



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση γεωμετρίας κορυφής ελικοειδούς τρυπανιού με πτερύγια απολήξεων για διάτρηση αλουμίνιου 7075 με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων

Μπαρμπαρήγος Ιωάννης Α.Ε.Μ.:2457

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Στέφανος Γεράρδης

Ιούνιος 2024

Κοζάνη



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση γεωμετρίας κορυφής ελικοειδούς τρυπανιού με πτερύγια απολήξεων για διάτρηση αλουμίνιου 7075 με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων

Μπαρμπαρήγος Ιωάννης Α.Ε.Μ.:2457

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Στέφανος Γεράρδης

Ιούνιος 2024

Κοζάνη

Περίληψη

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση τρυπανιού με πτερύγια απολήξεων για τη μείωση του φαινομένου σχηματισμού «κορώνας» στην επιφάνεια του τεμαχίου κατά την έξοδο του τρυπανιού στη διάτρηση του αλουμινίου 7075-T6. Αρχικά γίνεται αναφορά στις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού, στις κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται ανάλογα με το είδος του μηχανήματος που πραγματοποιούνται και το διαχωρισμό των μηχανήματων σε συμβατικά και ψηφιακής καθοδήγησης. Ακολουθεί η θεωρία διάτρησης όπου αναλύονται οι παράμετροι που υπάρχουν κατά την πραγματοποίηση της κατεργασίας. Έπειτα γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά που έχει ένα τρυπάνι ως προς τη γεωμετρία του. Στη συνέχεια αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχει το αλουμίνιο το οποίο θα είναι και το κατεργαζόμενο υλικό που μελετάται. Επόμενο στάδιο είναι η σχεδίαση των τριών τρυπανιών με πτερύγια απολήξεων στο SolidWorks που διαφέρουν ως προς το μήκος των πτερυγίων. Εν συνέχεια για τον προσδιορισμό της βέλτιστης γεωμετρίας η οποία δημιουργεί τα μικρότερα μηχανικά και θερμικά φορτία και την καλύτερη τελική επιφάνεια στο τεμάχιο, οι κατεργασίες με αυτά τα τρία εργαλεία προσομοιώνονται με την βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων και πιο συγκεκριμένα με την χρήση του λογισμικού προγράμματος Deform-3D. Με το πέρας των προσομοιώσεων εξάγονται τα αποτελέσματα για τις δυνάμεις, τις ροπές, τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται και τις απολήξεις που έχει ο συγκεκριμένος τύπος τρυπανιού. Τέλος γίνεται ανάλυση των συμπερασμάτων που προήλθαν από τα αποτελέσματα για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχει ο συγκεκριμένος τύπος τρυπανιού καθώς και ποιο μήκος πτερυγίων είχε τα καλύτερα αποτελέσματα.

Abstract

The subject of this diploma thesis is the design of a drill with flap ending to reduce the phenomenon of burr formation on the surface of the workpiece during the exit of the drill in aluminum 7075-T6 machining. The first chapter is associated with the subtractive manufacturing processes and the categories they consist of, according to machine type they are carried out and their categorization of conventional and computerized numerical control machines (CNC). The second chapter is related to the drilling theory and the significant variables encountered during the machining process. Then, the basic features regarding the drill geometry are analysed. Subsequently, the material properties of aluminum are meticulously analyzed as they are critical for this particular study. The next step is the design of three twist drills with different-length end blades in the SolidWorks Software. Then, to determine the optimal geometry that generates the lowest mechanical and thermal loads and the best final surface on the workpiece, the machining process with these three tools is simulated by using the finite element method in the Deform-3D Software. At the end of the simulation cases, the results of the forces, the tendencies, the temperatures developed, as long as the burrs formed are presented. Finally, a further analysis of the results leads to the conclusion, where the advantages and disadvantages are derived and the drill type which has the optimal blade length is pinpointed.

Ευχαριστίες

Ξεκινώντας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Στέφανο Γεράρδη που παρόλο το φόρτο εργασίας του δέχτηκε να συνεργαστούμε. Η βοήθεια και οι συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας ήταν πολύτιμες και καθοριστικής σημασίας ώστε να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές και τις καθηγήτριες που συνεργάστηκα μαζί τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου για τις γνώσεις που μου προσέφεραν.

Επίσης θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου αλλά και στη θεία μου για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια ώστε να καταφέρω σήμερα να ολοκληρώνω τις προπτυχιακές μου σπουδές στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου, που γνώρισα κατά την διάρκεια των σπουδών μου, για την στήριξη τους και για τις ωραίες στιγμές που περάσαμε μαζί αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	9
1. Κατεργασίες με αφαίρεση υλικού	10
1.1. Κατηγορίες κατεργασιών με αφαίρεση υλικού.....	10
1.1.1 Τόρνευση	10
1.1.2 Φρεζάρισμα	12
1.1.3 Διάτρηση	13
1.1.4 Γλύφανση	14
1.1.5 Πλάνιση.....	14
1.1.6 Πριόνισμα.....	15
1.1.7 Κοπή Οδοντώσεων.....	16
1.2. Είδη εργαλειομηχανών.....	17
1.2.1. Συμβατικές μηχανές	17
1.2.2. Μηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση	18
2. Θεωρία διάτρησης.....	20
2.1. Η κινηματική της διάτρησης	20
2.2. Κύριες παράμετροι κατεργασίας	21
2.2.1. Ταχύτητα κοπής	21
2.2.2. Πρόωση	21
2.2.3. Υγρό κοπής	21
2.3. Θερμοκρασίες κατά τη διάτρηση.....	21
2.4. Δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάτρηση.....	23
3. Κοπτικά εργαλεία διάτρησης	24
3.1. Γεωμετρία ελικοειδούς τρυπανιού	24
3.1.1. Πάχος πυρήνα.....	25
3.1.2. Πλάτος σώματος	26
3.1.3. Γωνία ελίκωσης	26

3.1.4. Οδηγητική λωρίδα	27
3.1.5. Προφίλ αυλακώσεων.....	28
3.1.6. Γεωμετρία κορυφής.....	28
3.1.7. Διέλευση ψυκτικού υγρού	30
3.2. Ακάλυπτα κοπτικά εργαλεία διάτρησης.....	30
3.2.1. Ανθρακούχοι χάλυβες	31
3.2.2. Κεκραμμένοι χάλυβες	31
3.2.3. Ταχυχάλυβες(HSS).....	32
3.2.4. Σκληρομέταλλα.....	33
3.2.5. Κεραμικά	34
3.2.6. Διαμάντια.....	35
3.2.7. Βοριονιτρίδια	35
3.3. Επικαλυμμένα κοπτικά εργαλεία διάτρησης	36
3.3.1. Επικάλυψη Νιτρίδιο του Τιτανίου - Titanium Nitride (TiN)	36
3.3.2. Επικάλυψη Ανθρακονιτρίδιο του Τιτανίου – Titanium Carbo Nitride (TiCN)	37
3.3.3. Επικάλυψη Νιτρίδιο Τιτανίου Αλουμινίου – Titanium Aluminum Nitride (TiAlN ή AlTiN)	37
3.3.4. Επικάλυψη Νιτρίδιο του Χρωμίου – Chromium Nitride (CrN).....	38
3.3.5. Επικάλυψη Νιτρίδιο του Ζιρκονίου – Zirconium Nitride (ZrN).....	39
4. Υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου.....	40
4.1 Τα κράματα του αλουμινίου	40
4.1.1. Κράματα αλουμινίου ιδανικά για διαμόρφωση	41
4.1.2. Κράματα αλουμινίου ιδανικά για χύτευση	41
4.1.3. Συμβολισμοί κατεργασιών	42
4.2 Κράμα Αλουμινίου 7075-T6	42
4.2.1. Θερμικές ιδιότητες αλουμινίου 7075-T6.....	43
4.2.2 Μηχανικές ιδιότητες αλουμινίου 7075-T6	43
4.3. Απολήξεις εξόδου στη διάτρηση αλουμινίου	43
5. Σχεδιασμός κοπτικών εργαλείων στο SolidWorks	45
6. Προσομοίωση κατεργασίας διάτρησης, με χρήση του Deform-3D	59
7. Αποτελέσματα	70

7.1. Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το Deform-3D	70
7.2. Επεξεργασία αποτελεσμάτων στο Excel.....	72
7.3. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	73
7.3.1. Αποτελέσματα για το τρυπάνι με μικρό πτερύγιο απολήξεων.....	74
7.3.2. Αποτελέσματα για το τρυπάνι με μεσαίο πτερύγιο απολήξεων	78
7.3.3. Αποτελέσματα για το τρυπάνι με μεγάλο πτερύγιο απολήξεων	83
8. Συμπεράσματα	87
Βιβλιογραφία	92

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η διάτρηση είναι μια από τις πιο ευρέως διαδεδομένες μηχανουργικές κατεργασίες που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία οπών. Οι οπές αυτές χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση κάποιων τεμαχίων μεταξύ τους μέσω κάποιου συνδετικού μέσου ή για τη διέλευση μέσα από αυτές διαφόρων υγρών και αέριων.

Η κατεργασία της διάτρησης πραγματοποιείται σε μια πληθώρα υλικών όπως ο χάλυβας, το αλουμίνιο, το ξύλο και άλλα. Το αλουμίνιο όμως είναι ένα υλικό το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές λόγω του χαμηλού του βάρους και των πολύ καλών του μηχανικών ιδιοτήτων του. Το πρόβλημα που παρατηρείται κατά τη διάτρησή του είναι ότι κατά την έξοδο του τρυπανιού δημιουργούνται απολήξεις εξόδου, πράγμα που οφείλεται στην ολκιμότητά του και στην αναπτυσσόμενη θερμότητα. Αυτό συνεπάγεται ότι μετά την ολοκλήρωση της διάτρησης χρειάζεται να γίνει ξανά κατεργασία στην οπή ώστε να καθαριστούν οι απολήξεις. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και αυξάνει το κόστος με αποτέλεσμα να αναζητούνται λύσεις για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η σχεδίαση ενός τρυπανιού το οποίο θα μειώνει αυτό το φαινόμενο. Σχεδιάστηκε μια ιδιαίτερη γεωμετρία κορυφής του τρυπανιού η οποία έχει πτερύγια απολήξεων που αποσκοπούν στη μείωση των απολήξεων. Η σχεδίαση πραγματοποιείται στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks όπου σχεδιάστηκαν τρία τρυπάνια με διαφορετικό μήκος πτερυγίων, ώστε να γίνει σύγκριση αποτελεσμάτων και να βρεθεί η πιο κατάλληλη γεωμετρία για τη διάτρηση του αλουμινίου 7075-T6.

Τα τρία αυτά σχέδια θα εισαχθούν στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Deform-3D, μέσω του οποίου πραγματοποιούνται τρεις προσομοιώσεις, μια για το κάθε ένα, για να εξαχθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Μετά την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων το πρόγραμμα εξάγει ως αποτέλεσμα τις δυνάμεις, τις ροπές και τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται καθώς και την εικόνα του τεμαχίου ώστε να γίνει ορατό το μέγεθος των απολήξεων εξόδου.

1.Κατεργασίες με αφαίρεση υλικού

Οι κατεργασίες με αφαίρεση υλικού είναι κατεργασίες οι οποίες εμφανίστηκαν μαζί με την εμφάνιση του ανθρώπου πάνω στην γη βοηθώντας τον στην επιβίωση. Αρχικά χρησιμοποιώντας πρωτόγονα εργαλεία τα οποία κατασκευάζονταν με τα πρώτα υλικά που είχαν διαθέσιμα όπως είναι ξύλο, πέτρα και κόκαλα ζώων τα οποία χρησιμοποιούνταν για τις καθημερινές τους ανάγκες . Με το πέρασμα των χρόνων εξελίχτηκαν αρκετά, ιδιαίτερα την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης και έφτασαν στο σημείο σήμερα να γίνονται αυτοματοποιημένα μέσω μηχανών CNC.

Στις κατεργασίες αυτές η μορφοποίηση του τεμάχιο γίνεται μέσω της αφαίρεσης ποσότητας υλικού, ώστε το τεμάχιο να αποκτήσει κάποια συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία προσδιορίζονται από το μηχανολογικό σχέδιο του εξαρτήματος. Για να επιτύχουν αυτές οι κατεργασίες χρησιμοποιείται ανάλογα με το είδος τους και το αντίστοιχο μηχάνημα που χαρακτηρίζει και την κατηγορία της κατεργασίας.

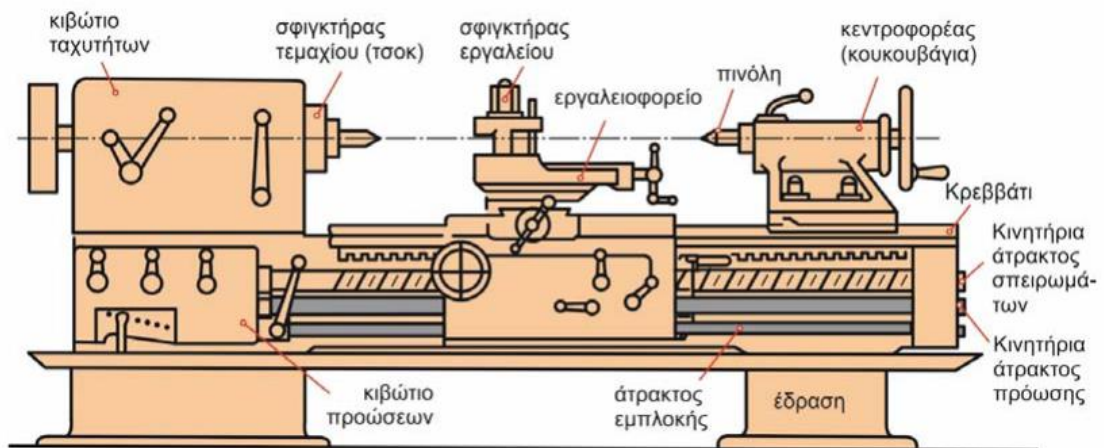


Εικόνα 1.1.: Ένα αντικείμενο που για να κατασκευαστεί χρησιμοποιούνται οι κατεργασίες με αφαίρεση υλικού.

1.1. Κατηγορίες κατεργασιών με αφαίρεση υλικού

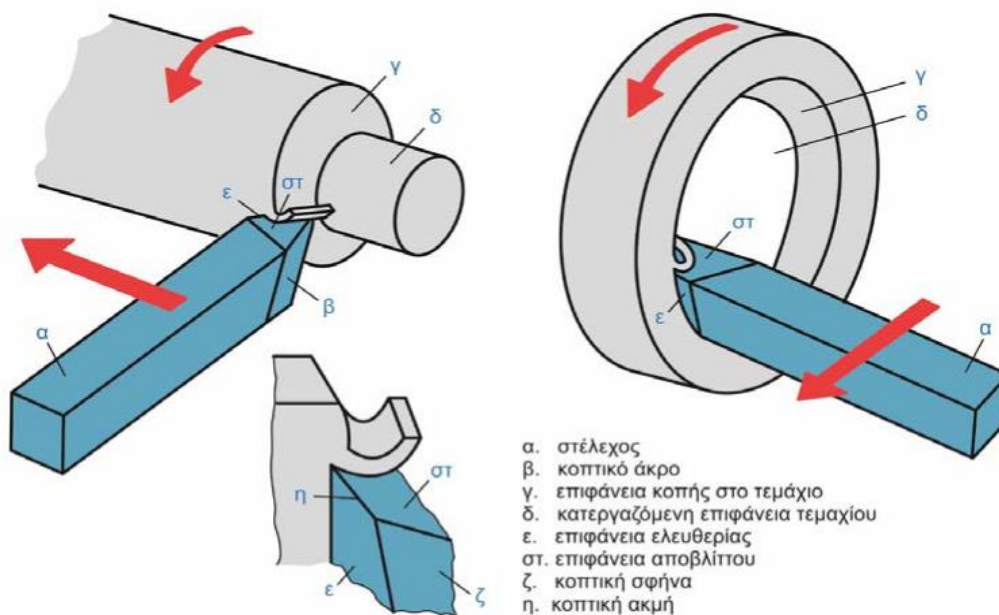
1.1.1 Τόρνευση

Η τόρνευση πραγματοποιείται με τη χρήση της εργαλειομηχανής του τόρνου, στο οποίο το τεμάχιο συγκρατείται στο τσοκ της μηχανής, και όταν το απαιτεί η γεωμετρία του τεμαχίου, χρησιμοποιείται και ο κεντροφορέας, που το περιστρέφει γύρω από τον άξονα του. Το κοπτικό εργαλείο συγκρατείται πάνω στο εργαλειοφορείο το οποίο είναι υπεύθυνο για την σωστή συγκράτηση και μετακίνησή του καθώς και για τις κατάλληλες ρυθμίσεις σχετικά με το βάθος και την ταχύτητα κοπής.



Εικόνα 1.2.: Τα βασικά μέρη ενός τόννου. [1]

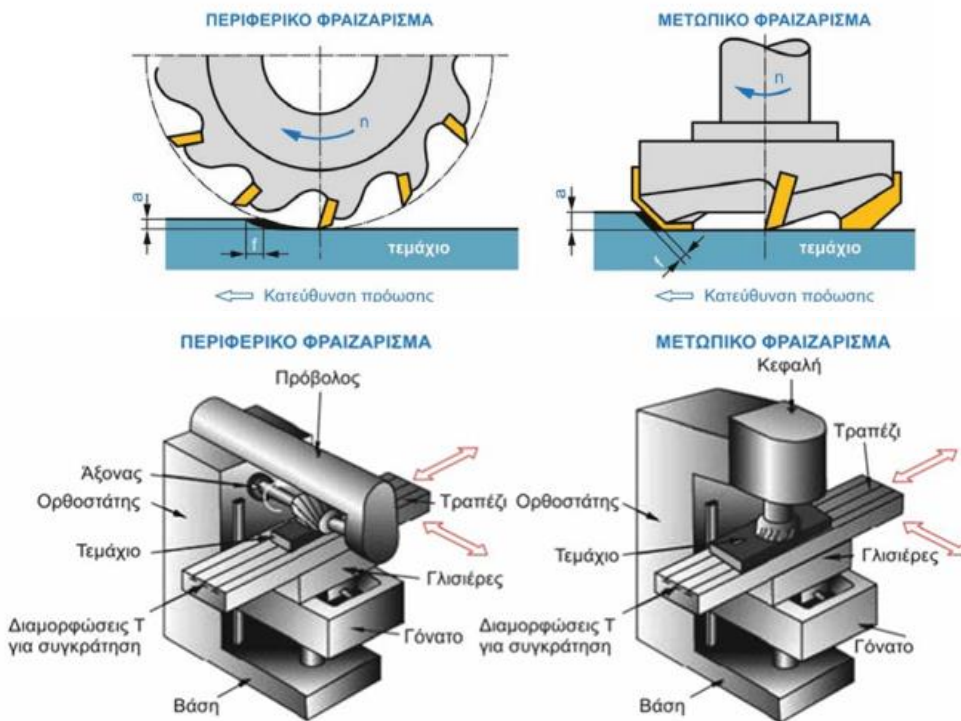
Με την τόννευση μπορούν να κατασκευαστούν τεμάχια τα οποία είναι συμμετρικά εκ περιστροφής και έχουν συνήθως κυλινδρική διατομή. Οι επιφάνειες που μπορούν να κατασκευαστούν είναι κυρίως κύλινδροι, κώνοι και σφαιρικά αντικείμενα. Το κοπτικό εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται κάθε φορά, είναι ανάλογο με τον τύπο της διαμόρφωσης που πραγματοποιείται. Επίσης υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες τόννευσης: η εξωτερική και η εσωτερική. Σε αυτές το κοπτικό εργαλείο κατεργάζεται αντίστοιχα την εξωτερική ή την εσωτερική επιφάνεια του τεμαχίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3. [1], [2]



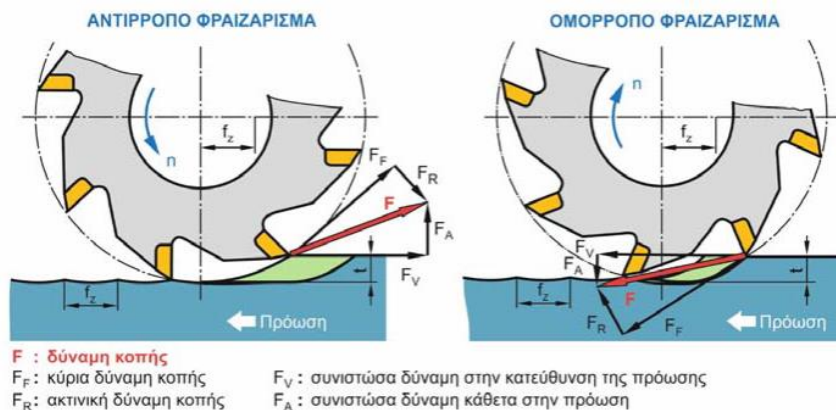
Εικόνα 1.3.: Αριστερά είναι η εξωτερική τόννευση και δεξιά η εσωτερική. [1]

1.1.2. Φρεζάρισμα

Στο φρεζάρισμα ,σε αντίθεση με την τόννευση ,δεν περιστρέφεται το κατεργαζόμενο τεμάχιο αλλά το κοπτικό εργαλείο. Το κατεργαζόμενο τεμάχιο συγκρατείται πάνω στο τραπέζι της φραιζας το οποίο αποτελεί και το μηχάνημα στο οποίο πραγματοποιείται αυτή η κατεργασία. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές γεωμετρίες οι οποίες μπορούν να κατεργαστούν σε μια φραιζα όπως π.χ. επίπεδες επιφάνειες, εσοχές, σφηνόδρομοι ακόμα και οδοντωτοί τροχοί. Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες φρεζαρίσματος ανάλογα με την κατεύθυνση που περιστρέφεται ο άξονας του κοπτικού εργαλείου: το περιφερικό και το μετωπικό. Στο περιφερικό φρεζάρισμα ο άξονας του κοπτικού εργαλείου είναι παράλληλος με την κατεργαζόμενη επιφάνεια και ανάλογα με την φορά της πρόωσης διακρίνεται σε ομόρροπο και αντίρροπο φρεζάρισμα. Στο ομόρροπο η πρόωση του τεμαχίου έχει την ίδια φορά με την περιστροφή του εργαλείου ενώ στο αντίρροπο έχει αντίθετη φορά. Τέλος στο μετωπικό ο άξονας του εργαλείου είναι κάθετος με την κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου. [1], [2]



Εικόνα 1.4.:Η διαφορά ανάμεσα σε περιφερικό και μετωπικό φραιζάρισμα. [1]



Εικόνα 1.5.: Οι δυο κατηγορίες περιφερικού φρεζαρίσματος. [1]

1.1.3. Διάτρηση

Η διάτρηση είναι η κατεργασία κατά την οποία δημιουργείται μια οπή σε ένα τεμάχιο και το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται ονομάζεται τρυπάνι. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες τρυπανιών ανάλογα με το υλικό και το είδος της οπής που πρέπει να πραγματοποιηθεί. Οι εργαλειομηχανές με τις οποίες πραγματοποιείται η διάτρηση ονομάζονται δράπανα. Υπάρχουν πολλά είδη δραπάνων όπως για παράδειγμα το ακτινικό, το κολονάτο και άλλα. Ανάλογα με το τεμάχιο και την οπή που θα πραγματοποιηθεί επιλέγεται και το κατάλληλο μηχάνημα. Επιπρόσθετα διάτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και στον τόρνο συγκρατώντας το τρυπάνι στον κεντροφορέα μέσω κατάλληλου σφικτήρα.



Εικόνα 1.6.: Ακτινικό δράπανο αριστερά κολονάτο δράπανο δεξιά.

Στη διάτρηση υπάρχουν δύο βασικές κινήσεις, η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου και η ευθεία μετατόπισή του προς το τεμάχιο. Η περιστροφή αποτελεί την κύρια κίνηση κοπής και είναι αλληλένδετη με την ταχύτητα κοπής αφού εξαρτάται από τον αριθμό των στροφών που έχει το τρυπάνι. Στην δεύτερη περίπτωση της ευθείας μετατόπισης του τρυπανιού υπάρχει η κίνηση πρόωσης δηλαδή σε μια πλήρη περιστροφή του τρυπανιού πόσο θα μετατοπιστεί το τρυπάνι προς το τεμάχιο. Σε επόμενο κεφάλαιο θα γίνει πιο εκτενής αναφορά για την διάτρηση. [1], [2]



Εικόνα 1.7: Ένα απλό τρυπάνι διάτρησης.

1.1.4. Γλύφανση

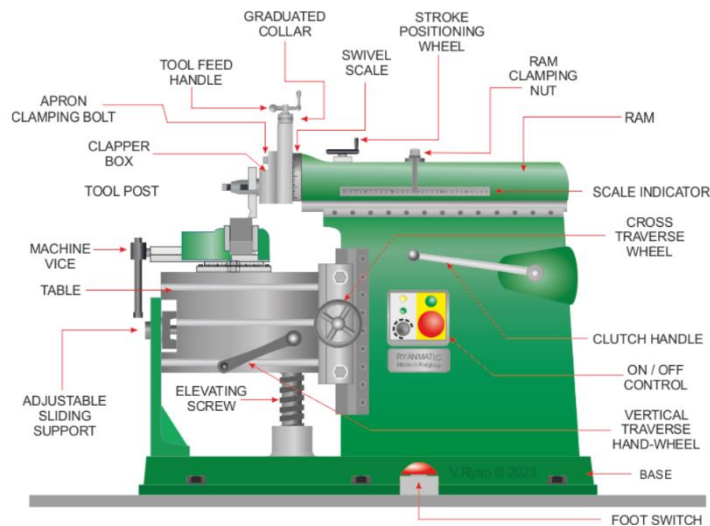
Η γλύφανση είναι μια κατεργασία αποπεράτωσης η οποία πραγματοποιείται σε προδιαμορφωμένες σπές ώστε να επιτευχθεί η τελική τους διάμετρος. Οι εργαλειομηχανές που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι τα δράπανα και ο τόννος αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορεί να πραγματοποιηθεί και χειροκίνητα. Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται ονομάζονται γλύφανα και είναι συνήθως κυλινδρικά φέροντας πάνω τους τις κοπτικές ακμές. Επίσης υπάρχουν και άλλες κατηγορίες γλυφάνων όπως για παράδειγμα κωνικά γλύφανα για κωνικές σπές. Η κινηματική που ακολουθείται στη γλύφανση είναι παρόμοια με αυτή της διάτρησης, δηλαδή υπάρχουν δύο κινήσεις. Η πρώτη κίνηση είναι η περιστροφή του γλυφάνου η οποία είναι η κύρια κίνηση κοπής και η δεύτερη είναι η μετακίνηση του κοπτικού προς το τεμάχιο δηλαδή η πρόωση του εργαλείου. Τέλος είναι πολύ σημαντικό το ότι η διαδικασία αυτή μπορεί να αφαιρέσει υλικό μικρότερο του 5% της συνολικής σπής πράγμα που επιβεβαιώνει ότι είναι μια διαδικασία αποπεράτωσης. [1]



Εικόνα 1.8.: Το κοπτικό που πραγματοποιείτε η γλύφανση(γλύφανο).

1.1.5. Πλάνιση

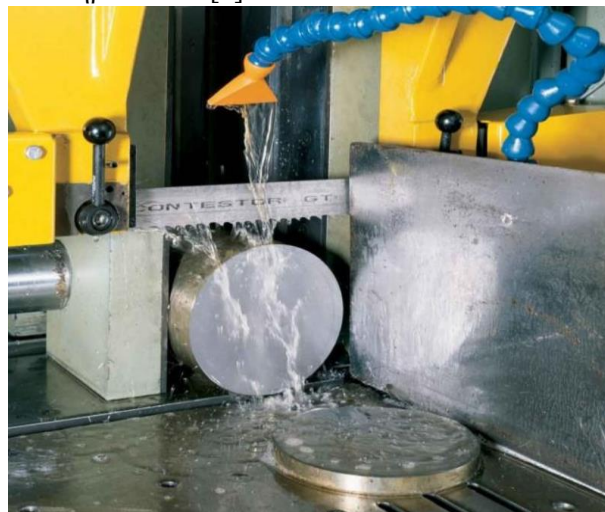
Η πλάνιση είναι μια κατεργασία η οποία χρησιμοποιείται για την διαμόρφωση κυρίως επίπεδων επιφανειών . Οι εργαλειομηχανές σ' αυτή την περίπτωση λέγονται πλάνες και πραγματοποιούν μια ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση. Οι πλάνες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες τις οριζόντιες όπου το κοπτικό εργαλείο παλινδρομεί στον οριζόντιο άξονα, και τις κατακόρυφες όπου το εργαλείο παλινδρομεί στον κατακόρυφο άξονα. Κατά την διαδικασία της πλάνισης υπάρχει η ενεργός διαδρομή κατά την οποία το κοπτικό κόβει το τεμάχιο και μια νεκρή διαδρομή κατά την οποία το εργαλείο επιστρέφει προς τα πίσω χωρίς να έρχεται σε επαφή με το τεμάχιο ώστε να επιστρέψει στην αρχική του θέση. Μετά την ολοκλήρωση των δυο αυτών διαδρομών το τεμάχιο μετατοπίζεται κάθετα προς την κατεύθυνση κίνησης του κοπτικού και με βήμα όσο έχει οριστεί ως πρόωση του τεμαχίου. Τέλος τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην πλάνιση είναι βαρέως τύπου και έχουν παρόμοιο σχήμα με αυτά που χρησιμοποιούνται και στην τόννευση. [1], [2]



Εικόνα 1.9.: Παλινδρομική πλάνη. [3]

1.1.6 Πριόνισμα

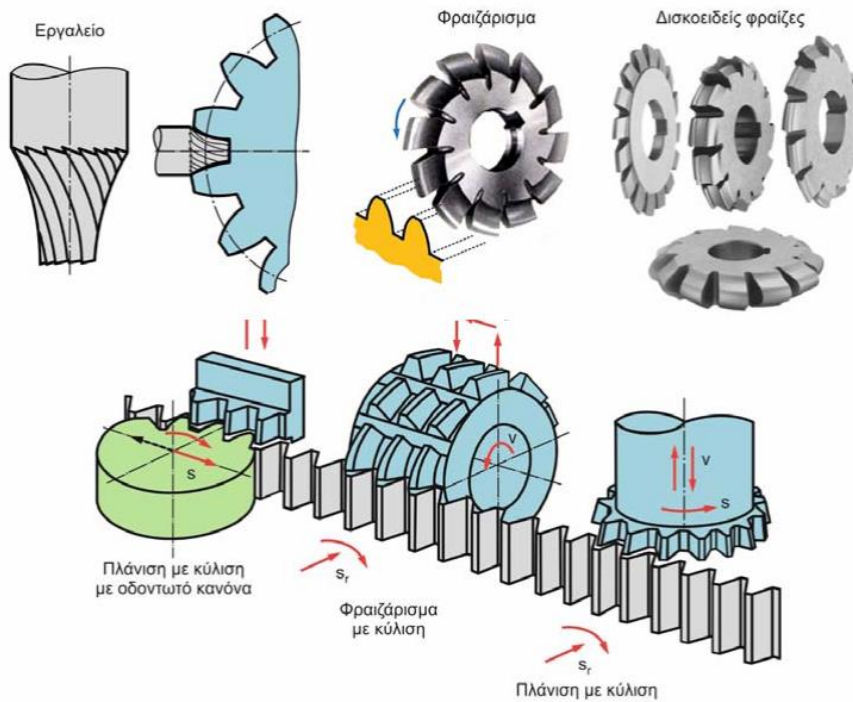
Το πριόνισμα χρησιμοποιείται για την κοπή διαφόρων υλικών όπως μεταλλικά, πλαστικά και ξύλινα. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρησιμοποιείται μια ευθεία λάμα, ένας δίσκος ή μια πριονοκορδέλα με κοπτικά δόντια, με την κίνηση ή την περιστροφή των οποίων επιτυγχάνεται η κατεργασία στο αντίστοιχο μηχάνημα κάθε φορά. Η κάθε κατηγορία έχει και τα δικά της τεχνικά χαρακτηριστικά. Στο πριόνισμα με κοπτική λάμα η κινηματική είναι η μετακίνηση της λάμας εμπρός και πίσω, όμως το πριόνι βρίσκεται σε επαφή μόνο στη μια κατεύθυνση, σε αυτή που είναι και τα δόντια της λάμας του πριονιού. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μειωμένη αποδοτικότητα λόγω των νεκρών χρόνων που υπάρχουν και γι' αυτό αναπτύχθηκαν οι πριονοκορδέλες, στις οποίες το κοπτικό εργαλείο περιστρέφεται συνεχώς, όπως ένας μάντας, χωρίς να υπάρχουν νεκροί χρόνοι. Στην κατηγορία των κοπτικών δίσκων το κοπτικό είναι ένας δίσκος στην περιφέρεια του του οποίου υπάρχουν κοπτικά δόντια και σε αρκετές περιπτώσεις διαθέτουν και ένθετα πλακίδια. Το πριόνισμα με δίσκους είναι εξίσου παραγωγικό όπως και με τις πριονοκορδέλες. Τέλος και στις τρεις περιπτώσεις, ανάλογα με την πυκνότητα των δοντιών, υπάρχει η χονδρή οδόντωση, που γίνεται με λίγα και πιο μεγάλα δόντια, και η λεπτή οδόντωση, που γίνεται με πολλά μικρά δόντια. Η χονδρή οδόντωση χρησιμοποιείται για μαλακά υλικά, ενώ η λεπτή για πιο σκληρά υλικά. [1]



Εικόνα 1.10.: Κοπή μετάλλου με πριονοκορδέλα.

1.1.7. Κοπή Οδοντώσεων

Η κοπή οδοντώσεων μπορεί να χωριστεί σε δυο κατηγορίες ανάλογα με την μέθοδο κοπής τους. Στην πρώτη κατηγορία η κατεργασία γίνεται με εργαλείο μορφής (περιφερικό ή μετωπικό φρεζάρισμα) όπου το γρανάζι δεν περιστρέφεται. Το μηχάνημα με το οποίο πραγματοποιείται αυτό είναι η φρέζα με την χρήση κατάλληλων κοπτικών. Κατά την κατεργασία το κοπτικό εργαλείο αφαιρεί υλικό ξεχωριστά στο κάθε ένα αυλάκι του τεμαχίου που θα γίνει το γρανάζι και μετρά την ολοκλήρωσή του, ενώ περιστρέφεται μέσω καταλλήλου μηχανισμού, ώστε να κοπεί το επόμενο αυλάκι. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες και ο αριθμός των δοντιών του γραναζιού. Ένα βασικό μειονέκτημα που έχει αυτή η μέθοδος είναι ότι τα κοπτικά εργαλεία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλους τους αριθμούς δοντιών ενός γραναζιού μια συγκεκριμένης κατανομής. Ουσιαστικά ανάλογα τον αριθμό των δοντιών προκύπτει το αντίστοιχο κοπτικό εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί. Επομένως αυτά τα κοπτικά έχουν ένα εύρος δοντιών που μπορούν να κόψουν και μάλιστα με όχι και τόσο καλή ακρίβεια. Στην δεύτερη κατηγορία είναι τα γρανάζια που κόβονται με την μέθοδο της γένεσης σε γραναζοκόπτες. Σε αυτή την περίπτωση, αντίθετα με την προηγούμενη, κάθε γρανάζι ανεξάρτητα από τον αριθμό των δοντιών που έχει μπορεί να κοπεί με το ίδιο κοπτικό αρκεί να έχει την ίδια κατανομή. Επιπλέον εκτός από το κοπτικό εργαλείο το οποίο περιστρέφεται ή παλινδρομεί ανάλογα το μηχάνημα, περιστρέφεται και το κατεργαζόμενο γρανάζι έτσι ώστε να δημιουργούνται όλες οι αυλακώσεις κατά την επαφή κοπτικού και τεμαχίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ ποιοτικό γρανάζι με πολύ καλή διαστατική ακρίβεια. [4], [1]



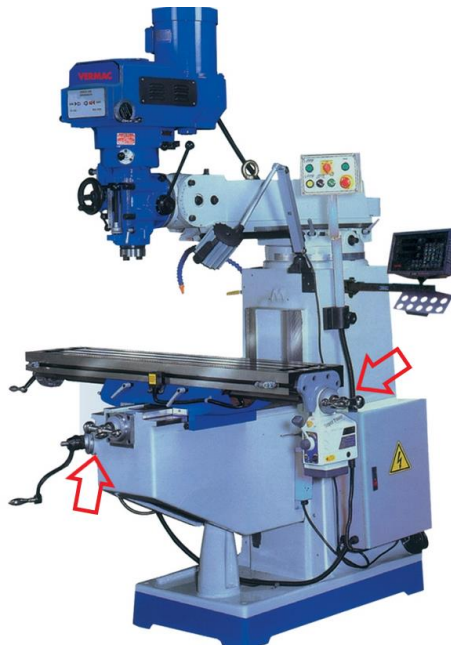
Εικόνα 1.11.: Η διαδικασία κατασκευής των οδοντώσεων. [1]

1.2. Είδη εργαλειομηχανών

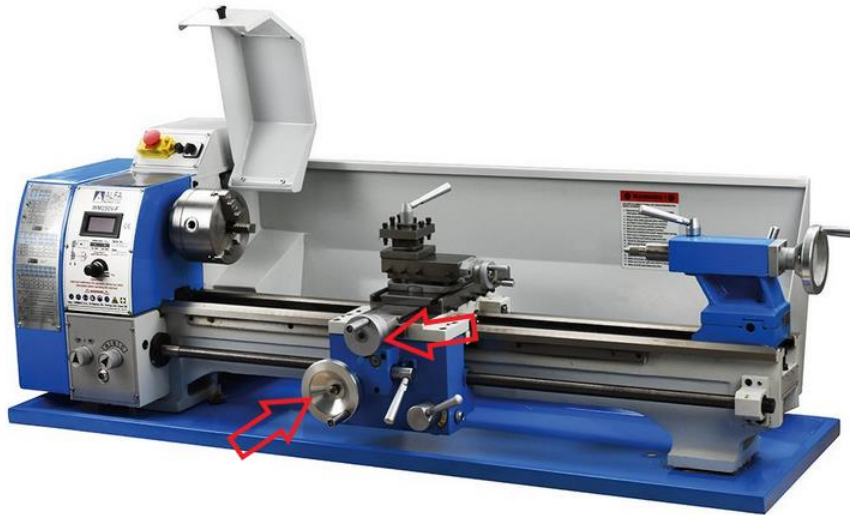
Οι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται σήμερα για τις κατεργασίες με αφαίρεση υλικού μπορούν να χωριστούν σε δυο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι οι συμβατικές μηχανές όπου όλες τις κινήσεις τις κάνει ο χειριστής του μηχανήματος και η δεύτερη αυτές οι οποίες διαθέτουν ψηφιακή καθοδήγηση ,δηλαδή όλες οι κινήσεις πραγματοποιούνται αυτόματα από την ίδια την μηχανή ανάλογα με το πρόγραμμα το οποίο έχει εισάγει σε αυτή ο χειριστής της μηχανής.

1.2.1. Συμβατικές μηχανές

Οι συμβατικές μηχανές είναι οι πιο διαδεδομένες μηχανές που χρησιμοποιούνται στις μηχανουργικές κατεργασίες με αφαίρεση υλικού. Σε αυτές όλες οι κινήσεις πραγματοποιούνται χειροκίνητα από τον χειριστή του μηχανήματος. Μέσω των αντίστοιχων χειροστροφάλων που έχουν οι μηχανές ο χειριστής μπορεί να μετακινεί για παράδειγμα στη φρέζα το τεμάχιο στο σημείο όπου επιθυμεί να διανοίξει μια οπή. Το ίδιο γίνεται και στον παραδοσιακό τόρνο όπου μέσω των χειροστροφάλων μετακινείται ο εργαλειοφορέας του μηχανήματος ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό βάθος που απαιτεί η κοπή. Τις μηχανές αυτές μπορεί πολύ εύκολα να τις χρησιμοποιήσει κάποιος ο οποίος δεν έχει ιδιαίτερη εμπειρία, αλλά το αποτέλεσμα δε θα είναι ικανοποιητικό. Αντίθετα ένας πάρα πολύ έμπειρος χειριστής με πολλές ώρες εργασίας πάνω στο αντίστοιχο μηχάνημα μπορεί να πετύχει ώστε τα τεμάχια να έχουν καλή διαστατική ακρίβεια. Η έλλειψη εμπειρίας οδηγεί πολύ εύκολα στη δημιουργία ελαττωματικών τεμαχίων και κατ' επέκταση στην αύξηση του κόστους παραγωγής. Άλλο ένα μειονέκτημά τους είναι ο μειωμένος βαθμός απόδοσης που έχουν, όταν βρίσκονται σε μεγάλες παραγωγικές μονάδες. Τέλος το κόστος απόκτησής τους είναι σχετικά χαμηλό και γι' αυτό συνήθως τις διαθέτουν τα μικρά μηχανουργεία.



Εικόνα 1.12.: Οι χειροστροφάλοι που έχει μια συμβατική φραιζα με τους οποίους ο χειριστής μετακινεί το τραπέζι της μηχανής.



Εικόνα 1.13.: οι χειροστροφάλοι σε ένα συμβατικό τόρνο.

1.2.2. Μηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση

Η ανάγκη για υψηλή διαστατική ακρίβεια στα παραγόμενα τεμάχια και για κατεργασία πιο σύνθετων επιφανειών σε συνδυασμό με την ευρεία διάδοση και τη μεγάλη εξέλιξη που είχαν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές οδήγησε στην ταχεία βελτίωση και ανάπτυξη των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση.

Οι μηχανές αυτές έχουν ένα αρκετά μεγάλο κόστος απόκτησης από τις εταιρίες γι' αυτό και τις συναντάμε κυρίως σε μεγάλα εργοστάσια και βιομηχανίες και λιγότερο σε μικρά μηχανουργεία. Το προσωπικό που τις χειρίζεται πρέπει να είναι αρκετά εξειδικευμένο στη χρήση τέτοιων μηχανών γιατί εκτός από τη ικανότητα χρήσης υπολογιστή που είναι απαραίτητη, θα πρέπει να κατέχει και κάποιες βασικές γνώσεις ρύθμισης των μηχανών. Το μεγάλο πλεονέκτημά τους όμως είναι η μεγάλη παραγωγικότητα που επιτυγχάνουν μειώνοντας τον χρόνο κατεργασίας κατά πολύ σε σύγκριση με τις συμβατικές. Επίσης μπορούν κατεργαστούν πολύ πιο σύνθετες επιφάνειες με πάρα πολύ καλή διαστατική ακρίβεια.



Εικόνα 1.14.: Μια CNC φρέζα.

Η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή για την λειτουργία των μηχανών αυτών είναι απαραίτητη. Μέσω ενός σχεδιαστικού προγράμματος αρχικά δημιουργείται ένα σχέδιο CAD του τεμαχίου που θα κατασκευαστεί στη συνέχεια από την μηχανή, το οποίο είναι ένα ακριβές αντίγραφο του τεμαχίου αλλά σε τρισδιάστατη μορφή. Στην συνέχεια το σχέδιο αυτό εισάγεται σε ένα λογισμικό CAM όπου ο χειριστής μπορεί να επιλέξει ποιες κατεργασίες και με ποια σειρά θα πραγματοποιηθούν όπως επίσης και την διαδρομή την οποία θα ακολουθεί το κοπτικό, ώστε να δημιουργηθεί το τελικό τεμάχιο. Επίσης στο στάδιο αυτό επιλέγονται και τα κοπτικά εργαλεία από αυτά που διαθέτει η μηχανή τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην εκάστοτε κατεργασία. Αφού έχει ολοκληρωθεί και η διαδικασία του CAM τότε το πρόγραμμα του υπολογιστή παράγει ένα αρχείο με τον κώδικα τον οποίο αναγνωρίζει η εργαλειομηχανή που συνήθως είναι ο G-Code. Ο κώδικας αυτός στη συνέχεια μεταφέρεται στην εργαλειομηχανή που θα πραγματοποιήσει την κατεργασία.

Κωδικός	Λειτουργία
G00	Ευθύγραμμη κίνηση χωρίς κοπή με τη μέγιστη πρόωση της εργαλειομηχανής
G01	Γραμμική παρεμβολή - ευθύγραμμη κίνηση για κοπή με δοσμένη πρόωση
G02	Κυκλική παρεμβολή με ωρολογιακή φορά
G03	Κυκλική παρεμβολή με αντιωρολογιακή φορά
G04	Προγραμματισμένη χρονική καθυστέρηση
G06	Παραβολική παρεμβολή με μεταβαλλόμενες ταχύτητες από την μονάδα ελέγχου
G08	Επιτάχυνση μέχρι δοσμένη ταχύτητα
G09	Επιβράδυνση μέχρι δοσμένη ταχύτητα
G13-G16	Επιλογή αξόνων
G17-G19	Επιλογή επιπέδων κατεργασίας XY - ZX - YZ αντίστοιχα
G33	Κοπή σπειρώματος με σταθερό βήμα
G34	Κοπή σπειρώματος
G35	Κοπή σπειρώματος
G40	Άρση της αντιστάθμισης εργαλείου
G41	Αριστερή αντιστάθμιση
G42	Δεξιά αντιστάθμιση
G43	Αντιστάθμισμα θετικό
G44	Αντιστάθμισμα αρνητικό
G50-G59	Μετατοπίσεις προσαρμογής
G70	Συντεταγμένες σε ίντσες (in)
G71	Συντεταγμένες σε χιλιοστά του μέτρου (mm)
G72	Δεξιόστροφη κυκλική παρεμβολή τριών διαστάσεων
G73	Αριστερόστροφη κυκλική παρεμβολή τριών διαστάσεων
G75	Κυκλική παρεμβολή πολλών τριτατημορίων
G80	Ακύρωση κύκλου εργασιών G81-G89
G81-G89	Κύκλοι εργασιών
G90	Απόλυτες συντεταγμένες
G91	Σχετικές συντεταγμένες
G92	Μετατόπιση συστήματος συντεταγμένων
G93	Κωδικοποίηση πρόωσης
G94	Ταχύτητα πρόωσης σε in ή mm/min
G95	Ταχύτητα πρόωσης σε in ή mm/rev
G96	Σταθερή ταχύτητα κοπής με έλεγχο των στροφών της ατράκτου
G97	Στροφές σε 1/λεπτό

Εικόνα 1.15.: Η ερμηνεία κάποιων εντολών από τον G-Code που χρησιμοποιεί το CAM και αναγνωρίζει η μηχανή. [5]

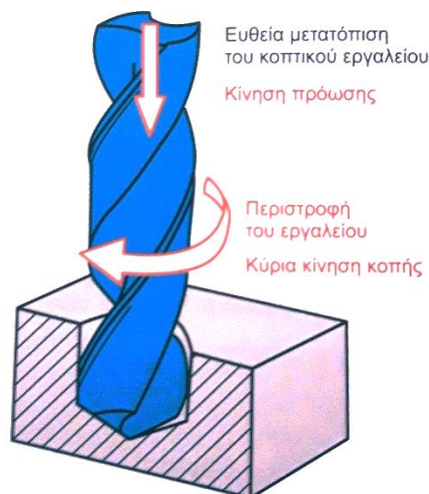
Οι χειριστές των μηχανών αυτών αναλαμβάνουν πρώτα την διαδικασία του σχεδιασμού του τεμαχίου και στη συνέχεια την αποθήκευση του προγράμματος που προέκυψε στη μηχανή. Έπειτα θα πρέπει να τοποθετήσουν και να στερεώσουν το τεμάχιο που θα κατεργαστεί στην σωστή θέση ώστε να το αναγνωρίσει η μηχανή. Τότε η μηχανή ξεκινάει να κατεργάζεται το τεμάχιο και αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία ο χειριστής οφείλει να ελέγξει αν όλες οι διαστάσεις του τεμαχίου είναι ίδιες με αυτές του σχεδίου δηλαδή να κάνει έναν ποιοτικό έλεγχο. [6], [1]

2. Θεωρία διάτρησης

Η διάτρηση ως κατεργασία αφαίρεσης υλικού είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία που επηρεάζεται από πάρα πολλούς παράγοντες . Το κοπτικό με το οποίο πραγματοποιείται είναι το τρυπάνι που δημιουργεί τις οπές οι οποίες θα έχουν μέσω της κατάλληλης κινηματικής του τα χαρακτηριστικά μεγέθη του τρυπανιού . Επηρεάζεται αρκετά από την ταχύτητα κοπής, την πρόωση και την ύπαρξη ή όχι υγρού κοπής ,αφού αυτές οι παράμετροι καθορίζουν και την ποιότητα του αποτελέσματός της. Ένας ακόμη παράγοντας που δημιουργεί προβλήματα στην κατεργασία είναι και οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την διάρκειά της, ειδικά όταν το τεμάχιο είναι από όλκιμο υλικό. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι και αυτές πολύ σημαντικές για την διαδικασία μιας και επηρεάζουν την αντοχή του τρυπανιού.

2.1. Η κινηματική της διάτρησης

Κατά τη διαδικασία της διάτρησης το τρυπάνι περιστρέφεται και ταυτόχρονα μετακινείται προς το τεμάχιο. Σε κάποιες όμως περιπτώσεις συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή περιστρέφεται το τεμάχιο και το τρυπάνι απλά μετακινείται προς αυτό χωρίς να περιστρέφεται. Ένα παράδειγμα μια τέτοιας περίπτωσης είναι η διάτρηση στον τόρνο όπου το τρυπάνι συγκρατείται στον κεντροφορέα και μετακινείται προς το τεμάχιο το οποίο περιστρέφεται στηριγμένο πάνω στο τσοκ της μηχανής.



Εικόνα 2.1.: Η κινηματική ενός τρυπανιού κατά την διάτρηση. [1]

Το τρυπάνι, όταν ξεκινάει να περιστρέφεται και να μετακινείται, δεν έχει κάποιο σημείο επαφής με το τεμάχιο. Η διαδικασία ξεκινάει, όταν η κορυφή του έρθει σε επαφή με το τεμάχιο. Σιγά σιγά το τρυπάνι διεισδύει μέσα στο τεμάχιο και αφαιρεί υλικό ώστε να δημιουργηθεί η οπή. Όσο προχωράει η διαδικασία η κορυφή εισάγεται εντελώς μέσα στο τεμάχιο και τότε υπάρχει η μέγιστη ροή αποβλήτου μέσα από τους αύλακες του τρυπανιού. Για να υπάρχει σταθερότητα στη διάτρηση, όταν υπάρχει αρκετά μεγάλη διείσδυση του τρυπανιού, η οδηγητική λωρίδα που φέρει πάνω του βοηθάει ώστε να είναι σταθερό και να μην υπάρχουν πολλές ταλαντώσεις, μειώνοντας και την τριβή που υπάρχει με τα τοιχώματα. Όταν επιτευχθεί το επιθυμητό βάθος της οπής ή αν η οπή είναι διαμπερής και το τρυπάνι εξέλθει πλήρως από το τεμάχιο τότε ο χειριστής αλλάζει την κατεύθυνση της πρόωσης κρατώντας σταθερές τις στροφές του και έτσι το τρυπάνι εξέρχεται από την οπή. Με αυτό τον τρόπο έχει ολοκληρωθεί η οπή και το τρυπάνι έχει επιστρέψει στην αρχική του θέση.

2.2. Κύριες παράμετροι κατεργασίας

Οι κυριότερες παράμετροι που συναντώνται σε μια διάτρηση είναι τρεις: η ταχύτητα κοπής, η πρόωση και η παρουσία ή όχι υγρού κοπής. Αυτές οι παράμετροι καθορίζονται στη μηχανή από τον χειριστή της πριν από την έναρξη της διάτρησης και παραμένουν ίδιες σε όλη την διάρκειά της.

2.2.1. Ταχύτητα κοπής

Η ταχύτητα κοπής του τρυπανιού είναι μεταβλητό μέγεθος και εξαρτάται από το σημείο στο οποίο αναφέρεται. Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται είναι ο $v = \pi \cdot D \cdot n / 1000$, όπου v είναι η ταχύτητα κοπής, $\pi = 3,14$ σταθερή τιμή, D η διάμετρος του τρυπανιού στην οποία υπολογίζεται η ταχύτητα και n είναι οι στροφές που έχει η μηχανή. Οπότε σύμφωνα με αυτόν τον τύπο στο κέντρο του τρυπανιού, δηλαδή στον άξονα περιστροφής, η ταχύτητα είναι 0 και στην εξωτερική περιφέρεια γίνεται μέγιστη και ονομάζεται v_c . Όταν ο χειριστής μιας μηχανής διάτρησης ορίσει τις στροφές που θα έχει αυτή, ορίζει αυτόματα και την ταχύτητα κοπής του τρυπανιού, αφού αυτά τα δυο είναι αλληλένδετα. [1]

2.2.2. Πρόωση

Η πρόωση f στην διάτρηση ορίζεται ως η μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου σε μια πλήρη περιστροφή του και οι μονάδες μέτρησής της είναι mm/rev. Επίσης μπορεί να εκφραστεί και με μονάδες mm/min δηλαδή πόσο μετακινείται το τρυπάνι σε ένα λεπτό. Αυτό γίνεται από τον τύπο $f_{min} = f \cdot n$, όπου n είναι οι στροφές ανά λεπτό που έχει το τρυπάνι (rev/min). Ακόμη στα τρυπάνια τα οποία έχουν δύο κοπές ορίζεται και η πρόωση που υπάρχει ανά κοπή ως $f_z = f/2$. Δηλαδή το μέγεθος αυτό αναφέρεται στην κάθε κοπή ξεχωριστά και όχι σε όλο το τρυπάνι. [1]

2.2.3. Υγρό κοπής

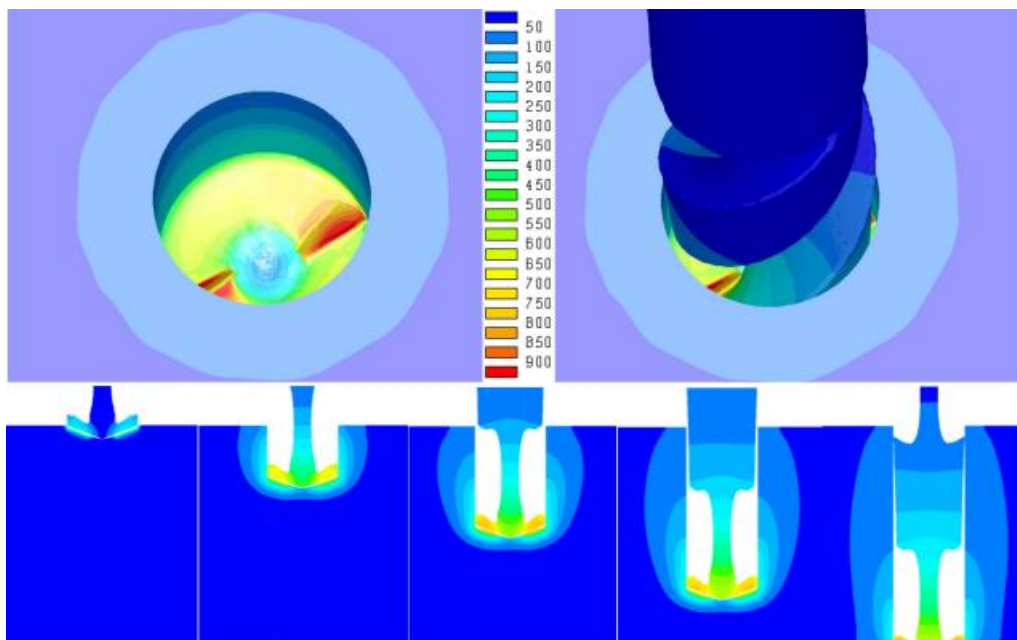
Το υγρό κοπής είναι συνήθως έλαια ή σε κάποιες περιπτώσεις και ο αέρας υπό πίεση που προστίθενται με σταθερή ροή στο σημείο όπου γίνεται η διάτρηση. Η χρήση του ευνοεί την ευκολότερη απομάκρυνση των αποβλήτων μέσω των αυλακώσεων που έχει το τρυπάνι. Ένα ακόμα όφελος που έχει το υγρό κοπής είναι η ευκολότερη μείωση της θερμοκρασίας στην κορυφή του τρυπανιού μιας και το υγρό αυτό βοηθάει στην ψύξη της. Μέσω της συνεχόμενης ροής του αποβάλλεται πολύ πιο εύκολα η παραγομένη θερμότητα και διατηρείται η θερμοκρασία κορυφής σε χαμηλά επίπεδα, ειδικά όταν υπάρχουν μεγάλες ταχύτητες κοπής σε όλκιμα υλικά. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχει περιοριστεί η χρήση τους διότι, όταν χρησιμοποιούνται έλαια, υπάρχει αυξημένο κόστος απολίπανσης κάνοντας την χρήση τους ασύμφορη.

2.3. Θερμοκρασίες κατά τη διάτρηση

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την διάτρηση είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το αποτέλεσμα της. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που απαιτείται στη διάτρηση μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία διοχετεύεται προς το περιβάλλον μέσω του τρυπανιού, του τεμαχίου και των αποβλήτων. Η αύξηση της θερμοκρασίας στο σημείο της κοπής σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι επιθυμητή διότι δημιουργεί προβλήματα, όπως την αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας της οπής με αποτέλεσμα να είναι εκτός των ανοχών που υπάρχουν για αυτήν. Επίσης επηρεάζει και το ρυθμό με τον οποίο φθείρεται το εργαλείο, αφού τα περισσότερα είναι ευαίσθητα σε υψηλές θερμοκρασίες που αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά τους.

Το μέρος στο οποίο παρατηρείται η μεγαλύτερη θερμοκρασία στο τρυπάνι είναι η κορυφή του η οποία είναι συνέχεια σε επαφή με το τεμάχιο ώστε να δημιουργεί τα απόβλητα και κατ' επέκταση την οπή. Για το λόγο αυτό η γεωμετρία της κορυφής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, διότι αν δεν είναι η κατάλληλη, τότε θα αναπτυχθούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, πράγμα μη επιθυμητό. Ανάλογα με το υλικό το οποίο κατεργάζεται υπάρχει και η αντίστοιχη γεωμετρία κορυφής που είναι κατάλληλη για να μειώνεται η αναπτυσσόμενη θερμότητα. Η θερμοκρασία της κορυφής κατά τη διάτρηση αυξάνεται συνεχώς και για να βελτιωθεί αυτό σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και ψυκτικά υγρά ώστε να μειώνεται η θερμοκρασία και να βελτιώνεται το αποτέλεσμα.

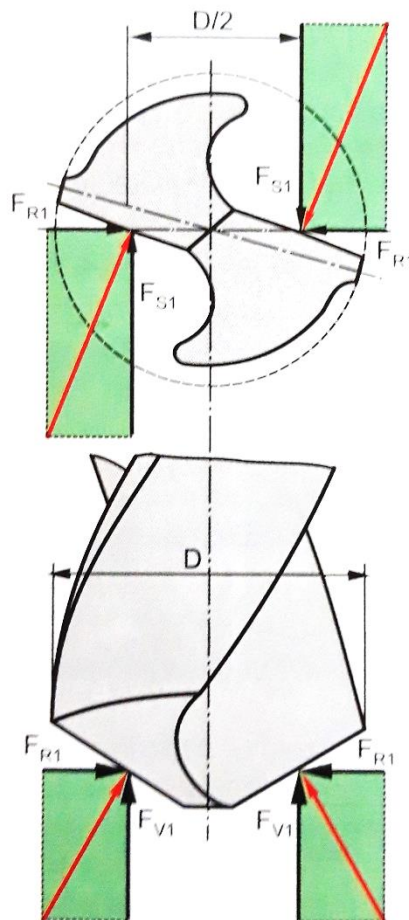
Στο τεμάχιο τα πράγματα διαφέρουν διότι ένα μέρος της θερμότητας αποβάλλεται μέσω των αποβλήτων. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία παρατηρείται στο σημείο που βρίσκεται σε επαφή με την κορυφή του τρυπανιού. Αυτό το μέρος αποβάλλεται συνέχεια με τη μορφή αποβλήτου οπότε αποβάλλεται μαζί και η θερμότητα. Ακόμα αυξημένη θερμοκρασία υπάρχει και στα τοιχώματα της οπής πάνω στα οποία στηρίζεται το τρυπάνι. Η ανάπτυξη μεγάλης θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την ύπαρξη της τριβής αλλοιώνει την ποιότητα της επιφάνειας πράγμα μη επιθυμητό.



Εικόνα 2.2.: Κατανομή της θερμοκρασίας κατά την διάτρηση. [7]

2.4. Δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάτρηση

Όταν πραγματοποιείται μια διάτρηση, στο τρυπάνι ασκούνται κάποιες δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές αναπτύσσονται σε κάθε σημείο της κοπής του και είναι τρεις οι F_V , F_S και F_R κάθετες μεταξύ τους. Η δύναμη F_V είναι δύναμη αντίδρασης από το τεμάχιο προς το τρυπάνι που προσπαθεί να διεισδύσει μέσα σε αυτό. Η φορά της είναι κατακόρυφη αντίθετη από αυτή που έχει η πρόωση του τρυπανιού. Οι άλλες δυο δυνάμεις είναι οριζόντιες και είναι δυνάμεις απόθησης. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.458. όταν το τρυπάνι έχει δυο κοπές όλες οι δυνάμεις ασκούνται και στις δυο, οπότε οι δυο οριζόντιες δυνάμεις της μιας κόπης εξουδετερώνουν τις αντίστοιχες της άλλης. Όλες οι δυνάμεις αυτές επηρεάζουν τη φθορά που θα έχει το κοπτικό μιας και όταν είναι αρκετά μεγάλες η φθορά αυξάνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Τέλος για την επιλογή του καταλλήλου τρυπανιού θα πρέπει να υπολογίζονται και οι δυνάμεις που θα του ασκούνται έτσι ώστε να μπορεί να αντέξει σε αυτά τα φορτία. [1]



Εικόνα 2.3.: Δυνάμεις κοπής στην διάτρηση. [1]

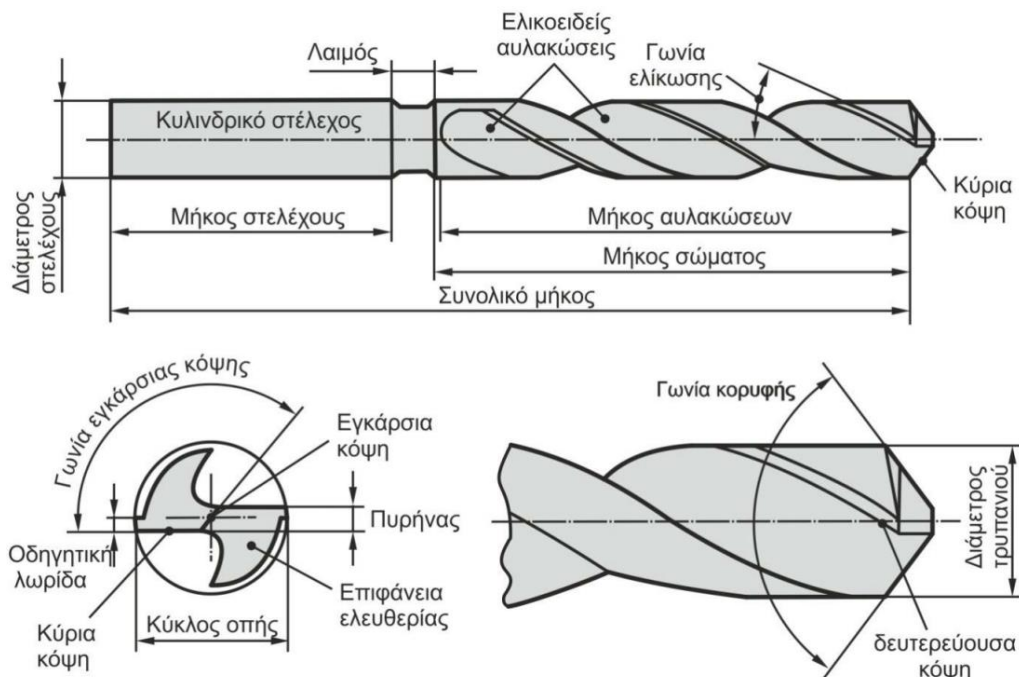
3. Κοπτικά εργαλεία διάτρησης

Τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται στη διάτρηση είναι τα ελικοειδή τρυπάνια. Όμως λόγω της ύπαρξης πολλών απαιτήσεων έχουν αναπτυχθεί και άλλα εξειδικευμένα είδη εργαλείων, όπως τρυπάνια με ευθεία αύλακα, τρυπάνια βαθιάς διάτρησης, κεντροτρύπανα και τρυπάνια με εναλλασσόμενα πλακίδια. Από αυτά αρκετά γνωστά είναι τα κεντροτρύπανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη μιας μικρής οπής την οποία στην συνέχεια θα χρησιμοποιήσει ως κέντρο το τρυπάνι που θα διανοίξει την οπή. Λόγω της σπανιότητάς τους δεν είναι διαδεδομένα όπως τα ελικοειδή τρυπάνια, στα οποία γίνεται αναφορά όταν πρόκειται για τη διάτρηση. [1]

3.1. Γεωμετρία ελικοειδούς τρυπανιού

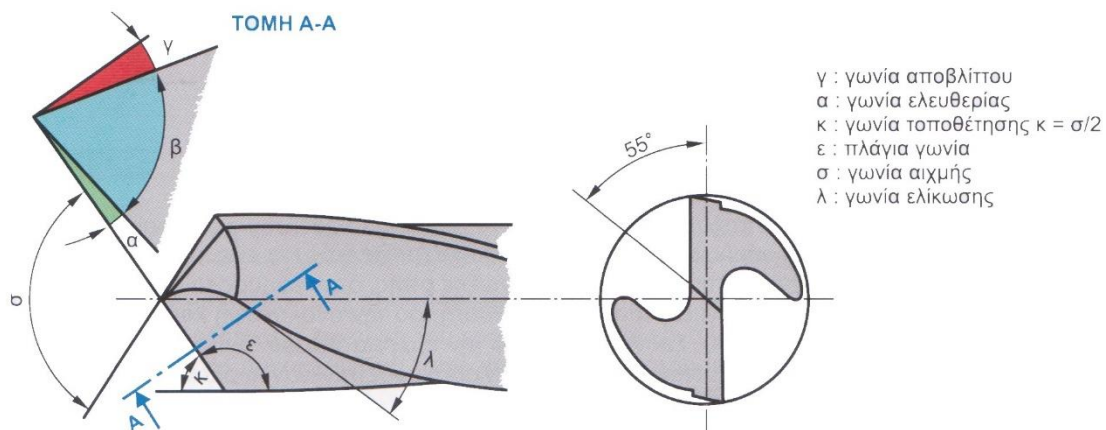
Το όνομα αυτό το παίρνουν από το χαρακτηριστικό των ελικοειδών αυλακίων που έχουν σε όλο το μήκος τους. Τα αυλάκια αυτά που φέρει πάνω του το τρυπάνι εξυπηρετούν κάποιους σκοπούς, όπως τη δημιουργία των απαραίτητων κοπτικών ακμών, την απομάκρυνση των αποβλήτων από τη θέση διάτρησης προς τα έξω, την εύκολη δίοδο του υγρού κοπής, όταν χρησιμοποιείται, ή του αέρα στις ξηρές κοπές και τέλος τη διαμόρφωση κατά κάποιο τρόπο δυο ελικοειδών οδηγών οι οποίοι καθοδηγούν το τρυπάνι μέσα στην οπή. [1]

Στα περισσότερα τρυπάνια υπάρχουν δυο αύλακες ή και περισσότερες οι οποίες είναι δεξιόστροφες, δηλαδή το τρυπάνι περιστρέφεται δεξιόστροφα για να μπορέσει να πραγματοποιήσει τη διάτρηση. Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που διαθέτει είναι οι δύο κύριες κοπές στην κορυφή του τρυπανιού και οι δευτερεύουσες οι οποίες είναι κατά μήκος της κάθε ελικοειδούς αύλακας. Η κύρια κόψη που υπάρχει στη κορυφή του τρυπανιού αφαιρεί το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων. Οι δυο κύριες κοπές ενώνονται μεταξύ τους με την εγκάρσια κοπή η οποία στη πραγματικότητα δεν είναι μία, αλλά παραμορφώνει το υλικό του τεμαχίου στο σημείο αυτό και το εξωθεί προς τις κύριες κοπές. Η τελευταία κοπή είναι η δευτερεύουσα η οποία ουσιαστικά διαμορφώνει την τελική επιφάνεια της οπής και βοηθάει στην πλευρική στήριξη του εργαλείου.



Εικόνα 3.1.: Βασική γεωμετρία ελικοειδούς τρυπανιού. [1]

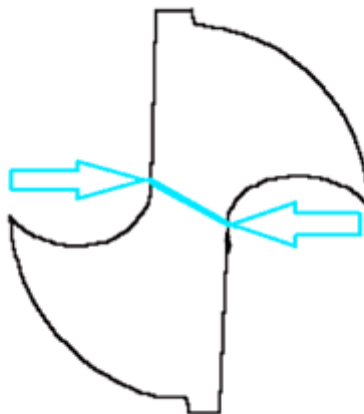
Ένα από τα σημαντικότερα μέρη ενός τρυπανιού είναι η κορυφή του, που διαθέτει αρκετές παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν τη διάτρηση. Σε αυτό το σημείο υπάρχουν αρκετές γωνίες (Εικόνα 3.2) οι οποίες ανάλογα με το υλικό και την εφαρμογή παίρνουν κα άλλες τιμές, ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα. Όμως εκτός από την τυπική γεωμετρία που έχουν τα περισσότερα τρυπάνια έχουν αναπτυχθεί και άλλες γεωμετρίες για ειδικές περιπτώσεις, όπως αυτή που μελετάται στην παρούσα διπλωματική με τα πτερόγια απολήξεων. Στη συνέχεια γίνεται μια πιο εκτενής αναφορά στις πιο βασικές παραμέτρους που έχει ένα τρυπάνι.



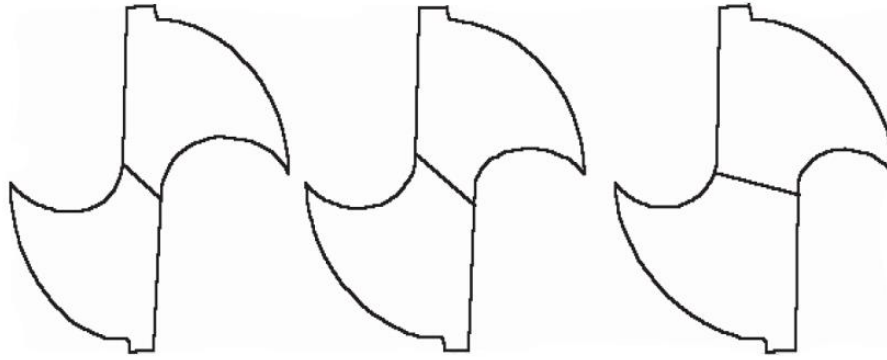
Εικόνα 3.2.: Γωνίες κοπής ελικοειδούς τρυπανιού. [1]

3.1.1. Πάχος πυρήνα

Το πάχος του πυρήνα είναι η παράμετρος η οποία επηρεάζει τη στιβαρότητα του τρυπανιού αλλά και τη ροπή που μπορεί να αντέξει ένα τρυπάνι χωρίς να σπάσει(Εικόνα 3.1). Υπάρχουν τρεις κατηγορίες ανάλογα με το πάχος του πυρήνα . Η πρώτη κατηγορία είναι τα ελαφριού τύπου όπου το πάχος του πυρήνα είναι το 14-16% της συνολικής του διαμέτρου και χρησιμοποιούνται κυρίως για κατεργασίες σε μαλακά υλικά που δεν ασκούν μεγάλες δυνάμεις και ροπές. Η επόμενη κατηγορία είναι τα συμβατικά με πάχος πυρήνα 16-20% και είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο και συνηθισμένο πάχος πυρήνα που έχουν τα περισσότερα τρυπάνια με πολλές εφαρμογές. Η τελευταία κατηγορία είναι τα βαρέως τύπου με 33-40% που ενδείκνυνται για σκληρά υλικά και μεγάλα βάθη οπών.



Εικόνα 3.3.:Το πάχος πυρήνα ενός τρυπανιού.



Εικόνα 3.4.: Οι τρεις κατηγορίες ελαφριού, συμβατικού και βαρέως τύπου αντίστοιχα.

3.1.2. Πλάτος σώματος

Πλάτος σώματος ονομάζεται το μέρος του τρυπανιού ανάμεσα σε δυο αυλακώσεις. Αυτό είναι που δίνει στο τρυπάνι και τη στρεπτική του αντοχή. Η αύξηση του πλάτους προσδίδει μεγάλη αντοχή ενώ η μείωσή του αυξάνει το χώρο από τον οποίο απομακρύνονται τα απόβλητα.

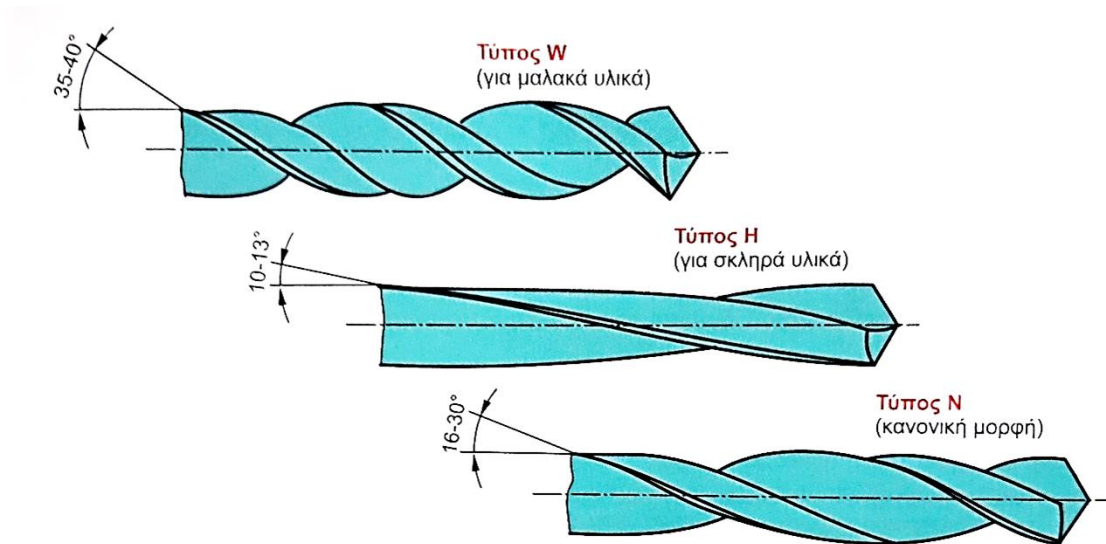


Εικόνα 3.5.: Πλάτος σώματος τρυπανιού.

3.1.3. Γωνία ελίκωσης

Η γωνία ελίκωσης είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στον άξονα περιστροφής του τρυπανιού και μιας ευθείας από το άκρο του σώματος του τρυπανιού. Ανάλογα με την τιμή που παίρνει αυτή η γωνία υπάρχουν τρεις κατηγορίες τρυπανιών:

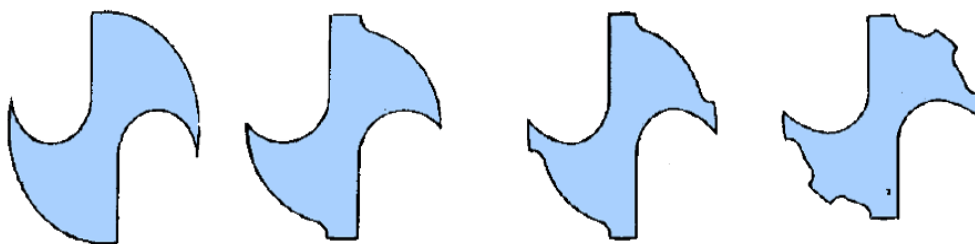
- Τύπου W(υψηλή γωνία ελίκωσης): Η γωνία κυμαίνεται μεταξύ 35°- 40°. Χρησιμοποιούνται σε μαλακά υλικά ,όπου τα απόβλητα δεν είναι κολλώδη, για διάτρηση σε μεγάλα βάθη.
- Τύπου N(κανονική γωνία ελίκωσης): Η γωνία κυμαίνεται μεταξύ 16°- 30°. Χρησιμοποιούνται σε υλικά μέτριας σκληρότητας και είναι τα πιο ευρέως διαδεδομένα τρυπάνια στην αγορά.
- Τύπου H(χαμηλή γωνία ελίκωσης): Η γωνία κυμαίνεται μεταξύ 10°- 13°. Χρησιμοποιούνται σε σκληρά υλικά για μικρά βάθη οπών με μεγάλη αντοχή σε φορτία, αλλά υστερούν στην απομάκρυνση των αποβλήτων.



Εικόνα 3.6.: Τύποι τρυπανιών ως προς την γωνία ελίκωσης. [1]

3.1.4. Οδηγητική λωρίδα


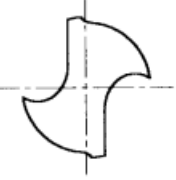
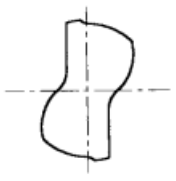
Η οδηγητική λωρίδα είναι το τμήμα του στελέχους του τρυπανιού το οποίο κατά την κατασκευή του δεν αφαιρείται και είναι το μόνο μέρος του τρυπανιού το οποίο έρχεται σε επαφή με την οπή που δημιουργείται, ώστε να μειώνονται οι τριβές και κατ' επέκταση η αναπτυσσόμενη θερμότητα. Επίσης προσφέρει και στήριξη κατά τη διάτρηση. Ωστόσο δεν είναι υποχρεωτικό ένα τρυπάνι να έχει οδηγητική λωρίδα ή να έχει μόνο μία. Τα τρυπάνια χωρίς αυτήν έχουν πολύ μεγάλη σταθερότητα κατά τη διάτρηση, όμως αναπτύσσουν πολύ μεγάλες θερμοκρασίες και δεν είναι κατάλληλα για όλκιμα και μαλακά υλικά. Η μονή λωρίδα προσφέρει τη μικρότερη στήριξη αλλά αναπτύσσει τις μικρότερες θερμοκρασίες γι' αυτό και τα περισσότερα τρυπάνια διαθέτουν μόνο μία. Τέλος υπάρχουν και τρυπάνια με δυο ή τρεις τα οποία έχουν πιο καλή σταθερότητα ,αλλά αναπτύσσουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες με την οπή.



Εικόνα 3.7.: Τρυπάνια χωρίς, με μία, δύο και τρεις οδηγητικές λωρίδες αντίστοιχα.

3.1.5. Προφίλ αυλακώσεων

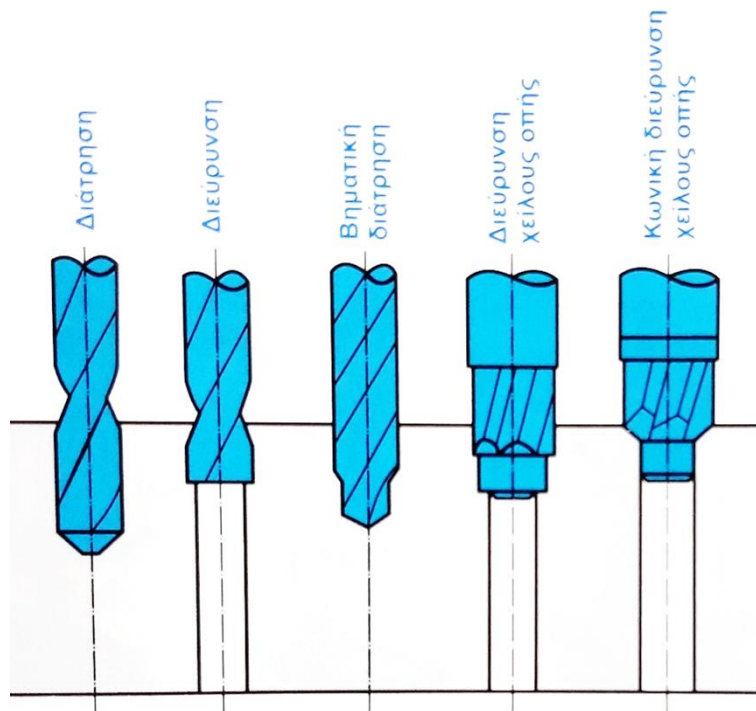
Το προφίλ των αυλακώσεων είναι το μέρος του τρυπανιού μέσα από το οποίο απομακρύνονται τα απόβλητα από την διάτρηση ,οπότε είναι αναμενόμενο να την επηρεάζει . Αυτό είναι πιο εμφανές σε μεγάλα βάθη διάτρησης όπου το απόβλητο διανύει μεγαλύτερη απόσταση μέχρι να εξέλθει από την οπή. Ανάλογα με την μορφή που έχει, επηρεάζει την μορφή του αποβλήτου και το πάχος του πυρήνα. Υπάρχουν τρεις τύποι αυλακώσεων: η συμβατική, η υψηλής αντοχής και η παραβολοειδής. Το συμβατικό προφίλ χρησιμοποιείται για γενικής χρήσης τρυπάνια όπου τα απόβλητα που παράγονται είναι σε μεγάλα κομμάτια. Η μορφή υψηλής αντοχής προσφέρει μικρή απομάκρυνση αποβλήτων με μεγάλη στιβαρότητα και αντοχή. Τέλος η παραβολοειδής μορφή προσφέρει ταυτόχρονα μεγάλη ακαμψία και δημιουργία μεγάλων αποβλήτων με εξειδίκευση σε μεγάλα βάθη διάτρησης. [8]

Type	Form	Web Thickness	Features & Applications
Conventional		0.1-0.25D	Large chip room for general purpose
High Rigid		0.2-0.35D	Highly rigid form low thrust at high feed rates
Parabolic		0.3-0.45D	Both high rigidity and large chip room deep holes

Εικόνα 3.8.: Πίνακας με τις τρεις κατηγορίες του προφίλ αυλακώσεων. [8]

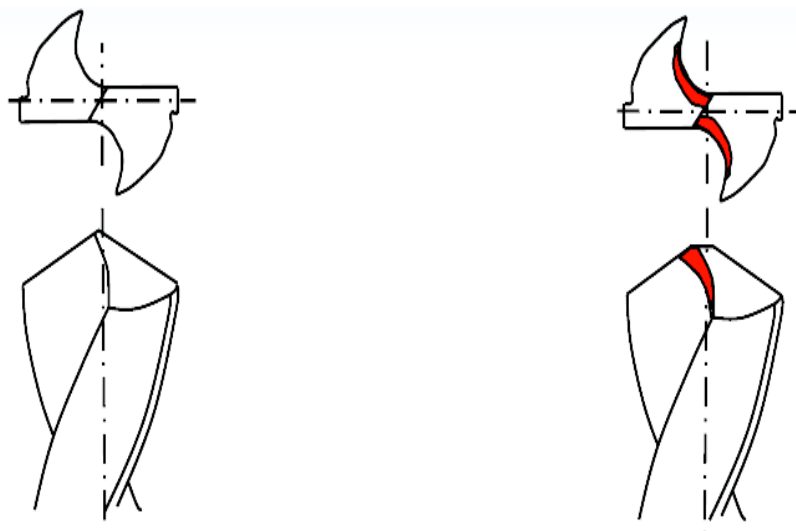
3.1.6. Γεωμετρία κορυφής

Η γεωμετρία της κορυφής ενός τρυπανιού είναι ένα από τα σημαντικότερα μέρη στο τρυπάνι, διότι από εκεί ξεκινάει η διάτρηση και επηρεάζει τις απολήξεις που θα έχει η οπή κατά την έξοδο του τρυπανιού. Υπάρχουν αρκετοί τύποι κορυφής στην αγορά, όπως φαίνονται ενδεικτικά στην εικόνα 3.9.. Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους είναι η γωνία που θα έχει η κορυφή του τρυπανιού. Για τα μεταλλικά υλικά η τιμή της κυμαίνεται από 118° έως 140°. Τα τρυπάνια τα οποία έχουν γωνία μικρότερη από 118° αναφέρονται σε άλλα υλικά όπως πλαστικά, χαρτί, μάρμαρο και άλλα. Όσο πιο μικρή είναι η γωνία κορυφής, τόσο πιο σκληρό είναι και το υλικό για το οποίο είναι κατάλληλη, όπως ο χάλυβας, ενώ όσο αυξάνεται η γωνία τόσο πιο όλκιμο θα είναι το υλικό, όπως ο χαλκός. [2]



Εικόνα 3.9.: Διάφορα είδη κορυφών. [1]

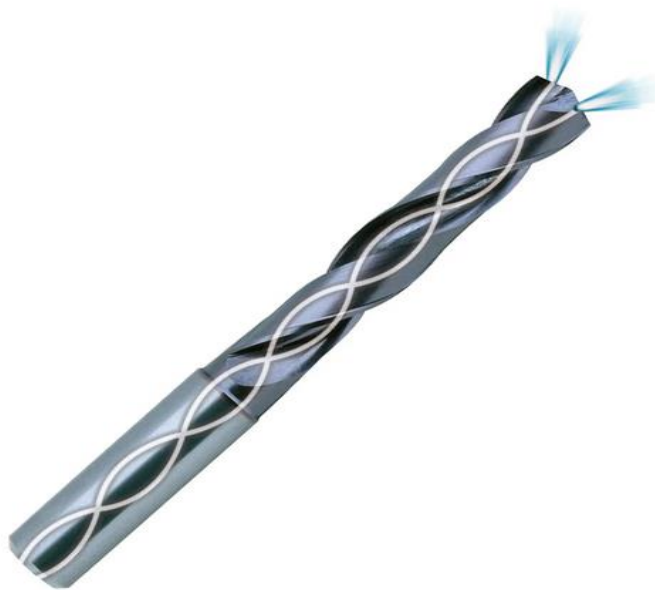
Στα κοινά τρυπάνια διάτρησης πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο να υπάρχει μια δυσκολία στην εκκίνηση της διάτρησης προβάλλοντας και ταλαντώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι η γεωμετρία στην κορυφή του τρυπανιού έχει μεγάλη επιφάνεια και δεν μπορεί εύκολα να εισέλθει στο υλικό. Η λύση του προβλήματος αυτού είναι η αφαίρεση υλικού από την κορυφή του τρυπανιού, έτσι ώστε η επιφάνεια που θα έρθει σε επαφή να είναι μικρότερη και να εκκινήσει η διάτρηση με πιο ομαλό τρόπο.



Εικόνα 3.10.: Αριστερά κανονικό τρυπάνι και δεξιά τρυπάνι όπου έχει αφαιρεθεί υλικό(κόκκινο τμήμα) για καλύτερη έναρξη της διάτρησης.

3.1.7. Διέλευση ψυκτικού υγρού

Το ψυκτικό υγρό κατά τη διάτρηση μπορεί να διοχετευτεί με δύο τρόπους στην κορυφή του τρυπανιού. Ο πρώτος είναι μέσω των ελικοειδών αυλακώσεων που έχει το τρυπάνι για τα απόβλητα. Ο δεύτερος συναντάται σε τρυπάνια τύπου coolant through, που διαθέτουν τις κατάλληλες οπές. Τα συγκεκριμένα τρυπάνια έχουν οπές κατά μήκος του σώματός τους μέσα από τις οποίες μεταφέρεται το ψυκτικό υγρό στο σημείο της κορυφής του, ώστε να πραγματοποιηθεί η ψύξη. Το πλήθος των οπών είναι ίδιο με τον αριθμό των αυλακώσεων που έχει το τρυπάνι. Στο συγκεκριμένο είδος τρυπανιού το ψυκτικό υγρό βοηθάει και στην πιο εύκολη απομάκρυνση των αποβλήτων από τη διάτρηση, διότι διοχετεύεται με πίεση στην κορυφή και ωθεί τα απόβλητα προς τα πίσω.



Εικόνα 3.11.: Τρυπάνι με coolant through.

3.2. Ακάλυπτα κοπτικά εργαλεία διάτρησης

Η πραγματοποίηση μιας κοπής απαιτεί το κοπτικό να έχει μεγαλύτερη σκληρότητα από αυτή του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Ακόμη το υλικό που επιλέγεται θα πρέπει να έχει αντοχή στις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις που αναπτύσσονται κατά την διάτρηση, αλλά και αντίσταση στη φθορά, ώστε το τρυπάνι να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Επομένως το υλικό που επιλέγεται για την κατασκευή ενός τρυπανιού πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προδιαγραφές. Υπάρχουν τα ακάλυπτα κοπτικά τα οποία δεν καλύπτουν πάντα όλες τις προδιαγραφές που χρειάζονται και γι' αυτό χρησιμοποιούνται στην επιφάνειά τους και κάποιες επικαλύψεις για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους.

Τα υλικά που σήμερα κατασκευάζονται τα κοπτικά εργαλεία χωρίζονται σε δυο κατηγορίες τα σιδηρούχα και τα μη σιδηρούχα.

Σιδηρούχα ή εργαλειογάλυβες:

- Ανθρακούχοι χάλυβες εργαλείων
- Κεκραμμένοι χάλυβες εργαλείων
- Ταχυχάλυβες(HSS)

Μη σιδηρούχα υλικά:

- Σκληρομέταλλα
- Κεραμικά
- Διαμάντια
- Βοριονιρίδια

3.2.1. Ανθρακούχοι χάλυβες

Οι ανθρακούχοι χάλυβες είναι το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή κοπτικών εργαλείων. Είναι από τα πιο ευρέως διαδεδομένα υλικά για κοπτικά εργαλεία λόγω του χαμηλού κόστους που έχουν, συγκριτικά με τα υπόλοιπα υλικά. Οι ιδιότητές τους επηρεάζονται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα, η οποία κυμαίνεται από 0,6% έως 1,5%. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα τόσο πιο σκληρό γίνεται το κοπτικό, πράγμα που του χαρίζει μεγαλύτερη αντοχή, αλλά το κάνει πιο ευαίσθητο σε κρούσεις. Ένα μειονέκτημα που έχουν οι χάλυβες αυτοί είναι ότι χάνουν πολύ εύκολα τη σκληρότητά τους ακόμα και σε μέτριες θερμοκρασίες (~230°C), με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλοι για τις κατεργασίες με μεγάλες θερμοκρασίες και μεγάλες ταχύτητες που αναπτύσσονται στα μεγάλα βάθη κοπής, περιορίζοντας την χρήση τους μόνο για μικρά βάθη και μικρές ταχύτητες (8-10m/min). [9], [1]



Εικόνα 3.12.: Κοπτικά εργαλεία από ανθρακούχο χάλυβα.

3.2.2. Κεκραμμένοι χάλυβες

Οι κεκραμμένοι χάλυβες στη σύνθεσή τους έχουν μέταλλα με ποσοστό κραμάτωσης μικρότερο του 3%. Τα κύρια κραματικά στοιχεία είναι: Χρώμιο(Cr), Μαγγάνιο(Mn), Βολφράμιο(W), Μολυβδαίνιο(Mo), Βανάδιο(V), Νικέλιο(Ni) και Πυρίτιο(Si). Με την προσθήκη αυτών των στοιχείων βελτιώνονται οι ιδιότητες των χάλυβων ανάλογα με την περιεκτικότητα. Έτσι τα κοπτικά από αυτό το υλικό μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θερμοκρασίες μέχρι 500°C και ταχύτητες κοπής μέχρι και 25m/min. [9], [1]



Εικόνα 3.13.: Κοπτικά εργαλεία από κεκραμμένο χάλυβα. [10]

3.2.3. Ταχυχάλυβες(HSS)

Οι ταχυχάλυβες (**High Speed Steels**) είναι ένα υλικό που αντικατέστησε τους ανθρακούχους χάλυβες, αφού δε χάνουν τη σκληρότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι και 600°C, με ικανοποιητική μηχανική αντοχή και σε κρουστικά φορτία ακόμα και σε ταχύτητες μέχρι και 60 m/min. Τα στοιχεία τα οποία προσθέτονται στο χάλυβα στη βασική τους σύνθεση είναι : Βολφράμιο(W), Χρόμιο(Cr), Βανάδιο(V), Κοβάλτιο(Co) και Μολυβδαίνιο(Mo). Τα δυο τελευταία στοιχεία του προσφέρουν καλύτερη ποιότητα. Ανάλογα με το στοιχείο το οποίο προστίθεται στον ταχυχάλυβα επηρεάζονται και οι ιδιότητες του ως ακολούθως: [9], [1]

- Μολυβδαίνιο(Mo): Προσδίδει μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας, της σκληρότητας, της αντοχής σε επαναφορά και σε φθορά-τριβή.
- Βολφράμιο(W): Σχηματίζει σκληρά καρβίδια με τα καρβίδια του σιδήρου(Fe), πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της σκληρότητας του σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Βανάδιο(V): Χρησιμοποιείται σε μικρή ποσότητα (0,1%-0,25%) αυξάνοντας το βαθμό βαφής και αντίστασής του στη φθορά. Ταυτόχρονα εμποδίζει το σχηματισμό μεγάλων κόκκων στις υψηλές θερμοκρασίες, όταν κατασκευάζεται το κοπτικό, και ευνοεί το σχηματισμό πολύ σκληρών ελεύθερων καρβιδίων που ενισχύουν την αντοχή του στη φθορά σε όλες τις θερμοκρασίες κοπής.
- Κοβάλτιο(Co): Έχει την ικανότητα να διεισδύει στο φερριτικό ιστό του χάλυβα ανυψώνοντας το σημείο ανακρυστάλλωσης και να διατηρεί τη σκληρότητά του σε υψηλές θερμοκρασίες. Η τάση σχηματισμού καρβιδίων είναι μικρή, αλλά αυξάνει την αντοχή σε επαναφορά και φθορά. Η προσθήκη κοβαλτίου μειώνει την αντοχή του σε κρουστικά φορτία.
- Μαγγάνιο(Mn): Δε δημιουργεί καρβίδια, αλλά βελτιώνει την αντοχή του στην επαναφορά.



Εικόνα 3.14.: Τυπικά εργαλεία ταχυάλυβα.

3.2.4. Σκληρομέταλλα

Τα σκληρομέταλλα αποτελούνται από καρβίδια μετάλλων και κυρίως του καρβιδίου του βολφραμίου(WC) σε συνδυασμό με καρβίδια του τιτανίου(TiC), τανταλίου(TaC) και μολυβδαίνιου(MoC). Το συνδετικό υλικό που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το κοβάλτιο(Co) και σπανιότερα σε ειδικές περιπτώσεις το νικέλιο(Ni). Η παραγωγή τους πραγματοποιείται με τη μέθοδο της κονιομεταλλουργίας και της πυροσυσσωμάτωσης που γίνεται σε δυο στάδια. Χαρακτηρίζονται από την πολλαπλάσια αντοχή σε φθορά σε σύγκριση με τα υπόληπτα κοπτικά εργαλεία. Διατηρούν τη σκληρότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ και ουσιαστικά είναι ανεπηρέαστα από τη θερμοκρασία που αναπτύσσουν. Δηλαδή έχουν πολύ μικρό συντελεστή διαστολής, οπότε δεν επηρεάζεται η γεωμετρία του κοπτικού. Παράλληλα έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και έτσι η θερμοκρασία μπορεί εύκολα να ρέει μέσω του κοπτικού προς τη μηχανή ώστε να έχει όσο το δυνατόν χαμηλότερη θερμοκρασία. Ένα από τα μειονεκτήματά τους είναι η ευαισθησία τους στα κρουστικά φορτία και στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας. Επίσης σε χαμηλές ταχύτητες έχουν τάση για σχηματισμό ψευδόκοψης, σημείο στο οποίο υστερούν με τους ταχυάλυβες.

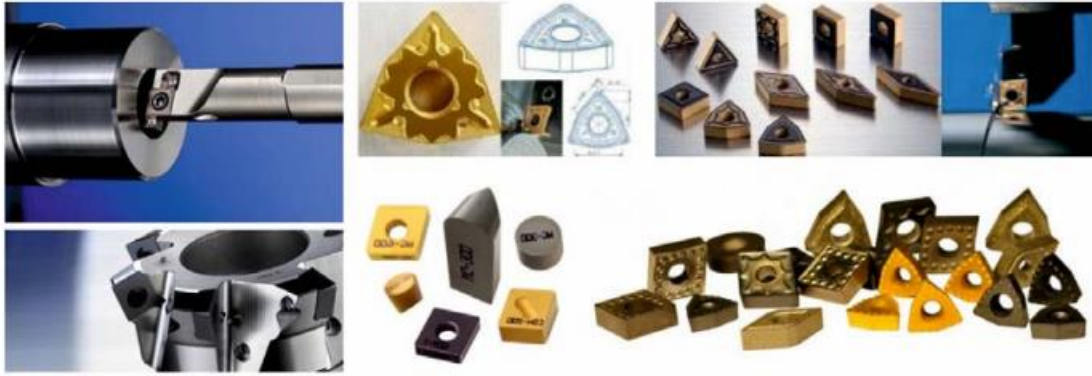
Η ευρεία χρήση τους με το πέρασμα των χρόνων οδήγησε στην τυποποίησή τους κατά ISO σε έξι κατηγορίες P,M,K,N,S. Οι τρεις πρώτες αναφέρονται σε μεταλλικά υλικά και οι υπόλοιπες σε μη μεταλλικά. Για να είναι πιο εύχρηστες οι κατηγορίες αυτές, κάθε μία έχει και ένα χρώμα το οποίο υπάρχει και πάνω στο κοπτικό, ώστε οι χειριστές των μηχανήματων να τα ξεχωρίζουν ευκολότερα χρησιμοποιώντας το κατάλληλο για την κάθε κατεργασία. [9], [1]

Ομάδα			Υποομάδες εφαρμογής	Σκληρότητα αντοχή στη φθορά, (ταχύτητα κοπής)	Ολκιμότητα, (πρώωση)
Σύμβολο	Χρώμα	Προτείνονται για κατεργασία των αντίστοιχων υλικών			
P	Σκούρο μπλε	Χάλυβες: όλοι οι χάλυβες, χυτοχάλυβες εκτός από τους ανοξειδωτους χάλυβες	P01		
			P10 P05		
			P20 P15	↑	↓
			P30 P25		
			P40 P35		
			P50		
M	Κίτρινο	Ανοξειδωτοι χάλυβες: ωστενιτικοί, ωστενιτικοί-φερριτικοί χάλυβες, χυτοχάλυβες	M01	M05	
			M10 M15	↑	↓
			M20 M25		
			M30 M35		
			M40		
K	Κόκκινο	Χυτοσίδηροι: χυτοσίδηροι με βελονοειδή γραφίτη, χυτοσίδηροι με σφαιροειδή γραφίτη	K01	K15	
			K10 K25	↑	↓
			K20 K35		
			K30 K35		
			K40		
N	Πράσινο	Μη σιδηρούχα μέταλλα: αλουμίνιο και άλλα μη σιδηρούχα μέταλλα, αμέταλλα	N01	N05	
			N10 N15	↑	↓
			N20 N25		
			N20 N25		
			N30		
S	Καφέ	Ειδικά κράματα και τιτάνιο: πυράντοχα κράματα, σιδηρούχα κράματα νικελίου - κοβαλτίου - τιτανίου και κράματα τιτανίου	S01	S05	
			S10 S15	↑	↓
			S20 S25		
			S20 S25		
			S30		
H	Γκρι	Σκληρά υλικά: Βαμμένοι χάλυβες, υψηλής αντοχής ακατέργαστος σίδηρος, σκληρυμένος χυτοσίδηρος	H01	H05	
			H10 H15	↑	↓
			H20 H25		
			H20 H25		
			H30		

Εικόνα 3.15.: Τυποποίηση κατά DIN ISO 513 των σκληρομετάλλων. [1]

3.2.5. Κεραμικά

Τα κεραμικά είναι μη μεταλλικά υλικά τα οποία κατασκευάζονται με τη μέθοδο της κονιομεταλλουργίας σε θερμοκρασίες από 1500°C-1900°C κάτω από το σημείο τήξης υπό πίεση. Υπάρχουν δυο κατηγορίες κεραμικών που χρησιμοποιούνται στα κοπτικά. Στην πρώτη το βασικό υλικό κατασκευής τους είναι η σκόνη τεχνητού οξειδίου του αργίλου (Al_2O_3) με συνδετικό μέσο μικρά ποσοστά πυρίμαχων οξειδίων μαγνησίου (Mg) και πυριτίου (Si), ενώ στην δεύτερη είναι το νιτρίδιο του πυριτίου (Si_3N_4). Τα υλικά αυτά έχουν την ικανότητα να διατηρούν τη σκληρότητά τους (>90HRC) ακόμα και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Παράλληλα έχουν αντίσταση στον ερπυσμό, στην οξείδωση, στη φθορά και χαμηλό συντελεστή διάχυσης. Ένα μειονέκτημά τους είναι η ευαισθησία που έχουν στις κρουστικές φορτίσεις και στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας τους. Τα κοπτικά από κεραμικά υλικά συνήθως χρησιμοποιούνται για υψηλές ταχύτητες κοπής, που συνεπάγεται μεγάλες θερμοκρασίες χωρίς υγρό κοπή. Τέλος έχουν ένα πολύ μεγάλο φάσμα υλικών που μπορούν να κατεργαστούν, εκτός από το αλουμίνιο (Al), το τιτάνιο (Ti) και το ζirkόνιο (Zr). [9], [1]



Εικόνα 3.16.: Μερικά κοπτικά κεραμικών πλακιδίων. [1]

3.2.6. Διαμάντια

Το διαμάντι είναι ένα από τα σκληρότερα υλικά που υπάρχουν στην φύση με σκληρότητα περίπου στα 7000HB. Χρησιμοποιείται στις κατεργασίες, διότι έχει ένα πολύ καλό συνδυασμό μηχανικών, χημικών και φυσικών ιδιοτήτων. Οι ιδιότητες αυτές του παρέχουν μεγάλη αντοχή στη φθορά και η κοπτική ακμή παραμένει ανεπηρέαστη ακόμη και μετά από αρκετά μεγάλη χρήση. Για την κοπή με διαμάντια δε χρειάζεται η χρήση υγρού κοπής. Τα κοπτικά αυτά λόγω της μεγάλης σκληρότητάς τους είναι αρκετά ψαθυρά και ευαίσθητα σε κρουστικά φορτία. Επίσης δεν έχουν αντοχή σε θερμοκρασίες άνω των 800°C γι' αυτό και χρησιμοποιούνται για κατεργασίες αποπεράτωσης σε σκληρά υλικά ,δίνοντας ένα άριστο αποτέλεσμα στην ποιότητα της κατεργασίας με ελάχιστες φθορές στο κοπτικό εργαλείο. [9], [1]



Εικόνα 3.17.: Κοπτικά από φυσικό διαμάντι. [1]

3.2.7. Βοριονιτρίδια

Το βοριονιτρίδιο είναι ένα σύνθετο υλικό που έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη σκληρότητα μετά το διαμάντι. Το πλεονέκτημά του σε σχέση με τα διαμάντια είναι ότι αντέχουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1400°C χωρίς να επηρεάζονται οι ιδιότητές τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κοπή σιδηρούχων μετάλλων με μεγάλες ταχύτητες κοπής, αλλά έχουν το μεγάλο μειονέκτημα ότι το κόστος τους είναι περίπου εξήντα φορές μεγαλύτερο από αυτό των σκληρομετάλλων, με αποτέλεσμα η χρήση τους να είναι μόνο για εξειδικευμένες εφαρμογές. [9], [1]



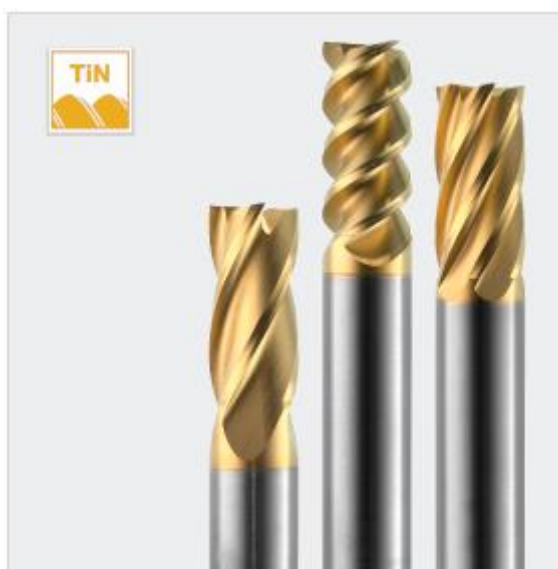
Εικόνα 3.18.: Κοπτικά από βοριονιτρίδια. [1]

3.3. Επικαλυμμένα κοπτικά εργαλεία διάτρησης

Η ανάγκη για τη βελτίωση των κοπτικών εργαλείων έφερε τη δημιουργία των επικαλύψεων. Οι επικαλύψεις είναι ένα λεπτό στρώμα μερικών μικρομέτρων το οποίο τοποθετείται πάνω σε ένα αντικείμενο, στην συγκεκριμένη περίπτωση σε κοπτικά εργαλεία για να βελτιωθούν οι ιδιότητές τους. Με αυτό τον τρόπο ένα απλό ακάλυπτο κοπτικό βελτιώνεται και προσφέρει ένα καλύτερο αποτέλεσμα. Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται οι επικαλύψεις είναι με την βοήθεια υψηλής τεχνολογίας εξοπλισμού και μεθόδων, όπως η Φυσική Εναπόθεση(PVD), η Χημική Εναπόθεση(CVD) και με τεχνολογίες μεταφοράς πλάσματος με Laser(PLD). Ανάλογα με το υλικό της επικάλυψης προσδίδονται και διαφορετικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά στο κοπτικό τα οποία αναλύονται στην συνέχεια. [1]

3.3.1. Επικάλυψη Νιτρίδιο του Τιτανίου - Titanium Nitride (TiN)

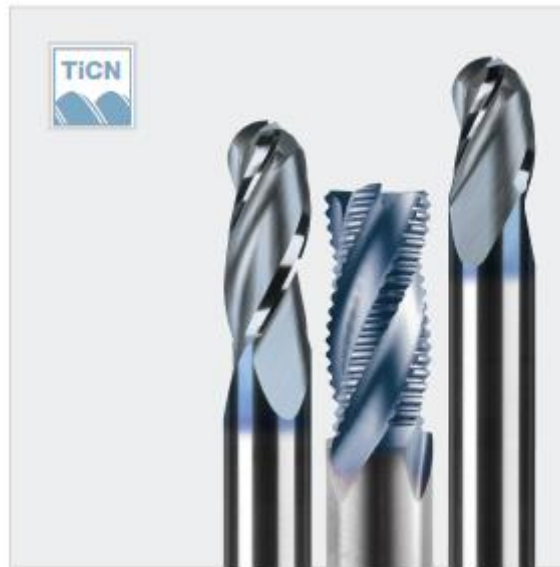
Είναι μια επικάλυψη που χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της υψηλής απόδοσης που έχει στην αύξηση της ζωής του κοπτικού εργαλείου. Μέσω αυτής επιτυγχάνεται αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής στην οξείδωση σε κατεργασίες που αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες. Ανήκει στην κατηγορία των PVD επικαλύψεων όπου το πάχος της κυμαίνεται από 2-4μm με σκληρότητα 2800Vickers και χρυσαφί χρώμα. Χρησιμοποιείται κυρίως σε χειρουργικά εργαλεία, μοσχεύματα και τρόφιμα, διότι είναι μια επικάλυψη βιοσυμβατή. [9], [1]



Εικόνα 3.19.: Κονδύλια επικαλυμμένα με TiN. [11]

3.3.2. Επικάλυψη Ανθρακονιτρίδιο του Τιτανίου – Titanium Carbo Nitride (TiCN)

Η συγκεκριμένη προσφέρει αυξημένη αντοχή σε φθορά λόγω απόξεσης και τριβής ειδικά για υλικά δύσκολα στην κατεργασία, όπως ο χυτοσίδηρος, τα κράματα αλουμινίου και τα κράματα τιτανίου. Έχουν μεγάλη αντίσταση στην οξείδωση γι' αυτό και χρησιμοποιούνται και σε ακραία περιβάλλοντα με υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης με αυτή την επικάλυψη μπορούν να κατεργαστούν υλικά με σκληρότητα άνω των 40 Rc και σε διακοπόμενη κοπή, όπου οι δυνάμεις που ασκούνται στο κοπτικό είναι αρκετά μεγαλύτερες και εμφανίζονται και κρουστικές καταπονήσεις. Το χρώμα της είναι ανοιχτό έως σκούρο γκρι με πάχος 2-4μm και με σκληρότητα 3000Vickers. [9], [1]



Εικόνα 3.20.: Κοπτικά επικαλυμμένα με TiCN. [11]

3.3.3. Επικάλυψη Νιτρίδιο Τιτανίου Αλουμινίου – Titanium Aluminum Nitride (TiAlN ή AlTiN)

Χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται πρόσθετη σκληρότητα και αντίσταση στην θερμότητα. Τα κοπτικά στα οποία εφαρμόζεται είναι σε αυτά από καρβίδια, όταν δε χρησιμοποιείται στην κατεργασία ψυκτικό υγρό. Η απόδοση αυτής είναι ιδιαίτερα υψηλή, όταν το κατεργαζόμενο τεμάχιο είναι ο χυτοσίδηρος, τα κράματα αλουμινίου, οι εργαλειοχάλυβες και τα κράματα νικελίου. Το χρώμα που έχει αυτή η επικάλυψη είναι σκούρο μωβ με πάχος 2-4μm και με σκληρότητα 2700Vickers. [9], [1]



Εικόνα 3.21.: Κοπτικά επικαλυμμένα με TiAlN ή AlTi. [11]

3.3.4. Επικάλυση Νιτρίδιο του Χρωμίου – Chromium Nitride (CrN)

Η χρήση της είναι για την αντιμετώπιση των υψηλών μηχανικών φορτίων που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των μηχανουργικών κατεργασιών. Είναι η επικάλυψη που έχει τη μεγαλύτερη ολκιμότητα από όλες τις επικαλύψεις PVD με ιδιαίτερα μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση. Χρησιμοποιείται κυρίως για κατεργασίες ανθρακούχων χαλύβων, αλουμινίου, ανοξείδωτων χαλύβων και χαλκού. Έχουν μεταλλική απόχρωση, το πάχος τους είναι 2-6μm και η σκληρότητα 2000 Vickers. [9], [1]



Εικόνα 3.22.: Σπειροτόμοι με επικάλυψη CrN. [12]

3.3.5. Επικάλυψη Νιτρίδιο του Ζιρκονίου – Zirconium Nitride (ZrN)

Η επικάλυψη του νιτρίδιου του ζιρκονίου είναι κατάλληλη για υποστρώματα τα οποία είναι θερμοκρασιακά ευαίσθητα μιας και η εναπόθεσή της πραγματοποιείται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Έχει άριστη αντίσταση στη διάβρωση, τριβολογική συμπεριφορά και μεγάλη σκληρότητα καθιστώντας το ικανό για πολλές εφαρμογές. Τα υλικά στα οποία χρησιμοποιείται η επικάλυψη αυτή είναι τα μη σιδηρούχα υλικά, όπως κράματα τιτανίου, αλουμινίου, χαλκού και νικελίου, μειώνοντας το φαινόμενο της ψευδόκοψης. Το χρώμα που έχει είναι θολό χρυσαφί με πάχος 2-5μm και με σκληρότητα 2800Vickers. [9], [1]



Εικόνα 3.23.: Κονδύλι επικαλυμμένο με ZrN.

4. Υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου

Το αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο με ιδιότητες που το καθιστούν ένα πολύ χρήσιμο βιομηχανικό υλικό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι ένα υλικό με μικρό βάρος, έχει ατομικό αριθμό 13 και πυκνότητα $2,7\text{g/cm}^3$, με μεγάλη αντοχή στην διάβρωση από το νερό και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επίσης είναι ένα όλκιμο και εύκολα κατεργάσιμο υλικό με πολύ καλές επιφάνειες φινιρίσματος, πράγμα που βοηθάει σε μεγάλες παραγωγικές διαδικασίες. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που έχει είναι το πολύ χαμηλό κόστος παραγωγής εξαιτίας του οποίου είναι και τόσο ευρέως διαδεδομένο σε πολλές μηχανολογικές εφαρμογές.

Όταν το αλουμίνιο έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, τότε λόγω της καλής σχέσης που έχει με το οξυγόνο σχηματίζεται ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα οξειδίου του αλουμινίου (Al_2O_3), το οποίο του προσδίδει μεγάλη αντοχή στην οξείδωση. Δηλαδή είναι σαν να υπάρχει μια ανοξειδωτή προστασία στις εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα επιφάνειες του μετάλλου προσδίδοντας του μεγάλη αντοχή σε οξείδωση που μπορεί να προέλθει από το την ατμόσφαιρα ή το νερό. Η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είναι ίση με το 75% αυτής που έχει ο χαλκός. Με βάση όμως την χαμηλή του πυκνότητα το αλουμίνιο μπορεί να χαρακτηριστεί ως καλύτερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. [13], [14]



Εικόνα 4.1.: Ράβδοι αλουμινίου.

4.1 Τα κράματα του αλουμινίου

Ο κύριος λόγος που δημιουργήθηκαν τα κράματα του αλουμινίου είναι για να βελτιωθούν οι μηχανικές, τριβολογικές και διαβρωτικές του ιδιότητες. Τα κράματα του αλουμινίου χωρίζονται σε δυο κατηγορίες με βάση τον τρόπο κατασκευής τους. Η πρώτη κατηγορία είναι τα κράματα διαμόρφωσης τα οποία δημιουργούνται με την μέθοδο της σφυρηλάτησης. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα κράματα χύτευσης όπου δημιουργούνται μέσω της χύτευσης. Τα κύρια μέταλλα τα οποία προστίθενται στα κράματα του αλουμινίου είναι ο χαλκός(Cu), ο σίδηρος(Fe), το μαγνήσιο(Mg), το μαγγάνιο(Mn), το πυρίτιο(Si) και ο ψευδάργυρος(Zn). Ανάλογα με την ποσότητα και το μέταλλο που προστίθεται υπάρχει και το αντίστοιχο αποτέλεσμα. [13]

4.1.1. Κράματα αλουμινίου ιδανικά για διαμόρφωση

Τα κράματα αυτά χρησιμοποιούν μια κωδικοποίηση με τέσσερις αριθμούς της μορφής XXXX σύμφωνα με την Aluminium Association(A.A.) όπου κάθε αριθμός δηλώνει διαφορετικό στοιχείο για το αντίστοιχο κράμα. Ο πρώτος αριθμός(XXXX) δηλώνει το κύριο στοιχείο προσθήκης, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1. Το δεύτερο ψηφίο(XXXX) δείχνει την παραλλαγή του αρχικού κράματος ή το ποσοστό των ακαθαρσιών. Τέλος τα δυο τελευταία ψηφία(XXXX) για την πρώτη σειρά 1XXX δίνουν τα δεκαδικά ποσοστά περιεκτικότητας αλουμινίου μεγαλύτερη του 99%, ενώ στις άλλες σειρές κραμάτων ταυτοποιούν το κάθε κράμα. [13], [14]

Κωδικός	Κύρια προσθήκη
1XXX	Αλουμίνιο ελάχιστης καθαρότητας 99.00%
2XXX	Χαλκός
3XXX	Μαγνήσιο
4XXX	Πυρίτιο
5XXX	Μαγνήσιο
6XXX	Μαγνήσιο και πυρίτιο
7XXX	Ψευδάργυρος
8XXX	Άλλα στοιχεία

Εικόνα 4.2.: Κωδικοποίηση των κραμάτων αλουμινίου με διαμόρφωση ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης. [13]

4.1.2. Κράματα αλουμινίου ιδανικά για χύτευση

Σε αυτή την κατηγορία τα κράματα προέρχονται από χύτευση του αλουμινίου και έχουν κωδικοποίηση με τέσσερις αριθμούς(XXX.X) και αυτά σύμφωνα με την Aluminium Association(A.A.). Ο πρώτος αριθμός(XXX.X), όπως και στην προηγούμενη κατηγορία ,δηλώνει το κύριο στοιχείο προσθήκης όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Οι δύο επόμενοι αριθμοί(XXX.X) δείχνουν την ειδική κατηγορία του κράματος της οικείας ομάδας. Ο τέταρτος και τελευταίος αριθμός(XXX.X) ο οποίος χωρίζεται και με τελεία από τους προηγούμενους αναφέρεται στην μορφή που έχει το προϊόν της χύτευσης. [13], [14]

Κωδικός	Κύρια προσθήκη
1XXX	Αλουμίνιο ελάχιστης καθαρότητας 99.00%
2XXX	Χαλκός
3XXX	Πυρίτιο και χαλκός ή μαγνήσιο
4XXX	Πυρίτιο
5XXX	Μαγνήσιο
6XXX	Μη χρησιμοποιούμενη σειρά
7XXX	Ψευδάργυρος
8XXX	Κασσίτερος
9XXX	Άλλα στοιχεία

Εικόνα 4.3.: Κωδικοποίηση των κραμάτων αλουμινίου με χύτευση ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης. [13]

4.1.3. Συμβολισμοί κατεργασιών

Μετά από αυτόν τον τετραψήφιο αριθμό και στις δυο προαναφερθείσες κατηγορίες ακολουθεί μια παύλα, ένα γράμμα και έως και τρία νούμερα. Οι κωδικοί αυτοί αναφέρονται στην κωδικοποίηση των κατεργασιών μηχανικών ή θερμικών που έχει υποστεί το κράμα αλουμινίου. Αναλυτικά φαίνονται όλες οι κωδικοποιήσεις που μπορεί κάποιος να συναντήσει στην αγορά στην εικόνα 4.3. [13]

Κωδικός	Κατεργασία	
F	Προϊόν όπως παρήχθη, χωρίς μηχανική ή θερμική κατεργασία	
O	Ανόπτηση	
H	Ενδοτράχυνση, μόνο για τα κράματα διαμόρφωσης	
H1X	Μόνον ενδοτράχυνση, (το X αναφέρεται στο βαθμό ενδοτράχυνσης):	
	H11: Κράμα ελάχιστης σκληρότητας	
	H12: Κράμα σκληρωμένο κατά 25%	
	H14: Κράμα σκληρωμένο κατά 50%	
	H16: Κράμα σκληρωμένο κατά 75%	
	H18: Κράμα σκληρωμένο κατά 100%	
	H19: Υπέρσκληρο κράμα	
	H2X	Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από ανόπτηση αποκατάστασης . Το X κωμαίνεται από 1 έως 8, υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης μετά την ανόπτηση.
	H3X	Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από θερμική κατεργασία σταθεροποίησης σε χαμηλή θερμοκρασία, προκειμένου να αποφευχθεί σκλήρυνση λόγω γήρανσης . Το X κωμαίνεται από 1 έως 8, υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης πριν από τη σταθεροποίηση.
	T	Θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με γήρανση
T1	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και φυσική γήρανση	
T2	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, μηχανική κατεργασία εν ψυχρό και φυσική γήρανση	
T3	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρό και φυσική γήρανση	
T4	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και φυσική γήρανση	
T5	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος	
T6	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος	
T7	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, θερμική κατεργασία σταθεροποίησης	
T8	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρό και τεχνητή γήρανση	
T9	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, τεχνητή γήρανση και κατεργασία εν ψυχρό	
T10	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, κατεργασία εν ψυχρό και τεχνητή γήρανση	
W	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης. Χρησιμοποιείται μόνο για τα κράματα που υφίσταται σκλήρυνση με γήρανση	

Εικόνα 4.4.: Κωδικοποίηση των κραμάτων αλουμινίου ανάλογα με την κατεργασία που έχουν υποστεί. [13]

4.2 Κράμα Αλουμινίου 7075-T6

Το κράμα αλουμινίου 7075-T6 ανήκει στα κράματα διαμόρφωσης ,όπως φαίνεται και από τον κωδικό του σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε προηγουμένως. Εντάσσεται την σειρά 7000 όπου οι κύριες προσθήκες σε μέταλλα είναι ο ψευδάργυρος(Zn), το μαγνήσιο(Mg), το χρώμιο(Cr) και ο χαλκός(Cu), το καθένα σε διαφορετικό ποσοστό. Για το συγκεκριμένο κράμα, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία, η σύσταση του είναι 90% αλουμίνιο(Al), 5,6% ψευδάργυρος(Zn), 2,5% μαγνήσιο(Mg), 0,23% χρώμιο(Cr) και 1,6% χαλκός(Cu). Ανάλογα με τον κατασκευαστή βέβαια μπορεί να υπάρχουν και μικρές αποκλίσεις στις τιμές αυτές. Η πυκνότητά του είναι 2,81 g/cm³. Οι κύριες εφαρμογές του συγκεκριμένου τύπου είναι κυρίως στην αεροπορική βιομηχανία. Η τόσο μεγάλη απήχηση που έχει σε αυτόν τον κλάδο οφείλεται στο χαμηλό του βάρος σε

συνδυασμό με την υψηλή αντοχή στην διάβρωση και τις καταπονήσεις που έχει εξαιτίας των μετάλλων που προστίθενται σε αυτό. [15]

Στον κωδικό αυτού του αλουμινίου υπάρχει και ο όρος T6 ο οποίος αναφέρεται στην θερμική κατεργασία ομογενοποίησης την οποία έχει υποστεί το κράμα. Για το 7075-T6 η θερμοκρασία βαφής είναι οι 450°C για αρκετές ώρες και στη συνέχεια ακολουθεί η τεχνητή γήρανση στους 120°C για μια ημέρα ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αντοχή του κράματος. [16]

4.2.1. Θερμικές ιδιότητες αλουμινίου 7075-T6

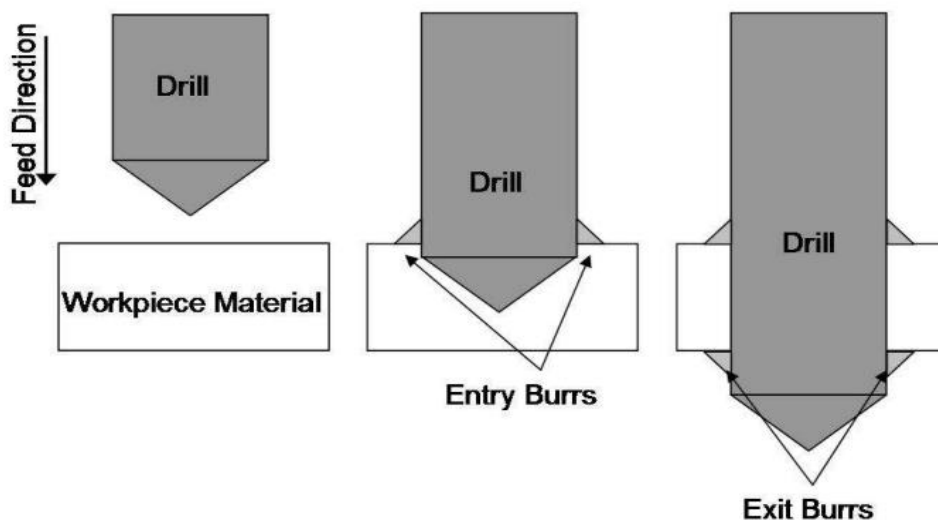
Το σημείο τήξης αυτού του αλουμινίου είναι 480°C και μπορεί να έχει κάποιες μικρές αποκλίσεις ανάλογα με την ακρίβεια της περιεκτικότητας κάθε στοιχείου. Η θερμική του αγωγιμότητα είναι 130W/mK δηλαδή είναι ένα αρκετά αγωγίμο υλικό μέσα από το οποίο η θερμότητα διαχέεται εύκολα. Τέλος η ειδική θερμοχωρητικότητά του είναι 870J/KgK. [16]

4.2.2 Μηχανικές ιδιότητες αλουμινίου 7075-T6

Το συγκεκριμένο κράμα έχει πάρα πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες που του προσδίδουν υψηλή αντοχή. Το όριο διαρροής του είναι 503MPa δηλαδή μπορεί να αντέξει εφελκυστική τάση μέχρι τα 503MPa χωρίς να παραμορφωθεί η γεωμετρία του τεμαχίου. Μετά από αυτό το όριο το τεμάχιο αρχίζει να παραμορφώνεται πλαστικά μέχρι να έρθει σε θραύση το όριο της οποίας είναι 572MPa. Το μέτρο της ελαστικότητας του είναι στα 71,7GPa και το μέτρο της διάτμησής του είναι στα 26,9GPa, τιμές που είναι σε πολύ καλό επίπεδο ειδικά όταν χρειάζονται σε εφαρμογές για σκληρό και ελαφρύ υλικό. [15]

4.3. Απολήξεις εξόδου στη διάτρηση αλουμινίου

Το αλουμίνιο ως μαλακό και όλκιμο υλικό αντιμετωπίζει πρόβλημα με τις θερμοκρασίες κατά τη διάτρηση. Το πρόβλημα αυτό είναι οι απολήξεις που δημιουργούνται κατά την είσοδο(Entry Burrs) και έξοδο(Exit Burrs) του τρυπανιού. Σε αυτές ουσιαστικά δημιουργούνται προεξοχές στις ακμές τους από την υψηλή θερμοκρασία και την πλαστική παραμόρφωση που υπόκειται το αλουμίνιο σε αυτά τα σημεία. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως στην έξοδο του τεμαχίου όπου κατά την έξοδό του το τρυπάνι παρασύρει μαζί του ένα μέρος από το μη κατεργασμένο τμήμα το οποίο κανονικά θα έπρεπε να αφαιρεθεί με τη μορφή αποβλήτων.



Εικόνα 4.5.: Οι απολήξεις σε είσοδο και έξοδο. [17]

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος απαιτείται μετά από τη διάτρηση να πραγματοποιηθεί ξανά κατεργασία η οποία θα αφαιρέσει τις απολήξεις εισόδου ή εξόδου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται χειρωνακτικά με ειδικό εργαλείο το οποίο ονομάζεται deburring ή σε κάποιες περιπτώσεις και αυτοματοποιημένα από μηχανήματα διάτρησης. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να αφαιρεθούν οι απολήξεις όπου υπάρχουν και να τελειοποιηθεί η οπή. Αυτή η διαδικασία αυξάνει αρκετά τον χρόνο και το κόστος της κατεργασίας μιας οπής πράγμα μη επιθυμητό.



Εικόνα 4.6.: Εργαλείο χειρός deburring.

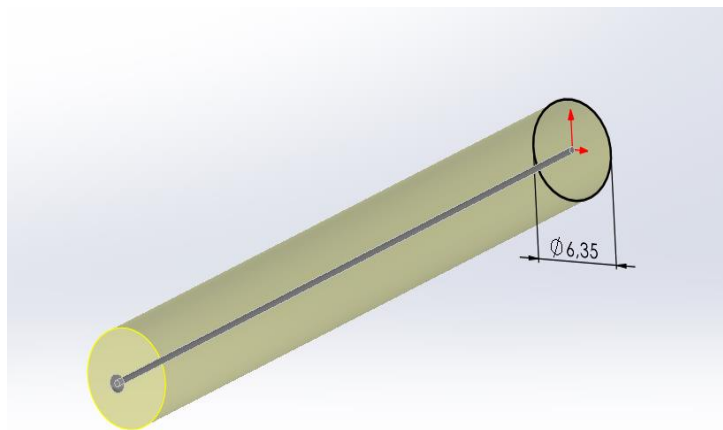
Στην προσπάθεια να μειωθεί το κόστος αυτό υπάρχει η τάση της βελτίωσης της γεωμετρίας της κορυφής του τρυπανιού με τέτοιο τρόπο ώστε να μειωθεί το φαινόμενο αυτό. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο υπάρχουν πάρα πολλά διαφορετικά είδη τρυπανιών στο εμπόριο τα οποία εξειδικεύονται για μια συγκεκριμένη κατεργασία. Ακόμη εκτός από τη γεωμετρία κορυφής ασχολούνται και με την βελτιστοποίηση των συνθηκών κοπής όπως η ταχύτητα κοπής, η πρόωση και η παρουσία ή όχι υγρού κοπής. Συμπερασματικά η αντιμετώπιση του προβλήματος έγκειται στη βελτιστοποίηση του τρυπανιού και όχι στη μετεπεξεργασία του τεμαχίου. Αυτός είναι και ο στόχος της γεωμετρίας της κορυφής τρυπανιού με πτερύγια απολήξεων που μελετάται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

5. Σχεδιασμός κοπτικών εργαλείων στο SolidWorks

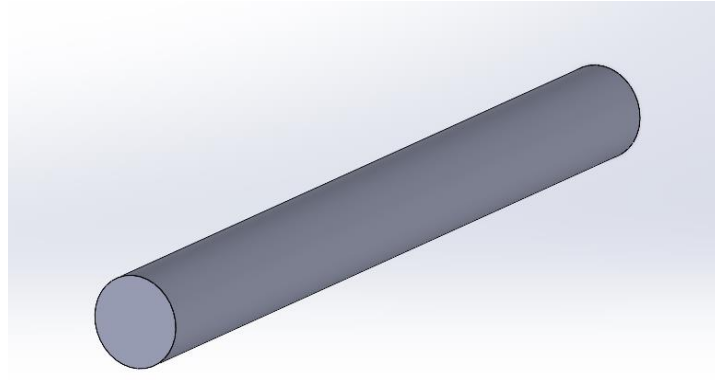
Το SolidWorks είναι ένα λογισμικό CAD της εταιρίας DASSAULT SYSTEMES το οποίο είναι ευρέως γνωστό και χρησιμοποιείται κυρίως από εταιρίες που ασχολούνται με την τρισδιάστατη σχεδίαση. Οι δυνατότητες τρισδιάστατης και δισδιάστατης σχεδίασης είναι τεράστιες και είναι ένα πάρα πολύ εύχρηστο πρόγραμμα ακόμα και για αρχάριους χρήστες. Επίσης εκτός από τη σχεδίαση μηχανολογικών τεμαχίων υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ηλεκτρολογικών σχεδίων, προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων και σχέδια από το CAD μπορούν στη συνέχεια να επεξεργαστούν μέσα στο ίδιο πρόγραμμα σε CAM και CAE.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική το SolidWorks χρησιμοποιείται για την τρισδιάστατη σχεδίαση των τριών τρυπανιών με την ιδιαίτερη γεωμετρία της κορυφής τους με τα πτερύγια για της απολήξεις. Στη σχεδίαση ενός τρυπανιού υπάρχουν πάρα πολλές παράμετροι οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο, όπως αυτές για τις οποίες έγινε αναφορά στα προηγούμενα κεφάλαια. Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα γίνει μια αναλυτική αναφορά στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάστηκε το ένα τρυπάνι ,για τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν και για την αιτία της επιλογής τους.. Η σχεδίαση των άλλων δυο τρυπανιών είναι ακριβώς η ίδια με την μονή διαφορά ότι αλλάζει το μήκος των πτερυγίων για τις απολήξεις.

Πρώτο βήμα στην σχεδίαση ενός τρυπανιού είναι η κατασκευή ενός κύλινδρου με τη διάμετρο και το μήκος του τρυπανιού. Η διάμετρος του τρυπανιού έχει επιλεγεί να είναι 1/4in ή 6.35mm διότι είναι μια διάμετρος που είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη στην αεροπορική βιομηχανία. Το μήκος του θα είναι 64mm ,όπως είναι το μήκος που έχουν συνήθως τα τρυπάνια αυτής της διαμέτρου. Επομένως με αυτές τις τιμές σχεδιάζεται ο κύλινδρος. Από την καρτέλα του Sketch με την εντολή Circle σχεδιάζεται ο αρχικός κύκλος και στη συνέχεια από την καρτέλα του Features με τη χρήση του Extrude Boss/Base δημιουργείται ο κύλινδρος.

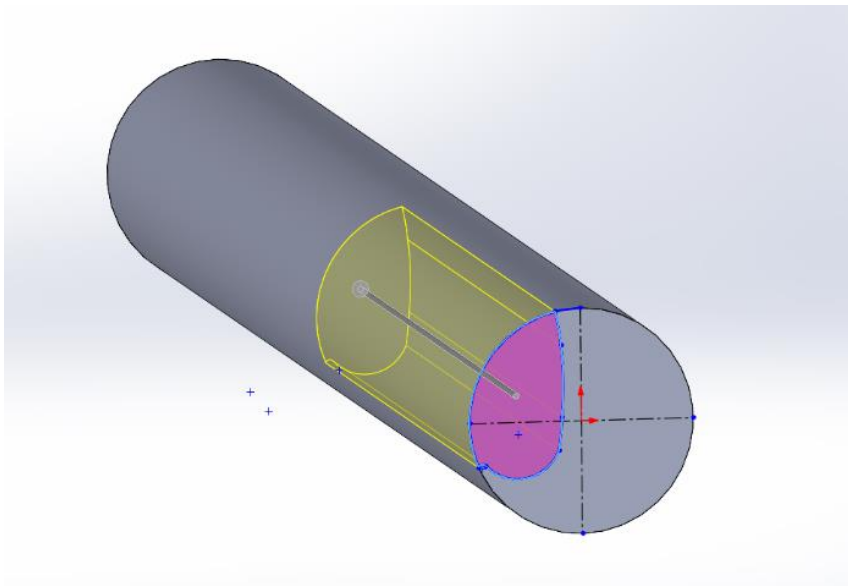


Εικόνα 5.1.: Η εντολή Circle που θα κατασκευαστεί ο κύλινδρος του τρυπανιού.

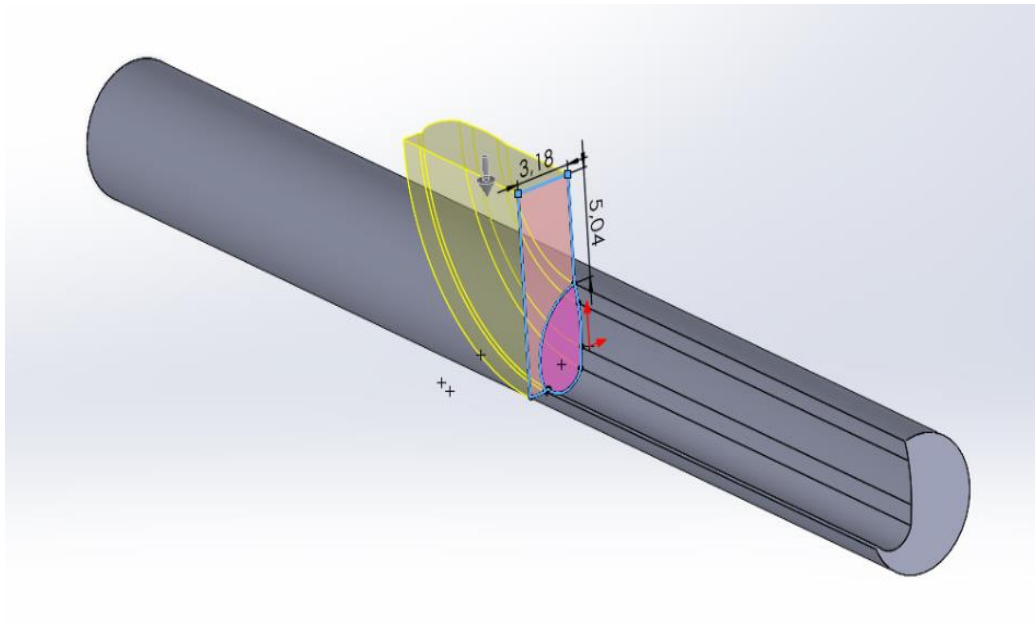


Εικόνα 5.2.: Ο αρχικός κύλινδρος του τρυπανιού.

Μετά την ολοκλήρωση του κυλίνδρου, ακολουθεί η δημιουργία των αυλακώσεων μέσα από τις οποίες θα ρέει το απόβλητο. Στην κορυφή του τρυπανιού από την καρτέλα του Sketch χρησιμοποιώντας τις εντολές Circle, Line και Trim Entities σχεδιάζεται το σχήμα της μίας αυλάκωσης. Έπειτα από την καρτέλα του Features με την εντολή Extrude Cute αφαιρείται το πρώτο τμήμα της αυλάκωσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.. Μετά από την ίδια καρτέλα με την εντολή Revolved Cut αφαιρείται και το τελευταίο μέρος από την αυλάκωση (Εικόνα 5.4.). Το συνολικό μήκος που έχει η αυλάκωση είναι 35mm.

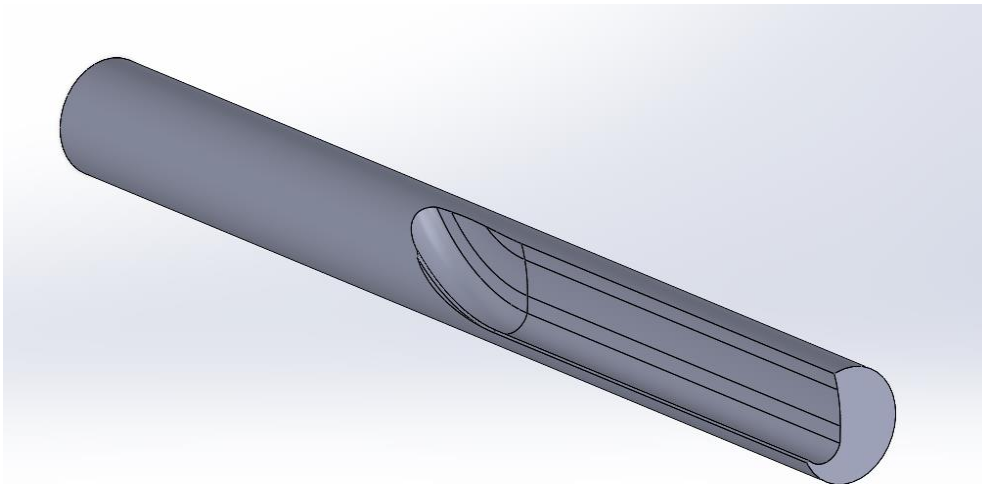


Εικόνα 5.3.: Σχηματισμός ευθύγραμμου μέρους της αυλάκωσης που θα ρέει το απόβλητο.

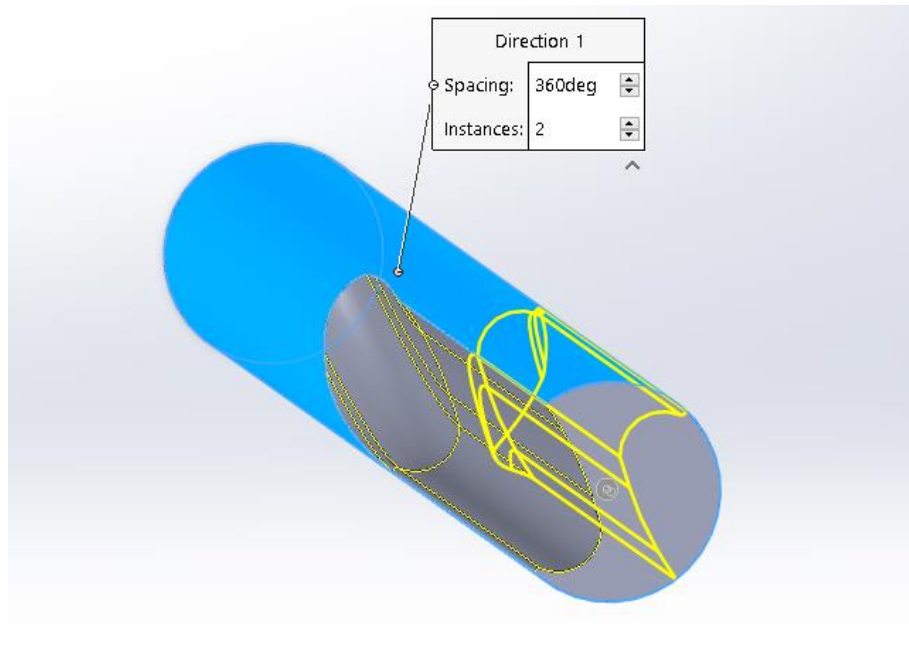


Εικόνα 5.4.: Σχηματισμός του πίσω τεταρτοκύκλιου μέρους της αυλάκωσης

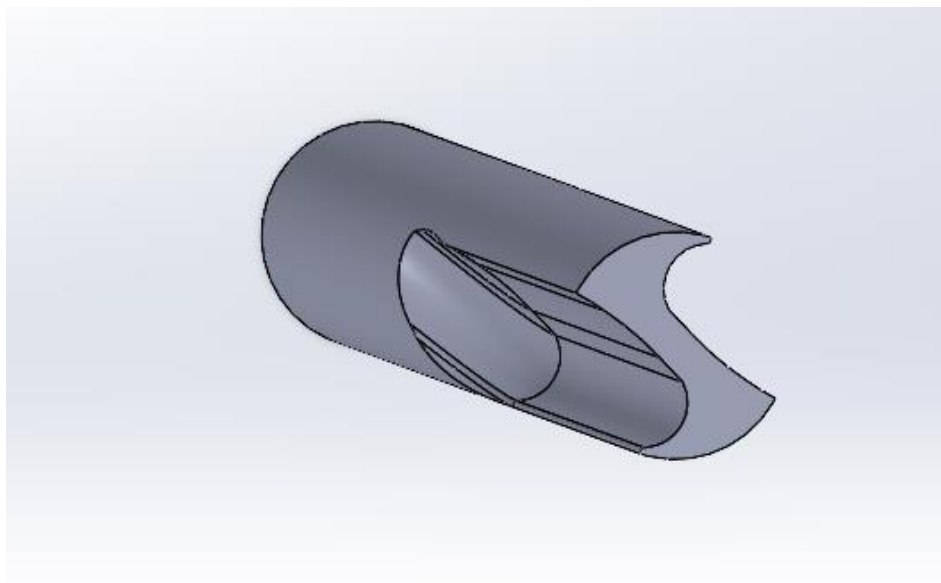
Αφού σχηματιστεί η μια από τις δύο αυλακώσεις του τρυπανιού (Εικόνα 5.5.) ακολουθεί η επόμενη που είναι ακριβώς ίδια και συμμετρική με την πρώτη. Για να κατασκευαστεί θα χρησιμοποιηθεί η εντολή Circular Pattern από την καρτέλα του Features ως προς τον άξονα περιστροφής του τρυπανιού



Εικόνα 5.5.: Η αυλάκωση του αποβλήτου.

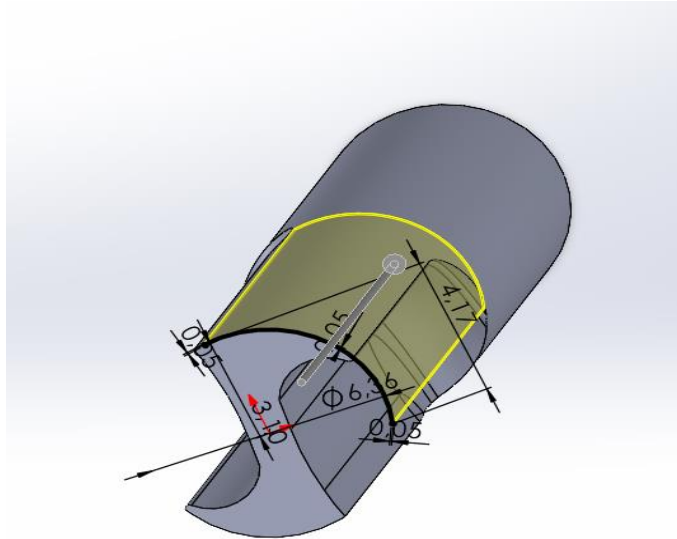


Εικόνα 5.6.: Η δημιουργία και της δεύτερη αυλάκωσης για το απόβλητο.

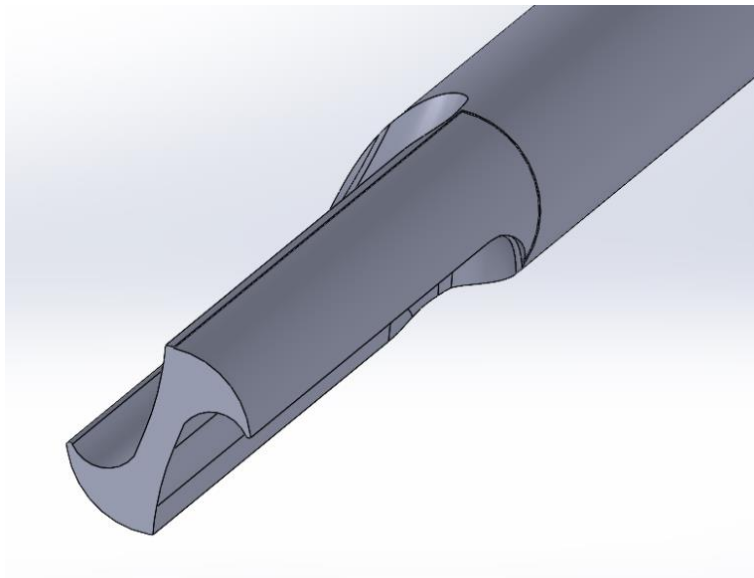


Εικόνα 5.7.: Ολοκληρωμένες και οι δυο αυλακώσεις για το απόβλητο.

Στη συνέχεια μετά την ολοκλήρωση των δυο αυλακώσεων ακολουθεί η δημιουργία των οδηγικών λωρίδων του τρυπανιού με το πάχος της καθεμίας να είναι 0,05mm. Από την καρτέλα του Sketch με την χρήση των εντολών Circle, Line και Trim Entities σχεδιάζεται το κατάλληλο σχήμα που στη συνέχεια θα αφαιρεθεί με την χρήση της εντολής Extrude Cut ως φαίνεται στις εικόνες 5.8., 5.9.. Αυτό θα γίνει από την μια μεριά και όπως και πριν με την εντολή Circular Pattern θα δημιουργηθεί και από την απέναντι μεριά.

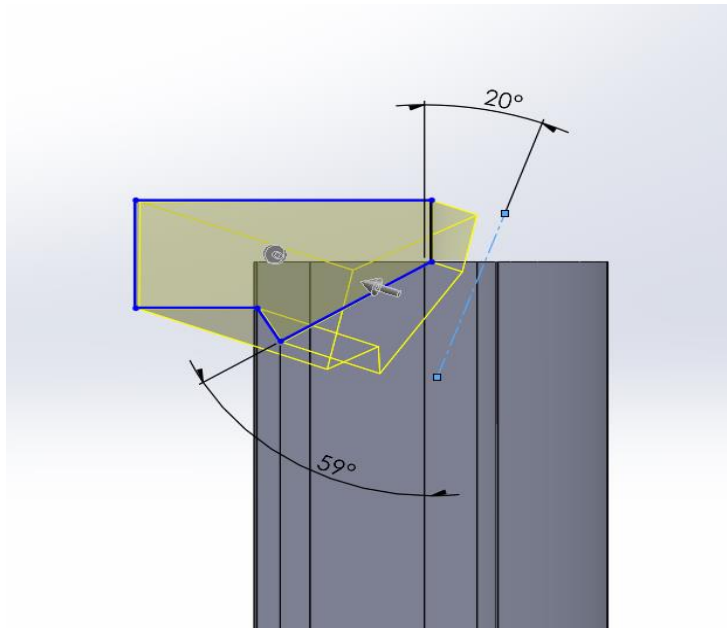


Εικόνα 5.8.: Δημιουργία οδηγητικής λωρίδας με την εντολή Extrude Cute.

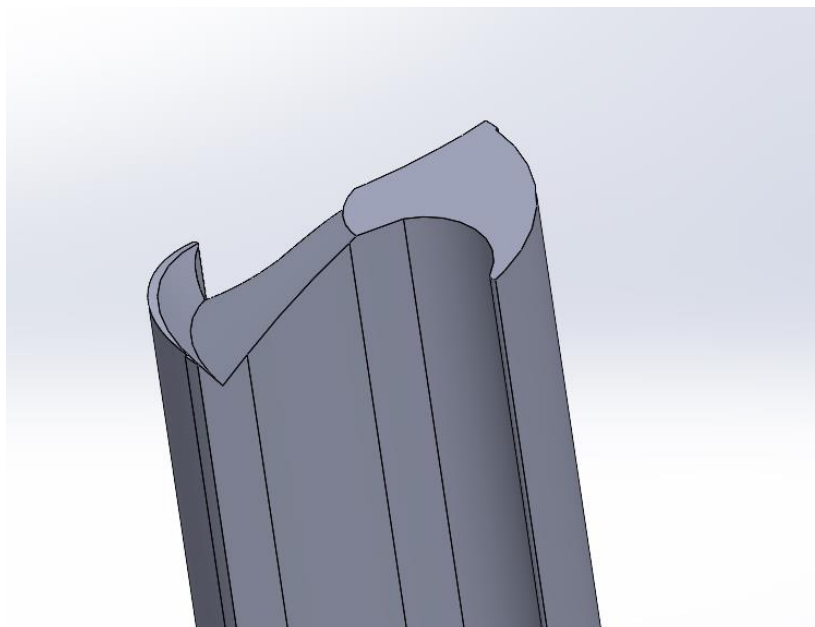


Εικόνα 5.9.: Η δημιουργημένη οδηγητική λωρίδα.

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης του μήκους του σώματος του τρυπανιού ακολουθεί η σχεδίαση της κορυφής του. Η γωνία κορυφής για το συγκεκριμένο τρυπάνι είναι οι 118° . Επιλέχθηκε αυτή η γωνία που είναι η ελάχιστη για τρυπάνια διάτρησης ώστε να έχει μεγαλύτερο μήκος η κορυφή και να έχει μεγαλύτερη σταθερότητα το τρυπάνι κατά τη διάτρηση. Επίσης το μήκος των πτερυγίων για τις απολήξεις θα είναι όσο το μισό μήκος της κορυφής δηλαδή αφού η κορυφή είναι 1,86mm το μήκος του πτερυγίου θα είναι 0.93mm. Με αυτά τα δεδομένα σχηματίζεται το αντίστοιχο Sketch με την χρήση των εντολών Line και Trim Entities και στην συνέχεια σχεδιάζεται μια ευθεία με κλίση 20° η οποία θα αποτελέσει τον άξονα γύρω από τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η κοπή με την εντολή Revolved Cut από την καρτέλα του Features.

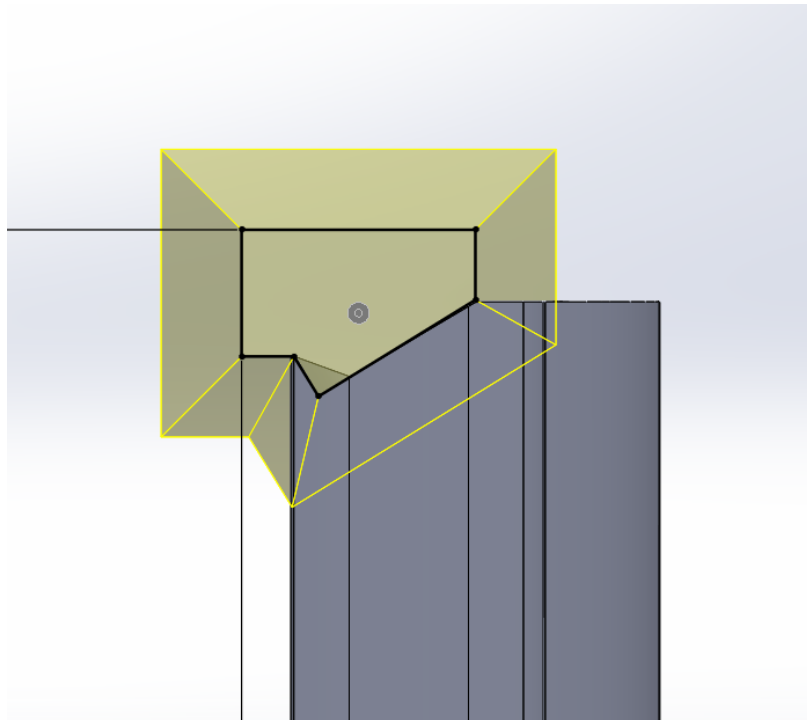


Εικόνα 5.10.: Σχηματισμός του πρώτου τμήματος της κορυφής με την εντολή Revolved Cut .

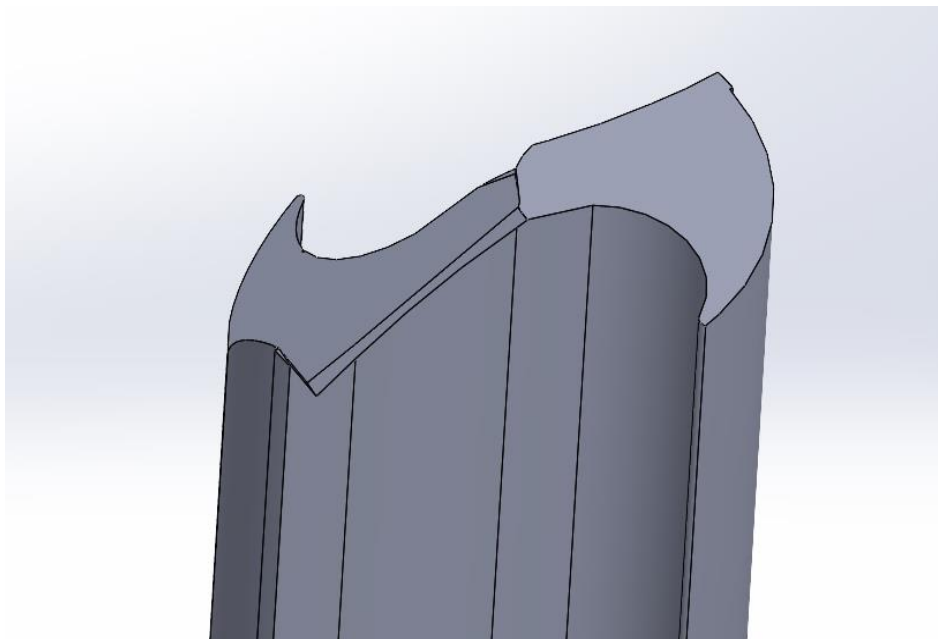


Εικόνα 5.11.: Σχηματισμένο το πρώτο τμήμα της κορυφής.

Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει αφαίρεση υλικού στο πίσω μέρος του περυγίου. Αυτό επιτυγχάνεται σχεδιάζοντας το κατάλληλο Sketch και στη συνέχεια με την εντολή Extrude Cut με Draft 21° όπως φαίνεται στις εικόνες 5.12. και 5.13..

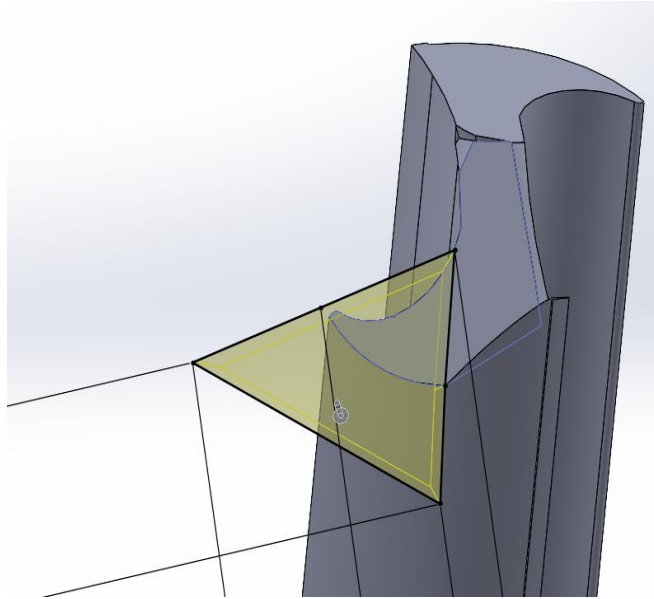


Εικόνα 5.12.: Αφαίρεση υλικού στο πίσω μέρος του πτερυγίου με την εντολή Extrude Cut.

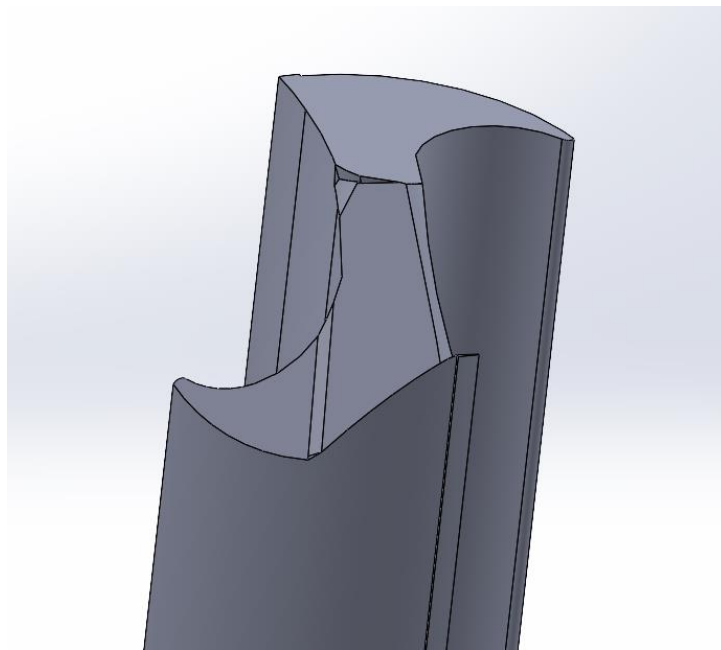


Εικόνα 5.13.: Η αφαίρεση υλικού στο πίσω μέρος του πτερυγίου.

Έπειτα στο πίσω μέρος της κύριας κοπής θα χρειαστεί να γίνει αφαίρεση υλικού ώστε κατά τη διάτρηση να έρχεται σε επαφή με το τεμάχιο μικρότερη επιφάνεια από αυτήν της κύριας κοπής του τρυπανιού, για να μην αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός Sketch με τριγωνικό σχήμα (Εικόνα 5.14.) και στη συνέχεια με τη εντολή Extrude Cut με Draft 63° και πάχος 0.1mm αφαιρείται το μέρος αυτό από την κύρια κοπή του τρυπανιού (Εικόνα 5.15.).

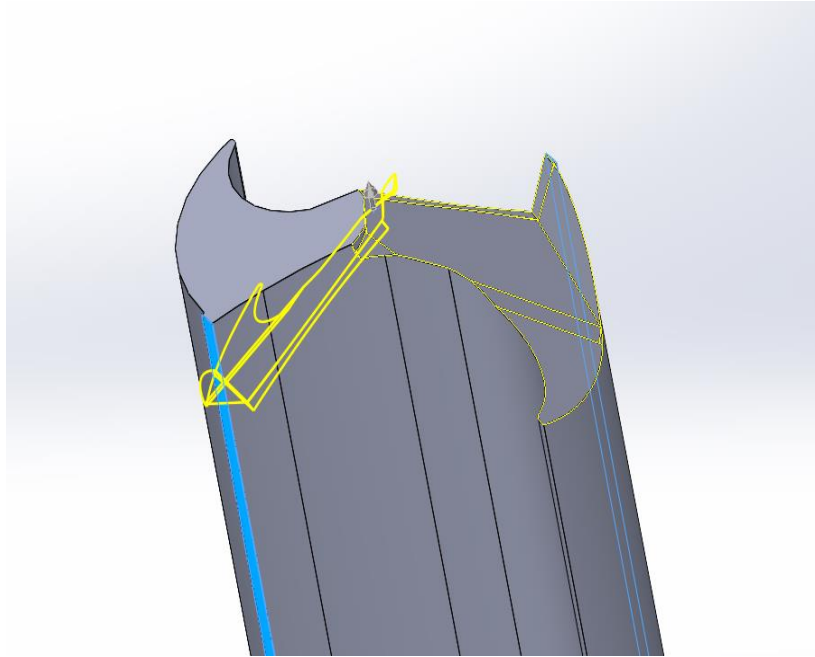


Εικόνα 5.14.: Αφαίρεση υλικού στο πίσω μέρος της κύριας κοπής με τη εντολή Extrude Cut.

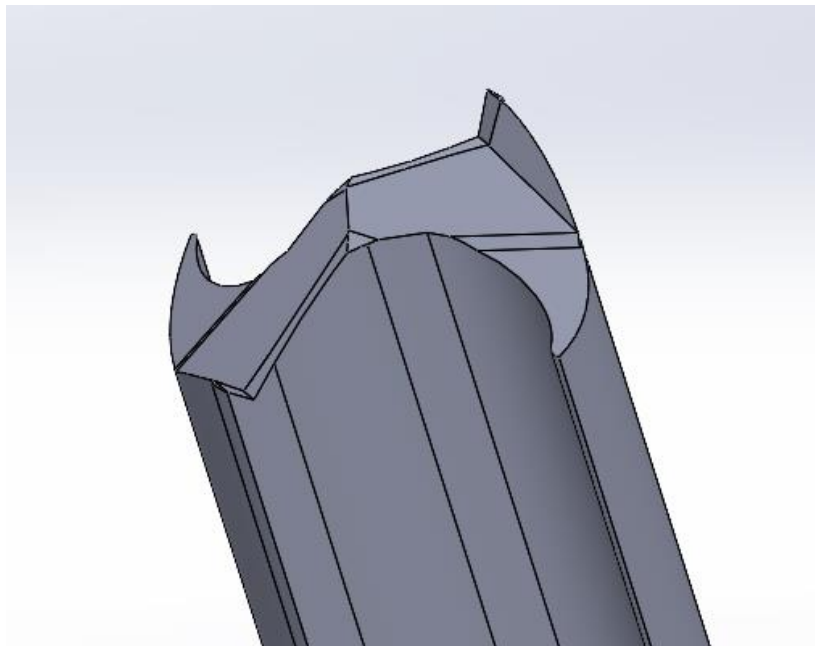


Εικόνα 5.15.: Αφαίρεση υλικού στο πίσω μέρος της κύριας κοπής.

Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση του μισού μέρους της κορυφής στη συνέχεια με τη χρήση της εντολής Circular Pattern θα δημιουργηθεί και η απέναντι μεριά η οποία είναι συμμετρική της.

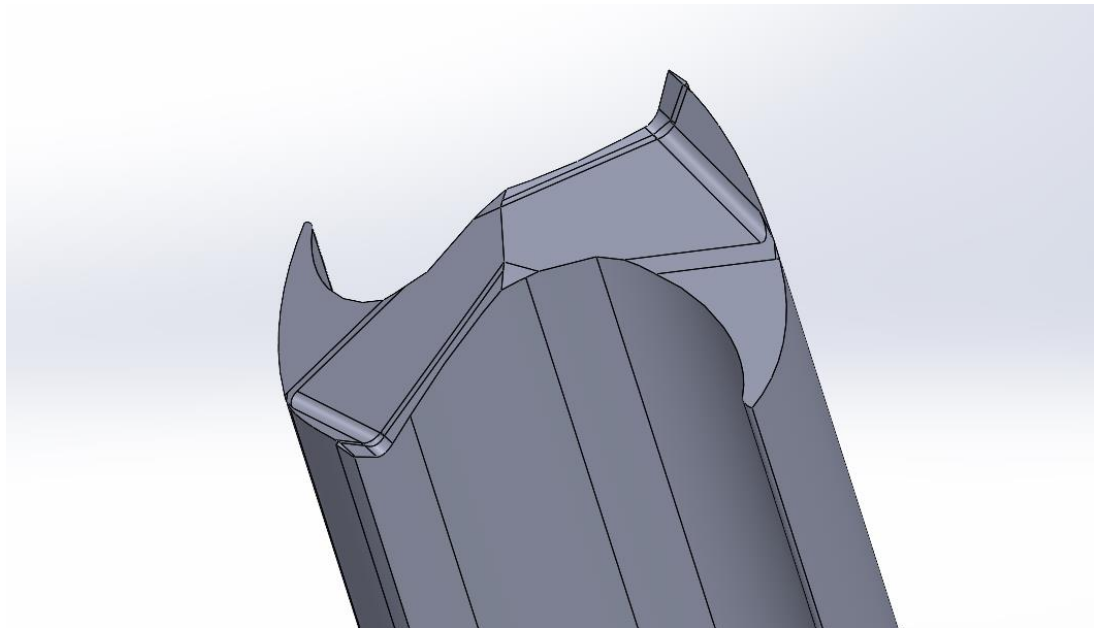


Εικόνα 5.16.: Ολοκλήρωση και της απέναντι μεριάς της κορυφής με τη χρήση της εντολής Circular Pattern.



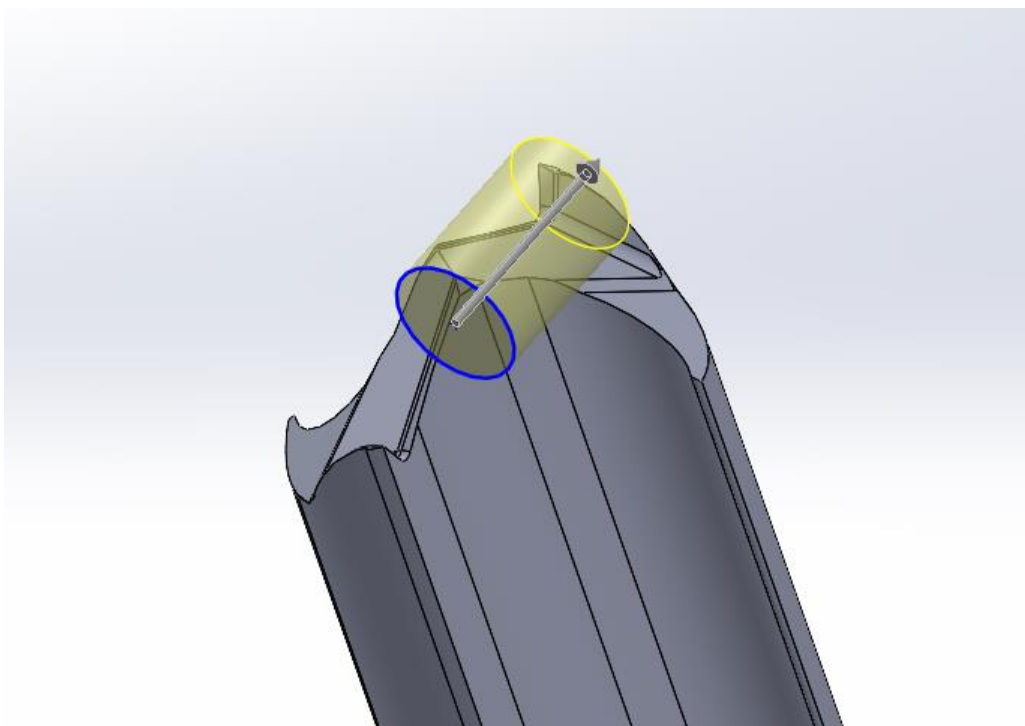
Εικόνα 5.17.: Ολοκληρωμένη και η απέναντι μεριάς της κορυφής.

Με την ολοκλήρωση της βασικής γεωμετρίας της κορυφής του τρυπανιού παρατηρείται ότι υπάρχουν κάποιες ακμές οι οποίες πρέπει να βελτιωθούν. Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή Fillet από την καρτέλα του Features επιλέγοντας κάθε φορά την αντίστοιχη ακμή και την ανάλογη ακτίνα από την εντολή.

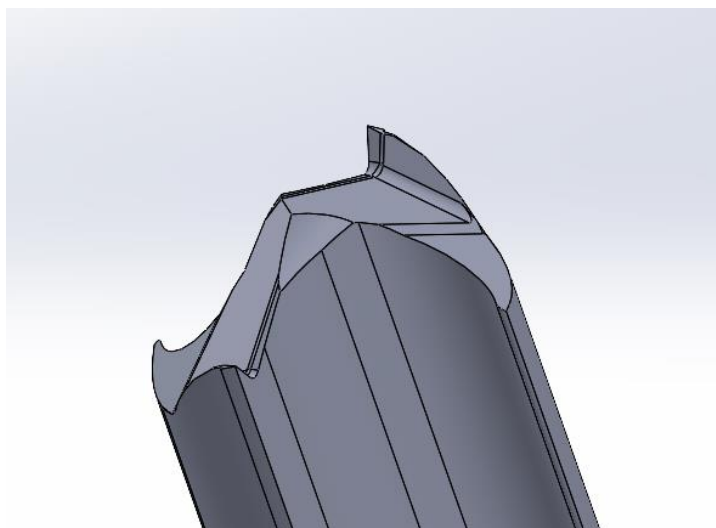


Εικόνα 5.18.: Η κορυφή μετά τα Fillet.

Το επόμενο σημείο της κορυφής του τρυπανιού που θα γίνει παρέμβαση είναι το σημείο στο οποίο γίνεται η πρώτη επαφή του τρυπανιού με το τεμάχιο, ώστε να υπάρχει μια καλύτερη γεωμετρία για να ξεκινήσει ομαλά η διάτρηση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα διαμορφωθεί με έναν ιδιαίτερο τρόπο η τελική γεωμετρία. Δημιουργείται το κατάλληλο Plane πάνω στο οποίο σχεδιάζεται ένας κύλινδρος από το Sketch και στη συνέχεια με Extrude Cute σε αυτόν επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα από τη μια μεριά.

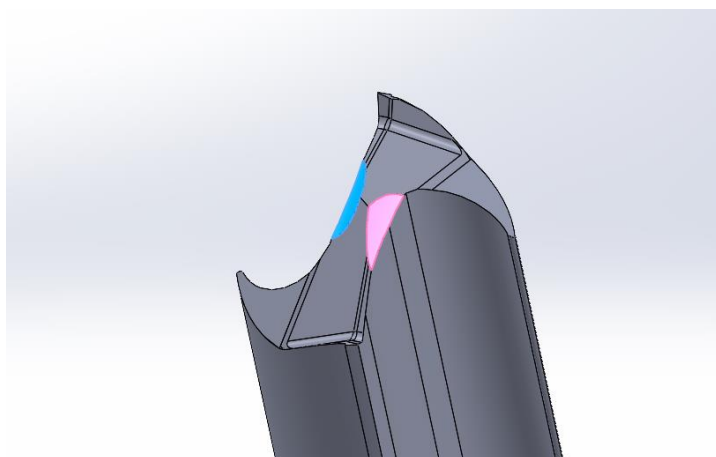


Εικόνα 5.19.:Βελτίωση της κορυφής στο σημείο που ξεκινάει η διάτρηση με την εντολή Extrude Cute.

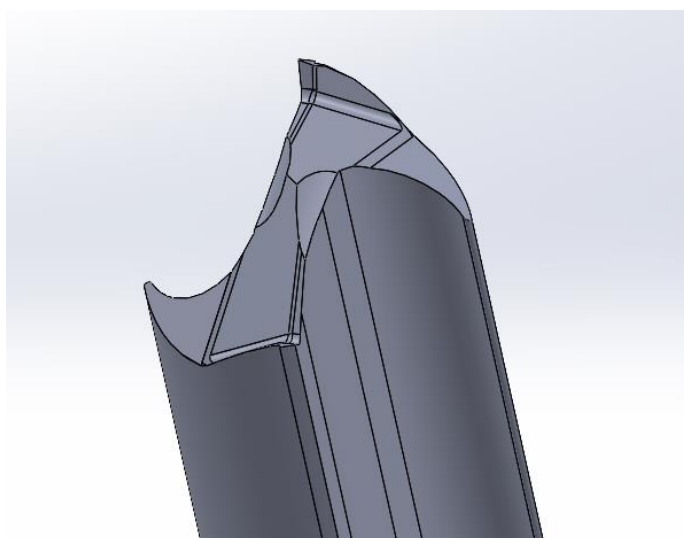


Εικόνα 5.20.:Βελτιωμένη κορυφή στο σημείο που ξεκινάει η διάτρηση.

Όπως και σε προηγούμενα βήματα με την εντολή Circular Pattern θα δημιουργηθεί και στην απέναντι μεριά αυτή η διαμόρφωση.

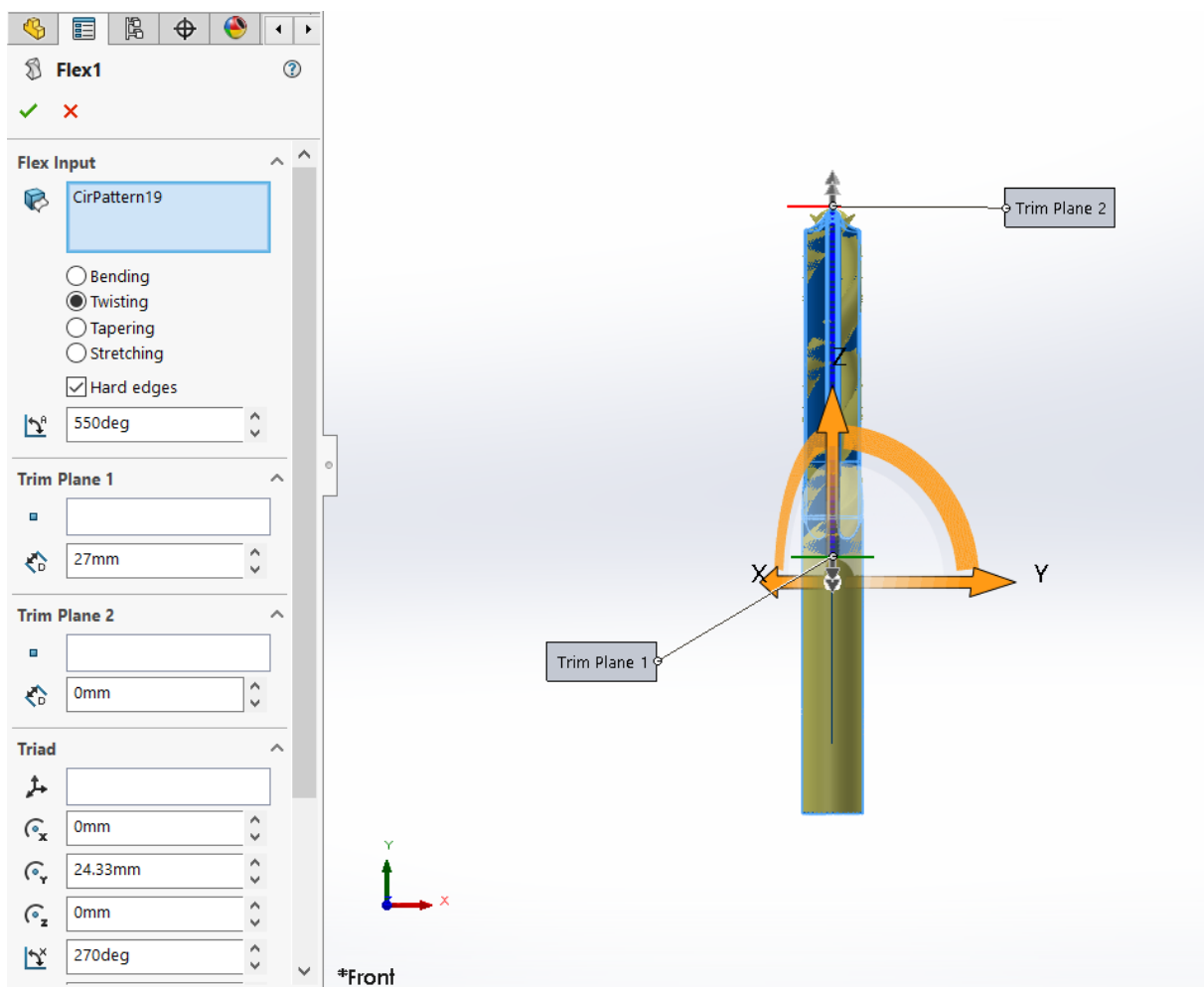


Εικόνα 5.21.: Η χρήση της εντολής Circular Pattern για την κορυφή του τρυπανιού.

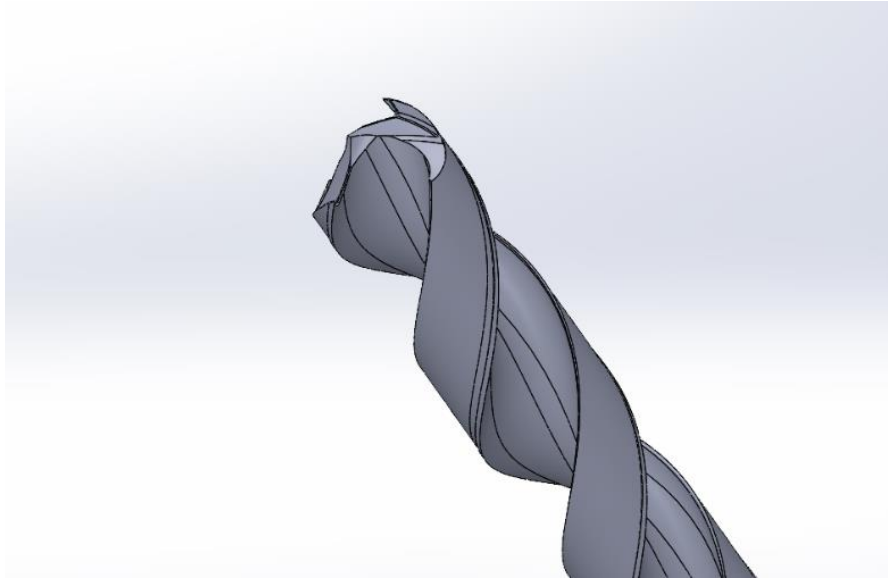


Εικόνα 5.22.:Ολοκλήρωμενη η κορυφή του τρυπανιού.

Το τελευταίο στάδιο της κατασκευής του τρυπανιού, αφού έχουν σχεδιαστεί όλα τα χαρακτηριστικά του, είναι να δημιουργηθεί η ελικοτή της οποίας η γωνία θα είναι 37° επειδή το υλικό στο οποίο θα γίνει η διάτρηση είναι το αλουμίνιο 7075-T6 που είναι όλκιμο. Αυτό θα επιτευχθεί με την εντολή Flex που διαθέτει το SolidWorks. Για να έχει γωνία ελίκωσης 37° θα πρέπει η γωνία περιστροφής του τρυπανιού να είναι 550° και να οριστούν σωστά τα δυο plane της εντολής ώστε η περιστροφή να γίνει στο τμήμα του τρυπανιού που είναι η αυλάκωση και όχι στο μήκος του στελέχους.



Εικόνα 5.23.: Η εντολή Flex και οι παράμετροί της.

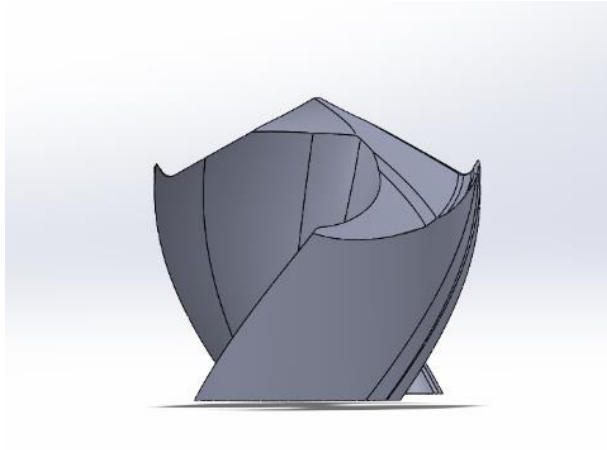


Εικόνα 5.24.:Ολοκληρωμένο το τρυπάνι με μήκος πτερυγίων 0,93mm.

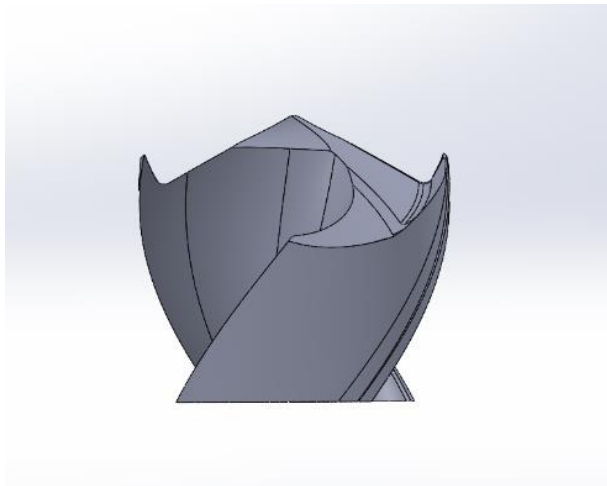


Εικόνα 5.25.:Ολοκληρωμένο το τρυπάνι με μήκος πτερυγίων 0,93mm.

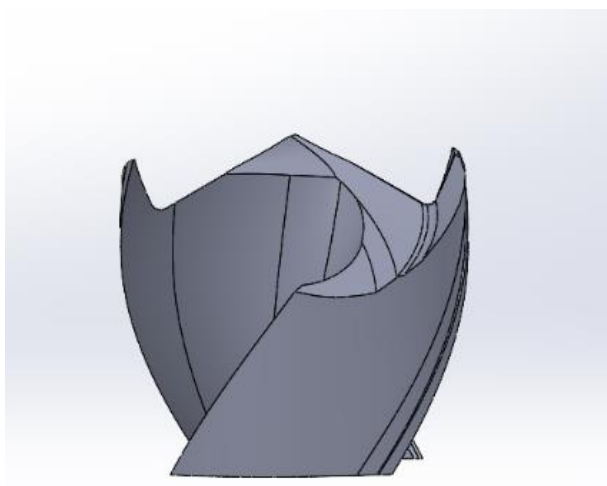
Με αυτό τον τρόπο σχεδιάστηκε το ένα από τα τρία τρυπάνια του οποίου τα πτερύγια για τις απολήξεις έχουν μήκος 0,93mm. Η διαδικασία για τη σχεδίαση των άλλων δυο είναι ακριβώς η ίδια. Η μόνη διαφορά θα είναι στο μήκος των πτερυγίων αφού στο ένα θα είναι το $\frac{1}{4}$ του μήκους της κορυφής (0,465mm) και του άλλου $\frac{3}{4}$ του μήκους της κορυφής(1,395mm).



Εικόνα 5.26.: Η κορυφή του τρυπανιού που σχεδιάστηκε με μήκος πτερυγίων 0,465mm.



Εικόνα 5.27.: Η κορυφή του τρυπανιού που σχεδιάστηκε με μήκος πτερυγίων 0,93mm.



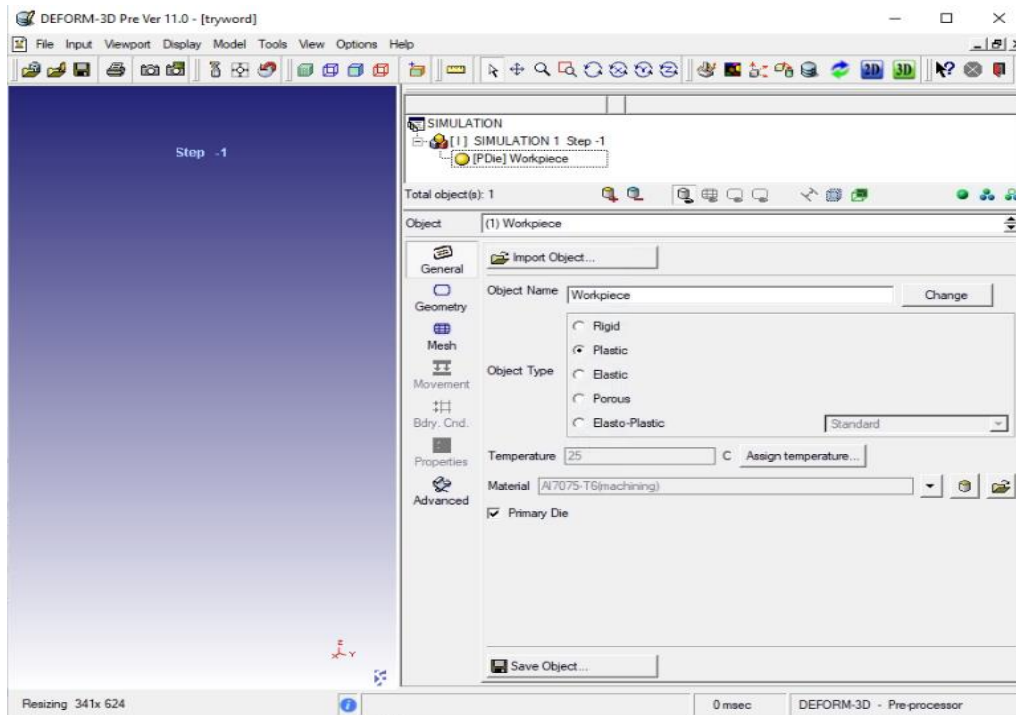
Εικόνα 5.28.: Η κορυφή του τρυπανιού που σχεδιάστηκε με μήκος πτερυγίων 1,395mm.

6. Προσομοίωση κατεργασίας διάτρησης, με χρήση του Deform-3D

Το Deform-3D είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων της εταιρίας Scientific Forming Technologies Corporation που είναι σχεδιασμένο για να αναλύει τρισδιάστατα τη ροή πολύπλοκων διαδικασιών μορφοποίησης μετάλλων. Είναι ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιείται κυρίως για τη βελτιστοποίηση διάφορων γεωμετριών κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στις κατεργασίες με αφαίρεση υλικού ώστε να μειωθεί το κόστος κατασκευής πολλών πρωτότυπων τεμαχίων μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη γεωμετρία. Μέσω του προγράμματος αυτού εξάγονται πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα σχετικά με τις θερμοκρασίες, τις δυνάμεις, τις ροπές και πολλά άλλα που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια μιας κατεργασίας. Έτσι και στην παρούσα διπλωματική έχουν επιλεγεί να πραγματοποιηθούν τρεις προσομοιώσεις μια για κάθε τρυπάνι που σχεδιάστηκε έτσι ώστε να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για τη συγκεκριμένη γεωμετρία τρυπανιού με τα πτερύγια απολήξεων.

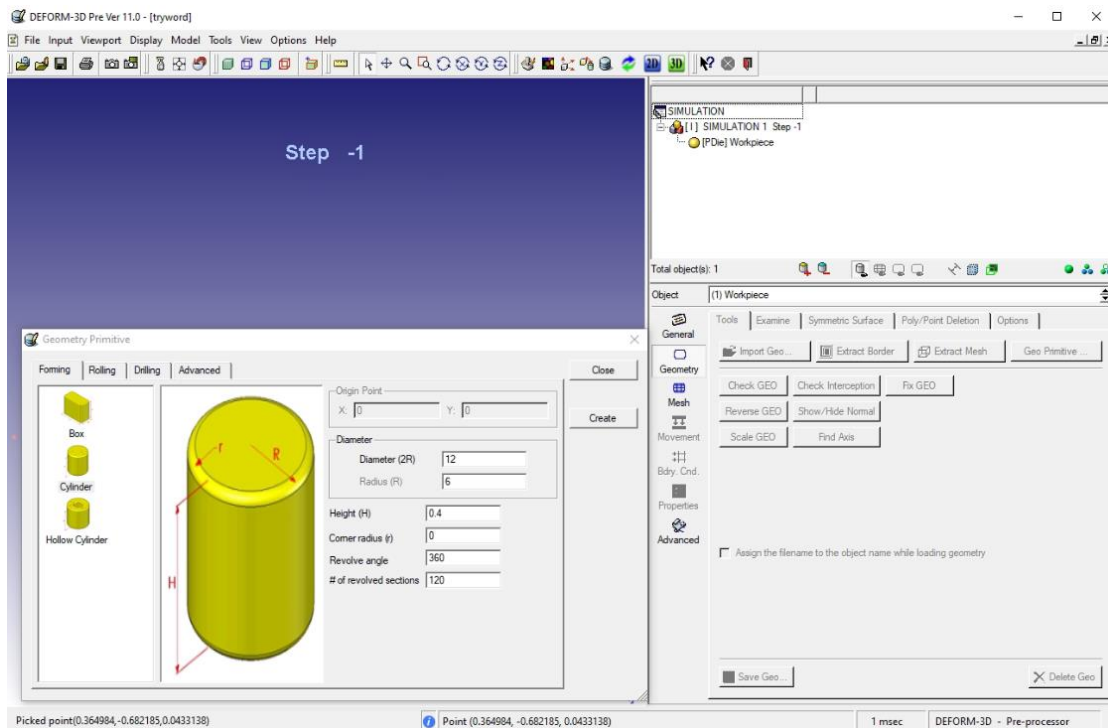
Η κάθε προσομοίωση χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η δημιουργία του μοντέλου στον προ-επεξεργαστή(pre-processor). Στη συνέχεια ακολουθεί το δεύτερο στάδιο όπου μέσω του επιλυτή (solver) πραγματοποιείται η προσομοίωση και τέλος το τρίτο στάδιο όπου εξάγονται τα αποτελέσματα μέσω του μετ-επεξεργαστή(post-processor).

Αρχικά θα πρέπει να στηθεί το πρόβλημα στον προ-επεξεργαστή δηλαδή να δημιουργηθεί το τεμάχιο και να εισαχθεί το τρυπάνι που σχεδιάστηκε στο SolidWorks. Μετά την εκκίνηση του προγράμματος από το κάτω δεξί μέρος θα οριστούν όλες οι παράμετροι για το τεμάχιο. Πρώτα από την καρτέλα του General ορίζεται το είδος του υλικού που για το τεμάχιο είναι το plastic αφού είναι αυτό που θα κατεργαστεί και θα παραμορφωθεί. Επίσης στο σημείο αυτό ορίζεται και η θερμοκρασία που θα έχει το τεμάχιο όταν θα αρχίσει η κατεργασία. Στην παρούσα περίπτωση θα είναι 25°C όσο και η πιο συνηθισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ακόμα ορίζεται και το υλικό που θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Στην παρούσα διπλωματική έχει επιλεγεί το αλουμίνιο 7075-T6, ένα υλικό που είναι ευρέως διαδεδομένο στη αεροπορική βιομηχανία.

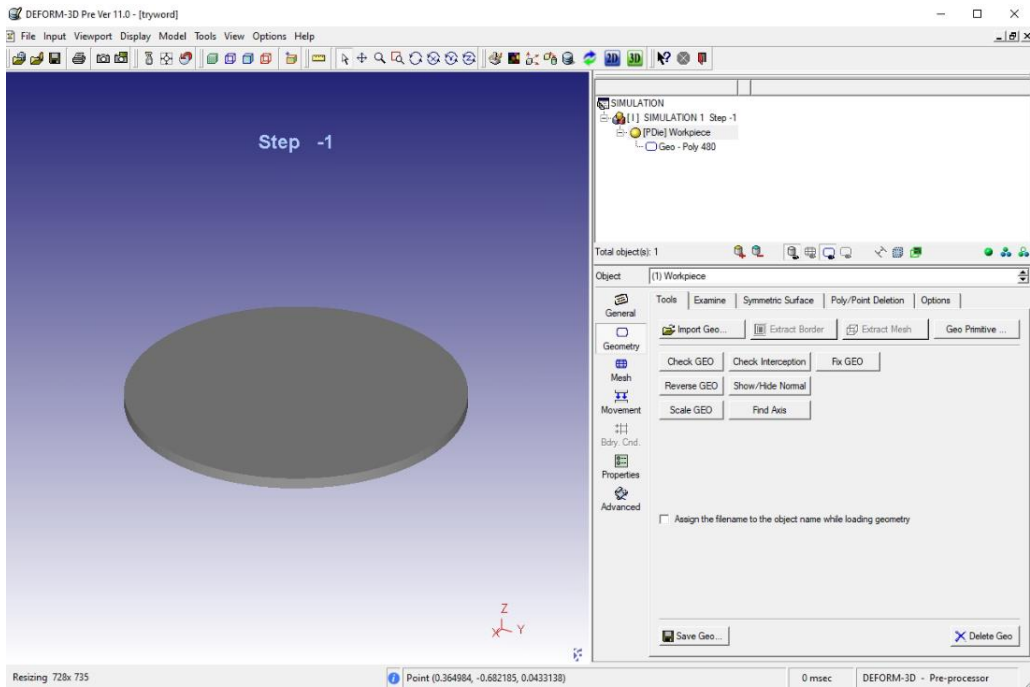


Εικόνα 6.1.: Οι ρυθμίσεις στην καρτέλα του General για το τεμάχιο.

Στη συνέχεια πρέπει να εισαχθεί η κατάλληλη γεωμετρία του τεμαχίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση λόγω της απλότητας του αντικειμένου μπορεί να γίνει μέσα από το ίδιο το πρόγραμμα. Από την καρτέλα του Geometry χρησιμοποιώντας την εντολή Geometry Primitive δημιουργείται ένας κύλινδρος διαμέτρου 12mm και πάχους 0,4mm.

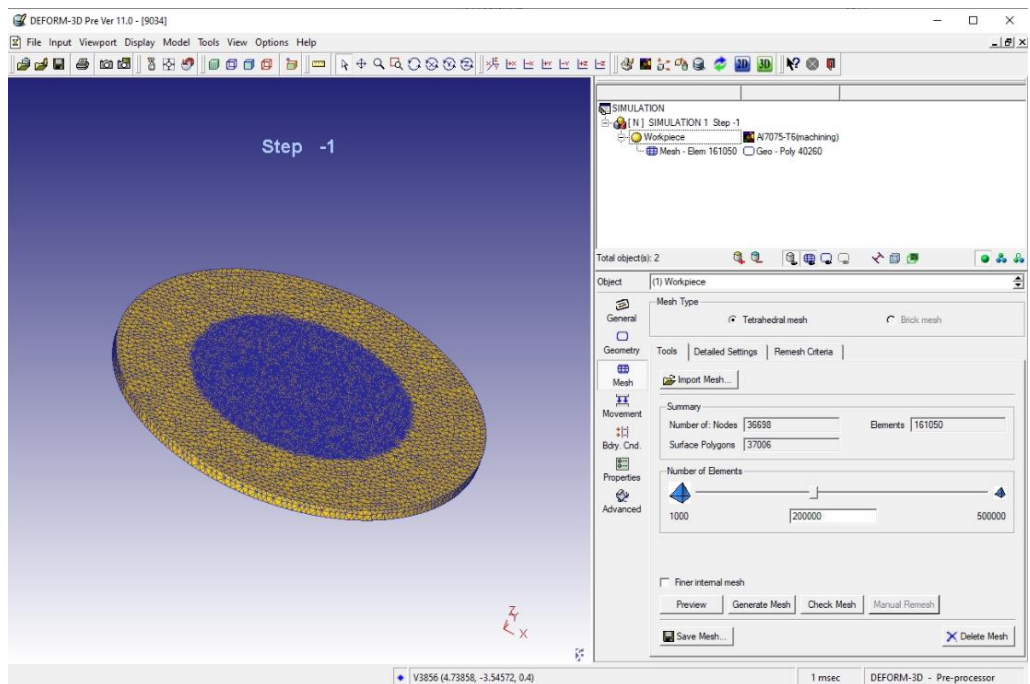


Εικόνα 6.2.: Η δημιουργία του σχήματος του τεμαχίου κατεργασίας.



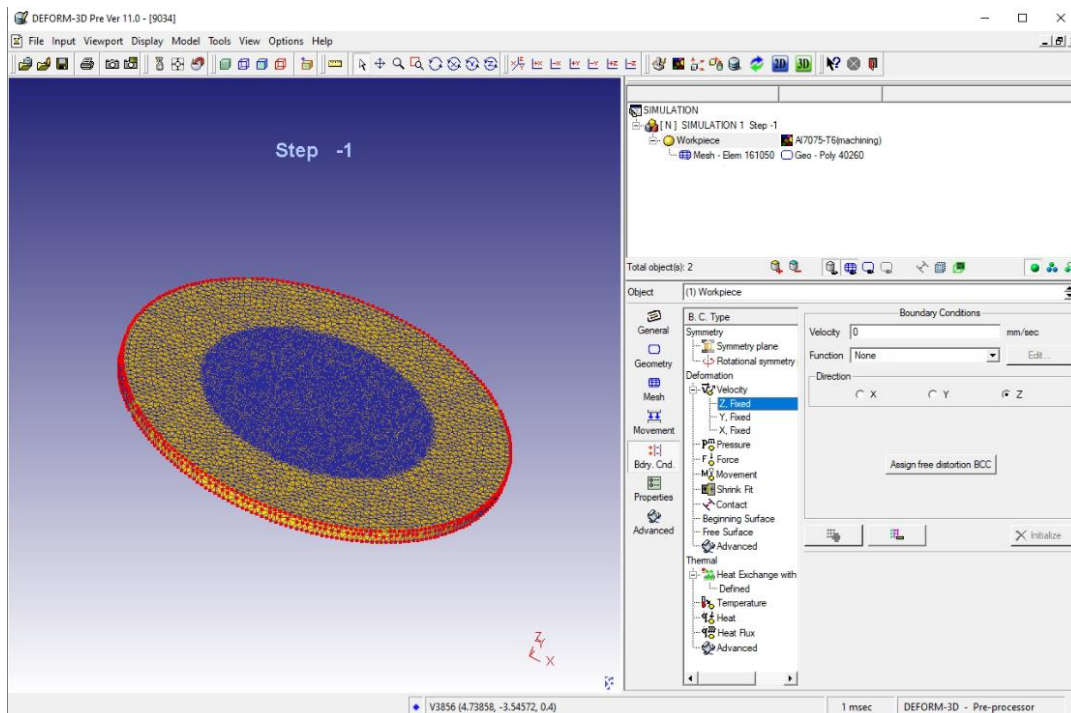
Εικόνα 6.3.: Το τεμάχιο που δημιουργήθηκε.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της διακριτοποίησης που θα έχει το τεμάχιο. Αυτό επιτυγχάνεται από την καρτέλα του Mesh. Από το Mesh επιλέγεται το τμήμα του τεμαχίου που τα στοιχεία θα είναι πιο μικρά και το τμήμα που θα είναι μεγαλύτερα. Τα μικρότερα θα είναι στο σημείο στο οποίο θα γίνει η διάτρηση και τα μεγαλύτερα στο υπόλοιπο τεμάχιο διότι αυτό το μέρος δε θα παραμορφωθεί ιδιαίτερα οπότε δε θα χρειάζονται τόσο μικρά στοιχεία και έτσι η προσομοίωση θα απαιτεί λιγότερη υπολογιστική ισχύ και λιγότερο αποθηκευτικό χώρο.



Εικόνα 6.4.: Το τεμάχιο μετά από την δημιουργία του Mesh.

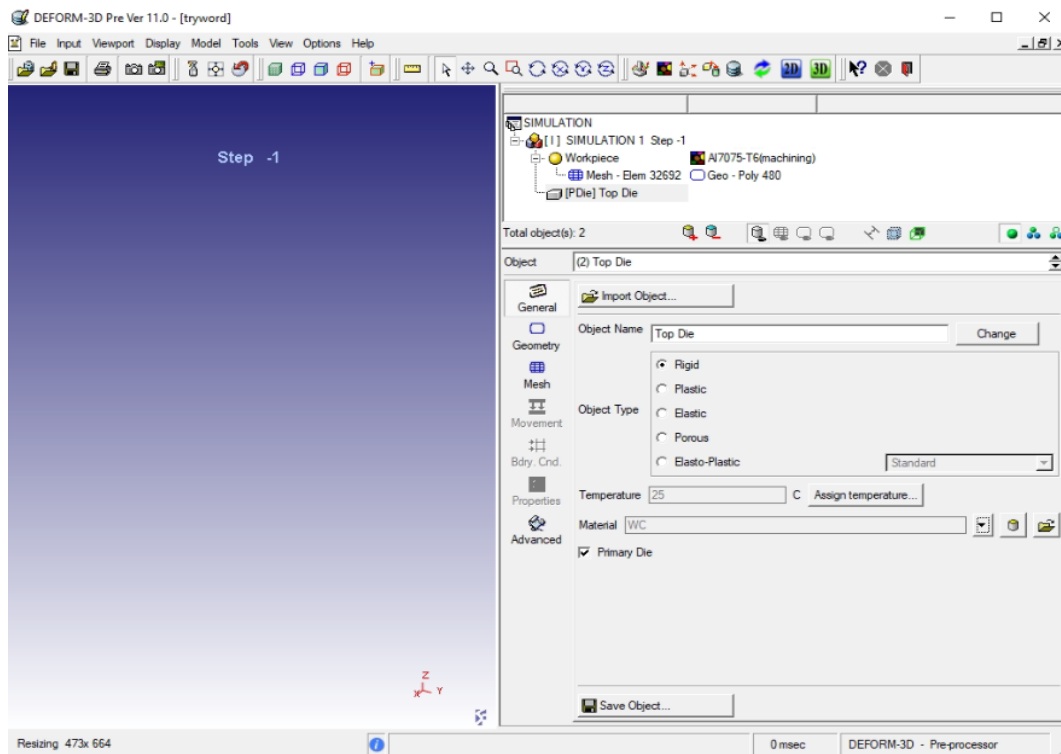
Το τεμάχιο κατά τη διάτρηση δε μετακινείται οπότε από την καρτέλα του Movement δε χρειάζεται να γίνει κάποια αλλαγή. Όμως το τεμάχιο θα πρέπει να παραμείνει πακτωμένο σε μια σταθερή θέση πράγμα που θα γίνει από την καρτέλα του Boundary Conditions. Η πάκτωση που πρέπει να έχει το τεμάχιο είναι και στους τρεις άξονες(x,y,z). Για να επιτευχθεί αυτό επιλέγεται ένα σημείο από την περιφέρεια του τεμαχίου και στην συνέχεια προστίθεται η πάκτωση στον ένα άξονα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τους άλλους δυο άξονες.



Εικόνα 6.5.: Η πάκτωση του τεμαχίου στους τρεις άξονες.

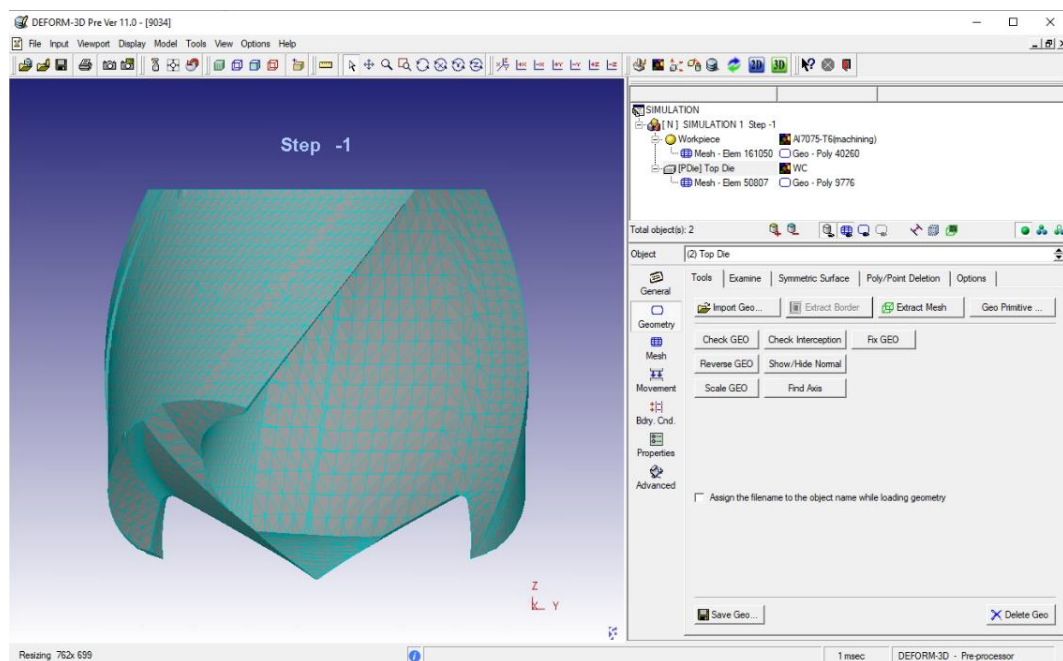
Με την προσθήκη και των πακτώσεων ολοκληρώνεται η διαδικασία του τεμαχίου και ακολουθεί η διαδικασία του τρυπανιού. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας τρυπανιού αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση λόγω της ιδιαίτερης γεωμετρίας τα τρυπάνια έχουν ειδικά σχεδιαστεί στο SolidWorks και θα γίνει εισαγωγή τους με αρχείο τύπου stl.

Αρχικά δημιουργείται ένα νέο αντικείμενο στο πρόγραμμα το οποίο θα είναι το τρυπάνι. Ορίζεται από την καρτέλα του General η θερμοκρασία στους 25°C και ότι το συγκεκριμένο αντικείμενο θα είναι rigid δηλαδή δε θα παραμορφώνεται. Επίσης στο σημείο αυτό γίνεται και η επιλογή του υλικού του εργαλείου το οποίο είναι τα καρβίδια του βολφραμίου(WC).



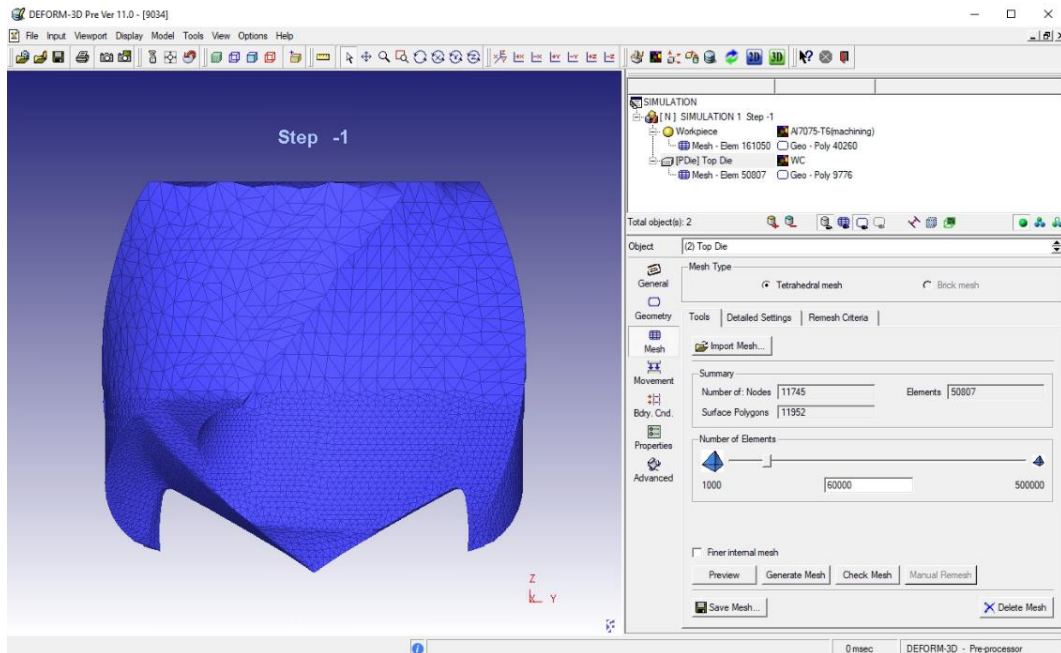
Εικόνα 6.6.: Οι ρυθμίσεις στην καρτέλα του General για το τρυπάνι.

Στη συνέχεια από την καρτέλα του Geometry γίνεται η εισαγωγή του τρυπανιού με την εντολή Import Geometry. Για να μειωθεί ο χρόνος της προσομοίωσης το μήκος του τρυπανιού που εισάγεται είναι μόλις 6mm αφού το τεμάχιο που θα γίνει η διάτρηση είναι 0,4mm και δε χρειάζεται μεγαλύτερο μήκος.



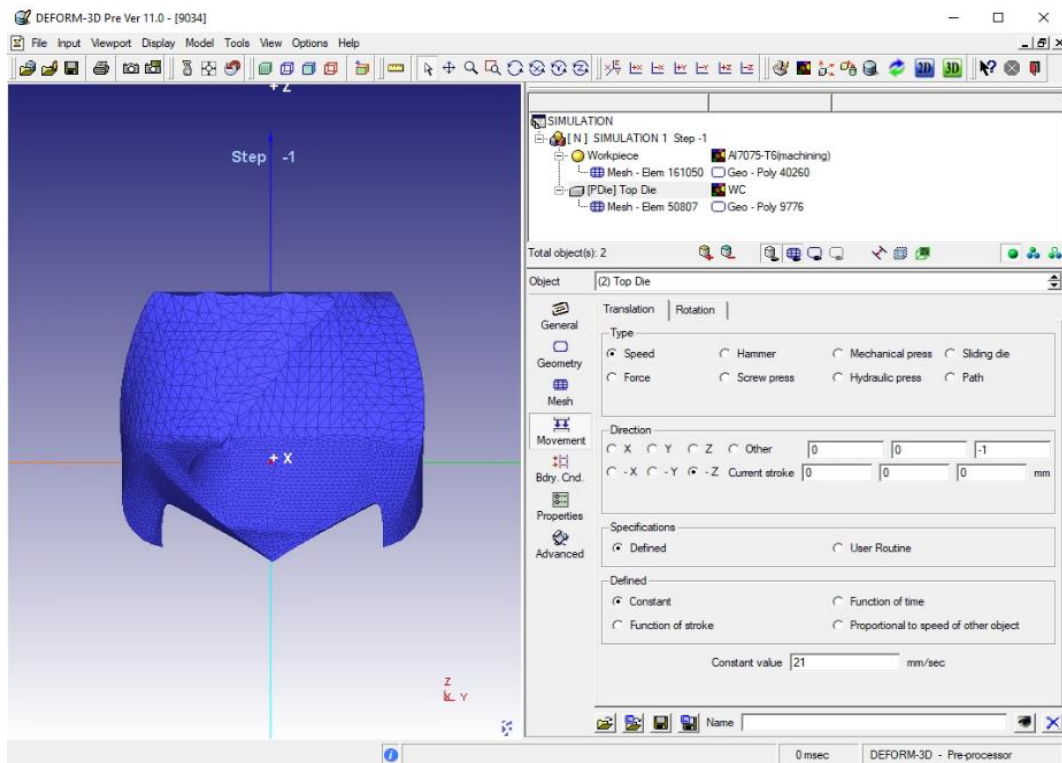
Εικόνα 6.7.: Η εισαγωγή του τρυπανιού στο πρόγραμμα.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της διακριτοποίησης του τρυπανιού η οποία θα γίνει όπως και πριν από την καρτέλα του Mesh. Η κορυφή του τρυπανιού θα έχει μικρότερα στοιχεία από το πίσω μέρος του, διότι αυτό είναι το μέρος με το οποίο θα γίνει η κοπή και θα έρχεται σε επαφή με το τεμάχιο στο οποίο δημιουργείται η οπή. Τα στοιχεία του τρυπανιού θα πρέπει να είναι τρεις φορές μεγαλύτερα από αυτά του τεμαχίου ώστε τα αποτελέσματα να είναι σωστά και η προσομοίωση να τρέχει χωρίς προβλήματα.

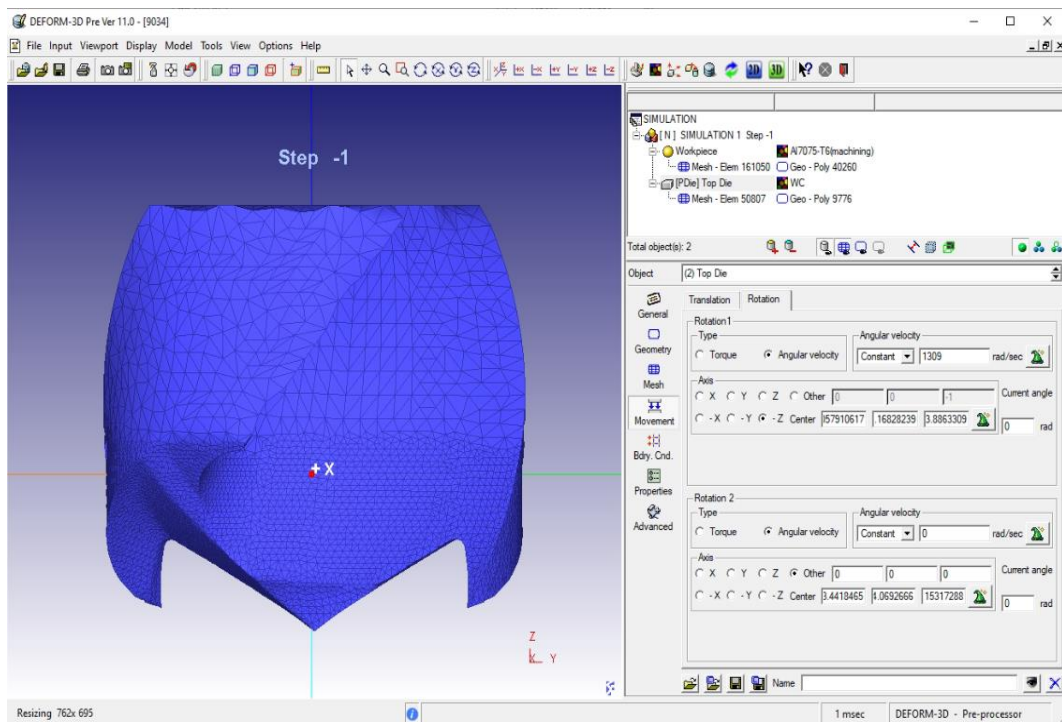


Εικόνα 6.8.: Το τρυπάνι μετά από την δημιουργία του Mesh.

Έπειτα θα πρέπει να οριστεί η πρόωση και οι στροφές που θα έχει το τρυπάνι κατά τη διάτρηση. Αυτό γίνεται από την καρτέλα του Movement. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η μελέτη θα γίνει για μια αργή πρόωση με σχετικά αυξημένες στροφές. Οπότε επιλέγεται η πρόωση να είναι 0,1mm/rev ή 21mm/sec πολλαπλασιάζοντας την με τις στροφές που είναι 12500rpm. Οι τιμές αυτές είναι ίδιες σε όλες τις προσομοιώσεις. Τέλος θα πρέπει να οριστεί και ο άξονας περιστροφής του εργαλείου ο οποίος είναι ο z.



Εικόνα 6.9.: Προσθήκη της πρόωσης στην καρτέλα του Movement(Translation).



Εικόνα 6.10.: Προσθήκη των στροφών και του άξονα περιστροφής από την καρτέλα του Movement(Rotation).

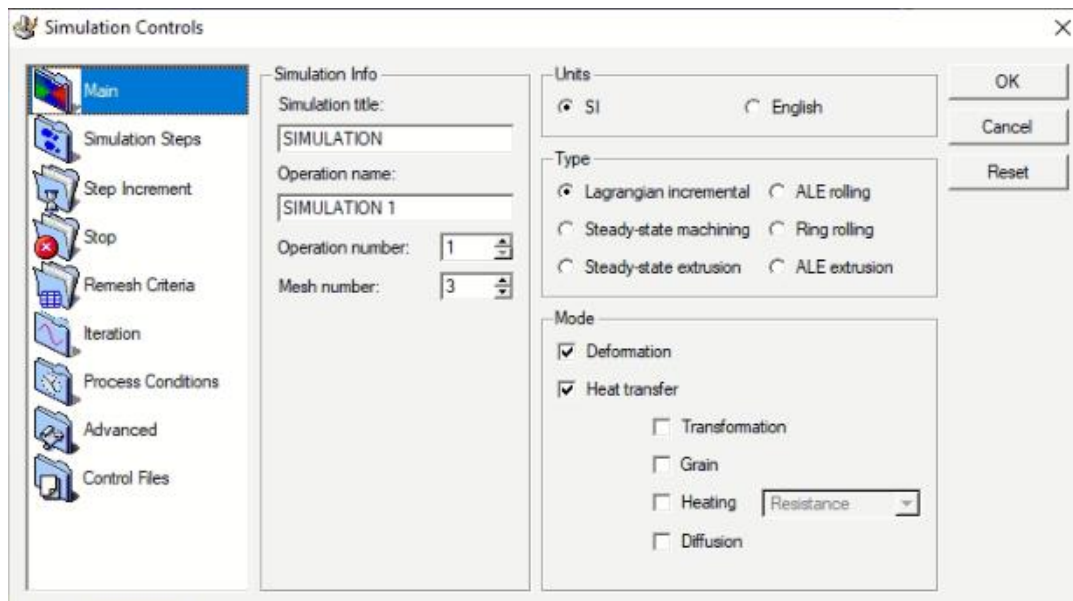
Το τρυπάνι λόγω της μετακίνησής του δεν χρειάζεται κάποια πάκτωση οπότε από την καρτέλα του Boundary Conditions δε χρειάζεται να προστεθεί κάτι. Το επόμενο βήμα είναι να οριστούν οι τριβές που υπάρχουν σε αυτήν την προσομοίωση. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την εντολή Inter-object. Οι τριβές που υπάρχουν στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ανάμεσα στο τρυπάνι και το τεμάχιο αλλά και μεταξύ του τεμαχίου και των αποβλήτων. Ο υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής της μετάδοσης θερμότητας μεταξύ του τρυπανιού και του τεμαχίου αλλά και του τεμαχίου και των αποβλήτων του είναι μια πολύ δύσκολη και απαιτητική μελέτη αφού επηρεάζεται από πάρα πολλούς παράγοντες με κυριότερο τη θερμοκρασία η οποία δεν παραμένει σταθερή. Οπότε κατά τη διάρκεια της διάτρησης μεταβάλλεται και η θερμοκρασία και η τιμή του συντελεστή. Συνεπώς στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται η τιμή $45\text{W/mm}^2\text{C}$ ($\text{N/smm}^2\text{C}$). Για τους συντελεστές τριβής έχει επιλεγεί η τιμή 0,6 ανάμεσα στο τρυπάνι και το τεμάχιο και 0,4 ανάμεσα στο τεμάχιο και τα απόβλητα. [18], [19], [20]



Εικόνα 6.11.: Ορισμός των τριβών και των συντελεστών τους.

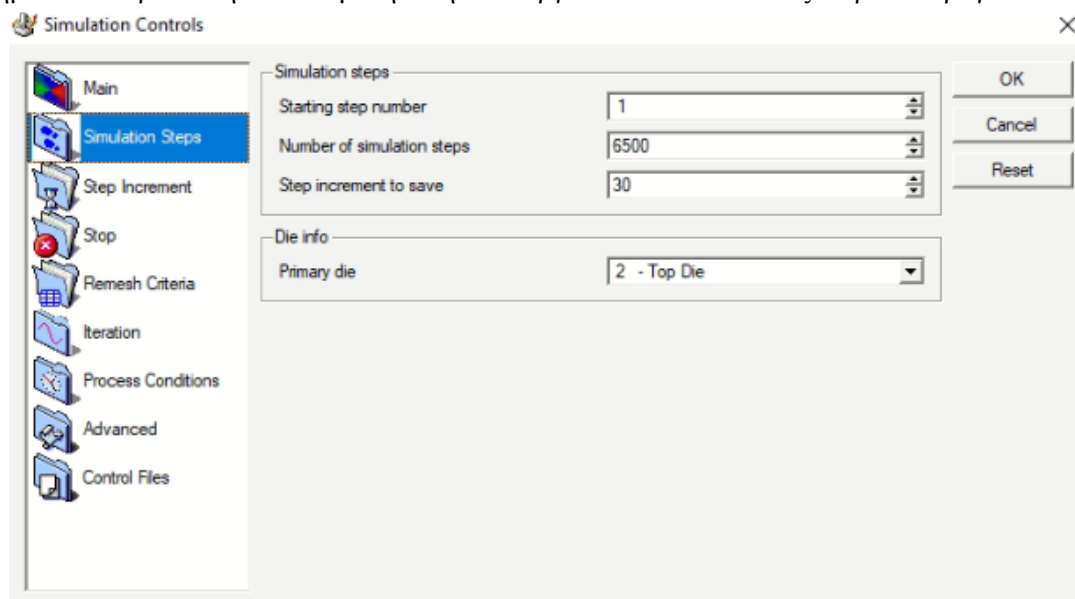
Για να ξεκινήσει μια προσομοίωση θα πρέπει να υπάρχει ένα σημείο επαφής ανάμεσα στο τεμάχιο και στο κοπτικό. Αυτό μπορεί να γίνει με την εντολή Object Positioning που δίνει τη δυνατότητα να μετακινηθεί το τρυπάνι λίγο ώστε να έρθει σε επαφή με το τεμάχιο. Επίσης με την ίδια εντολή μπορεί να μετακινηθεί το τρυπάνι ή το εκάστοτε κοπτικό σε οποιαδήποτε θέση που θα γίνει η κοπή, αν στην αρχή δεν είναι στη θέση στην οποία πρέπει.

Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν τα βήματα και οι παράμετροι της προσομοίωσης μέσα από την εντολή Simulation Control. Από την καρτέλα του Main επιλέγεται το διεθνές σύστημα συντεταγμένων(SI) και η μέθοδος Lagrangian incremental την οποία θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα για να πραγματοποιήσει την προσομοίωση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για κατεργασίες διάτρησης διότι το λογισμικό της είναι εξειδικευμένο γι' αυτές με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος επίλυσής τους. Επίσης αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα να αποθηκεύει όλα τα βήματα της διαδικασίας και να δίνει τη δυνατότητα να γίνεται αναδρομή ώστε να φαίνεται η πρόοδος της διάτρησης σε οποιοδήποτε βήμα.



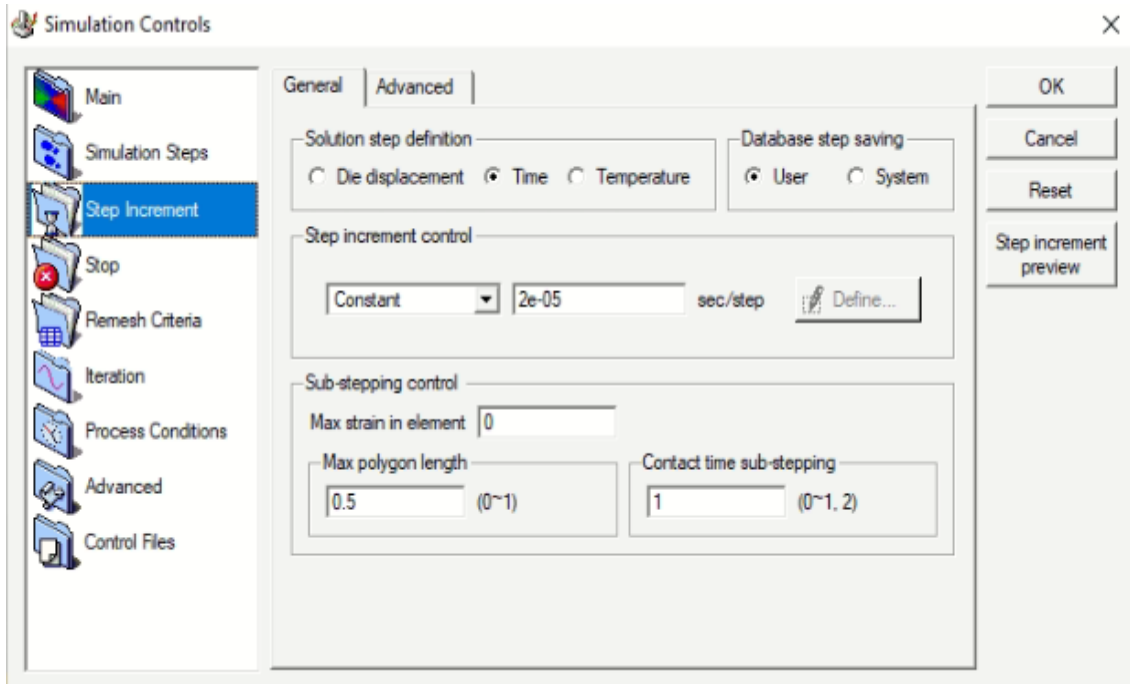
Εικόνα 6.12.: Οι ρυθμίσεις του Main στην εντολή Simulation Control.

Ακολουθεί η καρτέλα του Simulation Steps όπου ορίζεται τα βήματα της προσομοίωσης να είναι 6500. Το βήμα από το οποίο θα ξεκινάει είναι το 1 και ο υπολογιστής θα κάνει αποθήκευση ανά 30 βήματα σε περίπτωση που σταματήσει η λειτουργία του από κάποιο εξωτερικό παράγοντα.

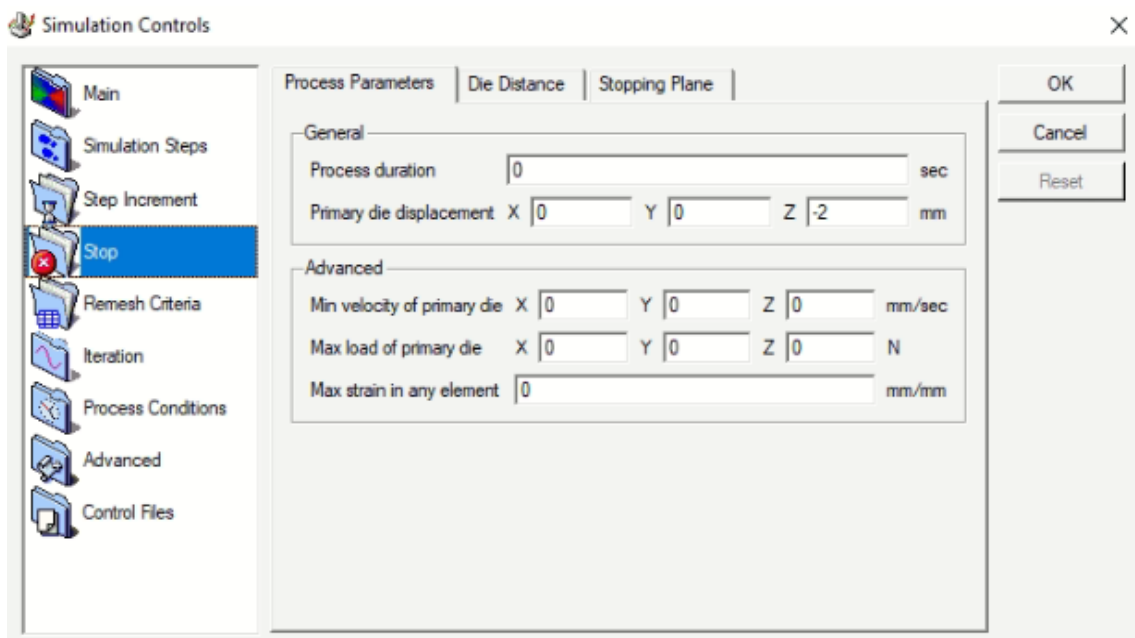


Εικόνα 6.13.: Οι ρυθμίσεις του Simulation Steps στην εντολή Simulation Control.

Στην επόμενη καρτέλα του Step Increment ορίζεται ο λόγος των δευτερολέπτων προς τα βήματα της προσομοίωσης, δηλαδή ο χρόνος διάρκειας κάθε βήματος. Και τέλος από την καρτέλα Stop επιλέγεται ο τερματισμός της προσομοίωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλεγεί να σταματάει ,όταν το κοπτικό έχει διανύσει απόσταση 2mm στον άξονα z, γιατί τότε θα έχει εξέλθει ολόκληρη η κορυφή του τρυπανιού από το τεμάχιο μιας και το ύψος της και στα τρία τρυπάνια είναι 1,86mm.

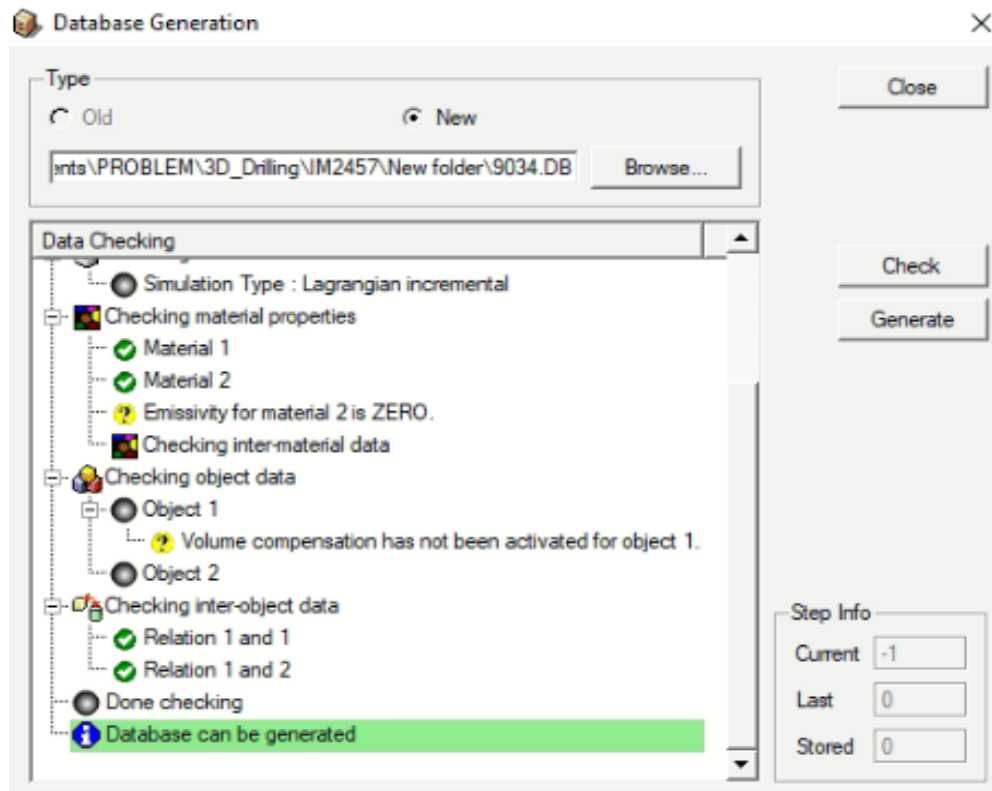


Εικόνα 6.14.: Οι ρυθμίσεις στην καρτέλα του Step Increment στην εντολή Simulation Control.



Εικόνα 6.15.: Οι ρυθμίσεις στην καρτέλα Stop στην εντολή Simulation Control.

Το τελευταίο στάδιο για την ολοκλήρωση μιας προσομοίωσης στον προ-επεξεργαστή είναι από την καρτέλα Database Generation να γίνει έλεγχος μέσω του Check όλων των προηγούμενων βημάτων και έπειτα να επιλεγεί το Generate δημιουργώντας μια βάση δεδομένων στο φάκελο που έχει οριστεί να γίνει η αποθήκευση της προσομοίωσης.



Εικόνα 6.16.: Η ολοκλήρωση της προσομοίωσης και η δημιουργία της βάσης δεδομένων.

Μετά την ολοκλήρωση του σταδίου του προ-επεξεργαστή ακολουθεί το στάδιο που θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Αυτό γίνεται από την αρχική καρτέλα του προγράμματος επιλέγοντας το αρχείο που δημιουργήθηκε από το Generate και πατώντας την εντολή Run από το Simulation. Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης ο μετ-επεξεργαστής δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής πάρα πολλών πληροφοριών για την προσομοίωση. Μεταξύ αυτών είναι και διαγράμματα με τις δυνάμεις που ασκούνται στο τρυπάνι αλλά και οι θερμοκρασίες οι οποίες αναπτύσσονται κατά την κοπή. Για τα αποτελέσματα θα γίνει εκτενής αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο.

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω αφορά τη μια προσομοίωση, για τις άλλες δύο ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται το ίδιο τεμάχιο. Δηλαδή για να στηθούν οι άλλες δυο απλά αντιγράφεται το αρχείο της πρώτης και στη συνέχεια διαγράφεται το τρυπάνι και προστίθεται το αντίστοιχο τρυπάνι που θα τρέξει η προσομοίωση ακολουθώντας τα βήματα που έγιναν παραπάνω γι' αυτό. Διατηρώντας το ίδιο τεμάχιο, πρόωση και στροφές επιτυγχάνεται μια καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των τριών περιπτώσεων που μελετώνται στην παρούσα διπλωματική.

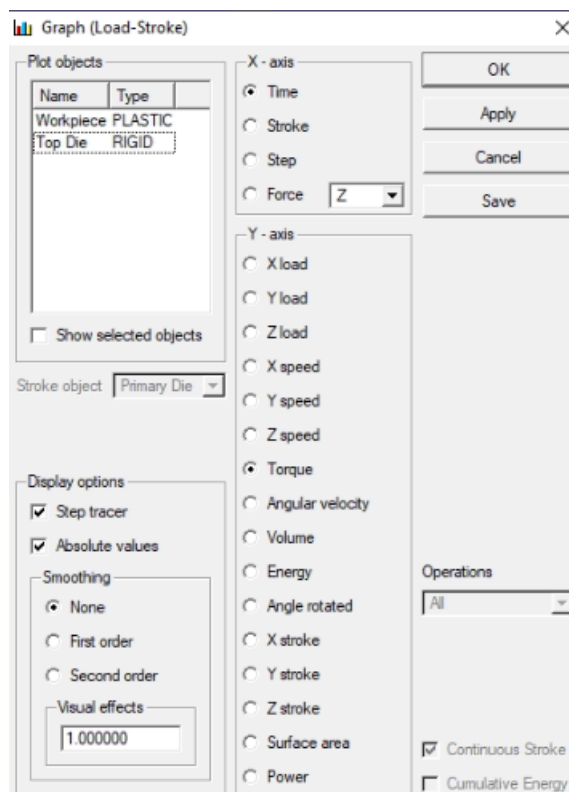
7. Αποτελέσματα

Οι παράμετροι που θα συγκριθούν ανάμεσα στα τρία διαφορετικά τρυπάνια είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται και στους τρεις άξονες x,y και z αλλά και η ροπή. Επίσης οι μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε τεμάχιο και εργαλείο παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο διότι μελετάται διάτρηση αλουμινίου που είναι ένα όλκιμο υλικό και παρατηρούνται αρκετά προβλήματα όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές. Το τελευταίο στοιχείο σύγκρισης είναι οι απολήξεις εξόδου που έχει κάθε γεωμετρία το οποίο θα γίνει με οπτικό έλεγχο στο τεμάχιο μετά την ολοκλήρωση της διάτρησης.

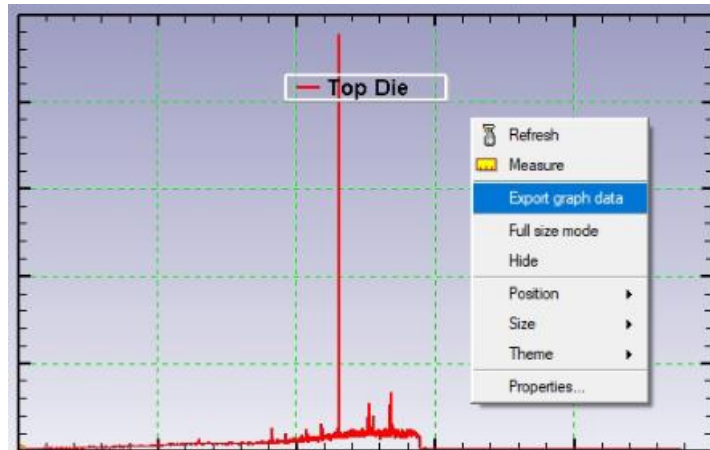
Το Deform-3D δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων για όλες τις παραμέτρους της προσομοίωσης. Ένα πρόβλημα όμως που παρατηρείται είναι ότι στα διαγράμματα αυτά υπάρχει αρκετός ήχος, δηλαδή σημεία με μεγάλη απόκλιση από την πραγματική τιμή. Για την αντιμετώπισή του γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα και μετά η επεξεργασία τους στο Excel.

7.1. Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το Deform-3D

Το πρώτο στάδιο για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι το άνοιγμα του μετ-επεξεργαστή από την αρχική καρτέλα του προγράμματος. Στη συνέχεια από την καρτέλα του Graphs επιλέγεται στον άξονα x ο χρόνος και στον άξονα y για παράδειγμα η ροπή και πατώντας το Apply εμφανίζεται το διάγραμμα της ροπής. Για να γίνει η εξαγωγή κάνουμε πάνω στο διάγραμμα δεξί κλικ, επιλέγουμε την εντολή Export graph data και έτσι αποθηκεύονται οι τιμές του διαγράμματος σε φάκελο στον υπολογιστή, δηλαδή η τιμή που έχει η ροπή σε κάθε χρονική στιγμή. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε όλες τις προσομοιώσεις για τις δυνάμεις και τις ροπές.

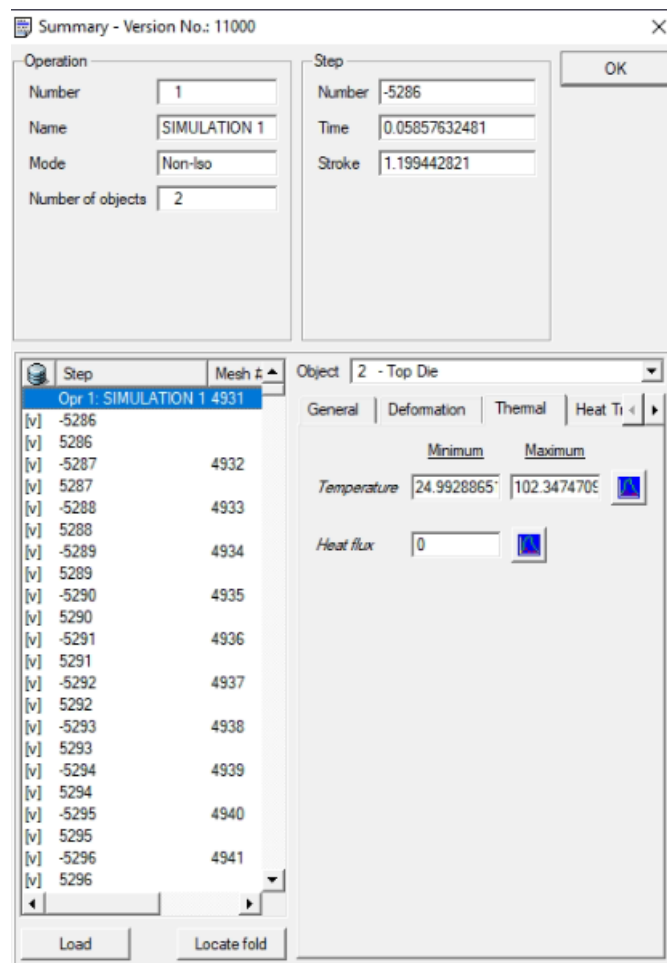


Εικόνα 7.1.: Η καρτέλα του Graph.



Εικόνα 7.2.: Η εντολή Export graph data.

Η διαδικασία για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της θερμοκρασίας του τεμαχίου και του τρυπανιού είναι λίγο διαφορετική. Από την καρτέλα του Summary κλικάροντας το Thermal και επιλέγοντας το αντικείμενο αναφοράς δημιουργείται ένα διάγραμμα όπου με τον ίδιο τρόπο αποθηκεύονται τα αποτελέσματα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε όλες τις προσομοιώσεις για τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται.

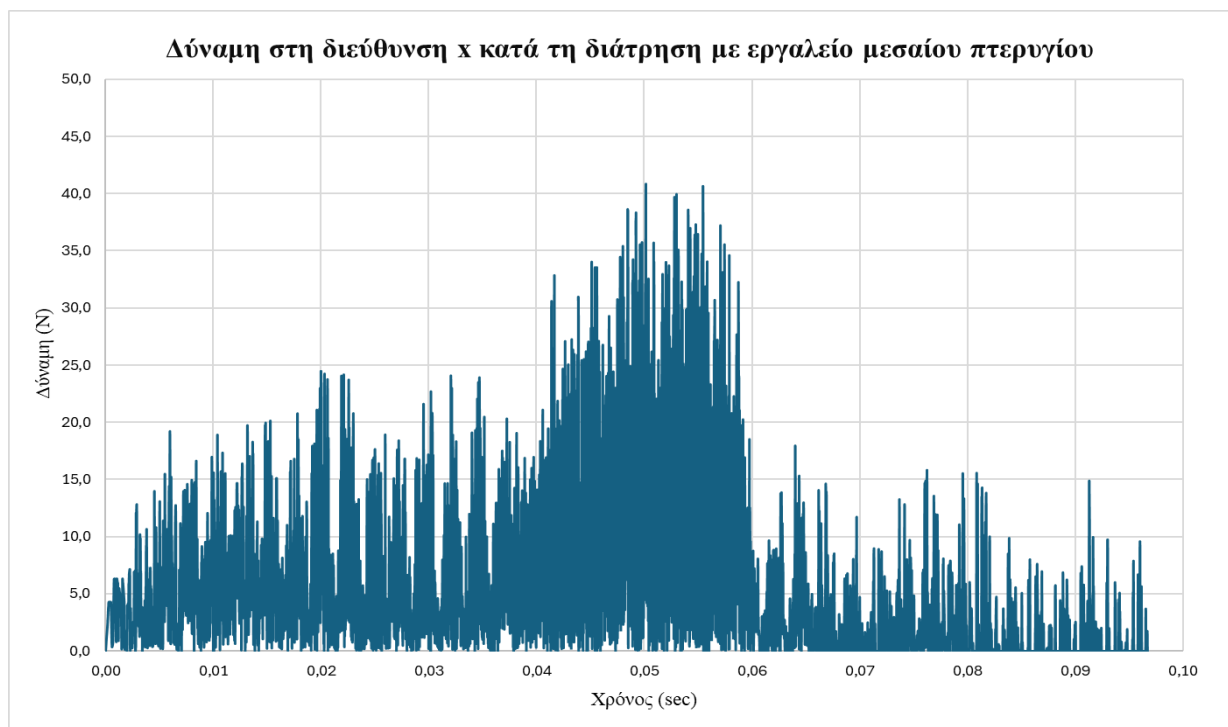


Εικόνα 7.3.: Η καρτέλα του Summary.

7.2. Επεξεργασία αποτελεσμάτων στο Excel

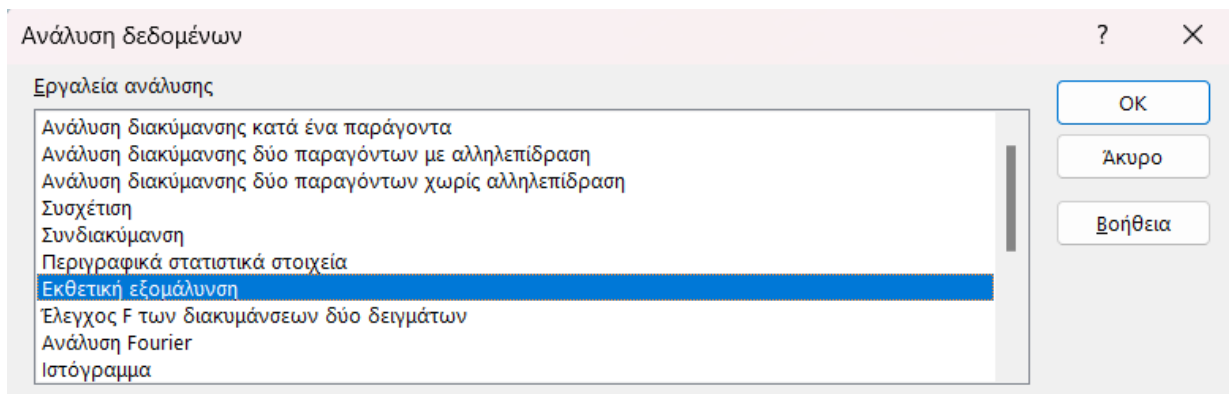
Αφού έχουν εξαχθεί οι τιμές των αποτελεσμάτων από το Deform-3D για να γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις θα πρέπει να γίνει επεξεργασία τους στο Excel. Η περιγραφή που ακολουθεί αναφέρεται στη δύναμη F_x για την προσομοίωση τρυπανιού με μεσαίο πετρώγιο απολήξεων.

Η διαδικασία ξεκινάει με την εισαγωγή των δεδομένων σε μια καρτέλα στο λογισμικό. Δημιουργούνται δυο στήλες μια για τον χρόνο και μια για την τιμή που έχει η F_x . Αρχικά δημιουργείται ένα διάγραμμα όπου στον οριζόντιο άξονα θα έχει τον χρόνο και στον κατακόρυφο την τιμή της δύναμης όπως φαίνεται στην εικόνα 7.4.. Στο διάγραμμα αυτό υπάρχει το φαινόμενο του ήχου, δηλαδή οι τιμές έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εξαχθεί ένα σωστό συμπέρασμα για την πορεία που έχει η δύναμη κατά τη διάτρηση.

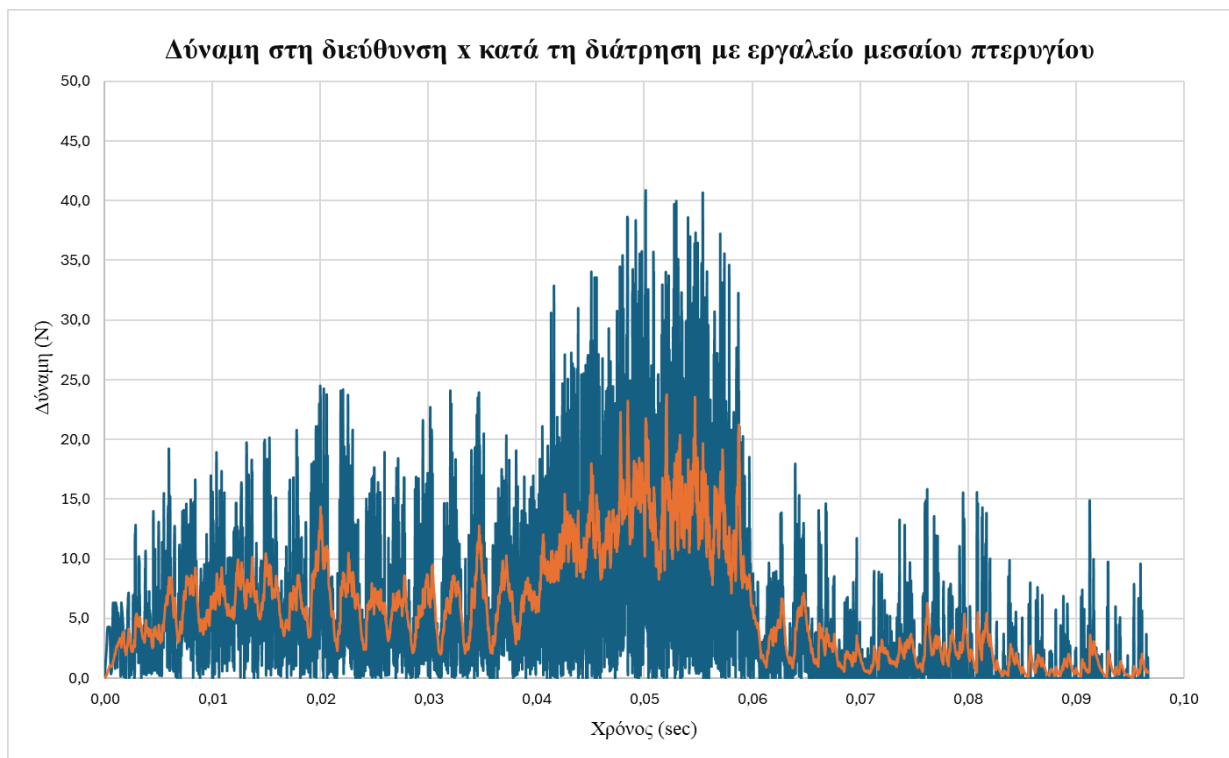


Εικόνα 7.4.: Το αρχικό διάγραμμα της δύναμης F_x χωρίς επεξεργασία των τιμών.

Στο λογισμικό του Excel επιλέγοντας την καρτέλα Δεδομένα και στη συνέχεια την ανάλυση δεδομένων υπάρχει η συνάρτηση της εκθετικής εξομάλυνσης με την οποία μπορούν τα αποτελέσματα να βελτιωθούν. Η συνάρτηση αυτή έχει ως είσοδο τις τιμές που θα επεξεργαστεί και το συντελεστή απόσβεσης που θα χρησιμοποιήσει, ο οποίος μπορεί να πάρει τιμές από 0^+ έως 1. Όταν η τιμή είναι πολύ κοντά στο 0 τότε η συνάρτηση επηρεάζει ελάχιστα τα αποτελέσματα ενώ όταν πάρει την τιμή 1 όλες οι τιμές είναι ίσες με την πρώτη τιμή. Ουσιαστικά η συνάρτηση αυτή λειτουργεί δίνοντας βαρύτητα στην προηγούμενη τιμή που υπολόγισε κατά το συντελεστή απόσβεσης και κατά 1- τον συντελεστή απόσβεσης στην πραγματική τιμή που υπάρχει για την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η τιμή με την οποία υπάρχουν τα καλύτερα αποτελέσματα στα συγκεκριμένα διαγράμματα είναι το 0,93. Η συνάρτηση αυτή εφαρμόζεται για όλες τις τιμές της δύναμης και για τις νέες τιμές που δημιουργούνται προστίθεται και μια νέα καμπύλη στο διάγραμμα.



Εικόνα 7.5.: Η συνάρτηση της εκθετικής εξομάλυνσης.



Εικόνα 7.6.: Η διαφορά ανάμεσα στην αρχική καμπύλη με μπλε και με την εφαρμογή της εκθετικής συνάρτησης με πορτοκαλί.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για τις τρεις δυνάμεις, τη ροπή αλλά και για τις θερμοκρασίες σε όλες τις προσομοιώσεις. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνονται τα διαγράμματα για να είναι εμφανής η πορεία που υπάρχει στη διάτρηση.

7.3. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Έχοντας χρησιμοποιήσει τη συνάρτηση της εκθετικής εξομάλυνσης του Excel για όλες τις παραμέτρους όλων των προσομοιώσεων τα διαγράμματα βελτιώθηκαν αρκετά και πλέον μπορεί να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα για τις γεωμετρίες.

7.3.1. Αποτελέσματα για το τρυπάνι με μικρό πτερύγιο απολήξεων

Οι πρώτοι παράγοντες που θα παρουσιαστούν είναι οι δυνάμεις στους τρεις άξονες. Στους άξονες x και y τα διαγράμματα έχουν την ίδια ημιτονοειδή μορφή. Αυτή δείχνει την αύξηση της τιμής των δυνάμεων από τη χρονική στιγμή 0,06 που τα πτερύγια έρχονται σε επαφή με το τεμάχιο μέχρι και την έξοδο του κοπτικού από το τεμάχιο τη στιγμή 0,082. Μετά παρατηρείται μείωση των τιμών των δυνάμεων λόγω της ολοκλήρωσης της οπής, αλλά οι τιμές τους δε μηδενίζονται..

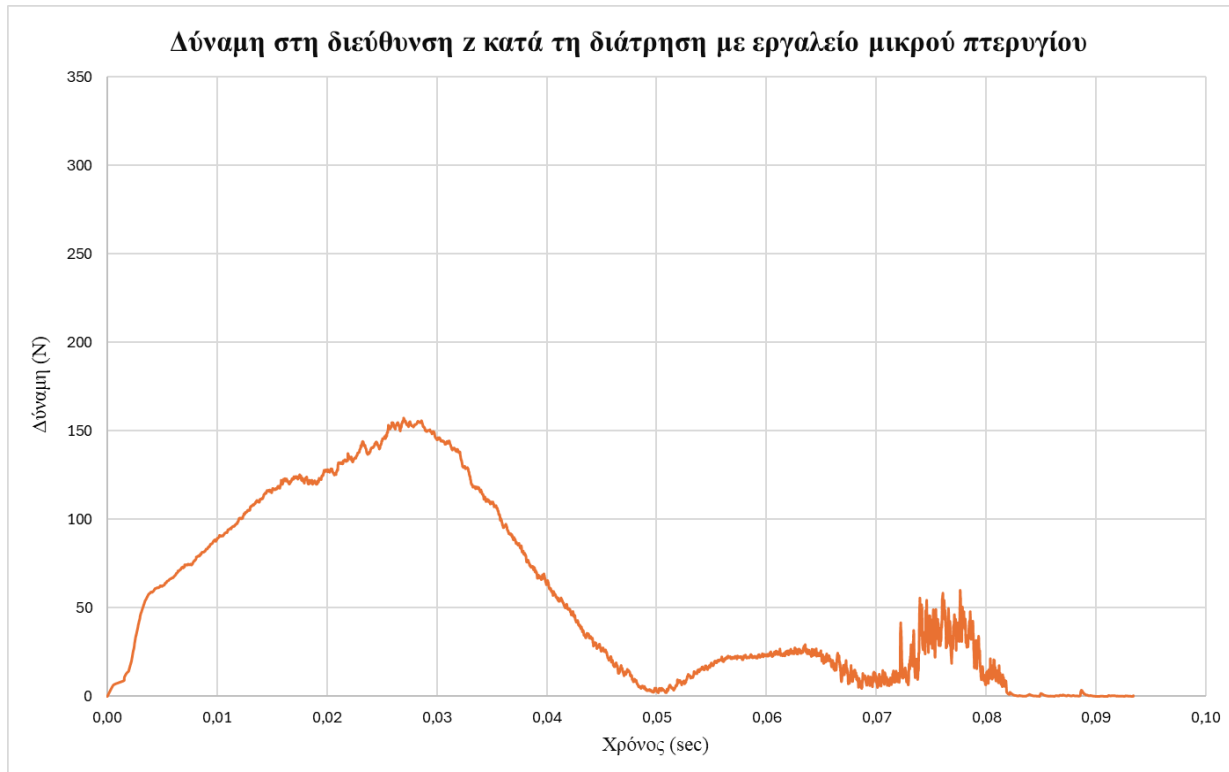


Εικόνα 7.7.: Η δύναμη στον άξονα x για τρυπάνι μικρού πτερυγίου.



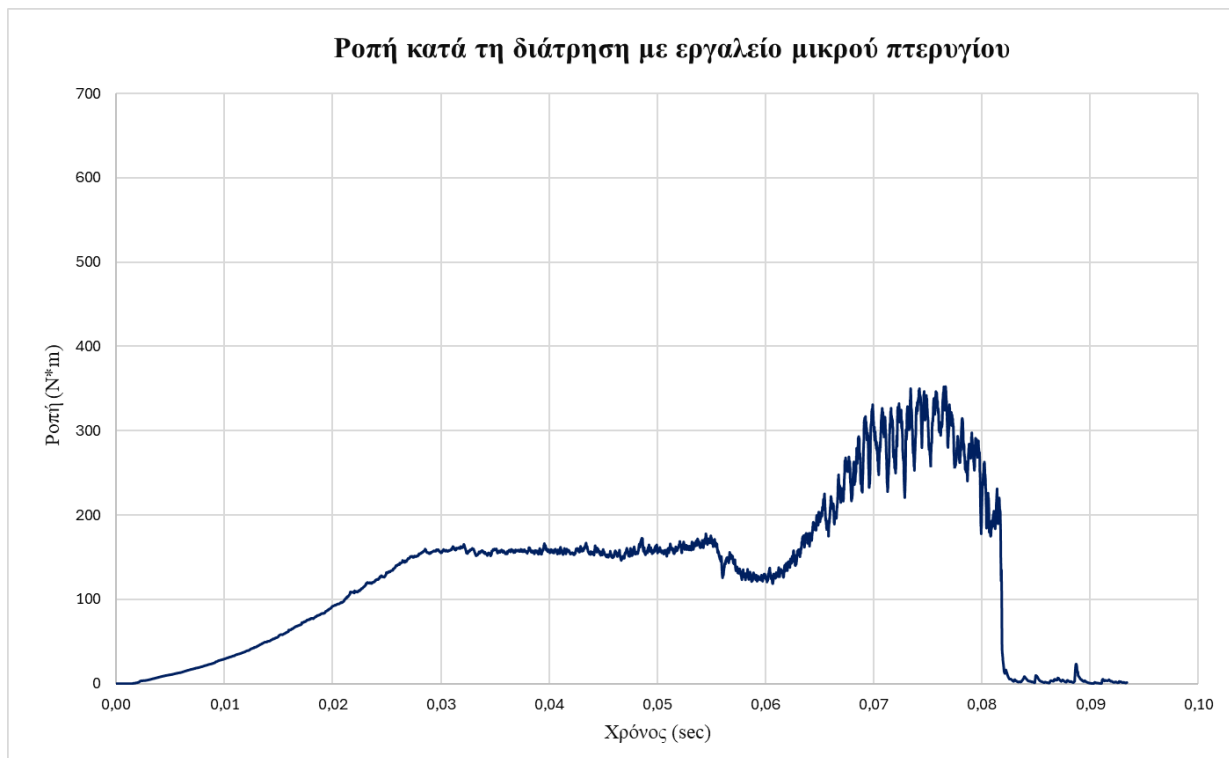
Εικόνα 7.8.: Η δύναμη στον άξονα y για τρυπάνι μικρού πτερυγίου.

Η επόμενη δύναμη είναι η δύναμη αντίστασης στη διάτρηση στον άξονα z. Η γραφική της παράσταση είναι αρκετά διαφορετική από αυτή των άλλων δυο δυνάμεων. Αυξάνεται με πολύ γρήγορο ρυθμό από την αρχή μέχρι και τη χρονική στιγμή 0,03 με μέγιστη τιμή τα 160N και μετά μειώνεται μέχρι να μηδενίσει τη στιγμή 0,05. Έπειτα μαζί με την εισαγωγή των πτερυγίων μέσα στο τεμάχιο αρχίζει να αυξάνεται ξανά, όσο τα πτερύγια είναι εντός του τεμαχίου, αλλά όχι στο βαθμό που ήταν στην αρχή. Με την εξαγωγή του τρυπανιού μηδενίζεται και η τιμή της.



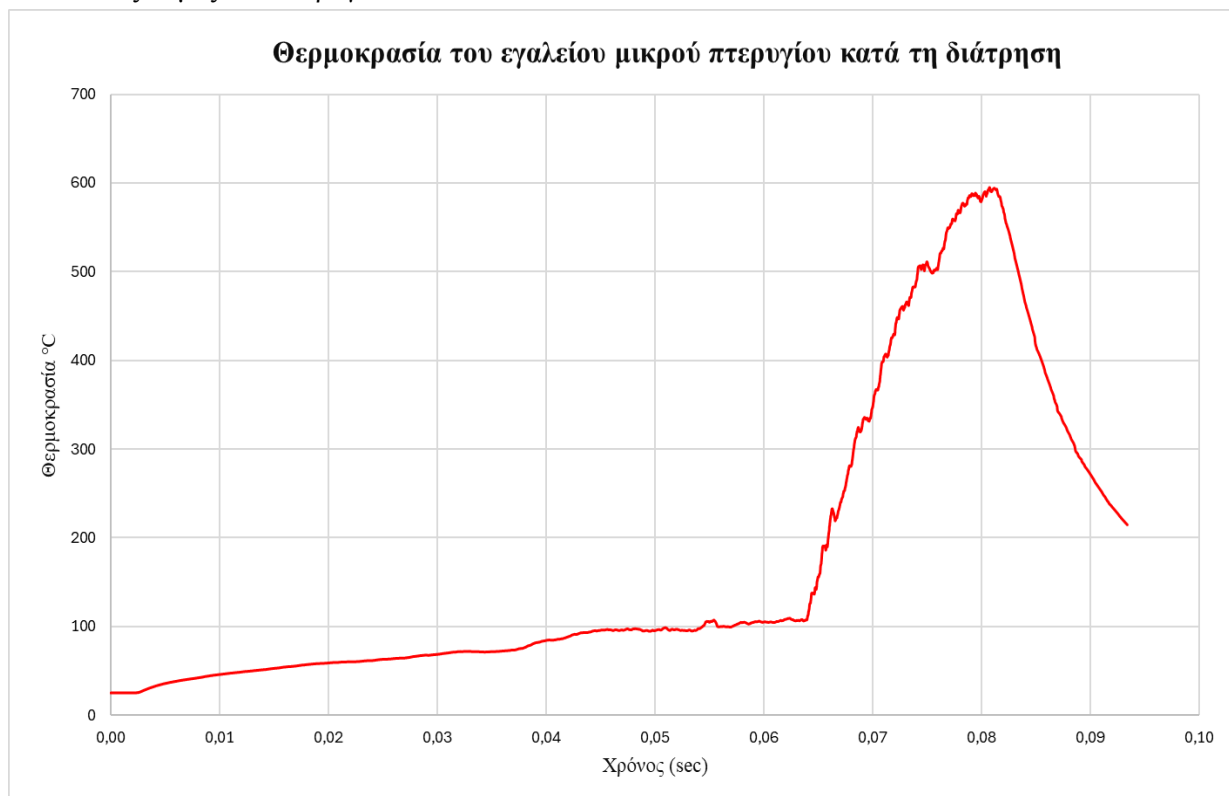
Εικόνα 7.9.: Η δύναμη στον άξονα z για τρυπάνι μικρού πτερυγίου.

Εκτός από τις δυνάμεις σημαντικό ρόλο στη διάτρηση παίζει η ροπή που αναπτύσσεται. Η ροπή αυξάνεται μέχρι τη στιγμή 0,03, ενώ μετά παραμένει σταθερή μέχρι τη στιγμή που ξεκινούν τα πτερύγια να έρχονται σε επαφή με το τεμάχιο. Τότε αυξάνεται ξανά μέχρι που μηδενίζεται απότομα με την ολοκλήρωση της διάτρησης.



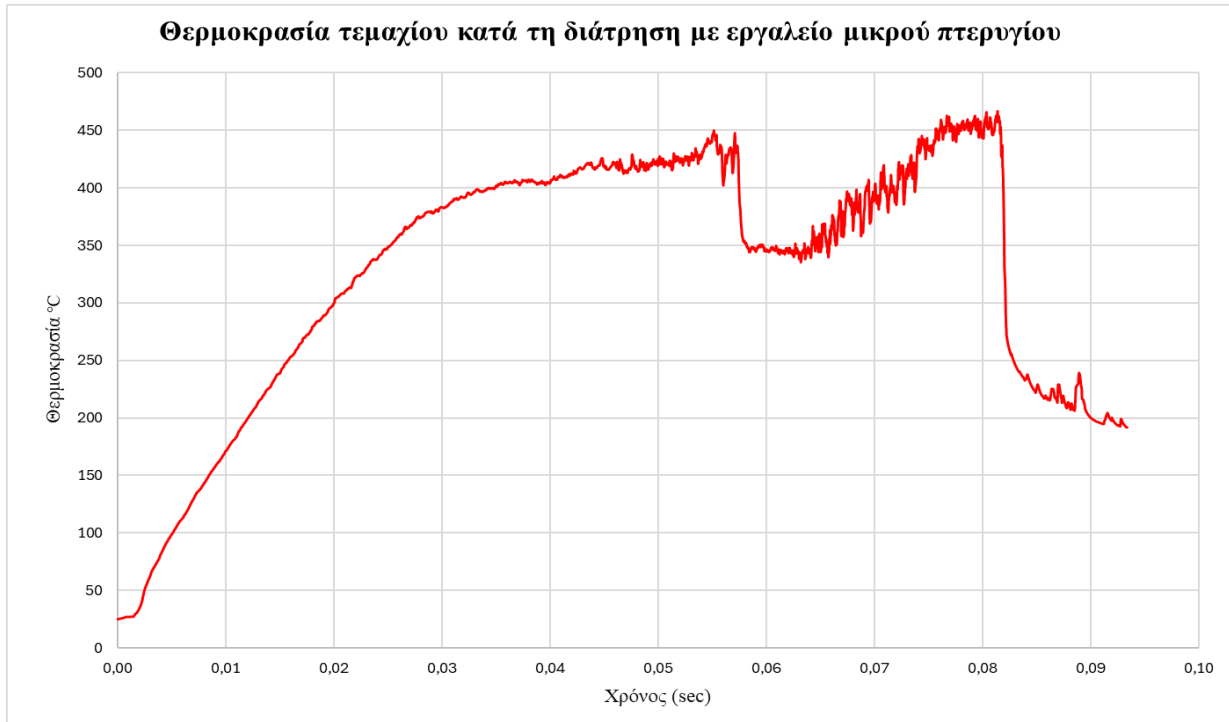
Εικόνα 7.10.: Η ροπή για τρυπάνι μικρού πτερυγίου.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. Η θερμοκρασία του εργαλείου έχει μια ομαλή αύξηση μέχρι τη στιγμή 0,06, ενώ μετά ξεκινάει μια απότομη αύξησή της μέχρι την ολοκλήρωση της διάτρησης και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται, αφού πλέον δεν παράγεται άλλη θερμότητα. Η μέγιστη τιμή που φτάνει είναι οι 600°C που τοπικά βρίσκεται πάνω στις ακμές των πτερυγίων.

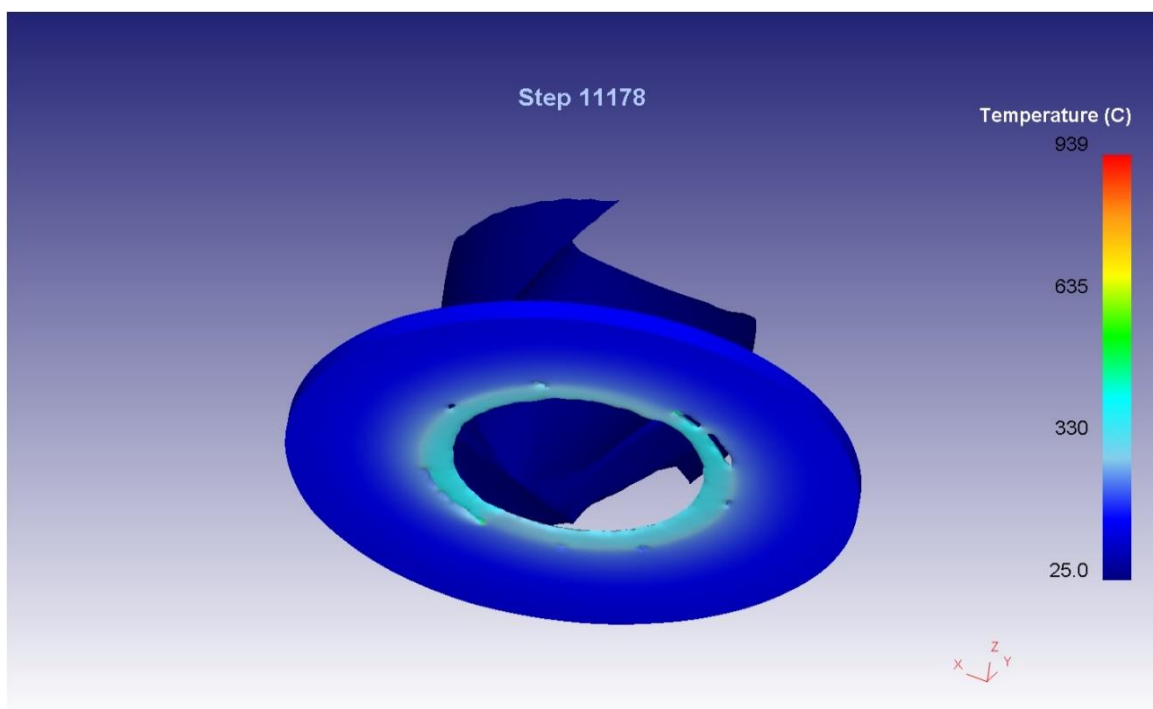


Εικόνα 7.11.: Η θερμοκρασία του τρυπανιού μικρού πτερυγίου.

Η θερμοκρασία του τεμαχίου έχει διαφορετική γραφική παράσταση από αυτή του εργαλείου. Από την αρχή ξεκινάει να αυξάνεται, αλλά λόγω του μικρού πάχους του τεμαχίου, όταν η κορυφή του τρυπανιού εξέλθει από αυτό, παρατηρείται μια απότομη μείωση της θερμοκρασίας εξαιτίας της μεγαλύτερης επιφάνειας που έρχεται σε επαφή με τον αέρα και ψύχεται. Αυτό συμβαίνει πριν ξεκινήσουν να εισέρχονται τα πτερύγια. Με την εισαγωγή τους όμως η θερμοκρασία αυξάνεται ξανά μέχρι και τους 465°C. Με την ολοκλήρωση της σπής υπάρχει απότομη μείωση μέχρι να φτάσει τη θερμοκρασία που έχουν τα τοιχώματα της σπής.



Εικόνα 7.12.: Η θερμοκρασία του τεμαχίου κατά τη διάτρηση με τρυπάνι μικρού πτερυγίου.



Εικόνα 7.13.: Λίγο πριν την ολοκλήρωση της σπής με εργαλείο μικρού πτερυγίου.

Μετά από την ολοκλήρωση της σπής παρατηρείται ότι δεν υπάρχει φαινόμενο απολήξεων κατά την έξοδο, αλλά υπάρχει πρόβλημα κατά την εισαγωγή του τρυπανιού, όπου δημιουργούνται απολήξεις εισόδου. Η ποιότητα των τοιχωμάτων της σπής έχει επηρεαστεί έντονα από την αναπτυσσόμενη θερμότητα λόγω της συνεχόμενης επαφής των πτερυγίων με αυτά.



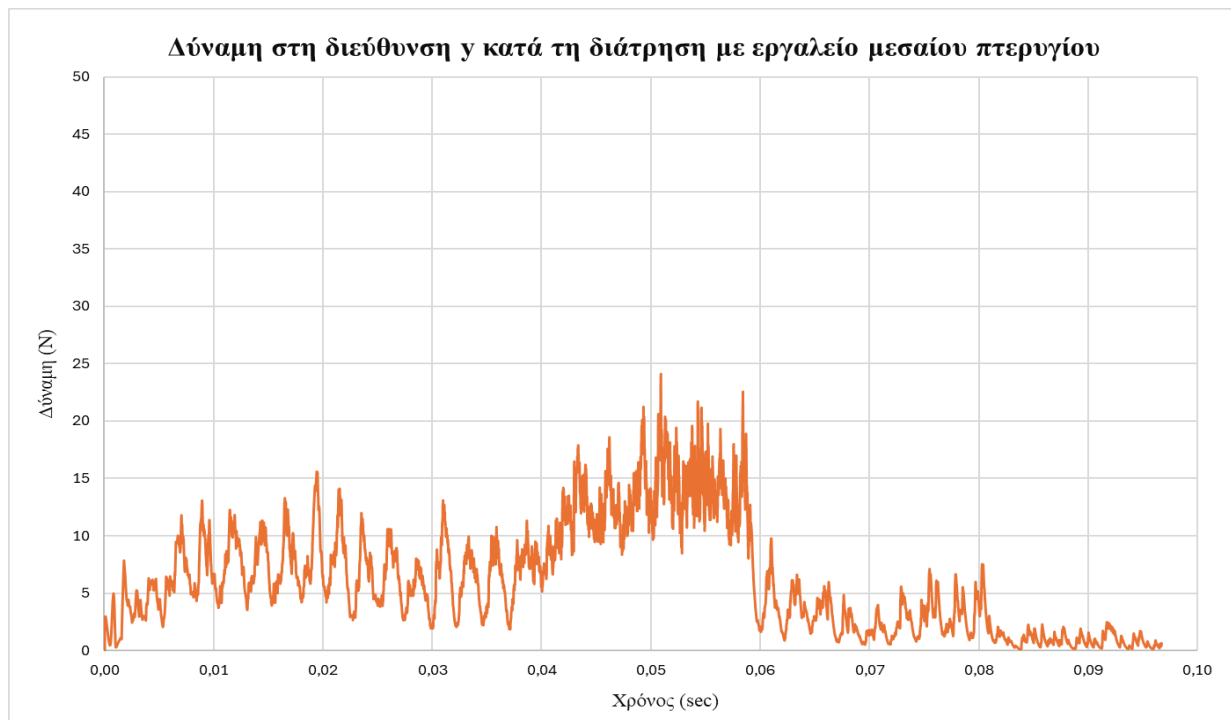
Εικόνα 7.14.: Η ποιότητα της σπής μετά τη διάτρηση με εργαλείο μικρού πτερυγίου.

7.3.2. Αποτελέσματα για το τρυπάνι με μεσαίο πτερύγιο απολήξεων

Τα διαγράμματα του τρυπανιού μεσαίου πτερυγίου έχουν την ίδια μορφή όπως και αυτά του μικρού πτερυγίου με κάποιες διαφορές ως προς τα σημεία που γίνονται οι μεταβολές. Αρχικά για τις δυνάμεις στον άξονα x και y παρατηρείται ότι η γραφική παράσταση και στα δυο διαγράμματα έχει μια ημιτονοειδή μορφή. Από τη χρονική στιγμή 0,04 που τα πτερύγια αρχίζουν να εισέρχονται μέσα στο τεμάχιο αυξάνονται και οι δυο μέχρι να φτάσουν στη μέγιστη τιμή τους στα 24N. Μετά την εξαγωγή του τρυπανιού τη χρονική στιγμή 0,06 οι τιμές τους πέφτουν πάλι στα αρχικά επίπεδα.

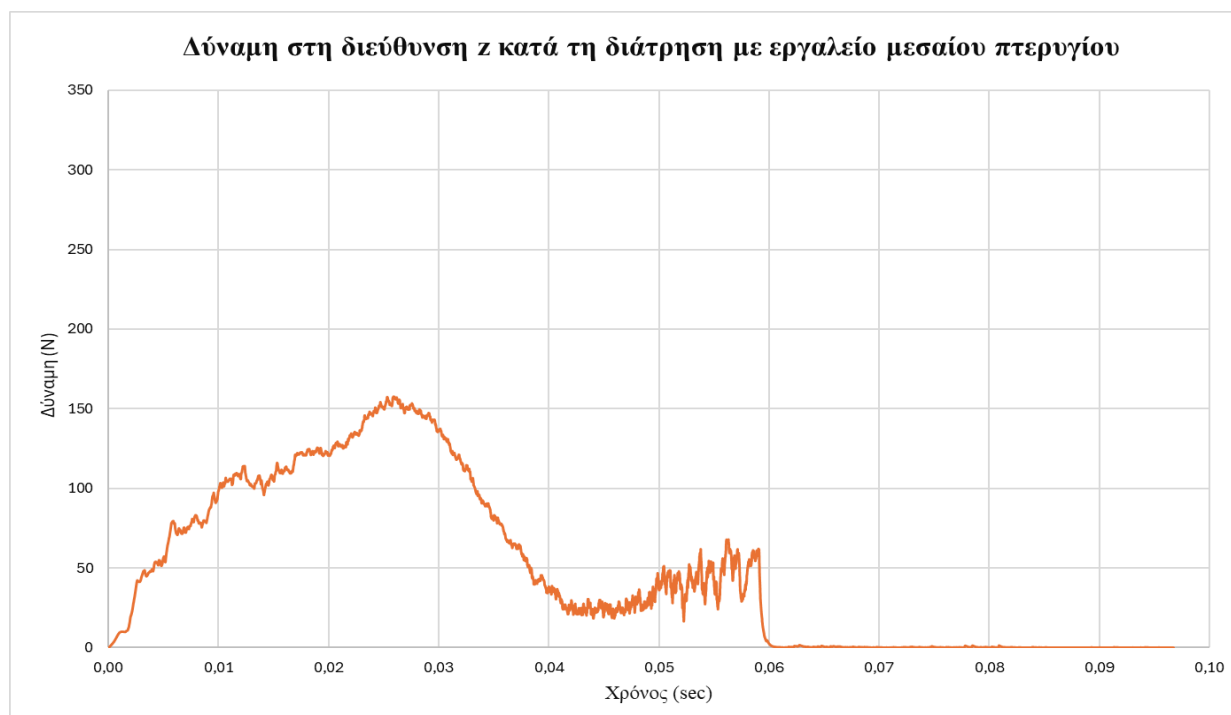


Εικόνα 7.15.: Η δύναμη στον άξονα x για τρυπάνι μεσαίου πτερυγίου.



Εικόνα 7.16.: Η δύναμη στον άξονα y για τρυπάνι μεσαίου πτερυγίου.

Η δύναμη στον άξονα z αρχίζει να αυξάνεται από την αρχή της διάτρησης και φτάνει στην μέγιστη τιμή της 160N τη χρονική στιγμή 0,03 . Μετά αρχίζει να μειώνεται μέχρι τη χρονική στιγμή 0,04 και έπειτα αρχίζει να αυξάνεται όσο χρόνο τα πτερύγιά είναι εντός του τεμαχίου μέχρι την τιμή 66N. Μετά τη χρονική στιγμή 0,06 η τιμή της μηδενίζεται.



Εικόνα 7.17.: Η δύναμη στον άξονα z για τρυπάνι μεσαίου πτερυγίου.

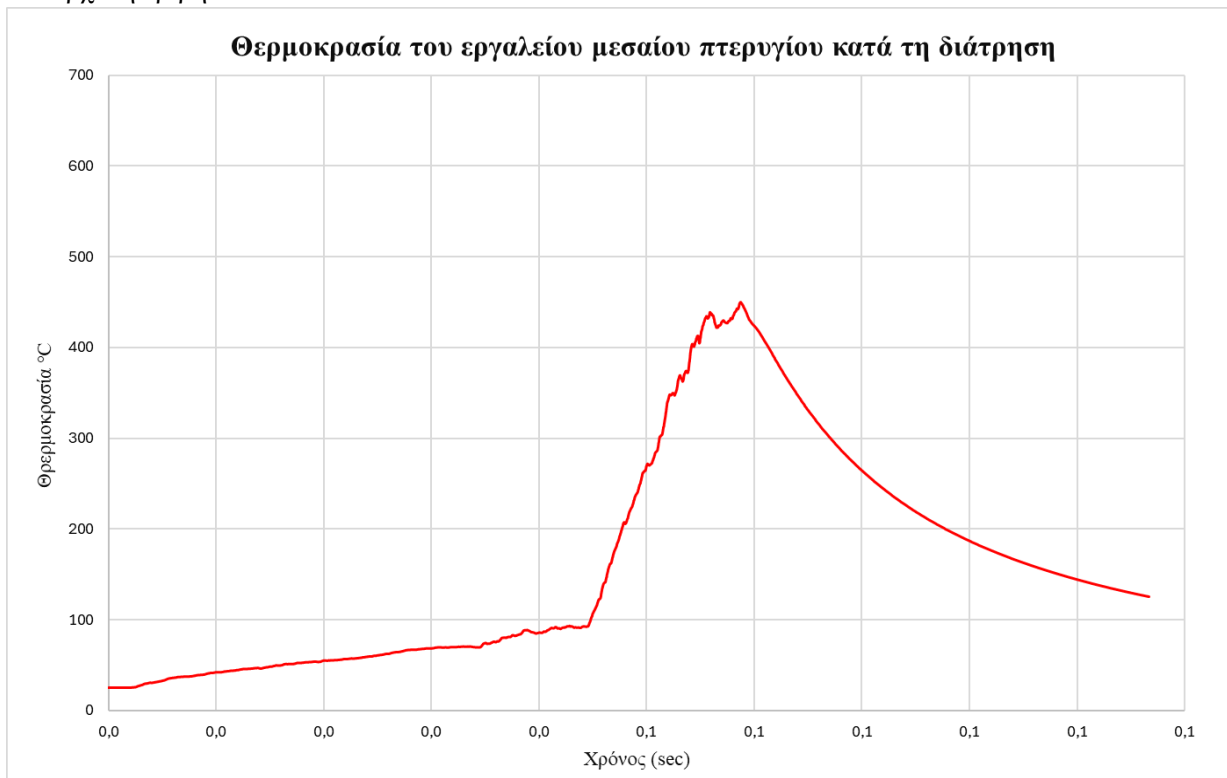
Η ροπή έχει σταθερή αύξηση μέχρι την χρονική στιγμή 0,04 μετά από την οποία ο ρυθμός αύξησής της μεγαλώνει λόγω της εισόδου των πτερυγίων μέσα στο τεμάχιο. Η μέγιστη τιμή της είναι

533N*m που εμφανίζεται αρκετές φορές όσο η κορυφή βρίσκεται ολόκληρη μέσα στο τεμάχιο. Μετά από την εξαγωγή του τρυπανιού η ροπή μηδενίζεται.



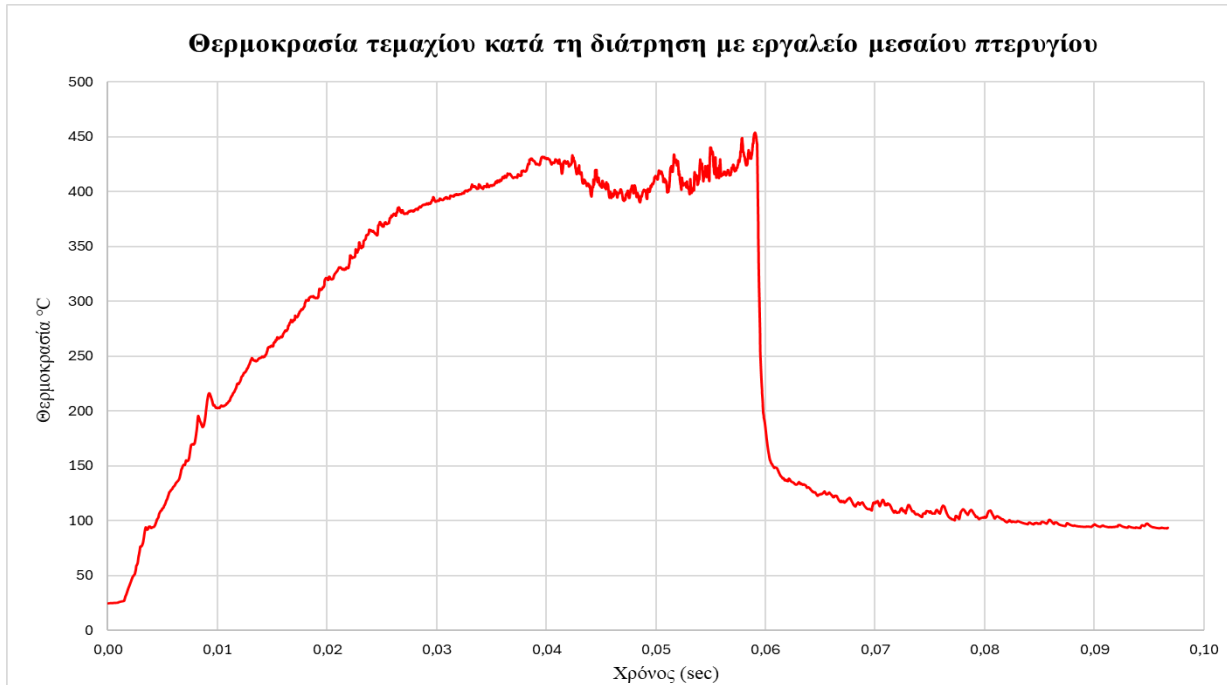
Εικόνα 7.18.: Η ροπή για τρυπάνι μεσαίου πτερυγίου.

Η θερμοκρασία του τρυπανιού αυξάνεται με σταθερό ρυθμό μέχρι τη χρονική στιγμή 0,045 οπότε ξεκινάει μια απότομη αύξηση μέχρι να φτάσει στην μέγιστη τιμή της στους 448°C. Μετά από αυτήν την τιμή αρχίζει να μειώνεται, αφού το τρυπάνι εξέρχεται από το τεμάχιο και σταματάει να υπάρχει η τριβή.

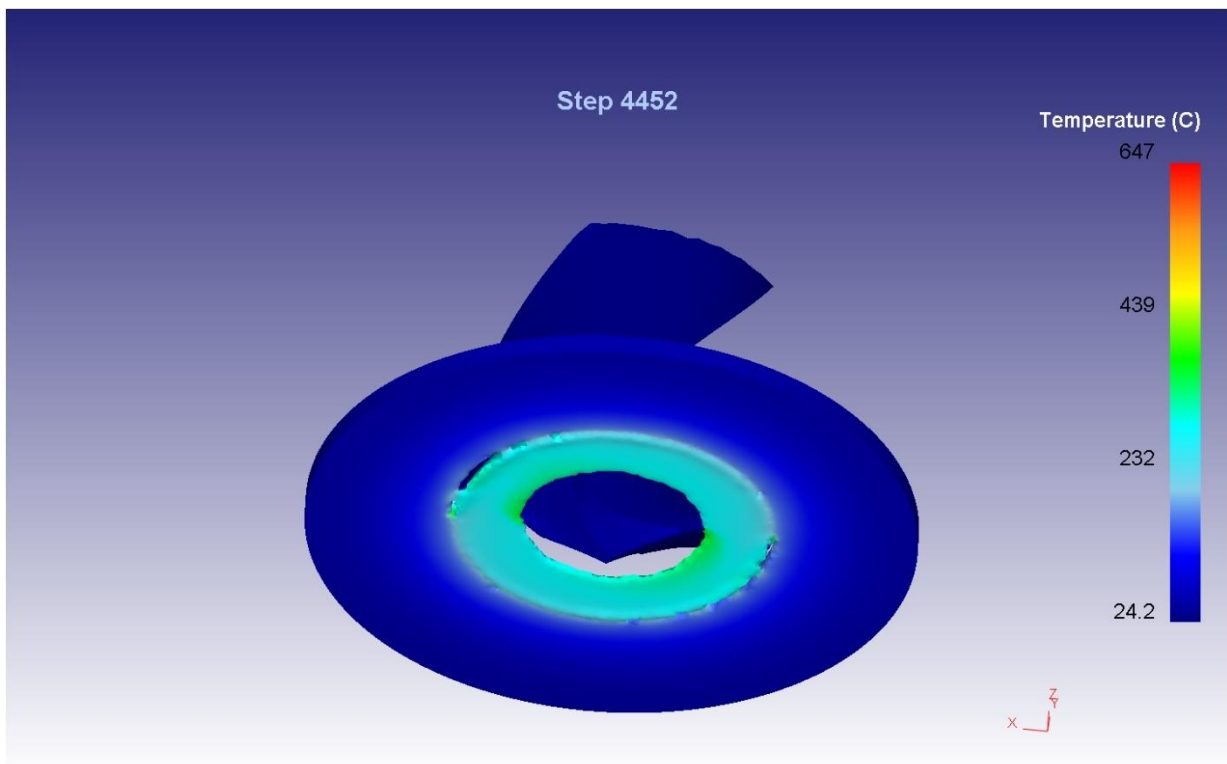


Εικόνα 7.19.: Η θερμοκρασία του τρυπανιού μεσαίου πτερυγίου.

Για τη θερμοκρασία του τεμαχίου υπάρχει μια πιο ομαλή αύξηση μέχρι την χρονική στιγμή 0,04 και στη συνέχεια λόγω του μεγαλύτερου ρυθμού απομάκρυνσης αποβλήτων ελαττώνεται για ένα χρονικό διάστημα, μέχρι που ξεκινάει να αυξάνεται ξανά για να φτάσει στην μέγιστη τιμή της τους 452°C. Μετά τη μέγιστη τιμή το τρυπάνι έχει εξέλθει από το τεμάχιο και τότε παρατηρείται απότομη μείωσή της.

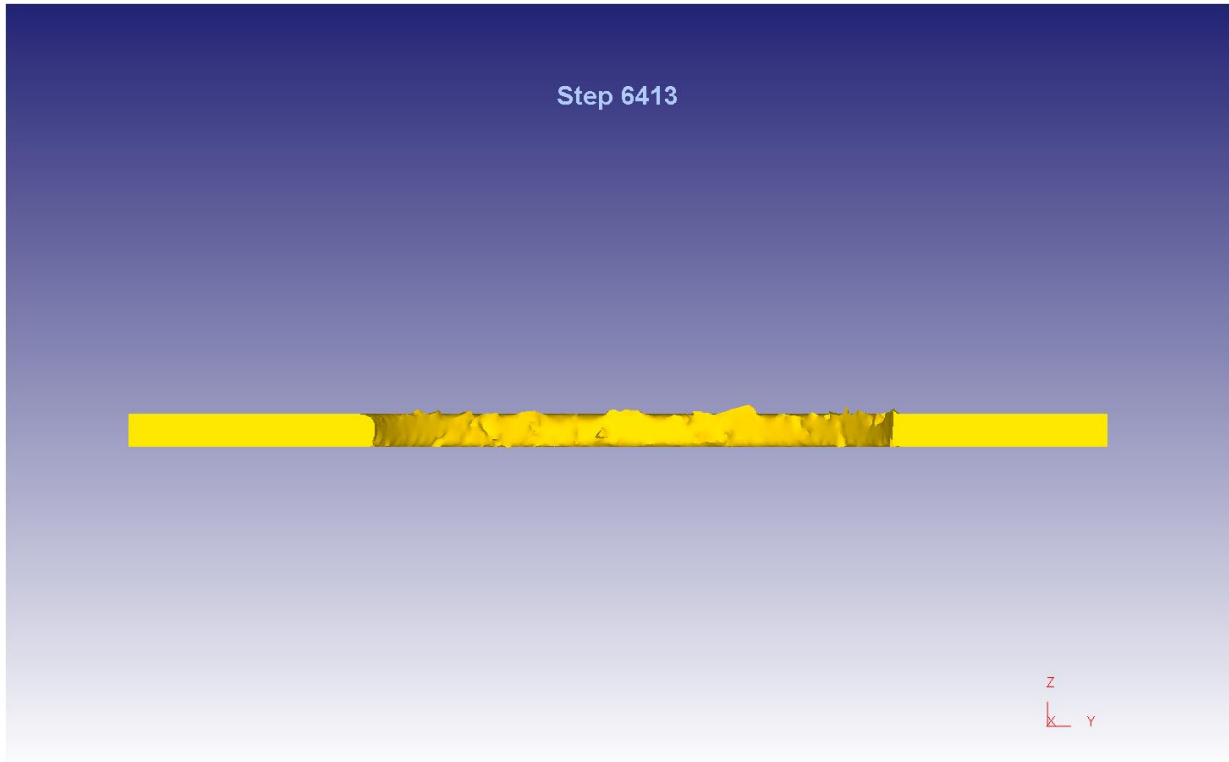


Εικόνα 7.20.: Η θερμοκρασία του τεμαχίου κατά τη διάτρηση με τρυπάνι μεσαίου περυγίου.



Εικόνα 7.21.: Λίγο πριν την ολοκλήρωση της σπής με εργαλείο μεσαίου περυγίου.

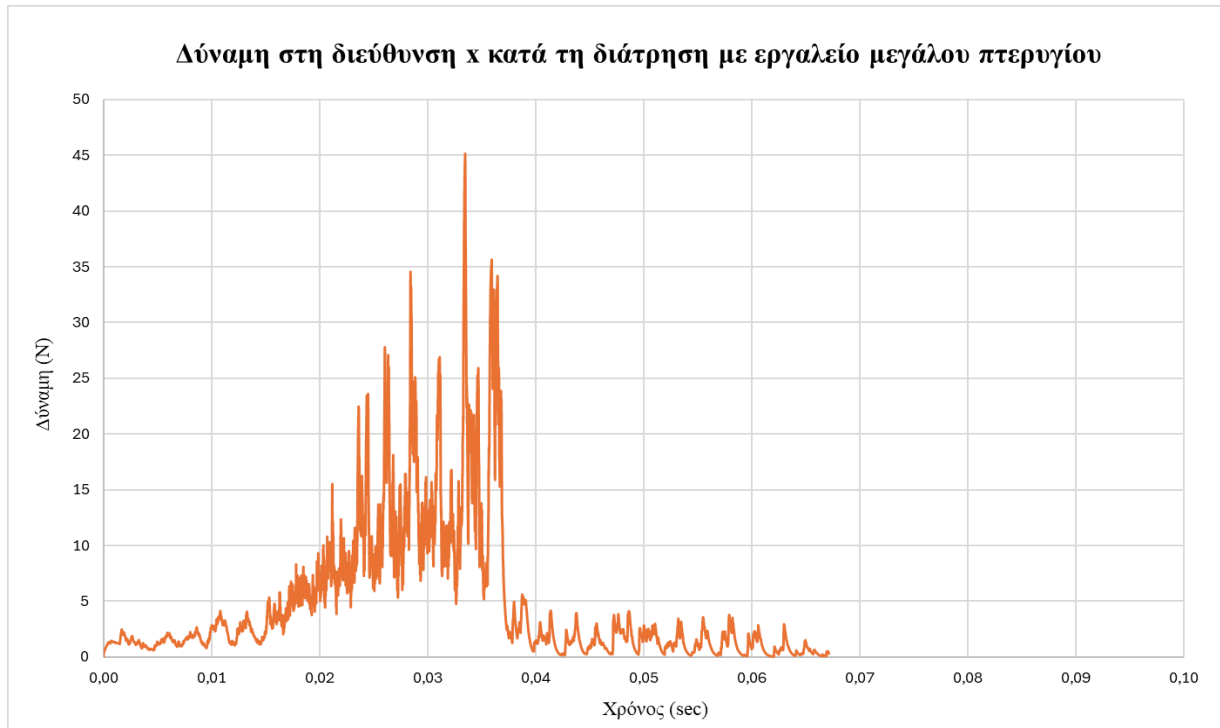
Για τη συγκεκριμένη γεωμετρία δεν υπάρχει το φαινόμενο των απολήξεων, όμως δημιουργείται πρόβλημα στην εισαγωγή του τρυπανιού όπου δημιουργούνται απολήξεις εισόδου και τα τοιχώματα της οπής έχουν αλλοιωθεί.



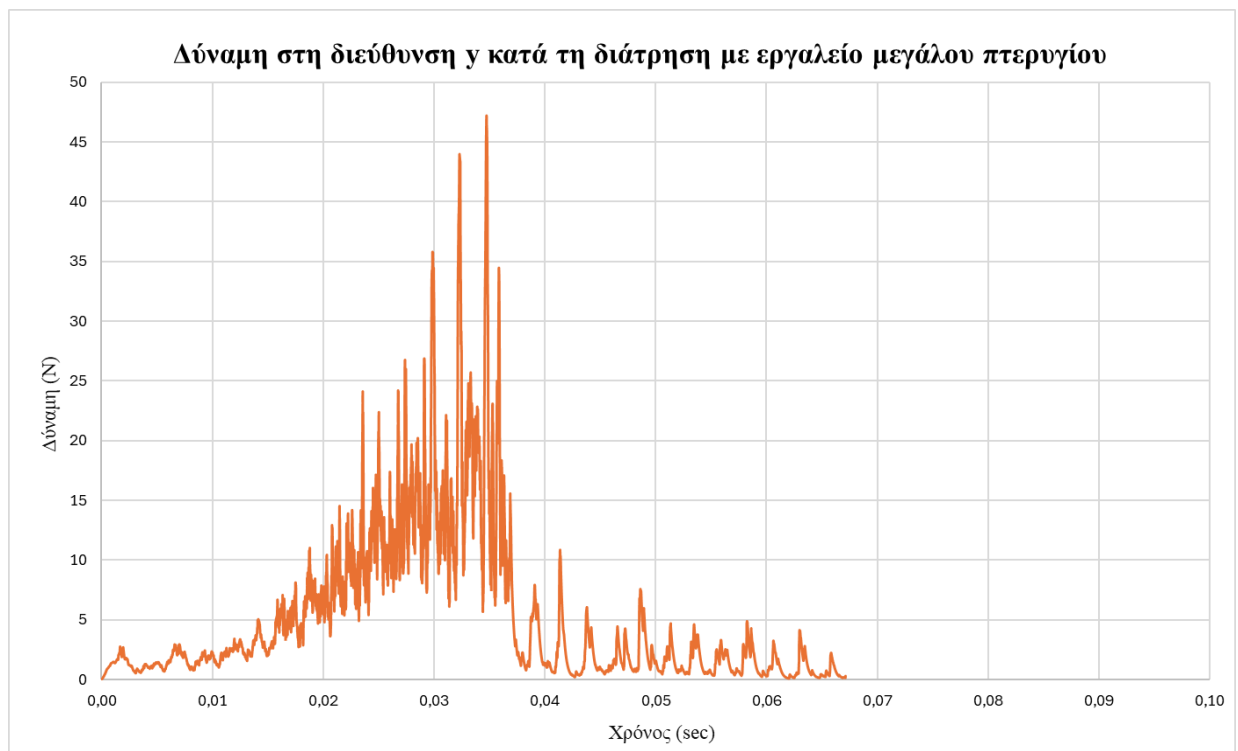
Εικόνα 7.22.: Η ποιότητα της οπής μετά την διάτρηση με εργαλείο μεσαίου πτερυγίου.

7.3.3. Αποτελέσματα για το τρυπάνι με μεγάλο πτερύγιο απολήξεων

Η μορφή που έχει το διάγραμμα για τις δυνάμεις στους άξονες x και y έχει μια ημιτονοειδή μορφή η οποία αυξάνεται, όταν τα πτερύγια εισέρχονται μέσα στο τεμάχιο από τη χρονική στιγμή 0,015 έως και 0,037 όταν εξέρχεται το τρυπάνι από το τεμάχιο. Η μέγιστη τιμή που έχουν είναι τα 47N.

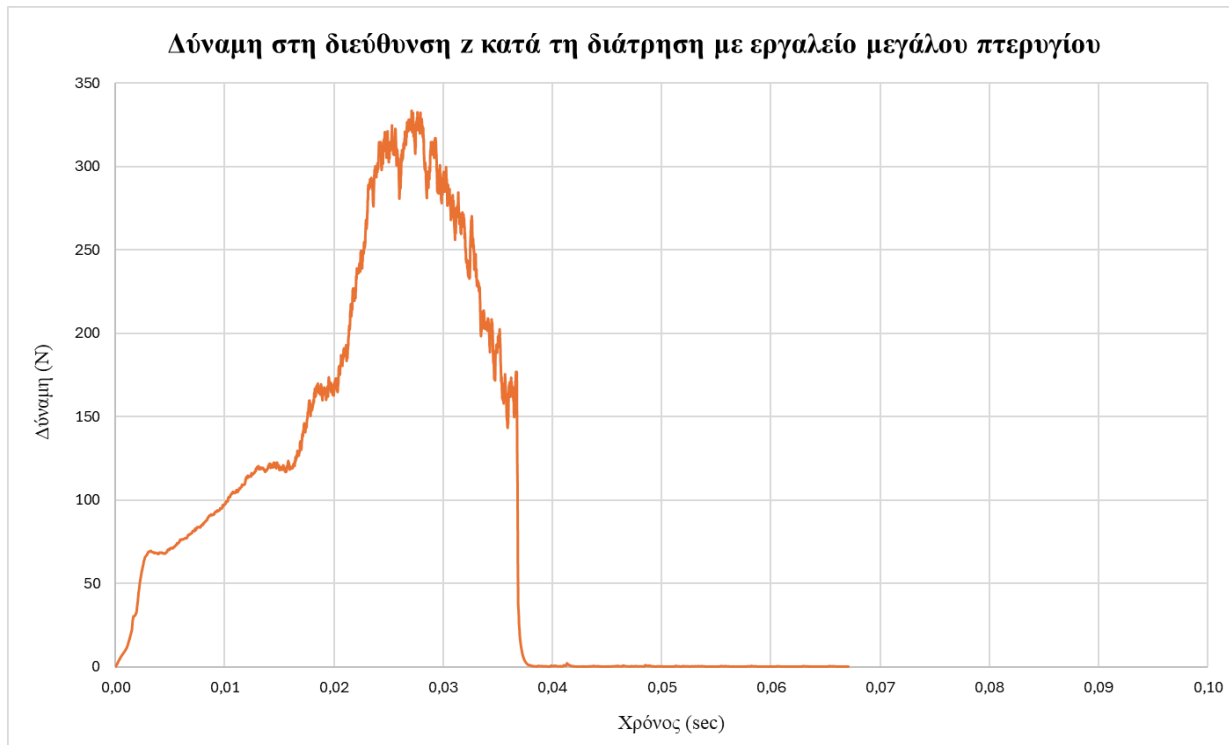


Εικόνα 7.23.: Η δύναμη στον άξονα x για τρυπάνι μεγάλου πτερυγίου.



Εικόνα 7.24.: Η δύναμη στον άξονα y για τρυπάνι μεγάλου πτερυγίου.

Η δύναμη στον κατακόρυφο άξονα z έχει μεγάλη αύξηση, όταν τα πτερύγια βρίσκονται εντός του τεμαχίου και μηδενίζεται με την εξαγωγή του τρυπανιού. Η μέγιστη τιμή της είναι 335N.



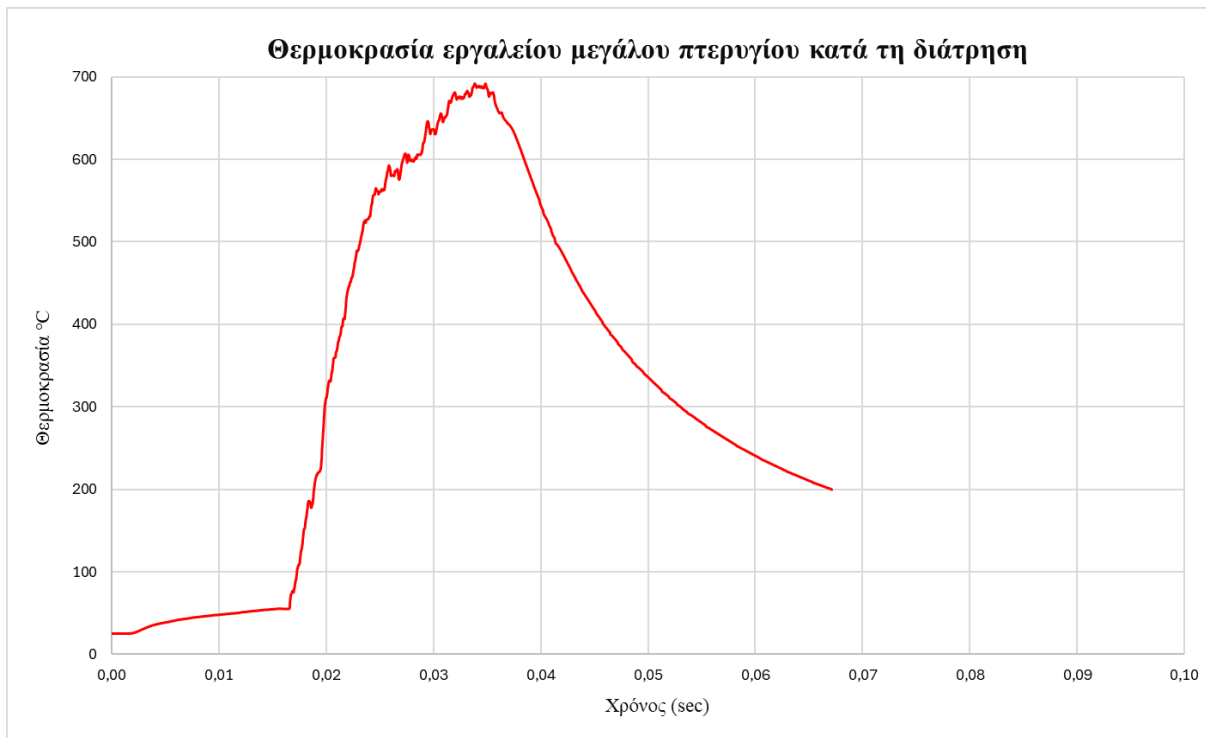
Εικόνα 7.25.: Η δύναμη στον άξονα z για τρυπάνι μεγάλου πτερυγίου.

Η καμπύλη της ροπής έχει μεγάλη αύξηση από την χρονική στιγμή 0,015 και μέχρι την τιμή 0,037 που μηδενίζεται απότομα. Η μέγιστη τιμή της είναι τα 625N*m.



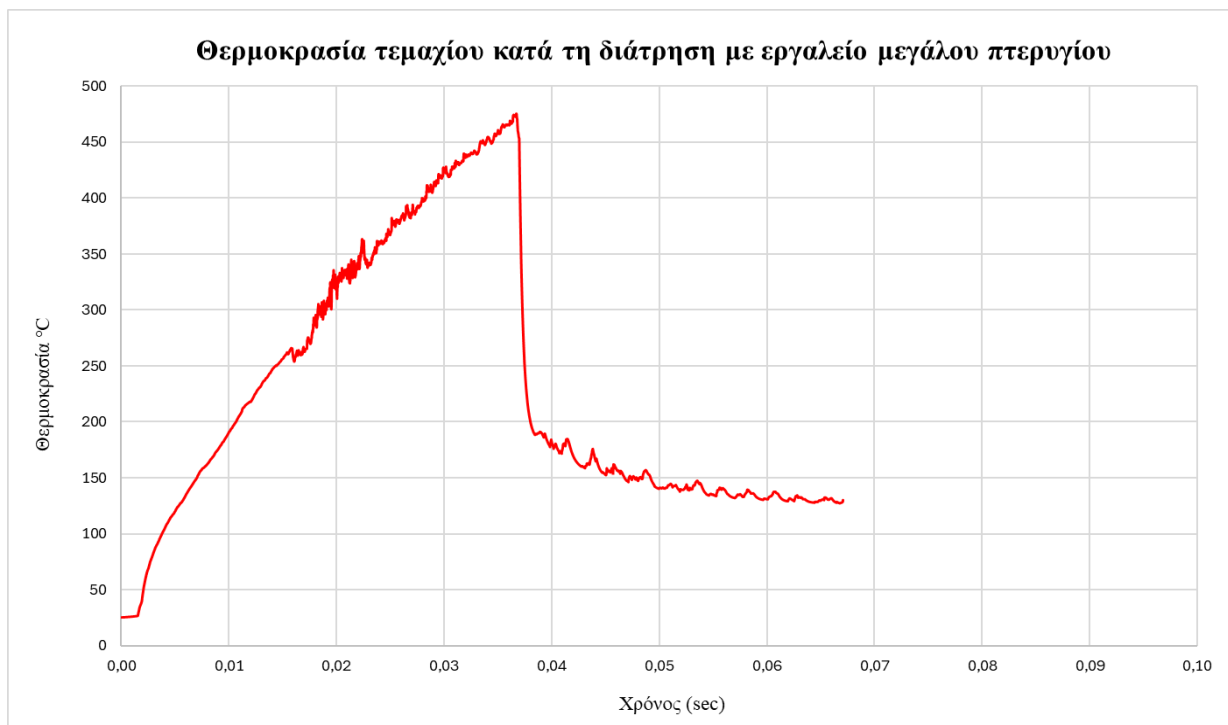
Εικόνα 7.26.: Η ροπή για τρυπάνι μεγάλου πτερυγίου.

Η θερμοκρασία του τρυπανιού αυξάνεται με αργό ρυθμό μέχρι τη στιγμή 0,015 όπου ξεκινάει μια απότομη αύξησή της μέχρι την τιμή 690 °C η οποία είναι και η μέγιστη. Κατόπιν αρχίζει να μειώνεται αφού το τρυπάνι έχει ολοκληρώσει την σπή.

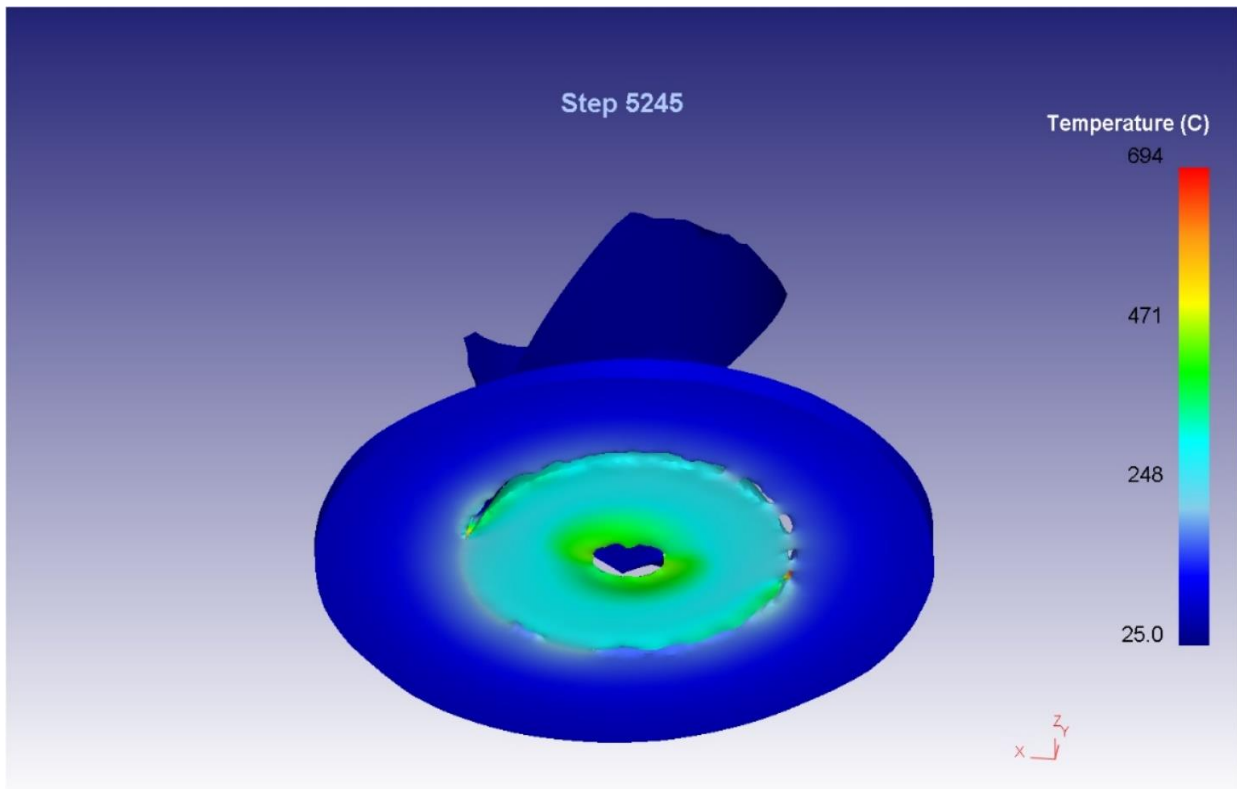


Εικόνα 7.27.: Η θερμοκρασία του τρυπανιού μεγάλου πτερυγίου.

Η θερμοκρασία του τεμαχίου έχει μια ομαλή αύξηση μέχρι τη μέγιστη τιμή 475°C όπου ολοκληρώνεται η διάτρηση και μετά υπάρχει μια απότομη πτώση της σε επίπεδα κοντά στους 150°C, η οποία είναι η θερμοκρασία των τοιχωμάτων της σπή.

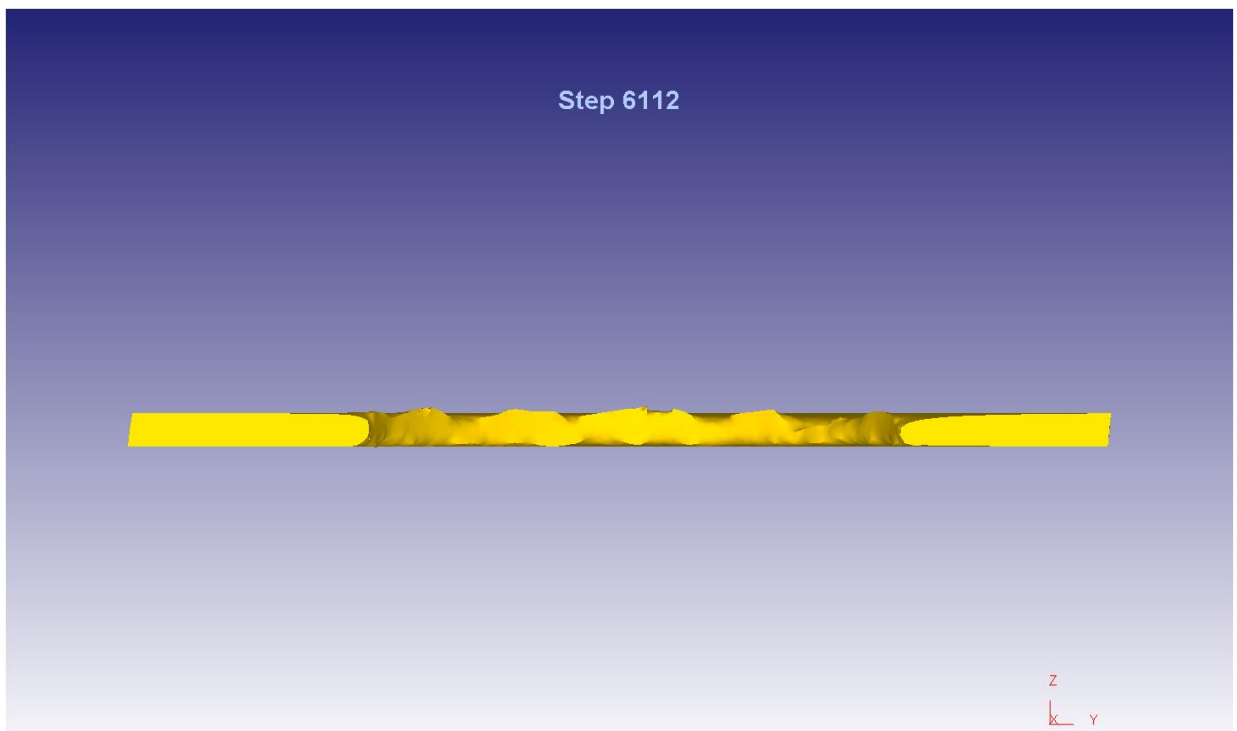


Εικόνα 7.28.: Η θερμοκρασία του τεμαχίου κατά την διάτρηση με τρυπάνι μεγάλου πτερυγίου.



Εικόνα 7.29.: Λίγο πριν την ολοκλήρωση της οπής με εργαλείο μεγάλου πετυγίου.

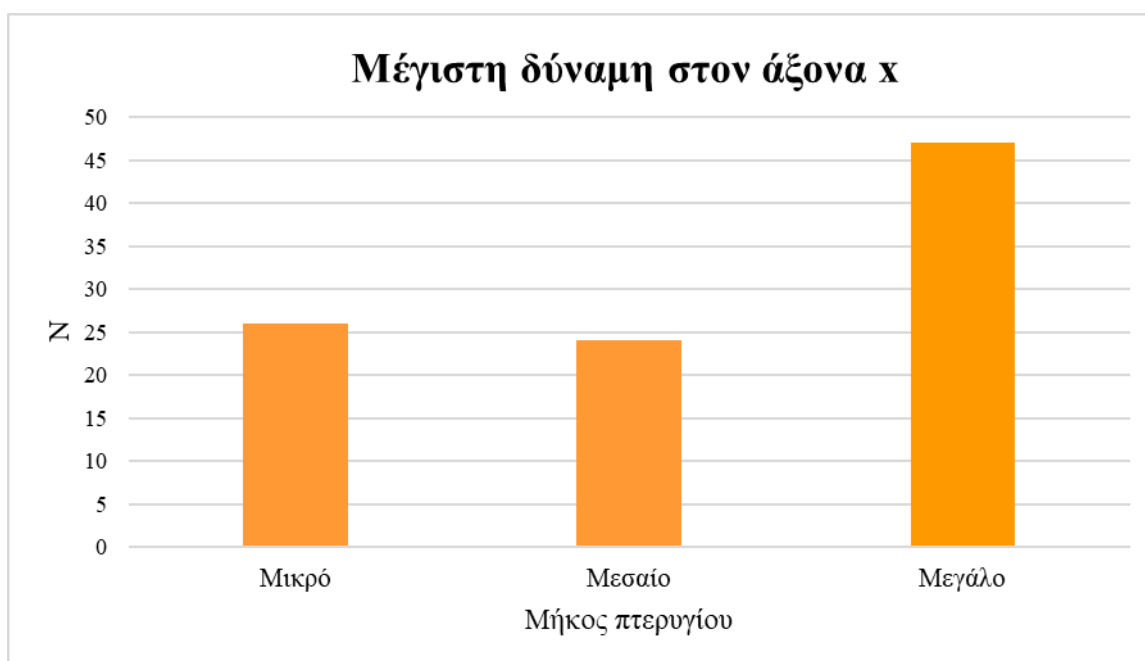
Και στο τρυπάνι με μεγάλα πετυγία δεν παρατηρείται το φαινόμενο των απολήξεων, αλλά υπάρχει και εδώ πρόβλημα στην εισαγωγή του τρυπανιού.



Εικόνα 7.30.: Η ποιότητα της οπής μετά την διάτρηση με εργαλείο μεγάλου πετυγίου.

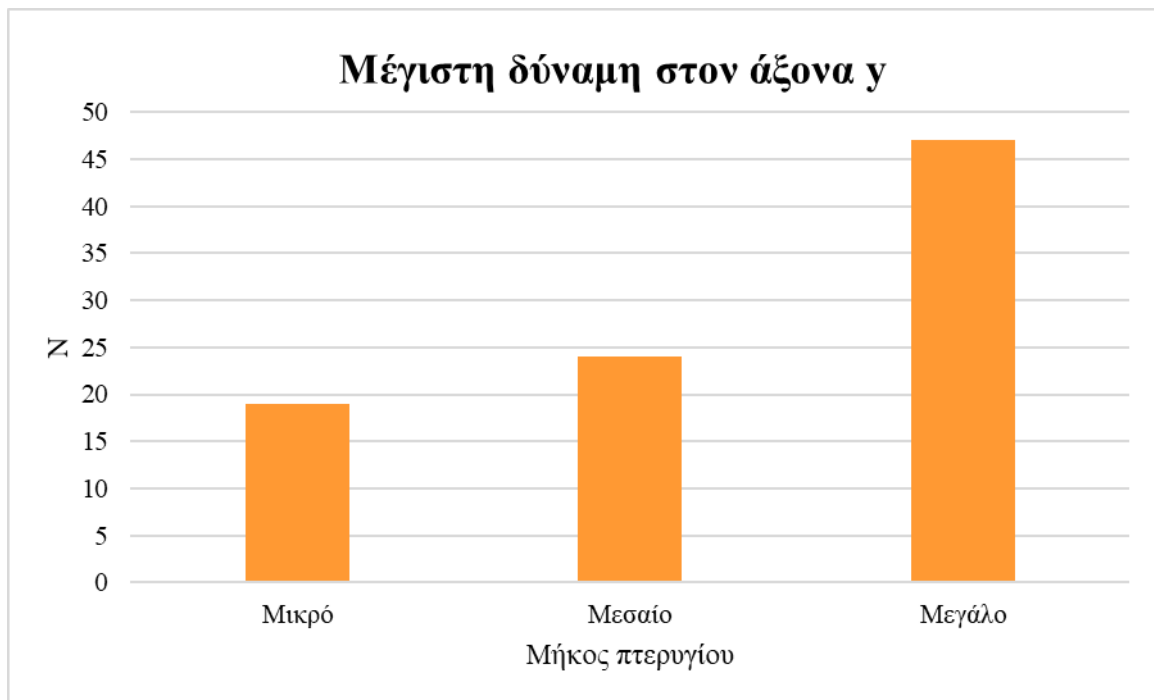
8. Συμπεράσματα

Έχοντας αναλύσει στο προηγούμενο κεφάλαιο τα αποτελέσματα της καθεμίας προσομοίωσης ξεχωριστά σε αυτό θα ακολουθήσει μια ανάλυση των αποτελεσμάτων συγκρίνοντας όλες τις προσομοιώσεις ως προς τον κάθε παράγοντα ξεχωριστά. Στην αρχή θα γίνει σύγκριση των μέγιστων δυνάμεων στους άξονες x και y , δηλαδή τις οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάτρηση. Στη διεύθυνση x η μέγιστη δύναμη για το τρυπάνι μικρού και μεσαίου πτερυγίου έχει σχεδόν την ίδια τιμή ενώ του μεγάλου πτερυγίου έχει σχεδόν τη διπλάσια τιμή. Όμως βλέποντας το διάγραμμα της δύναμης στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατηρεί κάποιος ότι στο εργαλείο μικρού πτερυγίου μόνο σε ένα σημείο παρατηρείται αύξηση της δύναμης στη μέγιστη τιμή και στο υπόλοιπο διάγραμμα η τιμή της είναι κάτω από τα 20N. Αυτό σημαίνει ότι σε εκείνο το σημείο υπάρχει κάποιο σφάλμα στην προσομοίωση. Σε αντίθεση με αυτή του μεσαίου πτερυγίου όπου η μέγιστη τιμή επαναλαμβάνεται αρκετές φορές στο διάγραμμα. Οπότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι με την αύξηση του μήκους των πτερυγίων αυξάνεται και η δύναμη στον άξονα x .



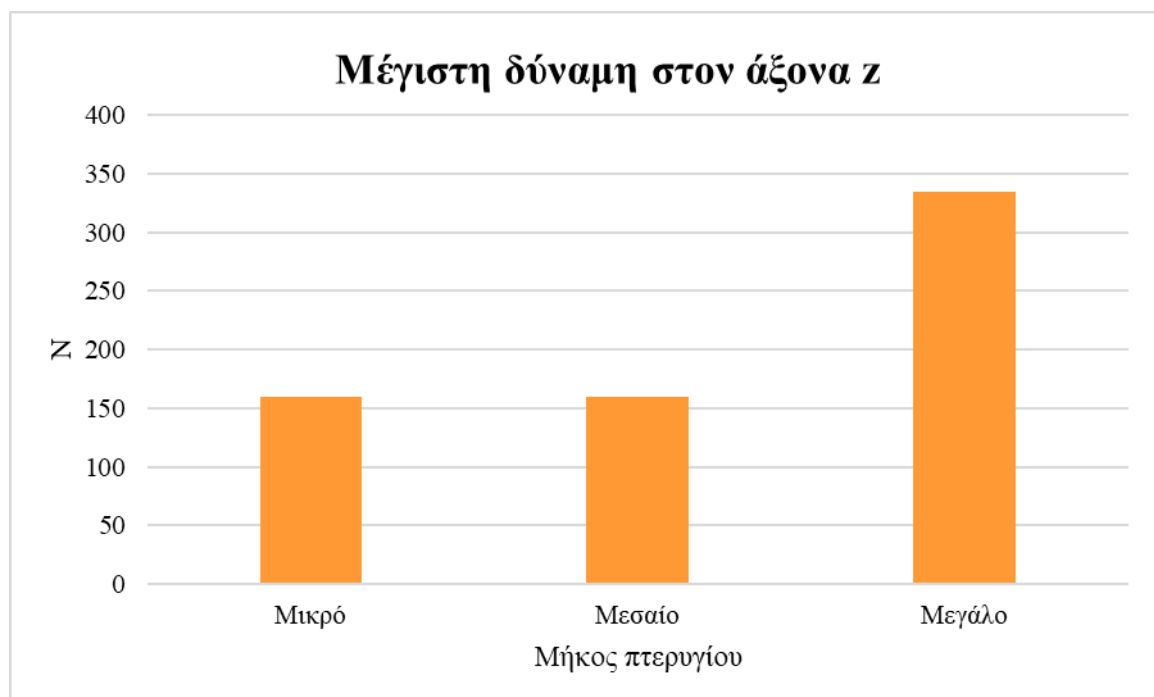
Εικόνα 8.1.: Μέγιστη δύναμη στον άξονα x .

Η επόμενη δύναμη είναι στον άξονα y . Εδώ είναι εμφανές ότι με την αύξηση του μήκους του πτερυγίου αυξάνεται και η δύναμη που αναπτύσσεται. Οπότε οι δυνάμεις στους δυο αυτούς άξονες μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζουν το ίδιο πράγμα, αφού το εργαλείο περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του. Η υπόθεση ότι στην προσομοίωση του μικρού πτερυγίου υπάρχει κάποιο σφάλμα και η μέγιστη τιμή της δύναμης στον άξονα x πρέπει να είναι μικρότερη από 20N και από αυτή του μεσαίου πτερυγίου ήταν σωστή.



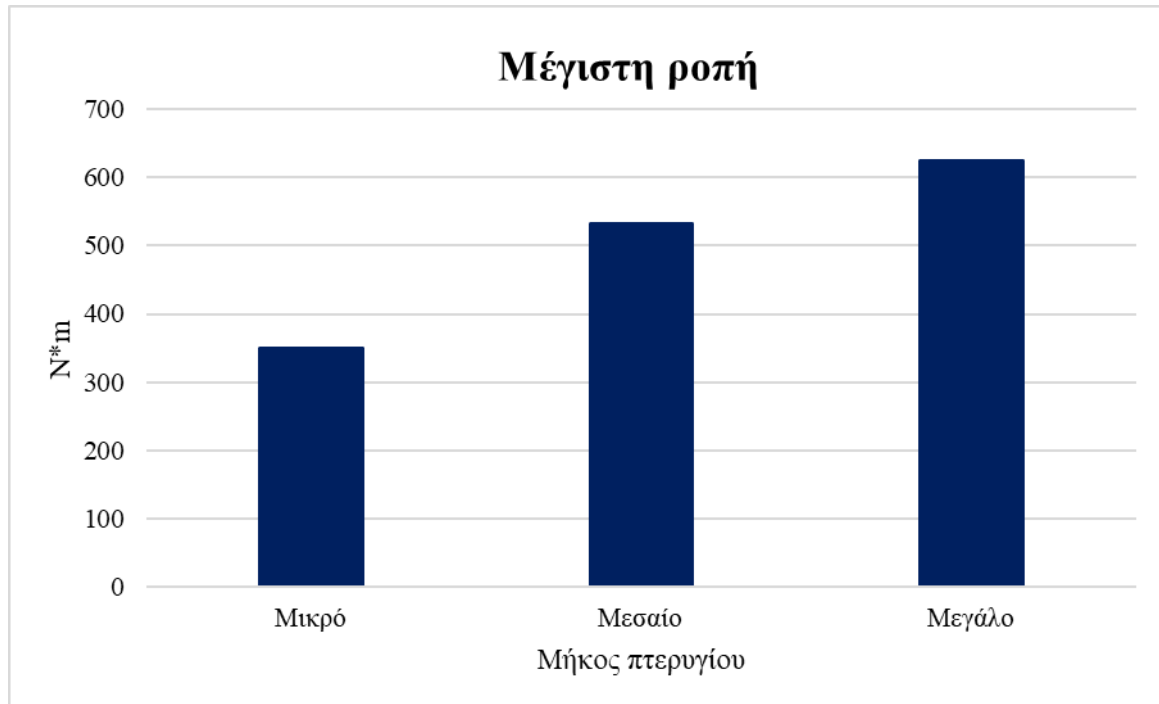
Εικόνα 8.2.: Μέγιστη δύναμη στον άξονα y.

Η τελευταία δύναμη η οποία μελετάται είναι στον άξονα z. Σε αυτή τα πράγματα είναι λίγο διαφορετικά μιας και τα τρυπάνια με μικρό και μεσαίο πτερύγιο έχουν ίδια τιμή ενώ για το μεγάλο πτερύγιο η τιμή είναι σχεδόν διπλάσια από τις άλλες δύο. Άρα για αυτή τη δύναμη δεν μπορεί να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα για τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζεται από το μήκος των πτερυγίου.



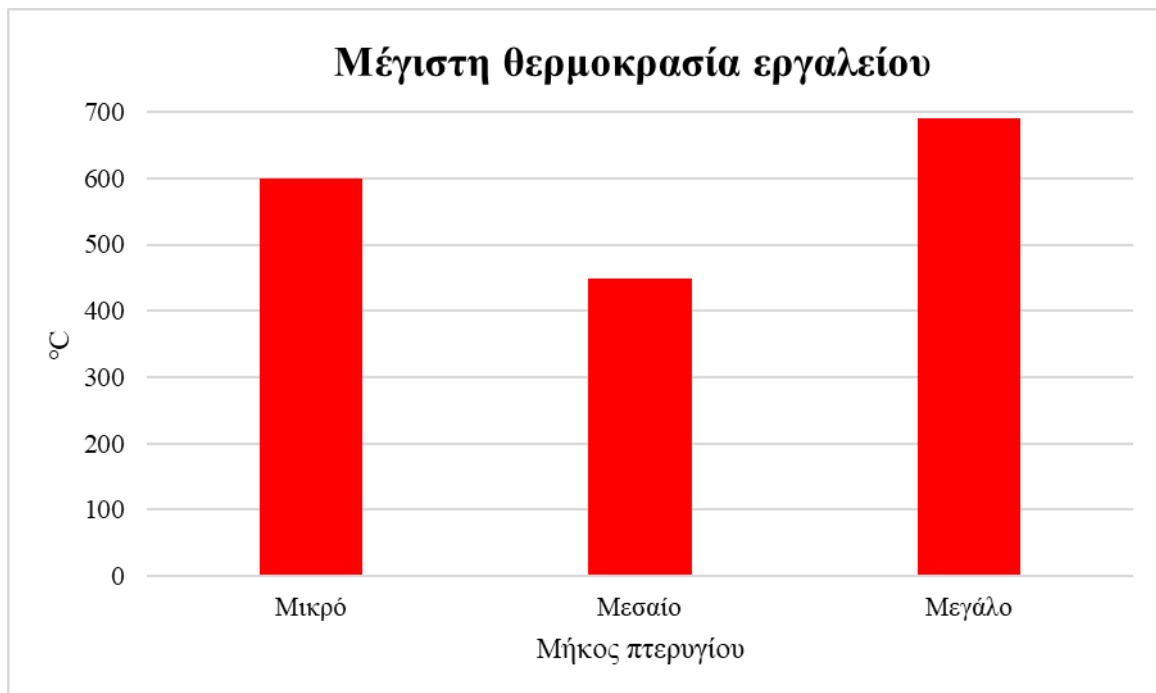
Εικόνα 8.3.: Μέγιστη δύναμη στον άξονα z.

Μετά από τις δυνάμεις η επόμενη παράμετρος που μελετήθηκε είναι η ροπή που αναπτύσσεται στην κατεργασία. Σε αυτήν παρατηρείται αύξηση παράλληλα με το μήκος του πτερυγίου με μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα τρία τρυπάνια. Συγκρίνοντας τη ροπή του μικρού πτερυγίου με αυτή του μεγάλου, η ροπή του μεγάλου είναι σχεδόν διπλάσια από αυτήν του μικρού και σε πολύ υψηλά επίπεδα για τη διάτρηση του αλουμινίου που είναι μαλακό υλικό.



Εικόνα 8.4.: Η μέγιστη ροπή που αναπτύσσεται.

Μετά από τις δυνάμεις και τη ροπή που αναπτύσσεται σειρά έχουν οι θερμοκρασίες τρυπανιών και τεμαχίων. Οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας του κοπτικού είναι σε κάθε προσομοίωση διαφορετικές μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζονται από το μήκος των πτερυγίων. Η ανομοιομορφία των αποτελεσμάτων οφείλεται στο πολύ μικρό πάχος του τεμαχίου, οπότε σε μια τόσο σύντομη διάτρηση η θερμοκρασία του εργαλείου επηρεάζεται έντονα από τον αέρα που έρχεται σε επαφή με το μέρος της κορυφής του τρυπανιού, όταν αυτή έχει εξαχθεί από το τεμάχιο. Επομένως για να μπορέσει κάποιος να βγάλει ένα σωστό συμπέρασμα για τη θερμοκρασία των τρυπανιών θα πρέπει να επαναλάβει τις προσομοιώσεις με ένα αρκετά μεγαλύτερο πάχος τεμαχίου.



Εικόνα 8.5.: Οι μέγιστες θερμοκρασίες του κοπτικού.

Οι θερμοκρασίες του τεμαχίου και στις τρεις περιπτώσεις έχουν παραπλήσιες τιμές, πράγμα που φανερώνει ότι η θερμοκρασία του τεμαχίου δεν επηρεάζεται από το μήκος των πτερυγίων.



Εικόνα 8.6.: Οι μέγιστες θερμοκρασίες στο τεμάχιο.

Το τελευταίο πράγμα που θα πρέπει να συγκριθεί είναι οι απολήξεις που έχει το τεμάχιο στις τρεις γεωμετρίες. Οι απολήξεις εξόδου και στις τρεις γεωμετρίες είναι ελάχιστες έως ανύπαρκτες, όμως δημιουργείται το αντίθετο φαινόμενο δηλαδή σε κάποια σημεία έχει αφαιρεθεί υλικό στην κάτω ακμή της σπής. Οπότε και στις τρεις γεωμετρίες στην έξοδο παρατηρείται μόνο μια μικρή απώλεια υλικού στην ακμή της σπής. Όμως σε αντίθεση με την κάτω επιφάνεια και στις τρεις γεωμετρίες συναντάται έντονα το φαινόμενο των απολήξεων εισόδου, με αποτέλεσμα η επιφάνεια εισόδου να μην είναι η

επιθυμητή. Αυτό το φαινόμενο αντιμετωπίζεται εύκολα για παράδειγμα με τη χρήση βηματικών τρυπανιών, όπου στο πίσω μέρος του τρυπανιού υπάρχει γεωμετρία που βελτιώνει την επιφάνεια ή δημιουργεί κωνική υποδοχή, αν πρόκειται για σύνδεση δυο τεμαχίων με κοχλίες που έχουν κωνικό κεφάλι. Τέλος λόγω της αυξημένης επαφής που έχουν πτερύγια με το τεμάχιο η επιφάνεια όλων των οπών είναι έντονα επηρεασμένη από την αναπτυσσόμενη θερμότητα, με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλη τραχύτητα στην επιφάνειά τους.

Συμπερασματικά από τις τρεις γεωμετρίες τα καλύτερα αποτελέσματα είχαν τα τρυπάνια μικρού και μεσαίου πτερυγίου απολήξεων, επειδή είχαν και τις μικρότερες αναπτυσσόμενες δυνάμεις, ροπές και θερμοκρασίες συγκριτικά με αυτές του μεγάλου πτερυγίου απολήξεων που εκεί οι τιμές είναι αυξημένες. Όμως δεν μπορεί να επιλεγεί ποιο από αυτά τα δύο είναι καταλληλότερο, γιατί με τα δεδομένα που υπάρχουν, το εργαλείο μικρού πτερυγίου έχει μικρότερες δυνάμεις και ροπή, ενώ του μεσαίου έχει μικρότερη αναπτυσσόμενη θερμοκρασία. Οπότε αναμεσα σε αυτά τα δύο θα πρέπει να επαναληφθούν οι προσομοιώσεις για μεγαλύτερο πάχος τεμαχίου, ώστε να υπάρχουν πιο σωστά δεδομένα για να επιλεγεί ποιο είναι το βέλτιστο μήκος.

Βιβλιογραφία

- [1] Α. Θ. Αντωνιάδης, Μηχανουργική Τεχνολογία, Τ. έκδοση., Επιμ., Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2018.
- [2] Π. Γ. Πετροπούλου, Μηχανουργική Τεχνολογία Εργαστήριο ΙΙ Τεύχος Α, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου, 1994.
- [3] «<https://www.technologystudent.com/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [4] Ι. Κ. Στεργίου και Κ. Ι. Στεργίου, Στοιχεία Μηχανών ΙΙ, Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική, 2002.
- [5] Υπουργείο Εθνικής Παιδείας Κια Θρησκευμάτων Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Μηχανουργική Τεχνολογία Ι (Κατεργασίες Κοπής), Δ επιμ., Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, 2003.
- [6] Σ. Λ. Ομήρου, Τεχνολογία Και Προγραμματισμός Εργαλειομηχανών, Αθήνα: Κλειδάριθμος, 2018.
- [7] M. Girinon, F. Valiorgue, H. Karaoun και É. Feulvarch, «3D numerical simulation of drilling residual stresses,» 4 July 2018.
- [8] *Drilling Technical Guide Proper Application and Usage of Drilling Tools*, OSG.
- [9] Σ. Γεράρδης, *Σημειώσεις από το μάθημα Μηχανουργικές κατεργασίες με αφαίρεση υλικού*, Κοζάνη, 2022.
- [10] «<https://be.osgeurope.com/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [11] «<https://robjack.com/category/support/guides/coatings/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [12] «<https://www.minitoolscoating.com/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [13] Γ. Δ. Χρυσουλάκης και Δ. Ι. Παντελής, Επιστήμη και Τεχνολογία Των Μεταλλικών Υλικών, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2008.
- [14] Α. Σ. Βατάλης, Επιστήμη & Τεχνολογία Υλικών, Θεσσαλονίκη: Ζήτη, 2009.
- [15] «<https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/all-about-7075-aluminum-properties-strength-and-uses/>,» [Ηλεκτρονικό].

- [16] «<https://matmatch.com/learn/material/7075-t6-aluminium>,» [Ηλεκτρονικό].
- [17] S. N. Melkote, S. Danyluk και R. Mayor, Investigation of Interlayer Burr Formation in the Drilling of Stacked Aluminum Sheets, 2009.
- [18] R. Sreenivasulu και S. Rao, «Some Investigations on Drilling of Aluminium,» January 2020.
- [19] S. Yu, Z. Zhang, Q. Wang, M. Ren και . H. Jia, «Study on wear resistance of local aluminum alloy,» 1 March 2023.
- [20] Y. P. Wang, Y. L. Wang, . J. . H. Li και . Y. S. Zhang, «Effect of Die Coating on Friction Behavior,» 2023.
- [21] *SolidWorks*.
- [22] Deform-3D.
- [23] *Excel*.