

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ **ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ** **ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΜΟΡΦΙΑ** **ΤΟΥ ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ ΤΕΜΑΧΙΟΥ**

Βρισκόμαστε στο τέλος της βιομηχανικής επανάστασης ενώ η εποχή της υψηλής τεχνολογίας έχει ήδη αρχίσει. Το γεγονός αυτό δεν θα μπορούσε βέβαια να μην επηρεάσει το χώρο της βιομηχανίας και της παραγωγής. Ένα μεγάλο μέρος αυτού του χώρου καταλαμβάνουν οι εργαλειομηχανές, οι οποίες από χειροκίνητες εξελίχθηκαν σε ψηφιακά καθοδηγούμενες, όπως οι ψηφιακοί τόρνοι, οι ψηφιακές φραιζες και τα CNC κέντρα κατεργασίας.

Με την εξέλιξη αυτή αυξήθηκαν στο απεριόριστο οι δυνατότητες στην παραγωγή και την κατασκευή τεμαχίων και επιφανειών παντός είδους και σχήματος. Οι εργαλειομηχανές 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.

Μαζί όμως με τις δυνατότητες των εργαλειομηχανών αυξήθηκαν και οι απαιτήσεις της παραγωγής. Μία από αυτές είναι η ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Η υπάρχουσα τεχνολογία έχει οδηγήσει στην κατασκευή πολύπλοκων μηχανών των οποίων η καλή λειτουργία και απόδοση, αλλά και ο ανταγωνισμός της αγοράς, πολλές φορές απαιτεί τραχύτητες επιφάνειας όσο το δυνατόν καλύτερες.

Το χρονικό διάστημα ύπαρξης των κέντρων κατεργασίας στο χώρο της παραγωγής είναι σχετικά μικρό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει η απαιτούμενη τεχνογνωσία για τις συνθήκες κατεργασίες κάτω από τις οποίες επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα επιφάνειας, ιδιαίτερα σε κατεργασίες

ανάγλυφων επιφανειών όπου ο προγραμματισμός και η καθοδήγηση της κατεργασίας πραγματοποιείται μέσω ειδικού λογισμικού, τα συστήματα CAD / CAM.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών κατεργασίας στην προκύπτουσα τραχύτητα επιφάνειας και ο προσδιορισμός αυτών των συνθηκών που θα οδηγήσουν σε αποτελέσματα που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της παραγωγής.

ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ & ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ

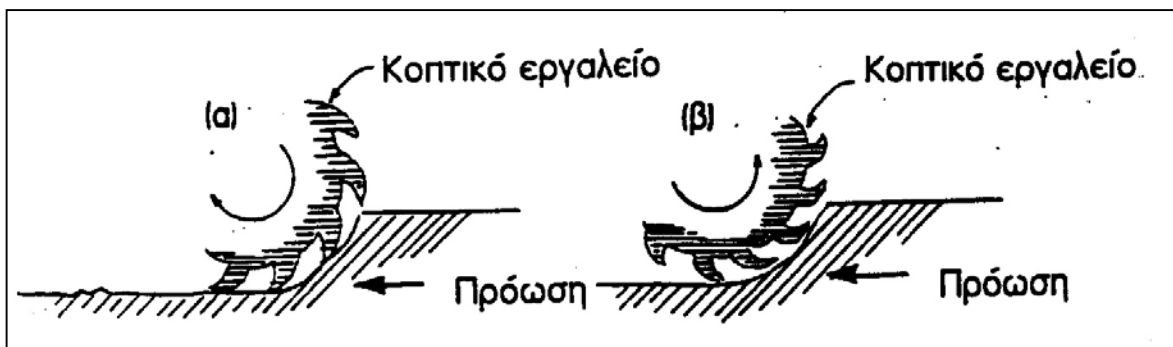
Οι διαδικασίες φραιζαρίσματος είναι πολλές και ποικίλες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η επίδραση στην κατεργαζόμενη επιφάνεια των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται, να είναι περίπλοκη. Ωστόσο υπάρχουν γενικά δύο είδη φραιζαρίσματος :

- το περιφερειακό φραιζάρισμα και
- το μετωπικό φραιζάρισμα.

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

Στο περιφερειακό φραιζάρισμα τα δόντια του κοπτικού εργαλείου είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε να έχουν τις κοπτικές ακμές στην περιφέρεια. Αυτά μπορεί να είναι κομμένα βαθιά αξονικά ή πιο συχνά ελικοειδώς. Υπάρχουν δύο γωνίες αποβλίπτου, μια για την ελικοειδή και μια για την αξονική πλευρά του κοπτικού. Μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι μια αποτελεσματική κλίση μπορεί να παραχθεί σε ένα κοπτικό φραιζαρίσματος χωρίς την αδικαιολόγητη εξασθένιση του δοντιού εξαιτίας μιας μεγάλης ακτινικής κλίσης. Αυτό είναι σημαντικό διότι, όπως και στην τόννευση, η δύναμη κοπής ανά μονάδα μήκους της κοπτικής ακμής μειώνεται γρήγορα με αύξηση της κλίσης. Άλλο πλεονέκτημα της χρήσης ελικοειδούς αντί για καθαρά ακτινικό κοπτικό είναι η πιο ομαλή κατανομή της δύναμης κοπής η οποία τείνει να εμποδίσει τα κτυπήματα και ως εκ τούτου τον σχηματισμό κυματισμών στην επιφάνεια του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Ένα μειονέκτημα είναι η τελική ωθητική συνιστώσα της δύναμης κοπής.

Υπάρχουν δύο τρόποι απομάκρυνσης μετάλλου στο φραιζάρισμα, το ομόρροπο και το αντίρροπο φραιζάρισμα. Οι αντίστοιχες περιπτώσεις φαίνονται σχηματικά στα σκαριφήματα του σχήματος 1.



Σχήμα 1: Τρόποι φραιζαρίσματος : (α) Ομόρροπο φραιζάρισμα, (β) Αντίρροπο φραιζάρισμα

Το αντίρροπο φραιζάρισμα είναι αυτό που χρησιμοποιείται πιο συχνά. Βασίζεται σε πολύ καλό δέσιμο του κατεργαζόμενου τεμαχίου στην τράπεζα της εργαλειομηχανής, προκειμένου να μη δημιουργούνται κτυπήματα στην επιφάνεια. Το ομόρροπο φραιζάρισμα δε χρειάζεται κάτι τέτοιο αλλά απαιτεί μια ικανοποιητική παλινδρομική απομάκρυνση. Άλλη διαφορά είναι ότι οι δύο τεχνικές δίνουν απόβλητο διαφορετικού σχήματος.

Ο άλλος κύριος τύπος φραιζαρίσματος (μετωπικό φραιζάρισμα) είναι ικανός να δώσει καλύτερες επιφάνειες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υφή της επιφάνειας στο μετωπικό φραιζάρισμα είναι :

- Επιλογή της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου.
- Η ακρίβεια του τροχίσματος των επιλεγμένων γωνιών στα δόντια του κοπτικού.
- Η θέση των δοντιών σε σχέση με το σώμα του κοπτικού.
- Η ευθυγράμμιση της κεφαλής της μηχανής με το τραπέζι της.

Οι διάφορες γωνίες του κοπτικού εργαλείου για μετωπικό φραιζάρισμα υπάγονται σε δύο κατηγορίες :

- Εκείνες οι γωνίες η οποίες επιδρούν άμεσα την τραχύτητα επιφάνειας.
- Εκείνες οι γωνίες η οποίες επιδρούν έμμεσα την τραχύτητα επιφάνειας.

Η ακτινική γωνία ελευθερίας υπάγεται στην πρώτη από τις δύο κατηγορίες.

Από πειράματα φαίνεται ότι οι τιμές της επιφανειακής τραχύτητας επιδεινώνονται καθώς αυξάνει η ακτινική γωνία ελευθερίας, οπότε για να έχουμε καλή τελική επιφάνεια πρέπει να κρατήσουμε την ακτινική γωνία ελευθερίας μικρή. Αν η γωνιακή ακμή έχει καμπυλότητα τότε αυτή πρέπει να έχει ακτίνα περίπου 10 μm .

Τραχύτητα Επιφάνειας

Τοποθέτηση των δοντιών σε σχέση με το σώμα του κοππικού εργαλείου.

Οποιοσδήποτε έχει εξετάσει φραιζαρισμένα κομμάτια αντιλαμβάνεται ότι το επικρατέστερο σημάδι στην επιφάνεια έχει παραχθεί πάντοτε από ένα ή δύο δόντια που δεν είναι συνεπίπεδα με τα υπόλοιπα.

Το γεγονός είναι ότι αν ένα δόντι είναι μόλις ελάχιστα χαμηλότερα από τ' άλλα, εξαφανίζει τελείως τα άλλα σημάδια κοπής. Για παράδειγμα, ένα δωδεκάπτερο κοππικό με ένα ακτινικό διάκενο γωνίας $1/4^\circ$ λειτουργεί με πρόωση 0,1 mm/δόντι, ένα δόντι θα χρειαζόταν να προεξέχει μόλις 0,5 μm για να αλλάξει η τραχύτητα από 0,1 μm σε 1,5 μm . Αυτό απεικονίζει την ευαισθησία της τοποθέτησης. Επίσης το γεγονός ότι η επικρατούσα περιοδικότητα αλλάζει από πρόωση ανά δόντι, σε πρόωση ανά περιστροφή σημαίνει ότι το μήκος κύματος αποκοπής του οργάνου πρέπει να επιλεχθεί με προσοχή. Στο παραπάνω παράδειγμα ένα μήκος αποκοπής 2,5 mm θα ήταν παραπάνω από αρκετό και το μήκος αποκοπής 0,8 mm αποδεκτό αν κανένα δόντι δεν προεξείχε. Αλλά σε αντίθετη περίπτωση μήκος αποκοπής 0,8 mm θα έδινε καταστροφικά χαμηλή ένδειξη της τραχύτητας. Αυτό συμβαίνει γιατί η επικρατούσα περιοδικότητα θα περνούσε έξω από το μήκος αποκοπής (π.χ. 1,2mm) το οποίο σημαίνει ότι η αληθινή τιμή της τραχύτητας υποβιβάζεται.

Στην πράξη δε θα έπρεπε να υπάρχει πρόβλημα επειδή ο ελεγκτής θα έπρεπε να εξετάσει την επιφάνεια πριν τη μέτρηση και να καθορίσει το κατάλληλο μήκος αποκοπής σε σχέση με την επικρατούσα περιοδικότητα.

Πρότυπο της τραχύτητας επιφάνειας.

Αυτό καθορίζεται σε μια μεγάλη έκταση από την ευθυγράμμιση της κεφαλής της φραιζας με την τράπεζα εργασίας. Κάθε παρέκκλιση θα οδηγήσει σε αύξηση της τιμής της τραχύτητας επιφάνειας για τα κοπτικά τα οποία είναι στηριγμένα χωρίς γωνιακή ακτίνα. Προφανώς αν τα κοπτικά έχουν μια ακτίνα δεν είναι τόσο σημαντικό.

Υποθέτοντας ότι κανένα από τα δόντια δεν προεξέχει, το πρότυπο μπορεί να πάρει τρεις μορφές :

- Όπου όλες οι προπορευόμενες κόψεις των κοπτικών δημιουργούν το σημάδι, καλούνται all front - cut.
- Όπου όλες οι backing ακμές των κοπτικών δημιουργούν το σημάδι, καλούνται all back cut.
- Όπου υπάρχει ομοιόμορφη κοπή μπροστά και πίσω.

Ιδανικά η τρίτη πιθανότητα είναι αυτή η οποία θα έπρεπε να παράγεται, αλλά στην πράξη είναι δύσκολη η αποφυγή υποκοπής εξ' αιτίας του ότι σώνεται η περιστροφή του κοπτικού και της ελαστικής ανάκτησης του υλικού.

Η αλληλεπίδραση του προς τα εμπρός και του προς τα πίσω φραιζαρίσματος μπορεί να έχει πολύ περίεργη περιοδική επίδραση όταν εξετάζουμε μόνο μία κατατομή. Αυτό σημαίνει ότι είναι δύσκολο να επιλεχθεί το μήκος κύματος αποκοπής. Βασικά η μοναδική μέθοδος είναι να εξαχθεί ένα γράφημα της κατατομής και να εξασφαλιστεί ότι τουλάχιστο πέντε μήκη αποκοπής βρίσκονται μέσα σε ένα δειγματοληπτικό μήκος. Η δυσκολία εμφανίζεται διότι σε τέτοιες τραχύτητες ένα γράφημα κατατομής δεν μπορεί να αναπαραστήσει επαρκώς την επιφάνεια. Η τιμή της R_a σε διάφορες θέσεις επάνω στην επιφάνεια είναι αρκετά ασταθής όταν θεωρηθεί ότι ουσιαστικά η επιφάνεια είναι καθορισμένη.

Δεν είναι ασυνήθιστο το 40% των τιμών που θα βρεθούν για την R_a σε μια κανονικά κατεργασμένη επιφάνεια με μετωπικό φραιζάρισμα να παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις που οφείλονται στην τοποθέτηση του ίχνους της

κατατομής σε σχέση με την κεντρική τοποθέτηση της πορείας του κοπτικού. Έτσι τελικά πρέπει να παρθούν τουλάχιστο τρεις μετρήσεις από μία επιφάνεια η οποία έχει κατεργαστεί με μετωπικό φραιζάρισμα. Ας σημειωθεί ότι αν παρθεί η τιμή R_q αντί για την τιμή R_a ή μετρηθούν ακραίες τιμές η διακύμανση θα είναι πολύ μικρότερη διότι οι σταδιακές επιδράσεις των διαφορετικών παραγόντων που προκαλούν τις διακυμάνσεις δε συμβάλλουν.

Επίδραση της πρόωσης στην τραχύτητα επιφάνειας.

Η αύξηση της πρόωσης συντείνει στην αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας. Έτσι η πρόωση πρέπει να είναι όσο μικρότερη γίνεται. Ωστόσο, σκοπός του φραιζαρίσματος είναι η απομάκρυνση του μετάλλου όσο γίνεται γρηγορότερα και έτσι οι προώσεις είναι μεγάλες. Κατά συνέπεια αυτές οι δύο παράμετροι αλληλοσυγκρούονται.

Άλλοι παράγοντες στο φραιζάρισμα.

Η δημιουργία λοβών κατά το ακτινικό περιφερειακό φραιζάρισμα προκαλείται από κτυπήματα που συχνά οφείλονται στο γεγονός ότι όλα τα δόντια στο κοπτικό έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Ωστόσο, έχει φανεί, ότι μπορεί να επιτευχθεί κάποια σταθερότητα αν τα κοπτικά εργαλεία δεν έχουν ομοιόμορφο βήμα.

Θεωρητική αποπεράτωση με φραιζάρισμα.

Επειδή το φραιζάρισμα κανονικά δε συγκαταλέγεται στις κατεργασίες αποπεράτωσης, έχει γίνει σχετικά λίγη δουλειά στην προσπάθεια να προβλεφθεί η τελική επιφάνεια από τις παραμέτρους κατεργασίας, σε αντίθεση με την τόννευση, αφού μόνο πρόσφατη δουλειά έχει αναφερθεί.

Η τιμή R_r της επιφανειακής τραχύτητας δίνεται ως:

$$R_r = f^2 / \{8[R \pm (fn/\pi)]\}$$

όπου f η πρόωση ανά στροφή & δόντι, R είναι η ακτίνα του κοπτικού και n είναι ο αριθμός των δοντιών του. Το σύμβολο + στον παρονομαστή ανταποκρίνεται στο αντίρροπο ενώ το - ανταποκρίνεται στο ομόρροπο φραιζάρισμα. Η εξίσωση αυτή πλησιάζει την πραγματικότητα όταν η περιστροφή του κοπτικού είναι πολύ μικρή και τείνει να μηδενιστεί.

Τραχύτητα επιφάνειας

Ο όρος ποιότητα επιφάνειας κατεργασμένης με κοπή (τόρνευση, φραιζάρισμα, λείανση κ.λπ.) αναφέρεται :

- Στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας,
- Στα φυσικά, χημικά και μεταλλογραφικά χαρακτηριστικά του υλικού της κατεργασμένης επιφάνειας, όπως είναι η σκληρότητα, οι παραμένουσες τάσεις, ο κρυσταλλικός ιστός, ο χρωματισμός, η εμφάνιση, η αντίσταση σε διάβρωση ή οξειδωση, διάφορα ελαττώματα κ.λ.π..

Η ποιότητα επιφάνειας, όπως ορίστηκε, είναι συνάρτηση της μεθόδου κατεργασίας, η οποία όχι μόνο προσδίδει τη χαρακτηριστική γεωμετρική μορφή της επιφάνειας, αλλά επιδρά και σε ορισμένο βάθος επί της επιφανειακής στοιβάδας, όπου παρατηρούνται αλλαγές μεγάλου ή μικρού βαθμού από τις ταυτόχρονες κατά την κοπή μηχανικές επιδράσεις, χημικές αντιδράσεις και μεταλλογραφικούς μετασχηματισμούς. Τα παραπάνω είναι αλληλένδετα και λαμβάνονται υπ' όψη όταν απαιτείται πλήρης μελέτη της επιφάνειας.

Οι αποκλίσεις 1ης και 2ης τάξης αποτελούν τα λεγόμενα μακρογεωμετρικά σφάλματα της επιφάνειας. Οι αποκλίσεις 3ης και ανώτερης τάξης συνιστούν τα μικρογεωμετρικά σφάλματα. Ειδικότερα, οι αποκλίσεις 3ης έως και 5ης τάξης αποτελούν ότι καλούμε τραχύτητα επιφάνειας.

Συστήματα τυποποιήσεως της τραχύτητας

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί τα ακόλουθα συστήματα τυποποιήσεως της τραχύτητας επιφάνειας :

- Το απλό σύστημα με το συμβολισμό των ανεστραμμένων τριγώνων (∇). Το σύστημα αυτό είναι το πρώτο το οποίο αναπτύχθηκε στην Ευρώπη. Κατά το σύστημα αυτό, επί των κατασκευαστικών σχεδίων και επί των θεωρούμενων επιφανειών αναγράφεται ο γνωστός δι' ανεστραμμένων τριγώνων συμβολισμός, χωρίς όμως να προβλέπεται τρόπος μετρήσεως της τραχύτητας. Ο βαθμός της τραχύτητας καθορίζεται όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Σύμβολο	Χαρακτηριστικά επιφάνειας
χωρίς σύμβολο	Επιφάνειες μη κατεργασμένες με κοπή. Οι απαιτήσεις ομοιομορφίας και στιλπνότητας δίνονται με τον τρόπο κατασκευής (σφυρηλάτηση, κατεργασία διαμορφώσεως, χύτευση, κοπή με οξυγόνο κ.λπ.).
^^	Επιφάνειες κατεργασμένες, όπως παραπάνω, αλλά επιμελέστερα, χωρίς όμως να απαιτείται περαιτέρω κατεργασία.

▽	Επιφάνειες κατεργασμένες με κοπή. Οι αποκλίσεις τραχύτητας 3 ^{ης} και 4 ^{ης} τάξεως είναι αισθητές με την αφή και / ή την όραση.
▽▽	Όπως παραπάνω, αλλά με πλέον επιμελημένη (λεπτομερή) κατεργασία. Οι αποκλίσεις 3 ^{ης} και 4 ^{ης} τάξης είναι ακόμη αισθητές.
▽▽▽	Επιφάνεια ομοιομορφίας και στιλπνότητας κατασκευασμένης με λεπτότατη κατεργασία κοπής. Οι αποκλίσεις 3 ^{ης} και 4 ^{ης} τάξης δεν επιτρέπεται να είναι ορατές δια γυμνού οφθαλμού.

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά επιφάνειας

- Το σύστημα κεντρικής γραμμής ή σύστημα «M». Κατά το σύστημα αυτό, βασικώς ορίζεται η λεγόμενη μέση γραμμή, ως :

Η ευθεία γραμμή, η κεκτημένη την κατεύθυνση της γεωμετρικής μορφής του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας συρόμενη κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των τεταγμένων των διαφόρων σημείων του περιγράμματος από της γραμμής αυτής να είναι ελάχιστο καθ' ορισμένο μήκος L. Η οριζόμενη μέση γραμμή αποτελεί τη γραμμή αναφοράς, ως προς την οποία λαμβάνονται οι αποστάσεις του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας.

Η μέση γραμμή είναι μοναδική, επειδή όμως ο προσδιορισμός της θέσεώς της είναι δύσκολος, χρησιμοποιείται πρακτικώς 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, καλούμενου *δειγματοληπτικού μήκους*. Η κεντρική γραμμή δίνεται μηχανικά με τη χρησιμοποίηση ειδικού πέλδλου.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμοί σχετικοί με τον ορισμό της τραχύτητας :

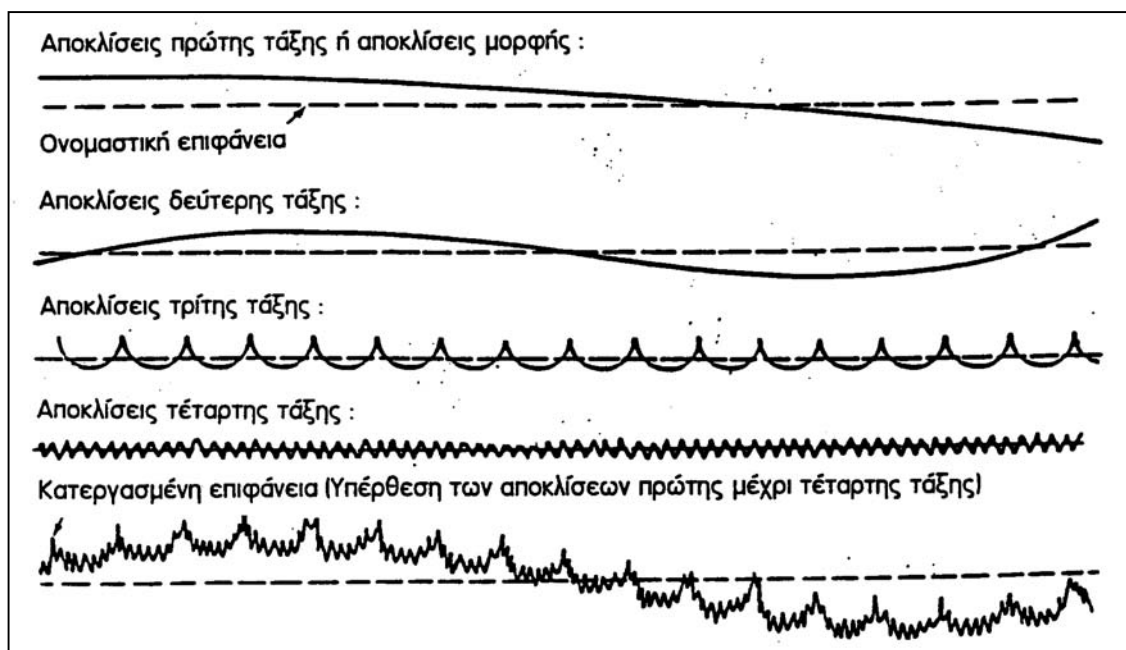
- *Ονομαστική επιφάνεια* : Η θεωρούμενη επιφάνεια του τεμαχίου, η μορφή και οι διαστάσεις της οποίας φαίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο ή δίνονται κατά περιγραφικό τρόπο.
- *Πραγματική επιφάνεια* : Η παράσταση της κατεργασμένης επιφάνειας, όπως αυτή λαμβάνεται με τη βοήθεια οργάνων ή άλλων μέσων.
- *Περίγραμμα* : Η μορφή, την οποία παρουσιάζει καθορισμένη τομή της θεωρούμενης επιφάνειας.
- *Ονομαστικό περίγραμμα* : Το θεωρητικό περίγραμμα της επιφάνειας, χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψη οι ανωμαλίες της επιφάνειας.

- *Πραγματικό περίγραμμα* : Η παράσταση του περιγράμματος της κατεργασμένης επιφάνειας, όπως αυτό δίνεται με τη βοήθεια οργάνων ή άλλων μέσων.

Η τραχύτητα επιφάνειας ανήκει στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε κατεργασμένης επιφάνειας. Μια κατεργασμένη επιφάνεια παρουσιάζει γενικά αποκλίσεις από τη θεωρητική της μορφή, από τη λεγόμενη ονομαστική επιφάνεια. Οι αποκλίσεις αυτές μπορούν να καταταγούν σε τάξεις οι οποίες εμφανίζονται στον πίνακα 2.

Τάξη αποκλίσεως	Χαρακτηριστικά αποκλίσεων	Αιτίες αποκλίσεων
1 ^η	Μη επιπεδότητα Μη στρογγυλότητα	Σφάλματα στον ολισθήρα εργαλειομηχανής. Παραμορφώσεις εργαλειομηχανής, κατεργαζόμενου τεμαχίου. Εσφαλμένη στήριξη τεμαχίου.
2 ^η	Κυματώσεις	Έκκεντρος τοποθέτηση τεμαχίου ή εργαλείου. Ταλαντώσεις εργαλείου ή και τεμαχίου. Σημαντική ανομοιογένεια του υλικού του τεμαχίου.
3 ^η	Αυλακώσεις	Μορφή της κόψης του εργαλείου. Κινηματική της κατεργασίας.
4 ^η	Ρωγμές. Ανωμαλίες σε μορφή λεπιών κ.λπ.	Ατέλειες τροχίσεως της κόψης του εργαλείου. Δημιουργία ψευδοακμής. Φθορά εργαλείου. Τρόπος σχηματισμού του αποβλίττου. Επίδραση γαλβανικών επεξεργασιών.
5 ^η	Φύση μετάλλου	Τρόπος κρυσταλλώσεως μετάλλου. Ανωμαλίες επιφάνειας λόγω χημικών επιδράσεων. Φαινόμενα διάβρωσης.
6 ^η	Κρυσταλλικός σχηματισμός μετάλλου	Φυσικές-χημικές μεταβολές κατά τη λεπτή δομή του υλικού. Παραμορφώσεις του κρυσταλλικού ιστού (παραμένουσες τάσεις, ολισθήσεις κρυστάλλων).

Πίνακας 2 : Τάξεις αποκλίσεων



Σχήμα 2 : Αποκλίσεις κατεργασμένης επιφάνειας από τη θεωρητική της μορφή

Ως μεγέθη μετρήσεως της τραχύτητας προβλέπονται :

- Το μέσο ύψος της τραχύτητας R_a ,
- Το μέγιστο ύψος της τραχύτητας R_{max} και
- Το με τη βοήθεια δέκα σημείων υπολογιζόμενο ύψος τραχύτητας R_z από τη σχέση:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5}$$

Το ύψος της τραχύτητας δίνεται ως η μέση διαφορά ανάμεσα στις αποστάσεις των πέντε υψηλότερων κορυφών και των πέντε βαθύτερων εσοχών του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας, μέσα στο καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος, από μια γραμμή αναφοράς παράλληλη προς την κεντρική γραμμή του περιγράμματος.

Για το R_a προβλέπονται τιμές σε περιοχή από 0.008 μm έως 100 μm και για το R_z οι τιμές κυμαίνονται από 0.040 μm έως 400 μm με λόγο γεωμετρικής προόδου 1.25, ο οποίος είναι δυνατό για εθνικά πρότυπα χωρών μελών του ISO να ληφθεί και 1.6.

Το μήκος κύματος αποκοπής του τραχύμετρου λαμβάνεται ως :

$$0.08 \quad 0.25 \quad 0.80 \quad 2.50 \quad 8.00 \quad 25.00 \text{ [mm]}$$

- Το σύστημα περιβάλλουσας ή σύστημα «E». Κατά τα τελευταία έτη, αναπτύχθηκε το εν λόγω σύστημα για την μέτρηση της τραχύτητας επιφάνειας, πάνω στο οποίο

βασίστηκαν εθνικά πρότυπα τραχύτητας ορισμένων ευρωπαϊκών κρατών. Το σύστημα αυτό υιοθετήθηκε από τα πρότυπα DIN 4760 και 4762 του 1956.

Για τον ορισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών της τραχύτητας, κατά το σύστημα αυτό, λαμβάνεται ως βάση η περιβάλλουσα του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας αντί της μέσης ή κεντρικής γραμμής του συστήματος «M».

Το οποίο σημαίνει, κύκλος ακτίνας R συνήθως 250 mm, κυλιέται πάνω στη προς μελέτη επιφάνεια συνήθως κάθετα προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ανωμαλιών αυτής. Ο γεωμετρικός τόπος του κέντρου του εν λόγω κύκλου μεταφερόμενος παράλληλα προς τον εαυτό του κατά το επίπεδο του πραγματικού περιγράμματος του θεωρούμενου δείγματος της επιφάνειας, ώστε να εφάπτεται των υψηλότερων εξάρσεων αυτού, αποτελεί την λεγόμενη καμπύλη μορφής.

Με όμοιο τρόπο, άλλος κύκλος ακτίνας r, συνήθως 25 mm, κυλιέται επί της επιφάνειας. Ο γεωμετρικός τόπος, τον οποίο διαγράφει το κέντρο του κύκλου αυτού μετατιθέμενος παράλληλα προς τον εαυτό του, όπως και προηγουμένως, ώστε να εφάπτεται επίσης των υψηλότερων εξάρσεων της επιφάνειας, αποτελεί την περιβάλλουσα της επιφάνειας.

Μέσω αυτού του συστήματος καθίσταται εύκολη η διάκριση των διαφόρων τάξεων αποκλίσεων του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας από το ονομαστικό αυτής. Έτσι, ανάμεσα στο ονομαστικό περίγραμμα και στην καμπύλη μορφή επιφάνειας περιλαμβάνονται τα σφάλματα μορφής (αποκλίσεις 1ης τάξης), ανάμεσα στην καμπύλη μορφής και στη περιβάλλουσα επιφάνεια περιλαμβάνονται οι κυματώσεις (αποκλίσεις 2ης τάξης), ενώ ανάμεσα στη περιβάλλουσα και στο πραγματικό περίγραμμα επιφάνειας περιλαμβάνεται η τραχύτητα (αποκλίσεις 3ης έως 5ης τάξης). Τέλος, ανάμεσα στο ονομαστικό και στο πραγματικό περίγραμμα επιφάνειας περιλαμβάνεται το σύνολο των σφαλμάτων της πραγματικής από την ονομαστική επιφάνεια.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Πενταξονικό κέντρο κατεργασίας DECKEL MAHO MH 600 C

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

- Μπορούν να κατεργαστούν πολύπλευρα τεμάχια με ένα δέσιμο σε τέσσερις ή πέντε πλευρές χρησιμοποιώντας ψηφιακά καθοδηγούμενους άξονες.
- Μπορούν να πραγματοποιηθούν 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 μπορούν να αποθηκευτούν είναι συνήθως από 30 έως 120 εξαρτώμενος από τον τύπο και το μέγεθος αποθήκης.
- Μπορεί να υποστηρίζεται από εξαρτήματα για φόρτωση και εκφόρτωση των προς κατεργασία τεμαχίων.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακά καθοδηγούμενο πενταξονικό κέντρο κατεργασίας DECKEL MAHO MH 600 C (Εικόνα 1) του Εργαστηρίου Εργαλειομηχανών του Τμήματος Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι. Σερρών. Η συγκεκριμένη φραιζα διαθέτει αυτόματα στρεφόμενη κεφαλή (Automatic Swivel Milling Head) για οριζόντιο και κάθετο φραιζάρισμα (Milling) και διάτρηση (Boring). Έχει δυνατότητα αυτόματης αλλαγής εργαλείων και στις δύο κατευθύνσεις (οριζόντια και κάθετη). Το τραπέζι κατεργασίας μπορεί να περιστραφεί γύρω από τον κάθετο άξονα (εννοείται σαν 4ος άξονας) ενώ με προσθήκη ψηφιακά καθοδηγούμενου διαιρέτη που τοποθετείται σε θέση 90° ως προς το τραπέζι δημιουργείται ο πέμπτος άξονας κατεργασίας. Ο διαιρέτης αυτός αφαιρείται ή τοποθετείται στο τραπέζι κατεργασίας ανάλογα με τις ανάγκες της απαιτούμενης κατεργασίας. Και οι πέντε άξονες είναι ψηφιακά καθοδηγούμενοι ταυτόχρονα (simultaneously).



Εικόνα 1: το ψηφιακά καθοδηγούμενο πενταξονικό κέντρο κατεργασίας DECKEL MAHO MH 600 C (Εικόνα 1) του Εργαστηρίου Εργαλειομηχανών του Τμήματος Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι. Σερρών.

Το κέντρο κατεργασίας διαθέτει σύστημα ανακύκλωσης του υγρού κοπής, διαχωρισμού και απομάκρυνσης των παραγόμενων αποβλήτων κατά την κατεργασία, ειδικό περιστρεφόμενο παράθυρο για την παρακολούθηση της κατεργασίας, ενώ η περιοχή των κατεργασιών περιβάλλεται από καμπίνα προστασίας (Protective cabin). Η μετάδοση της κίνησης προς την άτρακτο της εργαλειομηχανής γίνεται αφού παρεμβληθεί κιβώτιο ταχυτήτων τουλάχιστον δύο βαθμίδων, ενώ η ακρίβεια των μετρήσεων των κινήσεων εξασφαλίζεται με κατάλληλο γραμμικό μετρικό σύστημα πάνω στους οδηγούς (linear measuring system).

Το κέντρο κατεργασίας έχει τα παρακάτω Τεχνολογικά χαρακτηριστικά :

- μέγιστη διαδρομή στον **X** άξονα : **600 mm**
- μέγιστη διαδρομή στον **Y** άξονα : **450 mm**
- μέγιστη διαδρομή στον **Z** άξονα : **450 mm**
- ισχύς κινητήρα ατράκτου (AC motor) : **10 kW**
- πεδίο ταχυτήτων : **20 - 6300 rpm**
- πεδίο ταχυτήτων πρόωσης και στους τρεις άξονες : **1 - 6000 mm/min**
- γρήγορη ταχύτητα πρόωσης για τοποθέτηση : **6 m/min**
- υποδοχή εργαλείου : **κατά ISO 40**
- αυτόματη αλλαγή εργαλείου και στις δύο κατευθύνσεις : **30 εργαλεία**

Διαθέτει οθόνη 14", το 8 χρωμάτων με επιλογές με απλή επαφή στην οθόνη και πληκτρολόγιο ASC II και μονάδα δισκέτας 3.5" συμβατή με MS-DOS. Λειτουργεί με επεξεργαστή των 32 Bit και συχνότητα 25 MHz. Τέλος συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή με θύρες RS-232-C και RS-422 για μεταφορά δεδομένων από και προς την εργαλειομηχανή με μέγιστη ταχύτητα 19200 Baud.

Ο έλεγχος και η καθοδήγηση της εργαλειομηχανής εξασφαλίζεται από το λογισμικό CNC 532 της Philips το οποίο έχει κώδικα ISO/DIN και προγραμματίζεται με τις εντολές G και M κατά DIN 66025. Το εν λόγω λογισμικό παρέχει :

- Αποθήκευση για 250 εργαλεία με τα χαρακτηριστικά τους (μήκος, ακτίνα, θέση κ.λπ.),
- Εκτέλεση και έλεγχο του προγράμματος με ή χωρίς κινήσεις, με ή χωρίς περιστροφή του εργαλείου και έλεγχο με γραφική παρουσίαση,
- Έτοιμους κύκλους κατεργασιών για διάτρηση, βαθιά διάτρηση, φραιζάρισμα εσοχών και νησίδων, σπειροτόμηση, γλύφανση κ.λπ.

Όργανα τραχυμέτρησης

Ταξινόμηση οργάνων μέτρησης

Τα όργανα τραχυμέτρησης τα οποία χρησιμοποιούνται στη μέτρηση της τραχύτητας είτε στο εργαστήριο είτε στη παραγωγή 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.

Όργανα τύπου στυλίσκου

Η αρχή λειτουργίας του τραχύμετρου είναι η ακόλουθη :

Στυλίσκος ο οποίος φέρει αδαμάντινη ακίδα διατρέχει τη θεωρούμενη επιφάνεια με σταθερή ταχύτητα για ορισμένο μήκος. Οι εν λόγω ανωμαλίες της επιφάνειας προκαλούν μετακινήσεις του στυλίσκου που μετατρέπονται κατάλληλα σε μεταβολές τάσης (ή εντάσεως), οι οποίες ηλεκτρονικά ενισχυμένες και καταγραμμένες παρουσιάζονται ως οι αποκλίσεις του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας από την κεντρική γραμμή.

Η κεντρική γραμμή στα όργανα αυτά δημιουργείται με την χρησιμοποίηση ειδικού πέλδου, το οποίο τοποθετείται πριν το στυλίσκο και ολισθαίνει στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Οι μεταβολές της τάσεως (ή εντάσεως), οι οποίες προκαλούνται από τις μετακινήσεις του στυλίσκου, οδηγούνται σε κυκλώματα ενισχύσεως και ολοκληρώσεως, των οποίων η έξοδος δίνει τη μέση τιμή της τραχύτητας R_a (τιμή CL_A).

Βασικό χαρακτηριστικό των οργάνων αυτών είναι το λεγόμενο «μήκος κύματος αποκοπής». Αυτό σημαίνει ότι το όργανο κατά τον υπολογισμό της τιμής R_a

παρέχει απόκριση σε τραχύτητα βήματος μικρότερου από του καθοριζόμενου μήκους κύματος αποκοπής. Το μήκος κύματος αποκοπής λαμβάνεται αριθμητικώς ίσο προς το δειγματοληπτικό μήκος. Κατά τις μετρήσεις όμως, η διαδρομή του στυλίσκου λαμβάνεται πολλαπλάσια του μήκους κύματος αποκοπής και έτσι το όργανο δίνει αυτομάτως το μέσο όρο τιμών της R_a από τα διαδοχικά λαμβανόμενα δειγματοληπτικά μήκη.

Η κατάλληλη εκλογή του μήκους κύματος αποκοπής για δεδομένη περίπτωση μετρήσεως έχει μεγάλη σημασία. Για να καταστεί δυνατή η σύγκριση αποτελεσμάτων μέτρησης τραχύτητας διενεργούμενη σε αυτό ή άλλο όργανο, πρέπει ρητά να αναφέρεται η χρησιμοποιημένη τιμή του μήκους αποκοπής. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα πρέπει η τιμή να είναι η ίδια.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Διαδικασία κατεργασίας και τραχυμέτρησης

Η κατεργασία των δοκιμίων, όπως προαναφέρθηκε, έγινε στο κέντρο κατεργασίας DECKEL MAHO MH 600C με δυνατότητα ταυτόχρονης κίνησης σε πέντε άξονες. Ακολούθησε η τραχυμέτρηση των δοκιμίων με το τραχύμετρο DIAVITE DT-100.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εργαλειομηχανών του Τμήματος Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι. Σερρών. Κατόπιν χωρίστηκαν σε ομάδες ανάλογα με την υπό μελέτη στρατηγική φραιζαρίσματος.

Για τα πειράματα κατεργασίας, όπου μελετήθηκε η επίδραση της κλίσης του κοπτικού εργαλείου, χρησιμοποιήθηκε ο τέταρτος άξονας Β του κέντρου κατεργασίας, ο οποίος είναι η περιστροφή του τραπεζιού. Η κατεργασία έγινε στο κατακόρυφο επίπεδο (G17) που ορίζουν οι άξονες Χ και Υ, με την κεφαλή της μηχανής στην οριζόντια θέση (M53). Έτσι προέκυψε η ανάγκη να δεθεί το δοκίμιο κάθετα στην τράπεζα κατεργασίας, το οποίο και έγινε. Τα υπόλοιπα πειράματα έγιναν στο οριζόντιο επίπεδο (G18) που ορίζουν οι άξονες Χ και Ζ, με την κεφαλή της μηχανής στην κατακόρυφη θέση (M54). Σ' αυτή την περίπτωση το δέσιμο των δοκιμίων έγινε με τη βοήθεια μέγγενης.

Προετοιμασία των κοπτικών εργαλείων.

Για την εκχόνδριση των κομματιών χρησιμοποιήθηκαν τετράπτερα κονδύλια από ταχυχάλυβα HSS με γεωμετρικά χαρακτηριστικά 20x16x75x135, διαμέτρου Φ20 mm. Για την αποπεράτωση χρησιμοποιήθηκαν δίπτερα κονδύλια σφαιρικής απόληξης, από ταχυχάλυβα HSS 8%Co, διαμέτρου Φ20 mm. Πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός εργαλείων ώστε τα αποτελέσματα των πειραμάτων να επηρεαστούν όσο γίνεται λιγότερο από τη φθορά τους.

Επειδή τα πειράματα απαιτούσαν μεγάλη ακρίβεια, έπρεπε να δοθεί μεγάλη προσοχή στις διαστάσεις των κοπτικών, ώστε να επιτευχθούν τα απαιτούμενα αξονικά και ακτινικά βάθη κοπής. Έτσι για τη μέτρηση των διαστάσεων τους χρησιμοποιήθηκε η συσκευή της Εικόνα 2, με την οποία μετράται το μήκος και η ακτίνα του κοπτικού. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής είναι:

- Ψηφιακή οθόνη για παρουσίαση των μετρήσεων τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη διεύθυνση,
- Μετρητικό ρολόι με το οποίο γίνονται οι μετρήσεις και μπορεί να περιστρέφεται κατά 90° ,
- Μέτρηση τόσο στο Μετρικό όσο και στο Αγγλοσαξονικό σύστημα,
- Μέγιστο μήκος μέτρησης : 400 mm,
- Μέγιστη διάμετρος μέτρησης : 205 mm,
- Ανάλυση μέτρησης : < 0.01 mm,
- Ακρίβεια μέτρησης : < 0.025 mm,
- Ενέργεια : 2 x 1.5 V



Εικόνα 2 : Συσκευή μέτρησης των διαστάσεων των κοπτικών εργαλείων

Προετοιμασία των υπό κατεργασία κομματιών.

Τα κατεργαζόμενα κομμάτια συγκρατήθηκαν με μέγγενη όταν δε χρειαζόταν περιστροφή του τραπεζιού, ενώ όπου χρειαζόταν, συγκρατήθηκαν επάνω σε κατάλληλη ιδιοκατασκευή. Στην πρώτη περίπτωση ο ορισμός του μηδενικού σημείου των αξόνων επάνω στο τεμάχιο, έγινε με το ειδικό όργανο μηδενισμού της μηχανής, το 3D Taster. Στη δεύτερη περίπτωση, λόγω της περιστροφής του τραπεζιού και για να μην έχουμε αποκλίσεις από τα επιθυμητά αξονικά και ακτινικά βάθη, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

Αφού πρώτα ορισθεί ως επίπεδο κατεργασίας το κατακόρυφο επίπεδο X-Y (G17), το τραπέζι οδηγείται στη θέση αλλαγής εργαλείου. Εκεί, και χωρίς εργαλείο, τίθενται ως συντεταγμένες $X=-291.037$ και $Z=342.343$. Έτσι μ' αυτόν τον τρόπο αν προγραμματισθεί το κοπτικό εργαλείο να πάει στο σημείο 0,0 αυτό θα οδηγηθεί στο κέντρο του τραπεζιού το οποίο είναι και το κέντρο περιστροφής του. Ύστερα προγραμματίζεται το κοπτικό να πάει στο σημείο $X=0$, μετά στο $X=-80$ και εκεί τίθεται $X=0$. Αυτό γίνεται διότι τα προγράμματα κατεργασίας έχουν γίνει για τεμάχια διάστασης 160mm επάνω στον άξονα X, με κέντρο περιστροφής τους το κέντρο του τεμαχίου. Τέλος μηδενίζεται ο άξονας Y με το 3D Taster στην επάνω επιφάνεια του τεμαχίου. Ακολουθεί η διαδικασία εκχόνδρισης ώστε το επίπεδο κατεργασίας που θα προκύψει να είναι σίγουρα κάθετο ως προς το εργαλείο και το προς κατεργασία επίπεδο, σε απόσταση 0.3 mm από τον άξονα περιστροφής του τραπεζιού. Με τον τρόπο αυτό η επιφάνεια που θα προκύψει κατά την αποπεράτωση να βρίσκεται επάνω στον άξονα περιστροφής του τραπεζιού.

Κατεργασία των δοκιμίων.

Τα προγράμματα των κατεργασιών πληκτρολογήθηκαν με τη βοήθεια το επεξεργαστή κειμένου Word της Microsoft 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.

Όπου χρειάστηκε υπολογισμός των σημείων μεταξύ των οποίων κινούταν το κοπτικό εργαλείο χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα σχεδίασης AutoCad. Αυτό έγινε κυρίως στις κατεργασίες με κίνηση του κοπτικού σε διεύθυνση με κλίση 45° ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Τραχυμέτρηση των δοκιμίων.

Για τη μέτρηση της τραχύτητας στην προκύπτουσα επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε ένα όργανο τραχυμέτρησης το οποίο ανήκει στα μηχανικά-ηλεκτρονικά όργανα τύπου στυλίσκου, το DIAVITE DT-100 του Εργαστηρίου Εργαλειομηχανών του Τμήματος Μηχανολογίας στο Τ.Ε.Ι. Σερρών (Εικόνα 3). Ο στυλίσκος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία είναι τύπου ST.

Η μέτρηση της τραχύτητας έγινε κατά τη προδιαγραφή του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησης, ISO/R468, η οποία έχει υιοθετηθεί και ως Ελληνική προδιαγραφή ΕΝΟ/1065 (1973). Με τη προδιαγραφή αυτή του ISO υιοθετείται για την προτυποποίηση της τραχύτητας επιφάνειας το σύστημα Κεντρικής Γραμμής.

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.



Εικόνα 3 : Η διάταξη τραχυμέτρησης.

Γενικά μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

Το ομόρροπο φραιζάρισμα έχει καλύτερα αποτελέσματα από το αντίρροπο. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το μηχανισμό σχηματισμού του αποβλίπτου. Στο αντίρροπο φραιζάρισμα υπάρχει δυσκολία στην εισχώρηση του κοπτικού στο υλικό με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικροταλαντώσεις οι οποίες επηρεάζουν δυσμενώς την τραχύτητα. Πολύ συνηθισμένο, όμως, είναι και το γεγονός, το αντίρροπο φραιζάρισμα να είναι καλύτερο από το ομόρροπο. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι η ψευδόκοψη η οποία έχει επικαθίσει σε μια κοπή να απομακρύνεται στην επόμενη. Στο διατρητικό φραιζάρισμα ευνοείται η ύπαρξη ψευδόκοψης, με αποτέλεσμα το ομόρροπο να παρουσιάζεται χειρότερο από το αντίρροπο, στο οποίο η ψευδόκοψη απομακρύνεται.

Η διαφορά στο ελκτικό και στο διατρητικό φραιζάρισμα έγκειται στη ροή και απομάκρυνση του αποβλίπτου. Έτσι είναι ευνοϊκή στο ελκτικό-ομόρροπο και δυσμενής στο διατρητικό-ομόρροπο. Η τραχύτητα στις περιπτώσεις ελκτικού-αντίρροπου και διατρητικού-αντίρροπου είναι περίπου η ίδια και βρίσκεται κάπου ανάμεσα από τις δύο άλλες περιπτώσεις.