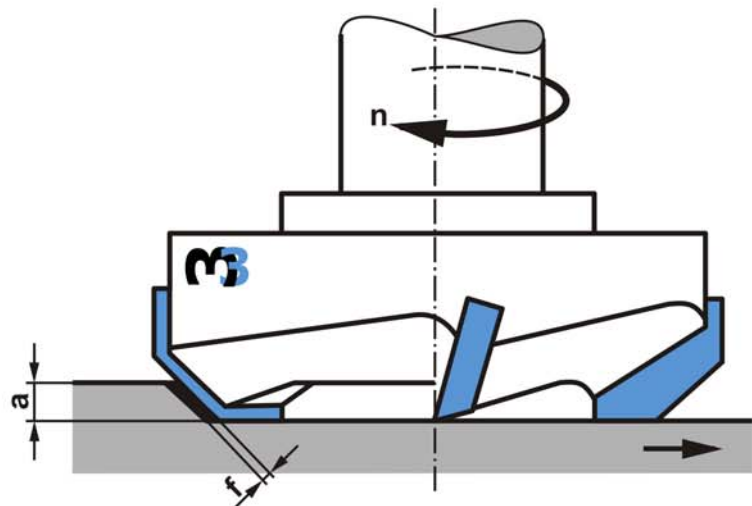


ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΟ ΜΕΤΩΠΙΚΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ



ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΧΡΙΣΤΟΦΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

***Αφιερωμένη στους γονείς μου
και στα αδέρφια μου Μιχάλη και Μαρία***

Με την εργασία αυτή, κλείνει ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Μέσα στο πλαίσιο αυτό θέλω να ευχαριστήσω όλους αυτούς που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Θα ήθελα, καταρχήν, να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου σε όλους τους καθηγητές μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφεραν σε όλο τον κύκλο των σπουδών μου, γνώσεις που θα με βοηθήσουν να ανταπεξέλθω στο σύγχρονο, ανταγωνιστικό περιβάλλον.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρ. Μηχ. Αριστομένη Αντωνιάδη, για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε, αλλά και για το συνεχές ενδιαφέρον του στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής.

Φυσικά, δε θα μπορούσα να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Ταπόγλου Νίκο για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγησή του, που ήταν καταλυτική για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την εργασία αυτή στον πάτερα μου και τη μητέρα μου και να τους εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για τα εφόδια και την αγάπη τους που μου έδωσαν, για τη συμπαράσταση και την υποστήριξη τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισαγωγή.....	5
2.	Στάθμη των γνώσεων	6
2.1.	Μελέτες για πρόβλεψη τραχύτητας σε κατεργασίες κοπής	6
2.1.1.	Προσεγγίσεις, οι οποίες βασίστηκαν στη θεωρία της κατεργασίας	6
2.1.2.	Προσέγγιση βάση πειραματικής διερεύνησης.....	7
2.1.3.	Προσέγγιση με ειδικά σχεδιασμένα πειράματα	7
2.1.4.	Προσεγγίσεις με χρήση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης	8
2.2.	Μελέτες για βελτιστοποίηση της παραγωγής	8
2.2.1.	Ελαχιστοποίηση κόστους.....	8
2.2.2.	Αύξηση της ποιότητας.....	9
3.	Τραχύτητα και φραιζάρισμα	11
3.1.	Τραχύτητα	11
3.1.1.	Όργανα μέτρησης τραχύτητας	14
3.1.2.	Η τραχύτητα της επιφάνειας εμφανιζόμενη κατά την κατεργασία.	15
3.2.	Φραιζάρισμα.....	16
3.2.1.	Κατηγορίες φραιζαρίσματος.....	17
3.2.2.	Μετωπικό φραιζάρισμα.....	18
4.	Εξοπλισμός, συνθήκες και στρατηγική πειραμάτων κατεργασίας.....	20
4.1.	Εξοπλισμός πειραμάτων.....	20
4.1.1.	Τριαξονικό κέντρο κατεργασίας HASS MINI MILL.....	20
4.1.2.	Όργανο τραχυμέτρησης DIAVITE COMPACT VHF	22
4.1.3.	Όργανο Δυναμομέτρησης.	23
4.1.4.	Κοπτικό εργαλείο.....	23
4.2.	Συνθήκες και στρατηγική πειραμάτων κατεργασίας.....	24
4.2.1.	Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.....	24
4.2.2.	Συνθήκες κοπής	28
5.	Αποτελέσματα πειραμάτων	32
5.1.	Επίδραση της προώσεως του κοπτικού στην τραχύτητα	32
5.2.	Επίδραση της πρόωσης του κοπτικού στις δυνάμεις κοπής	34
5.3.	Επίδραση του ακτινικού βάθους κοπής στην τραχύτητα	35
5.4.	Επίδραση του αριθμού των δοντιών στις δυνάμεις που αναπτύσσονται	36
6.	Συμπεράσματα	38
7.	Βιβλιογραφία.....	39

1. Εισαγωγή

Στον κλάδο της βιομηχανίας και παραγωγής, η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι πολύ σημαντική και αυτό συμβαίνει γιατί καθορίζει τη συμπεριφορά του τελικού προϊόντος μέσα στο περιβάλλον. Η ποιότητα, όπως ορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 8402(1986), είναι το σύνολο των ιδιοτήτων ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας που καθορίζουν την ικανότητα ανταπόκρισης σε δηλωμένες ή εννοούμενες ανάγκες. Ένας άλλος πιο σύντομος ορισμός είναι: "ποιότητα" είναι συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις ή προδιαγραφές.

Στη σύγχρονη εποχή της υψηλής τεχνολογίας, η επαναστατική ιδέα του CAD έχει περάσει τη διαδικασία της παραγωγής, από το στάδιο της σχεδίασης μέχρι και το τελικό προϊόν, σε άλλο επίπεδο. Με βάση την τεχνολογία γραφικών, όπως εξελίχτηκε για τα συστήματα σχεδίασης, αναπτύχθηκαν και μία σειρά από κάθετες εφαρμογές, που αυτοματοποιούν τη διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων, οι οποίες καλούνται Computer Aided εργαλεία.

Μια από αυτές τις εφαρμογές είναι η παραγωγή με χρήση υπολογιστή (Computer Aided Manufacturing), η οποία συμβάλει στην αύξηση της παραγωγικότητας και την αύξηση της ποιότητας. Σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, η ανάγκη για πρόβλεψη της ποιότητας του τελικού προϊόντος και η ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων από το στάδιο της σχεδίασης, είναι αναγκαία, καθώς θα έχουν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία, διάφορα εξαρτήματα, όπως εκκεντροφόροι άξονες, πιστόνια και άλλα τμήματα της μηχανής, κατασκευάζονται με τη διαδικασία του μετωπικού φραιζαρίσματος. Η τραχύτητα και άρα η επιπεδότητα της τελικής επιφάνειας των κατεργασμένων εξαρτημάτων με τη διαδικασία του μετωπικού φραιζαρίσματος, είναι πολύ κρίσιμο κριτήριο ποιότητας, γιατί καθορίζει τη λειτουργικότητα του εξαρτήματος. Άρα, η πρόβλεψη με ακρίβεια της επίδρασης των διάφορων συνθηκών κοπής του μετωπικού φραιζαρίσματος στην τελική κατεργασμένη επιφάνεια, είναι επιτακτική ανάγκη.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών κοπής, σε κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος, στην προκύπτουσα τραχύτητα επιφάνειας και η βελτιστοποίηση αυτών των συνθηκών που θα οδηγήσουν σε καλύτερη ποιότητα κατεργασμένων προϊόντων.

2. Στάθμη των γνώσεων

Οι ραγδαίες μεταβολές στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον, όπως η παγκοσμιοποίηση και ο ανταγωνισμός, σε συνδυασμό με τη σύγχρονη εποχή της υψηλής τεχνολογίας, οδήγησαν σε μία πιο ενδεδειγμένη μελέτη της διαδικασίας της παραγωγής. Αντικειμενικός σκοπός της, ήταν η βελτιστοποίηση της, ελαχιστοποιώντας το κόστος και αυξάνοντας το κέρδος.

Η πρώτη καινοτομία που εμφανίστηκε, και έγινε ευρέως αποδεκτή, είναι η έννοια της γραμμής παραγωγής, η οποία ταξινομεί τους σταθμούς εργασίας σε μια διαδοχική σειρά, έτσι ώστε το τελικό προϊόν να παραχθεί πιο γρήγορα. Η γραμμή παραγωγής αναπτύχθηκε από την εταιρεία Ford, μεταξύ 1908 με 1915, και ήταν μια άμεσα εφαρμόσιμη μέθοδος για την τεχνονομία της τότε εποχής.

Η δεύτερη μεγάλη καινοτομία, σταθμός στην ιστορία, είναι η ανάπτυξη των συστημάτων σχεδιομελέτης και παραγωγής με χρήση Η/Υ, CAD/CAM, η οποία ξεκίνησε τη δεκαετία του '60, κυρίως από τους μεγάλους χρήστες στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροπορική βιομηχανία. Κύριος στόχος αυτών των συστημάτων ήταν η μοντελοποίηση επιφανειών ελεύθερης μορφής, και στη συνέχεια, η κατεργασία τους σε εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης. Το μεγάλο πλεονέκτημα της είναι ότι συμβάλει στην αύξηση της παραγωγικότητας και την αύξηση της ποιότητας.

Όλες αυτές οι καινοτομίες, που έχουν αντικειμενικό σκοπό τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας από τη στιγμή της σύλληψης μέχρι και την απόσυρση του προϊόντος, επέφεραν την ανάγκη για πρόβλεψη σε όλα τα επίπεδα της παραγωγικής διαδικασίας.

2.1. Μελέτες για πρόβλεψη τραχύτητας σε κατεργασίες κοπής

Η πρόβλεψη ήταν επιτακτική ανάγκη, φυσικά, και στις κατεργασίες κοπής, αφού η τραχύτητα της τελικής επιφάνειας επηρεάζεται από τις προεπιλεγμένες συνθήκες κοπής, δηλαδή το είδος λιπαντικού, τον τύπο υλικού και τον τύπο κοπτικού εργαλείου, καθώς και από αστάθμητους παράγοντες, οι οποίοι δεν είναι ικανοί να ελεγχθούν, όπως οι ταλαντώσεις και η ακρίβεια του κέντρου κατεργασίας.

Στο πλαίσιο αυτό, έγιναν πολλές μελέτες για την πρόβλεψη της τραχύτητας της προκύπτουσας επιφάνειας σε όλες τις κατεργασίες κοπής, που αποτελούν τις πιο βασικές και συνήθεις κατεργασίες στις μηχανολογικές κατασκευές. Οι μελέτες αυτές κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τους P. G. Benardos και G.-C. Vosniakos [1] σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, βάση της προσέγγισης του προβλήματος, ως εξής:

1. Προσεγγίσεις, οι οποίες βασίστηκαν στη θεωρία της κατεργασίας για να αναπτυχθούν αναλυτικά μοντέλα και/ή αλγόριθμοι, που να αναπαριστούν την κατεργασμένη επιφάνεια.
2. Προσεγγίσεις, οι οποίες εξετάζουν την επίδραση διαφόρων παραγόντων μέσω της πραγματοποίησης πειραμάτων και ανάλυσης των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.
3. Προσεγγίσεις, που χρησιμοποιούν ειδικά σχεδιασμένα πειράματα.
4. Προσεγγίσεις με χρήση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης.

2.1.1. Προσεγγίσεις, οι οποίες βασίστηκαν στη θεωρία της κατεργασίας

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις προσεγγίσεις, οι οποίες δίνουν έμφαση σε συγκεκριμένα σημεία από τη θεωρία της κατεργασίας, όπως την κινηματική, τις ιδιότητες κοπτικού εργαλείου, το σχηματισμό αποβλήτου κ.λπ.. Έπειτα, επιστρατεύονται οι μέθοδοι της σχεδιομελέτης με χρήση Η/Υ (CAD) για να επιτευχθεί ο στόχος, που είναι η κατασκευή ενός μοντέλου, το οποίο θα είναι ικανό να προσομοιώνει την κατασκευή του προφίλ της

κατεργασμένης επιφάνειας, και συνεπώς, την οπτικοποίηση της τοπομορφίας και την τραχύτητα της προκύπτουσας επιφάνειας.

Εν κατακλείδι, για αυτήν την κατηγορία, η προσομοίωση γίνεται σε σχέση με την κινηματική της κατεργασίας και τις ιδιότητες του κοπτικού εργαλείου. Επιπρόσθετες παράμετροι, όπως οι δονήσεις της μηχανής, εισάγονται σε μια προσπάθεια πιο ρεαλιστικής προσομοίωσης και άρα, εξαγωγής πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

2.1.2. Προσέγγιση βάση πειραματικής διερεύνησης

Η πειραματική διερεύνηση μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο προφανής μέθοδος: εκτελούνται πειράματα με μεταβλητές τους παράγοντες που θεωρούνται ότι είναι οι πιο σημαντικοί και τα εξαγόμενα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για να διερευνηθεί η επίδραση του κάθε παράγοντα, καθώς και ο μηχανισμός επίδρασης του, στο χαρακτηριστικό ποιότητας, που μελετάται. Η ανάλυση μέσω των εμπειρικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών συχνά χρησιμοποιείται για την κατασκευή μοντέλων, με βάση τα πειραματικά δεδομένα. Η διαίσθηση του ερευνητή και η βαθιά γνώση του αντικειμένου παίζει μεγάλο ρόλο σε αυτή την προσέγγιση, αλλά εκτός από αυτά, χρειάζεται και μεγάλη κατανόηση του φαινομένου, που μελετάται, έτσι ώστε, το πείραμα να αποδώσει αποτελέσματα με νόημα. Η πειραματική προσέγγιση κυρίως υιοθετείται στην περίπτωση, που δεν υπάρχουν αναλυτικές σχέσεις μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος διαφόρων παραγόντων.

Αυτή είναι η πιο συμβατή προσέγγιση, που υιοθετήθηκε. Η στρατηγική ‘πείραμα – παρατήρηση – συμπέρασμα’ είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της οποιασδήποτε επιστημονικής έρευνας. Το πλεονέκτημα της έγκειται στο ότι είναι εύκολα εφαρμόσιμη. Εξαρτάται από το επίπεδο κατανόησης των εμπλεκόμενων φαινομένων, αλλά ταυτόχρονα, είναι δυνατό να αποδώσει πολύ καλά αποτελέσματα. Από την άλλη μεριά όμως, τα εξαγόμενα συμπεράσματα έχουν πολύ μικρή ή και καθόλου εφαρμογή. Πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι είναι πολύ εύκολο για ένα πείραμα να μην παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα, όχι μόνο λόγω των πολλών παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όσον αφορά το μελετούμενο φαινόμενο, αλλά και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

2.1.3. Προσέγγιση με ειδικά σχεδιασμένα πειράματα

Ο λόγος, που τα ειδικά σχεδιασμένα πειράματα αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία από την προηγούμενη, είναι γιατί υιοθετείται ένας συστηματικός τρόπος, όσον αφορά τον σχεδιασμό, τη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων, με μια σχεδόν βέλτιστη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων μέσων. Οι πιο δημοφιλείς μέθοδοι, στην κατηγορία αυτή, είναι η ‘μεθοδολογία της αντίδρασης της επιφάνειας’ (response surface methodology, RSM) και η ‘τεχνική του Taguchi για τον σχεδιασμό πειραμάτων’ (Taguchi’s Design of Experiments), σχετικά με το πρόβλημα της πρόβλεψης της τραχύτητας.

Αν και, ο κοινός στόχος των δυο μεθοδολογιών διερεύνησης, είναι να οργανώσει την πειραματική διαδικασία και τα χρήσιμα δεδομένα, η κάθε μία ακολουθεί ένα διαφορετικό μονοπάτι. Η RSM είναι κυρίως μια διαδικασία πρότυπης διατύπωσης, που χρησιμοποιείται για να εξεταστεί το πώς οι σημαντικές μεταβλητές επηρεάζουν την αντίδραση του πειράματος και τη στατιστική σημαντικότητα τους. Καταλήγει στη δημιουργία 1^{ης} και 2^{ης} τάξης πολυωνυμικών μοντέλων, τα οποία εμπεριέχουν τις μεταβλητές, που εξετάζονται. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν περιγραφικά διαγράμματα, τα οποία χρησιμοποιούνται πιο πρακτικά για την εξαγωγή συμπερασμάτων, σε σχέση με τις πολυωνυμικές συναρτήσεις. Από την άλλη μεριά, η τεχνική του Taguchi για τον σχεδιασμό πειραμάτων είναι μια διαδικασία η οποία εστιάζεται περισσότερο στην επίδραση μιας συγκεκριμένης μεταβλητής κάθε φορά, για να προσδιορίσει τη σημαντικότητα της κάθε μεταβλητής. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της γενικότητας και του ισχυρού στατιστικού υπόβαθρου, συγκεκριμένες στοιχειώδεις εργασίες των μεθοδολογιών, απομονώνονται και να εφαρμόζονται σε ένα μεγάλο εύρος από μηχανολογικά προβλήματα, όπου το μέγεθος του ερευνητικού φάσματος πρέπει να μειωθεί.

2.1.4. Προσεγγίσεις με χρήση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης

Η υλοποίηση της προσέγγισης σε μηχανολογικά προβλήματα, με τεχνητή νοημοσύνη, γίνεται κυρίως με τη χρήση μοντέλων τεχνικών νευρωνικών δικτύων, γενετικών αλγορίθμων, συγκεχυμένης λογικής και έμπειρων συστημάτων. Η υλοποίηση προσομοιώνει το τρόπο με τον οποίο τα ανθρώπινα όντα επεξεργάζονται τις πληροφορίες και παίρνουν αποφάσεις. Στο πρόβλημα της πρόβλεψης της τραχύτητας, οι δημοσιευμένες μελέτες στηρίζονται κυρίως στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και γενετικούς αλγορίθμους.

Παρόλο που, αυτές οι μεθοδολογίες αναπτύχθηκαν προ δεκαετιών, η πρόσφατη αλματώδης πρόοδος στο πεδίο των αλγορίθμων, σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση της υπολογιστικής δύναμης των υπολογιστών, αναζωογόνησε το ενδιαφέρον των ερευνητών. Τα πολύ καλά αποτελέσματα, που παράγουν οι μεθοδολογίες αυτές, ταυτόχρονα προσφέρουν την πιθανότητα για ζωντανή παρακολούθηση ή και έλεγχο της παραγωγής.

2.2. **Μελέτες για βελτιστοποίηση της παραγωγής**

Εκτός από την ανάγκη για πρόβλεψη της τραχύτητας της τελικής επιφάνειας, που βρίσκει εφαρμογή στο στάδιο της αποπεράτωσης, επιτακτική ανάγκη σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον είναι και η πρόβλεψη σε όλα τα επίπεδα της κατεργασίας κοπής. Άρα, η επιλογή των συνθηκών κοπής από το αρχικό στάδιο της κατεργασίας κοπής, δηλαδή το ξεχόνδρισμα μέχρι και την αποπεράτωση, έχουν επιφέρει πληθώρα ερευνών. Ταυτόχρονα, έχουν ληφθεί υπόψη οι τεχνολογικοί περιορισμοί, όπως η αντοχή του κοπτικού εργαλείου, η μεταβολή της γεωμετρίας των κοπτικών αιχμών, το ποτέ πρέπει να αλλαχτούν και πολλά άλλα. Αντικειμενικός σκοπός τους είναι πάντα η ελαχιστοποίηση του κόστους και η αύξηση της ποιότητας το συντομότερο δυνατό.

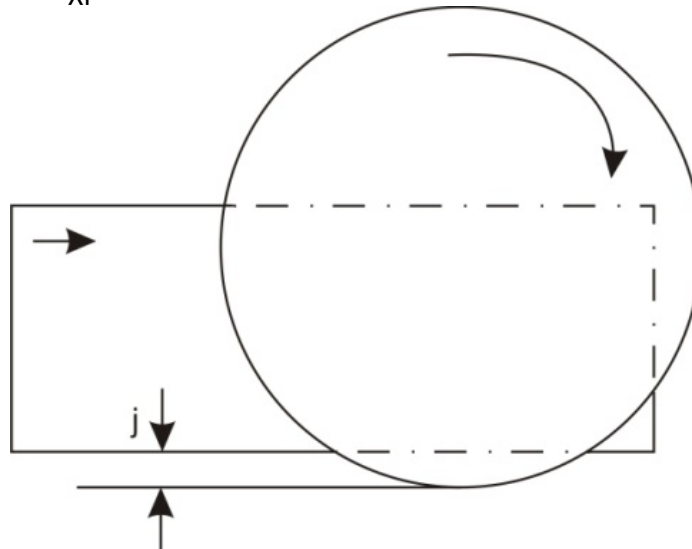
2.2.1. Ελαχιστοποίηση κόστους

Οι M.S. Shunmugam, S.V. Bhaskara Reddy και T.T. Narendran [2] μελέτησαν το κρίσιμο στάδιο στο σύστημα της οργάνωσης παραγωγής με χρήση H/Y (CAPP), το οποίο είναι η επιλογή των παραμέτρων κοπής, οι οποίες οδηγούν σε βέλτιστα αποτελέσματα, με χρήση γενετικού αλγορίθμου. Στη συγκεκριμένη έρευνα, μελετήθηκε η κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος, δηλαδή οι παράμετροι κοπής, όπως ο αριθμός περασμάτων, το βάθος κοπής σε κάθε πέρασμα, η ταχύτητα περιστροφής και πρόωσης, που εξάγονται με τη χρήση ενός γενετικού αλγορίθμου, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος παραγωγής. Ταυτόχρονα, ελήφθησαν υπόψη οι τεχνολογικοί περιορισμοί, όπως η επιτρεπόμενη ταχύτητα περιστροφής και πρόωσης, η διαστατική ακρίβεια, η τελική τραχύτητα επιφάνειας, η φθορά των κοπτικών αιχμών και η χωρητικότητα της μηχανής κατεργασίας.

Την επίδραση του αριθμού των κοπτικών πλακιδίων για την αξιολόγηση της ζωής του κοπτικού εργαλείου, σε κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος ατσάλιου, μελέτησαν οι Richetti, Machado, Da Silva, Ezugwu και Bonney [3]. Οι δοκιμασίες για τη ζωή του κοπτικού υιοθετούνται πολύ συχνά για να ελεγχθεί προς επαλήθευση η συμπεριφορά ενός ή περισσότερων ένθετων κοπτικών πλακιδίων στη μανέλα συγκράτησης, για να βελτιστοποιηθεί η παράγωγή και να ελαχιστοποιηθεί το κόστος. Στις κατεργασίες φραιζαρίσματος, οι δοκιμασίες αυτές είναι πολύ ακριβείς, γιατί απατούν πολλά κοπτικά εργαλεία και υλικό για να επιτευχθεί κάποιο αξιόπιστο κριτήριο για την απόρριψη των ένθετων κοπτικών πλακιδίων. Στην πραγματικότητα, αυτές οι δοκιμασίες, γίνονται με μια κοπτική αιχμή για ελαχιστοποίηση του κόστους. Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι να διερευνήσει την επίδραση του αριθμού των κοπτικών αιχμών, που χρησιμοποιούνται σε κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος, και το πώς σχετίζονται με τη διάρκεια της ζωής του κοπτικού υπό συγκεκριμένες συνθήκες κοπής.

Οι Diniz και Filho [4] χρησιμοποίησαν τη σχετική θέση του κοπτικού και του τεμαχίου προς κοπή για να μελετήσουν την επίδραση της στη διάρκεια ζωής, τη φθορά του κοπτικού εργαλείου και την τραχύτητα της επιφάνειας σε κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος

επίπεδων επιφανειών. Για να επιτευχθεί ο στόχος, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από πειράματα με διαφορετική σχετική θέση του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου προς κοπή. Η φθορά στο κοπτικό και η τραχύτητα του τεμαχίου μετρούνταν σταδιακά καθώς περνούσε η ώρα κοπής. Τα εργαλεία φωτογραφίζονταν στα διαφορετικά στάδια της ζωής τους. Το κύριο συμπέρασμα, στη συγκεκριμένη μελέτη, είναι ότι καθώς αυξάνεται η παράμετρος j , σχήμα 2.1, η διάρκεια ζωής του κοπτικού μειώνεται. Η τραχύτητα της επιφάνειας δεν επηρεάζεται από τη διαφοροποίηση της σχετικής θέσης και η αύξηση της δε σχετίζεται με την αύξηση της φθοράς των κοπτικών αιχμών.

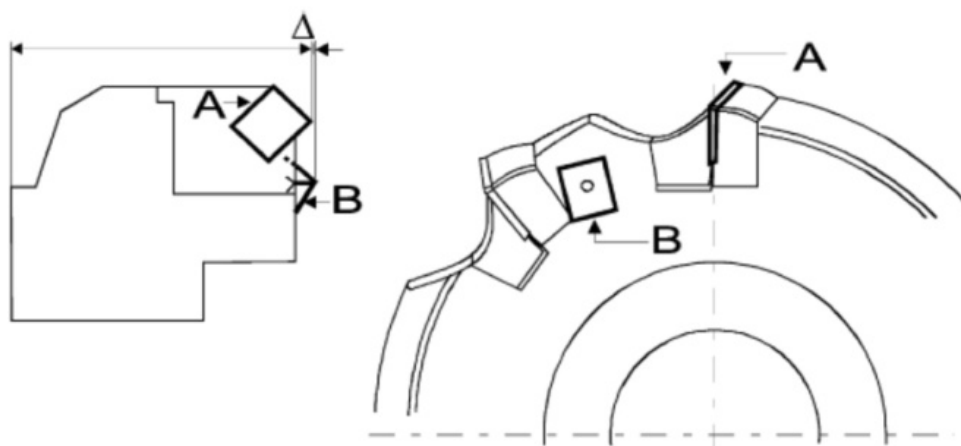


Σχήμα 2.1: Η παράμετρος j μετρά την απόσταση μεταξύ του τέλους της διαμέτρου του κοπτικού και της αρχής του τεμαχίου

2.2.2. Αύξηση της ποιότητας

Η γνώση του μεγέθους, ο προσανατολισμός και το που εδράζονται οι δυνάμεις κοπής είναι πολύ σημαντική για τους κατασκευαστές των κοπτικών εργαλείων και τους χειριστές των μηχανών κοπής. Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επιδρούν στην κατανομή των δυνάμεων στην κατεργασία φραιζαρίσματος. Ο Heikkala [5] περιγράφει μια εύκολη μέθοδο, που προσδιορίζει μαθηματικά τις φορτίσεις, που δέχεται το κοπτικό εργαλείο κατά την κατεργασία, όταν είναι γνωστές οι συνθήκες κοπής. Στη συνέχεια, γίνονται πειράματα με διαφορετικά κοπτικά εργαλεία και υλικά, στα οποία μετρήθηκαν οι δυνάμεις. Συγκρίνοντάς τις με αυτές του μαθηματικού μοντέλου έρχονται σε συμφωνία.

Οι W.-Y.Lee, K.-W.Kim και H.-C.Sin [6] εισηγήθηκαν και κατασκεύασαν ένα καινούριου τύπου κοπτικό για κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος, με σκοπό να βελτιώσουν τη δυναμική συμπεριφορά των ήδη υπαρχόντων. Το προτεινόμενο κοπτικό αποτελείται από διπλά ένθετα πλακίδια, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2, και είναι σχεδιασμένο για να έχει καλύτερη σταθερότητα, κόντρα στις δονήσεις που δέχεται, για να μειώνει την πιθανότητα της απότομης φθοράς και θραύσματος. Πραγματοποιούνται πειράματα κοπής με δονήσεις, ανάμεσα στο συμβατικό κοπτικό εργαλείο και το προτεινόμενο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ότι το πλάτος των δονήσεων στο πεδίο του χρόνου και η μεγαλύτερη τιμή του φάσματος δονήσεων στο πεδίο συχνότητας είναι αξιοσημείωτα χαμηλότερα για το προτεινόμενο κοπτικό εργαλείο. Πρόσθετα, εξετάστηκε μέσω πειραμάτων δονήσεων, η εγκυρότητα ενός δυναμικού μοντέλου κοπής, το οποίο προβλέπει αποτελεσματικά τις δυνάμεις κοπής ανάμεσα στη μηχανή, το κοπτικό εργαλείο και το τεμάχιο.



Σχήμα 2.2: Διάταξη προτεινόμενου κοπτικού

Η βελτιστοποίηση της ταχύτητας προώσεως είναι πολύ σημαντική γιατί προσφέρει μεγάλη ακρίβεια και αποτελεσματικότερη κατεργασία. Η τραχύτητα της επιφάνειας επηρεάζεται από την ταχύτητα προώσεως και το σφάλμα τοποθέτησης των πλακιδίων στη μανέλα συγκράτησης (run-out error). Οι Dae Kyun Baek, Tae Jo Ko και Hee Sool Kim [7] μελέτησαν την επίδραση του σφάλματος τοποθέτησης των κοπτικών πλακιδίων και τη μεταβλητότητα της ταχύτητας προώσεως στην τραχύτητα της επιφάνειας. Έπειτα, ανέλυσαν τη διαστατική ακρίβεια της μεθόδου, σε κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πρόβλεψης της τραχύτητας, το οποίο χρησιμοποιεί την ταχύτητα προώσεως και τη γεωμετρία των κοπτικών αιχμών.

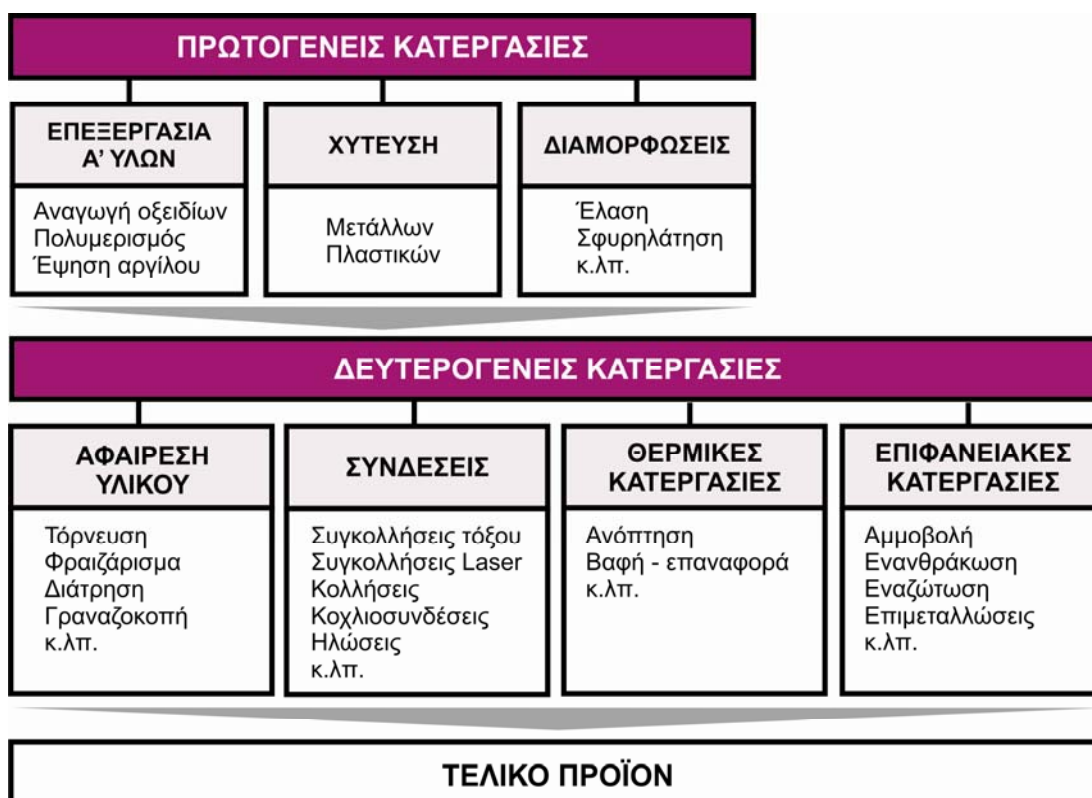
Αξίζει να σημειωθεί, ότι το συγκεκριμένο μοντέλο προσαρμόστηκε κατάλληλα στο πρόβλημα, λόγω του ότι δε γινόταν να εφαρμοστεί κατευθείαν, αφού στην πραγματικότητα, υπάρχει το σφάλμα τοποθέτησης των κοπτικών πλακιδίων, τα οποία δε γίνεται να απαλειφθούν. Η αξιοπιστία του προκύπτοντος μοντέλου επικυρώθηκε μέσω πραγματικών πειραμάτων. Από τις εκτιμώμενες τιμές τραχύτητας επιφάνειας, η βέλτιστη ταχύτητα προώσεως, η οποία δίνει τη μεγαλύτερη αφαίρεση υλικού στην ίδια τραχύτητα επιφάνειας, είναι ικανή να βρεθεί.

3. Τραχύτητα και φραιζάρισμα

3.1. Τραχύτητα

Η πραγματική επιφάνεια παρουσιάζει, λόγω του τρόπου κατασκευής της, αποκλείσεις από τη γεωμετρικά ιδανική επιφάνεια. Η τραχύτητα είναι ένα μέτρο, που περιγράφει την επιπεδότητα μιας επιφάνειας και περιγράφεται από τις κάθετες αποκλείσεις από τη θεωρητική επίπεδη επιφάνεια ή μία μέση γραμμή. Αν αυτές οι αποκλείσεις είναι μεγάλες, τότε η επιφάνεια είναι τραχιά, εάν είναι μικρές, τότε η επιφάνεια είναι λεία.

Τα διάφορα στάδια παραγωγής των εξαρτημάτων, που χρησιμοποιούνται στις μηχανολογικές εφαρμογές, χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, στις πρωτογενείς κατεργασίες και τις δευτερογενείς κατεργασίες, όπως φαίνονται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Πρωτογενείς και δευτερογενείς κατεργασίες μαζί με τις υποκατηγορίες τους, όλες συνιστούν τις βασικές κατεργασίες διαμόρφωσης

Συνήθως, η τραχύτητα είναι ανεπιθύμητη αλλά είναι πολύ δύσκολο και δαπανηρό να ελεγχθεί στη διαδικασία παραγωγής λόγω πολλών παραγόντων (αποκλείσεις στα όργανα μέτρησης, ακρίβεια μηχανημάτων κοπής, ανθρώπινο σφάλμα, γραμμή παραγωγής κτλ.), που επηρεάζουν το τελικό προϊόν. Μειώνοντας την τραχύτητα σε μια επιφάνεια, το κόστος αυξάνεται εκθετικά.

Οι παράγοντες, που επηρεάζουν την τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας, σε διαφορετικό βαθμό όμως, ο κάθε ένας, είναι συνοπτικά οι εξής:

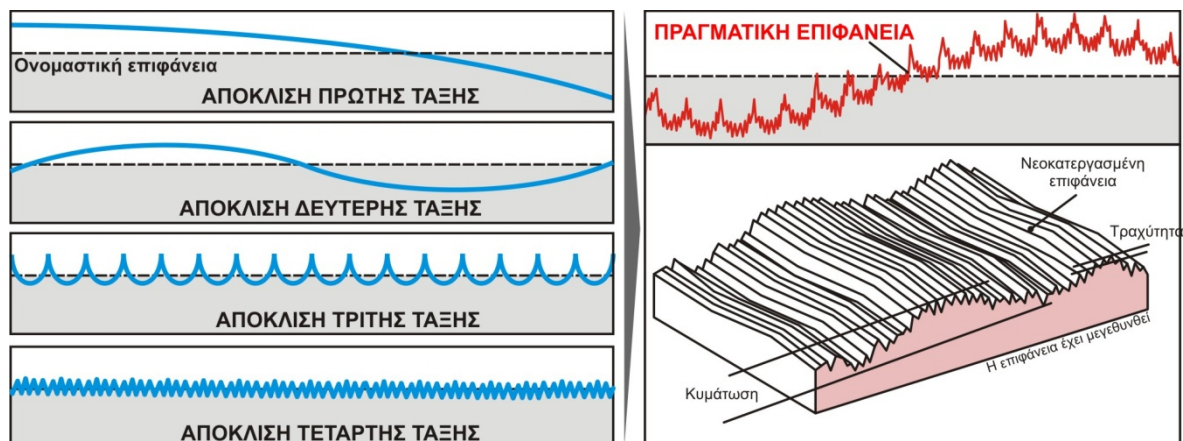
1. Η κινηματική της κατεργασίας (σχετική κίνηση εργαλείου – τεμαχίου).
2. Το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
3. Η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, η τραχύτητα των κοπτικών επιφανειών του και η φθορά.
4. Οι συνθήκες κατεργασίας (τραχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
5. Το υγρό κοπής, εάν χρησιμοποιείται.

6. Η κατάσταση της μηχανής, όσον αφορά την επιτυγχανόμενη ακρίβεια.
7. Οι ταλαντώσεις του συστήματος (κατεργασία – εργαλειομηχανή – τεμάχιο, εργαλείο).

Η τραχύτητα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της αλληλεπίδρασης ενός πραγματικού εξαρτήματος με το περιβάλλον του. Οι επιφάνειες, λόγω της τραχύτητας, συνήθως φθείρονται πιο γρήγορα, γιατί έχουν μεγαλύτερο συντελεστή τριβής από ότι οι πιο λείες επιφάνειες. Επίσης, η τραχύτητα αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο στην πρόβλεψη της απόδοσης ενός μηχανικού εξαρτήματος, καθώς οι αποκλίσεις από την πραγματική επιφάνεια είναι δυνατό να δημιουργήσουν κρατήρες, που υπάρχει πιθανότητα να εξελιχτούν σε ρωγμές και τέλος αστοχία.

Οι αποκλίσεις, που παρουσιάζει η κατεργασμένη επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2, κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Αποκλίσεις 1^{ης} τάξεως**, που αποτελούν τα πρωτογεωμετρικά σφάλματα από την ονομαστική επιφάνεια (π.χ. αποκλίσεις από επιπεδότητα, παραλληλότητα κλπ.). Ονομάζονται και αποκλίσεις μορφής. Οφείλονται σε σφάλματα στους ολισθητήρες της εργαλειομηχανής ή του κομματιού, σε κακή στήριξη του κομματιού ή του εργαλείου κλπ.
- **Αποκλίσεις 2^{ης} τάξεως**, που αναφέρονται σε κυματώσεις της επιφάνειας με μεγάλη σχετικά περίοδο, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε εκκεντρότητα του κομματιού ή του εργαλείου, σε ταλαντώσεις κλπ.
- **Αποκλίσεις 3^{ης} τάξεως**, που είναι ανωμαλίες της επιφάνειας υπό μορφή αυλακώσεων, που οφείλονται σε ατέλειες στη μορφή των εργαλείων και στην κινηματική των κατεργασιών.
- **Αποκλίσεις 4^{ης} τάξεως**, που είναι μικρογεωμετρικές ανωμαλίες της επιφάνειας, οι οποίες οφείλονται σε ατέλειες στη τρύχιση του εργαλείου, στη φθορά του κ.α.
- **Αποκλίσεις 5^{ης} τάξεως και ανώτερης τάξεως**, που είναι ανωμαλίες της επιφάνειας, μικρογεωμετρικής μορφής, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε χημικές επιδράσεις, σε μεταβολές στον κρυσταλλικό ιστό του μετάλλου και σε άλλες αιτίες.



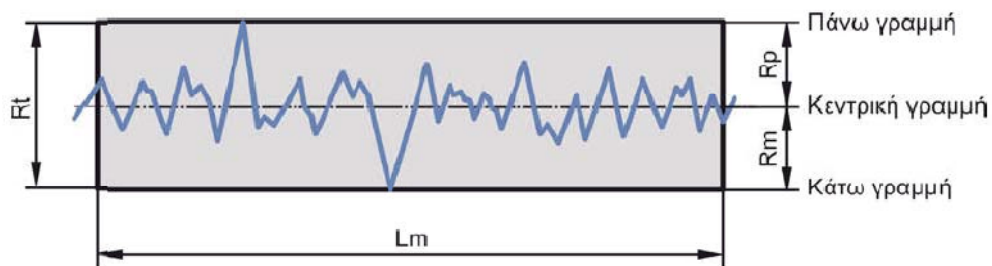
Σχήμα 3.2: Αποκλίσεις κατεργασμένης επιφάνειας από τη θεωρητική της μορφή

Η τραχύτητα των κατεργαζόμενων επιφανειών, επιδρά:

- Στις συνθήκες επαφής ανάμεσα σε συνεργαζόμενες επιφάνειες (συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικά λιπάνσεως, φθοράς κλπ.).
- Στην αντοχή σε κόπωση των μετάλλων.

- Στην κατάσταση ροής των ρευστών τοιχωμάτων.
- Στους συντελεστές μετάδοσης της θερμότητας.
- Στην αντίσταση στη διάβρωση.
- Στην εμφάνιση.

Όπως αναφέρθηκε πιο πριν, η τραχύτητα είναι ένα μέτρο που περιγράφει την επιπεδότητα μιας επιφάνειας και περιγράφεται από τις κάθετες αποκλίσεις από τη θεωρητική επίπεδη επιφάνεια ή μία μέση γραμμή. Ο προσδιορισμός της θέσεως της μέσης γραμμής είναι πολύ δύσκολος. Πρακτικά, χρησιμοποιείται η καλούμενη κεντρική γραμμή, η οποία ορίζεται ως η παράλληλη γραμμή προς τη γενική κατεύθυνση του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας έτσι, ώστε το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής πάνω και κάτω της γραμμής αυτής να είναι ίση, εντός του καθορισμένου μήκους L_m , καλούμενου δειγματοληπτικού μήκους. Η κεντρική γραμμή δίνεται μηχανικά με τη χρησιμοποίηση ειδικού πέλδου.

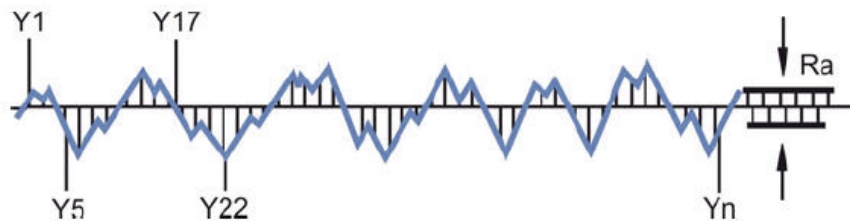


Σχήμα 3.3: Χαρακτηριστικά στοιχεία τραχύτητας στο σύστημα κεντρικής γραμμής

Τα μετρούμενα μεγέθη τραχύτητας προσδιορίζονται από το μετρούμενο προφίλ τραχύτητας, εκφράζονται σε μm και είναι τα πιο κάτω:

- **Το μέσο ύψος της τραχύτητας R_a** , που είναι αριθμητικός μέσος όρος των αποκλίσεων όλων των σημείων του πραγματικού περιγράμματος από την κεντρική γραμμή, μέσα στο καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος (όλες οι αποκλίσεις παίρνονται θετικές).

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i|$$



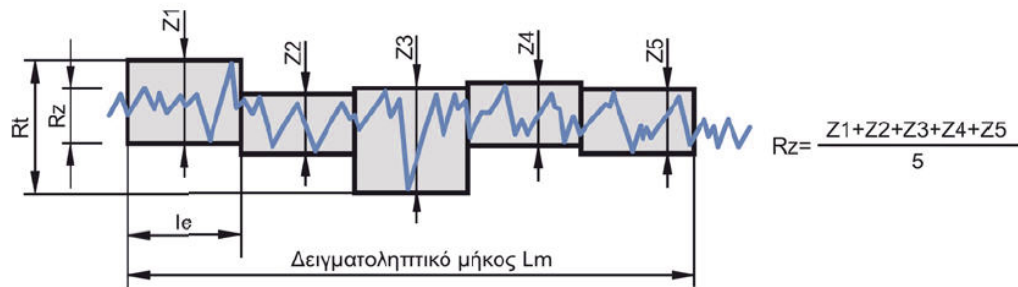
Σχήμα 3.4: Μέσο ύψος της τραχύτητας R_a .

- **Το μέγιστο βάθος της τραχύτητας R_{max} ή R_t** , το οποίο ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ του κατώτατου και του υψηλότερου σημείου στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας, μέσα πάλι στο καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος.

$$R_{max} = \max_i\{Y_i\} - \min_i\{Y_i\}$$

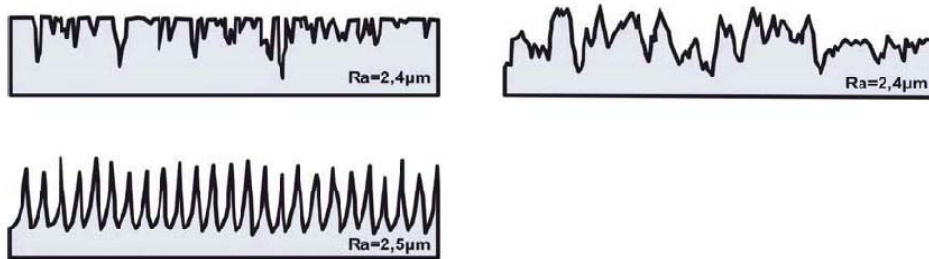
- **Το μέσο βάθος R_z της τραχύτητας** είναι η διάφορα μεταξύ του συνόλου των πέντε υψηλότερων κορυφών με το σύνολο των πέντε βαθύτερων ανωμαλιών,

από μια γραμμή αναφοράς παράλληλη προς την κεντρική γραμμή του πραγματικού περιγράμματος.



Σχήμα 3.5: Ύψος Rz της τραχύτητας

Κάτι που πρέπει να ξεκαθαριστεί εδώ, όσον αφορά την τιμή της μετρούμενης τραχύτητας, είναι ότι δύο επιφάνειες με ίδια τιμή τραχύτητας δε σημαίνει ότι έχουν και το ίδιο προφίλ επιφάνειας. Στο σχήμα 3.6 φαίνονται τρεις επιφάνειες με ίδια σχεδόν τιμή της R_a .



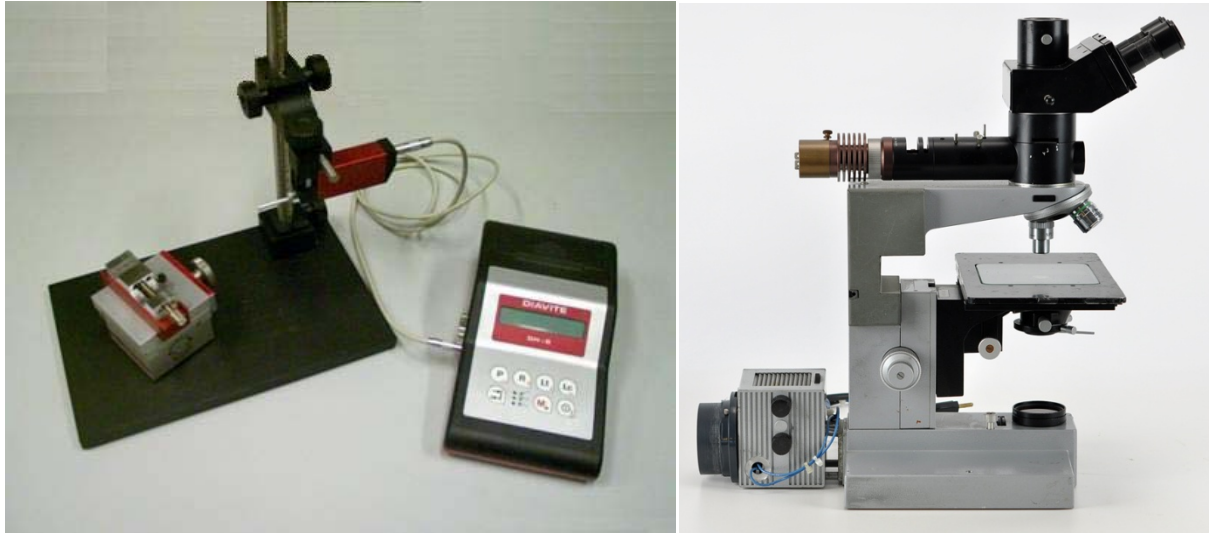
Σχήμα 3.6: Επιφάνειες με σχεδόν ίδια τιμή τραχύτητας R_a

3.1.1. Όργανα μέτρησης τραχύτητας

Ένας άμεσος τρόπος μέτρησης της τραχύτητας είναι η σύγκριση με το νύχι του δακτύλου, μεταξύ ενός πλακιδίου, σαν αισθητήρας, και ενός δείγματος συγκρίσεως. Με ανάλογη πείρα είναι δυνατό να εξακριβωθούν διάφορες τραχύτητες της τάξεως των 2 μm . Για πιο ακριβείς μετρήσεις χρησιμοποιούνται τα όργανα τραχυμέτρησης, τα οποία ταξινομούνται σε δυο ομάδες :

- Στη πρώτη ομάδα (όργανα μέτρησης) ανήκουν όργανα, τα οποία επιτρέπουν την ποσοτική ανάλυση της τραχύτητας. Τα όργανα, δηλαδή αυτά, μετρούν αριθμητικώς κάποιο ή κάποια μεγέθη της τραχύτητας ή δίνουν και το πραγματικό καταγράφημα της τραχύτητας υπό μεγάλες σχετικά μεγεθύνσεις.
- Στη δεύτερη ομάδα (όργανα σύγκρισης) περιλαμβάνονται όργανα, τα οποία παρουσιάζουν εικόνα της επιφάνειας σε μεγέθυνση, επιτρέποντας μια ποιοτική ανάλυση της επιφάνειας ή συγκρίνουν την προς μελέτη επιφάνεια με άλλη πρότυπη προς αυτή, χωρίς όμως σε καμιά περίπτωση να δίνουν αριθμητικές μετρήσεις.

Στη πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται τα μηχανικά όργανα, τα μηχανικά-ηλεκτρονικά όργανα, τύπου στυλίσκου και τα οπτικά όργανα. Στη δεύτερη ομάδα περιλαμβάνονται το μικροσκόπιο συγκρίσεως διπλού προσοφθαλμίου LEITZ-WETZLAR και τα μεταλλογραφικά μικροσκόπια.



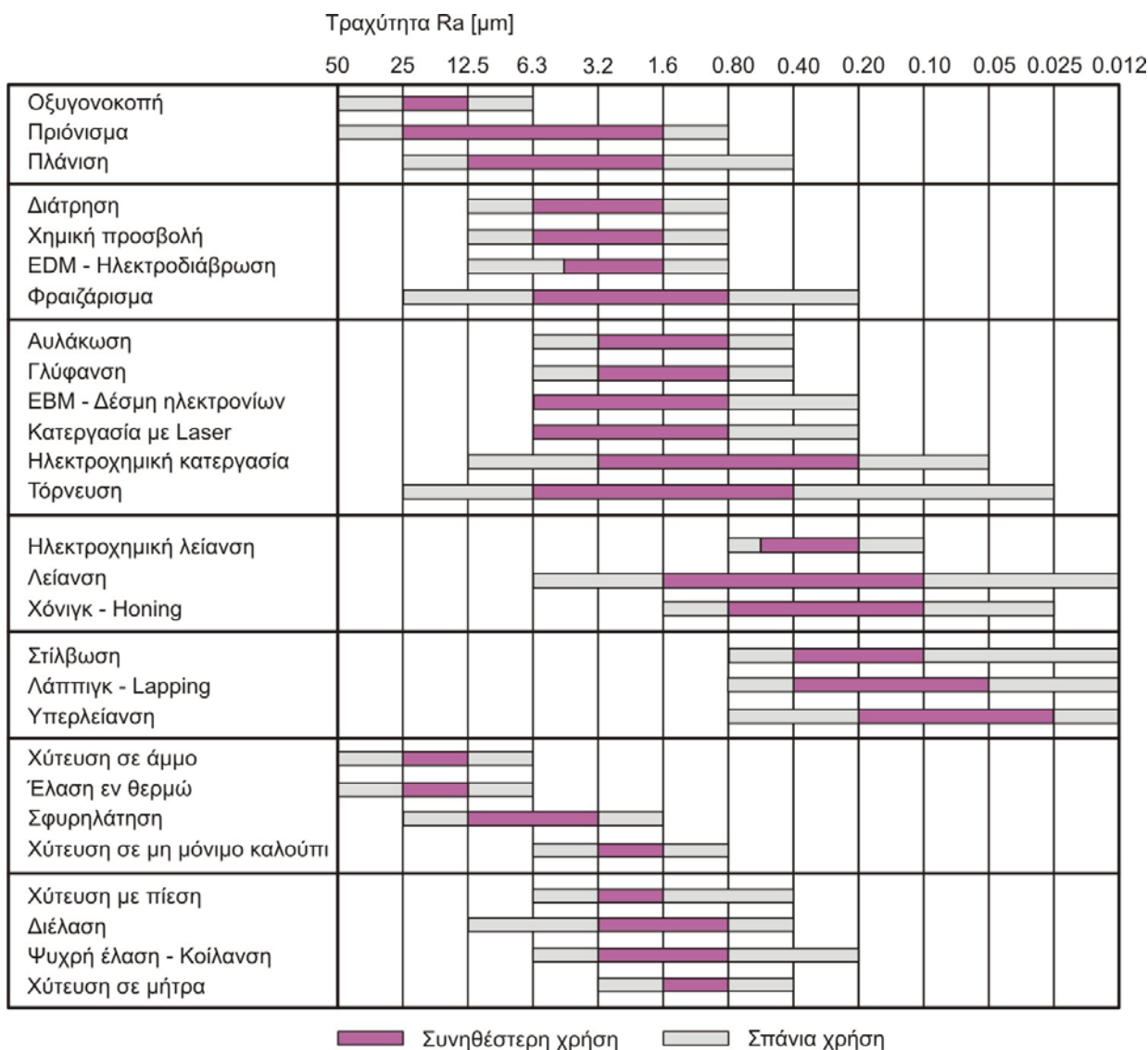
Σχήμα 3.7: Σύγχρονο τραχύμετρο με στυλίσκο DIAVITE DT-100 και μικροσκόπιο συγκρίσεως διπλού προσοφθαλμίου leitz-wetzlar

3.1.2. Η τραχύτητα της επιφάνειας εμφανιζόμενη κατά την κατεργασία.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν, σε διαφορετικό βαθμό ο κάθε ένας, την τραχύτητα κατεργασμένων επιφανειών, είναι συνοπτικά οι εξής:

- Η κινηματική της κατεργασίας (σχετική κίνηση εργαλείου - τεμαχίου).
- Το υλικό του κατεργαζόμενου υλικού.
- Η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, η τραχύτητα των κοπτικών επιφανειών του και η φθορά του.
- Οι συνθήκες κατεργασίας (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
- Το υγρό κοπής, εάν χρησιμοποιείται.
- Η κατάσταση της εργαλειομηχανής, όσον αφορά την επιτυγχανόμενη ακρίβεια, και
- Οι ταλαντώσεις του συστήματος (κατεργασία - εργαλειομηχανή - τεμάχιο, εργαλείο).

Ανάλογα με τη μέθοδο κατεργασίας τα εξαρτήματα παρουσιάζουν συγκεκριμένο εύρος τιμών της τραχύτητας, τα όρια φαίνονται στο σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Τραχύτητα επιφάνειας δημιουργημένη από συνήθεις κατεργασίες

3.2. Φραιζάρισμα

Η κατεργασία του φραιζαρίσματος πραγματοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένες εργαλειομηχανές, οι οποίες ονομάζονται μηχανές σταθερής θέσης με εξωτερική κίνηση, με τις οποίες γίνεται επεξεργασία τεμαχίων στερεού υλικού (π.χ. ξύλο, μέταλλο) για τη δημιουργία διαφόρων προϊόντων. Γνωστότερη, από τους αρχαίους χρόνους εργαλειομηχανή, είναι ο *τόρνος*, ενώ άλλες είναι το δρόπανο, η φρέζα, η πλάνη, η πρέσα κ.ά.

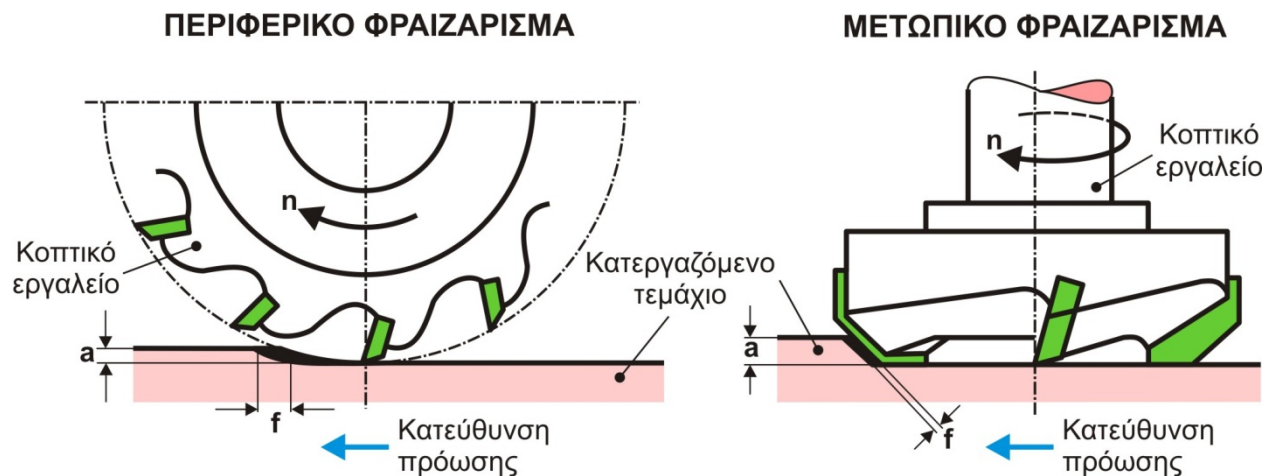
Έχουν διασωθεί γραφικές αποτυπώσεις, που παριστάνουν τεχνικούς, ήδη στη Μεσοποταμία και την αρχαία Αίγυπτο, να χειρίζονται ένα είδος τόρνου, δηλαδή μιας «μηχανής» που περιστρέφει (με τη μυϊκή δύναμη του βοηθού, συνήθως δούλου) το προς επεξεργασία αντικείμενο και ο χειριστής (μάστορας) να επεμβαίνει στη μορφή του αντικειμένου και να το διαμορφώνει.

Οι εργαλειομηχανές σήμερα είναι πλέον ικανές να αντιγράφουν επιφάνειες πολύπλοκες, να κατεργάζονται τεμάχια οσοδήποτε μικρά με μεγάλη ακρίβεια, να εκτελούν εργασίες, που απαιτούν μεγάλο αριθμό κοπτικών εργαλείων, οι αλλαγές των οποίων γίνονται χωρίς την εξωτερική επέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα, καθώς και πολλές άλλες εργασίες με ταχύτητα πολύ μεγαλύτερη από αυτήν των συμβατικών εργαλειομηχανών.

3.2.1. Κατηγορίες φραιζαρίσματος

Οι διαδικασίες φραιζαρίσματος είναι πολλές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η επίδραση των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στην κατεργαζόμενη επιφάνεια, να είναι περίπλοκη. Ωστόσο, υπάρχουν γενικά δυο είδη φραιζαρίσματος :

- Το περιφερικό ή περιφερειακό φραιζάρισμα, η φραιζαρισμένη επιφάνεια δημιουργείται από τα δόντια, που βρίσκονται στην περιφέρεια κοπτικού εργαλείου. Ο άξονας περιστροφής του κοπτικού είναι παράλληλος προς την επεξεργαζόμενη επιφάνεια.
- Το μετωπικό φραιζάρισμα, το κοπτικό τοποθετείται σε άξονα κάθετο προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια. Η φραιζαρισμένη επιφάνεια είναι το αποτέλεσμα κοπής των κοπτικών ακμών, που βρίσκονται στην περιφέρεια και το πρόσωπο της κοπής.



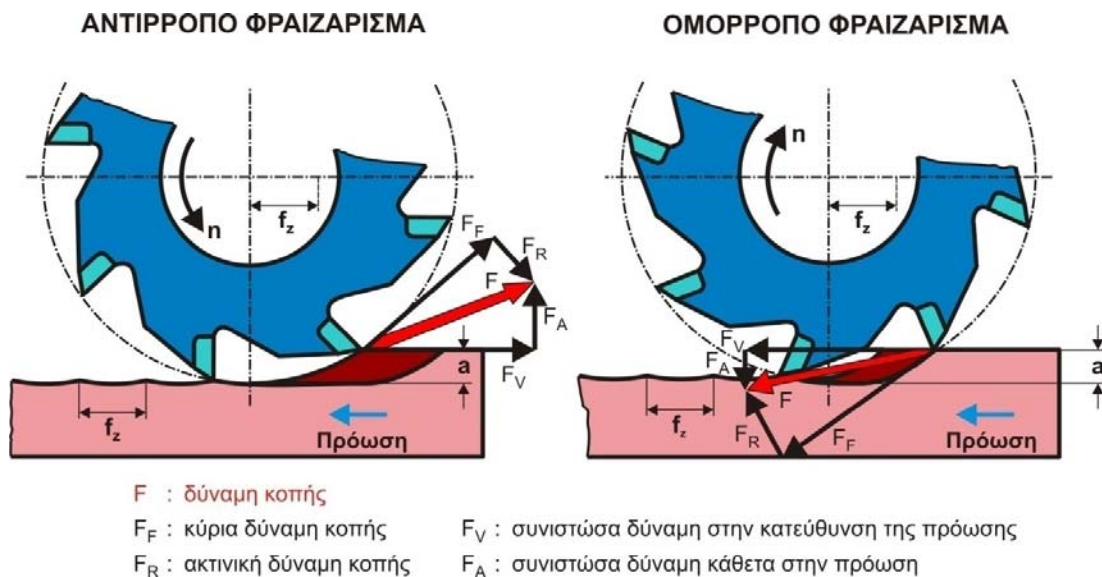
Σχήμα 3.9: Περιφερικό και μετωπικό φραιζάρισμα

Άλλες ειδικές εφαρμογές, όπως είναι το φραιζάρισμα οπών ή και σπειρωμάτων, γραναζιών, είναι κυρίως παραλλαγές των βασικών μεθόδων και η καθεμία είναι εξειδικευμένη σε τέτοιο σημείο, που γενικά η μελέτη επιφάνειας δεν είναι δυνατή.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση του φραιζαρίσματος είναι με τη φορά περιστροφής του κοπτικού εργαλείου και τη μετακίνηση του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Διακρίνονται δυο είδη:

- Αντίρροπο φραιζάρισμα, όταν η διεύθυνση περιστροφής της φραιζας είναι αντίθετη προς τη διεύθυνση της προώσεως του κομματιού, τότε το φραιζάρισμα είναι αντίρροπο, σχήμα 3.10. Το απόβλητο, που σχηματίζεται στην αρχή της κοπής, είναι λεπτό και ελαφρύ, ώστε η φραιζα έχει μια τάση να ολισθαίνει πάνω στο κομμάτι μέχρις ότου ασκηθεί πάνω του κάποια σημαντικότερη πίεση. Στην αρχή, αυτή η ολισθηρότητα, η οποία ακολουθείται από την απότομη κοπή, καθώς το δόντι της φραιζας ολοκληρώνει την κοπή, αφήνει χαρακτηριστικά σημάδια πάνω στις φραιζαρισμένες επιφάνειες.
- Ομόρροπο φραιζάρισμα, όταν η διεύθυνση περιστροφής της φραιζας είναι ίδια προς τη διεύθυνση της προώσεως του κομματιού, τότε το φραιζάρισμα είναι ομόρροπο, σχήμα 3.10. Η πλήρης εμπλοκή του δοντιού, στο είδος αυτό φραιζαρίσματος, είναι ακαριαία. Η ολισθηρότητα, που παρατηρείται στο αντίρροπο φραιζάρισμα, εδώ δεν παρουσιάζεται, προσφέρει καλύτερη ποιότητα επιφάνειας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του ομόρροπου φραιζαρίσματος είναι η κατεύθυνση της δύναμης, που ασκείται από το κοπτικό εργαλείο στο κομμάτι, η οποία έχει διεύθυνση τέτοια, που να τα πιέζει προς το τραπέζι. Το ομόρροπο φραιζάρισμα δε

συνιστάται σε εργαλειομηχανές ελαφριού τύπου ή σε μεγαλύτερες εργαλειομηχανές παλαιάς, όμως τεχνολογίας, οι οποίες δε βρίσκονται σε άριστη κατάσταση ή δεν είναι εξοπλισμένες με κάποιο εξάρτημα μείωσης των διακένων (τζόγων).



Σχήμα 3.10: Αντίρροπο και ομόρροπο φραιζάρισμα

3.2.2. Μετωπικό φραιζάρισμα

Η κατεργασία μετωπικού φραιζαρίσματος χρησιμοποιείται ευρέως από τη βιομηχανία στις μέρες μας, κυρίως σε κατεργασίες εκχόνδρισης και αποπεράτωσης επίπεδων επιφανειών. Στο μετωπικό φραιζάρισμα, το κοπτικό εργαλείο συνιστάται από δυο μέρη, τη μανέλα συγκράτησης και τα ένθετα κοπτικά πλακίδια, που εισάγονται στο προαναφερθέν, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής περισσότερων του ενός και ως συνήθως, έχουν χρυσό χρώμα.

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας από ένθετα πλακίδια, τόσο στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά όσο και στο υλικό που είναι κατασκευασμένα, υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας οποιουδήποτε μετάλλου, από μαλακά μέταλλα, όπως αλουμίνιο, μέχρι και πολύ σκληρά, όπως, ατσάλι.

Μεγάλη ποικιλία υπάρχει και στις μανέλες συγκράτησης, που παρατηρείται διαφοροποίηση στη διάμετρο, από 40mm μέχρι και 400mm. Ως αποτέλεσμα αυτού, διαφοροποιείται και ο αριθμός των εσοχών, όπου εισάγονται τα κοπτικά πλακίδια και έχει ως συνέπεια την επίτευξη μεγάλης προώσεως και ταχύτητας, ακόμη και σε απαιτητικές εργασίες κατεργασίας σκληρών μετάλλων.



Σχήμα 3.11: Κοπτικά εργαλεία μετωπικού φραιζαρίσματος

Τα πλεονεκτήματα του μετωπικού φραιζαρίσματος συγκεντρωτικά είναι:

1. Εξοικονομείται ενέργεια, αυξάνοντας παράλληλα την παραγωγικότητα.
2. Επιτυγχάνεται μέχρι και 50% περισσότερη διάρκεια ζωής του κοπτικού.
3. Η αλλαγή των κοπτικών πλακιδίων είναι πολύ απλή. Ο ένας και μόνο κοχλίας επιτρέπει γρήγορη και ακριβή αλλαγή του κοπτικού πλακιδίου
4. Κατάλληλο για κατεργασίες με μεγάλη ταχύτητα και πρόωση.

4. Εξοπλισμός, συνθήκες και στρατηγική πειραμάτων κατεργασίας

4.1. Εξοπλισμός πειραμάτων

4.1.1. Τριαξονικό κέντρο κατεργασίας HASS MINI MILL

Τα κέντρα κατεργασίας αποτελούν τις πιο κοινές εργαλειομηχανές στη ψηφιακή καθοδήγηση. Τα τυπικά χαρακτηριστικά τους είναι :

- Κατεργάζονται πολύπλευρα τεμάχια με ένα δέσιμο σε τέσσερις ή πέντε πλευρές χρησιμοποιώντας ψηφιακά καθοδηγούμενους άξονες.
- Πραγματοποιούνται όλοι οι τύποι κατεργασιών, όπως η κατεργασία προσώπου, η διάτρηση, η γλύφανση, η κοπή σπειρώματος, όπως ακόμα και η κατεργασία σύνθετων περιγραμμάτων.
- Το απαραίτητο κάθε φορά εργαλείο τοποθετείται στη θέση κοπής με αυτόματο τρόπο. Ο αριθμός των εργαλείων, που αποθηκεύονται είναι συνήθως από 30 έως 120, εξαρτώμενος από τον τύπο και το μέγεθος αποθήκης.
- Υποστηρίζεται από εξαρτήματα για φόρτωση και εκφόρτωση των προς κατεργασία τεμαχίων.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακά καθοδηγούμενο Mini Mill της Haas, σχήμα 4.1, του εργαστηρίου CAM του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης.

Το κέντρο κατεργασίας Mini Mill της Haas, είναι ένα κέντρο κατεργασίας καθέτου τύπου με δυνατότητα κίνησης σε τρεις άξονες XYZ. Ο ελεγκτής είναι HAAS controller συμβατός με FANUC, 32 bit διπλός, ενώ παρέχεται η δυνατότητα γραφικής προσομοίωσης σε ενσωματωμένη οθόνη ή σε εξωτερικό H.Y.. Ο χώρος κατεργασίας της μηχανής είναι περικλειστος και υπάρχει αντλία ψυκτικού υγρού με αυτόματη λειτουργία. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής αυτής φαίνονται παρακάτω.

Διαδρομές αξόνων

Στον άξονα X 406 mm

Στον άξονα Y 305 mm

Στον άξονα Z 254 mm

Διαστάσεις Τράπεζας

Μήκος 914 mm

Πλάτος 305 mm

Μέγιστο βάρος στην τράπεζα 227 kg

Πλάτος αυλακώσεων (τύπου T) 15.875 mm

Απόσταση αυλακώσεων (τύπου T) 110 mm

Αριθμός αυλακώσεων (τύπου T) 3

Ατράκτος

Taper Size #40 Taper

Μέγιστες στροφές 6000 rpm

Μέγιστη Ροπή 45 Nm @ 1200 rpm

Ισχύς κινητήρα ατράκτου 5.59 kw

Ισχύς κινητήριων αξόνων 2.24 kw

Ψύξη Πεπιεσμένου αέρα

Προώσεις

Ταχείες προώσεις 15.2 m/min

Μέγιστη πρόωση κοπής 12.7 m/min

Μύλος Κοπτικών

Χωρητικότητα 10

Μέγιστο βάρος κοπτικού 5.4 kg

Χρόνος αλλαγής κοπτικού 3.6 sec

Ακρίβεια

Τοποθέτησης ($\pm$) 0.0051 mm

Επαναληψιμότητα ($\pm$) 0.0025 mm

Γενικά

Άνοιγμα πόρτας 610 mm

Βάρος 1542 kg

Απαιτήσεις σε αέρα 113 lpm @ 6.9 bar

Απαιτήσεις σε ρεύμα 9 kVA; 208-240 VAC @ 30A 3-phase



Σχήμα 4.1: Haas Mini Mill

Μονάδα ελέγχου

Ένα από τα κεντρικότερα μέρη της μηχανής CNC είναι η μονάδα ελέγχου, σχήμα 4.2, της μηχανής. Αποτελείται από ένα πληκτρολόγιο, την οθόνη και το κουμπί έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 4.2: Μονάδα έλεγχου και πληκτρολόγιο

Το πληκτρολόγιο της μηχανής περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία, που βοηθούν στον προγραμματισμό, την προσομοίωση και την εκτέλεση οποιουδήποτε προγράμματος αριθμητικού ελέγχου. Το πληκτρολόγιο της μηχανής είναι χωρισμένο σε 8 περιοχές, κάθε μια από τις οποίες, εκτελεί διαφορετικές λειτουργίες. Υπάρχει λοιπόν, μια ομάδα με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες και σύμβολα, μια ομάδα με ένα αριθμητικό πληκτρολόγιο, μια ομάδα με πλήκτρα που ελέγχουν τις πληροφορίες, που εμφανίζονται στην οθόνη, μια ομάδα με πλήκτρα αμέσου ψηφιακού ελέγχου των κινήσεων της μηχανής, μια ομάδα με πλήκτρα χειροκινήτου ελέγχου της θέσης των αξόνων, μια ομάδα που ελέγχει τη θέση του κέρσορα στην οθόνη, μια ομάδα με πλήκτρα σotaρίσματος της μηχανής και τέλος, υπάρχει και μια ομάδα με πλήκτρα, που εκτελούν διάφορες άλλες λειτουργίες.

4.1.2. Όργανο τραχυμέτρησης DIAVITE COMPACT VHF

Για τη μέτρηση της τραχύτητας στην προκύπτουσα επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε ένα όργανο τραχυμέτρησης, το οποίο ανήκει στα μηχανικά-ηλεκτρονικά όργανα τύπου στυλίσκου και είναι το DIAVITE COMPACT VHF του εργαστηρίου CAM του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης, σχήμα 4.3. Ο στυλίσκος, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία, είναι τύπου SH.

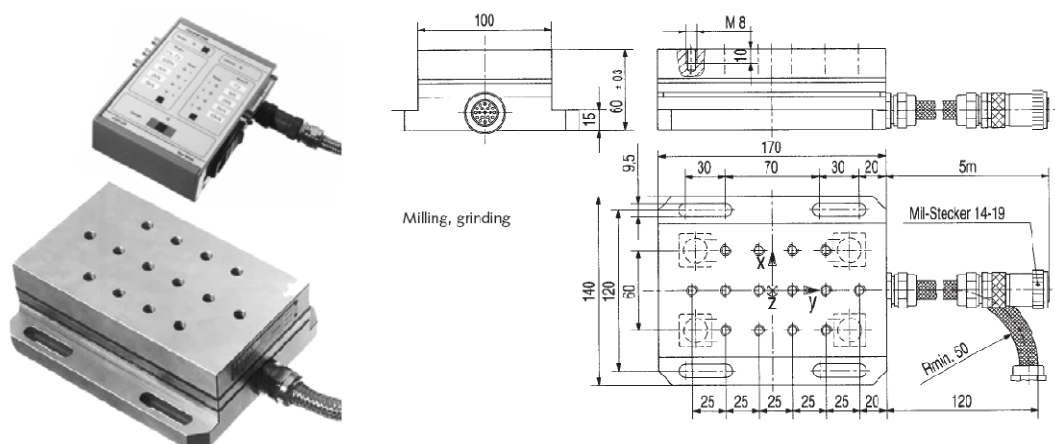
Στη παρούσα εργασία, έγιναν οι μετρήσεις της τραχύτητας με καθορισμένο μήκος L ή αλλιώς εγκάρσιο μήκος μετακίνησης 4.00 mm, ενώ το μήκος κύματος αποκοπής ήταν 0.8 mm.



Σχήμα 4.3: DIAVITE COMPACT VHF

4.1.3. Όργανο Δυναμομέτρησης.

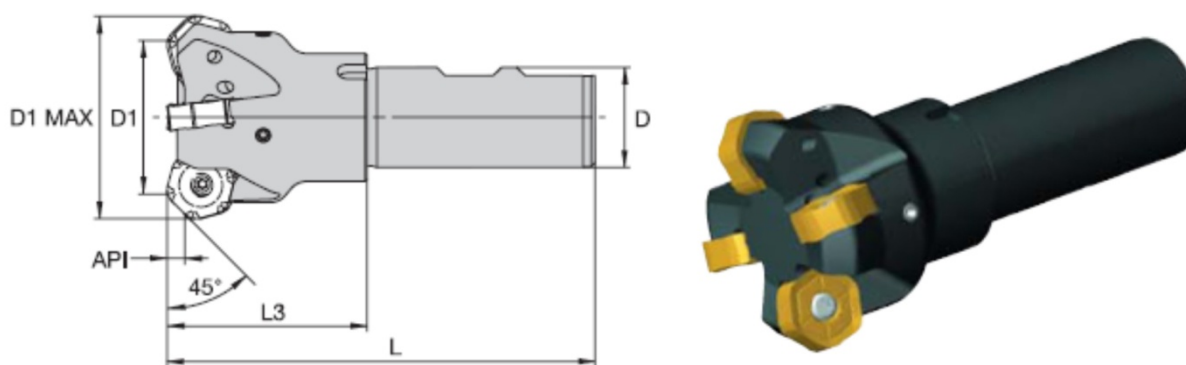
Για τις δυναμομετρήσεις χρησιμοποιήθηκε δυναμόμετρο KISTLER 9257BA & μονάδα ελέγχου KISTLER 5233A1. Το δυναμόμετρο αποτελείται από τέσσερις αισθητήρες τριών συνιστάμενων τοποθετημένους υπό υψηλή προφώρτηση, μεταξύ μιας πλάκας για βάση και μιας πλάκας για κάλυμμα. Το δυναμόμετρο είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και είναι προστατευμένο από τη διείσδυση νερού με ψεκασμό και τα υγρά κοπής. Η πάνω πλάκα είναι εφοδιασμένη με ένα ειδικό στρώμα θερμικής μόνωσης, γεγονός που καθιστά το δυναμόμετρο ανεπηρέαστο σε μεγάλο βαθμό στις θερμοκρασιακές επιρροές. Στο δυναμόμετρο είναι ενσωματωμένος ένας τρικάναλος ενισχυτής. Επομένως, το σήμα εξόδου στο δυναμόμετρο είναι χαμηλής αντίστασης. Το δυναμόμετρο είναι συνδεδεμένο με τη μονάδα ελέγχου τύπου 5233A1. Στη μονάδα ελέγχου υπάρχει η δυνατότητα επιλογής τεσσάρων τάξεων μεγέθους δυνάμεων σε δύο ομάδες (F_x , F_y , F_z). Το δυναμόμετρο και η μονάδα ελέγχου πληρούν τις απαιτήσεις CE σύμφωνα με την οδηγία 89/336/EOK του Συμβουλίου της ΕΕ και συμμορφώνονται με τα βιομηχανικά πρότυπα για τον εξοπλισμό EMC.



Σχήμα 4.4: Δυναμόμετρο KISTLER 9257BA & μονάδα ελέγχου KISTLER 5233A

4.1.4. Κοπτικό εργαλείο

Το εργαλείο συγκράτησης που χρησιμοποιήθηκε είναι της 'Kennametal' από τη σειρά 'Dodeka' με αριθμό καταλόγου 'KSHR40D03R50B25SHN09' όπως φαίνεται στο [σχήμα 4.5](#).

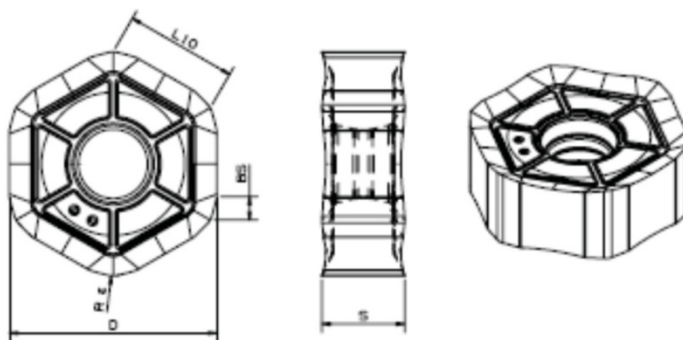


D1	Αριθμός καταλόγου	Z	D	D1.max	L3	L	Ap1.max	kg	MAX rpm	Nm
40	KSHR40D03R50B25SHN09	3	25	51	50	107	4.5	0.5	15800	3

Σχήμα 4.5: Κοπτικό εργαλείο 'Dodeka' και πίνακας με τεχνικά χαρακτηριστικά

Το πιο πάνω εργαλείο δέχεται μέχρι και τρεις κοπτικές ακμές και είναι ιδανικό για απαιτητικές διαδικασίες εκχόνδρισης και αποπεράτωσης.

Τα κοπτικά εργαλεία, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι επίσης της ‘Kennametal’ από τη σειρά ‘Dodeka’ με αριθμό καταλόγου κατά ISO ‘HNGJ0905ANENLD’ και κωδικό επίστρωσης ‘KC725M’. Είναι κατασκευασμένα από καρβίδιο βολφραμίου, ένα κράμα υψηλής αντοχής μεταλλικής σύνθεσης, που περιέχει βολφράμιο και άνθρακα. Η επίστρωση είναι από προηγμένο PVD AlTiN, το οποίο είναι κατάλληλο για γενική ή απαιτητική χρήση, για κατεργασία ατσαλιού, ανοξείδωτου ατσαλιού και κράματα, που αναπτύσσουν πολύ υψηλή θερμοκρασία (High-Temp Alloys). Η καλή θερμική αντίσταση του υποστρώματος το κάνει ιδανικό για κοπή με ή και χωρίς λιπαντικό. Στο σχήμα 4.6 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου.



Αριθμός καταλόγου κατά ISO	Κοπτικές αιχμές	D (mm)	S (mm)	L10	Re	BS	hm
HNGJ0905ANENLD	12	15.88	6.35	9	1.2	1.2	0.1

Σχήμα 4.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά κοπτικού εργαλείου

4.2. Συνθήκες και στρατηγική πειραμάτων κατεργασίας

Πραγματοποιήθηκε μια σειρά από 12 πειράματα σε τέσσερα διαφορετικά δοκίμια με συγκεκριμένες συνθήκες κοπής, για να μελετηθεί η επίδραση των πιο κάτω παραγόντων στην τραχύτητα της τελικής προκύπτουσας επιφάνειας:

- Πρόωση του κοπτικού εργαλείου
- Ακτινικό βάθος κοπής

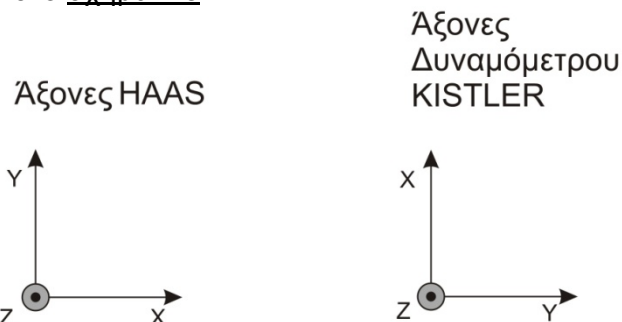
4.2.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Η κατεργασία των δοκιμών έγινε στο κέντρο κατεργασίας Haas Mini Mill με δυνατότητα ταυτόχρονης κίνησης σε τρεις άξονες. Ακολούθησε η τραχυμέτρηση των δοκιμών με το τραχύμετρο DIAVITE COMPACT. Για την εκχόνδριση των κομματιών χρησιμοποιήθηκε μανέλα με τρεις κοπτικές ακμές ($z=3$) με διάμετρο $\Phi 60(\text{mm})$, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7 με ταχύτητα περιστροφής, $S=500(\text{rpm})$ και πρόωση, $F=15(\text{mm/min})$. Επιλέχτηκε χαμηλή πρόωση και υψηλή σχετικά ταχύτητα περιστροφής κοπτικού για να επιτευχθεί λεία επιφάνεια. Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το κοπτικό εργαλείο που αναφέρθηκε στην ενότητα 4.1.4. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο CAM του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 4.7: Κοπτικό εργαλείο εκχόνδρισης Φ60

Αρχικά, τα δοκίμια A και B έπρεπε να τρυπηθούν έτσι, ώστε να μπορούν να βιδωθούν πάνω στο δυναμόμετρο. Για αυτό το λόγο, τα δοκίμια στηρίχθηκαν στη μέγγενη του κέντρου κατεργασίας διαδοχικά και ανοίχθηκαν διαμπερείς τρύπες, διαμέτρου 9mm και τρύπες, διαμέτρου 15mm και βάθους 17mm, ώστε να μπαίνουν οι κεφαλές των βιδών και να στηρίζουν το δοκίμιο στο δυναμόμετρο. Έπειτα, αφαιρέθηκε το κομμάτι και η μέγγενη από το κέντρο κατεργασίας, για να μπορέσει να τοποθετηθεί το δυναμόμετρο. Τοποθετήθηκε το δυναμόμετρο πάνω στη μηχανή με τα βοηθητικά στηρίγματα, τα οποία δένουν στο κέντρο επεξεργασίας. Οι άξονες του δυναμόμετρου σε σχέση με τους άξονες του κέντρου κατεργασίας φαίνονται στο σχήμα 4.8.

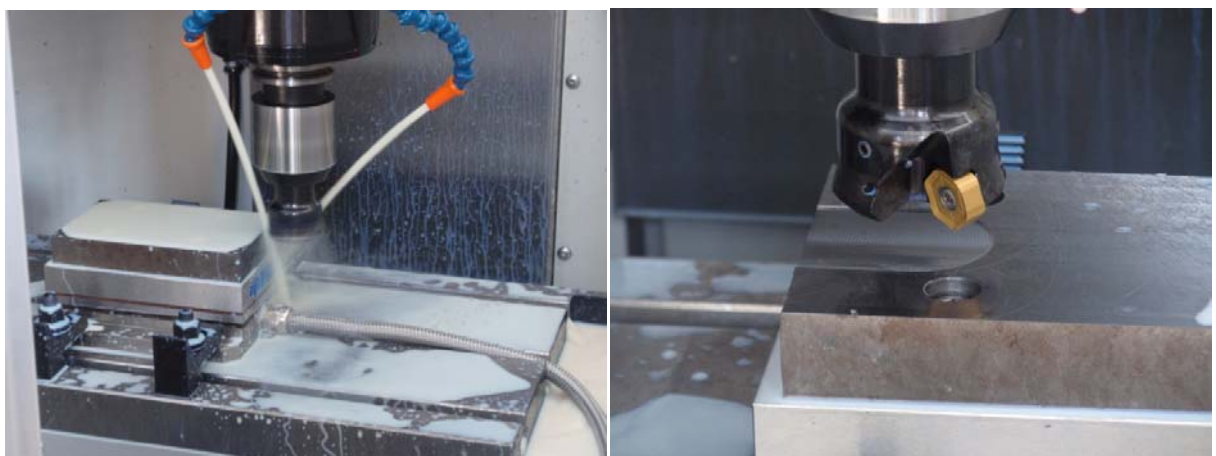


Σχήμα 4.8: Προσανατολισμός αξόνων κέντρου κατεργασίας HAAS και δυναμόμετρου KISTLER

Το κατεργαζόμενο τεμάχιο τοποθετήθηκε πάνω στο δυναμόμετρο, μηδενίστηκε και μετά άρχισε η διαδικασία εκχόνδρισης, σχήμα 4.9, ώστε να καθαριστεί η αρχική επιφάνεια και να προκύψει η αναγκαία επιπεδότητα, η οποία απαιτείται, για να υπάρξει το σωστό βάθος κοπής σε όλη την επιφάνια, που είναι να κατεργαστεί. Μετά από όλα αυτά, αλλάχτηκε το κοπτικό με αυτό που θα χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση των πειραμάτων, σχήμα 4.10.



Σχήμα 4.9: Διαδικασία εκχόνδρισης



Σχήμα 4.10: Πείραμα

Κατεργασία των δοκιμών

Τα 12 πειράματα εκτελέστηκαν μέσα από 4 προγράμματα. Τα δυο πρώτα, περιλάμβαναν 4 πειράματα το καθένα και αφορούσαν τα τεμάχια Α,Β και τα τελευταία δυο, αφορούσαν τα τεμάχια Γ,Δ και περιλάμβαναν 2 πειράματα το καθένα. Τα προγράμματα αυτά γράφτηκαν σε G κώδικα στο σημειωματάριο του ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατόπιν μεταφέρθηκαν στην εργαλειομηχανή. Υπάρχει δυνατότητα πληκτρολόγησής τους απευθείας στην εργαλειομηχανή, αλλά για πρακτικούς λόγους αυτό έγινε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα προγράμματα των κατεργασιών πρέπει να είναι του τύπου Text, ώστε να είναι συμβατά με το λογισμικό της μηχανής. Για την αποφυγή σφαλμάτων προγραμματισμού, πριν την εκτέλεση του προγράμματος, γινόταν έλεγχος της κίνησης του κοπτικού εργαλείου μέσω του ειδικού προγράμματος γραφικών, που διαθέτει το συγκεκριμένο κέντρο κατεργασίας.

Όλα τα πειράματα έγιναν με χρήση ψυκτικού υγρού. Η χρήση του ψυκτικού ελαττώνει τις τριβές μεταξύ του κοπτικού και του υλικού κατεργασίας. Με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται μικρότερες θερμοκρασίες κατά την αφαίρεση υλικού, λίπανση όλων των επιφανειών στη θέση κοπής, άρα και μικρότερες φθορές στο πλακίδιο κοπής.

Δυναμομέτρηση των δοκιμών

Οι δυναμομετρήσεις έγιναν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων από 1 έως 8, τα οποία πραγματοποιήθηκαν στα τεμάχια Α και Β. Αρχικά, έπρεπε να επιλεγεί, πρώτα από όλα, η τάξη μεγέθους των δυνάμεων κοπής. Μετά από μια δοκιμαστική κοπή, επιλέχθηκαν οι μικρότερες ρυθμίσεις στις δυνάμεις και για τους τρεις άξονες. Επίσης, ο χρόνος της

δυναμομέτρησης ορίστηκε στα 20 δευτερόλεπτα. Μετά από κάθε δυναμομέτρηση, εκτός από το συνολικό γράφημα των 20 δευτερολέπτων, έγινε εστίαση στην είσοδο του κοπτικού και πάνω σε ένα πέρασμα της κοπτικής ακμής, με μήκος του άξονα χρόνου 0.1 δευτερόλεπτα.

Η κωδικοποίηση των διαγραμμάτων των δυνάμεων κοπής έχει ως εξής:

FACE – n – a_z – V_c – f_z – No

Όπου:

n είναι ο αριθμός δοντιών

a_z είναι το αξονικό βάθος κοπής σε mm

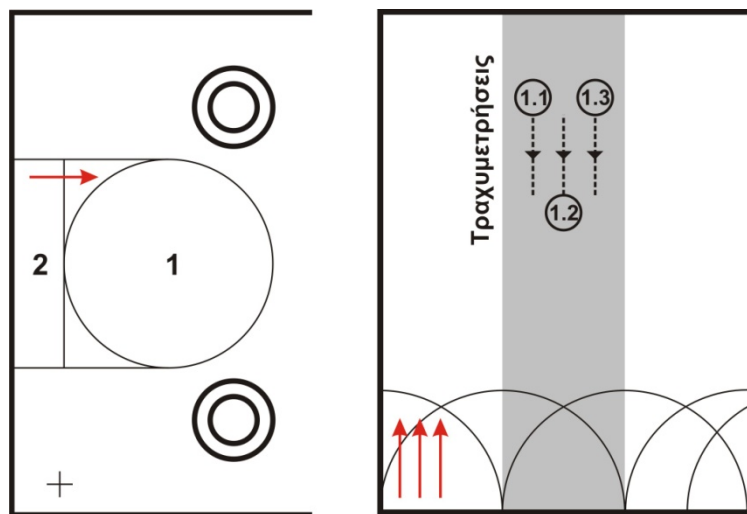
V_c είναι η περιφερειακή ταχύτητα σε m/min

f_z είναι η πρόωση/ δόντι σε mm/tooth

No είναι ο αριθμός πειράματος

Τραχυμέτρηση των δοκιμών

Τα πρώτα οκτώ πειράματα χωρίστηκαν σε δυο περιοχές, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11, και έγιναν δέκα τραχυμετρήσεις σε κάθε περιοχή, κάθετες πάντα προς στην πρόωση. Συνολικά, έγιναν 160 τραχυμετρήσεις για τα τεμάχια Α και Β. Τα υπόλοιπα τέσσερα πειράματα, που εκτελέστηκαν στα τεμάχια Γ και Δ, χωρίστηκαν σε 3 περιοχές το καθένα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11, και έγιναν πέντε τραχυμετρήσεις σε κάθε περιοχή. Συνολικά, για τα τεμάχια Γ και Δ έγιναν 60 τραχυμετρήσεις. Οι μετρήσεις της τραχύτητας έγιναν με καθορισμένο μήκος L ή αλλιώς εγκάρσιο μήκος μετακίνησης 4.00 mm, ενώ το μήκος κύματος αποκοπής ήταν 0.8 mm.



Σχήμα 4.11: Διαχωρισμός περιοχών σε κάθε πείραμα κοπής

Η κωδικοποίηση των τραχυμετρήσεων έχει ως εξής: (Αρ. πειράματος).(Περιοχή), όπου περιοχή είναι 1 ή 2 για τα πειράματα από 1 μέχρι 8 και 1,2 ή 3 για τα πειράματα από 9 μέχρι 12 πάντα σε σχέση με την κατεύθυνση πρόωσης, που φαίνεται στο σχήμα με κόκκινα τόξα.

Φωτογράφιση των δοκιμών με μικροσκόπιο

Επίσης, πραγματοποιήθηκε φωτογράφιση των δοκιμών με μικροσκόπιο. Για τη φωτογράφιση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε οπτικό μικροσκόπιο OLYMBUS SZX-12, σχήμα 4.12, πάνω στο οποίο τοποθετήθηκε ψηφιακή κάμερα CANON C5050. Η κωδικοποίηση των φωτογραφιών είναι η ίδια με πιο πάνω.



Σχήμα 4.12: Μικροσκόπιο OLYMBUS SZX-12

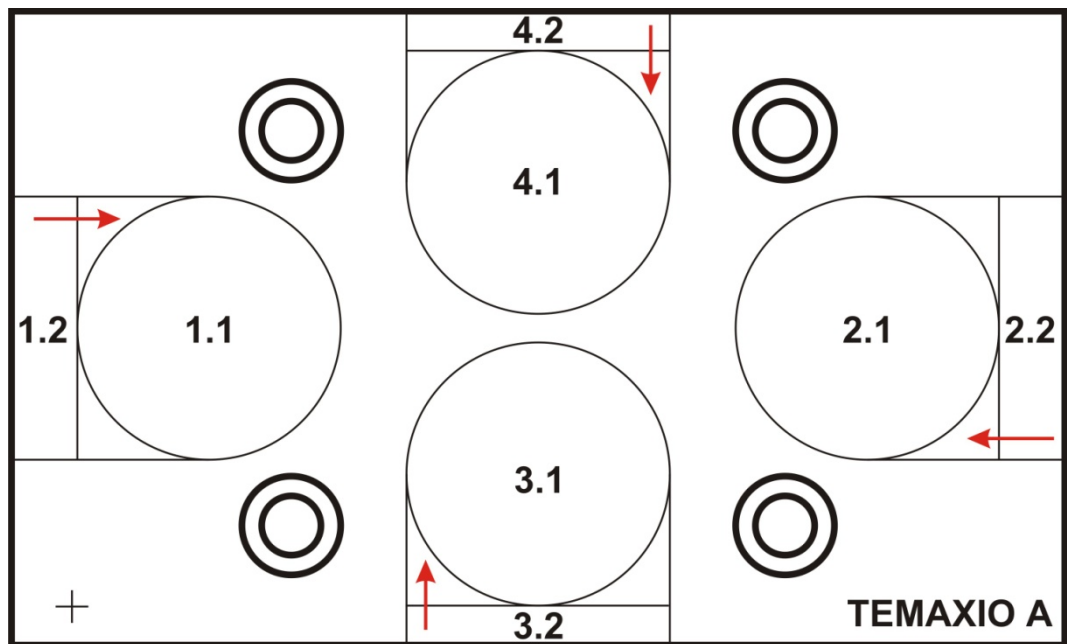
4.2.2. Συνθήκες κοπής

Όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από 12 πειράματα σε τέσσερα διαφορετικά δοκίμια σε συγκεκριμένες συνθήκες κοπής, για να μελετηθεί η επίδραση της ταχύτητας προώσεως, του αριθμού των δοντιών και του ακτινικού βάθους κοπής στην τραχύτητα της τελικής προκύπτουσας επιφάνειας.

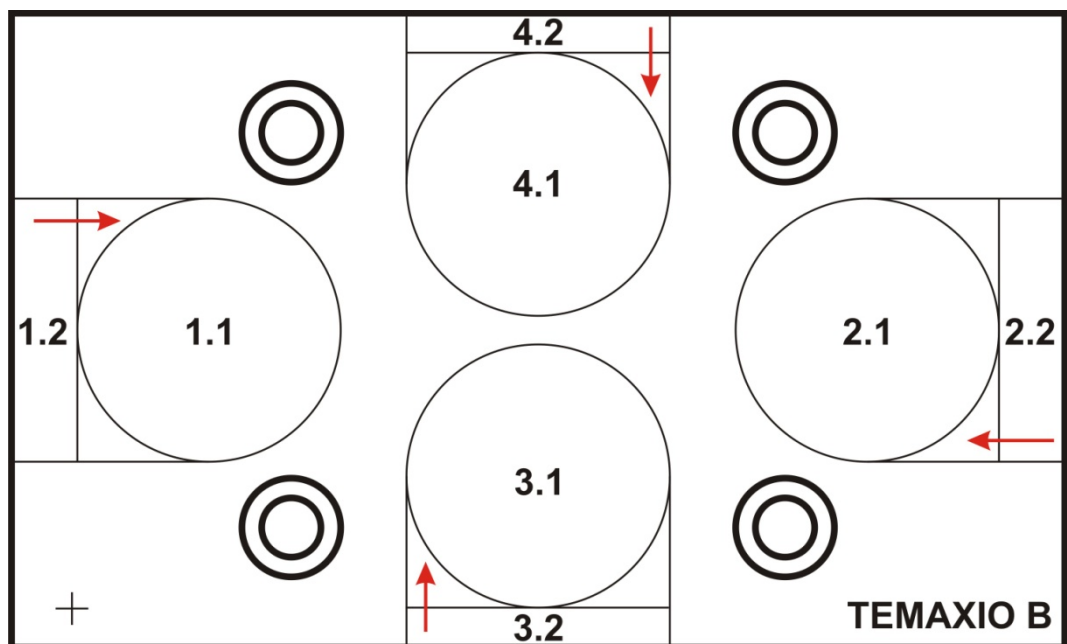
Το γενικό πλάνο των πειραμάτων είχε ως κοινούς παραμέτρους, την ταχύτητα περιστροφής $V_c=120\text{m/min}$, το αξονικό βάθος κοπής $a_z=0.5\text{mm}$ και το υλικό, που είναι CK-60. Οι υπόλοιπες συνθήκες κοπής άλλαζαν κατά τη διάρκεια του πειράματος και παίρνουν τις εξής τιμές:

- Πρόωση ανά δόντι (mm/tooth): $f_z=1$, $f_z=0.8$, $f_z=0.6$, $f_z=0.4$
- Ακτινικό βάθος κοπής (mm): $a_{xy}=10$, $a_{xy}=20$
- Αριθμός δοντιών: $n=3$, $n=1$

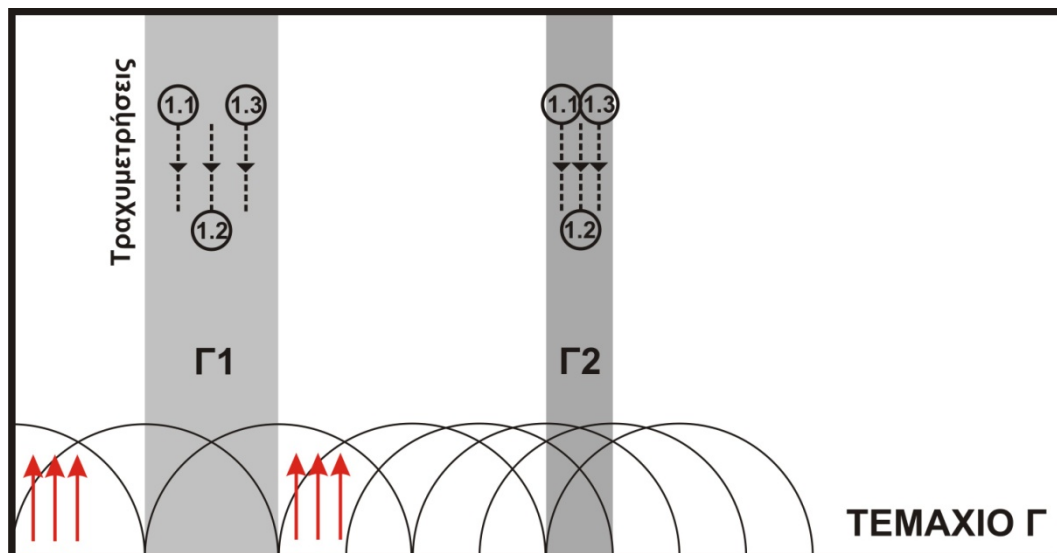
Με αυτά τα δεδομένα εκτελέστηκαν συνολικά 12 πειράματα, τα οποία έχουν διαφορετικές συνθήκες κοπής και είναι τοποθετημένα σε τέσσερα διαφορετικά τεμάχια, όπως φαίνεται πιο κάτω.



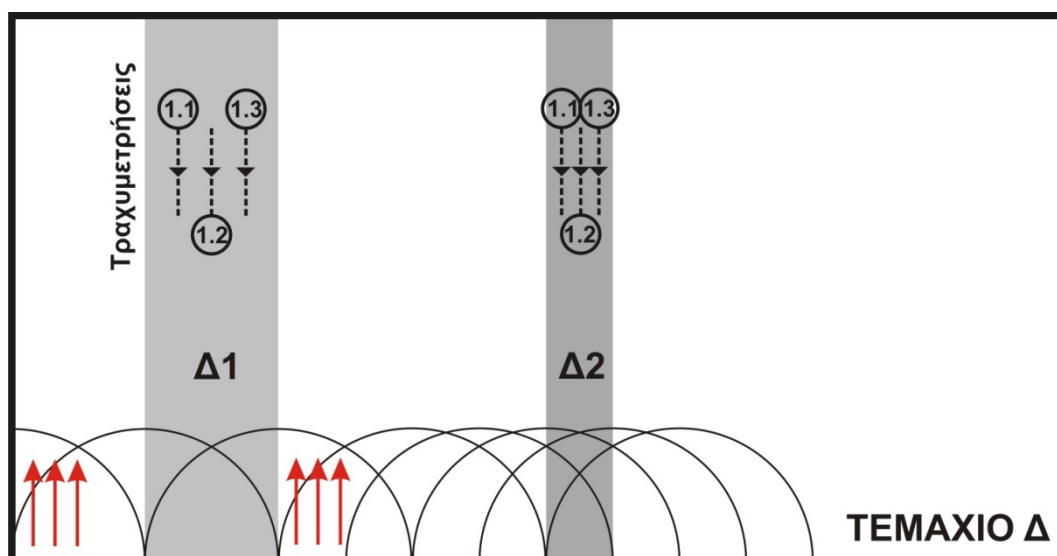
Σχήμα 4.13: Τεμάχιο Α από υλικό CK-60



Σχήμα 4.14: Τεμάχιο Β από υλικό CK-60



Σχήμα 4.15: Τεμάχιο Γ από υλικό CK-60



Σχήμα 4.16: Τεμάχιο Δ από υλικό St 52-3

Στα τεμάχια Α και Β, μελετήθηκε η επίδραση της ταχύτητας προώσεως στην τραχύτητα της προκύπτουσας επιφάνειας. Στον πιο κάτω πίνακα, φαίνονται αναλυτικά οι συνθήκες κατεργασίας των 8 πρώτων πειραμάτων, που πραγματοποιήθηκαν στα τεμάχια Α και Β.

A/A	Τεμ.	n	SP(rpm)	FD(mm/min)	Vc(m/min)	fz(mm/δόντι)
1	A1	1	955	955	120	1
2	A2	1	955	764	120	0.8
3	A3	1	955	573	120	0.6
4	A4	1	955	382	120	0.4
5	B1	3	955	2865	120	1
6	B2	3	955	2292	120	0.8
7	B3	3	955	1719	120	0.6
8	B4	3	955	1146	120	0.4

Σχήμα 4.17: Συνθήκες κατεργασίας των οκτώ πρώτων πειραμάτων

Το αξονικό βάθος κοπής είναι $a_z=0.5\text{mm}$ για όλα τα πειράματα και όπου 'n', ο αριθμός των δοντιών. Στα τεμάχια Γ και Δ μελετήθηκε η επίδραση του ακτινικού βάθους κοπής. Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι συνθήκες κοπής για τα πειράματα 9 μέχρι και 12.

A/A	Τεμ.	$a_{xy}(\text{mm})$	SP(rpm)	FD(mm/min)	Vc(m/min)	fz(mm/δόντι)
1	Γ1	20	955	2865	120	1
2	Γ2	10	955	2865	120	1
3	Δ1	20	955	1719	120	0.6
4	Δ2	10	955	1719	120	0.6

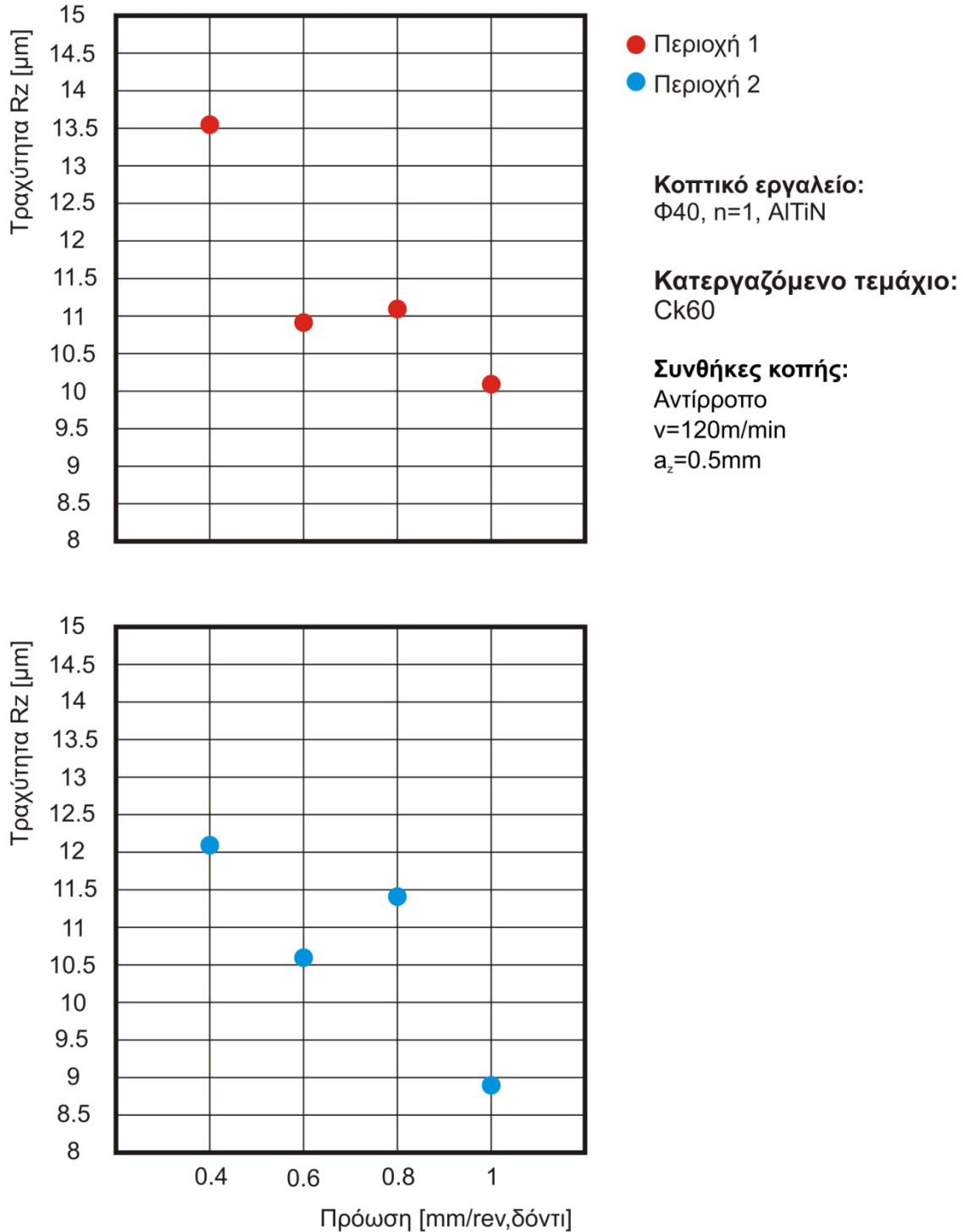
Σχήμα 4.18: Συνθήκες κατεργασίας τεσσάρων πειραμάτων

Ο αριθμός των δοντιών (n) για τα πειράματα 9 μέχρι 12 είναι 3 σε όλα τα πειράματα, καθώς επίσης, ίδιο είναι και το αξονικό βάθος κοπής $a_z=0.5\text{mm}$.

5. Αποτελέσματα πειραμάτων

5.1. Επίδραση της προώσεως του κοπτικού στην τραχύτητα

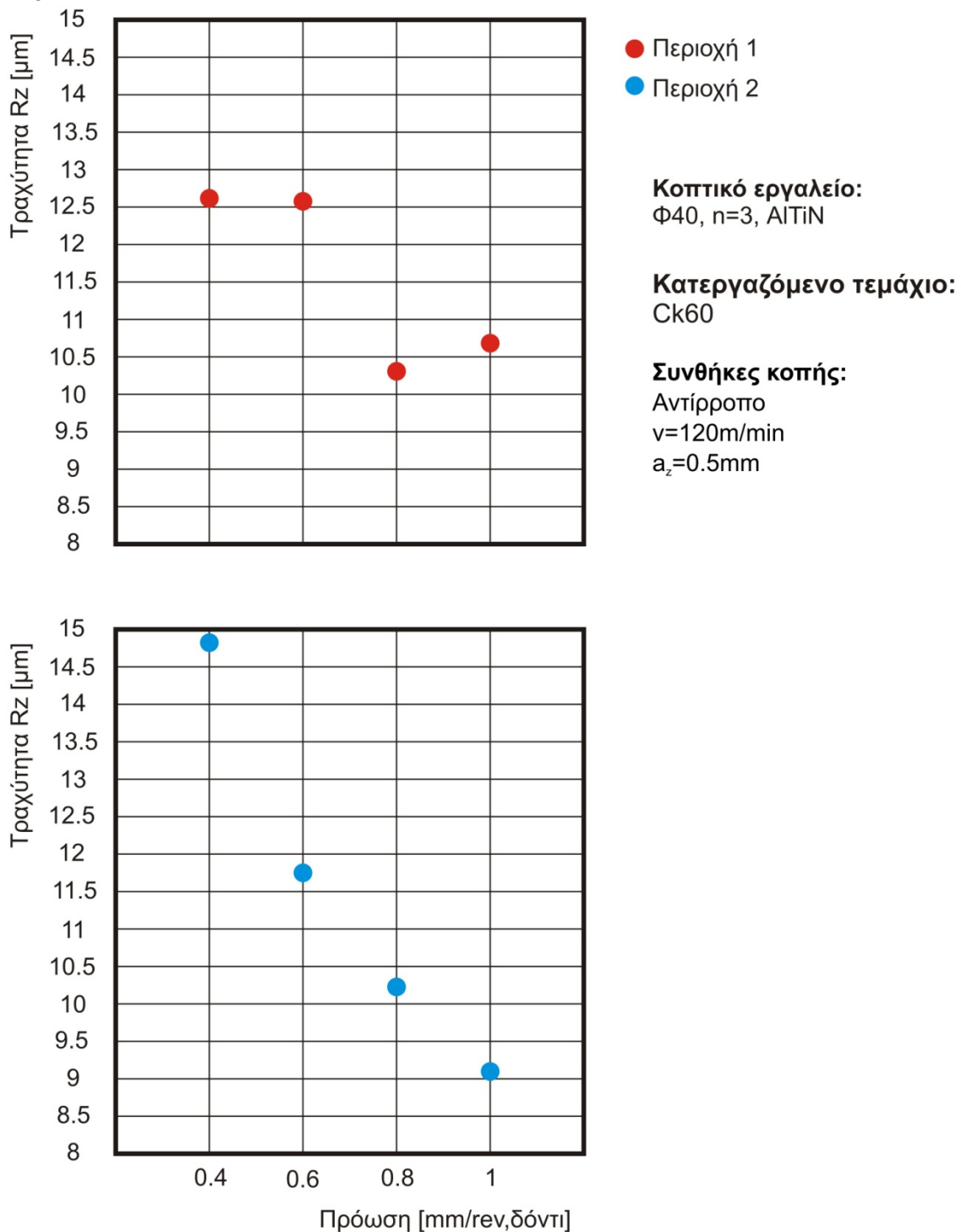
Στο σχήμα 5.1, παρουσιάζεται η επίδραση της προώσεως κοπής f_z στην τραχύτητα της επιφάνειας για αντίρροπη κοπή με αξονικό βάθος $a_z=0.5\text{mm}$ και αριθμό κοπτικών ακμών $n=1$.



Σχήμα 5.1: Μεταβολή της τραχύτητας σε σχέση με την πρόωση για $n=1$

Στο πιο πάνω σχήμα φαίνεται ότι, όσο αυξάνεται η ταχύτητα προώσεως η τραχύτητα έχει μία τάση να μειώνεται.

Στο σχήμα 5.2, παρουσιάζεται η επίδραση της προώσεως κοπής f_z στην τραχύτητα της επιφάνειας για αντίρροπη κοπή με αξονικό βάθος $a_z=0.5\text{mm}$ και αριθμό κοπτικών ακμών $n=3$.

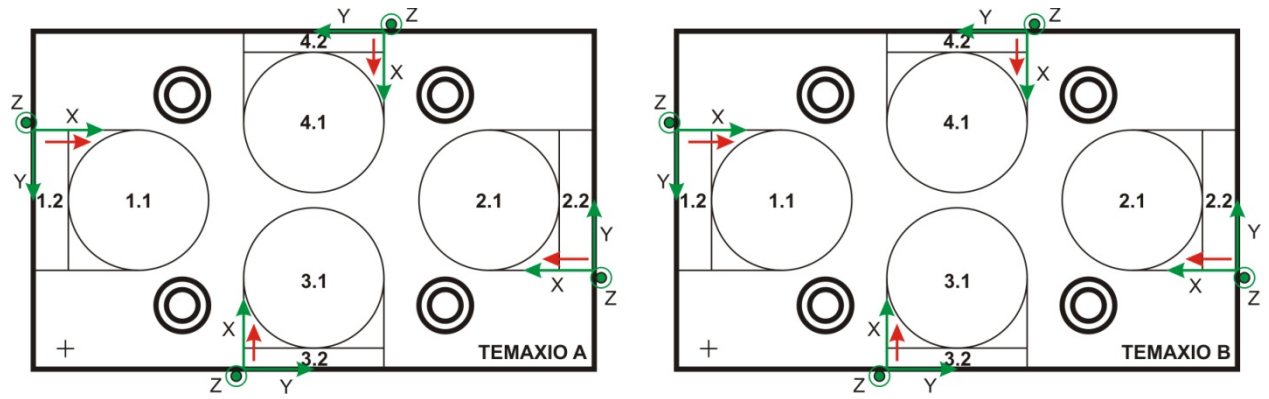


Σχήμα 5.2: Μεταβολή της τραχύτητας σε σχέση με την πρόωση για $n=3$

Στην περιοχή 1, όσο αυξάνεται η ταχύτητα προώσεως η τραχύτητα έχει μία τάση να μειώνεται, ενώ στην περιοχή 2 όπου υπάρχει ένα καθαρό πέρασμα του κοπτικού εργαλείου φαίνεται καθαρά ότι η τραχύτητα μειώνεται.

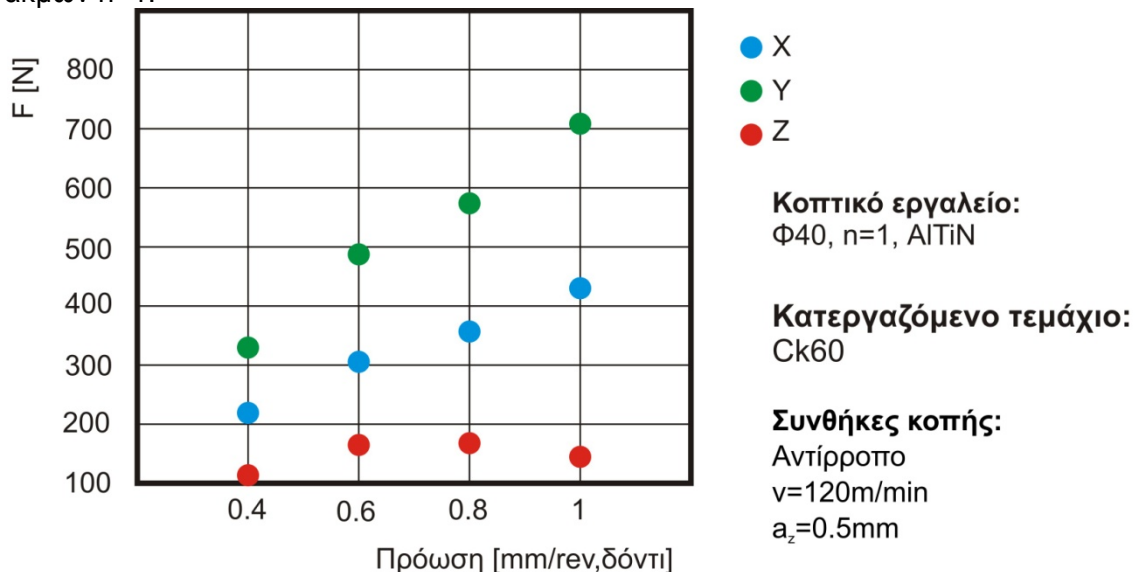
5.2. Επίδραση της πρόωσης του κοπτικού στις δυνάμεις κοπής

Για να γίνει ορθολογική σύγκριση των δυνάμεων κοπής, στους άξονες X,Y και Z, που αναπτύσσεται σε κάθε πείραμα, πρέπει να συγκριθούν οι δυνάμεις με κοινές παραμέτρους κοπής, εκτός από την ταχύτητα προώσεως, σε ένα σχετικό σύστημα συντεταγμένων, όπου οι άξονες έχουν την ίδια σχετική φορά πάντα με την κινηματική της κατεργασίας σε κάθε πείραμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.



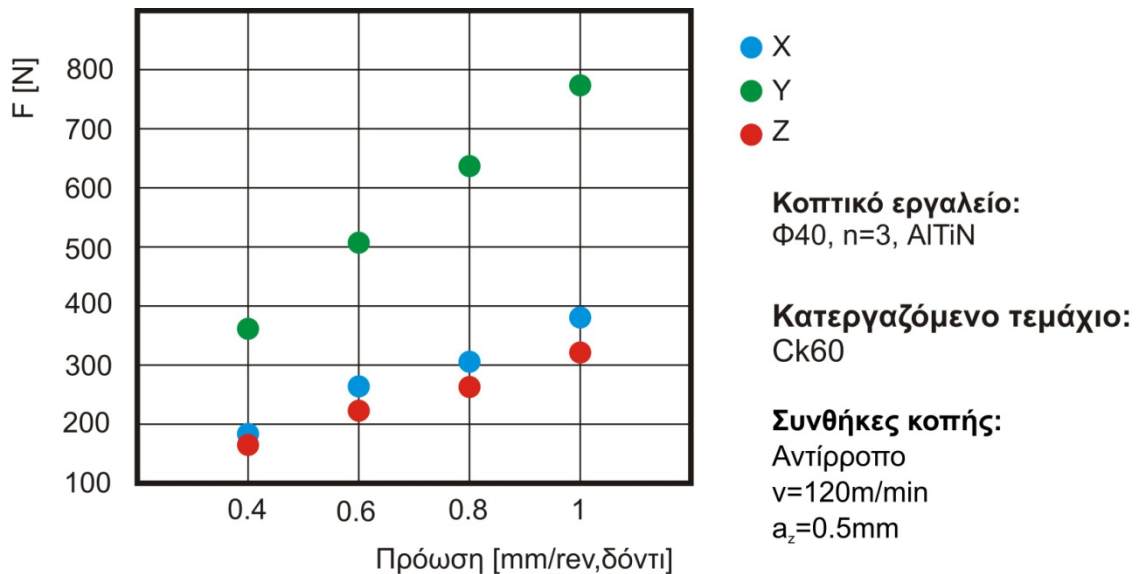
Σχήμα 5.3: Σχετικό σύστημα συντεταγμένων για κάθε πείραμα

Στο σχήμα 5.4, παρουσιάζεται η επίδραση της προώσεως κοπής f_z στις δυνάμεις κοπής, που αναπτύσσονται, για αντίρροπη κοπή με αξονικό βάθος $a_z=0.5\text{mm}$ και αριθμό κοπτικών ακμών $n=1$.



Σχήμα 5.4: Μεταβολή των δυνάμεων κοπής σε σχέση με την πρόωση για $n=1$

Στο σχήμα 5.5, παρουσιάζεται η επίδραση της προώσεως κοπής f_z στις δυνάμεις κοπής, που αναπτύσσονται, για αντίρροπη κοπή με αξονικό βάθος $a_z=0.5\text{mm}$ και αριθμό κοπτικών ακμών $n=3$.

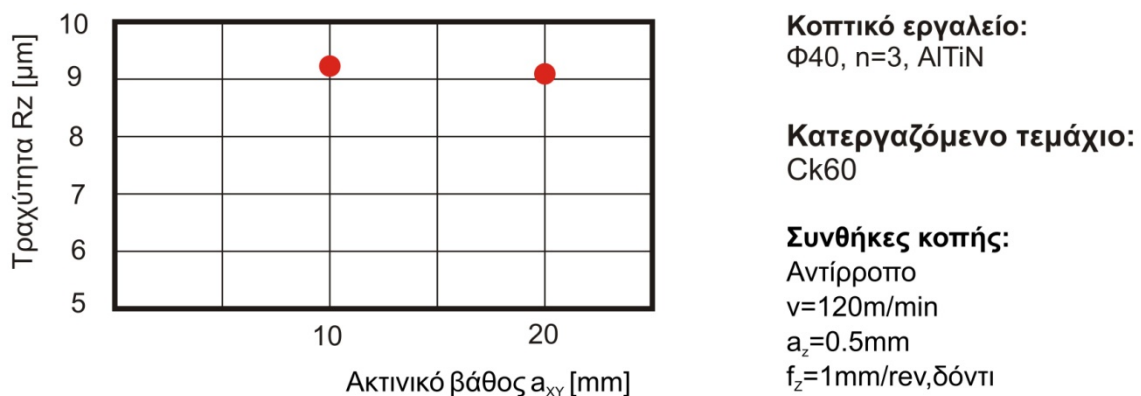


Σχήμα 5.5: Μεταβολή των δυνάμεων κοπής σε σχέση με την πρόωση για $n=1$

Στα σχήματα 5.5 και 5.6, φαίνεται καθαρά ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα προώσεως, αυξάνονται και οι δυνάμεις κοπής σε όλους τους άξονες.

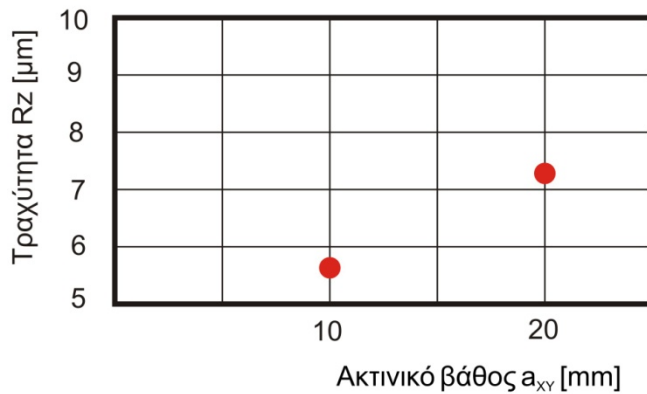
5.3. Επίδραση του ακτινικού βάθους κοπής στην τραχύτητα

Στο σχήμα 5.6, παρουσιάζεται η επίδραση του ακτινικού βάθους κοπής a_{xy} στην τραχύτητα της επιφάνειας για αντίρροπη κοπή με αξονικό βάθος $a_z=0.5\text{mm}$ και αριθμό κοπτικών ακμών $n=3$ για Ck-60.



Σχήμα 5.6: Μεταβολή της τραχύτητας σε σχέση με το ακτινικό βάθος κοπής για Ck-60

Στο σχήμα 5.7, παρουσιάζεται η επίδραση του ακτινικού βάθους κοπής a_{xy} στην τραχύτητα της επιφάνειας για αντίρροπη κοπή με αξονικό βάθος $a_z=0.5\text{mm}$ και αριθμό κοπτικών ακμών $n=3$ για St 52-3.



Κοπτικό εργαλείο:
Φ40, $n=3$, AlTiN

Κατεργαζόμενο τεμάχιο:
St 52-3

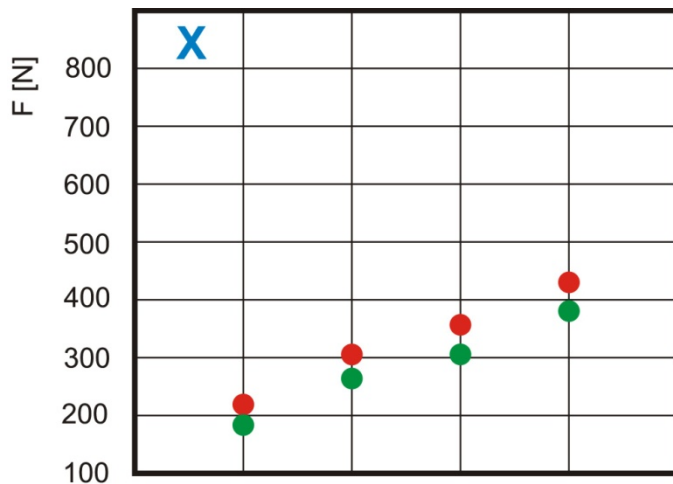
Συνθήκες κοπής:
Αντίρροπο
 $v=120\text{m/min}$
 $a_z=0.5\text{mm}$
 $f_z=0.6\text{mm/rev}$, δόντι

Σχήμα 5.7: Μεταβολή της τραχύτητας σε σχέση με το ακτινικό βάθος κοπής για St 52-3

Για το υλικό Ck-60, η μεταβολή του ακτινικού βάθους κοπής, φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά την τραχύτητα της επιφάνειας. Για το χάλυβα St 52-3 παρατηρείται μείωση της τραχύτητας με ταυτόχρονη μείωση του ακτινικού βάθους κοπής.

5.4. Επίδραση του αριθμού των δοντιών στις δυνάμεις που αναπτύσσονται

Για να γίνει ορθολογική σύγκριση των δυνάμεων κοπής, στους άξονες X, Y και Z, που αναπτύσσεται σε κάθε πείραμα, πρέπει να συγκριθούν οι δυνάμεις με κοινές παραμέτρους κοπής, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8.

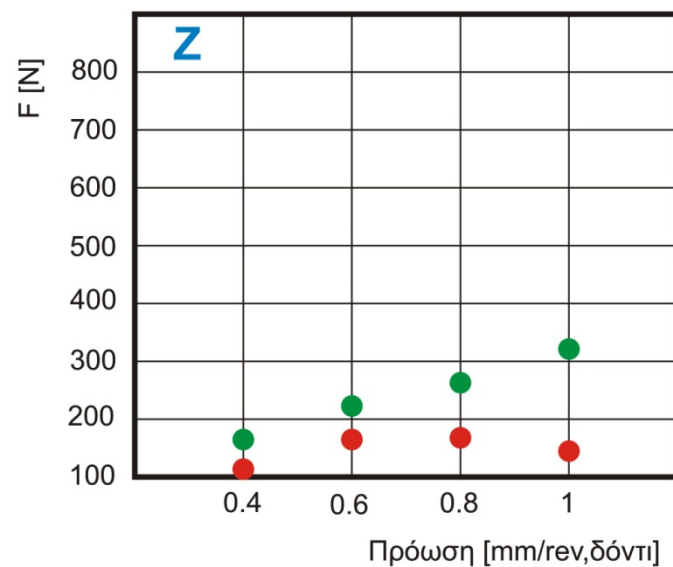
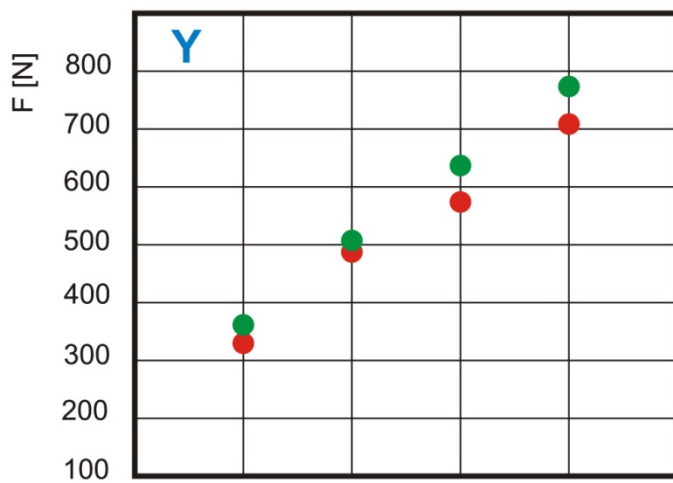


● n=1
● n=3

Κοπτικό εργαλείο:
Φ40, AlTiN

Κατεργαζόμενο τεμάχιο:
Ck60

Συνθήκες κοπής:
Αντίρροπο
 $v=120\text{m/min}$
 $a_z=0.5\text{mm}$



Σχήμα 5.8: Επίδραση αριθμού δοντιών στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στους άξονες X, Y, Z

Με αύξηση του αριθμού των κοπτικών ακμών παρατηρείτε μείωση των δυνάμεων στον άξονα X, ενώ υπάρχει αύξηση στους άξονες Y και Z.

6. Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων της κατεργασίας μετωπικού φραιζαρίσματος αποπεράτωσης σε διαφορετικές τεχνολογικές παραμέτρους κοπής (f_z , a_{xy}) προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα, που συνδέουν την επίδραση της κινηματικής της κοπής στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας, δηλαδή την τοπομορφία και την τραχύτητα αυτής.

Συγκεκριμένα:

1. Με αύξηση της προώσεως του κοπτικού εργαλείου f_z παρατηρείται ότι σχηματίζονται αναλογικά λιγότερες τροχιές στην επιφάνεια του τεμαχίου με ταυτόχρονη μείωση της επιφανειακής τραχύτητας R_z .
2. Με αύξηση της προώσεως του κοπτικού εργαλείου f_z παρατηρείται αύξηση των δυνάμεων κοπής σε όλους τους άξονες.
3. Η αύξηση των κοπτικών ακμών επιφέρει πιο μεγάλες δυνάμεις στη διεύθυνση των αξόνων Y και Z , ενώ μειώνονται στον X .
4. Η μείωση της ακτινικής μετατόπισης του κοπτικού εργαλείου (a_{xy}) δεν επηρεάζει σημαντικά την τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας στον χάλυβα Ck-60, ενώ στο υλικό από χάλυβα St 52-3 παρατηρήθηκε ότι βελτιώνει την ποιότητα της επιφάνειας με μείωση της τραχύτητας R_z .

7. Βιβλιογραφία

- [1] P.G.BENARDOS και G.-CVosniakos, (2002), "Predicting surface roughness in machining: a review", International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) 833-844
- [2] M.S Shunmugam, S.V Bhaskara Reddy και T.T Narendran, (1999), "Selection of optimal conditions in multi-pass face milling using a genetic algorithm", International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 (2000) 401-414
- [3] A.Richetti, A.R. Machado, M.B Da Silva, E.O. Ezugwu και J. Bonney, (2004), "Influence of the number of inserts for tool life evaluation in face milling of steels, International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 695-700
- [4] Anselmo Eduardo Diniz και Jose Caldeirani Filho, (1999), "Influence of the relative positions of tool and workpiece on tool life, tool wear and surface finish in the face milling process", Wear 232 (1999) 67-75
- [5] J. Heikkala, (1995), "Determining of cutting-force components in facemilling", Journal of Materials Processing Technology 52 (1995) 1-8
- [6] W.-Y.Lee, K.-W.Kim και H.-C.Sin, (2002), "Design and analysis of a milling cutter with improved dynamic characteristics", International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) 961-967
- [7] Dae Kyun Baek, Tae Jo Ko και Hee Sool Kim, (2001), "Optimization of federate in facemilling operation using a surface roughness model", International Journal of Machine Tools & Manufacture 41 (2001) 451-462
- [8] Γ. Ν. Ταγάρας (2001). Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας
- [9] Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης, (2009), "Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάσταση μοντελοποίηση"
- [10] Αριστομένης Αντωνιάδης (2009), "Πανεπιστημιακές διαλέξεις μαθήματος στοιχείων μηχανών"