

Τ.Ε.Ι ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

**ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΗ ΚΙΒΩΤΙΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ <<FIAT
STILO 1.2 – 16V 2001-2007>>**

ΜΕ 6 ΣΧΕΣΕΙΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΚΑΤΖΕΛΑΚΗΣ ΑΡΓΥΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Ευχαριστήριο μήνυμα

Η εργασία αυτή αφιερώνετε στον πατέρα μου Γιώργο Γκατζελάκη ο οποίος μου χορήγησε τα μηχανήματα για όλες τις κατεργασίες που έγιναν αλλά και επίσης που διέθεσε τα υλικά για τα νέα τεμάχια Τον ευχαριστώ θερμά για όλη του την πολύτιμη βοήθεια ,τη γνώση ,το χρόνο και την υπομονή που έδειξε για να πραγματοποιηθεί η εργασία αυτή.

Επιπλέον θα ήθελα εγκάρδια να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ του ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας για όλη την συνεισφορά και τη βοήθεια τους μέσα σε αυτά τα 4 χρόνια των σπουδών μου που ποτέ δεν θα ξεχάσω. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους Α. Ασημακόπουλο, Ν. Μοσχίδη και τον κύριο Δ. Σαγρή για τον χρόνο και την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφεραν σε πολλά θέματα με την εργασία αυτή αλλά και με κάθε θέμα σχετικά με το ΤΕΙ.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου για την υποστήριξη και τη βοήθειά τους για ότι είχε να κάνει με τα μαθήματα και τις εργασίες του ΤΕΙ σε αυτά τα 4 χρόνια των σπουδών μου .Κυρίως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Τρίγκα Ευθύμιο για την βοήθεια και το χρόνο που διέθεσε για ότι έχει να κάνει με αυτή την εργασία.

Σας ευχαριστώ πολύ όλους.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
Περίληψη.....	5
Abstract	6
1. Μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για τις κατεργασίες.....	7
Μηχανη για το τορνίρισμα των νέων τεμαχίων.....	7
Μηχανή για τη διάτρηση των οπών της κορώνας.....	9
Μηχανή για την κοπή των οδόντων.....	11
Μηχανή για κοπή πολύσφηνων.....	12
Μηχανή για λείανση οπών.....	13
Μηχανή λείανσης αξόνων-ατράκτων.....	14
2. Ποιοτικός έλεγχος	15
3. Υπολογισμοί.....	22
Υπολογισμός μελέτης πινίων.....	22
Υπολογισμός μελέτης κορώνας.....	24
Υπολογισμός μελέτης γραναζιού 5 ^{ης} σχέσης πρωτεύον άξονα.....	26
Υπολογισμός μελέτης 5 ^{ης} γραναζιού σχέσης δευτερεύον άξονα.....	27
Συγκεντρωτικός πίνακας με όλους τους υπολογισμούς και τα αποτελέσματα των οδοντωτών τροχών.....	31
Υπολογισμός πολύσφηνων.....	33
4. Αποσυναρμολόγηση κιβωτίου ταχυτήτων.....	36
5. Κοπή τεμαχίων ως πρώτη ύλη.....	39
6. Τόρνευση.....	40
7. Κοπή οδόντωσης.....	49
8. Θερμική Κατεργασία-Βαφή.....	62
9. Σκληρομέτρηση.....	68

10.	Λείανση	72
11.	Επανασυναρμολόγηση του κιβωτίου ταχυτήτων.	76
12.	Δοκιμή του κιβωτίου στο ειδικά συναρμολογμένο και σχεδιασμένο δοκιμαστήριο και ολοκλήρωση κατεργασιών.....	78
13.	Συμπεράσματα	80
14.	Βιβλιογραφία.....	81
	Ιστοσελίδες (links)	81

Περίληψη

Το εν λόγω κιβώτιο βρισκόταν στον εργαστηριακό χώρο Ανυψωτικών και Μεταφορικών Μηχανών του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας. Επίσης είναι δωρεά στο τμήμα κάποιου σπουδαστή του ιδρύματος, και η αρχική τοποθέτηση και παρουσίαση της λειτουργίας του με τις αστοχίες που υπήρχαν ήταν αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας του.

Διατέθηκε λοιπόν προς ανακατασκευή λόγω των αστοχιών που είχε και μεταφέρθηκε στο Μηχανουργείο ‘Ευάγγελος Γκατζελάκης&Υιός’. Σκοπός ήταν το κιβώτιο να γίνει και πάλι λειτουργικό. Οι αστοχίες που διαγνώστηκαν ήταν στην 5^η σχέση και στην τελική σχέση του διαφορικού (κορώνα-πινιόν) των οποίων τα γρανάζια είχαν σπάσει. Έτσι λοιπόν το κιβώτιο αποσυναρμολογήθηκε, καθαρίστηκε και διαγνώστηκε για περαιτέρω αστοχίες που τελικά δεν υπήρξαν. Στη συνέχεια σειρά είχε η κατασκευή νέων γραναζιών της 5^{ης} και της τελικής σχέσης. Έτσι λοιπόν νέα τεμάχια κόπηκαν στο αυτόματο πριόνι ως πρώτη ύλη μετά τις απαραίτητες μετρήσεις που έγιναν στο κιβώτιο πχ διάμετροι αποστάσεις κτλ. Τα νέα τεμάχια πέρασαν από τις απαραίτητες κατεργασίες για να έχουν τις απαιτούμενες τελικές διαστάσεις, ανοχές και την τελική τους μορφή για να μπορούν να λειτουργούν χωρίς πρόβλημα στο κιβώτιο. Τα τεμάχια πέρασαν διαδοχικά από τις εργαλειομηχανές : Τόρνο, κάθετη πλάνη, γραναζοκόπτη και κάθετο κέντρο κατεργασίας. Επίσης έγινε θερμική κατεργασία (βαφή-ενανθράκωση) και σκληρομέτρηση για την εξακρίβωση της επιθυμητής σκληρότητας των τεμαχίων και της αντοχής αντίστοιχα. Επιπλέον τα νέα γρανάζια πέρασαν και από λειαντικές μηχανές για την επίτευξη της επιθυμητής επιφάνειας και της ακριβής διαστασιολόγησης τους. Μετά το κιβώτιο επανασυναρμολογήθηκε και τοποθετήθηκε στο ειδικά διαμορφωμένο δοκιμαστήριο για κιβώτια ταχυτήτων και ελέγχθηκε για τη σωστή λειτουργία του. Η λειτουργία του ήταν σωστή όπως και η αλλαγές των σχέσεων. Τέλος να αναφερθεί ότι κατασκευάστηκε επίσης ένας χειροποίητος μοχλός και τοποθετήθηκαν άξονες στην έξοδο περιστροφής του κιβωτίου για την ευκολία περιστροφής του άξονα του κιβωτίου και για να γίνεται διακριτή η αλλαγή των σχέσεων στο κιβώτιο αντίστοιχα . Το κιβώτιο επέστρεψε στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας ως λειτουργικό κιβώτιο ταχυτήτων για εκθεσιακή χρήση.

Abstract

This gearbox was located in the Laboratory of Lifting and Transport Machinery of TEI of Central Macedonia. It is also a graduate work of an institution's student.

It was therefore rebuilt due to his failures and was transferred to the "Evangelos Gatzelakis & Son" Machine Shop. The purpose was to make the box operational again. The faults that were diagnosed were in the 5th gear and in the final gear of the differential (crown-pinion) whose sprockets were broken. So the box was disassembled, cleaned and diagnosed for further failures that were not. The next series was the construction of new gears of the 5th and the final gear. Thus new pieces were cut into the automatic saw as a raw material after necessary measurements made in the box eg. diameters distances etc. The new pieces have gone through the necessary machining to have the required final dimensions, tolerances and their final form so that they can operate smoothly in the gearbox. The pieces passed sequentially from the machine tools: Lath, Vertical Bolt, Gun Cutter and Vertical Machining Center. Heat treatment (dye-carbonation) and hardness were also performed to determine the desired hardness of the pieces and the strength, respectively. In addition, the new gears have also been driven by abrasive machines to achieve the desired surface and accurately dimension them. After the box was reassembled and placed in the specially designed test case for gearboxes and checked for its proper operation. His function was just as the changes in relationships. Finally, it has been reported that a hand-operated lever was also constructed and shafts were placed at the rotation outlet of the box for ease of rotation of the axle of the box and to distinguish the relationship of the gear box respectively. The box returned to the TEI of Central Macedonia as a functional gearbox for exhibition use.

1. Μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για τις κατεργασίες.

Μηχανη για το τρνίρισμα των νέων τεμαχίων.



Εικόνα 1: Τόρνος CNC.

Εταιρία:DOOSAN.

Μοντελο:Lynx 300.

Χρονολογία:2015

Η μηχανή αυτή διαθέτει 2 αξονες κίνησης(X,Z) και μια περιστροφική (main spindle). Η εταιρία Doosan κατασκευάζει CNC μηχανές στην Κορέα οι οποίες ελέγχονται και συναρμολογούνται στη Γερμανία για ευρωπαϊκές απαιτήσεις πελατών.

Τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μηχανής είναι τα εξής:

Ισχύς	20HP
Μέγιστος αριθμός στροφών	3500 RPM
Μέγιστη διάμετρο του τσοκ	450mm
Μέγιστο μήκος τεμαχίου	765mm
Διαδρομή Άξονα X	255mm
Διαδρομή Άξονα Z	790mm
Ροπή	191Nm
Control	FANUC I Series

Μηχανή για τη διάτρηση των οπών της κορώνας.



Εικόνα 2: Κάθετο κέντρο κατεργασίας CNC.

Εταιρία:DOOSAN.

Μοντέλο:DNM 400 II

Χρονολογία:2014

Είναι η ίδια εταιρία που έχει κατασκευάσει και τον τόρνο. Η εν λόγω μηχανή διαθέτει 3 άξονες κίνησης(X,Y,Z) και μια περιστροφής της κύριας άτρακτου (main spindle) του άξονα Z.

Τα χαρακτηριστικά της είναι:

Ισχύς	24.8HP
Μέγιστος αριθμός στροφών	12000RPM
Μήκος Τράπεζας	920mm
Διαδρομή Άξονα X	762mm
Διαδρομή Άξονα Y	435mm
Διαδρομή Άξονα Z	510mm
Ροπή	118Nm
Control	FANUC I Series

Μηχανή για την κοπή των οδόντων



Εικόνα 3: Γραναζοκόπτης.

Εταιρία: Pfauter, Μοντέλο: P 400, Χρονολογία: 1974

Η εταιρία Pfauter κατασκευάζει μηχανές για κοπή οδόντωσης και εδρεύεται στη Γερμανία.

Χαρακτηριστικά:

Ισχύς	3.6HP
Μέγιστη διάμετρο	400mm
Μέγιστο ύψος τεμαχίου	250mm
Μέγιστος αριθμός στροφών	180RPM
Μέγιστο modul	8mm

Μηχανή για κοπή πολύσφηνων



Εικόνα 4:Κατακόρυφη πλανη.

Η συγκεκριμένη πλάνη είναι παλινδρομική και χρησιμοποιείται για κοπή πολύσφηνων ,εσωτερικής οδόντωσης ,σφυνότοπων κ.α.

Εταιρία:CAMS, Μοντέλο:200, Χρονολογία:1994

Η εταιρία CAMS εξειδικεύεται στην κατασκευή εργαλειομηχανών κυριώς για κοπή οδώντων και συγκεκριμένα εσωτερικής οδόντωσης.Η εταιρία είναι Ιταλική.

Χαρακτηριστικά:

Ισχύς	3HP
Μέγιστος αριθμός στροφών	120RPM
Μέγιστη Διάμετρο	500mm
Μέγιστο ύψος τεμαχίου	200mm

Μηχανή για λείανση οπών.



Εικόνα 5: Λειαντική μηχανή οπών.

Η συγκεκριμένη μηχανή χρησιμοποιείται για τη γενικότερη λείανση οπών με βασικό χαρακτηριστικό τις πολλές στροφες που μπορεί να πάρει.

Εταιρία: TOS, Μοντέλο: BDU 25, Χρονολογία: 1986

Η τσέχικη εταιρία TOS είναι ένας κολοσσός που παράγει εργαλειομηχανές για κάθε είδους κατεργασία.

Χαρακτηριστικά:

Ισχύς	5.4 HP
Μέγιστος αριθμός στροφών	13000 RPM
Μέγιστη διάμετρο	250mm
Μέγιστο μήκος τεμαχίου	250mm

Μηχανή λείανσης αξόνων-ατράκτων.



Εικόνα 6: Λειαντική μηχανή για άξονες.

Εταιρία:FLLI RIBON, Μοντέλο:J 250, Χρονολογία:1989

Η εταιρία FLLI RIBON εδρεύεται στην Ιταλία και παράγει μόνο λειαντικές μηχανές.

Χαρακτηριστικά:

Ισχύς	7.4 HP
Μέγιστος αριθμός στροφών	3000RPM
Μέγιστη διάμετρο	250mm
Μέγιστο μήκος τεμαχίου	1700mm

2. Ποιοτικός έλεγχος

Μετά από κάθε κατεργασία απαιτείται ο ποιοτικός έλεγχος του κάθε τεμαχίου για την εξακρίβωση των σωστών διαστάσεων αλλά και ανοχών. Επίσης γίνεται έλεγχος για τυχόν αστοχία στις διαστάσεις που θα προκαλέσει πρόβλημα στην επανασυναρμολόγηση του κιβωτίου.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τον ποιοτικό έλεγχο είναι τα εξής:

Παχύμετρο, βασικό όργανο για την μέτρηση διαστάσεων οπών, διαμέτρων και αποστάσεων.

Βαθύμετρο: όργανο για τη μέτρηση βάθους οπών



Εικόνα 7: Παχύμετρο.



Εικόνα 8: Βαθόμετρο.



Εικόνα 9: Μικρόμετρο εξωτερικής διαμέτρου.

Μικρόμετρο εκωτερικής διαμέτρου: Πολύ βασικό όργανο για τη μέτρηση ανοχών στις εξωτερικές διαμέτρους. Χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των κούλουρων κόνων των γραναζιών (εκεί που τοποθετούνται τα συχρονίζε) αλλά και σε διαμέτρους που τοποθετείται ρουλμάν.



Εικόνα 10: Μικρόμετρο οπών.

Μικρόμετρο οπών: Όπως και το μικρόμετρο εξωτερικών διαμέτρων είναι πολύ βασικό για τις ανοχές των διαστάσεων. Χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των οπών των γραναζιών που τοποθετείται ρουλιμάν.



Εικόνα 11: Σπειρώμετρο.

Σπειρώμετρο: Όργανο μέτρησης σπειρωμάτων. Χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του σπειρώματος του πινίου. Να αναφερθεί ότι το σπείρωμα του πινίου είναι αριστερό.



Εικόνα 12: Μικρόμετρο με πιατάκια.

Μικρόμετρο με πιατάκια: Πάρα πολύ βασικό όργανο μέτρησης των δοντιών για την μέτρηση της αρχικής διαμέτρου των γραναζιών για ένα συγκεκριμένο αριθμό δοντιών.



Εικόνα 13: Όργανα μέτρησης

3. Υπολογισμοί.

Φυσικά δεν μπορούσαν να λείπουν οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την κοπή των οδοντώσεων. Μετά την αποσυναρμολόγηση του κιβωτίου πάρθηκαν οι εξής μετρήσεις:

- 1) Αριθμός δοντιών των 2 γραναζιών της 5^{ης} σχέσης αλλά και της κορώνας με το πινόν.
- 2) Αξονική απόσταση των σχέσεων από το κουτί του κιβωτίου.
- 3) Γωνίες κλίσεις της ελικοειδούς οδόντωσης κατά προσέγγιση με το μοιρογνωμόνιο.
- 4) Κατασκευαστικές διαμέτροι οδοντωτών τροχών.
- 5) Σχέσεις μετάδοσης της 5^{ης} και της τελικής σχέσης.
- 6) Πλάτη δοντιών.

Υπολογισμός μελέτης πινίων.

Τα δεδομένα μετά της απαραίτητες μετρήσεις που έγιναν είναι:

Διάμετρος κεφαλών: $d_k=49.7\text{mm}$

Αριθμός δοντιών: $z=14$

Κλίση οδόντωσης: $\beta=31^\circ$

Αξονική απόσταση: $a=105\text{mm}$ μετά από μέτρηση του κουτιού το κιβωτίου.

Υπολογισμοί υπόλοιπων μεγεθών και αποτελέσματα μετρήσεων

1) Κάθετο module:

$$m_n = \frac{d_k * \sigma \nu \beta}{z + 2 * \sigma \nu \beta} = \frac{49.7 * \sigma \nu 31^0}{14 + 2 * \sigma \nu 31^0} \Rightarrow m_n = 2.71\text{mm}$$

όπου $m_{n\text{τυπ}}=2.5\text{mm}$ τυποποίηση με τόσο module θα είναι και τα 2 γρανάζια ώστε να συνεργάζονται.

2) Μετωπικό module:

$$m_s = \frac{m_n}{\sigma_{\nu\beta}} = \frac{2.5}{\sigma_{\nu 31^0}} \Rightarrow m_s = 2.92mm$$

3) Βήμα οδόντων κάθετο:

$$t_n = m_n * \pi \Rightarrow t_n = 2.5 * \pi \Rightarrow t_n = 7.85mm$$

4) Βήμα οδόντων μετωπικό:

$$t_s = m_s * \pi \Rightarrow t_s = 2.92 * \pi \Rightarrow t_s = 9.168mm$$

5) Αρχική διάμετρος:

$$d_o = z * m_s \Rightarrow d_o = 14 * 2.92 \Rightarrow d_o = 40.88mm$$

6) Διάμετρος κεφαλών:

$$d_k = d_o + (2 * m_n) \Rightarrow d_k = 40.88 + (2 * 2.5) \Rightarrow d_k = 45.88mm$$

7) Ύψος κεφαλής:

$$h_k = m_n \Rightarrow h_k = 2.5mm$$

8) Ύψος ποδιού δοντιού:

$$h_f = 1.166 * m_n \Rightarrow h_f = 1.166 * 2.5 \Rightarrow h_f = 2.915mm$$

9) Ύψος δοντιού:

$$H=2.166*mn \Rightarrow h=2.166*2.5=.h=5.415\text{mm}$$

10) Πλάτος δοντιού μετά από μέτρηση:

$$b=26\text{mm}$$

11) Διάμετρος ποδιών:

$$Df=d_o-(2*hf) \Rightarrow df=40.88-(2*2.915) \Rightarrow df=35.05\text{mm}$$

Υπολογισμός μελέτης κορώνας.

Διάμετρος κεφαλών: $D_k=172.5\text{mm}$

Αριθμός δοντιών: $Z=57$

Κλίση οδόντων: $\beta=31^\circ$

Αξονική απόσταση: $a=105\text{mm}$ μετά από μέτρηση του κουτιού το κιβωτίου.

Υπολογισμοί υπόλοιπων μεγεθών

1) Κάθετο module:

$$m_n = \frac{d_k * \sigma \nu \beta}{z + 2 * \sigma \nu \beta} = \frac{172.5 * \sigma \nu 31^\circ}{57 + 2 * \sigma \nu 31^\circ} = 2.5\text{mm}$$

$$mn_{\tau\pi}=2.5\text{mm}$$

2) Μετωπικό module:

$$ms=mn/\sigma \nu \beta \Rightarrow ms=2.5/\sigma \nu 31^\circ \Rightarrow ms=2.92\text{mm}$$

3) Βήμα οδόντων κάθετο:

$$T_n = m_n \cdot \pi \Rightarrow T_n = 2.5 \cdot \pi \Rightarrow T_n = 7.85 \text{ mm}$$

4) Βήμα οδόντων μετωπικό:

$$T_s = m_s \cdot \pi \Rightarrow T_s = 2.92 \cdot \pi \Rightarrow T_s = 9.168 \text{ mm}$$

5) Αρχική διάμετρος:

$$D_o = Z \cdot m_s \Rightarrow D_o = 57 \cdot 2.92 \Rightarrow D_o = 166.44 \text{ mm}$$

6) Διάμετρος κεφαλών:

$$D_k = D_o + (2 \cdot m_n) \Rightarrow D_k = 166.44 + (2 \cdot 2.5) \Rightarrow D_k = 171.44 \text{ mm}$$

7) Ύψος κεφαλής:

$$H_k = m_n \Rightarrow H_k = 2.5 \text{ mm}$$

8) Ύψος ποδιού δοντιού:

$$H_f = 1.166 \cdot m_n \Rightarrow H_f = 1.166 \cdot 2.5 \Rightarrow H_f = 2.915 \text{ mm}$$

9) Ύψος δοντιού:

$$H = 2.166 \cdot m_n \Rightarrow H = 2.166 \cdot 2.5 = H = 5.415 \text{ mm}$$

10) Πλάτος δοντιού μετά από μέτρηση:

$$b = 25 \text{ mm}$$

11) Διάμετρος ποδιών:

$$Df = d_o - (2 * H_f) \Rightarrow Df = 171.44 - (2 * 2.915) \Rightarrow Df = 165.61 \text{ mm}$$

Υπολογισμός μελέτης γραναζιού 5^{ης} σχέσης πρωτεύον άξονα.

Τα δεδομένα μετά της απαραίτητες μετρήσεις που έγιναν είναι:

Διάμετρος κεφαλών: $dk_1 = 73.05 \text{ mm}$

Αριθμός δοντιών: $z_1 = 35$

Κλίση οδόντων: $\beta = 32^\circ$

Αξονική απόσταση: $a = 65 \text{ mm}$ μετά από μέτρηση του κουτιού το κιβωτίου.

Υπολογισμοί υπόλοιπων μεγεθών:

1) Κάθετο module:

$$mn_1 = dk_1 * \cos \beta / (z_1 + 2 \sin \beta) \Rightarrow 73.05 * \cos 32^\circ / (35 + 2 \sin 32^\circ) \Rightarrow mn_1 = 1.68 \text{ mm}$$

$mn_{\text{τοπ}} = 1.5 \text{ mm}$ για να συνεργάζεται με το γρανάζι του δευτερεύον άξονα.

2) Μετωπικό module:

$$ms_1 = mn / \cos \beta \Rightarrow ms_1 = 1.5 / \cos 32^\circ \Rightarrow ms_1 = 1.76 \text{ mm}$$

3) Βήμα οδόντων κάθετο:

$$tn_1 = mn_1 * \pi \Rightarrow tn_1 = 1.5 * \pi \Rightarrow tn_1 = 4.71 \text{ mm}$$

4) Βήμα οδόντων μετωπικό:

$$ts_1 = ms * \pi \Rightarrow ts_1 = 1.76 * \pi \Rightarrow ts_1 = 5.526 \text{ mm}$$

5) Αρχική διάμετρος:

$$d_{o1} = z_1 * m_{s1} \Rightarrow d_{o1} = 35 * 1.76 \Rightarrow d_{o1} = 61.6 \text{ mm}$$

6) Διάμετρος κεφαλών:

$$d_{k1} = d_o + (2 * m_n) \Rightarrow d_{k1} = 61.6 + (2 * 1.5) \Rightarrow d_{k1} = 64.6 \text{ mm}$$

7) Ύψος κεφαλής:

$$h_{k1} = m_n \Rightarrow h_{k1} = 1.5 \text{ mm}$$

8) Ύψος ποδιού δοντιού:

$$h_{f1} = 1.166 * m_n \Rightarrow h_{f1} = 1.166 * 1.5 \Rightarrow h_{f1} = 1.749 \text{ mm}$$

9) Ύψος δοντιού:

$$h_1 = 2.166 * m_n \Rightarrow h_1 = 2.166 * 1.5 = h_1 = 3.249 \text{ mm}$$

10) Πλάτος δοντιού μετά από μέτρηση:

$$b = 12.9 \text{ mm}$$

11) Διάμετρος ποδιών:

$$d_{f1} = d_o - (2 * h_{f1}) \Rightarrow d_{f1} = 64.6 - (2 * 1.749) \Rightarrow d_{f1} = 61.1 \text{ mm}$$

Υπολογισμός μελέτης 5^{ης} γραναζιού σχέσης δευτερεύον άξονα.

Τα δεδομένα μετά της απαραίτητες μετρήσεις που έγιναν είναι:

Διάμετρος κεφαλών: $d_{k2} = 65.8 \text{ mm}$

Αριθμός δοντιών: $z_2 = 39$

Κλίση οδόντων: $\beta=32^\circ$

Αξονική απόσταση: $a=65\text{mm}$

Υπολογισμοί υπόλοιπων μεγεθών

1) Κάθετο module:

$$mn_2 = dk_2 \cdot \sin\beta / (z_2 + 2\sin\beta) \Rightarrow 65.8 \cdot \sin 32^\circ / (39 + 2\sin 32^\circ) \Rightarrow mn_2 = 1.37\text{mm}$$

$$mn_{\tau\pi} = 1.5\text{mm}$$

2) Μετωπικό module:

$$ms_2 = mn_2 / \sin\beta \Rightarrow ms_2 = 1.5 / \sin 32^\circ \Rightarrow ms_2 = 1.76\text{mm}$$

3) Βήμα οδόντων κάθετο:

$$tn_2 = mn_2 \cdot \pi \Rightarrow tn_2 = 1.5 \cdot \pi \Rightarrow tn_2 = 4.71\text{mm}$$

4) Βήμα οδόντων μετωπικό:

$$ts_2 = ms_2 \cdot \pi \Rightarrow ts_2 = 1.76 \cdot \pi \Rightarrow ts_2 = 5.526\text{mm}$$

5) Αρχική διάμετρος:

$$do_2 = z \cdot ms_2 \Rightarrow do_2 = 39 \cdot 1.76 \Rightarrow do_2 = 68.64\text{mm}$$

6) Διάμετρος κεφαλών:

$$dk_2 = do_2 + (2 \cdot mn_2) \Rightarrow dk_2 = 68.64 + (2 \cdot 1.5) \Rightarrow dk_2 = 71.64\text{mm}$$

7) Ύψος κεφαλής:

$$hk_2 = mn_2 \Rightarrow hk_2 = 1.5\text{mm}$$

8) Ύψος ποδιού δοντιού:

$$hf_2 = 1.166 \cdot mn_2 \Rightarrow hf_2 = 1.166 \cdot 1.5 \Rightarrow hf_2 = 1.749\text{mm}$$

9) Ύψος δοντιού:

$$h_2 = 2.166 * m n_2 \Rightarrow h_2 = 2.166 * 1.5 = h_2 = 3.249 \text{ mm}$$

10) Πλάτος δοντιού μετά από μέτρηση:

$$b = 12.9 \text{ mm}$$

11) Διάμετρος ποδιών:

$$d f_2 = d o_2 - (2 * h f_2) \Rightarrow d f_2 = 71.64 - (2 * 1.749) \Rightarrow d f_2 = 68.14 \text{ mm}$$

Να αναφερθεί ότι έχει βρεθεί η γωνία-κλίση της λοξής οδόντωσης με τον εξής μαθηματικό ακόλουθο τύπο:

Για την γωνία λοξής οδόντωσης της κορώνας και του πινιόν ισχύει ότι:

$$z = 14$$

$$Z = 57$$

$$m n_{\text{τοπ}} = 2.5 \text{ mm}$$

$$a = 105 \text{ mm} \text{ άρα}$$

$$a = \frac{m_n * (z_1 + z_2)}{2 * \cos \beta} \Rightarrow \cos \beta = \frac{m_n * (z_1 + z_2)}{2a} = \frac{2.5 * (14 + 57)}{2 * 105} \Rightarrow \beta = 31^\circ$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε την γωνία λοξής οδόντωσης των γραναζιών της 5^{ης} σχέσης.

$$z_1 = 35$$

$$z_2 = 39$$

$$m n_{\text{τοπ}} = 1.5 \text{ mm}$$

$$a = 65 \text{ mm}$$

$$a = \frac{m_n * (z_1 + z_2)}{2 * \cos \beta} \Rightarrow \cos \beta = \frac{m_n * (z_1 + z_2)}{2a} = \frac{1.5 * (35 + 39)}{2 * 65} \Rightarrow \beta = 32^\circ$$

Κατά τη διάρκεια της κοπή της οδόντωσης των γραναζιών υπήρξε ένα σφάλμα κατά την κατεργασία που προκάλεσε στα δόντια υποκοπή. Με αποτέλεσμα η οδόντωση να είναι εξασθενημένη και τα δόντια των γραναζιών να είναι στο επιθυμητό πάχος. Το σφάλμα ήταν ότι στο γρανάζι της 5^{ης} σχέσης του δευτερεύον άξονα να ξεπεράσει το επιθυμητό ύψος δοντιού με αποτέλεσμα να υπάρχει υποκοπή.

Συγκεντρωτικός πίνακας με όλους τους υπολογισμούς και τα αποτελέσματα των οδοντωτών τροχών

Διαστάσεις(mm)	Πινιόν	Κορώνα	Γρανάζι 5ης πρωτεύον	Γρανάζι 5ης δευτερεύον
z	14	57	35	59
b	26	25	12.9	12.9
mn	2.71	2.51	1.68	1.37
ms	3.16	2.92	1.98	1.61
mn _{τοπ}	2.5	2.5	1.5	1.5
tn	8.513	7.885	5.277	4.301
ts	9.927	9.173	6.22	5.057
do	44.24	166.54	69.3	62.79
dk	49.66	171.56	72.66	65.53
df	37.92	165.7	65.3	59.59
hk	2.71	2.51	1.68	1.37
hf	3.159	2.926	1.958	1.579
h	5.869	5.436	3.638	2.967
β	31°	31°	32°	32°

Οι σχέσεις μετάδοσης της τελικής σχέσης (κορώνα-πινιόν) αλλά και της 5^{ης} σχέσης είναι οι εξής:

$$i_{τελ} = Z/z = 57/14 \Rightarrow i_{τελ} = 4.07$$

$$i_5 = Z5/z5 = 39/35 \Rightarrow i_5 = 1.11$$

Οι μετρήσεις που έγιναν για την οδόντωση των γραναζιών την ώρα τις κατεργασίας για τον ποιοτικό έλεγχο και της για τις απαιτούμενες διαστάσεις των δοντιών με τη βοήθεια του μικρόμετρου με τα πιατάκια είναι:

Πινιόν	Για $z=3$	$L=34.87\text{mm}$
Κορώνα	Για $Z=11$	$L=80.91\text{mm}$
Γρανάζι 5 ^{ης} πρωτεύον άξονα	Για $z5ης=6$	$L=25.4\text{mm}$
Γρανάζι 5 ^{ης} δευτερεύον άξονα	Για $z5ης=7$	$L=30.2\text{mm}$

Όπου το L είναι η απόσταση των δοντιών που μετρήθηκαν για τους παραπάνω αριθμούς δοντιών.

Η μετατόπιση κατατομής είναι μηδενική ($\chi_1+\chi_2=0$) στα γρανάζια και έτσι δεν αναφέρεται κάποιος υπολογισμός περαιτέρω.

Υπολογισμός πολύσφηνων

Στα πολύσφηνα στην περιφέρεια του πινιόν το μόνο που αλλάζει είναι ο αριθμός δοντιών τους διότι το module παραμένει το ίδιο σε όλα:

Οι υπολογισμοί είναι :

1° πολύσφηνο

1) Διάμετρος κεφαλών

$$dk=23.2\text{mm μετά από μέτρηση}$$

2) Αριθμός δοντιών

$$z=21$$

3) Module

$$m=dk/(z+2)\Rightarrow m=23.2/23\Rightarrow m=1.008\text{mm άρα } m_{\text{τυπ}}=1\text{mm}$$

4) Αρχική διάμετρος

$$do=m*z\Rightarrow do=1*21\Rightarrow do=21\text{mm}$$

5) Ύψος δοντιού

$$H=m=1\text{mm}$$

2° Πολύσφηνο

1) Διάμετρος κεφαλών

$$dk=27.2\text{mm}$$

2) Αριθμός δοντιών

$$z=25$$

3) Module

$$m=dk/(z+2)\Rightarrow m=27.2/27\Rightarrow m=1.007\text{mm άρα } m_{\text{τυπ}}=1\text{mm}$$

4) Αρχική διάμετρος

$$d_o = m \cdot z \Rightarrow d_o = 1 \cdot 25 \Rightarrow d_o = 25 \text{ mm}$$

5) Ύψος δοντιού

$$H = m = 1 \text{ mm}$$

3° Πολύσφηνο

1) Διάμετρος κεφαλών

$$d_k = 30.4 \text{ mm}$$

2) Αριθμός δοντιών

$$z = 28$$

3) Module

$$m = d_k / (z + 2) \Rightarrow m = 30.4 / 30 \Rightarrow m = 1.01 \text{ mm} \quad \text{άρα } m_{\text{τυπ}} = 1 \text{ mm}$$

4) Αρχική διάμετρος

$$d_o = m \cdot z \Rightarrow d_o = 1 \cdot 28 \Rightarrow d_o = 28 \text{ mm}$$

5) Ύψος δοντιού

$$H = m = 1 \text{ mm}$$

4° Πολύσφηνο

1) Διάμετρος κεφαλών

$$d_k = 34.9 \text{ mm}$$

2) Αριθμός δοντιών

$$z = 32$$

3) Module

$$m = dk / (z + 2) \Rightarrow m = 34.9 / 34 \Rightarrow m = 1.09 \text{ mm} \quad \text{\acute{a}\rho\alpha} \quad m_{\text{τυπ}} = 1 \text{ mm}$$

4) Αρχική διάμετρος

$$d_o = m * z \Rightarrow d_o = 1 * 32 \Rightarrow d_o = 32 \text{ mm}$$

5) Ύψος δοντιού

$$H = m = 1 \text{ mm}$$

Οπότε μετά από τους υπολογισμούς έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

1 ^ο πολύσφηνο	$z=21$	$m_{\text{τυπ}}=1 \text{ mm}$	$dk=23.2 \text{ mm}$	$d_o=21 \text{ mm}$	$h=1 \text{ mm}$
2 ^ο πολύσφηνο	$z=25$	$m_{\text{τυπ}}=1 \text{ mm}$	$dk=27.2 \text{ mm}$	$d_o=25 \text{ mm}$	$h=1 \text{ mm}$
3 ^ο πολύσφηνο	$z=28$	$m_{\text{τυπ}}=1 \text{ mm}$	$dk=30.4 \text{ mm}$	$d_o=28 \text{ mm}$	$h=1 \text{ mm}$
4 ^ο πολύσφηνο	$z=32$	$m_{\text{τυπ}}=1 \text{ mm}$	$dk=34.9 \text{ mm}$	$d_o=32 \text{ mm}$	$h=1 \text{ mm}$

Σημείωση*: Το πολύσφηνο του γραναζιού της 5^{ης} σχέσης του δευτερεύον άξονα κατασκευάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να εισέρχεται στο πρώτο πολύσφηνο του πινιόν δηλαδή με το ίδιο module και αριθμό δοντιών.

Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τους παραπάνω υπολογισμούς είναι απο το βιβλίο «Μηχανουργική Τεχνολογία» του Λ. Λαζαρίδη

4. Αποσυναρμολόγηση κιβωτίου ταχυτήτων.



Εικόνα 14. Αποσυναρμολόγηση του κιβωτίου ταχυτήτων.

Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία το κιβώτιο έχει αποσυναρμολογηθεί για τις ανάγκες ελέγχου και εξακρίβωσης των αστοχιών. Όλα τα εξαρτήματα έχουν καθαριστεί και τοποθετηθεί σε σειρά ώστε να αναγνωρίζεται η ακριβής θέση τους κατά την επανασυναρμολόγηση του. Τα εξαρτήματα έχουν καθαριστεί και έχουν απομακρυνθεί όλες οι ακαθαρσίες με ειδικό υγρό καθαρισμού για την αποφυγή οξείδωσης τους.



Εικόνα 15Α. Διάγνωση και εξακρίβωση αστοχιών.

Κατά τη διάγνωση βρέθηκε αστοχία στο ζευγάρι της 5^{ης} σχέσης του κιβωτίου όπως φαίνεται. Η οδόντωση των οδοντωτών τροχών έχει εξασθενήσει και έχει σπάσει. Επίσης έχουν παρατηρηθεί και εκκοιλάνσεις στις επιφάνειες των δοντιών.

Αστοχία επίσης διαγνώστηκε στην τελική σχέση του κιβωτίου και συγκεκριμένα στο ζευγάρι κορώνας-πινιόν όπου η οδόντωση επίσης έχει φθαρεί και έχει σπάσει όχι όμως σε τέτοιο βαθμό όσο της 5^{ης} σχέσης. Επίσης έχουν παρατηρηθεί και εκκοιλάνσεις στην επιφάνεια των δοντιών.



Εικόνα 15β. Διάγνωση και εξακρίβωση αστοχιών.



Εικόνα 16. Η αστοχία και η φθορά στο πινιόν.

Το πινιόν όπως φαίνεται έχει εξασθενήσει και έχει σπάσει κατά τη συνεργασία του με την κορόνα.

5. Κοπή τεμαχίων ως πρώτη ύλη



Εικόνα 17. Έναρξη κοπής νέων τεμαχίων στο αυτόματο πριόνι ως πρώτη ύλη για την κατασκευή νέων ζευγαριών οδοντωτών τροχών.

Όπως φαίνεται στη φωτογραφία στο αυτόματο πριόνι κόβεται το νέο πινιόν που θα κατασκευαστεί. Το πριόνι έχει 300 RPM κατά την κοπή με πρόωση 0.1 mm/rev. Με τον ίδιο τρόπο έχουν κοπεί και τα άλλα τεμάχια ως πρώτη ύλη για το ζευγάρι της 5^{ης} σχέσης και για την κορόνα ώστε να ακολουθήσει η κατεργασία τους.

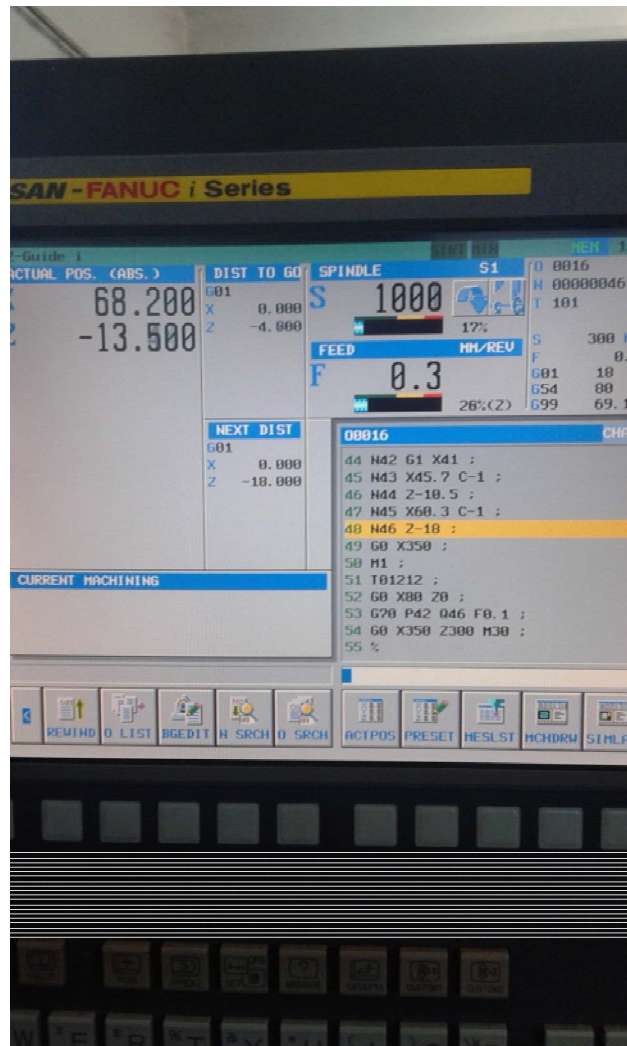
6. Τόρνευση



Εικόνα 18. Έναρξη κατεργασίας του νέου πινιόν στον CNC τόρνο.

Το τεμάχιο του νέου πινιόν έχει τοποθετηθεί στον τόρνο για να πραγματοποιηθεί το τελικό σχήμα-προφίλ ώστε μετά να περάσει στις επόμενες κατεργασίες.

Το σχήμα του πινιόν είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 19. Συνθήκες κοπής τόρνου.

Οι συνθήκες κοπής που εκλέχθηκαν κατά την κοπή του πινιόν στον CNC τόρνο, είναι όπως φαίνεται και στο καντράν του CNC τόρνου:

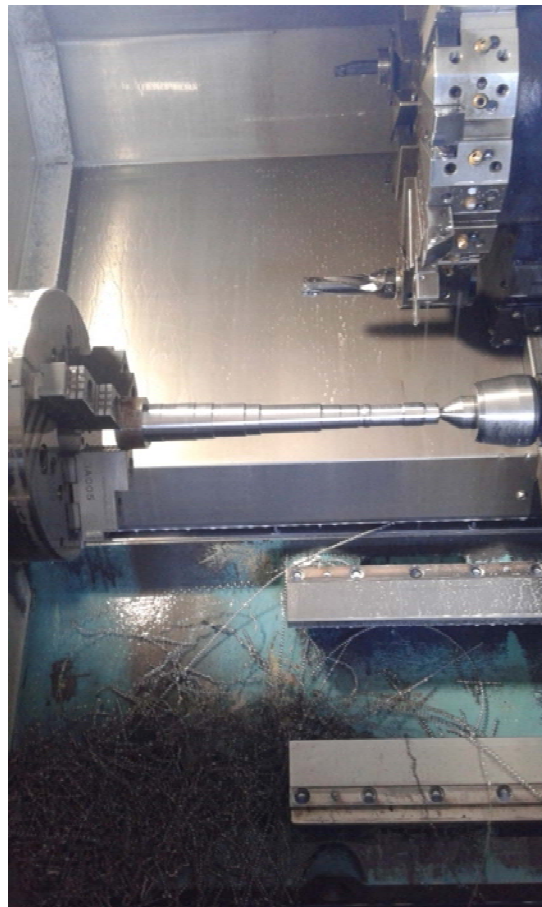
Στροφες:1000 RPM

Πρώση:0.3 mm/rev

Βάθος κοπής:1.5 mm

Στη φωτογραφία επίσης φαίνεται και ο κώδικας G που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του σχήματος του νέου πινιόν.

Το τελικό αποτέλεσμα μετά την τórνευση είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 20.Τελικό αποτέλεσμα μετά την τórνευση.

Έπειτα από το φινίρισμα(αποπεράτωση) του τόνου φαίνεται το τελικό σχήμα-προφίλ του νέου πινιόν.

Οι συνθήκες κοπής που εκλέχθηκαν για την πραγματοποίηση του φινιρίσματος(αποπεράτωσης) είναι :

Στροφες:1200 RPM

Προωση:0.1 mm/rev

Βάθος κοπής:0.2 mm



Εικόνα 21.Έναρξη κατεργασίας κοπής της νέας κορώνας στον CNC τόρνο.

Με τον ίδιο τρόπο αλλά με διαφορετικό τρόπο πιασίματος του τεμαχίου η κατεργασία της κορώνας για το τελικό σχήμα-προφίλ της φαίνεται στην παραπάνω φωτογραφία. Οι συνθήκες κοπής που εκλέχθηκαν για την τόννευση της νέας κορώνας είναι:

Στροφες:1000 RPM

Πρώση:0.3 mm/rev

Βάθος κοπής:1.5mm

Οι συνθήκες κοπής για φινίρισμα είναι οι ίδιες με αυτές του πινιόν.

Το αποτέλεσμα έπειτα από το φινίρισμα(αποπεράτωση) της νέας κορώνας είναι το εξής:



Εικόνα 22: Τελική μορφή κορώνας μετά τις κατεργασίες κοπής σε τόρνο



Εικόνα 23. Έναρξη κατεργασίας κοπής του νέου ζευγαριού της 5ης σχέσης στον CNC τόρνο.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η κοπή των οδόντων του πινιόν και της κορώνας επίσης. Με ένα πιάσιμο στον τόρνο όπως φαίνεται στη φωτογραφία πραγματοποιείται η κοπή του πρώτου οδοντωτού τροχού της 5^{ης} σχέσης του κιβωτίου. Οι συνθήκες κοπής που εκλέχθηκαν είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την κοπή της κορώνας και του πινιόν. Δηλαδή:

Στροφες:1000 RPM

Πρώση:0.3 mm/rev

Βάθος κοπής:1.5 mm

Για φινίρισμα(αποπεράτωση) εκλέχθηκαν: Στροφες:1200 RPM

Προωση:0.1 mm/rev

Βάθος κοπής:0.2 mm

Έτσι δίνεται το τελικό σχήμα-προφίλ του γκρανιζιού το οποίο είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 24. Τελικό αποτέλεσμα του νέου οδοντωτού τροχού της 5ης σχέσης του κιβωτίου μετά από τη μορφοποίηση του στον CNC τόρνο.

Ο δεύτερος νέος οδοντωτός τροχός του ζευγαριού της 5^{ης} σχέσης κατασκευάστηκε και κόπηκε με τον ίδιο τρόπο στον CNC τόρνο με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες κοπής για ξεχόντρισμα και φινίρισμα αντίστοιχα.

Μετά την κατεργασία των τεμαχίων στον τόρνο θα ακολουθήσει η κοπή της οδόντωσης τους είτε εξωτερική είτε εσωτερική. Από ότι φαίνεται τα τεμάχια είναι έτοιμα για την κοπή της οδόντωσης τους.



Εικόνα 25. Τελικό αποτέλεσμα του δεύτερου νέου οδοντωτού τροχού της 5ης σχέσης του κιβωτίου μετά από τη μορφοποίηση του στον CNC τόρνο.



Εικόνα 26. Αποτελέσματα μετά την τόνρευση.

7. Κοπή οδόντωσης



Εικόνα 27. Κοπή οδόντωσης (πολύσφηνο) του πινιόν.

Σε αυτή τη φωτογραφία φαίνεται ότι το πινιόν έχει πιαστεί στην παλινδρομική NC μηχανή που ονομάζεται κάθετη πλάνη για να πραγματοποιηθεί το πολύσφηνο που φέρει στην πάνω περιφέρεια του. Επίσης το πινιόν έχει κεντραριστεί ώστε να ισογυρίζει προς τον κατακόρυφο άξονα της μηχανής κατά τη διάρκεια της κοπής.

Η διαίρεση κοπής κάθε δοντιού γίνεται αυτόματα με τη βοήθεια του υπολογιστή που διαθέτει η μηχανή μιας και είναι numerically controlled (NC).



Εικόνα 28.Επιλογή αυτόματης διαίρεσης στο καντράν της NC μηχανής .

Οι υπολογισμοί για την κοπή του πολύσφηνου θα αναφερθούν πιο κάτω.

Οι συνθήκες κοπής για την οδόντωση είναι:

Στροφές παλινδρόμησης:100 RPM.

Πρόωση:0.2 mm/rev.

Βάθος κοπής :1mm ακτινικά του πινιόν.



Εικόνα 29. Τελικό αποτέλεσμα του νέου πινιόν μετά την κοπή του πολύσφηνου.

Εδώ φαίνεται πως το πολύσφηνο έχει πραγματοποιηθεί και το νέο πινιόν είναι έτοιμο για την κοπή της αριστερής φοράς ελίκωσης που έχει.

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο πραγματοποιείται η εσωτερική οδόντωση-πολύσφηνου του γραναζιού της 5^{ης} σχέσης με της ίδιες συνθήκες κοπής:

Στροφές παλινδρόμησης: 100 RPM.

Πρόωση: 0.2 mm/rev.

Βάθος κοπής : 1mm ακτινικά του γραναζιού.



Εικόνα 30. Κοπή αριστερόστροφης οδόντωσης του νέου πινιόν.

Σε αυτή φωτογραφία απεικονίζεται το νέο πινιόν που είναι πιασμένο στο τσόκ της συμβατικής μηχανής που ονομάζεται γραναζοκόπτης. Η μηχανή αυτή έχει ρυθμιστεί για της ανάγκες της κοπής της οδόντωσης του νέου πινιόν, δηλαδή έχει ρυθμιστεί η σχέση μετάδοσης της μηχανής ανάλογα με τα δόντια που απαιτεί να έχει το νέο πινιόν. Επίσης έχει ρυθμιστεί η σχέση μετάδοσης για την αριστερόστροφη φορά που έχει το νέο πινιόν αλλά και για την κλήση σε μοίρες που έχει. Το νέο πινιόν όπως φαίνεται με τη βοήθεια του μετρητικού εργαλείου κεντράρεται ώστε να ισογυρίζει ως προς τον κατακόρυφο άξονα της μηχανής για την σωστή κοπή της οδόντωσης του.

Οι συνθήκες κοπής που εκλέχθηκαν για την κοπή της οδόντωσης είναι οι εξής:

Στροφές: 70 RPM.

Πρόωση: 50 mm/min.

Βάθος κοπής : ανάλογα με το module.

Το κοπτικό που χρησιμοποιείται ονομάζεται hob και αυτή η κατεργασία ονομάζεται hobbing όπου η κοπή των δοντιών γίνεται μια και έξω και όχι ένα-ένα δόντι. Η εν λόγω μηχανή (γρναζοκόπτης) είναι η εξής:



Εικόνα 31. Pfauter gear hobber.

Το τελικό αποτέλεσμα μετά και την κοπή της αριστερόστροφης οδόντωσης το νέου πινιόν είναι:



Εικόνα 32. Τέλος κατεργασιών για το νέο πινιόν .

Το νέο πινιόν είναι έτοιμο για θερμική κατεργασία.



Εικόνα 33. Έναρξη κοπής οδόντωσης κορώνας στο γραναζοκόπτη.

Η κορώνα βρίσκεται σφιγμένη σε ένα ειδικά διαμορφωμένο άξονα και έχει κεντραριστεί με το μετρητικό ρολόι ως προς τον κατακόρυφο άξονα της για την ανάγκη της κοπής της οδόντωσης της. Η κορώνα φέρει δεξιόστροφη οδόντωση για να συνεργάζεται με το πινίον.

Όπως φαίνεται στην φωτογραφία το κοπτικό εργαλείο έχει 'πάρει' κλίση ως προς τις μοίρες τις οποίες έχει η κεκλεισμένη οδόντωση της κορώνας. Για να επιτευχθεί αυτό έχει ρυθμιστεί κατάλληλα η μηχανή σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αναφέρονται παρακάτω.

Οι συνθήκες κοπής που εκλέχθηκαν για την κοπή της οδόντωσης της κορώνας είναι οι εξής:

Στροφές:70 RPM.

Πρόωση:50 mm/min.

Βάθος κοπής :ανάλογα με το modul.

Το τελικό αποτέλεσμα μετά το τέλος της κατεργασίας αυτής είναι:



Εικόνα 34.Ολοκληρωμένη νέα κορώνα .



Εικόνα 35. Έναρξη κοπής οδόντωσης 1ου γραναζιού της 5ης σχέσης του κιβωτίου.

Όπως φαίνεται το νέο γρανάζι της 5^{ης} σχέσης έχει τοποθετηθεί σε ειδικά διαμορφωμένο άξονα και έχει κεντραριστεί με το μετρητικό ρολόι ως προς τον κατακόρυφο άξονα της μηχανής ώστε να ισογυρίζει για να πραγματοποιηθεί η απαιτούμενη δεξιόστροφη φορά της κεκλειμένης οδόντωσης του γραναζιού.

Το κοπτικό εργαλείο (hob) έχει κλίση ανάλογα με της μοίρες που έχει η κεκλειμένη οδόντωση του γραναζιού οι οποίες μοίρες έχουν υπολογιστεί παρακάτω.

Οι συνθήκες κοπής που εκλέχθηκαν για την κοπή της οδόντωσης του γραναζιού είναι οι εξής:

Στροφές: 70 RPM.

Πρόωση: 50 mm/min.

Βάθος κοπής : ανάλογα με το module.

Το τελικό αποτέλεσμα μετά το τέλος της κατεργασίας αυτής είναι το εξής:



Εικόνα 36. Τέλος κατεργασιών για το νέο γρανάζι της 5ης σχέσης του κιβωτίου.

Το γρανάζι είναι έτοιμο για θερμική κατεργασία.



Εικόνα 37. Αποτέλεσμα του 2ου γρναζιού της 5ης σχέσης μετά από τις κατεργασίες κοπής οδόντωσης και κοπή οδόντωσης για το συγχρονιζέ της 5ης σχέσης.

Το 2^ο γρναζί της 5^{ης} σχέσης είναι έτοιμο για θερμική κατεργασία. Με τον ίδιο τρόπο που έγινε η κοπή του πρώτου γρναζιού και με της ίδιες συνθήκες κοπής αλλά για αριστερόστροφη φορά κεκλειμένης οδόντωσης ώστε να συνεργάζεται με το πρώτο ολοκληρώθηκε η κατεργασία κοπής του 2^{ου} γρναζιού της 5^{ης} σχέσης.

Οι υπολογισμοί για τη ρύθμιση της μηχανής που και για την κλίση του κοπτικού εργαλείου (hob) θα αναφερθούν παρακάτω.

Συνθήκες κοπής:

Στροφές:70 RPM.

Πρόωση:50 mm/min.

Βάθος κοπής :ανάλογα με το module.

Να αναφερθεί ότι η ψύξη του κοπτικού της κοπής της οδόντωσης γίνεται με εκτοξευόμενο λάδι μέσω ακροφύσιου που ψεκάζει απευθείας στο κοπτικό την ώρα της κοπής.

Η δημιουργία της οδόντωσης για το συγχρονιζέ της 5^{ης} σχέσης πραγματοποιήθηκε στην NC μηχανή που αναφέρεται παραπάνω (κατακόρυφη πλάνη).

Οι συνθήκες κοπές είναι:

Στροφές παλινδρόμησης: 100 RPM.

Πρόωση: 0.2 mm/rev.

Βάθος κοπής : 1mm στην πλευρά

Σημείωση*: Η γωνία της εξελιγμένης είναι για την κοπή της εξωτερικής οδόντωσης των γραναζιών είναι σε όλα 20°.



Εικόνα 38. Τελική μορφή των νέων τεμαχίων για το κιβώτιο.

Στη φωτογραφία φαίνεται πως τα νέα τεμάχια για το κιβώτιο είναι έτοιμα για θερμική κατεργασία και έχουν την τελική τους μορφή.

Να αναφερθεί πως οι διαστάσεις σε διαμέτρους οπών και σε διαμέτρους που τοποθετούνται ρουλμάν, έχουν γίνει πιο μεγάλες για την ανάγκη λείανσης και σε περίπτωση παραμόρφωσης των μετάλλων να μπορέσει να λυθεί αυτό το πρόβλημα με την λύση της λείανσης σε λειαντικές μηχανές.

8. Θερμική Κατεργασία-Βαφή

Τα νέα τεμάχια υπόκεινται σε θερμική κατεργασία-βαφή για την αύξηση της επιφανειακής τους σκληρότητας μέχρι και 1.5mm από την επιφάνειά τους ανάλογα με τη μάζα τους.

Σκοπός της βαφής είναι η αύξηση της επιφανειακής σκληρότητας των τεμαχίων και η εμπλούτιση με άνθρακα στον πυρήνα των τεμαχίων αφού γίνεται και ενανθράκωση όπως αναφέρεται παρακάτω, ενώ η ελαστικότητα τους παραμένει πέρα από της εναπομένουσες τάσεις η και παραμορφώσεις.



Εικόνα 39. Έναρξη θερμικής κατεργασίας στο φούρνο.

Τα τεμάχια υπόκεινται σε προθέρμανση στον φούρνο που απεικονίζεται στην παραπάνω φωτογραφία, σε 500 βαθμούς Κελσίου πριν την ενανθράκωση για μια ώρα

.Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνεται η ‘εξάλειψη’ των μηχανουργικών τάσεων που παραμένουν μετά κατεργασία της κοπής.

Τα άλατα που έχουν λιώσει στον παραπάνω φούρνο με προθέρμανση του φούρνου στους 500 βαθμούς Κελσίου είναι έτοιμα για να δεχθούν τα ως προ ενανθράκωση τεμάχια του κιβωτίου. Το λουτρό αυτό περιέχει κυανιούχα άλατα.



Εικόνα 40. Λουτρό κυανιούχων αλάτων.

Τα τεμάχια τοποθετούνται στον κάδο του φούρνου στους 930 βαθμούς Κελσίου και παραμένουν στο λουτρό για 3 ώρες. Ανά μισή ώρα συμπληρώνεται

άνθρακας στο λουτρό ώστε αυτός να εισχωρήσει στον πυρήνα των τεμαχίων γι' αυτό τον λόγο η κατεργασία λέγεται ενανθράκωση. Επίσης να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια της κατεργασίας αυτής προσθέεται γραφίτης στην επιφάνεια του λουτρού για την αποφυγή πτώσης της θερμοκρασίας του λουτρού λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας με τον περιβάλλον χώρο. Όπως φαίνεται στη φωτογραφία τα τεμάχια είναι μέσα στο κυανιούχο λουτρό που παραμένουν εκεί για 3 ώρες. Αμέσως μετά ακολουθεί η διαδικασία της βαφής τους.



Εικόνα 41. Ενανθράκωση.



Εικόνα 42. Βαφή στη δεξαμενή λαδιού.

Τα τεμάχια βάφονται έπειτα την ενανθράκωση και ψύχονται απότομα στην παραπάνω δεξαμενή λαδιού για την ολοκλήρωση της θερμικής τους κατεργασίας. Εκεί παραμένουν για περίπου μισή ώρα ώστε να έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου.

Μετά τα τεμάχια πλένονται ώστε να απομακρυνθούν τα εναπομείναντα κυανιούχα άλατα. Πλένονται με εκτοξευόμενο νερό ώστε να είναι καθαρά για την επαναφορά που θα γίνει.

Η επαναφορά γίνεται στους 250 βαθμούς Κελσίου για 1-1.5 ώρα ώστε να μειωθεί ελάχιστα η επιφανειακή τους σκληρότητα. Η επαναφορά γίνεται στο φούρνο που έγινε η προθέρμανση των τεμαχίων.



Εικόνα 43: Τα νέα τεμάχια του κιβωτίου μετά και από την θερμική τους κατεργασία.



Εικόνα 44: Τα νέα τεμάχια του κιβωτίου μετά και από την θερμική τους κατεργασία.

Τα νέα τεμάχια όπως φαίνεται και στη φωτογραφία είναι έτοιμα για σκληρομέτρηση και λείανση.

9. Σκληρομέτρηση

Η σκληρομέτρηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια της παρακάτω εικονιζόμενης μηχανής.

Το σκληρόμετρο:



Εικόνα 45: Σκληρόμετρο..

Το συγκεκριμένο σκληρόμετρο με διαμάντι 120 μοιρών μετράει σκληρότητες κλίμακας Rockwell B και C .Η κάθετη δύναμη που ασκεί είναι 1471N.



Εικόνα 46: Σκληρομέτρηση τεμαχίων.



Εικόνα 47: Σκληρομέτρηση τεμαχίων.

Εδώ φαίνεται πως σκληρομετρήται το γρανάζι της 5ης σχέσης του κιβωτίου.



Εικόνα 48: Αποτυπώματα σκληρομέτρησης Rockwell C

Εδώ φαίνονται τα σημάδια που άφησε το διαμάντι 120 μοιρών μετά την σκληρομέτρηση που έγινε.

Τα αποτελέσματα μετά την σκλημέτρηση είναι τα εξής:

Σκληρότητα:

Τεμάχια	Σκληρότητα (Κλίμακα Rockwell C)
Κορώνα και Πινιόν	40 Rockwell C
Γρανάζια 5 ^{ης} σχέσης	60 Rockwell C

Να αναφερθεί ότι για οικονομικούς λόγους η νέα κορώνα και το νέο πινιόν είναι από διαφορετικό υποδεέστερο υλικό σε σχέση με τα γρανάζια της 5^{ης} σχέσης .Για αυτό και η διαφορά στη σκληρότητα που έχουν μετά και από την θερμική τους κατεργασία.

10. Λείανση

Αμέσως μετά την σκληρομέτρηση ακολουθεί η διαδικασία της λείανσης η οποία είναι χρονοβόρα και απαιτεί λεπτομέρεια κατά την πραγματοποίησή της. Έτσι τα νέα τεμάχια είναι έτοιμα για την τοποθέτησή τους στο κιβώτιο κατά την επανασυναρμολόγηση του.

Η λειαντική μηχανή που απεικονίζεται χρησιμοποιήθηκε για την ανάγκη λείανσης των οπών της νέας κορώνας και του νέου γραναζιού της 5^{ης} σχέσης

Οι συνθήκες λείανσης είναι:

Στροφές:13000 RPM, Πρόωση:0.01 mm/rev, Βάθος:1μm.



Εικόνα 49: Λειαντική μηχανή οπών.



Εικόνα 50: Λειαντική μηχανή για άξονες-ατράκτους.

Η παραπάνω λειαντική μηχανή χρησιμοποιήθηκε για την ανάγκη λείανσης του πινίον και για τις περιφέρειες που τοποθετούνται ρουλμάν ακριβέστερα.

Οι συνθήκες λείανσης είναι:

Στροφές:13000 RPM.

Πρόωση:0.01 mm/rev.

Βάθος:1μm.

Το αποτέλεσμα μετά και από την διαδικασία λείανσης(και αφότου οι διαστάσεις διαμορφώθηκαν με λεπτομέρεια και έγιναν ακριβείς) είναι το εξής:



Εικόνα 51: Αποτελέσματα μετά από όλες τις κατεργασίες



Εικόνα 52: Αποτελέσματα μετά από όλες τις κατεργασίες.

Τα νέα τεμάχια είναι έτοιμα προς χρήση και έτοιμα για την επανασυναρμολόγηση του κιβωτίου ταχυτήτων.

11. Επανασυναρμολόγηση του κιβωτίου ταχυτήτων.



Εικόνα 53: Όλα τα εξαρτήματα του κιβωτίου έτοιμα για επανασυναρμολόγηση.

Να αναφερθεί ότι όλα τα εξαρτήματα έχουν καθαριστεί, πλυθεί και τοποθετηθεί έτσι ώστε να διευκολύνεται η επανασυναρμολόγηση του κιβωτίου. Επίσης δεν υπήρξε κανένα πρόβλημα κα την επανασυναρμολόγηση σε σχέση με τα νέα τεμαχία διότι οι διαστάσεις ήταν ακριβείς και έτσι η συναρμολόγηση έγινε εύκολα.



Εικόνα 54: Τεμάχια κιβωτίου προς συναρμολόγηση

12. Δοκιμή του κιβωτίου στο ειδικά συναρμολογημένο και σχεδιασμένο δοκιμαστήριο και ολοκλήρωση κατεργασιών



Εικόνα 55:Ειδικό χειροποίητο δοκιμαστήριο για κιβώτια ταχυτήτων.



Εικόνα 56:Ειδικό χειροποίητο δοκιμαστήριο για κιβώτια ταχυτήτων.

Αυτό το δοκιμαστήριο κιβωτίων είναι χειροποίητο και συναρμολογημένο από την εταιρία "Μηχανουργείο Ευάγγελος Γκατζελάκης&Υιός" η οποία αγόρασε τον ηλεκτροκινητήρα και τον κορμό και τα συναρμολόγησε, ώστε να ελέγχεται ο θόρυβος των κιβωτίων. Έχει τοποθετηθεί ένας ηλεκτοκινητήρας 0.5 **HP** για την ανάγκη τις περιστροφής του προτεύον άξονα. Επίσης υπάρχει και ένας ρυθμιστής στροφών με inverter και έχει μέγιστο αριθμό στροφών 1000 RPM .Ο χώρος είναι αρκετός για την τοποθέτηση των κιβωτίων. Η λύπανση για την ανάγκη της δοκιμής επιτυγχάνεται με τοπθέτηση ειδικού υδραυλικού λυπαντικού-λαδιου (βαλβολίνες) μέσα στο κιβώτιο.

Το κιβώτιο με τα νέα τεμάχια πλέον τοποθετήθηκε και δοκιμάστηκε στο δοκιμαστήριο για τυχόν θορυβους και για το αν είναι σωστές η αλλαγές των σχέσεων. Το αποτέλεσμα ήταν το επιθυμητό διότι το κιβώτιο δουλεύει σωστά χωρίς θόρυβο και οι αλλαγές γίνονται σωστα. Το μόνο μεινέκτημα είναι ότι η δοκιμή έγινε χωρίς φορτίο όπως θα ήταν κανονικα τοποθετιμένο στο αυτοκίνητο. Επίσης σε αυτό το δοκιμαστήριο δεν είναι δυνατή η μέτρηση ταλαντώσεων κατι που θα ήταν εφικτό.



Εικόνα 57: Ανακασκευασμένο κιβώτιο από <<FIAT STILO 1.2 – 16V 2001-2007>>

13. Συμπεράσματα

Σαν συμπεράσματα σύμφωνα με τα παραπάνω κείμενα και φωτογραφίες η εξέλιξη στην τεχνολογία και στις κατεργασίες όλο και πληθαίνει . Υπάρχουν πολλές σύγχρονες μηχανές που μπορούν να κάνουν πολλές κατεργασίες ταυτόχρονα (multi-tasking machines). Έτσι ένας μηχανολόγος έχει την δυνατότητα να μαθαίνει να χειρίζεται και να προγραμματίζει τέτοιου είδους μηχανές ώστε να μπορεί να βγάλει το επιθυμητό αποτέλεσμα . Οι μηχανές αυτές έχουν πολλά προτερήματα όπως ευελιξία των κατεργασιών, μείωση του χρόνου παραγωγής ακρίβεια , αύξηση ποιότητας, μείωση του εργατικού δυναμικού, επέκταση δυνατοτήτων σχεδιασμού και αύξηση ακρίβεια ποιότητας επιφάνειας. Από την άλλη όμως οι μηχανές τύπου γριναζοκόπη και άλλες μηχανές που αναφέρονται στο παραπάνω κείμενο δεν είναι ιδιαίτερα ευέλικτες διότι είναι παλιές και δεν έχουν την σημερινή τεχνολογία. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στη ανθρωπότητα έχει ‘‘λυσει’’ τα χέρια του ανθρώπου σε πολλούς τομείς και ιδιαίτερα στην αυτοκινητοβιομηχανία. Πολλές εταιρίες αν όχι όλες χρησιμοποιούν τελευταίας τεχνολογίας μηχανές για να ρίξουν το κόστος παραγωγής τους όπως οι: Mercedes benz, Porsche, Volkswagen, Volvo, BMW ,Ferrari και άλλες . Το κόστος των αυτοκινήτων έχει μειωθεί αισθητά λόγω της τεχνολογίας .

Τώρα για την βελτίωση των γριναζιών του παραπάνω κιβωτίου θα προταθεί η κοπή των οδόντων να γίνει με άλλη γωνία τις εξελιγμένης. Δηλαδή το κοπτικό που θα κόψει το γριναζί να μην είναι 20° αλλά 30° έτσι θα επιτευχθεί το πάχος της ρίζα της οδόντωσης να είναι βελτιωμένο και πιο χοντρό. Έτσι επεκτείνεται και ο χρόνος ζωής του γριναζιού λόγω του ότι θα επιτευχθεί χοντρή ρίζα των δοντιών και θα δυσκολευτεί η θράση τους .Το μόνο μειονέκτημα με αυτό είναι ότι θα υπάρξει αυξημένος θόρυβος κατά την λειτουργία του κιβωτίου.

Κλείνοντας θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εξέλιξη στις κατεργασίες και ιδιαίτερα στην κοπή της οδόντωσης βελτιώνεται χρόνο με το χρόνο σε κιβώτια που χρησιμοποιούνται σε αγωνιστικά αυτοκίνητα για δοκιμαστικούς σκοπούς όπως Formula 1 , WRC, NASCAR κτλ. Οι δοκιμές γίνονται σε τέτοιες διοργανώσεις λόγω του υψηλού επιπέδου ασφάλειας που διαθέτουν και έτσι οι καινοτομίες και ιδέες των μηχανικών πληθαίνουν.

14. Βιβλιογραφία

1. Στοιχεία μηχανών 2 Θ. Μουσιάδη
2. Μηχανουργική Τεχνολογία Λάζαρου Ε. Λαζαρίδη
3. Μηχανουργική Τεχνολογία Κατεργασίες με Αφαίρεση υλικού. Αριστομένη Θ. Αντωνιάδη
4. Στοιχεία Μηχανών Χρήστος Α. Παπαδόπουλος
5. DIN 3990

Ιστοσελίδες (links)

<http://www.doosan.com/en/>

<https://www.gleason.com/en>

<https://www.agma.org/>

<https://www.trens.sk/en/home>