



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης
βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα»**

**«Design and construction of a pneumatic gripper
of an industrial robotic arm for axisymmetric parts»**

Λειβαδιωτάκης Γεώργιος
Διπλ. Μηχ. Παραγωγής και Διοίκησης

Επιβλέπων: Γ-Χ. Βοσνιάκος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη εργασία αφορά την μελέτη, την σχεδίαση και την κατασκευή πνευματικής αρπάγης που θα χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο χειρισμού αξονοσυμμετρικών αντικειμένων για ρομποτικό βραχίονα βιομηχανικού τύπου. Αρχικά παρουσιάζονται συνοπτικά τα βιομηχανικά ρομπότ και οι σχετικές αρπάγες μαζί με διάφορους μηχανισμούς ενεργοποίησης. Προτείνονται διάφορα concepts και βαθμολογούνται με ιδιαίτερη έμφαση στην κατασκευή τους. Από αυτά επιλέγεται ο τύπος αρπάγης που θα σχεδιασθεί, ολοκληρώνοντας έτσι το στάδιο του προκαταρκτικού σχεδιασμού. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διάφορα εξαρτήματα της αρπάγης που σχεδιάστηκαν με την βοήθεια λογισμικού CAD στο πλαίσιο του σταδίου του λεπτομερειακού σχεδιασμού. Στο πλαίσιο της μελέτης αντοχής γίνεται ανάλυση δυνάμεων που ασκούνται στην αρπάγη κατά την λειτουργία της, και των καταπονήσεων που δέχεται το κάθε εξάρτημα ξεχωριστά μέσω του λογισμικού ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία. Τα εξαρτήματα που σχεδιάστηκαν κατασκευάστηκαν όλα σε φρέζα CNC 3 αξόνων βάσει προγραμμάτων g-code που προέκυψαν από εκτεταμένη χρήση λογισμικού CAM. Επιπλέον, παρουσιάζεται ενδεικτικά τρόπος κατεργασίας ενός εξαρτήματος με βάση τον προγραμματισμό της τροχιάς εργαλείων στο λογισμικό CAM. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές λειτουργίες και χειρισμός της φρέζας η οποία χρησιμοποιήθηκε για την κατεργασία των εξαρτημάτων της αρπάγης. Τέλος, μετά τη συναρμολόγηση της αρπάγης, παρατίθενται δοκιμές που έγιναν με αυτή για το χειρισμό διαφόρων αξονοσυμμετρικών τεμαχίων και που τεκμηριώνουν την επιτυχία του εγχειρήματος σχεδιασμού και κατασκευής.

ABSTRACT

This work concerns the study, design and construction of a pneumatic gripper that will be used as a manipulation tool of axisymmetric parts for a industrial robotic arm. Initially, a brief presentation is given of industrial robots and relevant grippers together with their activation mechanisms. Several concepts are reviewed and evaluated by marking with particular emphasis on their construction. The favoured gripper type is pinpointed, thereby completing the preliminary design stage. Next, the design of the variety of components making up the gripper is presented by aid of CAD software in the framework of the detailed design stage. This is followed by analysis of forces applied on the gripper during its operation as well as computation of stresses and strains of each part by aid of finite element analysis software. The designed parts were all manufactured on a 3-axis CNC milling machine using g-code constructed by extensive use of CAM software. In addition, machining of an indicative parts is presented as programmed on the CAM software. The main functions as well as operation of the CNC milling machine that was employed are briefly reviewed. After assembly of the gripper mechanism, the tests performed are outlined concerning several axisymmetric parts, thereby proving the success of the project.

.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, ιδιαιτέρως, τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο-Χ. Βοσνιάκο, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αναθέτοντάς μου την μελέτη και την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αλλά και για τις πολύτιμες και ουσιαστικές συμβουλές του καθώς και για την άψογη συνεργασία μας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρα Μάτσα Ηλία για την ιδέα του θέματος της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Γεώργιο Παπαζέτη καθώς και τον Φωτεινό Ρογάρη για την πολύτιμη βοήθειά τους όσον αφορά την εκμάθηση της φρέζας CNC, αλλά και την συμβολή τους στην κατασκευή και συναρμολόγηση της αρπάγης, καθώς και τον προπτυχιακό φοιτητή Χρήστο Μαραγκό για την βοήθειά του στη δημιουργία του προγράμματος λειτουργίας του ρομπότ πριν τη διαδικασία δοκιμών της αρπάγης. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του εργαστηρίου κκ. Κώστα Κερασιώτη και, ιδιαιτέρως, Νίκο Μελισσά για την βοήθεια και καθοδήγησή τους σε πρακτικά ζητήματα καθ όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Η επιστήμη είναι ένα υπέροχο πράγμα, αν δεν χρειάζεται να βγάλεις το ψωμί σου από αυτήν.

Αλβέρτος Αϊνστάιν, 1879-1955, Γερμανοεβραίος φυσικός

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1 Ιστορική αναδρομή	12
1.2 Ρομπότ και βιομηχανία	14
1.3 Αρπάγες ως μέρος ενός ρομπότ.....	15
1.4 Σκοπός της εργασίας.....	16
1.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	16
2 ΑΡΠΑΓΕΣ.....	19
2.1 Εισαγωγή	19
2.2 Τύποι αρπαγών.....	19
2.2.1 Παράλληλες αρπάγες	19
2.2.2 Αρπάγες μεγάλης διαδρομής.....	23
2.2.3 Αρπάγες με δάχτυλα γωνιακής κίνησης.....	23
2.2.4 Αρπάγες με τρία δάχτυλα	23
2.2.5 Αρπάγες με τέσσερα δάχτυλα.....	24
2.2.6 Αρπάγες απόδρασης.....	24
3 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	26
3.1 Εναλλακτικές λύσεις	26
3.1.1 Επιλογή τρόπου ενεργοποίησης της αρπάγης.....	26
3.1.2 Επιλογή κινηματικού μηχανισμού της αρπάγης	27
3.1.3 Επιλογή υλικού αρπάγης.....	27
3.1.4 Επιλογή αριθμού δαχτύλων της αρπάγης.....	28
3.2 Αρχικός σχεδιασμός αρπάγης	29
4 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	31
4.1 Solidworks 2015.....	31
4.2 Αναλυτική παρουσίαση σχεδίασης αρπάγης	31
Πίνακας 1. Εξαρτήματα και εντολές που χρησιμοποιήθηκαν	33
4.3 Τρόπος λειτουργίας.....	37
5 ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΠΑΓΗΣ.....	40
5.1 Υπολογισμός δυνάμεων στα δάχτυλα της αρπάγης.....	40
5.2 Ανάλυση αντοχής αρπάγης στο SolidworksSimulation	41
5.2 Μελέτη περιπτώσεων ανεπαρκούς συγκράτησης.....	47

6 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΡΠΑΓΗΣ.....	52
6.1 Εισαγωγή στο SolidCAM	52
6.2 Προγραμματισμός CAM ενδεικτικού τεμαχίου.....	53
6.2.1 Face Milling	54
6.2.2 Profile.....	58
6.2.3 Drilling	62
6.2.4 G_Code.....	66
7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΠΑΓΗΣ.....	68
7.1 Φρέζα CNC	68
7.1.1 Μονάδα ελέγχου.....	69
7.2 Κατεργασία των τεμαχίων.....	70
7.2.2 Κοπή στοκ αλουμινίου	70
7.2.3 Συγκράτηση αρχικού στοκ στην μέγγενη	70
7.2.4 Δημιουργία τελικού στοκ.....	72
7.2.5 Τελική κατεργασία	72
7.2.6 Κατεργασία.....	72
7.3 Συναρμολόγηση της αρπάγης	73
7.3.1 Ποιοτικός έλεγχος εξαρτημάτων	73
7.3.2 Συναρμολόγηση αρπάγης.....	74
8 ΔΟΚΙΜΕΣ.....	77
9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	79
9.1 Σύνοψη.....	79
9.2 Μελλοντική εργασία.....	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	84
A. Ενδεικτικά μηχανολογικά σχέδια των εξαρτημάτων της αρπάγης.....	84
B. G_Code για την δημιουργία ενός απλού εξαρτήματος.....	87
Γ. Πρόγραμμα κίνησης του ρομπότ που χρησιμοποιήσαμε	89
Δ. Αρπάγεςδιαθέσιμεςστοεμπόριο.....	90

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Σύμφωνα με την Ελληνική μυθολογία, ο Τάλως, βλ. Εικόνα 1, ήταν ημίθεος, πολύ γρήγορος, μεγάλος, όμορφος και δυνατός. Ήταν κατασκευασμένος κατ' εντολή του βασιλιά της Κρήτης Μίνωα από τον Ήφαιστο και, σύμφωνα με τον μύθο, μπορούμε να πούμε ότι υπήρξε το πρώτο ρομπότ στην ανθρωπότητα. Αποστολή του ήταν να προστατεύει τον πλούτο της Κρήτης από τους επίδοξους εχθρούς της και να μεταφέρει μηνύματα. Είχε όμως ένα αδύνατο σημείο στο σώμα του : το άκρο της μοναδικής του φλέβας, η οποία ξεκινούσε από τον αυχένα του και κατέληγε στην φτέρνα του ήταν σφηνωμένο. Το τέλος του Τάλω επήλθε από την Μήδεια επειδή δεν ανταποκρίθηκε στον έρωτά της. Του τράβηξε το καρφί και το αίμα χύθηκε.



Εικόνα 1. Τάλως, το πρώτο ρομπότ

Ο όρος ρομπότ πρωτοεμφανίζεται σε ένα θεατρικό έργο επιστημονικής φαντασίας του Τσέχου συγγραφέα [Κάρελ Τσάπεκ](#) το 1921 και προέρχεται από τη σλαβική λέξη *robo* που σημαίνει εργασία. Η αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας στις βιομηχανίες μαζικής παραγωγής αντικαθιστά τους ανθρώπους με εξειδικευμένες μηχανές που εκτελούν μια προκαθορισμένη σειρά κατεργασιών στα προϊόντα που παράγονται. Στόχος της αυτοματοποίησης, η οποία γίνεται εφικτή με την ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας τον 20ό αιώνα, είναι η αυξημένη παραγωγικότητα, η βελτιωμένη ποιότητα, η αύξηση του κέρδους των επιχειρήσεων αλλά και η ελεγχιμότητα των μέσων παραγωγής.

Το 1961 κατασκευάζεται και τίθεται σε λειτουργία το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ (βλ. Εικόνα 2). Σύμφωνα με έναν ευρέως αποδεκτό ορισμό, χρονολογούμενο από το 1980, ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη μηχανή σχεδιασμένη να μετακινεί αντικείμενα, εργαλεία ή διατάξεις μέσω μιας ποικιλίας προγραμματιζόμενων κινήσεων, για την εκτέλεση εργασιών. Ο ορισμός αυτός αντανάκλα την τρέχουσα χρήση των ρομπότ στη

βιομηχανία, η οποία αποτελεί έναν αναπτυσσόμενο και ώριμο τομέα εφαρμογής της ρομποτικής τεχνολογίας και των προϊόντων της. Τυπικές εφαρμογές στη βιομηχανία περιλαμβάνουν τη φόρτωση - εκφόρτωση προϊόντων, τη βαφή, την κοπή κ.τ.λ.



Εικόνα 2. Το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ

Άλλοι τομείς εφαρμογής της ρομποτικής τεχνολογίας είναι η εξερεύνηση του διαστήματος, η ιατρική, οι αγροτικές εφαρμογές, η έρευνα και διάσωση κ.τ.λ. Η ρομποτική τεχνολογία στους τομείς αυτούς, παρά την ύπαρξη πρωτοτύπων, είναι ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο. Τα αίτια για το γεγονός αυτό μπορούν να αναζητηθούν στην έλλειψη βαθύτερης κατανόησης των μηχανισμών ελέγχου που επιτρέπουν στον άνθρωπο να χειρίζεται επιδέξια μια ποικιλία αντικειμένων στην καθημερινότητά του. Για παράδειγμα, ο επιτυχής χειρισμός ενός ποτηριού αποτελεί μια καθημερινή ενέργεια ενός ανθρώπου, χωρίς ο ίδιος να είναι σε θέση να εξηγήσει τις λεπτομέρειες και την αλληλουχία των ενεργειών που είχαν ως αποτέλεσμα την επιτυχή έκβαση της δράσης του. Η ερευνητική δραστηριότητα για την προαγωγή της επιστήμης και της τεχνολογίας σ αυτόν τον τομέα είναι, επομένως, ιδιαίτερα έντονη.

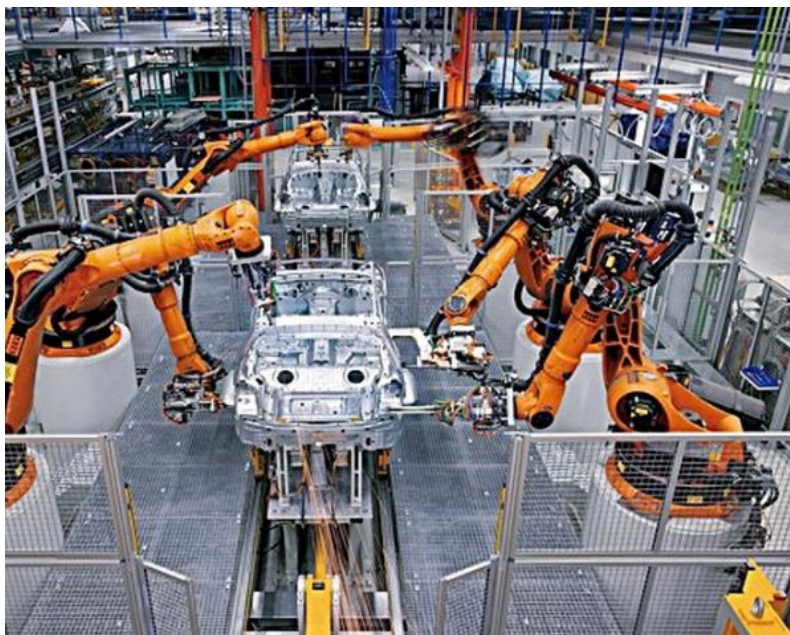
Τα έργα επιστημονικής φαντασίας έχουν επηρεάσει τους περισσότερους στον τρόπο με τον οποίο φαντάζονται τα ρομπότ. Από τα βιβλία του Ρώσου συγγραφέα [Ισαάκ Ασίμωφ](#) τη δεκαετία του 1940 έως τα κινηματογραφικά έργα, όπως "[Ο πόλεμος των άστρων](#)" (βλ. Εικόνα 3), τα ρομπότ παρουσιάζονται σαν ανθρωποειδή τα οποία μπορούν να περπατούν, να μιλούν, να βλέπουν, να ακούνε και, σε μερικές περιπτώσεις, να είναι προικισμένα με αισθήματα. Στην επιστημονική κοινότητα, ρομπότ θεωρούνται οι μηχανές αυτές, οι οποίες ανεξάρτητα από την εμφάνισή τους, είναι ικανές να αλλάξουν το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν, μέσα από δράσεις που ακολουθούν κάποιους εγγενείς κανόνες και με βάση δεδομένα για το ίδιο το ρομπότ και για το περιβάλλον του, που αποκτώνται από τα αισθητήρια με τα οποία είναι εφοδιασμένο.



Εικόνα 3. Ρομπότ στην ταινία “Starwars”

1.2 Ρομπότ και βιομηχανία

Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία (βλ. Εικόνα 4) είναι από τις σημαντικότερες συσκευές για την καλύτερη, την πιο σύγχρονη, και ασφαλή λειτουργία της ίδιας της βιομηχανίας όσον αφορά τον αυτοματισμό. Προκειμένου να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της αγοράς, πολλές εταιρίες αποφασίζουν να χρησιμοποιήσουν τα βιομηχανικά ρομπότ για καλύτερα και φθηνότερα προϊόντα. Τα συγκεκριμένα ρομπότ μπορούν να βοηθήσουν σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας όπως για παράδειγμα η τοποθέτηση τεμαχίων, η συγκόλληση, η βαφή, η συναρμολόγηση και πολλά άλλα. Τα οφέλη επίσης που μπορεί να έχει η βιομηχανία είναι ότι τα ρομπότ είναι ευέλικτα και μπορούν να επαναπρογραμματιστούν, το εργασιακό περιβάλλον για τον άνθρωπο βελτιώνεται αισθητά, καθώς το ρομπότ τον αντικαθιστά σε βαριές και δύσκολες εργασίες και ως εκ τούτου η ποιότητα παραγωγής αυξάνεται και ο χρόνος παραγωγής μειώνεται.



Εικόνα 4. Ρομπότ σε βιομηχανική γραμμή συναρμολόγησης

1.3 Αρπάγες ως μέρος ενός ρομπότ

Εκτός από το ίδιο το ρομπότ η πιο χρήσιμη συσκευή σε ένα ρομποτικό σύστημα είναι το τελικό σημείο δράσης (end effector), που συχνά είναι μια αρπάγη (gripper). Η αρπάγη (βλ. Εικόνα 5) μπορεί να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού ενός συγκεκριμένου ρομποτικού συστήματος είτε να προστίθεται ξεχωριστά στο σύστημα αυτό.



Εικόνα 5. Αρπάγη

Ο σχεδιασμός της εκάστοτε αρπάγης εξαρτάται από το ρομποτικό σύστημα στο οποίο θα προστεθεί, τα καθήκοντα τα οποία θα πρέπει να εκτελέσει, αλλά και το περιβάλλον του ρομποτικού συστήματος στο οποίο θα προστεθεί. Για παράδειγμα, κάποια ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν συγκεκριμένα – μεμονωμένα καθήκοντα όπως διαχείριση υλικών, συγκόλληση, κοπή, βαφή (βλ. Εικόνα 6) κλπ. Αυτά τα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούν συγκεκριμένες διατάξεις όσον αφορά της αρπάγες με συγκεκριμένα καθήκοντα αλλά και περιορισμούς.



Εικόνα 6. Πιστόλι βαψίματος

Πριν ξεκινήσει να σχεδιάζεται μία αρπάγη για κάποιο συγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα καλό θα ήταν να απαντηθούν κάποιες ερωτήσεις που παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Ποια είναι η μορφή και το βάρος των τεμαχίων που θα χειρίζεται η αρπάγη;
2. Ποια είναι η ομοιομορφία ή ανοχή διαστάσεων των τεμαχίων;
3. Είναι οι επιφάνειές τους ομαλές ; Τι συντελεστή τριβής έχουν ;
4. Ποια είναι η απόσταση μεταξύ των αντικειμένων ;
5. Τι προσανατολισμό θα έχουν ;
6. Ποια η τοποθέτηση και η απόσταση τους στο σημείο που θα τοποθετούνται ;
7. Ποιες είναι οι ανοχές τοποθέτησης ;
8. Τι δυνάμεις ή όρια πίεσης μπορούν να δέχονται τα τεμάχια ;
9. Τι συμπληρωματικά εργαλεία απαιτούνται ;
10. Υπάρχουν ειδικά περιβαλλοντικά ζητήματα;

1.4 Σκοπός της εργασίας

Στην συγκεκριμένη εργασία, θα πρέπει να μελετηθεί, να σχεδιαστεί και τέλος να κατασκευαστεί μία αρπάγη η οποία και θα τοποθετηθεί σε ρομπότ του Staubli RX 90 για τον χειρισμό τεμαχίων (τυπικά: φορτοεκφόρτωση τσικ τόνου).

Τα τεμάχια που θα χειρίζεται η αρπάγη θα είναι αξονοσυμμετρικά. Θεωρείται ότι έχουν τμήματα κυλινδρικά, κωνικά, σφαιρικά ή και τμήματα με γενέτετρα πολυωνυμική καμπύλη Spline. Οι διαστάσεις του περικλείοντος παραλληλεπίπεδου θα είναι από 20x20x30 μέχρι 150x150x150 mm και το συνολικό βάρος τεμαχίου και αρπάγης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 6 kg, που αντιστοιχεί στο ανώτατο όριο (payload) του ρομπότ για μέγιστη ταχύτητα κίνησης. Το υλικό των τεμαχίων προς χειρισμό μπορεί να είναι μεταλλικό (χάλυβας, αλουμίνιο, ορείχαλκος), πολυμερές, κεραμικό δηλαδή μη ευαίσθητο σε δυνάμεις σύσφιξης αλλά θα μπορούσε να είναι και σχετικά πιο ευαίσθητο όπως φελιζόλ. Τέλος η ενεργοποίηση της αρπάγης πρέπει να γίνεται από το ρομπότ είτε μέσω πεπιεσμένου αέρα είτε μέσω ηλεκτρονόμων.

Απώτερος στόχος της εργασίας είναι να συνδυαστούν η νοοτροπία του βιομηχανικού σχεδιαστή, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ζητήματα που θέτονται όπως περιορισμοί των διαστάσεων της αρπάγης, εύκολη κατασκευή, αντοχή του υλικού στις καταπονήσεις κ.α. και του κατασκευαστή χρησιμοποιώντας εργαλειομηχανές CNC για την υλοποίηση των επιμέρους τεμαχίων της αρπάγης, τη συναρμολόγηση και τον έλεγχο της.

1.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Τα ρομπότ στις μέρες μας αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του βιομηχανικού κλάδου με αποτέλεσμα και οι αρπάγες να αποτελούν θέμα συζήτησης καθώς και ερευνητικών μελετών και εργασιών. Στη βιβλιογραφία υπάρχει πλούσιο υλικό το οποίο αναλύει τους επιμέρους τομείς που σχετίζονται με το αντικείμενό της εργασίας.

Οι D.T. Pham και S.H. Yeo [13] στην εργασία τους παρουσιάζουν διάφορους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό αρπάγης, δηλαδή : το προς χειρισμό τεμάχιο, η λειτουργία που πρέπει να εκτελέσει η αρπάγη, το

περιβάλλον εργασίας, το ρομπότ ως σύστημα. Δίνεται βάση στο σημείο επαφής της αρπάγης με το εκάστοτε τεμαχίο και συμπεραίνεται ότι για μια συγκεκριμένη λειτουργία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρπάγες περισσότερων τύπων.

Οι Bhambure et al [14] στην εργασία τους παρουσιάζουν τον σχεδιασμό μίας αρπάγης η οποία θα προσομοιώνει την κίνηση του ανθρώπινου χεριού μέσω συστήματος MSM (Master Slave Manipulators) καθώς ο χρήστης αγγίζει με το χέρι του ένα joystick. Η συγκεκριμένη αρπάγη προσομοιώνει την κίνηση του χεριού του ανθρώπου λαμβάνοντας υπόψη μέγιστο άνοιγμα 80 mm και μέγιστο φορτίο 125 lbs. Μελετώνται μέσω της μεθόδου FEM οι καταπονήσεις που δέχεται η αρπάγη όταν σηκώνει φορτίο 9 και 12 kg αντίστοιχα.

Οι Latake et al. [12] αναφέρονται σε συγκεκριμένους παράγοντες, οι οποίοι παίζουν ρόλο στο σχεδιασμό μίας αρπάγης, με έμφαση στο μηχανισμό ενεργοποίησης, στο δικτύωμα μεταφοράς της δύναμης προς τα δάχτυλά της, στην λειτουργία που έχει να εκτελέσει και στην τροχιά που θα ακολουθήσουν τα δάχτυλα. Τέλος παρουσιάζουν την σημασία υπολογισμού της δύναμης στο σημείο επαφής δακτύλου - επιφάνειας τεμαχίου.

Οι Singh et al. [4] σχεδίασαν και κατασκεύασαν αρπάγη με άκαμπτα δάχτυλα, και ηλεκτρικό βηματικό κινητήρα, με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και ελάχιστη ισχύ. Παρουσιάζεται η ανάλυση των ροπών και των δυνάμεων που ασκούνται στο ρομπότ με την χρήση της συγκεκριμένης αρπάγης.

Οι Tarilman και Deaconescu [11] αναφέρονται στην ποικιλία των μηχανισμών ενεργοποίησης της εκάστοτε αρπάγης. Παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα που έχουν οι πνευματικοί επενεργητές, δηλ. εύκολος έλεγχος, εύκολη συντήρηση, εύκολος υπολογισμός δυνάμεων και ταχυτήτων, εύκολο σταμάτημα λειτουργίας σε περίπτωση κινδύνου. Προτείνονται διάφορες λύσεις σχετικών πνευματικών μηχανισμών.

Οι Rodrigues et al. [9] αναφέρονται στις δυσκολίες που έχει η μέτρηση των δυνάμεων που ασκούνται από την αρπάγη στις επιφάνειες των χειριζόμενων τεμαχίων. Παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή αρπάγης δύο δακτύλων όπου η ασκούμενη δύναμη συγκράτησης τεμαχίου μετράται μέσω συστήματος PLC και τα αποτελέσματα προσομοιώνονται και αναλύονται μέσω του λογισμικού ADAMS.

Η εταιρία Festo [31] σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο του Linz σχεδίασε και κατασκεύασε αρπάγη για τη συγκράτηση αντικειμένων περίπλοκης γεωμετρίας. Η δημιουργία της αρπάγης βασίστηκε στα 3 δάχτυλα που χρησιμοποιεί το ανθρώπινο χέρι, δηλαδή: αντίχειρα, δείκτη και μέσο. Κάθε δάχτυλό έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει το σχήμα του στην επιφάνεια με την οποία έρχεται σε επαφή. Είναι δυνατή η συγκράτηση επίπεδων επιφανειών με παράλληλο σύστημα κίνησης δακτύλων, καθώς και σφαιρικών επιφανειών, με κεντρικό σύστημα κίνησης δακτύλων με την ίδια ευκολία.

Οι Singh et al. [8] παρουσιάζουν την δημιουργία αρπάγης τριών δακτύλων για αντικείμενα ανεξαρτήτως βάρους καθώς και τριβής (με κάποιο ανώτατο όριο, βεβαίως). Αυτό επιτυγχάνεται καθώς στη μέση του κάθε δακτύλου υπάρχει μία

επιπλέον άρθρωση η οποία το βοηθάει να διπλώνει ώστε να αγκαλιάζει το εκάστοτε αντικείμενο. Χρησιμοποιούνται δύο μηχανισμοί: ο πρώτος για την ενεργοποίηση των τριών δαχτύλων και ο δεύτερος για να λυγίσουν μέσω της ενδιάμεσης άρθρωσης. Παρουσιάζονται και αναλύονται οι δυνάμεις και οι ροπές που ασκούνται.

Οι Riedel et al. [10] παρουσιάζουν μία έξυπνη αρπάγη η οποία έχει τη δυνατότητα να περιστρέφει το τεμάχιο και να το μετακινεί στον χώρο μέσω έξυπνων δαχτύλων. Η αρπάγη αποτελείται από τρία δάχτυλα με έξι αρθρώσεις το καθένα, που περικλείουν το αντικείμενο.

Οι Datta και Deb [16] αναφέρονται στην μετάδοση της κίνησης και την μεταφορά δυνάμεων από το έμβολο εκκίνησης μέχρι το τελικό σημείο των δαχτύλων που έρχονται σε επαφή με το προς χειρισμό τεμάχιο. Μάλιστα, παρουσιάζουν ενδιαφέροντες μαθηματικούς τύπους μετάδοσης δύναμης για τρία είδη μηχανισμού, ένας από τους οποίους θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία.

2 ΑΡΠΑΓΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Ένα σύγχρονο βιομηχανικό ρομπότ περιλαμβάνει τουλάχιστον τρία βασικά δομικά μέρη.

- Τον *χειριστή* (βραχίονα, χέρι) που είναι το κινούμενο μηχανικό σύστημα
- Τα *στοιχεία δράσης* ή επενεργητές (κινητήρες κλπ) που ενεργοποιούν τις αρθρώσεις του χειριστή
- Τον *υπολογιστή ή ελεγκτή* που αποθηκεύει και εκτελεί τα προγράμματα εργασίας και τελικά τις κινήσεις.

Ο ρομποτικός βραχίονας έχει στο άκρος του το εργαλείο (τελικό στοιχείο δράσης). Το τελικό στοιχείο δράσης μπορεί να είναι ένα εργαλείο συγκόλλησης, ένα πιστόλι βαφής, ένα μηχανικό εργαλείο, ή μια αρπάγη, με την οποία ασχολείται η παρούσα εργασία, ανάλογα με την εφαρμογή.

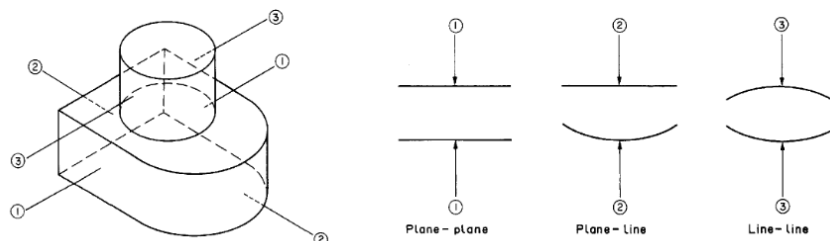
Κάθε αρπάγη έχει συγκεκριμένο μηχανισμό ενεργοποίησης (άνοιγμα – κλείσιμο). Ο μηχανισμός αυτός συνήθως είναι πνευματικός, υδραυλικός ή ηλεκτρικός.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αρπαγών: Παράλληλες (Parallel), μεγάλης διαδρομής (Long Stroke), γωνιακής κίνησης δαχτύλων (Angular Style), με τρία δάχτυλα (3- Finger), με τέσσερα δάχτυλα (4 – Finger) και απόδρασης (Escapements). Οι κατηγορίες αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.2 Τύποι αρπαγών

2.2.1 Παράλληλες αρπάγες

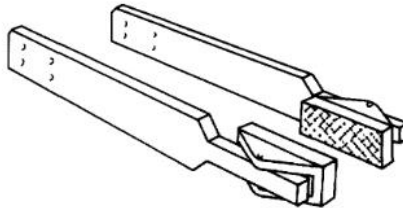
Αυτές οι αρπάγες διαθέτουν δύο παράλληλες σιαγόνες, οι οποίες με κατάλληλο μηχανισμό (πνευματικό, υδραυλικό, ηλεκτρικό) κλείνουν συγκρατώντας το τεμάχιο με έναν από τους παρακάτω τρεις τρόπους: (α) επίπεδο-επίπεδο (βλ. Εικόνα 7) που αναφέρεται σε δύο παράλληλες και επίπεδες σιαγόνες και χρησιμοποιείται όταν το τεμάχιο έχει επίπεδες πλευρές (β) επίπεδο-γραμμή (βλ. Εικόνα 7) για τεμάχια των οποίων η μία επιφάνεια είναι επίπεδη και η άλλη καμπυλωτή (γ) γραμμή-γραμμή (βλ. Εικόνα 7) για τεμάχια των οποίων και οι δύο επιφάνειες είναι καμπυλωτές.



Εικόνα 7. Τρεις τύποι επαφής αρπάγης με τεμάχιο

Στον συγκεκριμένο τύπο αρπάγης, ο οποίος είναι και ο πιο συνηθισμένος, πρέπει να προσεχθούν 5 βασικά χαρακτηριστικά.

Αρχικά θα πρέπει οι σιαγόνες να είναι παράλληλες μεταξύ τους, καθώς έτσι διευκολύνεται η συγκράτηση του τεμαχίου, εφόσον κι αυτό διαθέτει παράλληλες πλευρές. Στην περίπτωση που θέλουμε να συγκρατήσουμε τεμάχια που κατά βάση δεν έχουν πλήρως παράλληλες επιφάνειες, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε σιαγόνες, οι οποίες προσαρμόζουν τον προσανατολισμό τους μέσω αρθρωτού μηχανισμού όπως πχ στην Εικόνα 8.



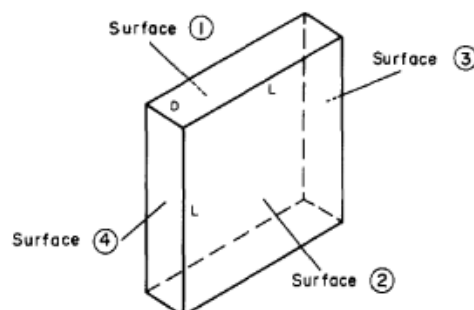
Εικόνα 8. Δάχτυλα αρπάγης με ρυθμιζόμενες πλάκες

Ακόμα, θα πρέπει να μελετηθεί η περιοχή της τομής μεταξύ ενός ζεύγους επιφανειών, που θα καθορίσει την ελάχιστη διαθέσιμη επιφάνεια επαφής για τη συγκράτηση. Είναι σαφές ότι η προκύπτουσα περιοχή θα είναι διαφορετική ανάλογα με το πώς γίνεται η προβολή από την μια επιφάνεια στην απέναντι, αλλά αυτή η διαφορά θα είναι γενικά μικρή, δεδομένου ότι οι επιφάνειες είναι πάντα σχεδόν παράλληλες. Ισχύουν οι παρακάτω τύποι :

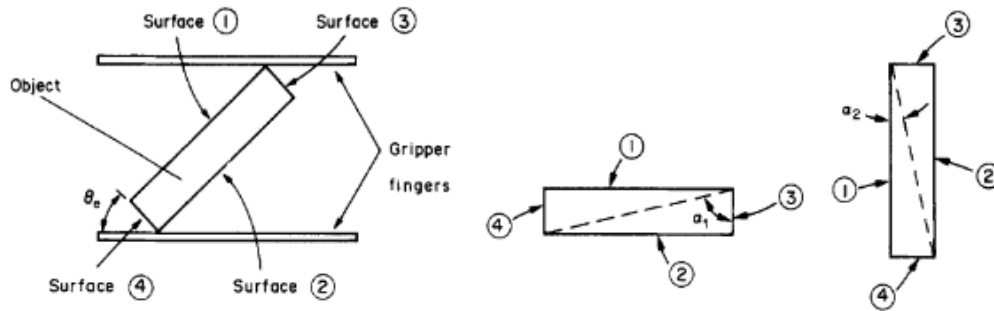
$$A_{\min} = F / P, \text{ και } F = K_s \cdot W / 2\mu$$

όπου F είναι η εκτιμώμενη δύναμη σύσφιξης, P είναι η επιτρεπόμενη πίεση στην επιφάνεια, K_s ένας συντελεστής ασφαλείας ο οποίος εξαρτάται από τη μέγιστη επιτάχυνση του ρομπότ και την κατάσταση επιφάνειας του τεμαχίου, μ ο συντελεστής τριβής, και W το βάρος του τεμαχίου. Επίσης είναι απαραίτητο να ισχύει $A > A_{\min}$, όπου A η επιφάνεια που διαθέτει το δάχτυλο για να έρθει σε επαφή με το τεμάχιο.

$$\alpha_1 = \tan^{-1}(L/D); \alpha_2 = \tan^{-1}(D/L)$$



Εικόνα 9. Επιφάνειες τεμαχίου προς «συγκράτηση»



Εικόνα 10. Σφάλμα «πιασίματος»

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των παράλληλων αρπαγών είναι η κάθετη απόσταση που έχουν οι σιαγόνες τους. Αυτή είναι που θα καθορίσει το ελάχιστο άνοιγμα των δαχτύλων της αρπάγης. Σημαντικό είναι να προσεχθεί και από ποιες επιφάνειες θα συγκρατηθεί το τεμάχιο. Σε κάποιες περιπτώσεις η συγκράτηση θα γίνει υπό γωνία και θα το τεμάχιο θα πάρει λάθος θέση. Για παράδειγμα στην Εικόνα 9 και Εικόνα 10 είναι σαφές ότι προτιμάται συγκράτηση στις πλευρές 1 και 2 παρά στις 3 και 4. Για να αποφασιστεί ποιο ζευγάρι επιφανειών είναι προτιμότερο χρησιμοποιείται ο τύπος $\alpha = \tan^{-1} = (L/D)$ όπου L το μήκος των επιφανειών και D η κάθετη απόστασή τους. Επιλέγεται το ζεύγος επιφανειών που δίνει το μικρότερο α .

Άξιος προσοχής είναι και ο τύπος των δαχτύλων που θα έχει η αρπάγη, δηλαδή είτε εξωτερικός είτε εσωτερικός. Με τον εξωτερικό (βλ. Εικόνα 11), ο οποίος είναι και ο πιο δημοφιλής, η συγκράτηση γίνεται καθώς κλείνουν τα δάχτυλα προς το τεμάχιο. Το αντίστροφο συμβαίνει με τον εσωτερικό τύπο δαχτύλων (βλ. Εικόνα 12), ο οποίος πιάνει το τεμάχιο καθώς ανοίγουν τα δάχτυλά του. Όπως γίνεται αντιληπτό στην δεύτερη περίπτωση το τεμάχιο θα πρέπει να έχει κάποιου είδους οπή ή αυλάκι.

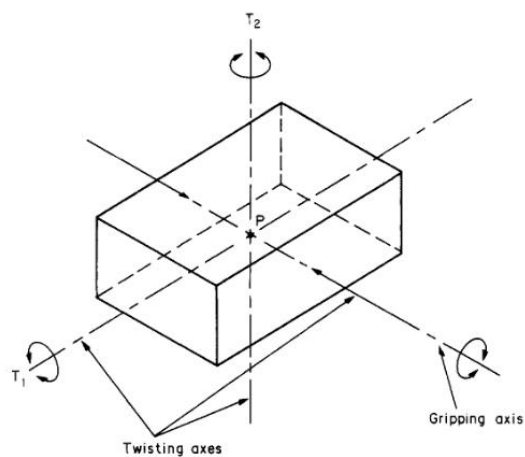


Εικόνα 11. Εξωτερικός τρόπος συγκράτησης τεμαχίου

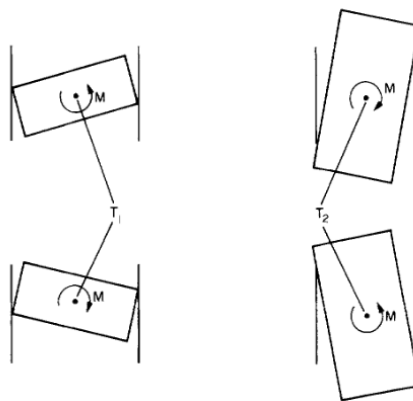


Εικόνα 12. Εσωτερικός τρόπος συγκράτησης τεμαχίου

Ένα τελευταίο σημείο που αξίζει να προσεχθεί στις συγκεκριμένες αρπάγες είναι οι ροπές που ασκούνται στα δάχτυλα της αρπάγης μέσω του τεμαχίου. Αυτές ανάλογα με το συγκρατείται το τεμάχιο είτε βοηθάνε σε ασφαλέστερη συγκράτηση του τεμαχίου είτε οδηγούν στην πτώση του, βλ. Εικόνες 13 και 14.



Εικόνα 13. Ροπές που ασκούνται στα δάχτυλα της αρπάγης



Εικόνα 14. Ροπές στα δάχτυλα της αρπάγης λόγω σφάλματος θέσης του τεμαχίου

2.2.2 Αρπάγες μεγάλης διαδρομής

Αυτές είναι ακριβώς όπως οι παράλληλες αρπάγες που αναλύθηκαν παραπάνω, με την διαφορά ότι μπορούν να πιάσουν τεμάχια μεγαλύτερης διατομής. Για παράδειγμα, όταν μία παράλληλη αρπάγη μπορεί να ανοίξει περίπου στα 80 mm, μια αρπάγη μεγάλης διαδρομής μπορεί να ανοίξει μέχρι και 300 mm. Τα βασικά χαρακτηριστικά που ισχύουν και για τις παράλληλες αρπάγες ισχύουν και για την παρούσα κατηγορία αρπαγών.

2.2.3 Αρπάγες με δάχτυλα γωνιακής κίνησης

Οι συγκεκριμένες αρπάγες διαθέτουν δάχτυλα τα οποία κινούνται κυκλικά το ένα σε σχέση με το άλλο (Lever type). Όταν πλησιάσουν πολύ κοντά μπορούμε να πούμε ότι είναι παράλληλα μεταξύ τους. Μέχρι να συμβεί αυτό, όμως, δημιουργούν γωνία μεταξύ τους διότι το κάθε δάχτυλο ενώνεται με την βάση μέσω κυλινδρικού συνδέσμου, βλ. Εικόνα 15.



Εικόνα 15. Ανοιχτή αρπάγη γωνιακού τύπου



Εικόνα 16. Κλειστή αρπάγη γωνιακού τύπου

2.2.4 Αρπάγες με τρία δάχτυλα

Οι αρπάγες αυτές προτιμώνται όταν «πιάνονται» τεμάχια κατά βάση κυλινδρικά και σφαιρικά τα οποία είναι δυσκολότερο να πιαστούν με μία απλά αρπάγη με δύο δάχτυλα. Τα τρία δάχτυλα της αρπάγης μπορούν να κινούνται είτε ευθύγραμμα είτε με γωνιακά, βλ. Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Αρπάγη με τρία δάχτυλα

2.2.5 Αρπάγες με τέσσερα δάχτυλα

Αυτές οι αρπάγες χρησιμοποιούνται για αρκετά πολύπλοκα αντικείμενα όταν είναι απαραίτητη πιο ασφαλής συγκράτηση, βλ. Εικόνες 18 και 19.



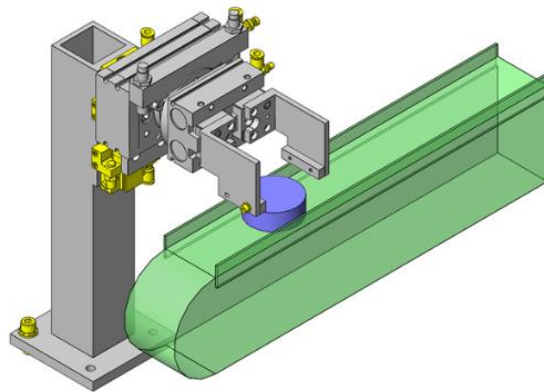
Εικόνα 18. Αρπάγη με τέσσερα δάχτυλα



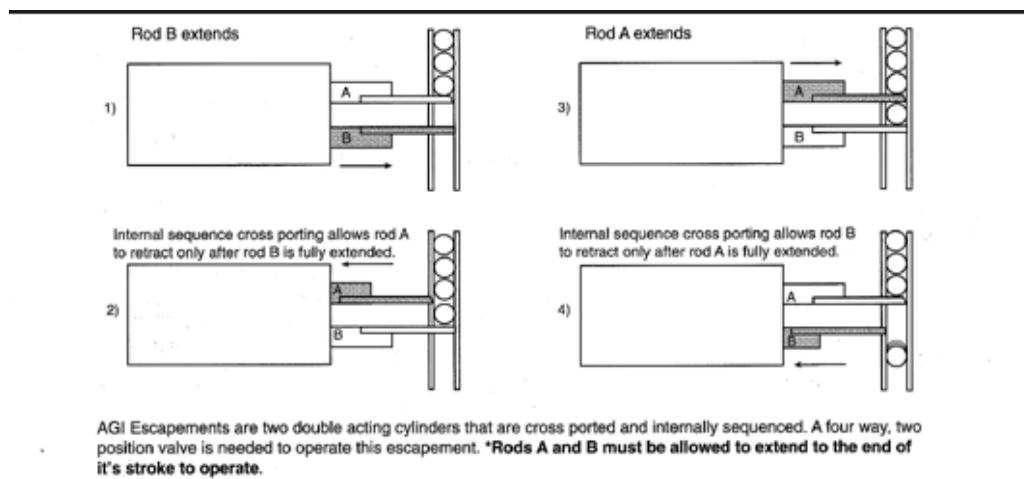
Εικόνα 19. Αρπάγη με τέσσερα δάχτυλα (εναλλακτική διαμόρφωση)

2.2.6 Αρπάγες απόδρασης

Οι αρπάγες αυτές διαθέτουν δάχτυλα που βοηθούν το τεμάχιο να 'αποδράσει' από την θέση την οποία βρίσκεται. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε γραμμές παραγωγής (βλ. Εικόνα 20). Διαθέτουν λεπτά δάχτυλα, συνήθως το ένα μικρότερο από το άλλο για καλύτερο συγκράτηση του τεμαχίου, βλ. Εικόνα 21.



Εικόνα 20. Αρπάγη απόδρασης



Εικόνα 21. Λειτουργία αρπάγης απόδρασης

Στο παράρτημα παρατίθεται πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται εμπορικά διαθέσιμα μοντέλα των αρπαγών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

3 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3.1 Εναλλακτικές λύσεις

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή του πώς επιλέχθηκε να σχεδιαστεί ο συγκεκριμένος τύπος αρπάγης. Η αρπάγη που θα σχεδιαστεί θα πρέπει να καλύπτει συγκεκριμένες προδιαγραφές, ως εξής :

- Να είναι ελαφριά, τόσο ώστε η μάζα της μαζί με την μάζα του εκάστοτε τεμαχίου που θα χειρίζεται να μην υπερβαίνει τα 6 Kg, δεδομένου ότι 6 Kg είναι το ανώτατο όριο που προτείνει ο κατασκευαστής του ρομπότ Staubli RX 90 για την τελευταία άρθρωση. Επιθυμητό είναι, η μάζα του χειριζόμενου τεμαχίου να υπερβαίνει το 1,5 Kg.
- Να μπορεί να χειριστεί αξονοσυμμετρικά τεμάχια, τυπικά για φορτοεκφόρτωση σε τόρνο. Τα τεμάχια αυτά θα διαθέτουν επιφάνειες κωνικές, σφαιρικές, κυλινδρικές αλλά και επιφάνειες με γενέτειρα πολυωνυμική καμπύλη Spline.
- Να είναι κατασκευασμένη από σχετικά φτηνό υλικό, αλλά και ανθεκτικό όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του, την μηχανική καταπόνηση και την διάβρωση.
- Ο μηχανισμός ενεργοποίησης να είναι κινηματικά σχετικά απλός, κυρίως όσον αφορά στην κατασκευή του, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι θα υστερεί όσον αφορά τη λειτουργικότητα του.
- Ο τρόπος ενεργοποίησης (ηλεκτρικός, πνευματικός κλπ) να είναι απλός και σχετικά φτηνός.
- Ο αριθμός των δαχτύλων να είναι ο μικρότερος δυνατός καλύπτοντας, όμως, τις προδιαγραφές σχετικά με τον τύπο επιφανειών συγκράτησης (κωνικές, σφαιρικές, κυλινδρικές, Splines).

Για να καλυφθούν οι συγκεκριμένες προδιαγραφές πριν προχωρήσουμε σε λεπτομερειακό σχεδιασμό της αρπάγης, θα πρέπει να εξετασθούν σχετικά concepts στους εξής επιμέρους τομείς: τρόπος ενεργοποίησης, κινηματικός μηχανισμός, υλικό, αριθμός δαχτύλων

3.1.1 Επιλογή τρόπου ενεργοποίησης της αρπάγης

Concept1 : ηλεκτρικός κινητήρας

Η πρώτη επιλογή αφορά τον τρόπο που θα ενεργοποιείται η αρπάγη. Μία επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρικός βηματικός κινητήρας για την εκκίνηση του μηχανισμού μέσω ηλεκτρικών σημάτων που διαθέτει το ίδιο το ρομπότ.

Concept2 : πνευματικός κύλινδρος

Η δεύτερη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί πνευματικός μηχανισμός ο οποίος και θα ενεργοποιείται μέσω συστήματος πεπιεσμένου αέρα που διαθέτει το ρομπότ.

Επιλογή

Στην πρώτη εναλλακτική, οι δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η

εγκατάσταση του κινητήρα, η συντήρηση του καθώς και τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν αν πέσουν υγρά πχ νερό σε αυτόν. Επίσης ένας κινητήρας με την οδήγηση του είναι ακριβότερος από ένα πνευματικό έμβολο. Αντίστοιχα τα πλεονεκτήματα στην περίπτωση ενός πνευματικού εμβόλου είναι η εύκολη εγκατάστασή του, εύκολη συντήρηση καθώς και το πλεονέκτημα της ρύθμισης πίεσης μέσω βάνας του δικτύου πεπιεσμένου αέρα που ήδη είναι εγκατεστημένο στο εργαστήριο. Έτσι λοιπόν επιλέγεται η δεύτερη λύση, αυτή του πνευματικού εμβόλου.

Συγκεκριμένα επιλέχθηκε πνευματικός κύλινδρος διπλής δράσης (βλ. Εικόνα 22) ώστε να υπάρχει το πλεονέκτημα του ελέγχου της επαναφοράς των δαχτύλων. Ο κύλινδρος που επιλέχθηκε έχει μέγιστη «διαδρομή» 50 mm και λειτουργεί με μέγιστη πίεση 10 bar, με ενδεικτική δύναμη ώθησης 458 N και δύναμη έλξης 394 N (στα 6 bar).



Εικόνα 22. Επιλεγμένος πνευματικός κύλινδρος

3.1.2 Επιλογή κινηματικού μηχανισμού της αρπάγης

Υπάρχουν πάρα πολλοί μηχανισμοί οι οποίοι θα μπορούσαν να δώσουν λύση στη συγκεκριμένη προδιαγραφή που πρέπει να καλυφθεί. Αυτό όμως καθιστά αδύνατον το να αναλυθούν όλοι, με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Η ανάλυση της επιλογής θα γίνει στην ενότητα 3.2 μαζί με τις δυνάμεις που δημιουργούνται και μεταφέρονται μέσω του αυτού.

3.1.3 Επιλογή υλικού αρπάγης

Concept 1 : ξύλο

Το ξύλο δεν έχει την στιβαρότητα και την ανθεκτικότητα που μπορούν να παρουσιάσουν υλικά τα οποία θα δούμε παρακάτω.

Concept 2 : πλαστικό

Το πλαστικό δεν είναι αρκετά στιβαρό για την χρήση αρπάγης. Επίσης, μπορεί να παρουσιάζει ατέλειες στην κατεργασία (τραχιές επιφάνειες, υπολείμματα από γρέζια στις οπές) με αποτέλεσμα πιθανά προβλήματα στη συναρμολόγηση.

Concept3 : χάλυβας

Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι κυρίως το υψηλό ειδικό βάρος που θα επιβαρύνει την αρπάγη. Επιπλέον, για αντοχή σε διάβρωση απαιτείται ανοξείδωτος χάλυβας που έχει υψηλό κόστος.

Concept4: αλουμίνιο

Είναι σχετικά ελαφρύ, εύκολα κατεργάσιμο και ανθεκτικό στη διάβρωση (φαινόμενο της παθητικοποίησης). Μοναδικό μειονέκτημά του το σχετικά υψηλό κόστος.

Επιλογή

Στη συγκεκριμένη κατασκευή επιλέχθηκε κράμα αλουμίνιου σειράς 5000. Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων αυτών είναι : πολύ καλή συγκολλητικότητα, πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά στο θαλάσσιο περιβάλλον, μέσες μηχανικές αντοχές. Χρησιμοποιείται ευρέως στη ναυπηγική, στη χημική βιομηχανία, στις οικοδομές, στα μεταφορικά μέσα, κλπ. Χαρακτηριστικά κράματα: 5005, 5052, 5754, 5083, 5086, 5182. Εν προκειμένω χρησιμοποιήθηκε το κράμα 5052.

3.1.4 Επιλογή αριθμού δαχτύλων της αρπάγης

Concept1 : δύο δάχτυλα

Πρόκειται για λύση αρκετά συνηθισμένη και εύκολη στη κατασκευή. Βασικό πλεονέκτημά της είναι η πλούσια βιβλιογραφία αναφορικά με την κινηματική της και η εύκολη δημιουργία του κύριου κορμού της.

Concept2: τρία δάχτυλα

Αρκετά συνηθισμένη λύση, με βασικό μειονέκτημα την σχετικά δύσκολη κατασκευή και συναρμολόγηση της καθώς και την όχι και τόσο πλούσια βιβλιογραφία η οποία θα μπορούσε να βοηθήσει στο λεπτομερειακό σχεδιασμό και την κατασκευή.

Concept3 : τέσσερα και άνω δάχτυλα

Οι συγκεκριμένες αρπάγες προϋποθέτουν περίπλοκο σχεδιασμό και προσθήκες επιπλέον επενεργητών.

Επιλογή

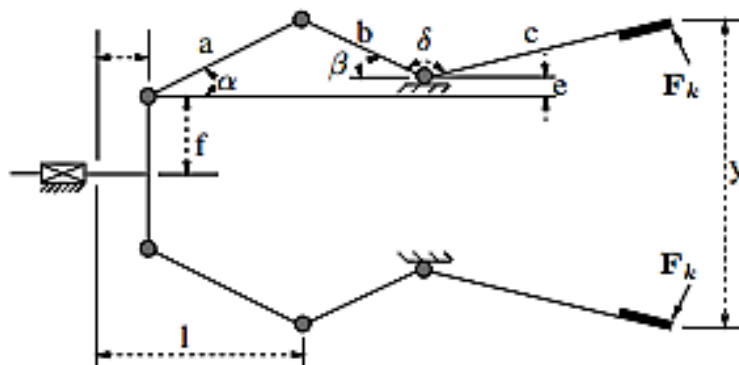
Επιλέχθηκε η δημιουργία αρπάγης με δύο δάχτυλα καθώς έχει μελετηθεί αρκετά στη βιβλιογραφία και υπάρχει εμπειρία όσον αφορά τους μηχανισμούς υλοποίησής της. Σημαντικός στόχος της συγκεκριμένης επιλογής αριθμού δαχτύλων είναι πλέον να ανταποκριθεί στη συγκράτηση περίπλοκων επιφανειών. Το ερώτημα αυτό απαντάται σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2 Αρχικός σχεδιασμός αρπάγης

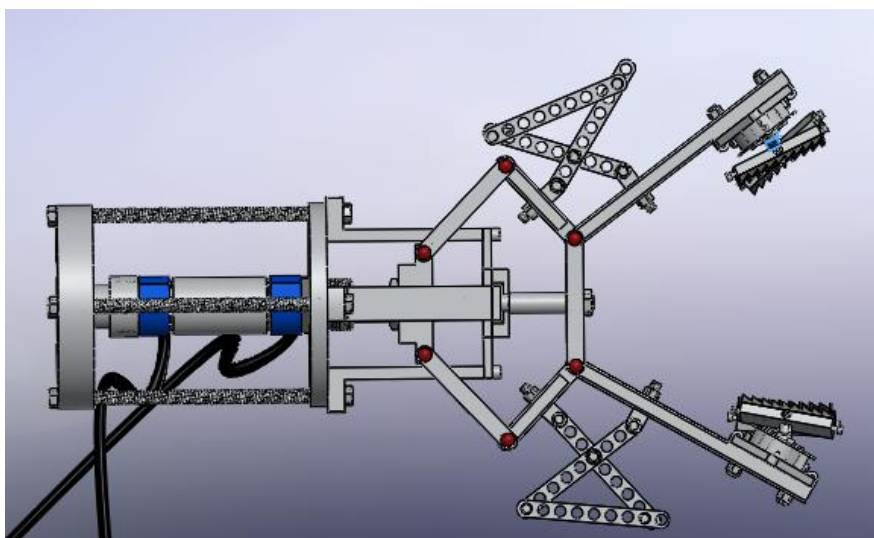
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο μηχανισμός – δικτύωμα στον οποίο βασίστηκε η δημιουργία και κατασκευή της αρπάγης. Επίσης μέσω κλειστών μαθηματικών τύπων θα αναλυθεί το μέγεθος των δυνάμεων, οι οποίες καταλήγουν στο τελικό σημείο των δαχτύλων της αρπάγης.

Έχοντας αποφασιστεί ότι η αρπάγη η οποία θα σχεδιαστεί θα αποτελείται μόνο από δύο δάχτυλα πρέπει να μελετηθούν αρκετοί μηχανισμοί οι οποίοι θα μπορούσαν να αποτελούν λύση στο πρόβλημά μας. Παρατηρήθηκε ότι υπάρχει πληθώρα τέτοιων μηχανισμών, άλλοι από τους οποίους είναι πιο πολύπλοκοι και άλλοι απλούστεροι.

Για γενική χρήση, επιλέχθηκε ένας συνηθισμένος μηχανισμός κίνησης, ο οποίος αποτελείται από επτά κύρια μέρη (ράβδους) και το αρχικό στοιχείο της κίνησης που θεωρείται ότι είναι το έμβολο που ωθείται ή έλκεται μέσω του πνευματικού κυλίνδρου. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός παρουσιάζεται στην Εικόνα 23 ενώ μια γενική άποψη του συναρμολογήματος δίνεται στην Εικόνα 24.



Εικόνα 23. Μηχανισμός ενεργοποίησης της αρπάγης



Εικόνα 24. Κάτοψη της αρπάγης

Όπως αναφέρθηκε και στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι Datta και Deb [16], μελέτησαν τον συγκεκριμένο μηχανισμό εξάγοντας μαθηματικούς τύπους από τους οποίους μπορεί να υπολογιστεί η δύναμη στο τελικό σημείο της αρπάγης (κατώτατο σημείο δαχτύλου) ανάλογα με τα μήκη των ράβδων και την αρχική πίεση που δίνεται στο έμβολο μέσω του πνευματικού κυλίνδρου.

4 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο λεπτομερειακός σχεδιασμός της αρπάγης έγινε με λογισμικό CAD, δεδομένου ότι ακολούθησε ανάλυση αντοχής καθώς και εκπόνηση προγραμμάτων CNC, που όλα βασίζονται στο τρισδιάστατο μοντέλο CAD. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Solidworks 2015.

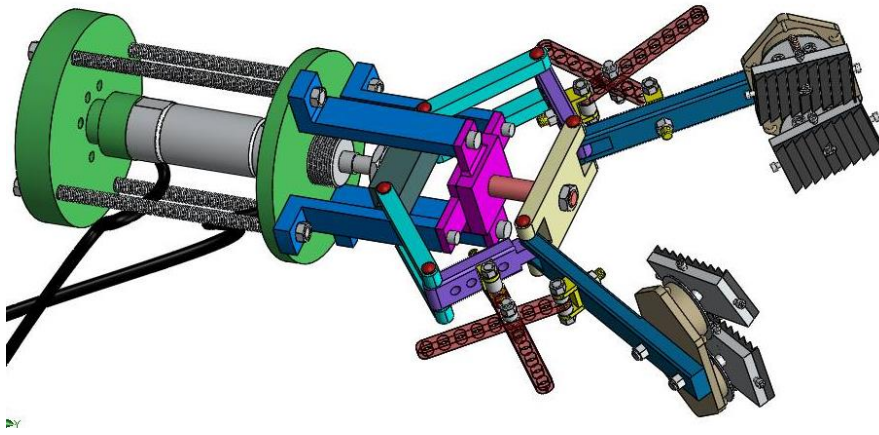
4.1 Solidworks 2015

Το Solidworks από τη δημιουργία του μέχρι και σήμερα έχει εξελιχθεί σε ένα υπερπολύτιμο λογισμικό όσον αφορά τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος μιας επιχείρησης. Το Solidworks υποστηρίζει τα πολλαπλάσια στάδια ανάπτυξης προϊόντος (CAx), από τη σύλληψη, το σχέδιο (CAD), την κατασκευή (CAM) και την εφαρμοσμένη μηχανική (CAE). Ακόμα, υποστηρίζει τη δυνατότητα συνεργασίας τμημάτων που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, όπως π.χ. το σχεδιαστικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου ποιότητας, το τμήμα της κατεργασίας (βλ. CNC), το τμήμα marketing κ.λπ. Σημαντικά πλεονεκτήματα του Solidworks συνδέονται με την ποικιλία δυνατοτήτων στην παρουσίαση του προϊόντος με διαφορετικούς τρόπους, στους οποίους περιλαμβάνονται η προσομοίωση, η αντίστροφη μηχανική, διαφορετικές απεικονίσεις, τροποποίηση του προϊόντος. Τέλος, μέσα από το λογισμικό αυτό, δίνεται η ευκαιρία δημιουργίας τρισδιάστατων τεμαχίων (parts) μέχρι τον καθορισμό συναρμολογημάτων και την προσομοίωση.

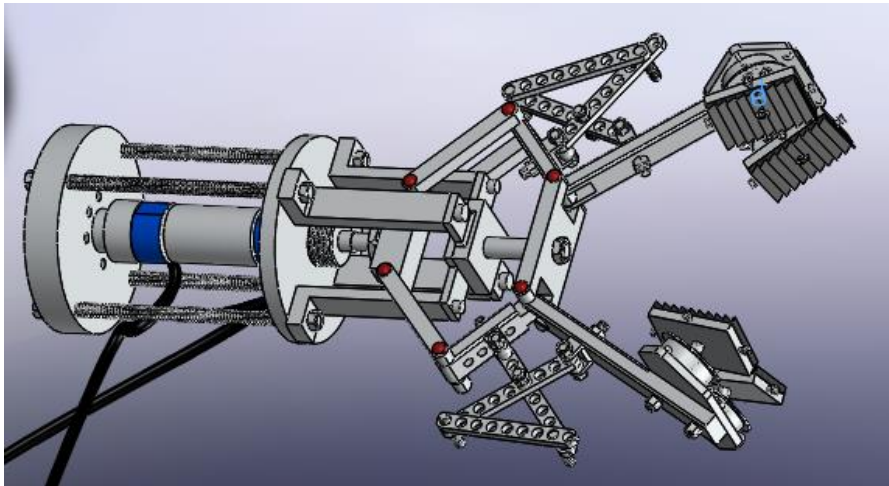
Το part design είναι ένα συγκεκριμένο περιβάλλον-εργαλείο του Solidworks, το οποίο επιτρέπει τη λεπτομερή και αναλυτική σχεδίαση ενός προϊόντος, όσο περίπλοκο κι αν είναι αυτό, μέσω συγκεκριμένων εντολών και βημάτων. Βασικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου εργαλείου είναι η γρήγορη και σωστή σχεδίαση και αναπαράσταση του μοντέλου ή και του ίδιου του προϊόντος που επιθυμείται να σχεδιαστεί και, αργότερα, να κατασκευαστεί. Επιπρόσθετα, παρέχει τη δυνατότητα γρήγορης και ανώδυνης διόρθωσης του μοντέλου, αν, λόγου χάρη, γίνει λάθος σε κάποιες διαστάσεις. Η λογική του part design είναι ότι ο μηχανικός αρχικώς σχεδιάζει συγκεκριμένες επιφάνειες του μοντέλου στα επίπεδα (front, top, right) που αυτός επιθυμεί μέσω του sketcher. Στη συνέχεια, μέσω διαφόρων εντολών, όπως είναι το extrude (εξώθηση), επιτυγχάνεται η δημιουργία στερεού προτύπου, και η τελειοποίηση μέσω πληθώρας εντολών που παρέχει το συγκεκριμένο περιβάλλον.

4.2 Αναλυτική παρουσίαση σχεδίασης αρπάγης

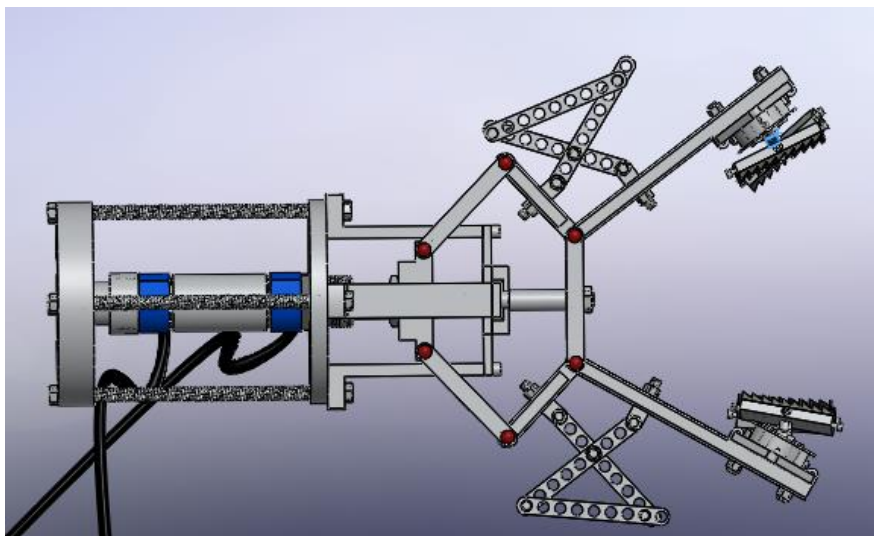
Στις Εικόνες 25-27 παρουσιάζεται η τελική μορφή της αρπάγης από διάφορες οπτικές γωνίες, ενώ στην Εικόνα 28 δίνεται μια πρώτη άποψη της υλοποιημένης κατασκευής. Η αρπάγη αποτελείται από 25 διαφορετικά τεμάχια, από τα οποία άλλα χρησιμοποιούνται μία και άλλα δύο, τρεις ή και περισσότερες φορές για να αποτελέσουν το συνολικό συναρμολόγημα. Όλα τα τεμάχια παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1, με μία αντιπροσωπευτική εικόνα αλλά και περιγραφή των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για να σχεδιαστούν. Η συνολική μάζα της αρπάγης προκύπτει 3700 kg.



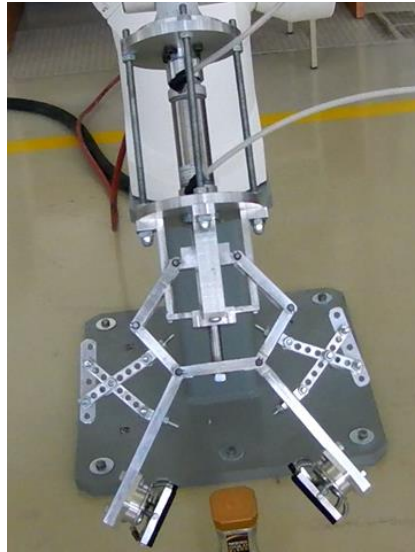
Εικόνα 25. Η αρπάγη με χρώματα για καλύτερη κατανόηση



Εικόνα 26. Η αρπάγη σε μία γενική όψη

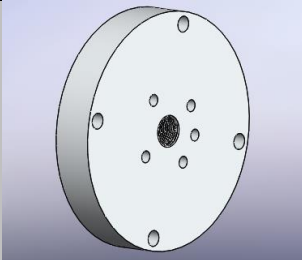
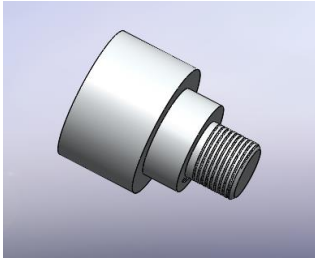
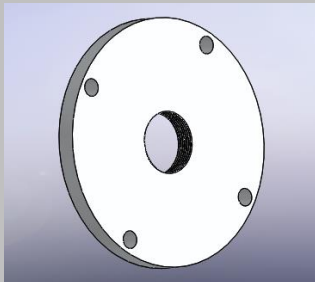


Εικόνα 27. Κάτοψη της αρπάγης

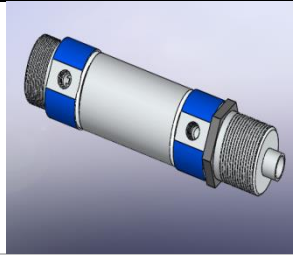
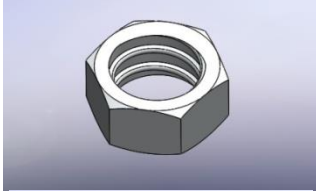
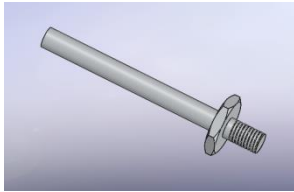
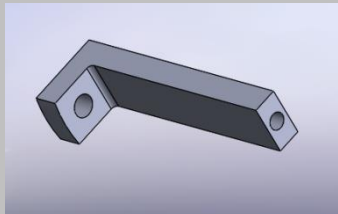


Εικόνα 28. Η αρπάγη όπως υλοποιήθηκε στην πραγματικότητα

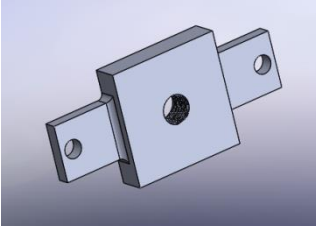
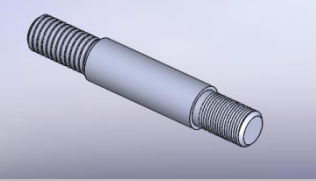
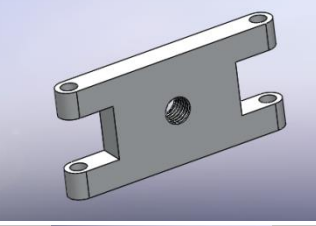

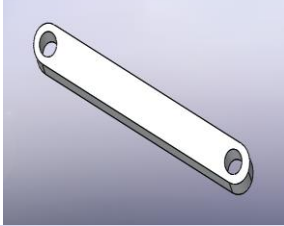
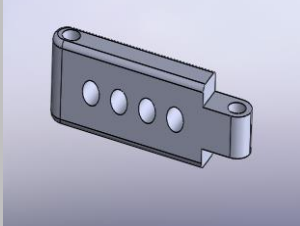
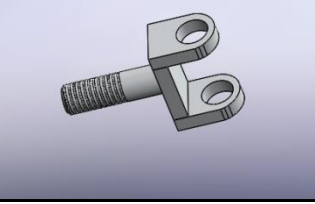
Πίνακας 1. Εξαρτήματα και εντολές που χρησιμοποιήθηκαν

A/A	Ονομασία εξαρτήματος	Εικόνα στον 3d χώρο	Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν
1	Φλάντζα σύνδεσης της αρπάγης με το ρομπότ		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut revolve
2	Κυλινδρικό κομμάτι σύνδεσης της προηγούμενης φλάντζας με τον πνευματικό κύλινδρο.		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut Sweep, Chamfer
3	Φλάντζα σύνδεσης πνευματικού μηχανισμού με τον μηχανισμό της αρπάγης		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine

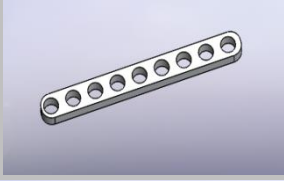
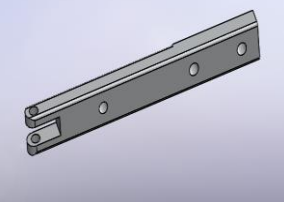
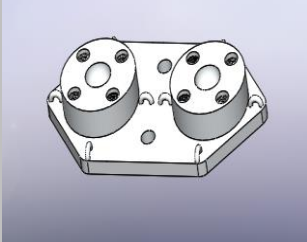
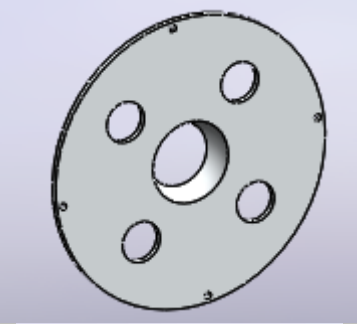
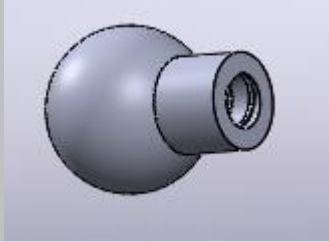
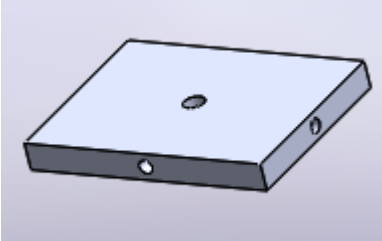
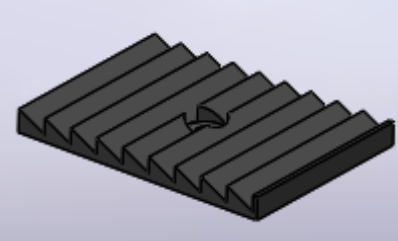
**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

A/A	Ονομασία εξαρτήματος	Εικόνα στον 3d χώρο	Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν
4	Πνευματικός Κύλινδρος		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut revolve, Mirror, Cut Sweep
5	Ντίζα σύνδεσης για τις δύο προηγούμενες φλάντζες		Boss Extrude, , Cut Sweep, Chamfer
6	Παξιμάδι ντίζας		Boss Extrude, Cut Extrude, Combine
7	Κομμάτι το οποίο συνδέεται με το έμβολο του πνευματικού κυλίνδρου		Boss Extrude, Cut Extrude, Combine
8	Έμβολο που κινείται μέσω του πνευματικού κυλίνδρου		Boss Extrude, Cut Extrude, Cut Sweep, Chamfer
9	Πρώτο βοηθητικό κομμάτι στήριξης στην δεύτερη φλάντζα		Boss Extrude, Cut Extrude, Fillet
10	Κομμάτι σύνδεσης των δύο κομματιών α/α 8-9		Boss Extrude, Cut Extrude

**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

A/A	Ονομασία εξαρτήματος	Εικόνα στον 3d χώρο	Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν
11	2ο βοηθητικό κομμάτι στήριξης στην δεύτερη φλάντζα		Boss Extrude, Cut Extrude, Fillet
12	Κομμάτι σύνδεσης των δύο κομματιών α/α 10-11		Boss Extrude, Cut Extrude, Fillet
13	Κυλινδρικός σύνδεσμος με σπείρωμα		Boss Extrude, Chamfer, Cut Sweep
14	Κομμάτι στήριξης των δαχτύλων της αρπάγης		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut revolve, Fillet, Chamfer
15	Πείρος σύνδεσης κομματιών		Boss Extrude, Dome
16	Κομμάτι σύνδεσης		Boss Extrude, Cut Extrude , Fillet
17	Πρώτο κομμάτι του δαχτύλου της αρπάγης		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut Sweep, Fillet, Chamfer
18	Κομμάτι στήριξης της λάμας		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut Sweep, Fillet, Chamfer

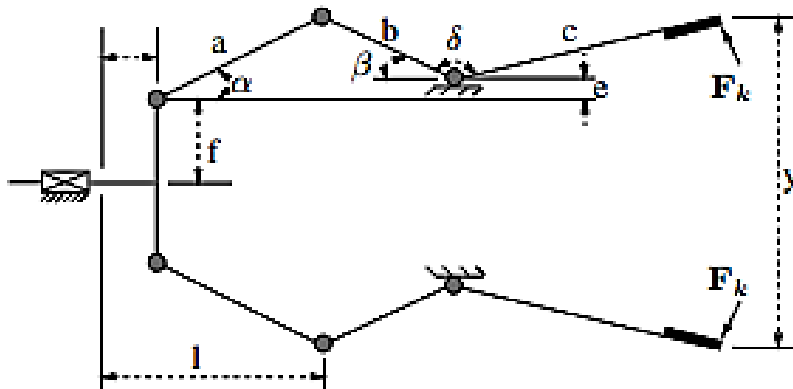
**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

A/A	Ονομασία εξαρτήματος	Εικόνα στον 3d χώρο	Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν
19	Λάμα ρύθμισης γωνίας των δαχτύλων		Boss Extrude, Cut Extrude, Fillet
20	Δεύτερο κομμάτι δαχτύλου αρπάγης		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut Sweep, Chamfer
21	Τρίτο κομμάτι δαχτύλου αρπάγης		Boss Extrude, Cut Extrude, Body move – copy combine, Cut Sweep, Chamfer
22	Κάλυμμα σφαιρικού συνδέσμου		Boss Extrude, Cut Extrude, Mirror, Revolve
23	Άξονας σφαιρικού συνδέσμου		Boss Extrude, Cut Extrude, Combine, Revolve
24	Πλακέτα επαφής με το τεμάχιο		Boss Extrude, Cut Extrude
25	Λαστιχένιο κομμάτι επαφής με το τεμάχιο		Boss Extrude, Cut Extrude

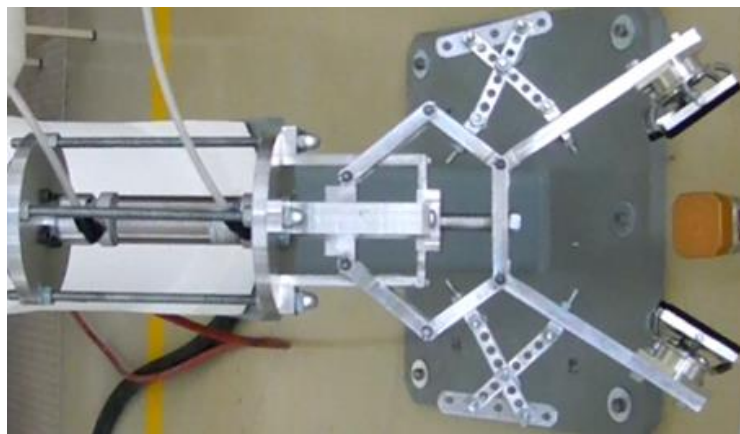
4.3 Τρόπος λειτουργίας

Η δημιουργία της αρπάγης στηρίχτηκε στον μηχανισμό που μελέτησαν οι Datta και Deb [16], ο οποίος παρουσιάζεται στην Εικόνα 29.

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός ενεργοποιείται αν σπρωχτεί το αρχικό σημείο (οριζόντιο κομμάτι αριστερά) από αριστερά προς τα δεξιά. Η κίνησή του μεταφέρει κίνηση στις ράβδους a, b, c με αποτέλεσμα να κλείσουν τα δάχτυλα (ράβδος c) της αρπάγης. Για την κίνηση του αρχικού σημείου, αγοράστηκε πνευματικός κύλινδρος ο οποίος στην άκρη του διαθέτει έμβολο. Μία αντίστοιχη όψη με αυτήν του παραπάνω μηχανισμού παρατίθεται στην Εικόνα 30.

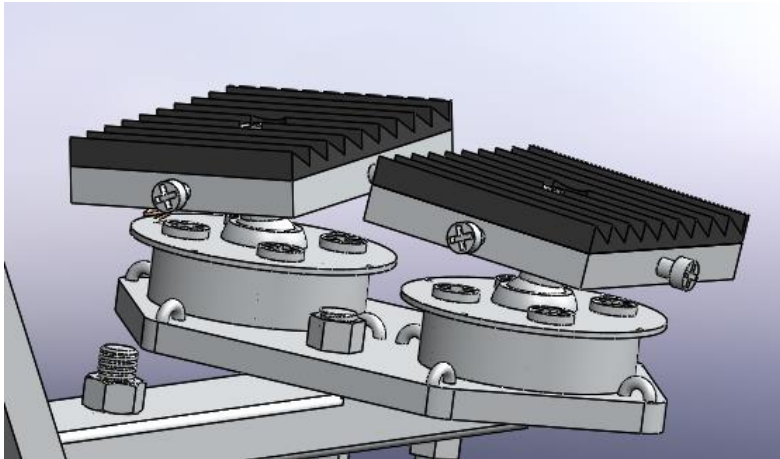


Εικόνα 29. Μηχανισμός αρπάγης

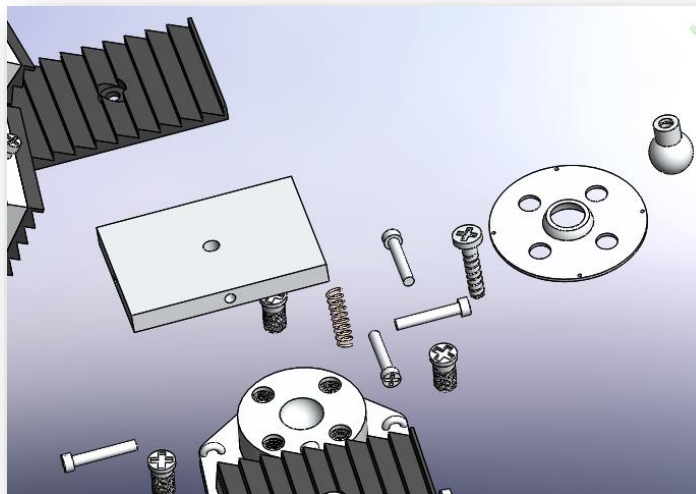


Εικόνα 30. Μηχανισμός της αρπάγης που κατασκευάστηκε

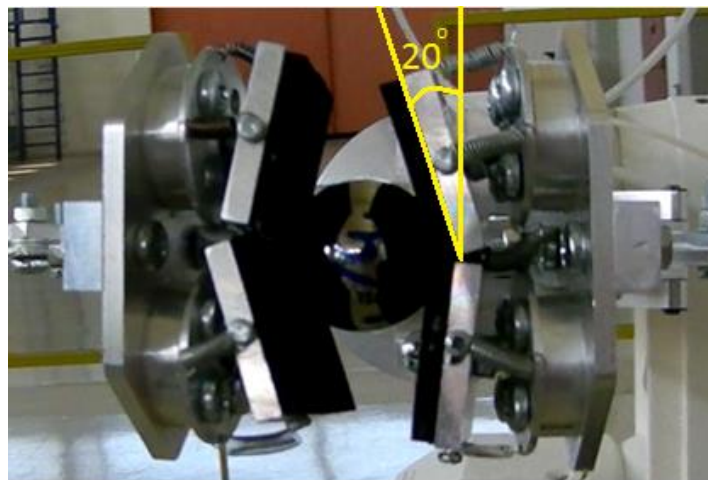
Σημαντικό πλεονέκτημα της αρπάγης είναι οι δύο πλάκες που έχουν τοποθετηθεί στο άκρο κάθε δαχτύλου της, βλ. Εικόνες 31-32. Οι πλάκες αρθρώνονται στα δάχτυλα με έναν σφαιρικό σύνδεσμο με δυνατότητα σχηματισμού γωνίας $\pm 20^\circ$, βλ. Εικόνα 33. Επίσης, έχουν αυτόματη δυνατότητα επαναφοράς μέσω ελατηρίων που έχουν τοποθετηθεί στην μέση της κάθε ακμής τους. Αυτό συνεπάγεται ότι οι τέσσερις συνολικά πλάκες που έχουν τοποθετηθεί απέναντι ανά ζευγάρι είναι πολύ εύκολο να προσαρμοστούν στο σχήμα ανάμεσά τους, βλ. Εικόνες 34-35.



Εικόνα 31. Πλακέτες επαφής του δαχτύλου της αρπάγης



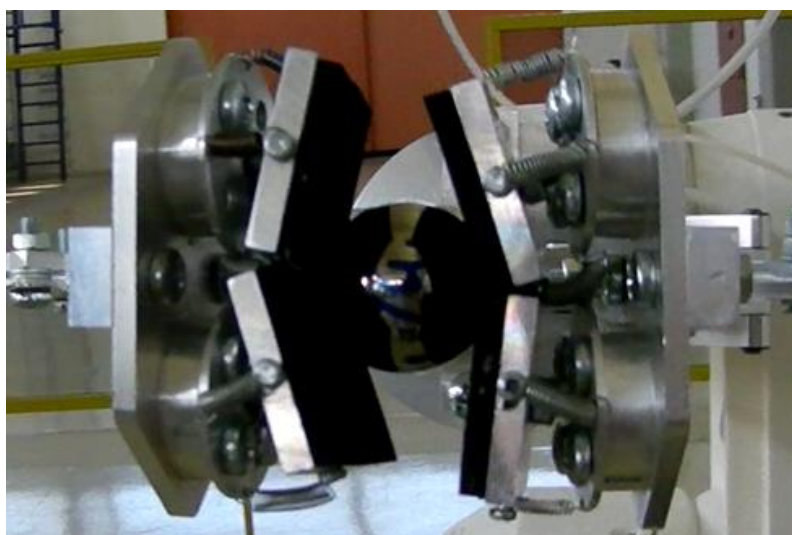
Εικόνα 32. ExplodeView του σφαιρικού συνδέσμου των πλακετών



Εικόνα 33. Μέγιστη γωνιακή μετατόπιση πλάκας



Εικόνα 34. Δάχτυλα της αρπάγης πριν πιάσουν το αντικείμενο



Εικόνα 35. Δάχτυλα της αρπάγης μετά η συγκράτηση αντικειμένου

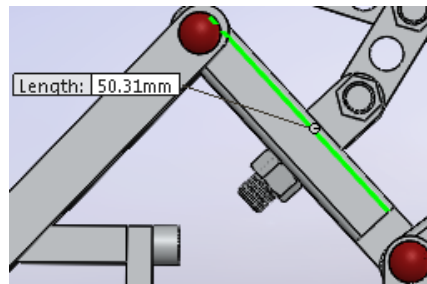
5 ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΠΑΓΗΣ

5.1 Υπολογισμός δυνάμεων στα δάχτυλα της αρπάγης

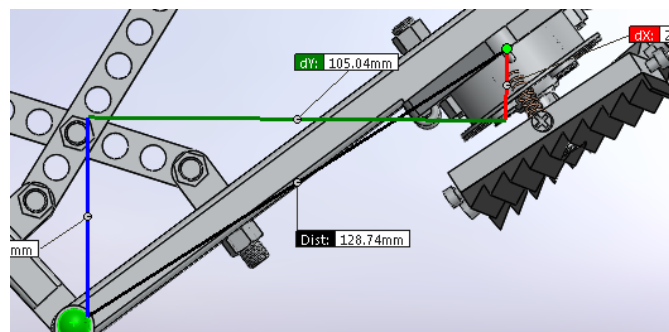
Σύμφωνα με την ανάλυση του μηχανισμού της αρπάγης [16], η δύναμη που ασκεί το κάθε δάχτυλο ξεχωριστά στο τεμάχιο είναι ανάλογη της δύναμης η οποία ασκείται από το πνευματικό κύλινδρο στον μηχανισμό (P), του μήκους των ράβδων b, των γωνιών α και β που σχηματίζει ο μηχανισμός, και αντιστρόφως ανάλογη του μήκους της ράβδου c και του συνημίτονου της γωνίας α, βλ. Εικόνα 29, δηλαδή:

$$F_k = \frac{P \cdot b \sin(\alpha + \beta)}{2 \cdot c \cos \alpha}$$

Τα μήκη των ράβδων c και b είναι, βλ. Εικόνα 36 : b = 50.31 mm = 0.0531 m, c = 128.74mm = 0.12874 m



Εικόνα 36. Μήκος της ράβδου b



Εικόνα 37. Μήκος της ράβδου c

Η δύναμη στο έμβολο του μηχανισμού υπολογίζεται με βάση ότι σε όλες τις δοκιμές που έγιναν χρησιμοποιήθηκε πίεση 4 bar μέσω της ρυθμιστικής βαλβίδας που διαθέτει το χρησιμοποιηθέν δίκτυο πεπιεσμένου αέρα. Δεδομένου ότι η διάμετρος του πνευματικού κυλίνδρου είναι 32 mm η δύναμη προκύπτει ίση με $400000 \cdot \pi \cdot (0,016)^2 = 120,576$ N.

Αρχικά μπορεί να υποθεθεί ότι το έμβολο έχει διανύσει όλη την επιτρεπτή διαδρομή (Stroke) των 39 mm (στην αρπάγη που σχεδιάσαμε η διαδρομή που μπορεί να κάνει το έμβολο έχει τιμές 0 – 39 mm). Σε αυτή την περίπτωση τα δάχτυλα

της αρπάγης θα έχουν κλείσει πλήρως και οι αντίστοιχες γωνίες θα έχουν τιμή $\alpha = 49^\circ$ και $\beta = 66^\circ$ όπως υπολογίζονται στο λογισμικό Solidworks. Αντικαθιστώντας τις προηγούμενες τιμές στον αρχικό μας τύπο υπολογίζεται η τελική δύναμη που καταλήγει στο ένα δάχτυλο της αρπάγης. Αυτή είναι :

$$F_k = [120 * 0.0531 * \sin (49 + 66)] / 2 * 0.12874 * \cos 49 = 33N.$$

Επίσης μπορεί να υποθεθεί ότι το έμβολο δεν έχει διανύσει όλη την απόσταση που επιτρέπεται αλλά την μισή περίπου 20 mm διαδρομή (Stroke). Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα δάχτυλα της αρπάγης δεν θα έχουν κλείσει τελείως και οι αντίστοιχες γωνίες που θα σχηματίζουν έχουν τιμές $\alpha = 39^\circ$ και $\beta = 53^\circ$. Αντικαθιστώντας τις προηγούμενες τιμές στον τύπο υπολογίζεται η αντίστοιχη δύναμη του ενός δαχτύλου. Αυτή είναι :

$$F_k = [120 * 0.0531 * \sin (39 + 53)] / 2 * 0.12874 * \cos 39 = 31,26N.$$

Τέλος, έστω ότι το έμβολο δεν έχει διανύσει αμελητέα διαδρομή (τα δάχτυλα δεν έχουν κινηθεί σχεδόν καθόλου), πχ 1-2 mm. Τότε οι γωνίες α και β έχουν αντίστοιχες τιμές 27° και 35° . Αντικαθιστώντας τις προηγούμενες τιμές στον τύπο υπολογίζεται η αντίστοιχη δύναμη του ενός δαχτύλου. Αυτή είναι :

$$F_k = [120 * 0.0531 * \sin (27 + 35)] / 2 * 0.12874 * \cos 27 = 23N.$$

5.2 Ανάλυση αντοχής αρπάγης στο Solidworks Simulation

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση του μοντέλου της αρπάγης με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων στο περιβάλλον Solidworks Simulation.

Θα μελετηθεί το μοντέλο της αρπάγης με βάση τις δυσμενέστερες συνθήκες φόρτισης, σύμφωνα με την ανάλυση στην εργασία [16].

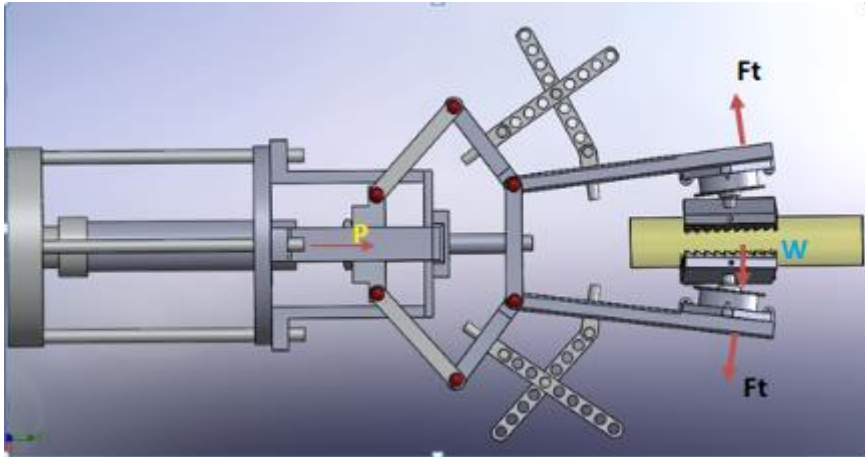
Αρχικά η πίεση που θα πρέπει να δοθεί στον πνευματικό κύλινδρο θα πρέπει να είναι ίση με το ενδεικτικό ανώτερο όριο που προτείνουν οι κατασκευαστές δηλαδή πίεση 6 bar και όχι 4 bar με την οποία θεωρήθηκε ότι λειτουργεί συνήθως. Η δύναμη που ασκείται από τον πνευματικό κύλινδρο στην μηχανισμό της αρπάγης είναι 458 N.

Επίσης μπορεί να υποθεθεί, στα πλαίσια των δυσμενέστερων συνθηκών που μπορεί να αντιμετωπίσει η αρπάγη, ότι το βαρύτερο αντικείμενο που μπορεί να διαχειριστεί η αρπάγη είναι 2300 gr (6000-3700=2300 gr).

Συνοψίζοντας, η αρπάγη θα μελετηθεί υποθέτοντας ότι δίνεται στον πνευματικό κύλινδρο πίεση 6 bar και σηκώνει κύλινδρο διαμέτρου 30 mm και μάζας 2300 gr.

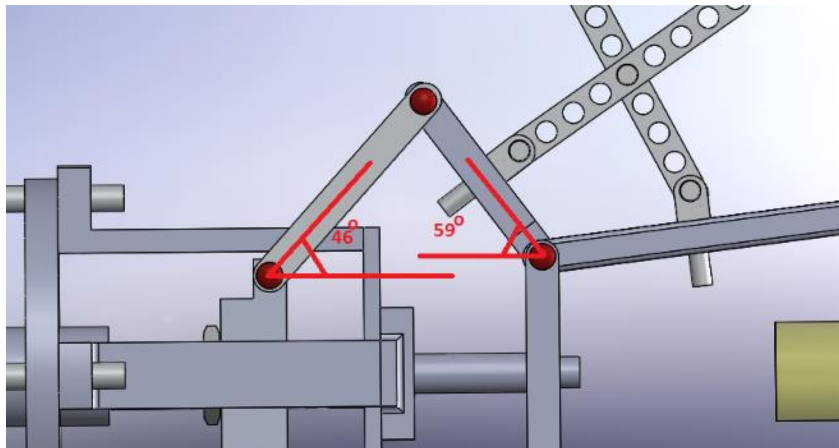
Στην πρώτη περίπτωση υποτίθεται ότι ο κύλινδρος σηκώνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το βάρος του να παραλαμβάνεται από το ένα δάχτυλο, βλ. Εικόνα 38.

Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα

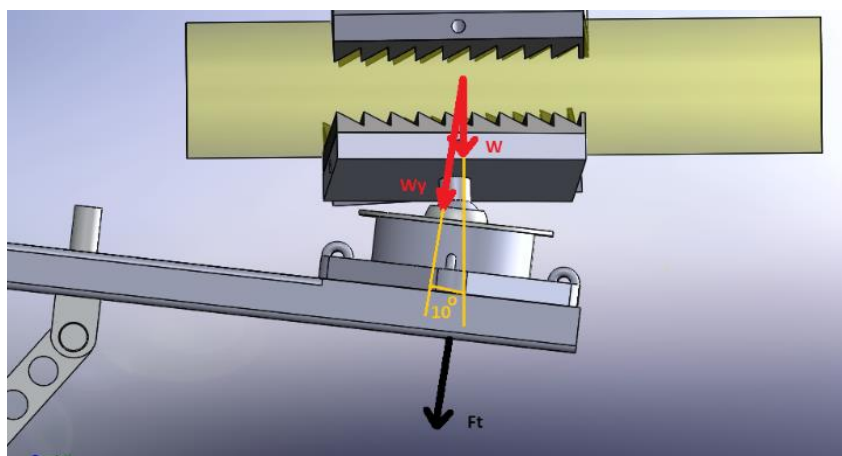


Εικόνα 38. “Συγκράτηση” του κυλίνδρου

Η δύναμη P που ασκείται μέσω του πνευματικού κυλίνδρου υπολογίστηκε ότι ισούται με 458 N . Επίσης οι γωνίες α και β που σχηματίζονται έχουν αντίστοιχες τιμές $\alpha = 46^\circ$ και $\beta = 59^\circ$ (βλ. Εικόνα 39)



Εικόνα 39. Γωνίες α και β των ράβδων a και b



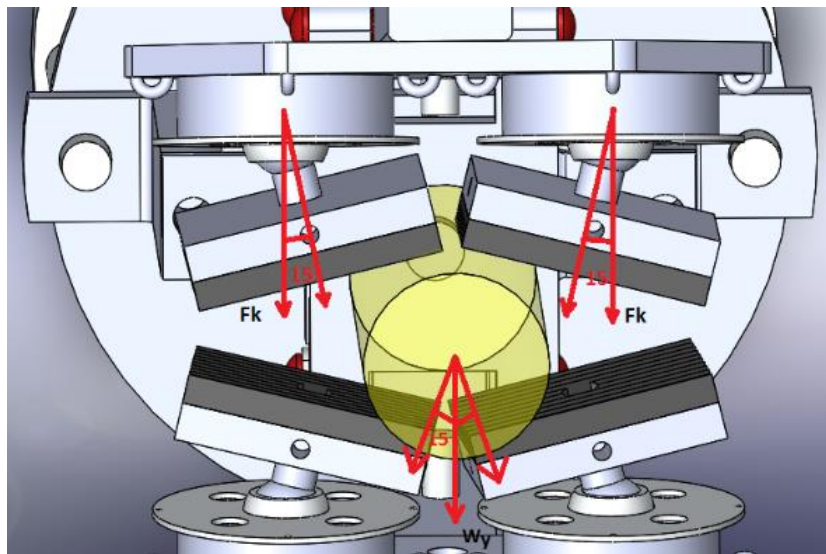
Εικόνα 40. Βάρος που ασκείται από τον κύλινδρο

Η δύναμη F_t που ασκείται από το κάθε δάχτυλο στον κύλινδρο είναι :

$$F_t = [458 * 0.0531 * \sin (46 + 59)] / 2 * 0.12874 * \cos 46 = 117 \text{ N.}$$

Παρατηρείται επίσης ότι με τον συγκεκριμένο τρόπο συγκράτησης η κάθετη στην πλάκα συνιστώσα του βάρους στο κάτω δάχτυλο της αρπάγης ισούται με $W_y = W * \cos 10^\circ = 2.3 * 9.81 * 0.98 = 22.11 \text{ N}$, βλ Εικόνα 40.

Παρατηρώντας την Εικόνα 41, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η δύναμη που ασκείται σε κάθε πλάκα ισούται με $[F_t/2] * \cos 15^\circ = 57,9\text{N}$. Η F_t μοιράζεται στα δύο καθώς κατανέμεται ομαλά στις πλάκες του κάθε δαχτύλου. Τέλος, η δύναμη που ασκείται στις πλάκες του κάτω δαχτύλου λόγω του βάρους του κυλίνδρου ισούται με $[W_y/2] * \cos 15^\circ = [22.11/2] * 0.96 = 10.61\text{N}$. Η W_y επίσης μοιράζεται στα δύο.



Εικόνα 41. Δυνάμεις στις πλάκες των δαχτύλων

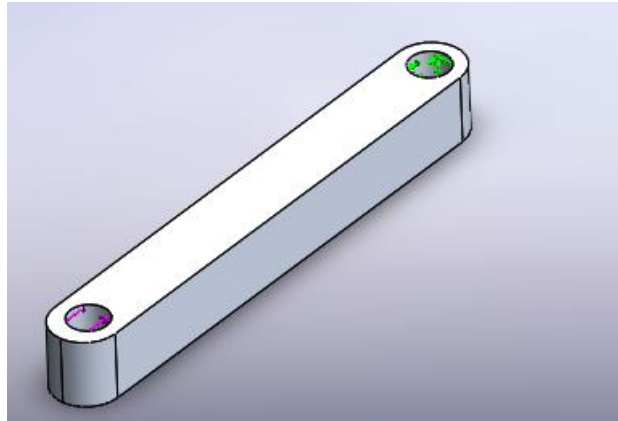
Τέλος σύμφωνα με τους Datta και Deb [16], η δύναμη που ασκείται στην ράβδο a της αρπάγης ισούται με :

$$R = \frac{P}{2 \cdot \cos \alpha},$$

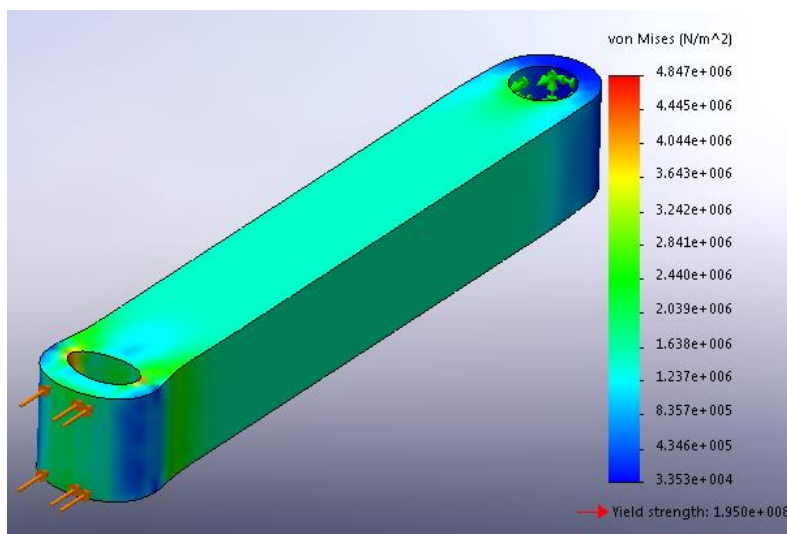
Στην συγκεκριμένη περίπτωση: $R = [P/4] * 1/\cos \alpha$ καθώς η ράβδος a αποτελείται από δύο όμοια κομμάτια. Έτσι λοιπόν :

$$R = [458/4] * 1/\cos 46^\circ = 163\text{N}$$

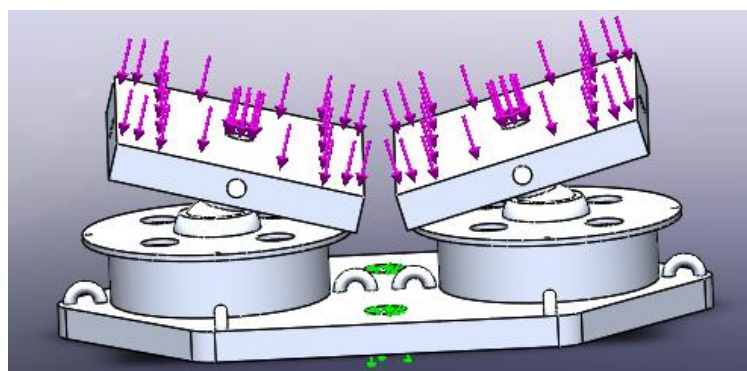
Για αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας, η προσομοίωση γίνεται σε 3 στάδια. Αρχικά αναλύεται η ράβδος αμόνη της, πακτώνοντας την μία οπή της και εφαρμόζοντας δύναμη καταπόνησης στην άλλη ίση με 163 N (βλ. Εικόνα 42).



Εικόνα 42. Ράβδος απριν την προσομοίωση

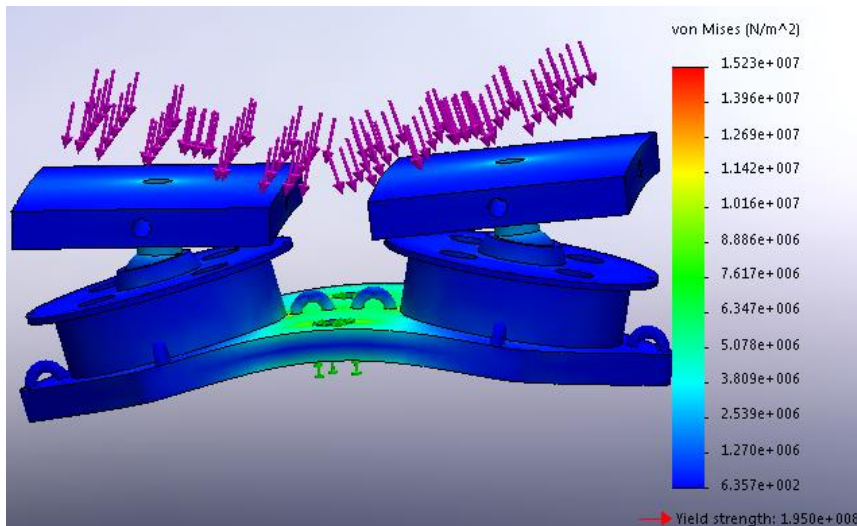


Εικόνα 43. Ράβδος αμετά την προσομοίωση



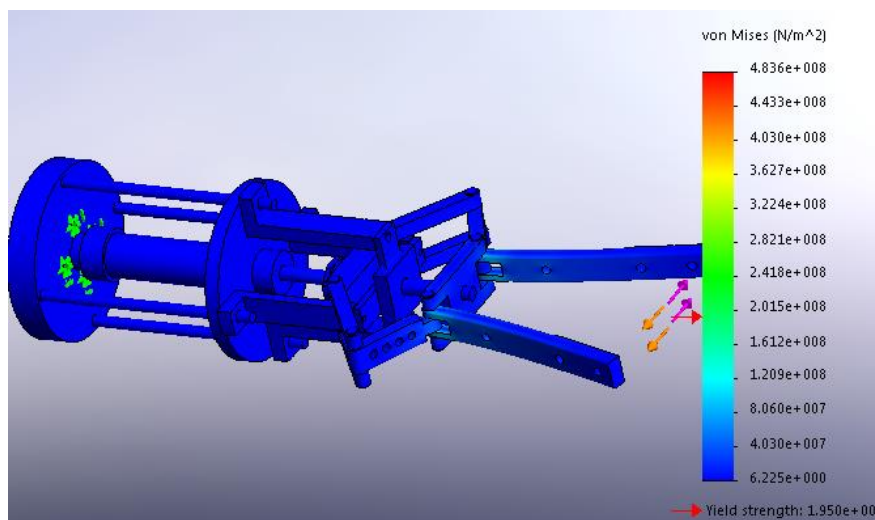
Εικόνα 44. Πλάκες δαχτύλου πριν την προσομοίωση

Έπειτα η ανάλυση γίνεται για το κομμάτι του κάτω δαχτύλου το οποίο καταπονείται περισσότερο από το πάνω, λόγω του ότι του ασκούνται και οι δυνάμεις του βάρους του κυλίνδρου, δηλαδή $10,61 + 57,9 = 68,51\text{N}$.



Εικόνα 45. Πλάκες δαχτύλου μετά την προσομοίωση

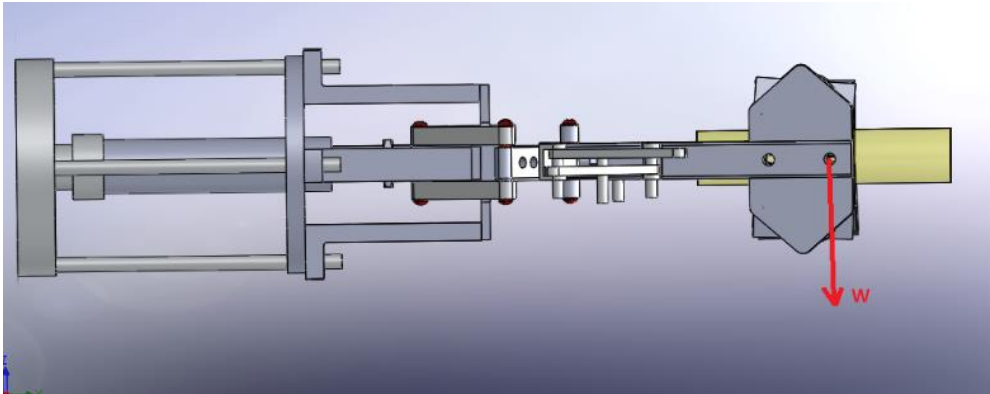
Τέλος ανάλυση γίνεται για τον βασικό μηχανισμό της αρπάγης δίνοντας ως δυνάμεις την $F_t = 117 \text{ N}$ και ως δύναμη βάρους για το δεύτερο δάχτυλο το $W_y = 22.11 \text{ N}$.



Εικόνα 46. Προσομοίωση γενικού μηχανισμού

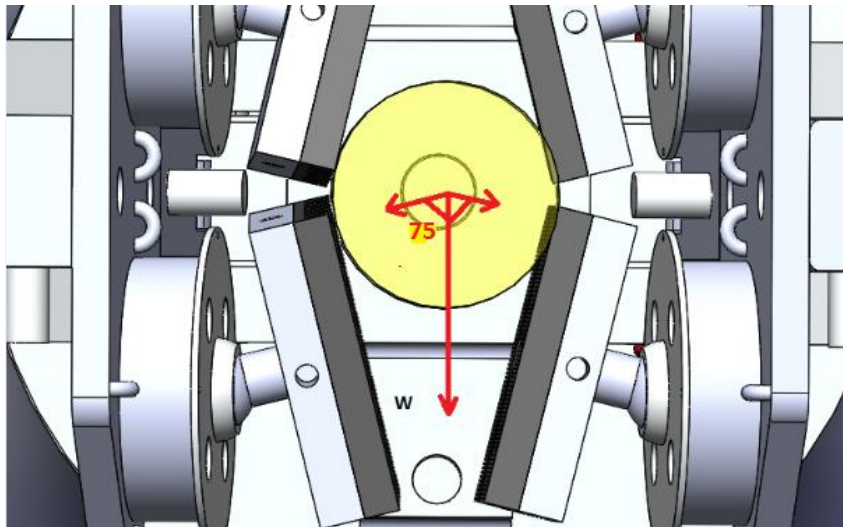
Και στα τρία στάδια προκύπτει ότι το όριο αστοχίας της κατασκευής είναι πολύ μεγαλύτερο από τις ασκούμενες φορτίσεις.

Στην δεύτερη περίπτωση, η αρπάγη συγκρατεί τον κύλινδρο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το βάρος του να μοιράζεται ισόποσα και στα δύο δάχτυλα περισσότερο παράλληλα με την επιφάνεια συγκράτησης από ότι στην πρώτη περίπτωση που θεωρήθηκε (βλ. Εικόνα 47).



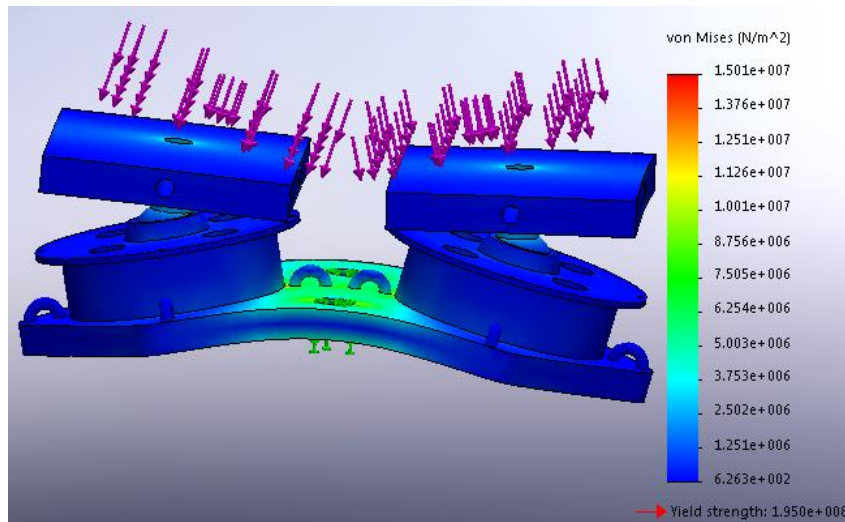
Εικόνα 47. Συγκράτηση κυλίνδρου με διαφορετικό τρόπο

Οι γωνίες α και β των ράβδων a και b δεν αλλάζουν καθώς η αρπάγη έχει πιάσει τον ίδιο κύλινδρο με την διαφορά ότι τώρα η άρθρωση του ρομπότ έχει περιστραφεί κατά 90° . Συνεπώς οι δυνάμεις F_t που ασκούνται από τα δάχτυλα στο τεμάχιο είναι ίδιες με την πρώτη περίπτωση. Η διαφορά που υπάρχει εδώ είναι ότι το βάρος W μοιράζεται στις κάτω πλάκες των δύο δαχτύλων της αρπάγης (βλ. Εικόνα 48).

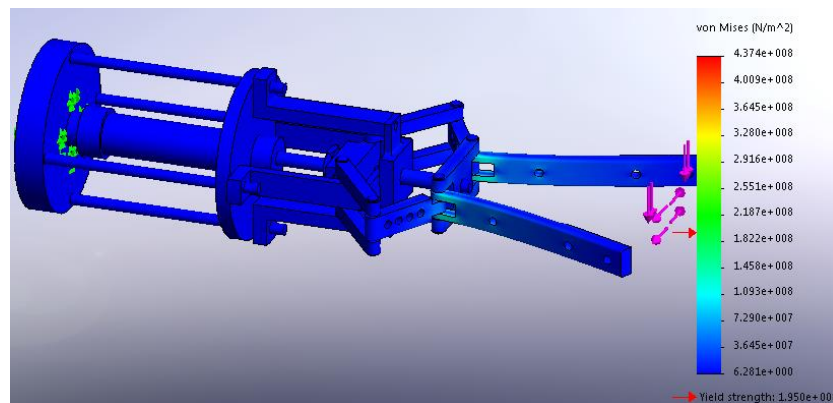


Εικόνα 48. Βάρος που ασκείται στις κάτω πλάκες

Έτσι εκτός της δύναμη F_t η οποία ασκείται από τα δάχτυλα της αρπάγης στο τεμάχιο, στις κάτω πλάκες των δαχτύλων ασκείται επίσης δύναμη ίση με $[W/2] * \cos 75^\circ = 2,97 \text{ N}$. Η προσομοίωση της ράβδου αείναι ακριβώς ίδια με την προηγούμενη περίπτωση. Στις Εικόνες 49 και 50 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων στις πλάκες των δαχτύλων, αλλά και στον γενικό μηχανισμό.



Εικόνα 49. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλακών



Εικόνα 50. Αποτελέσματα προσομοίωσης γενικού μηχανισμού

Η μέγιστη καταπόνηση που ασκείται είναι δεν υπερβαίνει ποτέ το ανώτατο όριο αστοχίας του υλικού (Yield Strength). Βεβαίως αγνοήθηκαν αδρανειακές δυνάμεις λόγω επιτάχυνσης του ρομπότ, αλλά δεδομένης της διαφοράς των φορτίσεων και του ορίου αστοχίας, θεωρείται ότι θα παραληφθούν επιτυχώς.

5.2 Μελέτη περιπτώσεων ανεπαρκούς συγκράτησης

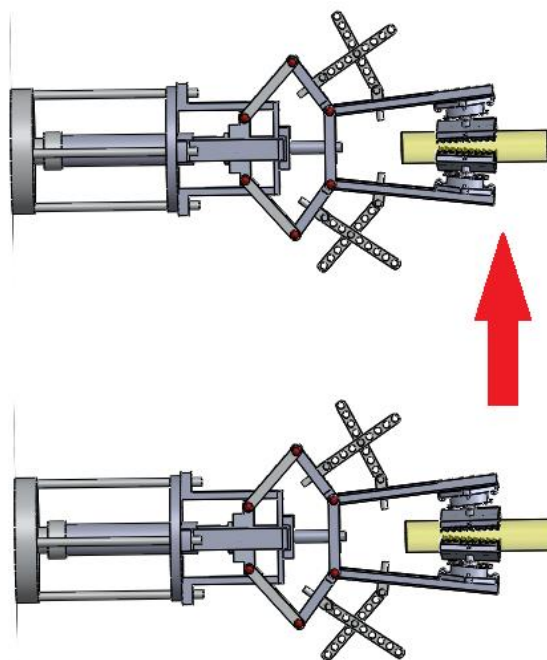
Στην ενότητα αυτή θα μελετηθούν διάφορες δυσμενείς περιπτώσεις λειτουργίας της αρπάγης, οι οποίες μπορεί να αποτελέσουν περιπτώσεις κινδύνου λόγω της διαφυγής του τεμαχίου από τις σιαγόνες της αρπάγης. Βασική υπόθεση είναι ότι η αρπάγη θα κινήσει τεμάχιο βάρους 2300 gr (ανώτατο επιτρεπτό όριο βάρους). Κύρια αίτια του φαινομένου αυτού είναι οι χαμηλές δυνάμεις σύσφιξης του τεμαχίου από τις σιαγόνες της αρπάγης, η χαμηλή δύναμη τριβής μεταξύ επιφανειών των σιαγόνων με το εκάστοτε τεμάχιο και η επιτάχυνση του ρομπότ προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις.

Περίπτωση 1^η : Σύσφιξη τεμαχίου παράλληλα με τον άξονα του τσικ τόνου, και επιταχυνόμενη κίνηση της αρπάγης κάθετα σε αυτόν (βλ Εικόνα 51). Σε αυτήν

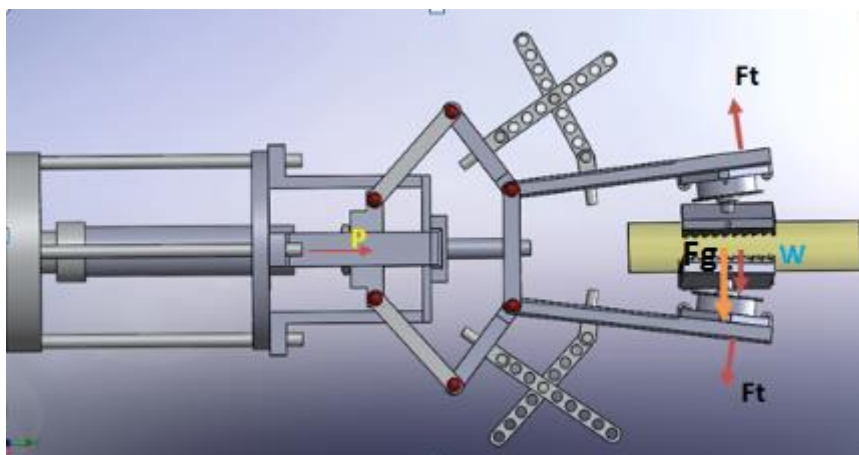
Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα

την περίπτωση εκτός από το βάρος του τεμαχίου, στις κάτω σιαγόνες της αρπάγης θα ασκείται μία επιπλέον δύναμη :

$F_g = m \cdot a$, όπου m η μάζα του εκάστοτε τεμαχίου και a η επιτάχυνση της κίνησης του ρομπότ (βλ. Εικόνα 52)



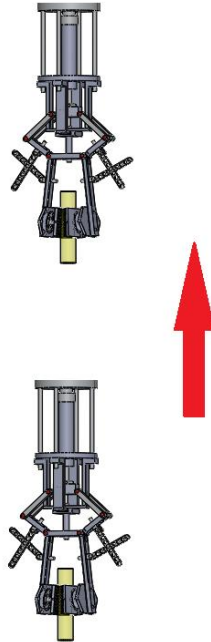
Εικόνα 51. Κίνηση αρπάγης



Εικόνα 52. Παράλληλη συγκράτηση τεμαχίου

Αποτέλεσμα : Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος διαφυγής του τεμαχίου από την αρπάγη καθώς οι σιαγόνες έχουν πάρει την μορφή του κυλίνδρου και οι δυνάμεις W και F_g ασκούνται προς το μέρος της κάτω σιαγόνας. Επίσης σύμφωνα με την ενότητα 5.1 ,και την μελέτη καταπόνησης της αρπάγης, δεδομένης της διαφοράς των φορτίσεων και του ορίου αστοχίας, θεωρείται ότι παραλείπονται επιτυχώς οι δυνάμεις αδράνειας (βλ. F_g) και η σιαγώνα της αρπάγης δεν πρόκειται να καταπονηθεί τόσο ώστε να αστοχήσει.

Περίπτωση 2^η : Σύσφιξη του τεμαχίου κάθετα προς τον άξονα του και επιταχυνόμενη κίνηση της αρπάγης σε τροχιά παράλληλη με τον άξονα του τεμαχίου (βλ. Εικόνα 53)



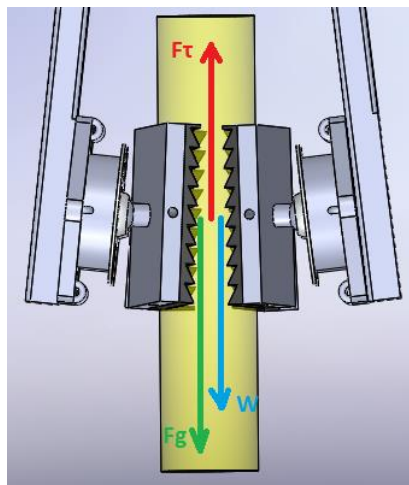
Εικόνα 53. Επιταχυνόμενη κίνηση της αρπάγης προς τα πάνω

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το τεμάχιο τείνει να κινηθεί προς τα κάτω ασκώντας τις δυνάμεις W και F_g (βλ. Εικόνα 54), όπου :

$$W = m \cdot g = 2.3 \cdot 9,81 = 22,56 \text{ N}$$

και

$F_g = m \cdot a$, όπου m η μάζα του τεμαχίου και a η επιτάχυνση του ρομπότ. Η μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης σε βιομηχανικά ρομπότ είναι της τάξης του 20000 mm/sec^2 συνεπώς $F_g \leq 2 W$.



Εικόνα 54. Δυνάμεις κατά την επιταχυνόμενη κίνηση

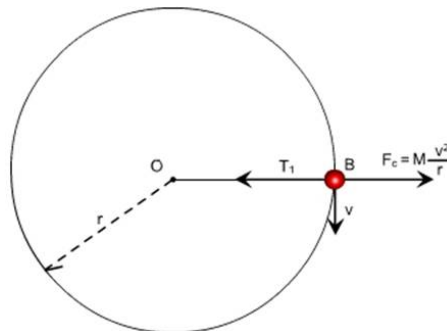
Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα

Στην κίνηση αυτή αντιτίθεται η δύναμη τριβής $F_t = \mu \cdot N$, όπου μ ο συντελεστής τριβής μεταξύ λάστιχου και μετάλλου ($\mu = 0,77$) και N , η δύναμη που ασκείται στο τεμάχιο μέσω των σιαγώνων της αρπάγης. Σε προηγούμενη ενότητα υπολογίστηκε ότι αν δοθεί πίεση 6 bar στον πνευματικό κύλινδρο, η δύναμη που καταλήγει στην κάθε σιαγόνα είναι ίση με 117 N. Άρα $N = 2 \cdot 117 = 234$ N και $F_t = 0,77 \cdot 234 = 180$ N.

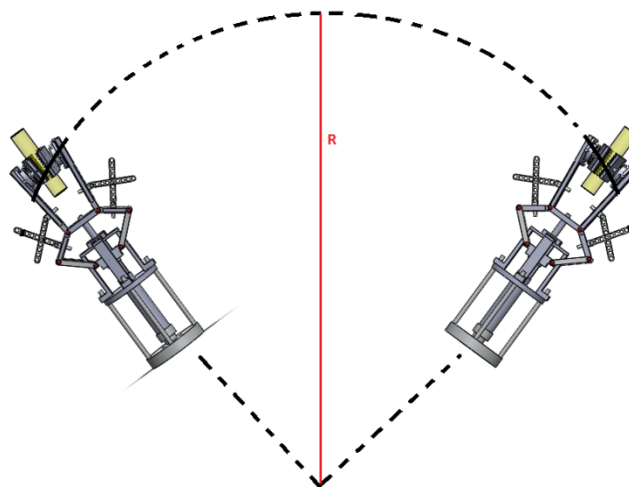
Αποτέλεσμα : Δοκιμάζοντας το ρομπότ σε συνθήκες υψηλής επιτάχυνσης, παρατηρείται ότι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να αναπτύξει την μέγιστη ταχύτητα (12 m/s, σύμφωνα με τον κατασκευαστή) και να ακολουθήσει ομαλή κίνηση είναι ελάχιστο, της τάξης των $12 / (2 \cdot 9,81) = 0,6$ s. Συνεπώς η δύναμη $F_g = m \cdot a$ αναμένεται να μην επηρεάζει ουσιαστικά την κίνηση του τεμαχίου, καθώς πάντα θα ισχύει $F_t > W$. Σε πολύ δυσμενείς συνθήκες ίσως το τεμάχιο κινηθεί προς τα κάτω, το διάστημα που θα διανύσει όμως είναι ανάλογο της επιτάχυνσης και του τετραγώνου του χρόνου κατά τον οποίο αυτή ασκείται, συνεπώς θα είναι αμελητέο. Για παράδειγμα, ακόμα και μέγιστη ταχύτητα και με τη μέγιστη επιτάχυνση 2g το διανυόμενο διάστημα σε 0,6 s είναι 3,5 mm.

Περίπτωση 3^η : Παράλληλη σύσφιξη του τεμαχίου με το έδαφος και ομαλή κίνηση του ρομπότ σε κυκλική τροχιά.

Το πρόβλημα που δημιουργείται από μία τέτοια κίνηση είναι η εμφάνιση φυγόκεντρος δύναμης, βλ. Εικόνα 55, που ισούται με $F_c = [m \cdot u^2] / r$



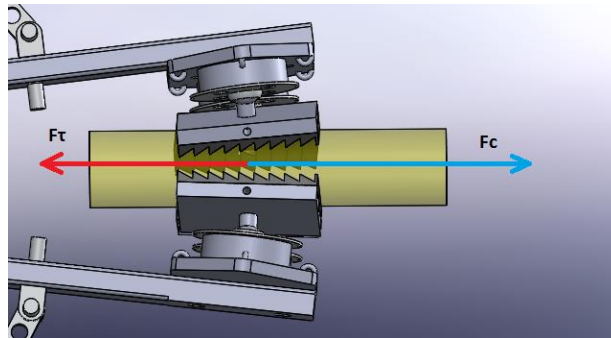
Εικόνα 55. Φυγόκεντρος δύναμη



Εικόνα 56. Κυκλική τροχιά κίνησης αρπάγης

Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης αρπάγης η δύναμη που αντιστέκεται στην φυγόκεντρο δύναμη είναι η δύναμη τριβής που υπολογίστηκε στην προηγούμενη περίπτωση, όπου $F_t = 180 \text{ N}$.



Εικόνα 57. Φυγόκεντρος δύναμη – Δύναμη τριβής

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του ρομπότ, το ακτινικό περιβάλλον εργασίας του, κυμαίνεται από 289 – 1100mm. Επίσης η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να φτάσει είναι 12m/s.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται κατά περίπτωση η μέγιστη αθέρα τιμή ασφαλούς ταχύτητας (m/s) που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στο πρόγραμμα του ρομπότ για να μη ξεφύγει το τεμάχιο από την αρπάγη. Προφανώς, αυξάνοντας την πίεση συγκράτησης, η μέγιστη ασφαλής ταχύτητα αυξάνεται.

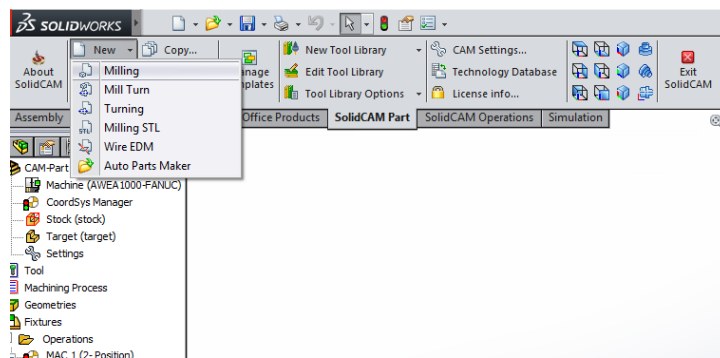
Μάζα τεμαχίου (gr)	Ακτίνα κίνησης (mm)		
	289	500	1100
500	10	12	12
1000	9	9	12
1500	5	7	11
2000	5	6	9
2300	4	6	9

6 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΡΠΑΓΗΣ

6.1 Εισαγωγή στο SolidCAM

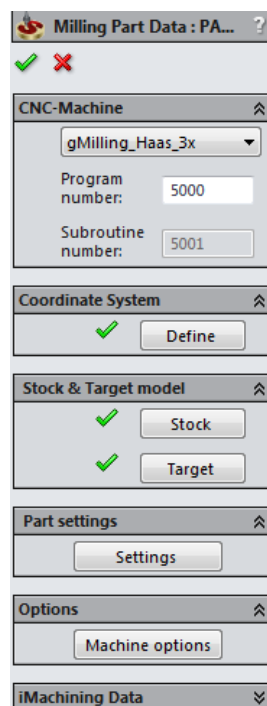
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιωθεί η κατεργασία του εκάστοτε τεμαχίου, καθώς και για να εξαχθεί ο G code είναι το SolidCAM. Παρακάτω θα γίνει επισκόπηση της χρήσης του SolidCAM χρησιμοποιώντας ένα από τα τεμάχια που κατεργαστήκαμε.

Αρχικά έχοντας ανοιχτό το εκάστοτε τεμάχιο στο Solidworks, πηγαίνοντας στην καρτέλα SolidCAM Part επιλέγεται το New>Milling (βλ. Εικόνα 58).



Εικόνα 58. Αρχικό περιβάλλον του SolidCAM

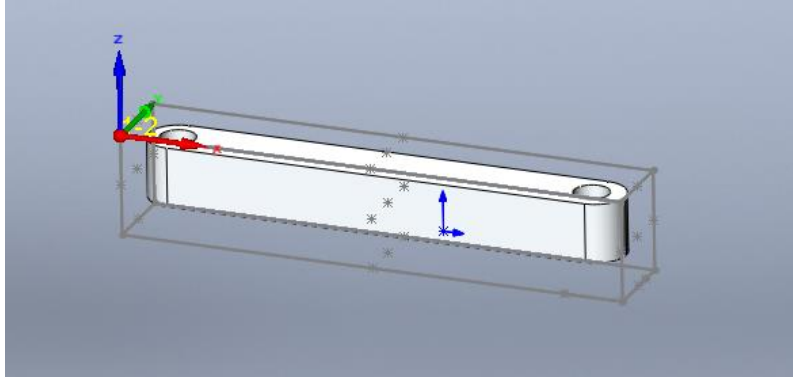
Από την καινούρια καρτέλα που ανοίγεται, μπορεί να επιλεγεί ο τύπος της μηχανής, το αρχικό Stock το οποίο θα υποστεί την κατεργασία, ένα αρχικό σύστημα συντεταγμένων καθώς και το τελικό τεμάχιο που θα προκύψει.



Εικόνα 59. Επιλογή τύπου μηχανής, αρχικού Stock και το τελικού τεμαχίου

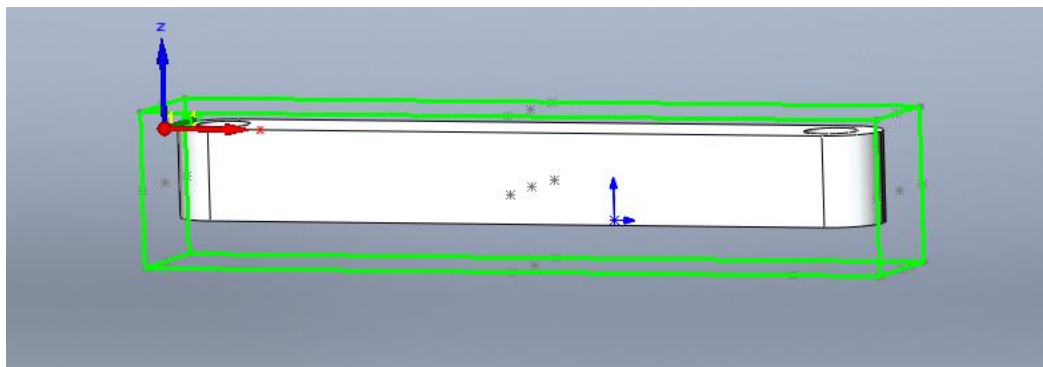
6.2 Προγραμματισμός CAM ενδεικτικού τεμαχίου

Για τον τύπο της μηχανής επιλέχθηκε ο gMilling_Haas_3x καθώς είναι συμβατή με την εργαλειομηχανή CNC Haas TM1 που χρησιμοποιήσαμε. Για το αρχικό σύστημα συντεταγμένων επιλέχθηκε η πάνω αριστερή γωνία του Stock (βλ. Εικόνα 60) καθώς βόλευε για τον πραγματικό μηδενισμό του συστήματος συντεταγμένων προγράμματος πριν από την κατεργασία του τεμαχίου.



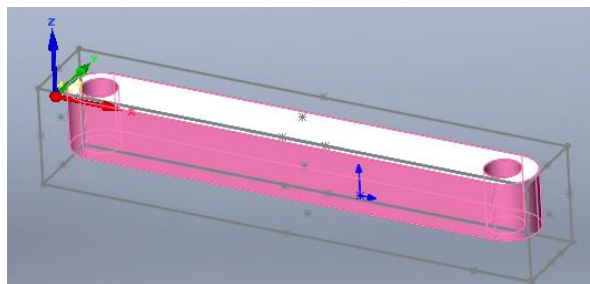
Εικόνα 60. Stock του τεμαχίου

Όσον αφορά το Stock δόθηκε περιθώριο + 2mm από την κάθε πλευρά, εκτός από τον άξονα Z, όπου στην αρνητική του διεύθυνση δόθηκε περιθώριο + 5mm (βλ. Εικόνα 61), ώστε να υπάρχει επαρκές περιθώριο συγκράτησης του στη μέγγενη.



Εικόνα 61. Stock με επιπλέον 2 και 5mm περιθώριο αντίστοιχα

Το τεμάχιο-στόχος μετά το πέρας της κατεργασίας φαίνεται στην Εικόνα 62.



Εικόνα 62. Το τελικό τεμάχιο μετά την κατεργασία

Το επόμενο βήμα όλων των επιλογών που έγιναν πριν είναι να καθοριστούν οι κατεργασίες που θα γίνουν καθώς και η σειρά τους για να προκύψει το τελικό τεμάχιο. Για την κάθε κατεργασία (operation) που επιλέγεται να γίνει, πρέπει να καθοριστούν συγκεκριμένες παράμετροι που την ορίζουν. Τέτοιες είναι το είδος αλλά και οι διαστάσεις του εργαλείου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί, η ταχύτητα περιστροφής αλλά και η ταχύτητα πρόωσης, το υψηλότερο αλλά και το χαμηλότερο σημείο κοπής, τα μέγεθος του εκάστοτε πάσου, η πορεία εισόδου αλλά και εξόδου του κάθε εργαλείου από και προς το σημείο της κοπής.

Στο παράδειγμά μας οι κατεργασίες που θα χρησιμοποιηθούν κατά σειρά είναι οι εξής : face milling (φρεζάρισμα της πάνω επιφάνειας) , contour (προφίλ του τεμαχίου περιμετρικά) καθώς και drilling (διάνοιξη των δύο οπών). Το τελικό στάδιο κατεργασιών περιλαμβάνει μόνο μία κατεργασία face milling προϋποθέτοντας ότι έχουμε αναστρέψει το ήδη κατεργασμένο τεμάχιο, με σκοπό να εξαλείψουμε τα 5mmπου είχαμε δώσει περιθώριο από πριν.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής :

- Φρεζοκεφαλή Seco, διαμέτρου 80mm και έξι κοπτικές ακμές
- Κοντύλι Seco, καρβιδίου, διαμέτρου 16mm, με τέσσερις κοπτικές ακμές
- Τρυπάνι καρβιδίου, διαμέτρου 6mm, με δύο κοπτικές ακμές



Εικόνα 63. Εργαλεία από αριστερά: Κονδύλι επίπεδου, Probee, φρεζοκεφαλή, τρυπάνι, κονδύλι σφαιρικού άκρου

Παρακάτω αναλύεται η υλοποίηση κάθε κατεργασίας.


6.2.1 Face Milling

Στο δέντρο κατεργασιών αριστερά επιλέγεται Add Milling Operation και τέλος επιλέγεται Face.

Geometry

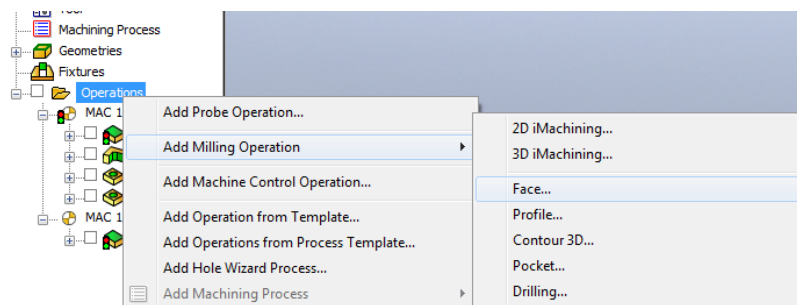
Στο σημείο αυτό θα διαμορφωθεί η πορεία που θα ακολουθήσει η 'κεφαλή' για

Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα

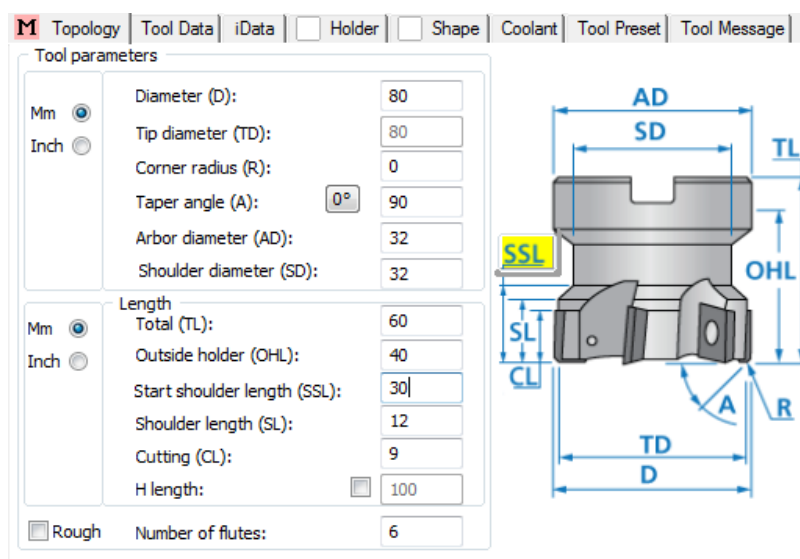
να κόψει τα δύο πρώτα χιλιοστά του Stock κατά τον άξονα Z. Στην καρτέλα Geometry, επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων (το οποίο έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενο βήμα) και έπειτα από την επιλογή Edit διαμορφώνεται η κατάλληλη γεωμετρία. Στην νέα καρτέλα που εμφανίζεται, στο σημείο που 'Base geometry' επιλέγεται Target δίπλα ακριβώς από το Define κι έπειτα καταχωρείται πατώντας το .

Tool

Πατώντας πάνω στην επιλογή Select ανοίγεται η νέα καρτέλα διαμόρφωσης του εργαλείου. Από εκεί επιλέγεται κάτω αριστερά Add MillingTool για να προστεθεί καινούριο εργαλείο. Έπειτα επιλέγεται Face Milling για να οριστεί την γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά της φρεζοκεφαλής που χρησιμοποιήθηκε (βλ. Εικόνα 64). Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία η φρεζοκεφαλή που χρησιμοποιήσαμε έχει διάμετρο 80 mm, κοπτικό μήκος 9 mm, και έξι κοπτικές ακμές (δόντια). Αυτά είναι και τα κύρια χαρακτηριστικά που θα προστεθούν στην συγκεκριμένη καρτέλα. Τα υπόλοιπα δεν επηρεάζουν την προσομοίωση αλλά ούτε και την παραγωγήGcode, οπότε δεν αλλάζονται.

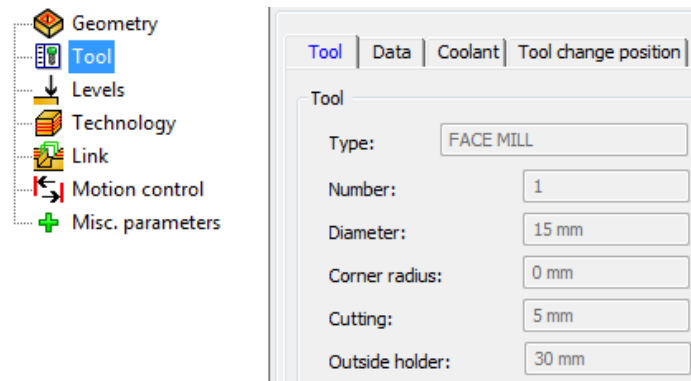


Εικόνα 64. Επιλέγοντας διαμόρφωση προσώπου (facemilling)



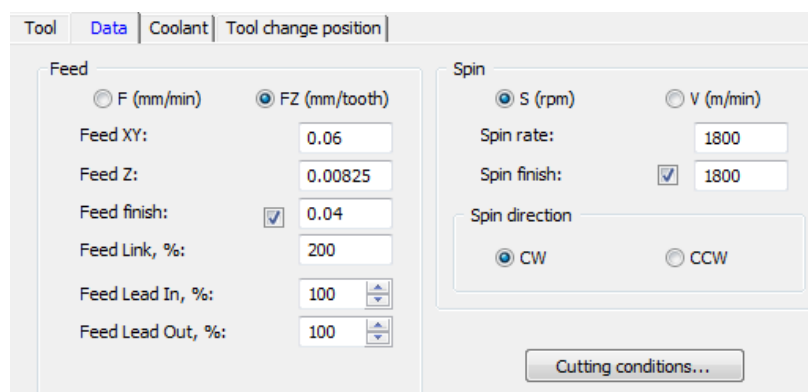
Εικόνα 65. Γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά της δικής μας φρεζοκεφαλής

Η ταχύτητα περιστροφής κύριας ατράκτου και η ταχύτητα πρόωσης καθορίζονται στο αρχικό περιβάλλον της καρτέλας Tool και επιλέγοντας Data.



Εικόνα 66. Αρχική καρτέλα διαμόρφωσης του εργαλείου

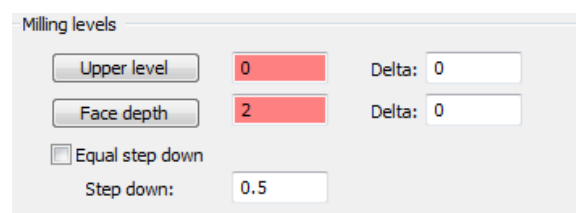
Για την ταχύτητα πρόωσης επιλέγεται τιμή εκχόνδρισης 0,06 mm/tooth και 0,04 mm/tooth όσον αφορά το τελικό φινίρισμα. Για την ταχύτητα περιστροφής επιλέγεται 1800 rpm. Οι συγκεκριμένες τιμές συνιστώνται από τον κατασκευαστή για υλικό τεμαχίου αλουμίνιο.



Εικόνα 67. Ορισμός ταχύτητας περιστροφής και πρόωσης

Levels

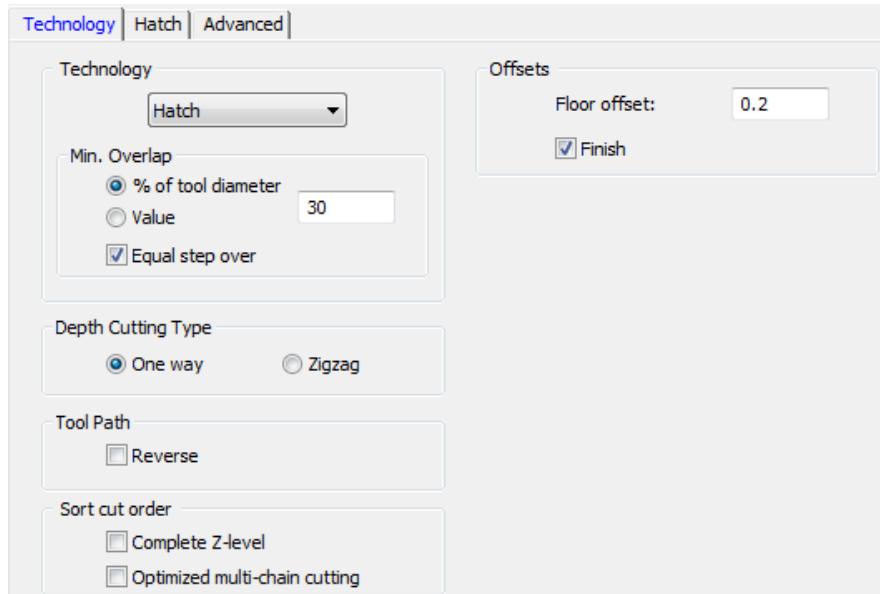
Το upper level είναι το ανώτερο σημείο από το οποίο θα ξεκινήσει να κόβει η φρεζοκεφαλή και το face depth είναι το κατώτερο σημείο που θα σταματήσει να κόβει. Με την κάθε επιλογή ξεχωριστά μεταφερόμαστε στο 3d περιβάλλον του τεμαχίου και επιλέγουμε με απλό κλικ το κάθε σημείο. Τέλος, στην καρτέλα Step down επιλέγεται το πάσο για κάθε επανάληψη του κύκλου (εδώ: 0,5 mm).



Εικόνα 68. Ορισμός επιπέδων κατεργασίας

Technology

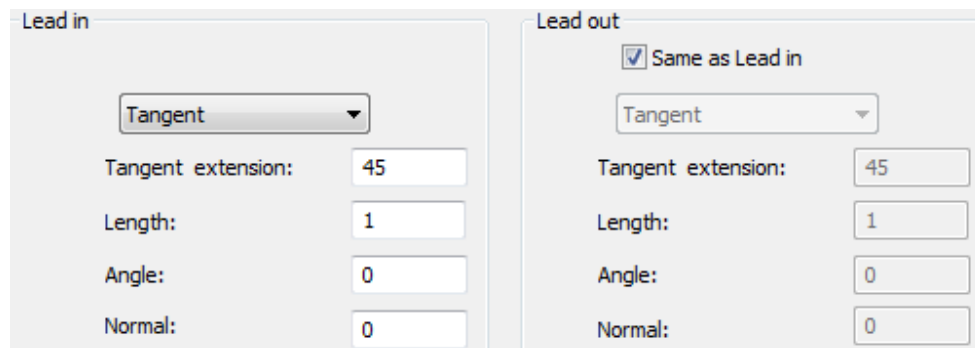
Στην συγκεκριμένη καρτέλα επιλέγεται η κίνηση-πορεία του κοπτικού εργαλείου κατά την διάρκεια της κοπής. Στην καρτέλα technology επιλέγεται Hatch και στα Offsets επιλέγεται τιμή 0,2 mm για φινίρισμα (finishing) στο τέλος. Οι υπόλοιπες επιλογές αφήνονται ως έχουν προεπιλεχθεί.




Εικόνα 69. Καθορίζοντας την τεχνολογία της κατεργασίας

Link

Με την συγκεκριμένη επιλογή καθορίζεται το πώς θα εισέρχεται στο αρχικό και πως θα εξέρχεται από το τελικό σημείο κοπής αντίστοιχα το εργαλείο. Στην καρτέλα Lead in επιλέγεται Tangent και από τις επιλογές που παρέχονται επιλέγεται Tangent extension 45 και Length 1. Όσον αφορά το Lead out επιλέγεται Same as lead in (βλ. Εικόνα 70). Οι υπόλοιπες δύο καρτέλες (Motion Control και Misc. Parameters) δεν αλλάζονται καθόλου.

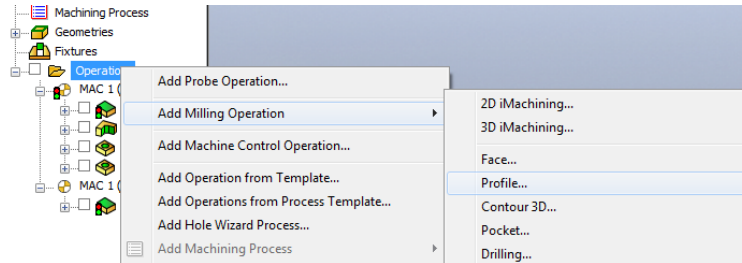


Εικόνα 70. Καθορισμός πορείας εισόδου-εξόδου κοπτικού εργαλείου

Μετά από την διαμόρφωση κάθε καρτέλας, καλό είναι να γίνεται αποθήκευση για να μην χαθούν τα αρχεία, επιλέγοντας κάτω αριστερά Save and Calculate .


6.2.2 Profile

Αρχικά για να επιλεγεί μία διαμόρφωση προφίλ (profile), στο δέντρο κατεργασιών επιλέγεται Add Milling Operation και Profile (βλ. Εικόνα 71).



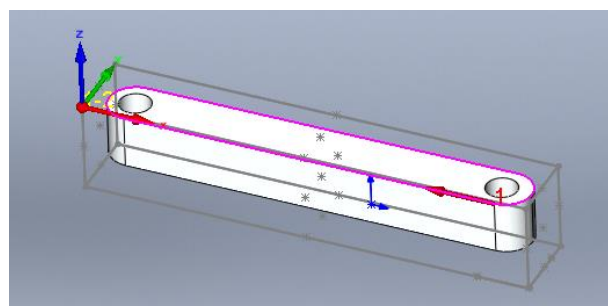
Εικόνα 71. Επιλογή κατεργασίας profile

Geometry

Στο σημείο αυτό θα διαμορφωθεί η γεωμετρία που θα ακολουθήσει το κοντύλι για να κόψει το προφίλ που επιθυμείται. Στην καρτέλα Geometry, επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων (το οποίο δημιουργήθηκε σε προηγούμενο βήμα) κι έπειτα από την επιλογή Edit διαμορφώνεται η κατάλληλη γεωμετρία στην νέα καρτέλα που εμφανίζεται, πηγαίνοντας στο 3d περιβάλλον και επιλέγοντας τις ακμές του τεμαχίου από τις οποίες θα αποτελείται η γεωμετρία. Η σειρά επιλογής των ακμών είναι πολύ σημαντική. καθώς θα πρέπει να σχηματίζεται κυκλική γεωμετρία, δηλαδή το αρχικό με το τελικό σημείο της όλης διαδρομής θα πρέπει να συμπίπτουν. Τότε, εμφανίζεται το ερώτημα 'Ok to accept?' και επιλέγεται Yes. Έπειτα στην καρτέλα Chain List εμφανίζεται η πρώτη γεωμετρία που δημιουργήθηκε με την ονομασία Chain 1 (αλυσίδα), η οποία εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στο 3d περιβάλλον έχοντας ως ένδειξη αφετηρίας ένα κόκκινο βέλος. Τέλος επιλέγεται  για καταχώρησή της.




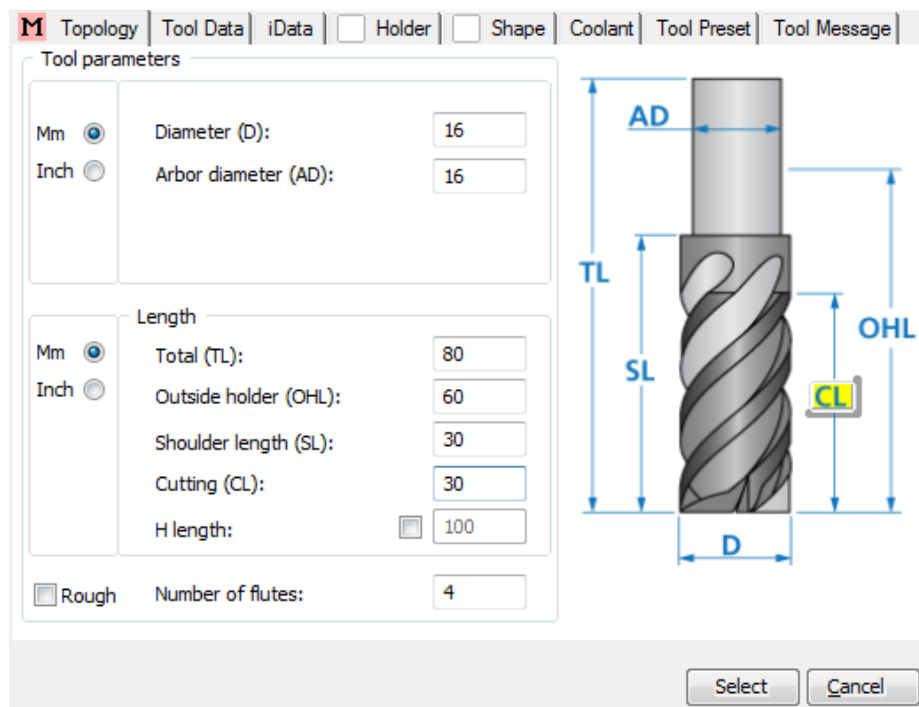
Εικόνα 72. Αποδοχή προεπιλογής



Εικόνα 73. Γεωμετρία κοπής profile

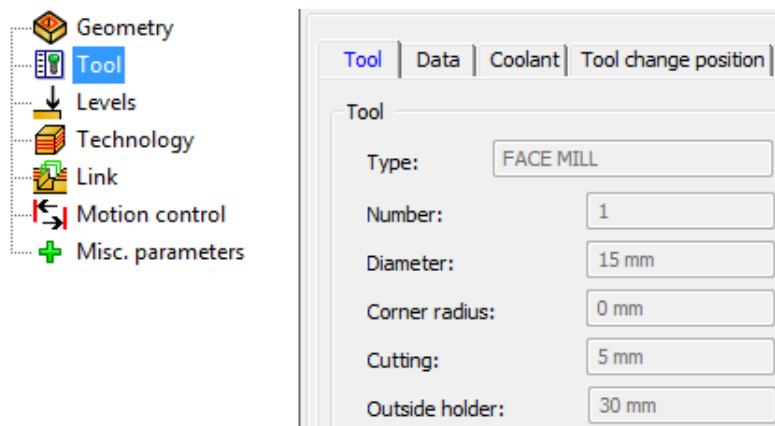
Tool

Πατώντας στην επιλογή Select ανοίγεται η νέα καρτέλα διαμόρφωσης του εργαλείου. Από εκεί επιλέγεται κάτω αριστερά Add Milling Tool  για να προστεθεί καινούριο εργαλείο. Έπειτα επιλέγεται End Mill για να οριστεί η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά για το κονδύλι που θα χρησιμοποιηθεί (βλ. Εικόνα 74). Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία το συγκεκριμένο κονδύλι έχει διάμετρο 16 mm, κοπτικό μήκος 30 mm, και τέσσερις κοπτικές ακμές. Αυτά είναι και τα κύρια χαρακτηριστικά που θα προστεθούν στην συγκεκριμένη καρτέλα.



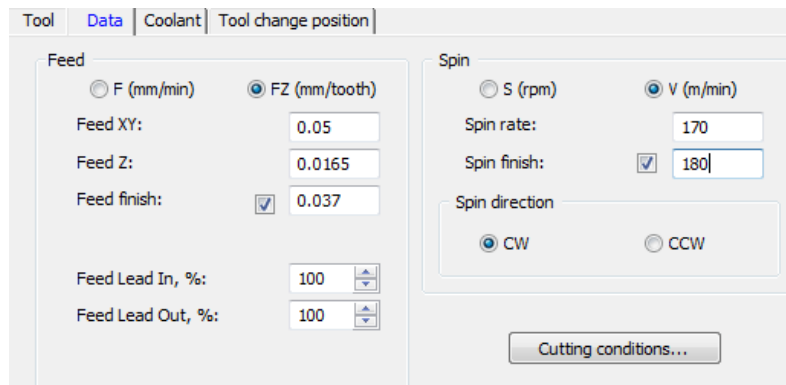
Εικόνα 74. Γεωμετρία κονδυλίου

Η ταχύτητα περιστροφής και η ταχύτητα πρόωσης δίνονται πηγαίνοντας στο αρχικό περιβάλλον της καρτέλας Tool και επιλέγοντας Data (βλ. Εικόνα 75).



Εικόνα 75. Αρχική καρτέλα διαμόρφωσης εργαλείου

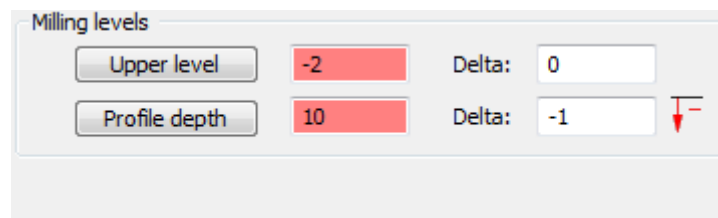
Για την ταχύτητα πρόωσης επιλέγεται τιμή εκχόνδρισης 0,05 mm/tooth και 0,037 mm/tooth όσον αφορά το τελικό φινίρισμα. Για την ταχύτητα περιστροφής επιλέγεται 170 m/min για εκχόνδριση και 180 m/min για το φινίρισμα. Οι συγκεκριμένες τιμές (βλ. Εικόνα 76) είναι εγκεκριμένες από τον κατασκευαστή για υλικό τεμαχίου αλουμίνιο.



Εικόνα 76. Ταχύτητες κατεργασίας

Levels

Το upper level είναι το ανώτερο σημείο από το οποίο θα ξεκινήσει να κόβει το κοντύλι, και το profile depth είναι το κατώτερο σημείο που θα σταματήσει να κόβει (βλ. Εικόνα 77). Επιλέγοντας την κάθε επιλογή ξεχωριστά, μεταφερόμαστε στο 3d περιβάλλον του τεμαχίου μας και επιλέγεται με απλό κλικ το κάθε σημείο.



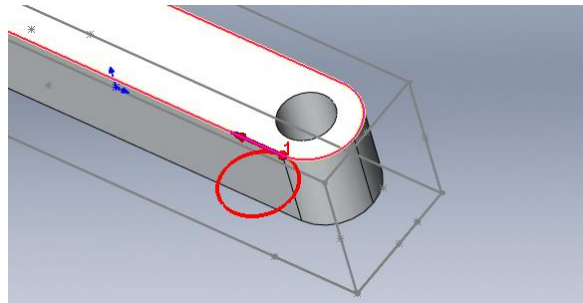
Εικόνα 77. Επιλογή των επιπέδων της κατεργασίας

Technology

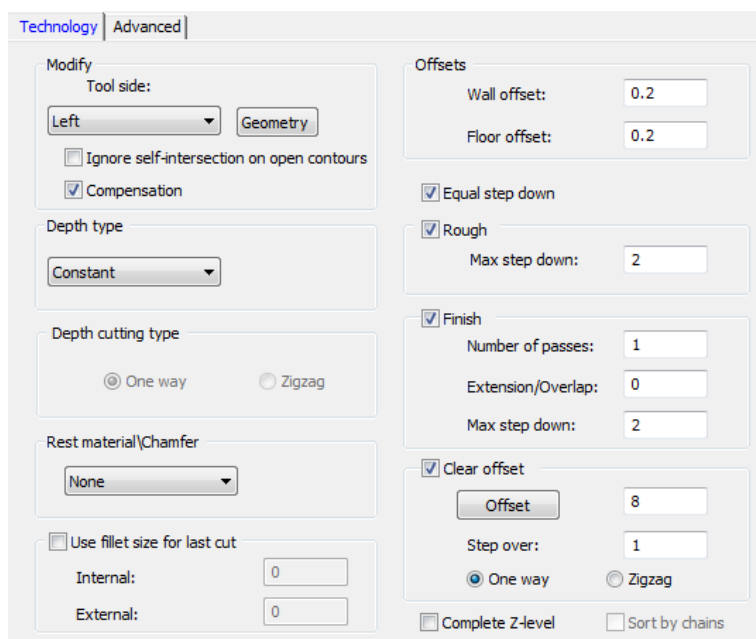
Στην συγκεκριμένη καρτέλα θα οριστεί το μέγεθος και ο αριθμός των συνολικών πάσων που θα αφαιρεί το κοντύλι. Αρχικά όμως θα πρέπει να οριστεί το που θα βρίσκεται το κοντύλι σχετικά με την γεωμετρία που ορίστηκε παραπάνω. Στην επιλογή Tool side επιλέγεται Left (βλ. Εικόνα 78). Το ότι επιλέχτηκε η σωστή πλευρά μπορεί να εξακριβωθεί πατώντας πάνω στην επιλογή Modify.

Επιστρέφοντας στο αρχικό περιβάλλον του μενού Technology θα διαμορφωθούν τα Offsets της συγκεκριμένης κατεργασίας. Η εκχόνδριση (roughing) θα γίνει με πάσο 2 mm, και θα αφεθούν 0,2 mm περιθώριο στα επίπεδα του τοίχου και του δαπέδου (Floor – Wall offset). Το φινίρισμα (finishing) θα γίνει με πάσο 2 mm και η διαδικασία κοπής θα ξεκινάει σε απόσταση 8 mm από την γεωμετρία που

δόθηκε σε προηγούμενο βήμα. Τέλος, επιλέγεται αυτόματη αντιστάθμιση διαλέγοντας το Compensation.



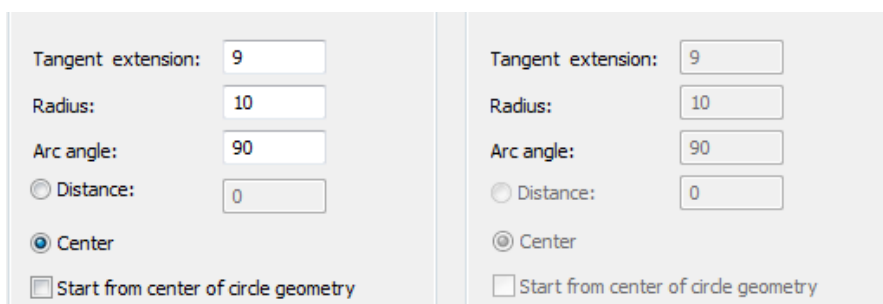
Εικόνα 78. Γεωμετρία κατεργασίας profile



Εικόνα 79. Offsets της κατεργασίας profile

Link

Στην καρτέλα Lead in επιλέγεται Arc και από τις επιλογές που παρέχει επιλέγεται Tangent extension 9, Radius 10, Arc angle 90. Όσον αφορά το Lead out επιλέγεται Same as lead in (βλ. Εικόνα80).

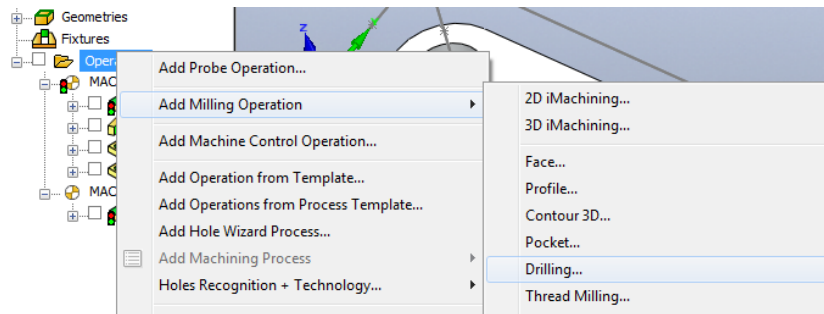


Εικόνα 80. Πορεία που ακολουθεί το εργαλείο πριν και μετά την κατεργασία

Οι υπόλοιπες δύο καρτέλες (Motion Control και Misc. Parameters) δεν αλλοιώνονται.


6.2.3 Drilling

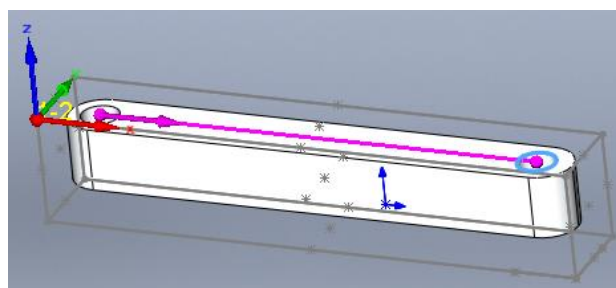
Αρχικά για να γίνει μία διάνοιξη οπής (drilling), στο δέντρο κατεργασιών επιλέγεται Add Milling Operation και επιλέγεται Drilling (βλ. Εικόνα 81).



Εικόνα 81. Επιλέγοντας κατεργασία διάνοιξης οπής


Geometry

Ουσιαστικά επιλέγονται τα κέντρα των οπών που επιθυμούνται να ανοιχτούν. Στην καρτέλα Geometry, επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων (το οποίο έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενο βήμα) και έπειτα από την επιλογή Edit  διαμορφώνεται η κατάλληλη γεωμετρία στην νέα καρτέλα που εμφανίζεται, πηγαίνοντας στο 3d περιβάλλον και επιλέγοντας τα κέντρα των οπών (βλ. Εικόνα 82). Η σειρά επιλογής των όμως δεν είναι τόσο σημαντική, καθώς δεν επηρεάζεται στην πραγματικότητα η κατεργασία.

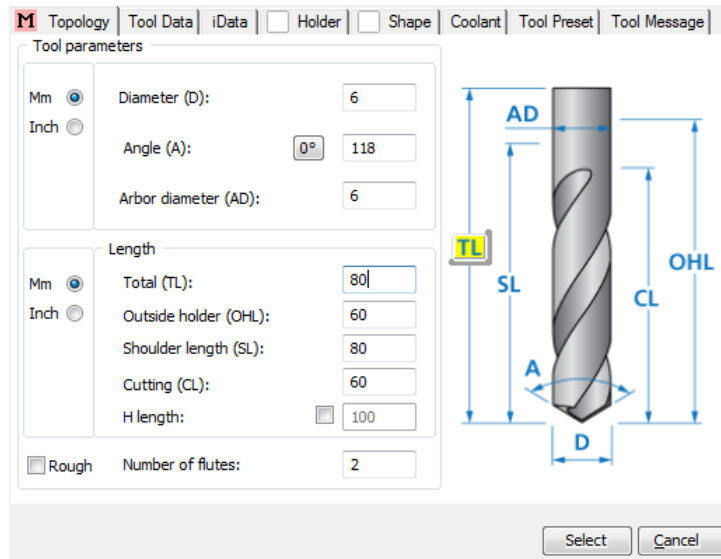


Εικόνα 82. Γεωμετρία κατεργασίας διάνοιξης οπής

Tool

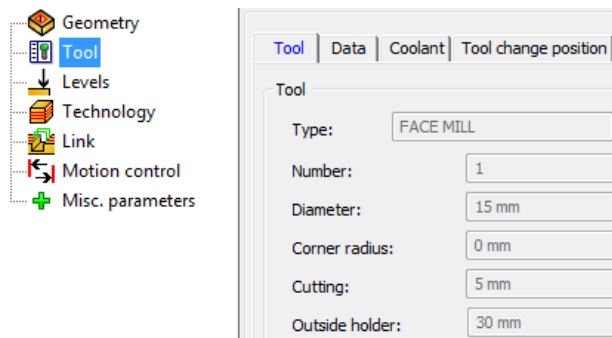
Πατώντας πάνω στην επιλογή Select ανοίγεται την νέα καρτέλα διαμόρφωσης του εργαλείου. Από εκεί επιλέγεται Add Milling Tool  για να προστεθεί καινούριο εργαλείο. Έπειτα επιλέγεται Drill για να οριστεί η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά για το τρυπάνι (βλ. Εικόνα 83). Σύμφωνα με την κατασκευάστρια

εταιρία το συγκεκριμένο τρυπάνι έχει διάμετρο 6 mm, κοπτικό μήκος 60 mm, και τέσσερις κοπτικές ακμές.

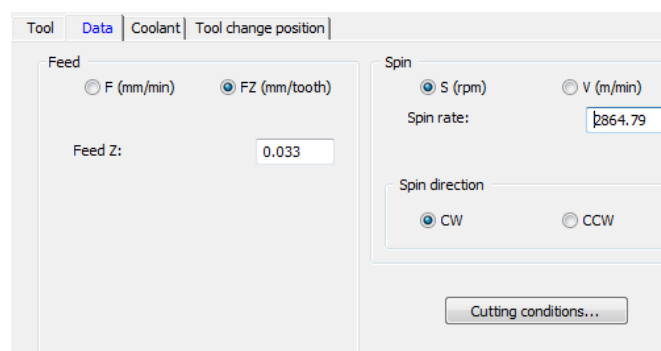


Εικόνα 83. Γεωμετρία του εργαλείου

Η ταχύτητα περιστροφής και η ταχύτητα πρόωσης ορίζονται στο αρχικό περιβάλλον της καρτέλας Tool επιλέγοντας Data (βλ. Εικόνα 84). Για την ταχύτητα πρόωσης επιλέγεται τιμή 0,033 mm/tooth. Για την ταχύτητα περιστροφής επιλέγουμε 2800 rpm, σύμφωνα με τη σύσταση του κατασκευαστή (βλ. Εικόνα 78) για υλικό τεμαχίου αλουμίνιο.



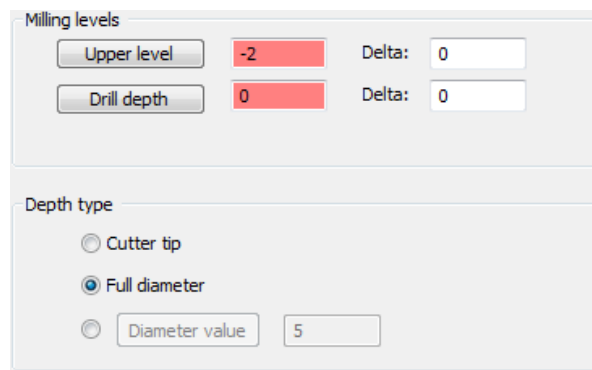
Εικόνα 84. Αρχική καρτέλα διαμόρφωσης εργαλείου



Εικόνα 85. Ταχύτητες κατεργασίας διάνοιξης οπής

Levels

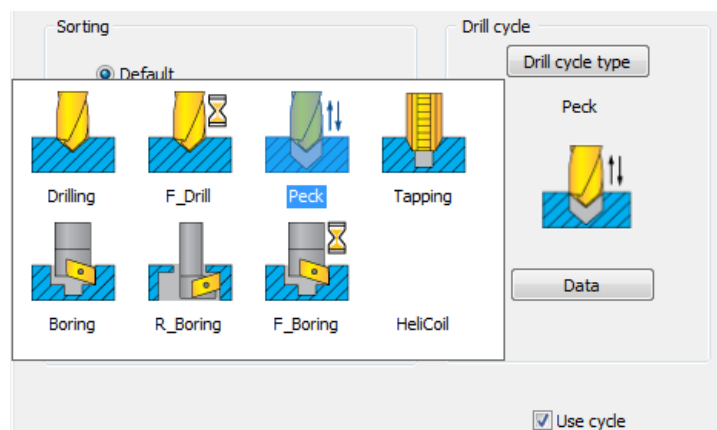
Το upper level είναι το ανώτερο σημείο από το οποίο θα ξεκινήσει διάνοιξη οπής, και το drill depth είναι το κατώτερο σημείο που θα σταματήσει. Επίσης με την επιλογή Depth type μπορεί να οριστεί ο τύπος διάνοιξης οπής που επιθυμείται, δηλαδή αν το τελικό κατώτατο σημείο που θα φτάσει το τρυπάνι συμπίπτει με την μύτη του τρυπανιού ή με το τελευταίο σημείο του κορμού του αλλά και το πόσο θα κατέβει σε σχέση με το συγκεκριμένο σημείο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται το κατώτερο σημείο της οπής να συμπίπτει με το κατώτερο σημείο του κορμού του τρυπανιού (Full diameter).



Εικόνα 86. Επίπεδα κατεργασίας διάνοιξης οπής

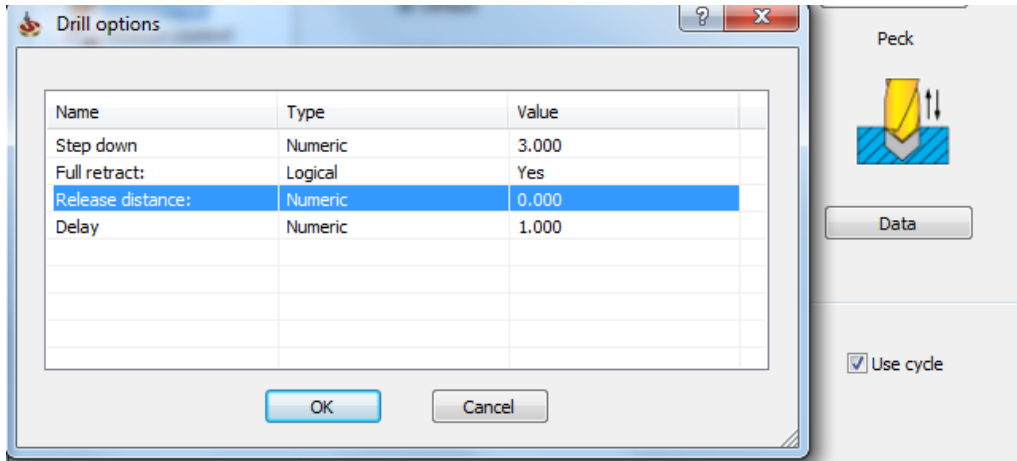
Technology

Στη συγκεκριμένη καρτέλα διαμορφώνεται ο τρόπος με τον οποίο θα εισχωρήσει το τρυπάνι στο τεμάχιο. Μπορεί πχ να κάνει μία απευθείας διάνοιξη χωρίς να σταματάει καθόλου όπως επίσης να κατεβαίνει σε βάθος λίγων χιλιοστών και μετά να επαναφέρεται στο αρχικό σημείο διευκολύνοντας τα γρέζια να αποβάλλονται ευκολότερα. Εδώ επιλέγεται ο δεύτερος τρόπος καθώς είναι ασφαλέστερος. Αυτό επιτυγχάνεται πηγαίνοντας στην καρτέλα Drill cycle type και επιλέγοντας Peck (βλ. Εικόνα 87).



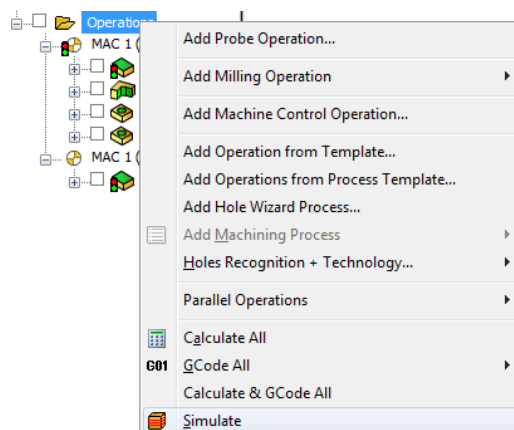
Εικόνα 87. Επιλογή τύπου κύκλου διάνοιξης οπής

Έχοντας διαλέξει τον συγκεκριμένο τύπο διάνοιξης οπής, πατώντας στο Dataμπορεί να επιλεγεί το βάθος που θα κατεβαίνει το τρυπάνι κάθε φορά (εδώ: 3mm), αν έχει πλήρη επαναφορά και τον χρόνο καθυστέρησης πριν την επαναφορά (εδώ: 1sec) (βλ. Εικόνα 88).



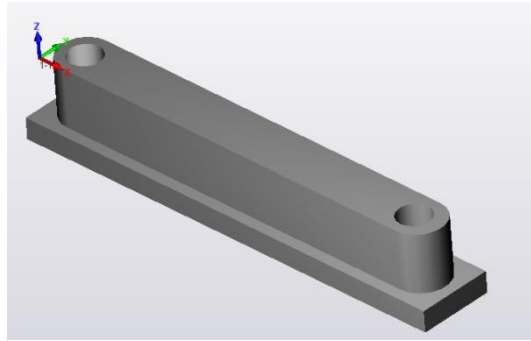
Εικόνα 88. Διαμορφώνοντας τον κύκλο κατεργασίας

Οι υπόλοιπες δύο καρτέλες (Motion Control και Misc. Parameters) δεν αλλοιώνονται. Έχοντας διαμορφώσει τις παραπάνω κατεργασίες, γίνεται δεξί κλικ στο Operations και επιλέγεται Simulation (βλ. Εικόνα 89) για να παρουσιαστεί βάσει προσομοίωσης το πώς θα έχει διαμορφωθεί το τεμάχιο.



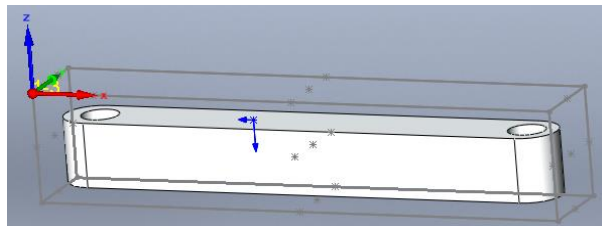
Εικόνα 89. Επιλογή προσομοίωσης (Simulation) της όλης κατεργασίας

Παρατηρώντας την Εικόνα 90 διαπιστώνεται ότι το τεμάχιο που επιθυμείται να κατεργαστεί βρίσκεται στο τελικό στάδιο, λίγο πριν ολοκληρωθεί. Η μοναδική εκκρεμότητα είναι τα 5 mm που δόθηκαν περιθώριο στο κάτω επίπεδο του με σκοπό να συγκρατηθεί αποτελεσματικά από την μέγγενη.



Εικόνα 90. Το τεμάχιο μετά τις αρχικές κατεργασίες

Για να επιτευχθεί αυτό αρχικά θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα καινούργιο σύστημα συντεταγμένων(βλ. Εικόνα 91) (η διαδικασία έχει περιγραφεί παραπάνω) μέσω του οποίου θα οριστεί η τελευταία κατεργασία ‘προσώπου’ (face milling). Ως αρχή του νέου συστήματος συντεταγμένων θα οριστεί η πάνω αριστερή γωνία του αρχικού Stock έχοντας πρώτα αναστρέψει το τεμάχιο έτσι ώστε η ακατέργαστη επιφάνεια να βρίσκεται στην κορυφή.



Εικόνα 91. Δημιουργία νέου συστήματος συντεταγμένων

Ακολουθώντας τα βήματα με τα οποία διαμορφώθηκε η προηγούμενη κατεργασία ‘προσώπου’ δημιουργείται και η συγκεκριμένη. Έπειτα κάνοντας ακόμα μία προσομοίωση (simulation) μπορεί να παρουσιαστεί το αποτέλεσμα το οποίο και συμπίπτει με το τελικό τεμάχιο (βλ. Εικόνα 92).

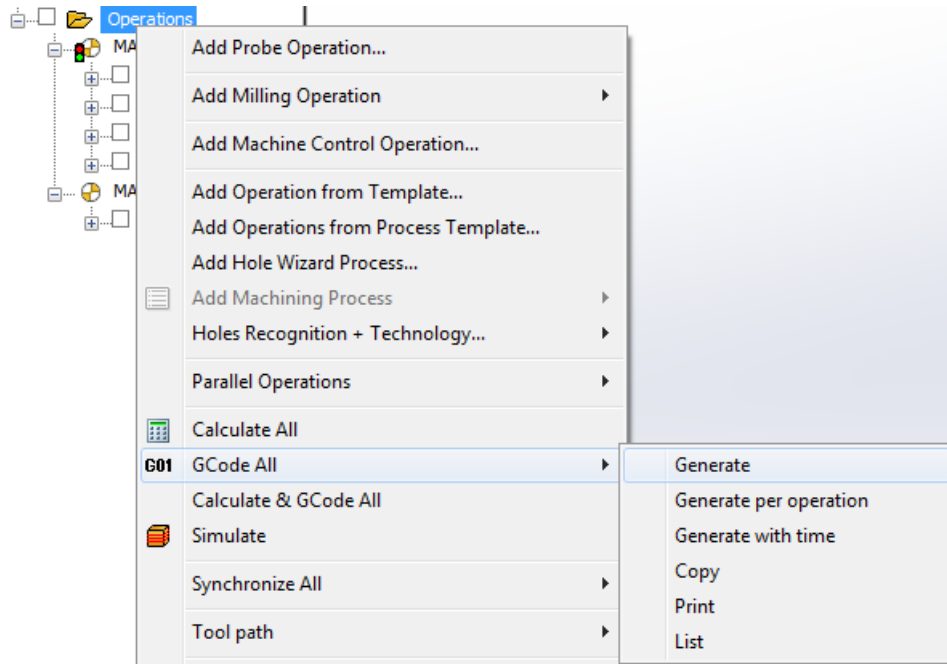


Εικόνα 92. Το τεμάχιο μετά και την τελευταία κατεργασία

6.2.4 G_Code

Η εξαγωγή του G κώδικα είναι το σημαντικότερο στοιχείο το οποίο μπορεί να συνδέσει την προσομοίωση (Simulation) με την πραγματική κατεργασία του τεμαχίου στο εκάστοτε κέντρο κατεργασιών. Για την εξαγωγή του G κώδικα πηγαίνοντας στο Operation επιλέγεται G Code All και τέλος Generate (βλ. Εικόνα 93).

Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα



Εικόνα 93. Εξαγωγή Gcode

Ο κώδικας εμφανίζεται σε μορφή αρχείου κειμένου. Μπορεί να αποθηκευτεί σε οποιοδήποτε USB Flash Player για να το μεταφερθεί στο εκάστοτε κέντρο κατεργασιών που χρησιμοποιείται.

7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΠΑΓΗΣ

7.1 Φρέζα CNC

Η φρέζα που χρησιμοποιήθηκε για τις κατεργασίες είναι το μοντέλο TM1 της Haas(βλ. Εικόνα 87). Διαθέτει τραπέζι διαστάσεων 1213 x 267 mm (βλ. Εικόνα 94), περιθώριο κίνησης 762 mm κατά τον άξονα X, 305 mm κατά τον άξονα Y και 406 mm κατά τον άξονα Z. Επίσης διαθέτει τρεις εγκοπές για διαφυγή των αποβλήτων και του ψυκτικού υγρού που εκχειλίζεται κατά της διάρκεια της κατεργασίας και το μέγιστο βάρος τεμαχίου που μπορεί να κατεργαστεί ανέρχεται στα 454 kg. Ο κινητήρας ατράκτου έχει ισχύ 5,6 kW και μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 4000 rpm. Οι μέγιστες ταχύτητες πρόωσης είναι 5,1 m/min και για τους τρεις άξονες (X, Y, Z) και η πίεση που δέχεται για την συγκράτηση των κοπτικών εργαλείων είναι 6,9 bar.



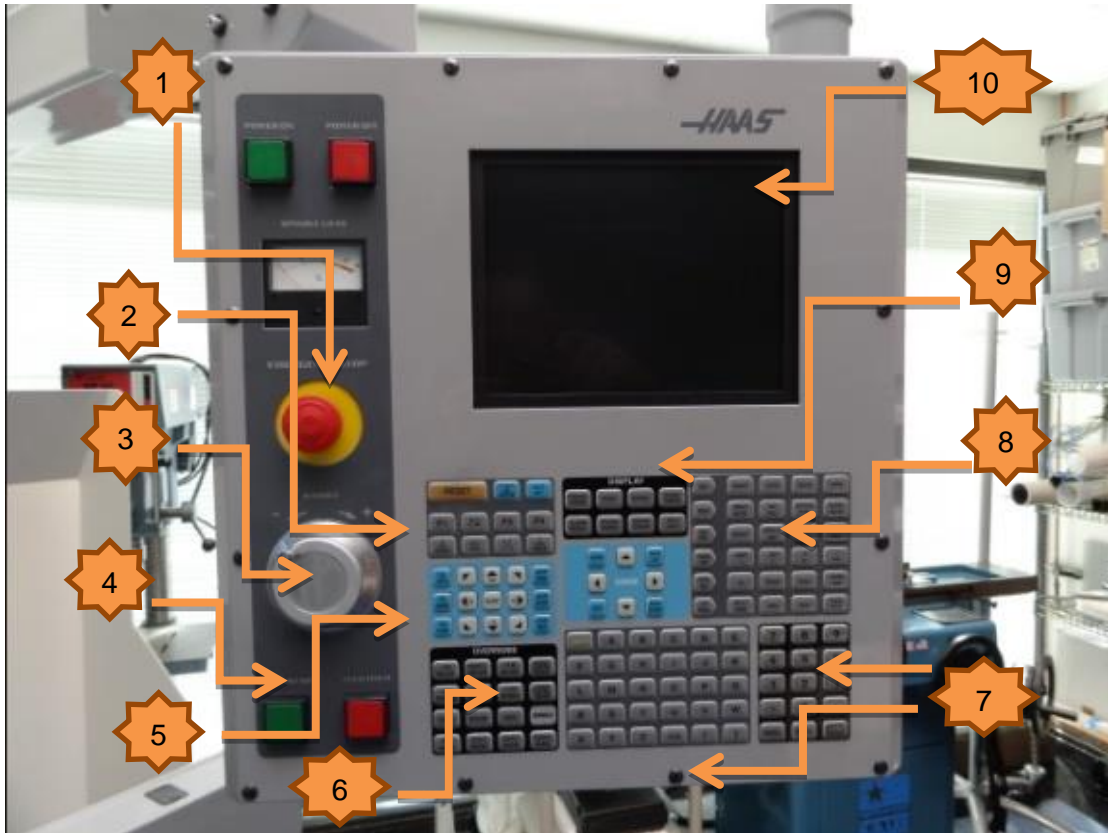
Εικόνα 94. Φρέζα Haas TM1



Εικόνα 95. Τραπέζι φρέζας

7.1.1 Μονάδα ελέγχου

Μέσω του control panel, βλ. Εικόνα 96, εκτελούνται λειτουργίες ως εξής:



Εικόνα 96. Πίνακας ελέγχου της εργαλειομηχανής

1. «Μανιτάρι» κινδύνου. Επιλέγεται όταν ο χρήστης διατρέχει κίνδυνο τραυματισμού ή όταν η μηχανή παρουσιάσει οξεία δυσλειτουργία.
2. Κουμπιά αποθήκευσης ενεργού σημείου της μηχανής και μηδενισμού του καθώς και μέτρησης ύψους του εργαλείου.
3. «Ρολόι» κίνησης της ατράκτου καθώς και του τραπεζιού κατά άξονες X,Y,Z.
4. Κουμπιά εκκίνησης και παύσης του κύκλου κατεργασίας.
5. Επιλογή συγκεκριμένου άξονα X, Y και Z.
6. Κουμπιά αύξησης – μείωσης ταχυτήτων περιστροφής και πρόωσης καθώς και ταχείας κίνησης του Gκώδικα.
7. Γράμματα αγγλικής αλφαβήτου καθώς και αριθμοί 0-9 για την απευθείας καταγραφή εντολών και καταχώρηση εντολών.
8. Κουμπιά επιλογής συγκεκριμένου τρόπου κίνησης μηχανής (πχ Hand Jog), ανοίγματος και επεξεργασίας προγράμματος από εξωτερικό flash player κ.α.
9. Επιλογή μενού εργαλείων και χαρακτηριστικών τους.
10. Οθόνη

7.2 Κατεργασία των τεμαχίων

Για να γίνει κατεργασία κάποιου τεμαχίου με βάση αντίστοιχο G κώδικα θα πρέπει αρχικά να έχουν εκτελεσθεί πολύ σημαντικά στάδια: κοπή του στοκ που επιθυμείται να δημιουργηθεί, συγκράτηση του νέου στοκ στην μέγγενη, κατεργασία του συγκεκριμένου κομματιού με «φρεζάρισμα» (κώδικας στο «χέρι») φέρνοντάς το στις ακριβείς διαστάσεις του Stock που έχουν δημιουργηθεί στο SolidCAM, συγκράτηση του Stock στην μέγγενη με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διευκολύνει στον μηδενισμό του τεμαχίου στο ακριβές σημείο αρχής συντεταγμένων προγράμματος X,Y,Z που έχει οριστεί και στο Gcode.

7.2.2 Κοπή στοκ αλουμινίου

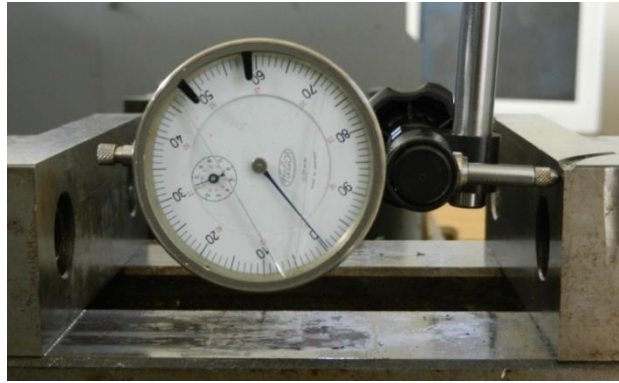
Η κοπή γίνεται στην πριονοκορδέλα δίνοντάς του περιθώριο + 2 mm ,σε όλες τι επιφάνειές του, περίπου από το στοκ που τελικά θα δημιουργηθεί (βλ. Εικόνα 97).



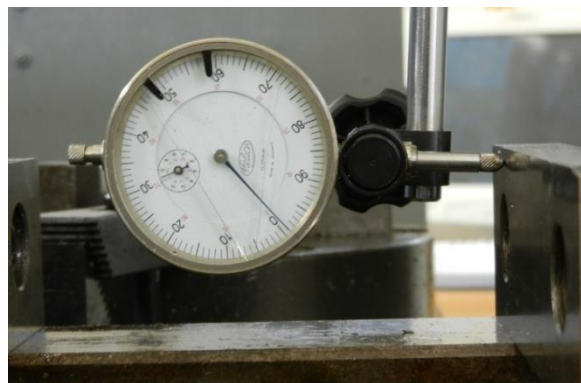
Εικόνα 97. Εργαλειομηχανή πριονοκορδέλας

7.2.3 Συγκράτηση αρχικού στοκ στην μέγγενη

Αρχικά σε αυτό το στάδιο πρέπει να τονιστεί ότι για την σωστή χρήση και κατεργασία των τεμαχίων, η μέγγενη θα πρέπει να είναι σωστά τοποθετημένη στο τραπέζι. Αυτό προϋποθέτει τον παραλληλισμό της μέγγενης με το τραπέζι της φρέζας αλλά και με την κύρια άτρακτό της. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι να καθαριστεί το τραπέζι πολύ καλά αποφεύγοντας τυχόν γρέζια και ακαθαρσίες. Έπειτα έχοντας τοποθετήσει την μέγγενη, στηρίζεται και το μαγνητικό ρολόι στην κύρια άτρακτο της μηχανής (άξονας Z). Χρησιμοποιώντας το Control Panel κινείται το τραπέζι και η κύρια άτρακτος έτσι ώστε η βελόνα του μαγνητικού ρολογιού να ακουμπήσει το σταθερό «μάγουλο» της μέγγενης. Όταν ο δείκτης της βελόνας «δείχνει» την τιμή 0, τότε κινείται το τραπέζι της φρέζας κατά τον άξονα X. Αν ο δείκτης του ρολογιού δεν κινηθεί περισσότερο από +- 10 εκατοστά του χιλιοστού τότε σημαίνει ότι η μέγγενη είναι πλήρως παράλληλη με την κύρια άτρακτο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα παρουσιάζεται στις Εικόνες 98 και 99. Το επόμενο βήμα που θα γίνει είναι να τοποθετηθεί σωστά το τεμάχιο στην μέγγενη. Στην σωστή τοποθέτηση του τεμαχίου, σημαντικό ρόλο παίζουν τα «παράλληλα». Με τον όρο παράλληλα εννοούνται ρεκτιφιαρισμένες πλάκες από χάλυβα, βλ. εικόνα 93, οι οποίες τοποθετούνται στην κάτω πλευρά της μέγγενης ακριβώς κάτω από το τεμάχιο για να εδραστεί αυτό παράλληλα με την μέγγενη, βλ. Εικόνα 98.



Εικόνα 98. Μετρητικό ρολόι παραλληλότητας (αρχική θέση)



Εικόνα 99. Μετρητικό ρολόι παραλληλότητας (τελική θέση)



Εικόνα 100. Παράλληλα



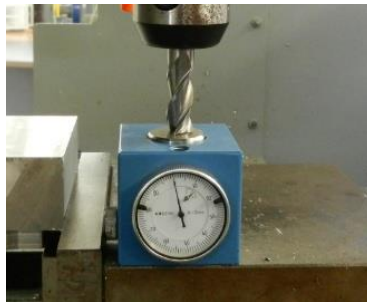
Εικόνα 101. Τεμάχιο συγκρατημένο στη μέγγενη

7.2.4 Δημιουργία τελικού στοκ

Έχοντας τοποθετήσει το κομμάτι στην μέγγενη, θα πρέπει να δημιουργηθεί νέο στοκ με διαστάσεις ακριβώς ίδιες με αυτές που ορίστηκαν στο λογισμικό CAM. Αυτό θα επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την «φρεζοκεφαλή» που αναφέρθηκε και πιο πάνω, διαστάσεων 80 mm με 6 κοπτικές ακμές. Αυτό που θα γίνει είναι να «πλανάρουμε» τις επιφάνειες του τεμαχίου χρησιμοποιώντας έναν απλό Gκώδικα. Ο συγκεκριμένος κώδικας γράφεται απευθείας στο Control της φρέζας καθώς είναι πολύ απλός.

7.2.5 Τελική κατεργασία

Ακολουθεί το σημαντικό βήμα της μέτρησης των εργαλείων και του μηδενισμού της ατράκτου στο σύστημα συντεταγμένων που έχουν οριστεί ως αρχή συντεταγμένων προγράμματος στο στοκ. Αρχικά μετράται μόνο το ύψος των εργαλείων, καθώς η διάμετρος έχει οριστεί στο λογισμικό CAM, το οποίο δημιουργεί αυτόματα αντιστάθμιση στον Gκώδικα. Για να γίνει αυτό, αρχικά τοποθετείται το μετρητικό ρολόι πάνω σε μία σταθερή επιφάνεια πχ της μέγγενης. Έπειτα τοποθετείται το κάθε εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί για την συγκεκριμένη κατεργασία στην κύρια άτρακτο και κινώντας το έρχεται σε επαφή με την πάνω επιφάνεια του ρολογιού. Τότε, πατώντας από το Control Panel της μηχανής το κουμπί «Tool measurement» μετράται το ύψος του εργαλείου αυτόματα αφαιρώντας 50 mm του ύψους του ρολογιού, βλ. Εικόνα 102.



Εικόνα 102. Μετρητικό ρολόι ύψους των εργαλείων

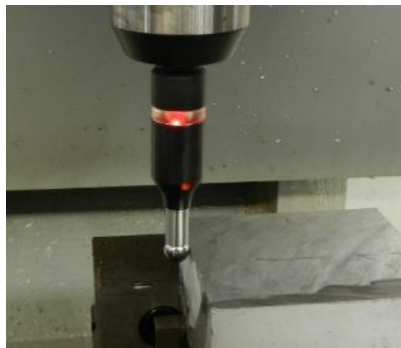
Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων του προγράμματος (τεμαχίου) που έχει οριστεί στο CAM ορίζεται με την βοήθεια εργαλείου Μέτρησης (Probe), βλ. Εικόνα 96. Σε αυτό ανάβει το φωτάκι που διαθέτει όταν η επιφάνεια της σφαίρας που έχει, ακουμπήσει την εκάστοτε επιφάνεια του τεμαχίου, βλ. Εικόνα 103. Η συντεταγμένη για τον αντίστοιχο άξονα προκύπτει με πρόσθεση στην μετρούμενη τιμή της ακτίνα της σφαίρας του Probe.

7.2.6 Κατεργασία

Το τελικό στάδιο για να δημιουργηθεί το τεμάχιο είναι η κατεργασία. Αυτό είναι και το πιο εύκολο στάδιο. Τοποθετείται το Flash Player στο Control της μηχανής και «φορτώνεται» ο G code σε .txt αρχείο. Η μηχανή θα εκτελέσει τον κώδικα εντολή προς εντολή. Το μόνο που έχει να κάνει ο χρήστης είναι η αλλαγή των εργαλείων.



Εικόνα 103. Εργαλείο ένδειξης επαφής με το τεμάχιο



Εικόνα 104. Φωτεινή ένδειξη του εργαλείου όταν υπάρχει επαφή με το τεμάχιο

7.3 Συναρμολόγηση της αρπάγης

7.3.1 Ποιοτικός έλεγχος εξαρτημάτων

Πριν το στάδιο της συναρμολόγησης της αρπάγης θα πρέπει να γίνει ο ποιοτικός έλεγχος του κάθε εξαρτήματος ξεχωριστά. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση παχύμετρου, βλ. Εικόνα 105. Για ομαλή συναρμολόγηση η γενική ανοχή ανέρχεται στα $\pm 20\mu\text{m}$.

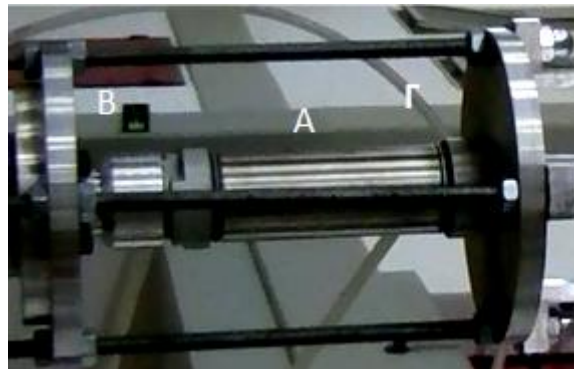


Εικόνα 105. Ηλεκτρονικό παχύμετρο

7.3.2 Συναρμολόγηση αρπάγης

Έχοντας ελέγξει όλα τα εξαρτήματα τα οποία θα αποτελέσουν μέρος της αρπάγης, ακολουθεί η συναρμολόγησή τους. Για τη συναρμολόγηση χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία που διέθετε το εργαστήριο όπως : πένσα, μυτοσίμπιδο, γαλλικά κλειδιά, κλειδιά άλεν, τσιμπίδα για την τοποθέτηση ασφαλειών στους πείρους, ίσιο κατσαβίδι, κατσαβίδι σταυρός, βενζινόκολλα, γράσο και τεφλόν. Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν βίδες, παξιμάδια και ντίζες όπου απαιτείτο.

Αρχικά συναρμολογήθηκε ο πνευματικός κύλινδρος A που αγοράστηκε, με τα δύο εξαρτήματα, φλάντζες B και Γ, βάσει σπειρωμάτων που διαθέτουν αρσενικό ο πνευματικός κύλινδρος και θηλυκά οι δύο φλάντζες (βλ Εικόνα 106).



Εικόνα 106. Συναρμολόγηση πνευματικού κυλίνδρου με τις δύο φλάντζες

Έπειτα συναρμολογήθηκε το τελευταίο κομμάτι του κάθε δαχτύλου το οποίο περιλαμβάνει μεταλλική βάση A, στην οποία βρίσκονται δύο σφαιρικοί σύνδεσμοι B, πάνω στους οποίους τοποθετήθηκαν οι πλάκες Γ. Για την καλύτερη επαφή του τεμαχίου με την αρπάγη, πάνω στην κάθε πλάκα κολλήθηκαν κομμάτια ειδικού λάστιχου με την βοήθεια βενζινόκολλας, ενώ στο εσωτερικό του κάθε σφαιρικού συνδέσμου τοποθετήθηκε ειδικό γράσο. Τέλος, σε κάθε πλάκα Γ τοποθετήθηκαν ελατήρια τα οποία την συνδέουν με μέρος του σφαιρικού συνδέσμου για την άμεση επαναφορά της στην αρχική θέση της (βλ Εικόνα 107).

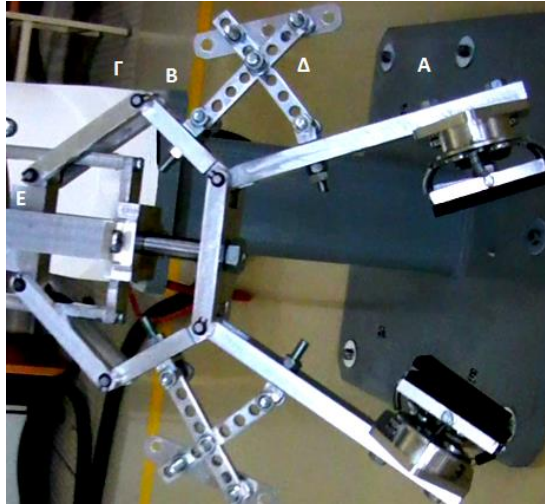


Εικόνα 107. Συναρμολόγηση σφαιρικών συνδέσμων και πλακών

Ακολούθησε η συναρμολόγηση του προηγούμενου κομματιού με τα εξαρτήματα της αρπάγης A, B, Γ με την βοήθεια κατάλληλων πείρων. Τα κομμάτια

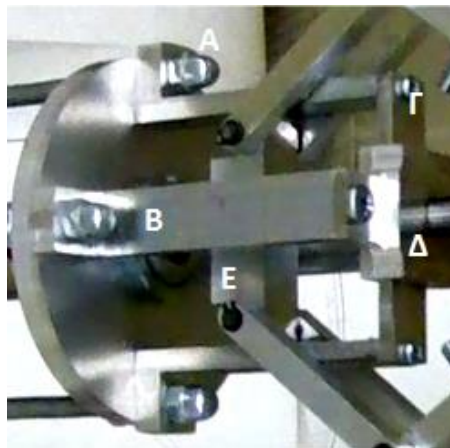
Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα

αυτά τα οποία αποτελούν και το κύριο μέρος των δαχτύλων της αρπάγης ενώθηκαν με τις λάμες ρύθμισης γωνίας Δ καθώς και με τον συνδετήρα E μέσω του οποίου συνδέονται με τον πνευματικό κύλινδρο, βλ. Εικόνα 101.



Εικόνα 108. Συνδεσμολογία δαχτύλων τις αρπάγης

Τέλος συναρμολογήθηκαν τα διπλά κομμάτια A και B μέσω των πλακετών Γ και Δ . Επίσης ο συνδετήρας E , ο οποίος διαθέτει θηλυκό σπείρωμα, συνδέθηκε με το έμβολο του πνευματικού κυλίνδρου, το οποίο διαθέτει αντίστοιχο αρσενικό σπείρωμα, βλ. Εικόνα 109.



Εικόνα 109. Σύνδεση κομματιών και συνδετήρα του πνευματικού κυλίνδρου

Ακολουθώντας τα προηγούμενα βήματα και τοποθετώντας ειδικό γράσο όπου ήταν απαραίτητο, κυρίως κατά την τοποθέτηση των πείρων, αλλά και σε σημεία επαφής επιφανειών των εξαρτημάτων για καλύτερη κίνηση του όλου μηχανισμού, συναρμολογήθηκε η αρπάγη η οποία και τοποθετήθηκε στην τελική άρθρωση του ρομπότ με την βοήθεια κοχλιών άλεν, βλ. Εικόνα 110.

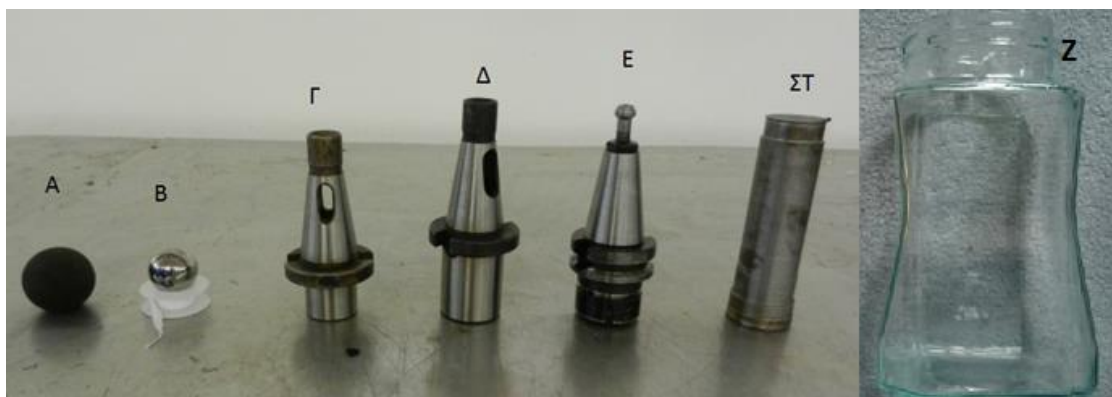


Εικόνα 110. Η αρπάγη με το πέρας της συναρμολόγησης

8 ΔΟΚΙΜΕΣ

Οι δοκιμές περιελάμβαναν συγκράτηση ενός συγκεκριμένου τεμαχίου σε κάποιο καθορισμένο σημείο στο έδαφος, σήκωμα του τεμαχίου στον αέρα και μεταφορά και απόθεση του σε οριζόντια επιφάνεια σε ύψος περίπου 60 cm από το έδαφος. Η πίεση που χρησιμοποιήθηκε για τη λειτουργία της αρπάγης ήταν 4 bar, η ταχύτητα που κινήθηκε το ρομπότ ανέρχεται στα 2,5 m/s και το πρόγραμμα V+ που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στο Παράρτημα. Τα τεμάχια που δοκιμάστηκαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 111 και είναι τα εξής:

- A. Σφαίρα διαμέτρου 50 mm μάζας 73,9 gr
- B. Σφαίρα διαμέτρου 37mm μάζας 210gr
- Γ. Εργαλειοδέτης μάζας 940 gr
- Δ. Εργαλειοδέτης μάζας 1100 gr
- Ε. Εργαλειοδέτης μάζας 1350 gr
- ΣΤ. Κύλινδρος διαμέτρου 30 mm μάζας 1678 gr.
- Z. Γυάλινο δοχείο με καμπύλες Bsplines



Εικόνα 111. Τεμάχια προς δοκιμή

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ο τύπος επιφανειών των τεμαχίων που αποτέλεσαν μέρος των δοκιμών της αρπάγης και το κατά πόσο ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές της συγκεκριμένης αρπάγης. Οι δύο σφαίρες που χρησιμοποιήθηκαν όπως γίνεται αντιληπτό διαθέτουν σφαιρικές επιφάνειες διαφορετικών διαμέτρων (50 και 37 mm αντίστοιχα). Οι δύο αυτές επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις όσον αφορά συγκράτηση σφαιρικών τεμαχίων. Οι τρεις εργαλειοδέτες που χρησιμοποιήθηκαν διαθέτουν κωνικές επιφάνειες για συγκράτηση όπως ορίζουν οι προδιαγραφές της εργασίας. Ο εργαλειοδέτης Γ διαθέτει κωνική επιφάνεια με γωνία κλίσης περίπου στις 16°, Ο εργαλειοδέτης Δ με γωνία κλίσης περίπου 10° και ο εργαλειοδέτης Ε διαθέτει κωνική επιφάνεια προς “συγκράτηση” με γωνία κλίσης περίπου 5° και το γυάλινο δοχείο επιφάνειες που έχουν γενέτετρα πολυωνυμική καμπύλη Bsplines. Τέλος ο κύλινδρος ΣΤ διαθέτει κυλινδρική επιφάνεια

**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

η οποία αποτελεί ένα ακόμα είδος επιφανειών στις οποίες η αρπάγη καλείται να ανταποκριθεί. Οι δοκιμές που επιχειρήθηκαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 112.

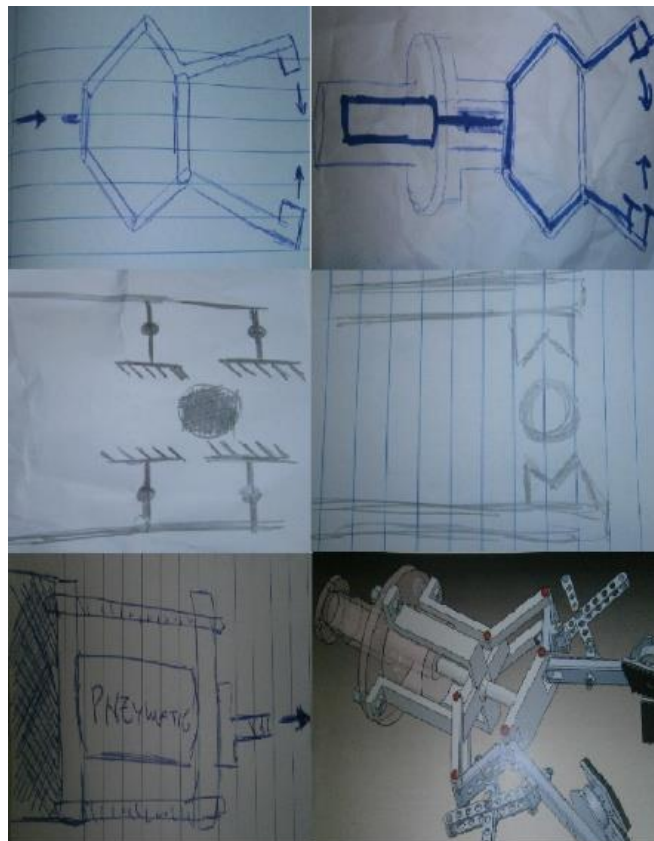


Εικόνα 112. Στιγμιότυπα από τις δοκιμές

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

9.1 Σύνοψη

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, χρειάστηκε ένα πέρασμα από όλα τα στάδια ανάπτυξης ενός πρωτοτύπου προϊόντος. Αρχικά έπρεπε να ακουστεί η «παραγγελία» του πελάτη, η οποία ήταν μία αρπάγη που θα εκτελεί συγκεκριμένη λειτουργία. Ως σχεδιαστές έπρεπε να κατανοήσουμε τι ζητάει ο πελάτης και να αρχίσουμε να αναζητούμε βιβλιογραφία για να κατανοήσουμε απαιτήσεις και περιορισμούς. Ακολούθησε ένα δημιουργικό στάδιο, αυτό της σύλληψης της ιδέας, της δημιουργίας σκαριφημάτων για την μορφοποίηση αρχικών ιδεών. Το στάδιο αυτό ήταν αρκετά επίπονο και χρονοβόρο καθώς ήταν πολλά τα μοντέλα που σχεδιάστηκαν, βλ. Εικόνα 113, μέχρι να καταλήξουμε στο τελικό. Αρχικά το στάδιο της σύλληψης του μοντέλου μας προβλημάτισε καθώς ήταν δύσκολη η κατασκευή αρπάγης με δύο μόνο δάχτυλα η οποία όμως θα μπορεί να πιάνει και σφαιρικά τεμάχια. Επίσης σημαντικό πρόβλημα ήταν και οι περιορισμοί που είχαμε να αντιμετωπίσουμε όσον αφορά το μέγεθος της αρπάγης ώστε και να μπορεί να πιάνει αρκετά βαριά και ογκώδη τεμάχια αλλά και να είναι ελαφριά. Σε κάθε βήμα του σχεδιασμού μετά από συζήτηση και διευκρίνιση των πλεονεκτημάτων αλλά και μειονεκτημάτων του εκάστοτε μοντέλου, προχωρούσαμε στην πραγματοποίηση βελτιώσεων. Τέλος όταν είχαμε καταλήξει στο τελικό concept ξεκίνησε ο 3d σχεδιασμός των εξαρτημάτων στον υπολογιστή.

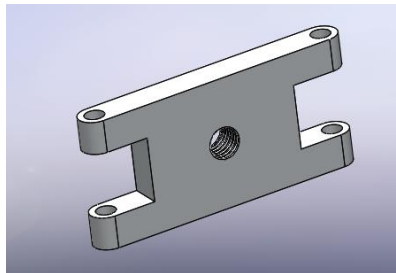


Εικόνα 113. Διάφορα σκαριφήματα ιδεών

Τέλος, ακολούθησε το στάδιο της κατασκευής της αρπάγης. Αρχικά μελετήσαμε και κατανοήσαμε την λειτουργία της εργαλειομηχανής και την όλη φιλοσοφία που ακολουθεί ένας χειριστής φρέζας. Προέκυψαν προβλήματα όπως πχ αρχικά δεν είχαμε μελετήσει και καταγράψει σωστά τα εργαλεία που διαθέτει το εργαστήριο με αποτέλεσμα να αλλάξουμε αρκετά τον τρόπο κατεργασίας σχετικά με αυτόν που ήδη είχαμε επιλέξει. Επίσης κάποια εξαρτήματα ήταν περίπλοκα και έπρεπε να χωρισθούν σε περισσότερα απλούστερα τμήματα που θα συνεργάζονταν. Σημαντική προϋπόθεση για την ανάπτυξη ενός προϊόντος, είναι η σωστή μελέτη και διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων εξ αρχής. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την εύκολη και μη χρονοβόρα συναρμολόγηση.

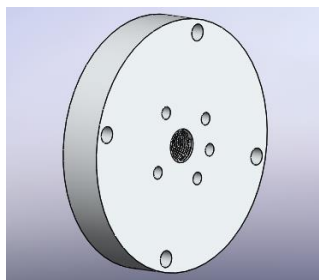
9.2 Μελλοντική εργασία

Προτείνονται οι παρακάτω βελτιώσεις με σκοπό την επέκταση της αποδοτικότητας της αρπάγης. Καταρχήν προτείνεται η αύξηση των διαστάσεων του εξαρτήματος που φαίνεται στην Εικόνα 114, που θα οδηγούσε στην αύξηση της απόστασης των δαχτύλων της αρπάγης ώστε να συγκρατεί μεγαλύτερα σε διάμετρο τεμάχια, πχ 200 mm.



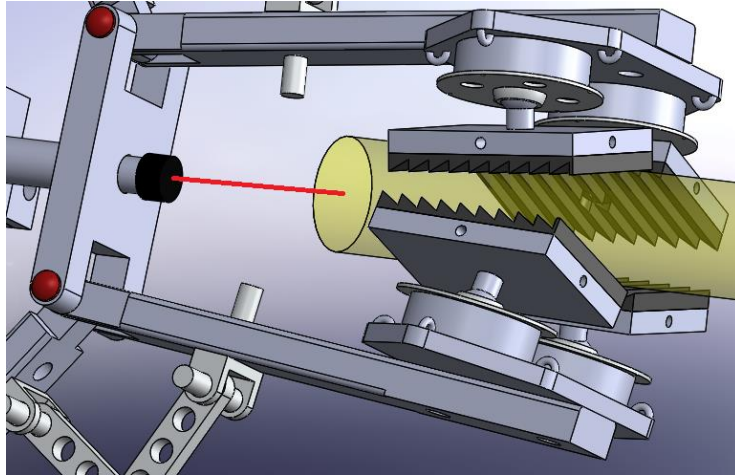
Εικόνα 114 Εξάρτημα προς βελτίωση

Σημαντική βελτίωση επίσης θα αποτελούσε αν κόβονταν τα δάχτυλα της αρπάγης σε περισσότερα τμήματα έτσι ώστε οι μεταλλικές πλάκες να αντικατασταθούν από μαλακό πλαστικό. Η συγκεκριμένη αλλαγή θα βοηθούσε την αρπάγη να χειρίζεται τεμάχια από ευαίσθητο υλικό όπως φελιζόλ χωρίς να τα «τραυματίζει» ή παραμορφώνει. Επιπλέον προτείνεται η αντικατάσταση του μηχανισμού ρύθμισης γωνίας της αρπάγης με άλλον ευέλικτο πχ σερβοκινητήρα που θα ρυθμίζει αυτόματα την γωνία. Ακόμα θα μπορούσε να γίνει αντικατάσταση του εξαρτήματος της Εικόνας 108 με ένα πιο περίπλοκο με στόχο την ευκολότερη τοποθέτηση της αρπάγης στο ρομπότ αντί της κοχλίωσης.



Εικόνα 108. Εξάρτημα προς αντικατάσταση

Τέλος προτείνεται τρόπος κεντραρίσματος της αρπάγης με το εκάστοτε τεμάχιο καθώς παρατηρήθηκε δυσκολία στον συγκεκριμένο τομέα. Θα μπορούσε να τοποθετηθεί αισθητήρας λέιζερ, στο κέντρο του εξαρτήματος, βλ. Εικόνα 109, με σκοπό να φωτίζει το κέντρο του εκάστοτε τεμαχίου ώστε κατά τον προγραμματισμό του ρομπότ να διευκολύνεται η επιλογή της σωστής θέσης της αρπάγης ως προς το τεμάχιο που πρόκειται να συγκρατήσει.



Εικόνα 109. Laser κεντραρίσματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Chiara Lanni, Marco Ceccarelli, “An optimum Design Algorithm for Mechanisms in Two-Finger Grippers”, Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on SYSTEMS, 2009, pp. 63-70.
- [2] Chiara Lanni, Marco Ceccarelli, “An Optimization Problem Algorithm for Kinematic Design of Mechanisms for Two-Finger Grippers”, The Open Mechanical Engineering Journal, 2009,3, pp. 49-62.
- [3] G. Fantoni, D. Gbelloni, J. Tilli, “How to design grippers by analogy”, Department of Mechanical, Nuclear and Production, University of Pisa, 2012.
- [4] Puran Singh, Anil Kumar, Mahesh Vashisth, “Design of a Robotic Arm with Gripper and End Effector for Spot Welding”, Universal Journal of Mechanical Engineering, 2013, pp. 92-97.
- [5] Yumming Li, M. Y. Zarrugh, Kinematics and Force Control of Robot Grippers, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, 1983, pp. 1-20.
- [6] Alvaro Meneses Martinez, “Mechanical design of a robot’s Gripper”, Degree of Industrial Technologies, Final Individual Project, 2015, pp. 1-45.
- [7] Ardhendu Prasad Nanda, “Design and Development of a Two-jaw parallel Pneumatic Gripper for Robotic Manipulation”, National Institute of Technology Rourkela, Project for Bachelor of Technology (Mechanical Engineering), 2009-2010, pp. 1-42.
- [8] Ashish Singh, Deep Singh, S. k. Dwivedy, “Design And Fabrication Of A Gripper For Grasping Irregular Objects”, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology.
- [9] Nestor Eduardo Nava Rodriguez, Chiara Lanni, Marco Ceccarelli, “Design, Simulation and Validation of a new Two-Fingered Gripper With Pneumatic Actuation”, Robotica and Management, 11-1/2006, pp.9-14.
- [10] Martin Riedel, MarweneNefzi, Mathias Husing, Burkhard Corves, “An adjustable gripper as a reconfigurable robot with a parallel structure”, Proceedings of the Second International Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators, September 21-22, 2008, Montpellier, France.
- [11] DoinaTarliman (NEGREA), Tudor Deaconescu, “Study on the Pneumatic Actuation of Gripping Systems”, Advances in Production, Automation and Transportation Systems, pp. 66-70
- [12] VinyakD. Latake, Dr. V.M.Phalle, “A survey paper on factors affecting on selection of mechanical gripper”, Department of Mechanical Engineering, IJEDR, Volume 2, Issue 1, 2014, pp. 47-51
- [13] D.T. Pham, S.H> Yeo, “A knowledge-based System for Robot Gripper Selection : Criteria for Choosing Grippers and Surfaces for Gripping”, Int. J. Mach. ToolsManufact. Volume 28, 1988, No 4, pp. 301-313.
- [14] Shilpabhambure, K. Jayarajan, V.S. Narwane, “Kinematic and Finite Analysis of a Master Slave Manipulator Gripper”, International Journal of Recent Development in Engineering and technology, Volume 2, Issue 2, February 2014, pp.168-173
- [15] Karokh Mohammed, “Design of a gripper tool for robotic picking and placing”, Uppsala Universitet, November 2010, pp. 1-31.

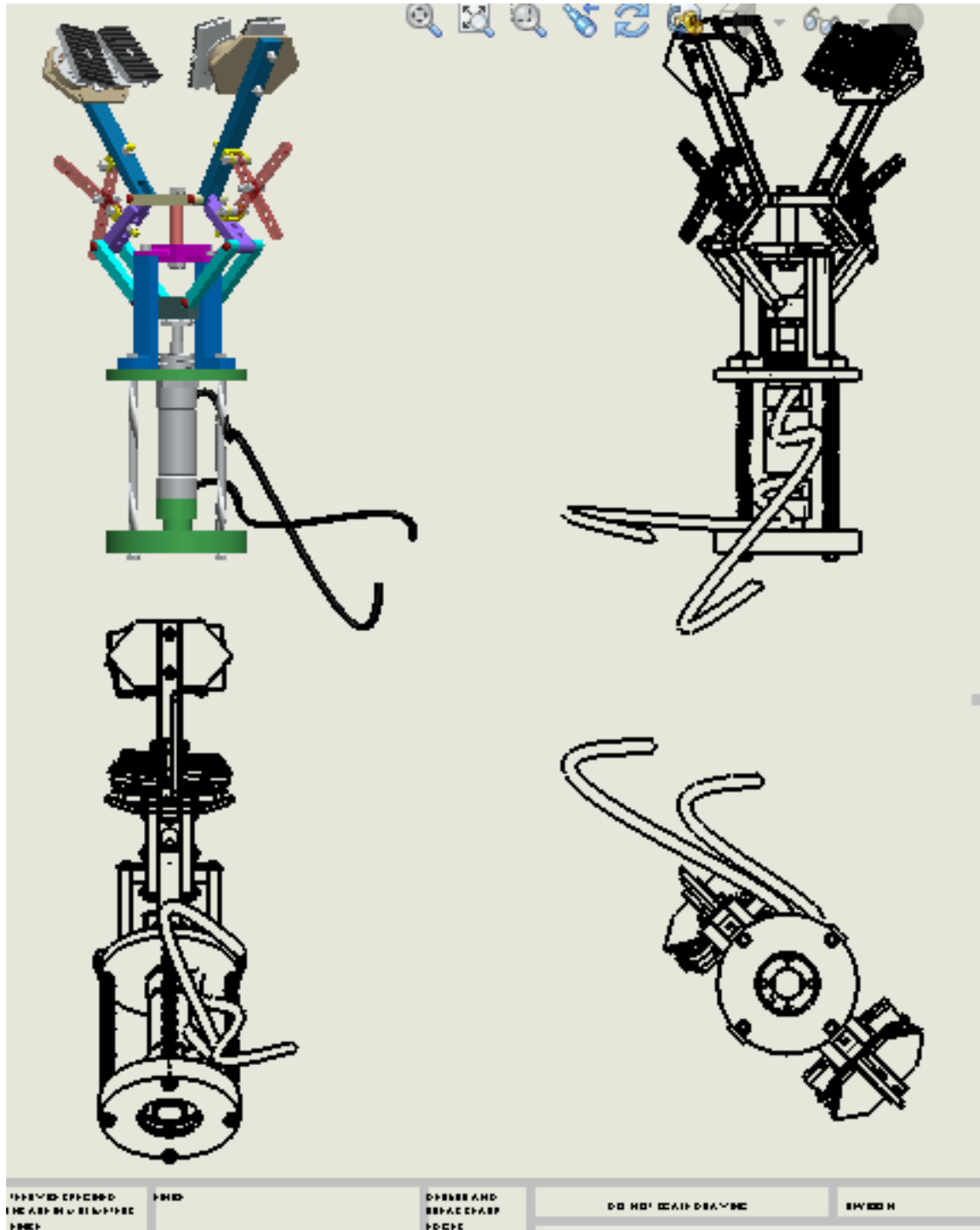
- [16] RituparnaDatta, Kalyanmoy Deb, “Multi-Objective Design and Analysis of Robot Gripper Configurations Using an Evolutionary-Classical Approach”, [GECCO 2011](#) Proceedings of the 13th annual conference on Genetic and evolutionary computation, pp. 1843-1850.
- [17] Dr. Bob Williams, “An Atlas of Structures, Mechanisms, and Robots”, Mechanical Engineering, Ohio University, 2015.
- [18] Μπιλάλης Ν., Μαραβελάκης Ε., “Συστήματα CAD/CAM και Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση”, Εκδόσεις Κριτική, 2009.
- [19] Βοσνιάκος Γεώργιος Χ., “CAM και εφαρμογές”, ΕΜΠ, 2010.
- [20] Βοσνιάκος Γεώργιος Χ. , “Εισαγωγή στη μηχανουργική τεχνολογία”, ΕΜΠ, 2013.
- [21] [RitzJohnM.](#), [HadleyW.Fred](#), [BonebrakeJoseph](#),”Τεχνολογία των κατεργασιών”, 2000.
- [22] JosefDillinger, Hans - DieterDobler, WernerDoll, WernerGunter, MaxHeinzler, EckhardIgnatowitz, StefanOesterle, LudwigReibler, AndreasStephan, ReinhardVetter, “Κατεργασίες μετάλλων”, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, 2010.
- [23] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, “Μηχανουργική τεχνολογία”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2011.
- [24] Schmid D., Kaufman H., Pflug A., Zippel B, “Ευέλικτες Κατεργασίες &Μηχανοτρονική”, Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ , 2016
- [25] Α. Κανάρχος, Ι. Αντωνιάδης, “Δυναμική Μηχανών”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1998.
- [26] Α Κανάρχος, “Πεπερασμένα Στοιχεία και Ανάλυση Κατασκευών στην Μηχανολογία”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1995

Διαδικτυακές πηγές :

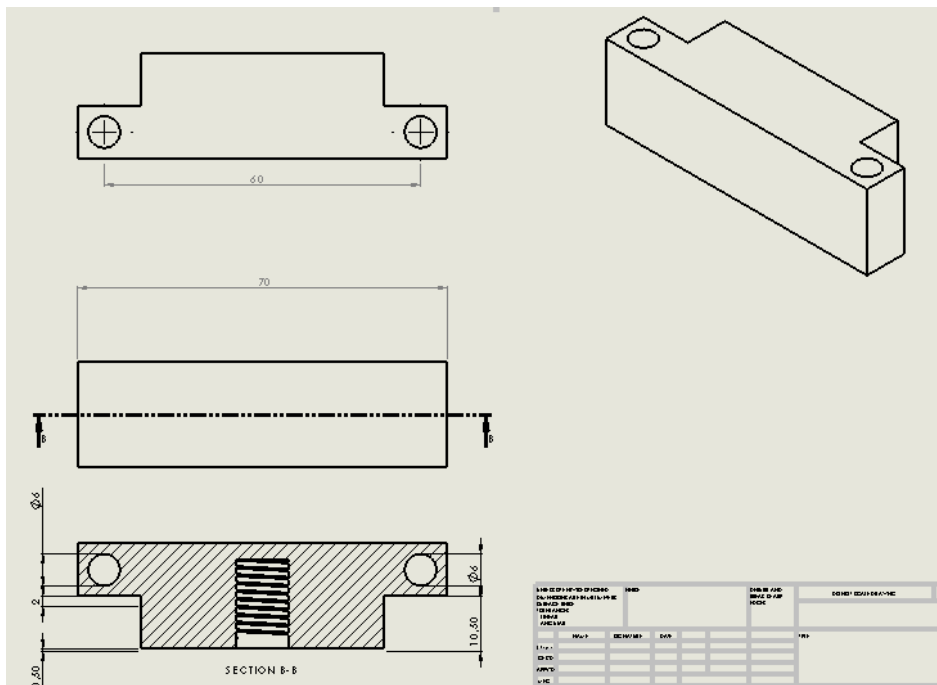
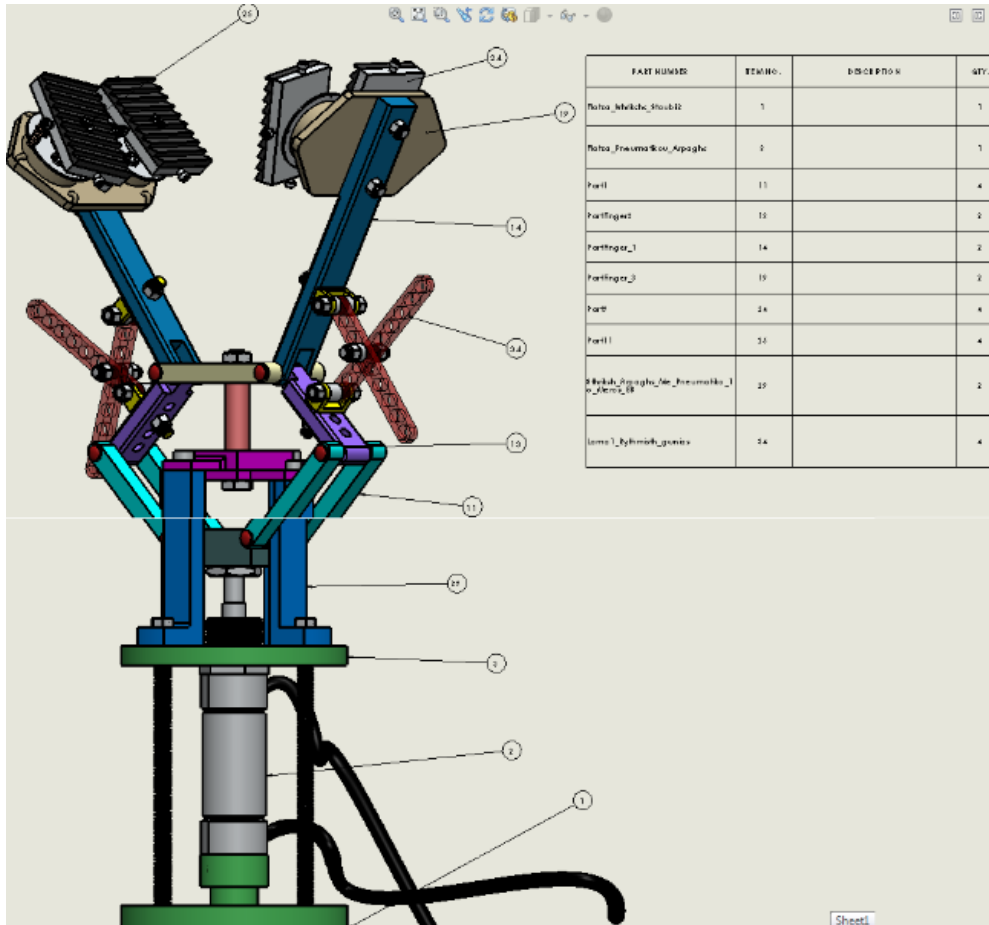
- [27] www.youtube.com / solidworks tutorials
- [28] www.youtube.com / solidCAM tutorials
- [29] www.youtube.com / solidworks simulation
- [30] www.secotools.com
- [31] www.festo.com
- [32] <http://www.mitsis.com.gr>
- [33] <http://int.haascnc.com/>
- [34] <http://www.clarkson-osborn.com>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

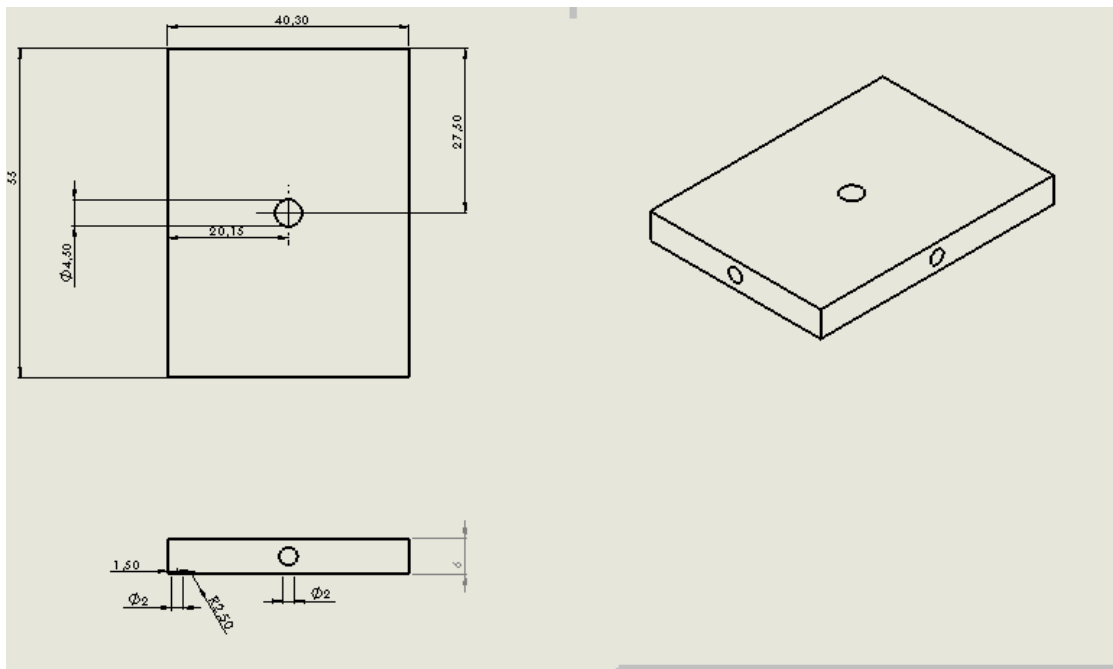
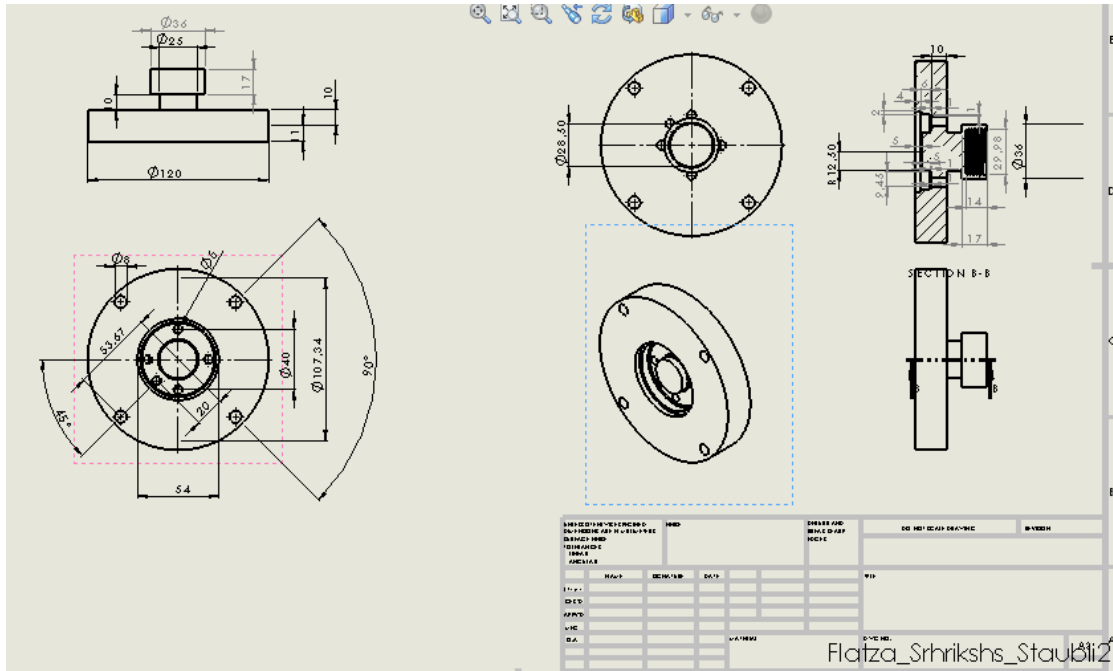
A. Ενδεικτικά μηχανολογικά σχέδια των εξαρτημάτων της αρπάγης



Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα



Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα



B. G_Code για την δημιουργία ενός απλού εξαρτήματος

%	N1082 Y27.667	N1138 Y27.667
O1000 (PART1_MILLING)	N1084 Z-0.5	N1140 Z-2.5
N100 (COMPENSATION-WEAR)	N1086 G01 Z-1.5 F795.773	N1142 G01 Z-3.5 F795.773
N102 (REV-0.70)	N1088 X127.743 F954.929	N1144 X127.743 F954.929
N104 (APR-10-2016-4:04:28PM)	N1090 Y-15.667	N1146 Y-15.667
N106 (TOOL 1 - DIA 80.)	N1092 X-84.639	N1148 X-84.639
N108 (TOOL 2 - DIA 6.)	N1094 G00 Z25.	N1150 G00 Z25.
N110 (TOOL 3 - DIA 16.)	N1096 Y27.667	N1152 Y27.667
N4 G90 G17 G40 G80 G00	N1098 Z-1.	N1154 Z-3.
N1046 M06 T1 ()	N1100 G01 Z-2. F795.773	N1156 G01 Z-4. F795.773
N1048 (FM-facemill5)	N1102 X127.743 F954.929	N1158 X127.743 F954.929
N1050 G00 G57 G90 X-84.639 Y27.667 S3979 M03	N1104 Y-15.667	N1160 Y-15.667
N1052 G43 H1 Z70.	N1106 X-84.639	N1162 X-84.639
N1054 Z50.	N1108 G00 Z25.	N1164 G00 Z25.
N1056 Z0.5	N1110 Y27.667	N1166 Y27.667
N1058 G01 Z-0.5 F795.773	N1112 Z-1.5	N1168 Z-3.5
N1060 X127.743 F954.929	N1114 G01 Z-2.5 F795.773	N1170 G01 Z-4.5 F795.773
N1062 Y-15.667	N1116 X127.743 F954.929	N1172 X127.743 F954.929
N1064 X-84.639	N1118 Y-15.667	N1174 Y-15.667
N1066 G00 Z25.	N1120 X-84.639	N1176 X-84.639
N1068 Y27.667	N1122 G00 Z25.	N1178 G00 Z25.
N1070 Z0.	N1124 Y27.667	N1180 Y27.667
N1072 G01 Z-1. F795.773	N1126 Z-2.	N1182 Z-4.
N1074 X127.743 F954.929	N1128 G01 Z-3. F795.773	N1184 G01 Z-5. F795.773
N1076 Y-15.667	N1130 X127.743 F954.929	N1186 X127.743 F954.929
N1078 X-84.639	N1132 Y-15.667	N1188 Y-15.667
N1080 G00 Z25.	N1134 X-84.639	N1190 X-84.639
	N1136 G00 Z25.	N1192 G00 Z25.

**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

N1194 Y27.667	N1252 Z-6.5	N1310 G01 Z-9.5 F795.773
N1196 Z-4.5	N1254 G01 Z-7.5 F795.773	N1312 X127.743 F954.929
N1198 G01 Z-5.5 F795.773	N1256 X127.743 F954.929	N1314 Y-15.667
N1200 X127.743 F954.929	N1258 Y-15.667	N1316 X-84.639
N1202 Y-15.667	N1260 X-84.639	N1318 G00 Z25.
N1204 X-84.639	N1262 G00 Z25.	N1320 Y27.667
N1206 G00 Z25.	N1264 Y27.667	N1322 Z-9.
N1208 Y27.667	N1266 Z-7.	N1324 G01 Z-9.8 F795.773
N1210 Z-5.	N1268 G01 Z-8. F795.773	N1326 X127.743 F954.929
N1212 G01 Z-6. F795.773	N1270 X127.743 F954.929	N1328 Y-15.667
N1214 X127.743 F954.929	N1272 Y-15.667	N1330 X-84.639
N1216 Y-15.667	N1274 X-84.639	N1332 G00 Z25.
N1218 X-84.639	N1276 G00 Z25.	N1334 Y27.667
N1220 G00 Z25.	N1278 Y27.667	N1336 Z-9.3
N1222 Y27.667	N1280 Z-7.5	N1338 G01 Z-10. F795.773
N1224 Z-5.5	N1282 G01 Z-8.5 F795.773	N1340 X127.743 F716.197
N1226 G01 Z-6.5 F795.773	N1284 X127.743 F954.929	N1342 Y-15.667
N1228 X127.743 F954.929	N1286 Y-15.667	N1344 X-84.639
N1230 Y-15.667	N1288 X-84.639	N1346 G00 Z50.
N1232 X-84.639	N1290 G00 Z25.	N1348 M05
N1234 G00 Z25.	N1292 Y27.667	N1350 G00 G28 G91 Z0
N1236 Y27.667	N1294 Z-8.	N1352 G00 G28 G91 X-15.0 Y0.
N1238 Z-6.	N1296 G01 Z-9. F795.773	N1354 G90
N1240 G01 Z-7. F795.773	N1298 X127.743 F954.929	N1356 M06 T1
N1242 X127.743 F954.929	N1300 Y-15.667	N1358 M30
N1244 Y-15.667	N1302 X-84.639	
N1246 X-84.639	N1304 G00 Z25.	
N1248 G00 Z25.	N1306 Y27.667	
N1250 Y27.667	N1308 Z-8.5	

Γ. Πρόγραμμα κίνησης του ρομπότ που χρησιμοποιήσαμε

SET #A = #PPOINT(0,-90,160,-180,-31,-96)

SET #B = #PPOINT(0,-47,197,-180,-31,-96)

SET #C = #PPOINT(83,-93,164,-180,75,-96)

SET #D = #PPOINT(89,-58,159,-180,-60,-97)

SPEED 20 ALWAYS

MOVE #A

BREAK OPENI

MOVE #B

BREAK CLOSEI

BREAK

MOVE #C

BREAK

MOVE #D

BREAK

OPENI

BREAK

**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

Δ. Αρπάγες διαθέσιμες στο εμπόριο

	Parallel Grippers	Long Stroke	Angular Style	3-Finger Type	4-Finger Type	Rotary Actuated	Escapements
SMC	MHQ2-6 (D,S,C)	MHZL2	MHC2-6	MHS2	MHS4	MHR2	MIW
	MHQ2-6 – X17	MHZJ2	MHCA2-6 MHY2	MHS3		MDHR2	MIS
	MHQG2		MHW2	MHSJ3		MHR3	
	MHQJ2		MHCM2-7S	MHSH3		MDHR3	
	MHZA2-6		MHC2	MHSL3(long stroke)			
	MHZ2						
Zaytran	Magnum-al-130	XRAY-S-2200					
	Magnum-pet-130	Tandem XRAY-S-2200					
	Magnum-450-26	XRAY-S-2200- PF					
	Magnum-al-130-13	GPL 100 New version					
	Magnum-al-130-26						
	Magnum-pet-130-13						
	Magnum-pet-130-26						
	Magnum-pet-450-26						
	GPAL-40						
	GPAL-100						
	GPAL-200						
	GPL 40 New version						
	GPL 200 New version						

**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

GRIP GmbH	GP 050				
	GP063				
	GP080				
	GP100				
	GP 125				
Sommer Automatic	Series MGP800 :	MGH8000	Series GZ1000	Series MGD800	
	Series GP :	Series GH6000	Series GZ	Series GD	
	Series GP 400X :	Series GH7000	Series GM	Series GD300	
	Series GP 100 :		Series GG1000	Series GD1700	
	Series GP 400X :		Series GK	Series GD500 (Long stroke)	
	Series GP 1800 :				
	Series GP 1200 :				
	Series GP 200 :				
	Metal Work	Series P1	Series P4	Series P7	Series P11
		Series P2		Series P8	
Series P3			Series P9		
Series P1-k					

**Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα**

Shunk	MPG-plus		SGB	MPZ	PES	
	MPG		SWG	JGZ	PED	
	GAP		RHL			
	MWPG			PZN-plus		
	KTG		LGW	PZH-plus		
	KGG			PZH-SF		
			PWG-S	LGZ		
	RH		PWG	PZB-plus		
			PRG	PZB		
			LGR			
				DPZ-plus		
			GWB	SGW		
			DRG			
	Festo	DHPS	HGPL	DHWS	HGDT	
		HGPD		HGWC	DHDS	
HGPT			HGWM	HGDD		
HGPL			DHRS	HGDT		
HGPP			HGRT			
HGPC			HGRC			
HGP						
HGPM						
Robohand	DPDL	DPL	DCT / CT	PPC		
	DPDS	BPG	DCT-RE / CT-RE	REP-3		
	DPG	BPW	FUA	RTH		
	DPP	RPW	RA_SERIES			
	DPW		RA_FAILSAFE			
	BRP		RUA			
	GC		VULCAN			
	RDH					

Σχεδιασμός και κατασκευή πνευματικής αρπάγης βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα
για αξονοσυμμετρικά αντικείμενα

Camozzi	<i>REP</i>			
	<i>RP</i>			
	<i>RPL</i>			
	<i>RPLC</i>			
	<i>RPM</i>			
	<i>RPMC</i>			
	<i>RPR</i>			
	<i>Series CGP</i>	<i>Series CGLN</i>	<i>Series CGA</i> <i>Series CGSN</i>	<i>Series CGC</i>
	<i>Series CGB</i>			