότητας	21,7 kG/mm ²

Πίνακας 4.4 Φυσικές ιδιότητες χάλυβα 42CrMo4. [39]

Σκληρότητα Rockwell (HRC)	36,5 - 59
Σκληρότητα Vickers (HV)	340-490
Σκληρότητα Brinell (HB)	217
Πυκνότητα	7,82 g/cm ³
Όριο διαρροής	> 550 MPa
Μέγιστη αντοχή εφελκυσμού	800-950 MPa
Επιμήκυνση A5	19.6 %

Πίνακας 4.5 Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα 42CrMo4. [40], [39]



Εικόνα 4.3 Το κατεργαζόμενο τεμάχιο για την τόνρευση.

4.4. Εργαλειομηχανή

Η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι ο συμβατικός τόννος τύπου Triumph 2500 της εταιρίας Colchester, ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 4.4. Τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τόννου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

Τόννος Colchester Triumph 2500	
Χώρα προέλευσης	UK
Ύψος(έδαφος- κέντρο περιστροφής)	1050mm
Ολικό ύψος	1300mm
Ολικό μήκος	2500mm
Ολικό πλάτος	1100mm
Ύψος κέντρων	H=195mm
Απόσταση μεταξύ των κέντρων	L=1250mm
Μήκος κρεβατιού	1270mm
Ονομαστική ισχύς	Pe=7.5 Kw (10Hp)
Εύρος προώσεων	S=0.036-1.2 mm/round
Καθαρό βάρος	G=1500kg
Εύρος περιστροφικών ταχυτήτων	Κλίμακα 1: 15-300rpm
	Κλίμακα 2: 35-830rpm
	Κλίμακα 3: 110-2500rpm

Πίνακας 4.6 Γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τόννου Triumph 2500 της εταιρίας Colchester.



Εικόνα 4.4 Ο τόρνος τύπου Triumph 2500 της Colchester.

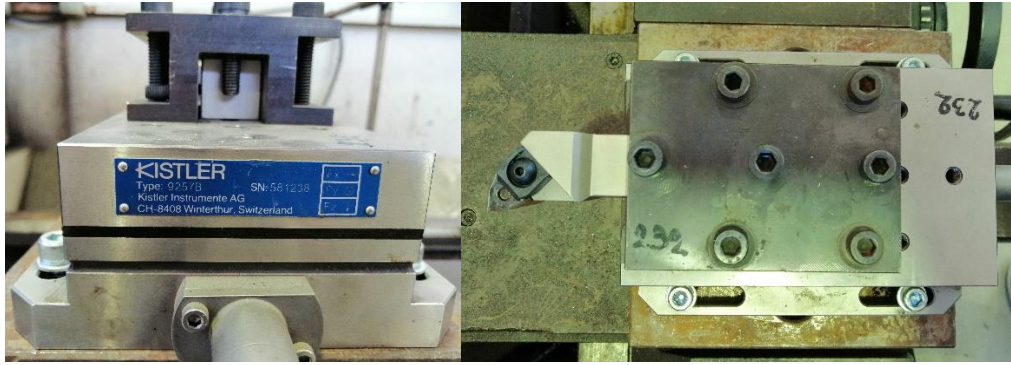
Στην Εικόνα 4.5 φαίνεται το τεμάχιο κατά την διάρκεια της κατεργασίας συγκρατούμενο στο τσοκ του τόρνου και το κοπτικό εργαλείο κατά την κοπή.



Εικόνα 4.5 Το τεμάχιο, τοποθετημένο στο τσοκ, και το κοπτικό εργαλείο κατά την διάρκεια της κατεργασίας.

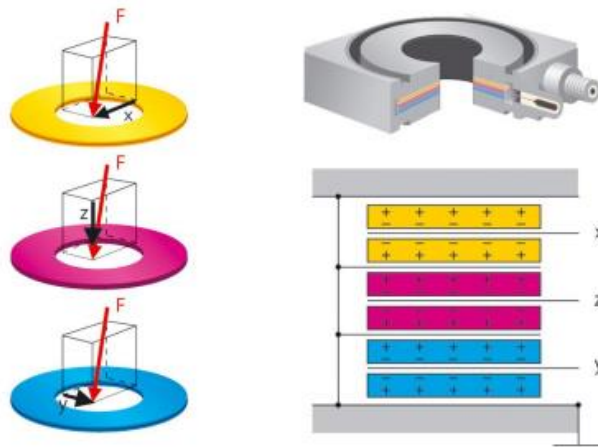
4.5. Δυναμόμετρο

Το δυναμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου 9257B της εταιρίας Kistler. Υπολογίζει τρία σήματα δυνάμεων: στην κατεύθυνση της κοπής(περιφερειακή), της πρόωσης(αξονική) και της απώθησης του εργαλείου από το τεμάχιο(ακτινική). Ο εργαλειοδέτης τοποθετήθηκε επάνω στο δυναμόμετρο και στη συνέχεια η μανέλα με το κοπτικό εργαλείο (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6 Το κοπτικό εργαλείο τοποθετημένο στο δυναμόμετρο για την κατεργασία.

Στο συγκεκριμένο δυναμόμετρο η μέτρηση των δυνάμεων πραγματοποιείται με χρήση κρυστάλλων χαλαζία σε μορφή δακτυλίου (Εικόνα 4.7). Το δυναμόμετρο διαθέτει τέσσερις αισθητήρες δυνάμεων για τις τρεις κατευθύνσεις μέτρησης οι οποίοι βρίσκονται ανάμεσα στις δύο πλάκες του δυναμόμετρου. Κάθε αισθητήρας διαθέτει τρία ζεύγη δακτυλίων χαλαζία για τη μέτρηση δυνάμεων στις τρεις κατευθύνσεις. Ο ένας κρύσταλλος χαλαζία είναι ευαίσθητος σε συμπίεση στην κατεύθυνση z και οι άλλοι δύο ευαίσθητοι σε διάτμηση στις κατευθύνσεις x και y. [41]



Εικόνα 4.7 Σχηματική απεικόνιση του εσωτερικού του δυναμόμετρου.

Τα φορτία που παράγονται συλλέγονται με ηλεκτρόδια στην έξοδο του δυναμομέτρου και ποσοτικοποιούν τις αντίστοιχες δυνάμεις.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ενισχυτής, συνδεδεμένος με ειδική διάταξη στο δυναμόμετρο, για τη μεταφορά των σημάτων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

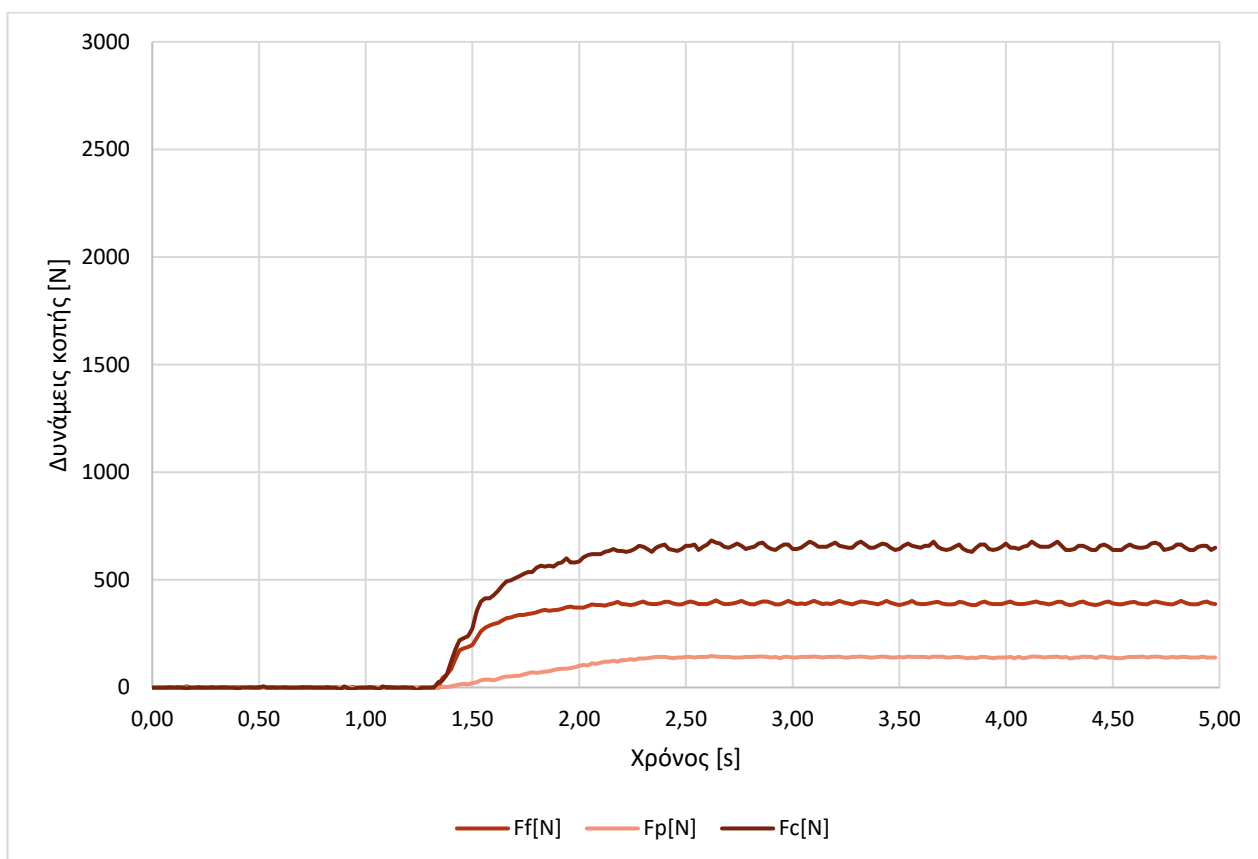
Η επεξεργασία και ψηφιοποίηση των σημάτων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Dynoware της Kistler.

Κεφάλαιο 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δυνάμεων κοπής σε διαγραμματική μορφή και η ανάλυσή τους. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Microsoft Excel. Οι τρεις συνιστώσες δύναμης που μετρήθηκαν είναι η κύρια δύναμη κοπής, F_c , η δύναμη άπωσης/πρόωσης, F_f , και η δύναμη απώθησης του εργαλείου από το τεμάχιο, F_p .

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 1

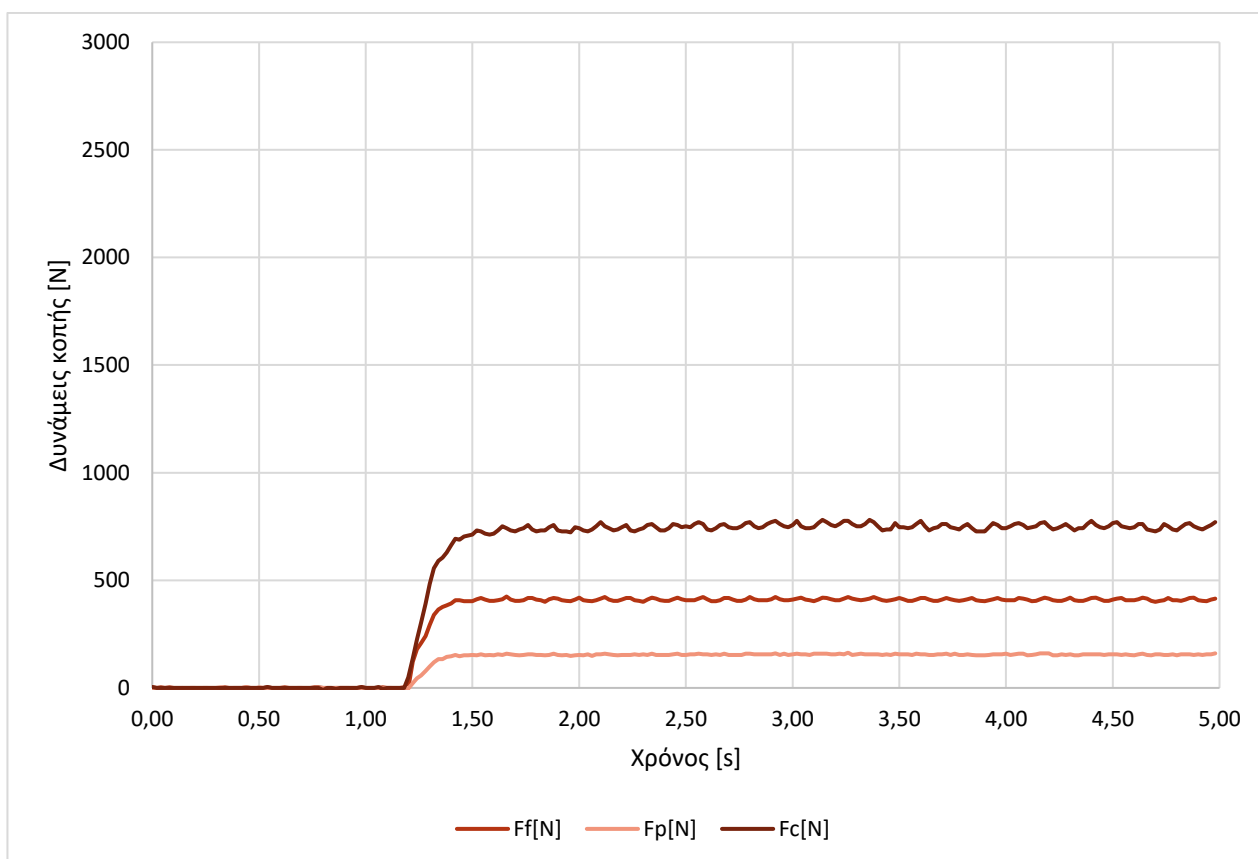
Συνθήκες Κοπής	
Ταχύτητα κοπής (m/min)	200
Αριθμός στροφών ατράκτου (rpm)	525
Πρόωση (mm)	0.10
Διάμετρος τεμαχίου (mm)	121.3
Βάθος κοπής (mm)	2.50
Χρόνος κοπής (s)	5



Διάγραμμα 5.1 Διαγραμματική απεικόνιση μετρήσεων δυνάμεων κατά την πειραματική διαδικασία 1.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 2

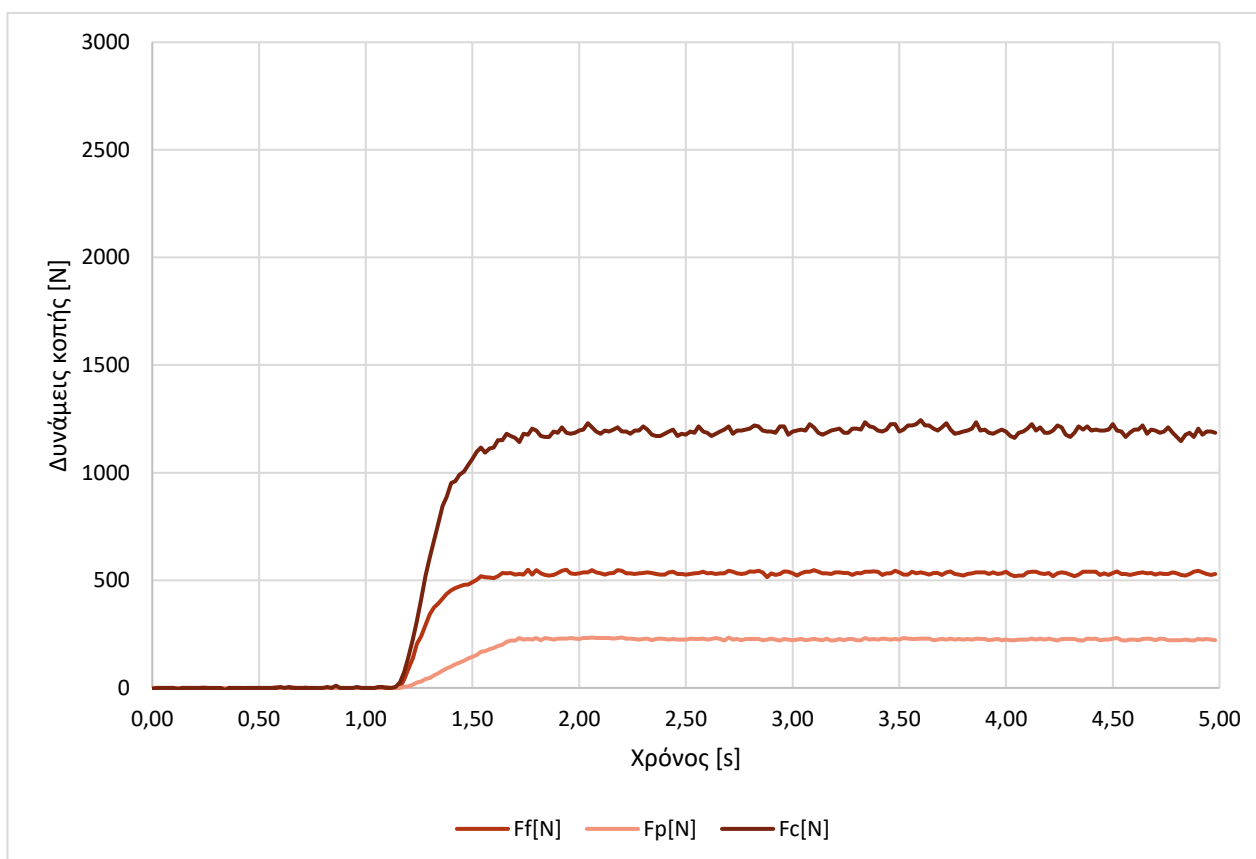
Συνθήκες Κοπής	
Ταχύτητα κοπής (m/min)	200
Αριθμός στροφών ατράκτου (rpm)	525
Πρόωση (mm)	0.12
Διάμετρος τεμαχίου (mm)	121.3
Βάθος κοπής (mm)	2.50
Χρόνος κοπής (s)	5



Διάγραμμα 5.2 Διαγραμματική απεικόνιση μετρήσεων δυνάμεων κατά την πειραματική διαδικασία 2.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 3

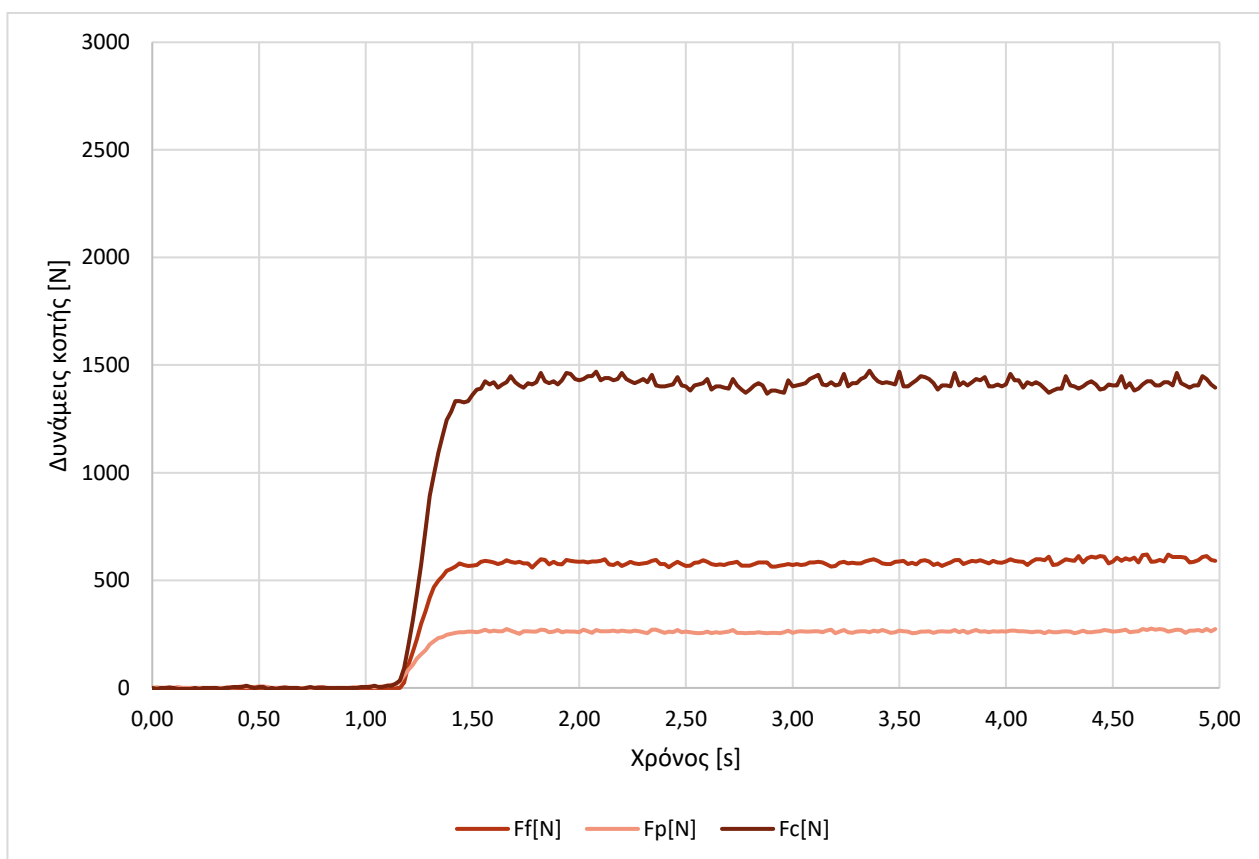
Συνθήκες Κοπής	
Ταχύτητα κοπής (m/min)	200
Αριθμός στροφών ατράκτου (rpm)	468
Πρόωση (mm)	0.20
Διάμετρος τεμαχίου (mm)	136
Βάθος κοπής (mm)	2.50
Χρόνος κοπής (s)	5



Διάγραμμα 5.3 Διαγραμματική απεικόνιση μετρήσεων δυνάμεων κατά την πειραματική διαδικασία 3.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 4

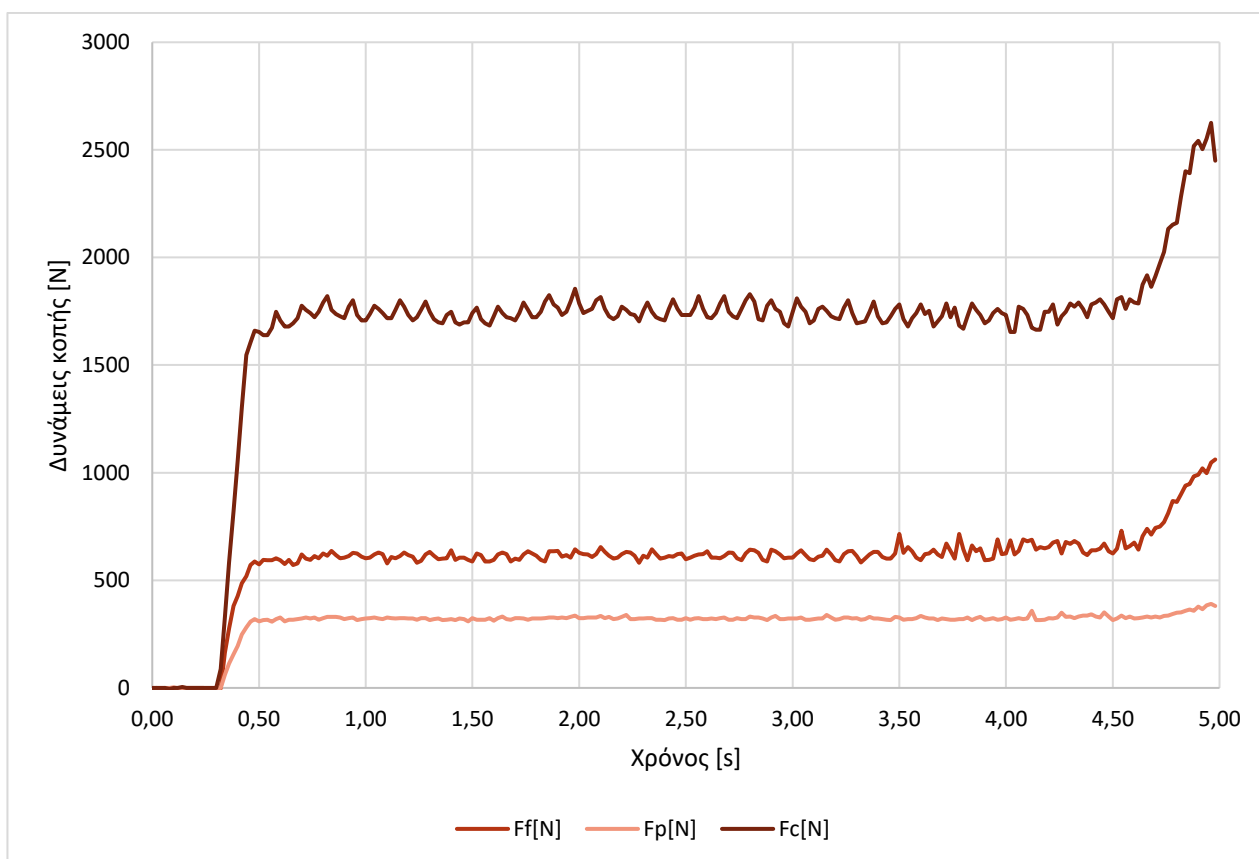
Συνθήκες Κοπής	
Ταχύτητα κοπής (m/min)	200
Αριθμός στροφών ατράκτου (rpm)	468
Πρόωση (mm)	0.24
Διάμετρος τεμαχίου (mm)	136
Βάθος κοπής (mm)	2.50
Χρόνος κοπής (s)	5



Διάγραμμα 5.4 Διαγραμματική απεικόνιση μετρήσεων δυνάμεων κατά την πειραματική διαδικασία 4.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 5

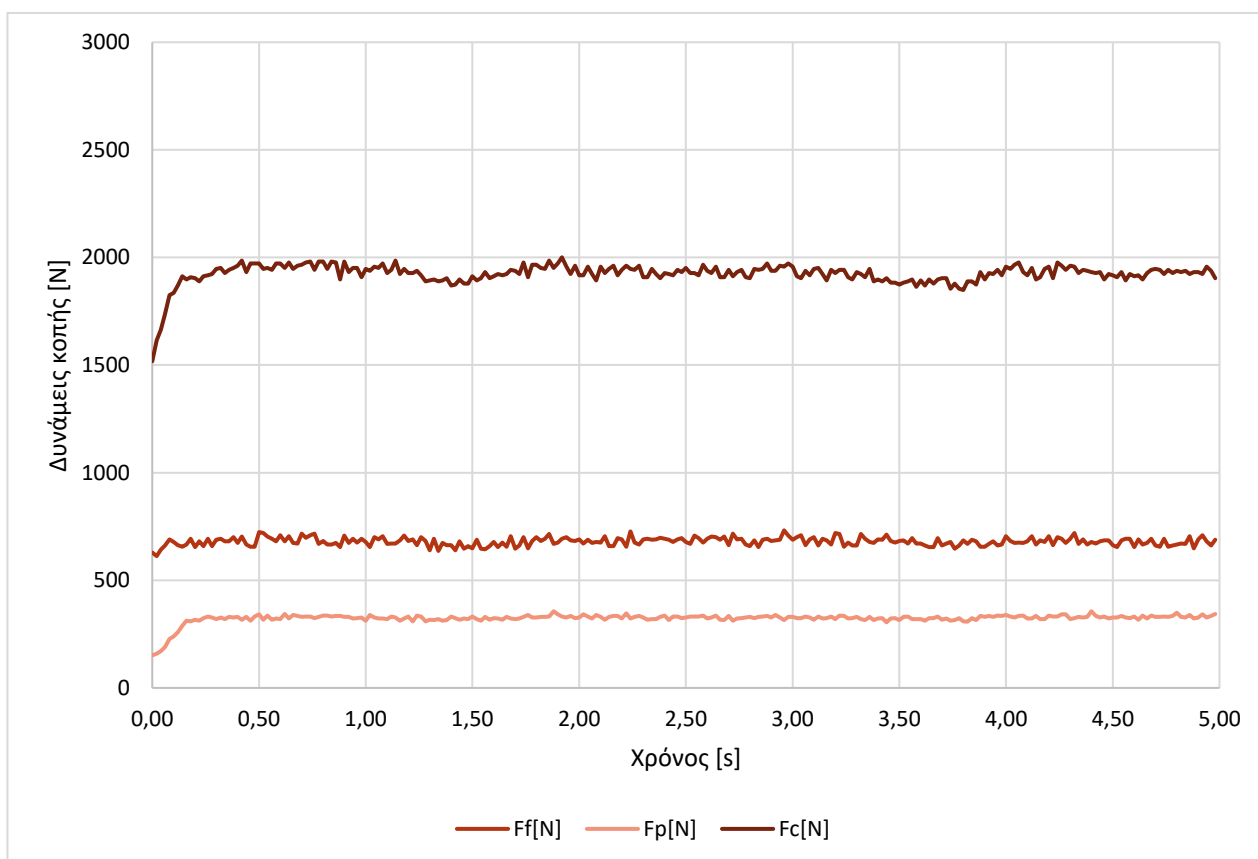
Συνθήκες Κοπής	
Ταχύτητα κοπής (m/min)	200
Αριθμός στροφών ατράκτου (rpm)	525
Πρόωση (mm)	0.36
Διάμετρος τεμαχίου (mm)	121.3
Βάθος κοπής (mm)	2.50
Χρόνος κοπής (s)	5



Διάγραμμα 5. 5 Διαγραμματική απεικόνιση μετρήσεων δυνάμεων κατά την πειραματική διαδικασία 5.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 6

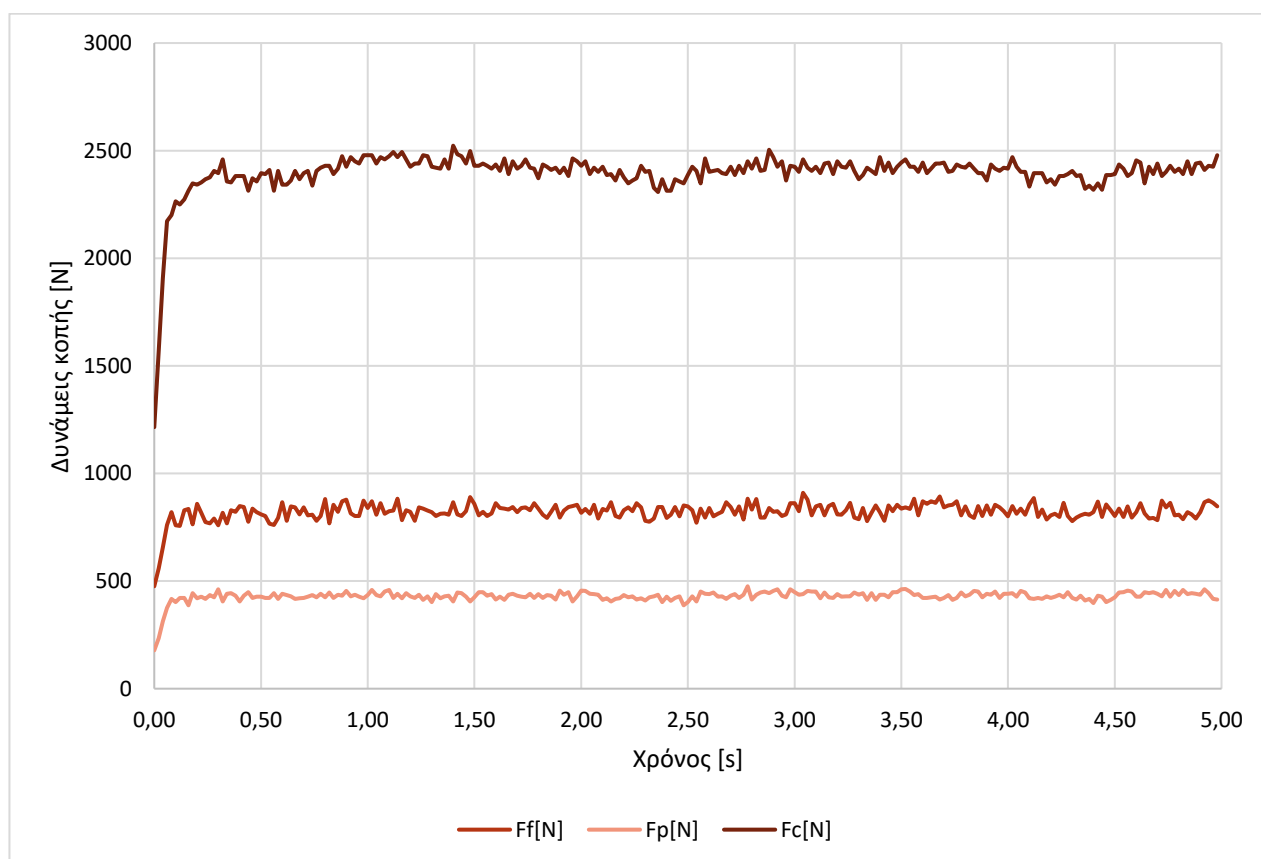
Συνθήκες Κοπής	
Ταχύτητα κοπής (m/min)	200
Αριθμός στροφών ατράκτου (rpm)	515
Πρόωση (mm)	0.40
Διάμετρος τεμαχίου (mm)	124.1
Βάθος κοπής (mm)	2.50
Χρόνος κοπής (s)	5



Διάγραμμα 5.6 Διαγραμματική απεικόνιση μετρήσεων δυνάμεων κατά την πειραματική διαδικασία 6.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 7

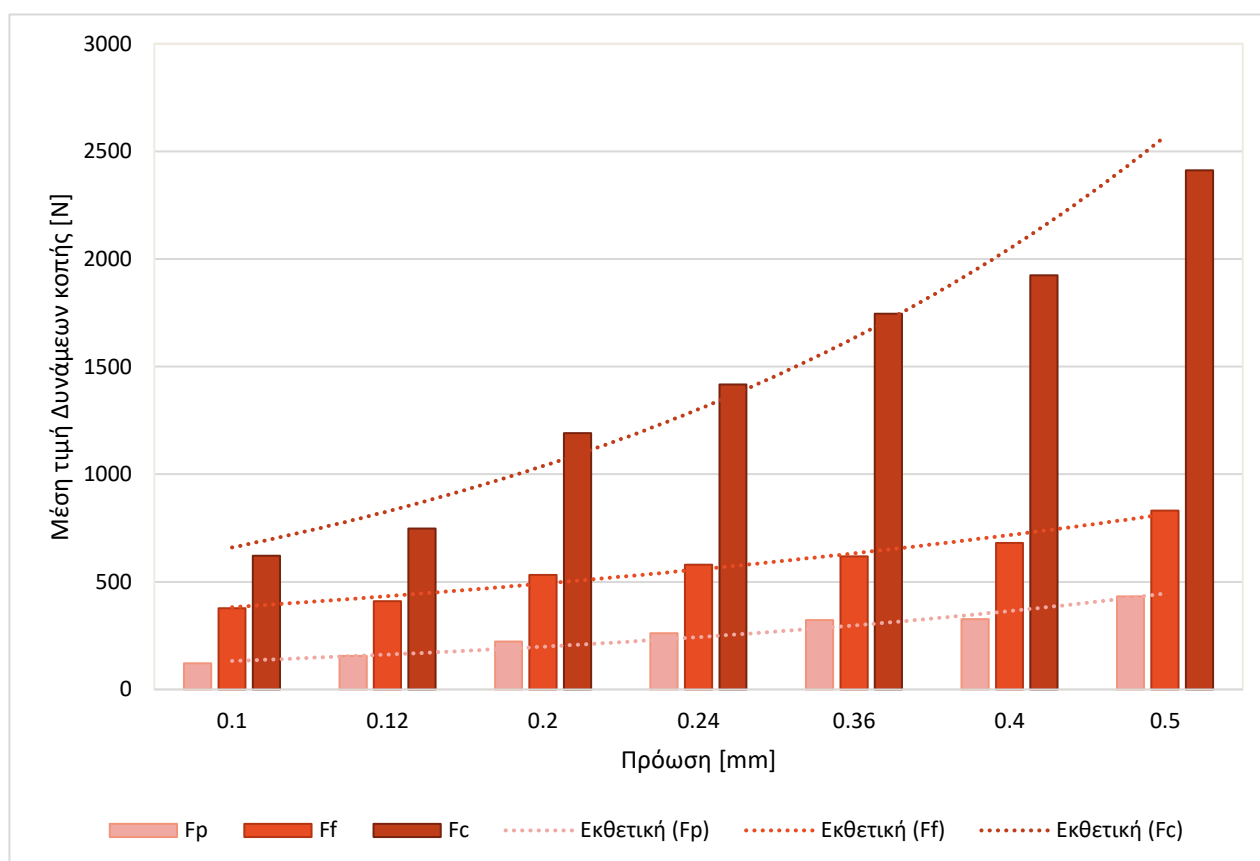
Συνθήκες Κοπής	
Ταχύτητα κοπής (m/min)	200
Αριθμός στροφών ατράκτου (rpm)	515
Πρόωση (mm)	0.50
Διάμετρος τεμαχίου (mm)	124.1
Βάθος κοπής (mm)	2.50
Χρόνος κοπής (s)	5



Διάγραμμα 5.7 Διαγραμματική απεικόνιση μετρήσεων δυνάμεων κατά την πειραματική διαδικασία 7.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.1 έως 5.7 των επτά διαδικασιών είναι εμφανές πως οι υψηλότερες τιμές σε κάθε πείραμα εμφανίζονται στην κύρια δύναμη της κοπής, F_c , με τη δύναμη της πρόωσης, F_f , να ακολουθεί και τη δύναμη απώθησης του εργαλείου, F_p , να εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές. Οι μετρήσεις δείχνουν αύξηση και των τριών συνιστωσών της δύναμης κοπής με αύξηση της πρόωσης, το οποίο επιβεβαιώνεται και από δεδομένα πειραματικών διαδικασιών που έχουν πραγματοποιηθεί με κατεργαζόμενο τεμάχιο από το ίδιο υλικό. [42], [43]

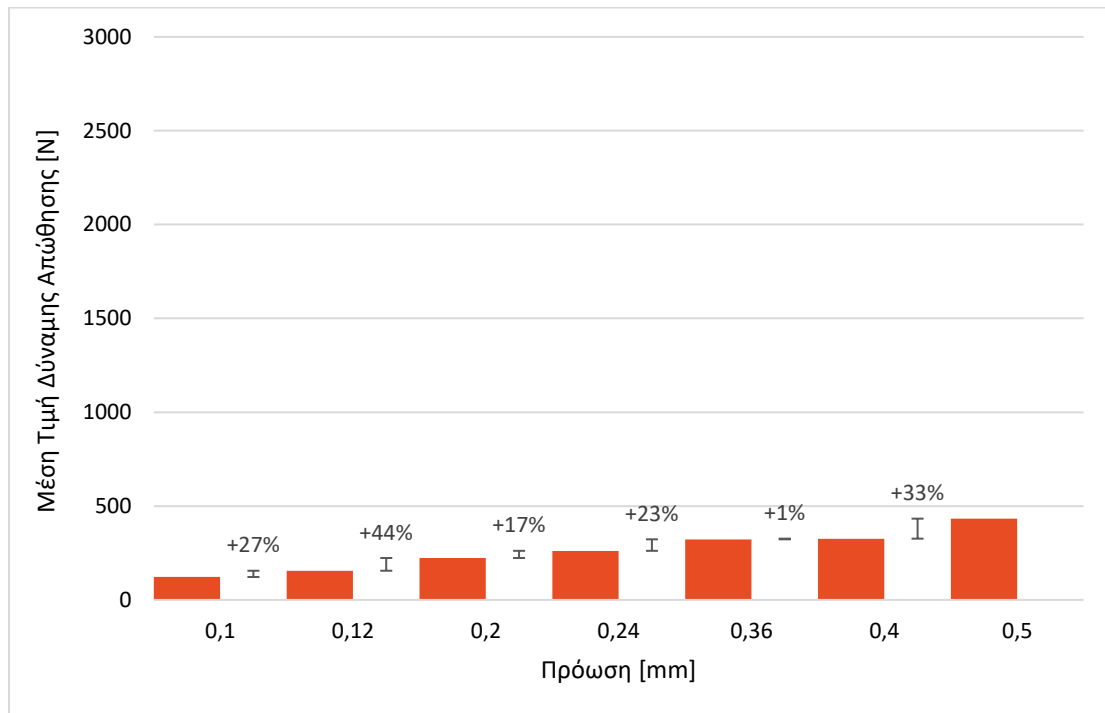
Στο διάγραμμα 5.8 παρουσιάζονται συγκριτικά οι μέσες τιμές των τριών συνιστωσών της δύναμης για τα επτά πειράματα και είναι εμφανής αυτή η αύξησή τους με αύξηση της επιβαλλόμενης πρόωσης καθώς και η εκθετική εξάρτησή τους από αυτήν. Οι μέσες τιμές προέκυψαν από τις μετρήσεις για το χρονικό διάστημα από 1.5 έως 4 δευτερόλεπτα.



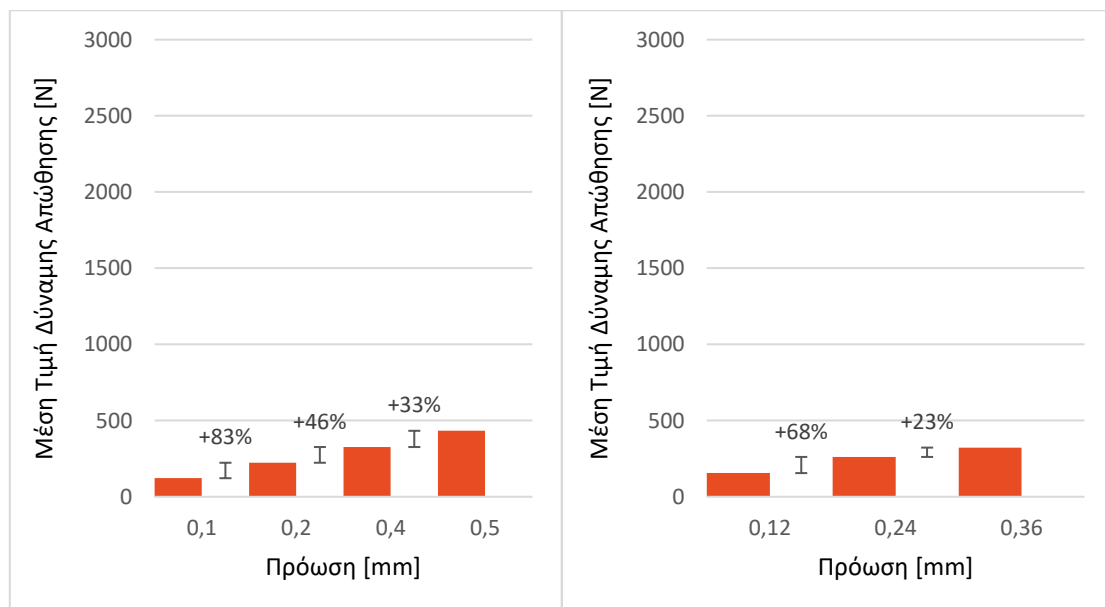
Διάγραμμα 5.8 Συγκεντρωτικό διάγραμμα απεικόνισης των μέσων τιμών των τριών συνιστωσών της δύναμης κοπής για κάθε πειραματική διαδικασία.

Στα διαγράμματα 5.9 έως 5.11 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές στη μέση τιμή της εκάστοτε συνιστώσας της δύναμης για κάθε πείραμα που πραγματοποιήθηκε.

Το διάγραμμα 5.9 αναφέρεται στη δύναμη απώθησης του εργαλείου, F_p . Στο διάγραμμα 5.9 (α) παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές ανά πειραματική διαδικασία ενώ στα (β) και (γ) οι ποσοστιαίες μεταβολές της δύναμης απώθησης με πολλαπλασιασμό της εκάστοτε πρόωσης.



(α)



(β)

(γ)

Διάγραμμα 5.9 Αναπαράσταση ποσοστιαίων μεταβολών της μέσης τιμής της δύναμης απώθησης του εργαλείου F_p .

Από το διάγραμμα 5.9 (β) φαίνεται πως αρχικός διπλασιασμός της πρόωσης, από 0.1mm σε 0.2mm, οδήγησε σε αύξηση της δύναμης απώθησης κατά 83% ενώ περαιτέρω διπλασιασμός, από 0.2mm σε 0.4mm, σε αύξηση 46%. Συγκρίνοντας την αρχική τιμή της πρόωσης, 0.1mm, φαίνεται πως εφαρμόζοντας τετραπλάσια τιμή πρόωσης, 0.4mm, η δύναμη απώθησης αυξήθηκε κατά 168% ενώ εφαρμόζοντας πενταπλάσια, 0.5mm, παρουσιάστηκε αύξηση 255%.

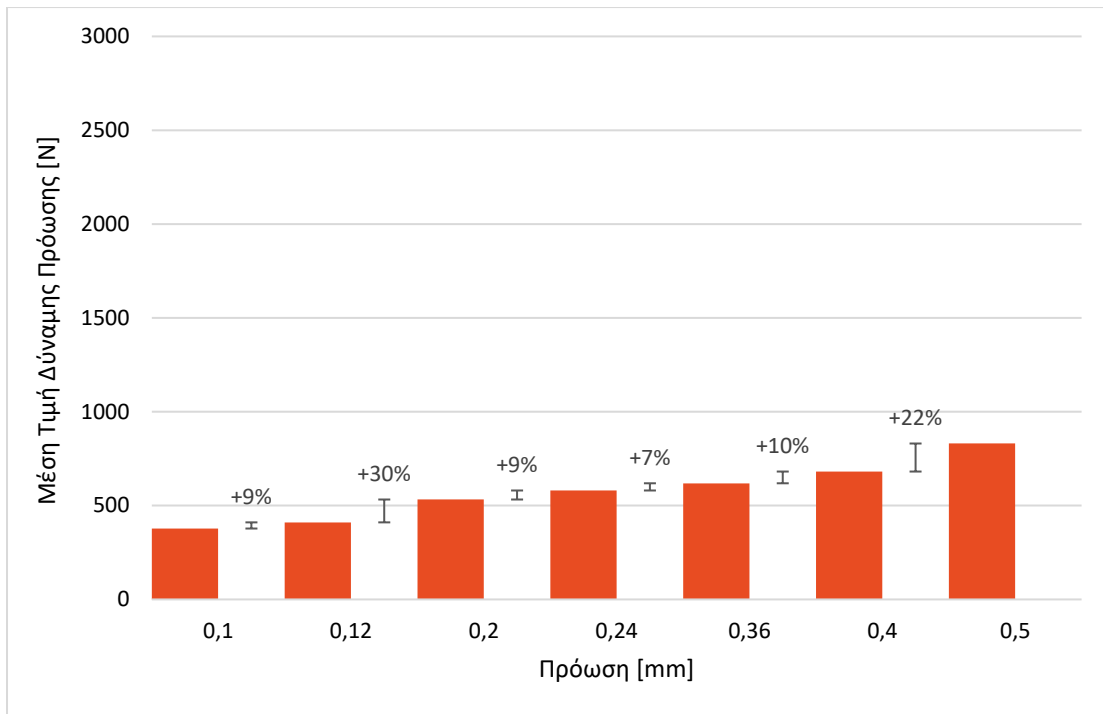
Από το διάγραμμα 5.9 (γ) φαίνεται πως διπλασιασμός της πρόωσης, από 0.12mm σε 0.24mm, οδήγησε σε αύξηση 68% της δύναμης απώθησης ενώ τριπλασιασμός της, από 0.12mm σε 0.36mm, σε αύξηση 108%.

Το διάγραμμα 5.10 αναφέρεται στη δύναμη πρόωσης, F_f . Στο διάγραμμα 5.10 (α) παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές ανά πειραματική διαδικασία ενώ στα (β) και (γ) οι ποσοστιαίες μεταβολές της δύναμης πρόωσης με πολλαπλασιασμό της εκάστοτε πρόωσης.

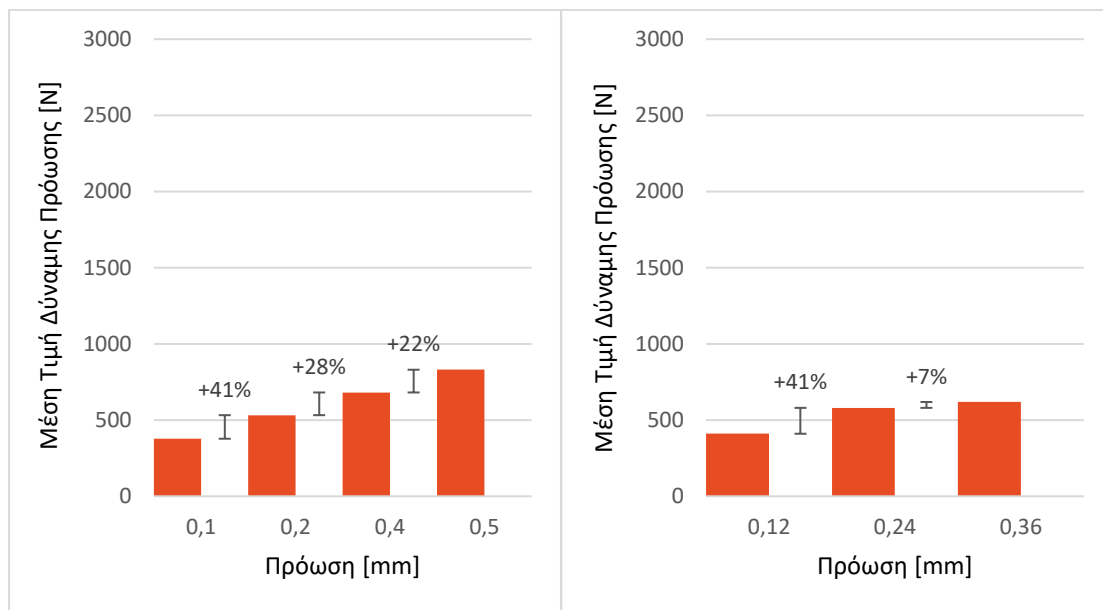
Από το διάγραμμα 5.10 (β) φαίνεται πως αρχικός διπλασιασμός της πρόωσης, από 0.1mm σε 0.2mm, οδήγησε σε αύξηση της δύναμης πρόωσης κατά 41% ενώ περαιτέρω διπλασιασμός, από 0.2mm σε 0.4mm, σε αύξηση 28%. Συγκρίνοντας την αρχική τιμή της πρόωσης, 0.1mm, φαίνεται πως εφαρμόζοντας τετραπλάσια τιμή πρόωσης, 0.4mm, η δύναμη πρόωσης αυξήθηκε κατά 80% ενώ εφαρμόζοντας πενταπλάσια, 0.5mm, παρουσιάστηκε αύξηση 120%.

Από το διάγραμμα 5.10 (γ) φαίνεται πως διπλασιασμός της πρόωσης, από 0.12mm σε 0.24mm, οδήγησε σε αύξηση 41% της δύναμης πρόωσης ενώ τριπλασιασμός της, από 0.12mm σε 0.36mm, σε αύξηση 51%.

Παρατηρώντας τις τιμές ανά πειραματική διαδικασία η ποσοστιαία αύξηση της δύναμης πρόωσης με αλλαγή της εφαρμοζόμενης πρόωσης είναι μικρότερη από αυτήν της δύναμης απώθησης του εργαλείου. Δηλαδή η αλλαγή στην πρόωση κατά την κατεργασία επηρέασε περισσότερο τη δύναμη απώθησης του εργαλείου από ότι τη δύναμη πρόωσης.



(α)

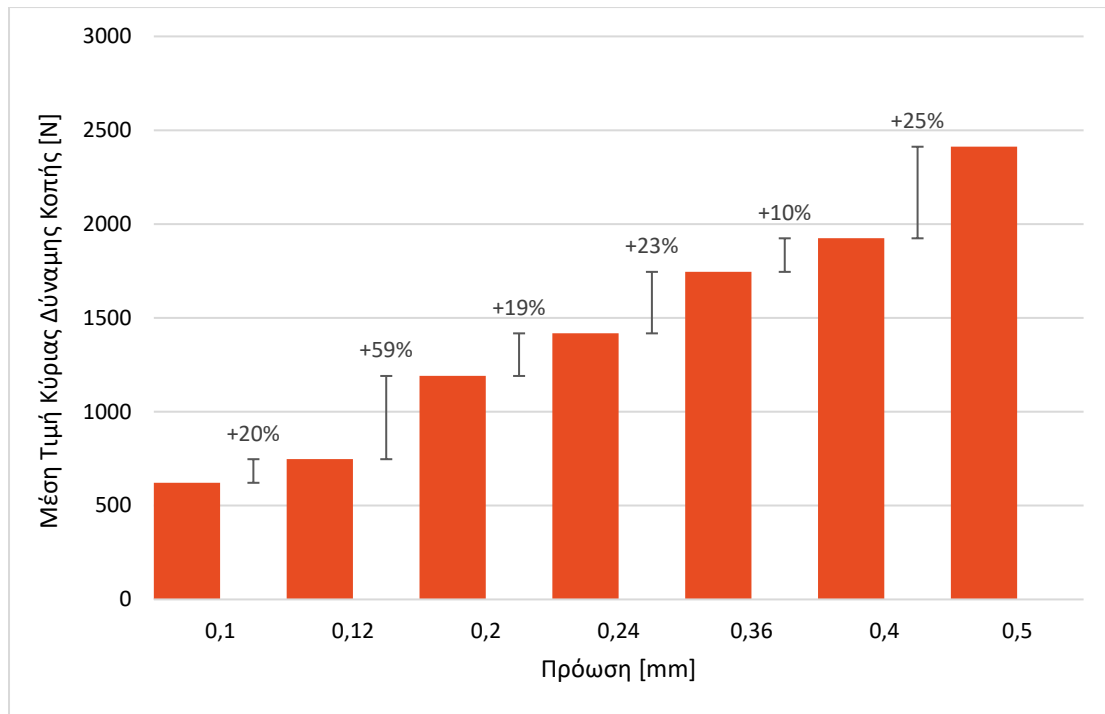


(β)

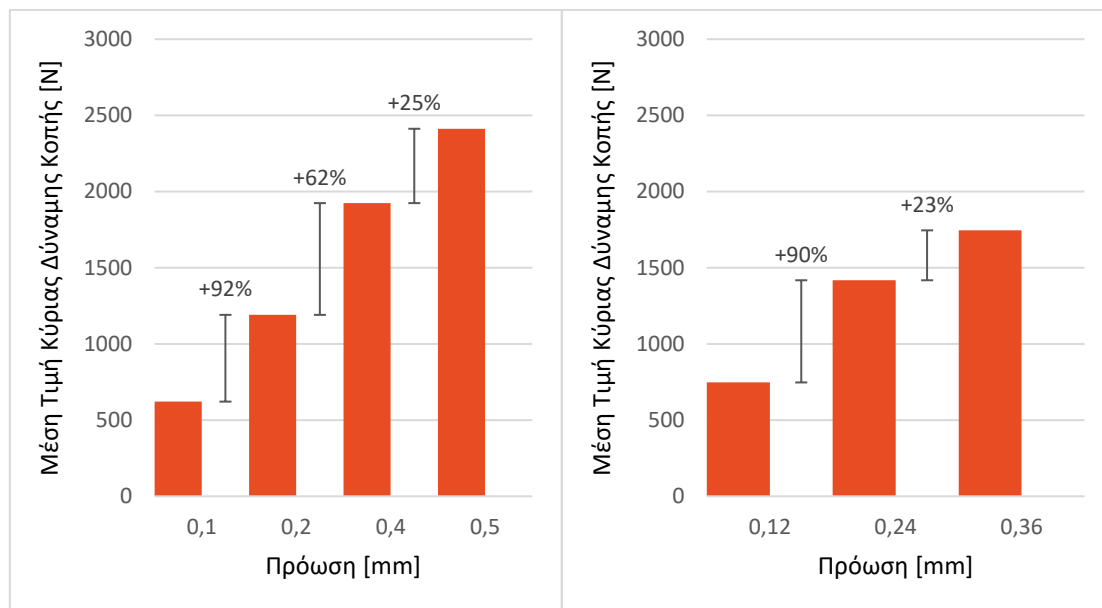
(γ)

Διάγραμμα 5.10 Αναπαράσταση ποσοστιαίων μεταβολών της μέσης τιμής της δύναμης πρόωσης F_f .

Τέλος το διάγραμμα 5.11 αναφέρεται στη κύρια δύναμη κοπής, F_c . Στο διάγραμμα 5.11 (α) παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές ανά πειραματική διαδικασία ενώ στα (β) και (γ) οι ποσοστιαίες μεταβολές της δύναμης πρόωσης με πολλαπλασιασμό της εκάστοτε πρόωσης.



(α)



(β)

(γ)

Διάγραμμα 5.11 Αναπαράσταση ποσοστιαίων μεταβολών της μέσης τιμής της κύριας δύναμης της κοπής F_c .

Από το διάγραμμα 5.11 (β) φαίνεται πως αρχικός διπλασιασμός της πρόωσης, από 0.1mm σε 0.2mm, οδήγησε σε αύξηση της κύριας δύναμης κοπής κατά 92% ενώ περαιτέρω διπλασιασμός, από 0.2mm σε 0.4mm, σε αύξηση 62%. Συγκρίνοντας την αρχική τιμή της πρόωσης, 0.1mm, φαίνεται πως εφαρμόζοντας τετραπλάσια τιμή

πρόωσης, 0.4mm, η κύρια δύναμη κοπής αυξήθηκε κατά 210% ενώ εφαρμόζοντας πενταπλάσια, 0.5mm, παρουσιάστηκε αύξηση 288%.

Από το διάγραμμα 5.11 (γ) φαίνεται πως διπλασιασμός της πρόωσης, από 0.12mm σε 0.24mm, οδήγησε σε αύξηση 90% της κύριας δύναμης κοπής ενώ τριπλασιασμός της, από 0.12mm σε 0.36mm, σε αύξηση 134%.

Η ποσοστιαία αύξηση ανά πειραματική διαδικασία της κύριας δύναμης κοπής είναι μεγαλύτερη από αυτήν των δυνάμεων απώθησης και πρόωσης. Ωστόσο παρόλο που υπερισχύει η αύξησή της σε όλες τις πειραματικές διαδικασίες δεν διαφέρει κατά πολύ από τη μεταβολή της δύναμης απώθησης. Ο ρυθμός αύξησης των δύο αυτών δυνάμεων κυμαίνεται σε παρόμοιες ποσοστιαίες μεταβολές σε όλες τις πειραματικές διαδικασίες. Η μεγαλύτερη επιρροή της πρόωσης στην κύρια δύναμη κοπής και στη δύναμη απώθησης επιβεβαιώνεται και από την πειραματική διαδικασία τόννευσης χάλυβα 42CrMo4, όπου διαπιστώθηκε πως μεταβολές της πρόωσης οδήγησαν σε μεγαλύτερες μεταβολές στην κύρια δύναμη της κοπής και στη δύναμη απώθησης από ότι στη δύναμη πρόωσης. [42]

Κεφάλαιο 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο ολοκληρώνεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία με την αναφορά στα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τα αποτελέσματα των επτά πειραματικών διαδικασιών καθώς και τις προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων, που πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 5, είναι τα παρακάτω:

- Οι υψηλότερες τιμές σε κάθε πείραμα εμφανίζονται στην κύρια δύναμη της κοπής, F_c , με τη δύναμη της πρόωσης, F_f , να ακολουθεί και τη δύναμη απώθησης του εργαλείου, F_p , να εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές.
- Η αλλαγή της εφαρμοζόμενης πρόωσης, διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες συνθήκες κοπής, επηρεάζει και τις τρεις συνιστώσες δύναμης. Η αύξησή της οδηγεί αντίστοιχα σε αύξηση των τιμών και για τις τρεις συνιστώσες.
- Η αύξηση της πρόωσης φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο την κύρια δύναμη κοπής και τη δύναμη απώθησης και λιγότερο τη δύναμη πρόωσης καθώς οι ποσοστιαίες αυξήσεις των μέσων τιμών των δύο πρώτων συνιστωσών ανά πειραματική διαδικασία είναι μεγαλύτερες από αυτές της τελευταίας.
- Η κύρια δύναμη της κοπής και η δύναμη απώθησης του εργαλείου παρουσιάζουν πιο ραγδαία μεταβολή με αλλαγή της πρόωσης από τη δύναμη πρόωσης.
- Καθώς αυξάνεται η πρόωση οι ποσοστιαίες μεταβολές στις συνιστώσες δυνάμεων τείνουν να μικραίνουν.

Για μελλοντική έρευνα προτείνεται η διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος σε διαμήκη εσωτερική τórνευση με τεμάχιο χάλυβα χρωμίου-μολυβδαίνιου 42CrMo4, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία, για να εξαχθούν αντίστοιχα συμπεράσματα. Επιπλέον προτείνεται η διεξαγωγή πειραμάτων παρόμοιων με αυτού σε διαφορετικές εργαλειομηχανές, επομένως διαφορετικές κατεργασίες, για την σύγκριση του τρόπου επιρροής της πρόωσης του κοπτικού εργαλείου επίσης με κατεργαζόμενο τεμάχιο από χάλυβα χρωμίου-μολυβδαίνιου 42CrMo4.

Βιβλιογραφία

- [1] Α. Θ. Αντωνιάδης, *Μηχανουργική Τεχνολογία*, 3η Έκδοση, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2018.
- [2] S. Kalpakjian και S. S. R., *Μηχανουργική Επιστήμη και Τεχνολογία*, 7η έκδοση, Δ. Μανωλάκος και Α. Μαρκόπουλος, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2019.
- [3] J. Black και R. A. Kohser, *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*, 11η Έκδοση, John Wiley and Sons, 2012.
- [4] D. A. Stephenson και J. S. Agariou, *Metal cutting Theory and Practice*, 3η Έκδοση, CRC Press Taylor and Francis Group, 2016.
- [5] E. M. Trent και P. K. Wright, *Metal Cutting*, 4η Έκδοση, Butterworth–Heinemann, 2000.
- [6] T. Childs, K. Maekawa, T. Obikawa και Y. Yamane, *Metal Machining Theory and Applications*, Arnold, 2000.
- [7] Π. Γ. Πετρόπουλος, *Μηχανουργική Τεχνολογία Τεχνολογία Κατεργασιών Κοπής των Μετάλλων*, Εκδόσεις Ζήτη, 1998.
- [8] W. Liew, I. Hutchings και J. Williams, «Friction and lubrication effects in the machining of aluminium,» *Tribology Letters*, 5 (5), 117–122, 1998.
- [9] J. R. Walker, *Machining Fundamentals From Basic to Advanced Techniques*, The Goodheart-Willcox Company, 2000.
- [10] Sumitomo Electric Industries, Ltd., [<https://www.sumitool.com/en/products/cutting-tools/>, Ανακτήθηκε 15/10/2022].
- [11] BlogMech, [<https://blogmech.com/taper-turning-methods-in-lathe-machine-types-of-taper-turning/>, Ανακτήθηκε 15/10/2022].
- [12] U. Hussaini, Technobyte, [<https://technobyte.org/lathe-machine-working-types-operations-applications/>, Ανακτήθηκε 15/10/2022].
- [13] Engineering Learn, [<https://engineeringlearn.com/types-of-lathe-chuck/>, Ανακτήθηκε 15/10/2022].

- [14] I. Wright, Engineering, [<https://www.engineering.com/story/an-engineers-guide-to-cnc-turning-centers>, Ανακτήθηκε 15/10/2022].
- [15] S. M, The Engineers Post, [<https://www.theengineerspost.com/lathe-cutting-tools/>, Ανακτήθηκε 16/10/2022].
- [16] M. Kumar Gupta, M. E. Korkmaz, M. Sarikaya, G. M. Krolczyk και M. Günay, «In-process detection of cutting forces and cutting temperature signals in cryogenic assisted turning of titanium alloys: An analytical approach and experimental study,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, 169, 2022.
- [17] S. H. You, J. H. Lee και S. H. Oh, «A Study on Cutting Characteristics in Turning Operations of Titanium,» *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 20, 209-216, 2019.
- [18] D. Ravikanth, K. P. Reddy και V. S. Murthy, «Influence of tool geometry on cutting zone temperature during turning of aluminium alloy AA2219,» *Materials Today: Proceedings*, 62, 2277-2282, 2022.
- [19] A. Chaijareenon και S. Tangjitsitcharoen, «Monitoring of Surface Roughness in Aluminium Turning,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 303, 2018.
- [20] B. De Agustina, C. Bernal, A. Camacho και E. Rubio, «Experimental Analysis of the Cutting Forces Obtained in Dry Turning Processes of UNS A97075 Aluminium Alloys,» *Procedia Engineering*, 63, 694-699, 2013.
- [21] N. Vaxevanidis, N. Fountas, A. Koutsomichalis και J. Kechagias, «Experimental investigation of machinability parameters in turning of CuZn39Pb3 brass alloy,» *Procedia Structural Integrity*, 10, 333-341, 2018.
- [22] M. Hanief, M. Wani και M. Charoo, «Modeling and prediction of cutting forces during the turning of red brass (C23000) using ANN and regression analysis,» *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 1220-1226, 2017.
- [23] C. He, J. Zhang, C. Ren, S. Wang και Z. Cao, «Characteristics of cutting force and surface finish in diamond turning of polycrystalline copper achieved by friction

stir processing (FSP),» *Journal of Materials Processing Technology*, 301, 117451, 2022.

- [24] F. Amigo, G. Urbikain, O. Pereira, P. Fernández-Lucio, A. Fernández-Valdivielso και L. L. d. Lacalle, «Combination of high feed turning with cryogenic cooling on Haynes 263 and Inconel 718 superalloys,» *Journal of Manufacturing Processes*, 58, 208-222, 2020.
- [25] M. E. Korkmaz, N. Yasar και M. Günay, «Numerical and experimental investigation of cutting forces in turning of Nimonic 80A superalloy,» *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23, 664-673, 2020.
- [26] U. K. Kolluru, S. K. R. Narala και S. Dutta, «Optimization of cutting forces and surface roughness in dry turning of AM magnesium alloy using Taguchi method,» *Materials Today: Proceedings*, 38, 2830-2838, 2021.
- [27] P. Umamaheswarrao, B. Ravi Sankar και T. Nancharaiah, «Experimental investigations on machining force in turning of AZ91D magnesium alloy using PCBN tools,» *Materials Today: Proceedings*, 39, 1206-1209, 2021.
- [28] D. Lalwani, N. Mehta και P. Jain, «Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel,» *Journal of materials processing technology*, 206, 167-179, 2008.
- [29] Ł. Ślusarczyk και E. Franczyk, «Experimental determination of forces in a cutting zone during turning a stainless steel shaft,» *TECHNICAL TRANSACTIONS*, 8, 177-188, 2018.
- [30] S. Kumar, P. Tamilselvan, M. Feroskhan, A. Selvakumar Arockia Doss, M. Sasikumar, M. Elango και S. Sivarajan, «Hard turning of AISI D2 steel with cubic boron nitride cutting inserts,» *Materials Today: Proceedings*.
- [31] T. Zlamal, S. Malotova, T. Szotkowski, R. Cep και I. D. Marinescu, «The geometry of grooving tool and its influence on dynamic load system of turning,» *Transportation Research Procedia*, 40, 602-609, 2019.

- [32] T. Ahmed, N. Mollick, S. Mahmud και T. Ahmad, «Analysis of Effects of Machining Parameters on Cutting Force Components in Turning AISI 201 Stainless Steel Using Cemented Carbide Cutting Tool Insert,» *Materials Today: Proceedings*, 42, 832-837, 2021.
- [33] A. Aslan, «Optimization and analysis of process parameters for flank wear, cutting forces and vibration in turning of AISI 5140: A comprehensive study,» *Measurement*, 163, 107959, 2020.
- [34] K. D. Mistri, «Optimization of Surface Roughness & Cutting Force during Turning of AISI 1020 Steel with Edge Honed Carbide Tool,» *International Journal for Scientific Research & Development*, 6 (9), 76-79, 2018.
- [35] K. B. Mutyalu, V. V. Reddy, S. U. M. Reddy και K. L. Prasad, «Effect of machining parameters on cutting forces during turning of EN 08, EN 36 & mild steel on high speed lathe by using Taguchi orthogonal array». *Materials Today: Proceedings*.
- [36] V. R. Balwan, B. Dabade και L. Wankhade, «Influence of hard turning parameters on cutting forces of EN 353 steel,» *Materials Today: Proceedings*, 63, 149-156, 2022.
- [37] S. G. Jangali, V. Gaitonde, V. N. Kulkarni και M. H.K., «Analyzing the effect of cutting parameters on forces and tool-tip temperature in turning of nickel-based superalloy using FE simulation,» *Materials Today: Proceedings*, 49, 1833-1843, 2022.
- [38] Sandvik Coromant, [<https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/product-details?c=wnmg%2008%2004%2008-pm%204325>, Ανακτήθηκε 08/01/2023].
- [39] Virgamet, [<https://virgamet.com/40hm-42crmo4-1-7225-aisi-4140-toughening-steel>, Ανακτήθηκε 08/12/2022].
- [40] Otai Special Steel, [<https://www.astmsteel.com/product/42crmo4-alloy-steel/>, Ανακτήθηκε 08/12/2022].
- [41] Kistler, [<https://www.kistler.com/INT/en/cp/multicomponent-dynamometers-maximum-forces-up-to-10-kn-cover-plate-100x170-mm-9257b/P0000675>, Ανακτήθηκε 08/12/2022].

- [42] M. ÖZDEMİR, M. T. KAYA και H. K. AKYILDIZ, «Analysis of Surface Roughness and Cutting Forces in Hard Turning of 42CrMo4 Steel using Taguchi and RSM Method,» *MECHANIKA*, 26 (3), 231-241, 2020.
- [43] M. E. Kabaso και C. Yongjie, «Optimization of Cutting parameters when Hard Turning Hardened 42CrMo4 steel using the Taguchi Method,» *International Journal of Advanced Research*, 2 (8), 911-923, 2014.