



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Σχεδιασμός της κατασκευής παραμετρικά ορισμένων σώτρων
αυτοκινήτου σε εργαλειομηχανές CNC»**

Πολύκαρπος Μιχελάκης

Επιβλέπων :

Δρ. Γεώργιος - Χριστόφορος Βοσνιάκος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα - Μάρτιος 2015

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τον παραμετρικό σχεδιασμό κατασκευής ορισμένων ζαντών αυτοκινήτου σε εργαλειομηχανές CNC. Παρουσιάζει συνοπτικά τις έννοιες και τα τεχνικά μέσα που απασχολούν το αντικείμενο και ανασκοπεί βιβλιογραφικά τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί γύρω από παρόμοια θέματα. Εξετάζει και περιγράφει ενδελεχώς όλα τα στάδια του σχεδιασμού συγκεκριμένου τύπου ζάντας σε περιβάλλον CAD και καταλήγει στην πλήρη παρουσίαση του τελικού σχεδιαστικού μοντέλου, όσο και των τροποποιήσεων του. Μετά από τη σωστή επιλογή διάφορων ουσιαστικών χαρακτηριστικών και προτεραιοτήτων, σχεδιάζει τη στρατηγική των κατεργασιών σε περιβάλλον CAM. Με στόχο την βελτιστοποίηση περιγράφει με κάθε λεπτομέρεια, κάθε στάδιο και βήμα των κατεργασιών και αναζητά τα σωστά δεδομένα, εργαλεία και συνθήκες κατεργασιών. Στη συνέχεια, καταδεικνύει το πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό -σε χρόνο και ενέργεια- φασεολόγιο, όπως προκύπτει μετά από δοκιμές και ανάλυση. Αφού αναφέρει πλήρως και αναλυτικά τις συνθήκες κοπής κάθε φάσης, όπως και τους συνολικούς χρόνους των κατεργασιών, καταλήγει σε μια ακριβή εικονική κατασκευή της ζάντας. Στο τέλος, καταθέτει αναλυτικά συμπεράσματα και αξιολόγηση για κάθε τομέα της κατασκευής που μελέτησε.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Γεώργιο-Χριστόφορο Βοσνιάκο, αναπληρωτή καθηγητή του Ε.Μ.Π., τόσο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης, όσο και για την υπομονή και το πλήθος των πολύτιμων γνώσεων που μου παρείχε γενναιόδωρα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του τομέα πού, χωρίς την βοήθειά του, η ολοκλήρωση της εργασίας δεν θα ήταν εφικτή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 1: Βιβλιογραφική ανασκόπηση	9
Κεφάλαιο 2: Συνοπτική παρουσίαση βασικών όρων της εργασίας	13
2.1 Ζάντα ελαστικών	13
2.2 Μέθοδοι παραγωγής χαλύβδινης ζάντας και κράματος αλουμινίου	14
2.3 CNC - CAD - CAM	15
2.3.1 SOLIDWORKS	16
2.3.2 SOLIDCAM	18
Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός ζάντας	21
3.1 Προσέγγιση σχεδιασμού	21
3.1.1 Γενικός κανόνας σχεδιασμού	22
3.1.2 Τελικός οδηγός πριν τη σχεδίαση	22
3.2 Στάδια σχεδιασμού	23
3.2.1 Στάδιο πρώτο - Δισδιάστατο σχέδιο της τομής του δίσκου	23
3.2.2 Στάδιο δεύτερο - Περιστροφή	24
3.2.3 Στάδιο τρίτο - Αποκοπή	25
3.2.4 Στάδιο τέταρτο - Σχεδιασμός οπής μπουλονιών	25
3.2.5 Στάδιο πέμπτο - Συμμετρική κατανομή ενεργειών	26
3.2.6 Στάδιο έκτο - Σχεδιασμός στεφάνης	27
3.3 Παραλλαγές σχεδιασμού	29
3.3.1 Τροποποίηση 1	29
3.3.2 Τροποποίηση 2	30
3.3.3 Τροποποίηση 3	30
3.3.4 Τροποποίηση 4	31
3.4 Λοιπές πιθανές παραλλαγές	31
3.5 Τελικές δυνατότητες του προγράμματος πάνω στο σχεδιασμό	33
Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός κατεργασιών	37
4.1 Από τον σχεδιασμό στις κατεργασίες	37
4.2 Περιορισμοί και επιλογές σχεδιασμού κατεργασιών	38
4.2.1 Κέντρο τórνευσης	39
4.2.2 Επιλογή συντεταγμένων κατεργασιών	40
4.2.3 Επιλογή αρχικού μπλοκ υλικού	40
4.2.4 Τρόπος συγκράτησης, τσόκ	41
4.3 Φασεολόγιο κατεργασιών τórνευσης	42
4.3.1 Φάση πρώτη	43
4.3.2 Φάση δεύτερη	43
4.3.3 Φάση Τρίτη	44
4.3.4 Φάση τέταρτη	45
4.3.5 Φάση Πέμπτη	46
4.3.6 Φάση έκτη	47
4.3.7 Φάση έβδομη	48
4.3.8 Φάση όγδοη	49
4.4 Αλλαγή πλευράς κατεργασιών ζάντας.	50

4.4.1 Φάση ένατη	51
4.4.2 Φάση δέκατη	52
4.4.3 Φάση ενδέκατη	53
4.4.4 Φάση δωδέκατη	54
4.4.5 Φάση δέκατη Τρίτη	55
4.5 Τελικό προϊόν τόννευσης	56
4.6 Επίλογος Τόννευσης	57
4.7 Κέντρο κατεργασιών	58
4.7.1 Σύστημα συντεταγμένων, αρχικό υλικό, τελικό προϊόν	59
4.7.2 Φάση πρώτη	59
4.7.3 Φάση δεύτερη και τρίτη	60
4.8 Επίλογος κέντρου κατεργασιών	61
Κεφάλαιο 5: Συνθήκες κατεργασίας	63
5.1 Εισαγωγή στην επιλογή εργαλείων, συνθηκών κοπής	63
5.1.1 Εκλογή κατάλληλων συνθηκών	64
5.1.2 Επιλογή εργαλείου	65
5.1.3 Ρουτίνα επιλογής συνθηκών κοπής.	67
5.2 Αρχικά δεδομένα κοπής.	67
5.3 Τελικές συνθήκες και εργαλεία κατεργασιών τόννευσης	70
5.3.1 Φάση πρώτη	72
5.3.2 Φάση δεύτερη	72
5.3.3 Φάση τρίτη	73
5.3.4 Φάση τέταρτη	73
5.3.5 Φάση Πέμπτη	74
5.3.6 Φάση έκτη	74
5.3.7 Φάση έβδομη	75
5.3.8 Φάση όγδοη	75
5.3.9 Φάση ένατη	76
5.3.10 Φάση δέκατη	76
5.3.11 Φάση ενδέκατη	77
5.3.12 Φάση δωδέκατη	77
5.3.13 Φάση δέκατη Τρίτη	78
5.4 Τελικές συνθήκες κέντρου κατεργασιών	79
5.4.1 Φάση πρώτη	79
5.4.2 Φάση δεύτερη	79
5.4.3 Φάση Τρίτη	80
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	81
6.1 Περιορισμοί	81
6.2 Επιστροφή στο σχεδιασμό	82
6.3 Παραγωγή	83
6.4 Βελτίωση χρόνων με αλλαγή του προς κατεργασία αντικειμένου	84
6.5 Επίλογος	85
Βιβλιογραφία	87

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τον παραμετρικό σχεδιασμό κατασκευής ορισμένων ζαντών αυτοκινήτου σε εργαλειομηχανές CNC. Εξετάζει όλα τα στάδια του σχεδιασμού της ζάντας σε περιβάλλον CAD, της στρατηγικής κατεργασιών της σε περιβάλλον CAM και καταλήγει στην τελική επιλογή συνθηκών κατεργασίας - προσομοίωση κατασκευής της.

Η εργασία, αφού διερευνά την τεχνολογία των ζαντών αυτοκινήτου και τις σύγχρονες τάσεις στο σχεδιασμό CAD/CAM, διηγείται όλη τη διαδικασία της παραγωγής - από το σχεδιασμό μέχρι την κατασκευή ενός πρωτότυπου μοντέλου. Χρησιμοποιώντας τα προγράμματα μηχανολογικού σχεδιασμού Solidworks και προσομοίωσης σχεδιασμού κατεργασιών Solidcam, μετά από μελέτη και εικονική εφαρμογή, παρουσιάζει τη βέλτιστη λύση στον τρόπο σχεδιασμού όσο και κατασκευής της.

Αρχικά γίνεται μια γενική μελέτη της μορφολογίας και τεχνολογίας των ζαντών αυτοκινήτου και έπειτα εξηγείται ο τρόπος και η μέθοδος σχεδιασμού. Με την παρουσίαση κάθε βήματος δημιουργίας και παραμετροποίησης του σχεδιαστικού μοντέλου -σύμφωνα με τα σύγχρονα σχεδιαστικά πρότυπα- δημιουργείται ένας τύπος ζάντας. Παρουσιάζεται τόσο η ίδια όσο και οι παραλλαγές της, δοκιμάζεται σε εικονικά τεστ αντοχής και παραθέτονται οι δυνατότητες περεταίρω τροποποιήσεων της μορφολογίας της. Τελικά, μέσα από τη διερεύνηση του βέλτιστου δρόμου σχεδιασμού, με ορθολογικά και τεχνολογικά κριτήρια, με συμπεράσματα και επισήμανση κρίσιμων σταδίων, καταλήγουμε στην παρουσίαση κάθε βήματος, με στόχο η όλη διαδικασία να αποτελέσει ένα καλό οδηγό σχεδιασμού ζάντας.

Επιπλέον αφού γίνεται μια διερεύνηση των σύγχρονων κέντρων κατεργασίας και τόννευσης, επιλέγεται η αρχική ροή της παραγωγικής διαδικασίας. Επιλέγεται το υλικό και η μορφή του αρχικού μπλόκ προς κατεργασία, όπως και ο επιμερισμός των εργασιών από κέντρο τόννευσης σε κέντρο κατεργασιών. Μετά από τη σωστή επιλογή του τύπου των κέντρων, σχεδιάζεται η στρατηγική των κατεργασιών. Με στόχο την παραγωγική απόδοση (ελαχιστοποίηση χρόνου κατεργασίας - βελτιστοποίηση τελικής επιφάνειας) περιγράφεται με λεπτομέρεια κάθε στάδιο και βήμα των κατεργασιών. Σκοπός, πέρα από την παρουσίαση του τρόπου κατασκευής, είναι να καταδειχθεί με επισημάνσεις, η βασική και πιο αποτελεσματική δομή της στρατηγικής.

Μετά την δημιουργία και αποτύπωση της στρατηγικής, αναζητούνται τα σωστά δεδομένα, εργαλεία και συνθήκες κατεργασιών. Έπειτα η προσομοίωση προσαρμόζεται ακριβώς σε εργαλεία κοπής της αγοράς και

υπολογίζονται οι ιδανικές συνθήκες και οι σωστοί χρόνοι για κάθε φάση. Καταλήγουμε, δηλαδή, σε πλήρη αναφορά συνθηκών κοπής και εργαλείων και μία προσομοίωση ταυτόσημη με μια αληθινή παραγωγική διαδικασία. Καταδεικνύεται, δηλαδή, το πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό -σε χρόνο και ενέργεια- φασεολόγιο.

Η παρούσα μελέτη ενός συγκεκριμένου μοντέλου παραγωγής ζάντας έχει ως τελικό στόχο, να αποτελέσει μια μελέτη που να διευκολύνει οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να ασχοληθεί με την κατασκευή ενός παρόμοιου αντικειμένου. Αυτό επιτυγχάνεται α. μέσα από την ανάλυση της μεθοδολογίας, β. την επισήμανση των κρίσιμων αποφάσεων και γ. τα συμπεράσματα. Κεντρικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αποτελέσει μια προμελέτη πάνω στην οποία μπορεί να στηριχθεί μια παραγωγική διαδικασία ανάλογων προϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Το θέμα της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού κατεργασιών -μηχανολογικών τεμαχίων πολύπλοκης μορφής- σε σύστημα CAM, έχει αποτελέσει αντικείμενο ενδιαφέροντος σε πολλές έρευνες. Σκοπός τους είναι η καλύτερη προσέγγιση στο σχεδιασμό κοπής και ο προσδιορισμός του βέλτιστου τρόπου διεξαγωγής των πειραμάτων. Οι έρευνες προσανατολίζονται στον προσδιορισμό των περιοχών που πρέπει να κατεργαστούν, στην κατανομή των στρατηγικών τροχιάς του εργαλείου σε κάθε μια από αυτές, καθώς και στην επιλογή των συνθηκών κοπής και του εργαλείου κοπής. Εν ολίγοις, προσανατολίζονται στη διαδικασία εύρεσης και, ίσως, τυποποίησης του βέλτιστου φασεολογίου κατεργασίας.

Το φασεολόγιο κατεργασίας ενός τεμαχίου προκύπτει με βάση τα τελικά χαρακτηριστικά του τεμαχίου που αναγνωρίζονται με βάση το μοντέλο CAD. Οι κατεργασίες που απαιτούνται, αλλά και η αλληλουχία τους, καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά και από άλλες (σχετικές με την κατεργασία) τεχνολογικές πληροφορίες (Kim 2001). Στην εκπόνηση ενός φασεολογίου σημαντικά είναι τα σετάρια (δεσίσματα / setups). Ένα σετάρια αναφέρεται σε μια ομάδα χαρακτηριστικών που υφίστανται κατεργασία με συγκεκριμένο τρόπο συγκράτησης/στερέωσης (δεσίματος) του τεμαχίου (π.χ. σε μια μέγγενη ή στο τσώκ του τόνου). Σε ένα σετάρια κάποια χαρακτηριστικά κατεργασίας του τεμαχίου μπορεί να τέμνονται κάτι που δυσκολεύει την κατεργασία (Chen 1994). Σε ένα σετάρια επίσης η κατεργασία ενός χαρακτηριστικού μπορεί να απαιτήσει παραπάνω από ένα εργαλείο. Η αλληλουχία κατεργασίας των χαρακτηριστικών σε ένα σετάρια του τεμαχίου που επιτυγχάνεται με τον ελάχιστο αριθμό εργαλείων οδηγεί σε σημαντική μείωση του χρόνου κατεργασίας (Lee 2001). Αλληλεπίδραση μεταξύ δύο χαρακτηριστικών υπάρχει όταν η κατεργασία του ενός χαρακτηριστικού επηρεάζει αποφασιστικά και αυτή του άλλου. Για παράδειγμα, μερικές φορές η κατεργασία συγκεκριμένων χαρακτηριστικών μπορεί να καταστρέψει αναγκαίες επιφάνειες όπως επιφάνειες συγκράτησης και επιφάνειες υποστήριξης για την κατεργασία άλλων χαρακτηριστικών. Η αλληλουχία των βημάτων κατεργασίας έχει μελετηθεί χρησιμοποιώντας τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης (Qiao 2000), (Li 2002). Ο Sormaz (2000) πρότεινε έναν αλγόριθμο τριών φάσεων για την ενσωμάτωση των ογκικών χαρακτηριστικών στην εκπόνηση φασεολογίων. Οι Allada και Agarwal (1996) παρουσίασαν ένα φορμαλισμό αλληλεπίδρασης χαρακτηριστικών για να καθορίσουν την διαδοχή των κατεργασιών βασισμένο σε μια ταξινόμηση φυσικής και μη αλληλεπίδρασης χαρακτηριστικών. Ο Chang (1990) κατηγοριοποίησε τα χαρακτηριστικά σε ομάδες βασισμένες στην κατεύθυνση προσέγγισης του εργαλείου. Έπειτα καθόρισε μια σειρά προτεραιοτήτων

μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών και κατευθύνσεων πρόωσης για την κατάρτιση των σεταρισμάτων. Ως συνέπεια, δημιουργήθηκαν δύο επίπεδα αλληλουχίας: α) το ολικό επίπεδο αλληλουχίας που καθορίζει τις τελικές ομάδες χαρακτηριστικών και την αλληλουχία τους και β) το επίπεδο αλληλουχίας σεταρίσματος το οποίο καθορίζει το εφικτό της κατεργασίας των χαρακτηριστικών στο συγκεκριμένο σετάρισμα.

Η κατεργασία σε εργαλειομηχανές CNC συχνά αναφέρεται σε τεμάχια με σύνθετες επιφάνειες και σε, κάθε περίπτωση, περιλαμβάνονται η δημιουργία της τροχιάς των εργαλείων, ο προσδιορισμός του προσανατολισμού τους και προφανώς η επιλογή της μορφής των εργαλείων (Lasemi et al, 2010). Υπάρχουν αρκετά ζητήματα που αναφέρονται στη βελτιστοποίηση της τροχιάς του κάθε κοπτικού εργαλείου (Makhanov, 2010) με κύριο ζήτημα την αποφυγή συγκρούσεων με το τεμάχιο είτε στη μορφοποιημένη επιφάνεια είτε στην αρχική της μορφή (στόκ). Τα κριτήρια αξιολόγησης της ποιότητας της τροχιάς του εργαλείου περιλαμβάνουν κινηματικά σφάλματα και γενικότερα σφάλματα διαστάσεων (Rauch, 2010), το απομένον υλικό, υπο-/υπερκοπές καθώς και την συνέχεια της τροχιάς. Εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές για την αξιολόγηση αυτή, πχ κώνοι ορατότητας, μέθοδοι παράλληλης μεταφοράς (offset), μέθοδοι δυναμικού, ομαδοποίηση, προσαρμοστικά καμπυλόγραμμα πλέγματα που συνδέουν διαδοχικές θέσεις του εργαλείου, μέθοδοι πλοήγησης, μέθοδοι βραχύτερης διαδρομής, προσαρμοστικοί αλγόριθμοι πλήρωσης χώρου με καμπύλες κλπ.

Το λογισμικό CAM, ιδιαίτερα αυτό που υποστηρίζει κατεργασίες σε περισσότερους από 2 άξονες, περιλαμβάνει λειτουργίες που υλοποιούν συγκεκριμένους τύπους τροχιάς κοπτικών εργαλείων. Στην πράξη, το λογισμικό CAM υποστηρίζει διαδικασίες δοκιμής και πλάνης ξεκινώντας με τον ορισμό των περιοχών προς κατεργασία και της διαδοχής των φάσεων κατεργασίας, προχωρώντας στην επιλογή τύπου τροχιάς για κάθε περιοχή και, όταν είναι αναγκαίο, στον προσανατολισμό του εργαλείου, λαμβάνοντας υπόψη τα όρια κάθε άξονα, καθώς και τη μετάβαση από το ένα πάσο στο επόμενο, ιδιαίτερα δε μεταξύ διαφορετικών περιοχών. Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει πολλούς βρόχους επανάληψης, αλλά κατ' ουσία παραμένει αμετάβλητη από τις απαρχές του CAM μέχρι τη σημερινή εξέλιξη που περιλαμβάνει το πρωτόκολλο STEP-NC (Newman et al, 2008).

Είναι δυνατό να ορισθούν γενικές μαθηματικές λύσεις που αντανakλούν εξειδικευμένα υποσυστήματα CAM για συγκεκριμένες μορφές τεμαχίων, κυρίως όταν αυτές είναι παραμετρικά ορισμένες. Τυπικές τέτοιες μορφές που έχουν τραβήξει την προσοχή στη βιβλιογραφία είναι: προπέλες, πτερωτές και πτέρυγες, κυρίως λόγω της συνθετότητας τους και της διάδοσης τους στο μηχανολογικό κόσμο. Μια τυπική προσέγγιση προσπάθειας τυποποίησης του φασεολογίου σε 4 γενικές φάσεις με επίσης

τυποποιημένα καθήκοντα ορισμού κάθε επιμέρους κατεργασίας αναφερόμενη σε τέτοιες μορφές δίνεται από τους Chu et al, 2010. Οι επιφάνειες της πλήμνης διαιρούνται σε τμήματα και ανασυντίθενται και παραμετροποιούνται για τη διευκόλυνση του υπολογισμού της τροχιάς εργαλείων με μείωση των κινήσεων εισόδου και εξόδου. Αναπτύσσονται επίσης γεωμετρικοί αλγόριθμοι για τον αυτόματο εντοπισμό συγκρούσεων και τη διόρθωση πιθανά λανθασμένου προσανατολισμού του εργαλείου. Η περιοχή κατεργασίας στο άρθρο των Qi et al (2009) χωρίζεται σε περιοχές για καθεμιά από τις οποίες επιλέγεται εργαλείο μέγιστου δυνατού μεγέθους και δημιουργούνται τα χαρακτηριστικά σημεία του κέντρου του εργαλείου στο χώρο κατεργασίας. Οι Lee και Lee (2010) προτείνουν αποτελεσματική τροχιά εργαλείου, ώστε η αποπεράτωση να υλοποιείται σε ένα σετάρισμα με ελαχιστοποίηση του σφάλματος και μεγιστοποίηση του φορτίου. Οι λεπίδες αποπερατώνονται με περιφερειακό φρεζάρισμα, ενώ η πλήμνη με ισοπαραμετρική τροχιά. Η αποπεράτωση ακμής γίνεται με τη μέθοδο μονόπλευρου σημειακού φρεζαρίσματος (Jang et al, 2004). Άλλη προσέγγιση (Cho et al, 2009) επιχειρηματολογεί ότι δεν είναι δυνατή ακόμη και για στενά ορισμένα τεμάχια η γενίκευση των στρατηγικών κοπής, συνεπώς ακολουθείται φιλοσοφία λογισμού κατά περίπτωση (case-based) που στηρίζεται στη σύγκριση του εκάστοτε τεμαχίου με παλαιότερα τεμάχια της ίδιας οικογένειας.

Οι Waiyagan και Bohez (2009) προτείνουν ένα σύστημα σχεδιασμού κατεργασιών για φρεζάρισμα και τόννευση CNC στην ίδια εργαλειομηχανή, που κατηγοριοποιεί τα προς κατεργασία μορφολογικά χαρακτηριστικά με βάση το είδος κατεργασίας και τον αριθμό ταυτόχρονα ελεγχόμενων αξόνων. Οι Chiu and Lee (2006) διακρίνουν κατεργασίες γλυπτών επιφανειών ανοικτού και κλειστού ορίου κυρίως σε ότι αφορά τη μεγιστοποίηση του πλάτους της λωρίδας κατεργασίας από κονδύλια καμπύλου άκρου και επίσης σε ότι αφορά την εξομάλυνση κλίσης του άξονα του εργαλείου. Άλλη προσέγγιση επίσης αποτελεί η απλοποίηση της κατεργασίας 5 αξόνων σε κατεργασία 3½ αξόνων, μέσω κατάλληλου χωρισμού της επιφάνειας σε χωρία με σταθερή κλίση εργαλείου (Roman 2006). Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις η στρατηγική κοπής δεν είναι απλά πολύπλοκη, αλλά επίσης εξειδικευμένη στο συγκεκριμένο σχήμα της οικογένειας τεμαχίων και πιθανά ακόμη και στο συγκεκριμένο τεμάχιο μέσα στην οικογένεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΡΩΝ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1 Ζάντα ελαστικών

Η ζάντα ελαστικών είναι η κυκλική μεταλλική στεφάνη στην οποία προσαρτάται το ελαστικό ενός τροχοφόρου οχήματος. Χαρακτηρίζεται από διάφορα μεγέθη που διαφοροποιούνται από τον τύπο και την απόδοση του τροχοφόρου για το οποίο προορίζεται, όπως η διάμετρος, το πλάτος, ο τύπος και το υλικό κατασκευής (βάρος).

Ο τύπος της ζάντας εξαρτάται από τον τύπο του οχήματος. Τα μικρά οχήματα έχουν ζάντα σταθερών χειλέων, ανάμεσα στα οποία στερεώνονται τα άκρα του ελαστικού, ενώ στα μεγαλύτερα και βαρύτερα οχήματα η ζάντα μπορεί να είναι "σπαστή". Να αποτελείται δηλαδή από επιμέρους τμήματα, όπως τη βάση, η οποία προσαρμόζεται στην πλήμνη του άξονα και τις αφαιρούμενες πλευρές. Ο τύπος της ζάντας εξαρτάται επίσης και από τον τύπο του ελαστικού που καλείται να στηρίξει.

Η σχέση της απόδοσης του οχήματος σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της ζάντας, ανάλογα με τις ανάγκες του οχήματος, έχει να κάνει με την πρόσφυση ή το βάρος του οχήματος. Μία πολύ στενή ζάντα μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση του ελαστικού σε στροφές με υψηλή ταχύτητα και να ελαττώσει επικίνδυνα την πρόσφυση κατά την πέδηση (φρενάρισμα). Μία πολύ φαρδιά ζάντα προκαλεί κραδασμούς και δονήσεις στο όχημα, καταστρέφοντας παράλληλα και την γεωμετρία των αναρτήσεών του, λόγω υψηλότερου αναρτώμενου βάρους. Επίσης σε χαμηλές ταχύτητες αυξάνει την κατανάλωση (λόγω αυξημένων τριβών) και μειώνει την άνεση κύλισης.

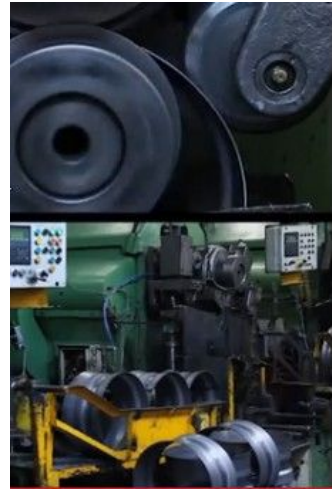
Οι ζάντες μπορεί να είναι συμπαγείς από ένα μόνο μέρος, μονοκόμματες ζάντες (οι πιο διαδεδομένες), ή να αποτελούνται από διάφορα μέρη. Η σπαστή ζάντα αποτελείται από δύο ή τρία στοιχεία συγκολλημένα μεταξύ τους που σχηματίζουν μία ενιαία ζάντα.

Το υλικό κατασκευής είναι, συνήθως, χάλυβας ή αλουμίνιο. Σε κατασκευές υψηλών επιδόσεων, όπου το αναρτώμενο βάρος επηρεάζει σημαντικά τις δυνατότητες του οχήματος, οι ζάντες κατασκευάζονται από κράματα αργιλίου ή σε σπανιότερες περιπτώσεις από ανθρακονήματα.

Συνήθεις τρόποι παραγωγής είναι με χύτευση με βαρύτητα, με χύτευση χαμηλής πίεσης, με τεχνολογία πλαστικής παραμόρφωσης ή υδραυλικής μορφοποίησης και σφυρηλάτησης.

2.2 Μέθοδοι παραγωγής χαλύβδινης ζάντας και κράματος αλουμινίου

Οι χαλύβδινες ζάντες κατασκευάζονται είτε με χύτευση είτε ακόμα συχνότερα σαν «πρεσαριστές». Στη δεύτερη περίπτωση, η διαδικασία ξεκινάει από τη στεφάνη που δημιουργείται από ένα απλό παραλληλόγραμμο φύλλο χάλυβα, το οποίο αφού καμφθεί για να έρθουν οι άκρες και να συγκολληθούν μεταξύ τους, σχηματίζεται ο κύλινδρος. Στη συνέχεια, αυτός περνάει από διαφορές «περιστροφικές» κατεργασίες πρεσαρίσματος, ώστε να δημιουργηθεί το επιθυμητό προφίλ κατά το πλάτος του (οι «ώμοι» και τα



Εικόνα 2.1 Παραγωγή κοινής ζάντας

«χείλη» που θα πατήσει το λάστιχο στη συνέχεια). Ο κεντρικός δίσκος της ζάντας, αφού περάσει από τη πρέσα και τις υπόλοιπες διαδικασίες διάτρησης (των οπών εξαερισμού, μπουλονιών και βαλβίδας) ακολούθως συγκολλείται περιφερειακά στην εξωτερική πλευρά της έτοιμης στεφάνης. Ακολουθούν διάφορες βασικές κατεργασίες, θερμικές ή βαφής και το τελικό φινίρισμα. Σήμερα ωστόσο, οι κατασκευαστές ζαντών χρησιμοποιούν τις πλέον προηγμένες κατεργασίες για αυτές που δημιουργούνται από νέας γενιάς κράματα.

Όταν αναφερόμαστε σε ζάντα «αλουμινίου» ποτέ δεν εννοούμε ζάντα από ατόφιο αλουμίνιο. Για να καταστεί το αλουμίνιο κατάλληλο υλικό από πλευράς ιδιοτήτων αντοχής και κατεργασιμότητας, πρέπει να αναμειχθεί με διάφορα άλλα στοιχεία (κάποια από τα συνηθέστερα είναι ο χαλκός, το πυρίτιο και το μαγνήσιο) και να προκύψει το γνωστό «κράμα αλουμινίου». Τρία βασικά είδη χύτευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ανάλογα με τον τρόπο και την πίεση με την οποία εκχύνεται το λιωμένο υγρό μέταλλο στο καλούπι: χύτευση υπό την επίδραση της βαρυτικής δύναμης μόνο (το μέταλλο εκχύνεται φυσικά στο καλούπι χωρίς περαιτέρω ασκούμενη πίεση), χύτευση υψηλής πίεσης (έμβολο υψηλής πίεσης και ταχύτητας πιέζει το υγρό μέταλλο στο καλούπι) και χύτευση χαμηλής πίεσης (το μέταλλο ωθείται αργά και με μεγαλύτερη ακρίβεια, από ειδικό μείγμα αερίων προς τα καλούπι, με πίεση της τάξεως των 2 bar).



Εικόνα 2.2 Ζάντα αλουμινίου στο τέλος της χύτευσης

Οι δύο πρώτοι τύποι χρησιμοποιούνται συνήθως για τις πιο οικονομικές γκάμες ζαντών, ενώ η χύτευση χαμηλής πίεσης έχει επικρατήσει στους

μεγάλους κατασκευαστές ζαντών για όλα τα -χυτά πάντα- μοντέλα αιχμής. Η τελευταία μέθοδος είναι που μας δίνει τις πιο λείες επιφάνειες και τα πιο συμπαγή σώματα (το υγρό μέταλλο πληρεί καλύτερα τις δυσκολότερες πτυχές του καλουπιού και ελαχιστοποιούνται τυχόν εναπομείναντες θύλακες αέρα στο χυτό). Ανάλογα με το κράμα που εκχύνεται, το υλικό του καλουπιού και τον τύπο της χύτευσης, αλλάζουν και οι θερμοκρασίες που εφαρμόζονται. Συνήθως η θερμοκρασία του μετάλλου όταν εκχύνεται στο καλούπι βρίσκεται κοντά στους 700°C κατά την είσοδο του και παραμένει στο καλούπι μέχρι να ψυχθεί στους 400°C περίπου. Το καλούπι ανοίγεται και η ζάντα προχωράει στα επόμενα στάδια κατεργασίας της. Αυτά τα στάδια που γίνονται συνήθως σε γραμμές παραγωγής κέντρων τόννευσης και κατεργασιών με ρομποτικούς μηχανισμούς μεταφοράς.

2.3 CNC - CAD - CAM

Η τεχνολογία Computer Numerical Control -αριθμητικός έλεγχος ή ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών- έχει επικρατήσει στις εργαλειομηχανές σε κατεργασίες αποβολής υλικού, κοπής, διαμόρφωσης ελάσματος σε πρέσες, όπως και σε νέες κατεργασίες, όπως είναι η ταχεία προτυποποίηση, η στερεολιθογραφία, αλλά και στους τομείς της μικροτεχνίας.

Οι δύο τυπικές εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου που απασχολούν και την εργασία αυτή, είναι το κέντρο τόννευσης και το κέντρο κατεργασιών.

Ο προγραμματισμός μιας εργαλειομηχανής μπορεί να γίνει πια αλληλεπιδραστικά ή και πλήρως αυτόματα από λογισμικό. Ο χρήστης είναι επιφορτισμένος με την επιλογή του συνόλου των γεωμετρικών μορφών που αποτελούν το τεμάχιο που θα κατασκευάσει όπως και την εισαγωγή των δεδομένων αλληλεπιδραστικά στο λογισμικό.

Η σύγχρονη παραγωγική και κατασκευαστική διαδικασία χαρακτηρίζεται από την σχεδιομελέτη και κατασκευή των προϊόντων από υπολογιστές μέσω προγραμμάτων CAD (computer aided design) και CAM (computer aided manufacturing).

Σήμερα η σχεδίαση ενός προϊόντος γίνεται τρισδιάστατη και μπορούμε να μοντελοποιήσουμε το σκελετό, τις επιφάνειες, ή και σαν ολόκληρο στερεό. Βασικό πλεονέκτημα, είναι η δυνατότητα παραμετρικού σχεδιασμού. Αυτό σημαίνει, ότι είναι δυνατός ο ορισμός των διαστάσεων παραμετρικά, ώστε η μεταβλητή να ορίζεται από τον χρήστη, είτε αυτοδύναμα, είτε σε συνδυασμό με άλλες μεταβλητές.

Η τεχνολογία CNC συνδέεται άρρηκτα με την τεχνολογία λογισμικού CAM, που βοηθά στον προγραμματισμό των εργαλειομηχανών και δίνει την

δυνατότητα πολύπλοκων εφαρμογών. Έτσι, υπάρχει στενότερη και άμεση σύνδεση των εργαλειομηχανών, από τη μία πλευρά με τον σχεδιασμό προϊόντων και από την άλλη με τον προγραμματισμό παραγωγής.

Ο συμβατικός προγραμματισμός μέσω εντολών σε μια μηχανή και ειδικά οι εντολές προπαρασκευής που χρησιμοποιούν το γράμμα G, είναι οι πιο κοινές -ένα τέτοιο πρόγραμμα εντολών συχνά ονομάζεται ως «κώδικας G». Ο προγραμματισμός με το χέρι, είναι η βάση όλων των συστημάτων προγραμματισμού, η θεμελιώδης γλώσσα επικοινωνίας χρήστη και μηχανής. Έτσι το λογισμικό τεχνολογίας CAM μετατρέπει αυτόματα σήμερα σε G-κώδικα το σχεδιασμό των κατεργασιών.

Η κύρια λειτουργία ενός λογισμικού προγραμματισμού, είναι οι αυτόματοι γεωμετρικοί υπολογισμοί των σημείων της τροχιάς εργαλείου για συγκεκριμένη γεωμετρία και κατεργασία. Η επιμέρους γεωμετρία που αντιστοιχεί σε κάθε φάση, σχεδόν πάντοτε υποδεικνύεται από τον χρήστη, δεν υπάρχει δηλαδή προς το παρόν βελτιστοποίηση ορισμού και αλληλουχίας φάσεων.

Τα πλέον ανεπτυγμένα μοντέλα προσφέρουν τρισδιάστατη προσομοίωση της κατεργασίας, με αφαίρεση υλικού από το μοντέλο, με ακριβή αντιστοιχία του κοπτικού εργαλείου.

Η σχεδίαση ενός προϊόντος που θα υποστεί κατεργασίες, οδηγεί στην εκπόνηση του προγράμματος CNC μέσω κάποιων σταδίων που συνοψίζονται υπό τον τίτλο «εκπόνηση φασεολογίου». Η ολοκλήρωση του σχεδιασμού CAD/CAM και προγραμματισμού CNC, γίνεται, λοιπόν, μέσα από την αυτοματοποίηση εκπόνησης φασεολογίου. Το φασεολόγιο προδιαγράφει σε κάθε φάση κατεργασίας στην αντίστοιχη εργαλειομηχανή τις συνθήκες κατεργασίας, τους χρόνους κοπής, το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί και την σειρά εκτέλεσης των φάσεων.

2.3.1 SOLIDWORKS

Το Solidworks είναι ένα τρισδιάστατο σχεδιαστικό πακέτο το οποίο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να παράγει τρισδιάστατα μοντέλα σε πραγματική κλίμακα, χρησιμοποιώντας ένα περιβάλλον προσομοίωσης με υψηλή ικανότητα σχεδιασμού και ανάλυσης.

Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τρισδιάστατα απλά μοντέλα, σύνθετα εξαρτήματα με την τεχνική της συναρμολόγησης (assembly), να εκπονήσει κατασκευαστικά σχέδια, να υποβάλει τα μοντέλα σε κινηματική προσομοίωση, να τα αναλύσει με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων κ.α.

Δημιουργεί ακριβή δισδιάστατα σχέδια που μπορούν να ενημερωθούν αυτόματα όταν τροποποιούμε το τρισδιάστατο μοντέλο. Το λογισμικό SolidWorks ενημερώνει τις διαστάσεις, τους πίνακες καθώς και τις σημειώσεις με τις νέες τιμές με ακρίβεια 100%. Ενημερώνει επίσης, τις λίστες των υλικών, ώστε να μην υπάρχει σύγχυση στην κατασκευή.

Το πρόγραμμα επιταχύνει την σχεδίαση με εργαλεία εστιασμένα στη βιομηχανία, που εξασφαλίζουν ακρίβεια με την ενσωματωμένη ευφυΐα τους για κάθε επιστημονικό κλάδο. Το λογισμικό SolidWorks παρέχει επίσης εργαλεία στοχευμένων εφαρμογών όπως για ελάσματα, συγκολλήσεις, κατασκευές με δοκούς (weldments), σχεδιασμό καλουπιών και μητρών μέχρι και δικτύων σωληνώσεων.

Δοκιμάζει το μοντέλο σε «πραγματικές συνθήκες» και έτσι βελτιστοποιεί την σχεδίαση πριν την κατασκευή. Το SolidWorks Simulation επικυρώνει το σχέδιο του μοντέλου κατά το προγενέστερο στάδιο της διαδικασίας σε μια οθόνη, αφού μπορεί να ελεγχθεί η συμπεριφορά του κάτω από ακραίες συνθήκες όπως ανέμου, θέρμανσης, καταπόνησης κ.α. Με τις απαντήσεις αυτές μπροστά, μπορούμε να μειώσουμε το βάρος, να εξαλείψουμε τα περιττά υλικά, να βελτιστοποιήσουμε το κόστος καθώς και να ελέγξουμε τυχόν αναξιοπιστίες ή θέματα ασφαλείας.

Πλήρως ενσωματωμένο με τη διαδικασία σχεδιασμού, το SolidWorks βοηθάει να λαμβάνουμε, σε πραγματικό χρόνο, πριν από την κατασκευή, πιο σωστές αποφάσεις για το σχεδιασμό αναφορικά με τα υλικά, την προμήθεια, την κατασκευή, τη χρήση και τη διάθεση.

Το SolidWorks είναι ένα πλήρες 3D μηχανολογικό εργαλείο για σχεδιασμό προϊόντων, προσφέροντας στη σχεδιαστική ομάδα όλα τα απαραίτητα

εργαλεία για το μηχανολογικό σχεδιασμό (επικύρωση, προσομοίωση κίνησης μηχανισμών, ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (αντοχής και ροής), φωτορεαλισμό, διαχείριση δεδομένων από ομάδες και πολλά εργαλεία επικοινωνίας. Εξάγει τα γεωμετρικά δεδομένα σε πληθώρα ουδέτερων πρωτοκόλλων επικοινωνίας (IGES, STEP, PARASOLID, VRML, STL κ.α.) δίνοντας τη δυνατότητα για περαιτέρω επεξεργασία τους και με άλλα λογισμικά εργαλεία.

Με το SolidWorks, όλα τα σχεδιαστικά δεδομένα του υπό σχεδίαση αντικειμένου ή μηχανολογικού συνόλου, είναι 100% παραμετρικά, επεξεργάσιμα και τροποποιήσιμα. Η δε διασύνδεση ανάμεσα στα 3D μοντέλα (parts), συνδεσμολογίες (assemblies) και 2D σχέδια (drawings) που τα απαρτίζουν, είναι πάντα άμεση και ανταποκρίνεται σε κάθε αλλαγή που γίνεται. Επίσης, η διασύνδεση με λογισμικά εργαλεία τρίτων εταιριών

λογισμικού (π.χ. CAE, CAM, Flow), είναι δυνατή και άμεση μέσα από το ίδιο το γραφικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης (GUI) του ίδιου του προγράμματος.

Το περιβάλλον SolidWorks παρέχει συνοπτικά και κωδικοποιημένα τις εξής δυνατότητες :

- Αυτόματη δημιουργία κατασκευαστικών σχεδίων (2D drawings).
- Συμφωνία με τα πρότυπα και την υπάρχουσα τυποποίηση μηχανολογικού σχεδιασμού (DIN, ISO κλπ).
- Αυτόματες λίστες υλικών (BOM) με τα χαρακτηριστικά τους.
- Αμφίδρομη συμβατότητα και ενημέρωση με την αντίστοιχη 3D συνδεσμολογία.
- Πλήρη και αυτόματη διαστασιολόγηση.
- Σύγκριση μοντέλων και κατασκευαστικών σχεδίων.
- Συνδυασμό ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών από διαφορετικά SolidWorks αρχεία και διατήρηση των «παλιών» ρυθμίσεων κατά τη δημιουργία νέων αντικειμένων.
- Γρήγορη δημιουργία συνδεσμολογιών με τη χρήση έξυπνων κανόνων συναρμογών και γειτνίασης (smart mates). Με κάθε αλλαγή ενός εξαρτήματος στη συνδεσμολογία (assembly), τα υπόλοιπα εξαρτήματα προσαρμόζονται αυτόματα στις νέες διαστάσεις των εξαρτημάτων.
- Προσομοίωση ρεαλιστικής μετάδοσης κίνησης και μηχανικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στερεών σωμάτων με μοναδικές δυνατότητες φυσικών συνθηκών (π.χ. επίδραση βαρύτητας). Προσομοίωση κινήσεων ιμάντων, αλυσίδων και οδοντωτών τροχών.

2.3.2 SOLIDCAM

Το λογισμικό που προτιμήθηκε για την προσομοίωση της κατασκευής της ζάντας είναι το SolidCAM. Θεωρείται ως ένα λογισμικό (CAM) δημιουργίας μηχανουργικών κατεργασιών ικανό για αποδοτικό και επωφελή προγραμματισμό εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου (CNC). Πλεονέκτημα του, η άμεση και εντός του γραφικού περιβάλλοντος του Solidworks συνεργασία (ενσωματωμένο μενού) και η πλήρης αναγνώριση των αρχείων-μοντέλων και λοιπών παραμέτρων του Solidworks.

Οι βασικές δυνατότητες του SolidCAM περιλαμβάνουν :

- Κατεργασίες 2 και 3 αξόνων για οριζόντιο και κάθετο κέντρο κατεργασίας.
- Κατεργασίες 4 και 5 αξόνων για κοπή σε πολλαπλές πλευρές εξαρτημάτων με ένα δέσιμο.

- Κατεργασίες με ταυτόχρονη κίνηση σε 4 άξονες.
- Κατεργασίες τόννου με δυνατότητα χρήσης περιστρεφόμενων καθοδηγούμενων εργαλείων.
- Κατεργασίες ηλεκτροδιάβρωσης σύρματος (wire EDM)
- Τη δυνατότητα γραφικής δυναμικής απεικόνισης της κατεργασίας και του εναπομένου υλικού καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής (graphic simulation).

Το SolidCAM ενσωματώνεται μέσω ενός ενιαίου παραθύρου και συνεργάζεται πλήρως με το αρχικό σχέδιο (τρισεδιάστατη γεωμετρία) που έχει δημιουργηθεί στο SolidWorks. Το SolidCAM χρησιμοποιεί επίσης τα σχεδιαστικά εργαλεία του ίδιου του SolidWorks για να διαμορφώσει το μοντέλο κατεργασίας (CAM part) και να δημιουργήσει τις απαραίτητες γεωμετρίες που ορίζουν τις κατεργασίες κοπής. Όταν η γεωμετρία που χρησιμοποιείται αλλάζει στο μοντέλο SolidWorks, το SolidCAM σε άμεση διασύνδεση συγχρονίζει αυτόματα όλες τις διαδικασίες κατεργασιών με την ανανεωμένη γεωμετρία. Η πλήρης αυτή συνεργασία του SolidCAM με το αρχικό μοντέλο SolidWorks, μειώνει δραστικά τα λάθη όταν υπάρχουν αλλαγές και βελτιώσεις στο βασικό CAD αρχείο του προς κατασκευή αντικειμένου και εξασφαλίζει τη δυνατότητα σωστής επανάληψης κατεργασιών σε μοντέλα που έχουν ήδη επεξεργαστεί και στα οποία έχουν γίνει αλλαγές.

Αφού σχεδιασθεί το αντικείμενο και εισέλθει στο λογισμικό, στη συνέχεια καθορίζονται τα στάδια, τα εργαλεία και τα δεδομένα κοπής. Το Solidcam για κάθε φάση κατεργασίας δημιουργεί ένα toolpath όπου αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα κοπής. Σημαντικό είναι, ότι κάθε toolpath διαθέτει και στατιστικά στοιχεία για την κοπή, όπως ο χρόνος, η διαδρομή και ο όγκος του υλικού που απομένει.

Το αποτελεσματικότερο προσόν του προγράμματος είναι η πλήρης και ακριβής προσομοίωση της κοπής. Έτσι γίνεται πλήρως κατανοητό κάθε βήμα και μπορούν να εντοπισθούν τυχόν λάθη ή αστοχίες που υπάρχουν, αφού προσομοιώνει με ακρίβεια τόσο την κατεργασία όσο και το τελικό προϊόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΖΑΝΤΑΣ

3.1 Προσέγγιση σχεδιασμού

Η προσέγγιση σχεδιασμού της ζάντας είναι καθαρά μια προσέγγιση σχεδιασμού αντικειμένου, υποκειμένου σε συγκεκριμένες διεργασίες κατασκευής. Είναι ένας σχεδιασμός με ιδιαίτερο βάρος στην πληρότητα ενός προϊόντος, που θα κατασκευασθεί μέσω μηχανουργικών κατεργασιών. Δεν προσεγγίστηκε ως μελέτη ικανοποίησης κινηματικών αναγκών ενός αυτοκινήτου, αλλά ως λειτουργικό αντικείμενο που θέλουμε να παραχθεί σε κέντρα κατεργασιών. Η επισήμανση αυτή, έχει να κάνει στο ότι τώρα πια, με την εξέλιξη και την πρόοδο όλων των τομέων της τεχνολογίας των μεταφορών, τα χαρακτηριστικά των προϊόντων αυτών είναι άρρηκτα συνδεδεμένα και προσαρμοσμένα στις ανάγκες του είδους, του τύπου και της απόδοσης του για το οποίο προορίζονται. Ο σχεδιασμός της δηλαδή, πέρα από τα κριτήρια αισθητικής που τις τελευταίες δεκαετίες λαμβάνονται υπόψη, εξαρτάται πλήρως από παρά πολλές παραμέτρους σκοπού χρήσης που δεν εξετάζονται εδώ. Τελικά, αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να μπου σε αυτή την μελέτη σχεδιαστικές νόρμες που να συνδέονται με ακριβή μηχανολογική τεκμηρίωση αφού είναι πολύπλοκες και διαφορετικές ανά χρήση. Δεν μπορούμε, για παράδειγμα, μέσω του σύγχρονου σχεδιασμού Solidworks, να συνδέσουμε με μία σχέση το μέγεθος του πλάτους μιας ζάντας με τη διάμετρο της, αν δεν ξέρουμε -ώστε να μελετήσουμε- τη συγκεκριμένη χρήση για την οποία προορίζεται. Επίσης, δεν μπορούμε, για παράδειγμα, να συνδέσουμε την «offset» παράμετρο μιας ζάντας με το πλάτος της, αφού δεν τα συνδέει μια απλή ή πολύπλοκη μαθηματική σχέση, που να λύνεται χωρίς να έχει προσδιοριστεί η χρήση και όλα τα κινηματικά και δυναμικά μεγέθη. Τέλος, δεν μπορούν να βρεθούν τέτοιες σχέσεις, όχι μόνο γιατί είναι ένα αντικείμενο που χρησιμοποιείται σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές, αλλά και γιατί συνεξαρτάται κι από αλλό ένα πολυπαραμετρικό αντικείμενο, το ελαστικό. Η ζάντα αποτελεί την υποδοχή του ελαστικού και αντιμετωπίζονται σαν μια ενιαία μελέτη, του «τροχού».

Μια ζάντα χαρακτηρίζεται από τα εξής μεγέθη στην αγορά: το πλάτος, το σχήμα της τομής της στεφάνης, την εξωτερική διάμετρο, το σχήμα των χειλιών της στεφάνης, το λεγόμενο «καρέ» PCD και το Offset.

Το Pitch Circle Diameter υποδεικνύει α) τον αριθμό των εγκοπών/μπουλονιών που θα συγκρατήσουν τη ζάντα στο mouaγιέ και τη καμπάνα του δίσκου και β) την διάμετρο του υποθετικού κύκλου που περνάει από τα κέντρα όλων των μπουλονιών. «Offset» είναι η διαφορά του

μισού πλάτους της ζάντας (rim width) από την απόσταση του πίσω μέρους της (backspace) μέχρι το κέντρο της.

3.1.1 Γενικός κανόνας σχεδιασμού

Παραθέεται παρακάτω, ο πιο απλός κανόνας σχεδιασμού ζάντας από κινηματικούς τύπους, που δεν εξαρτάται από τα προαναφερόμενα.

Ας δούμε απλούς νόμους της κινηματικής που αφορούν την μεταφορική και περιστροφική κίνηση του τροχού.

$$E_k = 1/2 \times m \times v^2$$

$$E_p = 1/2 \times J \times (\omega/R)^2$$

$$J = 1/2 \times m \times (R^2 + r^2)$$

E_k= μεταφορική κινητική ενέργεια σε Joule (J), *E_p*= περιστροφική κινητική ενέργεια σε Joule (J), *m*= μάζα σε κιλά (kg), *v*= ταχύτητα σε m/s, *J*= ροπή αδρανείας κυλινδρικού σωλήνα (και τροχού με προσέγγιση) σε kg.m², *R*=ακτίνα ολόκληρου του τροχού σε μέτρα (m), *r*=ακτίνα της ζάντας (με προσέγγιση) σε μέτρα (m).

Η ροπή αδρανείας είναι ένα μέγεθος που αντιπροσωπεύει όχι μόνο το πόσο ζυγίζει ο τροχός, αλλά και το πώς (για δεδομένη μάζα) αυτή είναι κατανομημένη κατά μήκος της ακτίνας του τροχού από το κέντρο του μέχρι την άκρη του ελαστικού. Αυτό σημαίνει ότι δεν μας ενδιαφέρει μόνο το πόσο ζυγίζει ο τροχός, αλλά και το πώς τα κιλά του μοιράζονται από τον αφαλό προς το χείλος, δηλαδή την ροπή αδρανείας και κατ' επέκταση τις επιδόσεις που επηρεάζει και το σχέδιο του.

Αυτή η σχέση, υποδεικνύει ότι η ροπή αδρανείας, για δεδομένη συνολική μάζα τροχού, αυξάνεται όσο η μάζα βρίσκεται προς την περιφέρεια του δίσκου του τροχού, δηλαδή προς τα άκρα της περιφέρειας.

Αυτό που επιζητάμε, λοιπόν, για δεδομένο ελαστικό και συνολικό βάρος τροχού, είναι η ζάντα να έχει όσο πιο πολύ πάχος προς το κέντρο της και οι ακτίνες-μπράτσα να λεπταίνουν προς την στεφάνη.

3.1.2 Τελικός οδηγός πριν τη σχεδίαση

Για το σκοπό της διπλωματικής -που είναι η μελέτη της στρατηγικής κατεργασιών κατασκευής μιας ζάντας- χρησιμοποιήθηκαν για τον αρχικό σχεδιασμό οι συνήθεις διαστάσεις και σχέσεις διαστάσεων μια κοινής ζάντας

16 ιντσών, που σχεδιάστηκε όμως μορφολογικά πρωτότυπα. Στις μέρες μας ο βιομηχανικός σχεδιασμός προϊόντων, ξεκινά από ένα απλό σκαρίφημα και καταλήγει -μέσω πια των δυνατοτήτων των σύγχρονων σχεδιαστικών προγραμμάτων- να υποβάλλεται το τρισδιάστατο μοντέλο σε εικονικές δοκιμές. Αναζητείται εξ αρχής η βελτιστοποίηση στο σχεδιασμό, ώστε το παραγόμενο τελικό προϊόν να συνδυάζει την τελική εξισορρόπηση αντοχής και πάχους υλικών για μείωση του κόστους. Αυτός ο παράγοντας είναι εδώ σχεδόν δεδομένος, διότι πάρθηκαν οι μέσες τιμές των διαστάσεων (πάχους) των προϊόντων της αγοράς - τα οποία είναι ελεγμένα σύμφωνα με τα πρότυπα οδηγιών ασφάλειας και κόστους παραγωγής.

Τελικά, συμβαδίζοντας με την λογική σχεδίασης του Solidworks (εξώθηση ή περιστροφή δισδιάστατων σχημάτων προς μια τρίτη κατεύθυνση) αναλύοντας σχηματικά μια ζάντα, βλέπουμε ότι τα βασικά μοντουλ προς επεξεργασία, απορρέουν από την συμμετρία του σχήματος της .

Έχει, δηλαδή, δύο συμμετρικά σώματα: τη στεφάνη της οποίας ουσιαστικό δομικό στοιχείο της είναι το περίγραμμα μιας τομής της και ο δίσκος της ζάντας (ουσιαστικά και αυτός είναι η περιστροφή του κάθετου περιγράμματος της τομής του). Από τις δυνατότητες και τη μέθοδο τρισδιάστατης μοντελοποίησης του Solidworks, καταλαβαίνουμε ότι αυτά τα δύο βασικά μοντούλ σχεδίασης της ζάντας είναι και τα βασικά στοιχεία κάθε διαφοροποίησης, παραμετροποίησης και διαστασολόγησης του σχεδιασμού μας, άρα και τα βασικά του δομικά στοιχεία.

Πάνω σε αυτά τα δύο βασικά σχέδια θα υπάρξουν και τυχόν διαφοροποιήσεις, όπως και κάποια μικρή σχεδιαστική πολυπλοκότητα, ώστε να υπάρξει περισσότερο ενδιαφέρον στο κομμάτι της κατεργασίας .

3.2 Στάδια σχεδιασμού

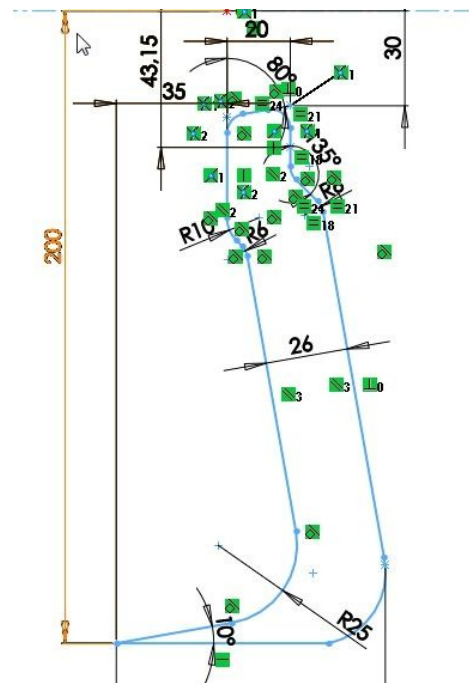
3.2.1 Στάδιο πρώτο - δισδιάστατο σχέδιο της τομής του δίσκου

Αφού ορίσαμε τα διάφορα επίπεδα τρισδιάστατου σχεδιασμού και το αρχικό σημείο των συντεταγμένων του αντικείμενου, σχεδιάσαμε το προφίλ του δισκίου της ζάντας με χαρακτηριστικά διαστάσεων μιας τυπικής ζάντας 16''. Ξεκινάει με βασικό κορμό και επιπλέον μάζα στο κέντρο και καταλήγει με μια καμπυλοειδή απόληξη σε νεύρο.

Στο σχέδιο ενώθηκαν με διάφορες σχέσεις οι πλευρές ή οι γωνίες του σκαριφήματος, ώστε σε κάθε πιθανή αλλαγή διαστάσεων οι σχέσεις να δίνουν την επιθυμητή αντίστοιχη τιμή σε παράλληλες πλευρές ή γωνίες σύνδεσης.

Βασικό στοιχείο, είναι ότι όλος ο σχεδιασμός γίνεται κάτω από το κέντρο του σκαριφήματος, ώστε αργότερα, όπως θα δούμε, να δημιουργείται αυτόματα εκ περιστροφής η υποδοχή του μπουαγιέ.

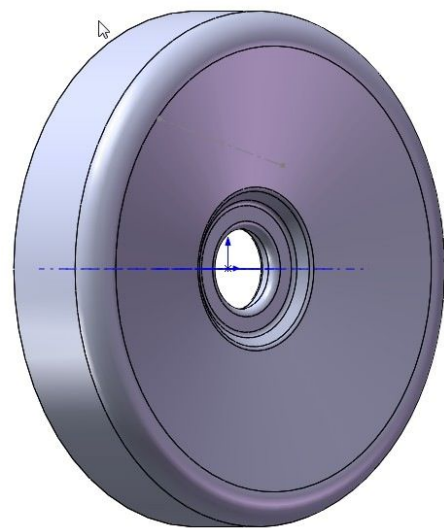
Σε αυτό το σημείο, επιλέχθηκε να ανεξαρτητοποιηθεί ο σχεδιασμός του δίσκου από της στεφάνης, ώστε να είμαστε πιο ευέλικτοι σε τυχόν κατασκευαστικά κολλήματα και με την ιδέα ότι διαφοροποιήσεις θα μπορούσαν να γίνουν στο δίσκο χωρίς να επηρεάζουν την στεφάνη. Βασική ιδέα ήταν να υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής αλλού της στεφάνης και αλλού του δίσκου.



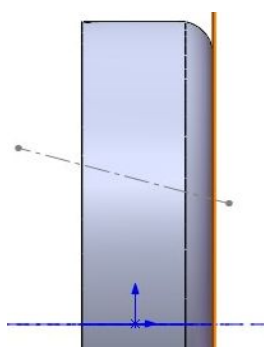
Εικόνα 3.1 Σχέδιο τομής δίσκου

3.2.2 Στάδιο δεύτερο - περιστροφή τομής

Εδώ χρησιμοποιώντας την εντολή revolve, περιστρέφουμε στο χώρο την τομή που σχεδιάσαμε γύρω από τον άξονα περιστροφής που περνά από το κέντρο συντεταγμένων. Όλη αυτή η νοητή διαδρομή περιστροφής, σχηματίζει ένα τρισδιάστατο στερεό σαν κάθε σημείο που σαρώνει να παραμένει στο σώμα του τελικού στερεού. Έτσι σχηματίζεται ο δίσκος της ζάντας.



Εικόνα 3.3 Αποτέλεσμα περιστροφής

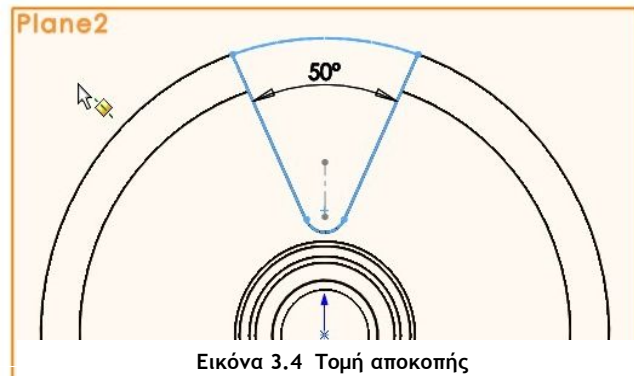


Εικόνα 3.2 Νέο plane

Έπειτα σχεδιάζουμε ένα σημείο σε μια εύλογη απόσταση από το κέντρο, με έναν άξονα που τέμνει το κεκλιμένο μέρος του δίσκου και στο σημείο τομής μεταφέρουμε ένα νέο πεδίο δράσης (plane). Έτσι είναι σα να κοιτάμε από μετωπική μεριά το αντικείμενο, ώστε να περάσουμε στο στάδιο της αποκοπής υλικού.

3.2.3 Στάδιο τρίτο - αποκοπή

Πάνω στο νέο αυτό πεδίο σχεδιάζουμε ένα δισδιάστατο σχέδιο που να εφάπτεται πάνω στην περιφέρεια του κύκλου μας, σχηματίζοντας νοητά το σχέδιο των ακτινών, αφαιρώντας το κομμάτι που σχεδιάσαμε.

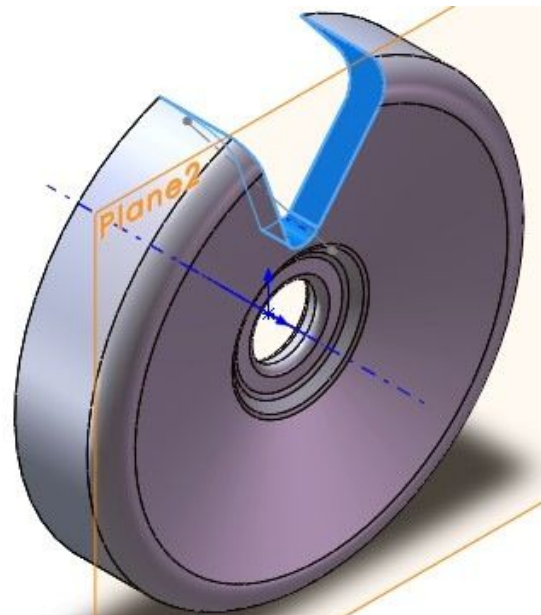


Εικόνα 3.4 Τομή αποκοπής

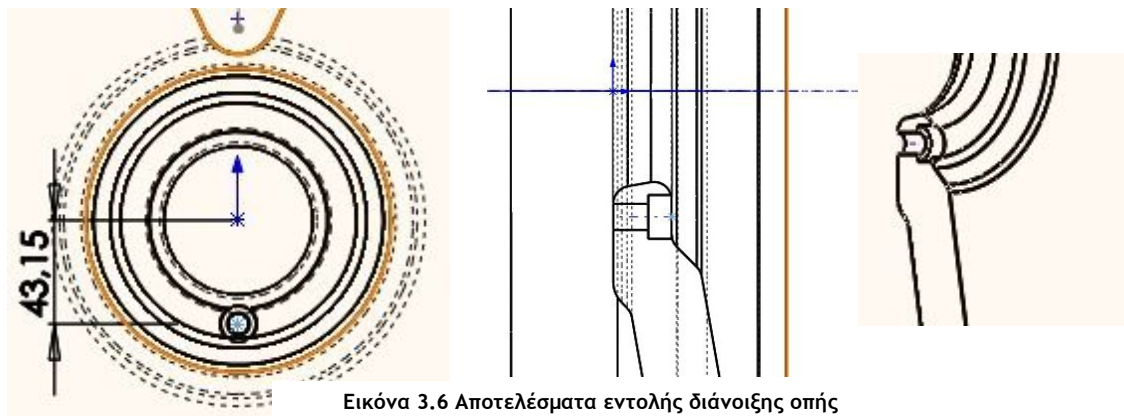
Με την εντολή cut extrude με κατεύθυνση διαμήκη στον κεντρικό άξονα αφαιρείται από το στερεό του δίσκου το κομμάτι που σχεδιάσαμε.

3.2.4 Στάδιο τέταρτο - σχεδιασμός οπής μπουλονιών

Με την αυτόματη εντολή του προγράμματος, για σχεδιασμό οπών για την δίοδο κοχλιών η μπουλονιών, μπορούμε προσδιορίζοντας ένα σημείο πάνω σε ένα δισδιάστατο πλάνο του σχεδίου, να δημιουργήσουμε συγκεκριμένες οπές διάνοιξης σύμφωνα με τα πρότυπα που θα επιλέξουμε (din κ.α). Αυτόματα σχεδιάζονται σκαριφήματα οπών για την υποδοχή συγκεκριμένων διεθνώς προτυποποιημένων κοχλιών και μπουλονιών χωρίς να σχεδιάσουμε εμείς τα μηχανολογικά σχέδια. Έτσι, και εδώ, απλώς προσδιορίσαμε το σημείο και βέβαια όλες τις λεπτομέρειες στα παράθυρα διαλόγου, ανοχές μήκους κτλ.



Εικόνα 3.5 Αποτέλεσμα αποκοπής

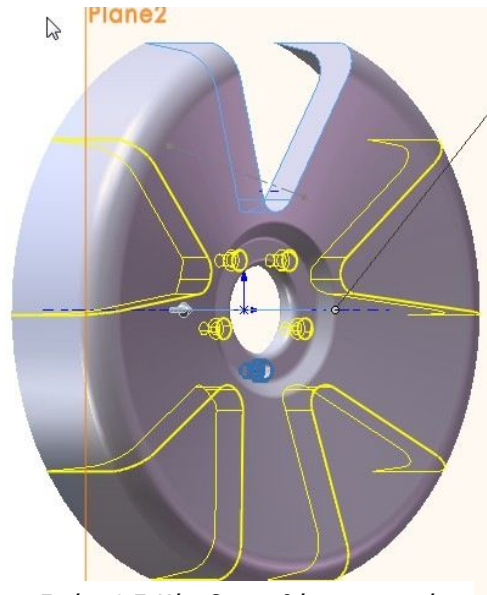


Εικόνα 3.6 Αποτελέσματα εντολής διάνοιξης οπής

3.2.5 Στάδιο πέμπτο - συμμετρική κατανομή ενεργειών

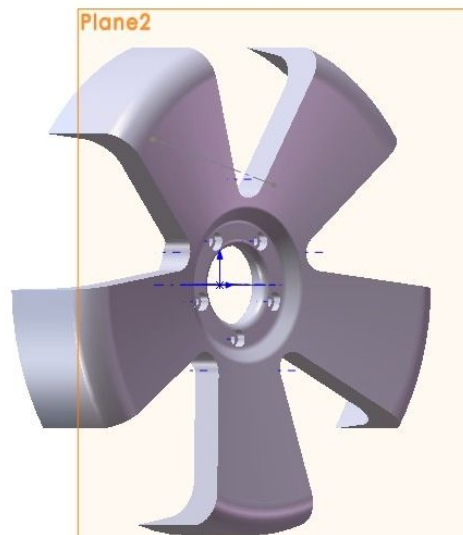
Το πρόγραμμα διαθέτει μια εντολή συμμετρικής επανάληψης σχεδιαστικών εργασιών που έχουν γίνει σε ένα συγκεκριμένο πεδίο γύρω από άξονα και επίπεδο που επιλέγουμε. Μέσω προηγμένων εντολών επεξεργασίας, μπορούμε να επαναλάβουμε σε κυκλικά μοτίβα, με την συγκεκριμένη εντολή, ένα στάδιο σχεδιασμού ή μια φάση σχεδιασμού, ή ακόμη και ένα κομμάτι του στερεού που έχουμε δημιουργήσει, σε αρμονική συμμετρική κατανομή και κυκλική ροή, που προσδιορίζεται επακριβώς από εμάς με αναλυτικά παράθυρα διαλόγου.

Αναλυτικά, σε αυτό το σημείο επιλέγουμε τη «φέτα» αποκοπής του προηγούμενου σταδίου και την οπή του μπουλονιού ώστε να αναπαραχθούν συμμετρικά γύρω από τον κεντρικό άξονα της στεφάνης. Με μια περιστροφική πορεία 360 μοιρών εφαπτόμενη στο πεδίο του δίσκου, εφαρμόζουμε μια επανάληψη των 5 ανά 360 μοίρες. Με τον αντίστροφο αυτό τρόπο, θα σχηματιστούν τα νεύρα του δίσκου της ζάντας από το εναπομείνου στερεό.



Εικόνα 3.7 Χάραξη εντολής συμμετρικής αποκοπής

Με κίτρινο χρώμα, το πρόγραμμα προδιαγράφει τις επιλογές μας πριν την τελική αποδοχή. Αυτό φανερώνει και την σχεδιαστική ανωτερότητα του προγράμματος, αφού αυτές οι επιλογές συμμετρικού σχεδιασμού, με μια απλή εντολή παραλλάσσουν το σχέδιο μας σε διάφορες εκδοχές. Η συμμετρία άλλωστε είναι ένα βασικό στοιχείο ενός βιομηχανικού σχεδιασμού και έχει τις ρίζες της στα χημικά στοιχεία. Βλέπουμε ήδη ένα σχεδιαστικό αποτέλεσμα που στην συγκεκριμένη περίπτωση, τα νεύρα ενός δίσκου μιας ζάντας είναι και βασική μορφή καλαισθησίας και διαφοροποίησης.



Εικόνα 3.8 Τελική μορφή δίσκου

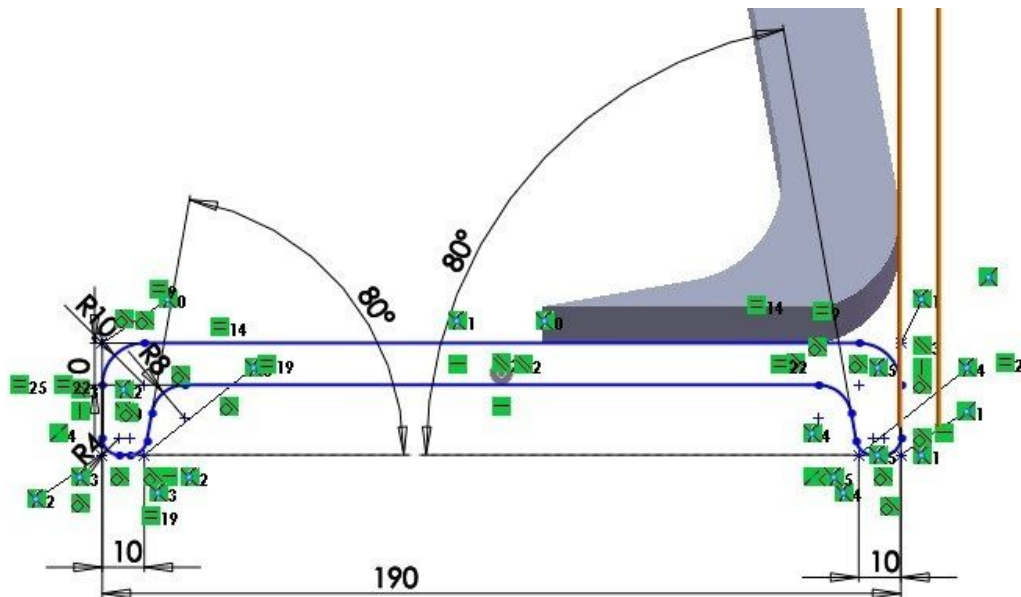
Έτσι καταλήγουμε στην τελική μορφή μιας εκδοχής του δίσκου.

Μία εκδοχή που εξυπηρετεί την τελική μελέτη στρατηγικής κατεργασιών, αφού αφήνει αρκετή επιφάνεια στον δίσκο με κοίλη μορφή, ώστε να αναπτυχθούν πλήρως τόσο κατεργασίες τórνευσης όσο και φρεζαρίσματος.

3.2.6 Στάδιο έκτο - σχεδιασμός στεφάνης

Αφού σχεδιάσαμε το δίσκο της ζάντας περνάμε στη στεφάνη -που θα αγκαλιάσει το δίσκο- με μία αρχική επιλογή να έχουμε ανεξάρτητα δεδομένα για αυτά τα δυο δομικά στοιχεία σχεδιασμού της κατασκευής (την τομή του δίσκου και την τομή της στεφάνης). Δομικά στοιχεία που προσδιορίζονται από τον τρόπο λειτουργίας - σχεδιασμού του προγράμματος. Θα αναφερθούμε παρακάτω και σε άλλες μεθόδους όπου λαμβάνονται εξ' ολοκλήρου σε ένα σώμα οι δύο τομές, αλλά εδώ επιλέχθηκαν έτσι ώστε να μας δοθεί μεγαλύτερη ελευθερία σε ενδεχόμενα προβλήματα που θα αντιμετωπίζαμε στο σχεδιασμό των κατεργασιών.

Ξεκινήσαμε το σχεδιασμό του σκαριφήματος της τομής της στεφάνης σε ένα επίπεδο κάθετο από τον δίσκο και ένα πεδίο που να κοιτάει τη μελλοντική ζάντα από το πλάι, αλλά να εφάπτεται στην κάθετη πλευρά του δίσκου.



Εικόνα 3.9 Σκαρίφημα τομής στεφάνης

Πάλι και εδώ οι διαστάσεις προέρχονται από μέσες τιμές της αγοράς με παραμετρικά κλειδωμένες σχέσεις και αποδίδονται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να εφάπτεται αρμονικά η τομή με την εμπρόσθια όψη.

Έπειτα, μέσω της εντολής περιστροφικής δημιουργίας στερεού, μέσα από ένα δισδιάστατο σχήμα, δημιουργούμε την τρισδιάστατη στεφάνη.

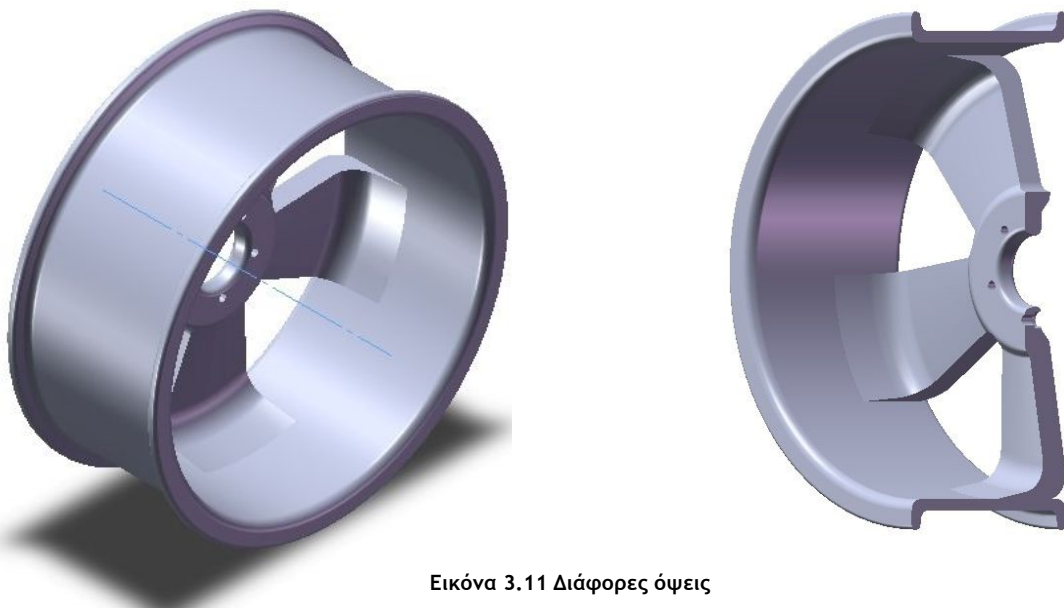
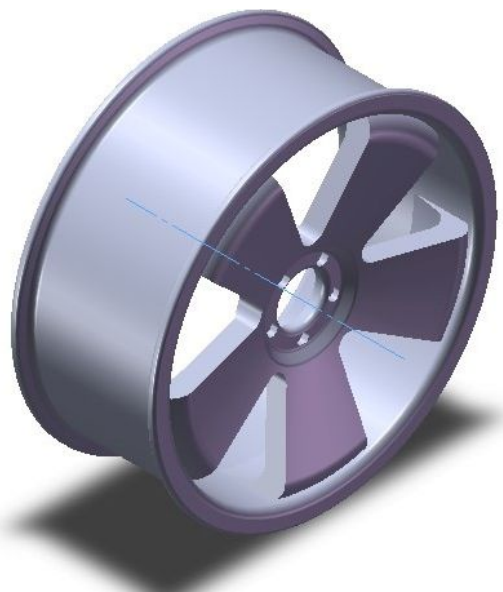
Επιλέγουμε τον κεντρικό άξονα της πλήμνης από το παράθυρο διαλόγου και δίνουμε εντολή ώστε η τομή να περιστραφεί κατά 360 μοίρες αφήνοντας ένα νοητό ίχνος που να δημιουργεί το τελικό στέρεο σώμα της στεφάνης.

Από την επιλογή χάραξης της τροχιάς του παράθυρου διαλόγου της εντολής, βλέπουμε πως διαγράφεται αυτή η τροχιά περιστροφής. Μέσα από μια εξελιγμένη αντίληψη επεξεργασίας του προγράμματος, αναπροσδιορίζεται με όσο το δυνατό λιγότερες εντολές με μια προγραμματιστική εκλογίκευση -αποφυγής λαθών- και αυτό είναι ένα από τα πλεονεκτήματα του σχεδιαστικού προγράμματος που χρησιμοποιούμε.



Εικόνα 3.10 Προδιαγραφή περιστροφής

Εύκολα καταλήγουμε στην τελική μορφή της ζάντας που θα παράγουμε μέσω κατεργασιών. Με τις δυνατότητες του προγράμματος, μπορούμε να έχουμε όψη της από κάθε δυνατή γωνία, τομή που επιλέγουμε, αλλά και πλήρη μηχανολογικά σχέδια πάνω σε διεθνή πρότυπα σχεδίασης. Μπορούμε να γεμίσουμε το στερεό μας με υλικό από μια μεγάλη βιβλιοθήκη υλικών, με όλες τις ακριβείς μηχανικές ιδιότητές τους και κοστολόγιο, όπως και να απεικονίσουμε το στερεό μας σε διάφορες γραφιστικές απεικονίσεις ή ακόμη και να το χρησιμοποιήσουμε σαν μέρος ενός άλλου συνόλου.



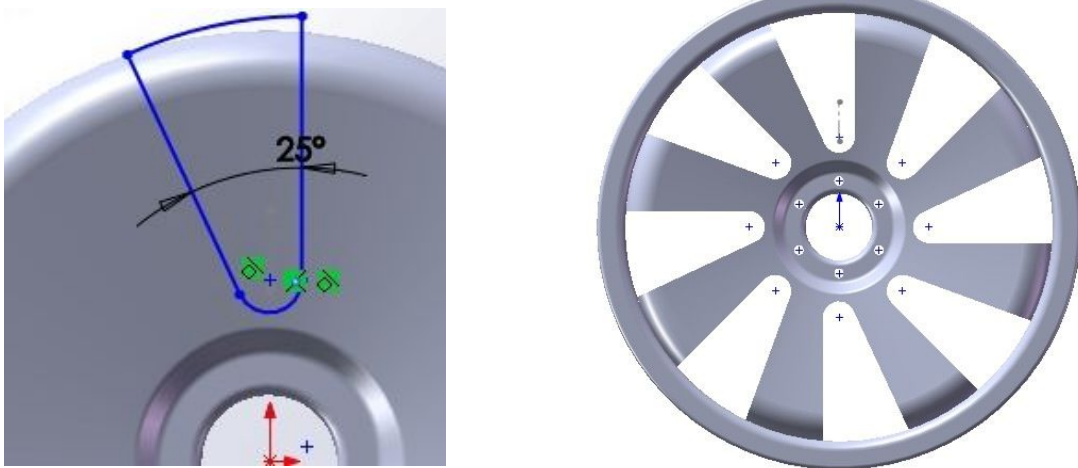
Εικόνα 3.11 Διάφορες όψεις

3.3 Παραλλαγές σχεδιασμού

Αναφορικά, χωρίς αναλυτική ροή σχεδιασμού, θα εξετάσουμε τις διάφορες παραλλαγές που δημιουργήθηκαν βάσει του αρχικού κορμού σχεδίασης. Θα δοθούν παραδείγματα που ως κύριο μέρος έχουν την παραλλαγή του σχεδίου του δίσκου της ζάντας, με συγκεκριμένη διαφοροποίηση στο σκαρίφημα αποκοπής και στο βαθμό και παράγοντα συμμετρικότητας των νεύρων. Η βασική τροποποίηση, πέρα από τα παραπάνω, σχετικά με τον πρώτο σχεδιασμό, είναι ότι ανεξαρτητοποιείται η συμμετρικότητα των οπών των μπουλονιών, αφού πια δεν θα εξαρτώνται από μια κοινή εντολή με το σκαρίφημα αποκοπής, για εύλογες αιτίες.

3.3.1 Τροποποίηση 1

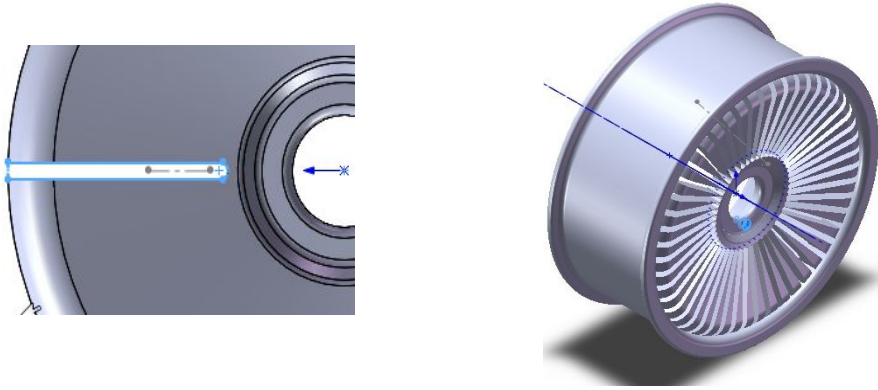
Αλλαγή του έκκεντρου του σκαριφήματος κοπής, του τρίτου σταδίου αποκοπής, που δίνει μια πλάγια μορφή στο βασικό σχέδιο. Στο τέλος, δημιουργούν νεύρα που δεν τέμνονται παράλληλα ή κάθετα από τους άξονες της πλήμνης, όπως και με μικρότερο άνοιγμα. Τέλος, για πιο εντυπωσιακό αποτέλεσμα, αυξήθηκε ο συντελεστής επανάληψης της συμμετρικότητας σε ένα διάστημα 360 μοιρών.



Εικόνα 3.12 Παραλλαγή 1

3.3.2 Τροποποίηση 2

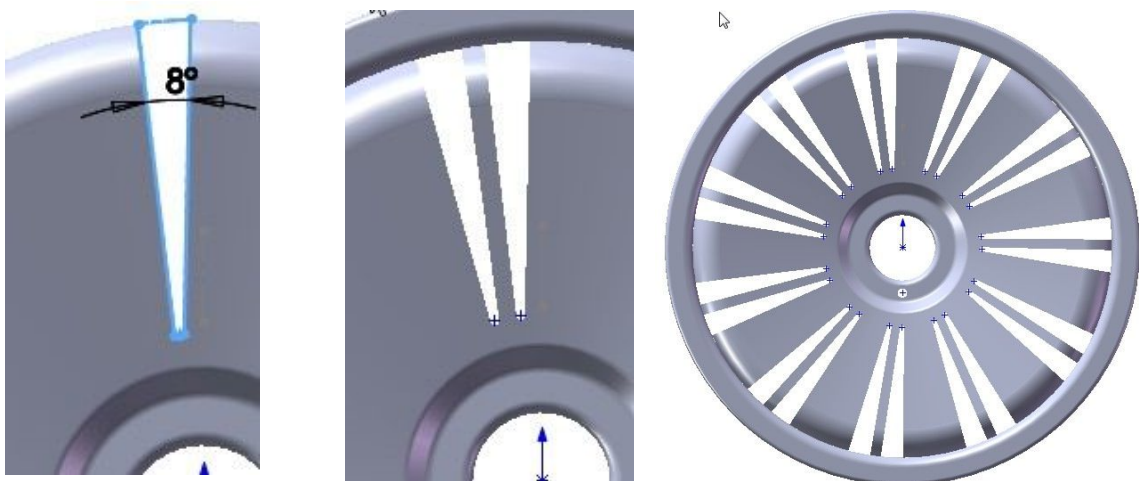
Στην ίδια λογική, σχεδιάζεται μια μικρότερη και στενότερη επιφάνεια αποκοπής με μεγαλύτερο βαθμό επαναληπτικής κυκλικής συμμετρίας.



Εικόνα 3.13 Παραλλαγή 2

3.3.3 Τροποποίηση 3

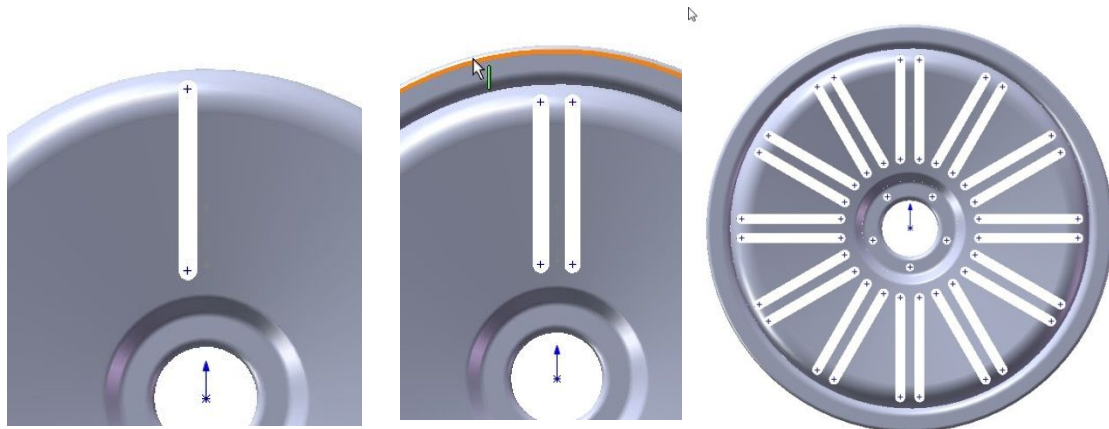
Σε ίδια προσέγγιση, με μια διαφορετική -πιο στενή- τομή, αλλά με συμμετρική κοντινή επαναληπτική αποτύπωση, μέσω της εντολής για συμμετρική ανατύπωση. Μικρό εύρος γωνίας και ξανά βλέπουμε τη συμμετρική αυτή αποτύπωση σε διαφορετική αναλογία, σε κυκλική συμμετρική ανατύπωση. Ουσιαστικά, δηλαδή, από ένα μοτίβο περάσαμε στο διπλό του και με επαν-ορισμό του μοτίβου ως το διπλό σε ευρύτερη συμμετρική κατανομή.



Εικόνα 3.14 Παραλλαγή 3

3.3.4 Τροποποίηση 4

Εδώ, ως τελικό παράδειγμα τροποποίησης του βασικού σχεδίου, πήραμε ως σκαρίφημα τομής του δίσκου ένα ομοιόμορφο σχέδιο με παράλληλες πλευρές - λίγο απόκεντρο από την πλήμνη. Με την εντολή αποτύπωσης καθρέπτη, βρήκαμε το είδωλο του ως προς τον άξονα και αυτά τα δύο μαζί σκαριφήματα αποτέλεσαν το μοτίβο συμμετρικής κυκλικής ανατύπωσης σε διάστημα των 12 μιας πλήρους περιστροφής.

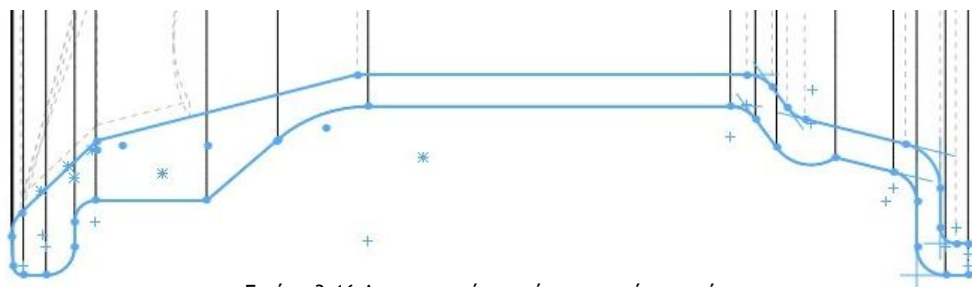


Εικόνα 3.15 Παραλλαγή 4

3.4 Λοιπές πιθανές παραλλαγές

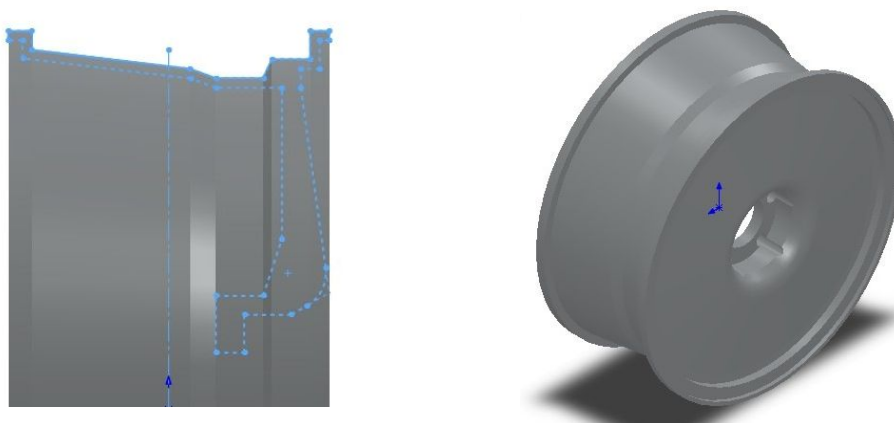
Στην παράγραφο αυτή καταθέτονται οι εναλλακτικοί δρόμοι σχεδιασμού, που απορριφθήκαν είτε για λόγους που αναφέρθηκαν ήδη ή γιατί θεωρήθηκαν ότι εξειδικεύουν πολύ μια σχεδιαστική λύση. Βασικό κριτήριο ήταν το ότι οι παρακάτω παραλλαγές θα επηρέαζαν δυσμενέστερα την πορεία του σχεδιασμού κατεργασιών, σε σχέση με την ευελιξία που διαθέτει το πρωτότυπο.

Υπάρχουν δυνατές διαφοροποιήσεις σχεδιασμού της ζάντας που έχουν να κάνουν με το είδος της υποδοχής του ελαστικού, ή τον τρόπο παραγωγής, ή τον τύπο του οχήματος για το οποίο προορίζεται, και έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, γιατί δεν θεωρήθηκε σκόπιμο να σχεδιασθούν. Μια διαφορετική κατεύθυνση σχεδιασμού, αφορά μια διαφορετική μορφολογία της στεφάνης.



Εικόνα 3.16 Διαφορετικό σκαρίφημα τομής στεφάνης

Μια δεύτερη, θα αφορούσε τον σχεδιασμό μιας εξ αρχής κοινής διατομής στεφάνης-δίσκου. Με μια απλή περιστροφή, δηλαδή, να σχηματιζόταν απευθείας όλο το σώμα της ζάντας. Κάτι που δεν θεωρήθηκε σκόπιμο, λόγω πιθανής εμπλοκής αργότερα σε διαφορετικές κατεργασίες, οι διαφορετικές επιφάνειες προς κατεργασία, να θεωρούνταν ενιαίες.

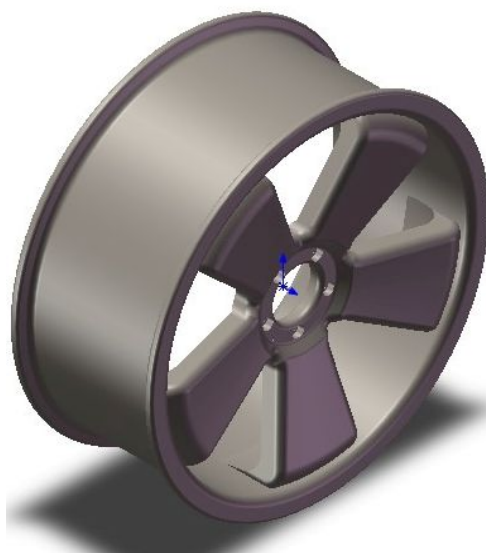


Εικόνα 3.17 Προϊόν από κοινό σχεδιασμό τομής δίσκου στεφάνης

Τέλος, το πρόγραμμα διαθέτει πολλές εντολές αυτόματης τελικής σχεδιαστικής αποπεράτωσης ή ακόμα και «καλλωπισμού». Σε μηχανολογικά σχέδια επεμβαίνει, ανά περίπτωση, στις γωνίες σύνδεσης επιφανειών, στις εξωτερικές ακμές, ή ακόμη και στις ενώσεις συγκόλλησης, ενεργώντας στο τελικό στερεό μοντέλο.

Ένα από τα βασικά αυτά εργαλεία είναι το fillet, που ουσιαστικά στρογγυλοποιεί, σπάει σε ακτίνες καμπυλότητας εσωτερικές ή εξωτερικές γωνίες, ή και ακμές του στερεού που σχεδιάσαμε.

Έτσι, μέσα από την εντολή face round, και το παράθυρο διαλόγου, μπορούμε να επέμβουμε, επιλέγοντας επιφάνειες που τέμνονται ή ακόμη και των άκμων που σχηματίζονται, και να ορίσουμε μια ακτίνα καμπυλότητας που θέλουμε να εφαρμοστεί.



Εικόνα 3.18 Το τελικό με προϊόν μετά από εντολές «καλλωπισμού»

Βλέπουμε, λοιπόν, στην εικόνα 3.15 και 3.16 τον «ορισμό» και το τελικό αποτέλεσμα αυτής της εντολής.

Αυτή η εντολή με την αυξημένη επεξεργαστική αυτοματοποίηση που διαθέτει, επεμβαίνει άμεσα και βίαια στο τελικό στερεό, χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνεται στο αρχικό διάγραμμα ροής σχεδιασμού. Δεν ενσωματώνεται άμεσα -σε ένα καθαρά μηχανολογικό σχεδιασμό-, αλλά ως μια εφαρμογή μετά-επεξεργασίας του στερεού. Συνεπώς, δεν κρίθηκε σκόπιμο να περάσει στο πρώτο στάδιο παράγωγης σαν δομή του αντικείμενου, ώστε να είναι πιο ξεκάθαρος ο σχεδιασμός των κατεργασιών στο βασικό τους χαρακτήρα.



Εικόνα 3.19 Προεγγραφή fillet

3.5 Τελικές δυνατότητες του προγράμματος πάνω στο σχεδιασμό.

Όπως σε όλα τα σύγχρονα μηχανολογικά σχεδιαστικά προγράμματα, έτσι και εδώ, μπορούν να γίνουν εικονικές δοκιμές αντοχών του νέου στέρεου που δημιουργήσαμε.

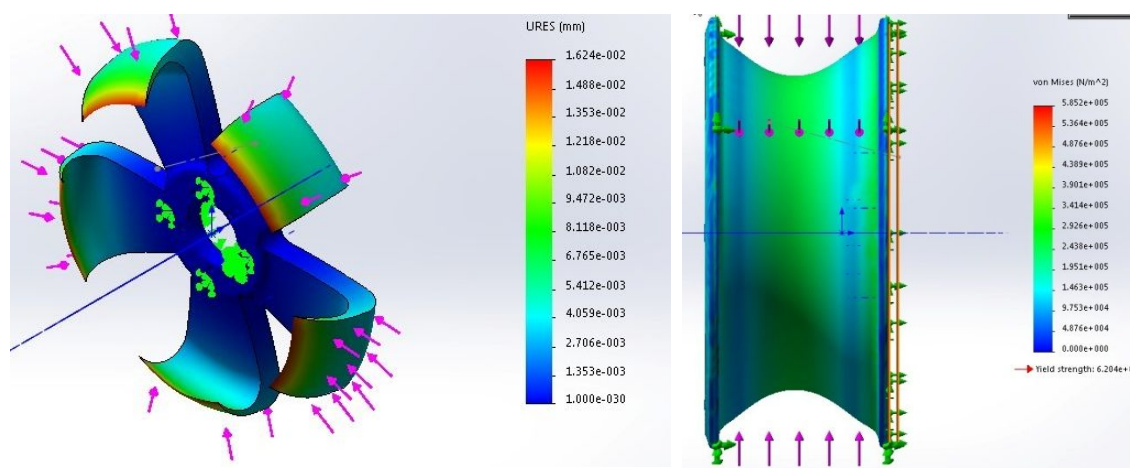
Αξίζει να επαναλάβουμε ότι με την μορφή του σχεδιασμού που επιλέχθηκε, αναγνωρίζονται ως αυτόνομα από το πρόγραμμα, δύο ανεξάρτητα στερεά αντικείμενα. Η στεφάνη και ο κεντρικός δίσκος της ζάντας είναι τελείως ανεξάρτητα στερεά, ως επιλογή, ώστε να έχουμε μεγαλύτερη ευελιξία αργότερα στις κατεργασίες. Αυτό βέβαια, στερεί μια συνολική εκτίμηση αντοχών ως ενιαίο αντικείμενο από τις εικονικές δοκιμές. Μια επιλογή που θα κριθεί στα συμπεράσματα της εργασίας .

Επιπροσθέτως, λόγω του ότι μια ζάντα αποτελεί το σύνδεσμο διαφόρων εξειδικευμένων αντικειμένων ή κινητικών μηχανισμών, αλλά εδώ δεν έχει εισαχθεί με τέτοιες προδιαγραφές, δεν είναι δυνατόν να γίνει ανάλυση με ακριβείς υπολογισμούς. Θα γίνει, όμως, μια σχετική αποτύπωση των δυνατοτήτων του σχεδιαστικού προγράμματος.

Σε ένα βιομηχανικό σχεδιασμό, θα έπρεπε αυτό να είναι το στάδιο που - εικονικά τουλάχιστον- θα βελτιστοποιούσαμε την αρχή παραγωγής «μέγιστη αντοχή από το ελάχιστο δυνατό βάρος». Περίοπτη θέση ανάμεσα στις δοκιμές αντοχής έχουν αυτές που αφορούν τους κύκλους πίεσης που ασκούνται στον εξωτερικό «ώμο» της στεφάνης, οι δοκιμές που αφορούν το φορτίο που ασκείται από το ίδιο το όχημα στο κέντρο του δίσκου μέσω της έδρασης της ζάντας, καθώς και οι δοκιμές που αφορούν κρουστική καταπόνηση και περιλαμβάνουν απότομο χτύπημα της ζάντας από κάποιο

εξωτερικό αντικείμενο. Αφού όλες οι δοκιμές τελειώσουν, τα αρχικά σχέδια θα έπρεπε να τροποποιηθούν σύμφωνα με τα ανάλογα αποτελέσματα που θα προέκυπταν.

Κατατίθενται, ως παραδείγματα και μόνο, λόγω του περιορισμού να έχουμε τη ζάντα σε δύο κομμάτια, κάποιες απλές δοκιμές σε ένα σύνθετο κράμα αλουμινίου. Με την εφαρμογή ενός βάρους περίπου 2500 N ανά τροχό, πήραμε την παρακάτω ανάλυση τάσεων στα νεύρα και παραμόρφωσης της στεφάνης.



Εικόνα 3.20 Διαγράμματα τεστ αντοχών

Πέρασαν και τα δυο μέρη το όριο μας και βλέπουμε και στο von misses διάγραμμα ότι είμαστε σε ανεκτά επίπεδα πάχους για τυπικούς βαθμούς ασφαλείας, χωρίς υπερβολές.

Πέρα από τις άπειρες δυνατότητες του προγράμματος που περιλαμβάνουν εργαλεία για βιώσιμο σχεδιασμό (μέσα από βάσεις δεδομένων, που συνδέονται με υλικά-τιμές και οικολογικό αποτύπωμα), προηγμένα δοκιμαστήρια αντοχής, εικονικές φυσούνες αεροδυναμικής, πρέπει επίσης να αναφερθεί ως παρατήρηση, ότι υπάρχει και ο προέλεγχος παραγωγικής δυνατότητας. Πρόκειται για ένα σχεδιαστικό προέλεγχο τεχνικής δυνατότητας παραγωγής του τελικού σχεδιασμένου προϊόντος.

Σε αυτόν τον προέλεγχο, σε ένα σύνθετο κέντρο κατεργασιών, το αντικείμενο υποδείχτηκε ότι μπορεί να κατασκευαστεί σε ποσοστό μόνο 85%, κυρίως λόγω των μικρών εσωτερικών γωνιών του χώρου που ενώνει τα νεύρα με την στεφάνη. Το ποσοστό αυτό, όμως, ανέβηκε στο 100% σε μια ροή κατεργασίας από διαφορετικά κέντρα τόννευσης και κατεργασιών.

Αυτός ήταν ένας προέλεγχος του προγράμματος που δεν πάρθηκε υπόψη ως αρχική επιλογή, αλλά που εκ των πραγμάτων εφαρμόστηκε. Επιβεβαιώθηκε,

δηλαδή, η αρχική πρόβλεψη του προγράμματος κι έτσι αποδεικνύεται για άλλη μια φορά, πόσο ραγδαίες είναι τώρα πια οι τεχνολογικές εξελίξεις στην αυτόματη επιλογή δυνατοτήτων από ένα υπολογιστικό πρόγραμμα. Βέβαια, όλο αυτό κάνει αφιλόξενο το πεδίο μιας αυτοφυούς επιλογής που δεν συμφωνεί με το λογισμικό προεπιλογών, αφού τα προγράμματα τείνουν να λαμβάνουν περισσότερες «μόνα τους» αποφάσεις μικρής κλίμακας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

4.1 Από τον σχεδιασμό στις κατεργασίες.

Από το στάδιο του σχεδιασμού περνάμε στο στάδιο της στρατηγικής των κατεργασιών, ξεκινώντας με τρεις βασικές διαπιστώσεις.

Πρώτη διαπίστωση, η παρουσία του τελικού αντικειμένου σε δύο στερεά μέρη, όπως τα «διαβάζει» το πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε. Αυτό μας ενδιαφέρει, γιατί το πρόγραμμα Solidcam «τρέχει» μέσα από το περιβάλλον του Solidworks, ώστε να γίνεται πλήρης αξιοποίηση των σχεδίων και ακριβής αναγνώριση του τρισδιάστατου μοντέλου.

Δεύτερη διαπίστωση είναι η συμμετρικότητα του σχεδίου. Ο άξονας συμμετρίας, είναι ο κεντρικός άξονας γύρω από τον οποίο περιστρέφεται η ζάντα. Άρα, μιλάμε για μια καθαρή κατεργασία σε κέντρο τórνευσης.

Τρίτη διαπίστωση είναι ότι η συμμετρικότητα «σπάει» στον δίσκο. Εκεί αλλάζουμε και επίπεδο συμμετρίας ως προς τις εγκοπές των νεύρων, που αποτελούν μια συμμετρική αφαίρεση υλικού, άρα γενικότερα χρειαζόμαστε κέντρο κατεργασιών.

Έχουμε να διαχειριστούμε, όμως, ένα ευμέγεθες αντικείμενο, τόσο ως προς την αφαίρεση υλικού από ένα αρχικό μπλοκ (λόγω του εσωτερικού διάκενου) όσο και για τις διαδρομές των κατεργασιών. Οι κατεργασίες είναι σε διαφορετικά επίπεδα, με αρκετό βάθος εξωτερικά και εσωτερικά και από τις δύο πλευρές. Άρα, προφανώς δεν μπορούμε να πάμε σε ένα κοινό κέντρο τórνευσης και φρεζαρίσματος, όπου να έχουμε τόσο διακριτές και ισχυρές κατεργασίες όπως χρειάζονται. Αυτό, αποδείχθηκε τόσο από πρακτική δοκιμή όπου δεν μπορούσε το πρόγραμμα να δώσει σωστά αποτελέσματα, όσο και από υπόδειξη του ίδιου του προγράμματος (προέλεγχος παραγωγής, κεφ.2) που υπέδειξε ότι για την κατασκευή των νεύρων, δεν θα μπορούσε να υποδείξει ένα μόνο κέντρο τórνευσης-κατεργασιών. Άρα, ξεκινάμε από κέντρο τórνευσης και καταλήγουμε σε κέντρο κατεργασιών. Επίσης, προτιμήθηκε να δημιουργηθεί ένα φασεολόγιο που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ήδη υπάρχοντα κέντρα του εργαστηρίου (διακριτά κέντρα τórνευσης και κέντρα κατεργασιών CNC). Ειδικότερα το Solidcam, έχει περισσότερες επιλογές σε κοινά κέντρα, κάτι που προφανώς καλύπτει μια νέα τάση της αγοράς και του προγραμματισμού κατεργασιών, δίνοντας περισσότερο βάρος σε κοινά κέντρα κατεργασιών και τórνευσης.

4.2 Περιορισμοί και επιλογές σχεδιασμού κατεργασιών

Μέσα από πρακτικές δοκιμές και διερεύνηση του τρόπου που λειτουργεί το Solidcam, τέθηκαν διάφορα όρια στον τρόπο που κινήθηκε ο τελικός σχεδιασμός και θα αξιολογηθεί στο τέλος ως προς την λειτουργικότητά του. Ο βασικός είναι ότι δεν επιτρέπει την εναλλαγή μηχανών τόννευσης σε ένα αντικείμενο. Αν θελήσουμε, δηλαδή, να κατεργαστούμε τη μια μεριά ενός αντικείμενου -κατά τον άξονα z- και να κρατήσουμε εικονικά το εναπομένον υλικό, ώστε να το χρησιμοποιήσουμε σε επόμενο κέντρο τόννευσης, αυτό δεν δύναται παρά μόνο εάν χρησιμοποιηθεί σε κέντρο κατεργασιών. Ουσιαστικά, περιορίζει την κατεργασία τόννευσης σε ένα φασεολόγιο και σε ένα κέντρο μόνο. Οριοθετεί τη ροή παραγωγικής διαδικασίας μόνο από κέντρο τόννευσης σε κέντρο κατεργασιών.

Αυτό δεν θα είχε τόση σημασία εφόσον υπάρχουν εντολές ξεμονταρίσματος της μηχανής στην ίδια ροή φάσεων και αλλαγή του τρόπου συγκράτησης, αλλά δεν μπορούν να αλλαχθούν οι συντεταγμένες του σχεδιασμού κατεργασιών. Έτσι, π.χ. σε μια τόννευση όπως της εργασίας, ενεργούμε από τη μια μεριά της ζάντας σε διαδρομή (+Z), και από την άλλη σε (-Z) -ενώ πρόκειται για διαφορετικό, διακριτό φασεολόγιο κατεργασιών-. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα βασικό περιορισμό που μειώνει το βαθμό ελευθερίας στο σχεδιασμό κατεργασιών, όταν κάποιος επιλέγει κλασικά κέντρα τόννευσης. Απορρίπτει, δηλαδή, απλά πιθανά σενάρια εναλλαγής κέντρων τόννευσης, τουλάχιστον σε εικονικό επίπεδο. Πρέπει να αναφερθεί, ότι το πρόγραμμα δίνει μεγαλύτερο βάρος στις εξελίξεις στα σύγχρονα κέντρα κατεργασιών-milling. Προφανώς, έχει να κάνει και με τη διαθεσιμότητά του σε μεγαλύτερο κοινό με αυτό το ενδιαφέρον.

Τέλος, αναφορικά με το μπλοκ του ακατέργαστου υλικού που θα χρησιμοποιηθεί, μετά από κατάλληλη επιλογή και δοκιμές με διάφορα μπλοκ, κρίθηκε με διάφορα εργονομικότερος ένας κύλινδρος με λίγο μεγαλύτερες διαστάσεις από το τελικό προϊόν - για την αποφυγή περιττών κατεργασιών. Όπως θα αποδειχθεί και παρακάτω, για να γίνει μια σωστή κατεργασία στο κέντρο τόννευσης, απαραίτητο είναι να υπάρχει μια κεντρική οπή στον κύλινδρο λίγο μικρότερη από το τελικό σχέδιο. Εφόσον αναγκαστικά ξεκινάμε από το κέντρο τόννευσης, ήταν χρησιμότερο και πρακτικότερο να έχει γίνει από πριν μια αρκετά μεγάλη οπή. Αυτό ήταν πιο απλό, διαφορετικά, λόγω μεγέθους, περιέπλεκε πολύ το φασεολόγιο και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιούσαμε.

4.2.1 Κέντρο τόννευσης

Από τη λίστα προεπιλογών του προγράμματος επιλέξαμε ένα κέντρο με κοινά σύγχρονα χαρακτηριστικά, συμβατά με το μέγεθος του τελικού προϊόντος. Δεν μπήκαμε σε διαδικασία σμίκρυνσης, λόγω του ότι το προϊόν ήταν στα όρια παραγωγικότητας σε κοινά κέντρα. Επιπλέον, εάν θέλαμε στο μέλλον να παραχθεί η ζάντα σε μικρότερη κλίμακα, δεν θα υπήρχε προβληματισμός, αφού τα σύγχρονα προγράμματα προσαρμόζονται σχεδόν αυτόματα σε διαφοροποιήσεις μεγεθών. Αν θέλαμε, δηλαδή, να κατασκευάσουμε μια ζάντα σε ένα δικό μας κέντρο -που δέχεται μικρότερες διαστάσεις προς κατεργασία αντικειμένων- με την «προηγμένη τεχνητή νοημοσύνη» του προγράμματος, θα προσαρμοζόταν όλο το φασεολόγιο σε μια σμίκρυνση της ζάντας. Εδώ, πρέπει να αναφέρω, ότι η έκδοση του προγράμματος που χρησιμοποιήσαμε, δεν έχει ενημερωμένη βάση δεδομένων σε ειδικά στοιχεία των μηχανών (π.χ. διαστάσεις τράπεζας), πέρα από μια απλή μορφή Okumall, όπως αναφέρεται, αλλά χωρίς να δίνονται επιπλέον στοιχεία. Απλώς, σε αυτή την μορφή, διατίθεται ένας σχετικά καλός φάκελος simulation της εργαλειομηχανής, που, όμως, δεν ενδείκνυται για ένα αντικείμενο των δικών μας διαστάσεων. Για άλλη μια φορά, δηλαδή, το πρόγραμμα διαθέτει απίστευτες εκδοχές και δυνατότητες, που, όμως, περιορίζονται στα κέντρα κατεργασιών, και μάλιστα με εντυπωσιακά αποτελέσματα μέσω μια νέας εκδοχής imachining.

Έτσι κατέληξα στην επιλογή Okuma 25 lb eval με μια σχετική εμφάνιση όπως η φωτο 4.1.

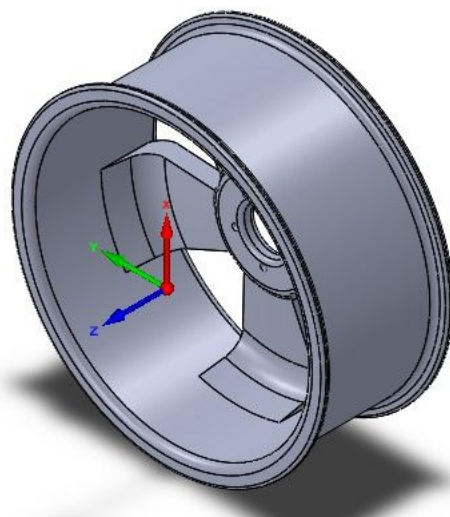


Εικόνα 4.1 Κέντρο τόνευσης Okuma

Ένα κέντρο τόνευσης δυο αξόνων με κεντροφορέα, με κεκλιμένη κλίνη, με εργαλειοφορείο για 12 θέσεις κοπτικών εργαλείων και εργαλεία φρέζας σε αυτόνομη κίνηση.

4.2.2 Επιλογή συντεταγμένων κατεργασιών.

Επιλέξαμε την πίσω όψη του τελικού προϊόντος και πήραμε τον z σαν κεντρικό άξονα τόννευσης. Ξεκινήσαμε τις κατεργασίες από την πίσω όψη, ώστε αφού τα φρεζαρίσματα στο άλλο κέντρο κατεργασιών θα γίνουν στο δεύτερο στάδιο, η εμπρόσθια όψη να πηγαίνει σε δεύτερο χρόνο.

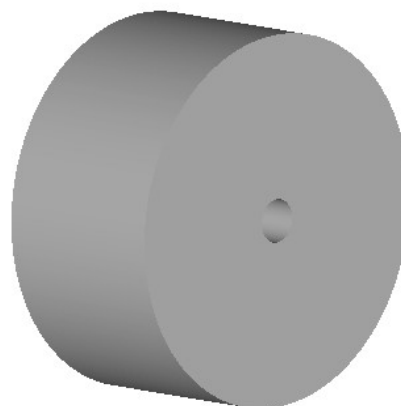


Εικόνα 4.2 Συντεταγμένες κατεργασίας

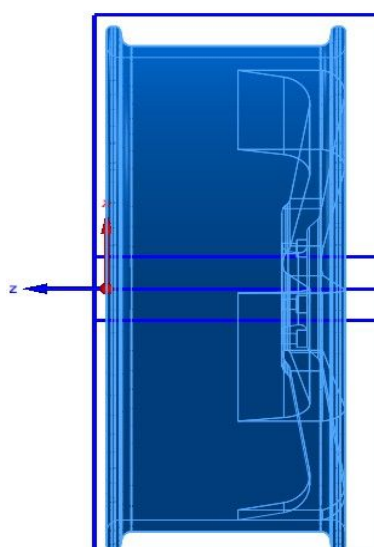
4.2.3 Επιλογή αρχικού μπλοκ υλικού.

Όπως προαναφέραμε, επιλέξαμε ένα μασίφ κύλινδρο με προδιανοιγμένη οπή, όπως εξηγήσαμε, και με μεγαλύτερα εύλογα μεγέθη υλικού σε όλες τις διαστάσεις, ώστε να γίνουν διαμορφώσεις χωρίς μεγάλη αποβολή αρχικού υλικού.

Το μόνο που διαφοροποιήθηκε είναι ότι εφόσον ξεκινάμε από την πίσω όψη της ζάντας, και θα έχουμε και διαμόρφωση στο εσωτερικό του δίσκου όσο και στην εξωτερική διάμετρο του κυλίνδρου - πρέπει να έχουμε περισσότερο αρχικό υλικό στη μια πλευρά του εμπρόσθιου δίσκου, ώστε να έχουμε και καλύτερα κρατήματα από τα τσόκ συγκράτησης. Έτσι, πέρα από την συγκράτηση, θα μπορούσαμε να εκτελέσουμε κατά μήκος κατεργασίες στην εξωτερική διάμετρο, που να φτάνουν όσο το δυνατό πιο κοντά στην εμπρόσθια κάθετη όψη, ώστε σε δύο μόνο μονταρίσματα να έχουν γίνει οι κατεργασίες του τελικού προϊόντος.



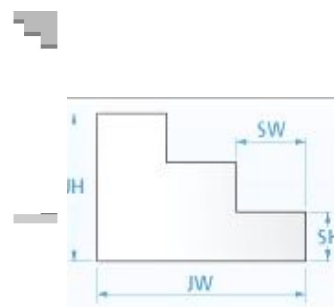
Εικόνα 4.3 Αρχικό μπλόκ



Εικόνα 4.4 Αρχικό-τελικό προϊόν

4.2.4 Τρόπος συγκράτησης, τσόκ.

Λόγω της μεγάλης διάστασης του κυλίνδρου και το ότι η διάμετρος είναι σχεδόν διπλάσια από το πλάτος (όπως και ότι θα γίνουν κατεργασίες τόσο στο εσωτερικό, όσο και στο εξωτερικό του αρχικού μπλοκ), ο ενδεικτικός τρόπος συγκράτησης του αρχικού κυλίνδρου είναι αυτός που κρατάει το τεμάχιο με μορφή κλίμακας και το συγκρατεί τόσο στον x όσο και στον y άξονα.



Εικόνα 4.4 Τσόκ

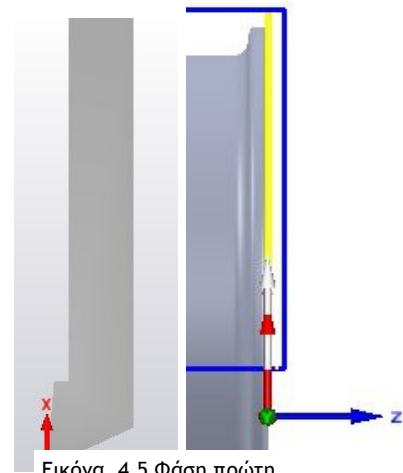
Αφού προσδιορίσαμε διάφορα αλλά στοιχεία που θα αναφερθούν αναλυτικά παρακάτω σε κάθε φάση της κατεργασίας, εισάγαμε λεπτομέρειες όπως ο τελικός στόχος (αυτόματα, δηλαδή, αναγνωρίστηκε το τελικό προϊόν), καθώς και λεπτομέρειες για τον τρόπο που θέλουμε το αρχείο αποθήκευσης να ανανεώνεται, όπως και τη μορφή και τις λεπτομέρειες του G code που θα εξάγουμε.

Από εδώ και πέρα ξεκίνα το φασεολόγιο. Σε κάθε δική μας ενέργεια, το πρόγραμμα θα ανανεώνει αυτόματα τα αρχεία, θα τα εμπλουτίζει με γεωμετρίες και διαδρομές, οι οποίες θα αναπροσαρμόζονται σε κάθε μας επιλογή που επηρεάζει τις επόμενες ή τις προηγούμενες ενέργειες.

4.3 Φασεολόγιο κατεργασιών τόννευσης

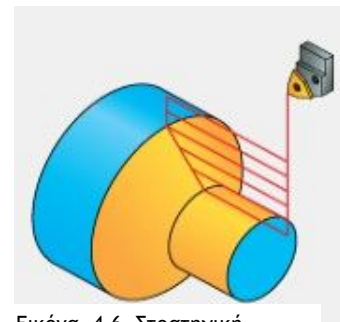
4.3.1 Φάση πρώτη - Εξωτερική διαμήκης μετωπική τόννευση

Στην πρώτη φάση στο κέντρο τόννευσης, από την πίσω μεριά του μπλόκ αφαιρούμε το πρόσθετο υλικό, μέχρι να φθάσουμε πρόσωπο στο τελικό προϊόν. Έτσι, από τις προεπιλογές, χρησιμοποιούμε την στρατηγική της εξωτερικής τραχιάς τόννευσης, με ένα εργαλείο διαμήκους εκχόνδρισης από τον διαθέσιμο πίνακα εργαλείων, το οποίο είναι και ενδεδειγμένο για αυτό το σκοπό. Λόγω του μεγάλου προσώπου, από τα ήδη διαμορφωμένα σενάρια επέλεξα το long external και όχι το face που προδιαθέτει μεγάλες διαδρομές του εργαλειοδέτη.

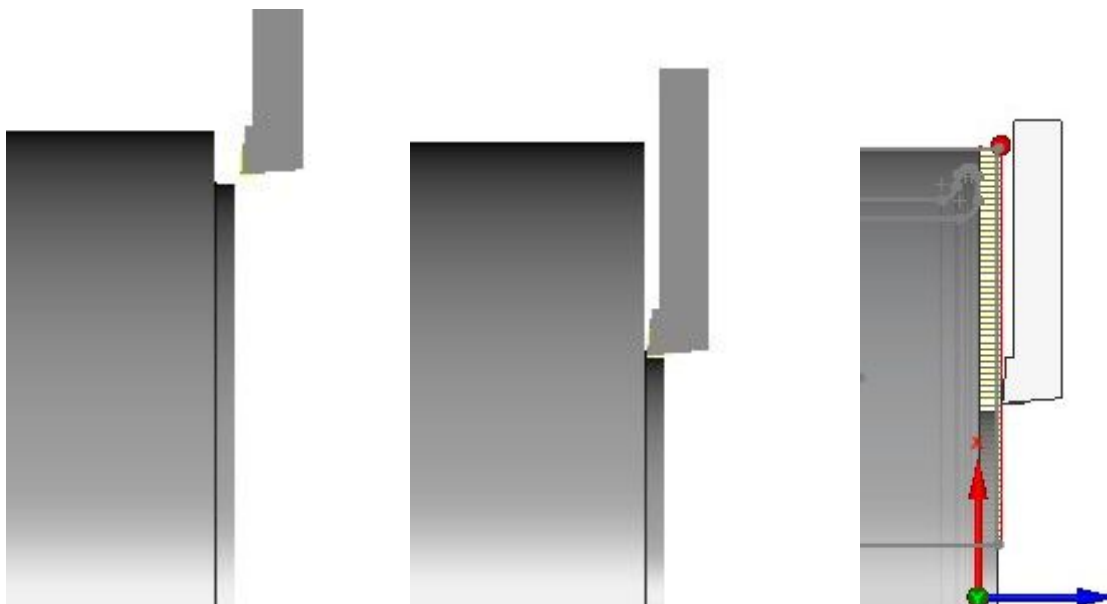


Εικόνα 4.5 Φάση πρώτη εργαλείο-γεωμετρία

Έτσι, αφού επιλέχτηκε η γεωμετρία της κατεργασίας από το κέντρο του κυλίνδρου (εικόνα 4.5), το εργαλείο με μικρές κινήσεις αποκοπής, καθάρισε την εμπρός επιφάνεια. Έπειτα, με μικρούς επαναλαμβανόμενους βηματισμούς μιας διαδρομής, κόβει, οπισθοχωρεί και ξανακόβει. Τα πάσα και ο αριθμός θα προσδιορισθούν στις συνθήκες κοπής. Αυτή η διαμήκης πρόωση, επιλέχθηκε ώστε να συγκριθεί με μια ίδια, που είναι εγκάρσια και υπάρχει στο δεύτερο μέρος. Η κατάλληλη επιλογή για αυτές τις εργασίες εκχόνδρισης, είναι ένα ρομβοειδές πλακίδιο με κατάλληλο στέλεχος ως προς τη γεωμετρία κοπής.



Εικόνα 4.6 Στρατηγική



Εικόνα 4.7 Τρεις στιγμές προσομοίωσης φάσης 1

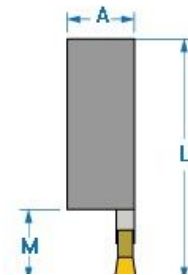
4.3.2 Φάση δεύτερη - Εξωτερική εγκάρσια και διαμήκης τόννευση αποκοπής.

Σε αυτή τη φάση διαμορφώνουμε την καθαρή εσωτερική, ορθογώνια αυλάκωση, χωρίς τα κοίλα μέρη της στεφάνης. Έτσι, περνάμε σε μια προεπιλεγμένη



στρατηγική εξωτερικής αυλάκωσης, με τραχιά μέθοδο. Διαλέγουμε μια γεωμετρία που να οριοθετεί το καθαρό μέρος της τελικής αυλάκωσης και προσδιορίζουμε την κίνηση του εργαλείου. Από τα επιλεγόμενα εργαλεία, διαλέγουμε ένα για κάθετη αυλάκωση με ένα μεγάλο πλακίδιο τετραγωνικής διατομής. Λόγω των δύο ακραίων ορίων του υλικού στη γεωμετρία που είναι σε αρκετό ύψος, για καλύτερη απόδοση επιλέγουμε από τον οδηγό long external grooving να κόβουμε με συνεχή βήματα σε σειρές από μεριά σε μεριά και επιστροφή, ώστε να έχουμε μια συνεχή διαπέραση του εργαλείου σε επαναλαμβανόμενες ενέργειες. Οποιαδήποτε άλλη (π.χ. ζικκ ζαγκ) θα είχε ως αποτέλεσμα τη σύγκρουση του εργαλείου λόγω μεγέθους και σχήματος. Αλλάζουμε το lead in και το lead out σε μια υπό γωνιά καμπύλη, ώστε να μην έχουμε σύγκρουση με τις ορθές γωνίες που απομένουν. Σε αυτή τη φάση, η επιλογή του grooving-turning κρίθηκε αποτελεσματικότερη και καταλληλότερη (παρότι βίαιη και χρονοβόρα), σε αντίθεση με άλλες επιλογές που θα ήθελαν 3 φάσεις επιπλέον και που εδώ, με τα συγκεκριμένα εργαλεία και εργαλειομηχανή, δεν θα ήταν αποτελεσματικά. Λόγω αισθητικής, στο τέλος εκτελούμε μια iso αποπεράτωση.

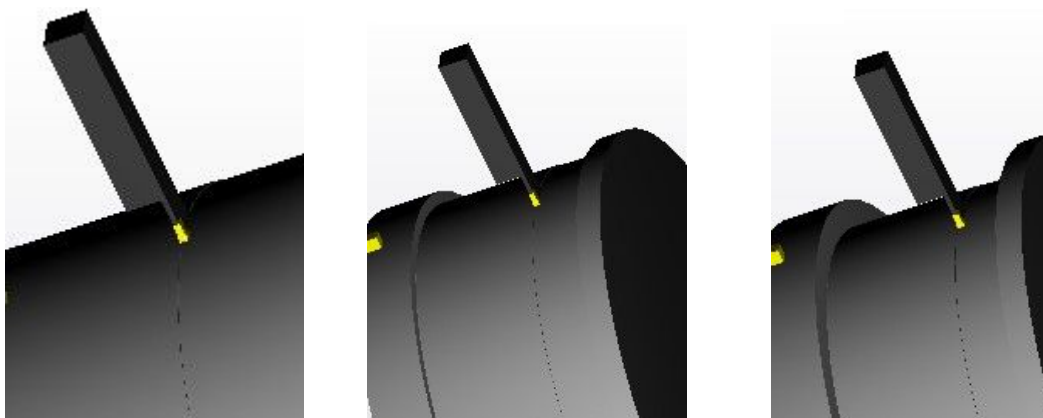
Εικόνα 4.9 Φάση 2 Γεωμετρία



Εικόνα 4.8 Φάση 2 εργαλείο



Εικόνα 4.10 Φάση 2 στρατηγικές

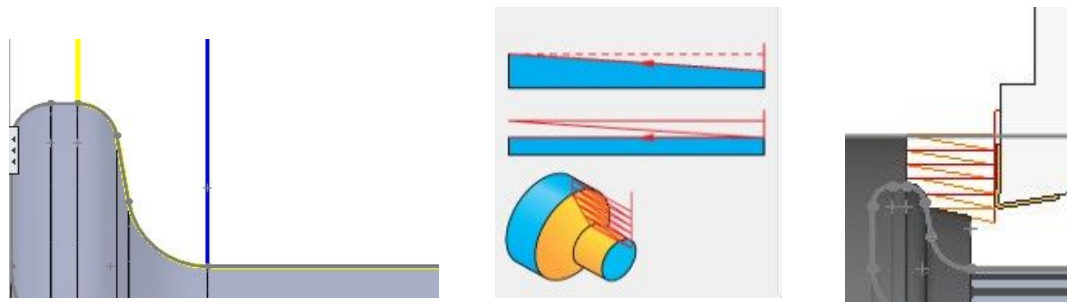
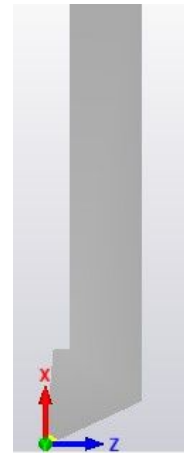


Εικόνα 4.11 Φάση 2 τρεις στιγμές προσομοίωσης

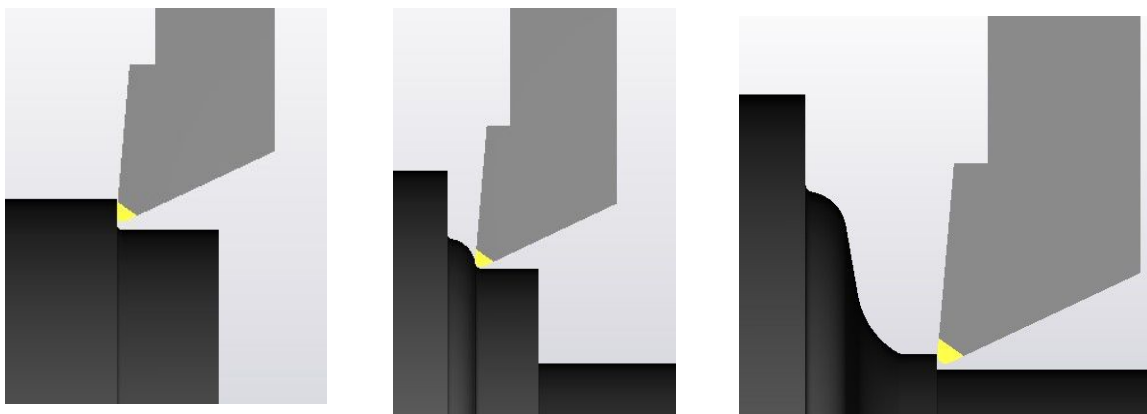
4.3.3 Φάση Τρίτη - Εξωτερική διαμήκης τόννευση.

Στην παρούσα φάση, με κατεργασία αξονικής και ακτινικής τόννευσης με ένα πλακίδιο ρόμβου 80, καθώς και επειδή ταιριάζει στη γεωμετρία μιάς και οι καμπύλες είναι αρκετά ανοιχτές - επιλέγουμε την κατάλληλη φορά εισόδου και γεωμετρία κοπής, όπως στο σχήμα 4.12. Και πάλι, επιλέγουμε την έτοιμη στρατηγική εξωτερικής εκκόνδρισης. Επειδή το εργαλείο θα ξεκινήσει πάλι από την οροφή, με βήματα προς τα κάτω σε οριζόντιες σειρές επιλέγουμε την πιο αποτελεσματική κίνηση τροχιάς ramping. Κατεβαίνουμε, δηλαδή, ισομήκη αλλά σε κεκλιμένες επιστροφές που συνάδει καλύτερα στην τροχιά που θέλουμε και ταιριάζει στη γεωμετρία της κοπής. Λόγω του εργαλείου που έχουμε στη διάθεση μας, ξεκινάμε με τη μία πλευρά αλλά και από την κατεύθυνση που βολεύει, ώστε αργότερα, στην επόμενη τόννευση, το εργαλείο να έχει μεγαλύτερο χώρο. Στο τέλος, εκτελούμε μια αποπεράτωση iso για καλύτερη εμφάνιση.

Εικόνα 4.12 Φάση 3 εργαλείο



Εικόνα 4.13 Φάση 3 Γεωμετρία στρατηγικές

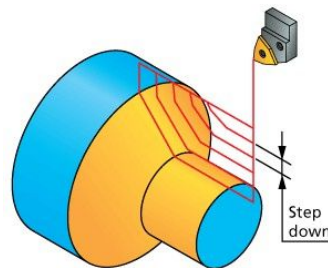
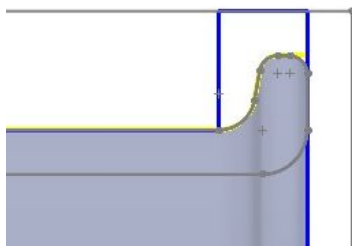
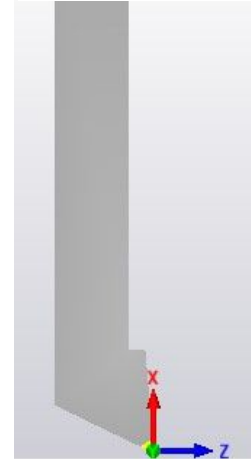


Εικόνα 4.14 Φάση 3 Τρεις διαδοχικές στιγμές κατεργασίας

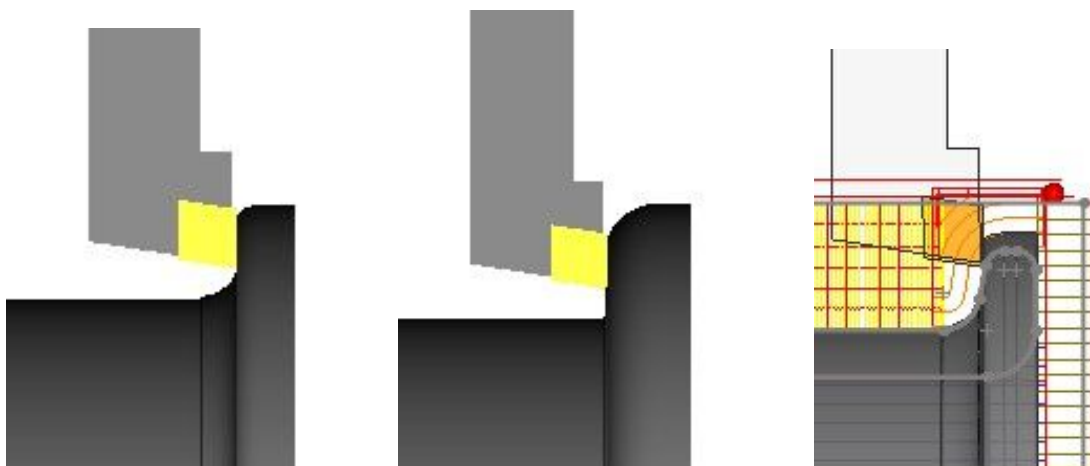
4.3.4 Φάση Τέταρτη - Εξωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση μορφής.

Εκτελώντας εδώ μία κατεργασία αξονικής και ακτινικής τόννευσης μορφής με ένα εργαλείο με πλακίδιο ρομβοειδές 80 -επειδή οι καμπύλες είναι αρκετά ευρείες-, επιλέγουμε την κατάλληλη φορά εισόδου και γεωμετρία κοπής όπως στο σχήμα 4.15. Μέσα από προεπιλεγμένη στρατηγική, άρα και τιμές offset, γωνίες αποβολής υλικού, κ.ο.κ. Εδώ επιλέγουμε την κατεργασία μορφής, ώστε να συγκριθεί άμεσα με την ταυτόσημη προηγούμενη. Όσον αφορά στην μορφή, αφαιρούμε την αποπεράτωση πού, έτσι κι αλλιώς, είναι σαν να έχει ήδη γίνει. Η γεωμετρία βοηθάει στο να χρησιμοποιήσουμε επάλληλα πάσα συμφώνα με την γεωμετρία της κοπής. Ουσιαστικά, δηλαδή, προηγουμένως είχαμε μια κατεργασία διαμήκη που στο τέλος λόγω της αποπεράτωσης, γινόταν εγκάρσια και διαμήκης, ενώ εδώ, είναι από την αρχή έτσι, αλλά αφαιρείται η αποπεράτωση. Σε αυτή τη φάση, που δεν υπάρχουν τεράστιες διαφορές από την στρατηγική της τρίτης φάσης, ίσως προτιμάται η δεύτερη λόγω οικονομίας χρόνου.

Εικόνα 4. 14 Φάση 4 εργαλείο



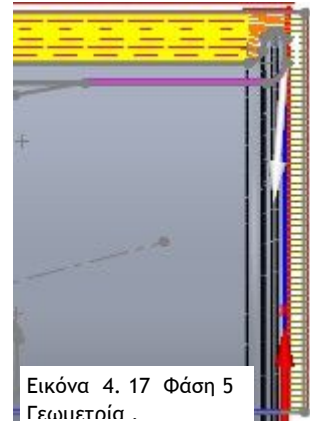
Εικόνα 4. 15 Φάση 4 Γεωμετρία ,στρατηγική



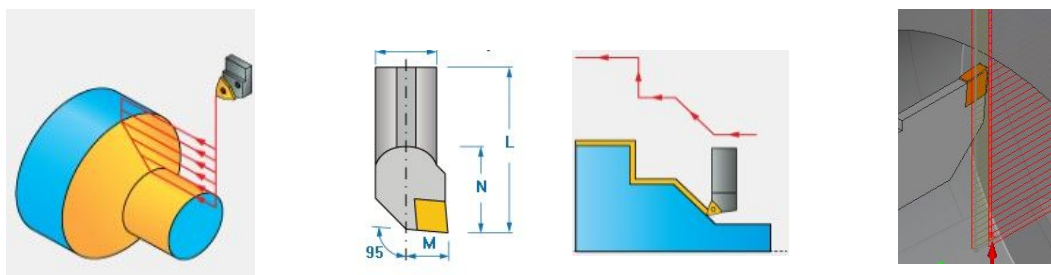
Εικόνα 4. 16 Φάση 4 Τρεις διαδοχικές στιγμές

4.3.5 Φάση Πέμπτη - Εσωτερική διαμήκης τόννευση.

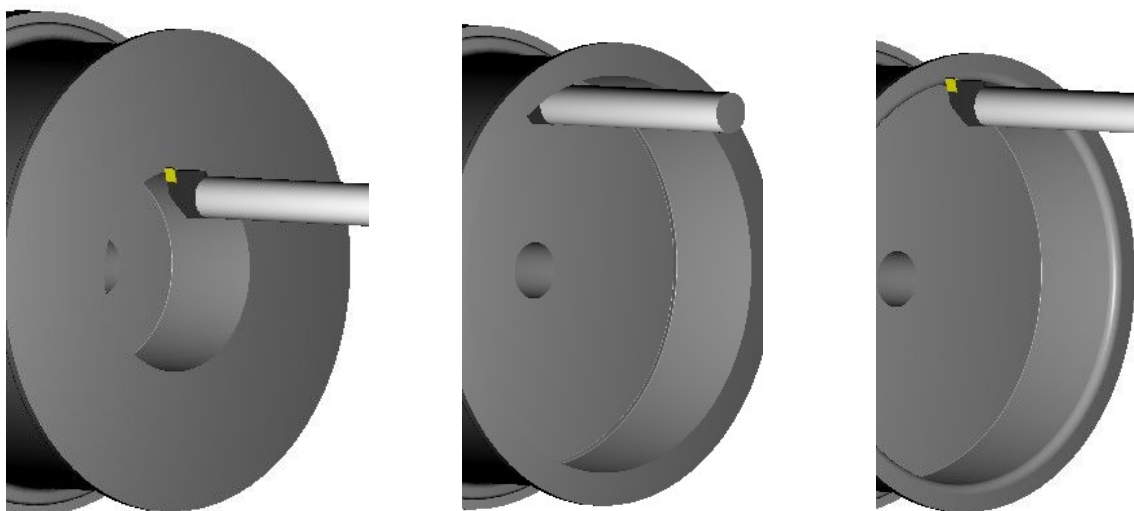
Σε αυτή την φάση θα δημιουργήσουμε την κεντρική εσοχή στην ζάντα με όριο τον εσωτερικό χώρο του χείλους της ζάντας. Χρησιμοποιούμε ένα εργαλείο εσωτερικής διαμήκης τόννευσης κατάλληλο για μεγάλα εσωτερικά μήκη. Εδώ, λόγω της εσωτερικής εκκόνδρισης, δίνουμε εντολή να εισάγεται και να εξάγεται το εργαλείο μόνο στον άξονα z, και, λόγω της φύσης της γεωμετρίας, με σταθερά βήματα συνεχούς μορφής. Άρα, μιλάμε ουσιαστικά για μια τραχιά εφαρμογή εργαλείου εσωτερικής αποκοπής υλικού. Είναι μία στρατηγική εσωτερικής τραχιάς διαμήκους τόννευσης, σε επαναληπτικές σειρές και είσοδο-έξοδο μόνο από z. Τέλος, επειδή έχουμε και ένα μέρος με εξωτερική όψη, εκτελούμε ένα πέρασμα τελειώματος για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα. Στο σύνολο χρησιμοποιούμε ένα πλακίδιο ρόμβου 80 αλλά με κατάλληλο στέλεχος. Είσοδος από την οπή προς τα πάνω.



Εικόνα 4.17 Φάση 5 Γεωμετρία .



Εικόνα 4.18 Φάση 5 Στρατηγική εργαλείο

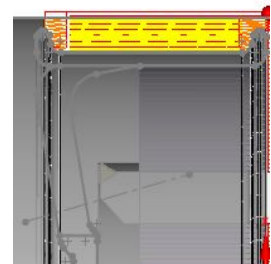
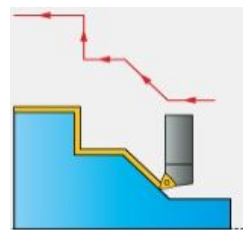
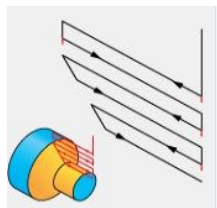
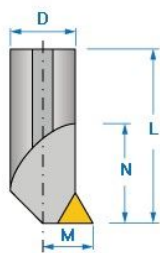
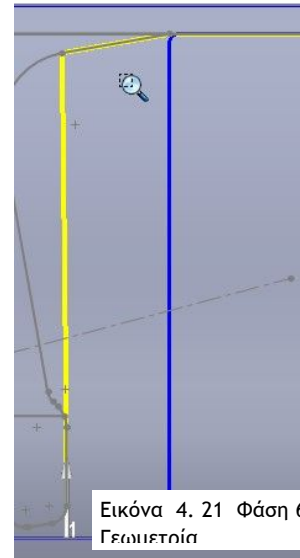


Εικόνα 4.19 Φάση 5 Διαδοχικές στιγμές

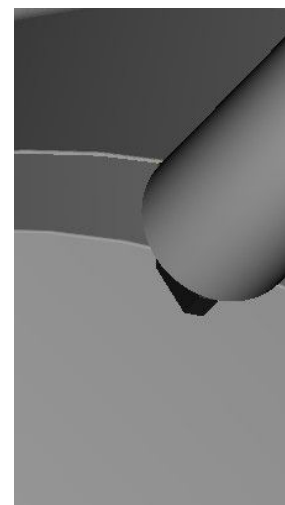
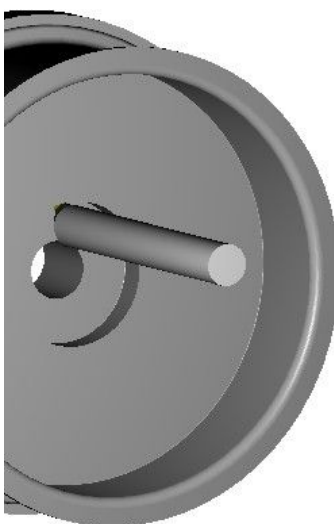
4.3.6 Φάση έκτη

Εσωτερική διαμήκης και εγκάρσια τórνευση.

Τώρα που έχει αφαιρεθεί το μεγαλύτερο μέρος, του εσωτερικού της ζάντας και μπαίνουμε σε γεωμετρίες με κοιλότητες, συνεχίζουμε με βαθιά εσωτερική τórνευση. Με ένα εργαλείο εσωτερικής τórνευσης θα φάμε το κομμάτι στο οποίο γίνεται ο πρώτος σχηματισμός του νεύρου της ζάντας. Με την προεπιλογή βαθιάς εσωτερικής κατεργασίας -πάλι με συνεχή βηματισμό σε σειρές, αλλά και με αποπεράτωση ώστε να σχηματισθεί τέλεια το πάνω μέρος. Εδώ, μεγάλη διαφοροποίηση προσφέρει το τριγωνικό πλακίδιο και το στέλεχος, που βοηθούν ώστε να μπω από το διάκενο και να κόβω μέχρι να διαμορφωθεί το πλάγιο μέρος. Τέλος, εκτελώ (λόγω του τριγωνικού πλακιδίου) κοπή σε διαδρομή ζιγκ ζαγκ για καλύτερους χρόνους .



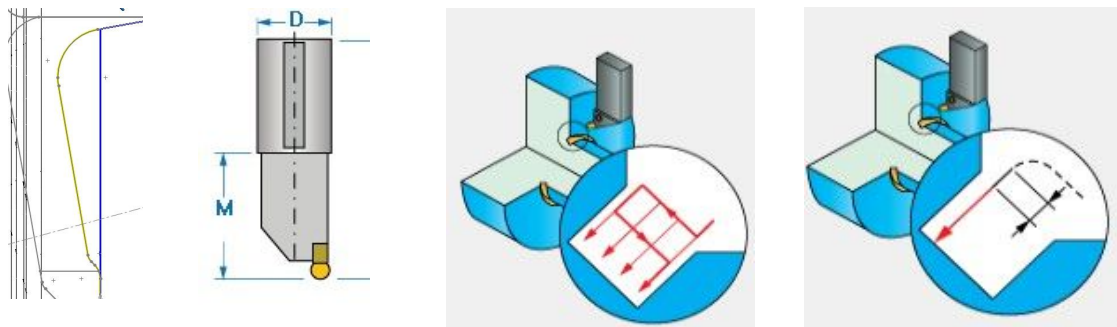
Εικόνα 4. 20 Φάση 6 Εργαλείο Στρατηγική



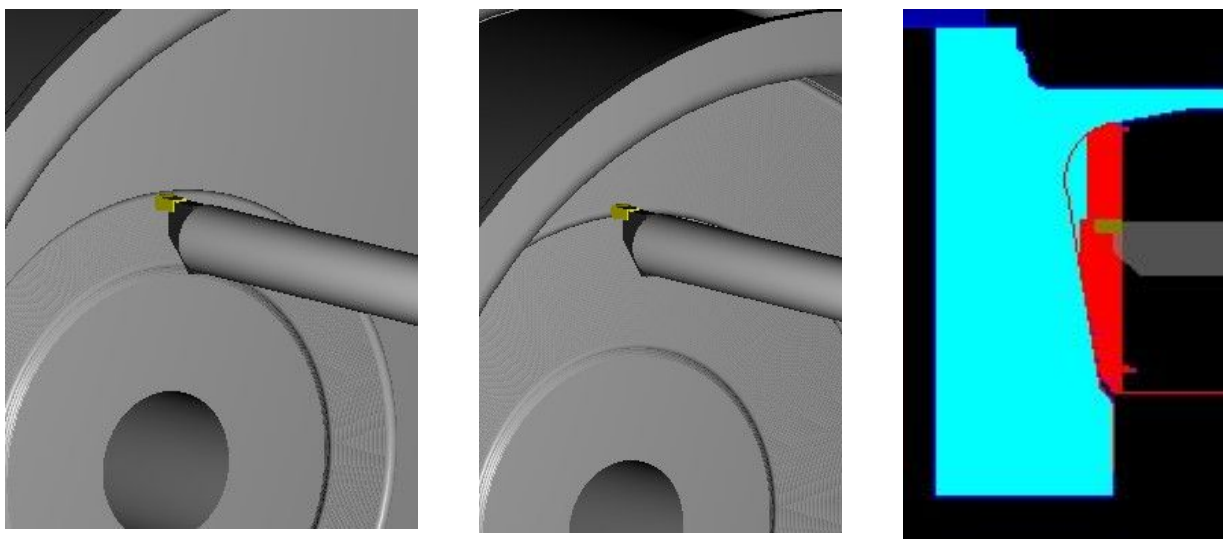
Εικόνα 4. 22 Φάση 6 Τρεις διαδοχικές στιγμές

4.3.7 Φάση έβδομη - Εσωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση αποκοπής.

Αυτή είναι πιθανότατα και η πιο δύσκολη κατεργασία, γιατί είναι αρκετά βαθιά μέσα στο εσωτερικό, έχει αρκετούς περιορισμούς λόγω της γεωμετρίας σε όρια υλικού, καθώς και στις κινήσεις τόσο σε αξονική όσο και σε ακτινική τόννευση, για τη δημιουργία κοιλότητας. Έτσι, αφού προσδιορίσαμε τη γεωμετρία της κατεργασίας, επιλέξαμε ένα εργαλείο εσωτερικής τόννευσης αυλακώσεων με κυκλική διατομή πλακιδίου και αρκετό μήκος. Επιλέξαμε την διαθέσιμη στρατηγική εσωτερικής αυλάκωσης υπό γωνία και σε βάθος, με είσοδο και έξοδο στον z (σε μορφή μικρού τόξου που προσδιορίσαμε, ώστε να μην έχουμε κάποια σύγκρουση). Επίσης, λόγω της κεντρικής κατάληξης της γεωμετρίας, επιλέξαμε τροχιά σε μικρές σειρές αλλά με ζιγκ ζαγκ ροή, ώστε να καταλήξουμε με περιορισμό κινήσεων ή, καλύτερα, οικονομία κινήσεων στην τελική κοιλότητα. Ουσιαστικά, η τροχιά θα καταλήξει μέσα από μια πυραμίδα ζιγκ ζαγκ στο βαθύτερο σημείο. Λόγω του στρογγυλού εργαλείου, έχουμε και καλή αποπεράτωση. Επιπλέον, γλιτώνουμε τουλάχιστον 2-3 φάσεις από τη χρήση άλλων κλασικών εργαλείων τόννευσης. Τέλος, κρίθηκε απαραίτητη μια καλή αποπεράτωση λόγω των προηγούμενων αυλακώσεων.



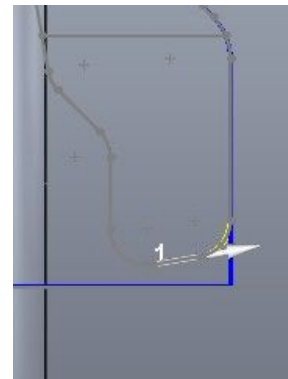
Εικόνα 4. 23 Φάση 7 Γεωμετρία - εργαλείο -στρατηγική



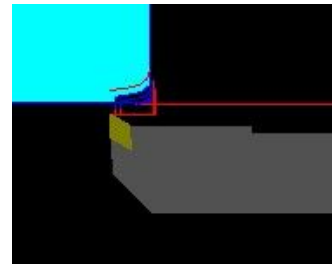
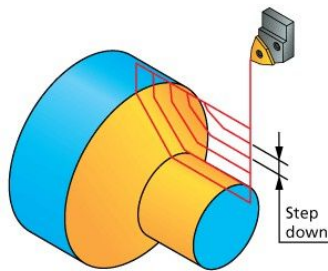
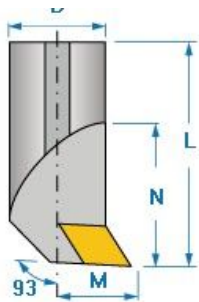
Εικόνα 4. 24 Τρεις διαδοχικές φάσεις

4.3.8 Φάση όγδοη - Εσωτερική εγκάρσια και διαμήκη τórνευση.

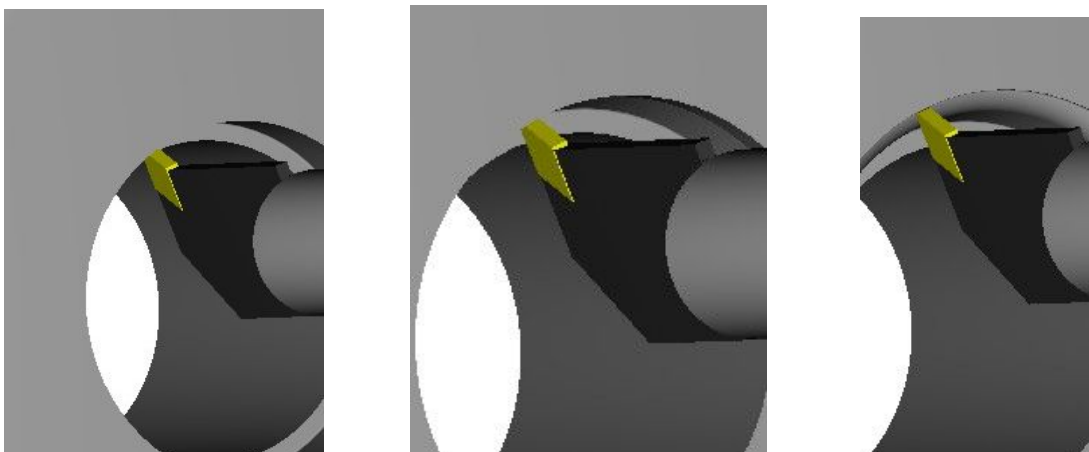
Με ένα εργαλείο εσωτερικής τórνευσης μορφής, θα κόψουμε το κομμάτι ώστε να σχηματιστεί μια εσωτερική κοιλότητα της πλήμνης. Με την προεπιλογή βαθιάς εσωτερικής κατεργασίας αλλά με στρατηγική μορφής, κόβουμε σε πάσα με διαμήκη και εγκάρσια κίνηση, το στρογγυλό αυτό κομμάτι. Εδώ, το πιο χρήσιμο είναι ένα πλακίδιο ρόμβου 55 με το κατάλληλο στέλεχος, ώστε να προσεγγίσει το σημείο με ακρίβεια. Εκτελούνται απλές κινήσεις χωρίς την ανάγκη αποπεράτωσης. Κατάλληλα βάθη και υλικά πλακιδίων θα επεξεργασθούν παρακάτω, στο κεφάλαιο «Συνθήκες Κοπής». Εκτελείται προσεκτική είσοδος και έξοδος και ροή προς μια κατεύθυνση, λόγω γεωμετρίας.



Εικόνα 4. 25 Φάση 8 Γεωμετρία



Εικόνα 4. 26 Φάση 8 εργαλείο -στρατηγική

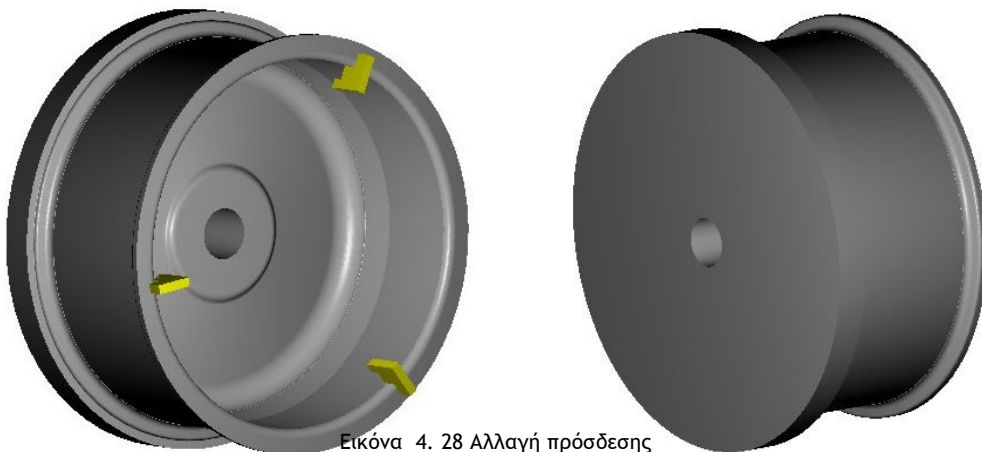


Εικόνα 4. 27 Φάση 8 Τρεις διαδοχικές στιγμές

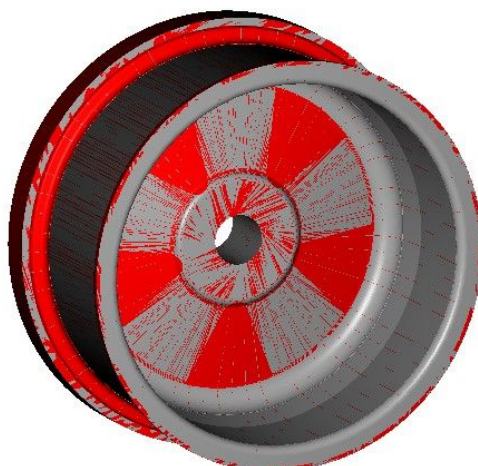
4.4 Αλλαγή πλευράς κατεργασιών ζάντας.

Όπως εξηγήθηκε και στην εισαγωγή, το πρόγραμμα έχει κάποιους περιορισμούς στη στρατηγική κατεργασιών τόννευσης, με αποτέλεσμα τον τελικό τρόπο ροής εργασιών όπως περιγράφηκε. Αφού τελειώσαμε με τις προηγούμενες κατεργασίες τόννευσης από τη μία πλευρά, ξαναμοντάρουμε τη μηχανή μέσω εντολής. Το ήδη ημικατεργασμένο αντικείμενο αλλάζει πλευρά τόννευσης και τρόπο συγκράτησης τσοκ, κι έπειτα ρυθμίζουμε όλα τα επιμέρους στοιχεία στα νέα δεδομένα (ταχύτητες, άξονες, φορά κ.α). Το μόνο που δεν μπορούμε να αλλάξουμε είναι το σύστημα συντεταγμένων όλου του φασεολογίου που είναι κοινό από την προηγούμενη μεριά. Τα τσοκ, στο νέο στάδιο τόννευσης, συγκρατούν το τύμπανο εσωτερικά, αξονικά και ακτινικά.

Από την εντολή rest material, βλέπουμε ότι μέχρι στιγμής, έχουμε προσεγγίσει σε πολύ καλό βαθμό το τελικό προϊόν. Αν δεν είναι ακριβής, ίσως οφείλεται στον συντελεστή ανοχών που χρησιμοποιήσαμε σε κατεργασίες εκκόνδρισης, ίσως λόγω εργαλείων ακατάλληλων για ακριβές φινίρισμα, λόγω της επιλογής να μην κάνουμε semi finish στις πιο πολλές φάσεις, ή πιθανότατα, με το να εμπιστευόμαστε απόλυτα τους αλγόριθμους στις προεπιλογές τραχιές κατεργασίας. Η λύση θα ήταν επιπλέον τσενεύσεις αποπεράτωσης σε όλες τις γεωμετρίες που μας ενδιαφέρουν.



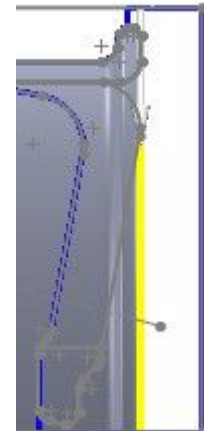
Εικόνα 4. 28 Αλλαγή πρόσδεσης



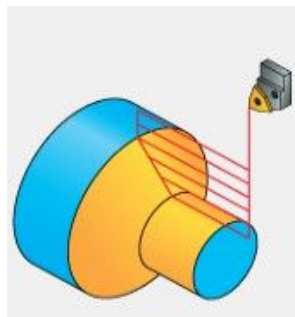
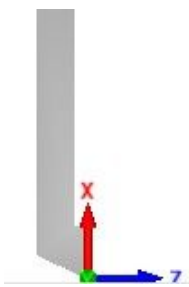
Εικόνα 4. 29 Υπόλοιπο υλικό

4.4.1 Φάση Ένατη - Εξωτερική εγκάρσια μετωπική τόννευση.

Σε αυτή τη φάση αφαιρούμε το επιπλέον υλικό του στοκ, προτού φτάσουμε στην πρώτη κάθετη επιφάνεια της ζάντας. Πάλι με τόννευση εκκόνδρισης, αλλά με διαφορετική μέθοδο από την πρώτη, δηλαδή με το ίδιο εργαλείο εκκόνδρισης, αλλά κόβοντας κατά ακτίνα και όχι κατά άξονα όπως προηγουμένως. Χωρίς κατεργασία αποπεράτωσης -αφού πρόκειται για αφαίρεση υλικού στοκ- με ένα συνεχές πέρασμα ανα πάσο, χωρίς διακοπές. Το εργαλείο αφαιρεί κάθε φορά και ένα κομμάτι από το εξωτερικό μέρος, κόβοντας προς μια κατεύθυνση, επαναλαμβανόμενα (προεπιλεγμένη αρχική στρατηγική για εκκόνδριση προσώπου). Πάλι χρησιμοποιούμε ένα δυνατό ρόμβο 80 μοιρών και ένα στέλεχος κατάλληλο για εγκάρσια τόννευση.



Εικόνα 4. 30 Φάση ένατη- Γεωμετρία



Εικόνα 4. 31 Φάση ένατη- Εργαλείο στρατηγική



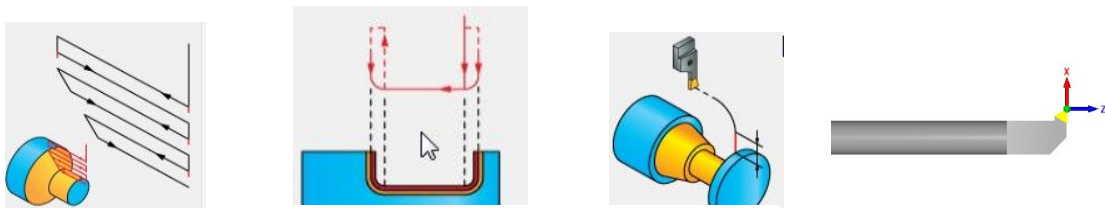
Εικόνα 4. 32 Φάση ένατη- Τρεις στιγμές

4.4.2 Φάση Δέκατη - Εσωτερική διαμήκη και εγκάρσια τórνευση μορφής.

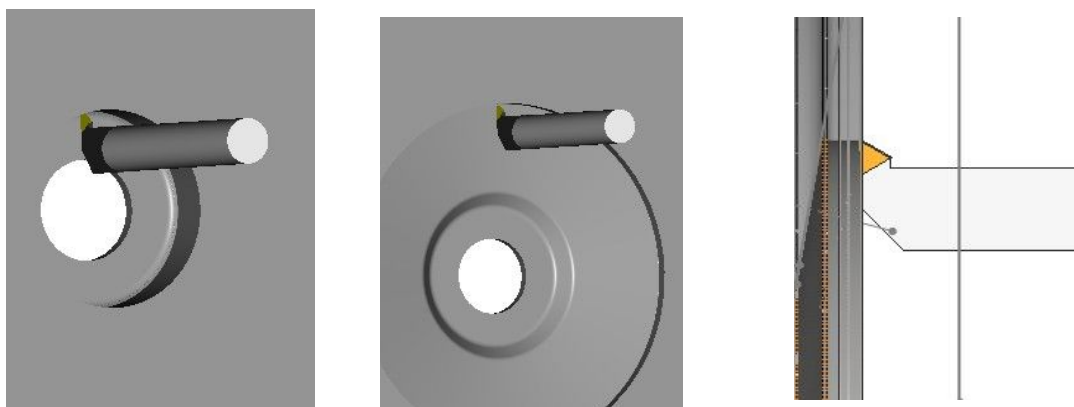
Σε αυτή την φάση, μετά από δοκιμές κατέληξα ότι μπορούν να γίνουν συνολικά ξεθυμάσματα σε αυτήν την ιδιαίτερη γεωμετρία, χρησιμοποιώντας το τριγωνικό πλακίδιο για αξονική και ακτινική τórνευση. Η γεωμετρία είναι περίπλοκη, αλλά θα εκμεταλλευτούμε το διάκενο της οπής ώστε το εργαλείο να αρχίσει να κόβει από εκεί. Έτσι, βασιζόμενοι στις προεπιλογές τórνευσης -τραχιάς εσωτερικής-, εφαρμόζουμε μια τροχιά με ισομήκη βηματισμό, συνεχή από πλευρά εφαρμογής σε πλευρά εφαρμογής. Επειδή, όμως, υπάρχουν αρκετά κοίλα κομμάτια, για καλύτερο αποτέλεσμα εφαρμόζεται και το ημιτελείωμα και το τελείωμα αποπεράτωσης, με μια μέθοδο έξυπνου περάσματος ιδανικό για κοίλα μέρη, όπως στο σχήμα 4.33: ημιαποπεράτωση και αποπεράτωση σε εγκάρσια και διαμήκη τórνευση. Το εργαλείο εισέρχεται μόνο από τον Z άξονα προς αποφυγή συγκρούσεων. Ουσιαστικά, κόβουμε με έξυπνο, ακριβή και οικονομικό τρόπο, σαρώνοντας τη γεωμετρία προς το βάθος. Επιλέγουμε ένα τριγωνικό πλακίδιο γιατί έχει όλα αυτά τα προσόντα να κάνει τórνευση, τόσο εκκόνδρισης όσο και μορφής, και το κατάλληλο στέλεχος ώστε να προσεγγίσουμε ιδανικά. Εκτελούμε κοπή σε διαδρομή ζιγκ ζαγκ, εκμεταλλευόμενοι το τριγωνικό πλακίδιο και την κατευθυνση κοπής, γλιτώνοντας παραγωγικό χρόνο.



Εικόνα 4. 35 Φάση δέκατη- Γεωμετρία



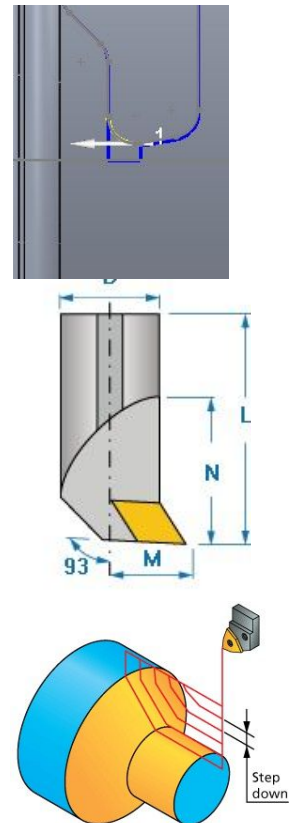
Εικόνα 4. 33 Φάση δέκατη- Εργαλείο στρατηγική



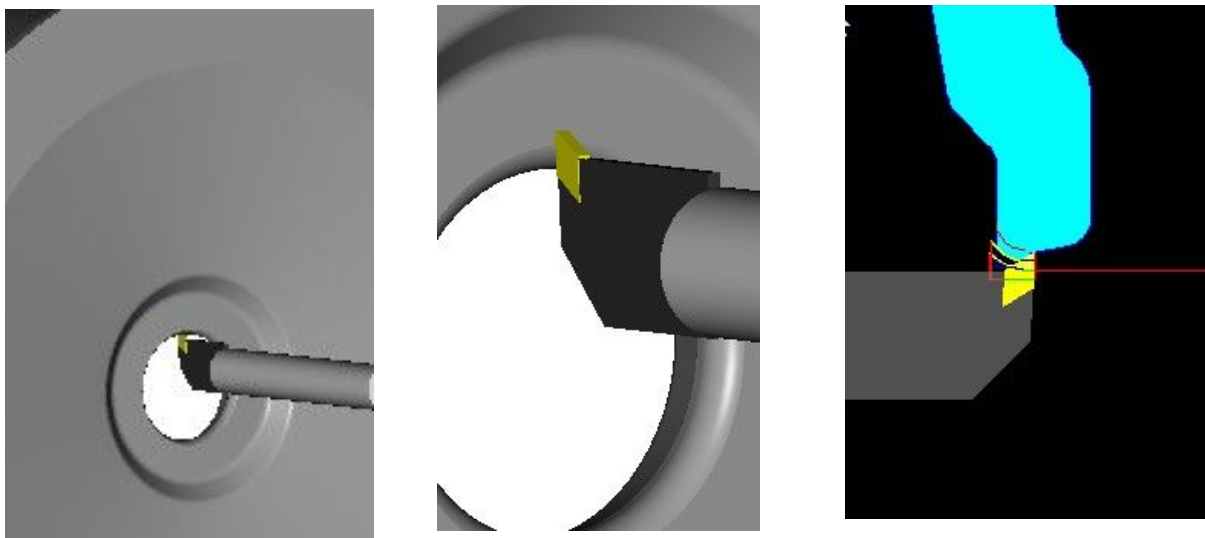
Εικόνα 4. 34 Φάση δέκατη- Τρεις στιγμές

4.4.3 Φάση Ενδέκατη - Εσωτερική διαμήκης και εγκάρσια τórνευση μορφής.

Με ένα εργαλείο εσωτερικής τórνευσης μορφής θα «φάμε» το κομμάτι που σχηματίζει μια εσωτερική κοιλότητα στην πλήμνη. Με την προεπιλογή βαθιάς εσωτερικής κατεργασίας αλλά και με προεπιλογή μορφής, κόβουμε σε ομοιότυπα πάσα με διαμήκη και εγκάρσια κίνηση το στρογγυλό αυτό κομμάτι. Εδώ, το πιο χρήσιμο είναι ένα πλακίδιο ρόμβου 55 με το κατάλληλο στέλεχος, ώστε να προσεγγιστεί το σημείο κατάλληλα. Γίνονται απλές κινήσεις, χωρίς την ανάγκη αποπεράτωσης. Τα κατάλληλα βάθη και υλικά πλακιδίων θα επεξεργασθούν παρακάτω στο κεφάλαιο «Συνθήκες Κοπής» . Γίνεται προσεκτική είσοδος και έξοδος, με ροή σε μια κατεύθυνση λόγω γεωμετρίας. Εδώ, είναι μια φάση που έχει γίνει και από την άλλη πλευρά και θα μπορούσε να αποφθεχθεί με ένα εργαλείο «μπακ φεις» που όμως δεν διατίθεται (στη συγκεκριμένη έκδοση) σε σύνθετα εργαλεία. Και εδώ, ορίζουμε με ιδιαίτερη προσοχή την είσοδο και έξοδο του εργαλείου, ώστε να βρεθεί όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά κοντά στη γεωμετρία της κατεργασίας.



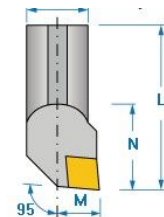
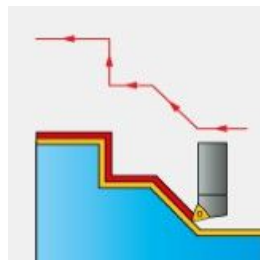
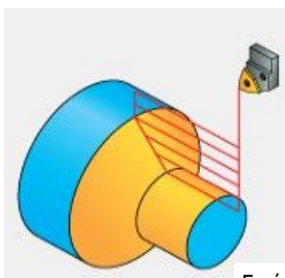
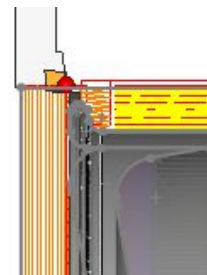
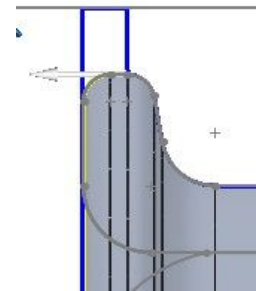
Εικόνα 4. 37 Φάση Ενδέκατη
Γεωμετρία εργαλείο
στρατηγική



Εικόνα 4. 36 Φάση Ενδέκατη- Τρείς στιγμές

4.4.4 Φάση Δωδέκατη -Εξωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση μορφής.

Σε αυτή την φάση έχουμε μια απλή εξωτερική τόννευση, με ένα μεγάλο εργαλείο ρόμβου, ώστε να σχηματισθεί και το εμπρός χείλος της ζάντας. Πάλι μέσα από προεπιλεγμένη στρατηγική εξωτερικής τόννευσης, με βηματική διαμήκη σάρωση μιας κατεύθυνσης, εύκολα και αποτελεσματικά, το εργαλείο σχηματίζει το χείλος της ζάντας. Με τις γνώστες διαδικασίες επιλέγουμε γεωμετρία μέσα από σχεδιασμό -και όχι αυτόματης επιλογής επιφανειών- και κατεύθυνση τροχιάς. Τελικά, έχουμε μια εύκολη εκκόνδριση και επειδή θέλουμε πολύ καλό αποτέλεσμα λόγω εξωτερικής μορφής αποπερατώνουμε δυο φορές με ημιτελείωμα και τελείωμα, εγκάρσιας και διαμήκους αποπεράτωσης. Επειδή επιδιώκουμε ένα καλό φινιρίσμα, δεν επιλεγούμε απευθείας τόννευση προφίλ, αφού γίνεται πιο άμεσα με την παραπάνω κατεργασία. Επιλέγουμε από τα κλασσικά στελέχη, με πλακίδιο το σύνηθες ρόμβο 80.



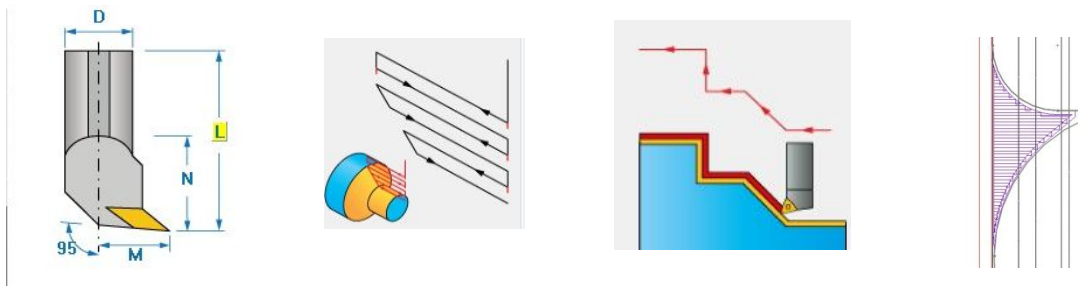
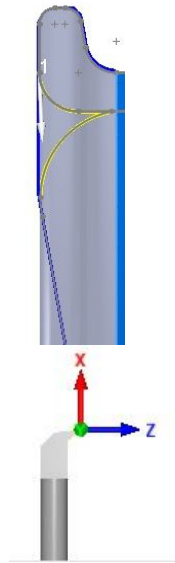
Εικόνα 4. 38 Φάση Δωδέκατη- Γεωμετρία στρατηγική εργαλείο



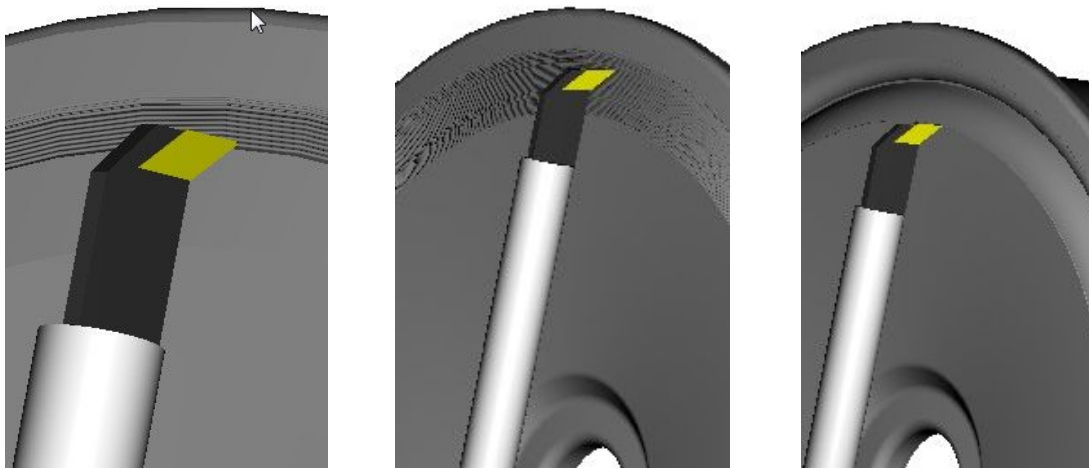
Εικόνα 4. 39 Φάση Δωδέκατη- Τρεις στιγμές

4.4.5 Φάση Δέκατη Τρίτη - Εσωτερική διαμήκης τόννευση ξεθυμάσματος.

Εδώ σε μια πιο πολύπλοκη και λεπτή γεωμετρία χρησιμοποιούμε ένα σύνθετο εργαλείο εσωτερικής τόννευσης με ειδικά χαρακτηριστικά. Πλακίδιο με οξεία γωνία και ειδικό φορέα, όπως αναλυτικά περιγράφεται παρακάτω. Μία επιλογή που ταιριάζει τέλεια στην γεωμετρία μας. Χρησιμοποιούμε στρατηγική εσωτερικής εκχόνδρισης, με διαμήκη κοπή σε ρήζιγκ ζαγκ κατά πρόσωπο και σε βάθος, με ισομήκη βήματα. Λόγω του ιδιαίτερου της μικρής κοιλότητας, χρησιμοποιούμε και μέθοδο ημι-φινιρίσματος και φινιρίσματος σε στρατηγική iso. Ουσιαστικά σφυροκοπούμε οριζόντια, με σταθερό βηματισμό την γεωμετρία, σαρώνοντάς την από κάτω προς τα πάνω και ρήζιγκ ζαγκ, εισερχόμενοι κάθε φορά προς τα μέσα. Προσαρμόστηκε, δηλαδή, η τόννευση αυτής της γεωμετρίας κοπής, με την γεωμετρία του εργαλείου που ταιριάζει απόλυτα.



Εικόνα 4. 41 Φάση Δέκατη Τρίτη - Εργαλείο γεωμετρία στρατηγική



Εικόνα 4. 40 Φάση Δέκατη Τρίτη - Τρεις στιγμές

4.5 Τελικό προϊόν τόννευσης.

Με όλα τα παραπάνω βήματα καταλήξαμε στο ημι-τελικό προϊόν, που θα συνεχίσει την παραγωγική διαδικασία σε κέντρο κατεργασιών, ώστε να δημιουργηθούν με «αποκοπή» τα νεύρα της ζάντας και οι οπές των μπουλονιών. Από το διάγραμμα 4.42, -διαφορών αρχικού σχεδιαστικού μοντέλου και τελικού προϊόντος-, αναδεικνύονται σημεία (λόγω ακατάλληλων εργαλείων ή ελλειπών καθολικών φινιρισμάτων) που δεν μπόρεσαν πρακτικά να σχηματισθούν. Σε μεγάλο βαθμό, όμως, το αρχικό σχέδιο έχει παραχθεί και, οποιαδήποτε διαφορά, αφορά τον επανασχεδιασμό των σημείων αυτών.

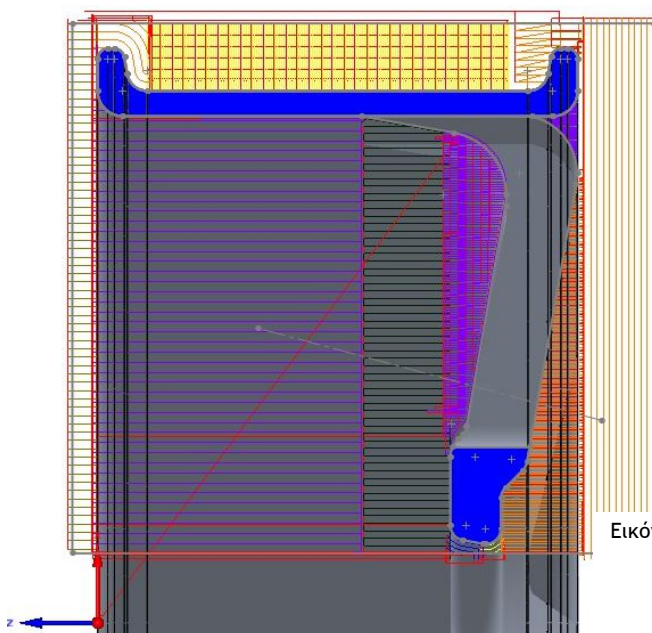


Εικόνα 4. 42 Υπόλοιπο υλικό μετά την τόννευση



Εικόνα 4. 43 Τελικό προϊόν μετά την τόννευση

Αυτή λοιπόν είναι η τελική μορφή που θα περασει ως αρχικό υλικό προς επεξεργασία στο κέντρο κατεργασιών.



Στο σχήμα 4.44 προβάλλονται όλες οι αποτυπώσεις της τροχιάς κάθε εργαλείου σε κάθε φάση. Διακρίνεται, έστω και σχηματικά, ότι η τελική στρατηγική κατεργασιών διαθέτει απλότητα και λογική κατανομή εργασιών κοπής.

Εικόνα 4. 44 Ολική παράσταση τροχιάς εργαλείων σε όλες τις φάσεις τόννευσης

4.6 Επίλογος Τόρνευσης.

Σαν πρώτο επίλογο, μετά τις κατεργασίες τόννευσης, συνοπτικά αναφέρονται κάποιες πρώτες παρατηρήσεις που θα αναλυθούν και στα συμπεράσματα.

Ορθώς το πρόγραμμα είχε επισημάνει την ανεφαρμοστικότητα της κλειστής γωνίας -ένωσης της στεφάνης με το δίσκο-, όπως φαίνεται και από τον κόκκινο δακτύλιο γύρω από το δίσκο. Θα μπορούσαμε να αλλάξουμε το σχέδιο -αν ήμασταν σε διαδικασία πραγματικής παραγωγής-, ή να προμηθευόμασταν καταλληλότερα εργαλεία.

Αναλυτικά, από τις κατεργασίες τόννευσης καταλαβαίνουμε ότι τόσο η στρατηγική όσο και η ποικιλία των εξειδικευμένων εργαλείων που διαθέτουμε, παίζουν σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, με το εργαλείο που χρησιμοποιήσαμε στην τελευταία φάση ή στην εξωτερική αυλάκωση της στεφάνης, η εφαρμογή κοπής ήταν ιδανική, κάτι που με άλλα εργαλεία, θα χρειαζόνταν δύο ή τρεις φάσεις για την ίδια γεωμετρία. Όπως, επιπλέον, έλειπαν εργαλεία από τις επιλογές τα οποία θα μπορούσαν να βελτιώσουν το φασεολόγιο.

Σε όλες τις κατεργασίες επιλέχθηκαν «δρόμοι» για να αναδειχθούν οι κατεργασίες και η στρατηγική τους και όχι η ευκολία κοπής. Χρησιμοποιήσαμε, δηλαδή, εργαλεία και στρατηγικές ώστε να μπορέσουμε να αναδείξουμε και την στρατηγική ως διεργασία βελτιστοποίησης (καλύτερη απόδοση σε χρόνο και ποιότητα). Συγκεκριμένα, σε κάθε φάση δεν αρκεστήκαμε στην διερεύνηση αποκλειστικά της ορθής κοπής -που θα βελτιστοποιηθεί από τις σωστές συνθήκες-, αλλά και στο αν υπάρχουν στρατηγικές με καλύτερο ή πιο αποδοτικό αποτέλεσμα.

Είναι φανερό ότι καταναλώθηκε πολύς χρόνος σε διαδικασίες εκχόνδρισης-αποβολής στόκ, λόγω του μεγέθους και της γεωμετρίας του τελικού προϊόντος (μεγάλο εσωτερικό διάκενο). Αυτό δεν απασχολεί αυτή την μελέτη, αφού ο Cad/Cam σχεδιασμός είναι πια αλληλεπιδραστικός και διαλογικός. Ήδη έχουν παραχθεί πολλά διαφορετικά φασεολόγια μέχρι να βρεθεί το ιδανικότερο. Πάνω στο υπάρχον φασεολόγιο, μπορούμε να επέμβουμε στο μέγεθος του μπλοκ αρχικού υλικού, να διαγράψουμε φάσεις ή και να αλλάξουμε αυτόματα διαδρομές και το τελικό εικονικό προϊόν να αναπροσαρμόζεται αυτόματα. Άρα, οποιαδήποτε ένσταση στον επιπλέον χρόνο αποβολής επιπλέον υλικού, δεν αναιρεί τη μελέτη αφού θα αναπροσαρμοζόταν αυτόματα σε ένα πιο «οικονομικό» αρχικό μπλόκ (με πλησιέστερες διαστάσεις στο τελικό προϊόν). Η τελική στρατηγική κατατίθεται ως μελέτη κατεργασιών, όχι ως πραγματική επιλογή παραγωγής, όπου θα τίθετο αυστηρά οικονομικά κριτήρια. Επ' αυτού, υπάρχει αναλυτική αναφορά στα συμπεράσματα.

Όσον αφορά το προγραμματιστικό κομμάτι, πέραν της μη δυνατότητας χρησιμοποίησης του ημι-τελικού -μίας πλευράς- προϊόντος τόννευσης ως νέο στοκ σε νέο κέντρο τόννευσης, που επισημάνθηκε και στην εισαγωγή, παρατηρηθήκαν και τα παρακάτω:

Σε ένα τρισδιάστατο τελικό μοντέλο που αποτελείται από δυο ανεξάρτητα στερεά ή με πολλά εσωτερικά κοίλα μέρη, το πρόγραμμα δεν ανταποκρίνεται με ευκολία στα όρια των γεωμετριών, ώστε να δοθούν αυτόματα οι διαδρομές κοπής. Ως επί το πλείστον, η εξελιγμένη «τεχνητή νοημοσύνη»-αλγόριθμοι που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα προς εύρεση γεωμετριών κοπής, κάθε άλλο παρά ευπρόσδεκτη ήταν. Στο ενενήντα τοις εκατό η γεωμετρία τόννευσης ορίσθηκε με σχεδιασμό του χρήστη πάνω στο μοντέλο. Δεν υπήρχε, δηλαδή, η «ορθή» επιλογή γεωμετριών, μέσα από έξυπνες επιλογές.

Το ίδιο συνέβη και στις περιπτώσεις των έτοιμων στρατηγικών όπου μπορεί ο χρήστης να επιλέξει αν πρόκειται για, λ.χ. εσωτερική τόννευση, τραχιά κτλ. Σε κάθε περίπτωση, το πρόγραμμα δεν αναπτύσσει εύκολα ορθές τεχνικές για πολύπλοκες γεωμετρίες. Σε κάθε φάση, έπρεπε να υπάρχει από τον χρήστη ορισμός όλων των επιμέρους δεδομένων των στρατηγικών. Τα παραπάνω, δεν αναφέρονται σαν ελάττωμα -να συμμετάσχεις τόσο ενεργά στην χάραξη μιας στρατηγικής- αλλά ως χρονοβόρα διαδικασία, του να απορρίπτεις τις έξυπνες επιλογές. Το να αναφέρονταν απ' ευθείας όλες οι διαλογικές επιλογές, θα βοηθούσε παρά θα δημιουργούσε επιπλοκές, όπως τώρα.

4.7 Κέντρο κατεργασιών.

Στο κέντρο αυτό έχουμε άπλες κατεργασίες φρεζαρίσματος οπότε δεν θα δοθεί ιδιαίτερο βάρος ανάλυσης. Επιλέχτηκε ένα κέντρο κατεργασίας τριών αξόνων HAAS. Ένα κέντρο όπου μπορούν να εκτελεστούν κατεργασίες φρέζας, φρεζοδράπανου και δρόπανου.

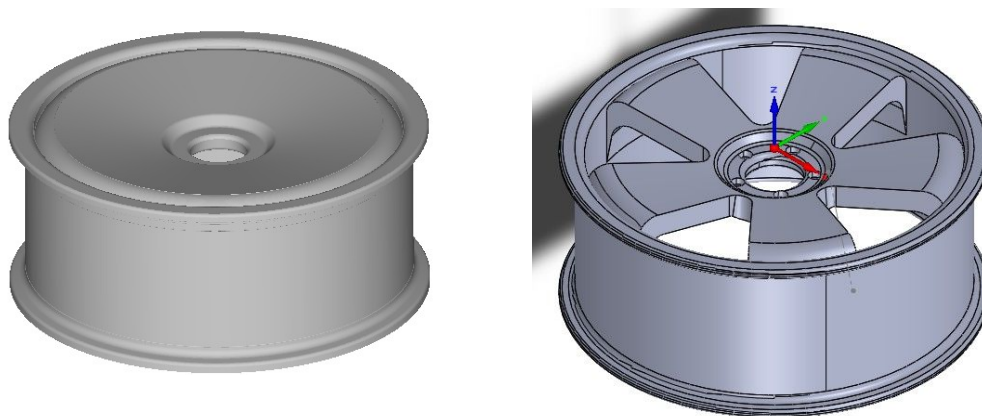
Πρόκειται για κέντρο κατεργασιών με κατακόρυφη άτρακτο, με κινούμενο εργαλείο στους άξονες Χ, Υ και Ζ, και μύλο εργαλείων σε μορφή δίσκου.



Εικόνα 4. 45 Κέντρο κατεργασιών

4.7.1 Σύστημα συντεταγμένων, αρχικό υλικό, τελικό προϊόν.

Το ιδανικό σύστημα συντεταγμένων για τις κατεργασίες φρεζαρίσματος που επιζητούμε, είναι κάθετα στην εξωτερική όψη της ζάντας που έχει στερεωθεί, με το δίσκο να κοιτάει προς την άτρακτο. Ως αρχικό υλικό, όπως προείπαμε, επιλέγεται το τελικό προϊόν της τórνευσης.

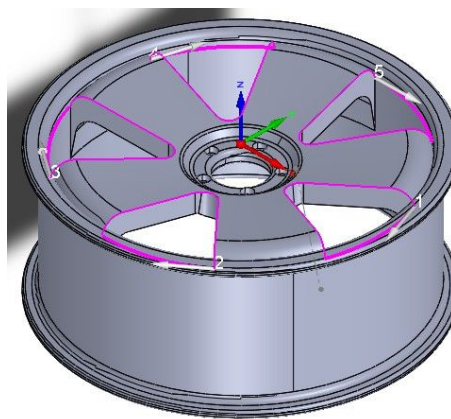


Εικόνα 4. 46 Αρχικό προϊόν-τελικό, συντεταγμένες

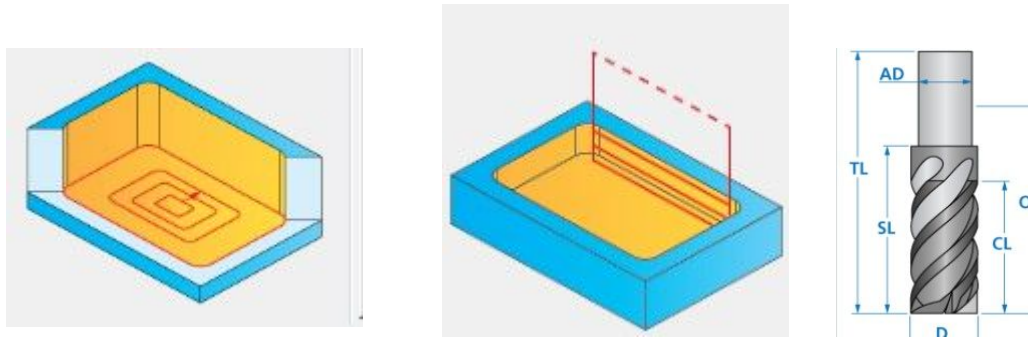
4.7.2 Φάση πρώτη - Φρεζάρισμα αποκοπής και αποπεράτωσης.

Στη φάση αυτή, οι κατεργασίες είναι απλής μορφής και όσες διαφορετικές μεθόδους κι αν επιλέξουμε, το αποτέλεσμα θα είναι αρκετά καλό. Η ιδιομορφία στην γεωμετρία κοπής είναι ότι έχουμε ένα κεκλιμένο επίπεδο υλικού που θέλουμε, όμως, να κόψουμε σε ένα δισδιάστατο πλάνο. Ουσιαστικά, δεν πρόκειται για αναγνώριση της ακριβής γεωμετρίας κοπής, αλλά της όψης της.

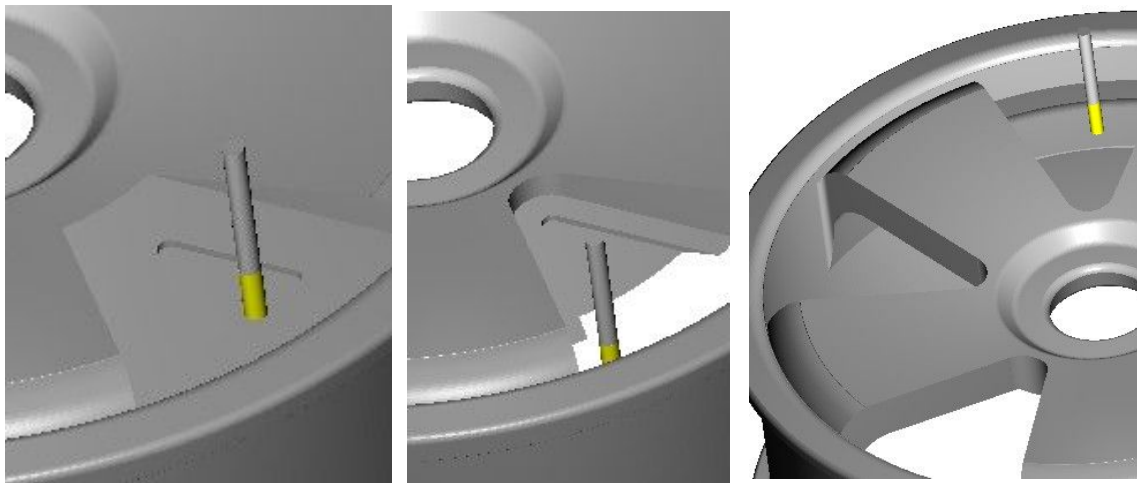
Το εργαλείο είναι ένα απλό κονδύλι για αυτές τις εργασίες, που μπορεί να κάνει και τις δυο διεργασίες. Έτσι, αφού βρήκαμε τη γεωμετρία και τη σειρά φρεζαρίσματος για κάθε τρίγωνο (εικόνα 4.47), επιλέξαμε το κατάλληλο κονδύλι που ταιριάζει στις ακτίνες των εσωτερικών γωνιών του κενού τριγώνου του δίσκου. Εφαρμόστηκε κλιμακωτό φρεζάρισμα, ξεκινώντας από το κέντρο και κινούμενοι διαδοχικά κυματικά προς τα έξω. Έτσι, φρεζάρουμε από το κέντρο προς τις πλευρές του τριγώνου, κυκλικά και σταδιακά προς τα κάτω, μέχρι να διαμορφώσουμε την γεωμετρία που επιζητάμε.



Εικόνα 4. 47 Φάση πρώτη γεωμετρία



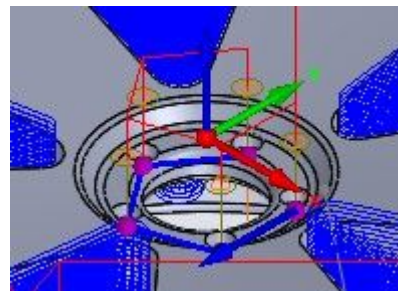
Εικόνα 4. 48 Φάση πρώτη Στρατηγικές εργαλείο



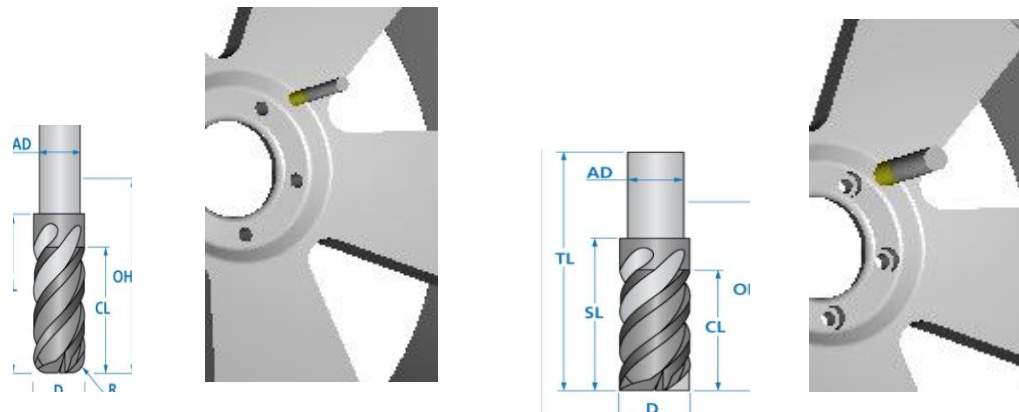
Εικόνα 4. 49 Φάση πρώτη Τρεις διαδοχικές στιγμές

4.7.3 Φάση δεύτερη, τρίτη - Διάτρηση, δianoixh opwv.

Πρόκειται για απλή διάτρηση-διάνοιξη opwv σε δύο μέρη. Στην πρώτη ανοίγουμε όπως στο σχέδιο 4.50, την ανοιχτή για το σώμα και την τυφλή για την κεφαλή του μπουλονιού. Αυτή είναι μία απλή κατεργασία, που στη δεύτερη φάση ανοίγουμε την μικρότερη σε διάμετρο οπή και στην τρίτη όσο είναι η κεφαλή. Από το σχέδιο προσδιορίζουμε μέχρι σε ποιο σημείο θα γίνει διάτρηση.



Εικόνα 4. 50 Φάση 2-3 ,γεωμετρία



Εικόνα 4. 51 Φάση 2-3 ,γεωμετρία εργαλεία

Επίλογος κέντρου κατεργασιών

Όπως διαπιστώθηκε, όλη η περιπλοκότητα ήταν στο κέντρο τόννευσης. Εδώ εκτελέστηκαν καθαρές και εύκολες κατεργασίες, που θα μπορούσαν να προσδιορισθούν και σχεδιασθούν και σε παλαιότερα προγράμματα, ή σε απλά κέντρα φρεζαρίσματος.

Φαινότερη απόδειξη των παραπάνω, είναι ότι σε αυτό το κέντρο και κατεργασίες, το διάγραμμα -υπόλοιπου ως προς αρχικού υλικού- δεν έχει καθόλου σκιαγραφημένη κόκκινη περιοχή. Υπάρχει, δηλαδή, απόλυτη ταύτιση με το σχεδιασμό. Τέλος, όλες οι διαφοροποιήσεις που έχουμε παρουσιάσει στο σχεδιασμό αφορούν ακριβώς το ίδιο φασεολόγιο τόννευσης, αλλά διαφορετικό στο κέντρο κατεργασιών (διαφορετικά νεύρα δίσκου). Θα μπορούσε κανείς να μιλήσει για μια γκάμα τελικών παραγωγικό κόστος.



Εικόνα 4. 52 Τελικό προϊόν κατεργασιών

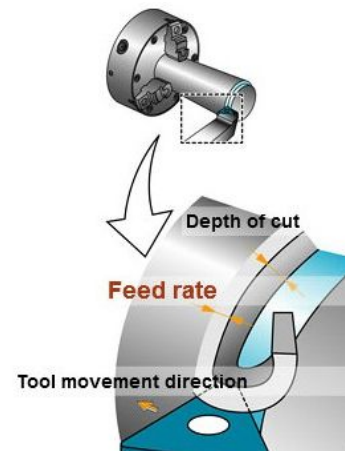
διαφορετικών προϊόντων με κοινό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή στην επιλογή εργαλείων, συνθηκών κοπής.

Η επιλογή συνθηκών κατεργασίας, για κέντρα τόννευσης ή κατεργασίας, γίνεται αφενός με δεδομένο το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί και, αφετέρου, σύμφωνα με δύο σκέλη, το τεχνολογικό και το οικονομικό. Το πρώτο σκέλος συνδέεται με όλους εκείνους τους περιορισμούς που αναφέρονται στις τεχνολογικές δυνατότητες της εργαλειομηχανής, του κοπτικού εργαλείου και του περιβάλλοντος κατεργασίας, καθώς και με τις προδιαγραφές ποιότητας του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Το δεύτερο σκέλος αναφέρεται στην βελτιστοποίηση των συνθηκών κατεργασίας, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται κάποια συνάρτηση κέρδους. Θεωρητικά, δηλαδή, πρόκειται για ένα πρόβλημα πολύ-παραμετρικής βελτιστοποίησης με περιορισμούς. Στην πράξη, πολύ σπάνια ακολουθείται μια τέτοια διαδικασία, λόγω των δυσκολιών που προκύπτουν από τη συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων, αλλά και από την πολυπλοκότητα της μαθηματικής ή αριθμητικής ανάλυσης. Έτσι αρκείται κανείς σε επιλογή συνθηκών μέσα από τεχνικούς καταλόγους εταιρειών παραγωγής εργαλείων, με βοήθεια από handbooks κατεργασιμότητας υλικών και με εμπειρικές διορθώσεις προς τα άνω ή κάτω.



Εικόνα 5.1 3d απεικόνιση f-ap

Συνθήκες κατεργασίας:

- Η Ταχύτητα κοπής, v (m/min) : $v = \pi \cdot D \cdot n$

όπου:

D η αρχική διάμετρος του κατεργαζόμενου τεμαχίου (TE) και n ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου.

Είναι η σχετική ταχύτητα μεταξύ κατεργαζόμενου τεμαχίου (TE) και κοπτικού εργαλείου (ΚΕ), αναφερομένη στην κύρια κίνηση κοπής. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι D (mm) και n (rpm), οπότε η εξίσωση παίρνει τη μορφή $v = \pi \cdot D \cdot n / 1000$ (mm/min).

Η εκλογή της ταχύτητας κοπής εξαρτάται από το υλικό του τεμαχίου, από το υλικό του εργαλείου, την ψύξη, την επιθυμητή ποιότητα επιφάνειας και από την ισχύ της εργαλειομηχανής. Συνιστώμενες τιμές βρίσκονται σε πίνακες ή

με την βοήθεια εξισώσεων, υπολογίζοντας τα ζητούμενα βάσει των συνιστώμενων τιμών που δίνουν οι κατασκευαστές.

- Βάθος κοπής, a (mm).

Είναι το βάθος διείσδυσης του ΚΕ μέσα στο ΤΕ.

Το βάθος κοπής καθορίζεται από την προσέγγιση του εργαλείου στην επίπεδη τόννευση, ενώ από το πλάτος για την εγκάρσια.

- Πρόωση, s (mm/rev)

Είναι η κατά τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής του ΤΕ μετακίνηση του ΚΕ ανά στροφή της ατράκτου.

Η πρόωση εκλέγεται σύμφωνα με την ισχύ του τόρνου και την ζητούμενη ποιότητα επιφάνειας.

Από το συνδυασμό των v , s και a εξαρτώνται κατά κύριο λόγο:

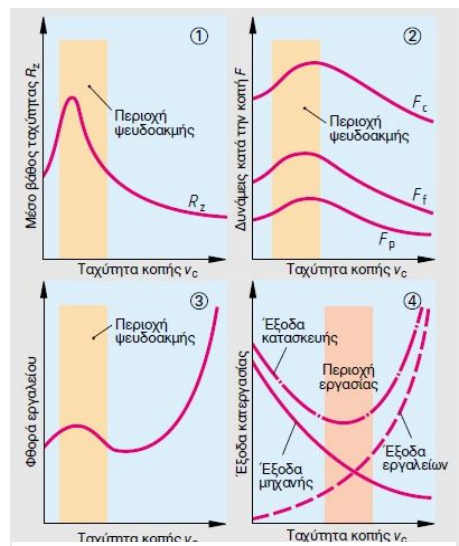
- Η ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας.
- Ο χρόνος κατεργασίας.
- Οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις και η καταναλισκόμενη ισχύς κοπής.
- Η διάρκεια ζωής (ΔZ) του ΚΕ.

Με την κατάλληλη εκλογή του βάθους κοπής, της πρόωσης και της γωνίας θέσης, επηρεάζεται η διαμόρφωση του αποβλήτου στην κόψη του εργαλείου, συνεπώς επηρεάζεται η διάρκεια ζωής του εργαλείου και η ποιότητα της επιφάνειας. Μικρότερος χρόνος κατεργασίας προκύπτει εάν η διατομή του αποβλήτου γίνει μεγάλη και η ταχύτητα κοπής πολύ υψηλή. Και οι δύο τιμές περιορίζονται, όμως, από την ισχύ της μηχανής και την διάρκεια ζωής του εργαλείου γι' αυτό και οι κατεργασίες γίνονται σε περισσότερες από μία φάσεις. Για παράδειγμα, για μια κατεργασία ξεχονδρίσματος που θέλουμε μεγάλο όγκο αποβλήτων, επιλέγουμε μεγάλες προώσεις, αντίστοιχα βάθη κοπής και χαμηλές ταχύτητες κοπής σε αντίθεση με το φινίρισμα που θέλουμε ακρίβεια, μικρή διατομή αποβλήτου και πρόωση, αλλά μεγάλη ταχύτητα.

5.1.1 Εκλογή κατάλληλων συνθηκών

Από την ορθή εκλογή των συνθηκών κατεργασίας -κυρίως της ταχύτητας κοπής-, καθορίζεται η ποιότητα και η οικονομικότητα της κατεργασίας.

Αναλύοντας, λοιπόν, διαγράμματα φθοράς, δυνάμεων κοπής και κόστους σε σχέση με την ταχύτητα κοπής παρατηρούμε τα παρακάτω: μεγαλύτερη τραχύτητα παρουσιάζεται συνήθως όταν η ταχύτητα κοπής είναι μικρή, διότι τότε δημιουργείται μια ψευδοακμή. Οι δυνάμεις κοπής αρχικά αυξάνονται και στη συνέχεια γίνονται μικρότερες, άρα στις μεγάλες ταχύτητες η κατεργασία έχει μεγαλύτερη ακρίβεια (αποπεράτωση) αλλά και μεγαλύτερη παροχή αποβλήτων (εκχόνδριση). Η φθορά του εργαλείου αυξάνεται στις μεγάλες ταχύτητες και μειώνεται η διάρκεια ζωής του. Σε θέμα οικονομίας της κατεργασίας, γενικότερα, η σωστή επιλογή ταχύτητας κοπής, επιτυγχάνει οικονομία στην παραγωγή.



Εικόνα 5.1 Επίδραση της ταχύτητας κοπής

5.1.2 Επιλογή εργαλείου.

Τα εργαλεία είναι πολύ σημαντικό να εκλέγονται σύμφωνα με το είδος του υλικού, το μέγεθος και τη μορφή του αντικειμένου, όσο και από το μέγεθος και την ισχύ της μηχανής.

Η επιλογή του πλακιδίου κοπής εξαρτάται από το είδος τη κατεργασίας, τη δύναμη κοπής, τον τρόπο προσαρμογής στο εργαλείο και την οικονομικότητά του.

Μια γεωμετρία πλακιδίου που επιτρέπει τόσο την εξωτερική εγκάρσια όσο και διαμήκη τόννευση, είναι η επιλογή -80° ρομβοειδές πλακίδιο- που είναι επίσης κατάλληλο για τη λείανση και το φινίρισμα των επιφανειών. Τα τετράγωνα πλακίδια, από την άλλη



Εικόνα 5.3 Διάφορα σχήματα πλακιδίων

μπορούν να χρησιμοποιήσουν και τις δύο πλευρές του πλακιδίου και ως εκ τούτου, ο αριθμός των γωνιών διπλασιάζεται, προσφέροντας χαμηλότερο κόστος στον χρήστη. Ωστόσο, τα τετράγωνα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκάρσια τόννευση.

Τα ισοσκελή τριγωνικά είναι αποτελεσματικά και για εγκάρσιες και διαμήκεις τρνεύσεις μορφής με 3 γωνίες κοπής ανά πλευρά, αλλά δεν έχουν την ίδια δυναμική κοπής όσο των τετραγωνικών.

Για σταθερή και συνεχή κατεργασία, τα πολυγωνικά πλακίδια είναι οικονομικά αφού μπορούν να χρησιμοποιήσουν μέχρι και 6 ακμές. Η γωνία κοπής είναι ισχυρή λόγω της γωνίας 80° , αλλά εξ' αιτίας του μικρού ύψους ενδείκνυται μόνο για μικρά βάθη κοπής.

Στην τρνευση μορφής, τα 55° ή 35° ρομβοειδή πλακίδια χρησιμοποιούνται ευρέως. Αν και έχουν λιγότερη δύναμη κοπής από τα 80° ρομβοειδή πλακίδια, τα 55° ή 35° ρομβοειδή πλακίδια είναι τα πλέον κατάλληλα για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών κατεργασίας που εξαρτάται από την γεωμετρία τεμαχίου.

Όσο μεγαλύτερη η γωνία των ακμών του πλακιδίου, τόσο αυξάνεται η δύναμη κοπής του, καθιστώντας το πιο αποτελεσματικό για χρήση σε διακεκομμένες κατεργασίες. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα είναι ότι -με μεγάλη γωνία- υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση, σε περιοχές όπως βαθιά προφίλ.

Μεγαλύτερα και πιο φαρδιά πλακίδια έχουν περισσότερες από μία επιφάνειες, αυξάνοντας έτσι τη δύναμη σύσφιξης που τα καθιστά πιο κατάλληλα για βαριές κατεργασίες. Τα ρομβοειδή πλακίδια βρίσκονται με 2 πρόσωπα στην τσέπη του εργαλείου. Έτσι, η ακαμψία είναι σχετικά υψηλή.

Για τα τριγωνικά, παρ' όλες τις 2 όψεις που είναι σε επαφή με το θύλακα, η περιοχή επαφής είναι μικρότερη και άρα, η ακαμψία σύσφιξης είναι μικρότερη από τα ρομβοειδή πλακίδια.

Η ακτίνα της γωνίας κορυφής ενός πλακιδίου -όπως λέγεται η ακτίνα της μύτης-, όταν έχει μεγαλύτερη ακτίνα παράγει ομαλότερη επιφάνεια και μεγάλη αντοχή ακμής κοπής, αλλά αυτό αυξάνει επίσης την αντίσταση, η οποία μπορεί εύκολα να προκαλέσει κραδασμούς και φτωχό έλεγχο αποβλήτου.

Με ένα σταθερό ρυθμό τροφοδοσίας, μια μεγαλύτερη ακτίνα παράγει θεωρητικά ανώτερη επιφανειακή τραχύτητα. Μια ακτίνα γωνίας που είναι πάρα πολύ μεγάλη αυξάνει την αντίσταση κοπής (πίσω δύναμη) κατά τη διεύθυνση του τεμαχίου και προκαλεί παραμορφώσεις. Χρησιμοποιώντας μια μεγάλη ακτίνα σε ένα μικρό βάθος κοπής έχει το ίδιο αποτέλεσμα όπως την αύξηση της γωνίας εισόδου. Μειώνει, δηλαδή, το πάχος του αποβλήτου που επιμηκύνεται και ρέει μακριά από την επιφάνεια εργασίας.

Όσον αφορά το στέλεχος του εργαλείου, επιλέγεται σύμφωνα με την κατεύθυνση όδευσης, τη μέθοδο κατεργασίας για την οποία μπορεί να

χρησιμοποιηθεί και ο συνδυασμός του με το πλακίδιο, που αποφασίζεται και από τη γωνία κλίσης της κατεργασίας.

5.1.3 Ρουτίνα επιλογής συνθηκών κοπής.

Οι συνθήκες κοπής, υπολογίζονται σύμφωνα με τις γενικές αρχές που αναφέρθηκαν παραπάνω, άλλα και με επίλυση σχέσεων που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Αναλυτικά, αφού εκλέξουμε το εργαλείο, εκλέγουμε το βάθος κοπής και την πρόωση από τα διαγράμματα των εργαλείων, κι έπειτα εκλέγουμε την ταχύτητα, σύμφωνα με το υλικό - διορθωμένα από τους τύπους ως προς τα συγκεκριμένα δεδομένα κάθε κατεργασίας και με τους κατάλληλους περιορισμούς από τον έλεγχο της ισχύος και της περιοχής στροφών της εργαλειομηχανής.

5.2 Αρχικά δεδομένα κοπής.

Πέρα από τη βελτιστοποίηση των κατεργασιών, βασικό μέλημα είναι και η πιστή προσομοίωση κατασκευής της ζάντας. Προτιμήθηκαν εργαλεία και δεδομένα που αφορούν στα -πλησιέστερα έως ακριβώς- εργαλεία που παρέχει το σύστημα. Από αυτήν την επιλογή, μπορεί μεν να εξαρτηθεί η αποδοτικότητα της στρατηγικής, σύμφωνα με τις δυνατότητες του προγράμματος, αλλά θα παρουσιαστεί μια πλήρως κατασκευάσιμη ζάντα, με παραγωγική διαδικασία πλήρως προσομοιωμένη. Ουσιαστικά, επιλέχτηκαν δεδομένα ώστε να υπάρξει μια ακριβής ρεαλιστική τρισδιάστατη απεικόνιση κατεργασιών.

Αρχικά, επιλέχτηκε το κέντρο τórνευσης -που παρουσιάστηκε στο τέταρτο κεφάλαιο- με όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην αγορά δεδομένα-ενδεδειγμένο για κατεργασία ενός τέτοιου προϊόντος σε μέγεθος και γεωμετρία.

Main spindle drive*2	kW (hp)	37/30 (50/40) (30 min/cont)
Saddle (Z) drive	kW (hp)	BL3.5 (4.7)
Cross side (X) drive	kW (hp)	BL4.6 (6.1)
Turret rotary pump	kW (hp)	BL3.5 (4.7)
Coolant pump	kW (hp)	1.2 (1.6)
Speed range	min-1 (rpm)	200 ~ 3,000
No. of speed ranges		1(infinitely variable)

Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά κέντρου τórνευσης

Όσον αφορά το υλικό προς κατεργασία, κατευθυνθήκαμε σε ένα κράμα αλουμίνιου σειράς 5000. Από τις προεπιλογές του συστήματος επιλέχθηκε το 5032-H32.

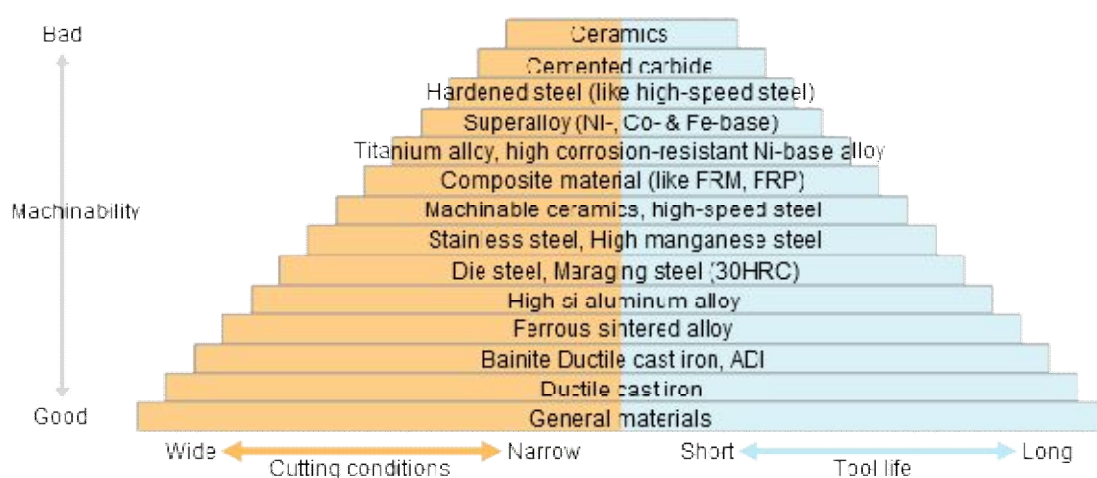
Elastic Modulus	7e+010	N/m ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.59e+010	N/m ²
Mass Density	2680	kg/m ³
Tensile Strength	230000000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	195000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.38e-005	/K
Thermal Conductivity	137	W/(m·K)
Specific Heat	880	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

Πίνακας 5.5 Χαρακτηριστικά Υλικού κατεργασίας

Το αλουμίνιο είναι γνωστό για τις ιδιότητες του σε σχέση με το ελαφρύ του βάρος. Το αλουμίνιο έχει ως χαρακτηριστικά την υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, την υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, την υψηλή θερμική αγωγιμότητα και το χαμηλό σημείο τήξης. Ωστόσο, οι μηχανικές ιδιότητες του αλουμινίου είναι περιορισμένες και ως εκ τούτου δεν διαθέτει υψηλή αντοχή, αλλά θεωρείται μαλακό και όλκιμο υλικό. Τα προτερήματά του αυξάνονται όταν αναφερόμαστε στον βαθμό κατεργάσιμότητάς του, που είναι μεγάλος.

Τα κράματα αλουμινίου, όμως, κατέχουν υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και αρκετά συχνά χρησιμοποιούνται ως υλικό σε μέρη κοινών μηχανών. Δεδομένου ότι είναι δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ αλουμινίου και κραμάτων αλουμινίου, ο όρος αλουμίνιο χρησιμοποιείται πιο συχνά.

Στον πίνακα 5.6, βλέπουμε ένα διάγραμμα σύγκρισης υλικών όσον αφορά την κατεργασιμότητα τους.



Πίνακας 5.6 Διάγραμμα κατεργασιμότητας διάφορων υλικών

Διαπιστώνεται ότι στην κατεργασία αλουμινίου έχουμε μεγάλη διάρκεια εργαλείων, υψηλές ταχύτητες κοπής και καλή κατεργασιμότητα. Επίσης, το απόβλητο των κατεργασιών του είναι συνεχές, αλλά και οι προς κατεργασία επιφάνειες του είναι ευάλωτες. Μπορούν να υπάρξουν, δηλαδή, επιπλοκές με τον έλεγχο του αποβλήτου και κακό φινίρισμα επιφάνειας, που προκαλείται τόσο λόγω του συνεχούς και διαφορετικού αποβλήτου, αλλά και λόγω του φαινομένου «συγκόλλησης». Ειδικότερα, η σαφέστερη διαφορά ανά κράμα αλουμινίου, είναι η περιεκτικότητα σε «σκληρό σωματίδιο» στη δομή.

Το αλουμίνιο είναι, όπως αναφέραμε, ένα πολύ ελαφρύ, όλκιμο και πολύ ελατό μέταλλο που μπορεί να κατεργασθεί σε οποιοδήποτε σχήμα άλλα με μικρή αντοχή -επομένως, είναι σημαντικό να αυξηθεί η δύναμή του, με την προσθήκη διαφόρων στοιχείων κράματος, όπως πυρίτιο (Si). Το Si είναι πολύ αποτελεσματικό στην αύξηση της αντοχής και της σκληρότητας του αλουμινίου. Ωστόσο, το Si σχηματίζει «σκληρά σωματίδια» εντός της δομής, που σημαίνει ότι η προσθήκη μιας μεγάλης ποσότητας μπορεί να οδηγήσει σε κακή κατεργασιμότητα. Άλλα στοιχεία που συνήθως προστίθενται σε ένα κράμα αλουμινίου είναι τα Cu, Mg και Zn.

Συμπεραίνουμε από όλα τα παραπάνω ότι η σειρά 5000 είναι ιδανική για τις κατεργασίες μας.

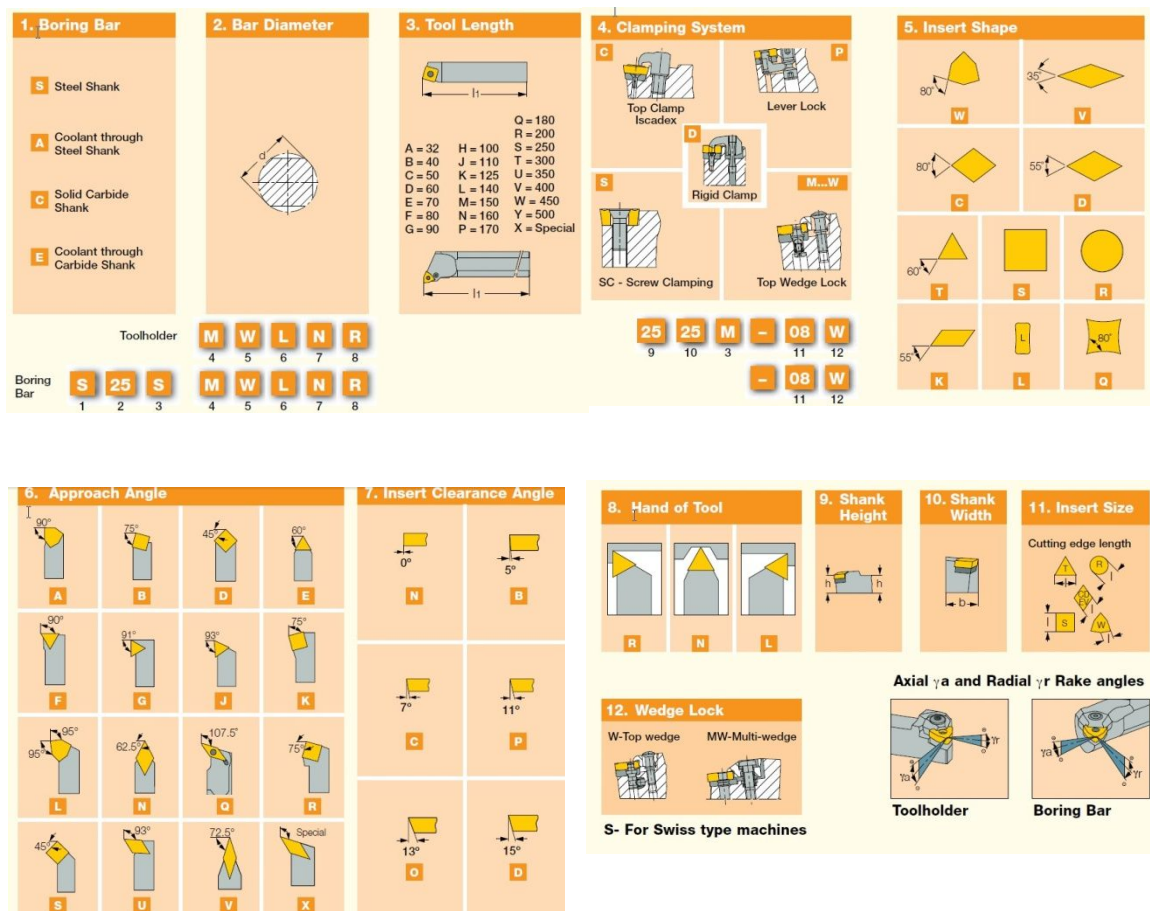
Από εταιρείες εργαλείων διαλέξαμε την εταιρεία ISCAR της οποίας τα πλακίδια όσο και τα στελέχη τους ταιριάζουν περισσότερο με τις «αόριστες» επιλογές του προγράμματος. Έτσι, σε θέματα απεικόνισης και προσομοίωσης των εργαλείων έχουμε ένα πιστό αποτέλεσμα.

5.3 Τελικές συνθήκες κατεργασιών τórνευσης.

Από τους πίνακες της εταιρίας και από τα προτεινόμενα ειδικά μεγέθη για κάθε είδος κατεργασίας, αφού επεξεργαστήκαν τα δεδομένα και προσαρμόστηκαν πάνω στα μεγέθη κάθε φάσης, και με όλες τις διαδικασίες που εξηγήσαμε παραπάνω, καταλήγουμε στις παρακάτω συνθήκες.

Σε κάθε φάση αναφέρεται ακριβώς η ονομασία του στελέχους και του πλακιδίου, με διεθνή πρότυπα, που φανερώνουν από την ονομασία τα διάφορα τεχνικά και διαστασιολογικά μεγέθη. Συνήθως, για το υλικό και τα πλακίδια που χρησιμοποιούμε, η γκάμα του Vc είναι από 300-1000 m/min από τον κατασκευαστή

Παρακάτω επισυνάπτεται όλη η τυποποίηση για το στέλεχος και το πλακίδιο και το πώς περιγράφονται τα μεγέθη τους από την τυποποίηση ονοματολογίας. Όλα έχουν επιλεγεί σύμφωνα με τις συνθήκες και την μορφή κατεργασίας από το σχήμα μέχρι τον ρου της κατεργασίας, για το στέλεχος:



Πίνακας 5.7 Πίνακας τυποποίησης στελεχών

Και για το πλακίδιο, όλα τα στοιχεία έχουν επιλεχθεί ανάλογα με την μορφή και τα δεδομένα κάθε φάσης (πχ από την ακτίνα γωνίας μέχρι την γωνία ελευθερίας).

1. Shape

2. Clearance Angle

3. Tolerance

	m	s	di
E	±0.025	±0.025	±0.025
G	±0.025	±0.13	±0.025
M	fr. ±0.08 to ±0.18 ⁽¹⁾	±0.13	fr. ±0.05 to ±0.13 ⁽¹⁾
U	fr. ±0.13 to ±0.38 ⁽¹⁾	±0.13	fr. ±0.08 to ±0.25 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Exact tolerance depends on insert size

di	Tolerance in mm			
	On m		On di	
	Class M	Class U	Class M	Class U
6.35	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08
9.52	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08
12.70	±0.13	±0.20	±0.08	±0.13
15.87	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18
19.05	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18
25.40	±0.18	±0.38	±0.13	±0.25

4. Type

- A Without chipbreaker, with hole
- G Chipbreaker on both sides, with hole
- M Chipbreaker on one side, with hole
- R Chipbreaker on one side, without hole
- B Countersink on one side, with hole
- T H C/breaker on one side, with hole and C/sink
- P Neg/pos on one or both sides, with hole
- Z, X Special

W

N

M

G

1
2
3
4

5. Cutting Edge Length

di	Symbol (l)							
	C	D	R	S	T	V	W	Q
5/32	3.97	04		03	06	06	02 ⁽¹⁾	
7/32	5.56	05		09	11	12		
1/4	6.35	06	07		11	12		
9/32	7.15				11	12		
3/8	8.00			08				
	9.52	09	11		09	16	16	06
	10.00			10				
1/2	12.70	12	15		12	22	22	08
5/8	15.88	16			15	27		
	16.00							
3/4	19.05	19		16		19	33	13
	20.00					20		
	25.00					25		
1	25.40					25		

⁽¹⁾ WEMT 06...

6. Thickness

- O1 = 1.59 mm
- T1 = 1.98 mm
- O2 = 2.38 mm
- O3 = 3.18 mm
- T3 = 3.97 mm
- O4 = 4.76 mm
- O6 = 6.35 mm
- O7 = 7.94 mm

7. Corner Radius

- O2 = 0.2 mm
- O4 = 0.4 mm
- O8 = 0.8 mm
- O12 = 1.2 mm
- O16 = 1.6 mm
- O20 = 2.0 mm
- O24 = 2.4 mm

8. Cutting Edge (Optional)

Symbol	
Sharp	F
Honed (Rounded)	E
Chamfered (Negative Land)	T
Chamfered + Honed	S

9. Chipformer Designation

SF	TF	NM
PF	..Z-RF/LF ⁽¹⁾	TNM
NF	WF	GN
SM	WG	NR
14	VL	RP
	AS/AF	.NMS

Right-hand Left-hand

O8

O4


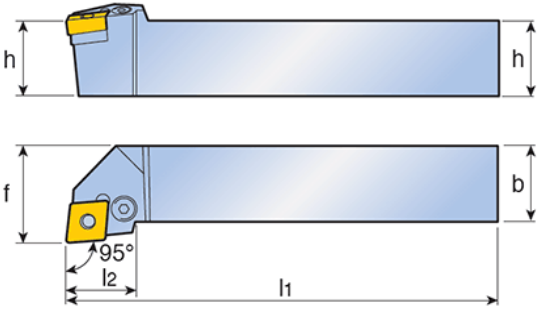
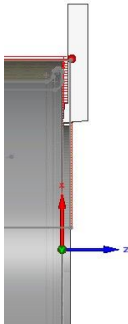
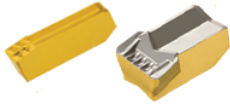
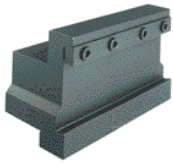
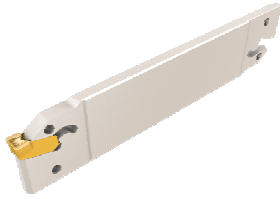
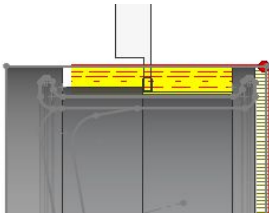
O8


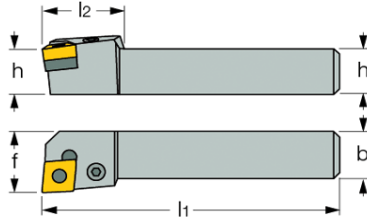
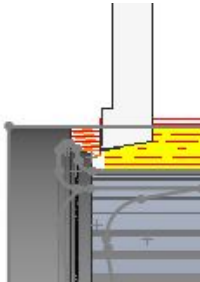
E


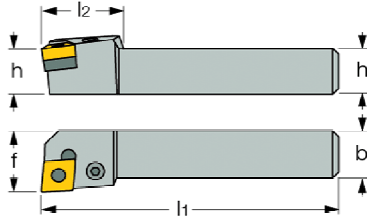
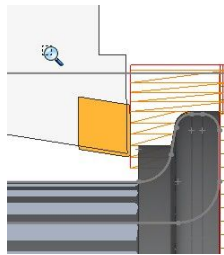
GN


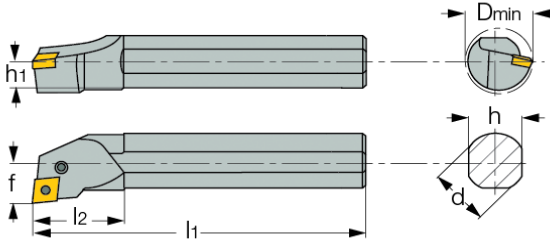
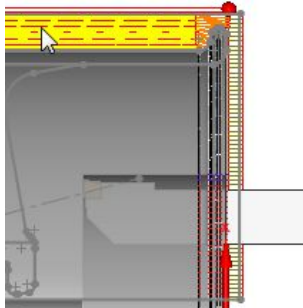
5
6
7
8
9

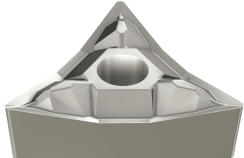
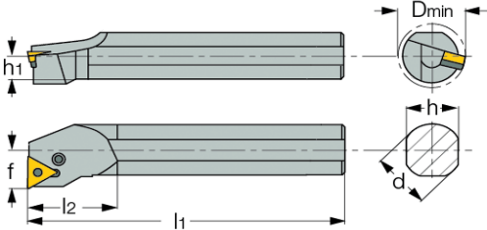
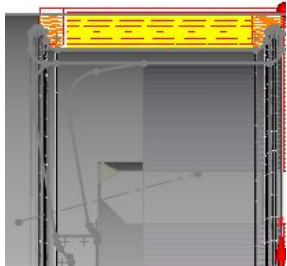
Πίνακας 5.8 Πίνακας τυποποίησης πλακιδίων

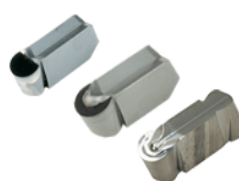
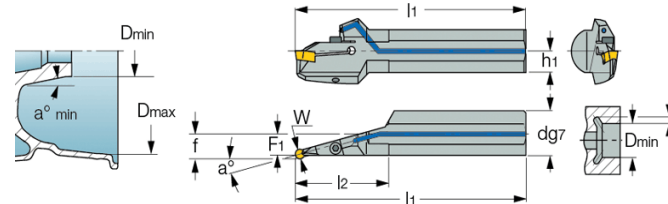

5.3.1	Φάση πρώτη	Εξωτερική διαμήκης μετωπική τόννευση		
	ΠΛΑΚΙΔΙΟ	ΣΤΕΛΕΧΟΣ	time	
	CNMS 12040812	PCLNR 3232P-12		
			4 min	
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής			
	Ap (mm)	3,3		
	Vc (m/min)	502		
	N (Rpm)	1600		
	f (mm/rev)	0,16		
	P (kw)	5,3		
	Q-MRR (cm ³ /min)	264		
5.3.2	Φάση δεύτ.	Εξωτερική εγκάρσια και διαμήκης τόννευση αποκοπής		
	ΠΛΑΚΙΔΙΟ	ΣΤΕΛΕΧΟΣ	time	
	CNMS 12040812	PCLNR 3232P-12		
				22 min
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής			
	Ap (mm)	4,5 /8		
	Vc (m/min)	387		
	N (Rpm)	300		
	f (mm/rev)	0,18 /0,09		
	P (kw)	6		
	Q-MRR (cm ³ /min)	300		

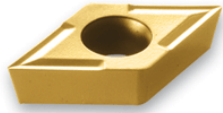
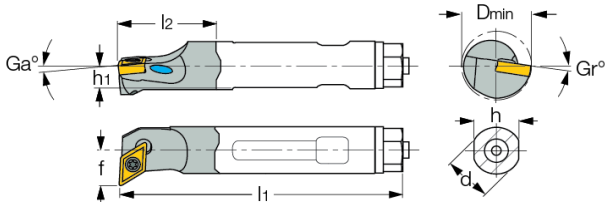
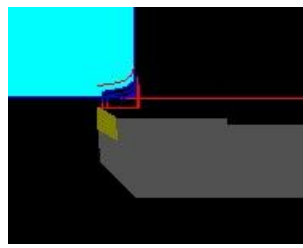
5.3.3	Φάση Τρίτη	Εξωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση μορφής	
	ΠΛΑΚΙΔΙΟ	ΣΤΕΛΕΧΟΣ	time
	CNMS 12040812	PCLNR 3232P-12	7,3 min
			
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής		
	Ap (mm)	3,1	
	Vc (m/min)	507	
	N (Rpm)	400	
	f (mm/rev)	0,16	
	P (kw)	5	
	Q-MRR (cm ³ /min)	250	


5.3.4	Φάση Τέταρτη	Εξωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση μορφής	
	ΠΛΑΚΙΔΙΟ	ΣΤΕΛΕΧΟΣ	time
	CNMS 12040812	PCLNR 3232P-12	7,3 min
			
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής		
	Ap (mm)	3,1	
	Vc (m/min)	507	
	N (Rpm)	400	
	f (mm/rev)	0,16	
	P (kw)	5	
	Q-MRR (cm ³ /min)	250	

5.3.5	Φάση Πέμπτη	Εξωτερική διαμήκης τόννευση εκχονδρ.	
ΠΛΑΚΙΔΙΟ		ΣΤΕΛΕΧΟΣ	
CNMS 12040812		S40UPCLNR-12	
			
Στρατηγική		Συνθήκες κοπής	
		Ap (mm)	4
		Vc (m/min)	225
		N (Rpm)	500
		f (mm/rev)	0,22
		P (kw)	5
		Q-MRR (cm ³ /min)	200
		38 min	

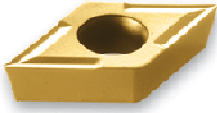
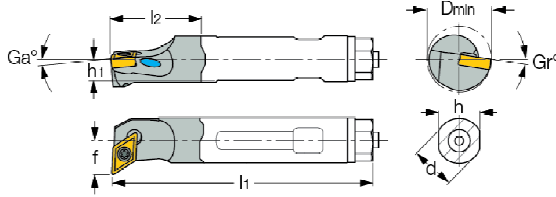
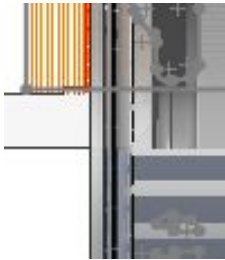
5.3.6	Φάση Έκτη	Εσωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση	
ΠΛΑΚΙΔΙΟ		ΣΤΕΛΕΧΟΣ	
TNMS 16040812		S40U TPNR 16	
			
Στρατηγική		Συνθήκες κοπής	
		Ap (mm)	3
		Vc (m/min)	167
		N (Rpm)	400
		f (mm/rev)	0,22
		P (kw)	2
		Q-MRR (cm ³ /min)	100
		37 min	

5.3.7	Φάση Έβδομ	Εσωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόνρευση αποκοπής	
ΠΛΑΚΙΔΙΟ		ΣΤΕΛΕΧΟΣ	
GIPA 6.00-3.00YZ		GHIUR 40C-27.5A	
			
Στρατηγική		Συνθήκες κοπής	
		Ap (mm)	3/6
		Vc (m/min)	600
		N (Rpm)	750
		f (mm/rev)	0,25 / 0,12
		P (kw)	15
		Q-MRR (cm ³ /min)	400
		10 min	

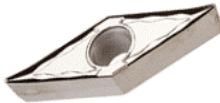
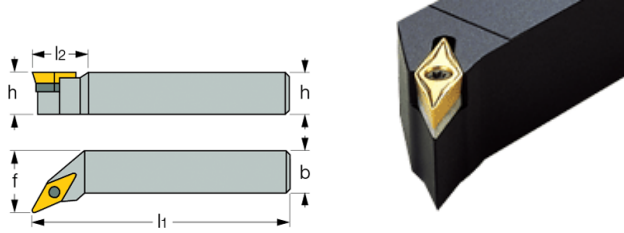
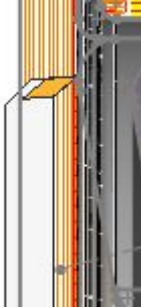
5.3.8	Φάση Όγδοη	Εσωτερική εγκάρσια και διαμήκη τόνρευση	
ΠΛΑΚΙΔΙΟ		ΣΤΕΛΕΧΟΣ	
E16SDU CR		DCGT 0702	
			
Στρατηγική		Συνθήκες κοπής	
		Ap (mm)	1,7
		Vc (m/min)	225
		N (Rpm)	1000
		f (mm/rev)	0,15
		P (kw)	1
		Q-MRR (cm ³ /min)	55
		1 min	

5.3.9	Φάση ένατη	Εξωτερική εγκάρσια μετωπική τόννευση	
	ΠΛΑΚΙΔΙΟ	ΣΤΕΛΕΧΟΣ	time
	CNMA 120408D	PCLNR 3232P-12	
			13 min
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής		
	Ap (mm)	2,7	
	Vc (m/min)	1000	
	N (Rpm)	1200	
	f (mm/rev)	0,16	
	P (kw)	15	
	Q-MRR (cm ³ /min)	757	

5.3.10	Φάση Δέκατη	Εσωτερική διαμήκη και εγκάρσια τόννευση μορφής	
	ΠΛΑΚΙΔΙΟ	ΣΤΕΛΕΧΟΣ	time
	TCGT 110204	PCLNR 3232P-12	
			35 min
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής		
	Ap (mm)	1,2	
	Vc (m/min)	160	
	N (Rpm)	900	
	f (mm/rev)	0,09	
	P (kw)	11	
	Q-MRR (cm ³ /min)	338	

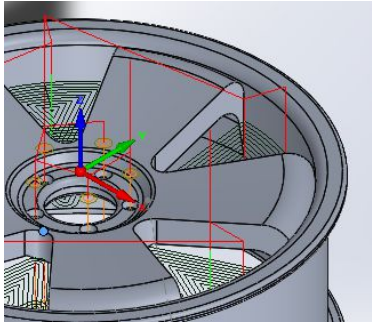
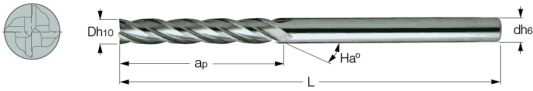
5.3.11	Φάση Ενδέκατη	Εσωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση μορφής	
ΠΛΑΚΙΔΙΟ E16SDU CR		ΣΤΕΛΕΧΟΣ DCGT 0702	
time			
			
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής		
	Ap (mm)	1,7	
	Vc (m/min)	225	
	N (Rpm)	1000	
	f (mm/rev)	0,15	
	P (kw)	1	
	Q-MRR (cm ³ /min)	55	
		1 min	


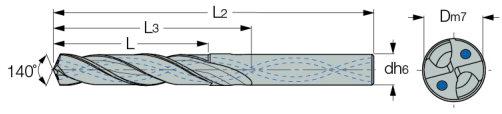
5.3.12	Φάση Δωδέκατη	Εξωτερική διαμήκης και εγκάρσια τόννευση μορφής	
ΠΛΑΚΙΔΙΟ CNMS 12040812		ΣΤΕΛΕΧΟΣ PCLNR 3232P-12	
time			
			
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής		
	Ap (mm)	3,8	
	Vc (m/min)	635	
	N (Rpm)	450	
	f (mm/rev)	0,23	
	P (kw)	10	
	Q-MRR (cm ³ /min)	550	
		2 min	


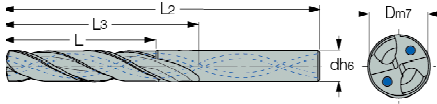
5.3.13	Φάση Δεκα.τρί	Εσωτερική διαμήκης τόννευση ξεθυμάσματος	
ΠΛΑΚΙΔΙΟ VCGT 160408-AS		ΣΤΕΛΕΧΟΣ A40U SVLFCR-22	
			
Στρατηγική	Συνθήκες κοπής		15 min
	Ap (mm)	0,5	
	Vc (m/min)	300	
	N (Rpm)	250	
	f (mm/rev)	0,1	

Σύνολο χρόνου κατεργασιών τόννευσης 3 ώρες και 10 λεπτά.

5.4 Τελικές συνθήκες κέντρου κατεργασιών

5.4.1	Φάση πρώτη	Μετωπικό φρεζάρισμα		
	Στρατηγική	ΣΤΕΛΕΧΟΣ	time	
		A40U SVLFCR-22	19min	
				
		Συνθήκες κοπής		
		Ap (mm)		50
		Vc (m/min)		300
		N (Rpm)		7.000
	f (mm/rev)	0,09		

5.4.2	Φάση δεύτερη	Διάτρηση		
	Στρατηγική	Κονδύλι	time	
		SCD 100-049-100 ACP5	1 min	
				
		Συνθήκες κοπής		
		Vc (m/min)		300
		N (Rpm)		7.000
		f (mm/rev)		0,09

5.4.2	Φάση δευτερη	Διάτρηση	
Στρατηγικη		Κονδύλι	
		SCD 150-063-160 ACP5	
			
		Συνθήκες κοπής	
		Vc (m/min)	185
		N (Rpm)	4.000
f (mm/rev)	0,4		
		5 min	

Σύνολο χρόνου κέντρου κατεργασιών 24 λεπτά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Περιορισμοί

Ένα πρώτο, εύγλωττο συμπέρασμα, που μπορεί να γίνει με το πέρας της εργασίας, είναι ότι τα προγράμματα σχεδιασμού κατεργασιών τórνευσης - έκτος κέντρου- είναι λιγότερο εξελιγμένα σε σχέση με αυτά των κέντρων κατεργασιών. Το Solidcam δεν παρείχε το ίδιο δυναμικό δυνατοτήτων στην τórνευση όσο στο φρεζάρισμα. Αυτό απορρέει από τη διαφορά στη διαθεσιμότητα της γκάμας των εργαλείων, τη διαφορά στις επιλογές των εργαλειομηχανών ή ακόμη και στην τρισδιάστατη προσομοίωση παραγωγής που είναι σαφώς ανώτερη στο κέντρο κατεργασιών. Η «τόρνευση», δεν ήταν πλήρως ενημερωμένη στα σύγχρονα εργαλεία και δυνατότητες στρατηγικής (στο τέταρτο κεφάλαιο έχουν κατατεθεί επιμέρους λεπτομέρειες). Οι αιτίες είναι, προφανώς, ότι το πρόγραμμα θεωρεί την τórνευση μια απτή δισδιάστατη κατεργασία που δεν επιδέχεται επιπλέον αναβάθμισης. Ότι, ούτως ή άλλως, πάνω στα κέντρα τórνευσης υπάρχουν εξελιγμένα προγράμματα και ότι η ροή εξελίξεων περνά στα σύνθετα κέντρα κατεργασιών, που συνδυάζουν και τις δύο κατεργασίες.

Όντως, το πρόγραμμα είναι άρτιο για απλής γεωμετρίας τórνευσεις, με πολλές εξωτερικές φάσεις ή μικρά σε μέγεθος προϊόντα. Το παράδειγμα, όμως, μιας ζάντας, είναι φανερό ότι αφορά μια πιο σύνθετη κατεργασία, που χρειάζεται παραπάνω προγραμματιστικές δυνατότητες. Στο ανάλογο κεφάλαιο αναφέρθηκε η αλλαγή πλευράς τórνευσης ή οι πολύπλοκες εσωτερικές κατεργασίες. Συγκεκριμένα, ένα αντικείμενο με 3 επίπεδα εκτέλεσης τórνευσης, πολλά κοίλα εσωτερικά μέρη, μεγάλη διάμετρο αλλά και σημαντική αποβολή αρχικού υλικού, δεν συναντά ένα «φιλόξενο» περιβάλλον σχεδιασμού κατεργασιών. Η ιδιαίτερη αυτή μορφολογία αποδυναμώνει τις «αυτόματες έξυπνες επιλογές». Αναφέρθηκε, επίσης, ότι ορίσθηκαν οι γεωμετρικές κοπής με κατάδειξη από «σημείο σε σημείο» του δισδιάστατου σχεδίου.

Το δεύτερο συμπέρασμα είναι ότι τα συνήθη κέντρα τórνευσης, δεν είναι ενδεδειγμένα στο να κατεργάζονται τέτοιου μεγέθους και μορφολογίας προϊόντα. Σε αυτήν την κατηγορία διαμέτρου τórνευσης είτε θα μιλάμε για μεγάλες τράπεζες και πολύ χαμηλές ταχύτητες ή για οριακό χώρο κατεργασιών με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες αλλά και με μικρότερη ισχύ. Τα μήκη κοπής μιας ζάντας για διαμήκη αλλά και εγκάρσια τórνευση, όπως και τρόποι δεσίματος δεν συμφωνούν -τουλάχιστον με τις επιλογές

εργαλειομηχανών του προγράμματος. Τα συνήθη, δηλαδή, κέντρα τόννευσης δεν είναι παραγωγικά για το διαστασιολόγιο μιας ζάντας.

Ειδικότερα, ο βασικός περιορισμός του προγράμματος είναι ότι η «τόννευση» δεν δέχεται ως αρχικό προϊόν προς κατεργασία, ένα τελικό προϊόν προερχόμενο από άλλες κατεργασίες. Αυτή, είναι μία ενέργεια αποδεκτή μόνο σε κέντρο κατεργασιών. Το αρχικό μπλοκ μασίφ κυλίνδρου αλουμινίου για παράδειγμα, δεν κατέστη δυνατό να διατηρηθεί (κεντρική οπή ζάντας) σε ένα κεντρο κατεργασιών κι έπειτα να μεταφερθεί στο κέντρο τόννευσης. Ενδεχομένως το ίδιο θα μπορούσε να γίνει και με ένα μετωπικό φρεζάρισμα ώστε να σχηματιστεί το εσωτερικό βάθος τη ζάντας πριν τις κατεργασίες τόννευσης. Αφορά τόννευση διάρκειας περίπου μίας ώρας, που θα μπορούσε να απαλειφτεί από έναν εύλογο χρόνο σε κέντρο κατεργασιών με ειδικό εργαλείο.

6.2 Επιστροφή στο σχεδιασμό

Όσον αφορά το σχεδιασμό, θα ήταν προτιμότερο να είχε σχεδιασθεί μια ενιαία τομή «περιστροφής», δηλαδή, να σχημάτιζε τη ζάντα η ενιαία τομή του δίσκου και της στεφάνης, με μια περιστροφή. Το πλεονέκτημα της εν λόγω ενέργειας θα ήταν ότι το πρόγραμμα θα αναγνώριζε πιο ευδιάκριτα τις επιφάνειες προς κατεργασία και θα δοκίμαζε ενιαία το τελικό προϊόν σε εικονικές δοκιμές αντοχής.

Έπειτα, σε ειδικά θέματα πάνω στο αρχικό σχέδιο, θα ήταν προτιμότερο να υπάρχουν μεγαλύτερες ακτίνες στις γωνίες του διάκενου τριγώνου του δίσκου. Έτσι, δεν θα χρησιμοποιούσαμε τόσο μικρά κονδύλια φρεζαρίσματος για να κατεργαστούν τις ακμές, αλλά μεγαλύτερα και αποδοτικότερα. Παρόμοιο ζήτημα υπάρχει και στην ένωση του δίσκου με την στεφάνη, όπου σχεδιάστηκε μια πολύ κλειστή εσωτερική γωνία, που κατεργάστηκε με ρομβοειδές 35 μοιρών. Θα μπορούσε να είναι πιο πρόσωπο και με μεγαλύτερη ακτίνα, ώστε αυτή η φάση, να ήταν πιο ακριβής και παραγωγική.

Τελικά, από όλα τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι πρέπει πάντα να επιστρέφουμε από την προσομοίωση στον σχεδιασμό, για ακόμη καλύτερα αποτελέσματα, όπως στην ουσία, κάθε βιομηχανικός σχεδιασμός υποχρεούται να πράξει.

Όσον αφορά στη στρατηγική των κατεργασιών, παρουσιάστηκαν δυο εμφανή διλήμματα. Σε συγκεκριμένες φάσεις με καμπύλη γεωμετρία, μπορούσαν να επιλεχθούν τα εξής: εγκάρσια ή διαμήκης τόννευση και στο τέλος, αποπεράτωση ή κατεργασία εξ'ολοκλήρου μορφής. Σε όλες τις περιπτώσεις, λόγω όγκου θεωρήθηκε και έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, το

να κόβουμε κοντά στην τελική γεωμετρία με ισχυρή διαμήκη ή εγκάρσια τόννευση και μετά, να γίνεται το τελικό φινίρισμα με κατεργασία αποπεράτωσης. Όσον αφορά τη μετωπική κατεργασία αποκοπής στοκ που έγινε με διαφορετική στρατηγική -εμπρός και πίσω-, δεν προέκυψαν χρονικές διαφορές ανάμεσα σε διαμήκη η εγκάρσια εξωτερική τόννευση. Προφανώς, όμως, η εγκάρσια εξυπηρετεί καλύτερα την αποδοτικότητα της εργαλειομηχανής.

6.3 Παραγωγή

Το πιο σημαντικό ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί στον επίλογο, είναι το πόσο παραγωγική είναι η μέθοδος παρασκευής της ζάντας αυτοκινήτου της μελέτης.

Προφανώς, για μικρές ποσότητες προϊόντων, θα μπορούσε να υπάρξει μια παρόμοια διαδικασία διάρκειας 3,5 ωρών, ώστε να παραχθεί ένα καλύτερο αισθητικά και μηχανικά αποτέλεσμα, σε συνδυασμό με μια διαφοροποίηση γκάμας. Θα ήταν μία μικρή και χρονοβόρα παραγωγή με μεγάλη παραγωγική ελευθερία ώστε να προσφέρει μεγάλη γκάμα προϊόντων, σε αντίθεση με άλλες παραγωγικές μεθόδους, που η απόσβεση κόστους μπορεί να γίνει μόνο με μαζική παραγωγή ενός τύπου μόνο. Παρ'όλα αυτά, είναι υπερβολικός χρόνος παραγωγής για μία ζάντα εκ των τεσσάρων.

Γενικότερα, διαπιστώνεται ότι στην αγορά υπάρχει ειδική κατηγορία προϊόντων κατασκευής ζαντών αλουμινίου, τόσο σε κέντρα κατεργασιών όσο και εργαλείων. Για παράδειγμα, προωθούνται ειδικά εργαλεία -turning grooving- με στρογγυλό πλακίδιο και ειδική κλίση που βοηθούν στις αποπερατώσεις βάθους. Ειδικά συστήματα τριών κέντρων κατεργασιών -ένα διάτρησης, ένα τόννευσης και ένα φινιρίσματος ακριβείας μαζί με ρομπότ μεταφοράς και φόρτωσης- πωλούνται για κατασκευή ζαντών αλουμινίου. Όλα είναι προσαρμοσμένα πάνω στις παραγωγικές ανάγκες κατεργασίας ζαντών αλουμινίου, με εξελιγμένα συστήματα επικοινωνίας και μετρητικά, ακτινογραφικά on-board συστήματα. Με ανοιχτές τις θύρες, το ρομπότ με ειδικές αρπάγες, ανταλλάσσει ζάντες ανά φάση, σε λίγα δευτερόλεπτα.



Εικόνα 6.1 OKUMA CELL για ζάντες αλουμινίου

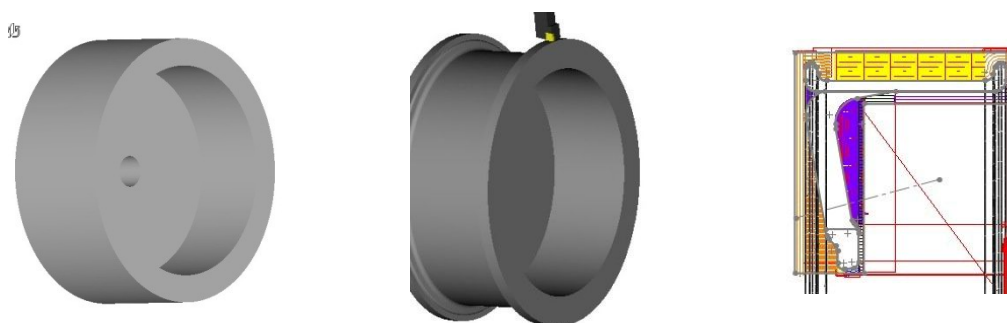
Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι όντως σήμερα υπάρχει εμπορική ή τεχνολογική ή παραγωγική βάση στο να δημιουργηθεί μια ζάντα αλουμινίου σε κέντρα κατεργασιών.

Η ουσιώδης διαφορά είναι ότι όλα αυτά γίνονται για να υποδεχθούν το αποτέλεσμα της -υπό πίεση- χύτευσης της αλουμινένιας ζάντας. Για να εκτελέσουν ακριβή και σύντομα φινιρίσματα και διάνοιξη οπών. Για φινιρίσματα ακριβείας που μεταμορφώνουν το θαμπό προϊόν χύτευσης σε γυαλιστερό μέταλλο. Από την χύτευση εξέρχεται ένα ημι-τελικό προϊόν με διαμορφωμένες και τις οπές των νεύρων - διαφορά πάχους το πολύ 0,5 mm από το τελικό προϊόν, με έναν ουσιαστικά «καθαρισμό» από εξτρά υλικό στα διάκενα των νεύρων, που η χύτευση δεν είναι εκεί τόσο ελέγξιμη.

Ουσιαστικά, κατεργάζονται μεγάλες ποσότητες ανά βάρδια ενός τύπου και σχεδιασμού ζάντας που αποπερατώνουν, δεν διαμορφώνουν.

6.4 Βελτίωση χρόνων με αλλαγή του προς κατεργασία αντικειμένου

Εμείς προμηθευτήκαμε ένα μπλόκ κυλίνδρου αλουμινίου από χύτευση, για μια παραγωγή ανά διαφορετικό είδος σε λογικές ποσότητες. Ένα αρχικό μπλοκ χύτευσης που θα μπορούσε να κατεργαστεί σε όλες τις μορφές μιας ζάντας 16 ιντσών σε οποιοδήποτε σχέδιο -ώστε να εξυπηρετήσει τη δική μας λογική παραγωγής- θα ήταν έναν κύλινδρο σε σχήμα δοχείου. Οι διαστάσεις θα ήταν τέτοιες ώστε να δύναται να κατεργασθεί σε οποιοδήποτε μορφή ζάντας. Σε αυτήν την περίπτωση, θα είχαμε μείωση τουλάχιστον άλλης μια ώρας.



Εικόνα 6.2 Κατεργασία σε μικρότερο σε όγκο και σχήμα κυλινδρικό μπλοκ

Έπειτα, αν προσθέταμε το χρόνο του κέντρου κατεργασιών θα υπολογίζαμε περίπου 2 ώρες και 30 λεπτά ανά ζάντα. Αν, όμως, προχωρούσαμε σε έναν κατάλληλο επανασχεδιασμό τόσο στις κλειστές κοιλότητες όσο και σε άλλα χρονοβόρα σημεία που αναφέρθηκαν, θεωρητικά, θα μπορούσαμε με την υπάρχουσα στρατηγική κατεργασιών της εργασίας, να κερδίζαμε 20 λεπτά επιπλέον. Επομένως, ο συνολικός τελικός καθαρός χρόνος κατεργασιών, για την κατασκευή με την μέθοδο που αναπτύχθηκε, θα ήταν δύο ώρες. Βέβαια, σε όλα τα παραπάνω δεν έχουν υπολογισθεί εξτρά торνεύσεις για φινιρίσμα ακριβείας που κρίνονται απαραίτητες λόγω εμφάνισης. Ασφαλώς, υπάρχουν ακόμη τεράστιες διαφορές σε παραγωγικούς χρόνους σε σχέση με την

«εξ'ολοκλήρου χύτευση», οπού οι αποπερατώσεις διαρκούν το πολύ 15 λεπτά σε όλα τα κέντρα συνολικά.

Συμπερασματικά, καταλήγω στο ότι υπάρχει βάση σε μια μέθοδο παραγωγής όπως της μελέτης, καθώς είναι μέσα σε παραγωγικούς χρόνους, αλλά όχι μαζικής παραγωγής. Για μικρή εξειδικευμένη ποσότητα μας δίνεται μεγαλύτερος βαθμός ελευθερίας εναλλαγής της παραγωγής και μειωμένου κόστους παράγωγης - σε σχέση με τη μαζική παραγωγή, οπού η τόσο εύκολη διαφοροποίηση κρίνεται αδύνατη. Άρα, μπορεί να απευθυνθεί σε ιδιαίτερες απαιτήσεις ειδικών σκοπών ή ακόμη και σε μοναδικά σχέδια που δεν μπορούν να δημιουργηθούν με άλλη μέθοδο. Το βασικό πλεονέκτημα, τελικά, είναι η παραγωγική ευελιξία εφόσον μπορεί να εκμεταλλευθεί εμπορικά.

6.5 Επίλογος

Παρότι υπήρξε μια αρχική δυσπιστία ως προς την παραγωγικότητα -σε κέντρο κατεργασιών μιας ζάντας- διαπιστώθηκε ότι υπάρχει τεχνολογικό ενδιαφέρον και παραγωγική απόδοση. Η σύγχρονη εμπορική και τεχνολογική ανάπτυξη της ζάντας αλουμινίου με πληθώρα σχεδιαστικών διαφοροποιήσεων, μπορεί να στηριχτεί εξ' ολοκλήρου στις κατεργασίες.

Μπορεί, βέβαια, να στηριχθεί για ορισμένες δυνατότητες παραγωγής, που δίνουν άρτιο και τεχνολογικά ακμαίο αποτέλεσμα, παρά το υψηλό κόστος. Να προσφέρει ένα αποτέλεσμα που δίνει αξία - λόγω κατεργασίας και όχι χύτευσης- και στις μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος, ή, ακόμα, και τη δυνατότητα να επέμβει στα κινηματικά του χαρακτηριστικά. Ανάλογα τις επιδόσεις που επιζητάμε, εύκολα θα μπορούσαμε να αφαιρέσουμε από το εσωτερικό των νεύρων υλικό για μείωση βάρους.

Τελικά, σε έναν κόσμο με πολλές πια σχεδιαστικές προτάσεις και υψηλή ποιότητα στα προϊόντα οχημάτων, η ζάντα συμπεριλαμβάνεται στις κατασκευές που αναζητούν τα χαρακτηριστικά της άρτια σχεδίασης, παραγωγικότητας και επιδόσεων. Σε αυτές τις κατασκευές αιχμής, έχει χώρο μια παραγωγή εξ'ολοκλήρου από κέντρα κατεργασιών κατευθυνόμενη βέβαια στο να προσθέσει υπεραξία και μοναδικότητα στο τελικό προϊόν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allada, V. Agarwal, M., 1996. Formalization of feature relationships for determining sequencing of machining operations in process planning, in: Proceedings of the Fifth Industrial Engineering Research Conference, 170-175.
2. Chang, T.C., 1990, Expert Process Planning for Manufacturing, Addison-Wesley, USA, pp. 94-97.
3. Chen, C.L.P. LeClair, S.R., 1994. Integration of design and manufacturing: solving setup generation and feature sequencing using an unsupervised learning approach, *Computer-Aided Design*, 26, 59-75.
4. Chiou, J.C.J., Lee, Y.-S., Multiple-axis sculptured surface machining, 2006. *International Journal of Manufacturing Research*, 1/2, 213 - 247.
5. Cho, M.-H., Kim, D.-W., Lee, C.-G., Heo, E.-Y., Ha, J.-W., Chen, F.F., 2009. CBIMS: Case-based impeller machining strategy support system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25/6, 980-988.
6. Chu, C.-H., Huang W.-N., Li, Y.-W., 2010. An integrated framework of tool path planning in 5-axis machining of centrifugal impeller with split blades. *Journal of Intelligent Manufacturing*, published on-line, DOI 10.1007/s10845-010-0419-y.
7. Jang, D. K., Cho, H. Y., Lee, H. K., Kong, Y. S., Yang, G.E., 2004. A study on tool path generation for machining splitter type impellers with 5-axis Machining Center. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 21/3, 83-90.
8. Kim, Y.S. Wang, E. Rho, H.M., 2001. Geometry-based machining precedence reasoning for feature-based process planning, *International Journal of Production Research*, 39, 2077-2103.
9. Lasemi, A., Xue, D., Gu, P., 2010. Recent development in CNC machining of freeform surfaces: A state-of-the-art review. *Computer-Aided Design*, 42/7, 641-654.
10. Lee, C.-S., Lee, J.-H., 2010. Geometric modeling and tool path generation of model propellers with a single setup change, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50/1, 253-263.
11. Lee, D.-H. Kiritsis, D. Xirouchakis, 2001. P. Search heuristics for operation sequencing in process planning, *International Journal of Production Research*, 39, 3771-3788.
12. Li, W.D. Ong, S.K. Nee, A.Y.C., 2002. Hybrid genetic algorithm and simulated annealing approach for the optimization of process plans for prismatic parts, *International Journal of Production Research* 40, 1899- 1922.

13. Makhanov, S.S., 2010. Adaptable geometric patterns for five-axis machining: a survey. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47/9-12, 1167-1208.
14. Newman, S.T., Nassehi, A., Xu, ., X.W., Rosso Jr., R.S.U., Wang, L., Yusof, Y., Ali, L., Liu, R., Zheng, L.Y., Kumar, S., Vichare P., Dhoki, V., 2008. Strategic advantages of interoperability for global manufacturing using CNC technology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24/6, 699-708.
15. Qi, R., Liu, W., Bian H., Li, L., 2009. Five-axis rough machining for impellers. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 4/1, 71-76.
16. Qiao, L. Wang, X.Y. Wang, S.C., 2000. A GA-based approach to machining operation sequencing for prismatic parts, *International Journal of Production Research*, 38, 3283-3303.
17. Rauch, M., Xu, X., 2010. Five-axis machining: technologies and challenges. *International Journal of Manufacturing*, 5/3, 327 - 352.
18. Roman, A., Bedi, S. Ismail, F., 2006. Tool path planning for 3½-axis machining. *International Journal of Manufacturing Research*, 1/2, 248 - 265.
19. Sormaz, D. (2000). Modeling of manufacturing feature interactions for automated process planning, *Journal of Manufacturing Systems*, 19, 28-45.
20. Waiyagan. K., Bohez, E.L.J., 2009. Intelligent feature based process planning for five-axis mill-turn parts, *Computers in Industry*, 60/5, 296-316.
21. Braun, Herwig, Dobler, Hans - Dieter, Doll, Werner, «Μηχανολογία II» , Ευρωπαϊκές τεχνικές εκδόσεις, 2012.
22. Βοσνιάκος, Γ.-Χ., « Computer Numerical Control -Computer Aided Manufacturing», Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2001.
23. Μανωλάκος, Δ., «Κατεργασίες II», Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2014.

Πηγές στο διαδίκτυο :

- I) <http://www.solidcam.com>
- II) <http://www.solidworks.com>
- III) <http://www.iscar.com>
- IV) <http://www.okuma.com>
- V) <http://www.mitsubishicarbide.com>