

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΧΥΤΗ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΑΕΡΑ ΜΕΣΩ
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ (REVERSE
ENGINEERING) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ CAD/CAM
CATIA**

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΘΕΟΔΩΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

A.M.: 39240

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΣΑΓΙΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

**DIFFUSER MANUFACTURING OF TURBOCHARGER
THROUGH REVERSE ENGINEERING BY USING CATIA
CAD/CAM SYSTEM**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η κατασκευή ενός διαχύτη υπερσυμπιεστή μέσω της αντίστροφης μηχανικής (**reverse engineering**). Η αντίστροφη μηχανική αναφέρεται σε μία μεθοδολογία η οποία ακολουθείται για την αντιγραφή ενός αντικειμένου. Στην εργασία περιγράφονται τα βήματα της στερεάς απεικόνισης του αντικειμένου σε τρισδιάστατο μοντελοποιητή μέσω του συστήματος CAD (Computer Aided design) αφού έχει προηγηθεί η μέτρηση των διαστάσεων του με τα κατάλληλα μετρητικά εργαλεία. Εν συνεχεία με τη χρήση του CAM (computer-aided manufacturing) προσομοιώνεται η κοπή δηλαδή η κίνηση του κοπτικού εργαλείου και με τους κατάλληλους μετά-επεξεργαστές (post-processors) εισάγονται στα κέντρα κατεργασίας CNC (Computerized Numeric Control) εντολές με τα σημεία κίνησης του κοπτικού εργαλείου ώστε να εκτελεστεί η κατεργασία του εξαρτήματος. Ένας μηχανολόγος επεμβαίνει σε όλα τα στάδια της μεθοδολογίας αυτής εισάγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους και επιλέγοντας τα απαιτούμενα εργαλεία και μηχανήματα.

Ο τρισδιάστατος μοντελοποιητής που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του διαχύτη είναι το CATIA της DASSAUL SYSTEMS. Χρησιμοποιείται κατά κόρον στη βιομηχανία για την κατασκευή εξαρτημάτων. Στην εργασία θα αναλυθούν η χρήση του CAD και του CAM του. Για τη μέτρησή του χρησιμοποιήθηκε probe επαφής σε κέντρο κατεργασίας CNC τριών αξόνων. Επιλέχθηκαν τα κατάλληλα κοπτικά εργαλεία με βάση το υλικό που κατεργάστηκαν και ορίστηκαν οι αντίστοιχες παράμετροι κοπής. Επίσης παρουσιάζονται τα κέντρα κατεργασίας CNC όπου έγινε η κατασκευή του διαχύτη. Αναφέρονται τα όποια ζητήματα δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια τη παραγωγής καθώς και η επίλυσή τους.

ABSTRACT

The purpose of this work is to construct a turbocharger diffuser by means of reverse engineering. Reverse engineering refers to a methodology that is used to copy an object. The paper describes the step of a solid object representation in a three dimensional model using the Computer Aided Design (CAD) system after having measured its dimensions with appropriate measuring tools. Then using Computer Aided Manufacturing (CAM) simulates the cutting and the movement of the cutting tools and by using the appropriate post-processors processing commands with movement points of the cutting tools are entered into the CNC (Computerized Numerical Control) to perform the workpiece machining. An engineer intervenes at all stages of its methodology by introducing the appropriate parameters and choosing the required tools and machinery.

The three dimensional system used to construct the diffuser is the CATIA of DASSAUL SYSTEMS. It is used heavily in the industry for the manufacturing of parts. The work will analyze the use of CAD and CAM. A contact probe is used at a three axis CNC machining center for measuring. Appropriate cutting tools are selected based on the material processed and the respective cutting parameters were defined. Also presented are the CNC machining centers where the diffuser is built. Any issues that have arisen during production are mentioned as also their resolution.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
1 ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΕΣ.....	12
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	12
1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ.....	17
1.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ.....	21
2 ΔΙΑΧΥΤΕΣ.....	26
2.1 ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΧΥΤΗ.....	26
2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΧΥΤΗ.....	28
2.3 ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΧΥΤΗ.....	31
3 REVERSE ENGINEERING.....	33
3.1 REVERSE ENGINEERING (ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ).....	33
3.2 ΛΗΨΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	34
3.3 ΟΠΤΙΚΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ.....	35
3.4 ΚΕΝΤΡΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	37
4 CAD CAM CATIA.....	39
4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΤΕΣ - CAD - CAM.....	39
4.2 ΕΝΤΟΛΕΣ CAD ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΗΤΩΝ.....	41
4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ CAM.....	43
5 ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ – ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	46
5.1 ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ.....	46
5.2 ΚΟΠΗ.....	48
6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	51
6.1 ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	51
6.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ CAD.....	53
6.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ.....	54
6.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ.....	58
6.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ CAM ΚΑΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ.....	63
7 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	65
7.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗ.....	65
7.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ.....	68
8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ G-ΚΩΔΙΚΑ.....	74
9 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ CAM.....	80

9.1	ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ CAM	80
9.2	ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗΣ ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ	83
9.3	ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΠΗΣ ΣΤΟ CAM ΤΟΥ ΣΑΤΙΑ.....	90
9.4	ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΑΠΟ CAM.....	91
10	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	96
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Alfred Bushi	8
Εικόνα 2 Το πρώτο τουρμπο για μεγάλο κινητήρα πετρελαίου με δύο στάδια συμπίεσης	9
Εικόνα 3 Ο πλέον διαδεδομένος υπερπληρωτής αργόστροφων πετρελαιοκινητήρων εταιρίας ABB (VTR) αξονικής ροής	10
Εικόνα 4 Υπερπληρωτής ακτινικής ροής της MAN (TCR)	10
Εικόνα 5 Υπερπληρωτής ακτινικής ροής αυτοκινήτου	11
Εικόνα 6 Κινητήρας Scuderi (πηγή www.caroto.gr)	12
Εικόνα 7 Υπερσυμπίεστης ακτινικής ροής (πηγή www.engineers-jewelry.de)	13
Εικόνα 8 Υπερσυμπίεστης αξονικής ροής (πηγή www.marinediesels.info)	14
Εικόνα 9 Έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα), (πηγή www.royleman.gr)	15
Εικόνα 10 Έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), (πηγή www.royleman.gr)	16
Εικόνα 11 Impeller (πηγή www.walter-tools.com)	18
Εικόνα 12 Διάγραμμα πίεσης- ροής μάζας << COMPRESSOR SURGE AND STALL >> RONALD C. PAMPREEN	19
Εικόνα 13 Διάγραμμα συντελεστών ψ-φ << COMPRESOR SURGE AND STALL >> RNALD C. PAMPREEN	19
Εικόνα 14 Διαχύτης καναλιού	23
Εικόνα 15 Διαχύτης κωνικός	24
Εικόνα 16 Διαχύτης δακτυλοειδής	24
Εικόνα 17 Σαρωτής laser εταιρίας FARO	33
Εικόνα 18 Σαρωτής επαφής (πηγή <<ΣΑΡΩΤΕΣ LASER >> ΠΑΥΛΟΣ ΣΥΜΕΩΝΙΔΗΣ)	34
Εικόνα 19 extrude (CATIAV5)	39
Εικόνα 20 revolve (CATIA V5)	40
Εικόνα 21 CAM (CATIAV5)	41
Εικόνα 22 Εργαλειοφορείο τόρνου CNC της εταιρίας HAAS, μοντέλο SL40	44
Εικόνα 23 Φρέζα χειροκίνητη VERMAC	45
Εικόνα 24 Διαχύτης υπερσυμπίεστη	50
Εικόνα 25 Τόρνος HAAS SL 40 LONGBED	53
Εικόνα 26 Τσοκ τόρνου	53
Εικόνα 27 Φρέζα VMC 800 22	54
Εικόνα 28 Εργαλειοφορείο - τραπέζι φρέζας	55
Εικόνα 29 Μανέλα τόρνου εξωτερικής διαμέτρου	56
Εικόνα 30 Γεωμετρικά στοιχεία μανέλας εξωτερικής διαμέτρου	57
Εικόνα 31 Μανέλα τόρνου εσωτερικής διαμέτρου	57
Εικόνα 32 Γεωμετρικά στοιχεία μανέλας εσωτερικής διαμέτρου	58
Εικόνα 33 Κοπτικά εργαλεία τόρνου	58
Εικόνα 34 Κονδύλι HSS Co8	59
Εικόνα 35 Γεωμετρικά στοιχεία κονδυλιού	59
Εικόνα 36 Τρυπάνι 6,6 mm	60
Εικόνα 37 Εντολή EXTRUDE (1/4)	64
Εικόνα 38 Εντολή EXTRUDE (2/4)	64
Εικόνα 39 Στην εντολή EXTRUDE επιλέγουμε το πάχος της βάσης του διαχύτη 9,30 mm (3/4)	65
Εικόνα 40 Εντολή EXTRUDE (4/4)	65

Εικόνα 41 Σχεδιασμός πτεριγίων (1/5)	67
Εικόνα 42 Σχεδιασμός πτεριγίων (2/5)	67
Εικόνα 43 Σχεδιασμός πτεριγίων (3/5)	68
Εικόνα 44 Σχεδιασμός πτεριγίων (4/5)	69
Εικόνα 45 Σχεδιασμός πτερυγίων (5/5)	69
Εικόνα 46 Δημιουργία σπής στο CATIA	70
Εικόνα 47 Τιμές πρόωσης κοπτικών τόρνου	74
Εικόνα 48 Probe HAAS (πηγή www.mtdcnc.com)	76
Εικόνα 49 Προετοιμασία CAM (1/4)	78
Εικόνα 50 Προετοιμασία CAM (2/4)	79
Εικόνα 51 Προετοιμασία CAM (3/4)	79
Εικόνα 52 Προετοιμασία CAM (4/4)	80
Εικόνα 53 Αρχικό κομμάτι	83
Εικόνα 54 Φωτογραφία κατεργασίας σε γράφημα	84
Εικόνα 55 Τέλος φρεζαρίσματος	84
Εικόνα 56 Προσομοίωση κίνησης σε animation (1/3)	85
Εικόνα 57 Προσομοίωση κίνησης σε animation (2/3)	86
Εικόνα 58 Προσομοίωση κίνησης σε animation (3/3)	86
Εικόνα 59 Τέλος φρεζαρίσματος	87
Εικόνα 60 Προσομοίωση κίνησης τρυπανιού	88
Εικόνα 61 Δημιουργία τελικού κομματιού	88

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΣΩΣΕΩΝ

(1) Ροπή Φτερωτής Καυσαερίων	18
(2) Μεταφορά ενέργειας	18
(3) Διαφορά θερμοκρασίας	18
(4) Συντελεστής πίεσης	20
(5) Συντελεστής ροής	21
(6) Aspect ratio	26
(7) Area ratio	26
(8) Λόγος μήκους προς ύψος	26
(9) Απόφραξη	27
(10) Ένταση τριβής εισόδου	27
(11) Αποκατάσταση στατικής πίεσης	28
(12) Ιδανική αποκατάσταση πίεσης	28
(13) Αποτελεσματικότητα διαχύτη	28
(14) Εξίσωση 14 Ορμή αέρα	28
(15) Εξίσωση 15 Ορμή αέρα	28
(16) Συνιστώσα κοπής	46
(17) Ταχύτητα κοπής	47
(18) Ταχύτητα περιστροφής	73
(19) Πρόωση	82

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Χημική σύσταση αλουμινίου	49
Πίνακας 2 Ιδιότητες αλουμινίου	50
Πίνακας 3 Γεωμετρικά στοιχεία κονδυλιών	59
Πίνακας 4 Σημεία εσωτερικής καμπύλης	66
Πίνακας 5 Σημεία εξωτερικής καμπύλης	66
Πίνακας 6 Διαστάσεις πρώτης ύλης	72
Πίνακας 7 Πρόγραμμα σε G-κώδικα	73
Πίνακας 8 Παράμετροι κοπής	82
Πίνακας 9 Αρχή προγράμματος	89
Πίνακας 10 Τόξο κύκλου	90
Πίνακας 11 Εντολές αλλαγής κοπτικού	91
Πίνακας 12 Κύκλος κατεργασίας τρύπας	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΕΣ

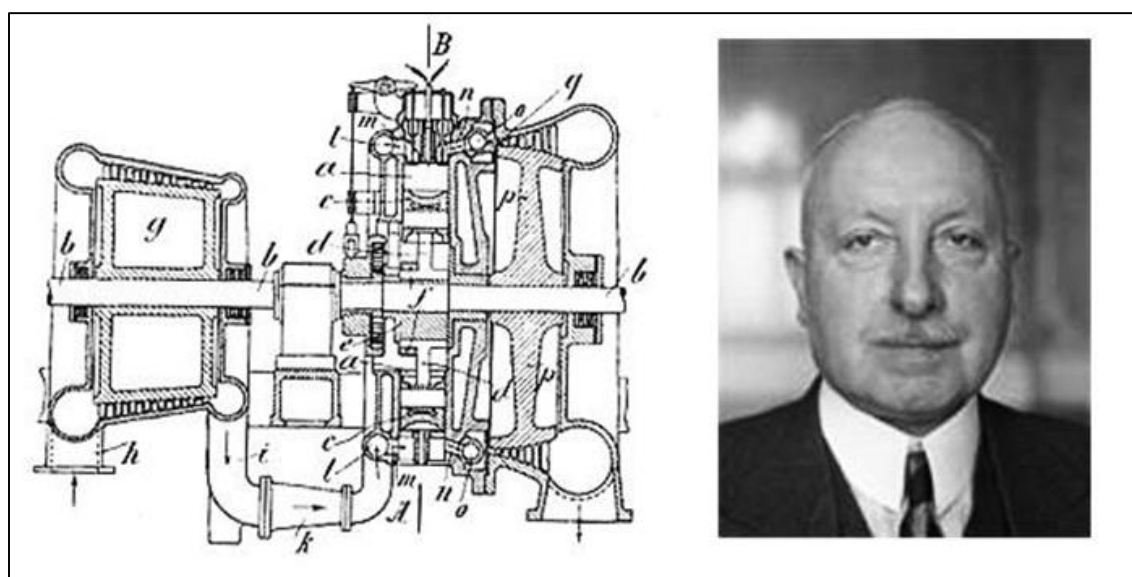
1 ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΕΣ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο Nicolas Leonard Sadi Carnot ήταν ο πρώτος, φυσικός και στρατιωτικός μηχανολόγος, ο οποίος μίλησε για την ωστική δύναμη της θερμότητας κατά τη λειτουργία μιας Μ.Ε.Κ. (1824), (THOMASSET , 2003)

Ο Jean Joseph Etienne Lenoir, μηχανολόγος, κατάφερε να δημιουργήσει το πρώτο όχημα κινούμενο με τη βοήθεια Μ.Ε.Κ. περί το 1860, (Lyman , 1904). Στη συνέχεια ακολούθησαν οι γνωστοί κινητήρες από τους Όττο (1876) και Diesel (1908), (ABB, 2008) (M & JANOTA M. S., 1982)

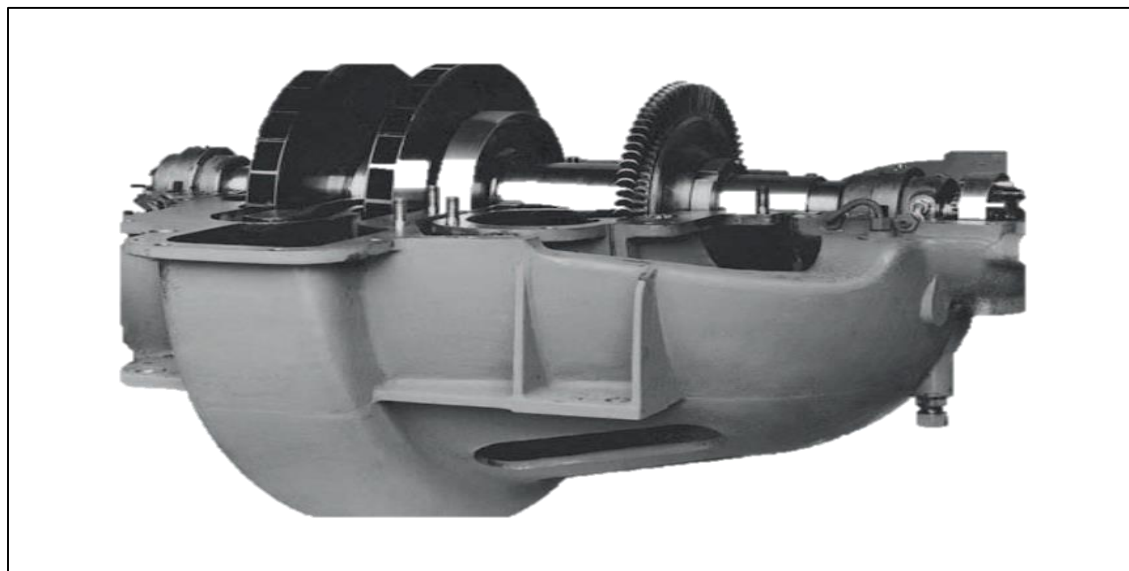
Για την καλύτερη απόδοση μιας Μ.Ε.Κ. κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί μία διάταξη η οποία θα οδηγούσε τον αέρα με πίεση μέσα στο θάλαμο καύσης. Οι πρώτες απόπειρες έγιναν από τους Gottlieb Daimler (1885) και Rudolf Diesel (1896) οι οποίοι ουσιαστικά προσυμπιέζαν τον αέρα με διάφορες μεθόδους, (WATSON M & JANOTA M. S., 1982). Η πρώτη υπερπλήρωση κινητήρα έγινε από τον Alfred Buchi ο οποίος θεωρείται ως ο εφευρέτης του υπερσυμπιεστή (turbocharger) (1905), (DAVIES & BAINES NICOLAS, 1994). Το έτος αυτό απονεμήθηκε στον Buchi δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τον πρώτο υπερπληρωτή ο οποίος ήταν ένας στρόβιλος και ένας συμπιεστής σε κοινό άξονα με τον κινητήρα, (DAVIES & BAINES NICOLAS, 1994)



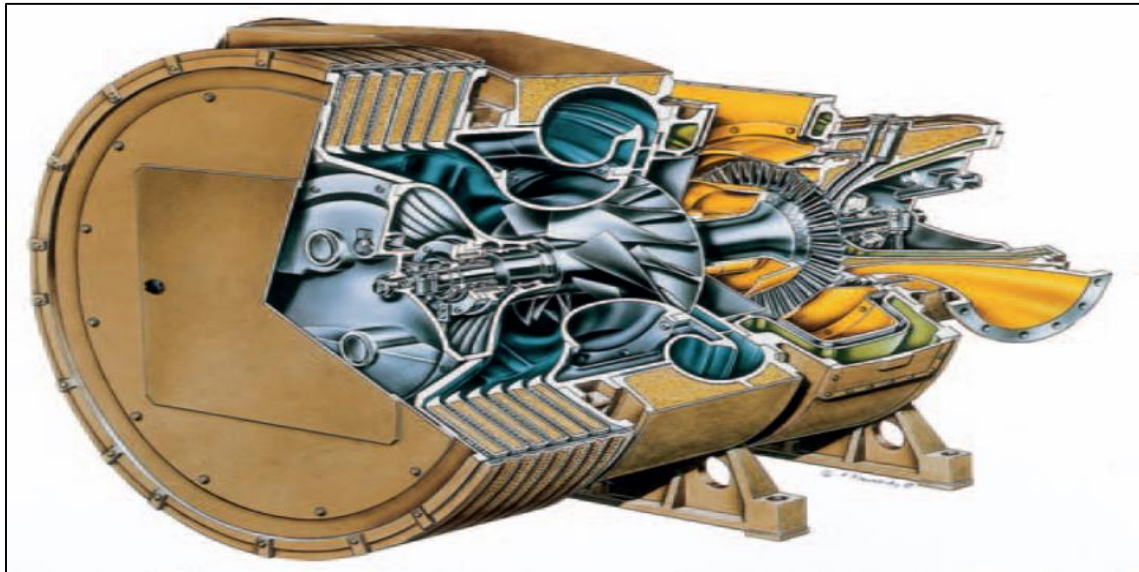
Εικόνα 1 Alfred Bushi

Ο υπερσυμπιεστής στην αγγλική γλώσσα μεταφράζεται ως turbocharger. Η λέξη αυτή προέρχεται από την ελληνική λέξη τύρβη. Η πρώτη χρήση ενός υπερσυμπιεστή έγινε πάνω σε κινητήρες πλοίου υπό την εποπτεία του Buchi (1923), (DAVIES & BAINES NICOLAS, 1994). Έχει παρατηρηθεί ότι από το 1945 και μετά η ισχύς των πετρελαιοκινητήρων έχει αυξηθεί αρκετά, φτάνει έως και τριπλασιασμό, με κύριο παράγοντα την χρησιμοποίηση των υπερσυμπιεστών. Οι χρησιμοποιούμενοι υπερσυμπιεστές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: αυτοί που είναι σχεδιασμένοι για αυτοκίνητα και φορτηγά, και αυτοί για χρήση σε κινητήρες μέσης και χαμηλής περιστροφής (αργόστροφοι) όπως κινητήρες ηλεκτρογεννητριών, βιομηχανίας και πλοίων.

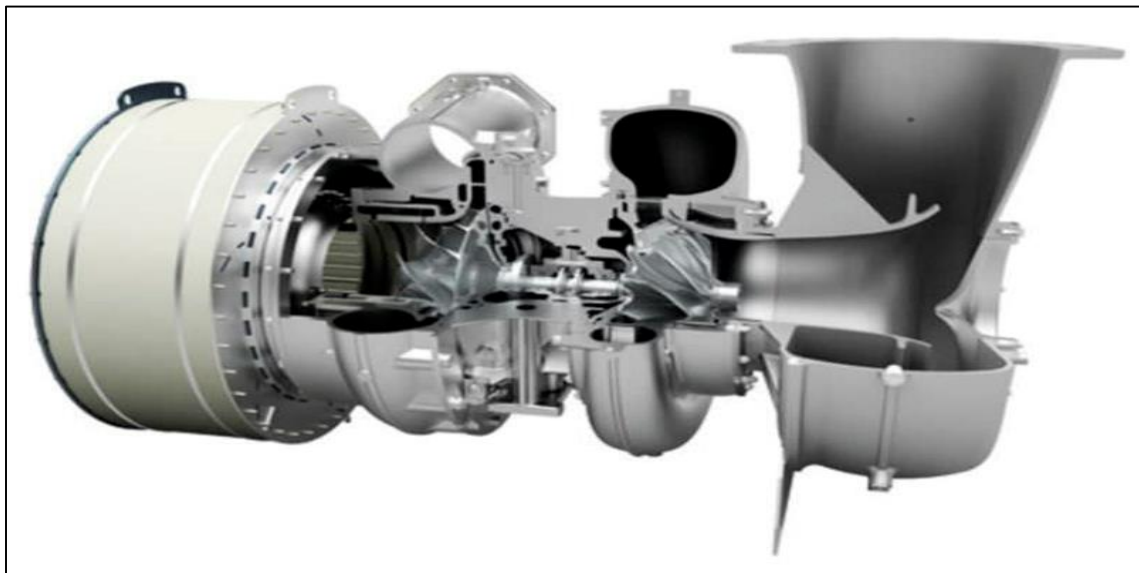
Η πρώτη εταιρία που έβγαλε σε μαζική παραγωγή υπερπληρωτές είναι η General Electric. Ξεκίνησε περί το 1930 την παραγωγή τους κυρίως για χρήση σε κινητήρες πολεμικών αεροπλάνων, στη συνέχεια η εταιρία Brown Boveri (νυν ABB) ήταν η πρώτη εταιρία η οποία παρήγαγε μαζικά υπερπληρωτές για αργόστροφους πετρελαιοκινητήρες πλοίων κατά κύριο λόγο αξονικής ροής . Αρχικά οι υπερσυμπιεστές είχαν δύο στάδια συμπίεσης αέρα ενώ μετά έγινε ένα. (ABB, 2008)



Εικόνα 2 Το πρώτο τούρμπο για μεγάλο κινητήρα πετρελαίου με δύο στάδια συμπίεσης



Εικόνα 3 Ο πλέον διαδεδομένος υπερπληρωτής αργόστροφων πετρελαιοκινητήρων εταιρίας ABB (VTR) αξονικής ροής



Εικόνα 4 Υπερπληρωτής ακτινικής ροής της MAN (TCR)

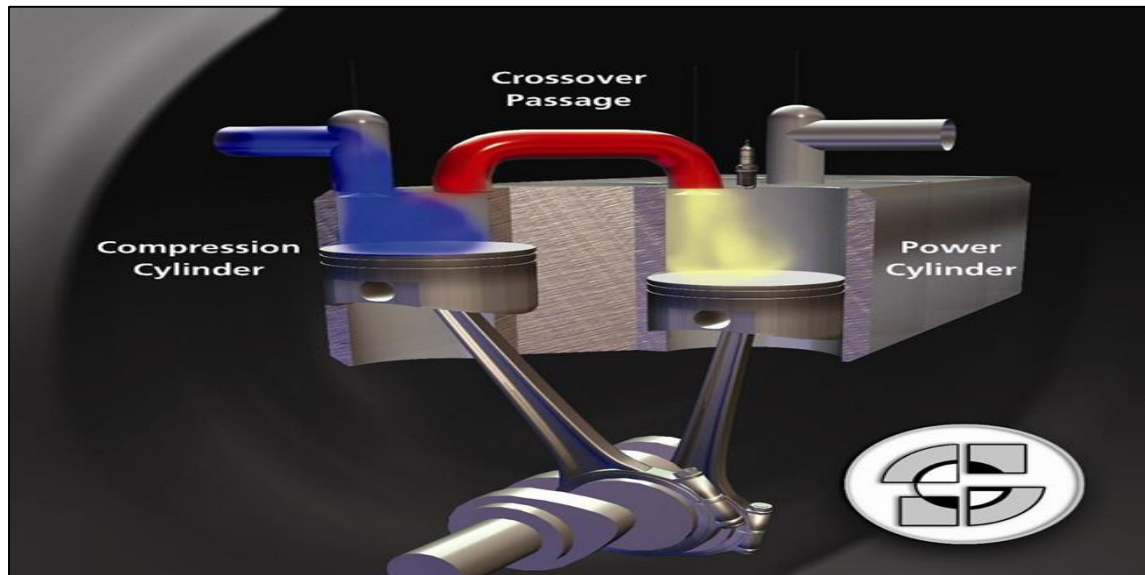
Λίγο μετά το 1950 ο Cliff Garrett ασχολήθηκε με την υπερπλήρωση πετρελαιοκινητήρων πολύ μικρής ιπποδύναμης 15-67 KW (20-90 HP). Στην αρχή τοποθετήθηκαν υπερπληρωτές σε οχήματα της Volvo, Scania και DAF. Στη συνέχεια η υπερπλήρωση επεκτάθηκε στα αγωνιστικά οχήματα και το 1965 άρχισε να εφαρμόζεται και σε επιβατικά οχήματα με πρωτοπόρο εταιρία τη Chevrolet. Στην εποχή μας η χρήση του υπερπληρωτή (turbocharger) σε επιβατικά οχήματα, πετρελαίου και βενζίνης, είναι πολύ σύνηθες φαινόμενο γιατί συνδυάζει την οικονομία καυσίμου και ελαχιστοποίηση των ρίπων με την αύξηση της απόδοσης ενός χαμηλού κυβισμού κινητήρα. Δεν είναι σπάνιο και το φαινόμενο του διπλού υπερσυμπιεστή (τεχνολογία bi-turbo) ή ο συνδυασμός του με κομπρέσορα (τεχνολογία TSI), (MARINOPOYLOS , 2009).

Η τεχνολογία του διπλού υπερσυμπιεστή αφορά δύο τούρμπο να δουλεύουν είτε σε σειρά, τα καυσαέρια περνάνε πρώτα από τον ένα υπερσυμπιεστή και μετά από τον άλλο, είτε παράλληλα ενώνοντας τις εξαγωγές των καυσαερίων των μισών κυλίνδρων με τον ένα υπερσυμπιεστή και τις υπόλοιπες με τον άλλο. Ο συνδυασμός υπερπληρωτή με κομπρέσορα κατασκευάστηκε με τη λογική να δουλεύει ο κομπρέσορας σε χαμηλές στροφές και όταν ο κινητήρας φτάνει τις υψηλές στροφές αυτός να σταματάει και να δίνει τη θέση του στον υπερσυμπιεστή για την υπερπλήρωση του κινητήρα , έτσι ώστε αυτός να έχει ικανοποιητική απόδοση από τις χαμηλές στροφές, (MARINOPOYLOS , 2009).



Εικόνα 5 Υπερπληρωτής ακτινικής ροής αυτοκινήτου

Αξιοσημείωτη είναι η προσπάθεια της εταιρίας Scuderi να αντικαταστήσει τον υπερπληρωτή φτιάχνοντας ένα χρονοπαράλληλο κινητήρα. Σύμφωνα με το εγχείρημά τους σε έναν τετράχρονο δίκυλινδρο κινητήρα ο ένας κύλινδρος δεν κάνει καύση αλλά συμπιέζει τον αέρα για να τον στείλει στον άλλον κύλινδρο όπου θα γίνει η καύση και θα παραχθεί έργο. Στην περίπτωση όπου η διάμετρος του κυλίνδρου συμπίεσης είναι μεγαλύτερη από τον άλλο τότε επιτυγχάνουμε την υπερπλήρωση του, (THE WALL STREET JOURNAL, 2009)

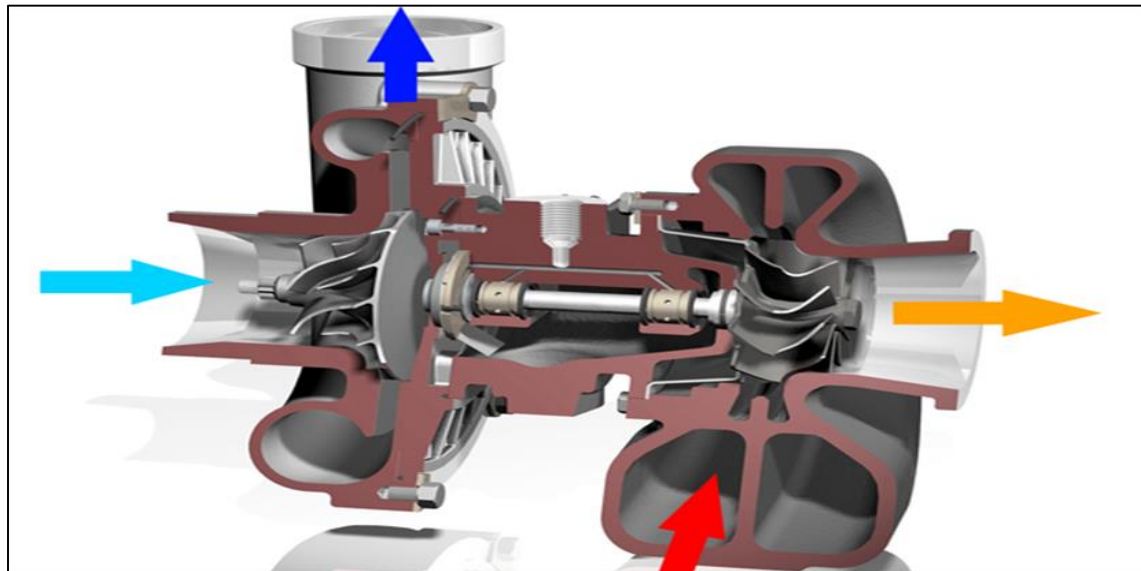


Εικόνα 6 Κινητήρας Scuderi (πηγή www.caroto.gr)

1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

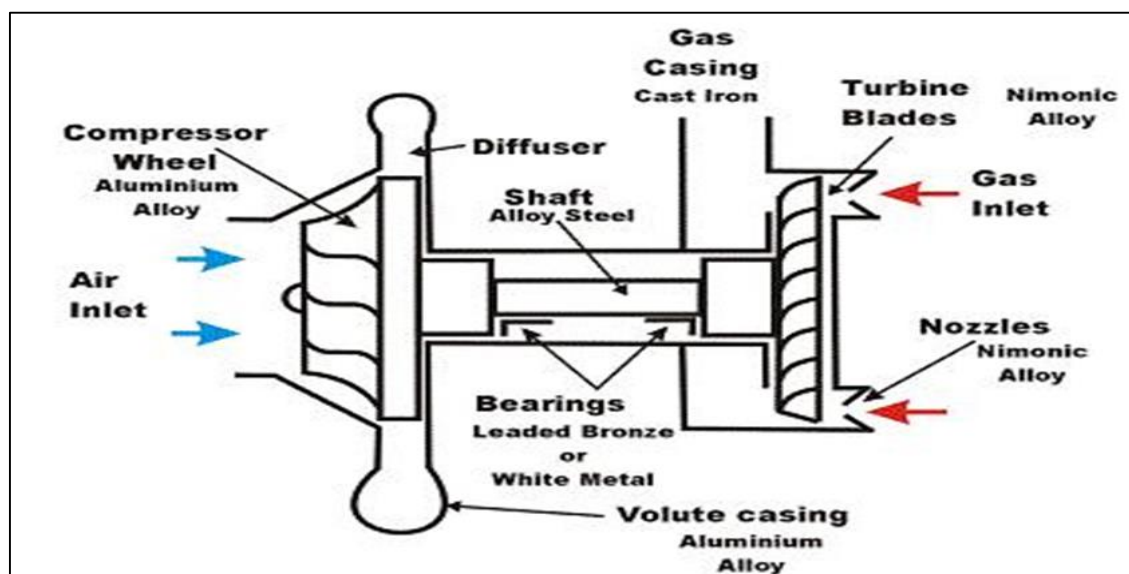
Ο ρόλος του υπερσυμπιεστή στη διάταξη μιας Μ.Ε.Κ. είναι να παρέχει περισσότερη ποσότητα αέρα στο θάλαμο καύσης από ότι θα εισερχόταν υπό κανονικές συνθήκες. Αυτό το πετυχαίνει συμπιέζοντας τον αέρα παίρνοντας ενέργεια από τα εξερχόμενα καυσαέρια της μηχανής.

Οι υπερσυμπιεστές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την ροή την οποία ακολουθούν τα καυσαέρια τους. Έχουμε λοιπόν υπερσυμπιεστές αξονικής και ακτινικής ροής. Αξονικής ροής ονομάζονται οι υπερσυμπιεστές των οποίων τα καυσαέρια ακολουθούν ροή παράλληλη του κύριου άξονά τους ενώ αντίστοιχα ακτινικής ονομάζονται αυτοί των οποίων η ροή είναι κάθετη ως προς τον κύριο άξονά τους.



Εικόνα 7 Υπερσυμπιεστής ακτινικής ροής (πηγή www.engineers-jewelry.de)

Τα κύρια μέρη ενός υπερσυμπιεστή είναι ο άξονας στις άκρες του οποίου βρίσκονται δύο φτερωτές, αέρα (impeller) και καυσαερίων (turbine wheel), το κυρίως σώμα (bearing casing) στο οποίο τοποθετείται ο άξονας μαζί με τις εδράσεις του, και τα κελύφη αέρα και καυσαερίων καθώς και το φίλτρο από την πλευρά του αέρα. Δύο επιπλέον εξαρτήματα είναι το ακροφύσιο των καυσαερίων (nozzle) καθώς και το ακροφύσιο αέρα (diffuser), το οποίο είναι το κύριο εξάρτημα με το οποίο θα ασχοληθούμε στην πτυχιακή αυτή.



Εικόνα 8 Υπερσυμπιεστής αξονικής ροής (πηγή www.marinediesels.info)

Μεγάλη βάση κατά την κατασκευή ενός υπερσυμπιεστή δίνεται στον τρόπο στήριξης του άξονά τους έτσι ώστε να μπορεί να γυρίζει με όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες (τριβές) κατά την περιστροφή του, και την βέλτιστη απορρόφηση της ωστικής δύναμης (thrust), της δύναμης δηλαδή που αναπτύσσεται παράλληλα ως προς τον κύριο άξονα του λόγω της αξονικής δύναμης που δημιουργείται από τα καυσαέρια κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια της φτερωτής των καυσαερίων. Η έδραση του άξονα γίνεται με τη βοήθεια εδράνων κύλισης (ρουλεμάν) ή εδράνων ολίσθησης (κουζινέτα). Μεταξύ του άξονα και των εδράσεων παρεμβάλλεται συνήθως λάδι για να μην έρχονται οι δύο επιφάνειες σε επαφή και να μην δημιουργείται αύξηση θερμοκρασίας σε αυτές.

Οι τέσσερις συνηθέστεροι τρόποι έδρασης του άξονα είναι:

- I. Τα έδρανα να βρίσκονται ανάμεσα στις δύο φτερωτές (inboard)
- II. Τα έδρανα να βρίσκονται έξω από τις δύο φτερωτές ένα από κάθε μεριά (outboard)
- III. Το ένα έδρανο να βρίσκεται ανάμεσα στις δύο φτερωτές και το άλλο έξω από την φτερωτή του αέρα
- IV. Τα έδρανα να βρίσκονται έξω από τη μεριά της φτερωτής του αέρα



Εικόνα 9 Έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα), (πηγή www.royleman.gr)



Εικόνα 10 Έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), (πηγή www.royleman.gr)

Όσον αφορά την φτερωτή των καυσαερίων στην περίπτωση μας είναι ακτινικής ροής (radial flow). Συνήθως τέτοιου τύπου φτερωτές χρησιμοποιούνται για μικρούς υπερσυμπιεστές (αυτοκινήτων, φορτηγών), καθώς και για ηλεκτρομηχανές πλοίων. Προτού το καυσαέριο φτάσει στην φτερωτή περνάει από το ακροφύσιο καυσαερίων (nozzle) το οποίο μειώνει την πίεσή του, αυξάνει την ταχύτητα των καυσαερίων αυξάνοντας έτσι την κινητική τους ενέργεια. Το υλικό του ακροφύσιου είναι ανοξείδωτος χάλυβας και της φτερωτής από κράμα χυτοσίδηρου με πολύ υψηλή αντοχή σε θερμοκρασία.

1.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

Η ροπή της φτερωτής των καυσαερίων και κατ' επέκταση όλου του άξονα δίνεται από τον τύπο:

$$TQ = \dot{m} (r_4 C_{\theta 4} - r_5 C_{\theta 5}) \quad (1) \text{ Ροπή Φτερωτής Καυσαερίων}$$

όπου,

\dot{m} : η ροή μάζας των καυσαερίων

$C_{\theta 4}$, $C_{\theta 5}$: οι ακτινικές συνιστώσες της ταχύτητας των καυσαερίων κατά την είσοδο (4) και την έξοδο (5) τους στη φτερωτή

r_4 , r_5 : οι ακτίνες της φτερωτής στην είσοδο και στην έξοδο των καυσαερίων

Η μεταφορά ενέργειας από τα καυσαέρια στον στρόβιλο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\dot{W} = \dot{m} (u_4 C_{\theta 4} - u_5 C_{\theta 5}) \quad (2) \text{ Μεταφορά ενέργειας}$$

όπου,

u_4 , u_5 : οι περιφερειακές ταχύτητες της φτερωτής στην είσοδο και στην έξοδο των καυσαερίων

Η διαφορά θερμοκρασίας των καυσαερίων βρίσκεται από τον τύπο:

$$\Delta T = c_p (T_4 - T_5) \quad (3) \text{ Διαφορά θερμοκρασίας}$$

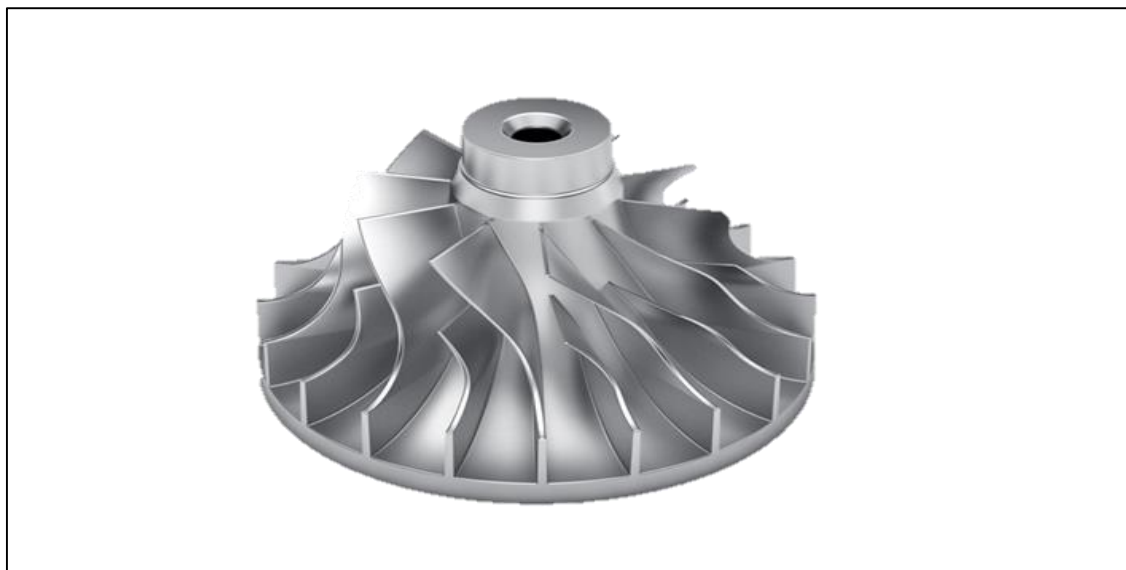
όπου,

T_4 , T_5 : οι θερμοκρασίες εισόδου (4) και εξόδου (5) των καυσαερίων

c_p : ο συντελεστής ανάληψης στατικής πίεσης

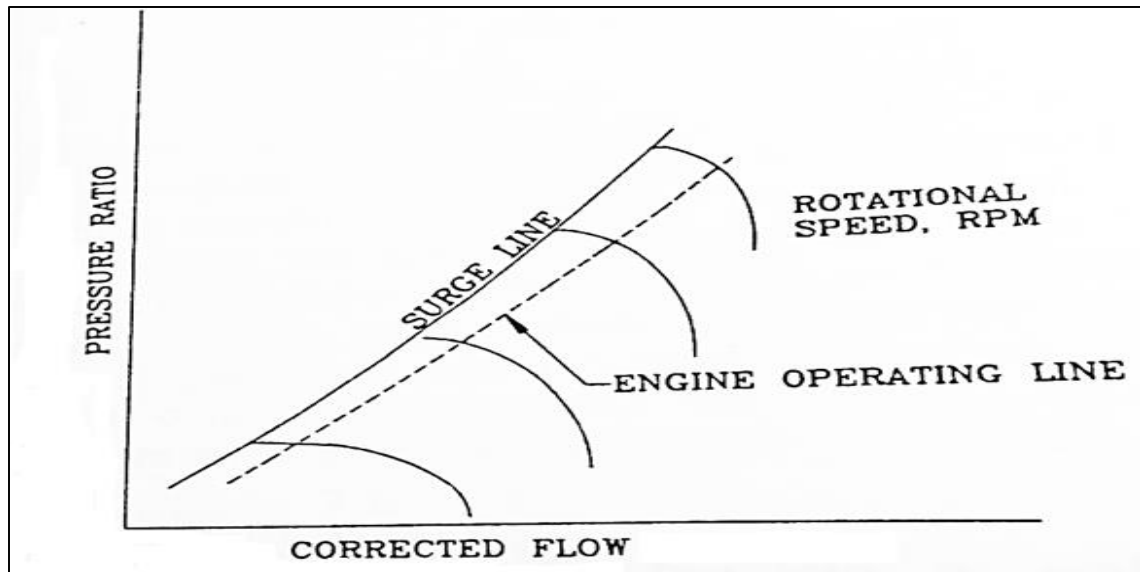
Από την άλλη πλευρά ενός υπερσυμπιεστή έχουμε την φτερωτή του αέρα (impeller). Σε μεγάλους τύπους υπερσυμπιεστών η φτερωτή του αέρα χωρίζεται σε δύο μέρη (inducer-impeller). Στη μπροστά πλευρά του υπερσυμπιεστή ο αέρας οδηγείται ως εξής:

- I. Εισάγεται στον υπερσυμπιεστή μέσω του κώνου εισαγωγής αέρα με προαιρετική προσθήκη φίλτρου
- II. Περιστρέφεται από την φτερωτή αυξάνοντας την ταχύτητά του
- III. Περνάει μέσω του διαχύτη (diffuser) ο οποίος μειώνει την ταχύτητά του αυξάνοντας την πίεσή του
- IV. Οδηγείται μέσω του κελύφους αέρα προς την εισαγωγή του θαλάμου καύσης

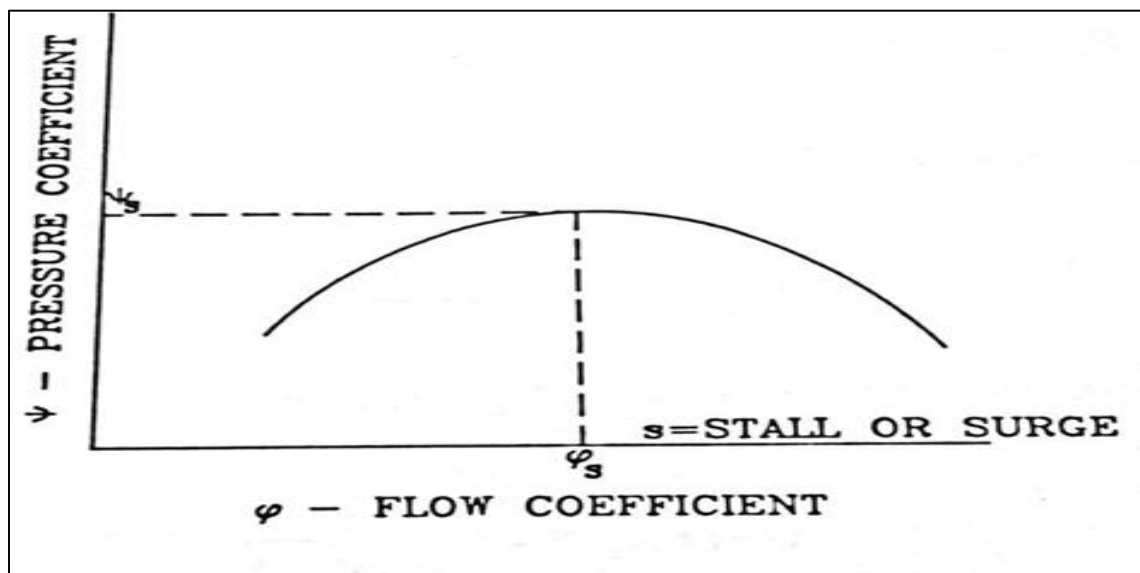


Εικόνα 11 Impeller (πηγή www.walter-tools.com)

Το πιο μεγάλο πρόβλημα που δημιουργείται σε έναν υπερσυμπιεστή είναι το λεγόμενο <<surge>>. Το surge εμφανίζεται όταν η πίεση του αέρα μετά τον υπερσυμπιεστή είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να <<σηκώσει>> ο υπερσυμπιεστής. Στην περίπτωση αυτή μια αντίστροφη ροή αέρα δημιουργείται και έχει κατεύθυνση προς την φτερωτή του αέρα μειώνοντας έτσι την ταχύτητα περιστροφής του υπερσυμπιεστή, αυξάνοντας τον θόρυβο και δημιουργώντας κραδασμούς (vibration). (PAMPREEN , 1993)



Εικόνα 12 Διάγραμμα πίεσης- ροής μάζας << COMPRESSOR SURGE AND STALL >> RONALD C. PAMPREEN



Εικόνα 13 Διάγραμμα συντελεστών ψ-φ << COMPRESOR SURGE AND STALL >> RNALD C. PAMPREEN

Όπου,

ψ = συντελεστής πίεσης

ϕ = συντελεστής ροής

ΚΑΙ

$$\psi = 2 \frac{\Delta P}{\rho U m^2} \quad (4) \text{ Συντελεστής πίεσης}$$

$$\varphi = \frac{V_z}{U_m} \quad (5) \text{ Συντελεστής ροής}$$

όπου,

ΔP = συνολική αύξηση της πίεσης στον συμπιεστή

ρ = πυκνότητα

U_m = μέση περιφερειακή ταχύτητα του άξονα

V_z = αξονική ταχύτητα του αέρα στην εισαγωγή

Το λεγόμενο <<surge>> προέρχεται από το φαινόμενο <<stall>> που εμφανίζεται στα πτερύγια της φτερωτής του αέρα. Ως stall ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία στα πτερύγια της φτερωτής η ροή είτε μειώνεται είτε εξαλείφεται και έχει την τάση να περιστρέφει τον άξονα προς την αντίθετη φορά, (PAMPREEN , 1993).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΧΥΤΗ

2 ΔΙΑΧΥΤΕΣ

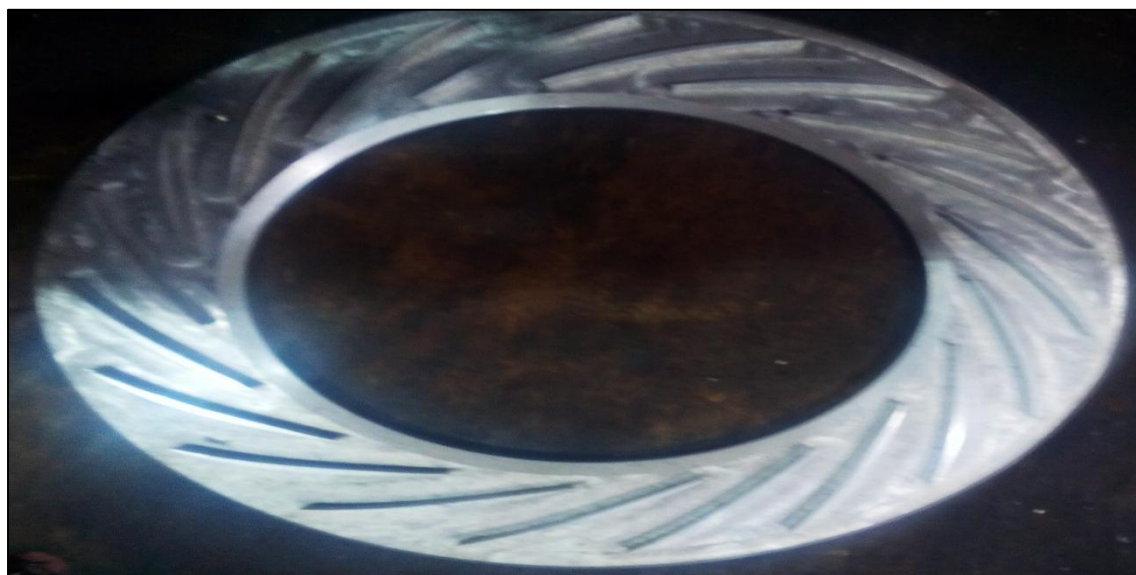
2.1 ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΧΥΤΗ

Ο ρόλος του διαχύτη σε έναν υπερσυμπιεστή είναι να μειώνει την ταχύτητα του αέρα που προέρχεται από την φτερωτή αυξάνοντας έτσι την στατική του πίεση. Αυτό το πετυχαίνει με την διαμόρφωση των πτερυγίων του. Κατασκευάζεται στην πλειονότητα από αλουμίνιο λόγω του χαμηλού κόστους του υλικού, την εύκολη κατεργασιμότητά του καθώς και το χαμηλό βάρος του.

Σύμφωνα με τους Sonpan και Klopp, μελετητές της λειτουργίας του, ο διαχύτης είναι χρήσιμος για εσωτερικές ροές όπου η ροή χρειάζεται να επιβραδύνει με τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Εναλλακτική λύση εκτός του διαχύτη είναι η απότομη αύξηση της διατομής η οποία όμως δημιουργεί σημαντική απώλεια πίεσης από την απότομη επιβράδυνση της ροής, (JOHNSON, 1998).

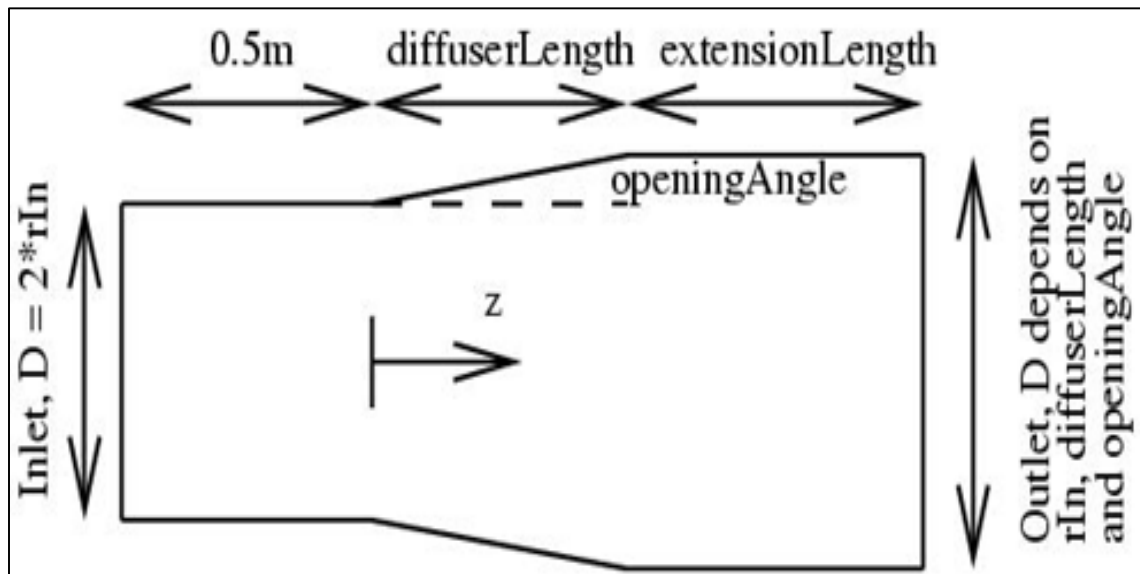
Υπάρχουν τρεις τύποι διαχύτη ανάλογα με το σχήμα τους:

- I. καναλιού (channel)



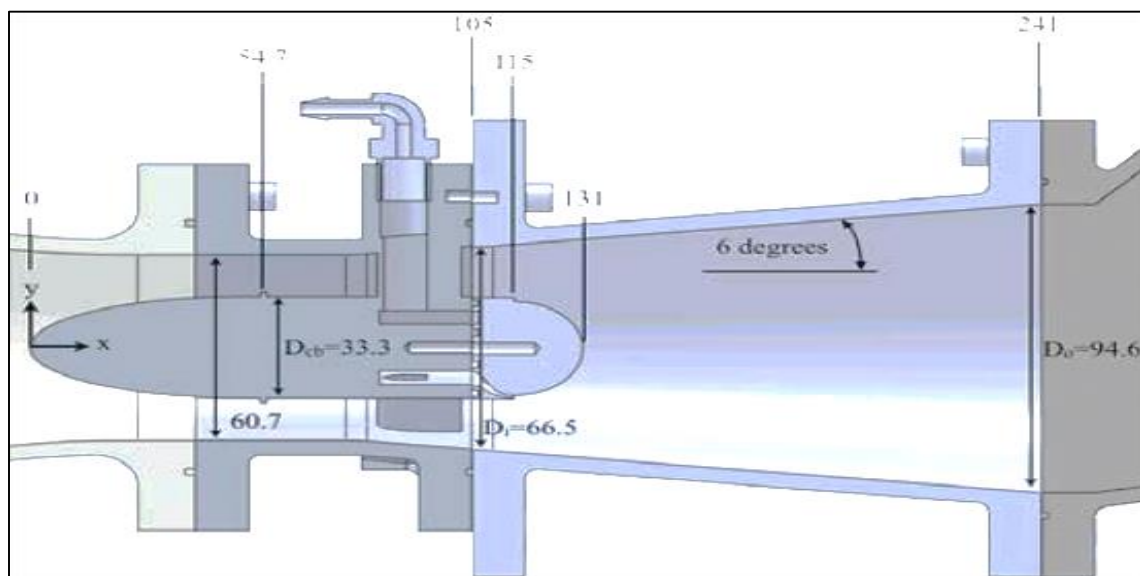
Εικόνα 14 Διαχύτης καναλιού

II. κωνικοί (conical)



Εικόνα 15 Διαχύτης κωνικός

III. δακτυλοειδής (annular)



Εικόνα 16 Διαχύτης δακτυλοειδής

2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΧΥΤΗ

Τα κύρια στοιχεία από τα οποία χαρακτηρίζεται ένας διαχύτης είναι τα εξής:

I. Aspect ratio. Αφορά το λόγο του πλάτους προς το ύψος της διόδου που αφήνει στον αέρα ο διαχύτης.

$$AS = \frac{B}{W} \quad (6) \text{ Aspect ratio}$$

Όπου, B = πλάτος

W = ύψος

II. Area ratio. Είναι το εμβαδόν εξαγωγής προς το εμβαδόν εισαγωγής του αέρα στο διαχύτη. Το εμβαδόν εξαγωγής είναι μεγαλύτερο αυτού της εισαγωγής επομένως ο λόγος αυτός είναι πάντοτε μεγαλύτερο της μονάδας.

$$AR = \frac{A_2}{A_1} \quad (7) \text{ Area ratio}$$

Όπου, A_2 = εμβαδόν εξαγωγής

A_1 = εμβαδόν εισαγωγής

III. Non dimensional length. Είναι ο λόγος του μήκους προς το ύψος του διαχύτη. Ο λόγος αυτός δεν επηρεάζει λειτουργικά ένα διαχύτη γι αυτό έχει ονομαστεί ως μήκος χωρίς διάσταση.

$$\frac{L}{W} \quad (8) \text{ Λόγος μήκους προς ύψος}$$

Όπου, L = μήκος

W = ύψος

Ένα από τα στοιχεία λειτουργίας του διαχύτη είναι η απόφραξη (**blockage**). Ως απόφραξη ορίζεται το ποσοστό της περιοχής εισόδου του αέρα που φράσσεται από το πάχος μετατόπισης του οριακού στρώματος. Το πάχος μετατόπισης του οριακού στρώματος είναι το

πάχος στρώματος ρευστού που κινείται με την εξωτερική ταχύτητα της ροής και μεταφέρει παροχή ίση με την απώλεια παροχής που προκαλεί το οριακό στρώμα. Για τον διαχύτη της εργασίας η απόφραξη ισούται με 2 φορές το πάχος μετατόπισης προς το ύψος.

$$B = \frac{2\delta}{W} \quad (9) \text{ Απόφραξη}$$

Όπου, δ = πάχος οριακού στρώματος

W = ύψος

Άλλο ένα στοιχείο λειτουργίας του διαχύτη είναι η ένταση τριβής εισόδου (inlet turbulence intensity ή RNS value) και βρίσκεται από τον τύπο:

$$Tu = \frac{\left(\frac{1}{3}(u'^2 + v'^2 + w'^2)\right)^{\frac{1}{2}}}{U} \quad (10) \text{ Ένταση τριβής εισόδου}$$

Όπου, $u' = (\bar{u}^2)^{1/2}$ είναι οι διακυμάνσεις της ταχύτητας στον U άξονα κατεύθυνσης, ο οποίος είναι παράλληλος της κύριας κατεύθυνσης της ροής. Ομοίως είναι και τα v' και w' .

Για την επιλογή ενός διαχύτη σημαντικό ρόλο παίζουν οι παράμετροι απόδοσής του. Η πρώτη παράμετρος η οποία μπορεί να υπολογιστεί είναι η αποκατάσταση της στατικής πίεσης (static pressure recovery). Ουσιαστικά είναι η αύξηση της στατικής πίεσης διαιρεμένη με την πίεση εισόδου.

$$Cp = \frac{p_2 - p_1}{p_{01} - p_1} \quad (11) \text{ Αποκατάσταση στατικής πίεσης}$$

Όπου p_2 = πίεση εξόδου

p_1 = πίεση εισόδου

p_{01} = ατμοσφαιρική πίεση

Ενώ η ιδανική αποκατάσταση της πίεσης ισούται με:

$$Cp_i = 1 - \frac{1}{AR^2} \quad (12) \text{ Ιδανική αποκατάσταση πίεσης}$$

Ως αποτελεσματικότητα ενός διαχύτη ορίζεται ο λόγος:

$$\frac{C_p}{C_{pi}} \quad (13) \text{ Αποτελεσματικότητα διαχύτη}$$

Η εξίσωση ορμής του αέρα μέσα στο διαχύτη δίνεται από τον τύπο:

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (14) \text{ Εξίσωση 14 Ορμή αέρα}$$

Ο οποίος γράφεται και με τον εξής τρόπο:

$$\dot{U} \frac{\partial \dot{U}}{\partial \dot{y}} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (15) \text{ Εξίσωση 15 Ορμή αέρα}$$

2.3 ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΧΥΤΗ

Όσον αφορά το υλικό του διαχύτη αρχικά ήταν από κράματα σιδήρου αλλά πλέον είναι από κράματα αλουμινίου λόγω του χαμηλότερου κόστους κατασκευής και χαμηλότερου βάρους. Τα κράματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους είναι κράματα αλουμινίου – χαλκού (Al-Cu). Τα κράματα αυτά χαρακτηρίζονται ως θερμοσκληρυνόμενα διότι η σκλήρυνση του υλικού επιτυγχάνεται με θερμές διαδικασίες. Μέσω αυτών των διαδικασιών αποκτούν μηχανικές αντοχές υψηλότερες από αυτές του μέσου χάλυβα. Είναι αρκετά επιρρεπή στην ατμοσφαιρική διάβρωση γι αυτό συνήθως περνάει από τη διαδικασία της βαφής για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό (Χαιδεμενόπουλος).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

REVERSE ENGINEERING

3 REVERSE ENGINEERING

3.1 REVERSE ENGINEERING (ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ)

Ο όρος **reverse engineering** (αντίστροφη μηχανική) στη μηχανολογία αφορά μια μεθοδολογία η οποία ακολουθείτε για την κατασκευή ενός ήδη υπάρχοντος εξαρτήματος μέσω της αντιγραφής. Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει κάποια στάδια τα οποία είναι αλληλοεξαρτώμενα μεταξύ τους. Είναι μια μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε μικρές βιομηχανίες οι οποίες δεν έχουν τους πόρους να δημιουργήσουν ένα μελετητικό τμήμα ώστε να αναλάβει το σχεδιασμό εξαρτημάτων εξ' αρχής, αλλά αντί αυτού παίρνουν ένα προϊόν που κυκλοφορεί ήδη στην αγορά και με τη βοήθεια της αντίστροφης μηχανικής καταφέρνουν να το αντιγράψουν πλήρως και να το πουλήσουν στην αγορά, είτε να καταφέρουν να προσαρμόσουν σε αυτό κάποιες μικρές κατασκευαστικές αλλαγές και να παράξουν ένα λίγο διαφορετικό εξάρτημα.

Τα στάδια του reverse engineering όσον αφορά την αντιγραφή εξαρτημάτων είναι:

- Αγορά του προϊόντος
- Λήψη μετρήσεων- ανάλυση λειτουργίας του- ανάλυση υλικού
- Σχεδιασμός- τρισδιάστατη απεικόνιση- προσομοίωση κατεργασίας
- Κατασκευή προϊόντος- ποιοτικός έλεγχος

3.2 ΛΗΨΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Για την αντιγραφή ενός εξαρτήματος απαραίτητη είναι η λήψη των διαστάσεών του με την απαιτούμενη ακρίβεια της εκάστοτε κατασκευής. Αναλόγως του τι χρειάζεται να μετρηθεί, ακμή ή επιφάνεια, επιλέγονται τα κατάλληλα μετρητικά όργανα. Υπάρχουν μετρητικά αναλογικά, ψηφιακά και οπτικοί σαρωτές. Η επιλογή του κατάλληλου κοπτικού εξαρτάται από το χρόνο μέτρησης και την ακρίβεια. Ένα αναλογικό μετρητικό ή ένα ψηφιακό μετρητικό μπορεί να φτάσει ακρίβεια 0,01 mm ενώ ένας οπτικό σαρωτής ακρίβεια έως 0,001 mm.

Τα πιο γνωστά μετρητικά όργανα είναι :

- I. Παχύμετρο
- II. Μικρόμετρο
- III. Ραδιόμετρο
- IV. Σπειρόμετρο

Τα παχύμετρα και τα μικρόμετρα είναι τα κατάλληλα μετρητικά για την μέτρηση ακμών καθώς και περιφέρειας κυλινδρικών κομματιών και οπών. Υπάρχουν και τα δύο σε αναλογική και ηλεκτρονική μορφή. Η διακρίβωσή τους είναι άκρως σημαντική ώστε να δίνουν σωστές μετρήσεις. Τα ραδιόμετρα και τα σπειρόμετρα είναι εργαλεία με τέτοια διαμόρφωση ώστε να μπορούν να μετράνε ράδια και σπειρώματα αντίστοιχα.

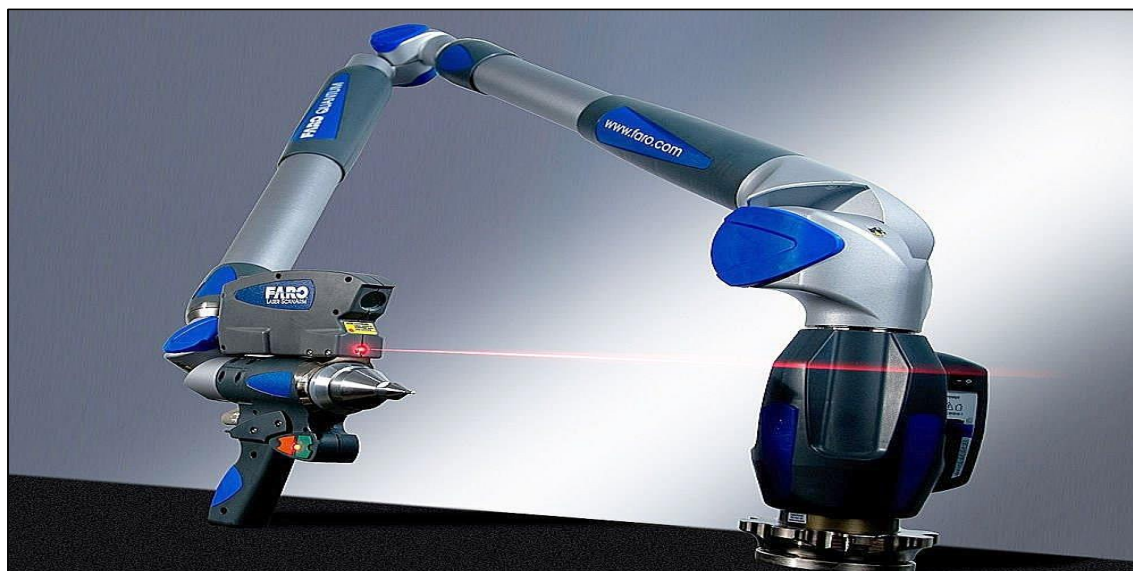
Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει περίπλοκη γεωμετρία και απαιτείται και πολύ μεγάλη ακρίβεια επιλέγονται οπτικοί σαρωτές. Υπάρχουν δύο τύποι οπτικών σαρωτών:

- I. Οπτική σάρωση χωρίς επαφή (**Laser scanning**)
- II. Σάρωση με επαφή (**Touch probe technology**)

Οι σαρωτές είναι μόνο ηλεκτρονικοί και εμφανίζουν τα σημεία του κομματιού που έρχονται σε επαφή ως συντεταγμένες σημείων είτε στο επίπεδο είτε στο χώρο. Κατά τη λήψη των μετρήσεων ορίζεται συνήθως ένα σημείο ως σημείο αναφοράς και βάση αυτού τοποθετούνται τα υπόλοιπα μετρούμενα σημεία στο επίπεδο ή στο χώρο. Μπορούν να προσφέρουν ακρίβεια 0,001 χιλιοστού και να κάνουν πολλές μετρήσεις μέσα σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.

3.3 ΟΠΤΙΚΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ

Οι οπτικοί σαρωτές αρχικά αναπτύχθηκαν ως αερομεταφερόμενα συστήματα με σκοπό να διαπερνούν το νερό και να απεικονίζουν τον βυθό της θάλασσας. Με την πάροδο του χρόνου και κάποιες αλλαγές στη δομή τους μπορούν πλέον να αναπαριστάνουν με ικανοποιητική ακρίβεια επιφάνειες αντικειμένων. Σκοπός των σαρωτών αυτών είναι να συλλέξουν τις συντεταγμένες πολλών σημείων της επιφάνειας δημιουργώντας έτσι ένα νέφος σημείων και μας δίνουν την μορφή της. Για τους τρισδιάστατους σαρωτές συνήθως απαιτούνται αρκετές σαρώσεις από διαφορετικές γωνίες και όψεις ώστε να πάρουμε μια σωστή απεικόνιση του αντικειμένου. Σε κάποιες περιπτώσεις όπου δεν αντανακλάται σωστά η ακτίνα laser καλύπτουμε την επιφάνεια με ένα στρώμα λευκής πούδρας, (DANIEL, 2013).



Εικόνα 17 Σαρωτής laser εταιρίας FARO7

Η σάρωση μέσω της επαφής γίνεται μέσω των συστημάτων **CMM** (coordinate measuring machine). Μέσω της επαφής τους με το αντικείμενο δίνουν σχετικές συντεταγμένες ενός σημείου της επιφάνειας. Έχουν μεγάλη απήχηση στη βιομηχανία λόγω της μεγάλης ακρίβειάς τους ενώ το κύριο μειονέκτημα τους σε σχέση με τους οπτικούς σαρωτές είναι ότι κινούνται σχετικά αργά με αποτέλεσμα να παίρνουν λιγότερες μετρήσεις στον ίδιο χρόνο. Έχουν αντιθέτως



Εικόνα 18 Σαρωτής επαφής (Σημεωνίδης)

Στο επόμενο στάδιο χρειάζεται η βοήθεια των τρισδιάστατων μοντελοποιητών. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις από το προηγούμενο στάδιο οι μοντελοποιητές παρουσιάζουν μια τρισδιάστατη απεικόνιση ενός εξαρτήματος. Οι μετρήσεις αυτές είναι είτε απλές συντεταγμένες στο επίπεδο, δύο διαστάσεις, ή στο χώρο, τρεις διαστάσεις, είτε αποτελούν ένα νέφος σημείων το οποίο όταν εισάγεται στο μοντελοποιητή εμφανίζει μια επιφάνεια. Πολλές φορές χρειάζεται να γίνει εξομάλυνση συνέχειας στις μετρήσεις διότι για τη δημιουργία επιφανειών χρειάζονται κλειστές γεωμετρίες. Η μοντελοποίηση των εξαρτημάτων γίνεται στα συστήματα CAD των μοντελοποιητών αυτών ενώ υπάρχει πλέον η δυνατότητα να γίνεται προσομοίωση όλων των σταδίων κατεργασίας σε αυτά με τη χρήση του CAM.

3.4 ΚΕΝΤΡΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η μεθοδολογία συνεχίζεται με την κατασκευή του προϊόντος στα κατάλληλα κέντρα κατεργασίας. Αναλόγως με τη γεωμετρία της πρώτης ύλης και του τελικού κομματιού επιλέγεται από μία μεγάλη γκάμα μηχανημάτων και εξαρτημάτων κοπής και μορφοποίησης ο κατάλληλος εξοπλισμός. Πέραν των διαστάσεων μεγάλο ρόλο για την επιλογή του σε αυτό το στάδιο παίζουν το κόστος, το υλικό κατασκευής του κομματιού και ο απαιτούμενος χρόνος για την κατασκευή του. Το στάδιο της κατασκευής του εξαρτήματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το προηγούμενο στάδιο της σχεδίασης και της προσομοίωσης κοπής. Όλα τα στοιχεία του προηγούμενου σταδίου αξιοποιούνται σε αυτό καθώς επίσης πολλές φορές μπορεί να προκύψουν κάποια ζητήματα τα οποία να έχουν ως αποτέλεσμα να χρειάζονται κάποιες αλλαγές στις παραμέτρους που εισήχθησαν στο στάδιο της μοντελοποίησης. Στη φάση αυτή χρήσιμη είναι η δημιουργία του φασεολόγιου, της σειράς δηλαδή των κατεργασιών ώστε να κατασκευαστεί ένα εξάρτημα. Εδώ αναφέρονται με τη σειρά οι κατεργασίες που θα πραγματοποιηθούν καθώς και τα μηχανήματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν.

Κάθε εξάρτημα το οποίο διατίθεται στην αγορά οφείλει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις οι οποίες θεσπίζονται από το ISO. Το ISO (International Organization of Standardization) είναι ένας διεθνής οργανισμός ο οποίος πιστοποιεί όλες τις επιχειρήσεις οι οποίες παράγουν και εμπορεύονται εξαρτήματα και κάθε είδους προϊόντα. Σύμφωνα με το ISO 9001 μια επιχείρηση που παράγει οποιοδήποτε εξάρτημα πρέπει να συμμορφώνεται με τους εκάστοτε περιορισμούς οι οποίοι αφορούν έλεγχο και συντήρηση μηχανημάτων, μετρητικών, διάφορων εξαρτημάτων που λαμβάνουν μέρος στην παραγωγή καθώς και τον τρόπο που θα γίνουν οι διαδικασίες για την κατασκευή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

CAD-CAM CATIA

4 CAD CAM CATIA

4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΤΕΣ - CAD - CAM

Η μοντελοποίηση ενός εξαρτήματος σε τρισδιάστατο μοντελοποιητή γίνεται με τη χρήση του **CAD** (computerized aided design). Οι πρώτες προσπάθειες απεικόνισης επιφανειών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή έγινε με την εμφάνιση αριθμητικών κειμένων σε αυτόν. Αργότερα προσπάθησαν να απεικονίσουν τα αντικείμενα αλλά αντιμετώπισαν πολλές δυσκολίες λόγω της μονοχρωμίας και της εμφάνισης σκιών πάνω στο σχέδιο. Αργότερα προσπάθησαν να απεικονίσουν τα αντικείμενα αλλά αντιμετώπισαν πολλές δυσκολίες λόγω της μονοχρωμίας και της εμφάνισης σκιών πάνω στο σχέδιο. Πλέον με την εξέλιξη της τεχνολογίας στους σύγχρονους τρισδιάστατους μοντελοποιητές είναι δυνατή η τρισδιάστατη απεικόνιση ενός εξαρτήματος σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. (ΜΠΙΛΛΗΣ & ΜΑΡΑΒΕΛΛΑΚΗΣ, 2009).

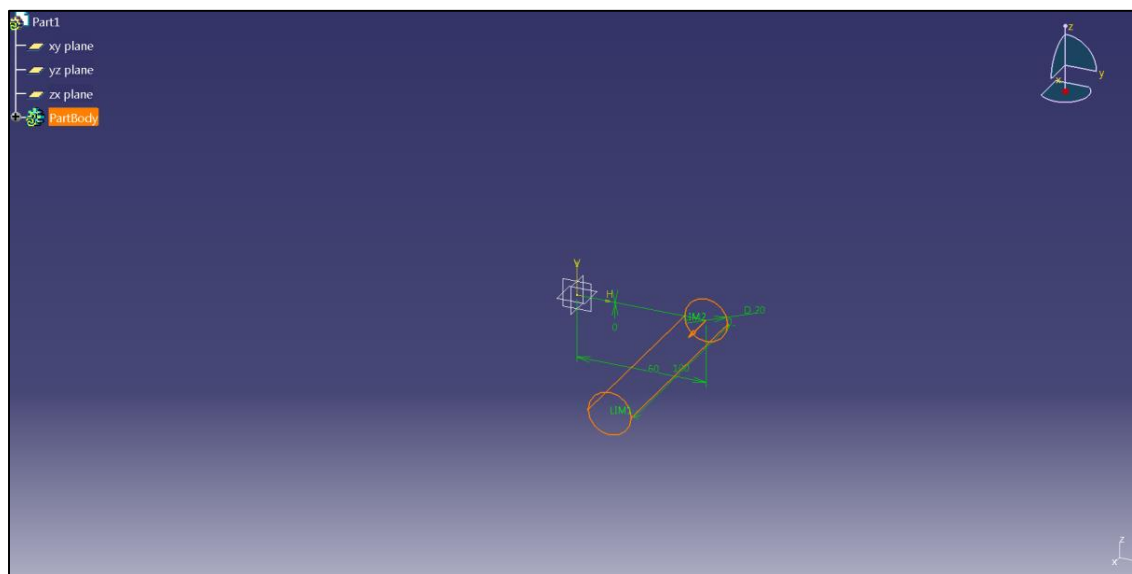
Άλλη μια δυνατότητα των τρισδιάστατων μοντελοποιητών είναι η προσομοίωση της κοπής ενός εξαρτήματος από τη φάση της πρώτης ύλης έως το τελικό στερεό. Η δυνατότητα αυτή προσφέρεται μέσω του **CAM** (computer aided manufacturing). Έχοντας ένα αρχικό και ένα τελικό σχέδιο μπορούν να εισαχθούν ότι τύπου κοπτικά εργαλεία χρειάζονται για κάποια κατεργασία και έτσι δημιουργείται η προσομοίωση της κοπής με όποιον τύπο κατεργασίας χρειάζεται. Μέσω των μετα - επεξεργασιών (**post-processors**), τα οποία είναι διαφορετικά για κάθε μοντελοποιητή και κάθε τύπο μηχανής, η προσομοίωση αυτή μετατρέπεται σε σημεία κίνησης του κοπτικού μέσα στη μηχανή, (ΜΠΙΛΛΗΣ & ΜΑΡΑΒΕΛΛΑΚΗΣ, 2009).

Ένα από τα εργαλεία της αντίστροφης μηχανικής για την αντιγραφή ενός εξαρτήματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στη εργασία αυτή, είναι οι τρισδιάστατοι μοντελοποιητές. Μέσω αυτών μπορεί να δοθεί μια τρισδιάστατη απεικόνιση ενός εξαρτήματος. Για να γίνει όμως αυτό έχει προηγηθεί η μέτρηση του κομματιού με κάποια κλασικά μετρητικά όργανα, όπως για παράδειγμα παχύμετρο ή μικρόμετρο, είτε μέσω μετρητικών οργάνων 2 διαστάσεων είτε με σαρωτές 2 ή 3 διαστάσεων. Για σαρωτές 2 ή 3 διαστάσεων η μέτρηση γίνεται μέσω της επαφής είτε με οπτική σάρωση (laser). Οι μετρήσεις αυτές στη συνέχεια εισάγονται στο πρόγραμμα και με τις κατάλληλες διορθώσεις εμφανίζεται το τελικό σχέδιο. Οι διορθώσεις αυτές φορούν κάποιες ασυνέχειες στις καμπύλες ή στις επιφάνειες που σχεδιάζονται μια και οι μοντελοποιητές μπορούν να απεικονίσουν ως στερεό ή ως επιφάνειες μόνο κλειστές γεωμετρίες. Αυτές οι αποκλίσεις των τιμών οφείλονται σε κάποια τυχαία σφάλματα κατά τη λήψη των μετρήσεων που αφορούν είτε σφάλμα λόγω ακρίβειας μετρητικού είτε σφάλμα λόγω του τρόπου μέτρησης.

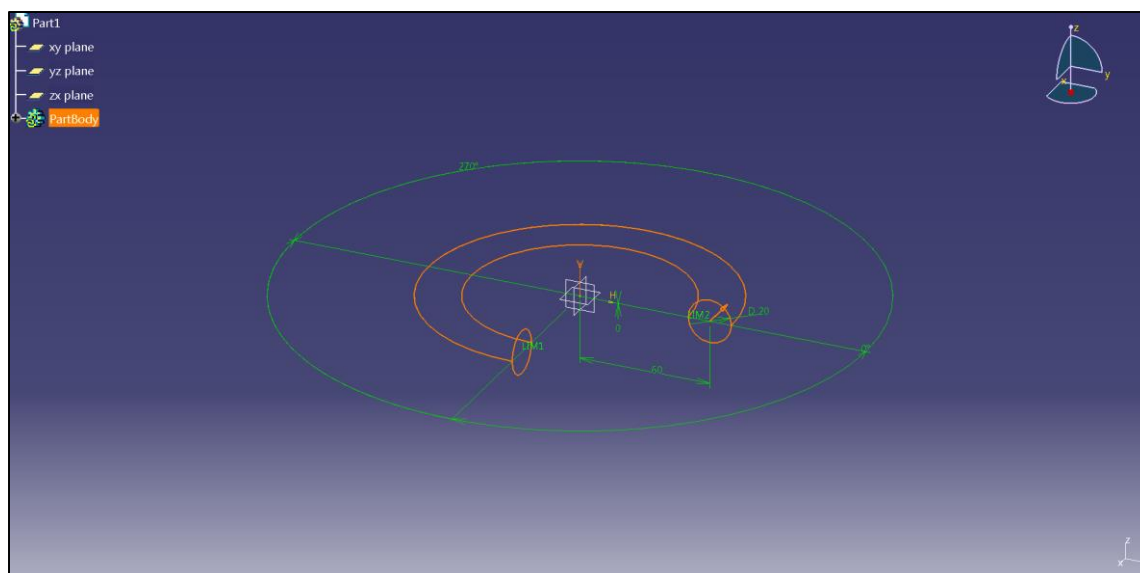
Μία επιπλέον δυνατότητα που μας δίνουν οι τρισδιάστατοι μοντελοποιητές είναι να εξεταστεί η κατάσταση του εξαρτήματος υπό συγκεκριμένες ηλεκτρικές, θερμικές ή δυναμικές καταπονήσεις. Επομένως ο σχεδιαστής εστιάζει καθαρά στη γεωμετρία του αντικειμένου δίχως να τον νοιάζει αν θα είναι στιβαρό ή όχι και στη συνέχεια βλέποντας τα σημεία στα οποία πάσχει αλλάζει τοπικά τη γεωμετρία του ώστε να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτή η λειτουργία των μοντελοποιητών είναι χρήσιμη για την κατασκευή ες' αρχής των εξαρτημάτων.

4.2 ΕΝΤΟΛΕΣ CAD ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΗΤΩΝ

Η απεικόνιση ενός εξαρτήματος αρχίζει από ένα δισδιάστατο σχέδιο το οποίο μετατρέπεται σε τρισδιάστατο χρησιμοποιώντας την εντολή της εξώθησης, δημιουργίας στερεού με σάρωση (**extrude**), ή της περιστροφής, δημιουργία στερεού εκ περιστροφής (**revolve**), αναλόγως αν το σχεδιάζεται ως προς το οριζόντιο ή το κάθετο επίπεδο αντίστοιχα. Οι εντολές αυτές είναι από τις βασικές και συχνότερα χρησιμοποιούμενες εντολές δημιουργίας στερεού μέσω δισδιάστατου σχεδίου. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες ως προς την μοντελοποίηση του στερεού μιας και υπάρχουν αρκετές παράμετροι που χρειάζονται για το σχεδιασμό του οι οποίες μπορούν να αλλάξουν το τελικό του σχήμα και μέγεθος. Ορίζεται η επιφάνεια ή οι επιφάνειες που θα γίνει η εξώθηση ή η περιστροφή, δημιουργία στερεού, και ορίζονται σαν οδηγοί οι άξονες σχεδίασης ή κάποια γραμμή του σχεδίου. Στην περίπτωση της εξώθησης ορίζεται η τιμή του μήκους του στερεού ή μπορεί να δημιουργηθεί στερεό έως κάποια άλλη επιφάνεια που θα συναντήσει και θα ενωθεί με αυτή. Στην εντολή περιστροφής οι βασικές παράμετροι είναι η επιφάνεια, ο άξονας συμμετρίας και οι μοίρες στις οποίες θα δημιουργηθεί στερεό γύρω από τον άξονα.



Εικόνα 19 extrude (CATIAV5)



Εικόνα 20 revolve (CATIA V5)

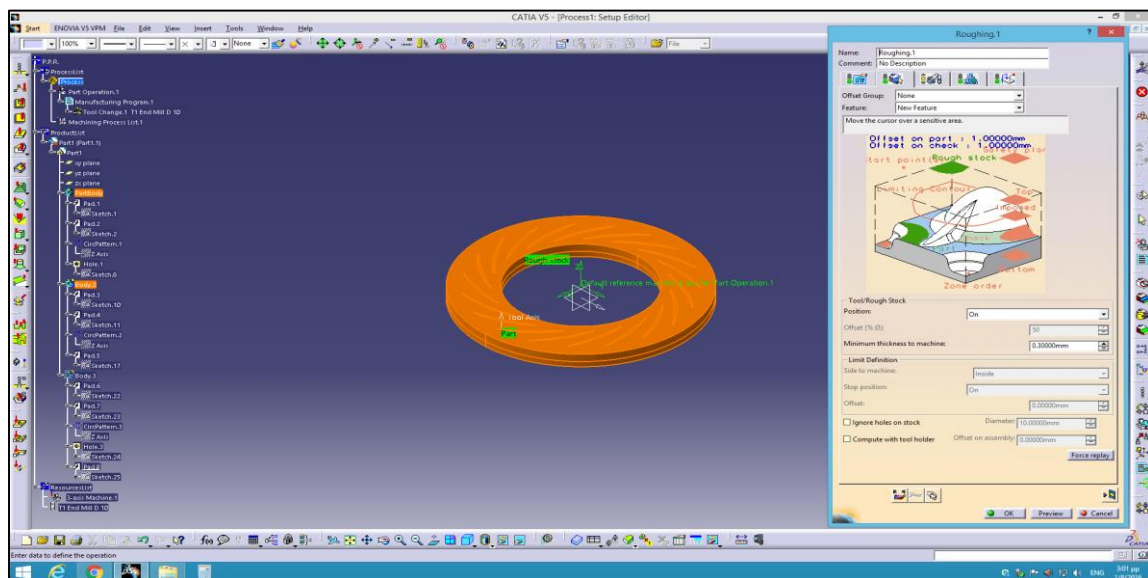
Συνήθως η σχεδίαση ενός εξαρτήματος δεν προκύπτει από μόνο ένα σχέδιο και μία εντολή δημιουργίας στερεού. Τα προγράμματα CAD προσφέρουν τη δυνατότητα σχεδίασης σε διαφορετικά επίπεδα από τα συνήθη τρία (xy , xz , yz) σε ένα σύστημα τριών συντεταγμένων xyz . Υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας επιπλέον επίπεδου σχεδίασης παράλληλου με αυτά ή ακόμα επίπεδου το οποίο να σχηματίζει συγκεκριμένη γωνία με κάποιο από αυτά.

Επομένως μπορεί οι εντολές *extrude* και *revolve* να χρησιμοποιηθούν αρκετές φορές για να μοντελοποιηθεί ένα αντικείμενο. Στην περίπτωση πλήρως συμμετρικών κομματιών υπάρχει η δυνατότητα σχεδίασης του μισού αντικειμένου και με την εντολή του καθρεπτισμού (*mirror*) μπορεί να δημιουργηθεί ακριβώς το ίδιο υπάρχων σχέδιο ή στερεό με οδηγό κάποιον άξονα συμμετρίας. Αυτή η τεχνική γλιτώνει αρκετό χρόνο στη σχεδίαση τέτοιων εξαρτημάτων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάζεται να γίνει σχέδιο σε ένα επίπεδο το οποίο έχει συγκεκριμένη γωνία ως προς κάποιο ήδη υπάρχων επίπεδο ή ως προς το σχεδιασμένο κομμάτι χρησιμοποιώντας τις ίδιες εντολές ή και κάποιες άλλες αναλόγως τις σχεδιαστικές ανάγκες. Πολύ χρήσιμες και συνήθεις εντολές είναι η εντολή καθρέπτη (*mirror*) η οποία χρησιμεύει κυρίως σε συμμετρικά κομμάτια και μας εξοικονομεί αρκετό χρόνο σχεδιασμού καθρεπτίζοντας τις καμπύλες του αντικείμενού μας ως προς τον άξονα συμμετρίας καθώς και οι εντολές δημιουργίας οπής (*hole*) και στρογγυλεμάτων (*fillet*) ή σπασιμάτων (*chamfer*).

4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ CAM

Οι τρισδιάστατοι μοντελοποιητές έχουν τη δυνατότητα προσομοίωσης κοπής μέσω του CAM (computer aided manufacturing). Για την προσομοίωση της κοπής εισάγονται τα σχέδια του αρχικού και του τελικού κομματιού, τα σχέδια και τα στοιχεία των κοπτικών εργαλείων καθώς και επιλέγονται οι απαιτούμενοι τρόποι κατεργασίας. Μια κατεργασία μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους κοπής και διαφορετικές επιλογές κοπτικών. Ουσιαστικά με την προσομοίωση δοκιμάζοντας διαφορετικούς τρόπους κατεργασίας μπορεί να βρεθεί ο βέλτιστος χρόνος για την κατασκευή ενός εξαρτήματος και με τη βοήθεια των μετα-επεξεργαστών **post-processors** μετατρέπεται η προσομοίωση σε εντολές – σημεία τα οποία θα ακολουθήσουν τα κοπτικά εργαλεία κατά τη διάρκεια της κοπής. Κάθε μοντελοποιητής και κάθε μχάνημα χρειάζεται διαφορετικό post-processor για τη δημιουργία προγράμματος. Η αυτοματοποιημένη δημιουργία προγράμματος είναι πολύ σημαντική αν σκεφτεί κανείς ότι για την κατασκευή ενός εξαρτήματος χρησιμοποιούνται προγράμματα με αρκετές χιλιάδες εντολές. Τα προγράμματα αυτά είναι σχεδιασμένα να εκτελούν κατεργασίες στην πλειονότητα των εργαλειομηχανών όπως φρεζαρίσματα 2 έως 5 αξόνων ελέγχου, τριβήματα 2 έως 4 αξόνων, ηλεκτροδιάβρωση, πρέσες.



Εικόνα 21 CAM (CATIAV5)

Μετά το σχεδιασμό του κομματιού σε κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα ακολουθείται η εξής διαδικασία (CAM):

- I. Προσδιορισμός γεωμετρικών στοιχείων
- II. Ορισμός κοπτικών εργαλείων
- III. Σειρά κατεργασιών – πορεία κοπτικού
- IV. Προσομοίωση και διόρθωση κίνησης
- V. Αρχείο θέσεων κοπτικού
- VI. Μεταφορά προγράμματος σε κέντρο κατεργασίας CNC

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ-ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

5 ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ – ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

5.1 ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

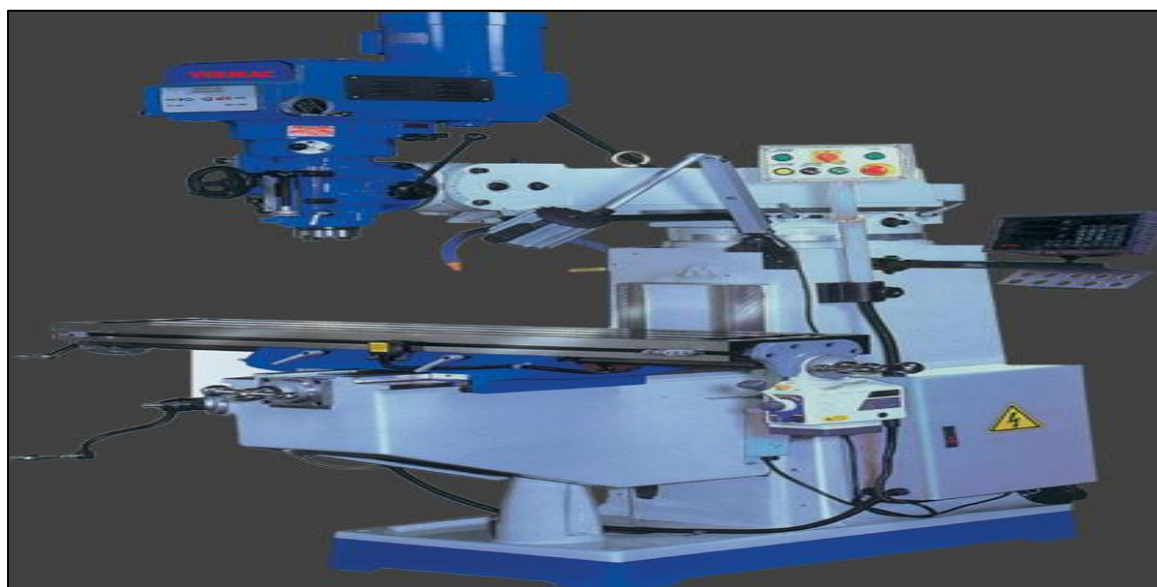
Ως εργαλειομηχανή θεωρείται μια μηχανή επεξεργασίας μεταλλικών κυρίως κομματιών στην οποία συνήθως εκτελούνται επαναλαμβανόμενες κοπές. Αξιοσημείωτο είναι πως οι εργαλειομηχανές είναι οι μόνες μηχανές που μπορούν να “αυτοαναπαραχθούν” και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κάθε τύπου μηχανής.

Για τη δημιουργία εκ περιστροφής κομματιών μετά την κατεργασία προτιμούνται εργαλειομηχανές τόννευσης (τόρνοι). Κατά την κατεργασία σε έναν τόρνο το κομμάτι περιστρέφεται και το κοπτικό διεισδύει μέσα σε αυτό αφαιρώντας υλικό. Συνήθως οι τόρνοι έχουν δύο άξονες κίνησης ενώ σε κάποιες εργαλειομηχανές CNC οι άξονες γίνονται περισσότεροι αφού έχουν τη δυνατότητα να περιστρέφουν το κομμάτι πάνω στο chock και να το ακινητοποιούν στις μοίρες επιθυμητές μοίρες καθώς είναι δυνατή και η τοποθέτηση τρυπανιών πάνω στον εργαλειοφορέα και η περιστροφή τους ώστε να γίνει κάποια κατεργασία φρεζαρίσματος ή δημιουργίας οπής.



Εικόνα 22 Εργαλειοφορέιο τόρνου CNC της εταιρίας HAAS, μοντέλο SL40

Ένα άλλο εξίσου διαδεδομένο μηχάνημα κατεργασιών είναι η **φρέζα**. Οι κατεργασίες που μπορούν να γίνουν σε μια φρέζα είναι είτε διάνοιξη οπών χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα τρυπάνια είτε φρεζάρισμα επιφανειών με τη βοήθεια των κατάλληλων κονδυλίων . Οι συνήθεις χειροκίνητες φρέζες λειτουργούν σε τρεις άξονες ενώ οι πιο σύγχρονες εργαλειομηχανές CNC μπορούν να εργαστούν σε 5 άξονες έχοντας έτσι τη δυνατότητα να δημιουργήσουν οποιαδήποτε πολύπλοκη επιφάνεια τους ζητηθεί.



Εικόνα 23 Φρέζα χειροκίνητη VERMAC

Οι εργαλειομηχανές κοπής άρχισαν να εμφανίζονται περίπου στα μέσα του 18^{ου} αιώνα κυρίως στην Αγγλία όπου κατασκευάστηκε η πρώτη τραπεζοπλάνη. Περίπου έναν αιώνα αργότερα άρχισαν να εμφανίζονται και άλλες εργαλειομηχανές όπως τόννοι και μηχανές λείανσης. Επίσης το 1851 έγινε η πρώτη δημοσίευση πάνω στα στοιχεία της κοπής. Στη συνέχεια ακολούθησαν κι άλλες δημοσιεύσεις για την κοπή οι οποίες αφορούσαν δυνάμεις κοπής, δημιουργία γρεζιού, μορφή κοπτικού εργαλείου, πλαστικές παραμορφώσεις κλπ. (RAJENDER, 2010).

5.2 ΚΟΠΗ

Με τον όρο **κοπή** αναφερόμαστε στη βίαιη αφαίρεση υλικού από ένα αντικείμενο. Οι βασικοί συντελεστές της κοπής είναι το κατεργαζόμενο τεμαχίο, το κοπτικό εργαλείο και το γρέζι που δημιουργείται λόγω της κοπής. Κατά την διαδικασία αυτή υπάρχει μια σχετική κίνηση του τεμαχίου μας και του κοπτικού εργαλείου σχηματίζοντας έτσι ένα απόβλητο πάνω στο κοπτικό μας λόγω πλαστικής παραμόρφωσης του κομματιού. Κατά την κοπή προσδιορίζονται δύο κινήσεις, μια περιστροφική κίνηση του κομματιού ή του κοπτικού η οποία απορροφάει το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος της κοπής και μία δευτερεύουσα κίνηση (**πρόωση**) με τη βοήθεια της οποίας αποδίδεται η επιθυμητή γεωμετρία. Μια εξίσου σημαντική παράμετρος σε μια τέτοια κατεργασία είναι και το βάθος κοπής το οποίο ορίζεται ως το πάχος υλικού του κατεργαζόμενου τεμαχίου που θα αφαιρεθεί με ένα πέρασμα του κοπτικού μας εργαλείου.

Υπάρχουν τέσσερις τύποι κατεργασίας:

- i. Χύτευση
- ii. Παραμόρφωση (ελασματοουργεία)
- iii. Αφαίρεση υλικού (τορνίρισμα, φρεζάρισμα, διάτρηση)
- iv. Προσθήκη (σύνδεση, συγκόλληση, 3D printing)

Οι τόννοι επιλέγονται κατά κύριο για την κατασκευή συμμετρικών κομματιών. Κατά το τορνίρισμα περιστρέφεται η κύρια άτρακτός του στην άκρη της οποίας είναι πιασμένο το κομμάτι που κατεργάζεται πάνω στο τσοκ. Το κοπτικό εργαλείο είναι πιασμένο πάνω σε μια μανέλα η οποία με τη σειρά της είναι τοποθετημένη πάνω στο εργαλειοφορείο. Το κοπτικό αυτό πλησιάζει μια επιφάνεια του κομματιού και με την ταχύτητα πρόωσης αρχίζει να αφαιρεί υλικό από αυτό. Κατά το τορνίρισμα η κύρια συνιστώσα της κοπής ορίζεται από τη σχέση των Kienzle και Victor:

$$F_c = K_c A \quad (16) \text{ Συνιστώσα κοπής}$$

Όπου, F_c = κύρια συνιστώσα κοπής

K_c = ειδική αντίσταση κοπής

A = διατομή αποβλήτου

Η κύρια συνιστώσα κοπής αφορά τη δύναμη που δημιουργείται πάνω στο κοπτικό κατά την αφαίρεση υλικού. Λόγο της δύναμης αυτής για να μην υπάρξει ταλάντωση στο κοπτικό και επηρεάζεται η κοπή ενδείκνυται η μανέλα με το κοπτικό να εξέρχει από το εργαλειοφορείο τιμή ίση με τρεις φορές τη διάμετρό του. Επίσης μια δύναμη ίδιας τιμής και αντίθετης φοράς ασκείται πάνω στο κατεργαζόμενο εξάρτημα.

Στην περίπτωση του φρεζαρίσματος το κομμάτι είναι πιασμένο σταθερά πάνω στο τραπέζι της πλάνης και το κοπτικό περιστρέφεται πάνω στον κύριο άξονα. Και στην περίπτωση αυτή κινείται το κοπτικό πάνω σε μια επιφάνεια του κομματιού και αφαιρείται υλικό.

Κατά το φρεζάρισμα η βασική παράμετρος είναι η ταχύτητα κοπής και βρίσκεται από τον τύπο:

$$u = \frac{\pi d n}{1000} \quad (17) \text{ Ταχύτητα κοπής}$$

Όπου, u = ταχύτητα κοπής (m/min)

π = σταθερά

d = διάμετρος κοπτικού (mm)

n = στροφές κοπτικού εργαλείου (rpm)

Η κατεργασία του φρεζαρίσματος χαρακτηρίζεται και ως διακοπτόμενη κοπή διότι οι κοπτικές ακμές δεν κόβουν συνεχόμενα λόγω της περιστροφική κίνησης του κοπτικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

6.1 ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή του κομματιού καθώς και η επιλογή υλικού κατασκευής, μηχανημάτων και εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στη συγκεκριμένη κατασκευή υπήρχε ένας διαχύτης δείγμα ο οποίος αντιγράφηκε. Έγινε ανάλυση του υλικού κατασκευής του σε συνεργαζόμενο συνεργάτη για να επιλεγεί το ίδιο υλικό.

Το υλικό κατασκευής του συγκεκριμένου διαχύτη είναι το κράμα αλουμινίου AA2007. Το συγκεκριμένο κράμα έχει διαμορφωθεί ειδικά ώστε να είναι εύκολα κατεργάσιμο και να έχει τις κατάλληλες για τη λειτουργία του μηχανικές ιδιότητες. Η χημική σύσταση του συγκεκριμένου κράματος αλουμινίου είναι η εξής:

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ (Al)	91,2-92,4
ΧΑΛΚΟΣ (Cu)	3,3-4,5
ΠΥΡΙΤΙΟ (Si)	0,8
ΣΙΔΗΡΟΣ (Fe)	0,7
ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Mg)	0,8
ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn)	0,5
ΧΡΩΜΙΟ (Cr)	0,1
ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (Zn)	0,5
ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb)	0,9

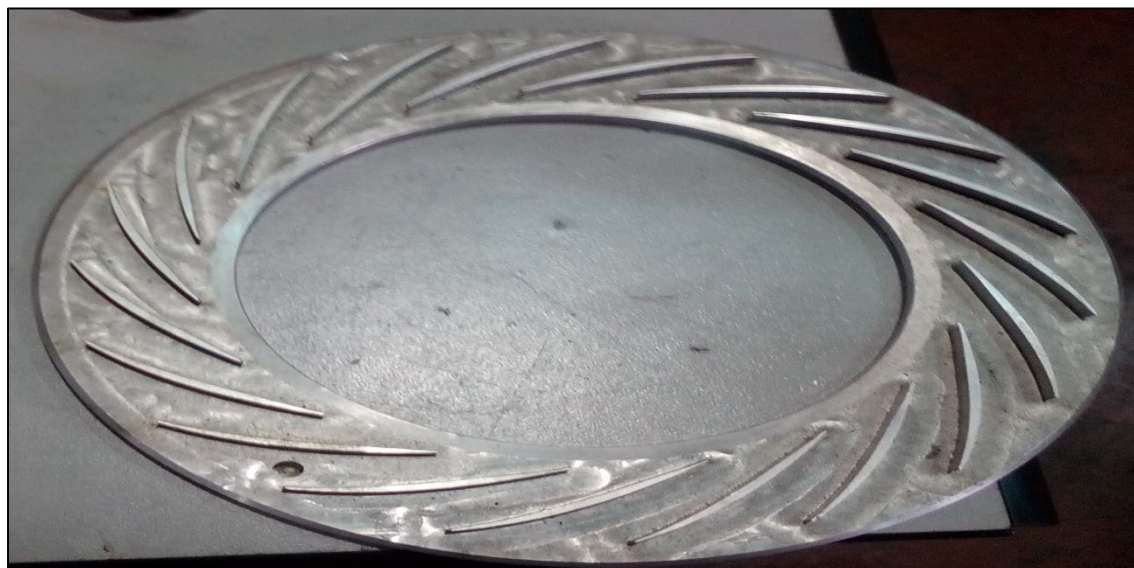
Πίνακας 1 Χημική σύσταση αλουμινίου

Ενώ οι φυσικές και μηχανικές του ιδιότητες είναι οι ακόλουθες:

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	HB	90-100
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	g/cm^3	2.82
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	MPa	73640
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	w/mK	130-160
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ		23.0
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	MS/m	18-22

Πίνακας 2 Ιδιότητες αλουμινίου

Ο διαχύτης της εργασίας είναι καναλιού.



Εικόνα 24 Διαχύτης υπερσυμπιεστή

6.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ CAD

Για την αντιγραφή του διαχύτη της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο τρισδιάστατος μοντελοποιητής CATIA ο οποίος είναι από τους πιο διαδεδομένους στη βιομηχανία κατασκευών. Σε αυτόν έγινε ένα τρισδιάστατο σχέδιο στο CAD. Για τη δημιουργία του σχεδίου χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μετρητικά εργαλεία:

- Ηλεκτρονικό παχύμετρο εύρους 0-300 mm
- Probe επαφής

Το παχύμετρο προσφέρει γρήγορη και ακριβής μέτρηση σε εσωτερικές και εξωτερικές διαστάσεις κυλινδρικού κομματιού. Τα μεγέθη που είχαν να μετρηθούν κυμαίνονταν μεταξύ 6 και 260 mm επομένως ένα παχύμετρο με το παραπάνω εύρος τιμών μέτρησης είναι η κατάλληλη επιλογή. Με αυτό μπορούν να μετρηθούν επίσης και το συνολικό ύψος του κομματιού καθώς και οι οπές του εξαρτήματος. Η ακρίβειά του είναι εκατοστού του χιλιοστού.

Για την περίπλοκη γεωμετρία του πτερυγίου, καμπύλη γραμμή, κατάλληλο μετρητικό εργαλείο το οποίο μπορεί να δώσει την απαιτούμενη ακρίβεια είναι το Probe επαφής. Χρησιμοποιώντας το στη CNC φρέζα μας δίνει τιμές ακρίβειας χιλιοστού του χιλιοστού. Έτσι μπορεί να δώσει ζεύγη τιμών τα οποία όταν εισάγονται στο CATIA δίνουν τις δύο καμπύλες γεωμετρίας στο χώρο και το πρόγραμμα εν συνεχεία δημιουργεί σε στερεά απεικόνιση τα πτερύγια.

Οι μετρούμενες τιμές εισάγονται στο δισδιάστατο σχέδιο του μοντελοποιητή και στη συνέχεια δημιουργείται ένα στερεό από αυτό. Το στερεό αυτό δείχνει πως θα είναι το τελικό κομμάτι όταν περάσει από όλες τις φάσεις κατεργασιών. Το επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της κατεργασίας του που θα γίνει σε CNC φρέζα στον μοντελοποιητή με τη χρήση του CAM. Η πρώτη φάση κατεργασίας θα γίνει σε τόρνο CNC ο προγραμματισμός του οποίου έγινε χειροκίνητα σε g-κώδικα. Για την προσομοίωση του φρεζαρίσματος χρειάστηκαν δύο σχέδια του κομματιού ένα πριν και ένα μετά την κατεργασία. Επιλέχθηκαν τα κατάλληλα εργαλεία και παράμετροι για την κοπή του και εισήχθησαν στο πρόγραμμα ώστε αυτό να δώσει μια προσομοίωση κοπής. Με τη χρήση ενός υποπρογράμματος, του post-processor, η προσομοίωση της κοπής μετατρέπεται σε κώδικα μηχανής για τη φρέζα που επιλέχθηκε. Ο κώδικας μηχανής αφορά την επιλογή των κοπτικών και τα σημεία στα οποία αυτά κινούνται μέσα στη φρέζα και πάνω στο κομμάτι κατά τη διάρκεια της κοπής.

6.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Για την κατεργασία του φρεζαρίσματος επιλέχτηκε τόννος ο οποίος να μπορεί να κατεργαστεί κομμάτια διαμέτρου 250 mm, η οποία είναι η μέγιστη διάμετρο της πρώτης ύλης. Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής καλύπτει και με το παραπάνω τις ανάγκες της κατεργασίας όπως και το μήκος κατεργασίας. Οι μανέλες που θα χρειαστούν είναι δύο και ο τόννος του μηχανουργείου είχε εργαλειοφορείο που μπορούσε να τις δεχτεί.

Αντίστοιχα και για τη φρέζα οι προϋποθέσεις οι οποίες έπρεπε να πληροί είναι το μέγεθος του τραπεζιού, οι κινήσεις στους τρεις άξονες x, y, και z και η δυνατότητα για αποθήκευση και χρήση τριών κοπτικών εργαλείων.

Για τη συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν δύο μηχανήματα CNC:

- I. Ένας τόννος της εταιρίας **HAAS**, το μοντέλο **SL40 LONG BED** το οποίο διαθέτει:
 - Μήκος κατεργασίας έως 2000 mm
 - Μέγιστη διάμετρο κατεργασίας 650 mm
 - Τσοκ 380 mm
 - Μοτέρ 40 hp
 - Κιβώτιο ταχυτήτων υψηλής ροπής
 - Μέγιστη ροπή ατράκτου 1400 ft lb
 - Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 2400 rpm
 - Εργαλειοφορείο 12 θέσεων



Εικόνα 25 Τόρνος HAAS SL 40 LONGBED

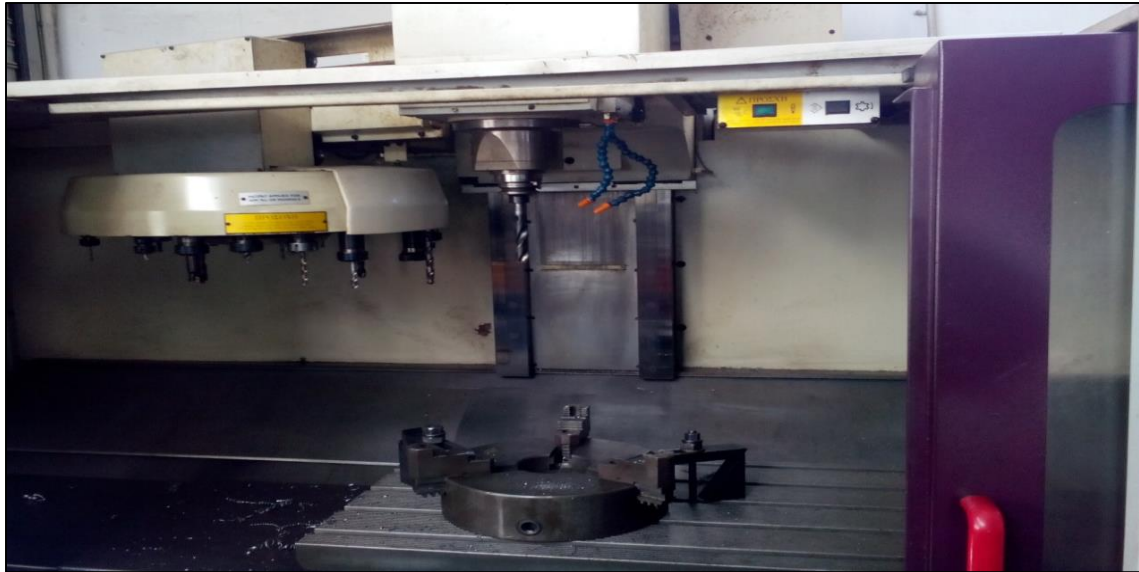


Εικόνα 26 Τσοκ τόρνου

- II. Οριζόντια φρέζα 3+1 αξόνων της εταιρίας **BRIDGEBORT**, το μοντέλο **VMC 800 22** με τα εξής στοιχεία:
- Τραπέζι 1000 x 490 mm
 - Μοτέρ 15 hp
 - Μέγιστη περιστροφή ατράκτου 6000 rpm
 - Μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος 750 kg
 - Διαδρομή άξονα x 800 mm
 - Διαδρομή άξονα y 508 mm
 - Διαδρομή άξονα z 500 mm
 - Δυνατότητα αποθήκευσης 22 εργαλείων



Εικόνα 27 Φρέζα VMC 800 22



Εικόνα 28 Εργαλειοφορείο - τραπέζι φρέζας

Τα μηχανήματα υπήρχαν στις εγκαταστάσεις του συνεργαζόμενου μηχανουργείου. Το μέγεθος των μηχανημάτων και το εύρος των εργαλείων στους εργαλειοφορείς κάλυπταν τις απαιτήσεις της κατασκευής του διαχύτη. Ο προγραμματισμός του τόρνου έγινε με G-κώδικα μηχανής ο οποίος γράφτηκε χειροκίνητα. Στη φρέζα το πρόγραμμα δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του post-processor του CATIA.

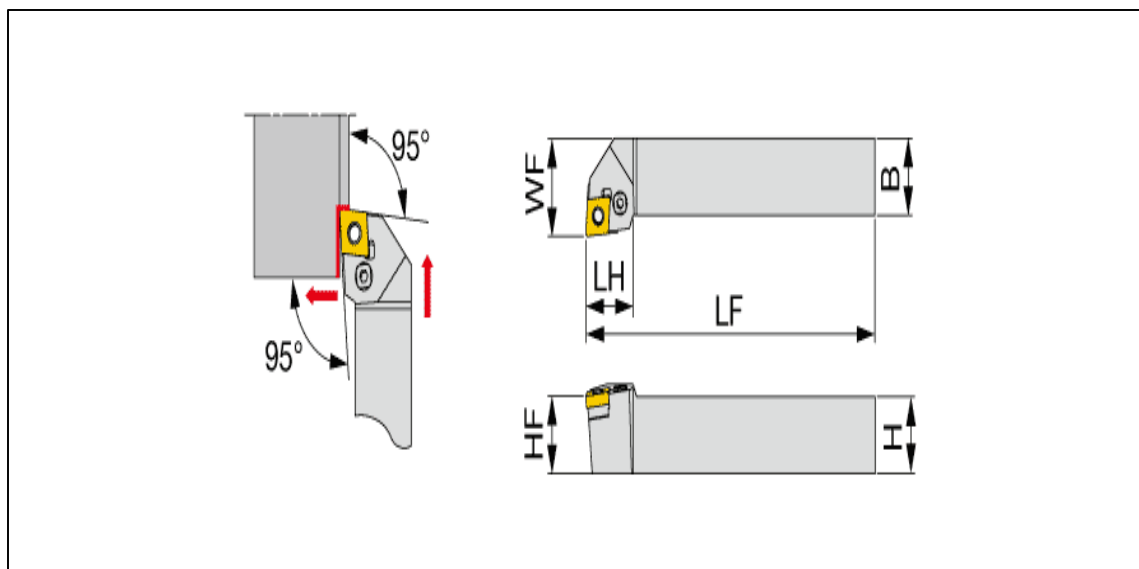
6.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ

Για το τρνίρισμα οι κατεργασίες που θα γίνουν είναι διαμόρφωση εξωτερικής και εσωτερικής διαμέτρου του εξαρτήματος και κατεργασία των δύο προσώπων. Η κατεργασία που θα γίνει στο αλουμίνιο είναι μέση κατεργασία ξεχονδρίσματος και αποπεράτωση. Λέγοντας μέση κατεργασία εννοούμε τρνίρισμα σε μέταλλο χαμηλής σχετικά σκληρότητας με μικρό βάθος κοπής, έτσι ώστε να μη δημιουργούνται μεγάλες τάσεις πάνω στο κοπτικό και το καταστρέφουν γρήγορα. Επομένως τα κοπτικά που επιλέχτηκαν για τις κατεργασίες αυτές είναι ειδικά **καρβίδια** για την κατεργασία αλουμινίου. Τα κοπτικά αυτά τοποθετούνται στις **μανέλες**, το ένα στη μανέλα κατεργασίας εξωτερικής διαμέτρου και προσώπου και το άλλο στη μανέλα κατεργασίας εσωτερικής διαμέτρου. Τα κοπτικά έγιναν παραγγελία από συνεργάτη του μηχανουργείου. (Tungaloy+)

Η μανέλα για την εξωτερική διάμετρο κατάλληλη για κατεργασία διαμέτρου και προσώπου είναι η PCLN/R.



Εικόνα 29 Μανέλα τρνου εξωτερικής διαμέτρου

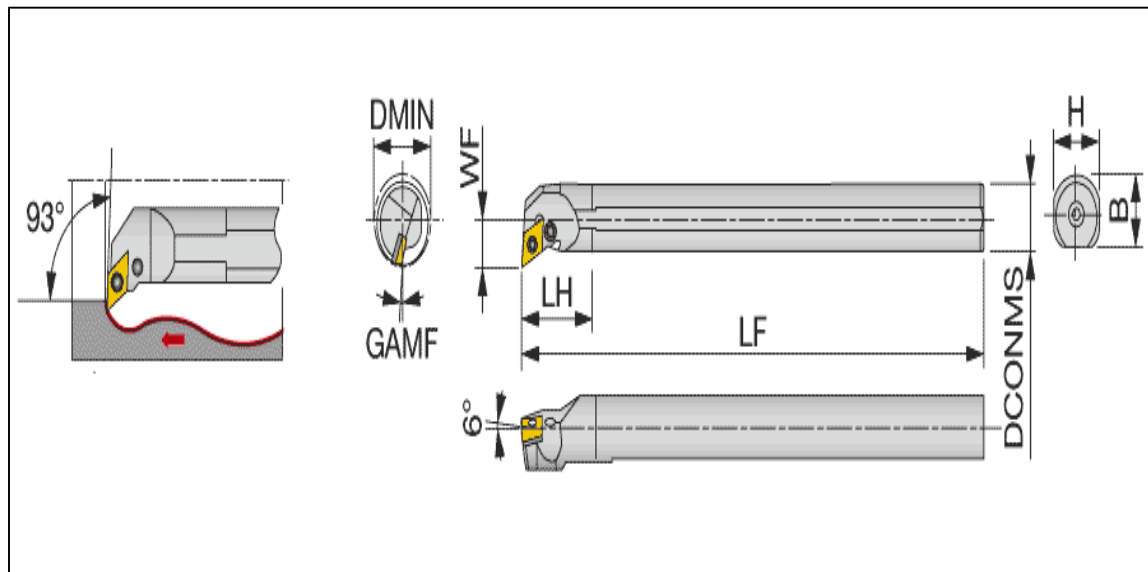


Εικόνα 30 Γεωμετρικά στοιχεία μανέλας εξωτερικής διαμέτρου

Για την κατεργασία της εσωτερικής διαμέτρου ώστε να διαμορφωθεί όπως στο υπάρχων δείγμα κατάλληλη μανέλα είναι η PDUN/R.



Εικόνα 31 Μανέλα τέρνου εσωτερικής διαμέτρου



Εικόνα 32 Γεωμετρικά στοιχεία μανέλας εσωτερικής διαμέτρου

Τα κοπτικά, βίδια, που επιλέχθηκαν για τα τρνιρίσματα ήταν κατάλληλα κατεργασία μη σιδηρούχων μετάλλων, στην περίπτωση του διαχύτη αλουμίνιο, μέτριας κατεργασίας και φινιρίσματος. Ως μέτρια κατεργασία ορίζεται η κατεργασία με μικρό βάθος κοπής και χαμηλή πρόωση.

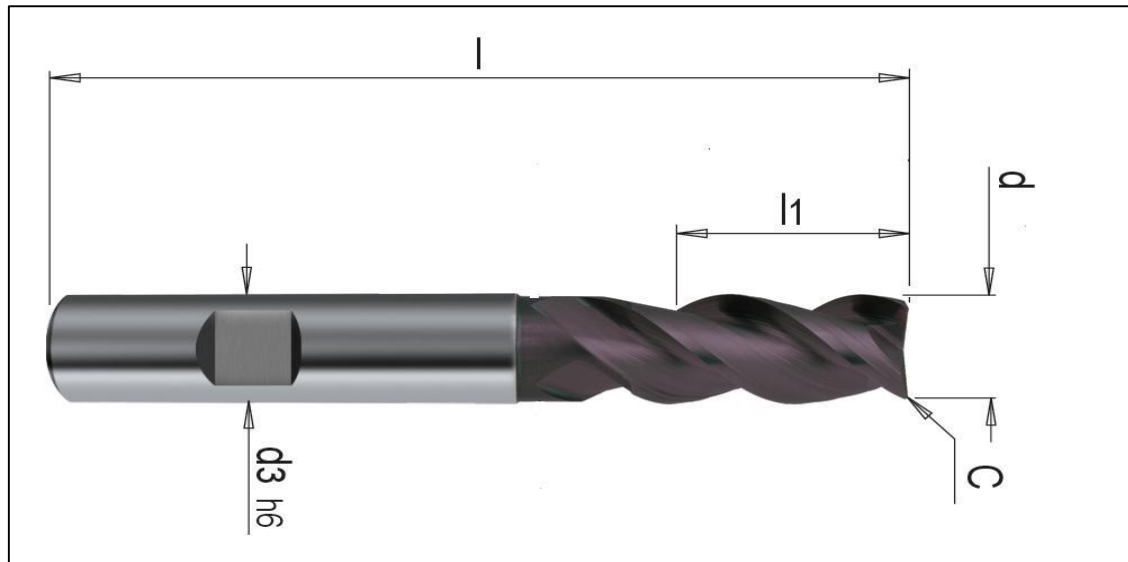


Εικόνα 33 Κοπτικά εργαλεία τόνου

Στη φρέζα χρησιμοποιήσαμε δύο **κονδύλια** 6 mm και 8 mm από κράμα χάλυβα υψηλής ταχύτητας (**HSS Co8**) από μολυβδαίνιο και πρόσθετο κοβάλτιο 8 %. Αυτός ο τύπος κονδυλιού χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία κατασκευής μετάλλων λόγω του συνδυασμού σκληρότητας, αντοχής και τιμής. Το τρυπάνι είναι ένα απλό τρυπάνι χάλυβα υψηλής ταχύτητας **HSS** των 6,6 mm.



Εικόνα 34 Κονδύλι HSS Co8



Εικόνα 35 Γεωμετρικά στοιχεία κονδυλιού

Z	d3	l	l1	C	d
2	4	80	8	0.5	4
2	6	100	12	0.5	6
2	8	100	16	0.5	8
2	10	100	20	0.5	10
2	12	100	24	0.5	12

Πίνακας 3 Γεωμετρικά στοιχεία κονδυλιών

Από τον παραπάνω πίνακα επιλέχθηκαν τα κονδύλια με διαμέτρους 10 και 8 mm.



Εικόνα 36 Τρυπάνι 6,6 mm

6.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ CAM ΚΑΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Σε αυτό το σημείο της παραγωγής έχει γίνει το τρισδιάστατο σχέδιο του εξαρτήματος που θα κατασκευαστεί και έχουν επιλεγθεί μηχανήματα και κοπτικά εργαλεία. Με τη βοήθεια του μοντελοποιητή CATIA και συγκεκριμένα με τη χρήση του CAM εισάγοντας όλα τα στοιχεία των κοπτικών και του τρόπου κατεργασίας γίνεται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μια προσημείωση της κοπής. Με τη βοήθεια του post- processor δημιουργείται από αυτό κώδικας μηχανής ο οποίος εισάγεται στη CNC φρέζα για να γίνει η τελική κατεργασία. Πριν από αυτό έχει προηγηθεί η δημιουργία g-κώδικα στον CNC τόρνο της HAAS όπου θα γίνει η πρώτη φάση κατεργασίας, το τρνίρισμα.

Το τελικό στάδιο πριν το εξάρτημα μπορέσει να δοθεί για χρήση είναι ο ποιοτικός έλεγχος ο οποίος περιλαμβάνει αρχικά έναν οπτικό έλεγχο ώστε να δούμε αν έχει κάποια εμφανή απόκλιση ως προς το δείγμα μας και εν συνεχεία έλεγχο όλων των διαστάσεων με τα μετρητικά όργανα καθώς και την ποιότητα των επιφανειών του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

7 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

7.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗ

Το πρώτο στάδιο για τη δημιουργία ενός εξαρτήματος μέσω της αντίστροφης μηχανικής είναι η μέτρησή του και ο σχεδιασμός του σε CAD.

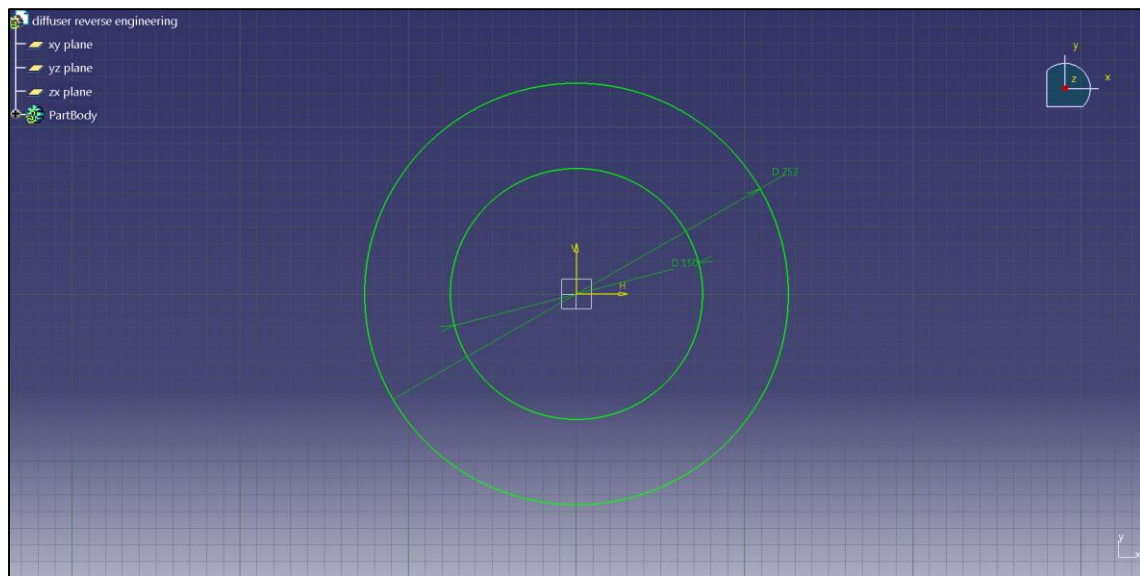
Η μέτρηση ορισμένων διαστάσεων του μπορεί να ληφθεί με χρήση απλών μετρητικών οργάνων όπως είναι το παχύμετρο και το μικρόμετρο. Στην περίπτωση του διαχύτη οι παρακάτω διαστάσεις λήφθηκαν με τη χρήση ηλεκτρονικού παχύμετρου εύρους 0-300 mm:

I.	Εσωτερική διάμετρος	150,00 mm
II.	Εξωτερική διάμετρος	252,00 mm
III.	Συνολικό ύψος	18,60 mm
IV.	Ύψος πτερυγίων	9,30 mm

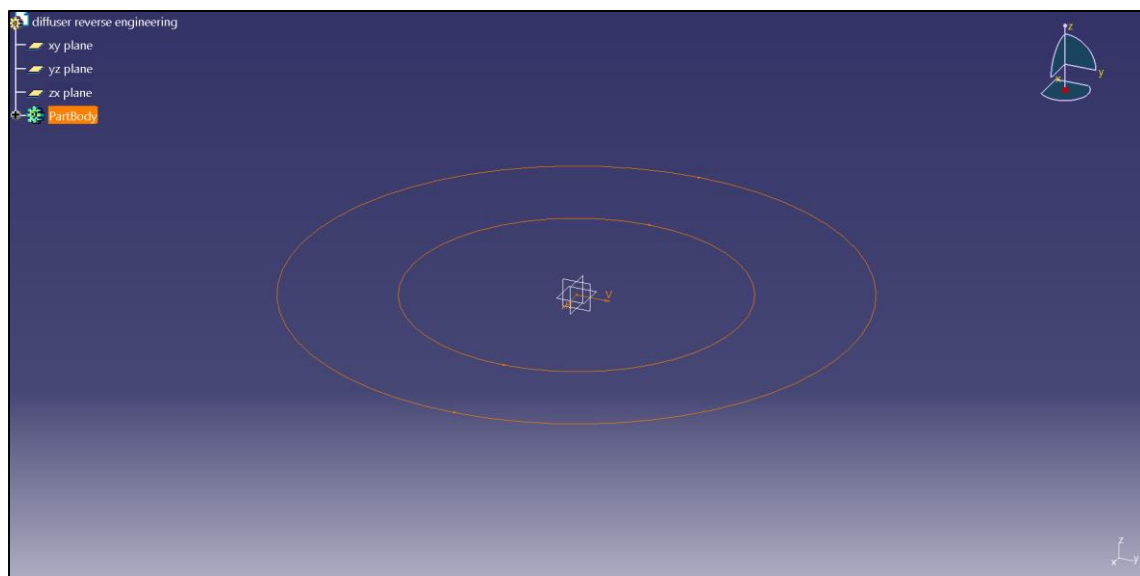
Για την επίτευξη καλύτερης ακρίβειας στις καμπύλες των πτερυγίων του διαχύτη οι μετρήσεις λήφθηκαν με τη βοήθεια **probe** πάνω στη μηχανή μας. Το probe είναι ένα εξάρτημα το οποίο τοποθετείται πάνω σε μία μηχανή CNC κινείται προς ένα αντικείμενο και όταν ακουμπήσει την επιφάνειά του δίνει σήμα προς τη μηχανή η οποία σταματάει την κίνησή του και δείχνει ακριβώς το σημείο αυτό που ακουμπάει το probe ως προς το επίπεδο. Με τη βοήθεια αυτού έχουμε τη δυνατότητα να παίρνουμε αρκετά ζεύγη σημείων από ένα αντικείμενο και να το σχεδιάζουμε με όσο το δυνατόν καλύτερη ακρίβεια. Το σήμα δίνεται στη μηχανή με τη βοήθεια δεσμίδων λείζερ και έτσι η ακρίβεια του φτάνει τα 0,001 mm.

Στη συνέχεια αναλύεται βήμα βήμα ο σχεδιασμός του διαχύτη στον τρισδιάστατο μοντελοποιητή CATIA V5.

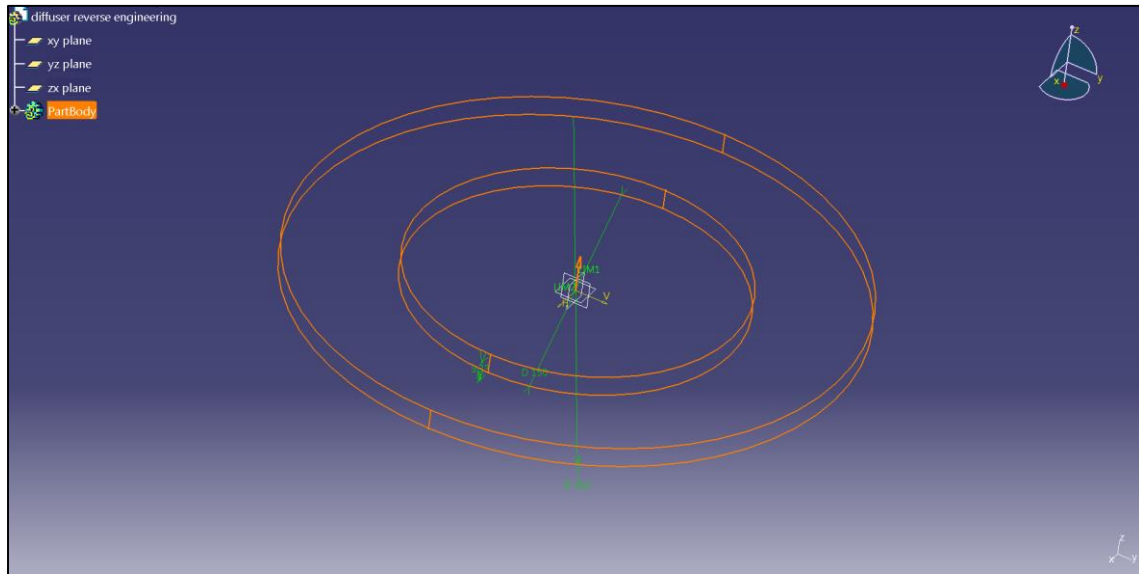
Ο σχεδιασμός του διαχύτη ξεκινάει με τη δημιουργία δύο κύκλων, οι δύο διάμετροι, και στη συνέχεια με την εντολή **extrude** δημιουργείται το κάτω μέρος του διαχύτη. Οι διάμετροι των κύκλων είναι οι τελικές διαστάσεις του κομματιού. Η εντολή της εξώθησης (**extrude**) δημιουργεί σε τρισδιάστατο μοντέλο τη βάση – κάτω μέρος του διαχύτη.



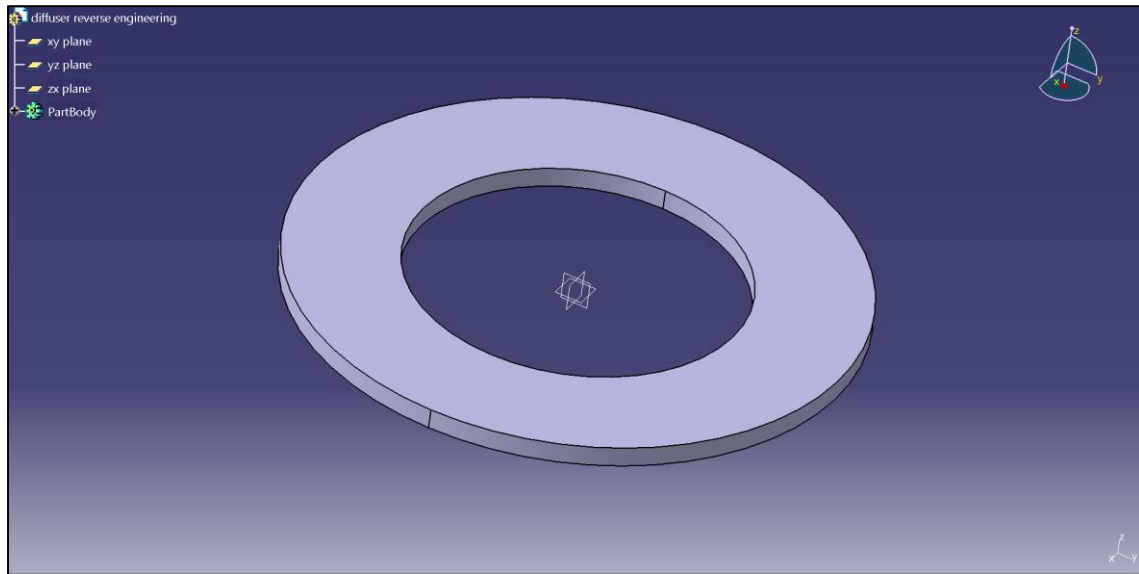
Εικόνα 37 Εντολή EXTRUDE (1/4)



Εικόνα 38 Εντολή EXTRUDE (2/4)



Εικόνα 39 Στην εντολή EXTRUDE επιλέγουμε το πάχος της βάσης του διαχύτη 9,30 mm (3/4)



Εικόνα 40 Εντολή EXTRUDE (4/4)

7.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία των πτερυγίων. Για τη δημιουργία των πτερυγίων λήφθηκαν τα εξής ζεύγη σημείων (χ , ψ) θεωρώντας ως (0,0) το κέντρο του κομματιού, δηλαδή τον άξονα συμμετρίας του. Τα σημεία αναγράφονται στους επόμενους πίνακες.

Για την εσωτερική καμπύλη:

	X (mm)	Y (mm)
1	79,913	38,032
2	89,879	28,211
3	100,000	16,578

Πίνακας 4 Σημεία εσωτερικής καμπύλης

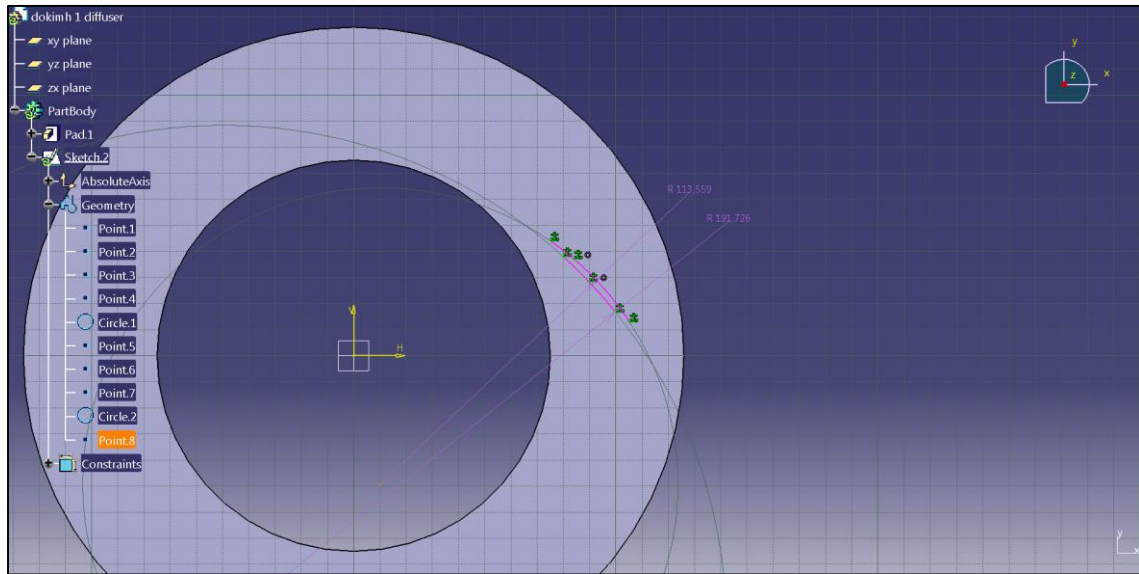
Τα ζεύγη σημείων τοποθετούνται σε σχέδιο που γίνεται πάνω στην επιφάνεια του υπάρχοντος στερεού. Επιλέγεται ένα τόξο κύκλου τριών σημείων (three point arc). Τα σημεία αυτά παίρνουν τις παραπάνω συντεταγμένες στο επίπεδο και έτσι ορίζεται στον μοντελοποιητή CATIA ότι η εσωτερική καμπύλη είναι τόξο κύκλου με κέντρο το $(\chi, \gamma) = (-49.588, -143.348)$, ακτίνα $R= 191.726$ mm και εκτείνεται μεταξύ των σημείων 1 και 3.

Αντίστοιχη διαδικασία εκτελείται και για την εξωτερική καμπύλη του πτερυγίου του διαχύτη. Τα σημεία είναι τα εξής:

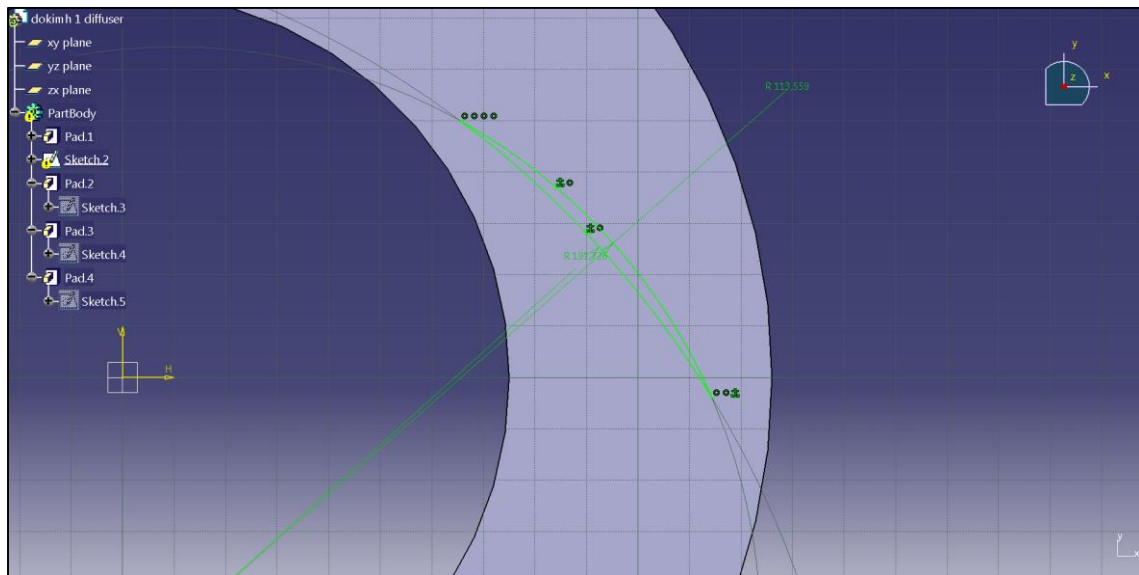
	X (mm)	Y (mm)
4	75,066	44,017
5	84,052	37,070
6	105,346	12,790

Πίνακας 5 Σημεία εξωτερικής καμπύλης

Η εξωτερική καμπύλη είναι τόξο κύκλου με κέντρο το $(\chi, \gamma) = (10.19, -49.186)$, ακτίνα $R=113.559$ mm και εκτείνεται μεταξύ των σημείων 4 και 6.



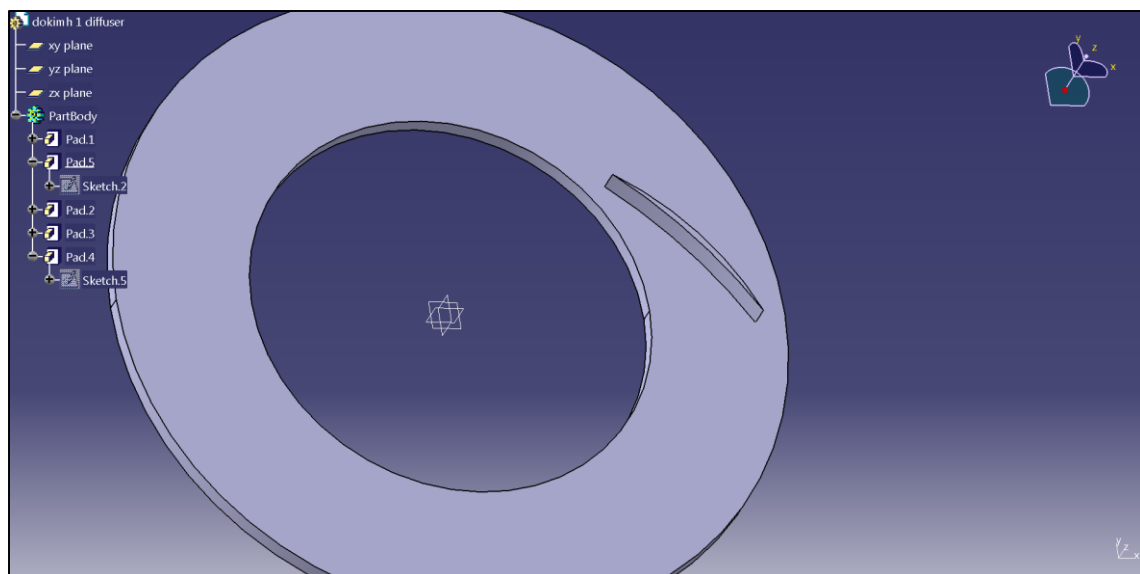
Εικόνα 41 Σχεδιασμός περιγίων (1/5)



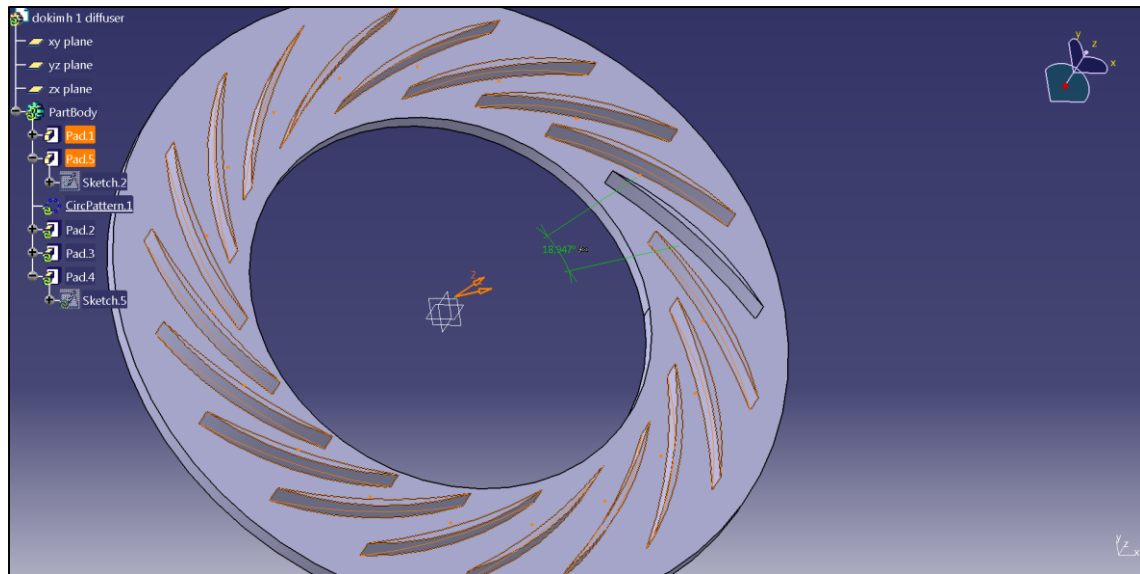
Εικόνα 42 Σχεδιασμός περιγίων (2/5)

Εφόσον έχει κλείσει όλη η γεωμετρία της πάνω επιφάνειας του περυγίου με την εντολή extrude μοντελοποιείται το ένα περύγιο του διαχύτη ακριβώς στο σημείο όπου έχει μετρηθεί. Με τη βοήθεια της χρήσης της εντολής **circular pattern**, η οποία μας δίνει την επιλογή να αντιγράψουμε ένα αντικείμενο όσες φορές θέλουμε και στις επιθυμητές μοίρες πάνω στο σχέδιό μας ως προς έναν άξονα συμμετρίας της επιλογής μας, σχεδιάζονται όλα τα περύγια περιφερειακά του διαχύτη.

Η εντολή αυτή είναι αρκετά χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου χρειάζεται να αντιγραφεί μια επιφάνεια η οποία έχει υποστεί εξώθηση πάνω στο στερεό ώστε να δημιουργηθούν πάνω σε αυτό νέοι όμοιοι όγκοι στην περίπτωση όπου οι τελευταίοι είναι συμμετρικοί ως προς κάποιον άξονα. Για την εκτέλεσή της ορίζεται ένα συγκεκριμένο rad, το οποίο περιλαμβάνει συνήθως γραμμική εξώθηση ή εξώθηση εκ περιστροφής, είτε μία εντολή σπής καθώς και ο άξονας συμμετρίας γύρω από τον οποίο γίνεται η αντιγραφή. Ο άξονας συμμετρίας μπορεί να μην προκύπτει από τις επιφάνειες του στερεού αλλά να είναι κάποιος άλλος άξονας. Ορίζονται επίσης οι μοίρες ανά τις οποίες θα γίνει αντιγραφή.

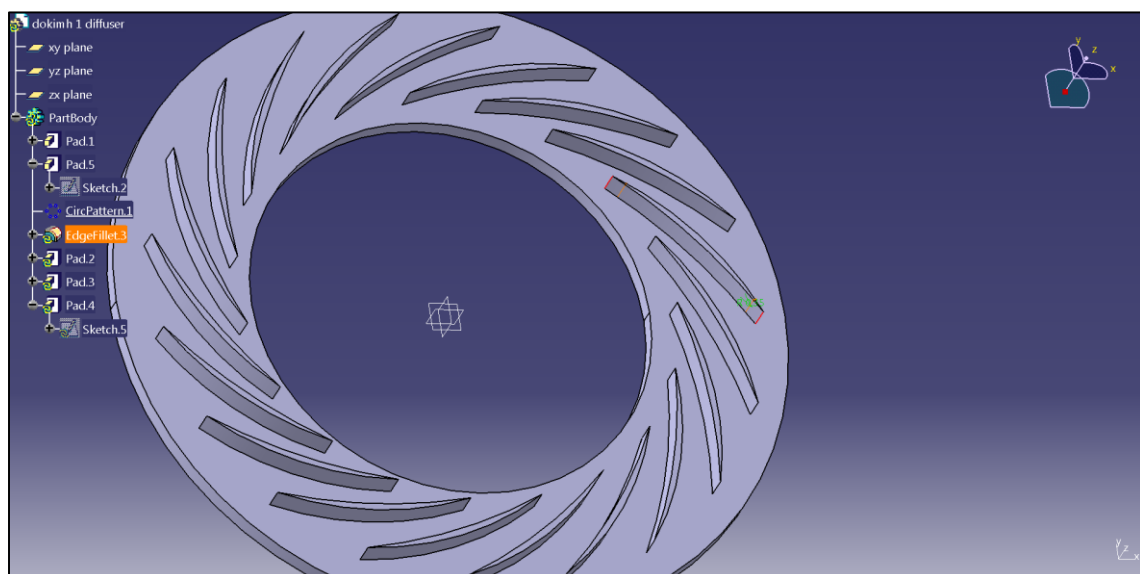


Εικόνα 43 Σχεδιασμός περυγίων (3/5)



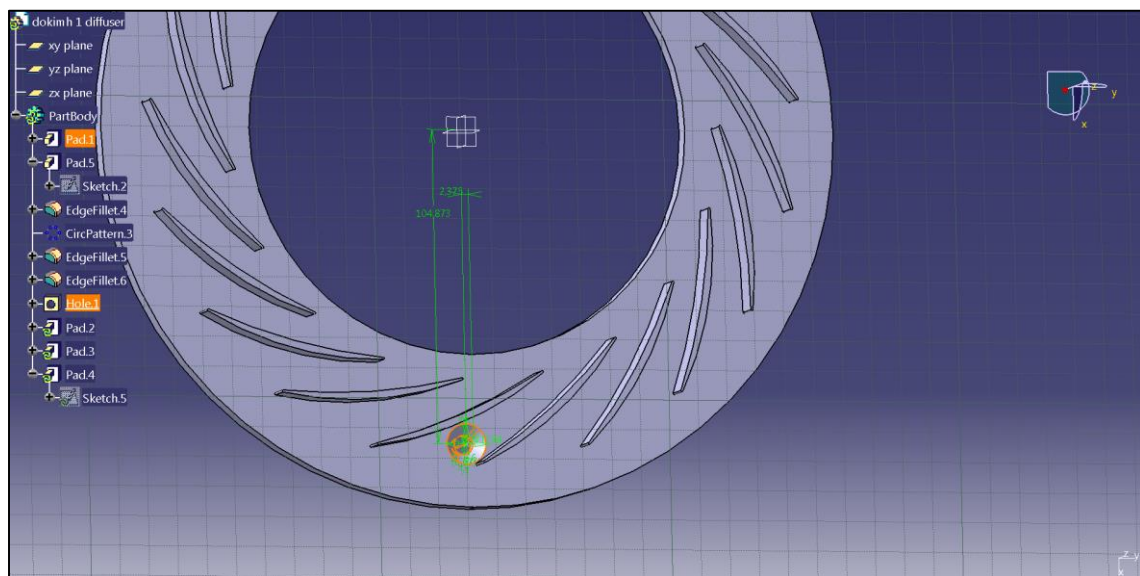
Εικόνα 44 Σχεδιασμός πτερυγίων (4/5)

Η δημιουργία του πτερυγίου δεν σταματάει εδώ. Τα πτερύγια στις δύο ακμές τους παρουσιάζουν στρογγυλέματα της τάξης των 0,5 mm . Με τη βοήθεια της εντολής **fillet** μπορούν να δημιουργηθούν στις ακμές των πτερυγίων στρογγυλέματα της τάξης των 0,5 mm. Τα στρογγυλέματα αυτά είναι δευτερεύουσας σημασίας μια και δεν επηρεάζουν την ροή του αέρα μέσα στον διαχύτη αλλά είναι απαραίτητα για τον σχεδιασμό και την κατασκευή κάθε εξαρτήματος.



Εικόνα 45 Σχεδιασμός πτερυγίων (5/5)

Επόμενο βήμα για την τελειοποίηση του σχεδίου του διαχύτη είναι η δημιουργία της τρύπας-οδηγού. Έχοντας πάρει την ακριβή μέτρηση της θέσης της τρύπας και γνωρίζοντας τη διάμετρό της μπορούμε εύκολα να τη σχεδιάσουμε με τη βοήθεια της εντολής **hole**. Η εντολή αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε πάνω στο ήδη υπάρχον αντικείμενό μας οποιονδήποτε τύπο τρύπας, διαμεπερή ή συγκεκριμένου βάθους, με γώνιασμα στην αρχή της αν υπάρχει (όπως στο σχέδιό μας) ή χωρίς, καθώς και δημιουργία σπειρώματος σε αυτήν αν υπάρχει..



Εικόνα 46 Δημιουργία οπής στο CATIA

Εδώ τελειώνει η μοντελοποίηση του διαχύτη. Τώρα θα αρχίσουμε την κατασκευή του αρχικά σε τόρνο CNC με τη βοήθεια G-code και στη συνέχεια με χρήση του συστήματος CAD-CAM του CATIA για την δημιουργία των πτερυγίων σε φρέζα CNC τριών αξόνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ G-ΚΩΔΙΚΑ

8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ G-ΚΩΔΙΚΑ

Ως αρχικό κομμάτι, πρώτη ύλη, έγινε παραγγελία ένα στρογγυλό κυλινδρικό κομμάτι με μία οπή στο κέντρο. Για να κατασκευαστεί το τελικό κομμάτι αυτό περνάει από διάφορες φάσεις κατεργασίας- παραγωγής. Αρχικά το κομμάτι έχει τις εξής διαστάσεις:

Εξωτερική διάμετρο	255 mm
Εσωτερική διάμετρο	145 mm
Ύψος	25 mm

Πίνακας 6 Διαστάσεις πρώτης ύλης

Η πρώτη φάση της παραγωγής περιλαμβάνει δύο φάσεις κατεργασίας που θα γίνουν σε τόρνο CNC με χρήση **G-κώδικα**. Στην πρώτη φάση θα κατεργαστούν οι δύο διάμετροι, εσωτερική και εξωτερική, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές διαστάσεις και στη δεύτερη θα κατεργαστεί το κομμάτι ώστε να επιτευχθεί το συνολικό μήκος.

Το πρόγραμμα της πρώτης φάσης της κατεργασίας είναι το παρακάτω:

N10 G96 G50 S450	Περιορισμός στροφών Σταθερή επιφανειακή ταχύτητα
N20 M03 S300	Ωρολογιακή περιστροφή ατράκτου
N30 T0202	Επιλογή εργαλείου
N40 G00 X225 Z2	Γρήγορη ευθύγραμμη κίνηση
N50 G72 P50 Q70 F0.5 U0.3 W0.15 D2	Αυτοματοποιημένος κύκλος ξεχονδρίσματος
N60 G01 X252	Ορισμός γεωμετρίας
N70 G01 Z-25	Ορισμός γεωμετρίας
N80 G01 X255	Ορισμός γεωμετρίας
N90 G70 P50 Q70 F0.2	Αυτοματοποιημένος κύκλος αποπεράτωσης
N100 G00 Z300	Γρήγορη ευθύγραμμη κίνηση
N110 T0404	Αλλαγή εργαλείου
N120 G00 X 145 Z2	Γρήγορη ευθύγραμμη κίνηση
N130 G72 P140 Q160 F0.5 U0.3 W0.15 D2	Αυτοματοποιημένος κύκλος ξεχονδρίσματος
N140 G01 X150	Ορισμός γεωμετρίας

N150 G01 Z-25	Ορισμός γεωμετρίας
N160 G01 X145	Ορισμός γεωμετρίας
N170 G70 P140 Q160 F0.2	Αυτοματοποιημένος κύκλος αποπεράτωσης
N180 G00 Z300	Γρήγορη ευθύγραμμη κίνηση
N190 T0202	Αλλαγή εργαλείου
N200 G00 X225 Z2	Γρήγορη ευθύγραμμη κίνηση
N210 G71 P220 Q240 F0.5 U0.3 W0.15 D1	Αυτοματοποιημένος κύκλος ξεχονδρίσματος
N220 G01 Z0	Ορισμός γεωμετρίας
N230 G01 X142	Ορισμός γεωμετρίας
N240 G01 Z2	Ορισμός γεωμετρίας
N250 G70 P220 Q240 F0.2	Αυτοματοποιημένος κύκλος αποπεράτωσης
N260 G00 Z300	Απομάκρυνση εργαλείου
N270 M30	Τέλος προγράμματος

Πίνακας 7 Πρόγραμμα σε G-κώδικα

Η ταχύτητα περιστροφής υπολογίστηκε από τον τύπο:

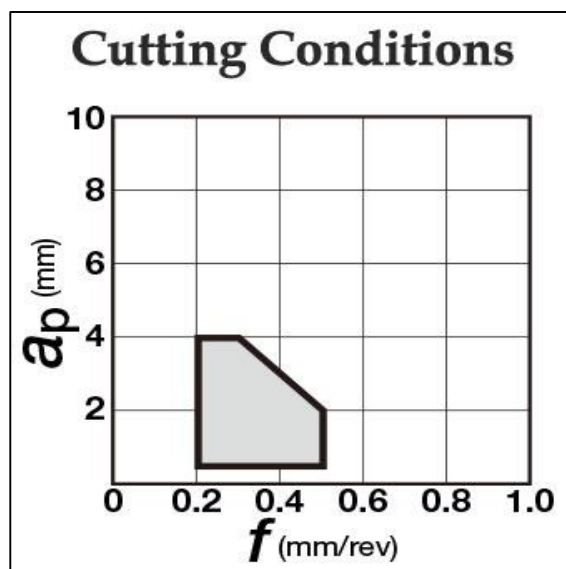
$$n = \frac{1000 v_c}{\pi D} \quad \mathbf{18 \text{ Ταχύτητα περιστροφής}}$$

Τα κοπτικά που χρησιμοποιήθηκαν στο τρνίρισμα είχαν ορίσει ως προτεινόμενη ταχύτητα κοπής $v_c = 240$ (m/min). Η μέγιστη διάμετρος του αρχικού κυλινδρικού κομματιού ήταν $D = 250$ mm. Επομένως η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου βρέθηκε:

$$n = \frac{1000 v_c}{\pi D} = (1000 * 240) / (3.14 * 255) = 300 \text{ rpm}$$

Η επιφανειακή ταχύτητα έχει οριστεί με την εντολή G96 να είναι σταθερή. Η περιστροφή της ατράκτου όταν το κοπτικό βρίσκεται στη μέγιστη διάμετρο ισούται με 300 στροφές ανά λεπτό. Όσο το κοπτικό πλησιάζει το κέντρο του κομματιού για να παραμείνει σταθερή η περιφερειακή ταχύτητα αυξάνεται η περιστροφή της ατράκτου μιας και είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου. Για να αποφευχθεί η υπέρμετρη αύξηση της θερμοκρασίας στο κομμάτι και αρχίσει να λιώνει το αλουμίνιο πάνω στο κοπτικό εργαλείο έχει οριστεί ένα ανώτατο όριο περιστροφής της ατράκτου στις 450 στροφές ανά λεπτό.

Όσον αφορά την πρόωση, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, τα κοπτικά που χρησιμοποιήθηκαν εργάζονται με πρόωση $f = 0,2$ έως $0,5$ mm/rev. Στην κατεργασία χρησιμοποιείται η μέγιστη τιμή της πρόωσης για το ξεχόνδρισμα (0,5) ώστε να επιτευχθεί στον ελάχιστο δυνατό χρόνο ενώ για το τελείωμα επιλέχθηκε η ελάχιστη τιμή της (0,2) για να κατασκευαστεί μια καλής ποιότητας επιφάνεια.



Εικόνα 47 Τιμές πρόωσης κοπτικών τόννου

Στην αρχή του προγράμματος εισάγοντα κάποιες γενικές παράμετροι που θα χρειαστούν για την κατεργασία όπως είναι ο περιορισμός στροφών (**G50**) και η σταθερή επιφανειακή ταχύτητα κοπής (**G96**). Η πρώτη εντολή οριοθετεί τη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου ενώ η δεύτερη κρατώντας σταθερή την πρόωση προσαρμόζει την ταχύτητα κοπής ώστε αυτή να είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της κοπής όπου αυτό είναι εφικτό μια και υπάρχει ήδη ο περιορισμός των στροφών. Η ταχύτητα κοπής επηρεάζεται από την κατεργαζόμενη διάμετρο του κομματιού μιας και όσο μικραίνει η διάμετρος χρειάζεται να αυξάνονται οι στροφές. Αυτή είναι μια δυνατότητα που δίνεται μόνο στα αυτόματα μηχανήματα και δεν είναι εφικτό σε συμβατικούς τόννους.

Εν συνεχεία ορίζεται η φορά περιστροφής της ατράκτου (**M03** ή **M04**) που εξαρτάται από το πώς είναι τοποθετημένη η ακμή του κοπτικού προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Ορίζεται και μία αρχική τιμή περιστροφής της ατράκτου. Αυτή μπορεί να μεταβληθεί και κατά τη διάρκεια του προγράμματος αλλά ποτέ δεν υπερβαίνει το όριο ταχύτητας.

Ο ορισμός του εργαλείου δίνεται με την εντολή **T XX YY** όπου το **XX** είναι η θέση του εργαλείου στο εργαλειοφορείο και το **YY** είναι η αντιστάθμισή του (offset) στους άξονες x και y. Το **YY** είναι ένας διψήφιος αριθμός που παραπέμπει σε ένα κελί πίνακα αντισταθμίσεων που είναι αποθηκευμένες οι τιμές μετατόπισης στον x και y άξονα.

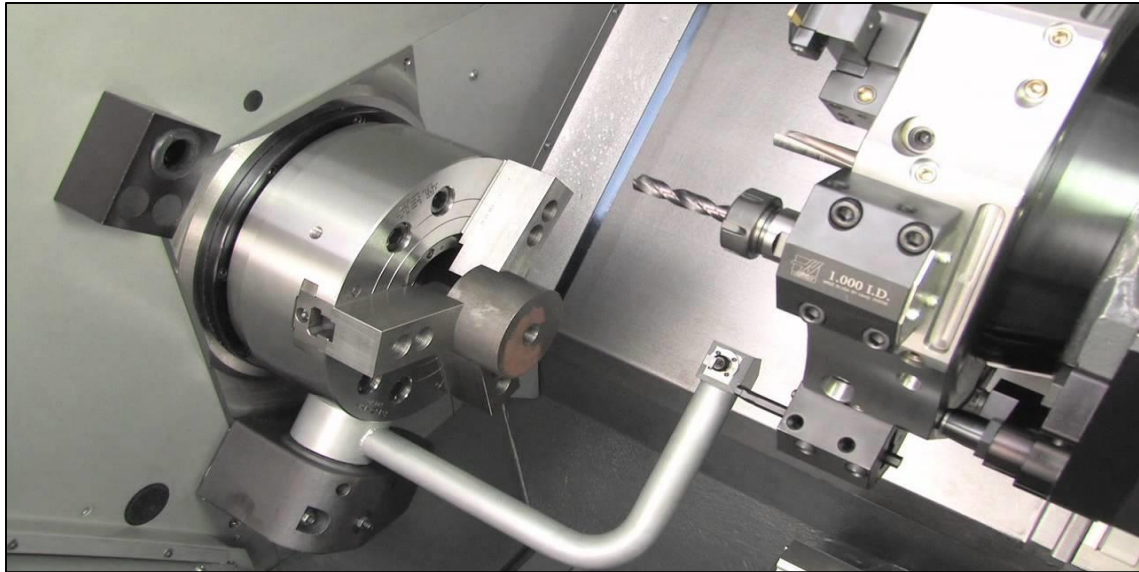
Ο κύριος κορμός του προγράμματος ουσιαστικά αποτελείται από δύο **αυτοματοποιημένους κύκλους κατεργασίας** της μηχανής τους **G71** και **G72**. Για να εκτελεστούν αυτοί οι κύκλοι

κατεργασίας πρέπει να δοθούν σωστά τα σημεία του κομματιού τα οποία θα κατεργαστεί το κοπτικό μας. Το πρόγραμμα μετατρέπει τη γεωμετρία του κομματιού που του δώσαμε σε επαναλαμβανόμενη κίνηση του κοπτικού παράλληλα προς τον άξονα x , για το G72, και παράλληλα ως προς τον άξονα z , για το G71. Σε πιο περίπλοκες γεωμετρίες η κίνηση του κοπτικού μπορεί να είναι διαγώνια (ταυτόχρονη κίνηση σε άξονες $z-x$) ή ακόμη και να δημιουργούν καμπύλη τόξου, έχοντας έτσι τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε μια μεγάλη ποικιλία συμμετρικών γεωμετριών.

Για να οριστεί ένας κύκλος κατεργασίας πρέπει τα σημεία x και y που ορίζουν την τελική γεωμετρία να ακολουθούν μια συγκεκριμένη γεωμετρία. Δηλαδή δεν μπορεί να οριστεί γεωμετρία με συνεχή αυξομείωση των τιμών αυτών. Πρέπει το καθένα ξεχωριστά να ακολουθεί συνεχώς αυξητική ή πτωτική πορεία είτε να μένει σε σταθερή τιμή.

Έπειτα από αυτές τις δύο κατεργασίες ακολουθεί ο κύκλος κατεργασίας **G70**. Αυτός ο κύκλος είναι το φινίρισμα, δηλαδή ένα πάσο που γίνεται μετά από τις κατεργασίες αυτές ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη ακρίβεια και η κατάλληλη τραχύτητα στην επιφάνεια του κομματιού. Ανεξαρτήτως αν ακολουθεί κατεργασία προσώπου ή διαμέτρου η ακμή του κοπτικού ακολουθεί τα σημεία που έχουν οριστεί μέσα στους προηγούμενους κύκλους κατεργασίας και το μόνο που χρειάζεται να οριστεί επιπλέον είναι η ταχύτητα πρόωσης όπου συνήθως είναι μικρότερη της ταχύτητας πρόωσης του ξεχονδρίσματος.

Όσον αφορά την ακρίβεια της κατασκευής μας το μηχάνημα διαθέτει βραχίονα με probe στο οποίο ακουμπώντας εμείς τα κοπτικά μας μπορούμε να προσδιορίσουμε την κοπτική ακμή τους στο επίπεδο κατεργασίας $x-z$ με ακρίβεια ενός μικρού (μm).



Εικόνα 48 Probe HAAS (πηγή www.mtdcnc.com)

Η δεύτερη φάση κατεργασίας στον τόρνο είναι η κατεργασία του πίσω προσώπου του κομματιού μας ώστε να φέρουμε το κομμάτι στο επιθυμητό ύψος. Το πρόγραμμα που θα χρειαστεί είναι ουσιαστικά ένα μέρος του προηγούμενου προγράμματος, αυτό που περιέχει την εντολή G71. Επομένως στο καινούριο πρόγραμμα θα περιέχονται οι εντολές N10 έως N30 και N210 έως N270, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και κόπο μιας και δεν χρειάζεται η δημιουργία καινούριου προγράμματος από την αρχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ CAM

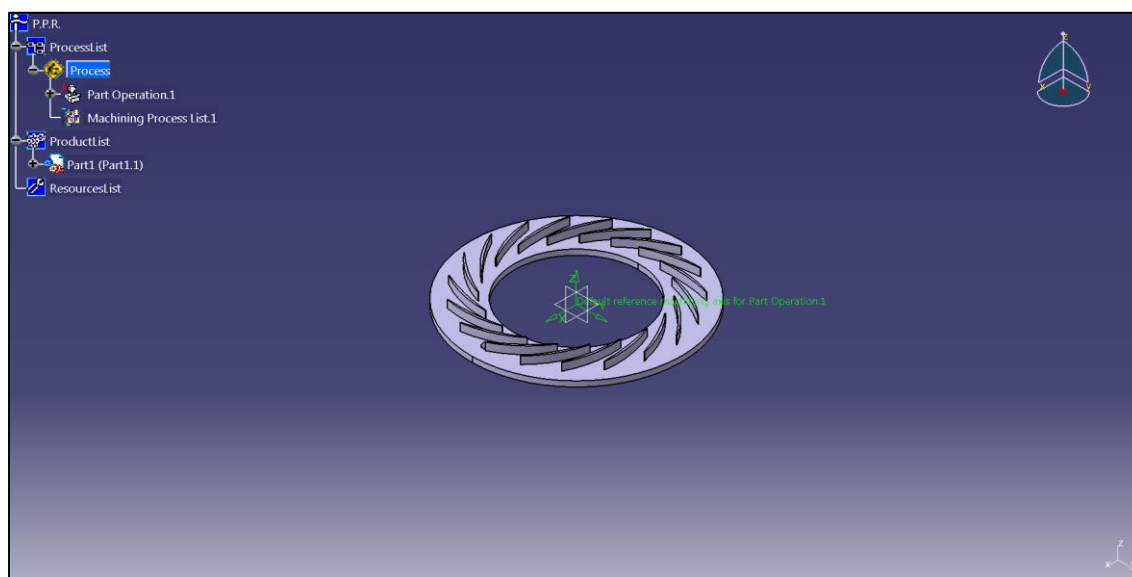
9 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ CAM

9.1 ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ CAM

Την τελική του μορφή ο διαχύτης θα την πάρει σε CNC φρέζα 3 αξόνων. Αυτή θα είναι και η τελευταία κατεργασία του κομματιού πριν τον ποιοτικό έλεγχο και την παράδοσή του. Ο προγραμματισμός της μηχανής δεν θα γίνει χειροκίνητα όπως στον τόρνο αλλά με τη βοήθεια του **CAM** του σχεδιαστικού προγράμματος **CATIA**. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο μέσω του CAM μπορεί να προσομοιωθεί η κίνηση του κοπτικού επάνω στο κομμάτι και στη συνέχεια να μετατραπούν σε συντεταγμένες στο χώρο οι οποίες στη συνέχεια εισάγονται στη μηχανή ως εντολές κίνησης κοπτικού.

Έχοντας στο σχεδιαστικό πρόγραμμα CATIA ανοιχτό το σχέδιο του διαχύτη επιλέγονται οι εξής εντολές από την γραμμή εργαλείων :

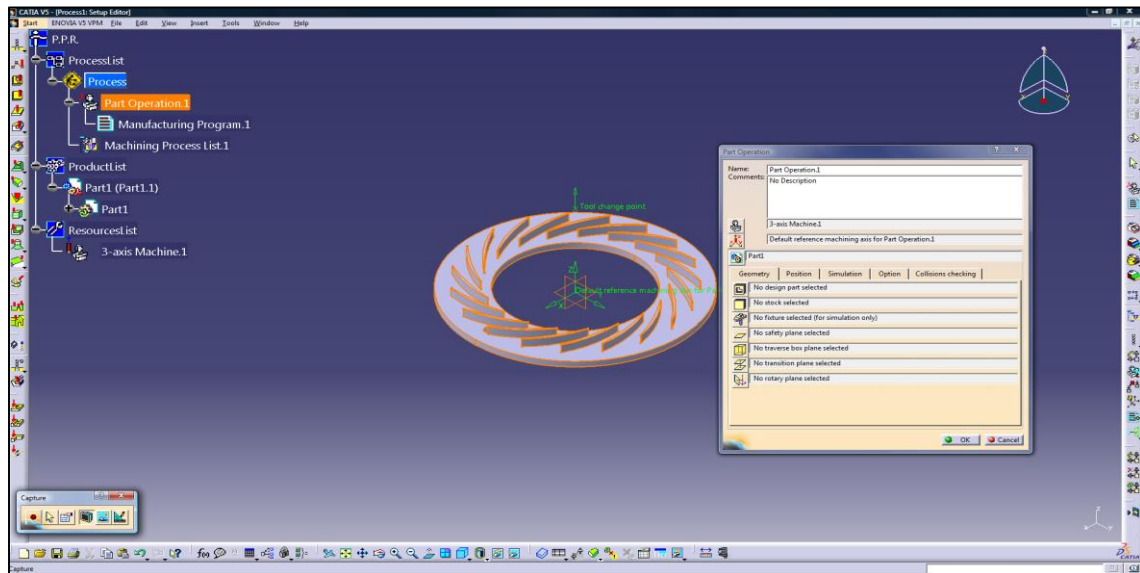
Start -> Machining -> Advance Machining



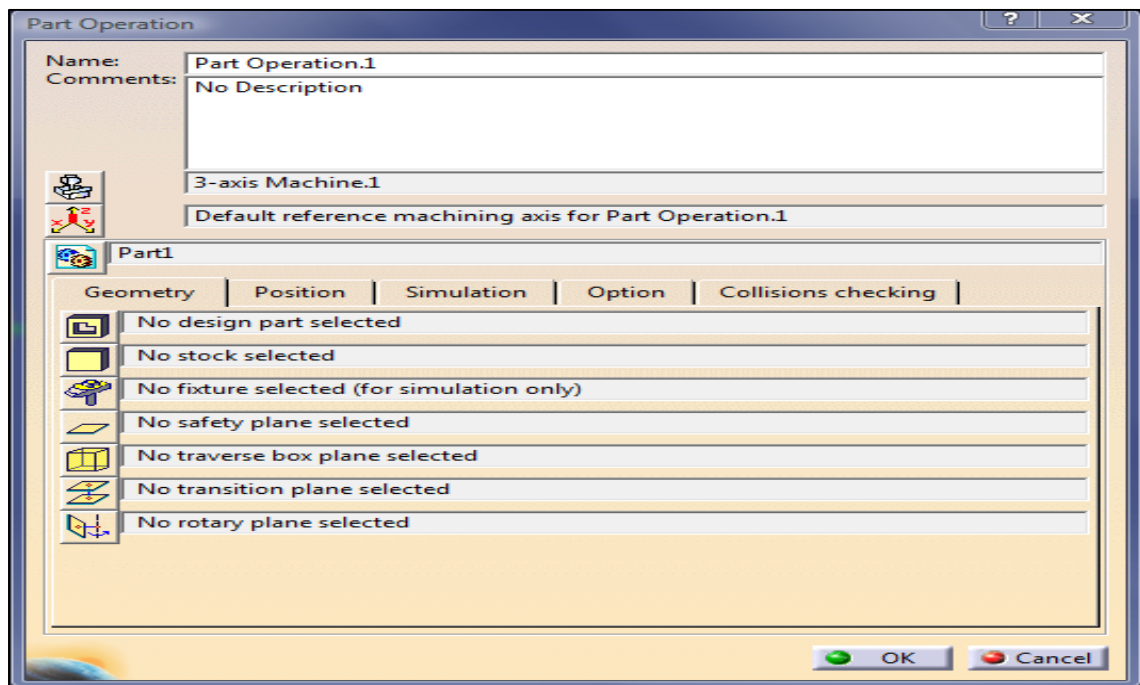
Εικόνα 49 Προετοιμασία CAM (1/4)

Η τελευταία εντολή, advance machining, ανοίγει το πρόγραμμα σε ένα περιβάλλον στο οποίο μπορούν να προσομοιωθούν όλοι οι τύποι κατεργασιών. Προϋπόθεση είναι να υπάρχει τρισδιάστατο μοντέλο της τελικής μορφής του εξαρτήματος που θα κατασκευαστεί και όποτε είναι απαραίτητο χρειάζεται να υπάρχει αποθηκευμένο και το σχέδιο της πρώτης ύλης. Για την προσημείωση της κοπής θα χρειαστούν επίσης οι τρόποι κατεργασίας, τα στοιχεία του μηχανήματος, των κοπτικών κλπ.

Πατώντας πάνω στο **Part operation** ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο το οποίο θα χρειαστεί να συμπληρωθεί.



Εικόνα 50 Προετοιμασία CAM (2/4)

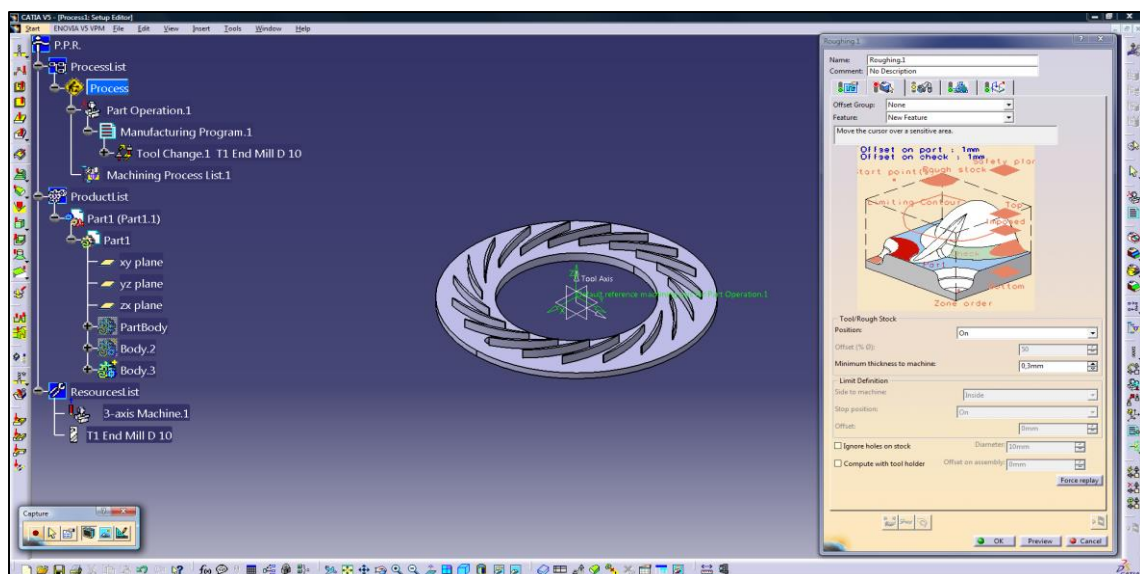


Εικόνα 51 Προετοιμασία CAM (3/4)

Θα χρειαστεί να συμπληρωθούν τα πρώτα τέσσερα **tab** που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα.

- I. Στο πρώτο συμπληρώνεται ο τύπος της μηχανής, δηλαδή τριαξονική μηχανή φρεζαρίσματος.
- II. Στο δεύτερο ορίζονται οι άξονες της μηχανής ανάλογα με το πώς είναι τοποθετημένο το κομμάτι
- III. Στο επόμενο επιλέγεται το τελικό κομμάτι
- IV. Στο τέταρτο επιλέγεται το στοκ κομμάτι, το πώς ήταν δηλαδή το κομμάτι πριν γίνει η κατεργασία

Σημαντικό είναι να επιλεγθεί σωστά το σύστημα αξόνων ώστε να συμμορφώνεται με τον τρόπο τοποθέτησης του κομματιού μέσα στη μηχανή. Ο άξονας z είναι συνήθως ο άξονας της ατράκτου του κοπτικού για φρέζες τριών αξόνων. Επίσης σημαντικό είναι να επιλεγεί η επιφάνεια η οποία θα κατεργαστεί την κάθε φορά. Αν παρεμβάλλονται αρκετές διαφορετικές κατεργασίες πρέπει να επιλέγεται κάθε φορά η επιφάνεια που θα διαμορφωθεί.



Εικόνα 52 Προετοιμασία CAM (4/4)

9.2 ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗΣ ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ

Αναλόγως με το κομμάτι που πρέπει να γίνει προσφέρονται μέσω του προγράμματος διάφοροι τρόποι κατεργασιών. Ενδεικτικά αναφέρονται οι πιο βασικές οι οποίες είναι **drilling** για δημιουργία οπών, **roughing** για φρεζάρισμα κομματιού, **facing** για φρεζάρισμα επιφάνειας και **pocketing** για δημιουργία αυλάκωσης. Ο κατάλληλος τρόπος κατεργασίας για το συγκεκριμένο εξάρτημα είναι η εντολή **roughing**.

Το catia δίνει πολλές δυνατότητες όσον αφορά τον τρόπο κατεργασίας με στη συγκεκριμένη μέθοδο φρεζαρίσματος. Όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα ορίζονται από τον προγραμματιστή τα επίπεδα του κομματιού ως προς τους άξονες της μηχανής αναλόγως το πώς είναι τοποθετημένο πάνω σε αυτή. Ορίζεται για παράδειγμα το πάνω και το κάτω μέρος του κομματιού μας καθώς και όλη τη γεωμετρία η οποία θα δημιουργηθεί μετά την κοπή. Επίσης μπορούν να οριστούν ακριβώς οι διαστάσεις της πρώτης ύλης καθώς και ένα στρώμα υλικού το οποίο θα μείνει για φινίρισμα και θα είναι παράλληλο ως προς τη σχεδιασμένη γεωμετρία.

Άλλες εξίσου χρήσιμες παράμετροι που μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα είναι η κίνηση του κοπτικού προς και πάνω στο κομμάτι. Επιλέγεται για την κατεργασία φρεζάρισμα κατά περιοχή με ελικοειδή κίνηση του κοπτικού. Χρησιμοποιείται για κοπτικό εργαλείο ένα κονδύλι με επίπεδη ακμή, τεσσάρων φτερών διαμέτρου 10 mm για το ξεχόνδρισμα, τη γρήγορη αποβολή υλικού, και ένα κονδύλι αντίστοιχο 8 mm για το φινίρισμα της τελικής επιφάνειας. Η διάνοιξη της οπής εκτελέστηκε με ένα τρυπάνι 6,6 mm. Προσοχή χρειάζεται ώστε όλα τα κοπτικά να έχουν μήκος μεγαλύτερο του ύψους του πτερυγίου ώστε να αποφευχθεί η σύγκρουση μηχανής κομματιού, αλλά όχι πολύ μακριά για να αποφευχθεί η ταλάντωσή τους κατά την κατεργασία. Όλα αυτά τα στοιχεία μπορούν να συμπληρωθούν μέσα στο πρόγραμμα ώστε αυτό να προσομοιώσει την κίνηση του κομματιού.

Οι παράμετροι που υπολείπονται για την προσομοίωση της κοπής συμπληρώνονται αυτόματα από το πρόγραμμα εκτός αν ο χειριστής επιλέξει να τις αλλάξει. Αυτές είναι η ταχύτητα περιστροφής του κοπτικού(**spindle speed**), η πρόωση κοπής(**machining feed**), η πρόωση του κοπτικού προς το κομμάτι(**approach feed**) και η πρόωση επαναφοράς(**retract feed**).

	Spindle speed (rpm)	Machining feed (mm/min)	Approach feed (mm/min)	Retract feed (mm/min)
Κονδύλι 10mm	3800	380	500	1000
Κονδύλι 8mm	4350	435	500	1000
Τρυπάνι 6,6mm	1400	140	500	1000

Πίνακας 8 Παράμετροι κοπής

Οι ταχύτητες περιστροφής (spindle speed) για τα κονδύλια βρέθηκαν από τον τύπο:

$$n = \frac{1000 v_c}{\pi D}$$

Για το κονδύλι των 10 χιλιοστών η ταχύτητα βρέθηκε $n = (1000 * 120) / (3.14 * 10) = 3800$ rpm. Αντίστοιχα για το κονδύλι των 8 χιλιοστών η τιμή είναι $n = 4350$ rpm. Βάση κατασκευαστή η πρόωση ανά δόντι και για τα δύο κονδύλια στο αλουμίνιο είναι $f_z = 0.05$ mm/δόντι. Η πρόωση του τραπεζιού βρέθηκε ως εξής:

$$v = f_z \times z \times n \quad (19) \text{ Πρόωση}$$

Όπου, f_z = πρόωση ανά δόντι

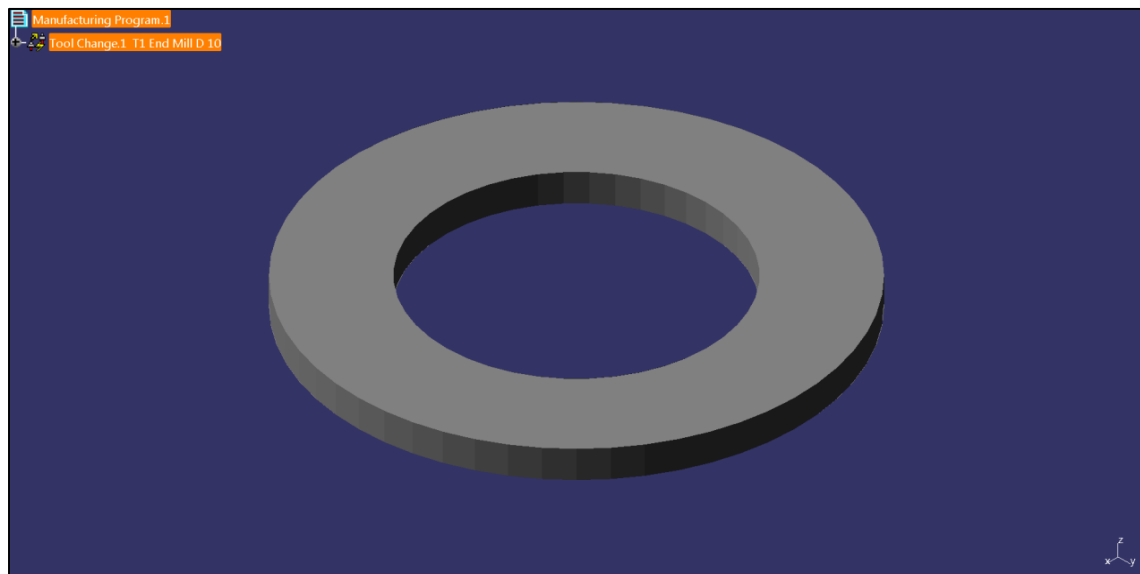
z = αριθμός δοντιών (ακμών) των κοπτικών

n = στροφές περιστροφής ατράκτου (rpm)

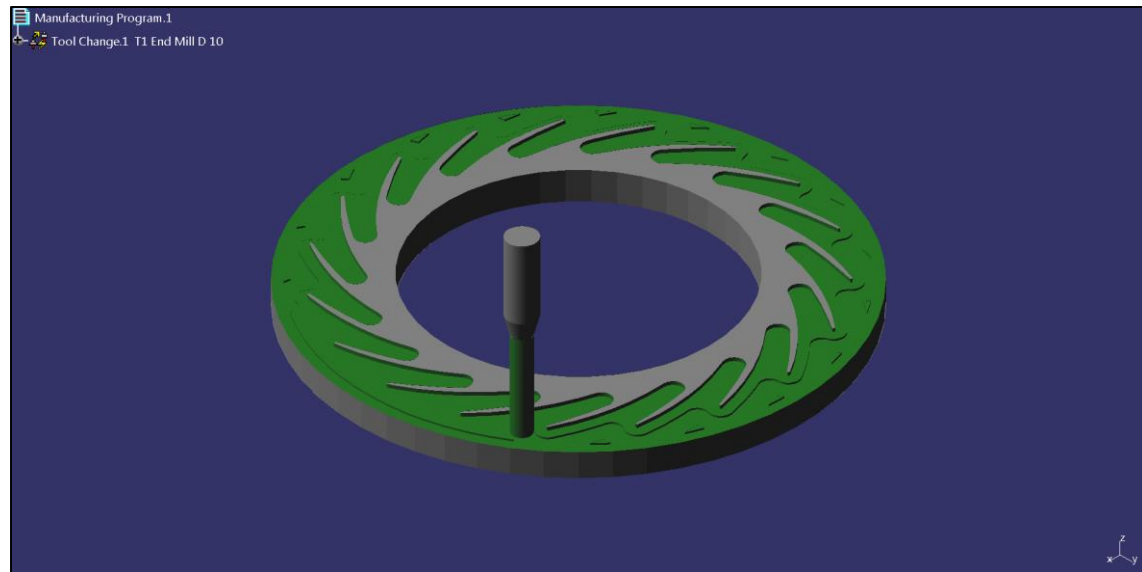
Με την πρόωση ανά δόντι να είναι η ίδια και για τα δύο κονδύλια καθώς και ο αριθμός των οδόντων (2), το μόνο που διέφερε για την εύρεση της πρόωσης του τραπεζιού ήταν οι ταχύτητες περιστροφής. Για το κονδύλι διαμέτρου 10 χιλιοστών η τιμή ισούται με $v = 0,05 * 2 * 3800 = 380$ (mm/min) ενώ για το κονδύλι των 8 χιλιοστών βρέθηκε 435 (mm/min). Οι υπόλοιπες δύο προώσεις, αυτή που πλησιάζει το κομμάτι approach και αυτή της επαναφοράς retract, δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία και δεν χρειάζονται υπολογισμό μιας και αφορούν νεκρό χρόνο, κινήσεις δηλαδή των κοπτικών στη μηχανή όταν δεν εκτελείται κοπή. Η ταχύτητα επαναφοράς ορίστηκε ως η μέγιστη πρόωση που διαθέτει η μηχανή ενώ η πρόωση με την οποία το κοπτικό θα πλησιάσει το κομμάτι επιλέχθηκε να είναι αρκετά μεγάλη αλλά

ταυτόχρονα όχι τόσο μεγάλη ώστε να αποφευχθούν συγκρούσεις με το κομμάτι λόγω αδράνειας του άξονα της κύριας ατράκτου, έτσι ώστε και στις δύο περιπτώσεις να επιτευχθεί ο ελάχιστος χρόνος.

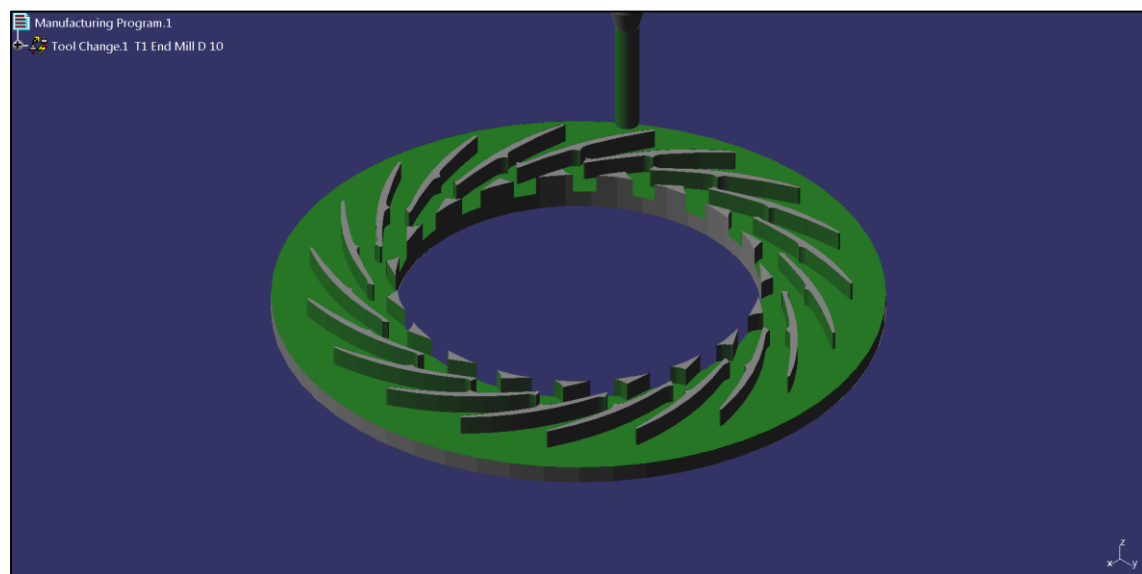
Είναι πλέον έτοιμη η γραφική αναπαράσταση της κίνησης του κοπτικού μέσα στο κομμάτι και το τελικό σχήμα του δοκιμίου πριν δημιουργηθεί ο κώδικας. Είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο το οποίο διαθέτουν σχεδόν όλα τα σύγχρονα σχεδιαστικά προγράμματα. Με τη χρήση του μπορεί να διαπιστωθεί αν υπάρχει κάποια αναπάντεχη σύγκρουση του κοπτικού με το κομμάτι ή σε κάποια άλλα προγράμματα ακόμη και σύγκρουση κοπτικού και μηχανής. Στις παρακάτω εικόνες παρατίθεται η γραφική αναπαράσταση της κατεργασίας.



Εικόνα 53 Αρχικό κομμάτι



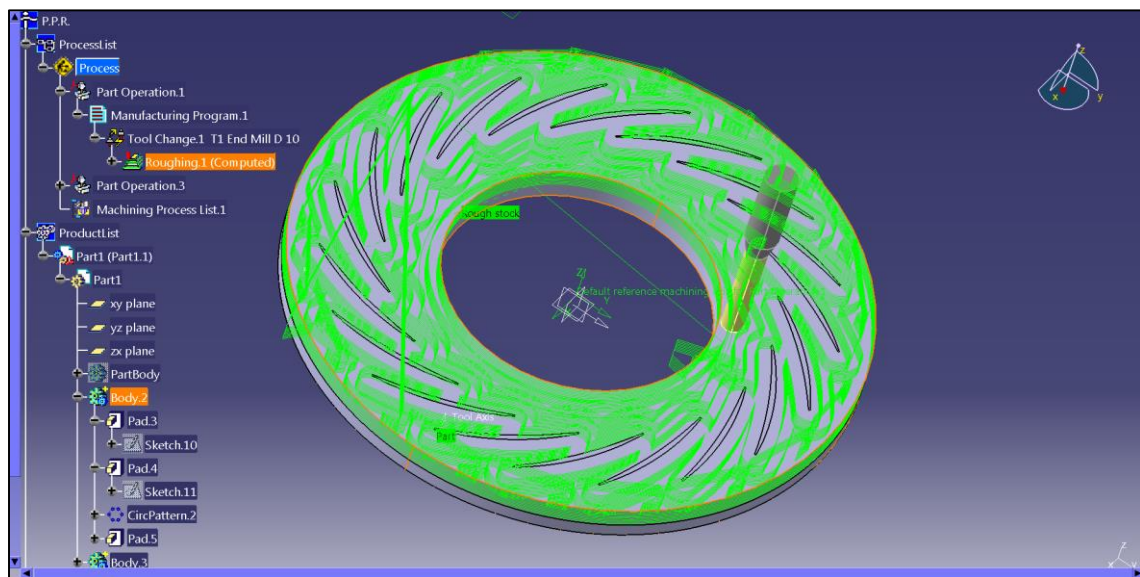
Εικόνα 54 Φωτογραφία κατεργασίας σε γράφημα



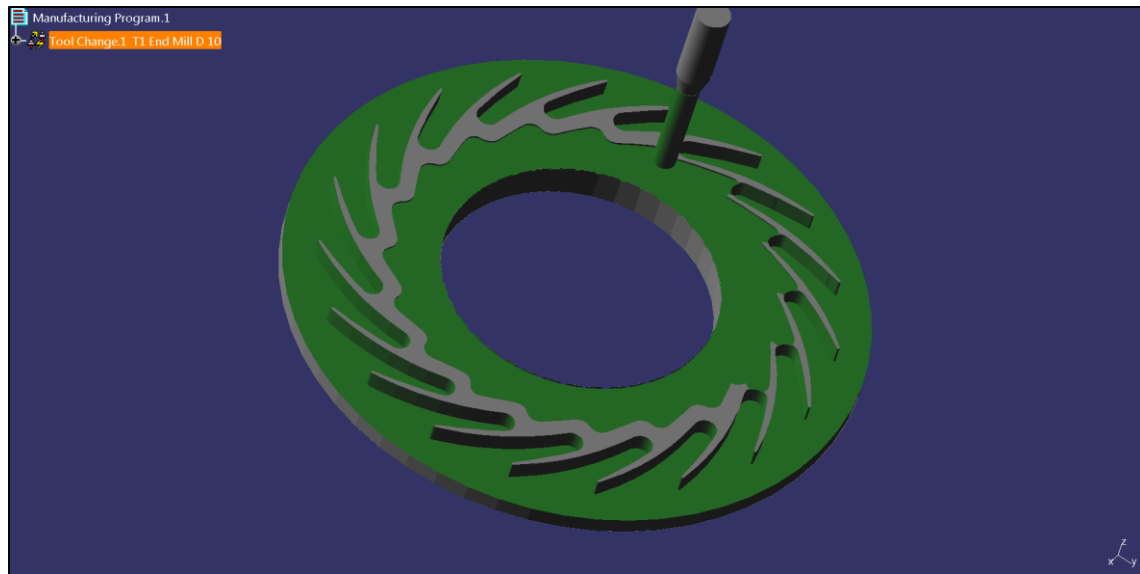
Εικόνα 55 Τέλος φρεζαρίσματος

Η κοπή βάση του γραφήματος εκτελείται περιφερειακά του κομματιού. Κατεργάζεται στο ίδιο βάθος κοπής όλη την έκταση της κατεργαζόμενης επιφάνειας και στη συνέχεια αυξάνει σταδιακά το βάθος στο οποίο κόβει κρατώντας το βήμα του σταθερό.

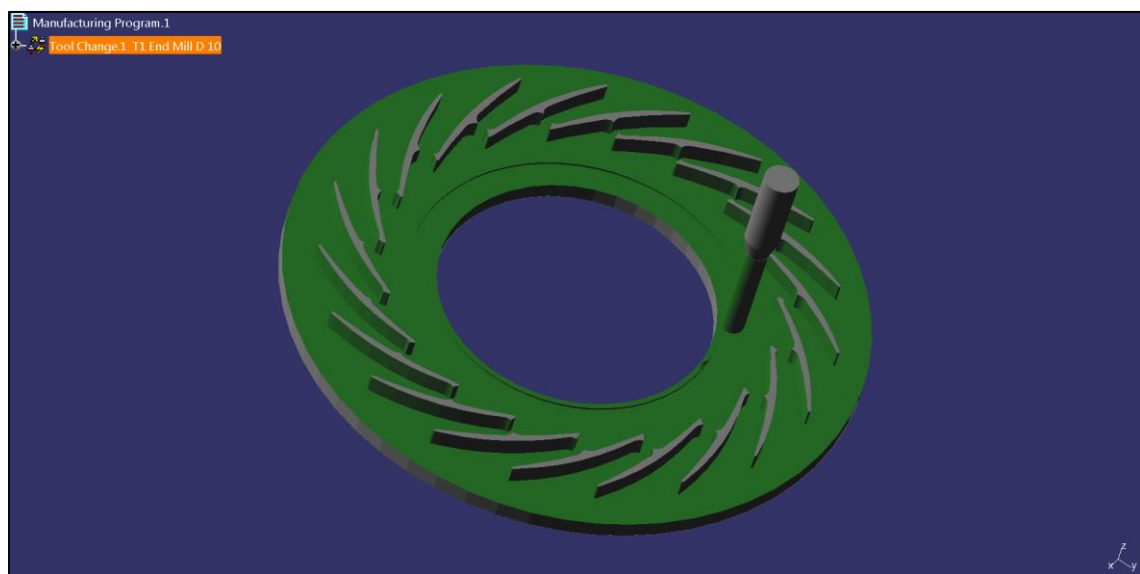
Φαίνεται στην τελευταία φωτογραφία ότι το τελικό κομμάτι δεν είναι όμοιο με αυτό που είχε αρχικά σχεδιαστεί. Αυτό συμβαίνει επειδή μέσω της κατεργασίας και της επιφάνειας που επιλέχθηκε το πρόγραμμα έχει λάβει ως όριο το οποίο δεν επιτρέπεται να υπερβεί την εσωτερική διάμετρο του κομματιού. Για να μπορεί να κατεβαστεί το κομμάτι όπως είχε αρχικά σχεδιαστεί χρειάστηκε να μεταβληθούν κάποιες παράμετροι του σχεδίου μόνο για το CAM. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν στη συγκεκριμένη κατασκευή τις εσωτερικές διαστάσεις του κομματιού οι οποίες περιόριζαν την κίνησή του πάνω στο κομμάτι. Αλλάχθηκε η εσωτερική διάμετρος του κομματιού από 150 mm σε 125 mm και ακολούθως άλλαξε η στερεά μορφή του με την ανανέωση της εντολής εξώθησης. Έτσι κοπτικό έχει αρκετό χώρο να κινηθεί ώστε να φρεζάρει την επιθυμητή επιφάνεια. Έτσι όπως θα φανεί στις επόμενες εικόνες θα γίνει το φρεζάρισμα μέσα στη μηχανή και θα δημιουργηθεί το τελικό κομμάτι.



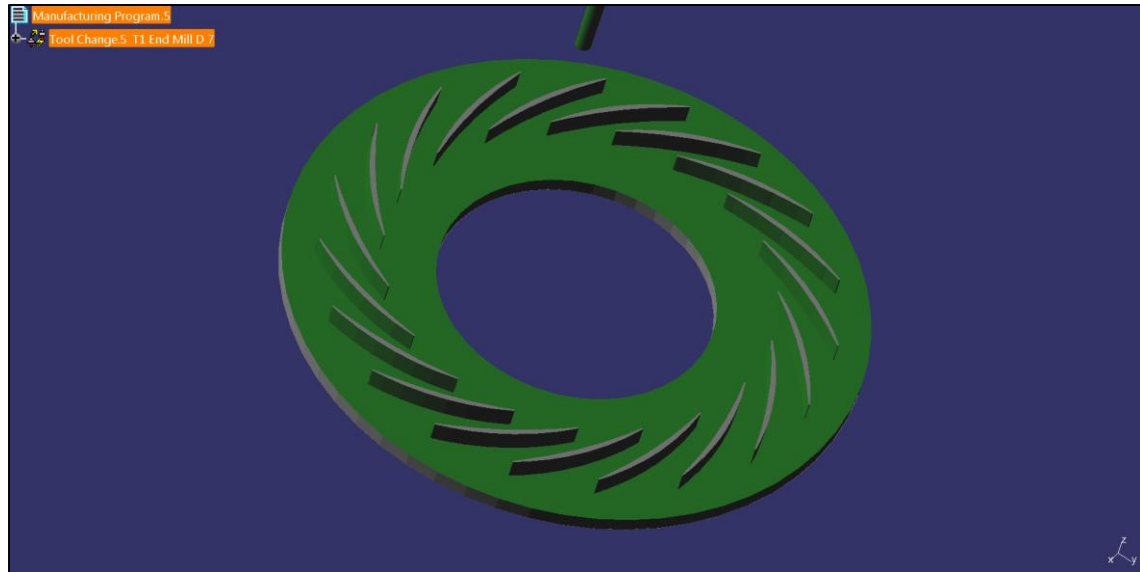
Εικόνα 56 Προσομοίωση κίνησης σε animation (1/3)



Εικόνα 57 Προσομοίωση κίνησης σε animation (2/3)



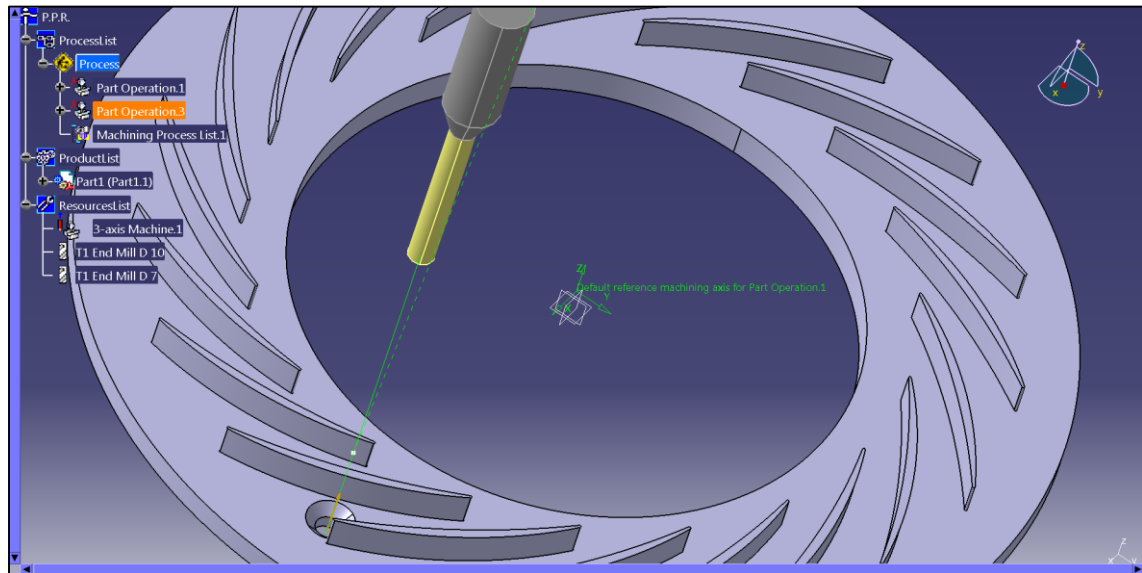
Εικόνα 58 Προσομοίωση κίνησης σε animation (3/3)



Εικόνα 59 Τέλος φρεζαρίσματος

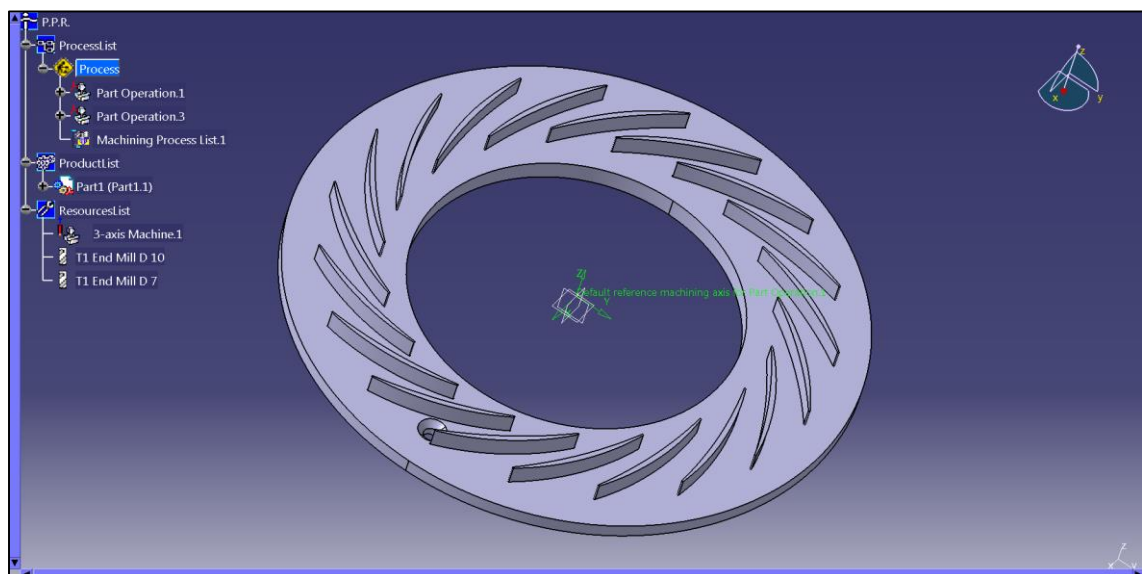
9.3 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΠΗΣ ΣΤΟ CAM ΤΟΥ CATIA

Η τελευταία κατεργασία που απαιτείται για να τελειώσει ο διαχύτης είναι η δημιουργία της τρύπας. Για την τρύπα χρησιμοποιείται η εντολή **drill** από τις εντολές κατεργασίας στο **catia** και συμπληρώνονται τα αντίστοιχα στοιχεία όπως και στο *roughing*. Αντίστοιχα δίνεται η προσομοίωση της κίνησης του τρυπανιού πάνω μέσα στο κομμάτι.



Εικόνα 60 Προσομοίωση κίνησης τρυπανιού

Μετά το πέρας της προσομοίωσης όλων των κατεργασιών παρατίθεται το **τελικό κομμάτι**.



Εικόνα 61 Δημιουργία τελικού κομματιού

9.4 ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΑΠΟ CAM

Εδώ παρουσιάζονται τα κύρια μέρη του κώδικα μηχανής που δημιουργήθηκε μέσω του CAM του CATIA και επεξηγούνται οι βασικές εντολές του. Οι περισσότερες γραμμές παραλήφθηκαν διότι ήταν απλώς συντεταγμένες x και y σε γραμμικές ή κυκλικές επαναλαμβανόμενες κινήσεις σε διαφορετικό βάθος z .

Αρχή του προγράμματος:

0 BEGIN PGM Part Operation.1 MM	Αρχή προγράμματος
1 TOOL CALL 16 Z S3800	Επιλογή κοπτικού – επιλογή στροφών
2 M06	Αυτόματη αλλαγή εργαλείου
3 M03	Ωρολογιακή περιστροφή κοπτικού
4 M08	Ενεργοποίηση ψυκτικού
5 L X+77.049 Y-113.59 Z+9 F500	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού προς το κομμάτι
6 L Z-1	Κίνηση στον άξονα Z (βάθος κοπής)
7 L X+70.744 Y-104.153 F380	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού (πρόωση κοπής)
8 L X+68.452 Y-100.723	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού
9 L X+63.678 Y-103.913	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού
10 L X+55.329 Y-108.589	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού

Πίνακας 9 Αρχή προγράμματος

Η επιλογή κοπτικού εργαλείου και η περιστροφή της ατράκτου γίνεται με τρεις γραμμές εντολών. Με την εντολή **TOOL CALL X Z** επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο που βρίσκεται στον αποθηκευτικό μύλο εργαλείων του μηχανήματος στη θέση X. Η εκτέλεση της εντολής αλλαγής εργαλείου εκτελείτε με την εντολή M06. Με το **S** ορίζεται ο αριθμός των στροφών και τα **M03** και **M04** ορίζουν τη φορά περιστροφής. Συχνή εντολή είναι η **M08** με την οποία ενεργοποιείται το ψυκτικό υγρό.

Οι ευθύγραμμες κινήσεις τις οποίες ακολουθεί το τραπέζι στους άξονες x και y , και η άτρακτος με το κοπτικό εργαλείο στον άξονα z ορίζονται ως **L X Y** ή **F L Z F** όπου το L δηλώνει ότι η κίνηση θα είναι ευθύγραμμη μεταξύ του σημείου στο οποίο ήδη βρίσκεται το κοπτικό και του σημείου που ορίζεται από τις αλλαγές κάποιων ή όλων των συντεταγμένων των αξόνων X Y Z,

και το F ορίζει την πρόωση με την οποία θα κινείται το κοπτικό ως προς το κομμάτι. Όπου παραλείπεται η τιμή F η πρόωση παραμένει ίδια με την τελευταία τιμή που της έχει δοθεί.

Εντολές κίνησης σε τόξο κύκλου:

11161 CC X-49.828 Y-6.2	Κέντρο κύκλου
11162 C X+18.32 Y-109.225 DR+ F380	Κυκλική ωρολογιακή κίνηση μέχρι συγκεκριμένες συντεταγμένες
11163 CC X+28.588 Y-107.928	Κέντρο κύκλου
11164 C X+20.355 Y-114.2 DR+	Κυκλική ωρολογιακή κίνηση μέχρι συγκεκριμένες συντεταγμένες
11165 CC X+0 Y+0	Κέντρο κύκλου
11166 C X+7.19 Y-115.777 DR-	Κυκλική αντιωρολογιακή κίνηση μέχρι συγκεκριμένες συντεταγμένες
11167 L X+7.345 Y-118.272	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού
11168 L X+7.5 Y-120.767	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού

Πίνακας 10 Τόξο κύκλου

Για την κυκλική κίνηση του κοπτικού πάνω σε τόξο ενός κύκλου στο επίπεδο χρησιμοποιείται η εντολή **CC X Y** και **C X Y DR+** ή **C X Y DR-**. Στην εντολή **CC X Y** ορίζεται ως x-y το κέντρο του κύκλου και ως αρχή του τόξου λαμβάνεται το σημείο που ήδη βρίσκεται το κοπτικό. Στις εντολές **C X Y DR+** ή **C X Y DR-** ορίζονται οι συντεταγμένες του τέλους του τόξου το οποίο θα διαγράψει το κοπτικό και με τα **DR+** και **DR-** ορίζεται η φορά του τόξου, ορολογιακή ή αντιωρολογιακή.

Αλλαγή κοπτικού (κονδύλι 6 mm) και συνέχιση προγράμματος:

4494 TOOL CALL 7 Z S4350	Επιλογή κοπτικού – επιλογή στροφών
4495 M06	Αυτόματη αλλαγή εργαλείου
4496 M03	Ωρολογιακή περιστροφή κοπτικού
4497 M08	Ενεργοποίηση ψυκτικού
4498 L X-12.848 Y+83.531 Z+10.1 F500	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού προς το κομμάτι
4499 L Z-1	Κίνηση στον άξονα Z (βάθος κοπής)
4501 L X-7.188 Y+87.147 F435	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού (πρόωση κοπής)

Πίνακας 11 Εντολές αλλαγής κοπτικού

Κύκλος κατεργασίας τρύπας και τέλος προγράμματος:

11590 TOOL CALL 3 Z S1400	Επιλογή κοπτικού – επιλογή στροφών
11591 M06	Αυτόματη αλλαγή εργαλείου
11592 M03	Ωρολογιακή περιστροφή κοπτικού
11593 M08	Ενεργοποίηση ψυκτικού
11594 L X+104.873 Y-2.375 Z+11.67 F1000	Κίνηση κοπτικού στη μηχανή
11595 L Z+1.67 F1000	Κίνηση κοπτικού στη μηχανή
11596 L Z-8.33 F500	Ευθύγραμμη κίνηση κοπτικού προς το κομμάτι
11597 CYCL DEF 200 BOHREN ~	Ορισμός κύκλου κατεργασίας
Q200=+1~	Απόσταση ασφαλείας
Q201=-15~	Βάθος κοπής
Q206=100~	Πρόωση τρυπανιού
Q202=+15~	Βάθος βύθισης
Q210=+0~	Νεκρός χρόνος
Q204=+0	Απόσταση ασφαλείας (2)
11599 L X+104.873 Y-2.375 Z+1.67 F1000	Απομάκρυνση εργαλείου
11600 M05	Διακοπή περιστροφής κοπτικού

11601 M09	Διακοπή ψυκτικού
11602 M30	Τέλος προγράμματος και επιστροφή στην αρχή
11603 END PGM Part Operation.1 MM	Τέλος προγράμματος

Πίνακας 12 Κύκλος κατεργασίας τρύπας

Η εκτέλεση διάνοιξης οπής στο κομμάτι εκτελείται με έναν αυτοματοποιημένο κύκλο κατεργασίας. Αυτός φαίνεται στις εντολές 11597 έως 11598. Το **CYCL DEF 200 BOHREN** ορίζει ότι ακολουθεί κύκλος κατεργασίας διάνοιξης οπής ή οπών. Το **Q200** ορίζει μια απόσταση ασφαλείας την οποία κρατάει από την επιφάνεια του κομματιού όταν αυτό κινείται πάνω από τα σημεία στα οποία θα ανοίξει τρύπα. Το **Q201** ορίζει το μέγιστο βάθος κοπής που θα έχει η τρύπα ενώ το **Q202**, το βάθος βύθισης, ορίζει το βάθος του κάθε πάσου του κοπτικού όταν η κοπή δεν γίνεται μονοκόμματα. Η πρόωση του τρυπανιού, **Q206**, ορίζει την ταχύτητα διείσδυσης του τρυπανιού μέσα στο κομμάτι ενώ το **Q210**, ο νεκρός χρόνος, είναι τα δευτερόλεπτα τα οποία μένει το κοπτικό το κάτω μέρος της τρύπας αν αυτό είναι αναγκαίο. Η απόσταση ασφαλείας 2, **Q204**, είναι η επιπλέον απόσταση που παίρνει το κοπτικό στον άξονα z μετά το πέρας της διάνοιξης των οπών. Τα σημεία που ακολουθούν όμοια της εντολής 15998 είναι οι συντεταγμένες των σημείων στα οποία θα ανοιχτούν οι τρύπες.

Μετά το πέρας του κύκλου αυτού ακολουθεί το κλείσιμο του προγράμματος που περιλαμβάνει διακοπή περιστροφής ατράκτου κοπτικού **M05**, διακοπή ψυκτικού υγρού **M09**, και διακοπή προγράμματος και επιστροφή στην αρχή του **M30**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

10 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η κατασκευή μέσω της αντιγραφής ενός εξαρτήματος υπερσυμπιεστή, ενός διαχύτη. Στην εργασία αυτή αναλύθηκε η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αντιγραφή του μέσω της αντίστροφης μηχανικής (reverse engineering). Η κατασκευή έγινε σε ένα συνεργαζόμενο μηχανουργείο το οποίο μας παρείχε όλα τα μηχανήματα και εργαλεία που χρειάστηκαν για την κατασκευή του, καθώς και μας παρείχε τον τρισδιάστατο μοντελοποιητή CATIA πλήρως εξοπλισμένο (CAD, CAM, POST-PROCESSOR).

Εφόσον υπήρχε το εξάρτημα βάση αυτού έγιναν τα σχέδια στο CATIA και γνωρίζοντας το υλικό κατασκευής του έγινε η παραγγελία της πρώτης ύλης (stock) . Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι τα κράματα αλουμινίου έχουν όλα διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους γι' αυτό είναι σημαντικό να διαλέξουμε το κατάλληλο κράμα. Επίσης η σωστή λειτουργία των μηχανημάτων και η βαθμονόμηση των μετρητικών παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στο να έχουμε το σωστό αποτέλεσμα, γι αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχουν σε κάθε μηχανουργείο αρχεία συντήρησης και σωστής λειτουργίας μηχανημάτων και οργάνων.

Η επιλογή των μηχανημάτων ήταν μονόδρομος γιατί ήταν τα μόνα υπάρχοντα μηχανήματα στην εταιρία που μας εξυπηρετούσαν. Αυτό όμως δεν εμπόδισε καθόλου στην κατασκευή του κομματιού γιατί εκτέλεσαν τις κατεργασίες που χρειάστηκαν με την επιθυμητή ακρίβεια και ταχύτητα. Λαμβάνοντας υπ όψιν το τελικό προϊόν και τα διαθέσιμα μηχανήματα δημιουργείτε το φασεολόγιο το οποίο αφορά την σειρά με την οποία θα γίνουν οι κατεργασίες και σε ποιο μηχανήμα.

Η σειρά των κατεργασιών συνδέεται άμεσα με τον τρόπο συγκράτησης του κομματιού μιας και δεν είναι πάντα δυνατό να κρατηθεί ένα κομμάτι από μια κατεργασμένη επιφάνεια. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε να γίνει πρώτα η κατεργασία του торνιρίσματος και μετά να γίνει το φρεζάρισμα. Αυτό μας βοήθησε στη συμμετρία του κομματιού διότι εάν το φρεζάρισμα προηγούνταν του торνιρίσματος υπήρχε ο κίνδυνος τα πτερύγια να είναι παράκεντρα ως προς την εσωτερική και την εξωτερική διάμετρο λόγω της γεωμετρίας του αρχικού κομματιού.

Ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής CNC της HAAS έγινε χειροκίνητα και αυτό προϋποθέτει κάποια γνώση των εντολών του G-κώδικα και κατανόηση των κύκλων αυτοματοποιημένων κατεργασίας. Προσοχή δόθηκε στην αντιστάθμιση των κοπτικών εργαλείων ώστε να επιτευχθούν οι σωστές διαστάσεις.

Η επιλογή των κοπτικών εξαρτάται από τον τύπο της κατεργασίας και το υλικό του τεμαχίου. Για την τόννευση χρησιμοποιήθηκαν δύο μανέλες, μία για την κατεργασία εξωτερικής διαμέτρου και προσώπου και μία για την εσωτερική διάμετρο. Τα κοπτικά ήταν καρβίδια ειδικά για την κατεργασία μη σιδηρούχων μετάλλων, κατηγορία στην οποία εμπίπτει και το αλουμίνιο. Το αλουμίνιο σαν υλικό είναι μαλακό και εύκολα κατεργάσιμο αλλά σε μεγάλα βάθη κοπής τείνει να σκληραίνει λόγο των μεγάλων θερμοκρασιών και να δυσκολεύει την κατεργασία. Αυτό το γνωρίζαμε και προσαρμόσαμε τις κατεργασίες ώστε να αποφύγουμε αυτό το φαινόμενο. Ομοίως επιλέχθηκαν τα δύο φρεζάκια και το τρυπάνι ώστε να μπορούν να κατεργαστούν αλουμίνιο. Υπήρχε μεγάλη γκάμα επιλογών για τα κοπτικά εργαλεία και τις μανέλες και δεν εμφανίστηκε κάποια ιδιαίτερη δυσκολία στην επιλογή τους. Η κατεργασία μπορούσε να γίνει και με διαφορετικές μανέλες και διαφορετικού τύπου κοπτικά εργαλεία αλλά λόγω κόστους επιλέχθηκαν μανέλες και κάποια κοπτικά τα οποία υπήρχαν ήδη στο χώρο του μηχανουργείου.

Το πιο δύσκολο και χρονοβόρο κομμάτι της κατασκευής ήταν η δημιουργία της προσομοίωσης κοπής (CAM). Στη φάση αυτή έχοντας το αρχικό και τελικό κομμάτι πρέπει να βρεθεί ο γρηγορότερος και οικονομικότερος τρόπος ώστε να κατασκευαστεί το εξάρτημα βάση του αρχικού σχεδιασμού. Στη φάση αυτή γίνονται αρκετές δοκιμές προσομοίωσης κοπής με διάφορους τρόπους κατεργασίας λαμβάνοντας υπ όψιν όλους τους πιθανούς τρόπους συγκράτησης και τα υπάρχοντα κοπτικά εργαλεία. Στην πραγματική βιομηχανία βασικός ρόλος στην κατασκευή οπουδήποτε εξαρτήματος είναι και το κόστος. Στο κόστος υπολογίζεται το η πρώτη ύλη, τα κοπτικά εργαλεία και τα διάφορα έξοδα όπως κόστος ρεύματος, κόστος εργατικών και κόστος κομματιών τα οποία θα απορριφτούν λόγο απόκλισης από τις αρχικές προδιαγραφές.

Στην φάση της προσομοίωσης της κοπής παρατηρήθηκε κάποια δυσκολία ως προς το αποτέλεσμα της τελικής κατασκευής. Παρατηρήθηκε ότι το τελικό κομμάτι διέφερε αισθητά από τον αρχικό σχεδιασμό. Εκεί υπήρξε η δυσκολία κατανόησης της αιτίας αυτής της απόκλισης. Μετά από ενδελεχή έλεγχο παρατηρήθηκε ότι η αιτία ήταν ότι ο μοντελοποιητής εκλάμβανε ως όρια τα οποία δεν μπορούσε να υπερβεί κατά την κοπή την εσωτερική και την εξωτερική διάμετρό του. Το πρόβλημα εμφανιζόταν μόνο με την εσωτερική διάμετρο διότι το άνοιγμα μεταξύ πτερυγίου και εσωτερικής διαμέτρου ήταν μικρότερο από τη διάμετρο του κοπτικού. Εκεί χρειάστηκε μια παρέμβαση στην αρχική μοντελοποίηση του διαχύτη η οποία έγινε μόνο για τη χρήση του στο CAM και δεν επηρεάζει το τελικό εξάρτημα.

Η δουλειά ενός μηχανολόγου πλέον έχει ξεφύγει από το ρόλο του απλού χειριστή μιας εργαλειομηχανής διότι με τα αυτόματα μηχανήματα που είναι εξοπλισμένα τα σύγχρονα μηχανουργεία οφείλει να έχει άριστες γνώσεις σχεδιαστικών προγραμμάτων. Πρέπει να αναφερθεί ότι στην παρούσα εργασία αναλύθηκε μονάχα ένα από τα διαθέσιμα σχεδιαστικά προγράμματα που μπορεί να βρεθούν στη βιομηχανία.

Στην εργασία αναφέρθηκαν όλα τα στάδια που χρειάζονται για να αναπαραχθεί ένα εξάρτημα μέσω της αντίστροφης μηχανικής. Πλέον υπάρχουν άπειρες δυνατότητες για την παραγωγή ενός εξαρτήματος. Ένας μηχανολόγος καλείται να επιλέξει να κατάλληλα μετρητικά όργανα, μηχανήματα και εργαλεία τα οποία θα του χρειαστούν μέσα από μια τεράστια γκάμα επιλογών. Βασικό ρόλο στην επιλογή τους παίζει το κόστος. Βάση αυτού εμείς οδηγηθήκαμε στην επιλογή των υπάρχοντων μηχανημάτων, εργαλείων και οργάνων μέτρησης.

Αναφορικά με το CAD του CATIA είναι ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα στο οποίο μπορεί να σχεδιαστεί με διάφορες τεχνικές το κάθε εξάρτημα. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε μία από τις επιλογές σχεδίασης, η πολυεπίπεδη σχεδίαση. Βάση αυτής της μεθόδου η μοντελοποίηση ξεκίνησε με τη δημιουργία της βάσης του διαχύτη και στη συνέχεια πάνω στο υπάρχων σχέδιο, στην υπάρχουσα επιφάνεια του στερεού, σχεδιάσαμε τα πτερύγια του διαχύτη. Μια άλλη μέθοδος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι ο σχεδιασμός βάση κατεργασίας. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο σχεδιασμός του εξαρτήματος αρχίζει με ένα στερεό ίδιο με το αρχικό κομμάτι (stock) και στη συνέχεια σχεδιάζονται οι επιφάνειες του υλικό που θα αφαιρεθεί και εκτελείται η αντίστοιχη εντολή. Η επιλογή του τρόπου σχεδίασης της εργασίας έγινε με γνώμονα τόσο το χρόνο όσο και την ευκολία σχεδιασμού για το συγκεκριμένο κομμάτι.

Για το CAM του CATIA ισχύει κάτι αντίστοιχο. Δηλαδή υπάρχουν διάφορες εντολές με τις οποίες μπορεί να εκτελεστεί η συγκεκριμένη κατεργασία, φρεζάρισμα, αρκεί να οριστούν τα κατάλληλα όρια κίνησης του κοπτικού πάνω στο κομμάτι, οι τρόποι εισόδου του στο υλικό, από έξω ή να καρφώνεται μέσα στο κομμάτι, οι πορείες του κοπτικού και άλλα διάφορα στοιχεία. Εδώ επιλέχθηκε η εντολή roughing διότι η κίνηση του κοπτικού μπορούσε να οριστεί από τις υπάρχοντες διαστάσεις του κομματιού, που λειτουργούν σαν όρια-οδηγοί, και η είσοδος του κοπτικού στο κομμάτι γίνεται απ' έξω από αυτό αποφεύγοντας έτσι τον κίνδυνο να καρφώνεται το κοπτικό μέσα στο αλουμίνιο. Επίσης η κατεργασία μπορούσε να εκτελεστεί με διάφορους τρόπους κοπής, ελικοειδής, zig-zag κλπ, και να βρεθεί η ταχύτερη μέθοδος κατασκευής.

Η εργασία αυτή έγινε λόγο της ανάγκης αντιγραφής ενός εξαρτήματος. Αναλύθηκε εκτενέστατα η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε μέσω της αντίστροφης μηχανικής. Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας εμφανίστηκαν αρκετά ζητήματα τα οποία έπρεπε να λυθούν. Τέτοια είναι η επιλογή του τρόπου σχεδίασης, η επιλογή εργαλείων μέτρησης και κοπής, και η κατεργασία του κομματιού. Χρειάστηκε αρκετός χρόνος και πολλές δοκιμές για τον τρόπο σχεδίασης του διαχύτη και επίσης προσοχή στην επιλογή των κατάλληλων κοπτικών εργαλείων και παραμέτρων κοπής. Σε όλη τη διάρκεια της μεθοδολογίας οι επιλογές που έγιναν δεν ήταν μονόδρομος αλλά επιλέχθηκαν μετά από αρκετή αναζήτηση και ανάλυση.

Εν κατακλείδι η εργασία δείχνει πως εργάζεται ένας μηχανολόγος στην παραγωγή. Εκτίθενται κάποια ζητήματα τα οποία προκύπτουν μέσα στα διάφορα στάδια παραγωγής καθώς και τα βήματα για την επίλυσή τους. Ενδεικτικά αναφέρεται η παραγωγή ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος με τη βοήθεια ενός από τα πιο διαδεδομένα σχεδιαστικά στην βιομηχανία παραγωγής (CATIA) και δύο σύγχρονων μηχανημάτων CNC. Η παραγωγή εξαρτημάτων έχει φτάσει πλέον σε ένα αρκετά ικανοποιητικό στάδιο αλλά συνεχώς εμφανίζονται νέες καινοτομίες και ένας μηχανολόγος πρέπει να προσαρμόζεται και να συμβαδίζει με αυτές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ABB. (2008). A CENTURY OF TURBOCHARGING. *TURBOMAGAZINE*.
- ANDREAS, G. (2011). *UNDERSTANDING ADDITIVE MANUFACTURING*.
- BALL, R. (2008). *A SHORT HISTORY OF MATHEMATICS*.
- BRADSHAW. (1971). *TURBULENCE*.
- DANIEL, A. (2013). *Reverse Engineering in Control Design*.
- DAVIES, J., & BAINES NICOLAS. (1994). *INTRODUSTION TO TURBOMACHINERY*.
- DIXON. (2010). *FLUID MECHANICS AND THERMODYNAMICS IN TURBOMACHINERY*.
- FITZPATRICK, M. (2005). *MACHINING AND CNC TECHNOLOGY*.
- I, L. R. (1996). *TURBOMACHINERY PERFORMANCE ANALYSIS*.
- IAN, G., & ROSEN , D. (2015). *ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES*.
- JAPIKSE, D. (1980). *CENTRFIGUAL COMPRESSOR DESIGN AND PERFORMANCE*.
- JAPIKSE, D., & NICOLAS, B. (1998). *DIFFUSER DESIGN TECHNOLOGY*.
- JOHNSON, R. (1998). *THE HANDBOOK OF FLUID DYNAMICS*.
- Lyman , W. H. (1904). *Automobile Biographies: An Account of the Lives and the Work of Those who Have Been Identified with the Invention and Development of Self-propelled Vehicles on the Common Roads .*
- MACLNNES, H. (1984). *TURBOCHARGERS*.
- MARINOPOYLOS , N. (2009). *TSI (TWINCHARGER)*.
- PAMPREEN , R. (1993). *COMPRESSOR SURGE AND STALL*.
- PRANDTL. (2004). *ESSENTIALS OF FLUI MECHANICS*.
- RAJENDER, S. (2010). *Introduction to Basic Manufacturing Process & Workshop Technology*.
- THE WALL STREET JOURNAL. (2009). How the Scuderi Engine Came to Be. *BOUDETTE NEAL*.
- THOMASSET , T. (2003). *Nicolas Leonard Sandl Carnot 1796-1832*.
- WATSON M, & JANOTA M. S. (1982). *TURBOCHARGING THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE*.
U.K.
- ΜΠΙΛΛΛΗΣ , Ν., & ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Ε. (2009). *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ*.