



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

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΕΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ



ΣΤΕΦΑΝΙΔΗΣ
ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΡ. ΔΙΠΛ. : 124

ΧΑΝΙΑ 2024

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλη την ομάδα του εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3), το οποίο με κάθε δυνατό τρόπο στηρίζει οποιοδήποτε άτομο εισαχθεί στον χώρο. Ειδικότερα, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Αριστομένη Αντωνιάδη που μου έδωσε αυτή τη μεγάλη ευκαιρία να εκπονήσω την συγκεκριμένη εργασία και να εισαχθώ στον κόσμο των αυτοματοποιημένων εργαλειομηχανών. Είμαι πραγματικά χαρούμενος για αυτή την γνωριμία που είχαμε και σε αυτές τις περιπτώσεις δεν λες ποτέ αντίο αλλά εις το επανιδείν!

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ.....	5
2.1 Ιμαντοκίνηση.....	5
2.1.1 Εισαγωγή.....	5
2.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της ιμαντοκίνησης.....	6
2.1.3 Είδη Ιμαντών.....	7
2.1.4 Φωτογραφικό υλικό.....	12
2.2 Οδοντοκίνηση.....	14
2.2.1 Εισαγωγή.....	14
2.2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της οδοντοκίνησης.....	15
2.2.3 Είδη Οδοντωτών τροχών.....	19
2.2.4 Γεωμετρία οδοντωτών τροχών.....	23
2.2.5 Φωτογραφικό υλικό οδοντωτών τροχών.....	24
2.3 Αλυσοκίνηση.....	26
2.3.1 Εισαγωγή.....	26
2.3.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της αλυσοκίνησης.....	26
2.3.3 Στοιχεία Αλυσοκινήσεων.....	27
2.3.4 Λίπανση και Συντήρηση αλυσοκινήσεων.....	28
2.3.5 Φωτογραφικό υλικό αλυσοκινήσεων.....	29
2.4 Τριβοκίνηση.....	30
2.4.1 Εισαγωγή.....	30
2.4.2 Λίπανση, φθορά και κόστος της τριβοκίνησης.....	31
3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΕΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ.....	31
3.1 Κατασκευή βάσεων και αξόνων κύλισης.....	31
3.2 Κατασκευή γρاناζιών.....	33
3.2.1 Κατασκευή γρاناζιών.....	34
3.3 Κατασκευή δυο κυλινδρικών τεμαχίων.....	41
3.4 Συναρμολόγηση του εκπαιδευτικού μοντέλου.....	42
4. ΣΥΝΟΨΗ.....	Error! Bookmark not defined.
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	45

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως απώτερο σκοπό την κατασκευή ενός εκπαιδευτικού μοντέλου μετάδοσης κίνησης με κάθε πιθανό τρόπο, όπως παρουσιάζετε κυρίως στο κλάδο της Μηχανολογίας. Πιο συγκεκριμένα, η άνωθεν κατασκευή θα γίνει με την βοήθεια ενός κέντρου κατεργασίας DMU 50 eco και μιας εργαλειομηχανής ψηφιακής καθοδήγησης Siemens 810D του εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3). Στόχος του οποίου είναι η εξοικείωση με τα παραπάνω μηχανήματα καθώς σε αυτό θα συμβάλει σημαντικά και η βοήθεια του φοιτητή μέσω διπλωματικών ή ερευνητικών εργασιών, δίνοντας το έναυσμα να ενταχθεί ευκολότερα και γρηγορότερα στην γραμμή παραγωγής.

Οι κινήσεις οι οποίες θα απαρτίζουν τη συγκεκριμένη κατασκευή, η οποία θα δημιουργηθεί είναι τέσσερις. Η ιμαντοκίνηση, η οδοντοκίνηση, η αλυσοκίνηση και η κίνηση μέσω της τριβής, οι οποίες θα αναλυθούν διεξοδικά και με παραδείγματα, είτε από εικόνες είτε σχηματικά. Στην συνέχεια θα ακολουθήσει η λεπτομερής περιγραφή της κατασκευής και των επιμέρους τεμαχίων που κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η όλη διαδικασία.

Τέλος, μεγαλύτερη έμφαση θα δοθεί στη παρουσίαση του παραχθέντος εκπαιδευτικού μοντέλου, το οποίο κατασκευάστηκε από την αρχή με όλα τα απαραίτητα μέσα τα οποία διευκόλυναν την όλη διαδικασία και την τελειοποίησαν, καθώς και σε μία γενική σύνοψη της εργασίας έτσι ώστε να γίνει κατανοητή από όλους όσους θα κληθούν να την μελετήσουν.

****Τα προγράμματα CAD/CAM που χρησιμοποιήθηκαν για όλες τις κατασκευές που έγιναν που τα παρέχει το εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης είναι το NX12 της εταιρείας Siemens και το Inventor της εταιρείας Autodesk.**

2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ

2.1 Ιμαντοκίνηση

2.1.1 Εισαγωγή

Οι ιμάντες, δηλαδή τα σχοινιά, οι αλυσίδες και άλλα παρεμφερή στοιχεία μηχανών τα οποία χρησιμοποιούνται σε συστήματα μεταφοράς και σε μετάδοση ισχύος σε συγκριτικά μεγάλες αποστάσεις. Τα παραπάνω στοιχεία αρκετές φορές χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα γραναζιών, αξόνων, ρουλεμάν και άλλων άκαμπτων διατάξεων. Σε πολλές περιπτώσεις, ανά τα χρόνια, έχει παρατηρηθεί πως η χρήση τους απλοποιεί τον σχεδιασμό μιας μηχανής και μειώνει σημαντικά το κόστος. Επιπλέον, έχοντας ως δεδομένο ότι τα στοιχεία αυτά είναι ελαστικά και συνήθως απέχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι θετικό, καθώς παρατηρείται μείωση των κραδασμών κάτι το αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα στην ωφέλιμη ζωή της μηχανής. Αξίζει να σημειωθεί πως τα εύκαμπτα υλικά δεν έχουν άπειρη ωφέλιμη ζωή, οπότε είναι σημαντικό να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα επιθεώρησης για αυτά, το οποίο σύμφωνα με την παραγωγή σε μεγάλες εταιρείες είναι ότι στο πρώτο σημάδι φθοράς, είτε στην πρώτη απώλεια ελαστικότητας γίνεται αμέσως αντικατάσταση. (πηγή: Από Dynamic modeling, simulation and experiment of power transmission belt drives: A systematic review).

Γενικότερα, η ιμαντοκίνηση χρησιμοποιείται εκτενώς σε διάφορες εφαρμογές για την μετάδοση κίνησης και ισχύος λόγω των πλεονεκτημάτων του χαμηλού κόστους, της υψηλής ασφάλειας, της εξοικονόμησης χώρου καθώς και των μειωμένων κραδασμών συγκριτικά με την αλυσοκίνηση και την οδοντοκίνηση. (Από Machine Design). Μια βασική διάταξη ιμαντοκίνησης αποτελείται από δύο τροχαλίες συνδεδεμένες σε αντίστοιχες ατράκτους με ένα ιμάντα τυλιγμένο γύρω τους, τα οποία φέρουν μία αρχική μηχανική τάση. Η μηχανική ισχύς μεταδίδεται από την πρωτεύουσα τροχαλία στον ιμάντα και από τον ιμάντα στην δευτερεύουσα με την βοήθεια της τριβής. Η τριβή μεταξύ των επιφανειών του ιμάντα και της τροχαλίας περιορίζει τη μέγιστη τιμή της ισχύς που μπορεί να μεταδοθεί. Αν αυτή η μέγιστη τιμή ξεπεραστεί, ο ιμάντας αρχίζει να γλιστράει.

Όπως αναφέρθηκε, οι ιμάντες έχουν πεπερασμένο χρόνο ζωής και πρέπει να ελέγχονται σε τακτά χρονικά διαστήματα για φθορά και μείωση της ελαστικότητας τους, όπου σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να αντικαθίστανται.

Σε μορφή λίστας που ακολουθεί, παρουσιάζονται σημαντικές συγκρίσεις μεταξύ των κινήσεων με οδοντώσεις, ιμάντες και αλυσίδες.

- Στην περίπτωση υψηλών σχέσεων μετάδοσης ενδείκνυται η χρήση οδοντωτών τροχών με την παρεμβολή μειωτήρων, όπου υπάρχει μικρή απόσταση μεταξύ των αξόνων κίνησης. Το τελικό σύστημα καταλαμβάνει λιγότερο χώρο και χαρακτηρίζεται από ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης.
- Όταν είναι αναγκαία η ακρίβεια στη σχέση μετάδοσης, προτιμάται η χρήση γραναζιών και αλυσίδων, καθώς στη περίπτωση κλασσικών ιμάντων παρατηρούνται φαινόμενα απώλειας στροφών και ολίσθησης.

- Ανάλογα με την απόσταση των αξόνων μετάδοσης της κίνησης, στη περίπτωση εξαιρετικά μεγάλων ροπών και περιφερειακών δυνάμεων, επιλέγονται ανάλογα γρανάζια ή αλυσίδες.
- Σε συστήματα τα οποία λειτουργούν με υψηλό αριθμό στροφών, προτιμάται η χρήση γραναζιών καθώς σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μειωμένος κίνδυνος απεμπλοκής λόγω φυγοκεντρικών δυνάμεων.
- Για τη μείωση του ηχητικού αποτυπώματος του συστήματος μετάδοσης κίνησης, προτιμάται η χρήση ιμάντων. Τα υπόλοιπα είδη, χρειάζεται να μελετηθούν σε πιο ακριβή πλαίσια και να δέχονται τακτικές συντηρήσεις σε αυτή τη περίπτωση, για να επιφέρουν το ίδιο αποτέλεσμα.
- Όταν είναι επιθυμητά ελαστικά χαρακτηριστικά μετάδοσης κίνησης, υπερτερούν οι ιμάντες. Στα υπόλοιπα είδη μετάδοσης, παρουσιάζονται έντονα κρουστικά φορτία στη περίπτωση έντονων αυξομειώσεων στροφών. Έτσι, όταν μια άτρακτος ξαφνικά σταματά να περιστρέφεται αποφεύγονται καταστρεπτικές αστοχίες λόγω του φαινομένου της ολίσθησης των ιμάντων. Επιπλέον, η χρήση τους είναι οικονομικά συμφέρουσα λόγω μειωμένων αναγκών συντηρήσεων.
- Σημαντικό πλεονέκτημα της οδοντοκίνησης είναι οι αυξημένοι κύκλοι εργασιών και διάρκεια ζωής των αντίστοιχων συστημάτων. Αντίθετα οι ιμάντες μειονεκτούν λόγω στατικής χαλάρωσης.
- Μειονέκτημα των ιμάντων και των αλυσίδων είναι η ευαισθησία σε διάβρωση, όταν στο περιβάλλον λειτουργίας των συστημάτων υπάρχουν ρύποι σκόνης και οξέων.

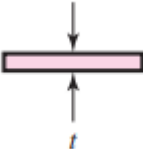
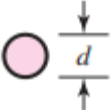
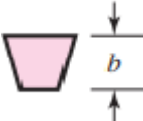
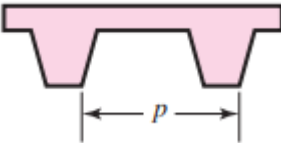
2.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της ιμαντοκίνησης.

Ξεκινώντας από τα πλεονεκτήματα της ιμαντοκίνησης, το πρώτο και ίσως το κυριότερο είναι πως με την ιμαντοκίνηση υπάρχει σχεδόν αθόρυβη λειτουργία στους επίπεδους, σε περίπτωση που δεν παράγεται θόρυβος στα σημεία σύνδεσης τους (πχ με κύριο υλικό το πλαστικό) και στους τραπεζοειδής (V-Belts) αντίστοιχα, αυτό οδηγεί σε ακόμη ένα πλεονέκτημα το οποίο είναι η καλύτερη παραλαβή και απόσβεση των κρούσεων. Επιπλέον, συνηθώς η διάταξη τους είναι απλούστερη και δεν χρειάζεται κάποια συντήρηση μέχρι να γίνει αντικατάσταση του εκάστοτε ιμάντα. Μπορούν να καλυφθούν μεγάλες αποστάσεις χωρίς κάποιους περιορισμούς, επίσης για μεγάλες αποστάσεις αλλά και όχι παρατηρείται μεγάλη μείωση του κόστους σε σχέση με άλλες κινήσεις. Υπάρχει ευκολότερη αποσύμπλεξη σε σχέση με άλλες κινήσεις, έχει πιο απλή μεταβολή της σχέσης μετάδοσης. Στην αντίπερα όχθη, υπάρχουν και μειονεκτήματα όπως σε όλες τις μηχανολογικές κινήσεις. Αρχικά, μπορούν να υπάρξουν μεταβολές στο μήκος του ιμάντα ανάλογα με τις αλλαγές θερμοκρασίας καίριο ρόλο παίζει όμως και η υγρασία, προσθέτοντας στους προηγούμενους παράγοντες την σκόνη και το λάδι παρατηρούνται και μεταβολές στο συντελεστή τριβής. Επίσης, οι διαστάσεις κατασκευής είναι μεγαλύτερες και μέσω αυτού επηρεάζεται η αξονική δύναμη που είναι ανάλογη, επομένως μπορεί να φτάσει σε υψηλές τιμές οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν πρόβλημα για όλη την κατασκευή και να μην κρίνεται ασφαλής. Τέλος, ένας παράγοντας που μπορεί να αυξήσει τα έξοδα μιας κατασκευής είναι η παραμένουσα επιμήκυνση του ιμάντα, η οποία αυξάνει με τον χρόνο και αυτό οδηγεί σε ολίσθηση όπου εκεί μπορεί να υπάρξει εκτίναξη του ιμάντα.

2.1.3 Είδη Ιμάντων

Οι ιμάντες χωρίζονται σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες:

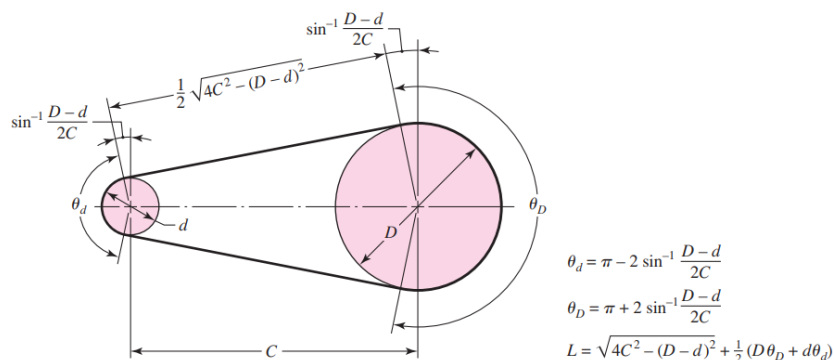
- 1) Επίπεδοι ιμάντες (Flat Belts).
- 2) Κυλινδρικοί ιμάντες (Round Belts).
- 3) Τραπεζοειδής ιμάντες (V-Belts).
- 4) Ιμάντες χρονισμού (Timing Belts).

Τύπος Ιμάντα	Σχήμα	Άρθρωση	Κεντρική απόσταση
Επίπεδοι		Ναι	Χωρίς ανώτατο όριο
Κυλινδρικοί		Ναι	Χωρίς ανώτατο όριο
Τραπεζοειδής		Όχι	Ελάχιστο
Χρονισμού		Όχι	Έλαχιστο

Πίνακας 2.1: Τύποι ιμάντων

- **Επίπεδοι και κυλινδρικοί ιμάντες (Flat and Round Belts)**

Οι επίπεδοι και οι κυλινδρικοί ιμάντες χρησιμοποιούνται για την μετάδοση ισχύος μεταξύ αξόνων που απέχουν μεταξύ τους έως πέντε μέτρα, χωρίς να έχουν κάποιους άλλους περιορισμούς άλλωστε είναι και η απλούστερη κατηγορία ιμάντα και μία από τις πιο συνήθεις. Κατασκευάζονται από διάφορα υλικά όπως δέρμα, υφαντά πλέγματα ή μη, συνθετικά και με συνδυασμό υλικών είναι κάποια από τα σημαντικότερα υλικά κατασκευής τους. Οι επίπεδοι και οι κυλινδρικοί ιμάντες έχουν πλεονέκτημα σε σχέση με τους τραπεζοειδής ιμάντες καθώς έχουν απόδοση περίπου 98% έναντι 70-96% αντίστοιχα. Παράγουν γενικότερα λιγότερο θόρυβο από ότι οι τραπεζοειδής αλλά και από την κίνηση με γρανάζια. Όταν χρησιμοποιείται ένας ανοιχτός ιμάντας για τον υπολογισμό των γωνιών επαφής χρησιμοποιείται ο τύπος που δίνεται στο Σχήμα 2.2 και έπειτα μέσω του παραπάνω τύπου προκύπτει το μήκος του ιμάντα που θα χρειάζεται στην κάθε κατασκευή.



Σχήμα 2.2: Τύπος υπολογισμού γωνιών επαφής

Στο Σχήμα 2.2 όπου:

D= διάμετρος της μεγάλης τροχαλίας

d= διάμετρος της μικρής τροχαλίας

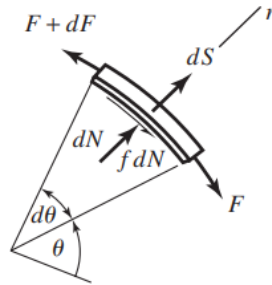
C= απόσταση κέντρου

θ= γωνία επαφής

Όπως παρατηρείται από τους παραπάνω τύπους για την εύρεση της γωνίας επαφής πρέπει να βρεθούν και οι δύο γωνίες επαφής έτσι ώστε να είναι γνώστες διότι με αυτή τη μέθοδο θα προκύψει το μήκος του ιμάντα (L). Το οποίο υπολογίζεται αθροίζοντας τα δύο μήκη τόξου μεταξύ της αρχής και του τέλους της επαφής.

Το 1972 ο μηχανολόγος μηχανικός Firbank ανέλυσε μια από τις σημαντικότερες θεωρίες του για τον επίπεδο ιμάντα. Μια αλλαγή στην τάση του ιμάντα λόγω των δυνάμεων τριβής μεταξύ του ιμάντα και της τροχαλίας θα οδηγήσει σε επιμήκυνση του ιμάντα ή μείωση του μήκους του με ταυτόχρονη κίνηση προς την επιφάνεια της τροχαλίας. Η κίνηση αυτή προκαλείται μέσω του ελαστικού ερπυσμού και συνδέεται με την τριβή ολίσθησης. Ερπυσμός ονομάζεται η συνεχής παραμόρφωση που παρουσιάζουν ορισμένα υλικά όταν βρίσκονται υπό τάση και σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών. Η γωνία επαφής επί της ουσίας είναι το τόξο μέσω του οποίου μεταδίδεται ισχύς σε όλο το σύστημα. Όσο αναφορά την κινητήρια τροχαλία, ο ιμάντας έρχεται σε επαφή με αυτήν με αρχική τάση F και ταχύτητα V, η οποία είναι ίδια με την ταχύτητα της τροχαλίας. Στην συνέχεια, εμφανίζεται η τριβή ολίσθησης και η τάση του ιμάντα αλλάζει, μειώνεται, σύμφωνα με τις δυνάμεις τριβής. Στο τέλος του τόξου ο ιμάντας εγκαταλείπει την τροχαλία με μικρότερη τάση και μειωμένη ταχύτητα. Ο Firbank χρησιμοποίησε την παραπάνω θεωρία με απώτερο σκοπό την μελέτη των επίπεδων και κυλινδρικών ιμάντων σε μαθηματική μορφή και έκανε τις επαληθεύσεις του με πειράματα, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι ότι μεταδίδεται σημαντικά περισσότερη ισχύς μέσω της στατικής τριβής από ότι με την τριβή ολίσθησης.

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ελεύθερου σώματος ενός τμήματος του ιμάντα, όπως παρατηρείται ασκούνται κάποιες δυνάμεις στον ιμάντα, οι οποίες είναι : α) dS : μια φυγοκεντρική δύναμη, β) dN : μια κάθετη δύναμη αντίδρασης και, γ) f dN : μια δύναμη εξαιτίας της τριβής.



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα ελεύθερου σώματος ενός ιμάντα.

Από το παραπάνω Σχήμα 2.3 ο τύπος που μπορεί να υπολογιστεί η φυγόκεντρος δύναμη είναι ο παρακάτω:

$$dS = (mrd\theta)r\omega^2 = mV^2d\theta$$

όπου,

m : η μάζα ανά μήκος ιμάντα

r : η ακτίνα της τροχαλίας

V : η ταχύτητα του ιμάντα

Για να υπολογιστεί η μάζα ανά μήκος ιμάντα και το $d\theta$ που όπως προαναφέρθηκε είναι η γωνία επαφής της τροχαλίας δίνονται οι δυο παρακάτω τύποι :

$$dl = r d\theta$$

όπου,

dl : το μήκος του ιμάντα

r : η ακτίνα της τροχαλίας

$d\theta$: η γωνία επαφής της τροχαλίας

$$m = btp$$

όπου,

b : το πλάτος του ιμάντα

t : το πάχος του ιμάντα

ρ : η πυκνότητα του ιμάντα (αναλόγως το υλικό που έχει κατασκευαστεί).

• Τραπεζοειδής ιμάντες (V-Belts)

Οι τραπεζοειδής ιμάντες, τα τελευταία χρόνια έχουν εισβάλει στην παραγωγή σε αρκετά μεγάλο βαθμό και είναι οι πλέον πιο συνηθισμένοι στην χρήση. Συγκρινόμενοι με τους επίπεδους και κυλινδρικούς ιμάντες, παρατηρείται πως έχουν τριπλάσια ικανότητα μεταφοράς ισχύος, ο θόρυβος που δημιουργούν είναι μικρότερος δηλαδή στην ουσία δεν ολισθαίνουν. Επιπλέον, έχουν μεγαλύτερες σχέσεις μετάδοσης και μικρότερες αποστάσεις αξόνων πράγμα που

οφείλεται στην μικρότερη γωνία περιέλιξης που απαιτούν. Συνήθως κατασκευάζονται από κοινά ελαστικά και έχουν τραπεζοειδή διατομή.

Οι διαστάσεις διατομής των ιμάντων έχουν τυποποιηθεί από τους κατασκευαστές, με την διατομή να χαρακτηρίζεται από ένα γράμμα της αλφαβήτου μιλώντας πάντα για διαστάσεις ίντσας και ένα νούμερο το οποίο προσδιορίζει την εσωτερική περιφέρεια (πχ A75, είναι ένας ιμάντας διατομής A και εσωτερικής περιφέρειας 75 ιντσών.) Στο παρακάτω Σχήμα 2.4 παρουσιάζονται αρχικά οι πιθανοί τύποι τραπεζοειδών ιμάντων, το πλάτος a , το πάχος b , η ελάχιστη διάσταση τροχού και το εύρος της ιπποδύναμης για κάθε ένα από τα πιθανά γράμματα.

Τύπος Ιμάντα	Πάχος a , in	Πάχος b , in	Ελάχιστη διάσταση τροχού, in	Εύρος ιπποδύναμης, hp
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4} - 10$
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1 – 25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15 – 100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50 – 250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 και πάνω

Σχήμα 2.4: Πιθανοί τύποι ιμάντων

Οι υπολογισμοί για το μήκος του ιμάντα, βασίζονται στο μήκος του βήματος δηλαδή για δεδομένη διατομή ιμάντα το μήκος του βήματος προκύπτει με την πρόσθεση μιας ποσότητας στην εσωτερική επιφάνεια. Στο Σχήμα 2.5 όπως παρατηρείται φαίνεται η εκάστοτε πρόσθεση που πρέπει να γίνει με σκοπό την εύρεση του μήκους βήματος.

Τύπος Ιμάντα	A	B	C	D	E
Ποσότητα που πρέπει να προστεθεί	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Σχήμα 2.5: Εύρεση μήκους ιμάντα.

Επομένως, από το Σχήμα 2.5 και το παράδειγμα που δόθηκε πριν προκύπτει πως ένας τραπεζοειδής ιμάντας τύπου A75 έχει μήκος βήματος ίσο με 76.3 in.

Για την εύρεση του μήκους του τραπεζοειδούς ιμάντα (L) και της απόστασης από κέντρο της μικρής τροχαλίας έως το κέντρο της μεγάλης τροχαλίας (C) δίνεται από τους τύπους:

$$Lp = 2C + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$C = \left\{ \left[Lp - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[Lp - \frac{\pi}{2}(D + d) \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\}$$

όπου,

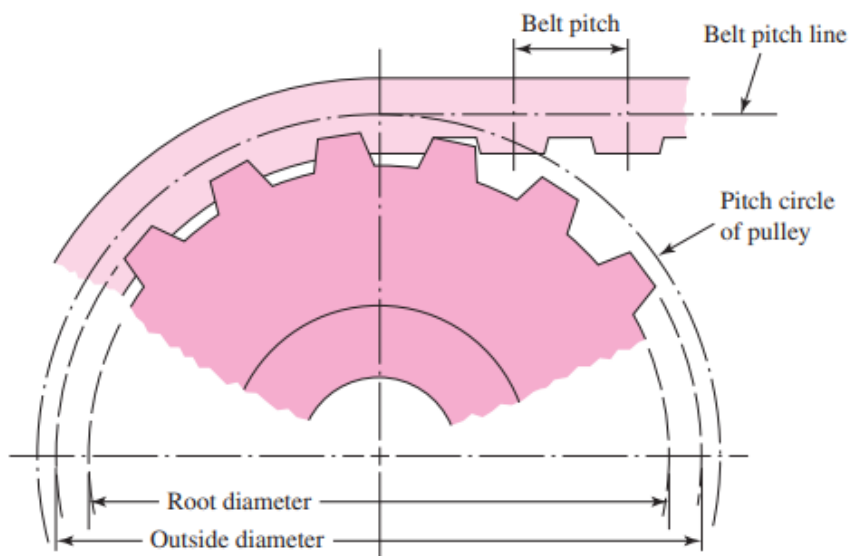
D= διάμετρος της μεγάλης τροχαλίας.

d= διάμετρος της μικρής τροχαλίας.

Στην περίπτωση των επιπέδων και κυλινδρικών ιμάντων δεν υπάρχει, όπως προαναφέρθηκε, κανένας περιορισμός στην απόσταση κέντρο με κέντρο. Στους τραπεζοειδής ιμάντες δεν συνιστάται μεγάλη απόσταση από κέντρο σε κέντρο καθώς ενδέχεται λόγω δονήσεων να μειωθεί αισθητά η διάρκεια ζωής του ιμάντα. Γενικότερα, η απόσταση κέντρο με κέντρο δεν πρέπει να ξεπερνά το άθροισμα των διαμέτρων των τροχαλιών πολλαπλασιαζόμενο επί τρεις φορές και δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την διάμετρο της μεγάλης τροχαλίας.

- **Ιμάντες χρονισμού (Timing Belts)**

Οι ιμάντες χρονισμού είναι κατασκευασμένοι από ελαστικό ύφασμα καλυπτόμενο από νάιλον και στο εσωτερικό τους διαθέτουν χαλύβδινο σύρμα έτσι ώστε να μπορούν να καλύπτουν το φορτίο τάσης που δέχονται. Διαθέτουν δόντια τα οποία προσαρμόζονται σε αυλακώσεις που κόβονται στην περιφέρεια των τροχαλιών. Αξίζει να σημειωθεί πως στην περίπτωση του ιμάντα χρονισμού μιλάμε για τροχαλίες οι οποίες διαθέτουν οδόντωση όπως και ο ιμάντας αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένας ιμάντας χρονισμού και ένα μέρος της τροχαλίας όπου φαίνονται το βήμα του ιμάντα, η αξονική γραμμή του βήματος του ιμάντα, ο κύκλος βήματος της τροχαλίας, η διάμετρος ποδός της τροχαλίας και η εξωτερική της διάμετρος.



Σχήμα 2.6: Ιμάντας χρονισμού

Οι ιμάντες χρονισμού μπορούν να λειτουργούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες με αποδόσεις της τάξεως του 97-99%, δεν απαιτούν κάποια λίπανση και συγκρινόμενοι με τους αλυσοτροχούς είναι πιο αθόρυβοι. Το χαλύβδινο σύρμα που διαθέτουν, δηλαδή το στοιχείο τάνυσης του ιμάντα χρονισμού, βρίσκεται στο βήμα του ιμάντα. Επομένως, το μήκος του βήματος είναι ανεξάρτητο από το πάχος του υποστρώματος οπότε παραμένει ίδιο. Υπάρχουν πέντε διαθέσιμα τυποποιημένα βήματα σύμφωνα με τους κατασκευαστές τα οποία θα δοθούν στο Σχήμα 2.7. Οι περιορισμοί που υπάρχουν στα τυποποιημένα μήκη βημάτων είναι πως διατίθενται από 6 ίντσες έως 180 ίντσες. Οι τροχαλίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν έχουν διάμετρο βήματος από 0.60 ίντσες έως 35.8 ίντσες και αριθμό δοντιών από 10 έως 120. Η διαδικασία εύρεση του σωστού ιμάντα χρονισμού δεν διαφέρει πουθενά με τους τραπεζοειδής ιμάντες, διαδικασία που παρουσιάστηκε νωρίτερα.

Σκληρότητα	Designation	Pitch p, in
Extra light	XL	$\frac{1}{5}$
Light	L	$\frac{3}{8}$
Heavy	H	$\frac{1}{2}$
Extra heavy	XH	$\frac{7}{8}$
Double extra heavy	XXH	$1\frac{1}{4}$

Σχήμα 2.7: Τυποποιημένα βήματα ιμάντων χρονισμού.

2.1.4 Φωτογραφικό υλικό

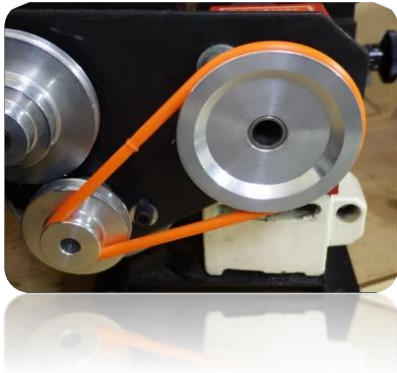
Στη παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι ιμαντοκινήσεων που προαναφέρθηκαν. Πιο συγκεκριμένα,

1. Επίπεδοι Ιμάντες, ρόλος των οποίων είναι η μετάδοση της κίνησης, κυρίως σε βιομηχανικά μηχανήματα.



Σχήμα 2.8: Επίπεδος Ιμάντας (αριστερά) - Ραβδωτός Ιμάντας (δεξιά).

2. Κυλινδρικοί Ιμάντες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών σε βιομηχανικούς κλάδους και μη.



Σχήμα 2.9: Κυλινδρικός Ιμάντας (αριστερά)- Κυλινδρικός Ιμάντας (δεξιά).

3. Τραπεζοειδής Ιμάντας, αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία μετάδοσης κίνησης για μετάδοση ροπών στρέψης με τριβή.



Σχήμα 2.10: Τραπεζοειδής Ιμάντες - Τραπεζοειδής Ιμάντες (δεξιά).

4. Ιμάντας Χρονισμού, χαρακτηρίζονται ως σύγχρονοι ή οδοντωτοί, χρησιμοποιούνται κυρίως για την μετάδοση κίνησης από τον στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο και είναι κατάλληλοι για τη μετάδοση υψηλής ροπής χωρίς να εμφανίζεται ολίσθηση.



Σχήμα 2.11: Ιμάντες χρονισμού (αριστερά) - Ιμάντες χρονισμού (δεξιά).

2.2 Οδοντοκίνηση

2.2.1 Εισαγωγή

Οι οδοντώσεις είναι από τα πιο σημαντικά στοιχεία μηχανών που χρησιμοποιούνται στην μηχανολογία. Σε διάφορες μηχανές παρουσιάζεται η ανάγκη για μεταφορά κίνησης από μια άτρακτο σε μια άλλη, πολύ συχνά οι άτρακτοι αυτοί δεν συμπίπτουν. Επομένως, ίσως ο πιο διαδομένος τρόπος μεταφοράς περιστροφικής κίνησης είναι με την χρήση οδοντωτών τροχών. Οι οδοντώσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα έχουν διάφορες γεωμετρίες όπως μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί, κωνικοί οδοντωτοί τροχοί και ατέρμονες κοχλίες – κορώνες. Το ίδιο ισχύει και με τις διαστάσεις τους, εκκινούν από πολύ μικρά γρανάζια μερικών χιλιοστών και μπορούν να φτάσουν μέχρι διάμετρο μερικών μέτρων. Η μετάδοση κίνησης μέσω αυτών, είναι ιδιαίτερα ακριβής και πραγματοποιείται σε ατράκτους με παράλληλους άξονες ή άξονες που τέμνονται ή είναι ασύμβατοι. Συνοπτικά, η οδοντοκίνηση συναντάται καθημερινά από μηχανισμούς ρολογιών που είναι ίσως η πιο μικροσκοπική εκδοχή τους μέχρι τεράστιων διαστάσεων σε πλοία και αεροπλάνα.

2.2.2 Γενικές πληροφορίες περί των οδοντωτών τροχών

Στην ενότητα που ακολουθεί θα παρουσιαστούν με συνοπτικό τρόπο τα βασικότερα αίτια αστοχίας των οδοντωτών τροχών.

- Ως αποτέλεσμα υψηλών κρουστικών φορτίων, μπορεί να δημιουργηθεί σημειακή φόρτιση μεγαλύτερη της τοπικής αντοχής των κατατομών. Το φαινόμενο που ακολουθεί λόγω των συγκεκριμένων συνθηκών είναι η δημιουργία ραβδώσεων πάνω στις κατατομές και η τοπική απογύμνωση των δοντιών.
- Σε περίπτωση απουσίας στοιχείων ελέγχου, οι εργαζόμενοι τροχοί μπορεί να εργάζονται υπό υψηλά φορτία λόγω ταχυτήτων περιστροφής ανώτερου του επιτρεπτού.
- Προκειμένου να αποφεύγονται φαινόμενα τοπικής συγκόλλησης ως αποτέλεσμα της επαφής στερεού με στερεό, το περιβάλλον εμπλοκής των συνεργαζόμενων τροχών πρέπει να είναι ελεύθερο ξένων σωματιδίων και ρύπων.

- Μηχανικές αστοχίες μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα ακατάλληλης θερμικής κατεργασίας. Κατά τη διαδικασία της επιφανειακής σκλήρυνσης, το πάχος της αντίστοιχης ζώνης μπορεί να προκύψει ανομοιόμορφο πάνω στην επιφάνεια των δοντιών του τροχού.
- Με την επαφή των κατατομών να λαμβάνει συνήθως μόνο γραμμικό προφίλ, η εμπλοκή των οδοντωτών τροχών χρειάζεται να πραγματοποιείται υπό την παρουσία λιπαντικού παράγοντα σχεδιασμένου για λειτουργία σε υψηλές πιέσεις. Όπως αναφέρθηκε, το στοιχείο λίπανσης αρχικά χρειάζεται να έχει την δυνατότητα πρόσβασης σε όλες τις θέσεις εργασίας, και δεύτερον να παραμένει στις επιφάνειες των κατατομών μέχρι και το σημείο της μεταξύ τους εμπλοκής. Αν κάποια από αυτές τις συνθήκες παραβιάζεται, η λίπανση χαρακτηρίζεται ακατάλληλη. Επιπλέον, εξίσου σημαντικό είναι το φιλτράρισμα και η απαλλαγή του λιπαντικού παράγοντα από προσμίξεις, καθώς μέσω αυτού μπορούν να μεταφερθούν ξένα σωματίδια στις κατατομές. Τέλος, η επαγωγή της θερμότητας που αναπτύσσεται λόγω τριβής πρέπει να είναι ικανοποιητική εξασφαλίζοντας την ορθή εμπλοκή των κατατομών.
- Ανακρίβειες στην κατασκευή των κατατομών των οδοντώσεων μπορεί να οδηγήσουν και αυτές ταχέως σε μηχανικές αστοχίες. Έτσι είναι αναγκαίο να έχουν τις προβλεπόμενες διαστάσεις.
- Στα πλαίσια ακατάλληλης συναρμολόγησης, οι μηχανικές αστοχίες είναι αποτέλεσμα των παρακάτω σημείων:
 1. Δονήσεις από λανθασμένη ζυγοστάθμιση ως αποτέλεσμα χαλαρού δεσίματος μεταξύ τροχών και αξόνων, αξόνων στα ρουλεμάν, και τέλος ρουλεμάν και κελύφους.
 2. Λανθασμένη ευθυγράμμιση.
 3. Ανάπτυξη απρόβλεπτων δυνάμεων, ως αποτέλεσμα της λανθασμένης επιλογής της απόστασης μεταξύ των κέντρων των στοιχείων που συνεργάζονται.

Στο επίπεδο της σχέδιο μελέτης πρέπει να γίνουν όλες οι σωστές επιλογές για το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα και την αποφυγή αστοχιών. Ακρίβεια μεγέθους (Διάμετρος αρχικού κύκλου, πλάτος), επιλογή υλικού, προβλεπόμενες επιφανειακές κατεργασίες. Τέλος, θα χρειαστεί να γίνει και η λεπτομερής μελέτη και ανάλυση των δυνάμεων που θα αναπτυχθούν κατά τη λειτουργία του συστήματος των γραναζιών.

Ενδείξεις λανθασμένης λειτουργίας γραναζιών:

Το αν ένα σύστημα οδοντωτών τροχών εκτελεί αποτελεσματικά το έργο του κρίνεται από τις αποκλίσεις σύμφωνα με τα δεδομένα και τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Αν η θερμότητα που παράγεται με την τριβή των συνεργαζόμενων επιφανειών χαρακτηρίζεται μικρότερη ή ίση από την θεωρητική, το σύστημα καλύπτει ικανοποιητικά τη λειτουργία του στα πλαίσια απωλειών ισχύος.

2.2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της οδοντοκίνησης.

Ξεκινώντας από τα πλεονεκτήματα της οδοντοκίνησης, παρατηρείται πως έχει την πιο άμεση μετάδοση της κίνησης από τον ένα τροχό στον άλλον χωρίς παρεμβολή άλλων στοιχείων όπως για παράδειγμα αλυσίδας ή ιμάντα. Η μετάδοση κίνησης γίνεται πρακτικά χωρίς ολίσθηση, η σχέση μετάδοσης της κίνησης, που θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί σε παρακάτω κεφάλαιο,

είναι σταθερή λόγω της εμπλοκής των δοντιών και επίσης είναι ανεξάρτητη από το συντελεστή τριβής και την περιφερειακή ταχύτητα. Επιπλέον, ο αριθμός των στροφών δεν περιορίζει την αντοχή και το μέγεθος την ισχύος που μεταφέρεται εξαιτίας της φυγόκεντρης πίεσης.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της οδοντοκίνησης, είναι ο εξαιρετικά μεγάλος βαθμός απόδοσης που φτάνει μέχρι και 99% στις μετωπικές οδοντώσεις όπως και η μεταφορά μεγάλης ισχύος παίζει καίριο ρόλο καθώς μπορούν να μεταφερθούν από μερικά mW (μιλιβάτ) μέχρι χιλιάδες kW (κιλοβάτ). Έχουν πολύ καλή διάρκεια ζωής, αν η κατασκευή τους και η απαιτούμενη λίπανση είναι στα επίπεδα που ορίζονται. Η σύνδεση των ατράκτων επιτυγχάνεται σε όλες τις πρακτικά δυνατές διατάξεις. Τέλος, η δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες με μηδαμινή ανάγκη συντήρησης, κυρίως αν ισχύουν τα προαναφερόμενα όσο αναφορά την λίπανση και την κατασκευή.

Στα πλεονεκτήματα της οδοντοκίνησης, συγκαταλέγονται η απουσία ηχητικών ρύπων και η μακροζωία των αντίστοιχων συστημάτων με προϋπόθεση τη σωστή επιλογή υλικών υπό τακτικές συντηρήσεις. Επιπλέον με την επιλογή της κλίσης γ του ατέρμονα δημιουργείται η δυνατότητα αυτοπέδησης, δηλαδή η μεταφορά κίνησης προς τα μια μόνο κατεύθυνση. Πιο συγκεκριμένα, όταν $\gamma < \rho$ το ζεύγος ατέρμονα-κορώνας συνεχίζει να περιστρέφεται με την ίδια φορά ακόμα και υπό την παρουσία μεγάλων ροπών στρέψης. Μέσω των μηχανισμών οδοντοκίνησης, μπορεί να επιτευχθεί μείωση στροφών έως και 200 φορές με τη χρήση ζευγών που χαρακτηρίζονται από $i=1:200$. Αξίζει να σημειωθεί πως τα συνηθέστερα ζεύγη χαρακτηρίζονται από $i=1:15$ έως $i=1:60$.

Καταλυτικά, με την επίτευξη συγκεκριμένων σχέσεων μετάδοσης προκύπτει ο περιορισμός του οικονομικού κόστους λειτουργίας, ενώ παράλληλα τα συστήματα αυτά συνηθίζεται να έχουν μικρό μέγεθος σε σχέση με τα άλλα είδη τροχών για την ίδια σχέση μετάδοσης.

Εμφανώς διακριτά είναι και τα μειονεκτήματα της, τα οποία δεν ποικίλλουν αλλά είναι αρκετά σημαντικά. Αρχικά, έχουν υψηλό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης. Στην διαδικασία κατασκευής απαιτείται μεγάλη ακρίβεια διότι αν δεν υπάρχει, κατά την διαδικασία της λειτουργίας του παρατηρείται γρηγορότερη φθορά από την αναμενόμενη και υψηλότερος θόρυβος που μπορεί να γίνει πιο έντονος σε υψηλές ταχύτητες. Κλείνοντας αξίζει να αναφερθεί πως, η μετάδοση κίνησης δεν γίνεται με κάποιο ελαστικό τρόπο επομένως οποιαδήποτε αιφνίδια μεταβολή μεταφέρεται ως έχει από την μια άτρακτο στην άλλη.

Συμπληρωματικά στα μειονεκτήματα προστίθεται και η αντιστοιχία των συστημάτων, όπου τοποθετείται ο χαμηλός βαθμός απόδοσης τους. Οι δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται έχουν ως αποτέλεσμα ενεργειακές απώλειες μεγάλου μεγέθους. Επιπλέον, ο βαθμός απόδοσης συσχετίζεται άμεσα από τον αριθμό των αρχών, ο οποίος καθορίζεται από τη σχέση μετάδοσης. Με την αύξηση του τελευταίου επιτυγχάνεται αύξηση στον βαθμό απόδοσης. Έτσι για τη δημιουργία της κορώνας με ακριβείς διαστάσεις είναι αναγκαία κοπτικά μέσα υψηλού κόστους.

Βλάβες Οδοντωτών τροχών:

Βασική προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία ενός συστήματος οδοντωτών τροχών είναι η απουσία καταστρεπτικών αστοχιών στα αντίστοιχα στοιχεία. Σε αυτή τη περίπτωση είναι

αναγκαία η αντικατάσταση του συγκεκριμένου στοιχείου και πολλές φορές διάφορων εξαρτημάτων πλην αυτού. Στη συνέχεια παραθέτονται μερικές από τις βασικές αιτίες αστοχίας.

Αρχικά, η υπερφόρτιση ως αποτέλεσμα κρουστικών φορτίων, είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία ραβδώσεων επί της κατατομής και την απογύμνωση του οδόντα. Οι ταχύτητες περιστροφής μπορεί να υπερβληθούν χωρίς τη χρήση ελεγκτικών μέσων συμβάλλοντας έτσι στην αστοχία των τροχών. Συμπληρωματικά τοποθετείται και η μη σωστή λίπανση. Η ύπαρξη λιπαντικού παράγοντα σχεδιασμένου για λειτουργία σε υψηλές πιέσεις είναι απαιτούμενη λόγω της γραμμικής επαφής των κατατομών. Χαρακτηριστικά ικανοποιητικής λίπανσης είναι η πρόσβαση του παράγοντα σε όλες τις θέσεις εργασίας και η παραμονή του στην επιφάνεια της κατατομής κατά την διάρκεια της επαφής των οδοντώσεων.

Σε αντίθετη περίπτωση η λίπανση κρίνεται ακατάλληλη. Σημαντική προϋπόθεση για την αποτελεσματική λίπανση αποτελεί η απουσία ξένων σωματιδίων και ρύπων, σε συνδυασμό με την θερμοκρασία του λιπαντικού παράγοντα που ενδείκνυται για χρήση, με σκοπό την απομάκρυνση των μη επιθυμητών ποσών θερμότητας που δημιουργούνται. Τέλος, σημαντική είναι η αποφυγή της στιγμιαίας συγκόλλησης και απομάκρυνσης των κατατομών που συνεργάζονται ως συνηθισμένη αιτία αστοχίας.

Όπως προαναφέρθηκε, ξένα σωματίδια, τώρα στη περίπτωση των κατατομών αποτελούν συνθήκη δημιουργίας μη επιθυμητής τοπικής συγκόλλησης ως αποτέλεσμα της επαφής μεταξύ στερεών, το οποίο ολοκληρωτικά οδηγεί σε αστοχία του συστήματος. Επιπλέον στα πλαίσια θερμικής κατεργασίας, τα στοιχεία οδηγούνται σε αστοχία εάν το πάχος της επιφανειακής σκληρύνσεως χαρακτηρίζεται από ομοιομορφία πάνω στην επιφάνεια των οδόντων του τροχού. Άλλα αίτια αστοχίας αποτελούν οι ανακρίβειες στη κατασκευή των κατατομών των οδόντων καθώς και οι αποκλίσεις από τις προβλεπόμενες διαστάσεις των ποδών. Στο επίπεδο της συναρμολόγησης δύο οδοντωτών τροχών, αποκλίσεις στη συνεργασία των στοιχείων στο κατάλληλο επίπεδο ενέργειας έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μη επιθυμητών δυνάμεων, οδηγώντας το σύστημα στο να αστοχήσει.

Ευθύνη σε πιθανές αστοχίες μπορεί να φέρει και ο τεχνικός σχεδιομελέτης. Προϋποθέσεις για την αποφυγή αστοχιών σε αυτό το επίπεδο αναφέρονται ως ακρίβεια στα μεγέθη των στοιχείων (αρχική διάμετρος, πλάτος), καταλληλόλητα υλικού, αναγκαίες κατεργασίες στις συνεργαζόμενες επιφάνειες. Τέλος, έχουμε την εκλογή του πιο συμβατού ζεύγους τροχών καθώς και την ανάλυση δυναμικών φορτίων πριν από το στάδιο δημιουργίας του συστήματος.

Συνολικά, τα συστήματα οδοντωτών τροχών χρειάζεται να κατέχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με το πλαίσιο εφαρμογής τους. Στη περίπτωση εγκαταστάσεων εντός ενός πλοίου, η αποτελεσματικότητα του συστήματος σχετίζεται με ελάχιστες πιθανότητες αστοχίας και με τεράστιο κύκλο εργασιών. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή σχετικής αστοχίας, είναι αναγκαία η μεταφορά νέων εξαρτημάτων εντός του πλοίου. Διαδικασία μη επιθυμητή και υψηλή σε κόστος. Στη περίπτωση ενός υποβρυχίου, τα συστήματα θα χρειάζεται να χαρακτηρίζονται από τη δημιουργία ελάχιστων ηχητικών ρύπων. Αντίθετα, σε ένα αεροσκάφος δεν δίνεται έμφαση στην αποφυγή του παραγόμενου θορύβου, αλλά η κατασκευή τους εστιάζει σε μειωμένες πιθανότητες καταστρεπτικής αστοχίας και σε υψηλούς λόγους ισχύος προς

αντίστοιχο βάρος. Τέλος σε συστήματα αυτοματισμού, η λειτουργία οδοντωτών τροχών θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή ακρίβεια.

Ακολουθούν κριτήρια ως ενδεικτικά στοιχεία της αποτελεσματικής λειτουργίας ενός συστήματος οδοντωτών τροχών. Αν η θερμότητα που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της τριβής των συνεργαζόμενων επιφανειών είναι πρακτικά μικρότερη ή ίση με την θεωρητική, η λειτουργία του συστήματος χαρακτηρίζεται ικανοποιητική σε αυτό το επίπεδο. Στα πλαίσια ταλαντώσεων, η λειτουργία του συστήματος πρέπει να παράγει όσο το δυνατόν λιγότερες και μέσα στα όρια που προβλέπονται. Συμπληρωματικά για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων η πρώτη και σημαντικότερη διαδικασία που πρέπει να συμπεριληφθεί στα περιστρεφόμενα μέρη ενός κιβωτίου ταχυτήτων για παράδειγμα, είναι η δυναμική ζυγοστάθμιση. Αίτια αυξημένων ταλαντώσεων μπορεί να είναι η προσκόλληση ενός ελαστικού συνδέσμου σε μια μη ζυγοσταθμισμένη θέση, σφάλματα λειτουργίας ή κατασκευής στις συνεργαζόμενες κατατομές και τέλος μια λανθασμένη ευθυγράμμιση ή συναρμολόγηση των στοιχείων του κιβωτίου.

Διάφορα προβλήματα υπερβολικών ταλαντώσεων μπορούν να περιγράψουν στα παρακάτω σημεία:

- Προσκόλληση ελαστικού συνδέσμου σε σημείο όπου δεν έχει γίνει ζυγοστάθμιση.
- Κατασκευαστικές και λειτουργικές αστοχίες στις επιφάνειες στων κατατομών.
- Απόκλιση από τη σωστή συναρμολόγηση – ευθυγράμμιση διάφορων εξαρτημάτων του κιβωτίου.

Για την αποφυγή τέτοιου είδους αστοχιών, μπορούν να πραγματοποιηθούν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, μέσω των οποίων καταγράφονται ενδείξεις ορθής ή εσφαλμένης λειτουργίας των συστημάτων:

1. Καταμέτρηση του εύρους των κρουστικών φορτίων.
2. Καταγραφή των επιπέδων των κραδασμών και δονήσεων.
3. Χρήση θερμογράφου για την ανίχνευση αστοχιών.
4. Διερεύνηση λιπαντικών ιδιοτήτων.
5. Επιθεώρηση οπτικά.
6. Εξαγωγή δεικτών για την εξέταση της αποτελεσματικότητας του κύκλου εργασίας.

Ακολουθούν στη συνέχεια το σύνολο των σχετικών αστοχιών που μπορεί να παρατηρηθεί στις βαθμίδες ενός οδοντωτού τροχού:

- Οι τάσεις Hertz μπορεί να υπάρξουν υπεύθυνες για διάφορες εκκοιλάνσεις λόγω κόπωσης από την τριβή των υπό επαφή επιπέδων.
- Καμπτικές τάσεις οδηγούν στη θραύση οδόντος, ως αποτέλεσμα της κόπωσης στο σημείο της αντίστοιχης διατομής
- Η χρήση ακατάλληλου λιπαντικού παράγοντα ή η δυναμική υπερφόρτιση μπορεί να οδηγήσει στη χάραξη της επιφάνειας του όδοντα.

Λόγω των δυνάμεων επαφής που αναπτύσσονται στις συνεργαζόμενες επιφάνειες, μπορούν να παρατηρηθούν εκκοιλάνσεις επιφανείας ως αποτέλεσμα μηχανικής διάβρωσης. Το τελευταίο χαρακτηρίζεται ως κόπωση επιφανείας από επαναληπτικές καταπονήσεις είτε στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό μέρος του στοιχείου. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η απομάκρυνση υλικού, με την δημιουργία κοιλοτήτων ακολούθως. Οι κοιλότητες τέτοιου είδους μπορεί να χαρακτηρίζονται από μικρό μέγεθος το οποίο αυξάνεται σταδιακά. Πέρα από τη περίπτωση όπου κατέχουν εξαρχής μεγάλο μέγεθος, οι εκκοιλάνσεις μπορούν να λάβουν μεγαλύτερη έκταση λόγω συνενώσεων γειτονικών κοιλοτήτων.

Για τον έλεγχο των στοιχείων σε πρώτο επίπεδο, δηλαδή σε αυτό της αντοχής σε πίεση επιφανείας, εφαρμόζεται η θεωρία Hertz. Σύμφωνα με αυτή, οι πιθανότητες σημειακής αστοχίας αυξάνονται στα μέρη του όδοντα όπου οι τάσεις λαμβάνουν την μέγιστη τιμή τους. Με τις ταχύτητες ολίσθησης να είναι οριακά μηδενικές στη κοντά στη διάμετρο του αρχικού κύκλου, παρατηρείται εκεί το μέγιστο ποσοστό διάβρωσης.

2.2.3 Είδη Οδοντωτών τροχών

Οι οδοντωτοί τροχοί χωρίζονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

- 1) Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί.
- 2) Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί.
- 3) Ατέρμονες κοχλίες – κορώνες.



Σχήμα 2.12: Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί.



Σχήμα 2.13: Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί.



Σχήμα 2.14 : Σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνα.

- **Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί**

Οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί έχουν κυλινδρική μορφή με δόντια που βρίσκονται στην εξωτερική τους περιφέρεια. Έχουν όμως διάφορα είδη μετωπικών οδοντωτών τροχών, μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθεία οδόντωση, μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί με ελικοειδή ή λοξή οδόντωση και μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί με διπλή λοξή ή τοξοειδή οδόντωση. Οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθεία οδόντωση έχουν βαθμό επικάλυψης 1 έως 2 και δεν συνιστώνται για μεγάλα φορτία λόγω του ότι κάνουν αρκετό θόρυβο και τα δυναμικά φορτία που δημιουργούν είναι και αυτά μεγάλα. Ενώ, οι μετωπικοί τροχοί με ελικοειδή ή λοξή οδόντωση έχουν μεγαλύτερο βαθμό επικάλυψης και δημιουργούν λιγότερο θόρυβο, αντιμετωπίζεται πρόβλημα με την ύπαρξη της γωνίας στην οδόντωση διότι δημιουργείται αξονικό φορτίο επί των οδοντών και έχει ως αποτέλεσμα την καταπόνηση των σταθερών δράσεων των ατράκτων. Τέλος, μπορούν να μεταφέρουν κίνηση σε παράλληλους άξονες με εξαίρεση τους τροχούς με ελικοειδή οδόντωση που πολλές φορές έχουν την δυνατότητα να μεταδώσουν κίνηση σε μη παράλληλους άξονες.

- **Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί**

Οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

- 1) Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθεία οδόντωση.
- 2) Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με ελικοειδή ή λοξή οδόντωση.
- 3) Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με τοξοειδή οδόντωση.

Οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθεία οδόντωση είναι η πιο απλούστερη μορφή, συναντώνται σε συστήματα όπου ο θόρυβος δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα, καθώς είναι θορυβώδη, και δεν απαιτούν μεγάλες ταχύτητες. Διατίθενται σε πολλά μεγέθη και η παραγωγή τους είναι φθηνότερη από τις υπόλοιπες δύο κατηγορίες. Τέλος, μεταφέρουν κίνηση σε τεμνόμενους άξονες, όπως και οι υπόλοιπες δύο κατηγορίες, αν προεκταθούν προς το εσωτερικό του τροχού τα ευθύγραμμα δόντια του τροχού θα συναντηθούν όλα με τον άξονα του τροχού στο ίδιο σημείο. Οι κωνικοί τροχοί με ελικοειδή ή λοξή οδόντωση, συστήνονται και για μεγαλύτερες ταχύτητες και όταν ο θόρυβος μπορεί να αποτελέσει σημαντικότερο παράγοντα, καθώς είναι λιγότερο θορυβώδης από τους προαναφερθέντες (XD). Δεν έχουν σημαντικές διαφορές με τους κωνικούς τροχούς με ευθεία οδόντωση εξαιρώντας την σημαντικότερη αυτή των δοντιών, αφού τα δόντια τους είναι λοξά με γωνία κλίσης. Οι κωνικοί τροχοί με τοξοειδή οδόντωση, χρησιμοποιούνται συχνά στα διαφορικά των αυτοκινήτων. Ονομάζονται έτσι διότι τα δόντια

τους έχουν σχήμα τόξου, συνήθως πέρα από την περιστροφική κίνηση, που είναι εφάμιλλη με τις δύο προηγούμενες υποκατηγορίες κωνικών τροχών, εδώ παρατηρείται και ολίσθηση κατά μήκος μιας ευθείας.

- **Ατέρμονες κοχλίες – κορώνες**

Το σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνας (οδοντωτού τροχού) χρησιμοποιείται για μεταφορά μεγάλων φορτίων και για μεγάλες σχέσεις μετάδοσης. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν ατέρμονα κοχλία, που είναι επί της ουσίας ένας κοχλίας κινήσεως καταλλήλου σπειρώματος με μία ή περισσότερες αρχές ο οποίος είναι συνεργαζόμενος με έναν οδοντωτό τροχό με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η συνεργασία τους να μοιάζει με τον τρόπο εμπλοκής ενός κοχλία με το περικόχλιο του. Οι άξονες τους είναι σχεδόν πάντα κάθετοι ενώ αν υφίσταται μπορούν να σχηματίζουν και άλλη γωνία. Στην περίπτωση που ο ατέρμονας κοχλίας είναι ο κινητήριος τροχός το σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνας χρησιμοποιείται για την μείωση στροφών ενώ στην περίπτωση που κινητήριος τροχός είναι η κορώνα (οδοντωτός τροχός) το σύστημα χρησιμοποιείται για την αύξηση των στροφών.

Βασική προϋπόθεση για την δημιουργία του ατέρμονα και κορώνας είναι η διαμόρφωση τους, από το ακριβώς όμοιο εργαλείο της φρέζας που θα χειριστεί την διαδικασία. Με σκοπό την αποφυγή του προηγούμενου, προσεγγίζεται η κατασκευή τους απλούστερα, χρησιμοποιώντας όμως γεωμετρικά την σημειακή επαφή. Με τελικό σκοπό την δημιουργία συνθηκών ελεγχόμενης παραμόρφωσης, επιλέγουμε την καταλληλότερη μέθοδο προσεγγιστικά στο επίπεδο της εργαλειομηχανής, αλλά και με την επιλογή ενός συνδυασμού υλικών τροχών που ενδείκνυται. Αυτές οι συνθήκες θα έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία κατατομών με την μεταξύ τους επαφή να εκτείνεται σε μεγάλη επιφάνεια.

Στη περίπτωση μειωτήρων ισχύος, είναι αναγκαίο η κατατομές να εμπλακούν μεταξύ τους όσο πιο στρωτά είναι δυνατόν. Έτσι η ολίσθηση μεταξύ τους, μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς φθορές με τον επακόλουθο παραμερισμό των παραμορφώσεων της ατράκτου του ατέρμονα που μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένες συνθήκες εμπλοκής.

Αξίζει να σημειωθεί πως κανονικά το στρώσιμο των κατατομών πρέπει να αποτελεί αυτοτελή φάση στο στάδιο της κατασκευαστικής διαμόρφωσης. Βέβαια, η διαδικασία είναι πολλές φορές μη συμφέρουσα οικονομικά σε αυτή την περίπτωση με αποτέλεσμα να εκτελείται σπανίως σε αυτό το στάδιο.

Οι απαιτήσεις των υλικών που αναφέρθηκαν, μπορούν να ικανοποιηθούν με τη χρήση σκληρυσμένου και λειασμένου ατσαλιού για την κατασκευή του ατέρμονα σε συνδυασμό με κρατερώματα τύπου Gz-CuSn12 ή Gz-CuSn12Ni για την κορώνα αντίστοιχα.

Στην περίπτωση χρήσης υλικών όπως μπρούτζο αλουμινίου, θα επιτευχθούν μεγαλύτερα ποσοστά αντοχής επιφανειακής πίεσης, με μειονέκτημα όμως την μη επιθυμητή συμπεριφορά στη διαδικασία του στρωσίματος. Έτσι, φαινόμενα διακυμάνσεων φορτίου καθώς και μεγαλύτερες ταχύτητες ολίσθησης λόγω τοπικών αιχμών φορτίου, θα έχουν ως αποτέλεσμα την έκθεση σε φθορά. Είναι συνηθισμένο να επιλέγεται μπρούτζος Cu-Sn έναντι με GG, μπρούτζο αλουμινίου ή ορείχαλκο για την κατασκευή της κορώνας. Με την βελτίωση του ατέρμονα λαμβάνεται βαθμός απόδοσης μικρότερου ποσοστού έναντι του σκληρυσμένου. Τέλος, σημαντικό στοιχείο ρύθμισης των απωλειών ισχύος αποτελεί ο λιπαντικός παράγοντας.

Επιπρόσθετα μέσω της μορφολογίας του πατήματος λαμβάνονται δεδομένα για την παραμόρφωση του μαλακού υλικού με απώτερο σκοπό την βέλτιστη εμπλοκή του με τον ατέρμονα. Αξίζει να σημειωθεί πως ο βαθμός απόδοσης της λειτουργίας μπορεί να αυξηθεί με τη πραγματοποίηση ενός επιμελούς στρωσίματος. Συνήθως, σε πρακτικό επίπεδο η προεργασία στον μειωτήρα διαρκεί από μία έως και πέντε ώρες, χρησιμοποιώντας πλήρες ονομαστικό φορτίο.

- **Ατέρμονας**

Οι ενανθρακωμένοι χάλυβες όπως για παράδειγμα το υλικό 16 MnCrS επιλέγονται για τη κατασκευή μειωτήρων ισχύος καθώς τα τελικά στοιχεία μετά την βαφή τους θα χαρακτηρίζονται από υψηλή σκληρότητα. Άλλη εναλλακτική είναι η χρήση επιβελτιωμένων ατσάλινων (34CrMo4, 42CrMo4), με την βαφή τους να πραγματοποιείται με χρήση επαγωγικών ρευμάτων (HRC<56).

Τέλος, στη περίπτωση κρουστικών φορτίων μικρής διάρκειας σύζευξης, οι επιβελτιωμένοι χάλυβες υπερτερούν καθώς παρουσιάζονται πιο ικανοποιητικά φαινόμενα πλαστικότητας ακόμα και χωρίς διαδικασίες βαφής επιφανείας.

- **Κορώνα**

Με σκοπό την επίτευξη μιας μεγαλύτερης αντοχής σε καταστρεπτική αστοχία και φθορά, τα κρατερώματα που προβλέπονται για την κατασκευή της κορώνας θα δημιουργηθούν από κρυσταλλικό πλέγμα μικρών κόκκων. Αρχική προϋπόθεση είναι η χρήση ενός μικρού ποσοστού νικελίου (Gz-CuSn12Ni) ενεργώντας ευνοϊκά στην κατασκευή της. Το σημαντικότερο σημείο όμως είναι η δημιουργία του λεπτόκοκκου πλέγματος μέσω φυγοκεντρικής χύτευσης (Gz-).

Αντίθετα, στη περίπτωση της απλής χύτευσης λαμβάνουμε πλέγματα με χαμηλή δομική συνοχή, με αποτέλεσμα να πρέπει να αυξηθούν οι αντοχές στις κατατομές. Σημαντικό σφάλμα προς αποφυγή είναι διατήρηση των θερμοκρασιών που ενδείκνυνται κατά την χύτευση, καθώς σε υψηλότερες τα οξεία του κασσιτέρου που δημιουργούνται οδηγούν μελλοντικά τις κατατομές σε αστοχία.

Το μαντέμι χρησιμοποιείται ως υλικό για τους τροχούς αλλά μόνο στη περίπτωση χαμηλού αριθμού στροφών, όπως σε χειροκίνητους. Στην ενότητα του υπολογισμού της επιφανειακής πίεσης, τοποθετείται ένας ενδεικτικός πίνακας για υλικά που χρησιμοποιούνται στη κατασκευή των μειωτήρων ατέρμονα – κορώνας.

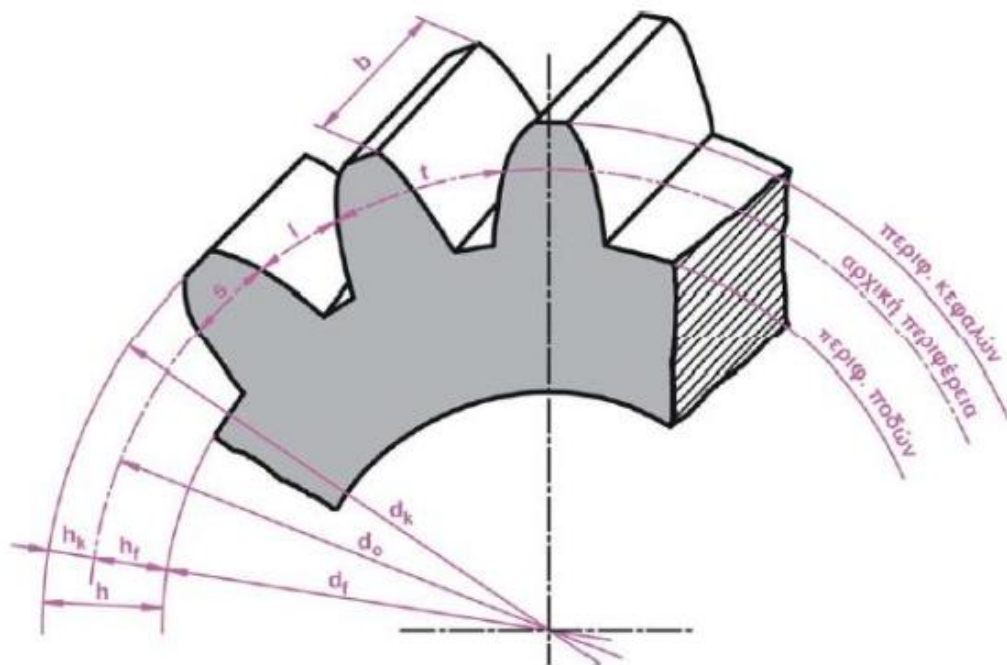
Στην εικόνα του πατήματος, παρουσιάζεται ο πιο απλός τρόπος για να εξεταστεί η συμπεριφορά ενός μειωτήρα σε λειτουργία αλλά και η αντοχή του σε φόρτιση και πιο συγκεκριμένα στις κατατομές της κορώνας τις οποίες λαμβάνουμε με μεγάλη ευκολία. Τα σημεία που ακολουθούν θεωρούνται πολύ σημαντικά:

- Η αποφυγή παραμορφώσεων ως αποτέλεσμα φορτίσεων στα άκρα του δοντιού, το πάτημα θα χρειαστεί να απλωθεί εξολοκλήρου στο ύψος και πλάτος του στοιχείου.
- Βασική προϋπόθεση για την δημιουργία ενός επίπεδου λίπανσης εντός των κατατομών, είναι η ανάπτυξη του πατήματος στο τέλος πριν από την έξοδο. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή με την ανάπτυξη του στην πλευρά της εισόδου του οδοντωτού τροχού, δημιουργούνται εντονότερες συνθήκες ολικής αστοχίας

- Στα πλαίσια αθόρυβης λειτουργίας, τα πατήματα καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια και πιο συγκεκριμένα επί της πλευράς του ποδιού της κορώνας.
- Όταν τα κρουστικά φορτία που αναπτύσσονται χαρακτηρίζονται υψηλά, θα πρέπει να είναι αναγκαίος ο περιορισμός του πατήματος σε ύψος και πλάτος ενώ παράλληλα να κατευθύνεται προς το σημείο της κεφαλής της κορώνας.
- Η τοποθέτηση του πατήματος και ο προσδιορισμός του επιθυμητού μεγέθους στους ατέρμονες κυλινδρικής μορφής, πραγματοποιούνται με κινήσεις του κοπτικού εργαλείου σε συνδυασμό με βοηθητικές ροδέλες ακρίβειας, για την αξονική μετάθεση της κορώνας.

2.2.4 Γεωμετρία οδοντωτών τροχών

Η γεωμετρία των οδοντωτών τροχών προκύπτει από την πιο απλή εκδοχή που είναι αυτή του μετωπικού οδοντωτού τροχού με ευθεία οδόντωση, στο παρακάτω Σχήμα 2.16 παρουσιάζονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 2.15: Γεωμετρία ενός οδοντωτού τροχού.

- Η περιφέρεια που διέρχεται από τις κεφαλές των δοντιών λέγεται περιφέρεια κεφαλών και η διάμετρος d_k ονομάζεται διάμετρος κεφαλής.
- Η περιφέρεια στην οποία γίνεται η εμπλοκή του κοπτικού εργαλείου και του οδοντωτού τροχού ονομάζεται διάμετρος d_o ή αλλιώς αρχική διάμετρος.
- Η διάμετρος d_f που αντιστοιχεί στη βάση των δοντιών ονομάζεται διάμετρος ποδιών.

- Το τμήμα h_k του ύψους του δοντιού, που βρίσκεται από την αρχική περιφέρεια έως την κεφαλή του δοντιού λέγεται ύψος κεφαλής.
- Το υπόλοιπο τμήμα h_f , που ξεκινάει από την αρχική διάμετρο έως τη διάμετρο του κύκλου ποδός, ονομάζεται ύψους του δοντιού.
- Ως βήμα δοντιού, ορίζεται η απόσταση t ανάμεσα σε δύο αντίστοιχα σημεία δύο γειτονικών δοντιών, όταν αυτή η απόσταση μετριέται πάνω στην αρχική περιφέρεια.
- Το τμήμα s , όπως φαίνεται στο σχήμα, λέγεται πάχος δοντιού και μετριέται πάνω στην αρχική περιφέρεια.
- Η απόσταση b ονομάζεται μήκος του δοντιού.
- Ως διάκενο του δοντιού l , ορίζεται η διαφορά του βήματος από το πάχος του δοντιού.

Σχέση μετάδοσης μεταξύ δύο οδοντωτών τροχών είναι η σχέση στις στροφές περιστροφής των δύο τροχών και συμβολίζεται με i . Η σχέση μετάδοσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$i = \frac{na}{nb}$$

όπου,

na : οι αρχικές στροφές που έχει η κινητήρια άτρακτος.

nb : οι τελικές στροφές που έχει η κινούμενη άτρακτος.

Ως μέτρο οδόντωσης (modul) m , ορίζεται το πηλίκο της αρχικής διαμέτρου (d_0) του οδοντωτού τροχού προς τον αριθμό των δοντιών του z .

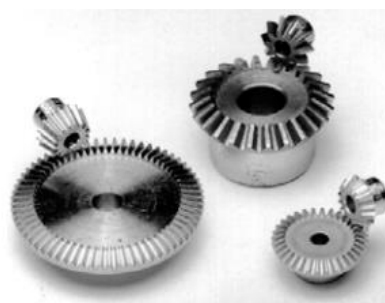
$$m = \frac{d_0}{z}$$

2.2.5 Φωτογραφικό υλικό οδοντωτών τροχών

Για την κατανόηση των προηγούμενων ενοτήτων θα παρουσιαστούν σε εικόνες όλες οι προηγούμενες υποκατηγορίες οδοντωτών τροχών,



Σχήμα 2.16: Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθεία οδόντωση (αριστερά) - Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί με ελικοειδή οδόντωση (δεξιά).



Σχήμα 2.17: Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί με τοξοειδή οδόντωση (αριστερά) - Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθεία οδόντωση (δεξιά).



Σχήμα 2.18: Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με ελικοειδή οδόντωση (αριστερά) - Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με τοξοειδή οδόντωση (δεξιά).



Σχήμα 2.19: Σύστημα ατέρμονου κοχλία – κορώνας.

2.3 Αλυσοκίνηση

2.3.1 Εισαγωγή

Η αλυσοκίνηση είναι ακόμη μια από τις μεταδόσεις κίνησης στην Μηχανολογία. Η χρήση της είναι για μεταφορά κίνησης ανάμεσα σε ατράκτους που απέχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Για την μεταφορά κίνησης χρησιμοποιούνται αλυσίδες, οι οποίες ποικίλλουν και η ανάλυση τους θα γίνει στα κεφάλαια που ακολουθούν. Συγκρινόμενη με την οδοντοκίνηση, στην αλυσοκίνηση οι συνδεόμενοι με αλυσίδα άτρακτοι να είναι παράλληλοι μεταξύ τους. Η αλυσοκίνηση είναι μια κίνηση μορφής, όπως και η οδοντοκίνηση, διότι η μετάδοση κίνησης επιτυγχάνεται μέσω της ειδικής μορφής που δίνεται στα στοιχεία που την αποτελούν. Η απλούστερη διάταξη μιας αλυσοκίνησης αποτελείται από δύο αλυσοτροχούς που είναι προσαρμοσμένοι στην κινητήρια και στην κινούμενη άτρακτο, οι οποίοι έχουν εξωτερική οδόντωση και τα δόντια τους εμπλέκονται με τα στοιχεία της αλυσίδας.

2.3.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της αλυσοκίνησης.

Η αλυσοκίνηση διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα, μέρος αυτών θα αναλυθεί σε αυτή την ενότητα. Αρχικά, δεν απαιτεί προένταση αφού η τριβή εξασφαλίζεται από την εμπλοκή των αλυσοτροχών με την αλυσίδα, πράγμα που δηλώνει πως υπερτερεί σε αυτό το κομμάτι της ιμαντοκίνησης καθώς αυτή απαιτεί και αξίζει να σημειωθεί πως χρειάζεται μικρότερο χώρο από την ιμαντοκίνηση και έχει χαμηλότερο βάρος. Η σχέση μετάδοσης της αλυσοκίνησης είναι σταθερή και ο συντελεστής τριβής της δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Διαθέτει επίσης, σχετικά υψηλό βαθμό που κυμαίνεται από 92%-99%. Μέσω της αλυσοκίνησης μπορεί να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονη κίνηση σε περισσότερες από μια ατράκτους. Όσο αναφορά το κόστος κατασκευής για μεγάλες αποστάσεις χαρακτηρίζεται οικονομικότερη λύση από την οδοντοκίνηση, λόγω της απόστασης που "κλέβει" η αλυσίδα σε σχέση με τους ενδιάμεσους οδοντωτούς τροχούς που χρειάζεται η οδοντοκίνηση. Επιπλέον, υπάρχει απόσβεση στα κρουστικά φορτία εξαιτίας της ελαστικότητας της αλυσίδας, αν συγκριθεί και σε αυτή την πτυχή με την οδοντοκίνηση είναι προτιμότερη αφού όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα κάθε αιφνίδια μεταβολή της μεταφέρεται αυτούσια από την μια άτρακτο στην άλλη. Στην ιμαντοκίνηση υπάρχει ένα ενδεχόμενο πυρκαγιάς λόγω της υπερθέρμανσης εξαιτίας της τριβής, πράγμα που δεν αποτελεί πρόβλημα για την αλυσοκίνηση.

Τέλος, σημαντικό κομμάτι είναι και η συντήρηση όπου εδώ παρατηρείται πως οι αλυσίδες έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αρκετά χαμηλό κόστος συντήρησης. Πέρα από τα πλεονεκτήματα η αλυσοκίνηση διαθέτει και κάποια μειονεκτήματα που κρίνονται σημαντικά. Το κόστος κατασκευής της αρχικά, αν συγκριθεί με αυτό της ιμαντοκίνησης, είναι αρκετά υψηλό ενώ ταυτοχρόνως και ο θόρυβος που δημιουργεί το ζεύγος των αλυσοτροχών εμπλεκόμενο με την αλυσίδα είναι αρκετά έντονος. Η σύνδεση της γίνεται μόνο μεταξύ ατράκτων που είναι παράλληλες, που αυτό δεν παύει να είναι ένας περιορισμός για συνθέτες διατάξεις.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες είναι η φθορά της αλυσίδας όπου αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ζωής της αλυσοκίνησης. Η περιορισμένη ακρίβεια στην κίνηση εξαιτίας της χάρης των στοιχείων του μελώντου ελκόμενου κλάδου. Με αντίστοιχη προένταση του ελκόμενου κλάδου μπορεί να εξουδετερωθεί, στην περίπτωση όμως αυτή θα υπάρξει μείωση του αναμενόμενου χρόνου ζωής της αλυσοκίνησης. Αυτό που παρατηρείται είναι πως το σφάλμα παραλληλότητας μεταξύ των ατράκτων είναι μικρότερο σε σχέση με την ιμαντοκίνηση αλλά μεγαλύτερο από αυτό της οδοντοκίνησης.

2.3.3 Στοιχεία Αλυσοκινήσεων.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν όλα τα στοιχεία που αποτελούν την αλυσοκίνηση. Πιο συγκεκριμένα η αλυσοκίνηση αποτελείται από τους αλυσοτροχούς και τις αλυσίδες.

Οι αλυσίδες χωρίζονται σε πέντε υποκατηγορίες :

- 1) Αλυσίδες κινήσεως.
- 2) Αλυσίδες ανυψώσεως φορτίων.
- 3) Αλυσίδες μεταφοράς.
- 4) Αλυσίδες σπαστές τύπου offset.
- 5) Αλυσίδες αγροτικών μηχανημάτων.

• Αλυσίδες κινήσεως

Οι αλυσίδες κινήσεως είναι κατάλληλες για τις αλυσοκινήσεις. Έχουν την πιο ευρεία χρήση από όλους τους υπόλοιπους τύπους αλυσίδων. Διακρίνονται σε διάφορα είδη όπως αλυσίδες κινήσεως με πείρους, αλυσίδες κινήσεως με πείρους και δαχτυλίδια, αλυσίδες κινήσεως με ράουλα και οδοντωτές αλυσίδες κινήσεως. Οι αλυσίδες αυτές, αποτελούνται από δύο είδη στοιχείων τα εσωτερικά και τα εξωτερικά, όσο αναφορά τα εσωτερικά αποτελούνται από πλευρικά ελάσματα τα οποία στερεώνονται στα άκρα των δαχτυλιδιών. Τα εξωτερικά αποτελούνται από εξωτερικά ελάσματα και πείρους, επιτυγχάνοντας έτσι την δημιουργία άρθρωσης μεταξύ αλυσίδας και αλυσοτροχών. Για να επιτευχθεί η αλυσοκίνηση θα πρέπει η αλυσίδα να έχει το ίδιο βήμα με τους αλυσοτροχούς καθώς σε άλλη περίπτωση δεν θα υπάρξει η άρθρωση που αναφέρθηκε προηγουμένως. Τέλος, υπάρχουν πολλές εκδοχές για τις αλυσίδες κινήσεως όπως για παράδειγμα οι αλυσίδες κινήσεως ευρωπαϊκών προδιαγραφών (πχ DIN8187) , οι αλυσίδες κινήσεως αμερικάνικων προδιαγραφών (πχ DIN8188), αλυσίδες αμερικάνικων προδιαγραφών βαρέου τύπου, αλυσίδες διπλού βήματος και αλυσίδες από ανοξείδωτο χάλυβα.

• Αλυσίδες ανύψωσης φορτίων

Οι αλυσίδες ανύψωσης φορτίων βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλα βάρη κυρίως σε μηχανουργία για ανύψωση φορτίων, στα λιμάνια και σε μεταφορικές εταιρείες αλλά και στην καθημερινότητα μας. Μοιάζουν με κορδέλα όπου στην αρχή και στο τέλος της έχει δύο θηλιές ή κάποιο γάντζο για περισσότερη ασφάλεια κατά την μεταφορά. Συνήθως, δένεται το τεμάχιο που επρόκειτο να μεταφερθεί με την αλυσίδα ανύψωσης και με τη χρήση κάποιου γερανού μεταφέρεται στην επιθυμητή τοποθεσία.

Στο τέλος του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν με φωτογραφικό υλικό όλοι οι παραπάνω τύποι αλυσίδων με απώτερο στόχο την καλύτερη κατανόηση του κεφαλαίου.

Η διάρκεια της ζωής μιας αλυσίδας εξαρτάται από τρεις παράγοντες : α) επιτρεπόμενη επιμήκυνση της αλυσίδας β) γωνία βήματος 2α και γ) φαινόμενο του πολυγώνου. Αναλυτικότερα, η συνήθης επιτρεπόμενη επιμήκυνση είναι 3% και για αριθμό δοντιών μεγαλύτερο του 65 μειώνεται εκθετικά. Η γωνία βήματος 2α είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την ωφέλιμη ζωή της αλυσίδας καθώς επηρεάζεται από την επιφάνεια σύμπλεξης. Η γωνία βήματος 2α δίνεται από τον τύπο $2\alpha = \frac{360}{N}$, όπου N ο αριθμός των δοντιών ενός αλυσοτροχού. Επομένως, εύκολα γίνεται κατανοητό πως όσο μεγαλύτερο αριθμό δοντιών έχει ένας αλυσοτροχός τόσο αυξημένη είναι η αντοχή του σε φθορά. Τέλος, το φαινόμενο του πολυγώνου είναι επί της ουσίας ένα πρόβλημα που δημιουργείται όταν το ράουλο της αλυσίδας εμπλέκεται στον αλυσοτροχό και τείνει να ακολουθήσει την χορδή μέχρι την επόμενη θέση ενώ ο αλυσοτροχός το ωθεί να ακολουθήσει το τόξο του κύκλου βήματος. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί σε ελάττωση της ταχύτητας και δονήσεις στα επόμενα στοιχεία της αλυσίδας, εξαρτάται και πάλι από τον αριθμό των οδοντών όποτε όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δοντιών του αλυσοτροχού τόσο μικρότερη εμφάνιση του φαινομένου του πολυγώνου υπάρχει.

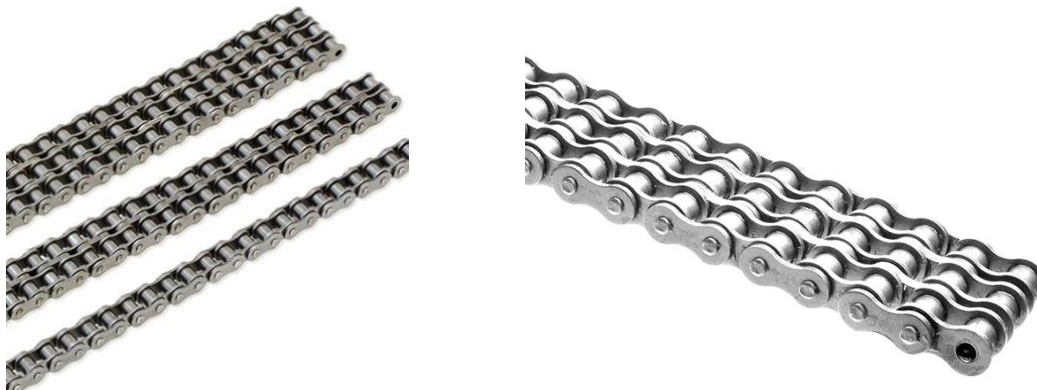
Οι αλυσοτροχοί γεωμετρικά είναι όπως τα μετωπικά γρανάζια με ευθεία οδόντωση με μόνη διαφορά την γωνία κλίσης του δοντιού που προσαρμόζεται ανάλογα με την αλυσίδα. Οι αλυσοτροχοί μπορεί να είναι μονοί ή πολλαπλοί όπου αυτό εξαρτάται από την αλυσίδα. Επομένως, χωρίζονται σε αρκετές υποκατηγορίες ανάλογα με το αν είναι μονοί ή πολλαπλοί ανάλογα πάντα με την αλυσίδα και επίσης ανάλογα με την γεωμετρία του δοντιού, θα παρουσιαστούν στην ενότητα με το φωτογραφικό υλικό οι συνηθέστεροι τύποι αλυσοτροχών που χρησιμοποιούνται. Τα υλικά κατασκευής τους είναι ο χάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας και ο χυτοσίδηρος, το υλικό κατασκευής είναι κατάλληλο ανάλογα το μέγεθος του αλυσοτροχού συνηθίζεται σε αλυσοτροχούς μικρής διαμέτρου ο χάλυβας ενώ σε αλυσοτροχούς μεγαλύτερης διαμέτρου ο χυτοσίδηρος.

2.3.4 Λίπανση και Συντήρηση αλυσοκινήσεων.

Η λίπανση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την ωφέλιμη ζωή της αλυσοκίνησης. Αφού η λίπανση ελαττώνει τις τριβές και καθαρίζει την επιφάνεια αλλά και το εσωτερικό της αλυσίδας. Η λίπανση επιτυγχάνεται με δύο τρόπους είτε με χειροκίνητη λίπανση όπως για παράδειγμα με ένα πινέλο και λιπαντικό περνώντας την ορθά πάνω από την αλυσίδα είτε αυτόματα με την χρήση κάποιου γρασαδόρου ή κάποιου συστήματος αυτόματης λίπανσης. Πολλές φορές ίσως έχει παρατηρηθεί πως σε συστήματα αλυσοκίνησης μετά από κάποιο χρονικό διάστημα υπάρχει θόρυβος ο οποίος είναι πιο έντονος από τον συνηθισμένο, όπως για παράδειγμα στην αλυσίδα του ποδηλάτου, αυτό έχει να κάνει με την συντήρηση. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να αποσυνδεθούν οι αλυσοτροχοί και η αλυσίδα και να τα καθαριστούν με πετρέλαιο, έπειτα θα γίνει λίπανση με κάποιον από τους προαναφερόμενους τρόπους και θα ξανά συνδεθεί το σύστημα. Τέλος, ακόμη ένας παράγοντας που αποτελεί καμπανάκι για την συντήρηση, είναι η σωστή ευθυγράμμιση των αλυσοτροχών διότι αν έχει

παρατηρηθεί οποιαδήποτε φθορά στα δόντια αυτών προέρχεται στην πληθώρα των περιπτώσεων από εκεί.

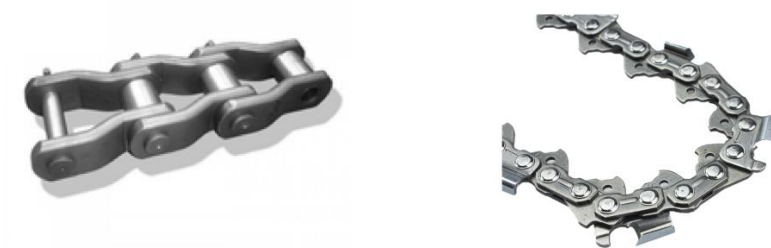
2.3.5 Φωτογραφικό υλικό αλυσοκινήσεων



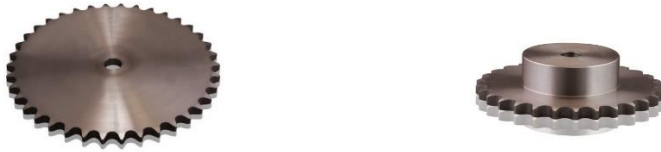
Σχήμα 2.20: Αλυσίδα κίνησης από χάλυβα (αριστερά) - Αλυσίδα κίνησης από ανοξείδωτο χάλυβα (δεξιά).



Σχήμα 2.21: Αλυσίδα ανύψωσης φορτίων (αριστερά) - Αλυσίδα μεταφοράς (δεξιά).



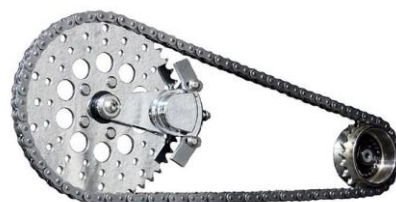
Σχήμα 2.22: Αλυσίδα σπαστή τύπου offset (αριστερά) - Αλυσίδα αγροτικών μηχανημάτων που έχει εφαρμογή σε κονταροπρίονο (δεξιά).



Σχήμα 2.23: Αλυσοτροχός μονός (αριστερά) - Αλυσοτροχός μονός με αφαλό (δεξιά)



Σχήμα 2.24: Αλυσοτροχός διπλός με αφαλό (αριστερά) - Αλυσοτροχός τριπλός με αφαλό (δεξιά)



Σχήμα 2.25: Η αλυσοκίνηση ενός ποδηλάτου (αριστερά) - Η αλυσοκίνηση ενός απλού αλυσοτροχού και ενός αλυσοτροχού με αφαλό (δεξιά).

2.4 Τριβοκίνηση

2.4.1 Εισαγωγή

Η τριβοκίνηση ανά τα χρόνια είναι γνωστή σε όλους και έχει εισβάλλει με κάποιον τρόπο, όχι απαραίτητα μηχανολογικό στις ζωές όλων. Γενικότερα, η τριβολογία είναι ένας κλάδος ο οποίος βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο σε σχέση με άλλους. Επικεντρώνεται στην σχετική κίνηση όπου εκεί υπάρχει επίδραση της τριβής, σημαντικό ρόλο παίζουν η λίπανση και η φθορά των εμπλεκόμενων τεμαχίων.

Η φθορά είναι ο κύριος παράγοντας απώλειας μηχανικής απόδοσης καθώς η φθορά προκαλείται στα τεμάχια που αλληλοεπιδρούν, επομένως φθείρονται άρα χάνουν αρκετές από

τις ιδιότητες τους και έτσι μειώνεται και η απόδοση τους, γεγονός το οποίο ανεβάζει το αρχικό κόστος μιας κατασκευής. Σε αυτό το σημείο λοιπόν, παίρνει θέση η λίπανση, η οποία με την βοήθεια της και την σωστή χρήση της έχει την δυνατότητα να μειώσει τις τριβές αλλά ακόμη και τις φθορές.

2.4.2 Λίπανση, φθορά και κόστος της τριβοκίνησης.

Η λίπανση στην τριβοκίνηση κρίνεται αναγκαία καθώς βελτιώνει τις συνθήκες αφού έχει την ικανότητα να δημιουργεί ένα στρώμα λίπανσης το οποίο βοηθά το εκάστοτε υλικό να μειώσει την φθορά του με το εμπλεκόμενο. Επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, για παράδειγμα υπάρχει η υδροδυναμική λίπανση, η στερεά λίπανση, η ελαστούδροδυναμική λίπανση και η υδροστατική λίπανση. Η απόδοση του λιπαντικού εξαρτάται από την σύνθεση του, από τα φυσικά και τα χημικά χαρακτηριστικά του. Τέλος, η υγρή λίπανση παρατηρείται πως αποτελεί ένα τεχνολογικό σε εισαγωγικά πρόβλημα το οποίο δημιουργεί κάποια περιβαλλοντικά ζητήματα που έχουν να κάνουν με τα υλικά κατασκευής αλλά και με το πως αποσυνθέτετε το απόβλητο μετά την χρήση του.

Η φθορά στην τριβοκίνηση είναι άρρητα συνδεδεμένη με την λίπανση. Αποτέλεσμα της οποίας είναι η πρόσφυση δυο σωμάτων που έρχονται σε επαφή και αυτή είναι η απλούστερη μορφή της. Τα είδη της φθοράς ποικίλλουν, για παράδειγμα υπάρχει η διαβρωτική φθορά, η οξειδωτική φθορά, η κρουστική φθορά και η διάχυτη φθορά.

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΕΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ

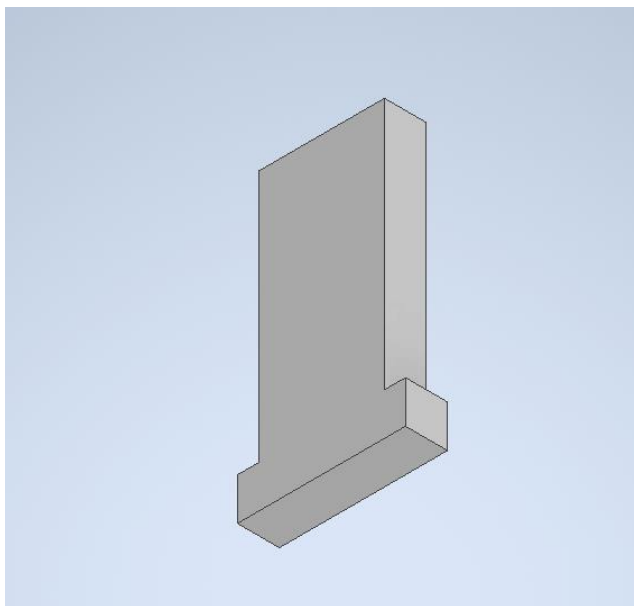
Στόχος του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η κατασκευή ενός μοντέλου, το οποίο θα αντικατοπτρίζει το εκπαιδευτικό τμήμα στο οποίο θα παρουσιάζονται όλες οι προαναφερόμενες μορφές κίνησης. Το συγκεκριμένο πρότυπο χρησιμοποιήθηκε ως μία μορφή βοήθειας για την κατασκευή του μοντέλου και παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 3.26.



Σχήμα 3.26 : Πρωτότυπο μοντέλο μετάδοσης κίνησης.

3.1 Κατασκευή βάσεων και αξόνων κύλισης

Οι βάσεις της κατασκευής δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα Siemens NX CAD και αφού ετοιμάστηκαν τα τεμάχια ως προς κατασκευή όσο αναφορά το μήκος τους, τοποθετήθηκαν στην μηχανή DMU 50 eco και σε δυο φάσεις κατεργασίας μια από κάθε πλευρά, τα παραχθέντα τεμάχια ήταν έτοιμα. Το κονδύλι που χρησιμοποιήθηκε ήταν Slot EndMill 1805931 F3AA0600AWS45 K600 της εταιρείας Kennametal με διάμετρο $\Phi 6$. Οι συνθήκες κοπής που χρησιμοποιήθηκαν είναι $n=4000\text{rpm}$ και $F=240\text{mm/min}$. Στο Σχήμα 3.27 παρουσιάζεται η βάση όσον αφορά το σχεδιαστικό κομμάτι και στο Σχήμα 3.28 παρουσιάζονται τα τελικά τεμάχια.



Σχήμα 3.27 : 3D σχέδιο βάσεων.



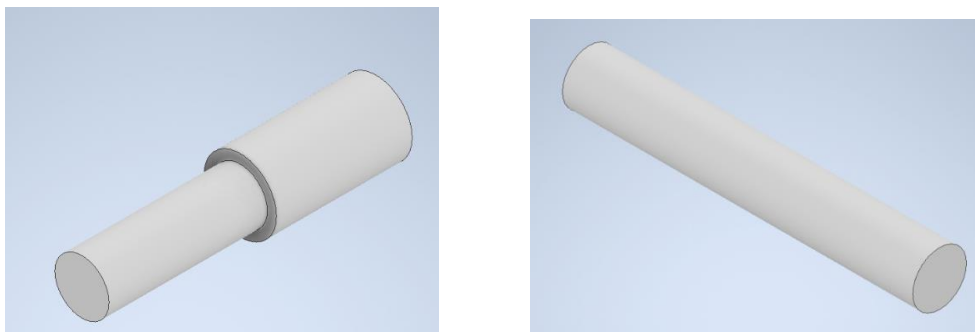
Σχήμα 3.28: Τελικά τεμάχια βάσεων.

Στην συνέχεια έγινε η σχεδίαση των αξόνων που θα δημιουργήσουν την κύλιση εντός των βάσεων και θα στηριχτούν με τη χρήση βίδας για την στήριξη των γραναζιών ή των υπολοίπων

παραχθέντων τεμαχίων. Με την βοήθεια του τόννου και του προγράμματος Siemens NX CAD/CAM δημιουργήθηκαν οι άξονες.

Η παραπάνω κατεργασία έγινε σε τρεις φάσεις, η πρώτη φάση είναι η κατεργασία μέσω της εντολής Linear Zig η οποία βοηθάει έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή εξωτερική διάμετρος, επιτυγχάνεται μέσω εγκάρσιας κυκλικής τόννευσης. Η δεύτερη φάση κατεργασίας είναι μέσω της εντολής Plunge Zig με σκοπό την δημιουργία της μικρότερης διαμέτρου του κάθε άξονα και τέλος η τρίτη φάση η οποία μέσω της εντολής Part off έγινε και η αποκοπή του τεμαχίου. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία αυτή ήταν $n=400\text{rpm}$ και $F=0.1\text{mm/min}$.

Για το δεύτερο τεμάχιο, που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.29 η κατεργασία ήταν ακριβώς ίδια εξαιρώντας την δεύτερη φάση από αυτή που αναλύθηκε για το πρώτο τεμάχιο. Στο Σχήμα 3.30 φαίνονται τα τεμάχια στην αρχική φάση της σχεδίασης τους και στο Σχήμα 3.40 και Σχήμα 3.41 βρίσκονται τα τελικά τεμάχια.



Σχήμα 3.29: 3D σχέδιο άξονα κύλισης 1(αριστερά) - 3D σχέδιο άξονα κύλισης 2 (δεξιά).



Σχήμα 3.30: Τελικό τεμάχιο άξονα κύλισης 1(αριστερά)- Τελικό τεμάχιο άξονα κύλισης 2 (δεξιά).

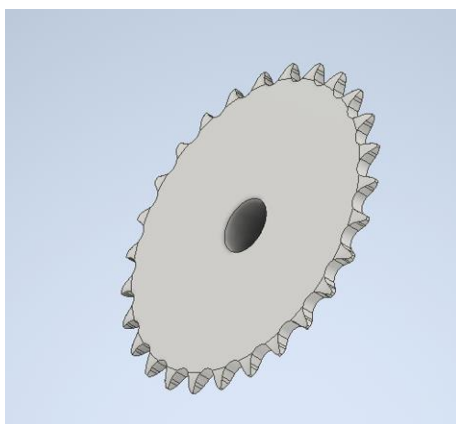
3.2 Κατασκευή γραναζιών

Για την κατασκευή των μετωπικών και των κωνικών γραναζιών με την βοήθεια του Siemens NX CAD/CAM, έγινε αρχικά η σχεδίαση τους στο πρόγραμμα και έπειτα εξήχθησαν οι κώδικες και τοποθετήθηκαν στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco. Τα απαιτούμενα τεμάχια είναι δυο κωνικά γρανάζια, δυο μετωπικά γρανάζια και δυο γρανάζια αλυσίδας. Τα δύο γρανάζια αλυσίδας θα δημιουργήσουν μέσω αλυσίδας την αλυσοκίνηση και τα μετωπικά και κωνικά γρανάζια θα έρθουν σε επαφή μεταξύ τους επιτυγχάνοντας έτσι την οδοντοκίνηση.

3.2.1 Κατασκευή γραναζιών

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η σχεδίαση των δύο όμοιων γραναζιών αλυσίδας και στην συνέχεια θα ακολουθήσει αναλυτική επεξήγηση της κατασκευής του.

Τεμάχιο Νο1



Σχήμα 3.31 : 3D σχέδιο αλυσοτροχού.

Οι κύκλοι κατεργασίας που χρειάστηκαν για την κατασκευή των γραναζιών αλυσίδας θα παρουσιαστούν σε αυτή την ενότητα. Στο παρακάτω Σχήμα 3.35 παρουσιάζεται το αρχικό τεμάχιο.



Σχήμα 3.32 : Αρχικό τεμάχιο ως προς κατασκευή.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το γρανάζι είναι χάλυβας CK45. Ο πρώτος κύκλος κατεργασίας είναι με την εντολή Cavity Mill με σκοπό την αποπεράτωση της κάτω ελεύθερης

επιφάνειας. Το κονδύλι που χρησιμοποιήθηκε για αυτή την πρώτη φάση ήταν ένα κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας έχει να κάνει με την αρχική εκχόνδριση του γραναζιού μέχρι εκεί που καταλήγει το βάθος των οδοντώσεων του, χρησιμοποιώντας και πάλι το ίδιο ακριβώς κονδύλι με την προηγούμενη φάση. Ο τρίτος κύκλος κατεργασίας δημιουργεί την οδόντωση δηλαδή είναι μια εκχόνδριση αρχικών οδοντώσεων, το κονδύλι που χρησιμοποιείται εδώ είναι κονδύλι διαμέτρου 2mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος και ο τρίτος κύκλος κατεργασίας επιτυγχάνονται και αυτοί με την εντολή Cavity Mill. Ο τέταρτος κύκλος κατεργασίας έχει σκοπό του την δημιουργία της κεντρικής τρύπας ο οποίος γίνεται με την βοήθεια της εντολής Hole Milling και με κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο πέμπτος κύκλος κατεργασίας είναι για την αποπεράτωση του περιγράμματος των δοντιών του γραναζιού γίνεται μέσω της εντολής Fixed Contour και το χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι ένα κονδύλι τύπου ball διαμέτρου 2mm. Τέλος, ο έκτος κύκλος κατεργασίας είναι η αποκόλληση του γραναζιού από το τεμάχιο.

Στο Σχήμα 3.33 παρουσιάζεται το τελικό τεμάχιο έπειτα με την όμοια διαδικασία κατασκευάστηκε και το όμοιο του γρανάζι αλλά και όλα τα υπόλοιπα. Οι βασικές του διαστάσεις είναι $\Phi 72$ η διάσταση κεφαλής το modul του γραναζιού είναι $m=2$ και τέλος ο αριθμός δοντιών είναι $N=27$. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία αυτή είναι $N=2000\text{rpm}$ και $F=240\text{mm/min}$.



Σχήμα 3.33 : Τελικό τεμάχιο αλυστοροχού.

Στην συνέχεια με την ίδια διαδικασία χωρίς να αλλάζει κανένα βήμα κατασκευάστηκαν τα υπόλοιπα γρανάζια. Θα ακολουθήσουν φωτογραφίες της σχεδίασης, των τελικών τεμαχίων και έπειτα τα μηχανολογικά τους σχέδια όπου θα παρουσιάζονται οι όλες οι διαστάσεις και οι πληροφορίες που χρειάζονται.

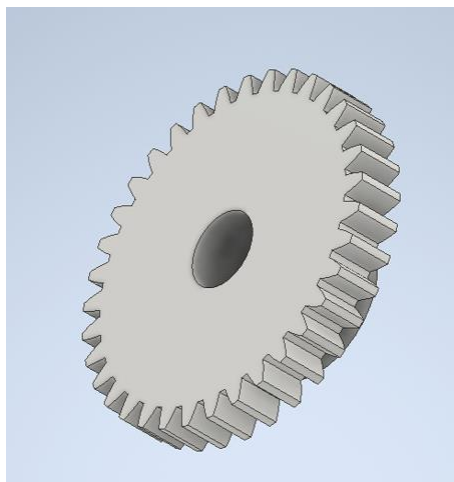
Τεμάχιο Νο2

Παρακάτω παρουσιάζεται το πρώτο μετωπικό γρανάζι που κατασκευάστηκε με την διαδικασία που επιγράφτηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

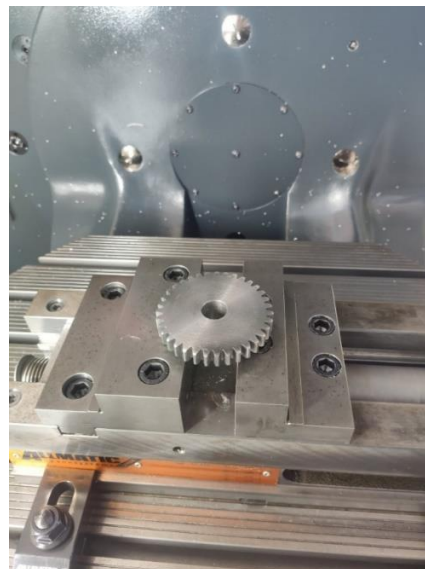
Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το γρανάζι είναι χάλυβας CK45. Ο πρώτος κύκλος κατεργασίας είναι με την εντολή Cavity Mill με σκοπό την αποπεράτωση της κάτω ελεύθερης επιφάνειας. Το κονδύλι που χρησιμοποιήθηκε για αυτή την πρώτη φάση ήταν ένα κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας έχει να κάνει με

την αρχική εκχόνδριση του γραναζιού μέχρι εκεί που καταλήγει το βάθος των οδοντώσεων του, χρησιμοποιώντας και πάλι το ίδιο ακριβώς κονδύλι με την προηγούμενη φάση. Ο τρίτος κύκλος κατεργασίας δημιουργεί την οδόντωση δηλαδή είναι μια εκχόνδριση αρχικών οδοντώσεων, το κονδύλι που χρησιμοποιείται εδώ είναι κονδύλι διαμέτρου 2mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος και ο τρίτος κύκλος κατεργασίας επιτυγχάνονται και αυτοί με την εντολή Cavity Mill. Ο τέταρτος κύκλος κατεργασίας έχει σκοπό του την δημιουργία της κεντρικής τρύπας ο οποίος γίνεται με την βοήθεια της εντολής Hole Milling και με κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο πέμπτος κύκλος κατεργασίας είναι για την αποπεράτωση του περιγράμματος των δοντιών του γραναζιού γίνεται μέσω της εντολής Fixed Contour και το χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι ένα κονδύλι τύπου ball διαμέτρου 2mm. Τέλος, ο έκτος κύκλος κατεργασίας είναι η αποκόλληση του γραναζιού από το τεμάχιο.

Στο Σχήμα 3.35 παρουσιάζεται το τελικό τεμάχιο έπειτα με την όμοια διαδικασία κατασκευάστηκε και το όμοιο του γρανάζι αλλά και όλα τα υπόλοιπα. Οι βασικές του διαστάσεις είναι $\Phi 74$ η διάσταση κεφαλής το modul του γραναζιού είναι $m=2$ και τέλος ο αριθμός δοντιών είναι $N=35$. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία αυτή είναι $N=2000\text{rpm}$ και $F=240\text{mm/min}$.



Σχήμα 3.34 : 3D σχέδιο μετωπικού οδοντωτού τροχού 1.



Σχήμα 3.35: Τελικό τεμάχιο οδοντωτού μετωπικού τροχού 1.

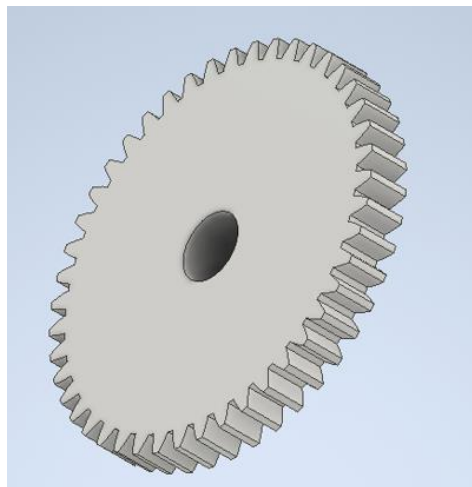
Τεμάχιο Νο3

Παρακάτω παρουσιάζεται το δεύτερο μετωπικό γρανάζι που κατασκευάστηκε με την διαδικασία που επιγράφτηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

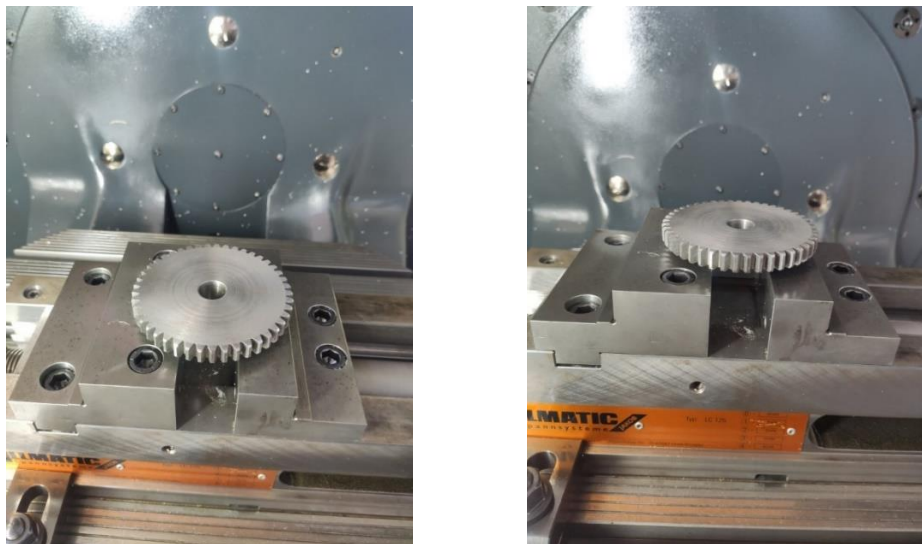
Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το γρανάζι είναι χάλυβας CK45. Ο πρώτος κύκλος κατεργασίας είναι με την εντολή Cavity Mill με σκοπό την αποπεράτωση της κάτω ελεύθερης επιφάνειας. Το κονδύλι που χρησιμοποιήθηκε για αυτή την πρώτη φάση ήταν ένα κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal.

Ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας έχει να κάνει με την αρχική εκχόνδριση του γραναζιού μέχρι εκεί που καταλήγει το βάθος των οδοντώσεων του, χρησιμοποιώντας και πάλι το ίδιο ακριβώς κονδύλι με την προηγούμενη φάση. Ο τρίτος κύκλος κατεργασίας δημιουργεί την οδόντωση δηλαδή είναι μια εκχόνδριση αρχικών οδοντώσεων, το κονδύλι που χρησιμοποιείται εδώ είναι κονδύλι διαμέτρου 2mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος και ο τρίτος κύκλος κατεργασίας επιτυγχάνονται και αυτοί με την εντολή Cavity Mill. Ο τέταρτος κύκλος κατεργασίας έχει σκοπό την δημιουργία της κεντρικής τρύπας ο οποίος γίνεται με την βοήθεια της εντολής Hole Milling και με κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο πέμπτος κύκλος κατεργασίας είναι για την αποπεράτωση του περιγράμματος των δοντιών του γραναζιού γίνεται μέσω της εντολής Fixed Contour και το χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι ένα κονδύλι τύπου ball διαμέτρου 2mm. Τέλος, ο έκτος κύκλος κατεργασίας είναι η αποκόλληση του γραναζιού από το τεμάχιο.

Στο Σχήμα 3.37 παρουσιάζεται το τελικό τεμάχιο έπειτα με την όμοια διαδικασία κατασκευάστηκε και το όμοιο του γρανάζι αλλά και όλα τα υπόλοιπα. Οι βασικές του διαστάσεις είναι $\Phi 94$ η διάσταση κεφαλής το modul του γραναζιού είναι $m=2$ και τέλος ο αριθμός δοντιών είναι $N=45$. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία αυτή είναι $N=2000\text{rpm}$ και $F=240\text{mm/min}$.



Σχήμα 3.36 : 3D σχέδιο μετωπικού οδοντωτού τροχού 2.



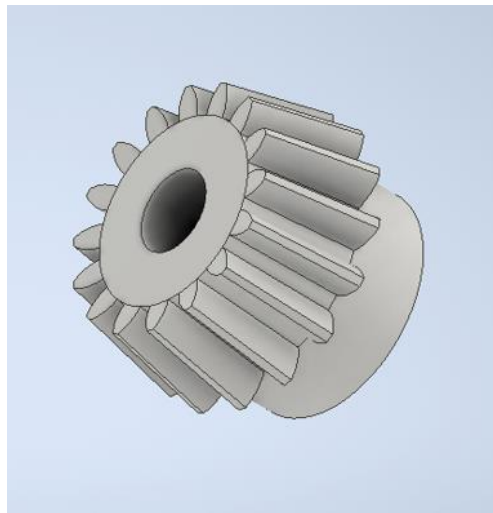
Σχήμα 3.37 : Τελικό τεμάχιο οδοντωτού μετωπικού τροχού 2.

Τεμάχιο Νο4

Παρακάτω παρουσιάζεται το πρώτο κωνικό γρανάζι που κατασκευάστηκε με την διαδικασία που επιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το γρανάζι είναι χάλυβας CK45. Ο πρώτος κύκλος κατεργασίας είναι με την εντολή Cavity Mill με σκοπό την αποπεράτωση της κάτω ελεύθερης επιφάνειας. Το κονδύλι που χρησιμοποιήθηκε για αυτή την πρώτη φάση ήταν ένα κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας έχει να κάνει με την αρχική εκχόνδριση του γραναζιού μέχρι εκεί που καταλήγει το βάθος των οδοντώσεων του, χρησιμοποιώντας και πάλι το ίδιο ακριβώς κονδύλι με την προηγούμενη φάση. Ο τρίτος κύκλος κατεργασίας δημιουργεί την οδόντωση δηλαδή είναι μια εκχόνδριση αρχικών οδοντώσεων, το κονδύλι που χρησιμοποιείται εδώ είναι κονδύλι διαμέτρου 2mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος και ο τρίτος κύκλος κατεργασίας επιτυγχάνονται και αυτοί με την εντολή Cavity Mill. Ο τέταρτος κύκλος κατεργασίας έχει σκοπό του την δημιουργία της κεντρικής τρύπας ο οποίος γίνεται με την βοήθεια της εντολής Hole Milling και με κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο πέμπτος κύκλος κατεργασίας είναι για την αποπεράτωση του περιγράμματος των δοντιών του γραναζιού γίνεται μέσω της εντολής Fixed Contour και το χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι ένα κονδύλι τύπου ball διαμέτρου 2mm. Τέλος, ο έκτος κύκλος κατεργασίας είναι η αποκόλληση του γραναζιού από το τεμάχιο.

Στο Σχήμα 3.39 παρουσιάζεται το τελικό τεμάχιο έπειτα με την όμοια διαδικασία κατασκευάστηκε και το όμοιο του γρανάζι αλλά και όλα τα υπόλοιπα. Οι βασικές του διαστάσεις είναι $\Phi 35$ η διάσταση κεφαλής το modul του γραναζιού είναι $m=2$ και τέλος ο αριθμός δοντιών είναι $N=16$. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία αυτή είναι $N=2000\text{rpm}$ και $F=240\text{mm/min}$.



Σχήμα 3.38 : 3D σχέδιο κωνικού οδοντωτού τροχού 1.



Σχήμα 3.39 : Τελικό τεμάχιο κωνικού οδοντωτού τροχού 1.

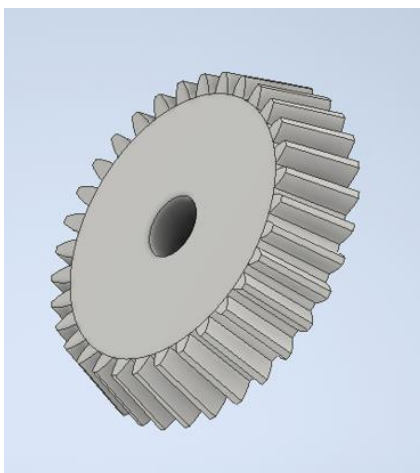
Τεμάχιο Νο5

Παρακάτω παρουσιάζεται το δεύτερο κωνικό γρανάζι που κατασκευάστηκε με την διαδικασία που επιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

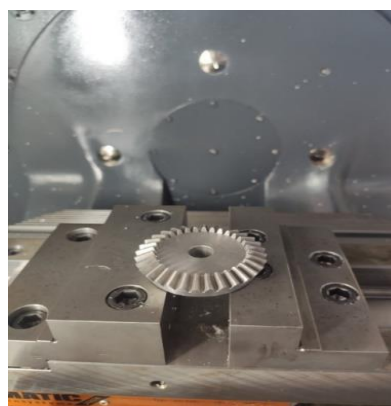
Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το γρανάζι είναι χάλυβας CK45. Ο πρώτος κύκλος κατεργασίας είναι με την εντολή Cavity Mill με σκοπό την αποπεράτωση της κάτω ελεύθερης επιφάνειας. Το κονδύλι που χρησιμοποιήθηκε για αυτή την πρώτη φάση ήταν ένα κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας έχει να κάνει με την αρχική εκχόνδριση του γραναζιού μέχρι εκεί που καταλήγει το βάθος των οδοντώσεων του, χρησιμοποιώντας και πάλι το ίδιο ακριβώς κονδύλι με την προηγούμενη φάση. Ο τρίτος κύκλος κατεργασίας δημιουργεί την οδόντωση δηλαδή είναι μια εκχόνδριση αρχικών οδοντώσεων, το

κονδύλι που χρησιμοποιείται εδώ είναι κονδύλι διαμέτρου 2mm της εταιρείας Kennametal. Ο δεύτερος και ο τρίτος κύκλος κατεργασίας επιτυγχάνονται και αυτοί με την εντολή Cavity Mill. Ο τέταρτος κύκλος κατεργασίας έχει σκοπό την δημιουργία της κεντρικής τρύπας ο οποίος γίνεται με την βοήθεια της εντολής Hole Milling και με κονδύλι διαμέτρου 10mm της εταιρείας Kennametal. Ο πέμπτος κύκλος κατεργασίας είναι για την αποπεράτωση του περιγράμματος των δοντιών του γραναζιού γίνεται μέσω της εντολής Fixed Contour και το χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι ένα κονδύλι τύπου ball διαμέτρου 2mm. Τέλος, ο έκτος κύκλος κατεργασίας είναι η αποκόλληση του γραναζιού από το τεμάχιο.

Στο Σχήμα 3.41 παρουσιάζεται το τελικό τεμάχιο έπειτα με την όμοια διαδικασία κατασκευάστηκε και το όμοιο του γρανάτζι αλλά και όλα τα υπόλοιπα. Οι βασικές του διαστάσεις είναι $\Phi 67$ η διάσταση κεφαλής το modul του γραναζιού είναι $m=2$ και τέλος ο αριθμός δοντιών είναι $N=32$. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία αυτή είναι $N=2000\text{rpm}$ και $F=240\text{mm/min}$.



Σχήμα 3.40 : 3D σχέδιο κωνικού οδοντωτού τροχού 2.



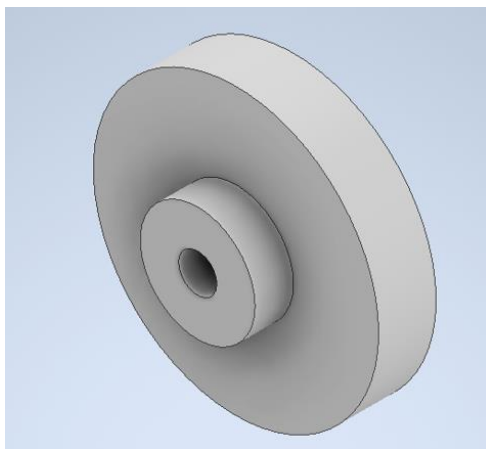
Σχήμα 3.41: Τελικό τεμάχιο κωνικού οδοντωτού τροχού 2.

Αφού ολοκληρώθηκαν και οι παραπάνω κατασκευές, αυτό που απομένει προσθετικά είναι η κατασκευή ενός τεμαχίου κυλινδρικού, με υλικό το αλουμίνιο συνδυαστικά με ένα τεμάχιο κυλινδρικού με σημαντικό υλικό το τεφλόν θέτοντας ως απώτερο την τριβοκίνηση.

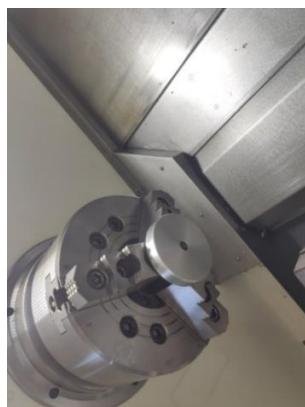
3.3 Κατασκευή δυο κυλινδρικών τεμαχίων

Τα δύο τεμάχια κατασκευάστηκαν στον τόρνο του εργαστηρίου, είναι απλούστερης μορφής από τα παραπάνω επομένως η ανάλυση θα είναι μικρότερη. Αρχικά, σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα Siemens NX CAD/CAM όπου από εκεί έγινε και η εξαγωγή του κώδικα. Η πρώτη φάση κατεργασίας και για τα δύο τεμάχια γίνεται μέσω της εντολής Linear Zig έτσι ώστε να πάρουμε την κατάλληλη εξωτερική διάμετρο. Η δεύτερη και η τελική φάση κατεργασίας είναι μέσω της εντολής Centerline – Peck Drill όπου δημιουργήθηκε μια οπή στο κέντρο του κάθε κυλινδρικού τεμαχίου. Οι συνθήκες κοπής για την κατεργασία αυτή ήταν $n=400\text{rpm}$ και $F=0.1\text{mm/min}$.

Τεμάχιο από Αλουμίνιο

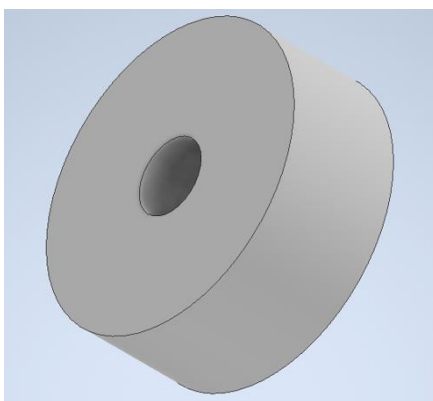


Σχήμα 3.42 : 3D σχέδιο κυλινδρικού αλουμινίου.



Σχήμα 3.43 : Τελικό τεμάχιο κυλινδρικού αλουμινίου.

Τεμάχιο από Τεφλόν



Σχήμα 3.44: 3D σχέδιο κυλινδρικού τεφλόν.



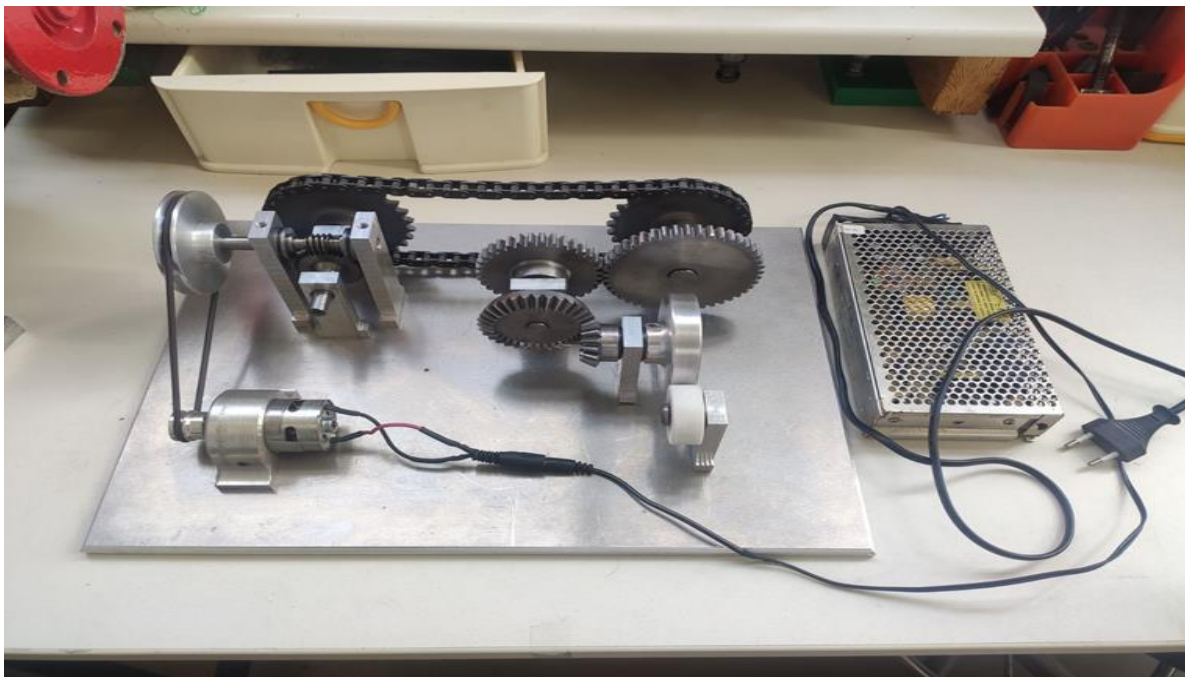
Σχήμα 3.45 : Τελικό τεμάχιο κυλινδρικού τεφλόν

3.4 Συναρμολόγηση του εκπαιδευτικού μοντέλου

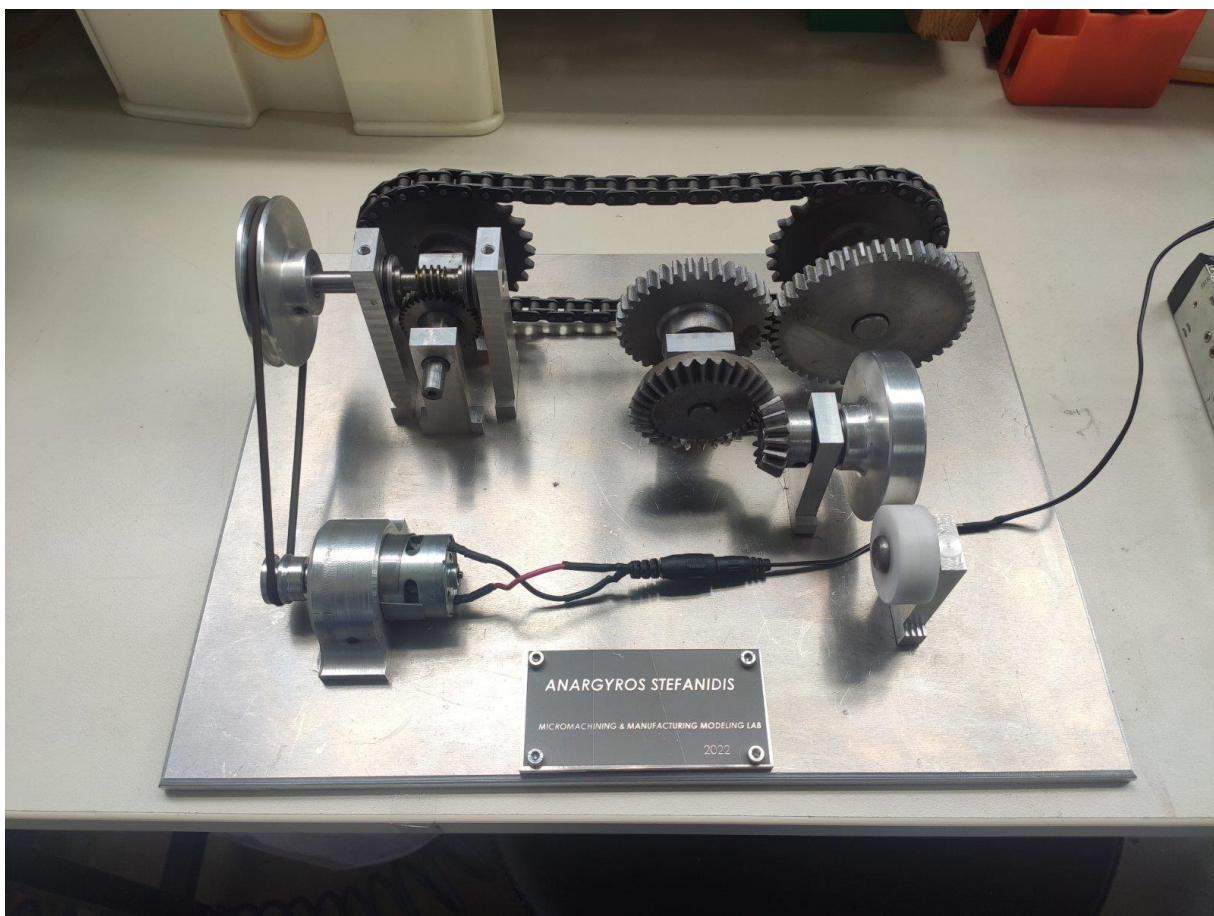
Για την συναρμολόγηση του μοντέλου, αφού είχαν συγκεντρωθεί όλα τα τεμάχια που κατασκευάστηκαν στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco και στον τόρνο του εργαστηρίου. Αγοράστηκε μια πλάκα αλουμινίου με διαστάσεις 300x200mm και πάχους 10mm. Έπειτα, αγοράστηκε ένα ηλεκτρικό μοτέρ, το οποίο θα δώσει την κύλιση σε συνδυασμό με το τροφοδοτικό που θα τοποθετείται στην πρίζα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά από το μοτέρ είναι 12V και 12000rpm. Τέλος έγινε και η αγορά τροφοδοτικού το οποίο είναι κατάλληλο για αυτό το μοτέρ έτσι ώστε αυτό να συνδέεται με το μοτέρ και στη συνέχεια με την πρίζα για περισσότερη ευκολία της διαδικασίας. Προχωρώντας την διαδικασία, έγινε αγορά 20 βιδών M5 τύπου άλλεν με σκοπό την πρόσδεση των αλουμινένιων βάσεων πάνω στην πλάκα αλουμινίου, έπειτα τοποθετήθηκε στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco όπου και έγιναν οι τρύπες χρησιμοποιώντας τρυπάνι 4mm και στην συνέχεια με κολαούζο 5X1mm δημιουργήθηκαν και τα σπειρώματα. Τέλος, αφού δέθηκαν επάνω οι βάσεις τοποθετήθηκαν τα αξονάκια κύλισης και έπειτα τα γρανάζια τα οποία στηρίζονται πάνω σε αυτά. Και το δοκίμιο

ήταν καθ' όλα έτοιμο για να τοποθετηθεί στην πρίζα. Μετά από κάποιες δοκιμές και κάποιες αλλαγές στα διάκενα των γραναζιών ήταν έτοιμο για λειτουργία.

Παραθέτω κάποιες φωτογραφίες του δοκιμίου αλλά και του πρότυπου μοντέλου που είχα στα χέρια μου με σκοπό να σχεδιάσω αυτό που κατασκευάστηκε και τέλος ένα μικρό βίντεο το οποίο δείχνει τον τρόπο κύλισης του μοντέλου.



Σχήμα 3.46 : Εκπαιδευτικό μοντέλο κινήσεων στην Μηχανολογία.



Σχήμα 3.47: Εκπαιδευτικό μοντέλο κινήσεων στην Μηχανολογία.



Σχήμα 3.48: Εκπαιδευτικό μοντέλο κινήσεων στην Μηχανολογία.

4.ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα εργασία είχε ως σκοπό την κατασκευή ενός μοντέλου κίνησης με όλες τις κινήσεις που περιλαμβάνονται στην Μηχανολογία. Αρχικά, έγινε μια εκπαίδευση η οποία είχε ως βάση το κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco και τον τόρνο Sinumeric 810D. Η συγκεκριμένη εκπαίδευση αναπτύχθηκε και αναλύθηκε στα λογισμικά της Siemens ονόματι NX12 CAD/CAM όπου σκοπός της ήταν η πλήρης κατανόηση του λογισμικού, έτσι ώστε να σχεδιαστούν και να προγραμματιστούν κομμάτια για κοπή που έπρεπε. Οι προσπάθειες για να φτάσει το τελικό τεμάχιο σε αυτή τη μορφή ήταν αρκετές και πολλές από αυτές θα χαρακτηριζόταν ως αποτυχημένες. Η διαπίστωση όμως, που έγινε είναι ότι αρκετές φορές από το σχεδιαστικό στο προγραμματιστικό περιβάλλον υπάρχουν διαφορές και για αυτό το λόγο πρέπει να υπάρχει πλήρη κατανόηση του κώδικα έτσι ώστε αποφευχθεί οποιαδήποτε ζημιά ή τραυματισμός του χειριστή. Τα μηχανολογικά σχέδια κατασκευάστηκαν στο πρόγραμμα της Autodesk Inventor. Καταλυτικά, η ευκαιρία η οποία μου δόθηκε στο πλαίσιο της εκμάθησης των μηχανημάτων CNC και των προγραμμάτων CAD/CAM μέσω του εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής προσομοίωσης (m3) ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρον και δημιουργική καθώς αντιλήφθηκα αρκετά στοιχεία από την θεωρία στην πράξη. Είμαι ευγνώμων για όλη μου την πορεία ως μηχανικός καθώς και για αυτά τα οποία διδάχθηκα και υιοθέτησα, καθώς θα αποτελέσουν ένα από τα σημαντικότερα ερεθίσματα που θα μου δώσουν το έναυσμα στο να εξελιχθώ και να φέρω εις πέρας τους στόχους τους οποίους έχω θέσει.

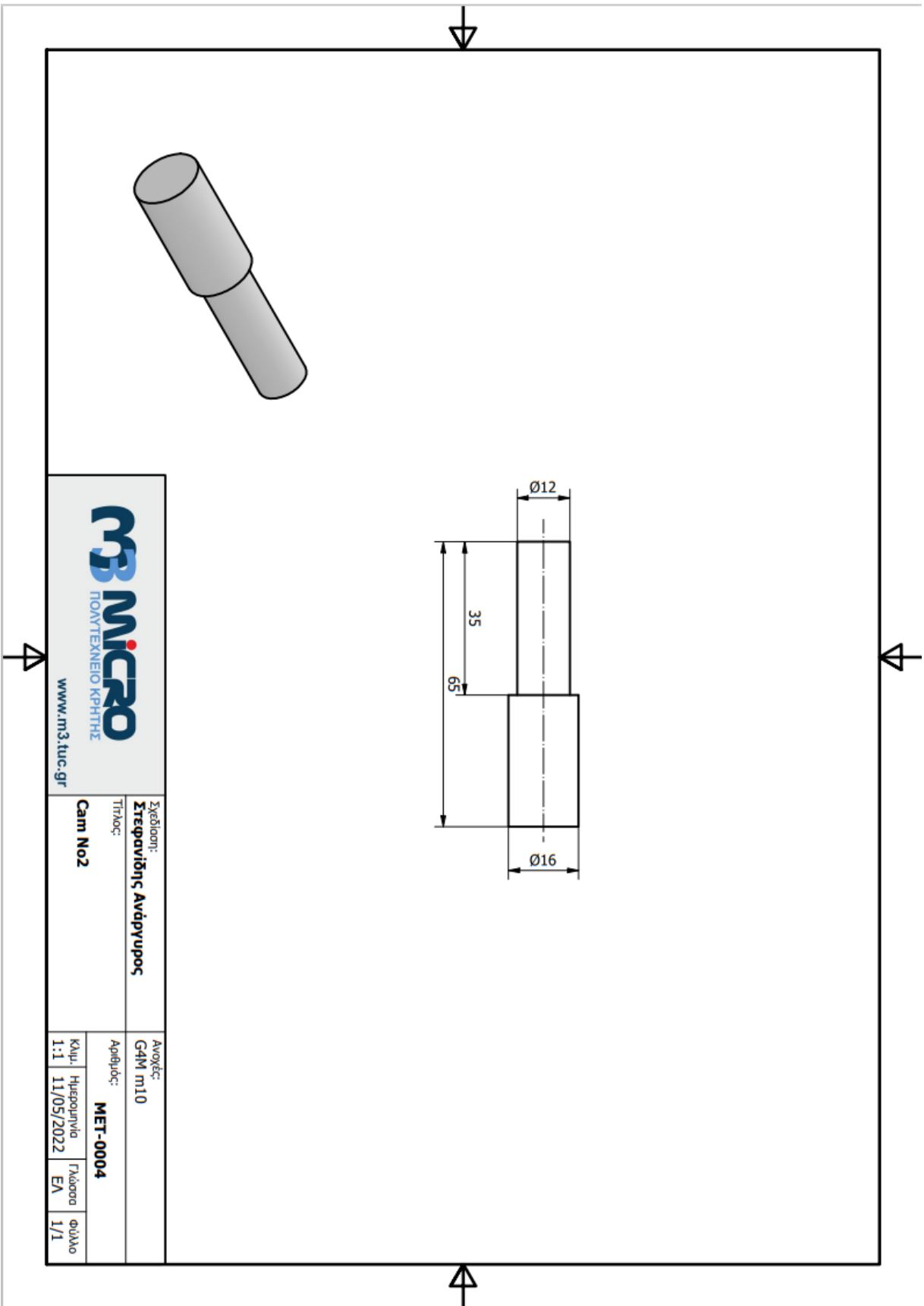
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Binder R. C., 1956, *“Mechanics of Roller Chain Drive”*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
2. Faydor I. , Fuentes A., *“Gear Geometry and applied”*, 2004
3. Kim, M. S., and Johnson G. E., 1992, *“Mechanics of Roller Chain-Sprocket Contact: General Modelling Strategy”*, DE-Vol. 43-2, International Power Transmission and Gearing Conference-Volume 2.
4. Naji, M. R., 1981, *“On Timing Belt and Roller Chain Load Distribution”*, Ph.D. Dissertation, University of Houston, Houston Texas.
5. Peter Child, *“Mechanical Design”*, 2nd Edition, 2003.
6. Rexnord , Quality Chains : *“Roller Chains , Offset Sidebar Chains , Leaf Chains”*
7. Siemens, SINUMERIK 840D sl/840D/840Di sl, *“Programming Manual Cycles (PGZ)”*, 2008
8. Siemens, SINUMERIK 840D/810D/FM-NC, *“Short Guide Programming (PGK)”*, Edition 10 , 2000
9. Siemens, SINUMERIK 840D/840Di/810D, *“Programming Guide Cycles (PGZ)”*, Edition 11.02, 2002
10. T. C. Firkbank, *“Mechanics of the Flat Belt Drive”*, 1970
11. Vibration Digest 23(4), 1991, 8–13
12. Wang, K.W. and Liu, S.P., *“On the noise and vibration of chain drive systems”*,
13. Αντωνιάδης Α., *“Μηχανολογικό Σχέδιο”*, 3η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2018
14. Βελαώρας Ι., *“Στοιχεία μηχανών”*, Τόμος Γ', 8η Έκδοση, 1995
15. Βελαώρας Ι., *“Στοιχεία μηχανών”*, 2005
16. Παπαδόπουλος Χ., *“Στοιχεία μηχανών και Στοιχεία Μεταφοράς Ισχύος”*, 2009
17. Στεργίου Ι., *“Στοιχεία μηχανών 1”* , 2003

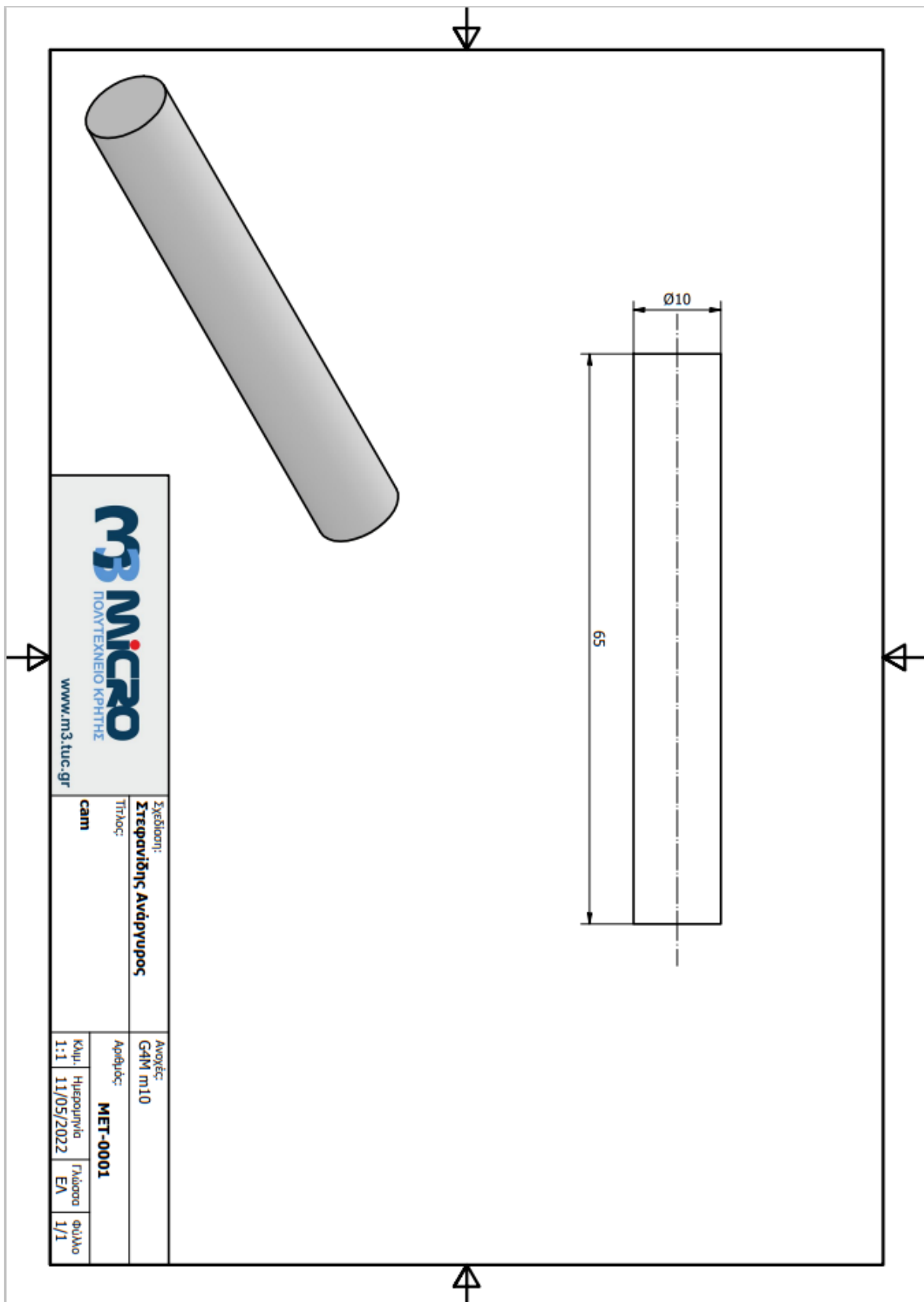
18. Στεργίου Ι., *''Στοιχεία Μηχανών 2''*, 2003
19. Στολάκη Ν., *''Οχήματα- Μεταδόσεις Κίνησης''* 2010

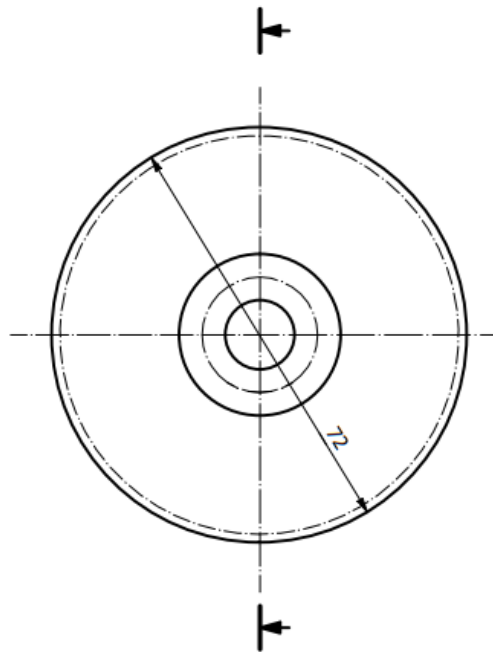
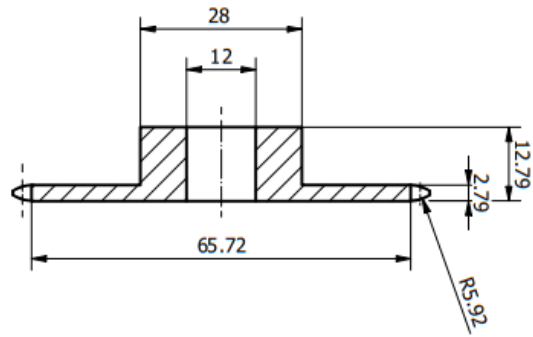
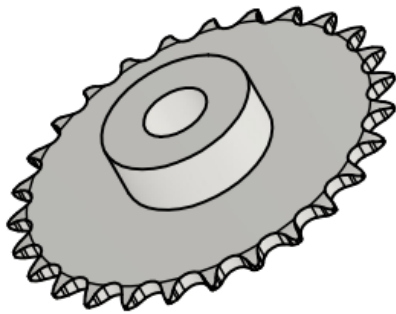
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα θα παρουσιαστούν όλα τα μηχανολογικά σχέδια από τα τεμάχια που κατασκευάστηκαν.



 ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ www.m3.tuc.gr				Σχεδιαστής: Στεφανίδης Ανδρέας				Ανοηγρ.: G4M m10			
Τίτλος: Cam No2				Αριθμός: MET-0004				Κλίμα: 1:1	Ημερομηνία: 11/05/2022	Γλώσσα: ΕΛ	Φύλλο: 1/1





 <small>ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ</small> www.m3.tuc.gr		Σχεδιαστής: Στεφανίδης Ανάργυρος		Ανοχές: G4M m10	
Τίτλος: Roller Chain Gear		Αριθμός: MET-0005		Κλίμα: 1:1	Ημερομηνία: 17/05/2022
				Έκδοση: EA	Φύλλο: 1/1

