



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΜΙΚΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΟΥ
ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΡΜΜΑ

ΣΠΥΡΟΥΛΙΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΡ. ΔΙΠΛ. : 125

ΧΑΝΙΑ 2024

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΠΟΛΥΣΤΡΟΦΟΥ	5
2.1. Ρύθμιση του κοπτικού	5
2.2. Εισαγωγή κεφαλής στην DMU eco	6
2.3. Έναρξη της μηχανής IBAG	8
3. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	10
3.1. Ιστορική αναδρομή	10
3.1.1. Η σημερινή σημασία του HSM	11
3.2. Η εφαρμογή της μηχανικής αυξημένης ταχύτητας.....	11
3.2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του HSM	12
3.2.2. Η μεταφορά δεδομένων και η ισορροπία εργαλείων, σημαντικά για το HSM.....	13
3.2.3. Η νέα βασισμένη σε NURBS τεχνολογία.....	13
3.2.4. Η επιλογή των εργαλείων κράτησης	13
3.2.5. Σχεδιασμός διαδικασιών μητρών & καλουπιών.....	14
3.3. Τεχνολογία εφαρμογής.....	15
3.3.1. Αποτελεσματική διάμετρος στην τομή.....	15
3.3.2. Αποφυγή υπερβολικής εκτροπής.....	15
3.3.3. Το φρεζάρισμα προς τα κάτω είναι σημαντικό	15
3.4. Γνωρίζοντας τις παραμέτρους διαδικασιών	16
3.4.1. Cutter pitch	16
3.4.2. Τοποθέτηση και μήκος κοπής.....	16
3.4.3. Είσοδος και έξοδος κοπής	17
3.4.4. Επεκταμένα εργαλεία κατά την αφαίρεση μιας κοιλότητας	17
3.4.5. Μέθοδοι για κατεργασία γωνιών	18
3.4.6. Εμβόλωση και κυκλική παρέμβαση	18
3.4.7. Μηχανουργία σε τμήματα	19
4. Εκτέλεση Πειράματος: Κοπές & Μετρήσεις	20
4.1. Εισαγωγή στο πείραμα.....	20
4.1.1. Σκοπός του πειράματος.....	20
4.1.2. DMU 50 eco	20
4.1.3. IBAG HFK 95.....	21
4.1.4. Bruker Contour GT-K 3D	22
4.2. Διαδικασία του πειράματος.....	23
4.2.1. Δεδομένα του πειράματος.....	23

4.2.2.	Εφαρμογή του πειράματος	26
4.2.3.	Αποτελέσματα κατεργασίας	27
4.3.	Αποτελέσματα επιφανειών	29
4.3.1.	Επιφάνειες 24 πειραμάτων	29
4.3.2.	Τιμές τραχύτητας	37
4.3.3.	Συμπεράσματα πειραμάτων	37
5.	Πειραματική Εκτέλεση και Ανάλυση Κοπών	39
5.1.	Περιγραφή πειράματος	39
5.1.1.	Επιλογή υλικού: Η χρήση της PMMA.....	39
5.1.2.	Προετοιμασία της επιφάνειας.....	40
5.1.3.	Προετοιμασία μηχανών.....	41
5.2.	Αποτελέσματα και συμπεράσματα.....	41
ΣΥΝΟΨΗ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αναδεικνύει και αναλύει την χρήση του πολυστρόφου IBAG, εστιάζοντας στον χειρισμό και τις δυνατότητες του στο πλαίσιο της μηχανουργίας. Το δεύτερο κεφάλαιο παρέχει ένα εγχειρίδιο για τη σωστή χρήση του πολυστρόφου IBAG, ενώ το τρίτο κεφάλαιο εξετάζει την τεχνική της υψηλής ταχύτητας κοπής (high speed cutting) και τα οφέλη της στον τομέα της κατεργασίας υλικών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν και περιγράφονται λεπτομερώς τα 24 πειράματα που εκτελέστηκαν, μετρήσεις στο προφیلόμετρο και ανάλυση των αποτελεσμάτων. Η αξιολόγηση αυτή προσφέρει σημαντική κατανόηση των επιδόσεων των μηχανών, σε συνδυασμό με την τεχνική της υψηλής ταχύτητας κοπής.

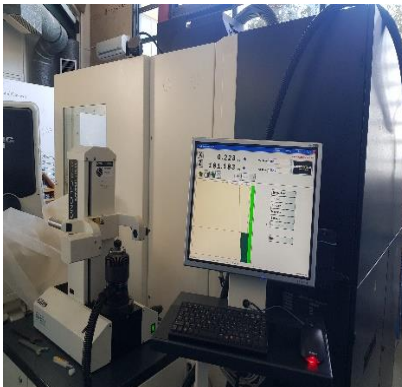
Τέλος, το πέμπτο κεφαλαίο εστιάζει στην ουσιαστική διαδικασία προσομοίωσης και κοπής, αναδεικνύοντας τη σημασία της για την επιτυχημένη υλοποίηση των πειραμάτων σε συνεργασία με την σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (ΜηχΟΠ).

2. ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΠΟΛΥΣΤΡΟΦΟΥ

2.1. Ρύθμιση του κοπτικού



Το πολύστροφο τοποθετείται επάνω από την κόκκινη ντουλάπα και δεν μετακινείται ποτέ από αυτήν. Στα δύο συρτάρια θα βρείτε κοπτικά και άλλα χρήσιμα εργαλεία. Στο τελευταίο ντουλάπι, το οποίο ανοίγει προς τα πάνω και συρταρωτά μέσα, βρίσκεται η κεφαλή του πολύστροφου που τοποθετείται στην μηχανή.

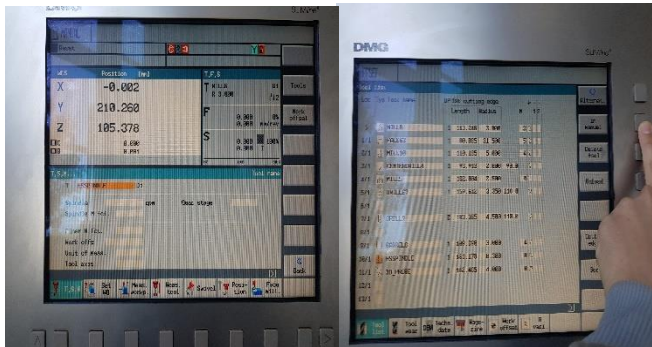


1. Στη συνέχεια, ο χειριστής παίρνει την κεφαλή του πολύστροφου και, προσέχοντας τα καλώδια που είναι συνδεδεμένα, την περνά από πάνω και πίσω της CNC φρέζας, τοποθετώντας την στο μετρικό. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τα δύο κλειδιά, ανοίγει τη θέση όπου τοποθετείται το κοπτικό.



2. Αφού επιβεβαιωθεί ότι το εργαλείο έχει τοποθετηθεί σωστά, θα χρησιμοποιεί το μετρητικό για να ληφθεί η τιμή στον άξονα Z. Είναι σημαντικό να επιτευχθεί υψηλό ποσοστό ακρίβειας (90% και άνω). Ο χειριστής σημειώνει αυτήν την τιμή σε ένα χαρτί, η οποία θα χρησιμοποιήσει σε λίγο.

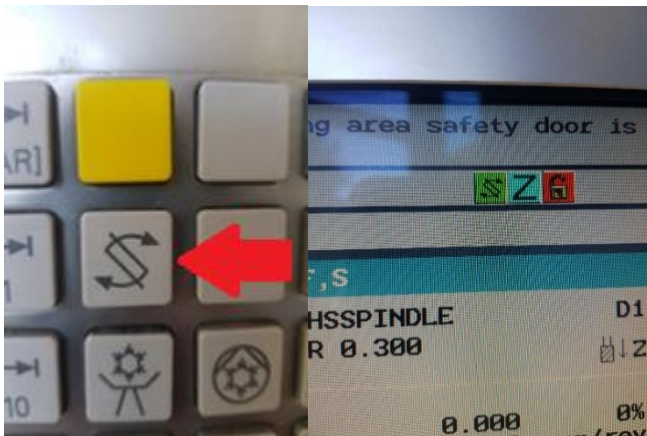
2.2. Εισαγωγή κεφαλής στην DMU eco



3. Στη μηχανή CNC, στην καρτέλα των εργαλείων, επιλέγεται το HSSPINDLE και ενεργοποιεί την εντολή "In Manual". Η μηχανή φορτώνει εικονικά το εργαλείο αυτό. Είναι **σημαντικό**, να ελευθερωθεί η άτρακτος έτσι ώστε να μην υπάρχει κανένα εργαλείο.



4. Καθώς η άτρακτος είναι άδεια από εργαλείο, ο χειριστής μεταβαίνει στην καρτέλα των εργαλείων, επιλέγεται το HSSPINDLE, και κατευθύνεται προς την ενότητα Length. Καταχωρείται η τιμή που σημειώθηκε προηγουμένως στο χαρτί.



5. Στη συνέχεια, πατώντας το συγκεκριμένο κουμπί, επιλέγεται η δυνατότητα να δοθεί εργαλείο χειροκίνητα στην άτρακτο. Για να επιβεβαιωθεί ότι η εντολή έχει δοθεί, εμφανίζεται στην οθόνη σε ψηφιακή μορφή το εν λόγω κουμπί.



6. Στρέφοντας αυτόν τον διακόπτη, η άτρακτος ανοίγει τα μάγουλα για να τοποθετηθεί το εργαλείο. Έπειτα, μετά την εκτέλεση της 5ης εντολής, διατηρείται ο διακόπτης στραμμένος και τοποθετείται το πολύστροφο πάνω στην άτρακτο. **Είναι προτιμότερο να γίνει αυτή η διαδικασία με τη βοήθεια ενός δεύτερου ατόμου.**

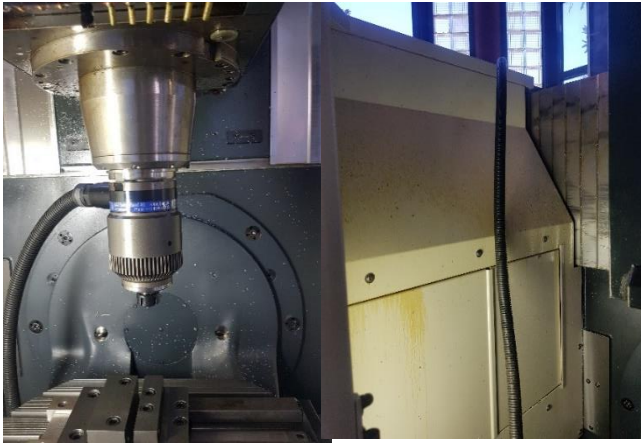


7. Η τοποθέτηση του πολυστρόφου είναι προτιμότερο να γίνεται με τα δύο χέρια, προκειμένου να αποφευχθούν ζημιές. Για αυτό το λόγο, συνιστάται η παρουσία ενός δεύτερου ατόμου που θα κρατά τον διακόπτη, κρατώντας τα μάγουλα ανοιχτά, ενώ το πρώτο άτομο εκτελεί την τοποθέτηση του πολυστρόφου.



8. Τα μάγουλα πρέπει να εφαρμόζουν ακριβώς στις εγκοπές του πολυστρόφου. Αφού έχουν εφαρμόσει σωστά, τότε ελευθερώνεται ο διακόπτης έτσι ώστε να τα ασφαλίσει.

2.3. Έναρξη της μηχανής IBAG



9. Αφού ασφαλιστεί το πολύστροφο, επιβεβαιώνεται ότι βρίσκεται στη σωστή θέση, με το καλώδιο που έχει περαστεί να είναι τοποθετημένο με προσοχή και ακριβώς όπως δείχνει η εικόνα.



10. Στη δεξιά πλευρά της φρέζας, υπάρχει η βάνα του αέρα που ο χειριστής πρέπει να ανοίξει και να επιβεβαιώσει τη λειτουργία της. Μόνο όταν επαληθευθεί ότι λειτουργεί σωστά, τότε το πολύστροφο μπορεί να τεθεί σε λειτουργία.



11. Για να διευκολυνθεί η χρήση του πολύστροφου κατά τη διαδικασία κοπής, τοποθετείται το πολύστροφο δίπλα από τη μηχανή CNC. Για να ενεργοποιηθεί, ανοίγεται ο διακόπτης 0/I.



12. Σε περίπτωση που η βάνα δεν είναι ανοιχτή, το πολύστροφο θα εμφανίζει στην οθόνη το μήνυμα σφάλματος "Error" (External device error). **Προσοχή!** Αν η βάνα είναι ανοιχτή αλλά δεν ακούγεται ο αέρας, πρέπει να ελεγχθεί το πράσινο σωληνάκι που συνδέεται με το πολύστροφο και να επιστρέψει στην κανονική του μορφή. Καμιά φορά, το σωληνάκι μπορεί να τσαλακωθεί, εμποδίζοντας την ελεύθερη ροή του αέρα. Αν το σωληνάκι παραμένει τσαλακωμένο και ο αέρας δεν ρέει, το πολύστροφο μπορεί να λειτουργήσει, αφού διαβάσει ότι η βάνα είναι ανοιχτή. Όταν επιβεβαιωθεί ότι όλα λειτουργούν σωστά, πατάμε το κουμπί reset για να εξαφανιστεί το μήνυμα σφάλματος.



13. Στη συνέχεια, πρέπει να πατηθεί το κουμπί start για να εκκινήσει τη λειτουργία του το πολύστροφο. Πρέπει να διαπιστωθεί ότι τα κουμπιά start και reset είναι αναμμένα για να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία.



14. Τέλος, ο χειριστής αυξομειώνει τις στροφές σιγά-σιγά χρησιμοποιώντας τον μαύρο διακόπτη αυξομείωσης (dimmer) μέχρι να φτάσουν στο επιθυμητό επίπεδο. Το ίδιο ισχύει και όταν επιθυμεί να κλείσει ή να μειώσει τις στροφές

15. Για να απενεργοποιηθεί η μηχανή, ο χειριστής πατάει το κουμπί stop και ακολουθεί τα παραπάνω βήματα με αντίστροφη σειρά.

3. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

3.1. Ιστορική αναδρομή

Η κατεργασία υψηλής ταχύτητας συνήθως αναφέρεται σε μετωπικά φρεζαρίσματα σε πολύ υψηλές ταχύτητες περιστροφής και σε υψηλές επιφανειακές τροφοδοσίες.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 60 ετών, το HSM έχει εφαρμοστεί σε μία ευρεία γκάμα μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής εξαρτημάτων με συγκεκριμένες τοπογραφικές απαιτήσεις και μηχανουργική κατεργασία υλικών με σκληρότητα 50 HRC και πάνω. Με τα περισσότερα εξαρτήματα από χάλυβα, τα οποία έχουν σκληρυνθεί σε περίπου 32-42 HRC, οι επιλογές κατεργασίας περιλαμβάνουν επί του παρόντος:

- ακατέργαστη μηχανική κατεργασία και ημι-τελική επεξεργασία του υλικού στη μαλακή του κατάσταση.
- θερμική επεξεργασία για την επίτευξη της τελικής απαιτούμενης σκληρότητας (≤ 63 HRC).
- κατεργασία ηλεκτροδίων και κατεργασία ηλεκτρικής εκκένωσης (EDM) συγκεκριμένων τμημάτων των καλουπιών.
- φινίρισμα και υπερ-φινίρισμα κυλινδρικών/επίπεδων/κοιλωδών επιφανειών με κατάλληλο καρβίδιο με τσιμέντο, κεραμομεταλλικό, συμπαγές καρβίδιο, μικτό κεραμικό ή πολυκρυσταλλικό κυβικό νιτρίδιο του βορίου.

Με πολλά εξαρτήματα, η παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνει συνδυασμό αυτών των επιλογών και στην περίπτωση καλουπιών περιλαμβάνει και χρονοβόρο φινίρισμα με το χέρι. Κατά συνέπεια, το κόστος παραγωγής μπορεί να είναι υψηλό και οι χρόνοι παράδοσης υπερβολικοί.

Χαρακτηριστικό για τη βιομηχανία καλουπιών είναι η παραγωγή ενός ή λίγων εργαλείων από το ίδιο σχέδιο. Η διαδικασία περιλαμβάνει συνεχείς αλλαγές του σχεδιασμού. Και λόγω της ανάγκης αλλαγών σχεδιασμού υπάρχει και αντίστοιχη ανάγκη της μέτρησης και της αντίστροφης μηχανικής.

Ένας από τους κύριους στόχους της βιομηχανίας καλουπιών ήταν, και είναι, να μειώσει ή να εξαλείψει την ανάγκη χειροκίνητου γυαλίσματος και έτσι να βελτιώσει την ποιότητα, να συντομεύσει το κόστος παραγωγής χρόνου.

Οι κύριοι οικονομικοί και τεχνικοί παράγοντες για την ανάπτυξη του HSM:

Η επιβίωση: Ο διαρκώς αυξανόμενος ανταγωνισμός στην αγορά δημιουργεί νέα στάνταρ και έτσι οι απαιτήσεις για μεγαλύτερη αποδοτικότητα χρόνου και κόστους αυξάνεται. Αυτό έχει αναγκάσει την ανάπτυξη νέων διαδικασιών και τεχνικών παραγωγής να λάβουν χώρα.

Υλικά: η ανάπτυξη νέων, πιο δύσκολων υλικών έχει υπογραμμίσει την ανάγκη να βρεθούν νέες μηχανικές λύσεις.

Ποιότητα: υπάρχει απαίτηση στην αγορά για καλύτερη ποιότητα και το HSM είναι αυτό που μπορεί να δώσει τη λύση. Για παράδειγμα με την αντικατάσταση του χειροκίνητου φινιρίσματος.

Διαδικασίες: ακόμα και η απαίτηση για μικρότερους χρόνους και απλοποιημένες ροές μπορούν να επιλυθούν με το HSM.

Σχέδιο και Ανάπτυξη: με την αύξηση του ανταγωνισμού, αυτό που ξεχωρίζει στην αγορά είναι η καινοτομία. Τα προαπαιτούμενα αυτής είναι η τεχνική του HSM που συνδυάζει γρήγορες αλλαγές σχεδιασμού και γρήγορη ανάπτυξη προϊόντος.

Σύνθετα προϊόντα: υπάρχει αύξηση πολυλειτουργικών επιφανειών σε εξαρτήματα. Τέτοιες επιφάνειες πρέπει να φινιρίζονται με μηχανική επεξεργασία και κατά προτίμηση με HSM.

Εξοπλισμός παραγωγής: η μεγάλη ανάπτυξη υλικών κοπής, εργαλειομηχανών κτλ απαιτούν νέες μεθόδους παραγωγής και νέων τεχνικών.

3.1.1. Η σημερινή σημασία του HSM

Η συζήτηση για την κατεργασία υψηλής ταχύτητας χαρακτηρίζεται ως ένα βαθμό από σύγχυση. Υπάρχουν πολλές απόψεις, πολλοί μύθοι και πολλοί τρόποι για να χαρακτηρίσουμε το HSM. Υπάρχουν πολλοί παράμετροι που επηρεάζουν τη διαδικασία κατεργασίας όπως: η πραγματική ταχύτητα κοπής, τα ρηχά κοψίματα, η τεχνολογία εφαρμογής, τα χαρακτηριστικά του σημερινού HSM σε σκληρυμένο χάλυβα εργαλείων, τα δεδομένα κοπών.

Πρακτικός ορισμός του HSM:

- Το HSM δεν είναι απλώς υψηλή ταχύτητα κοπής. Θα πρέπει να θεωρηθεί ως διαδικασία όπου γίνονται οι λειτουργίες με πολύ συγκεκριμένες μεθόδους και εξοπλισμό παραγωγής.
- Το HSM δεν είναι απαραίτητα υψηλός άξονας μηχανικής κατεργασίας ταχύτητας. Πολλές εφαρμογές HSM εκτελούνται με μέτριο άξονα και μεγάλου μεγέθους κόφτες.
- Το HSM εκτελείται στο φινίρισμα σε σκληρυμένο χάλυβα με υψηλές ταχύτητες και τροφοδοτεί με 4-6 φορές τα συμβατικά δεδομένα κοπής.
- Η HSM είναι Μηχανική Υψηλής Παραγωγικότητας σε εξάρτημα μικρού μεγέθους στην τραχύτητα του φινιρίσματος και του φινιρίσματος και του υπερ-φινιρίσματος σε εξαρτήματα όλων των μεγεθών.
- Το HSM θα αποκτά μεγαλύτερη σημασία από το πόσο καθαρότερο σχήμα παίρνουν τα εξαρτήματα.
- Το HSM εκτελείται σήμερα κυρίως σε 40 κωνικές μηχανές.

3.2. Η εφαρμογή της μηχανικής αυξημένης ταχύτητας

Μπορούμε λοιπόν να κατονομάσουμε τους κύριους τομείς εφαρμογής του HSM.

Φρεζάρισμα κοιλοτήτων: Είναι λοιπόν δυνατό να εφαρμόσουμε το HSM σε κατάλληλους, υψηλής κραματοποίησης χάλυβες εργαλείων έως 60-63 HRc. [1] Όταν φρεζάρονται κοιλότητες σε τέτοια σκληρά υλικά, είναι σημαντικό να επιλέγονται επαρκή εργαλεία κοπής και συγκράτησης για κάθε συγκεκριμένη λειτουργία. Για να έχει επιτυχία, είναι επίσης πολύ σημαντικό να χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένο εργαλείο, δεδομένα κοπής και στρατηγικές κοπής.

Μήτρες σφυρηλάτησης: Οι περισσότερες μήτρες σφυρηλάτησης είναι κατάλληλες για HSM λόγω της ρηχής γεωμετρίας που έχουν οι περισσότερες από αυτές. Τα μικρά εργαλεία έχουν πάντα υψηλότερη παραγωγικότητα λόγω μικρότερης κάμψης (καλύτερη σταθερότητα). Η συντήρηση καλουπιών σφυρηλάτησης είναι πολύ απαιτητική λειτουργία καθώς η επιφάνεια είναι πολύ σκληρή και συχνά έχει ρωγμές.

Μήτρες χύτευσης: Αυτός είναι ένας τομέας όπου Το HSM μπορεί να χρησιμοποιηθεί με παραγωγικό τρόπο καθώς οι περισσότερες μήτρες χύτευσης κατασκευάζονται από απαιτητικούς χάλυβες εργαλείων και έχουν μέτριο ή μικρό μέγεθος.

Καλούπια έγχυσης και καλούπια φυσήματος: είναι και αυτά κατάλληλα για HSM, ειδικά λόγω του μικρού τους μεγέθους. Κάτι που το καθιστά οικονομικό στην εκτέλεση όλων των εργασιών με μία ρύθμιση.

Φρέζα ηλεκτροδίων σε γραφίτη και χαλκό. Η τάση είναι ότι η κατασκευή ηλεκτροδίων και η απασχόληση του EDM σταθερά μειώνεται, ενώ η αφαίρεση υλικού με το HSM αυξάνεται.

Μοντελοποίηση και προτυποποίηση μητρών και καλουπιών: Μία από τις πρώτες περιοχές για HSM.

3.2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του HSM

Πλεονεκτήματα:

- Η θερμοκρασία του εργαλείου κοπής και του τεμαχίου εργασίας διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.
- Παρατεταμένη διάρκεια ζωής του εργαλείου σε πολλές περιπτώσεις.
- Το κόστιμο είναι ρηχό και ο χρόνος συμπλοκής είναι υπερβολικά μικρός γιατί η αιχμή είναι εξαιρετικά μικρή.
- Η τροφοδοσία είναι ταχύτερη από τον χρόνο για τη διάδοση της θερμότητας.
- Χαμηλή δύναμη κοπής η οποία δίνει μία μικρή και σταθερή παρέκκλιση εργαλείου. Αυτό, σε συνδυασμό με ένα σταθερό απόθεμα για καθεμιά λειτουργία και εργαλείο, είναι μια από τις προϋποθέσεις για μια εξαιρετικά παραγωγική και ασφαλή διαδικασία.

Μειονεκτήματα:

- Οι υψηλότεροι ρυθμοί επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, εκκίνηση και διακοπή του άξονα. δίνουν σχετικά ταχύτερη φθορά όπου οδηγεί σε μεγαλύτερα έξοδα συντήρησης.
- Ειδικές γνώσεις διαδικασίας, εξοπλισμός προγραμματισμού και διεπαφή για γρήγορη μεταφορά δεδομένων.
- Μπορεί να είναι δύσκολο να βρεθεί και να προσληφθεί εξειδικευμένο προσωπικό.
- Μεγάλη περίοδος δοκιμών και σφαλμάτων.
- Ανθρώπινα λάθη ή τα σφάλματα λογισμικού έχουν μεγάλες συνέπειες.
- Απαιτείται καλή δουλειά και σχεδιασμός διαδικασίας.
- Απαιτούνται προφυλάξεις ασφαλείας.

3.2.2. Η μεταφορά δεδομένων και η ισορροπία εργαλείων, σημαντικά για το HSM

Για την εκτέλεση εφαρμογών κατεργασίας υψηλής ταχύτητας (HSM) είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ειδικές εργαλειομηχανές. Είναι εξίσου σημαντικό να υπάρχει λογισμικό υπολογιστών και χειριστήρια μηχανημάτων με ειδικά χαρακτηριστικά και επιλογές σχεδίασης για να διασφαλιστεί ότι μπορούν να προγραμματιστούν σωστές διαδρομές εργαλείων.

Οι εφαρμογές HSM δημιουργούν την ανάγκη πολύ ταχύτερης επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ διαφορετικών μονάδων στην αλυσίδα διαδικασίας. Υπάρχουν επίσης συγκεκριμένες συνθήκες για τη διαδικασία κοπής σε εφαρμογές HSM που συμβατικές CNCs δεν μπορούν να χειριστούν.

Αυτός ο τύπος δομής διεργασίας χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη διαμόρφωση δεδομένων για κάθε υπολογιστή. Η επικοινωνία δεδομένων μεταξύ κάθε υπολογιστή σε αυτή την αλυσίδα πρέπει να προσαρμοστεί και να μεταφραστεί. Και η επικοινωνία είναι πάντα μονόδρομου τύπου. Υπάρχουν συχνά διάφοροι τύποι διεπαφών χωρίς κοινό πρότυπο.

Το κύριο πρόβλημα είναι ότι ένας συμβατικός έλεγχος (CNC) δεν καταλαβαίνει τις προηγμένες γεωμετρικές πληροφορίες από τα συστήματα CAD/CAM χωρίς μετάφραση και απλούστευση των δεδομένων γεωμετρίας.

3.2.3. Η νέα βασισμένη σε NURBS τεχνολογία

Αυτή η ενσωμάτωση των CAD→CAM→CNC σημαίνει ότι ο προγραμματισμός του CNC θεωρεί μια γενική εργαλειομηχανή που κατανοεί όλες τις γεωμετρικές εντολές που προέρχονται από τον προγραμματισμό NC. Η τεχνική βασίζεται στο ότι το CNC προσαρμόζει αυτόματα τον συγκεκριμένο άξονα και κόφτη για κάθε ειδική εργαλειομηχανή και ρύθμιση.

Οι διαδρομές εργαλείων που βασίζονται σε ευθείες γραμμές έχουν μη συνεχείς μεταβάσεις. Για το CNC αυτό σημαίνει πολύ μεγάλα άλματα στην ταχύτητα μεταξύ διαφορετικών κατευθύνσεων στους άξονες του μηχανήματος. Ο μόνος τρόπος για να μπορέσει το CNC να χειριστεί αυτό είναι επιβραδύνοντας την ταχύτητα των αξόνων, για παράδειγμα σε μια γωνία. Αυτό σημαίνει σοβαρή απώλεια παραγωγικότητας.

Ένα NURBS δημιουργείται από τρεις παραμέτρους. Αυτές είναι οι στύλοι, τα βάρη και οι κόμβοι. Καθώς τα NURBS βασίζονται σε μη γραμμικές κινήσεις, οι διαδρομές εργαλείων θα έχουν συνεχείς μεταβάσεις και έχουν τη δυνατότητα διατήρησης πολύ υψηλότερης επιτάχυνσης, επιβράδυνσης και παρεμβολής ταχυτήτων. Η αύξηση της παραγωγικότητας μπορεί να είναι έως και 20-50%. Όσο πιο ομαλή κίνηση της μηχανικής τόσο καλύτερο το επιφανειακό φινίρισμα, η διαστατική και γεωμετρική ακρίβεια.

3.2.4. Η επιλογή των εργαλείων κράτησης

Ακριβώς όπως το CAD / CAM και το μηχάνημα ελέγχου είναι σημαντικά για να υπάρξουν καλά αποτελέσματα κατεργασίας και βελτιστοποιημένη παραγωγή, τα εργαλεία συγκράτησης / κοπής είναι ίσης σημασίας.

Ένα από τα βασικά κριτήρια κατά την επιλογή τόσο των εργαλείων συγκράτησης όσο και των εργαλείων κοπής είναι να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερο τρέμουλο.

Σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή εργαλείων:

- Αγορά ποιοτικών εργαλείων και εργαλειοθήκης. Αναζήτηση εργαλειοθηκών που έχουν σχεδιαστεί για την απομάκρυνση της ανισορροπίας.
- Προτίμηση εργαλείων που είναι μικρά και όσο το δυνατόν πιο ελαφριά.
- Τακτικός έλεγχος εργαλείων και εργαλειοθηκών για ρωγμές και σημάδια παραμόρφωσης

3.2.5. Σχεδιασμός διαδικασιών μητρών & καλουπιών

Κατά την κατεργασία καλουπιών και μητρών, και σε οποιαδήποτε κατεργασία, η διαδικασία πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένη ώστε να χρησιμοποιηθεί η αποτελεσματικότερη δυνατή μέθοδος και να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα.

Όσο μεγαλύτερο είναι το στοιχείο και πιο περίπλοκο, τόσο πιο σημαντικός ο προγραμματισμός της διαδικασίας. Είναι πολύ σημαντικό να έχουμε ανοιχτόμυαλη προσέγγιση όσον αφορά τις μεθόδους κατεργασίας και τα εργαλεία κοπής. Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο να έχουμε έναν εξωτερικό συνεργάτη ομιλίας που έχει εμπειρίες από πολλούς διαφορετικούς τομείς εφαρμογής και μπορεί να παρέχει διαφορετική προοπτική και να προσφέρει κάποιες νέες ιδέες.

Μια ανοιχτόμυαλη προσέγγιση στην επιλογή των μεθόδων, των διαδρομών εργαλείων, φρεζαρίσματος και εργαλείων κράτησης.

Στον σημερινό κόσμο είναι ανάγκη να είσαι ανταγωνιστικός για να επιβιώσεις. Ένα από τα κύρια μέσα ή εργαλεία για αυτό είναι μηχανογραφημένη παραγωγή. Για την παραγωγή μητρών και καλουπιών είναι ένα θέμα για επένδυση σε προηγμένο εξοπλισμό παραγωγής και σε συστήματα CAD/CAM. Αλλά ακόμη κι αν γίνει αυτό, είναι υψίστης σημασίας να χρησιμοποιηθούν τα λογισμικά CAM για να το πλήρες δυναμικό τους.

Σε πολλές περιπτώσεις η δύναμη της παράδοσης στο το έργο του προγραμματισμού είναι πολύ ισχυρή. Ο παραδοσιακός και ευκολότερος τρόπος για να προγραμματιστούν διαδρομές εργαλείων είναι να χρησιμοποιηθεί η παλιά τεχνική φρεζαρίσματος αντιγράφων, με πολλές εισόδους και εξόδους στο υλικό. Αυτή η τεχνική είναι στην πραγματικότητα συνδεδεμένη με τους παλιούς τύπους εκτυπωτικών μηχανών αντιγραφής με τη γραφίδα τους, που ακολουθούσαν το υπόδειγμα.

Τα σύγχρονα συστήματα CAD/CAM μπορούν να χρησιμοποιούνται με πολύ καλύτερους τρόπους εάν η παλιά σκέψη, τα παραδοσιακά εργαλεία και οι συνήθειες παραγωγής εγκαταλειφθούν.

Εάν χρησιμοποιηθεί μια τεχνική προγραμματισμού που τα κύρια συστατικά είναι το κόστιμο υλικού με σταθερή τιμή Z, χρησιμοποιώντας διαδρομές εργαλείων περιγράμματος σε συνδυασμό με φρεζάρισμα προς τα κάτω, το αποτέλεσμα θα είναι:

- σημαντικά μικρότερος χρόνος κατεργασίας.
- καλύτερη χρήση μηχανών και εργαλείων.
- βελτιωμένη γεωμετρική ποιότητα των κατεργασμένων μητρών ή καλουπιών.
- λιγότερο χειροκίνητο γυάλισμα και χρόνος δοκιμής.

Η σωστή επιλογή υψηλής ποιότητας παραγωγικών εργαλείων κοπής για την τράχυνση στο τελείωμα:

- Μελέτη της γεωμετρίας της μήτρας ή των καλουπιών προσεκτικά.
- Καθορισμός ελάχιστων απαιτήσεων ακτινών και μέγιστο βάθος κοιλότητας .

- Υπολογισμός κατά προσέγγιση της ποσότητας του υλικού που πρέπει να αφαιρεθεί. Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι η τράχυνση και η ημικατεργασία μιας μήτρας ή καλουπιού μεγάλου μεγέθους εκτελείται πολύ πιο αποτελεσματικά και παραγωγικά με συμβατικές μεθόδους και εργαλεία. Το φινίρισμα είναι πάντα πιο παραγωγικό με το HSM, ακόμη και για μεγάλου μεγέθους μήτρες και καλούπια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός απομάκρυνσης υλικών στο HSM είναι πολύ χαμηλότερος από ό,τι στη συμβατική μηχανική κατεργασία.
- Η προετοιμασία και η σταθεροποίηση του κενού έχει μεγάλη σημασία καθώς είναι πάντα μια κλασική πηγή για δονήσεις. Εάν εκτελείτε HSM αυτό το σημείο είναι εξαιρετικά σημαντικό.

3.3. Τεχνολογία εφαρμογής

3.3.1. Αποτελεσματική διάμετρος στην τομή

Αυτή είναι ένα μεγάλο ερώτημα σχετικά με τη βελτιστοποίηση των δεδομένων κοπής, των ποιοτήτων και των γεωμετριών σε σχέση με τον συγκεκριμένο τύπο υλικών, λειτουργίας και παραγωγικότητας και απαιτήσεις ασφαλείας. Είναι πάντα σημαντικό να βασίζονται οι υπολογισμοί αποτελεσματικής ταχύτητας κοπής στην αληθινή ή αποτελεσματική διάμετρος κοπής. Εάν όχι, θα υπάρξουν σοβαρά εσφαλμένοι υπολογισμοί του ρυθμού τροφοδοσίας, καθώς εξαρτάται από την ταχύτητα της ατράκτου για ορισμένη ταχύτητα κοπής.

Εάν χρησιμοποιείται η ονομαστική τιμή διαμέτρου του εργαλείου, κατά τον υπολογισμό της ταχύτητας κοπής, η πραγματική ταχύτητα κοπής θα είναι πολύ χαμηλότερη εάν το βάθος της κοπής είναι ρηχό. Αυτό ισχύει για εργαλεία όπως για παράδειγμα στρογγυλοί κόφτες εισαγωγής.

Ο ρυθμός τροφοδοσίας θα είναι φυσικά χαμηλότερος και η παραγωγικότητα θα παρεμποδιστεί σοβαρά. Το πιο σημαντικό είναι ότι οι συνθήκες κοπής για το εργαλείο θα είναι αρκετά χαμηλότερες για τη χωρητικότητά του και το συνιστάμενο εύρος εφαρμογής.

3.3.2. Αποφυγή υπερβολικής εκτροπής

Όταν γίνεται φινίρισμα ή υπερ-φινίρισμα με υψηλή ταχύτητα κοπής σε σκληρυμένο χάλυβα εργαλείων είναι σημαντικό να επιλεγθούν εργαλεία που έχουν επίστρωση με υψηλή θερμική σκληρότητα, όπως για παράδειγμα το TiAlN.

Μια κύρια παράμετρος που πρέπει να παρατηρηθεί όταν γίνεται το φινίρισμα ή το υπερ-φινίρισμα σε σκληρυμένο χάλυβα εργαλείων με HSM είναι να πάρει ρηχή κοπή. Το βάθος της κοπής δεν πρέπει υπερβαίνει τα 0,2/0,2 mm. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η υπερβολική εκτροπή του εργαλείου συγκράτησης/ κοπής και να παραμείνει σε ένα υψηλό επίπεδο γεωμετρικής ακρίβειας επί της κατεργασμένης μήτρας ή καλουπιού.

3.3.3. Το φρεζάρισμα προς τα κάτω είναι σημαντικό

Μια άλλη σημαντική παράμετρος εφαρμογής είναι η χρήση εργαλείων καθοδικού φρεζαρίσματος όσο το δυνατόν περισσότερο. Είναι, σχεδόν πάντα, πιο ευνοϊκό να γίνει κάτω

φρεζάρισμα παρά επάνω φρεζάρισμα. Η διάρκεια ζωής του εργαλείου είναι μικρότερη στο πάνω φρεζάρισμα από ό,τι στο καθοδικό λόγω του γεγονότος ότι παράγεται σημαντικά περισσότερη θερμότητα στο πάνω φρεζάρισμα.

Στην καθοδικό φρεζάρισμα η αιχμή εκτίθενται κυρίως σε συμπιεστικές καταπονήσεις, που είναι πολύ πιο ευνοϊκές για τις ιδιότητες του τσιμεντοειδούς ή στερεού καρβιδίου σε σύγκριση με τις τάσεις εφελκυσμού που αναπτύσσονται στο πάνω φρεζάρισμα.

Το πάνω φρεζάρισμα μπορεί να είναι ευνοϊκό όταν διατίθενται παλιές χειροκίνητες φρέζες με μεγάλο χώρο στη βίδα μόλυβδου, επειδή δημιουργείται μια "αντίθετη πίεση" η οποία σταθεροποιεί τη μηχανική κατεργασία.

3.3.4. Αντιγραφή φρεζαρίσματος και βύθισης

Η αντιγραφή φρεζαρίσματος και βύθισης κατά μήκος απότομων επιφανειών θα πρέπει να αποφεύγεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Κατά τη βύθιση, το πάχος του τσιπ είναι μεγάλο σε ταχύτητα χαμηλής κοπής. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει κίνδυνος να τσαλακωθεί στο κέντρο, ειδικά όταν ο κόφτης χτυπά την κάτω περιοχή.

3.4. Γνωρίζοντας τις παραμέτρους διαδικασιών

3.4.1. Cutter pitch

Μία φρέζα, που είναι ένα εργαλείο πολλαπλών άκρων, μπορεί να έχει μεταβλητό αριθμό δοντιών (z) και υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που βοηθούν στον προσδιορισμό του αριθμού για το είδος της πράξης.

Το υλικό και το μέγεθος τεμαχίου εργασίας, η σταθερότητα, το φινίρισμα και η διαθέσιμη ισχύς είναι οι παράγοντες που προσανατολίζονται περισσότερο από το μηχάνημα.

Το pitch(u) μιας φρέζας είναι η απόσταση μεταξύ ενός σημείου στο άκρο έως το ίδιο σημείο στο επόμενο άκρο.

Οι φρέζες ταξινομούνται σε χονδροειδείς, στενές ή κόφτες εξαιρετικά κλειστού βήματος.

3.4.2. Τοποθέτηση και μήκος κοπής

Το μήκος της κοπής επηρεάζεται από την τοποθέτηση της φρέζας. Η ζωή των εργαλείων σχετίζεται συχνά με το μήκος της κοπής στην οποία πρέπει να υποβληθεί η κοπτική άκρη. Μία φρέζα που τοποθετείται στο κέντρο του τεμαχίου εργασίας δίνει ένα μικρότερο μήκος κοπής, ενώ το τόξο που είναι σε κοπή (α) θα είναι μεγαλύτερο εάν ο κόφτης απομακρύνεται από την κεντρική γραμμή (B) προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο με τον οποίο η κοπή αναγκάζει την πράξη, πρέπει να επιτευχθεί κάποιου είδους συμβιβασμός. Η κατεύθυνση των ακτινικών δυνάμεων κοπής (A) θα μεταβληθεί όταν τα άκρα εισαγωγής θα πηγαίνουν μέσα και έξω από το κόψιμο και ο άξονας της μηχανής μπορεί να προκαλέσει δόνηση και να οδηγήσει σε θραύση του ενθέματος.

Μετακινώντας τη φρέζα από το κέντρο, θα επιτευχθεί μια πιο σταθερή και ευνοϊκή κατεύθυνση των δυνάμεων κοπής. Με τον κόφτη τοποθετημένο κοντά στην κεντρική γραμμή θα ληφθεί το μεγαλύτερο μέσο πάχος του τσιπ.

3.4.3. Είσοδος και έξοδος κοπής

Κάθε φορά που ένας κόφτης μπαίνει σε κόψιμο, τα ένθετα υποβάλλονται σε μεγάλο ή μικρό φορτίο κρούσης ανάλογα με το υλικό. Η αρχική επαφή μεταξύ του κοπτικού άκρου και το τεμάχιο εργασίας μπορεί να είναι πολύ δυσμενής, ανάλογα με το πού βρίσκεται η άκρη του ενθέτου που πρέπει να υποστεί το πρώτο σοκ. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των πιθανών τύπων κοπής, μόνο οι επιπτώσεις της θέσης κοπής στην κοπή θα εξεταστούν εδώ.

Όταν το κέντρο του κόφτη είναι τοποθετημένο έξω από το τεμάχιο εργασίας θα προκληθεί δυσμενής επαφή μεταξύ των άκρων του ένθετου και του τεμαχίου εργασίας.

Όταν το κέντρο του κόφτη είναι τοποθετημένο μέσα στο τεμάχιο εργασίας, θα επιτευχθεί η πιο αποτελεσματική κοπή.

Η πιο επικίνδυνη κατάσταση, ωστόσο, είναι όταν το ένθετο βγαίνει από το κόψιμο αφήνοντας την επαφή με το τεμάχιο εργασίας. Τα τσιμεντοποιημένα ένθετα καρβιδίου είναι κατασκευασμένα για να αντέχουν σε συμπιεστικές καταπονήσεις που συμβαίνουν κάθε φορά που ένα ένθετο πηγαίνει σε κοπή (κάτω φρεζάρισμα). Από την άλλη πλευρά, όταν ένα ένθετο φεύγει από το τεμάχιο εργασίας όταν κόβεται σκληρά (φρεζάρισμα) θα επηρεαστεί από τάσεις εφελκυσμού, οι οποίες είναι καταστροφικές για το ένθετο το οποίο έχει χαμηλή αντοχή.

3.4.4. Επεκταμένα εργαλεία κατά την αφαίρεση μιας κοιλότητας

Για να διατηρηθεί η μέγιστη παραγωγικότητα κατά την αφαίρεση μιας κοιλότητας είναι σημαντικό:

- Να επιλεγεί μια σειρά επεκτάσεων για τον κόπτη. Είναι ένας πολύ κακός συμβιβασμός για τον κόσμο της μεταλλουργίας να ξεκινήσουμε με τη μεγαλύτερη επέκταση, καθώς η παραγωγικότητα θα είναι πολύ χαμηλή. Συνιστάται η αλλαγή σε εκτεταμένα εργαλεία σε προκαθορισμένες θέσεις στο πρόγραμμα. Η γεωμετρία της μήτρας ή του καλουπιού αποφασίζει πού θα γίνεται αλλαγή.
- Τα δεδομένα κοπής θα πρέπει επίσης να προσαρμόζονται στο κάθε μήκος εργαλείου για να διατηρείται στο μέγιστο η παραγωγικότητα.
- Όταν το συνολικό μήκος του εργαλείου, από τη γραμμή εύρους στο χαμηλότερο σημείο του κοπτικού άκρου, υπερβαίνει τη διάμετρο 4-5 φορές στη γραμμή μετρητή, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κωνικές ράβδοι. Ή, εάν η ακαμψία της κάμψης πρέπει να αυξηθεί ριζικά, πρέπει να χρησιμοποιούνται οι επεκτάσεις από βαρύ μέταλλο.
- Όταν χρησιμοποιούνται εκτεταμένα εργαλεία, είναι σημαντικό να επιλεγθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή διάμετρο στις επεκτάσεις και στους προσαρμογείς σχετικά με τη διάμετρο του κόφτη. Κάθε χιλιοστόμετρο είναι σημαντικό για μέγιστη ακαμψία και παραγωγικότητα.
- Τα αρθρωτά εργαλεία αυξάνουν την ευελιξία και τον αριθμό των πιθανών συνδυασμών εργαλείων.

- Αποτελεσματική κατεργασία γωνιών & κοιλοτήτων

3.4.5. Μέθοδοι για κατεργασία γωνιών

Ο παραδοσιακός τρόπος κατεργασίας μιας γωνίας είναι να χρησιμοποιηθούν γραμμικές κινήσεις με μη συνεχείς μεταβάσεις στη γωνία. Πράγμα που σημαίνει ότι όταν ο κόφτης έρχεται στη γωνία, πρέπει να επιβραδυνθεί λόγω των δυναμικών περιορισμών των γραμμικών αξόνων. Και εκεί θα είναι ακόμη μια πολύ σύντομη στάση πριν οι κινητήρες να μπορούν να αλλάξουν την κατεύθυνση τροφοδοσίας. Καθώς η ταχύτητα της ατράκτου είναι η ίδια, η κατάσταση δημιουργεί πολλές υπερβολικές τριβές και θερμότητα. Εάν, για παράδειγμα, το αλουμίνιο ή άλλα ελαφρά κράματα υποβληθούν σε κατεργασία μπορούν να πάρουν σημάδια καύσης ή ακόμα και να αρχίσουν να καίγονται λόγω αυτής της θερμότητας. Το φινίρισμα της επιφάνειας θα επιδεινωθεί οπτικά και σε ορισμένα υλικά ακόμη και δομικά.

Στην παραδοσιακή κατεργασία των γωνιών η ακτίνα εργαλείου είναι ολόidia με την ακτίνα της γωνίας. Το οποίο δίνει τη μέγιστη επαφή και εκτροπή.

Το πιο χαρακτηριστικό αποτέλεσμα είναι οι δονήσεις, όσο μεγαλύτερες είναι τόσο μεγαλύτερο είναι το εργαλείο ή η συνολική προεξοχή εργαλείου. Οι δυνάμεις κοπτικής ταλάντωσης συχνά δημιουργούν υποκοπή της γωνίας. Υπάρχει βέβαια και κίνδυνος για ολική καταστροφή του εργαλείου.

Παρακάτω θα αναφερθούν κάποιες λύσεις:

- Χρησιμοποιήστε έναν κόφτη με μικρότερη ακτίνα για να δημιουργηθεί η επιθυμητή ακτίνα γωνίας στη μήτρα ή το καλούπι. Χρησιμοποιήστε κυκλική παρεμβολή για να δημιουργήσετε τη γωνία. Έτσι η κίνηση δίνει ομαλές συνεχείς μεταβάσεις και εκεί υπάρχει μόνο μια μικρή πιθανότητα να ξεκινήσει μια δόνηση.
- Μια άλλη λύση είναι να δημιουργηθεί μεγαλύτερη ακτίνα γωνίας, μέσω κυκλικής παρεμβολής, από ό, τι αναφέρεται στο σχέδιο. Αυτό μπορεί να είναι ευνοϊκό μερικές φορές, καθώς επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερης διαμέτρου κοπής στην τραχύτητα για να διατηρηθεί η μέγιστη παραγωγικότητα.
- Το υπόλοιπο απόθεμα στη γωνία μπορεί στη συνέχεια να επεξεργαστεί μέσω επαναλείανσης με μικρότερη ακτίνα κοπής και κυκλική παρεμβολή.

3.4.6. Εμβόλωση και κυκλική παρέμβαση

Η ικανότητα αξονικής τροφοδοσίας είναι ένα πλεονέκτημα σε πολλές λειτουργίες. Τρύπες, κοιλοότητες, όπως και τα περιγράμματα μπορούν να επεξεργαστούν αποτελεσματικά. Κόφτες φρεζαρίσματος με στρογγυλά ένθετα είναι δυνατά και έχουν μεγάλη απόσταση από το σώμα του κόφτη.

Η εμβόλωση είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος προσέγγισης του τεμαχίου εργασίας κατά τη μηχανική κατεργασία και για μεγαλύτερες κυκλικές τρύπες η παρεμβολή είναι πολύ πιο αποδοτική και ευέλικτη από τη χρήση ενός μεγάλου βαρετού εργαλείου.

3.4.7. Μηχανουργία σε τμήματα

Κατά τη μηχανική κατεργασία τεράστιων πιεστηρίων είναι συχνά απαραίτητο να αναπροσαρμοστούν τα ένθετα. Αντί να γίνει αυτό χειροκίνητα και διακόπτοντας την κοπτική διαδικασία, αυτό μπορεί να γίνει με οργανωμένο τρόπο, εάν ληφθούν προφυλάξεις στον σχεδιασμό και προγραμματισμός διαδικασιών. Με βάση την εμπειρία, ή άλλες πληροφορίες, η ποσότητα του υλικού, ή η επιφάνεια στη μηχανή, μπορεί να χωριστεί σε τμήματα. Τα τμήματα, ή διάφορα τμήματα, μπορεί να επιλεγούν σύμφωνα με τα φυσικά όρια ή με βάση ορισμένα μεγέθη ακτίνων στη μήτρα ή στο καλούπι. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι κάθε τμήμα μπορεί να κατασκευαστεί με ένα σετ των άκρων του παρεμβλήματος ή των άκρων στερεού καρβιδίου, συν ένα περιθώριο ασφαλείας, πριν γίνει αλλαγή στο επόμενο εργαλείο αντικατάστασης.

Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση έως το φινίρισμα. Επίσης έχει τα παρακάτω θετικά:

- Καλύτερη χρήση εργαλειομηχανών – λιγότερες διακοπές, λιγότερο χειροκίνητο άλλαγμα εργαλείων.
- Υψηλότερη παραγωγικότητα - ευκολότερη βελτιστοποίηση δεδομένων κοπών.
- Καλύτερη αποδοτικότητα-βελτιστοποίηση έναντι πραγματικού κόστους εργαλειομηχανής ανά ώρα.
- Μεγαλύτερη γεωμετρική ακρίβεια μητρών και καλουπιών- τα εργαλεία φινιρίσματος μπορούν να αλλαχθούν πριν την υπερβολική φθορά.

4. Εκτέλεση Πειράματος: Κοπές & Μετρήσεις

4.1. Εισαγωγή στο πείραμα

4.1.1. Σκοπός του πειράματος

Ο σκοπός του πειράματος είναι η μικροκατεργασία δοκιμών θερμοπλαστικού πολυμερούς PMMA, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη επιφάνεια με όσο το δυνατόν μικρότερη τραχύτητα. Για το πείραμα οι βασικές μηχανές που θα χρησιμοποιηθούν είναι η μηχανή DMU eco (CNC φρέζα), στην οποία θα τοποθετηθεί η μηχανή IBAG multi spindle control (Πολύστροφο) και τέλος για να ληφθούν τα αποτελέσματα της επιφάνειας θα χρησιμοποιηθεί το προφιλόμετρο (Bruker Contour GT-K 3D).

4.1.2. DMU 50 eco

Οι μηχανές CNC (Computer Numerical Control) αποτελούν σημαντικό μέρος του σύγχρονου βιομηχανικού τομέα. Αντί για τη χειροκίνητη λειτουργία από ανθρώπινο χέρι, αυτές οι μηχανές ελέγχονται από υπολογιστή, παρέχοντας αυξημένη ακρίβεια, ταχύτητα και αυτοματοποίηση στις διαδικασίες κατεργασίας υλικών.

Οι βασικές αρχές των μηχανών CNC περιλαμβάνουν τη χρήση αριθμητικών κωδικών για τον έλεγχο των κινήσεων της μηχανής. Ο χρήστης καταρτίζει ένα πρόγραμμα με κωδικούς εντολής, και η μηχανή εκτελεί αυτές τις εντολές με αυτοματοποιημένο τρόπο. Αυτό επιτρέπει την κατασκευή ακριβών και σύνθετων κομματιών σε μικρό χρονικό διάστημα.

Οι μηχανές CNC χρησιμοποιούνται ευρέως σε ποικίλους τομείς όπως η μεταλλουργία, η ξυλουργία, η πλαστικοποίηση, η κατασκευή εργαλείων και η κατασκευή. Οι πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνουν την αύξηση της ακρίβειας, τη μείωση του χρόνου παραγωγής, και τη δυνατότητα κατασκευής πολύπλοκων σχημάτων και γεωμετριών.

Η μηχανή CNC που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα είναι η DMU 50 eco.



Η DMU 50 eco είναι μια προηγμένη CNC μηχανή που ανήκει στη σειρά της DMU 50 από την DMG MORI. Αυτή η μηχανή διαθέτει τη δυνατότητα κίνησης σε 5 άξονες, με τη λειτουργία "3+2 Axis", που σημαίνει ότι μπορεί να εκτελεί επεξεργασία σε τρεις βασικούς άξονες και δύο επιπλέον άξονες για προσανατολισμό.

Οι βασικές χαρακτηριστικές της DMU 50 eco 3+2 Axis μπορεί να περιλαμβάνουν:

1. **NC swivel rotary table:** Ένα περιστρεφόμενο και κλινόμενο τραπέζι που προσφέρει ευελιξία στην επεξεργασία κομματιών από πολλές κατευθύνσεις.

2. **Υψηλή ταχύτητα περιστροφής spindle:** Ένας άξονας περιστροφής με υψηλή ταχύτητα που επιτρέπει γρήγορη και ακριβή κοπή.
3. **Σύστημα αποθήκευσης εργαλείων:** Ένα αποθηκευτικό σύστημα για γρήγορη και αυτόματη αλλαγή εργαλείων.
4. **Ευρύ φάσμα εφαρμογών:** Κατάλληλη για ποικίλες εφαρμογές στη μεταλλουργία, όπως η κατεργασία μετάλλων και η κατασκευή εργαλείων.

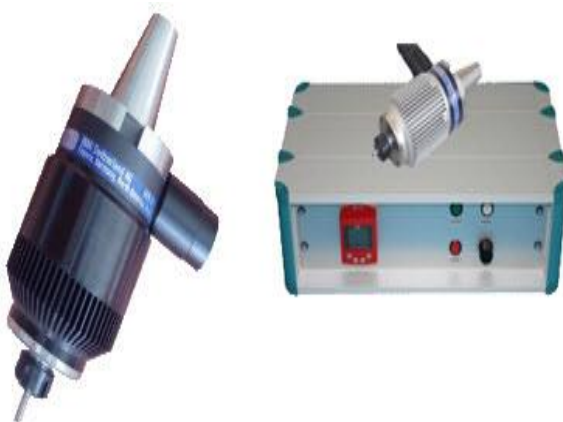
Οι μηχανές με πολλαπλούς άξονες, όπως η DMU 50 eco, επιτρέπουν πολύπλοκη και ποιοτική κατεργασία των υλικών, ενισχύοντας την απόδοση και την ακρίβεια στην κατασκευή.

4.1.3. IBAG HFK 95

Οι πολυστροφικές μηχανές αντιπροσωπεύουν μια εξειδικευμένη κατηγορία μηχανημάτων που είναι σχεδιασμένα για πολλαπλές επεξεργασίες σε ένα και το αυτό κομμάτι, χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία. Αυτές οι μηχανές προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα:

1. **Πολυπλοκότητα κατεργασίας:** Οι πολυστροφικές μηχανές είναι ικανές να εκτελούν πολλαπλές λειτουργίες όπως κοπή, τρύπημα, και λείανση, εξοικονομώντας χρόνο και αύξηση της παραγωγικότητας.
2. **Αυτοματοποίηση:** Συχνά διαθέτουν συστήματα αυτοματοποίησης, όπως αλλαγή εργαλείων, επιτρέποντας αυξημένη αποδοτικότητα και λειτουργία χωρίς την ανάγκη συνεχούς παρέμβασης του χειριστή.
3. **Εξοικονόμηση χρόνου:** Η δυνατότητα εκτέλεσης πολλαπλών εργασιών με ένα πέρασμα συνεπάγεται εξοικονόμηση χρόνου στην κατεργασία και παραγωγή.
4. **Ευελιξία:** Η πολυστροφία τους παρέχει ευελιξία στον σχεδιασμό και την παραγωγή ποικίλων εξαρτημάτων.
5. **Ακρίβεια:** Οι πολυστροφικές μηχανές είναι συνήθως σε θέση να παρέχουν υψηλή ακρίβεια στις κατεργασίες τους.

Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τις πολυστροφικές μηχανές καίρια σε βιομηχανίες όπως η μεταλλουργία και η κατασκευή εργαλείων, όπου η απόδοση, η ακρίβεια και η ευελιξία είναι ουσιώδεις παράγοντες.



Η πολυστροφική μηχανή που θα χρησιμοποιηθεί είναι η **IBAG HFK 95**

Ο αεροκινητήρας HFK 95 της IBAG ανήκει σε μια εξειδικευμένη κατηγορία πολυστροφικών μηχανών. Οι πολυστροφικές μηχανές είναι σχεδιασμένες για την εκτέλεση πολλαπλών επεξεργασιών σε ένα κομμάτι χωρίς την ανάγκη αλλαγής εργαλείων, προσφέροντας έτσι ευελιξία και αποδοτικότητα στην κατεργασία.

Ο ΗFK 95 διακρίνεται για τα εξής χαρακτηριστικά:

1. **Πολυστροφία:** Διαθέτει πολλαπλές θέσεις εργαλείων, επιτρέποντας την εκτέλεση διαφορετικών επεξεργασιών χωρίς διακοπή.
2. **Ελαφρύς και αερόψυκτος:** Ο σχεδιασμός του είναι ελαφρύς και χρησιμοποιεί σύστημα ψύξης με αέρα, προσφέροντας ευελιξία στην τοποθέτηση και χρήση.
3. **Αυτοματοποίηση:** Διαθέτει αυτόματο σύστημα σύνδεσης και αποδέσμευσης, επιτρέποντας γρήγορη και αυτόνομη αλλαγή εργαλείων.
4. **Υψηλή ακρίβεια:** Οι ακριβείς ρουλεμάν με μόνιμη λίπανση με γράσο εξασφαλίζουν υψηλή ακρίβεια στις κατεργασίες.

Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τον ΗFK 95 ιδανικό για παραγωγικές μηχανές που απαιτούν ευελιξία, ακρίβεια, και αυτοματοποίηση σε ποικίλες εφαρμογές κατεργασίας.

4.1.4. Bruker Contour GT-K 3D

Τα οπτικά προφιλόμετρα αποτελούν σημαντικό εργαλείο στον χώρο της μηχανολογίας και του ελέγχου ποιότητας. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν την οπτική τεχνολογία για να αξιολογήσουν και να μετρήσουν διάφορα χαρακτηριστικά επιφανειών. Μερικά βασικά στοιχεία είναι τα εξής:

Αρχή λειτουργίας: Τα οπτικά προφιλόμετρα χρησιμοποιούν φωτόνια ή λέιζερ για να σαρώσουν την επιφάνεια ενός αντικειμένου. Το ανακλαστικό φως ή οι αλλαγές στο φάσμα του λέιζερ χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός προφίλ της επιφάνειας.

Εφαρμογές: Χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους τομείς, όπως η παραγωγή, η μηχανολογία, η ηλεκτρονική και ο έλεγχος ποιότητας για την παρακολούθηση και την πιστοποίηση της επιφανειακής ποιότητας των προϊόντων.

Χαρακτηριστικά μέτρησης: Μετρούν διάφορα χαρακτηριστικά, όπως η κλίση, οι διαστάσεις, η επιπεδότητα και άλλες σχηματικές ανωμαλίες της επιφάνειας.

Πλεονεκτήματα: Τα οπτικά προφιλόμετρα προσφέρουν μη επαφική, γρήγορη και ακριβή μέτρηση της επιφανειακής ποιότητας, βοηθώντας στην αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των προϊόντων.

Εφαρμογές παραγωγής: Συχνά ενσωματώνονται σε γραμμές παραγωγής για τον έλεγχο ποιότητας κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή της επεξεργασίας προϊόντων. Αυτό μειώνει τα σφάλματα και συνεισφέρει στην ομαλή και αποτελεσματική παραγωγή.

Χαρακτηριστικά μέτρησης: Μετρούν διάφορα χαρακτηριστικά των επιφανειών, όπως η κλίση, οι διαστάσεις, η επίπεδοτητα και άλλες σχηματικές ανωμαλίες. Η ακρίβεια στις μετρήσεις εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα των τελικών προϊόντων.

Πλεονεκτήματα: Τα οπτικά προφιλόμετρα προσφέρουν μη επαφική μέτρηση, γρήγορη ανάλυση επιφανειακών χαρακτηριστικών, και υψηλή ακρίβεια. Αυτό διευκολύνει τη διαδικασία ελέγχου ποιότητας και συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας της παραγωγής.

Το οπτικό προφιλόμετρο που θα χρησιμοποιηθεί για να ληφθούν οι μετρήσεις της επιφάνειας είναι το **Bruker Contour GT-K 3D**.



Το Bruker Contour GT-K 3D είναι ένα οπτικό προφιλόμετρο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της τοπογραφίας και της 3D δομής επιφανειών. Αυτή η συσκευή συνδυάζει υψηλή ανάλυση, ταχύτητα μέτρησης και ακρίβεια για εφαρμογές ποικίλης φύσης, όπως η μηχανική, η ηλεκτρονική, και η βιομηχανία τροφίμων.

Ορισμένα χαρακτηριστικά του Bruker Contour GT-K 3D περιλαμβάνουν:

1. **Υψηλή ανάλυση:** Η συσκευή προσφέρει υψηλή ανάλυση στις μετρήσεις της τοπογραφίας επιφανειών, επιτρέποντας την εξαιρετική ακρίβεια στις μετρήσεις.
2. **Ταχύτητα μέτρησης:** Η γρήγορη ταχύτητα μέτρησης επιτρέπει την αποτελεσματική παρακολούθηση της εξέλιξης της επιφανειακής δομής.
3. **Ευελιξία:** Το Bruker Contour GT-K 3D είναι ευέλικτο και προσαρμόζεται σε διάφορες εφαρμογές, από τη μελέτη μικρό-κλιμάκων μέχρι την ανάλυση μεγάλων επιφανειών.
4. **Ποικιλία εφαρμογών:** Χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως η παρακολούθηση της ποιότητας επιφανειών κατά τη διάρκεια της παραγωγής, η έρευνα και ανάπτυξη υλικών, και η μελέτη των χαρακτηριστικών των υλικών.
5. **Λογισμικό ανάλυσης:** Διαθέτει λογισμικό ανάλυσης που επιτρέπει την εκτεταμένη αξιοποίηση των δεδομένων μετρήσεων.

Αυτή η συσκευή συνιστάται για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια στη μέτρηση της τοπογραφίας επιφανειών και της δομής τους.

4.2. Διαδικασία του πειράματος

4.2.1. Δεδομένα του πειράματος

Για την εύρεση της βέλτιστης δυνατής επιφάνειας εκτελέστηκε κοπή σε εικοσιτέσσερις (24) διαφορετικές παραλλαγές μεταβάλλοντας την τροχιά του κοπτικού εργαλείου κατά μήκος του υλικού σε κάθε περιστροφή του (fz) και την στρατηγική με την οποία έγινε η κοπή. Σε επικάλυψη $\frac{d}{3}$ και $\frac{d}{4}$, όπου d είναι η διάμετρος του κοπτικού.

Συνολικά, θα εκτελέστηκαν 12 + 12 πειράματα με το καθένα να χρησιμοποιεί τέσσερις διαφορετικές τιμές της fz (0.003, 0.004, 0.005, 0.006) ενώ για κάθε τιμή που λάμβανε η fz

χρησιμοποιήθηκε και διαφορετική στρατηγική. Συγκεκριμένα, η στρατηγική που ακολουθήθηκε ήταν για κάθε τιμή fz να γίνεται κοπή ομόρροπη, αντίρροπη και παλινδρομική.

Η στρατηγική που χρησιμοποιήθηκε:

Ομόρροπη κοπή

Η ομόρροπη κοπή αποτελεί μια τεχνική φρεζαρίσματος, όπου το εργαλείο κοπής κινείται παράλληλα με την κατεύθυνση της κίνησης του υλικού που επεξεργάζεται. Κατά τη διαδικασία αυτή, το εργαλείο τοποθετείται στο ένα άκρο του υλικού και κινείται προς την ίδια κατεύθυνση με την κίνηση του υλικού.

Κατά τη διάρκεια της ομόρροπης κοπής, η κοπτική επίστρωση του φρεζαρίσματος συμβαδίζει με την κατεύθυνση της φοράς της κίνησης του εργαλείου κοπής. Αυτό επιτρέπει στο εργαλείο κοπής να αφαιρεί υλικό καθώς προχωρά προς τα εμπρός, δημιουργώντας το απαιτούμενο αποτέλεσμα.

Αντίρροπη κοπή

Η αντίρροπη κοπή αποτελεί μια τεχνική φρεζαρίσματος, όπου το εργαλείο κοπής κινείται αντίθετα προς την κατεύθυνση της κίνησης του υλικού που επεξεργάζεται. Σε αυτήν τη διαδικασία, το εργαλείο τοποθετείται στο ένα άκρο του υλικού και κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση του υλικού.

Κατά τη διάρκεια της αντιρροπής κοπής, η κοπτική επίστρωση του φρεζαρίσματος συμβαδίζει με την κατεύθυνση της φοράς της κίνησης του εργαλείου κοπής. Αυτό επιτρέπει στο εργαλείο κοπής να αφαιρεί υλικό καθώς προχωρά προς τα πίσω, αντί να κινείται προς τα εμπρός, όπως συμβαίνει στην ομόρροπη κοπή.

Η επιλογή μεταξύ αντιρροπής κοπής και ομόρροπης κοπής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το υλικό που επεξεργάζεστε, ο τύπος της εργασίας και οι επιθυμητές διαστάσεις και τελειώματα του τελικού προϊόντος.

Παλινδρομική κοπή

Η παλινδρομική κοπή είναι μια τεχνική φρεζαρίσματος στη μηχανουργία. Στην παλινδρομική κοπή, το εργαλείο κοπής κινείται προς την ίδια κατεύθυνση με την κίνηση του υλικού που επεξεργάζεται.

Κατά τη διάρκεια της παλινδρομικής κοπής, η κοπτική επίστρωση του φρεζαρίσματος συμβαδίζει με την φορά της κίνησης του εργαλείου κοπής. Αυτό δημιουργεί ένα πιο ομαλό και ελεγχόμενο κοπτικό προσπέρασμα, καθώς το εργαλείο "αγκαλιάζει" το υλικό που κοπεί.

Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί σε κάθε περίπτωση πρόωση (F) και οι στροφές (N) είναι η εξής:

$V_c = \frac{N}{\pi \cdot d}$, οι μεταβλητές έχουν τις εξής σημασίες:

1. V_c : Αντιπροσωπεύει τη γραμμική ταχύτητα κοπής (cutting speed) του κοπτικού εργαλείου. Συνήθως εκφράζεται σε μονάδες μήκους ανά μονάδα χρόνου, όπως m/min.
2. N : Αντιπροσωπεύει τον αριθμό των περιστροφών του κοπτικού εργαλείου ανά μονάδα χρόνου. Συνήθως, μονάδες όπως revolutions per minute (RPM) ή περιστροφές ανά λεπτό.
3. π : Προσδιορίζει το π , μια σταθερά που είναι περίπου 3.14159.
4. d : Αντιπροσωπεύει τη διάμετρο του κοπτικού εργαλείου. Συνήθως εκφράζεται σε μονάδες μήκους, όπως mm.

Ο τύπος αυτός συνδέει τη γραμμική ταχύτητα κοπής με τον αριθμό των περιστροφών του εργαλείου και τη διάμετρό του, προσφέροντας έτσι πληροφορίες σχετικά με τον ρυθμό κοπής κατά τη διάρκεια της μηχανικής κοπής.

$F = f_z \cdot N$, οι μεταβλητές έχουν τις εξής σημασίες:

1. F : Αντιπροσωπεύει την πρόωση (feedrate) και αναφέρεται στον ρυθμό μετακίνησης του εργαλείου κοπής κατά μήκος του υλικού που κόβεται. Συνήθως, μονάδες μήκους ανά μονάδα χρόνου (mm/min).
2. f_z : Αντιπροσωπεύει την τροχιά του κοπτικού εργαλείου κατά μήκος του υλικού σε κάθε περιστροφή του. Συνήθως, εκφράζεται σε μονάδες μήκους, όπως mm ανά περιστροφή.
3. N : Αντιπροσωπεύει τον αριθμό των περιστροφών του κοπτικού εργαλείου ανά μονάδα χρόνου. Συνήθως, μονάδες όπως revolutions per minute (RPM) ή περιστροφές ανά λεπτό.

Ο τύπος συνδέει την πρόωση με την τροχιά του εργαλείου και τον αριθμό των περιστροφών του, επηρεάζοντας έτσι τον ρυθμό κοπής.

$l = 2 \cdot w$, οι μεταβλητές έχουν τις εξής σημασίες:

1. l : Αντιπροσωπεύει το μήκος του αυλακιού και εκφράζεται σε μονάδες μήκους, όπως mm
2. w : Αντιπροσωπεύει το πλάτος του αυλακιού και εκφράζεται σε μονάδες μήκους, όπως mm

Το κοπτικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν, κονδύλι 0.8mm με αριθμό δοντιών $z = 2$.

Δεδομένα	Τιμές
V_c	70m/min
d	0.8mm
z	2
depth	0.4mm

4.2.2. Εφαρμογή του πειράματος

fz	Τιμές
fz_1	0.003
fz_2	0.004
fz_3	0.005
fz_4	0.006

$$N = \frac{V_c}{\pi} * d = \frac{70}{\pi} * 0.0008 = 27887 \text{ RPM}$$

$$\begin{aligned} F_1 &= fz_1 * N = 0.003 * 27.887 = 83.66 \text{ mm/min} \\ F_2 &= fz_2 * N = 0.004 * 27.887 = 111.548 \text{ mm/min} \\ F_3 &= fz_3 * N = 0.005 * 27.887 = 139.435 \text{ mm/min} \\ F_4 &= fz_4 * N = 0.006 * 27.887 = 167.322 \text{ mm/min} \end{aligned}$$

F (mm/min)	Ομόρροπο	Αντίρροπο	Παλινδρομικό
F_1	83.66	83.66	83.66
F_2	111.548	111.548	111.548
F_3	139.435	139.435	139.435
F_4	167.322	167.322	167.322

Με επικάλυψη τροχιάς $\frac{d}{3}$:

Στα πρώτα 12 πειράματα έγινε κοπή αυλακιού του οποίου το μήκος του θα είναι, $l = 2 * w$, ενώ το πλάτος $w = 4$ τροχίες διαμέτρου d , με επικάλυψη $\frac{d}{3}$.

Επομένως $w = d + 3(d - \frac{d}{3})$, $w = 2.4 \text{ mm}$ και $l = 4.8 \text{ mm}$

Με επικάλυψη τροχιάς $\frac{d}{4}$:

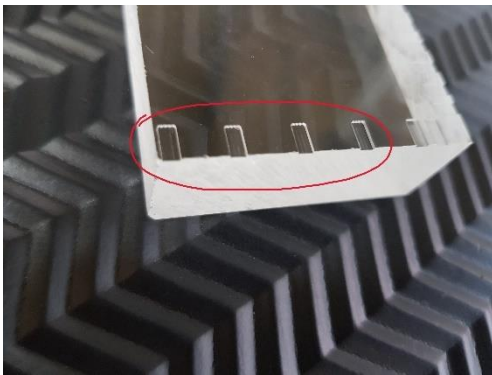
Για την ολοκλήρωση των κοπών και των υπόλοιπων 12 αυλακίων το μήκος του θα είναι, $l = 2 * w$, ενώ το πλάτος $w = 4$ τροχίες διαμέτρου d , με επικάλυψη $\frac{d}{4}$.

Επομένως $w = d + 3(d - \frac{d}{4})$, $w = 2.6 \text{ mm}$ και $l = 5.2 \text{ mm}$

4.2.3. Αποτελέσματα κατεργασίας

Σε όσα αφορούν τα πρώτα 12 πειράματα με επικάλυψη $d/3$, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν οπτικά πιο λεία επιφάνεια όταν χρησιμοποιείται ο ομόρροπος τρόπος κοπής. Στα επόμενα 12 πειράματα με επικάλυψη $d/4$, δεν παρατηρείται παρόμοια βελτίωση όταν ακολουθείται η στρατηγική της ομόρροπης κοπής. Όσον αφορά τη μεταβολή της πρόωσης στην αντίρροπη μέθοδο, δεν εμφανίζεται οπτική διαφορά που να μας επιτρέπει να κρίνουμε την αποτελεσματικότητα της επιφάνειας. Το επόμενο βήμα θα περιλαμβάνει μετρήσεις με το προφιλόμετρο από κάθε επιφάνεια, προκειμένου να εντοπίσουμε την βέλτιστη λύση.

Με επικάλυψη $\frac{d}{3}$:



1. Ομόρροπη κοπή,

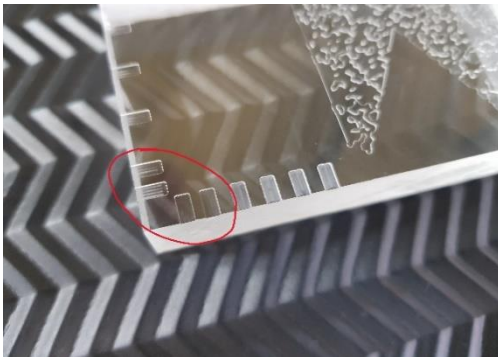
Με τιμές πρόωσης

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$



2. Αντίρροπη κοπή,

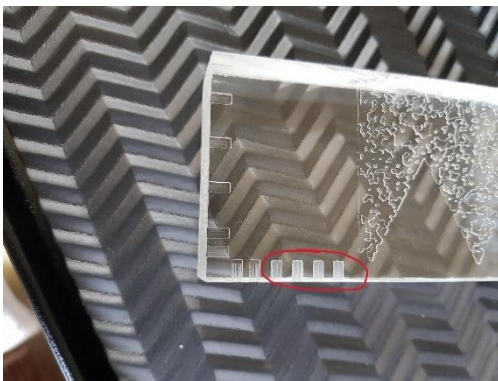
Με τιμές πρόωσης

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$



3. Παλινδρομική κοπή,

Με τιμές πρόωσης

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

Με επικάλυψη $\frac{d}{4}$:



1. Ομόρροπη κοπή,

Με τιμές πρόωσης

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$



2. Αντίρροπη κοπή,

Με τιμές πρόωσης

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$



3. Παλινδρομική κοπή,

Με τιμές πρόωσης

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

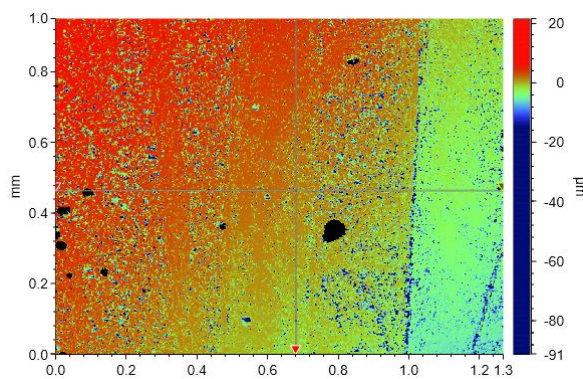
$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

4.3. Αποτελέσματα επιφανειών

4.3.1. Επιφάνειες 24 πειραμάτων

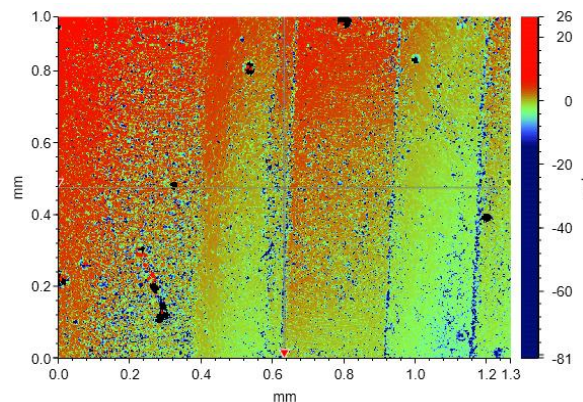
Ολοκληρώνοντας την εκτέλεση των 24 κοπών, πραγματοποιήθηκε η μέτρηση των αντίστοιχων επιφανειών με το οπτικό προφιλόμετρο Bruker Contour GT-K 3D. Στόχος αυτής της διαδικασίας ήταν η οπτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και η καταγραφή των τιμών της τραχύτητας για κάθε επιφάνεια.

Ομόρροπη κοπή με επικάλυψη $\frac{d}{3}$



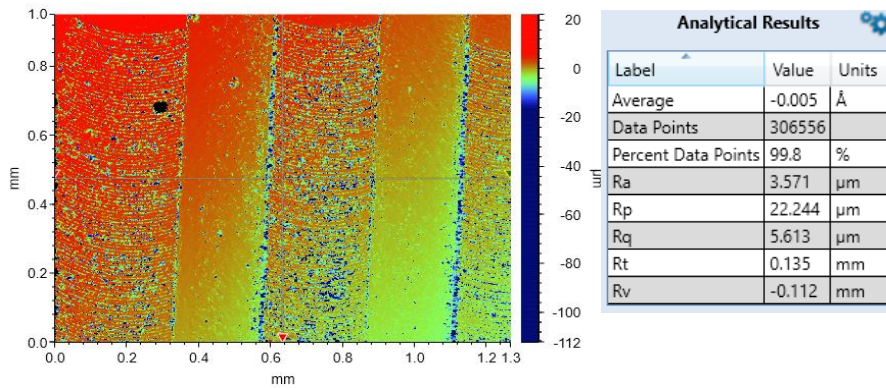
Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	-0.021	Å
Data Points	305368	
Percent Data Points	99.41	%
Ra	0.435	μm
Rp	0.934	μm
Rq	5.183	μm
Rt	0.113	mm
Rv	-91.282	μm

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

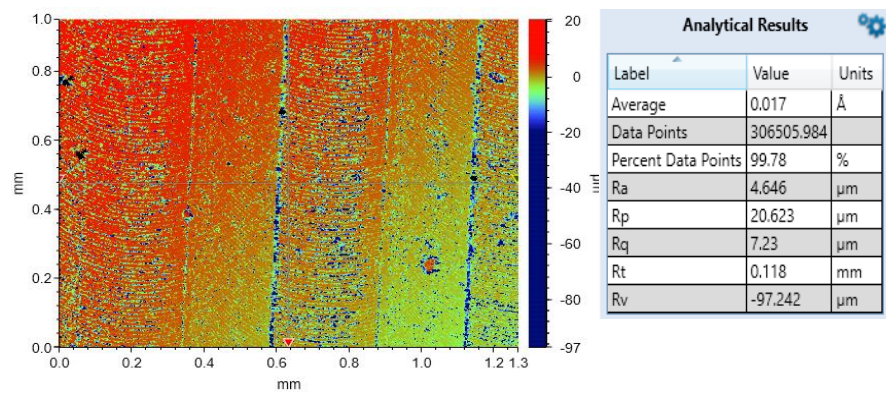


Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	0.014	Å
Data Points	305911.008	
Percent Data Points	99.59	%
Ra	3.48	μm
Rp	26.481	μm
Rq	5.418	μm
Rt	0.108	mm
Rv	-81.13	μm

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

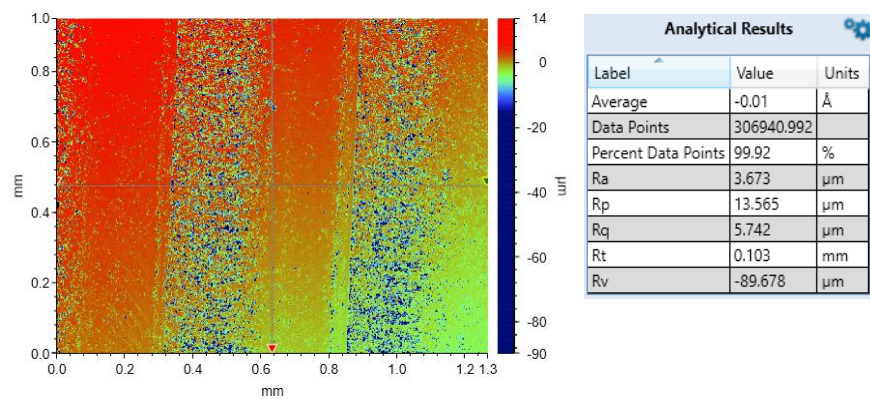


$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

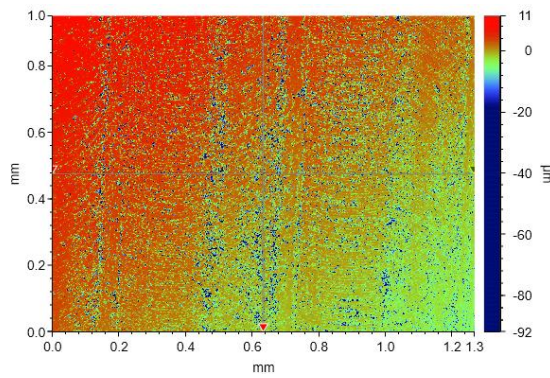


$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

Αντίρροπη κοπή με επικάλυψη $\frac{d}{3}$

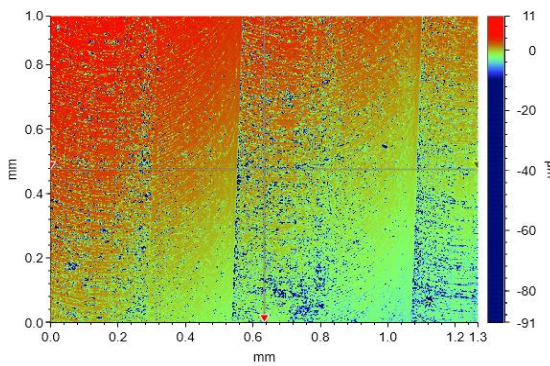


$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$



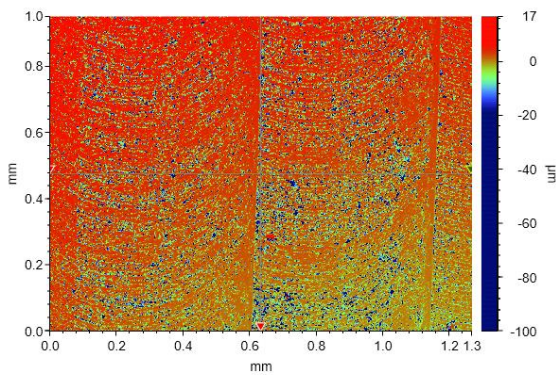
Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	0.021	Å
Data Points	307195.008	
Percent Data Points	100	%
Ra	3.932	µm
Rp	11.362	µm
Rq	6.52	µm
Rt	0.103	mm
Rv	-91.84	µm

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$



Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	0.015	Å
Data Points	307176	
Percent Data Points	100	%
Ra	2.591	µm
Rp	11.407	µm
Rq	4.42	µm
Rt	0.102	mm
Rv	-90.657	µm

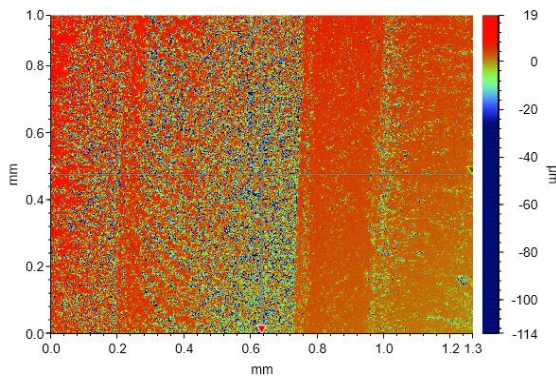
$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$



Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	0.017	Å
Data Points	307169.984	
Percent Data Points	100	%
Ra	4.57	µm
Rp	16.546	µm
Rq	7.462	µm
Rt	0.116	mm
Rv	-99.865	µm

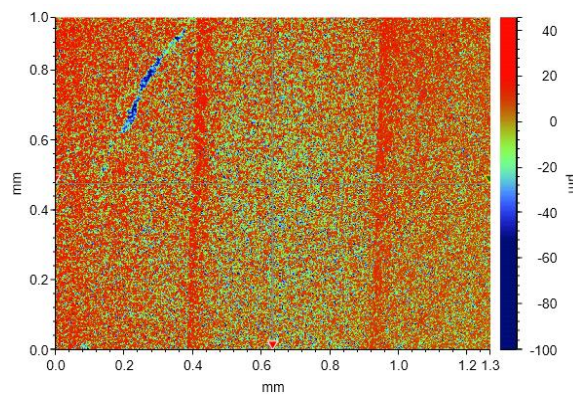
$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

Παλινδρομική κοπή με επικάλυψη $\frac{d}{3}$



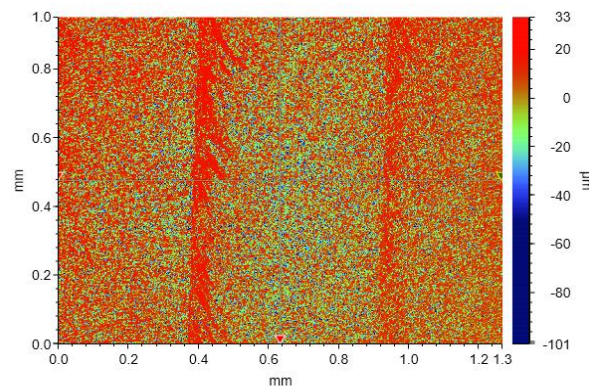
Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	0.011	Å
Data Points	307160	
Percent Data Points	99.99	%
Ra	6.391	μm
Rp	19.356	μm
Rq	9.974	μm
Rt	0.134	mm
Rv	-0.114	mm

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$



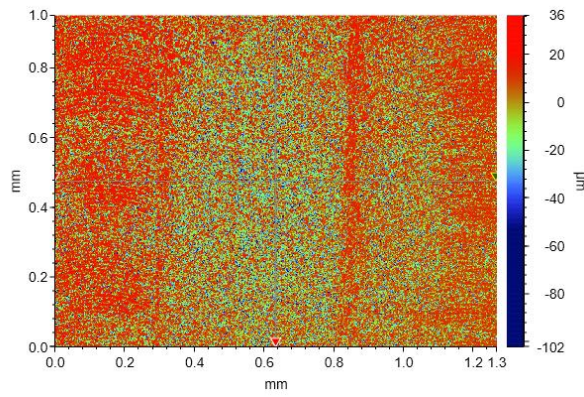
Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	-0.005	Å
Data Points	307017.984	
Percent Data Points	99.95	%
Ra	11.88	μm
Rp	45.785	μm
Rq	15.256	μm
Rt	0.146	mm
Rv	-0.1	mm

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$



Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	-0.015	Å
Data Points	307080.992	
Percent Data Points	99.97	%
Ra	12.121	μm
Rp	33.196	μm
Rq	15.526	μm
Rt	0.134	mm
Rv	-0.101	mm

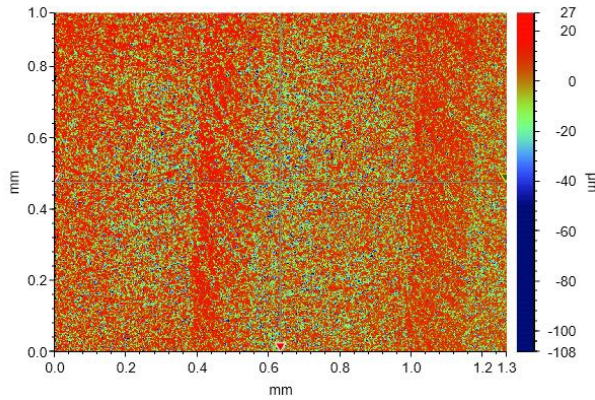
$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$



Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	-0.004	Å
Data Points	307096.992	
Percent Data Points	99.97	%
Ra	12.717	μm
Rp	36.216	μm
Rq	16.164	μm
Rt	0.138	mm
Rv	-0.102	mm

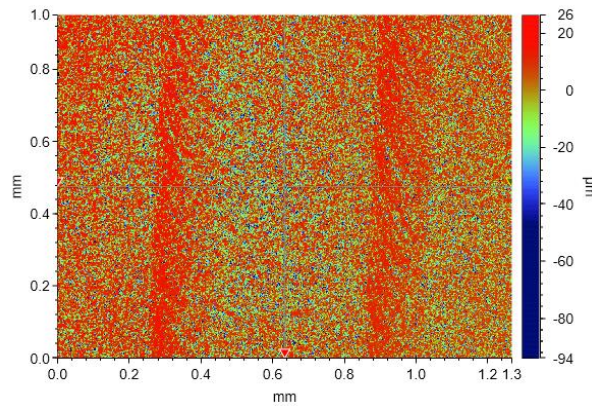
$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

Ομόρροπη κοπή με επικάλυψη $\frac{d}{4}$



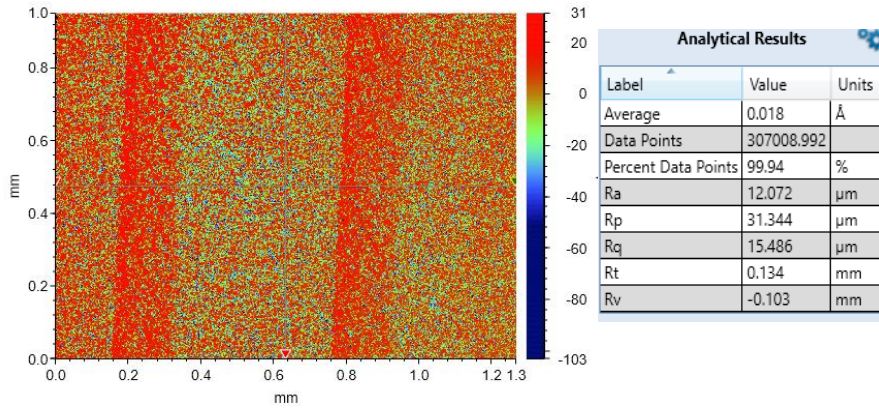
Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	-0.008	Å
Data Points	306905.984	
Percent Data Points	99.91	%
Ra	10.613	μm
Rp	27.305	μm
Rq	13.874	μm
Rt	0.136	mm
Rv	-0.108	mm

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$

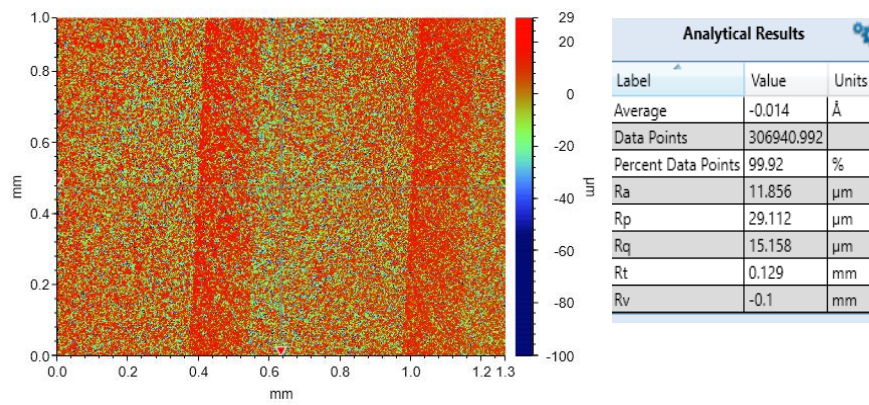


Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	-0.003	Å
Data Points	306952	
Percent Data Points	99.92	%
Ra	11.111	μm
Rp	26.451	μm
Rq	14.458	μm
Rt	0.12	mm
Rv	-94.035	μm

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

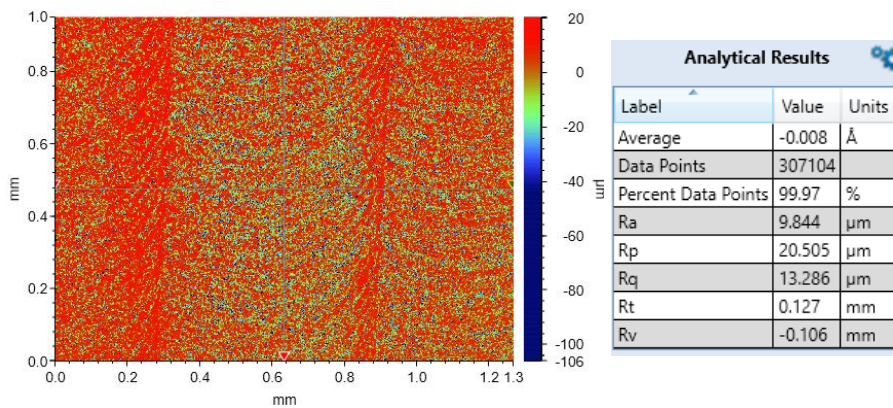


$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$

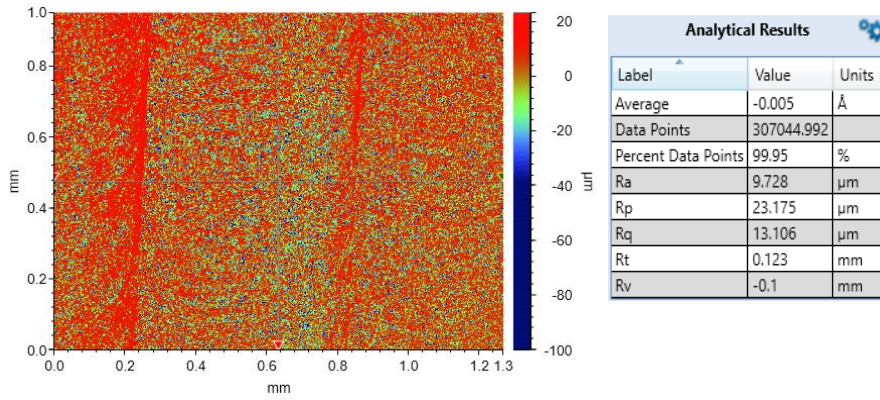


$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

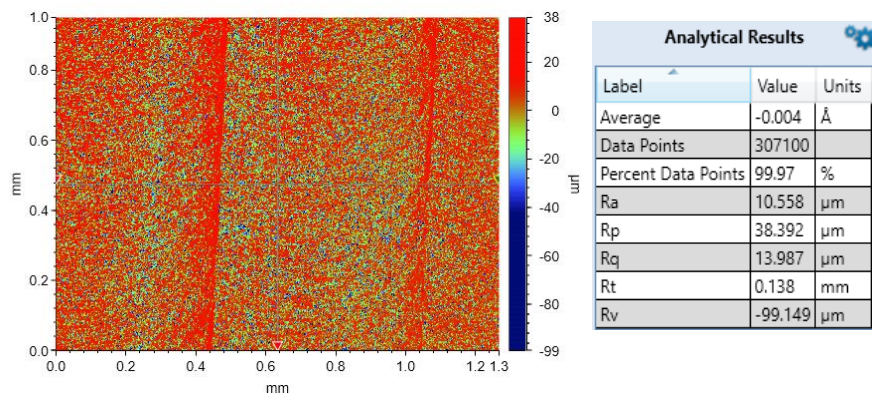
Αντίρροπη κοπή με επικάλυψη $\frac{d}{4}$



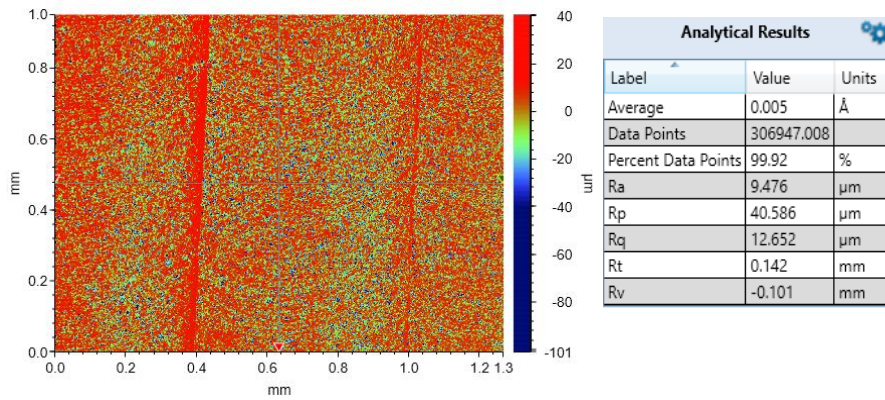
$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$



$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$

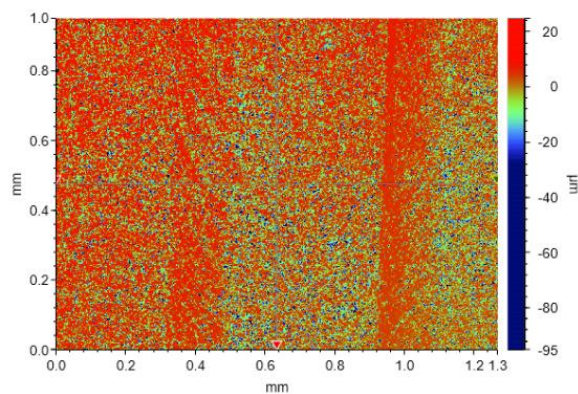


$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$



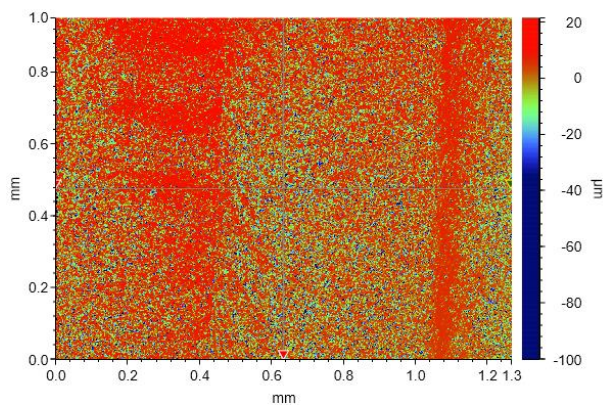
$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

Παλινδρομική κοπή με επικάλυψη $\frac{d}{4}$



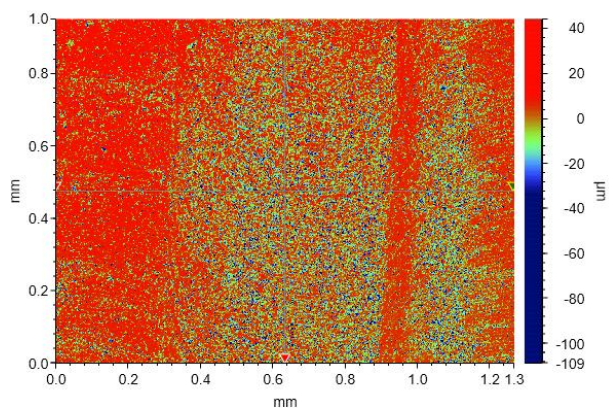
Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	0.007	Å
Data Points	306897.984	
Percent Data Points	99.91	%
Ra	6.591	μm
Rp	24.813	μm
Rq	9.164	μm
Rt	0.12	mm
Rv	-95.196	μm

$$F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$$



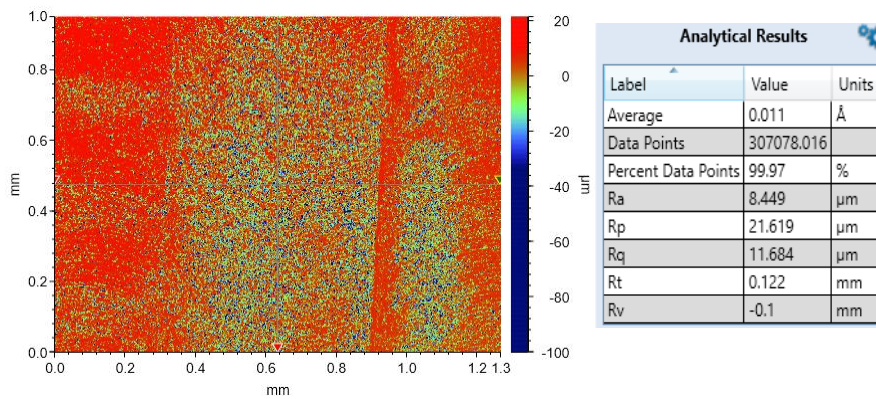
Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	-0.002	Å
Data Points	306958.016	
Percent Data Points	99.93	%
Ra	7.927	μm
Rp	21.564	μm
Rq	10.957	μm
Rt	0.122	mm
Rv	-0.1	mm

$$F_2 = 111.548 \text{ mm/min}$$



Analytical Results		
Label	Value	Units
Average	0.007	Å
Data Points	307083.008	
Percent Data Points	99.97	%
Ra	8.31	μm
Rp	44.146	μm
Rq	11.479	μm
Rt	0.153	mm
Rv	-0.109	mm

$$F_3 = 139.435 \text{ mm/min}$$



$$F_4 = 167.322 \text{ mm/min}$$

4.3.2. Τιμές τραχύτητας

Οι τιμές της τραχύτητας αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την αξιολόγηση της ποιότητας μιας επιφάνειας, με την μεταβλητή R_a να διαδραματίζει κεντρικό ρόλο σε αυτήν τη διαδικασία. Η μέση τραχύτητα R_a αντιπροσωπεύει το μέσο ύψος των ακμών και των βαθύτερων κοιλοτήτων σε μια επιφάνεια. Καθώς επικεντρωνόμαστε στην R_a , η επιλογή της καταδεικνύεται ως κρίσιμη παράμετρος για την επίτευξη επιθυμητής ποιότητας και λείανσης σε επιφάνειες.

Όσον αφορά το πείραμα που πραγματοποιήθηκε, η μοναδική επιφάνεια που ξεχώρισε ως η καλύτερη, επιτεύχθηκε με την εφαρμογή ομόρροπης επίστρωσης με επικάλυψη $\frac{d}{3}$ με τραχύτητα $F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$. Αυτό το αποτέλεσμα υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα αυτής της επικάλυψης στην επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας και τραχύτητας στην επιφάνεια, καταδεικνύοντας τη σημασία της ορθής επιλογής υλικών και τεχνικών για τη βελτίωση της επιφανειακής ποιότητας.

4.3.3. Συμπεράσματα πειραμάτων

Στη διεξαγωγή των 24 πειραμάτων, εκ των οποίων τα 12 πραγματοποιήθηκαν με επικάλυψη $\frac{d}{3}$ και τα υπόλοιπα 12 με επικάλυψη $\frac{d}{4}$, παρατηρήθηκαν ενδιαφέρουσες διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα.

Στην περίπτωση της επικάλυψης $\frac{d}{3}$, παρατηρήθηκε ότι η ομόρροπη κοπή με πρόωση $F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$, παρέχει οπτικά και την καλύτερη επιφάνεια, προσεγγίζοντας την ιδανική λεία επιφάνεια. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις μετρήσεις του προφιλόμετρου, που δείχνουν ότι η συγκεκριμένη διαδικασία έχει εξαιρετικά λεία επιφάνεια.

Στην επικάλυψη $\frac{d}{3}$, στην ομόρροπη κοπή δεν παρέχει τα επιθυμητά αποτελέσματα στις υπόλοιπες προώσεις (F_2, F_3, F_4). Αντίστοιχα και στην αντίρροπη κοπή τα μετρητικά αποτελέσματα παρουσιάζουν μέτριες επιφάνειες. Ειδικά, η παλινδρομική κοπή δείχνει να έχει αρκετά κακές επιφάνειες όπως και αποτελέσματα.

Αντίθετα, στην επικάλυψη $\frac{d}{4}$, κανένα από τα πειράματα δεν οδηγεί σε οπτικά ιδανική επιφάνεια. Η ομόρροπη και αντίρροπη κοπή παρουσιάζουν αποτελέσματα που παραπέμπουν σε κακή επιφάνεια, ενώ η παλινδρομική κοπή έχει επιφάνειες κακές προς μέτριες.

Η σύγκριση των οπτικών αποτελεσμάτων με τις μετρήσεις του προφιλόμετρου επιβεβαιώνει ότι η ομόρροπη κοπή με πρόωση $F_1 = 83.66 \text{ mm/min}$ και επικάλυψη $\frac{d}{3}$ είναι η βέλτιστη, προσφέροντας μια λεία επιφάνεια που πλησιάζει στο επιθυμητό επίπεδο ποιότητας.

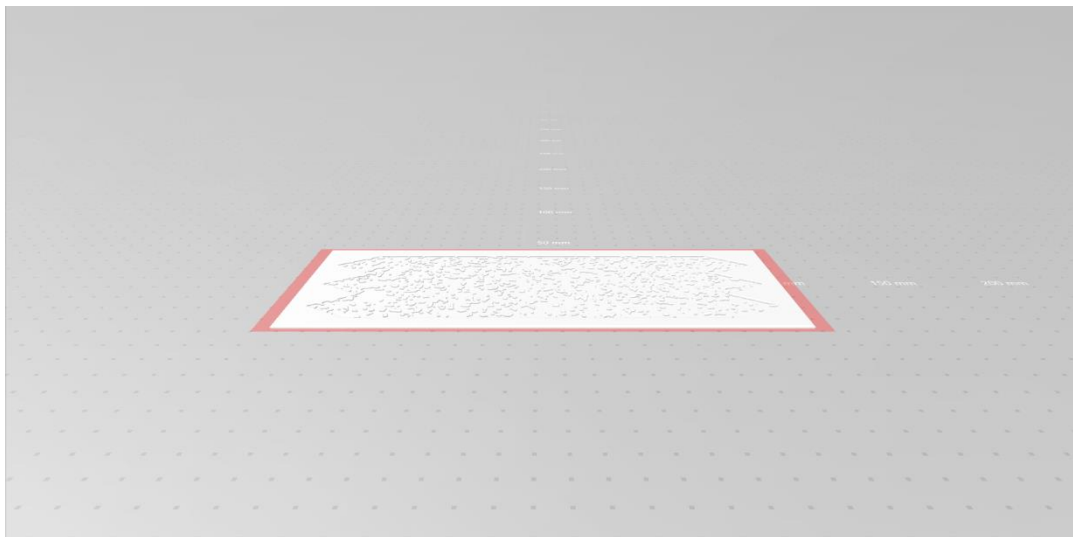
5. Πειραματική Εκτέλεση και Ανάλυση Κοπών

5.1. Περιγραφή πειράματος

Η συνεργασία με το Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (ΜηχΟΠ) είχε ως στόχο την προσομοίωση της ροής ενός πεπιεσμένου υγρού στο εσωτερικό ενός ορυκτού. Για το σκοπό αυτό, παραχωρήθηκε ένα αρχείο STL, που αναπαριστούσε μια τυχαία επιφάνεια ενός ορυκτού, κομμένου στη μέση.

Η διαδικασία περιλάμβανε πρώτα την τοποθέτηση μιας πλάκας PMMA, η οποία είχε υποστεί φρεζάρισμα. Στη συνέχεια, η επεξεργασία της πλάκας πραγματοποιήθηκε στο CAM (Computer-Aided Manufacturing) στο NX Siemens, όπου σχεδιάστηκε η κοπή του τυχαίου μοτίβου που είχε προσομοιωθεί στο αρχείο STL..

Για την εκτέλεση της κοπής χρησιμοποιήθηκε η αυτοματοποιημένη μηχανή DMU 50 eco με τη χρήση του IBAG HFK 95, ένα υψηλής συχνότητας μηχάνημα για τη δημιουργία υψηλών ταχυτήτων κοπής.



Σχήμα 5.1. : Stl. τελικού τεμαχίου

5.1.1. Επιλογή υλικού: Η χρήση της PMMA

Η επιλογή της πλάκας PMMA (Polymethyl Methacrylate) αποδεικνύεται κρίσιμη για την επιτυχή υλοποίηση του πειράματος. Η PMMA είναι ένα υλικό με εξαιρετικές ιδιότητες, καθιστώντας το ιδανικό για τις απαιτήσεις της πειραματικής διαδικασίας.

Οι κύριες ιδιότητες της PMMA που την καθιστούν κατάλληλη για το πείραμα περιλαμβάνουν:

1. **Διαφάνεια:** Η PMMA διαθέτει υψηλή διαφάνεια, επιτρέποντας την παρατήρηση των κοπών και των αλλαγών στην επιφάνεια του υλικού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

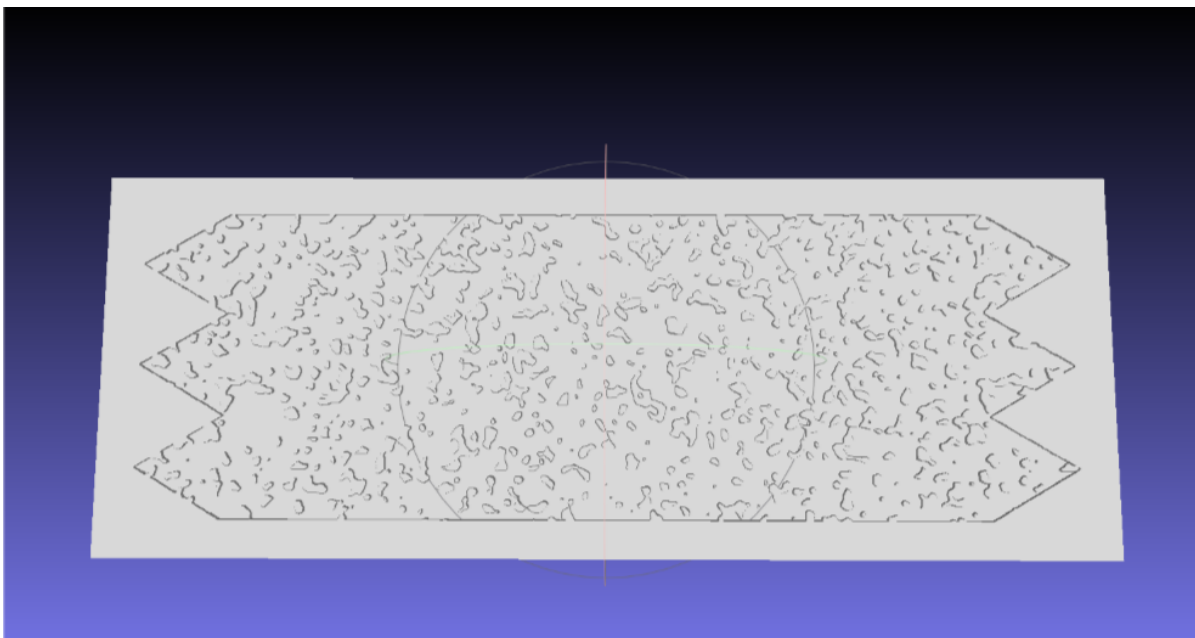
2. **Ευκολία επεξεργασίας:** Η PMMA είναι ευκολοδούλευτη με εργαλεία όπως οι φρέζες, επιτρέποντας την επίτευξη λείας επιφάνειας με ακρίβεια.
3. **Χημική αντοχή:** Η PMMA είναι ανθεκτική σε ποικίλα χημικά, εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα του υλικού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Η συνδυασμένη χρήση της PMMA με προηγμένες τεχνολογίες CAM και CNC εξασφαλίζει όχι μόνο την ακρίβεια των κοπών αλλά και μια εξαιρετικά λεία επιφάνεια στο τελικό αποτέλεσμα. [2]

5.1.2. Προετοιμασία της επιφάνειας

Η επόμενη στάση στη διαδικασία αφορά την προετοιμασία της επιφάνειας μέσω φρεζαρίσματος. Αφού τοποθετήθηκε η πλάκα PMMA, υπέστη φρεζάρισμα για την επίτευξη όσο το δυνατόν πιο λείας επιφάνειας, ο επόμενος στόχος είναι να δημιουργηθεί μια ομαλή και ακριβής βάση για την επερχόμενη κατεργασία.

Η κατεργασία αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση του περιβάλλοντος CAM (Computer-Aided Manufacturing) στο NX Siemens. Στο πλαίσιο αυτό, σχεδιάζεται η διαδικασία κοπής του τυχαίου μοτίβου που είχε προσομοιωθεί στο αρχείο STL.. Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως η CAM εξασφαλίζει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας φρεζαρίσματος. Μετά τον έλεγχο και τη βεβαίωση της ορθότητας του G κώδικα, ξεκινάει η διαδικασία φόρτωσης του στην DMU 50 eco.



Σχήμα 5.1.2. : Σχέδιο τελικού τεμαχίου.

5.1.3. Προετοιμασία μηχανών

Η βασικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία και ολοκλήρωση του πειράματος είναι η DMU 50 eco και η υψηλής συχνότητας πολύστροφη μηχανή IBAG HFK 95. Αυτή η δυναμική συνδυασμού δημιουργεί υψηλές ταχύτητες κοπής, εξασφαλίζοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας κοπής.

Η διαδικασία ξεκινά με την επιλογή του εργαλείου, στη συγκεκριμένη περίπτωση, του εργαλείου κονδυλίου 0.8mm με 2 δόντια και το βάθος κοπής καθορίζεται στα 0.4mm.

Το πρόγραμμα διαμοιράζεται σε τέσσερα μέρη, προσφέροντας ομαλή και συνεχή κίνηση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Το τεμάχιο σταθεροποιείται στη φρέζα και ασφαλίζεται προσεκτικά για να αποφευχθούν προβλήματα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.

Η είσοδος στο υλικό πραγματοποιείται από πάνω περιστροφικά, ενώ ο χρήστης χρησιμοποιεί λιπαντικό που ψεκάζεται για να διατηρήσει σταθερή τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της κοπής. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει τη σταθερότητα της θερμοκρασίας, προστατεύοντας το υλικό από ανεπιθύμητες επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της κοπής.

5.2. Αποτελέσματα και συμπεράσματα

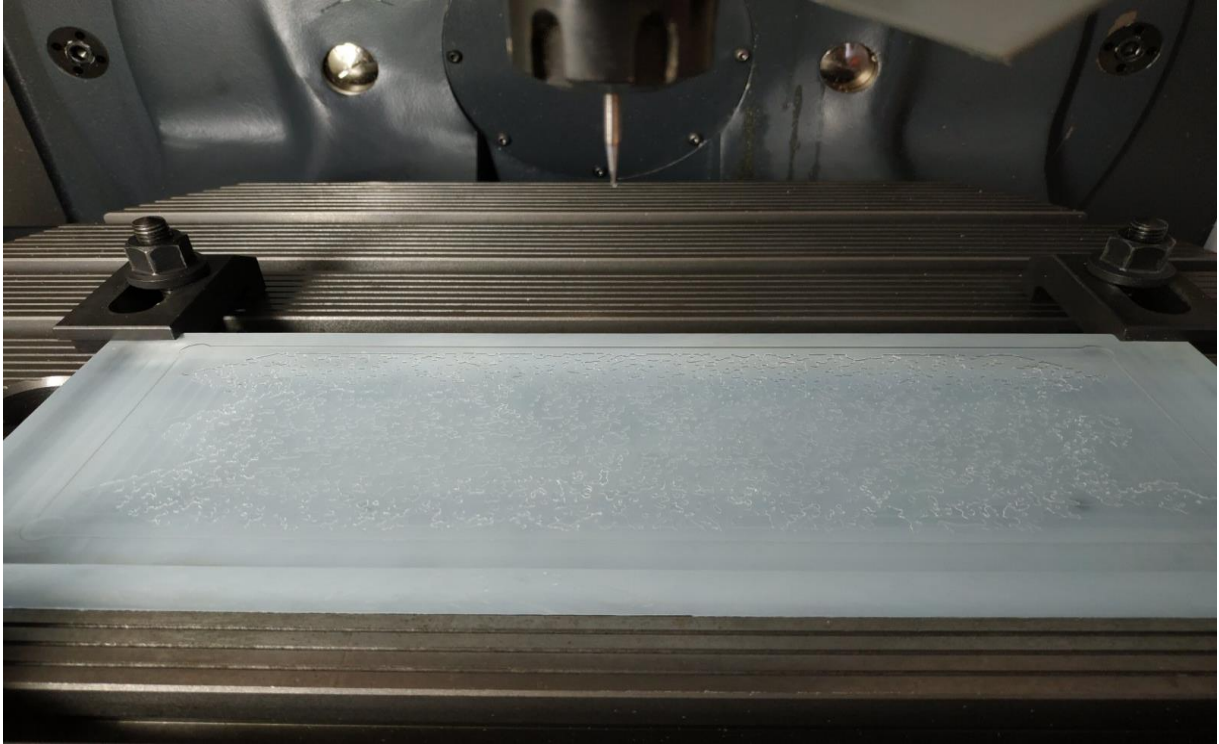
Η μηχανουργική διαδικασία και η διαδικασία κοπής απέδωσαν επιτυχώς, επιτυγχάνοντας άριστη ποιότητα κοπής και επιφάνειας στο επιθυμητό υλικό, PMMA. Συνολικά, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως το CAM και το CNC (Computer Numerical Control) στην DMU 50 eco σε συνδυασμό με το IBAG HFK 95 εξασφάλισε όχι μόνο την ακρίβεια κοπής, αλλά και μια εξαιρετικά λεία επιφάνεια στο τελικό αποτέλεσμα.

Η επιλογή της PMMA ως υλικού για την πλάκα είναι πιθανόν να έγινε λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων της στον τομέα της διαφάνειας, καθώς και της ευκολίας επεξεργασίας της με τη χρήση φρεζών. Επιπλέον, προσθέτει ρεαλισμό στην μελέτη της ροής του πεπιεσμένου υγρού μέσα στον ορυκτό.

Παρόλο που οι μηχανικές επιδόσεις ήταν εξαιρετικές, αξίζει να σημειωθεί ότι η λειτουργικότητα του τελικού προϊόντος πρέπει να αξιολογηθεί ξεχωριστά, καθώς αυτή η μελέτη επικεντρώνεται κυρίως στη μηχανουργική πλευρά της διαδικασίας.

Το πείραμα αποδεικνύεται πετυχημένο ως προς την επίτευξη των μηχανουργικών στόχων, προσφέροντας υψηλής ποιότητας αποτελέσματα κοπής. Παρά ταύτα, για πληρέστερη εκτίμηση της συνολικής λειτουργικότητας, απαιτείται περαιτέρω αξιολόγηση του τελικού προϊόντος ως προς τα λειτουργικά κριτήρια και τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Οι συγκεκριμένες εργασίες, σε συνεργασία με το ΜηχΟΠ, μπορεί να ανοίξουν νέες προοπτικές για την κατανόηση της ροής των υγρών μέσα στα ορυκτά και να συμβάλουν στη βελτίωση της απόδοσης και της ασφάλειας στον τομέα της εξόρυξης.



Σχήμα 5.2. : Τελικό τεμάχιο.

ΣΥΝΟΨΗ

Η εργασία περιλαμβάνει ένα εγχειρίδιο για τη χρήση του πολυστρόφου, επικεντρώνοντας στη σημασία της διαδικασίας. Εξετάστηκε θεωρητικά και τεχνικά η υψηλή ταχύτητα κοπής, ενώ εκτελέστηκε μικροκατεργασία σε δοκίμια PMMA με πειραματικές κοπές.

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση των μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη των πειραμάτων. Ενώ καταγράφηκε, πώς η ποιότητα μιας επιφάνειας υφίσταται μεταβολές σε σχέση με τις παραμέτρους που διαλέγονται. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε πώς οι μεταβλητές όπως η πρόωση, η επικάλυψη, και η στρατηγική επηρεάζουν διακριτά την εμφάνιση και την ποιότητα της επιφάνειας.

Μέσω πειραματικών διαδικασιών, επιτεύχθηκε η εύρεση βέλτιστης επιφάνειας στο υλικό PMMA. Ενώ, εφαρμόστηκε κοπή μιας πλάκας PMMA για τη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (ΜηχΟΠ) που θα τους βοηθήσει πειραματικά να προσομοιάσουν το εσωτερικό ενός ορυκτού.

Τέλος, η εργασία αναδεικνύει τη σημασία της μικροκατεργασίας στη βελτίωση των επιφανειακών ιδιοτήτων των θερμοπλαστικών PMMA και προσφέρει εφαρμογή στον τομέα της μηχανικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] K. Robert, Handbook of High-speed Maching Technology, Springer, 1985.
- [2] D. S. Williams, A review article on acrylic PMMA, USA: Organization of scientific research (IOSR), 2016.
- [3] High speed machining and conventional die and mold machining, Reprint from Metalworking, Printed in Sweden.
- [4] Micromachining & Manufacturing Modeling Lab (m3), <https://www.m3.tuc.gr/mt.html> , Technical University of Crete
- [5] Elsevier BV. International Journal of Machine Tools and Manufacture
- [6] IBAG. Technical Specification IBAG-High-speed-spindle