

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΝΑΥΤΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΗΣ MAN (CAM).**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΟΥΤΣΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ ΡΑΦΑΗΛ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΠΑΡΑΝΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2014

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΝΑΥΤΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΗΣ MAN (CAM).**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΟΥΤΣΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΜ: 4555

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ ΡΑΦΑΗΛ ΑΜ: 4620

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Προσομοίωση κατεργασίας συστήματος ψεκασμού καυσίμου

Η προσομοίωση ενός απλού εξαρτήματος μιας απλής κατασκευής είναι μια πρόκληση για ένα μηχανικό αφού του δίνεται η δυνατότητα να δει, να συγκρίνει και να διακρίνει οντότητες οι οποίες είναι δύσκολο να τις φανταστεί στο επίπεδο. Αυτό γίνεται πιο δύσκολο σε μία συναρμολογημένη διάταξη με πολλά εξαρτήματα. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα τρισδιάστατης σχεδίασης συναρμολόγησης και προσομοίωσης μεμονωμένων τεμαχίων με σκοπό την ολοκλήρωση του τελικού επιθυμητού αποτελέσματος.

Κατά την διαδικασία σχεδιασμού του συστήματος ψεκασμού καυσίμου έγιναν πολλές δοκιμές διαφόρων σχεδιασμών. Τα τελικά σχέδια που επιλέχθηκαν και σχεδιάστηκαν αποτελούν έναν εγχυτήρα πετρελαίου ναυτικής μηχανής MAN.

Σκοπός της εργασίας είναι η τρισδιάστατη προσομοίωση των εξαρτημάτων του εγχυτήρα πετρελαίου, η κατανόηση της λειτουργίας του, καθώς και η περιγραφή ενός συνόλου εξαρτημάτων διαφορετικών τύπων εγχυτήρων αλλά και συστημάτων ψεκασμού καυσίμου.

Μετά την σχεδίαση στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με την βοήθεια του λογισμικού επιτυγχάνεται αρχικά η εκ νέου σχεδίαση κάποιων τεμαχίων έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία τους. Σε δεύτερη φάση θα γίνει και ακριβής και στοχευόμενη η προσομοίωση αλλά και η κατασκευή τους αφού κάποιος μπορεί να περάσει την γεωμετρία τους στο CAM (Computer Aided Manufacturing) και να εισάγει τον κώδικα σε αυτόματη εργαλειομηχανή CNC (Computer Numerical control).

Abstract

Fuel Injection System Simulation

Simulation of a simple fitting component of relative construction is undoubtedly a challenge for a marine engineer, because thus he gets the opportunity to watch, compare and distinguish three dimensional constructive detail which otherwise are difficult to figure. The program allows three-dimensional design and assembly of isolated pieces to complete the desired result.

During the design process the fuel injection system made many tests of various designs. The final projects are selected and designed an injector oil marine engine MAN.

The purpose of this study is three-dimensional structure design of diesel injector, understanding the functions in and the description of a set of components of different types of injectors and fuel injection systems.

After designing on PC with help of the software, initially some pieces are re-designed so they would be able to be optimized. In the second phase their construction will be targeted and precise so that someone can pass this geometry in a CAM (Computer Aided Manufacturing) system and enter the extracted code in an automatic machine tool CNC (Computer Numerical Control).

Πρόλογος

Η προσομοίωση ενός εξαρτήματος όπως ο εγχυτήρας καυσίμου που αποτελείται από μία συναρμολογημένη διάταξη με αρκετά διαφορετικά εξαρτήματα διαφορετικών διαστάσεων αποτελεί πρόκληση για οποιονδήποτε μηχανικό καθώς μέσω της προσομοίωσης δίνεται η δυνατότητα να διακρίνει εξαρτήματα στο επίπεδο.

Στην σημερινή εποχή δίνεται η δυνατότητα με την ευρεία χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των προγραμμάτων που έχουν ανακαλυφθεί για την ευκολότερη και ποιοτικότερη εργασία ως την σχεδίαση και προσομοίωση διαφόρων εξαρτημάτων στο επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο είναι ευκολότερο ένας μηχανικός να κατανοήσει ευκολότερα τα μεγέθη και τις προδιαγραφές ενός εξαρτήματος πριν το κατασκευάσει στην πράξη.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται με την τρισδιάστατη σχεδίαση και προσομοίωση ενός σύγχρονου συστήματος ψεκασμού καυσίμου ναυτικής μηχανής MAN, δίνοντας με τον τρόπο αυτό και στον πιο δύσκολο αναγνώστη μια εύκολη εικόνα του συστήματος ψεκασμού δια μέσω του εγχυτήρα πετρελαίου.

1. Εισαγωγή

Το σύστημα εγχύσεως καυσίμου φροντίζει για την σωστή ανάμειξη του πετρελαίου με το συμπιεσμένο μέσα στο κύλινδρο αέρα. Η καλή ανάμειξη τους είναι βασική προϋπόθεση για την επίτευξη σωστής καύσεως. Αποτέλεσμα της σωστής καύσεως είναι να διατηρούνται καθαρά τα εμπλεκόμενα στη καύση εξαρτήματα του κινητήρα, ενώ μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς για δεδομένη ποσότητα καυσίμου, εξασφαλίζοντας έτσι την οικονομικότερη λειτουργία της μηχανής.

Στις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά είδη εγχύσεως. Το πρώτο είδος εφαρμόζεται μόνο σε βενζινοκινητήρες και αφορά την έγχυση του καυσίμου εκτός του θαλάμου καύσεως και εντός του αγωγού εισαγωγής. Η έγχυση μπορεί να είναι συνεχής (πολυκύλινδρη μηχανή με μονό εγχυτήρα) ή διακοπτόμενη (διαφορετικός εγχυτήρας για κάθε κύλινδρο). Στην πρώτη περίπτωση, γίνεται συνεχής έγχυση καυσίμου στον κεντρικό αγωγό εισαγωγής, με το μείγμα να παραλαμβάνεται στη φάση της εισαγωγής. Στη δεύτερη περίπτωση, η έγχυση πραγματοποιείται σε κάθε αγωγό εισόδου ξεχωριστά, μόνο όταν οι αντίστοιχες βαλβίδες εισαγωγής είναι ανοιχτές. Το δεύτερο είδος εγχύσεως εφαρμόζεται επίσης σε βενζινοκινητήρες και αφορά στην έγχυση του καυσίμου εντός του κυλίνδρου κατά την φάση της εισαγωγής ή της συμπίεσεως. Το τρίτο είδος εγχύσεως χρησιμοποιείται κυρίως σε πετρελαιοκινητήρες. Η έγχυση γίνεται κοντά στο ΑΝΣ για να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η καύση του μείγματος, η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα και η εξαέρωση του καυσίμου.

Η έγχυση στους πετρελαιοκινητήρες ανήκει αποκλειστικά στο τρίτο από τα προαναφερθέντα είδη, πραγματοποιείται δηλαδή λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ εντός του θαλάμου καύσεως, όπου επικρατούν συνθήκες πολύ υψηλής πίεσεως. Για να επιτευχθεί η σωστή ανάμειξη του αέρα με το καύσιμο, το καύσιμο κατά την έγχυση του πρέπει:

- Να διασπαστεί σε μικρότερα σταγονίδια (σε μορφή νέφους).
- Να διασκορπισθεί σε όλο το χώρο του θαλάμου καύσεως.
- Να επιτευχθεί πλήρης και ομοιόμορφη ανάμειξη του αέρα με τα σταγονίδια του καυσίμου.
- Να εξατμισθεί στη συνέχεια πλήρως.

Στο τέλος της φάσεως συμπίεσεως ο εγκλωβισμένος αέρας εντός του κυλίνδρου βρίσκεται σε πολύ υψηλή πίεση. Συνεπώς για να μπορέσει το καύσιμο να εισέλθει και να διασπαστεί σε όσο το δυνατόν μικρότερα σταγονίδια, καταλαμβάνοντας όλο τον όγκο του θαλάμου καύσεως, πρέπει να οδηγείται εκεί με πίεση πολύ μεγαλύτερη από την επικρατούσα στον κύλινδρο (η οποία κυμαίνεται από 80 έως 200 bar). Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την κατάλληλη σχεδίαση του συστήματος εγχύσεως.

Ένα τυπικό σύστημα προσαγωγής και εγχύσεως καυσίμου σε πετρελαιομηχανή περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα:

- Δεξαμενή ή δεξαμενές αποθηκεύσεως πετρελαίου.
- Σωληνώσεις προσαγωγής και επιστροφής πετρελαίου.
- Προθερμαντήρες πετρελαίου.
- Φίλτρα καθαρισμού πετρελαίου.
- Φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες πετρελαίου για τον καθαρισμό από ξένες προσμίξεις όπως νερό, λασπώδη και στερεά κατάλοιπα.
- Αντλίες τροφοδοσίας χαμηλής πίεσεως (εγχύσεως ή καταθλίψεως).
- Εγχυτήρες.

2. Κύκλος Λειτουργίας Δίχρονου Ναυτικού Κινητήρα

Στον δίχρονο κινητήρα, ο πλήρης κύκλος λειτουργίας κάθε κυλίνδρου ολοκληρώνεται σε δύο παλινδρομικές διαδρομές του εμβόλου, δηλαδή σε μία πλήρη περιστροφή του στροφάλου. Η αναλυτική περιγραφή των δύο χρόνων λειτουργίας θα βασιστεί σε ναυτική αργόστροφη υπερπληρούμενη μηχανή. Η σάρωση της μηχανής πραγματοποιείται μέσω περιφερειακών θυρίδων, προσαρμοσμένων στο χιτώνιο, και μιας βαλβίδας εξαγωγής που είναι συμμετρικά τοποθετημένη στο πώμα. Στον κύλινδρο παλινδρομεί το έμβολο, το οποίο μέσω του βάρου και του ζυγώματος συνδέεται με τον διωστήρα και αυτός με τη σειρά του με τον στρόφαλο.

Χρόνοι Λειτουργίας Δίχρονου Ναυτικού Κινητήρα

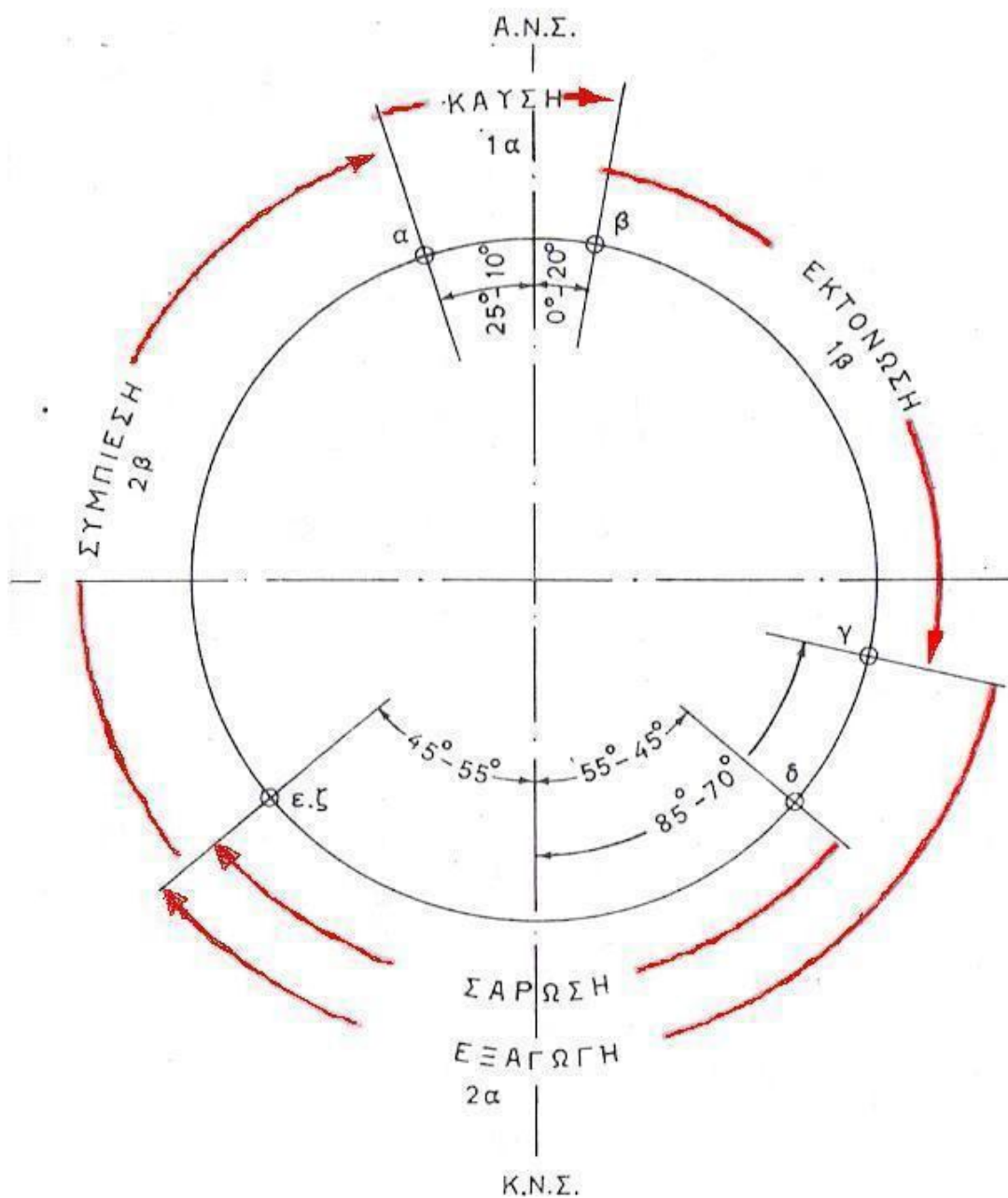
1^{ος} Χρόνος (καύση – εκτόνωση - έναρξη σαρώσεως κυλίνδρου)

Το έμβολο βρίσκεται 25- 10 μοίρες στροφάλου πριν το ΑΝΣ, αφού έχει συμπιέσει τον εισερχόμενο στον κύλινδρο αέρα, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία και η πίεση του αέρα να είναι αρκετά υψηλές, ώστε να μπορεί το εγχεόμενο καύσιμο να αναφλεγεί. Στη δεδομένη αυτή στιγμή, ψεκάζεται το καύσιμο fuel oil μέσα στον κύλινδρο, και ακολουθεί η καύση μέχρι το έμβολο να βρεθεί 0-20 μοίρες στροφάλου μετά το ΑΝΣ. Από τη θέση αυτή του εμβόλου μέχρι και 70-85 μοίρες στροφάλου πριν το ΚΝΣ, διαρκεί η εκτόνωση των παραγόμενων από την καύση αερίων. Κατά τη φάση της εκτόνωσης, λαμβάνει χώρα και η απόδοση του ωφέλιμου έργου. Το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής οριοθετεί το πέρας της εκτόνωσης, με αποτέλεσμα τα καυσαέρια να οδηγούνται στον οχετό εξαγωγής, πριν οδηγηθούν στον στροβιλοπληρωτή. Καθώς το έμβολο κατέρχεται προς το ΚΝΣ, 55-45 μοίρες πριν φθάσει σε αυτό αποκαλύπτει τις θυρίδες της σαρώσεως, με αποτέλεσμα ο εισερχόμενος αέρας με πίεση μεγαλύτερη από αυτή που επικρατεί στον κύλινδρο, να ωθεί τα καυσαέρια προς τον οχετό εξαγωγής.

2^{ος} Χρόνος (πέρας σαρώσεως και εξαγωγής - συμπίεση)

Όταν από τον προηγούμενο χρόνο το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, αρχίζει να ανέρχεται προς το ΑΝΣ, παρασυρόμενο από τον στρόφαλο κάποιου άλλου εμβόλου της μηχανής, που τη στιγμή αυτή εκτελεί τον 1^ο χρόνο λειτουργίας. Το έμβολο 45-55 μοίρες μετά το ΚΝΣ, καλύπτει πλήρως τις θυρίδες σαρώσεως, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει σε συγκεκριμένες μοίρες στροφάλου. Ωστόσο ορισμένοι κατασκευαστές επιτρέπουν στη βαλβίδα εξαγωγής να παραμένει ανοικτή μέχρι και 60-90 μοίρες μετά το ΚΝΣ. Αποτέλεσμα αυτής της καθυστέρησης του κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής ως προς την κάλυψη των θυρίδων σαρώσεως είναι να διαφεύγει και να χάνεται ποσότητα καθαρού αέρα στον οχετό εξαγωγής, όμως ταυτόχρονα εξασφαλίζεται καλύτερη απόπλυση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής ξεκινά η φάση της συμπίεσης του αέρα, η οποία διαρκεί μέχρι την έγχυση του καυσίμου στον κύλινδρο.

Στην εικόνα 1 διακρίνεται σε διάγραμμα ο κύκλος λειτουργίας αργόστροφης δίχρονης υπερπληρούμενης μηχανής.



Εικόνα 1: Κυκλικό διάγραμμα αργόστροφης δίχρονης υπερπληρούμενης μηχανής

3. Εγχυτήρας Πετρελαίου (Injector)

Οι εγχυτήρες πετρελαίου αποτελούν το τελευταίο τμήμα του συστήματος εγχύσεως στις πετρελαιομηχανές. Είναι τοποθετημένοι στην κεφαλή (πώμα) των κυλίνδρων και λόγω της θέσεως τους καταπονούνται από τις υψηλές πιέσεις και μεταβολές της θερμοκρασίας στους θαλάμους καύσεως των κυλίνδρων. Ο κυριότερος σκοπός τους είναι η διάσπαση, η έγχυση και ο διασκορπισμός ορισμένης ποσότητας πετρελαίου μέσα στο θερμό και πυκνό αέρα των θαλάμων καύσεως. Από την ακρίβεια της εκτελέσεως όλων αυτών των εργασιών μέσα στον ελάχιστο διατιθέμενο του κύκλου λειτουργίας εξαρτάται η ομαλή καύση του καυσίμου και η αποδοτική λειτουργία της μηχανής. Παράλληλα έχουν βοηθητικό ρόλο στην επίτευξη της σωστής δοσολογίας καυσίμου και επιτυγχάνουν σωστή στεγανοποίηση του θαλάμου καύσεως στο συγκεκριμένο σημείο που τοποθετούνται.

3.1 Περιγραφή Τμημάτων Εγχυτήρα

Συναντώνται πολλά είδη εγχυτήρων, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος της μηχανής. Συνήθως απαρτίζονται από τρία κύρια μέρη: το σώμα (κορμός), τη βελόνα με το στέλεχος και το ελατήριο επαναφοράς της, και τέλος το συγκρότημα ακροφυσίου.

Ο κορμός είναι κοίλο κυλινδρικό σώμα, εντός του οποίου προσαρμόζονται τα υπόλοιπα τμήματα του εγχυτήρα. Στο εξωτερικό του μέρος φέρει συνήθως σπείρωμα για την προσαρμογή του στο αντίστοιχο σπείρωμα της κεφαλής των κυλίνδρων. Η προσαρμογή εναλλακτικά μπορεί να γίνει όχι με κεντρικό αυτοφερόμενο σπείρωμα, αλλά με την ειδική διαμόρφωση για να προσαρμοστεί και να στερεωθεί με κοχλίες στο άνοιγμα (φωλιά) της κεφαλής των κυλίνδρων. Στο άνω άκρο του φέρει κοχλία για να ρυθμίζει την τάση στο ελατήριο επαναφοράς της βελόνας, ενώ στο κάτω άκρο του προσαρμόζεται το ακροφύσιο.

Στο εσωτερικό μέρος του κορμού διαμορφώνεται ένας κεντρικός κυλινδρικός αγωγός για την τοποθέτηση του ελατηρίου και του στελέχους της βελόνας. Μέσα από τον αγωγό πραγματοποιείται και η έξοδος του πλεονάζοντα καυσίμου προς τον αγωγό επιστροφής. Παράλληλα με τον κεντρικό αγωγό διαμορφώνεται ο αγωγός προσαγωγής του καυσίμου από το σωλήνα υψηλής πίεσης στο χώρο της βελόνας.

Το συγκρότημα του ακροφυσίου προσαρμόζεται με σπείρωμα στο κάτω μέρος του κορμού. Περιλαμβάνει μία ή περισσότερες οπές (τα ακροφύσια), μέσα από τις οποίες γίνεται η ροή του καυσίμου και ο διασκορπισμός του σε νέφος σταγονιδίων. Στο εσωτερικό του συγκροτήματος του ακροφυσίου σχηματίζεται κοιλότητα (θάλαμος πίεσεως), που καταλήγει σε κωνική έδρα. Εκεί καταλήγει και η βελόνα του εγχυτήρα. Το κωνικό της άκρο εφαρμόζει τέλεια στη κωνική έδρα του συγκροτήματος του ακροφυσίου, όταν ο εγχυτήρας βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Το συγκεκριμένο τμήμα του ακροφυσίου μαζί με την εφαπτόμενη βελόνα σχηματίζουν τη βαλβίδα ακροφυσίου. Στο που η βελόνα περνά μέσα από τον θάλαμο πίεσεως, μειώνεται με κατάλληλη κωνικότητα η διάμετρος της. Στο κωνικό αυτό τμήμα εφαρμόζεται η πίεση του καυσίμου για το άνοιγμα της βαλβίδας.

3.2 Λειτουργία Εγχυτήρων

Η λειτουργία στους περισσότερους τύπους εγχυτήρων είναι συνήθως υδραυλική, ενώ μικρός αριθμός εγχυτήρων λειτουργεί μηχανικά. Στον εγχυτήρα υδραυλικής λειτουργίας το καύσιμο φτάνει με ιδιαίτερα υψηλή πίεση στο θάλαμο πίεσεως του ακροφυσίου, μέσω του αγωγού υψηλής πίεσεως, προερχόμενο από την αντλία υψηλής πίεσεως. Όταν η πίεση του πετρελαίου ενεργώντας πάνω σε συγκεκριμένη κωνική επιφάνεια της βελόνας δώσει δύναμη μεγαλύτερη της τάσεως του ελατηρίου, η βελόνα ανυψώνεται συμπιέζοντας το ελατήριο. Κατά την ανύψωση της βελόνας αποκαλύπτεται η οπή του ακροφυσίου οπότε το πετρέλαιο περνάει μέσα από τη οπή(ή τις οπές) του ακροφυσίου, επιτυγχάνεται λόγω της στενώσεως του ακροφυσίου και ψεκάζεται στο θάλαμο καύσεως όπου διασπάται σε πολύ μικρά σταγονίδια. Ο ψεκασμός του καυσίμου συνεχίζεται μέχρι τη διακοπή της παροχής από την αντλία εγχύσεως (υψηλής πίεσεως).

Όταν διακόπτεται η παροχή του καυσίμου, παύει η εφαρμοζόμενη πίεση στο κωνικό τμήμα της βελόνας με αποτέλεσμα την έκταση του ελατηρίου επαναφοράς της. Τότε η βελόνα εφαρμόζει στεγανά στην κωνική έδρα του συγκροτήματος του ακροφυσίου και η έγχυση του καυσίμου διακόπτεται απότομα. Η περίσσεια καυσίμου κατευθύνεται αναγκαστικά προς τον αγωγό επιστροφής μέσω του κεντρικού αγωγού του εγχυτήρα. Από εκεί μέσω του συστήματος επιστροφής του καυσίμου καταλήγει στη δεξαμενή χρήσεως ή στην αντλία καταθλίψεως.

Στα σύγχρονα συστήματα εγχύσεως ο ακριβής χρόνος της ενάρξεως και λήξεως της εγχύσεως πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, που ελέγχεται από κεντρικό ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.

Η λίπανση του εγχυτήρα πραγματοποιείται από το ίδιο το καύσιμο οπότε πρέπει να υπάρχει μία μόνιμη σχετικά μικρή επιστροφή του καυσίμου με ροή από τον αγωγό καταθλίψεως προς τον κεντρικό αγωγό επιστροφής. Το καύσιμο που επιστρέφει λιπαίνει τις επιφάνειες επαφής της βελόνας με το σώμα ενώ στη συνέχεια οδηγείται γύρω από το στέλεχος της βελόνας στο χώρο του ελατηρίου και απομακρύνεται από το σύστημα επιστροφής πετρελαίου.

Στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές εκτός του κύριου (κεντρικού) εγχυτήρα συναντάται και η χρήση δευτερεύοντος πιλοτικού εγχυτήρα, τοποθετημένου στα πλάγια του πώματος. Ο πιλοτικός εγχυτήρας προηγείται και ψεκάζει μικρή ποσότητα καυσίμου, το οποίο με τη πρόωρη ανάφλεξη του βελτιώνει την εξάτμιση της κύριας μάζας του καυσίμου που εγχύεται από τον κεντρικό εγχυτήρα. Μειώνει έτσι την καθυστέρηση της εναύσεως. Παράλληλα επιτρέπει την έγχυση καυσίμων κακής ποιότητας αναφλέξεως, ρυθμίζει καλύτερα την ποσότητα του καυσίμου σε συνθήκες πολύ χαμηλού φορτίου και μειώνει το θόρυβο καύσεως (σταδιακή έγχυση) καθώς και τις εκπομπές ρύπων (μέσω της μείωσης της μέγιστης πίεσεως και θερμοκρασίας της καύσεως).

3.3 Είδη εγχυτήρων

Οι εγχυτήρες διακρίνονται σε εγχυτήρες μιας οπής και εγχυτήρες πολλών οπών.

3.3.1 Εγχυτήρες μιας οπής

Τα ακροφύσια μιας οπής χρησιμοποιούνται συνήθως στους κινητήρες που διαθέτουν προθάλαμο καύσεως. Η βελόνα του ακροφυσίου μετά τη βαλβίδα εγχύσεως φέρει συνήθως προέκταση στο κάτω άκρο της σε σχήμα μικρού αξονίσκου με κωνική απόληξη. Ο συνδυασμός της εσωτερικής κωνικότητας της οπής του ακροφυσίου με την κωνική διαμόρφωση της βελόνας έχει άμεση επίδραση στη μορφή της δέσμης του καυσίμου. Δημιουργείται έτσι αξονοσυμμετρική δέσμη, συμπαγής ή με μορφή κοίλου κώνου, ανάλογα με τον βαθμό βύθισης της προεκτάσεως της βελόνας. Έτσι στην αρχή της εγχύσεως ο αξονίσκος βυθίζεται ελάχιστα στο εσωτερικό του ακροφυσίου δημιουργώντας δέσμη κοίλου κώνου μικρής παροχής. Στη συνέχεια η πλήρης βύθιση του αξονίσκου επιτρέπει τη δημιουργία πιο συμπαγούς δέσμης, επιτυγχάνοντας έτσι τη μεταβλητή έγχυση του καυσίμου, με τη μεγαλύτερη ποσότητα να εγχύεται στο τέλος της διαδικασίας. Η τεχνική αυτή έχει σημαντικό αποτέλεσμα στη μείωση του θορύβου της καύσεως.

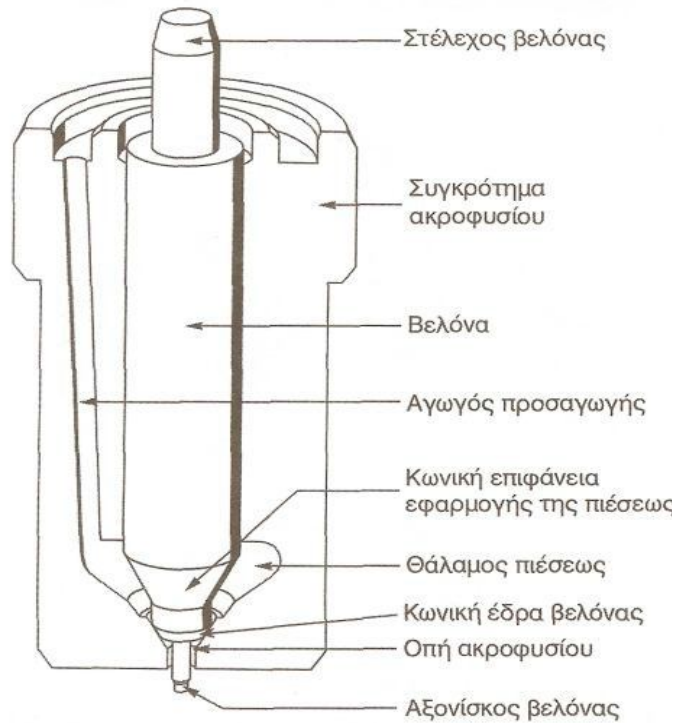
Η προεκβολή αυτή της βελόνας έξω από το στόμιο της βαλβίδας έχει και το πρόσθετο πλεονέκτημα του αυτόματου καθαρισμού του στομίου από υπολείμματα της καύσεως που μπορεί να έχουν συγκεντρωθεί εκεί.

3.3.2 Εγχυτήρες πολλών οπών

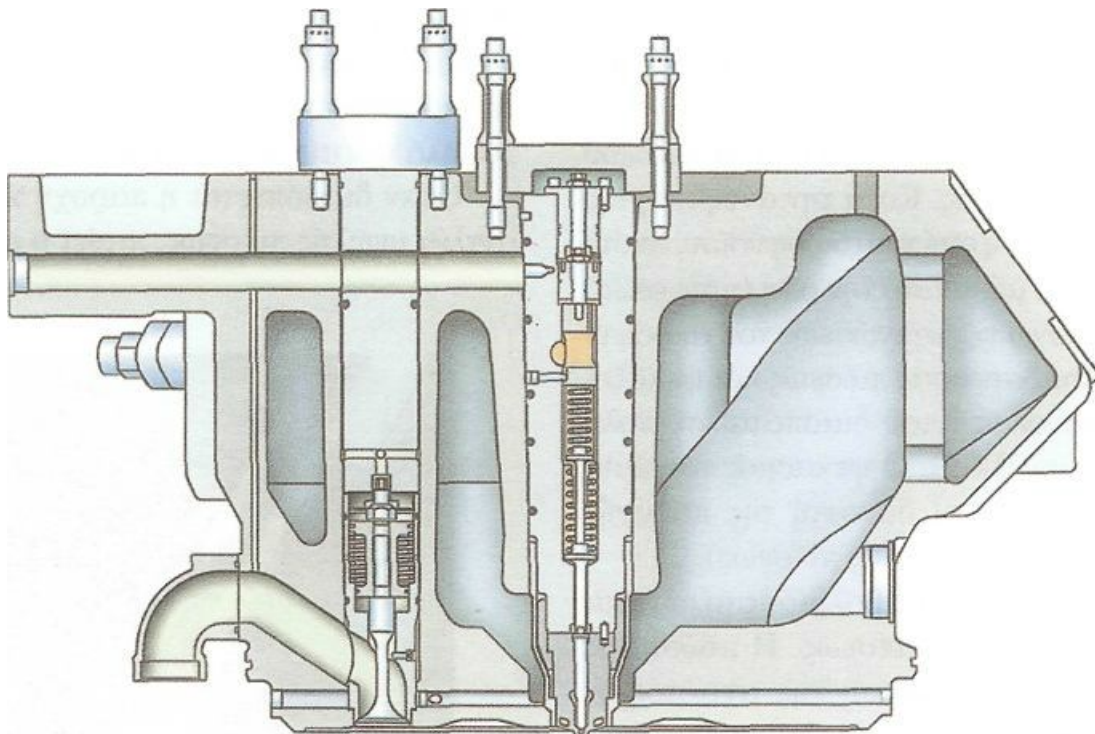
Τα ακροφύσια πολλών οπών χρησιμοποιούνται κυρίως σε θαλάμους καύσεως ενιαίου τύπου ενώ δεν διαφέρουν αισθητά από τα ακροφύσια μιας οπής με κύρια διαφορά το χαρακτηριστικό ότι η βελόνα τους δεν φέρει προεκβολή μετά τη βαλβίδα. Οι οπές είναι ευθύγραμμες, ακτινικά διατεταγμένες γύρω από την τυφλή κοιλότητα και κάτω από την έδρα της βαλβίδας (κωνική απόληξη βελόνας). Το καύσιμο που διέρχεται από κάθε μια από τις οπές, είναι σχετικά πυκνό και δεν παρουσιάζει διακοπές στη ροή του.

Το σχήμα του νέφους του καυσίμου κατά την έγχυση εξαρτάται από την θέση των οπών. Για να υπάρξει καλή κατανομή του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσεως, οι οπές πρέπει να είναι κατανεμημένες συμμετρικά. Όσο αφορά τον αριθμό τους είναι 12, ενώ σε ορισμένους κινητήρες μεγάλης ισχύος φτάνουν μέχρι και 18.

Η διάμετρος και το μήκος των οπών επηρεάζουν τη μορφή και την πορεία της εκάστοτε δέσμης του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσεως. Η διάμετρος των οπών στα πιο διαδεδομένα ακροφύσια αρχίζει από 0,2 mm.



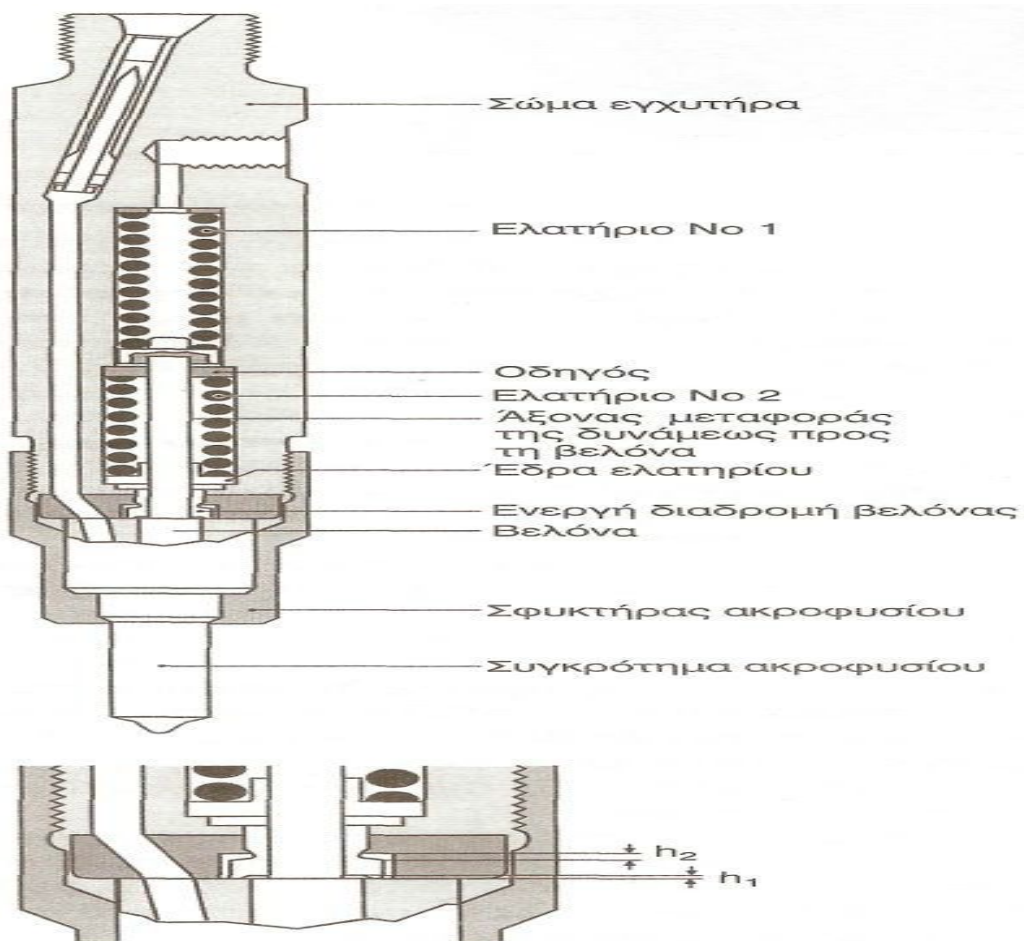
Εικόνα 2: Τυπικός υδραυλικός εγχυτήρας πολλών οπών σε τομή



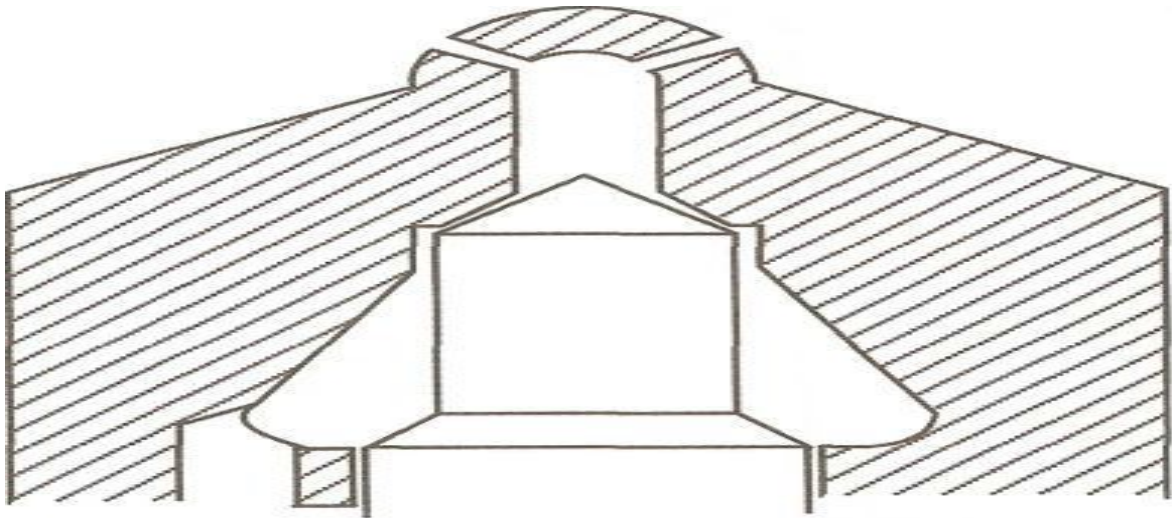
Εικόνα 3: Τοποθέτηση κινητήρα στο πώμα τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής



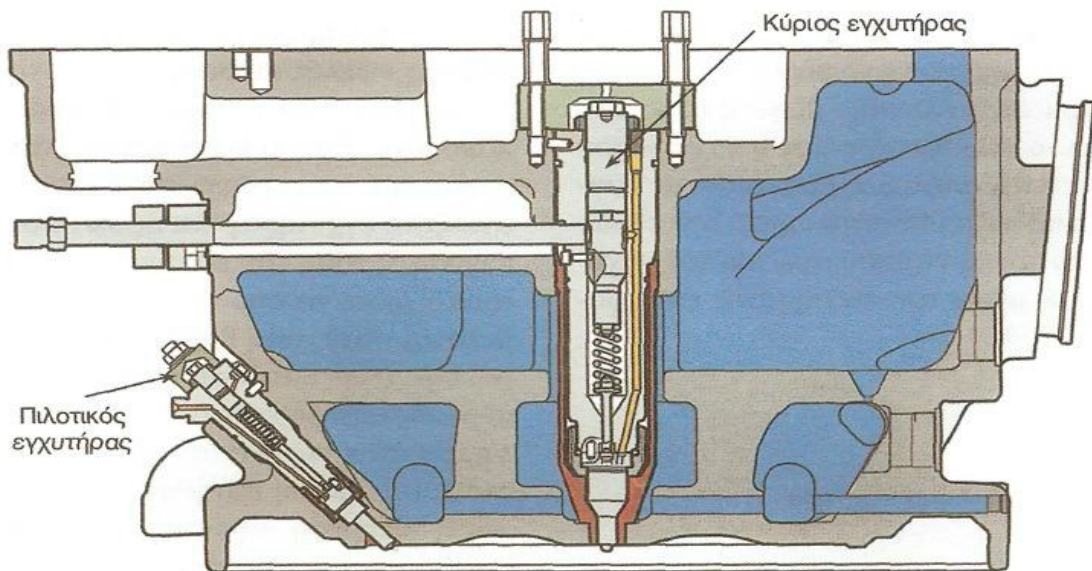
Εικόνα 4: Σχηματισμός νέφους καυσίμου κατά την έγχυση



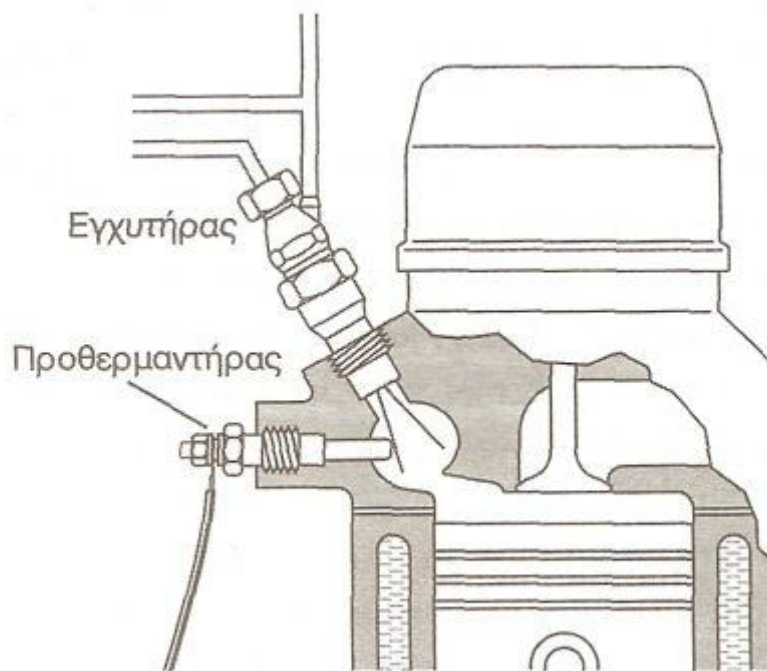
Εικόνα 5: Εγχυτήρες με δύο ελατήρια σε τομή (h_1) αρχικό άνοιγμα βελόνας, (h_2) κύριο άνοιγμα βελόνας



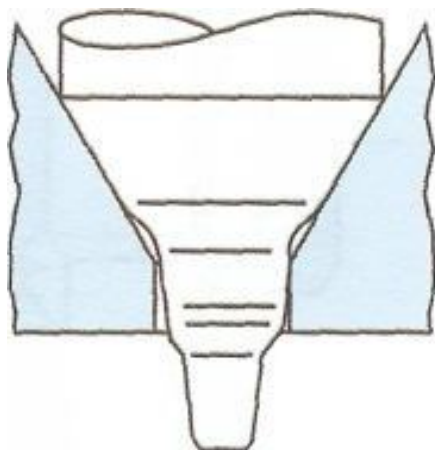
Εικόνα 6: Κωνική διαμόρφωση βελόνας ακροφυσίων πολλών οπών. Η κωνικότητα της βελόνας είναι διαφορετική από την κωνικότητα της έδρας ώστε η βελόνα να εφάπτεται σε μία μόνο διάμετρο (τη μέγιστη).



Εικόνα 7: Τομή κεφαλής κυλίνδρου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής με κύριο κεντρικό και πιλοτικό εγχυτήρα.



Εικόνα 8: Τοποθέτηση εγχυτήρα με ακροφύσιο μόνης οπής σε προθάλαμο καύσεως ταχύστροφης πετρελαιομηχανής.

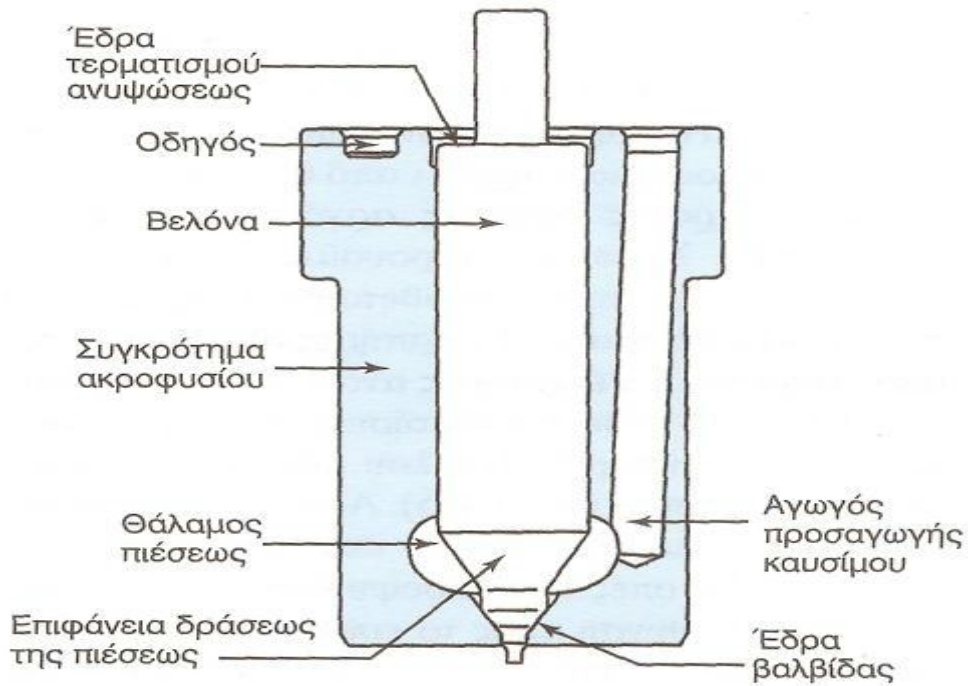


Πλάγια Όψη

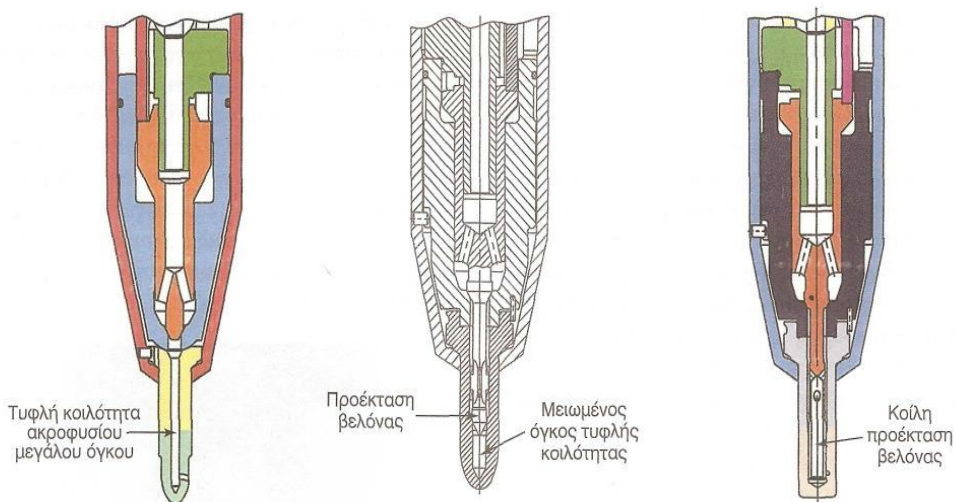


Πρόσοψη

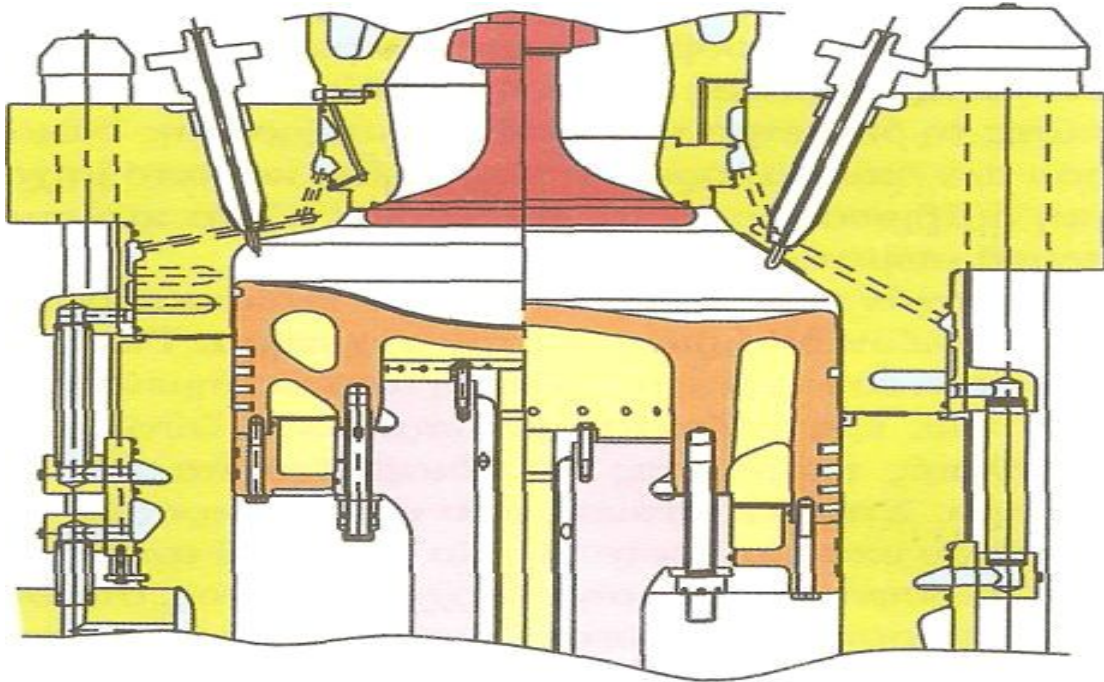
Εικόνα 9: Διαμόρφωση ακροφυσίου μίας οπής με βελόνα που διαθέτει επίπεδη πλάγια τομή.



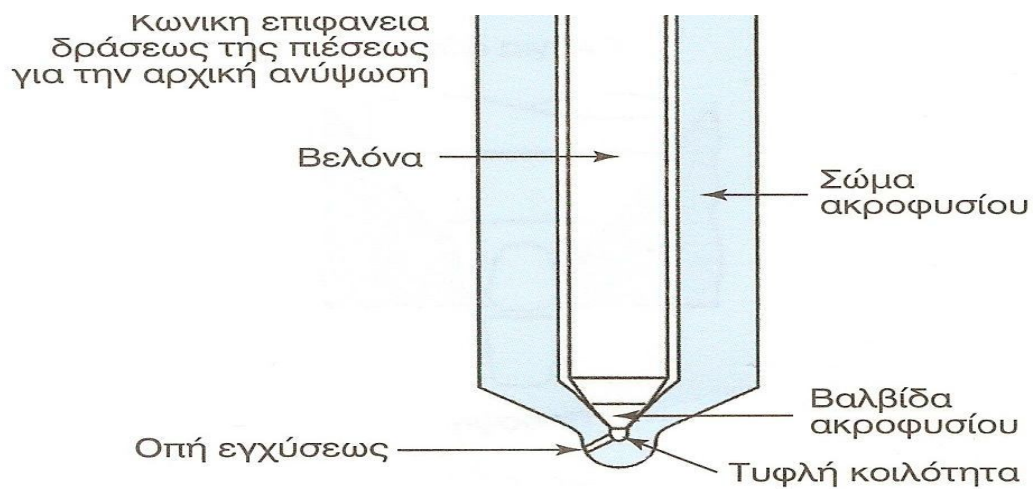
Εικόνα 10: Διαμόρφωση ακροφυσίου μίας οπής με προέκταση στραγγαλισμού της ροής.



Εικόνα 11: α) Παλαιότερη σχεδίαση ακροφυσίου με μεγάλο όγκο εσωτερικής κοιλότητας. β) Εξελιγμένη σχεδίαση βελόνας ακροφυσίου με προέκταση της βελόνας. γ) Εξελιγμένη σχεδίαση βελόνας ακροφυσίου, με κοίλη προέκταση της βελόνας.



Εικόνα 12: Εναλλακτικές σχεδίασης κυλίνδρου δίχρονης πετρελαιομηχανής. Διακρίνεται η περιφερειακή τοποθέτηση των εγχυτήρων, το μεγάλο μήκος τους καθώς και το μεγάλο μήκος του συγκροτήματος του ακροφυσίου.



Εικόνα 13: Συγκρότημα ακροφυσίου πολλών οπών σε τομή.

3.4. Βλάβες των εγχυτήρων

Οι φθορές των εγχυτήρων εντοπίζονται συνήθως στον οδηγό της βελόνας, στην έδρα της βελόνας, στο ελατήριο, καθώς και στις οπές των ακροφυσίων.

Η έδρα της βελόνας φθείρεται λόγω των περιεχομένων στερεών μικροσωματιδίων στο καύσιμο, λόγω χημικής προσβολής από διαβρωτικές ουσίες που περιέχονται, ένεκα της κρουστικής επαφής της βελόνας με την έδρα της κατά το πέρας της εγχύσεως και λόγω σπηλαιώσεως από τη ροή του καυσίμου. Η διάβρωση της έδρας προκαλεί κακή στεγανοποίηση της βαλβίδας του εγχυτήρα, μειώνοντας την ωφέλιμη ζωή του. Αποτέλεσμα της κακής στεγανοποίησης της βαλβίδας είναι το στάξιμο του εγχυτήρα, καθώς και η μείωση της ποιότητας ψεκασμού.

Η θερμοκρασία στο άκρο του εγχυτήρα παίζει σημαντικότατο ρόλο στη διατήρηση καθαρών των οπών των ακροφυσίων. Ειδικότερα καθοριστικός είναι ο ρόλος της στους εγχυτήρες των μεγάλων δίχρονων πετρελαιομηχανών, οι οποίοι συχνά φέρουν αρκετά μεγάλη τυφλή κοιλότητα στο εσωτερικό του συγκροτήματος των ακροφυσίων. Εκεί συγκρατείται σημαντική ποσότητα καυσίμου μετά το πέρας της εγχύσεως. Το βαρύ καύσιμο των συγκεκριμένων μηχανών έχει ήδη θερμανθεί κοντά στο σημείο βρασμού του, ώστε να μειωθεί το ιξώδες του και να γίνει δυνατή η έγχυση του. Τα καύσιμα αυτά έχουν επιπρόσθετα την τάση να αυξάνουν περισσότερο τη θερμοκρασία εντός του θαλάμου κατά την καύση τους, σε σχέση με τα ελαφρύτερα καύσιμα. Με την άνοδο της θερμοκρασίας, το καύσιμο που έχει παραμείνει εντός της κοιλότητας του συγκροτήματος του ακροφυσίου βράζει και στάζει από τις οπές των ακροφυσίων. Επειδή το στάξιμο συμβαίνει στο πέρας της φάσεως της καύσεως, δεν πραγματοποιείται πλήρης καύση, οπότε σχηματίζονται εναποθέσεις εξανθρακωμάτων γύρω από τις οπές των ακροφυσίων, μειώνοντας σημαντικά την ποιότητα της εγχύσεως ή ακόμα φράσσοντας αυτές. Στους εγχυτήρες μίας οπής η συσσώρευση εξανθρακωμάτων μπορεί να προκαλέσει κόλλημα της βελόνας με το συγκρότημα του ακροφυσίου.

Η θερμοκρασία στην περιοχή του συγκροτήματος του ακροφυσίου δεν πρέπει επίσης να είναι χαμηλή (λόγω ισχυρού στροβιλισμού του εισερχόμενου αέρα και ιδιαίτερα χαμηλής θερμοκρασίας του). Στην περίπτωση αυτή υπάρχει κίνδυνος επιτεύξεως σημείου δρόσου στην επιφάνεια του συγκροτήματος των ακροφυσίων. Ως αποτέλεσμα υγροποιείται ο υδρατμός που περιέχεται στο θάλαμο καύσεως, αντιδρά με τα οξείδια του θείου που περιέχεται στο καύσιμο και δημιουργεί θειικό οξύ. Το θειικό οξύ προσβάλλει την εξωτερική επιφάνεια του συγκροτήματος των ακροφυσίων, αυξάνοντας επίσης τη διάμετρο των οπών. Η αύξηση της διαμέτρου των οπών μπορεί να προκληθεί και από μηχανική διάβρωση, από τα περιεχόμενα στο καύσιμο στερεά σωματίδια. Το τυχόν περιεχόμενο νερό στο καύσιμο προκαλεί επιπλέον διαβρώσεις στον εγχυτήρα. Για θερμοκρασία του νερού μικρότερη από το σημείο βρασμού του, εμφανίζονται φαιοπράσινες ζώνες στις μεταλλικές επιφάνειες που διαβρέχονται από το καύσιμο. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του καυσίμου υπερβαίνει το σημείο βρασμού του νερού υπό ατμοσφαιρική πίεση υπάρχει κίνδυνος, στα σημεία της ροής που εμφανίζονται χαμηλές πιέσεις (π.χ. αγωγός επιστροφής, στο διάκενο μεταξύ βελόνας και του οδηγού της) να προκληθεί μερική ατμοποίηση του νερού. Ο ιδιαίτερα διαβρωτικός ατμός προκαλεί την επιφανειακή οξείδωση των μεταλλικών επιφανειών. Η οξείδωση αυτή διευρύνεται γρήγορα, καταστρέφει τη στεγανότητα των συνεργαζομένων επιφανειών και τερματίζει την ωφέλιμη ζωή των αντιστοιχών τμημάτων του εγχυτήρα.

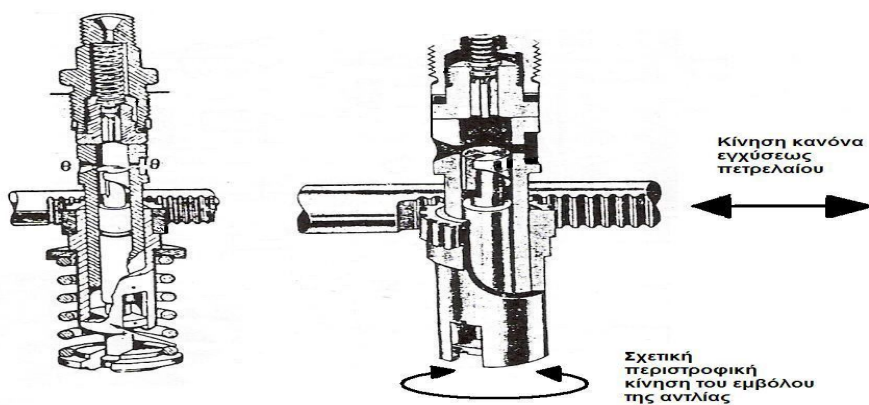
Το ελατήριο του εγχυτήρα φορτίζεται σε ιδιαίτερα υψηλές τάσεις, ενώ, λόγω της υψηλής σκληρότητας του, δεν μπορεί να αντέξει τις απότομες αλλαγές στην πίεση που μπορεί να δεχθεί. Έτσι σε περίπτωση που μεταβληθεί σημαντικά η πίεση που δίνει η αντλία καυσίμου, υπάρχει πιθανότητα θραύσεως του ελατηρίου. Η συνεχής λειτουργία του ελατηρίου προκαλεί την πτώση της τάσεως του, με αποτέλεσμα να απαιτείται αναρρύθμιση με τη χρήση του αντίστοιχου κοχλίου στο πάνω μέρος του εγχυτήρα.

4. Έγχυση

Η έγχυση του πετρελαίου εντός του θαλάμου καύσεως είναι μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες του κινητήρα. Το σύστημα ψεκασμού είναι υπεύθυνο για τη παροχή της αναγκαίας ποσότητας καυσίμου, στην πίεση που απαιτείται κ στην κατάλληλη χρονική στιγμή για κάθε κύλινδρο. Ο βέλτιστος διασκορπισμός του εγχόμενου καυσίμου και η πλήρης ανάμειξη του με τον εισερχόμενο αέρα αποτελούν σημαντικότερες προϋποθέσεις για τη πλήρη απόδοση του κινητήρα. Αποτέλεσμα των ανεργιών αυτών είναι η σωστή λειτουργία του κινητήρα με την υψηλότερή του απόδοση που οδηγεί και στη μείωση των θορύβων κραδασμών και στη μείωση των ρύπων καθώς η διατήρηση των τμημάτων της μηχανής που έρχονται σε επαφή με τα καυσαέρια μειώνοντας τις ανάγκες συντηρήσεως και αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής της. Λόγω της λεπτομερής και κρίσιμης λειτουργίας λόγω των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών κάτω από τις οποίες λειτουργούν, τα συστήματα εγχύσεως κατασκευάζονται με ακριβές κ αυστηρές προδιαγραφές με τη χρήση ειδικών υλικών και κατεργασιών. Ως εκ τούτου έχουν υψηλό κόστος κτήσεως, ενώ η ανάπτυξη και η κατασκευή τους γίνεται από ελάχιστες εξειδικευμένες εταιρείες. Στις εμβολοφόρες ΜΕΚ χρησιμοποιούνται τρία βασικά είδη εγχύσεως. Το πρώτο είδος εφαρμόζεται μόνο σε βενζινοκινητήρες και αφορά έγχυση εκτός θαλάμου καύσεως εντός του αγωγού εισαγωγής.

Η έγχυση μπορεί να είναι συνεχής (πολυκύλινδρη μηχανή με μονό εγχυτήρα) ή διακοπτόμενη (διαφορικός εγχυτήρας για κάθε κύλινδρο). Στη δεύτερη περίπτωση η έγχυση πραγματοποιείται σε κάθε αγωγό εισόδου ξεχωριστά, μόνο όταν οι αντίστοιχες βαλβίδες εισόδου είναι ανοιχτές, ενώ στην πρώτη περίπτωση γίνεται συνεχής έγχυση καυσίμου στον κεντρικό αγωγό εισαγωγής, με το μείγμα να παραλαμβάνεται από τον κύλινδρο που βρίσκεται στη φάση εισαγωγής. Το δεύτερο είδος εγχύσεως εφαρμόζεται επίσης σε βενζινοκινητήρες και αφορά σε έγχυση εντός του κυλίνδρου κατά τη φάση εισαγωγής ή της συμπίεσεως. Η έγχυση πραγματοποιείται αρκετά νωρίς από την ενεργοποίηση του σπινθηριστή, ώστε να διατίθεται ο αναγκαίος χρόνος για την πλήρη εξαέρωση του καυσίμου.

Το τρίτο είδος εγχύσεως χρησιμοποιείται σε πετρελαιοκινητήρες. Η έγχυση πραγματοποιείται κοντά στο ΑΝΣ ώστε ταυτόχρονα να λαμβάνει χώρα καύση του μείγματος, ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα εξαέρωσης του καυσίμου.



Εικόνα 14: Σχετικές κινήσεις της αντλίας πετρελαίου.

4.1. Γενικές αρχές εγχύσεως

Η έγχυση στους πετρελαιοκινητήρες ξεκινά λίγες μοίρες στροφάλου πριν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ όταν εντός του θαλάμου καύσεως επικρατούν συνθήκες πολύ υψηλής πίεσεως. Για να επιτευχθεί σωστή ανάμειξη του αέρα με το καύσιμο, το καύσιμο κατά την έγχυση του πρέπει να διεισδύσει εντός του συμπιεσμένου αέρα, να διασπαστεί σε μικροσκοπικά σταγονίδια του καυσίμου και τέλος το καύσιμο να εξατμισθεί πλήρως.

Εντός του κυλίνδρου στο τέλος της φάσεως συμπίεσεως ο εγκλωβισμός αέρας βρίσκεται σε πολύ υψηλή πίεση, η οποία μπορεί να ξεπερνά τα 180 bar. Οπότε για να μπορέσει να διεισδύσει το καύσιμο μέσα στον συμπιεσμένο αέρα και να διασπαστεί σε όσο το δυνατόν μικρότερα σωματίδια, καταλαμβάνοντας έτσι όλο τον όγκο του θαλάμου καύσεως, πρέπει να οδηγείται εκεί με πίεση πολύ μεγαλύτερη. Η μέγιστη πίεση στις σύγχρονες μεσόστροφης ναυτικές πετρελαιομηχανές κυμαίνεται από 1200 έως 2300 bar. Η αρχική πίεση κατά της έναρξης εγχύσεως κυμαίνεται μεταξύ 200 και 300 bar, ενώ μπορεί να είναι και μεγαλύτερη. Η υψηλή πίεση απαιτείται για την ισχυρή επιτάχυνση της δέσμης του καυσίμου εντός του ακροφυσίου. Η μεγαλύτερη ταχύτητα απαιτείται για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι η επίτευξη υψηλής ορμής από τη δέσμη του καυσίμου, ώστε αυτή να διεισδύσει με μικρότερα σταγονίδια στο συμπιεσμένο αέρα. Μεγάλη ορμή επιτυγχάνεται με μεγάλη μάζα σταγόνων ή με μικρότερα σταγονίδια μεγάλης ταχύτητας. Η μεγάλη μάζα των σταγόνων είναι επιθυμητή, διότι οδηγεί σε ιδιαίτερα αργή εξάτμιση του καυσίμου. Με τη μεγάλη ταχύτητα της δέσμης, ακόμη και τα μικρά σταγονίδια μπορούν να διεισδύσουν ικανοποιητικά εντός του συμπιεσμένου αέρα. Ο δεύτερος λόγος για την αναγκαιότητα της υψηλής ταχύτητας της δέσμης είναι η επίτευξη τυρβώδους ροής. Με την τυρβώδη ροή διευκολύνεται η διάσπαση της δέσμης σε μικρότερα σωματίδια τα οποία είναι ευκολότερο να εξατμιστούν και να αναφλεγούν. Η εξάτμιση των σταγονιδίων επιτυγχάνεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του πεπιεσμένου αέρα, ενώ η διάχυσή τους σε όλο τον όγκο του χώρου καύσεως υποβοηθείται από τον στροβιλισμό του αέρα εντός του κυλίνδρου κατά τη διάρκεια της συμπίεσεως.

Παλαιότερα λόγω των περιορισμών της τεχνολογίας, χρησιμοποιούσαν πεπιεσμένο αέρα για την επίτευξη ικανοποιητικού διασκορπισμού του καυσίμου. Τα συγκεκριμένα συστήματα απαιτούσαν πολύ υψηλή ακρίβεια κατεργασίας, καταπονούνταν σε ιδιαίτερα υψηλές φορτίσεις, ενώ εμφάνιζαν και αυξημένη πολυπλοκότητα. Η πρόοδος της τεχνολογίας και η επίτευξη ιδιαίτερα υψηλών πιέσεων από τις αντλίες εγχύσεως κατέστησε περιττή τη χρήση πεπιεσμένου αέρα για το διασκορπισμό του καυσίμου. Το δίκτυο πετρελαίου οδηγεί το καύσιμο στις αντλίες υψηλής πίεσεως, οι οποίες βρίσκονται πάνω από τον κινητήρα. αυτές αυξάνουν ιδιαίτερα την πίεση του καυσίμου, ενώ ταυτόχρονα ρυθμίζουν την ποσότητα του καυσίμου που θα οδηγηθεί στους εγχυτήρες, σε συνάρτηση με τις στροφές και το φορτίο του κινητήρα. Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος εγχύσεως μπορεί να υπάρχει ανεξάρτητη εμβολοφόρος παλινδρομική αντλία για κάθε κύλινδρο (μεμονωμένη ή σε συστοιχία) ή μια μοναδική αντλία υψηλής πίεσεως, η οποία τροφοδοτεί συνεχώς με καύσιμο κοινό αγωγό (συλλέκτη) υψηλής πίεσεως, από τον οποίο τροφοδοτούνται όλοι οι εγχυτήρες (της ίδιας σειράς κινητήρες τύπου V). Στο σύστημα αυτό η ρύθμιση της εγχεόμενης ποσότητας και του κατάλληλου χρόνου της εγχύσεως πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών, ηλεκτρονικά ελεγχόμενων βαλβίδων.

4.2 Σχηματισμός του νέφους σωματιδίων

Για να πραγματοποιηθεί αποδοτική καύση του καυσίμου πρέπει κάθε σταγονίδιο καυσίμου να έλθει σε επαφή με την ανάλογη ποσότητα αέρα, να εξατμιστεί, να αναμειχτεί με τον περιβαλλοντικά αέρα και να καεί πλήρως. Στις πετρελαιομηχανές με ενιαίο θάλαμο καύσεως και ειδικά στους υπερπληρούμενους κινητήρες ο αέρας δεν διαθέτει ιδιαίτερα μεγάλη συστροφή. Έτσι, η σωστή ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα στηρίζεται κυρίως στην υψηλή διεισδυτικότητα της δέσμης του καυσίμου και στο διαμερισμό της σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο όγκο. Για το λόγο αυτό στους κινητήρες με ενιαίο θάλαμο καύσεως η πίεση εγχύσεως του καυσίμου είναι ιδιαίτερα υψηλή ενώ χρησιμοποιούνται και εγχυτήρες πολλαπλών οπών για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διασπορά του καυσίμου. Αντίθετα στους κινητήρες με διμερή θάλαμο καύσεως ο στρόβιλος του αέρα είναι ιδιαίτερα ισχυρός και η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα είναι ευκολότερη. Για το λόγο αυτόν αρκούν χαμηλότερες πιέσεις εγχύσεως, ενώ χρησιμοποιούνται συνήθως εγχυτήρες μονής οπής.

Ανάλογα με τη διατομή του ακροφυσίου σχηματίζεται διαφορετική μορφή νέφους σωματιδίων. Στην περίπτωση των πετρελαιοκινητήρων, λόγω της μεγάλης πίεσεως που επικρατεί κατά την έγχυση, απαιτείται συμπαγής δέσμη καυσίμου με ισχυρή ορμή, για να μπορέσει να διαπεράσει τον ιδιαίτερα συμπιεσμένο αέρα. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται κατάλληλα ακροφύσια, που παράγουν δέσμη καυσίμου αρκετά συμπαγή στο κέντρο, η οποία όμως περιβάλλεται από εξωτερική ζώνη διαχωρισμένων σταγονιδίων σε μορφή νέφους. Οι τετράχρονοι ναυτικοί πετρελαιοκινητήρες φέρουν τον κύριο εγχυτήρα τους τοποθετημένο στο κέντρο του πώματος, δημιουργώντας έτσι δέσμες ακτινικά διατεταγμένες. Αντίθετα, οι μεγάλοι αργόστροφοι δίχρονοι ναυτικοί κινητήρες με βαλβίδα εξαγωγής φέρουν συνήθως δύο ή τρεις εγχυτήρες περιφερειακά διατεταγμένους, οι οποίοι δημιουργούν δέσμες καυσίμου που κατευθύνονται με συστροφή προς το εσωτερικό του θαλάμου καύσεως.

Οι αργόστροφοι κινητήρες με θυρίδες εξαγωγής φέρουν κεντρικό εγχυτήρα στο πώμα. Τα παραγόμενα νέφη από δέσμες με συμπαγή κεντρικό πυρήνα προκαλούν καλύτερη εξαέρωση του καυσίμου, ενώ αντίστοιχα η μείωση της διαμέτρου της οπής του ακροφυσίου οδηγεί σε μείωση της διαμέτρου των παραγόμενων σταγονιδίων. Έτσι είναι προτιμότερο η παροχή του καυσίμου να οδηγείται από περισσότερες μικρότερες οπές στο θάλαμο καύσεως παρά από μία μεγαλύτερη κεντρική, γιατί έτσι μειώνεται το μέγεθος των σταγονιδίων (πιο γρήγορη εξαέρωση), ενώ ο διασκορπισμός μπορεί να γίνει προς διαφορετικές κατευθύνσεις, καλύπτοντας αποδοτικότερα τον όγκο του θαλάμου καύσεως. Η διάμετρος του κάθε σταγονιδίου πρέπει να είναι της τάξεως των 10 mm. Η ελαχιστοποίηση της διαμέτρου της σταγόνας και η παράλληλη δημιουργία μεγάλου αριθμού σταγόνων μεγιστοποιεί τη συνολική ελεύθερη επιφάνεια μεταξύ καυσίμου και αέρα, οπότε διευκολύνεται η εξατμίση του και η ανάμειξή του με τον αέρα. Μικρές μεταβολές στη διάμετρο της κάθε σταγόνας (λόγω ακαθάρτων ή αρρυθμιστών ακροφυσίων) έχουν πολύ μεγάλη επίδραση στο ρυθμό εξατμίσεως του καυσίμου. Αυτό οφείλεται στη σημαντική μεταβολή της επιφάνειας της σταγόνας, η οποία είναι ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου της.

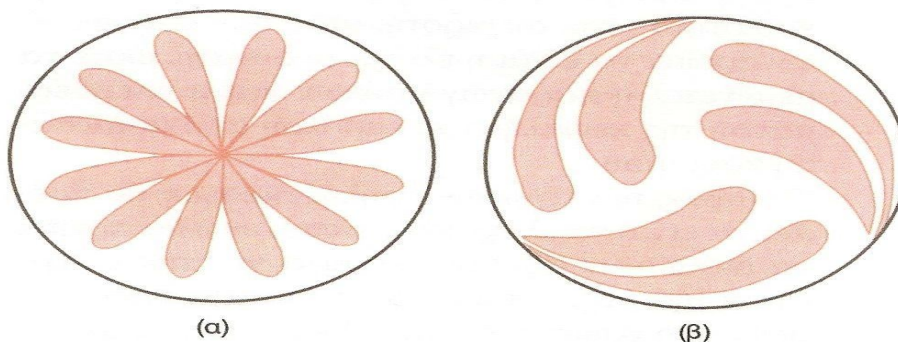
Για την καλύτερη ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα θα πρέπει το καύσιμο να έλθει σε επαφή με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα αέρα. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει το καύσιμο να διεισδύσει ισχυρά εντός του συμπιεσμένου αέρα και να καλύψει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο όγκο του θαλάμου καύσεως. Για τον λόγο αυτόν απαιτείται η ύπαρξη ισχυρών δεσμών με μεγάλη αρχική ταχύτητα (άρα μεγάλη πίεση εγχύσεως), ενώ οι οπές πρέπει να είναι διατεταγμένες με τρόπο ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα τον όγκο του θαλάμου καύσεως. Μετά την έναρξη της εγχύσεως ένα τμήμα του εγχυόμενου καυσίμου στα όρια της δέσμης φθάνει σε κατάσταση πλήρους εξατμίσεως, ώστε να είναι δυνατή η έναυση του. Όμως η έναυση θα γίνει 23 μόνο όταν το καύσιμο αποκτήσει τη θερμοκρασία αυταναφλέξεως. Η θερμοκρασία κάθε σταγονιδίου αυξάνεται με την πρόσδοση θερμότητας στο σταγονίδιο.

Η θερμότητα εισέρχεται από την επιφάνεια του σταγονιδίου μέσω συναγωγής, οπότε ο ρυθμός με τον οποίο εισέρχεται είναι ανάλογος της επιφάνειας του σταγονιδίου (ανάλογος

δηλαδή του τετραγώνου της διαμέτρου του). Η αναγκαία όμως θερμότητα για να αποκτήσει το σταγονίδιο τη θερμοκρασία αυταναφλέξεως είναι ανάλογη του όγκου του σταγονιδίου, δηλαδή ανάλογη της τρίτης δυνάμεως της ακτίνας του. Ο συνολικός χρόνος για τη θέρμανση της σταγόνας προκύπτει ως ο λόγος της θερμότητας προς το ρυθμό προσδόσεως θερμότητας, δηλαδή τελικά είναι ανάλογος της ακτίνας. Ως εκ τούτου όσο πιο μικρό είναι ένα σταγονίδιο τόσο πιο γρήγορα θα αποκτήσει τη θερμοκρασία αυταναφλέξεως. Αυτό έχει αποδειχθεί και πειραματικά, διαπιστώθηκε δηλαδή ότι η ανάφλεξη της δέσμης ξεκινά με τυχαίο τρόπο από διάφορα σημεία στην περιφέρεια της δέσμης, κοντά στην έξοδο του ακροφυσίου, όπου τα σωματίδια έχουν και τη μικρότερη ακτίνα, λόγω των ισχυρών διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται από την επαφή της τυρβώδους δέσμης με το συμπιεσμένο αέρα.

Τα σταγονίδια του καυσίμου δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να έρθουν σε επαφή με τα τοιχώματα του θαλάμου καύσεως ή με το λιπαντικό στην επιφάνεια του χιτωνίου. Στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές μειώνεται ο κίνδυνος επαφής του καυσίμου με τα τοιχώματα λόγω της υπέρξεως κοιλοτήτων στη κορώνα του εμβόλου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αύξηση του επιπέδου στροβιλισμού του αέρα. Η ύπαρξη αυτών των κοιλοτήτων επιτρέπει τη διοχέτευση ικανής ποσότητας καυσίμου σε συγκεκριμένο χώρο, μακριά από τα τοιχώματα του χιτωνίου, ενώ ο ισχυρός στροβιλισμός του αέρα επιτρέπει τη γρήγορη εξάτμιση του καυσίμου και τη μείωση του κινδύνου επαφής των δεσμών με την άνω επιφάνεια του εμβόλου. Η διάρκεια της εγχύσεως πρέπει να είναι αρκετά μικρή, ενώ πρέπει να τερματίζεται απότομα. Στην περίπτωση που η έγχυση δεν τερματίζεται απότομα αλλά μειώνεται προοδευτικά (λόγω αντίστοιχης προοδευτικής μείωσης της πίεσεως), η δέσμη δεν διαθέτει την αναγκαία ικανότητα διεισδύσεως στο συμπιεσμένο αέρα και προκαλείται ατελής διασκορπισμός. Ως αποτέλεσμα, το καύσιμο καίγεται ατελώς προκαλώντας έκλυση καπνού, αυξάνεται η δημιουργία εξανθρακωμάτων, ενώ το λιπαντικό μολύνεται με καύσιμο και αδιάλυτα κατάλοιπα της ατελούς καύσεως. Ένα σημαντικό φαινόμενο που συνδέεται με την έγχυση είναι η δευτερεύουσα έγχυση (μετάσταξη). Κατά το απότομο κλείσιμο της βαλβίδας καυσίμου του εγχυτήρα, ένα κύμα πίεσεως ταξιδεύει προς τα πάνω εντός του αγωγού προσαγωγής καυσίμου στον εγχυτήρα, μέχρι την αντλία υψηλής πίεσεως. Εκεί ανακλάται και επιστρέφει ξανά στον εγχυτήρα. Το συγκεκριμένο κύμα πίεσεως, αν δεν αποσβεσθεί με κάποιον τρόπο στη διαδρομή, είναι αρκετά ισχυρό ώστε να προκαλέσει το άνοιγμα της βαλβίδας του εγχυτήρα (ανύψωση της βελόνας), οπότε μέρος του καυσίμου που βρίσκεται εντός του εγχυτήρα και του αγωγού προσαγωγής εισέρχεται στο θάλαμο καύσεως, όταν ο κύλινδρος βρίσκεται στο τέλος της φάσεως της καύσεως.

Λόγω της ελλείψεως ικανής ποσότητας οξυγόνου και της κακής αναμείξεως, η συγκεκριμένη ποσότητα είναι αδύνατον να καεί, οπότε μεγάλο μέρος του καυσίμου πέφτει πάνω στο έμβολο ή στα τοιχώματα του κυλίνδρου, μολύνοντας το λιπαντικό και δημιουργώντας αυξημένα εξανθρακώματα. Οι περιοχές στη κορώνα του εμβόλου, όπου φθάνει το άκαυστο καύσιμο, θα υπερθερμανθούν, αυξάνοντας τη φθορά του εμβόλου. Για την αποφυγή του φαινομένου χρησιμοποιείται ειδική ανεπίστροφος βαλβίδα μετά την αντλία υψηλής πίεσεως. Αυτή αποσβένει τα κύματα πίεσεως που επιστρέφουν 24 από τον εγχυτήρα, ενώ απομονώνει και τον αγωγό υψηλής πίεσεως από την αντλία, διατηρώντας υψηλή πίεση στο εσωτερικό του.



Εικόνα 15: Σχηματική απεικόνιση δεσμών καυσίμου (α) σε τετράχρονη μεσόστροφη πετρελαιομηχανή και (β) σε μεγάλη δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή με τρεις περιφερειακούς εγχυτήρες.

4.3. Απαιτήσεις για αποδοτική έγχυση

Για την επίτευξη σωστής εγχύσεως του καυσίμου και αποδοτικής λειτουργίας της μηχανής, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες γενικές απαιτήσεις:

□ Η πίεση εγχύσεως του καυσίμου πρέπει να είναι πολύ υψηλή, με τιμές ανάλογες με τον τύπο του κινητήρα και του συστήματος εγχύσεως και πάντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Η πίεση θα πρέπει να διατηρείται υψηλή σε όλο το εύρος του φορτίου (το τελευταίο κατέστη δυνατό με την εφαρμογή του συστήματος εγχύσεως κοινού συλλέκτη).

□ Η κατασκευή των διαφόρων υποσυστημάτων του συστήματος εγχύσεως θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα στιβαρή με πολύ μικρές ανοχές και εξαιρετική ποιότητα επιφάνειας.

□ Η επιφάνεια του συγκροτήματος των ακροφυσίων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη σε σχέση με τη διατομή του κυλίνδρου, ώστε να επιτυγχάνεται καλή καύση σε μερικό φορτίο της μηχανής.

□ Η εγκλωβισμένη ποσότητα καυσίμου εντός της κοιλότητας του συγκροτήματος των ακροφυσίων πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, ώστε να μειώνεται η παραγωγή ρύπων και η υπερθέρμανση της κεφαλής του εμβόλου από μετάσταξη καυσίμου.

□ Το μήκος των αγωγών υψηλής πίεσεως θα πρέπει να είναι το ελάχιστο δυνατό, ενώ θα πρέπει να διαθέτουν αρκετή ακαμψία για την ελαχιστοποίηση της αποσβέσεως των κυμάτων πίεσεως στο εσωτερικό τους. Σε κινητήρες με περισσότερους από έναν εγχυτήρες ανά κύλινδρο, τα μήκη των αγωγών υψηλής πίεσεως θα πρέπει να ίσα μεταξύ τους, ώστε να επιτυγχάνεται ταυτόχρονη και ομοιόμορφη έγχυση από όλους τους εγχυτήρες.

□ Η συνολική διάρκεια της εγχύσεως δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 20ο γωνίας στροφάλου, ώστε σε συνδυασμό με υψηλό λόγο συμπίεσεως να προκύπτει χαμηλή παραγωγή ρύπων. Αυτό μεταφράζεται σε χρονική διάρκεια 0,004 έως 0,01 δευτερολέπτων, ανάλογα με τις στροφές της μηχανής.

Η φόρτιση του εκκεντροφόρου από τις αντλίες υψηλής πίεσεως θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, ώστε οι αναπτυσσόμενες τάσεις και ο θόρυβος να διατηρούνται σε αποδεκτά επίπεδα.

4.4. Συστήματα Εγχύσεως

Τα κυριότερα συστήματα εγχύσεως που απαντώνται σε πετρελαιοκινητήρες είναι:

4.4.1. Σύστημα εγχύσεως με αντλίες μονού βυθίσματος (Single-plunger fuel injection pumps) .

Το συγκεκριμένο σύστημα συναντάται σε όλους τους τύπους πετρελαιομηχανών, από ταχύστροφους κινητήρες οχημάτων και πετρελαιοκινητήρες τρένων, έως μεσόστροφους και αργόστροφους κινητήρες πλοίων. Ειδικά στους ναυτικούς πετρελαιοκινητήρες αποτελεί το πιο διαδεδομένο σύστημα εγχύσεως καυσίμου, αφού είναι κατάλληλο να διαχειριστεί και βαρέα καύσιμα.

Στο σύστημα αυτό, σε κάθε κύλινδρο της μηχανής αντιστοιχεί ανεξάρτητη εμβολοφόρος αντλία υψηλής πίεσεως, η οποία μέσω αγωγού υψηλής πίεσεως τροφοδοτεί τον εγχυτήρα (ή τους εγχυτήρες) του συγκεκριμένου κυλίνδρου. Κάθε αντλία παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα της μηχανής, μέσω ειδικών έκκεντρων. Αφού τα έκκεντρα είναι προσαρμοσμένα σταθερά πάνω στον εκκεντροφόρο άξονα, δεν υπάρχει δυνατότητα μεταβολής του χρονισμού της εγχύσεως με στροφή του εκκεντροφόρου άξονα, διότι τότε θα χαλούσε και ο χρονισμός των βαλβίδων. Η μεταβολή του χρονισμού της εγχύσεως στο συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ανεξάρτητου εκκεντροφόρου άξονα για τις αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσεως. Σε ορισμένους τύπους αντλιών, με την παρεμβολή ειδικού μηχανισμού μεταξύ του έκκεντρου και του τροχίσκου του ωστηρίου της αντλίας, παρέχεται η δυνατότητα μεταβολής του χρονισμού της εγχύσεως, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και το σημείο λειτουργίας του κινητήρα.

Σε εξελιγμένους τύπους συστημάτων με αντλίες μονού βυθίσματος, καταργείται ο εκκεντροφόρος άξονας των αντλιών και αντικαθίσταται από υδραυλικό σύστημα (ηλεκτρονικά ελεγχόμενο), το οποίο με κατάλληλους υδραυλικούς επενεργητές ρυθμίζει τη λειτουργία των αντλιών. Το σύστημα μπορεί να συνδυασθεί με αντίστοιχο σύστημα για τις βαλβίδες εξαγωγής των κυλίνδρων, οπότε εκλείπει η ανάγκη υπέρξεως εκκεντροφόρου άξονα. Η λειτουργία του αντικαθίσταται από ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο παρέχει μεγάλη ελευθερία μεταβολής του χρονισμού και της διάρκειας της εγχύσεως (καθώς και του χρονισμού και της διάρκειας ανοίγματος των βαλβίδων εξαγωγής), ανάλογα με το σημείο λειτουργίας του κινητήρα.

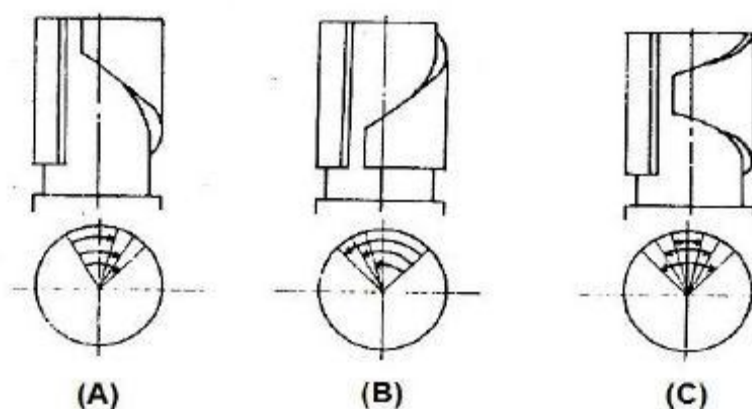
Παραλλαγή του συστήματος με αντλίες μονού βυθίσματος είναι το σύστημα με αντλίες διπλού βυθίσματος. Στο σύστημα αυτό κάθε αντλία υψηλής πίεσεως περιλαμβάνει δύο έμβολα, που παίρνουν κίνηση από διαφορετικά έκκεντρα. Τα δύο έμβολα θλίβουν το καύσιμο ταυτόχρονα προς τον κοινό αγωγό υψηλής πίεσεως, ο οποίος το οδηγεί στον αντίστοιχο εγχυτήρα. Το ένα από τα δύο έμβολα λειτουργεί όπως και τα κλασικά έμβολα των αντλιών μονού βυθίσματος, ρυθμίζοντας το πέρας της διαδικασίας εγχύσεως. Το δεύτερο έμβολο, με τη βοήθεια κατάλληλης εγκοπής, ρυθμίζει το χρονισμό της εγχύσεως, δηλαδή τη στιγμή ενάρξεως της εγχύσεως.

4.4.2 Σύστημα με μονάδες εγχύσεως (Unit - Injector - Systems U.I.S)

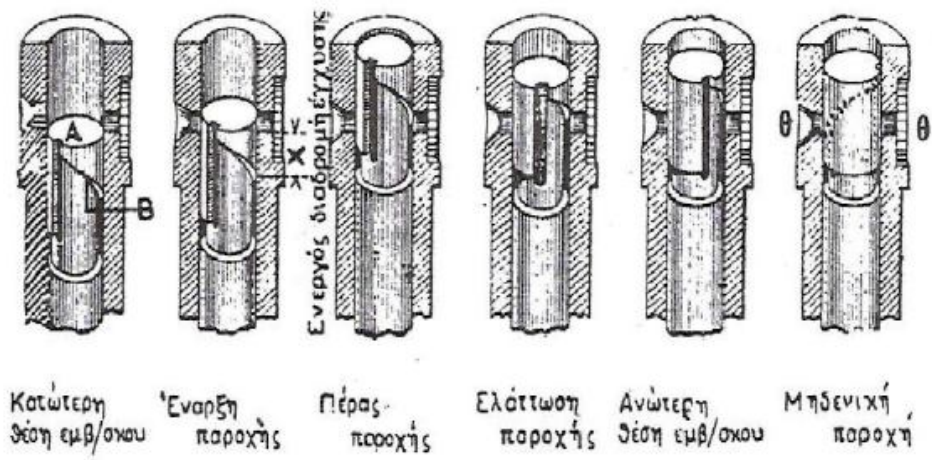
Στο σύστημα αυτό η αντλία υψηλής πίεσης και ο εγχυτήρας αποτελούν ενιαία μονάδα εγχύσεως. Κάθε κύλινδρος διαθέτει στην κεφαλή του μία μονάδα εγχύσεως, η οποία παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα. Λόγω της απουσίας αγωγών υψηλής πίεσης, η πίεση εγχύσεως μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα (2050 bar).

Το σύστημα έχει τη δυνατότητα μεταβολής του χρονισμού και της διάρκειας της εγχύσεως. Η ρύθμιση πραγματοποιείται με τη βοήθεια κατάλληλης ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, η οποία ελέγχει την παροχέτευση του καυσίμου προς την επιστροφή. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας ελέγχεται από ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου. Όταν το έκκεντρο πιέζει το έμβολο της αντλίας ενώ η βαλβίδα είναι ανοικτή, το καύσιμο παροχετεύεται προς την επιστροφή. Με το κλείσιμο της βαλβίδας ξεκινά η έγχυση, η οποία τερματίζεται με το άνοιγμα της βαλβίδας.

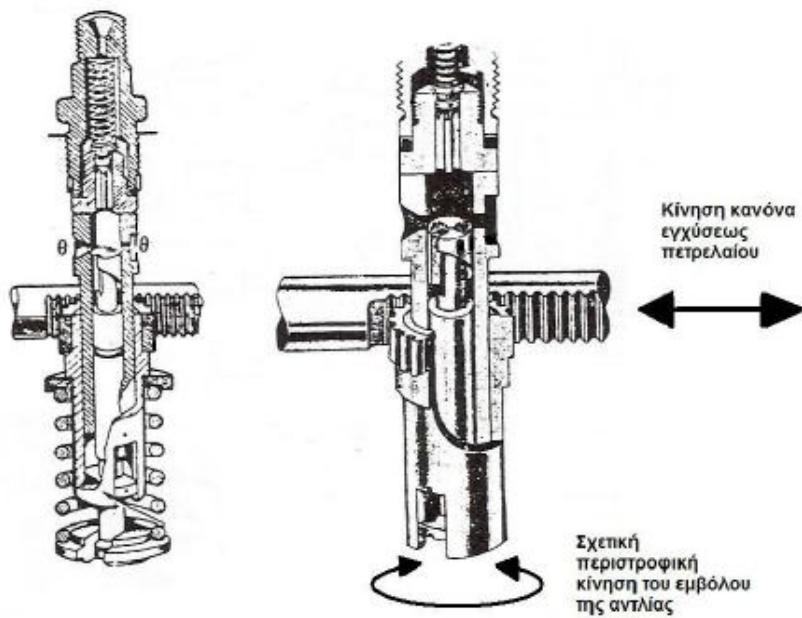
Συνεπώς, η γεωμετρία του έκκεντρου ρυθμίζει μόνο τη μέγιστη διάρκεια της εγχύσεως, ενώ ο χρονισμός και η διάρκεια της εγχύσεως ρυθμίζονται με βάση τη χρονική στιγμή που κλείνει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και από το χρόνο που παραμένει αυτή κλειστή. Ο ηλεκτρονικός έλεγχος της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας επιτρέπει τη μεταβολή του χρονισμού και της διάρκειας της εγχύσεως, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και την ποιότητα του καυσίμου. Τα μειονεκτήματα του συστήματος συνδέονται με την τοποθέτηση της μονάδας εγχύσεως στο πώμα του κυλίνδρου. Ο μεγαλύτερος όγκος του συστήματος, σε σχέση με ένα απλό εγχυτήρα, θέτει σχεδιαστικούς περιορισμούς, ενώ οι δυνάμεις από τα έκκεντρα μεταδίδονται, μέσω της μονάδας εγχύσεως, στο πώμα του κυλίνδρου.



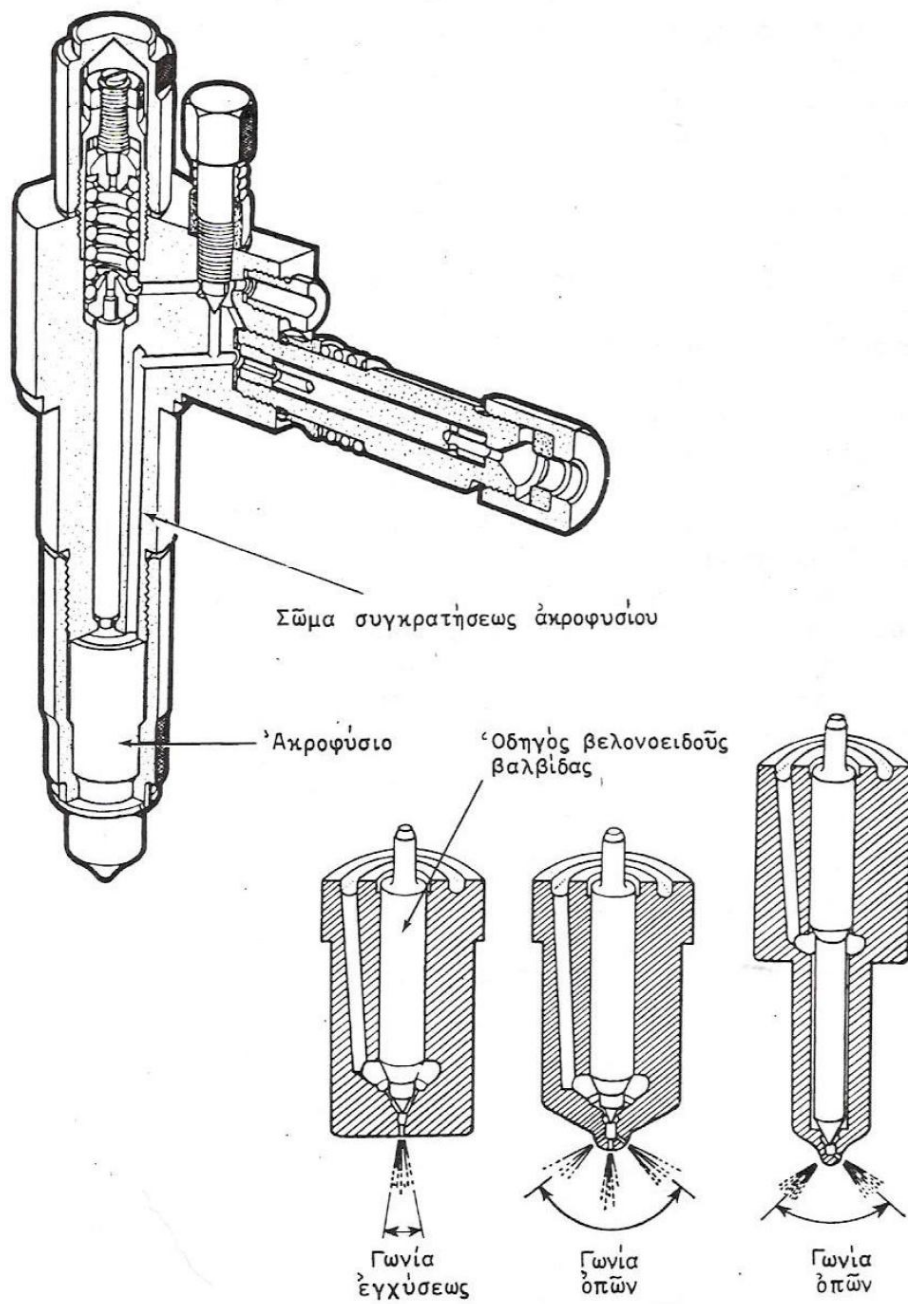
Εικόνα 16: Κατασκευαστικές ελικοτομές εμβόλου αντλίας εγχύσεως πετρελαίου.



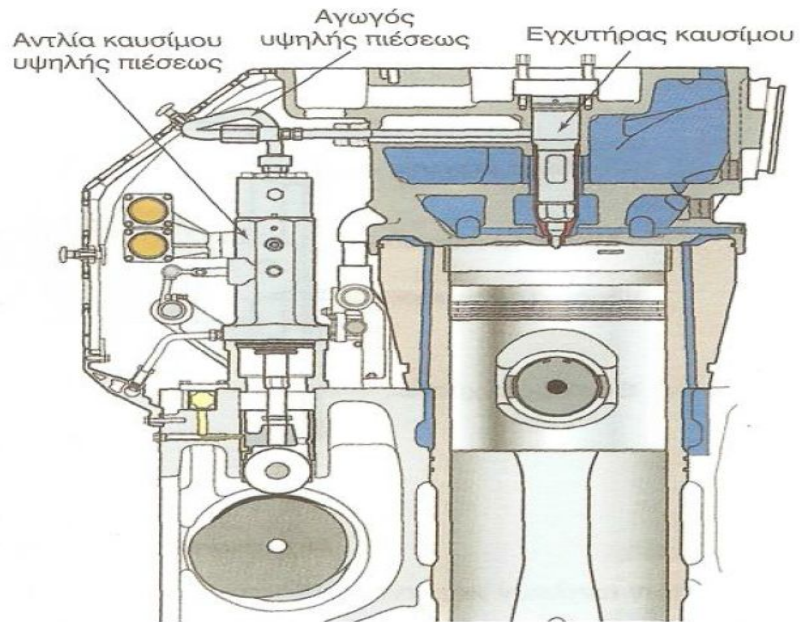
Εικόνα 17: Θέσεις λειτουργίας εμβόλου αντλίας πετρελαίου



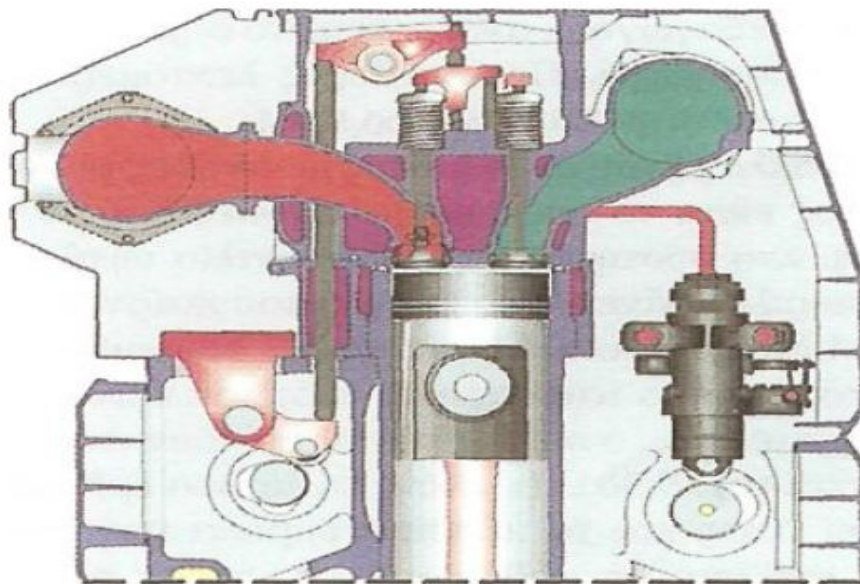
Εικόνα 18: Σχετικές κινήσεις της αντλίας πετρελαίου.



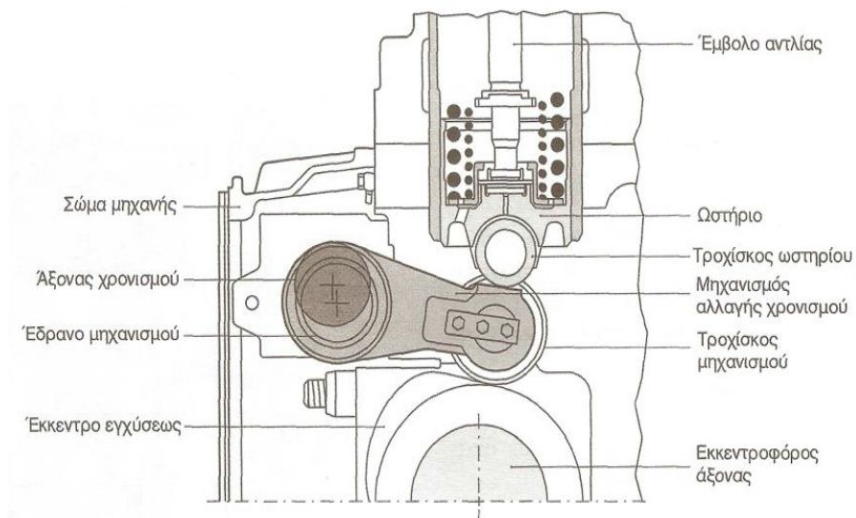
Εικόνα 19: Εγχυτήρας πετρελαίου



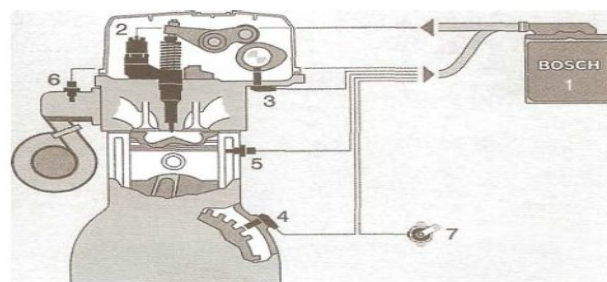
Εικόνα 20: Τομή τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, όπου διακρίνεται η αντλία υψηλής πίεσης ενός κυλίνδρου η οποία παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα. Η αντλία μέσω του αγωγού υψηλής πίεσης τροφοδοτεί με καύσιμο τον αντίστοιχο εγχυτήρα καυσίμου.



Εικόνα 21: Τομή τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, όπου οι αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσης παίρνουν κίνηση από ανεξάρτητο εκκεντροφόρο. Με τη σχεδίαση αυτή είναι δυνατή η μεταβολή του χρονισμού της εγχύσεως, με κατάλληλη περιστροφή του αντίστοιχου εκκεντροφόρου.



Εικόνα 22: Μηχανισμός μεταβολής του χρονισμού της εγχύσεως.

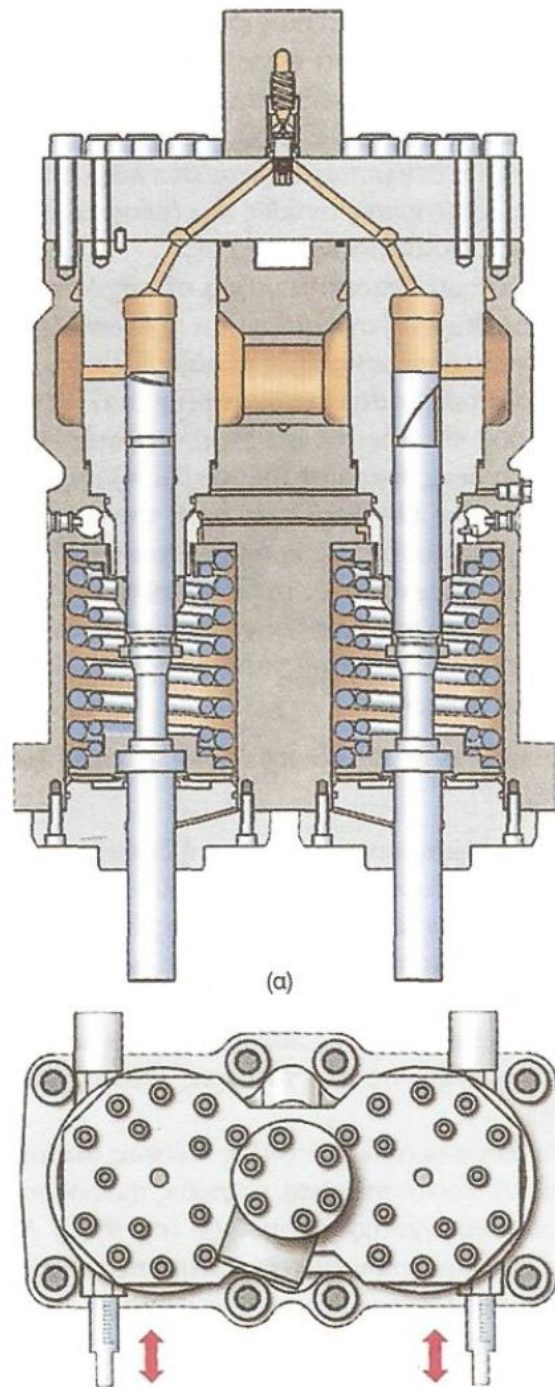


(α)



(β)

Εικόνα 23: (α) Σχηματική απεικόνιση συστήματος εγχύσεως με μονάδες μικρού ταχύστροφου πετρελαιοκινητήρα. 1) Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. 2) Μονάδα εγχύσεως. 3) Αισθητήρας εκκεντροφόρου. 4) Αισθητήρας στροφαλοφόρου. 5) Αισθητήρας θερμοκρασίας. 6) Αισθητήρας πίεσεως υπερπληρώσεως. 7) Αισθητήρας ποδωστηρίου επιταχύνσεως, (β) Μια από τις μονάδες εγχύσεως του κινητήρα της



Εικόνα 24: Αντλία καυσίμου υψηλής πίεσης διπλού βυθίσματος { (α) σε πλάγια τομή, (β) σε κάτοψη}. Με την περιστροφή του αριστερού εμβόλου ρυθμίζεται η έναρξη της εγχύσεως (ο χρονισμός της εγχύσεως) ενώ με την περιστροφή του δεξιού εμβόλου ρυθμίζεται το πέρας της εγχύσεως.

4.5. Εξελιγμένες μορφές του συστήματος εγχύσεως με αντλίες μονού βυθίσματος.

4.5.1. Σύστημα πιλοτικής εγχύσεως με ανεξάρτητο εγχυτήρα.

Στις τετράχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές εκτός του κύριου (κεντρικού) εγχυτήρα συναντάται και η χρήση δευτερεύοντος πιλοτικού εγχυτήρα, τοποθετημένου στα πλάγια του πώματος. Ο πιλοτικός εγχυτήρας προηγείται του κύριου εγχυτήρα στην έγχυση του καυσίμου, εγχέοντας μία μικρή ποσότητα καυσίμου. Το καύσιμο αυτό με την πρόωρη ανάφλεξη του προετοιμάζει το θάλαμο καύσεως να δεχθεί την κύρια ποσότητα καυσίμου. Αυξάνοντας ομαλά την πίεση συμπίεσεως και τη θερμοκρασία, βελτιώνει την εξάτμιση της κύριας μάζας του καυσίμου που εγχύεται από τον κεντρικό εγχυτήρα, μειώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο την καθυστέρηση της εναύσεως. Έτσι επιτρέπει την έγχυση και καύση καυσίμων με κακή ποιότητα αναφλέξεως. Επιτρέπει επίσης την καλύτερη ρύθμιση της ποσότητας του εγχυόμενου καυσίμου σε συνθήκες πολύ χαμηλού φορτίου, βελτιώνοντας την καύση κατά την εκκίνηση και στις πολύ χαμηλές στροφές. Λόγω της σταδιακής εγχύσεως και της προετοιμασίας του θαλάμου καύσεως, εξομαλύνεται η μεταβολή της πίεσεως στο εσωτερικό του θαλάμου καύσεως και μειώνεται ο θόρυβος καύσεως. Η μείωση της υστερήσεως της εναύσεως ελαττώνει τη μέγιστη τιμή της πίεσεως και της θερμοκρασίας κατά την καύση προκαλώντας μείωση των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου. Συνολικά με τη χρήση του πιλοτικού εγχυτήρα επιτυγχάνεται αύξηση του θερμικού βαθμού αποδόσεως του κινητήρα.

Οι δύο εγχυτήρες του κάθε κυλίνδρου τροφοδοτούνται από μία αντλία υψηλής πίεσεως, η οποία είναι κατάλληλα διαμορφωμένη ώστε να παρέχει καύσιμο σε δύο ανεξάρτητους αγωγούς υψηλής πίεσεως. Λόγω της υπάρξεως των δύο αγωγών στην αντλία είναι ενσωματωμένες και δύο ανεξάρτητες ανεπίστροφες βαλβίδες, για την απομόνωση των αγωγών υψηλής πίεσεως από το θάλαμο καταθλίψεως της αντλίας.

4.5.2. Σύστημα εγχύσεως με υδραυλική ενεργοποίηση των αντλιών και απουσία εκκεντροφόρου.

Το συγκεκριμένο σύστημα αναπτύχθηκε από την εταιρεία MAN B&W, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εισαγωγή ευφυούς ελέγχου στη λειτουργία των μεγάλων δίχρονων αργόστροφων πετρελαιομηχανών. Στο σύστημα αυτό, ο εκκεντροφόρος άξονας αντικαθίσταται πλήρως από υδραυλικό σύστημα, το οποίο παρέχει την ισχύ για τη λειτουργία τόσο των αντλιών καυσίμου υψηλής πίεσεως όσο και των βαλβίδων εξαγωγής των κυλίνδρων. Στο υδραυλικό σύστημα η ισχύς παρέχεται από εμβολοφόρες αντλίες, οι οποίες παίρνουν κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής. Ως υδραυλικό υγρό χρησιμοποιείται το ίδιο το λάδι της μηχανής, αποφεύγοντας έτσι την κατασκευή επιπλέον δικτύων και δεξαμενών. Λόγω της λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος σε υψηλές πιέσεις, απαιτείται υψηλή καθαρότητα του λαδιού, το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών αυτοκαθαριζομένων φίλτρων.

Η αντλίες καυσίμου (μία για κάθε κύλινδρο) είναι κλασικές αντλίες μονού βυθίσματος, οι οποίες τροφοδοτούν με καύσιμο κλασικούς εγχυτήρες καυσίμου. Η χρήση δοκιμασμένων μηχανισμών αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος και διευκολύνει τη συντήρηση.

Το λάδι φθάνει με υψηλή πίεση σε κάθε αντλία καυσίμου, παρέχοντας την αναγκαία ισχύ για την ανύψωση κατάλληλου εμβόλου, το οποίο ωθεί το έμβολο της αντλίας καυσίμου. Τα δύο έμβολα διατηρούνται σε επαφή λόγω της πίεσεως του λαδιού και του καυσίμου που επενεργούν στις δύο αντίθετες πλευρές τους. Για την απόσβεση των κυμάτων πίεσεως εντός του υδραυλικού συστήματος και για την άμεση παροχή της αναγκαίας ποσότητας λαδιού για τη λειτουργία της αντλίας, πριν από κάθε αντλία τοποθετείται κατάλληλος συλλέκτης-

αποσβεστήρας. Η παροχή του λαδιού ελέγχεται από ειδική βαλβίδα ελέγχου, η οποία με τη σειρά της καθοδηγείται από το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.

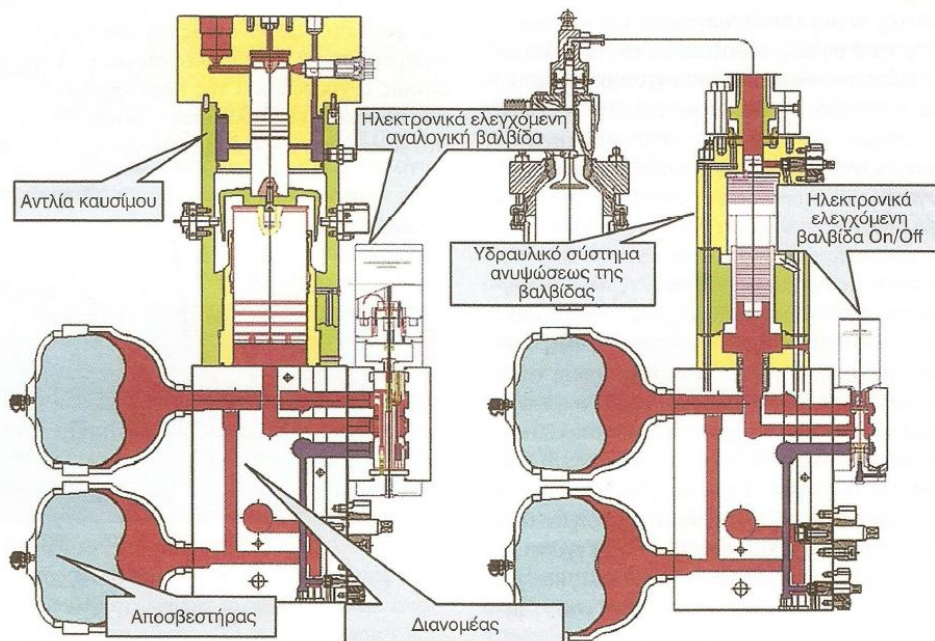
Η χρήση ηλεκτρονικού ελέγχου στο υδραυλικό σύστημα ανυψώσεως της αντλίας καυσίμου, επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο του χρονισμού και της διάρκειας της εγχύσεως, διαφοροποιώντας τις παραμέτρους της εγχύσεως, ανάλογα με το σημείο λειτουργίας της μηχανής. Έτσι είναι δυνατόν να παραχθεί μεγάλη ποικιλία από προφίλ εγχύσεως, όπως για παράδειγμα έγχυση με μειούμενη πίεση (και παροχή) καυσίμου, έγχυση με σταθερή πίεση, έγχυση με προοδευτικά αυξανόμενη πίεση εγχύσεως ή διπλή έγχυση (πιλοτική συν κύρια έγχυση). Με την εφαρμογή εγχύσεως με προοδευτικά αυξανόμενη πίεση επιτυγχάνεται μείωση της καταναλώσεως καυσίμου, ενώ με την εφαρμογή πιλοτικής εγχύσεως μειώνονται οι παραγόμενοι ρύποι.

Παράλληλα με τη λειτουργία του συστήματος εγχύσεως, το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για την κίνηση των βαλβίδων εξαγωγής των κυλίνδρων. Ο χρονισμός της βαλβίδας εξαγωγής και η διάρκεια ανοίγματος της ελέγχονται από ειδική βαλβίδα ταχείας αποκρίσεως στο υδραυλικό σύστημα.

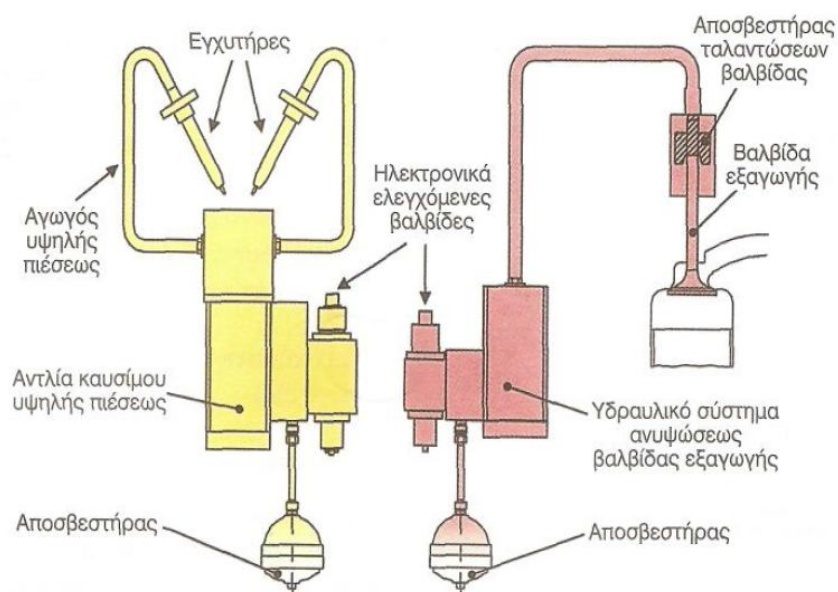
Με τη χρήση ηλεκτρονικού ελέγχου, τα χαρακτηριστικά της εγχύσεως μπορούν να βελτιστοποιούνται σε όλο το φάσμα του φορτίου της μηχανής. Με συνδυασμένο έλεγχο του χρονισμού της εγχύσεως και του χρόνου κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής, είναι δυνατόν να διατηρείται σταθερή η μέγιστη πίεση εντός του κυλίνδρου σε αρκετό εύρος φορτίων (χωρίς κίνδυνο υπερφορτίσεως). Ως αποτέλεσμα, μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση καυσίμου σε μερικά φορτία. Επιπλέον επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των ελαχίστων στροφών λειτουργίας του κινητήρα, ενώ η λειτουργία του κινητήρα καθίσταται πολύ ομαλότερη στις στροφές αυτές. Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μηχανής (ως σύνολο αλλά και για κάθε κύλινδρο ξεχωριστά) σε όλα τα φορτία, επιτρέπει τη διατήρηση των επιδόσεων του κινητήρα στα ίδια επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Επιπλέον ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί εναλλακτικά με χαρακτηριστικά μειωμένων ρύπων ή με χαρακτηριστικά μειωμένης καταναλώσεως, ανάλογα με την περιοχή που ταξιδεύει το πλοίο.

Η χρήση του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου επιτρέπει τη βελτιστοποιημένη λειτουργία του κινητήρα ακόμη και κατά τη φάση της αναστροφής του (κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση εκκεντροφόρου). Με ειδικό χειρισμό μπορεί επίσης να επιτευχθεί ταχεία επιβράδυνση της μηχανής, μειώνοντας έτσι τη διαδρομή ακινητοποιήσεως του πλοίου. Αντίστοιχα μπορεί να επιτευχθεί ταχύτερη επιτάχυνση του κινητήρα με κατάλληλο έλεγχο της βαλβίδας εξαγωγής (ανοίγοντας πιο νωρίς υπάρχει περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια στα καυσάερια, οπότε επιταχύνεται ο συμπιεστής του στρόβιλο - υπερπληρωτή και αυξάνεται η πίεση υπερπληρώσεως).

Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου συνδυάζεται με αντίστοιχο διαγνωστικό σύστημα βλαβών, το οποίο προστατεύει τον κινητήρα από υπερφόρτιση ή από επικίνδυνες βλάβες, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία του και μειώνοντας το κόστος συντηρήσεως.



Εικόνα 25: Σύστημα εγχύσεως και σύστημα ανυψώσεως της βαλβίδας εξαγωγής χωρίς τη χρήση εκκεντροφόρου σε τομή.

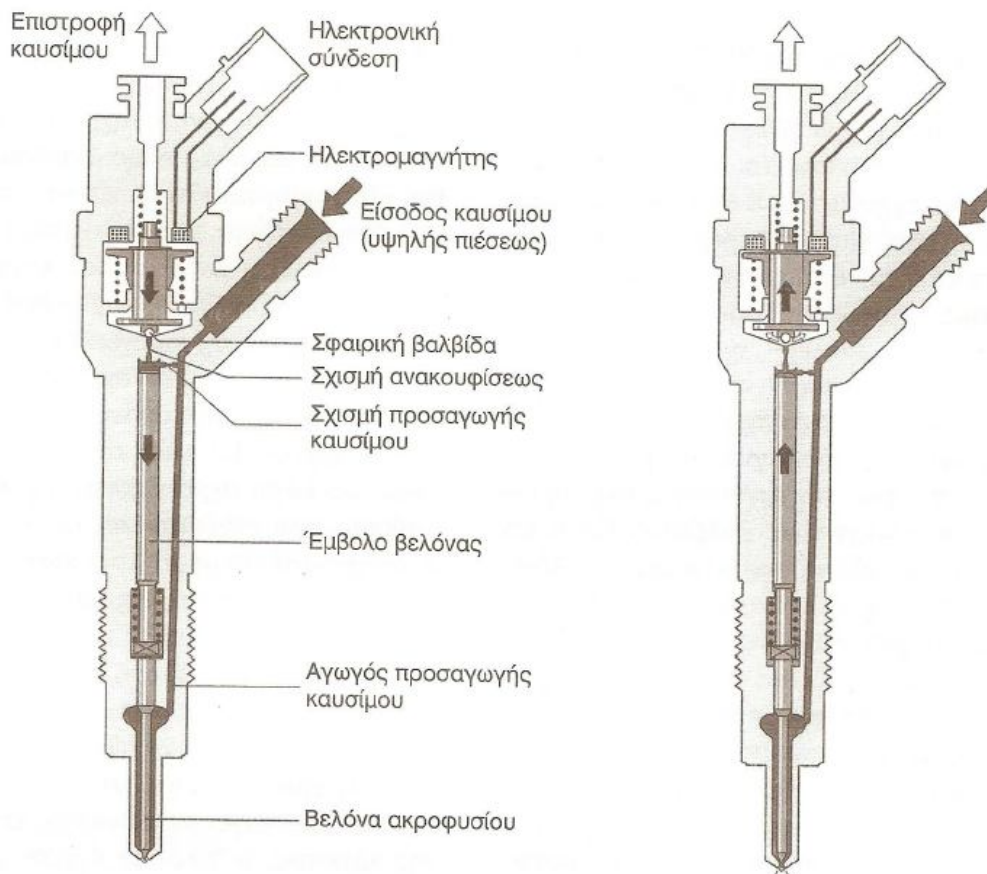


Εικόνα 26: Διάταξη συστημάτων εγχύσεως και ανυψώσεως της βαλβίδας εξαγωγής χωρίς τη χρήση εκκεντροφόρου άξονα.

4.5.3. Συστήματα κοινού συλλέκτη (Common - rail systems).

Το σύστημα κοινού συλλέκτη σε πρωτόγονη μορφή ανάγει την καταγωγή του στις αρχές του 20ού αιώνα. Στην εποχή εκείνη βέβαια στηριζόταν σε μηχανικό έλεγχο της εγχύσεως. Η αλματώδης ανάπτυξη του πραγματοποιήθηκε κατά τη δεκαετία του 1990, όταν πλέον είχαν αναπτυχθεί ιδιαίτερα αξιόπιστα συστήματα ελέγχου, ενώ τα υλικά και οι διαδικασίες κατασκευής επέτρεψαν την παραγωγή συστημάτων που να αντέχουν στις απαραίτητες υψηλές πιέσεις λειτουργίας (άνω των 1500 bar).

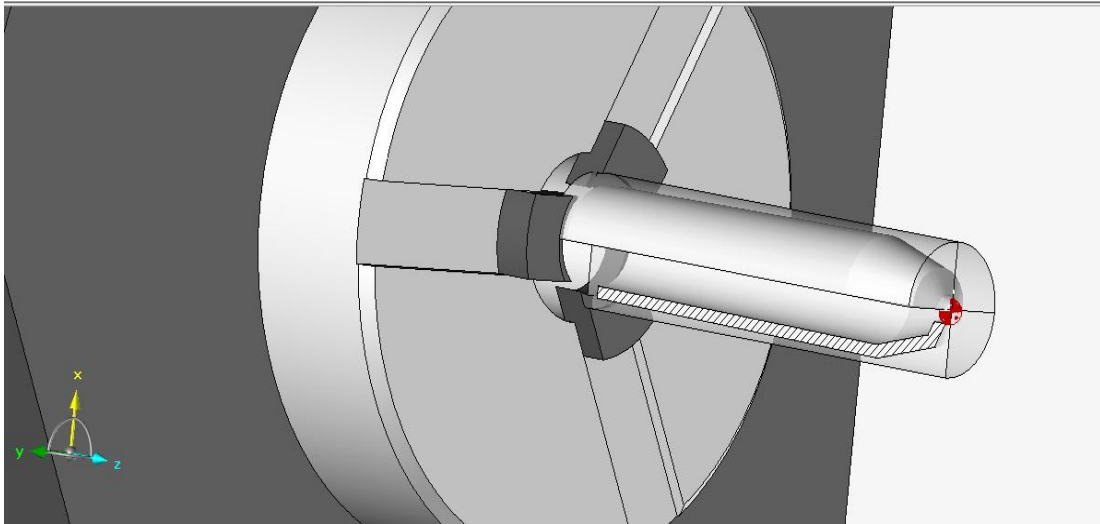
Στο σύστημα κοινού συλλέκτη, η διαδικασία ανυψώσεως της πίεσεως και η διαδικασία της εγχύσεως είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους. Στην πιο απλή μορφή του το σύστημα αποτελείται από μία αντλία υψηλής πίεσεως, ένα συλλέκτη καυσίμου (δύο συλλέκτες σε μηχανές με διάταξη V), τους εγχυτήρες καυσίμου με ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες καθώς και τους αγωγούς υψηλής πίεσεως, που συνδέουν το συλλέκτη με τους εγχυτήρες. Η αντλία ή οι αντλίες υψηλής πίεσεως καταθλίβουν το καύσιμο στον κοινό συλλέκτη, ο οποίος τροφοδοτεί με καύσιμο όλους τους εγχυτήρες καυσίμου. Ο συλλέκτης συνδέεται με τους εγχυτήρες καυσίμου μέσω αγωγών μικρού σχετικά μήκους. Ο συλλέκτης έχει τη μορφή αγωγού μεγαλύτερης διαμέτρου σε σχέση με τους αγωγούς τροφοδοσίας των εγχυτήρων καυσίμου. Ο μεγάλος σχετικά όγκος του κοινού συλλέκτη του επιτρέπει να λειτουργεί ως δοχείο πίεσεως, ώστε να αποσβένονται τα κύματα πίεσεως από την αντλία υψηλής πίεσεως και να μπορεί η πίεση να διατηρείται πρακτικά σταθερή. Παράλληλα επιτρέπει να διατηρείται η πίεση σταθερή, ανεξάρτητα από την ενεργοποίηση των εγχυτήρων καυσίμου, οι οποίοι τείνουν να μειώσουν την πίεση στο εσωτερικό του συλλέκτη. Η έγχυση του καυσίμου ελέγχεται από ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα τοποθετημένη σε κάθε εγχυτήρα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η μεταβολή του χρονισμού και της διάρκειας της εγχύσεως, μέσω του ελέγχου των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων από κατάλληλο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.



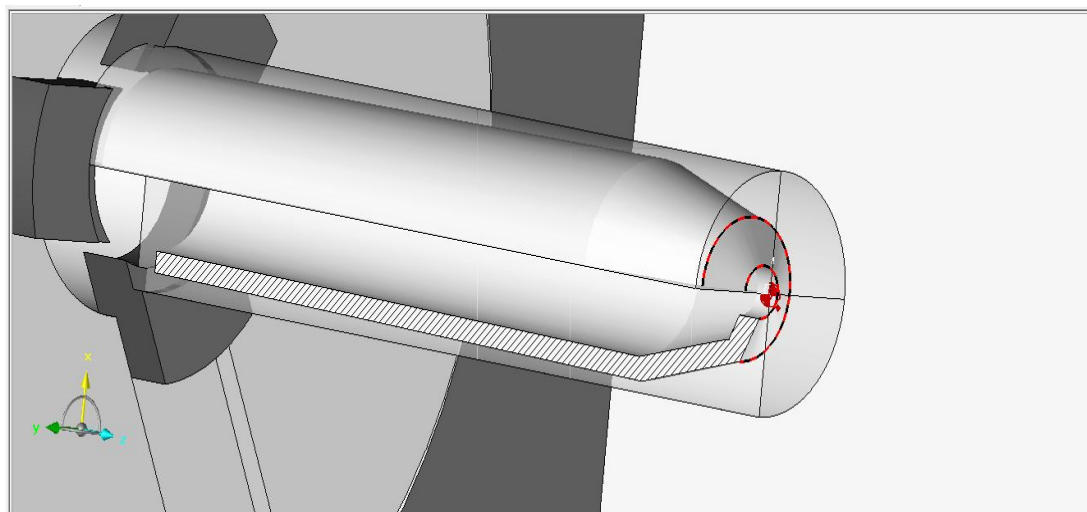
Εικόνα 27: Εγχυτήρας καυσίμου συστήματος κοινού συλλέκτη με ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχου(αριστερή κλειστή, δεξιά ανοικτή). Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη φορά των δυνάμεων στη βελόνα και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχου.

5. Προσομοίωση κατεργασίας εξαρτημάτων σε σύστημα CAM (Computer Aided manufacturing).

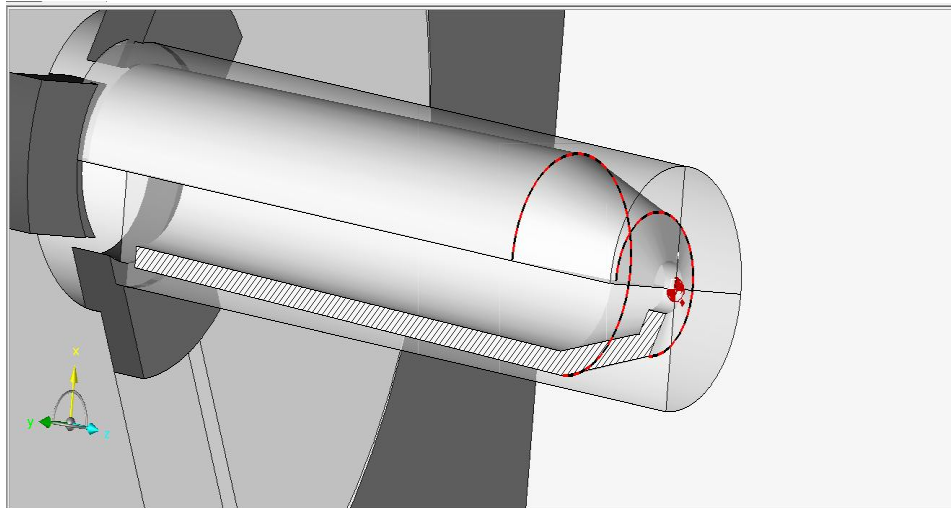
Προσομοίωση κατεργασίας 1^ο δοκιμίου.



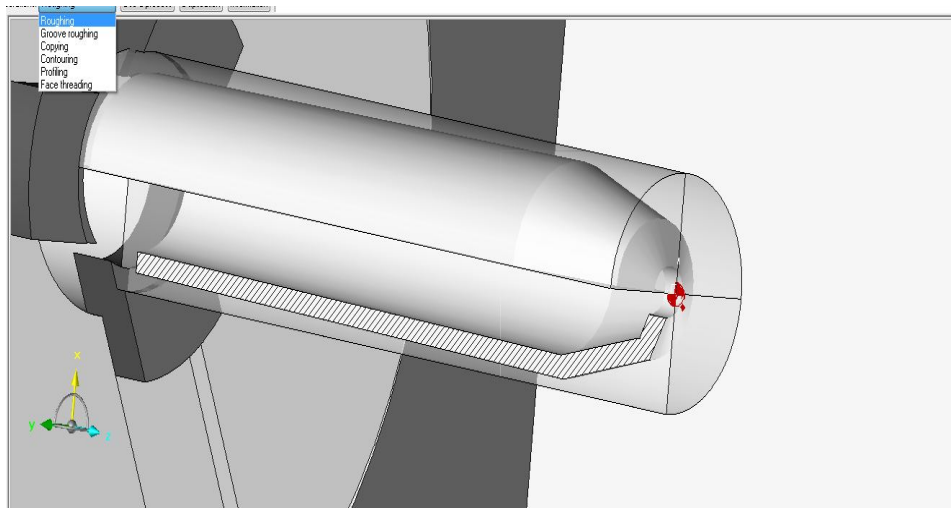
Εικόνα 5.1: Απεικόνιση σώματος εγχυτήρα-Καθορισμός μηδενικού σημείου.



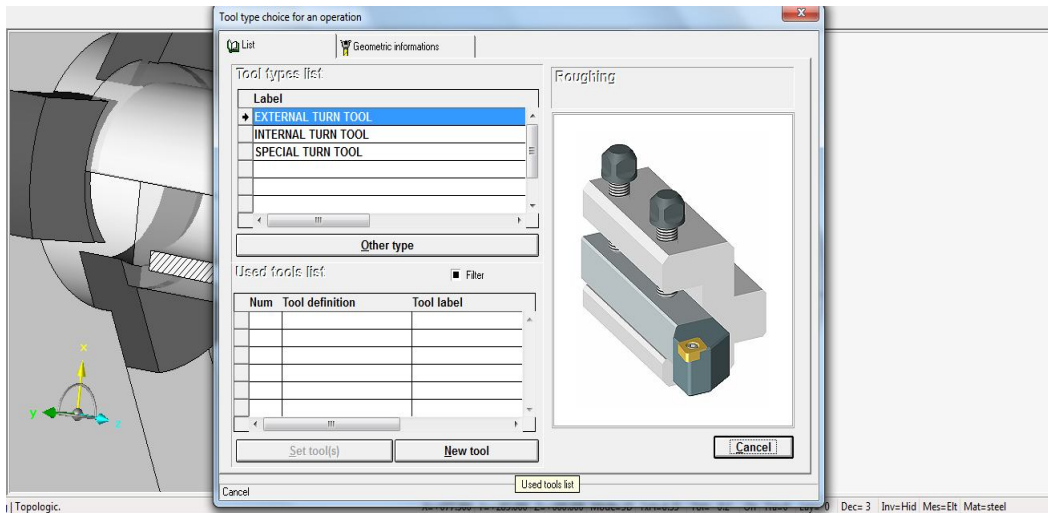
Εικόνα 5.2: Προσδιορισμός επιφανειών για κατεργασία ξεχονδρίσματος (Αρχική επιφάνεια).



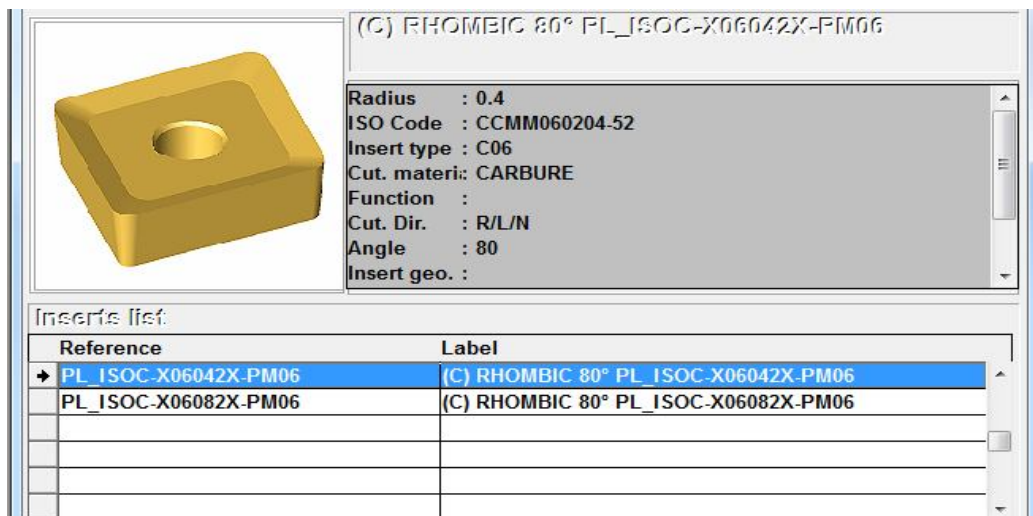
Εικόνα 5.3: Προσδιορισμός επιφανειών για κατεργασία ξεχονδρίσματος (Τελική επιφάνεια).



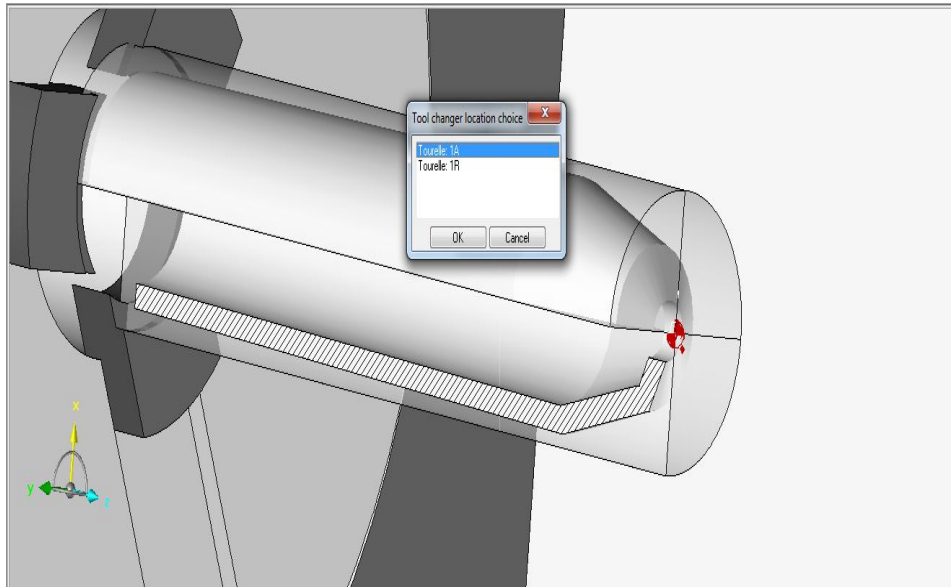
Εικόνα 5.4: Επιλογή κατεργασίας ξεχόνδρισμα.



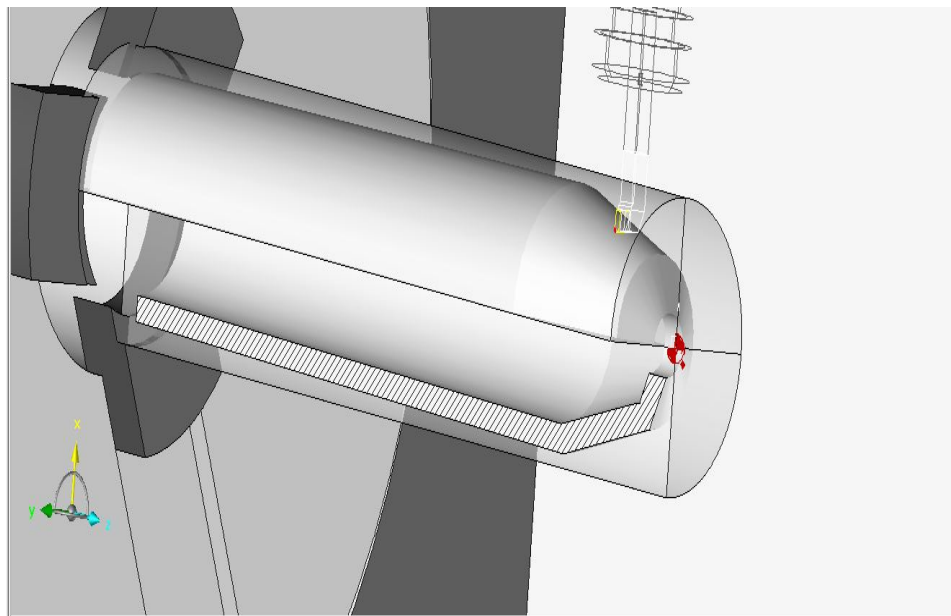
Εικόνα 5.5: Επιλογή εργαλείου



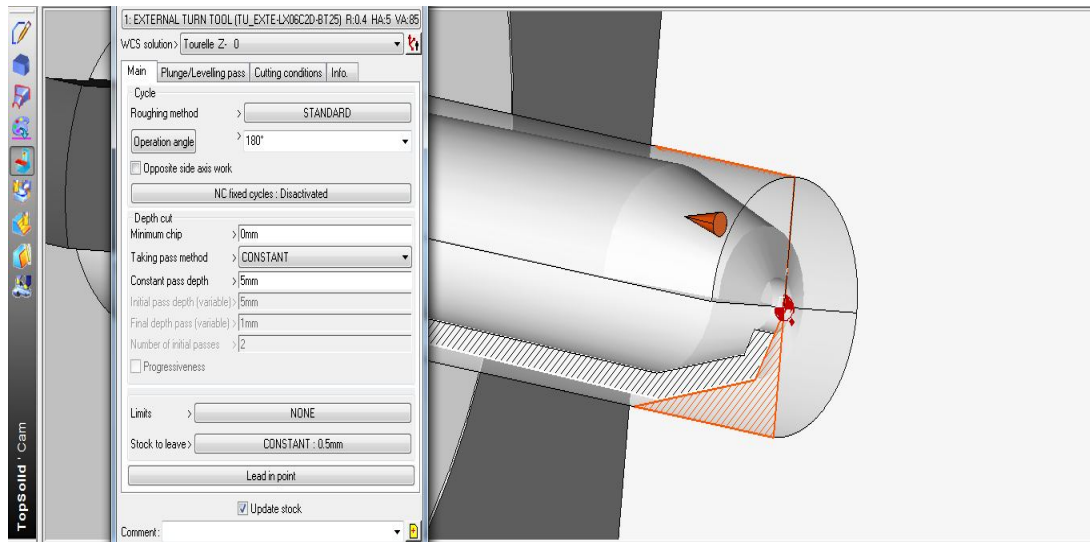
Εικόνα 5.6: Επιλογή ενθέτου πλακιδίου.



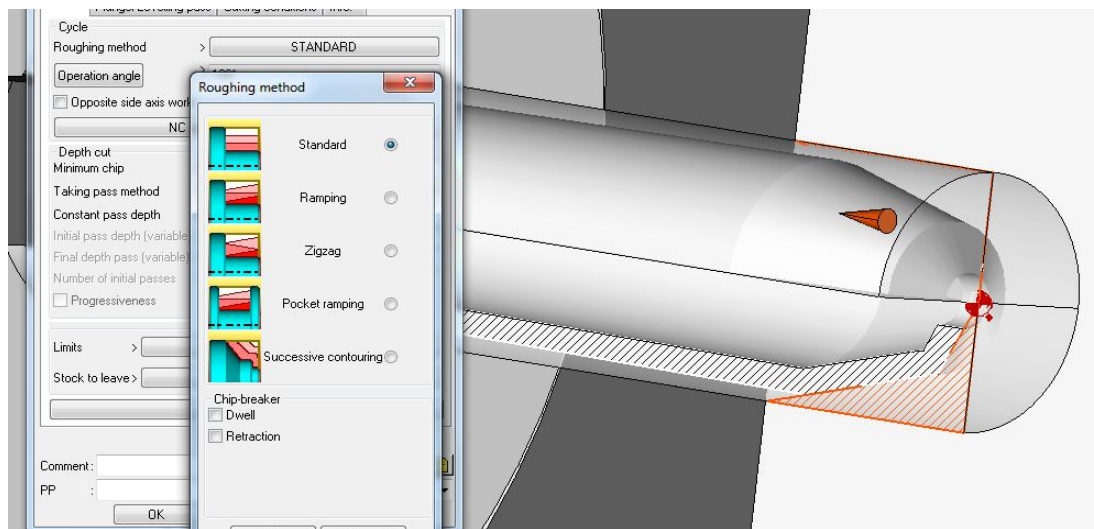
Εικόνα 5.7: Επιλογή εργαλειοδέτη 1Α.



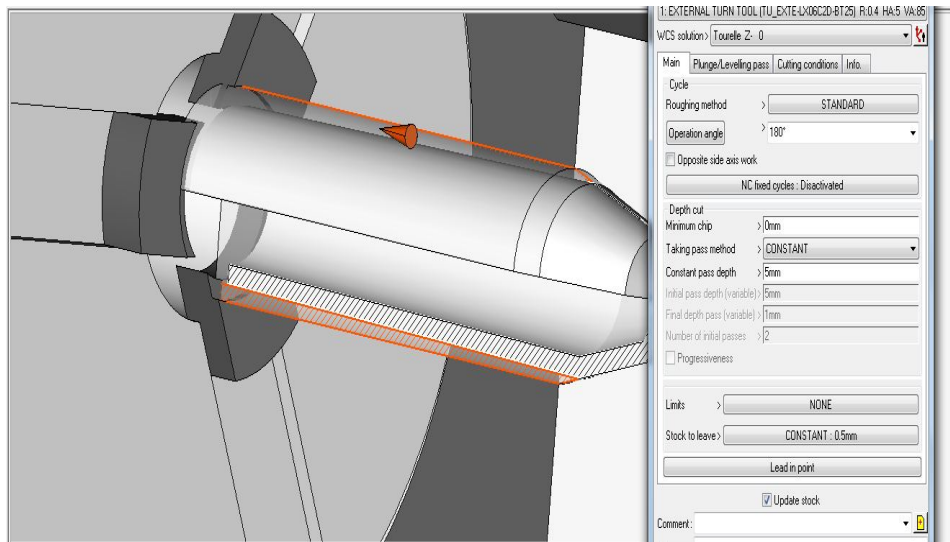
Εικόνα 5.8: Καθορισμός κατεύθυνσης μαχαιριού.



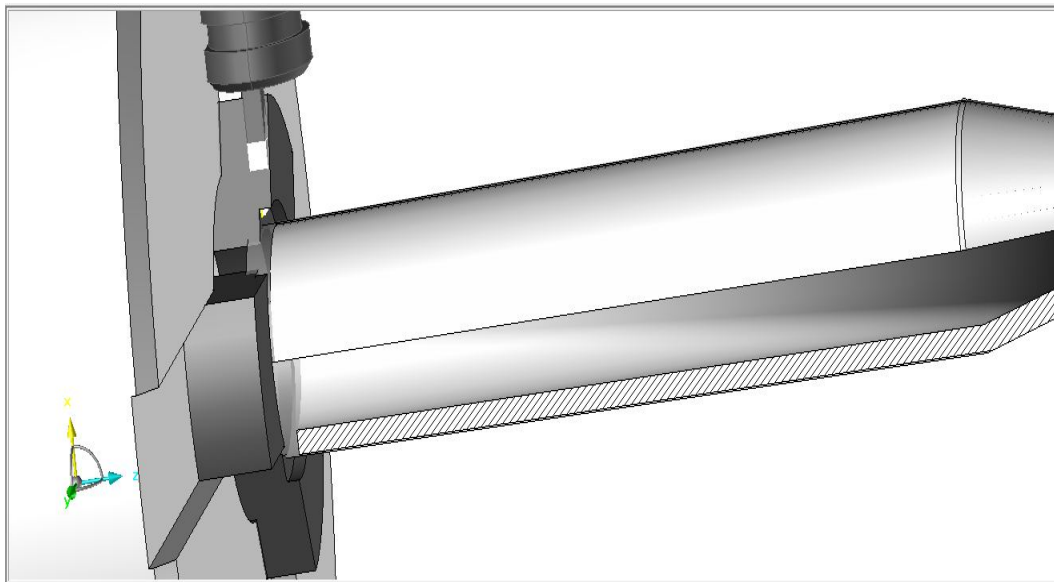
Εικόνα 5.9: Τελική επιλογή παραμέτρων κατεργασίας (Ταχύτητα πρόωσης ,στροφές, βάθος κοπής).



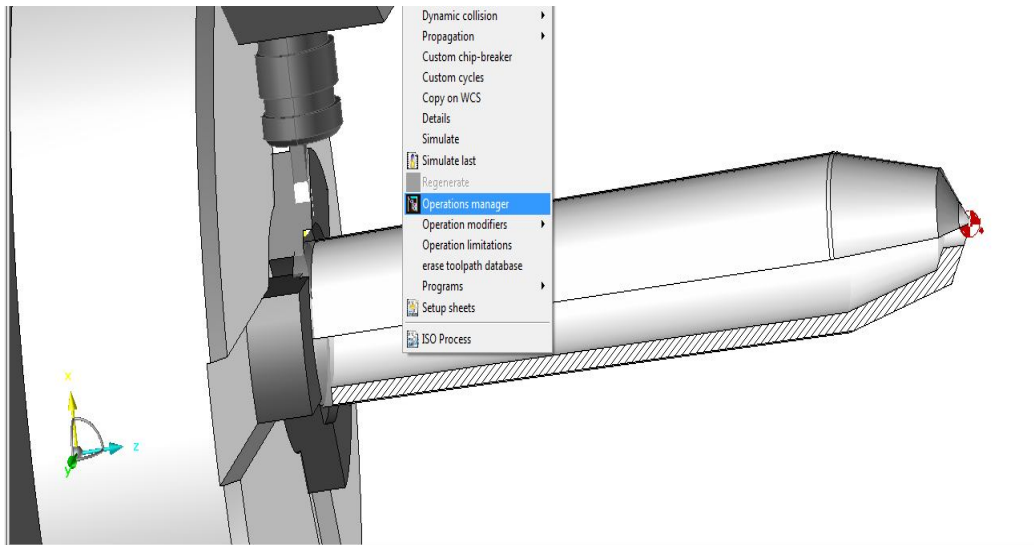
Εικόνα 5.10: Επιλογή τρόπου κινήσεως μαχαιριού.



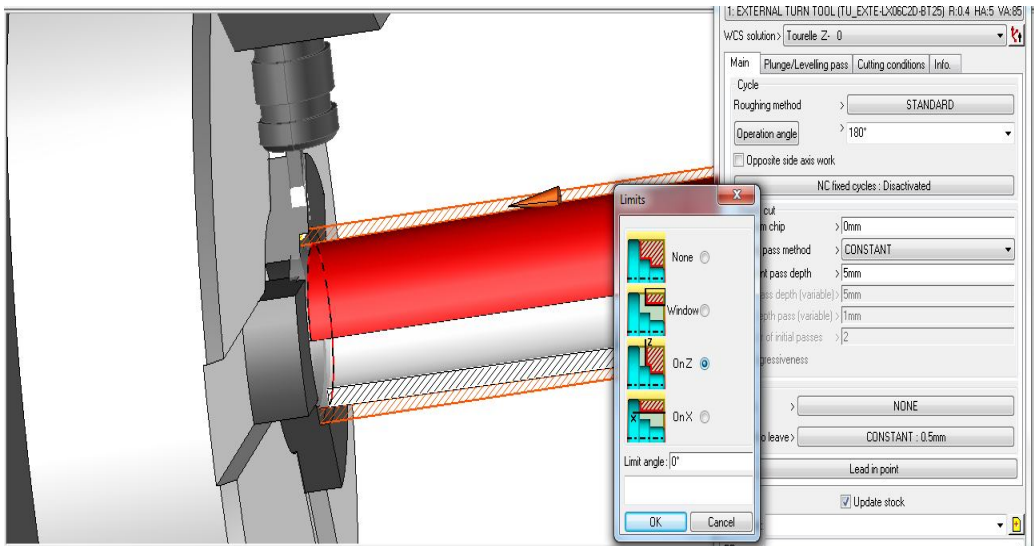
Εικόνα 5.11: Δεύτερο ξεχόνδρισμα-Φινίρισμα.



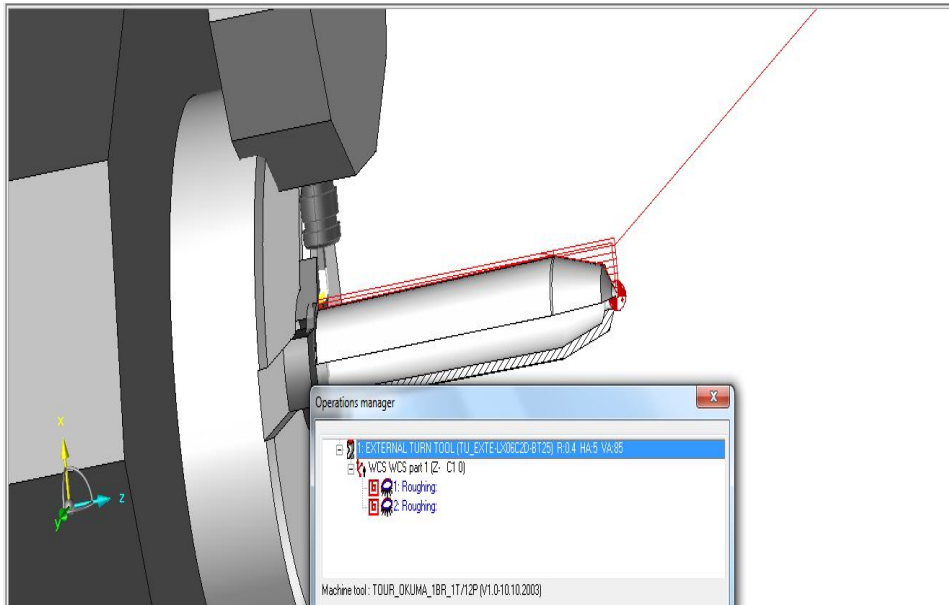
Εικόνα 5.12: Το μαχαίρι έχει συγκρουστεί με το τσοκ.



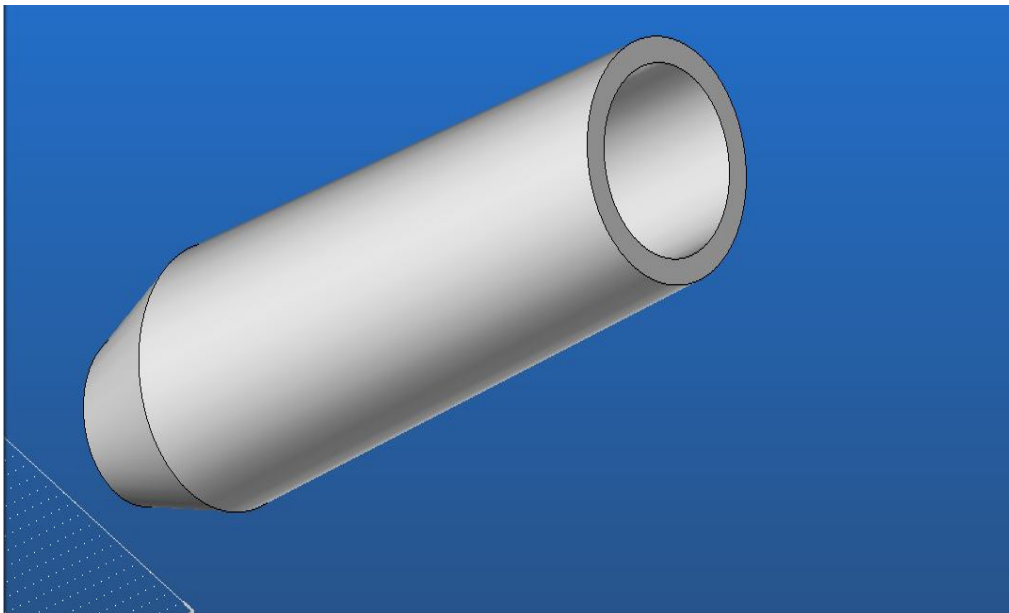
Εικόνα 5.13: Καθορισμός ορίων προς αποφυγή σύγκρουσης του μαχαιριού.



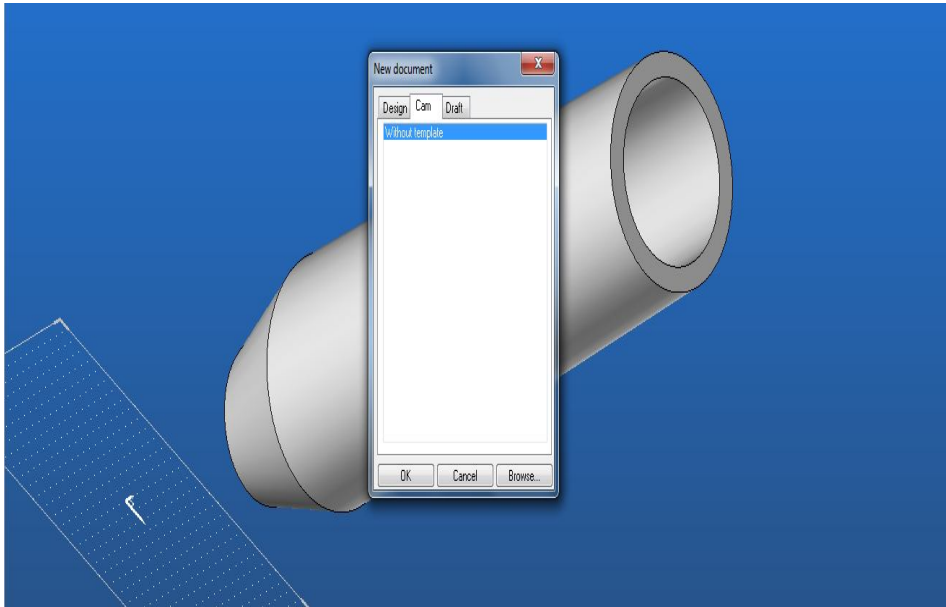
Εικόνα 5.14: Τελικό φινίρισμα.



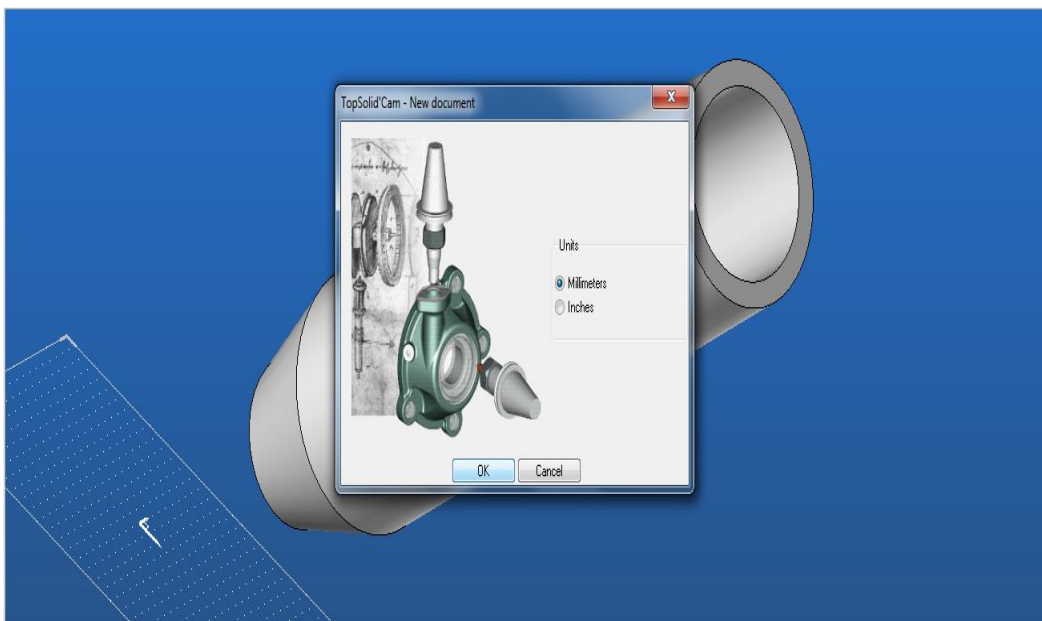
Εικόνα 5.15: Τελική προσομοίωση κατεργασίας.



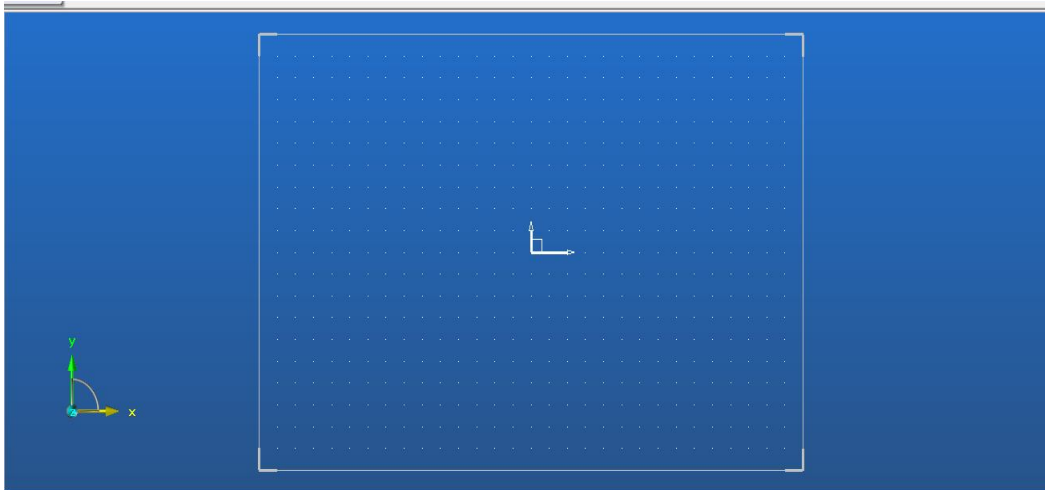
Εικόνα 5.16: Αλλαγή πλευράς δοκιμίου.



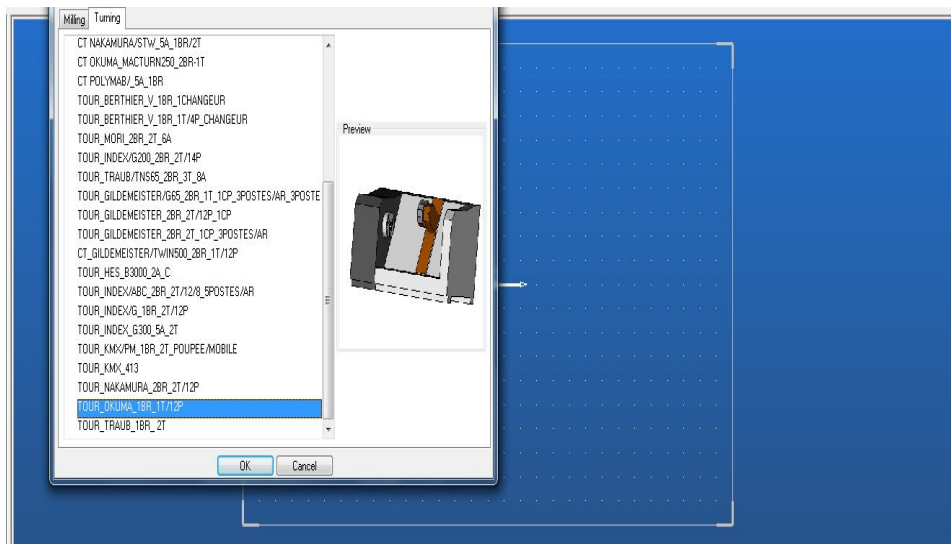
Εικόνα 5.17: Νέο αρχείο καταργασίας- Επιλογή μονάδων μέτρησης χιλιοστό (mm).



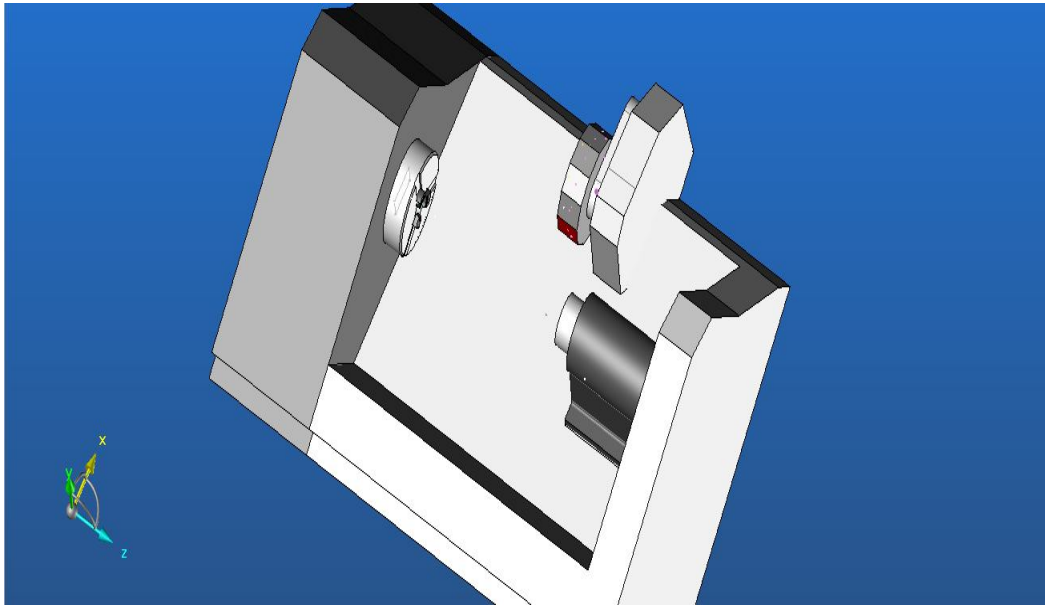
Εικόνα 5.18: Επιλογή μηχανής-Τόρνος CNC.



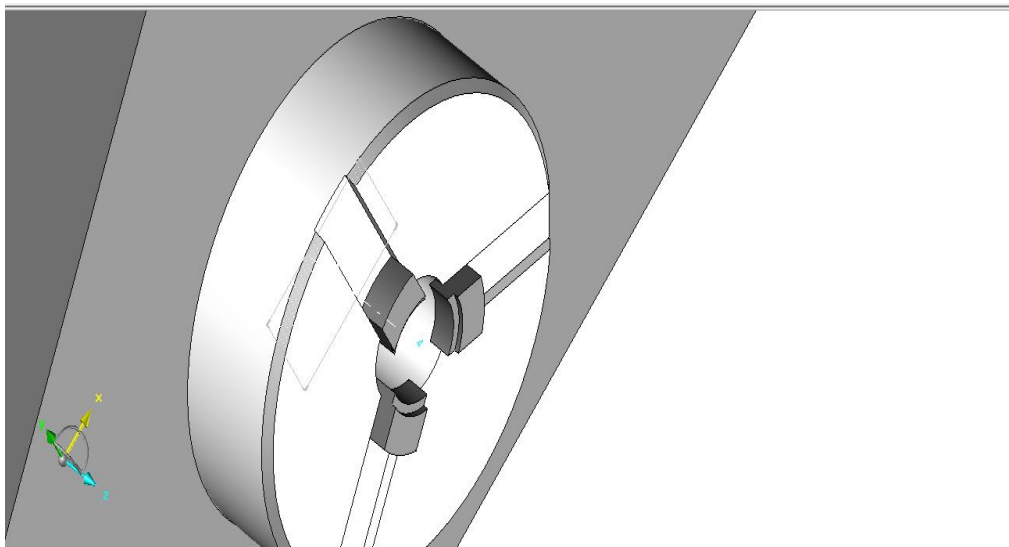
Εικόνα 5.19: Καθορισμός αξόνων.



Εικόνα 5.20: Εργαλειομηχανή που επιλέγεται.



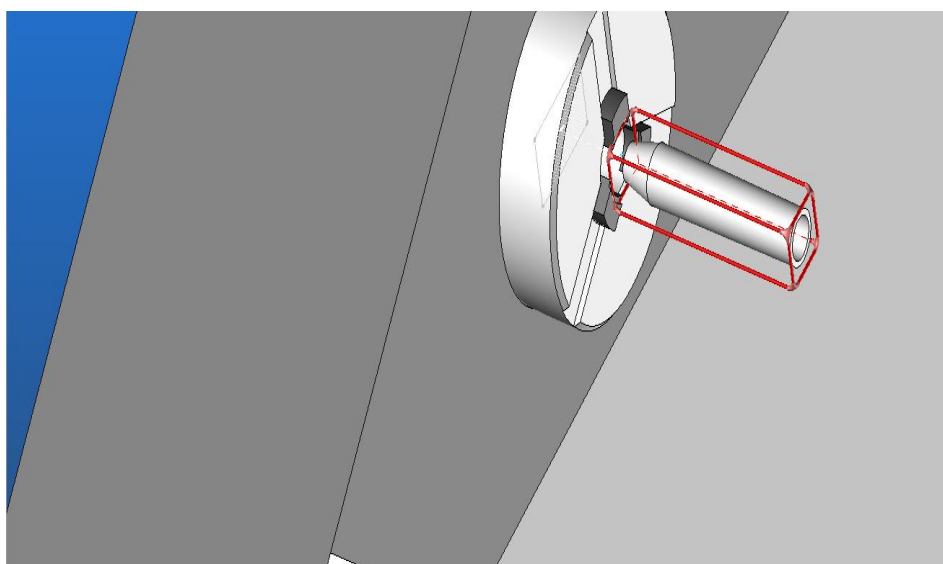
Εικόνα 5.21: Εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται.



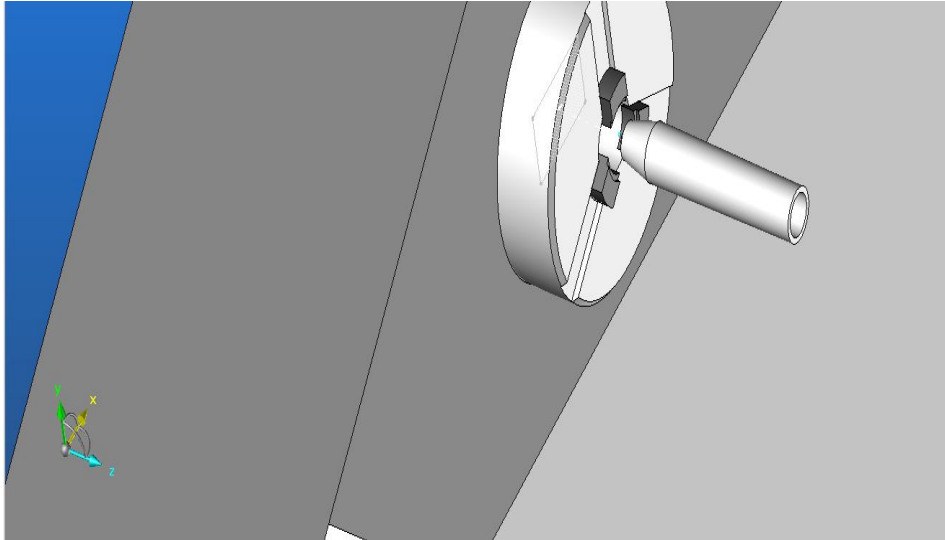
Εικόνα 5.22: Τσοκ



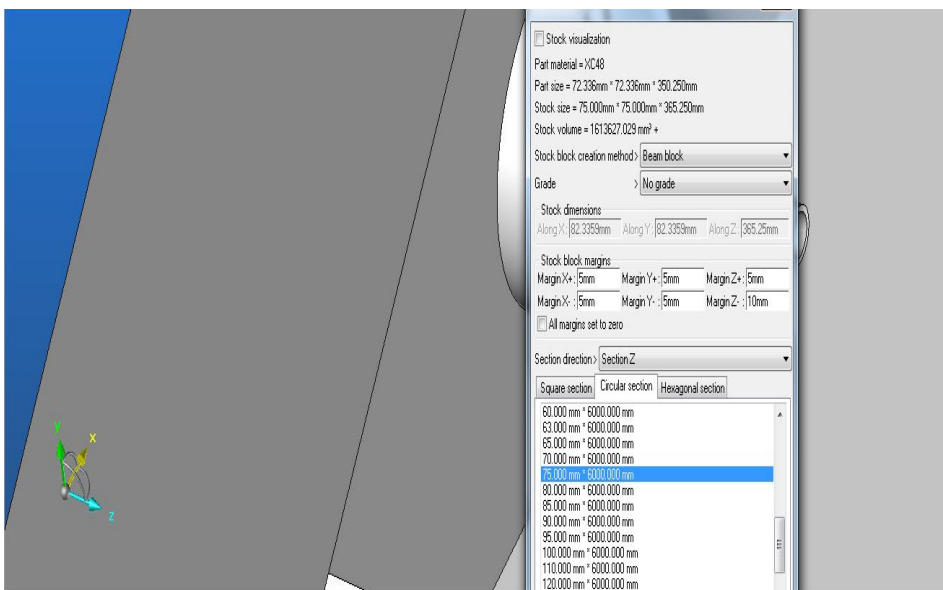
Εικόνα 5.23: Εργαλειοδέτης - κουκουβάγια.



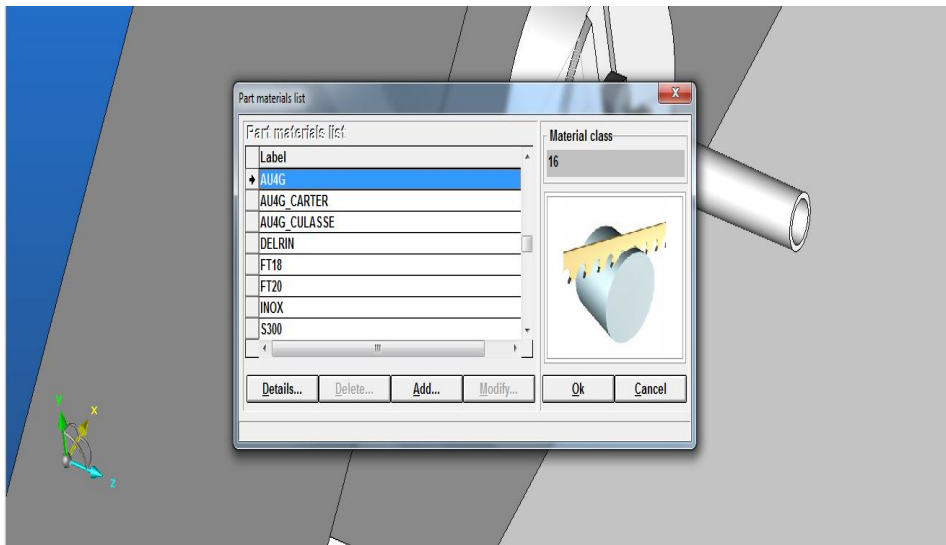
Εικόνα 5.24: Εισαγωγή δοκιμίου στο CAM.



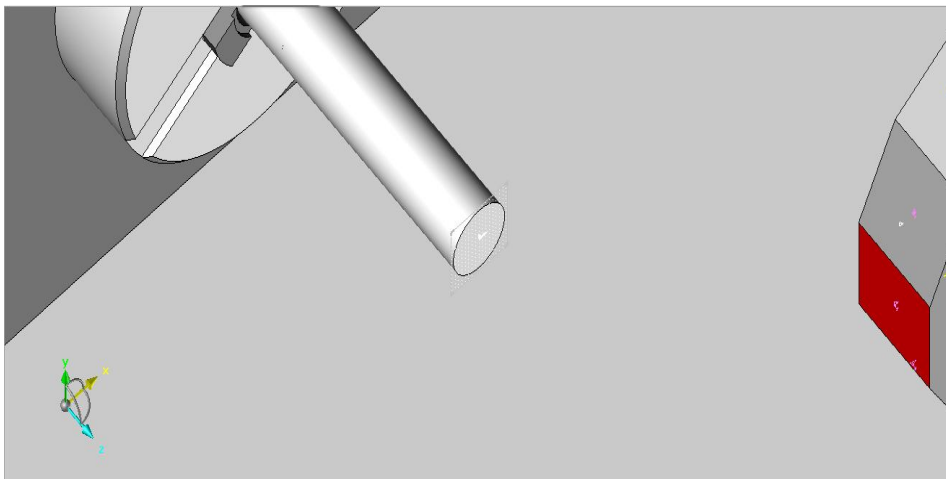
Εικόνα 5.25: Δημιουργία ακατέργαστου δοκιμίου.



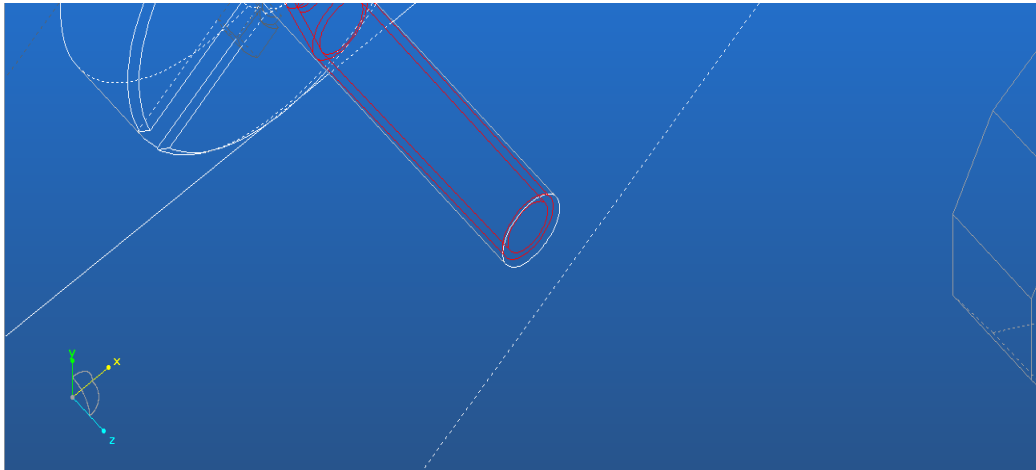
Εικόνα 5.26: Δημιουργία ακατέργαστου δοκιμίου - Επιλογή απαιτούμενων χιλιοστών.



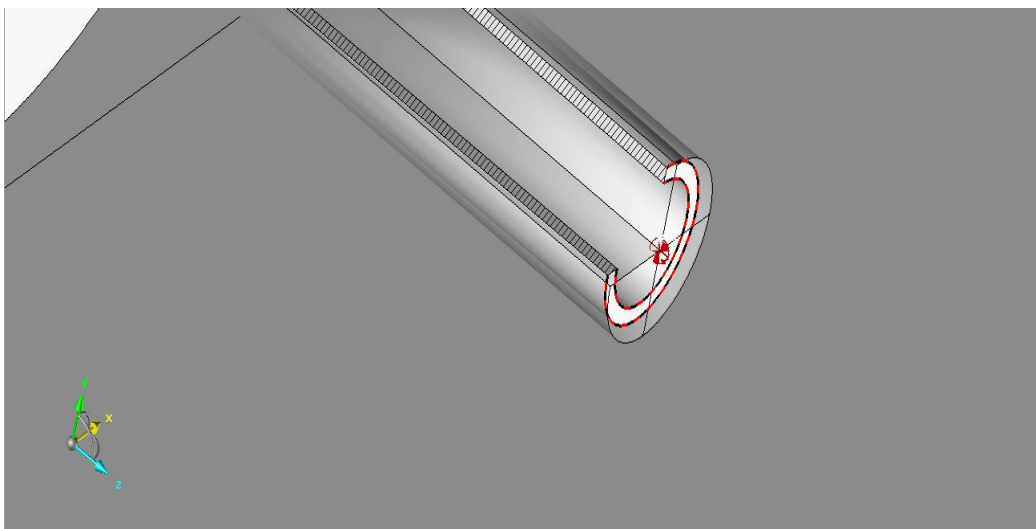
Εικόνα 5.27: Επιλογή εργαλείου



Εικόνα 5.28: Καθορισμός μηδενικού σημείου

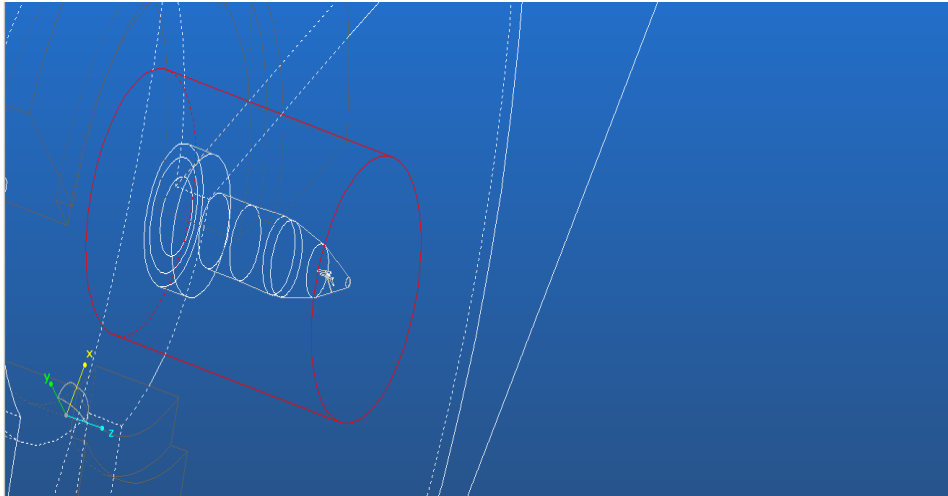


Εικόνα 5.29: Προσδιορισμός επιφανειών για κατεργασία

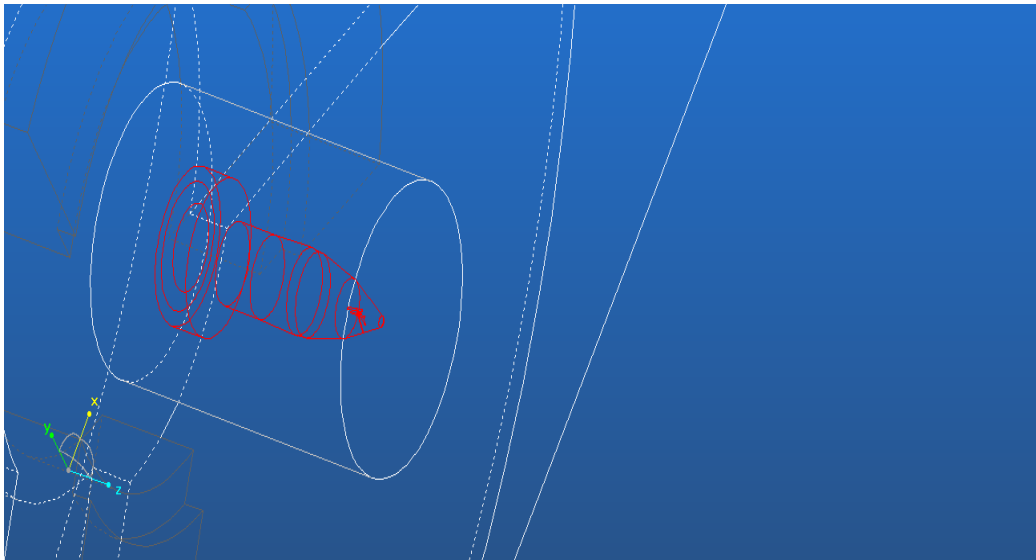


Εικόνα 5.30: Προσδιορισμός επιφάνειας προσώπου προς κατεργασία

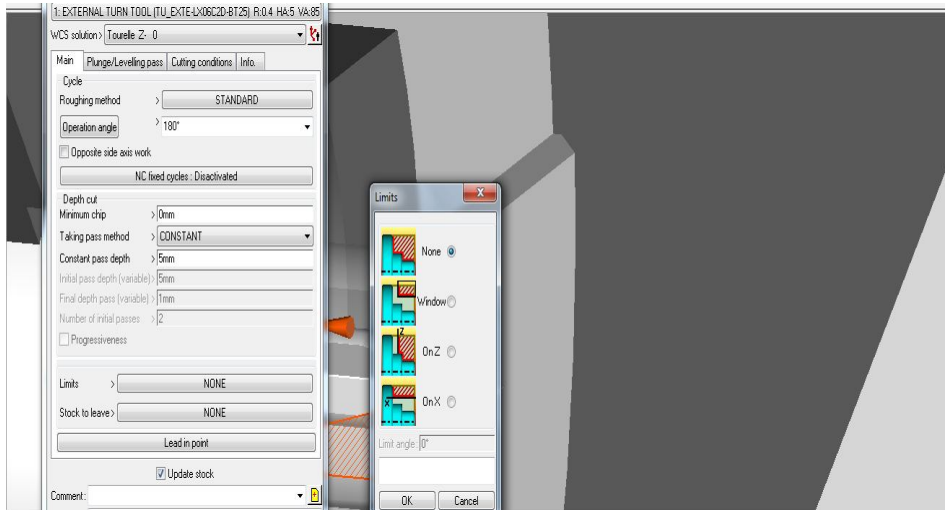
Προσομοίωση κατεργασίας 2^ο δοκιμίου.



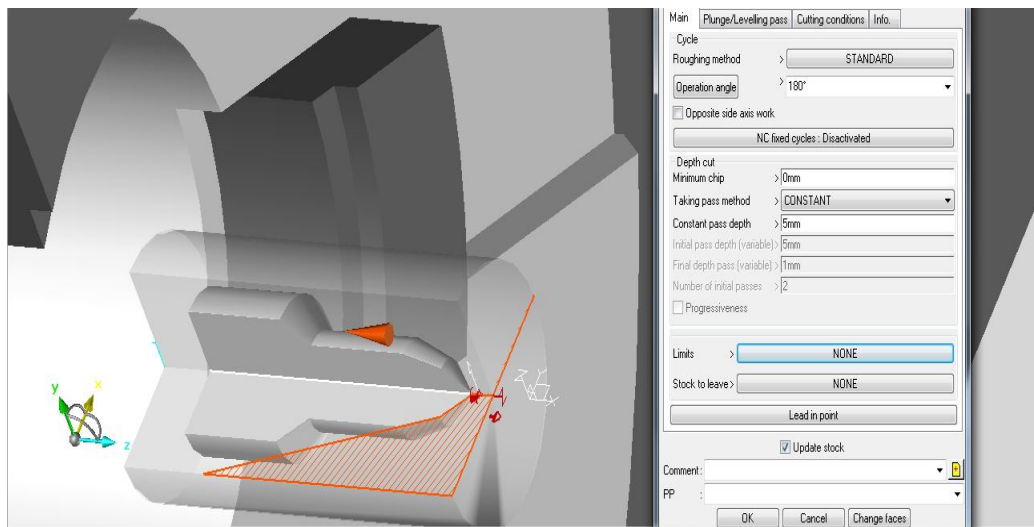
Εικόνα 5.31: Επιλογή κομματιού - Καθορισμός μηδενικού σημείου



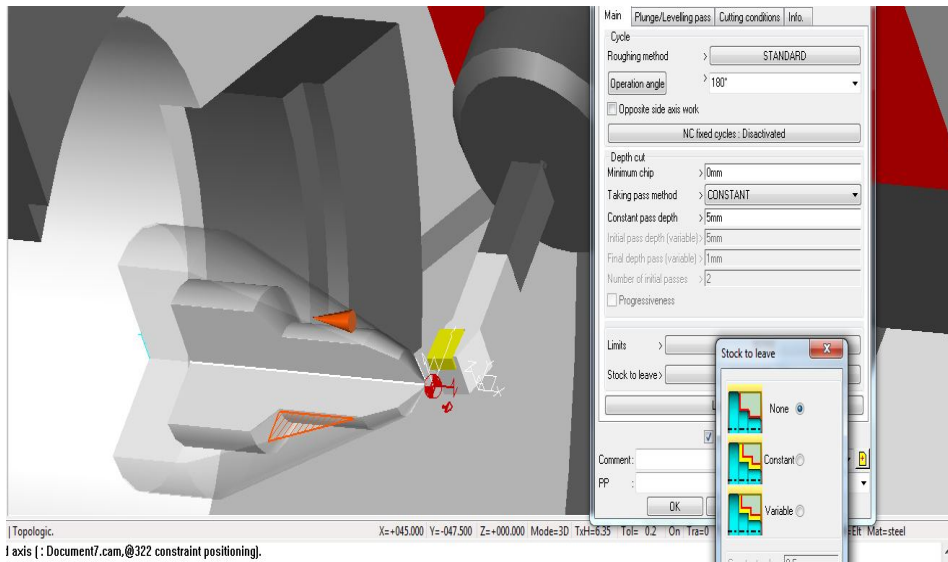
Εικόνα 5.32: Προσδιορισμός επιφανειών για κατεργασία ξεχόνδρισμα



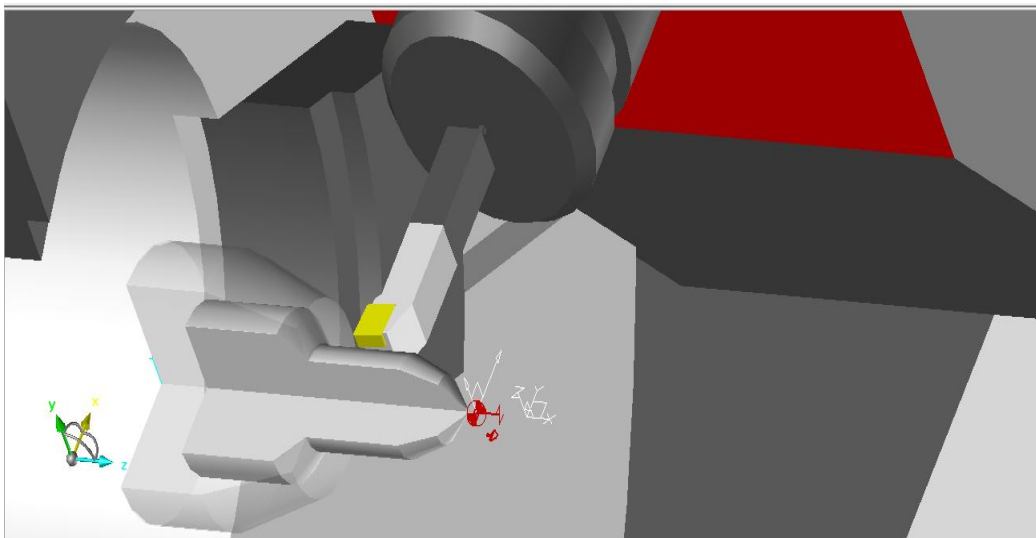
Εικόνα 5.33: Επιλογή κατεργασίας ξεχόνδρισμα.



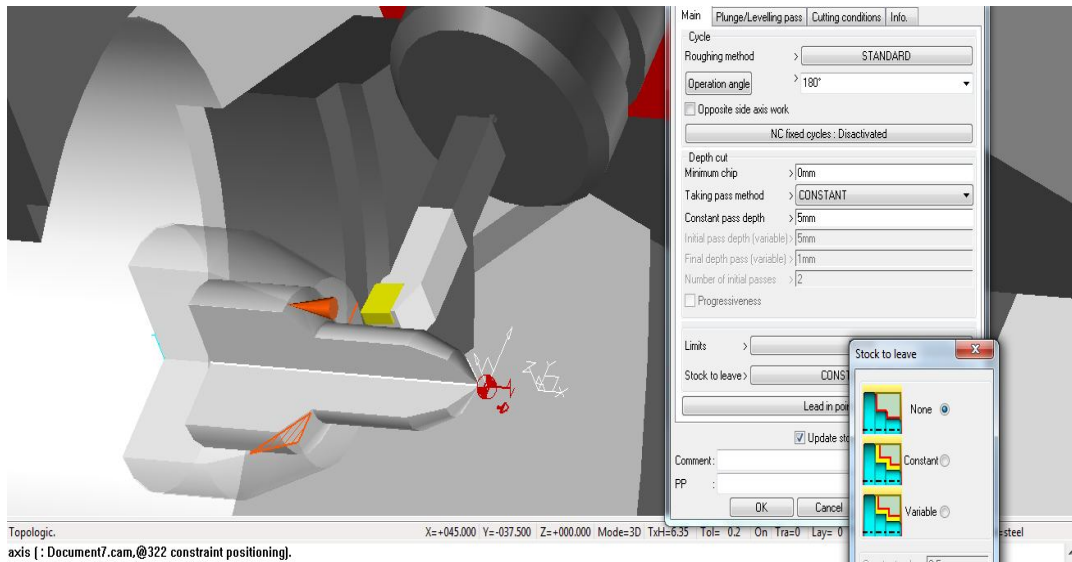
Εικόνα 5.34: Επιλογή παραμέτρων κατεργασίας.



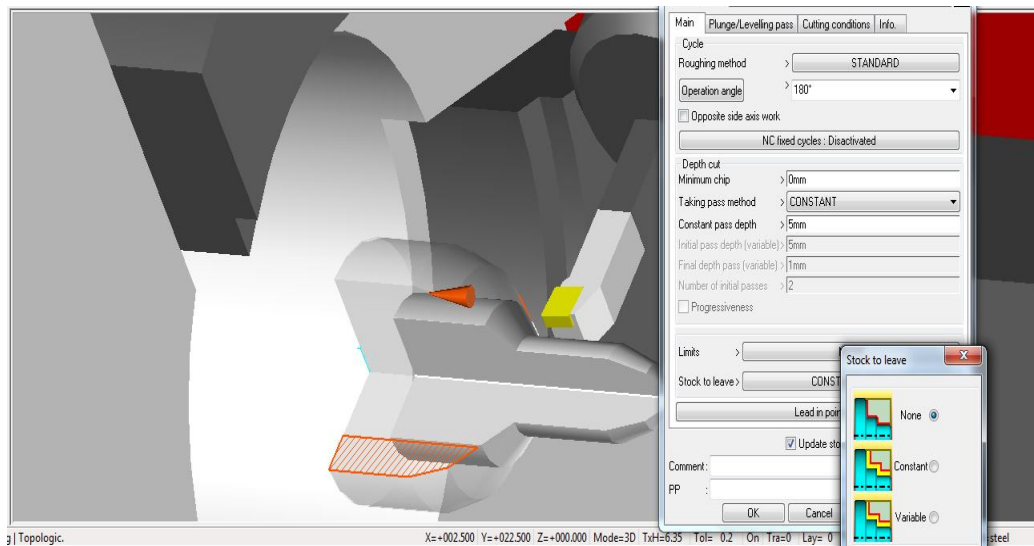
Εικόνα 5.35: Επιλογή τρόπου κινήσεως μαχαιριού.



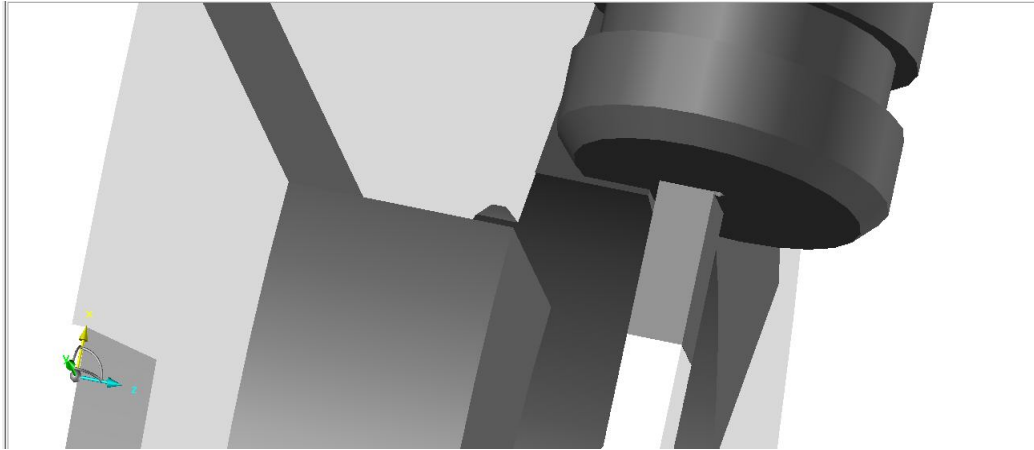
Εικόνα 5.36: Καθορισμός κατεύθυνσης μαχαιριού.



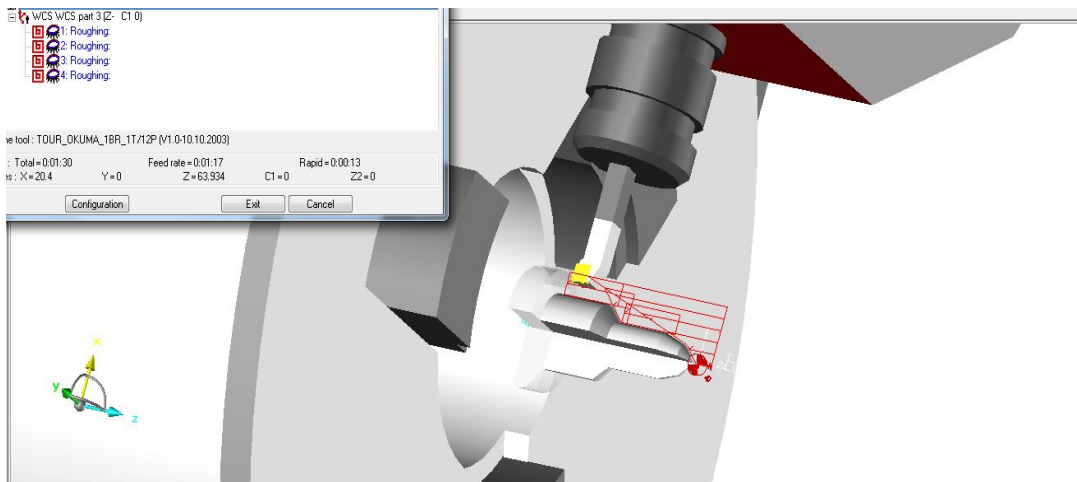
Εικόνα 5.37: Δεύτερο ξεχόνδρισμα – Φινίρισμα.



Εικόνα 5.38: Τελική επιλογή παραμέτρων κατεργασίας

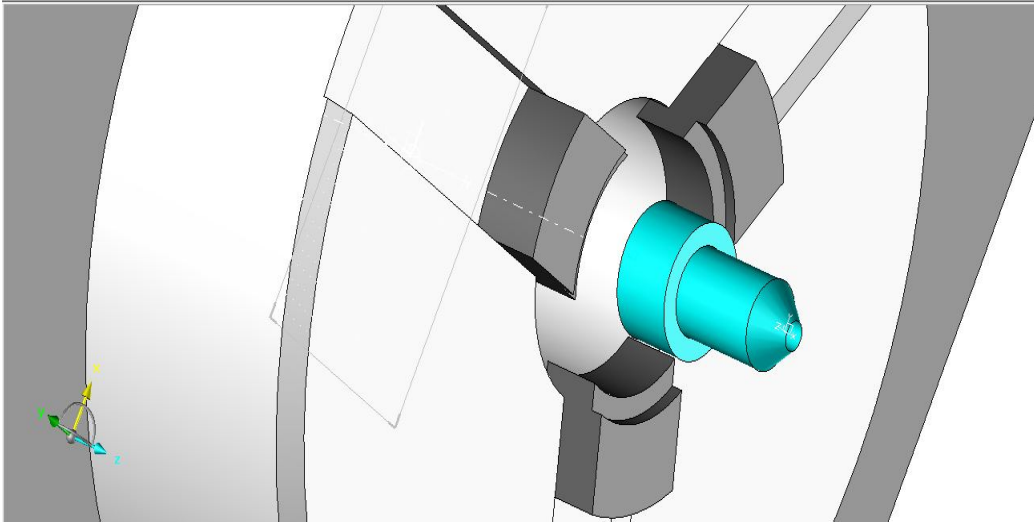


Εικόνα 5.39: Το μαχαίρι έχει συγκρουστεί με το τσοκ.

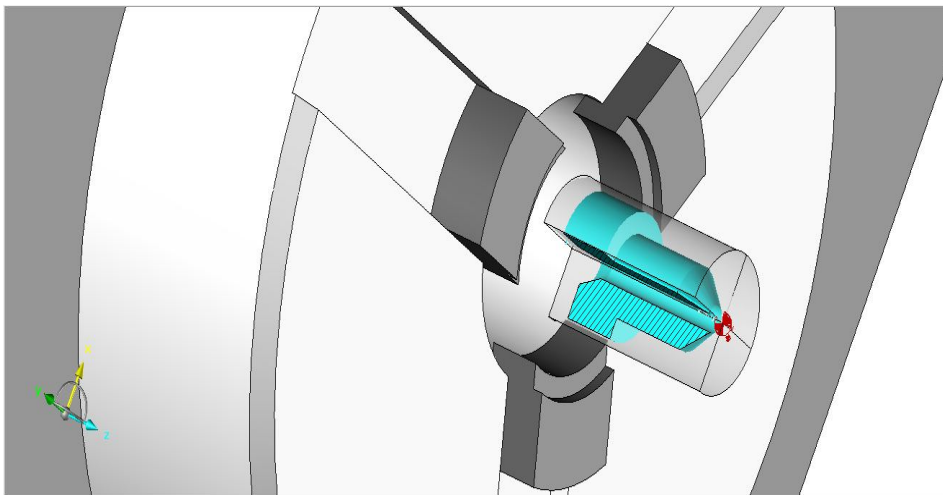


Εικόνα 5.40: Καθορισμός ορίων προς αποφυγή σύγκρουσης του μαχαίριού.

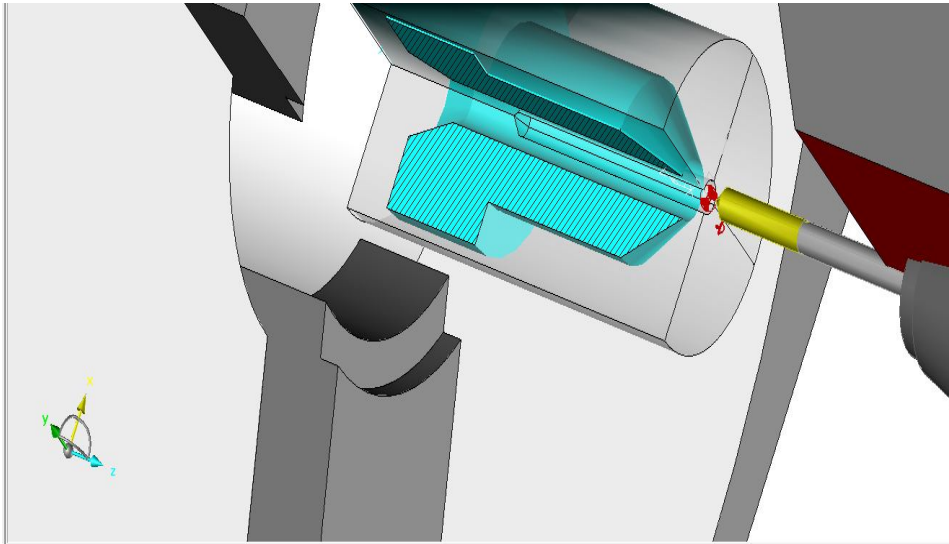
Προσομοίωση κατεργασίας 3^{ου} δοκιμίου.



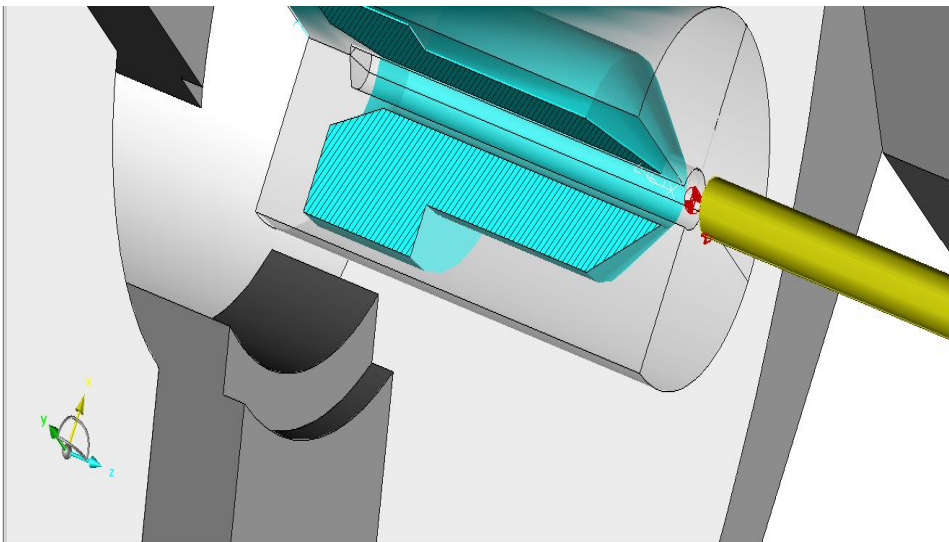
Εικόνα 5.41: Εισαγωγή 3^{ου} δοκιμίου.



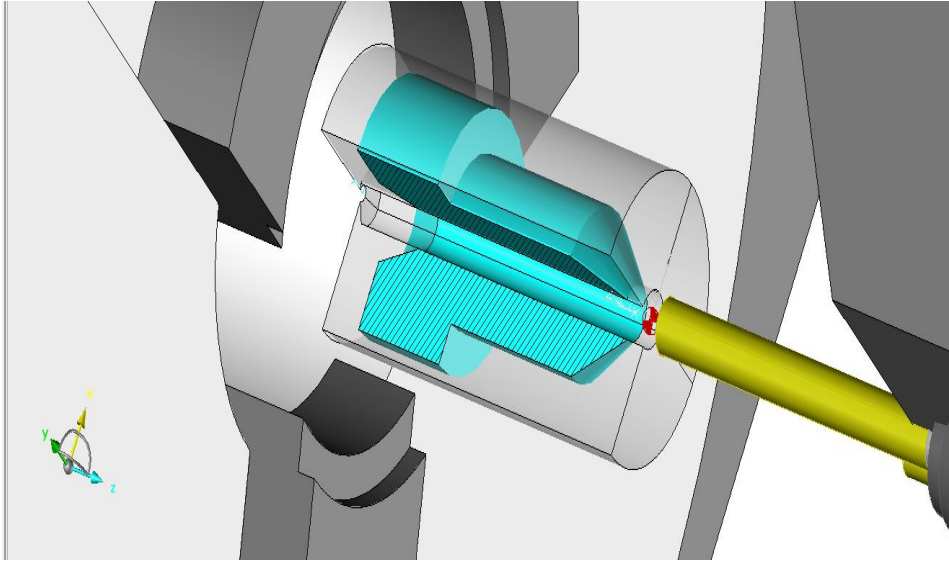
Εικόνα 5.42: Δημιουργία ακατέργαστου δοκιμίου – Καθορισμός μηδενικού σημείου.



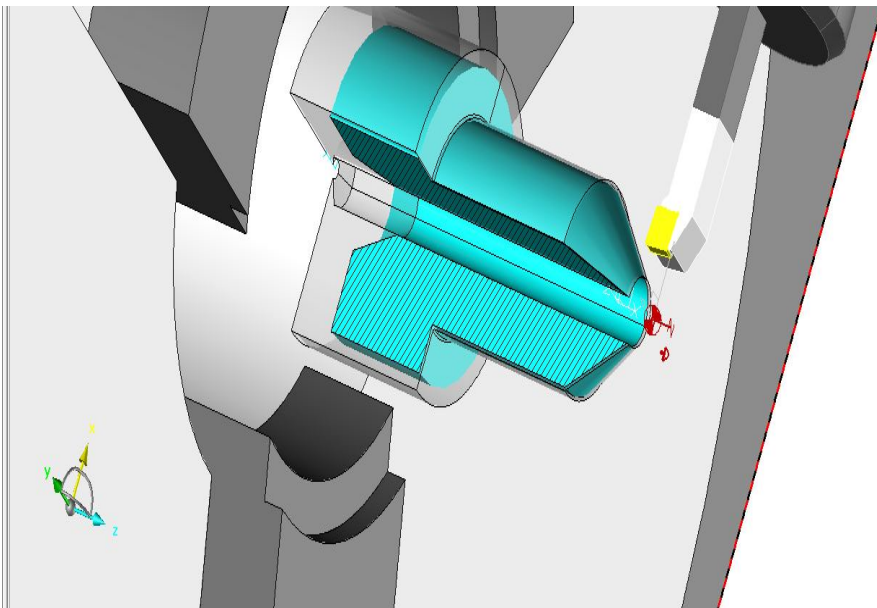
Εικόνα 5.43: Επιλογή κατεργασίας – Διάνοιξη οπής με κεντροτρύπανο.



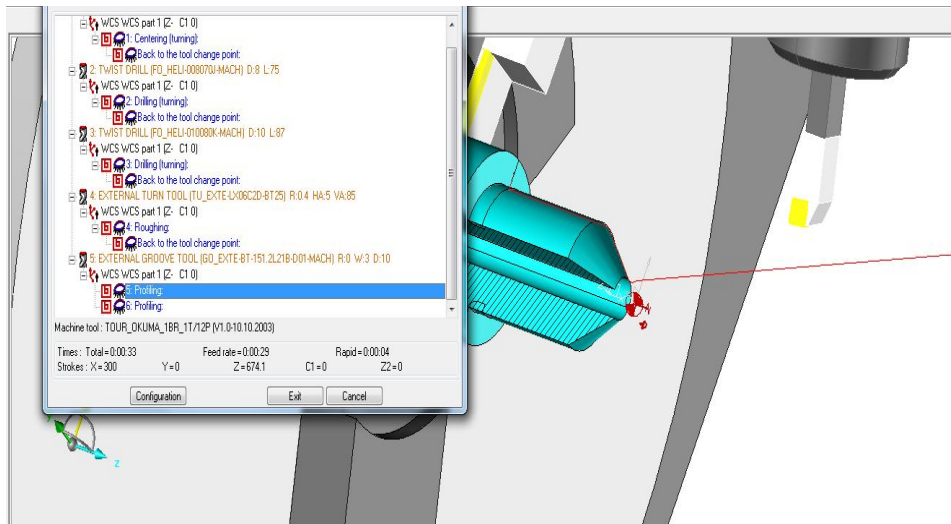
Εικόνα 5.44: Επιλογή κατεργασίας – Διάνοιξη οπής με τρυπάνι Φ8.



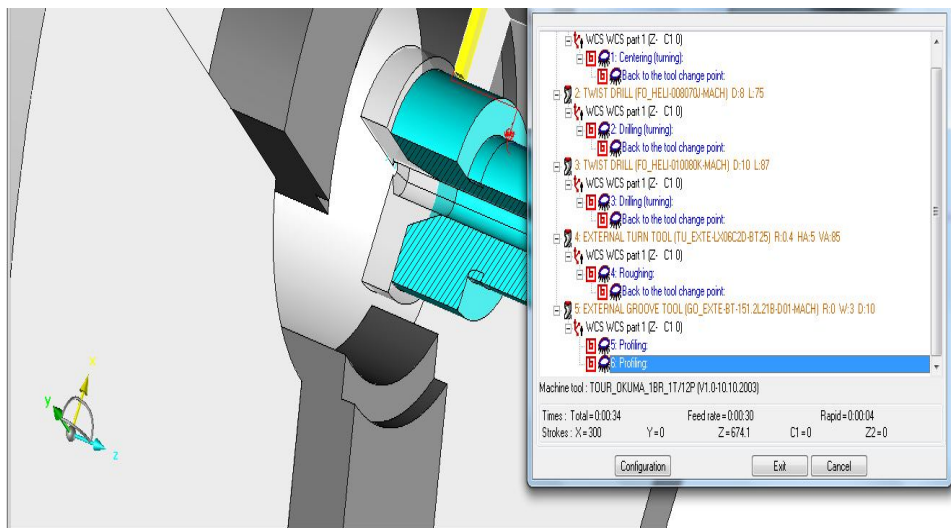
Εικόνα 5.45: Επιλογή κατεργασίας – Τελική διάνοιξη με τρυπάνι Φ10.



Εικόνα 5.46: Περιφερειακή τόνρευση – Ξεχόνδρισμα.

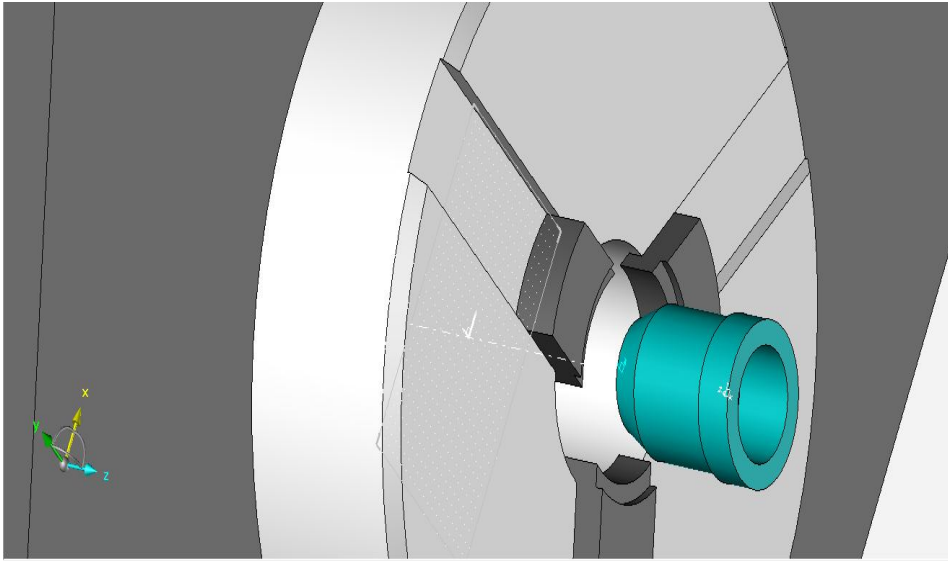


Εικόνα 5.47: Περιφερειακή τόνρευση – Φινίρισμα.

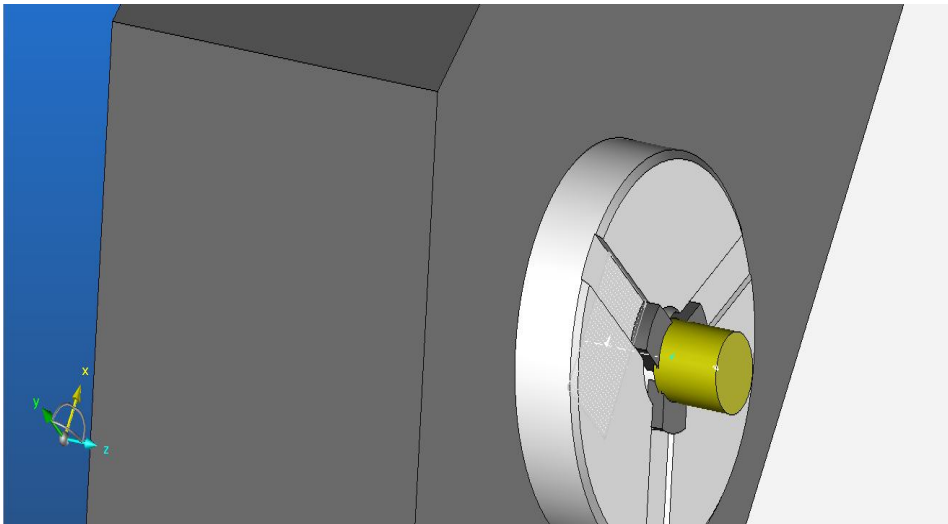


Εικόνα 5.48: Τελική περιφερειακή τόνρευση.

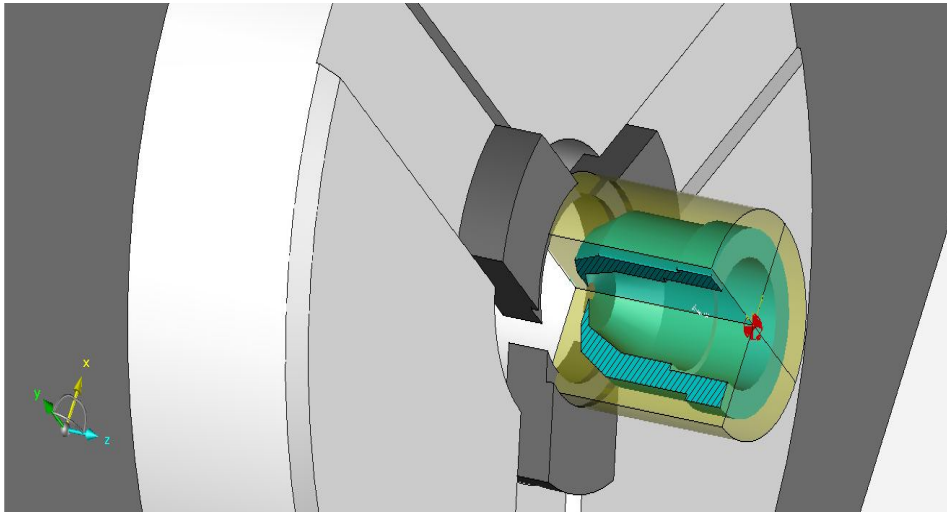
Προσομοίωση καταργασίας 4^{ου} δοκιμίου.



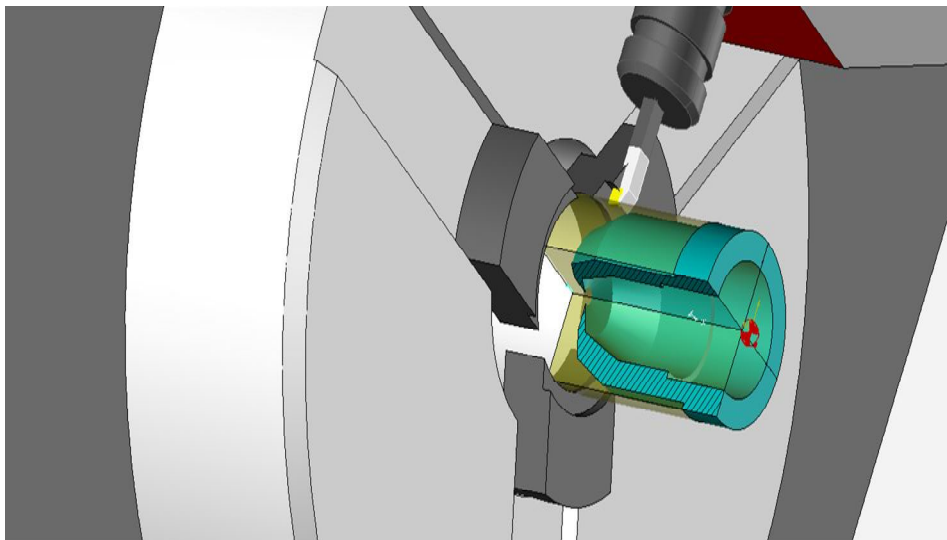
Εικόνα 5.49: Εισαγωγή 4^{ου} δοκιμίου.



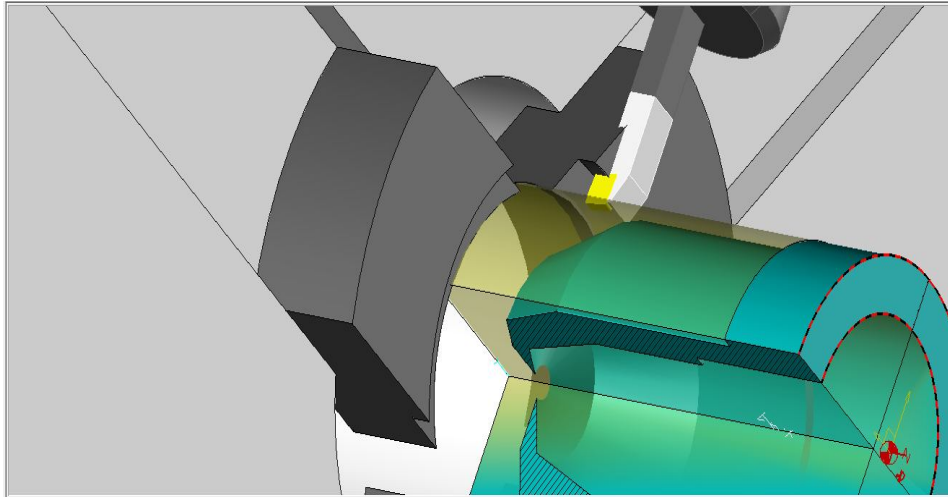
Εικόνα 5.50: Δημιουργία ακατέργαστου δοκιμίου – Καθορισμός μηδενικού σημείου.



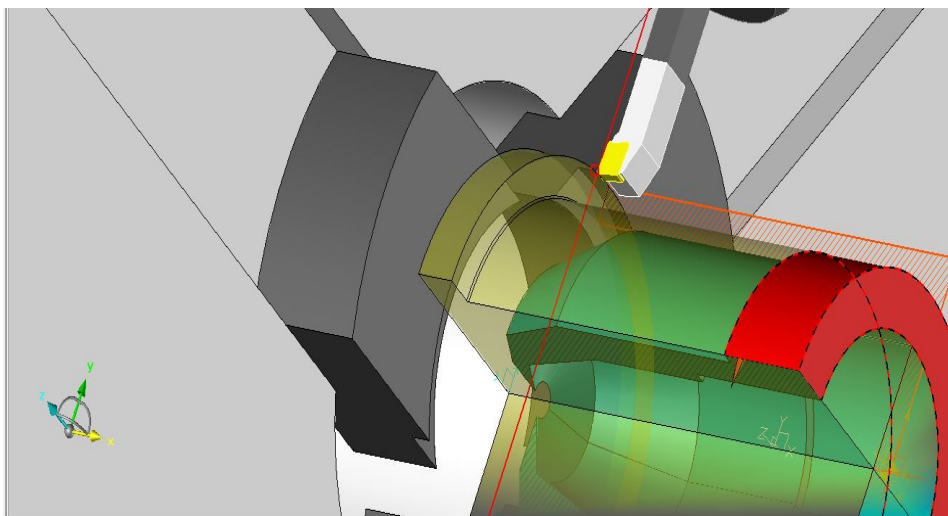
Εικόνα 5.51: Επιλογή κατεργασίας – Περιφερειακή τόννευση εξωτερικά.



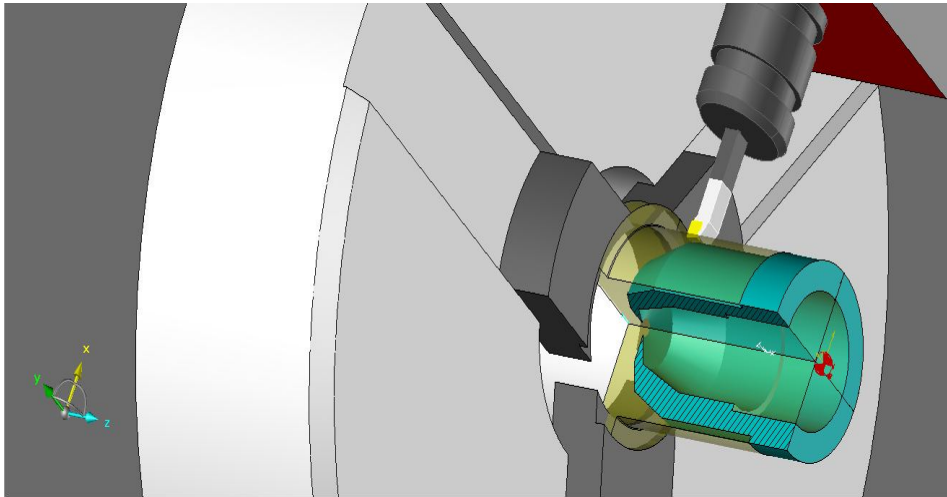
Εικόνα 5.52 : Σφάλμα επειδή το μαχαίρι χτυπάει στο τσόκ.



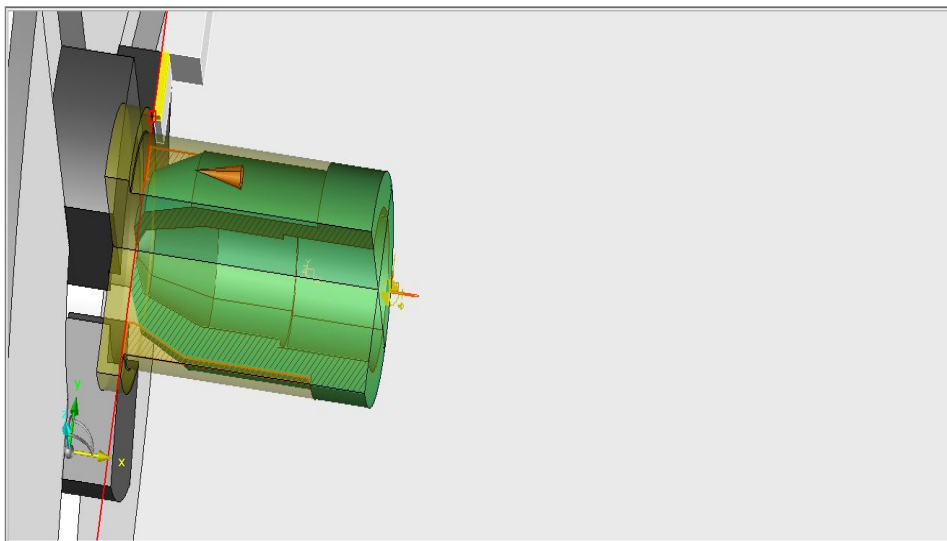
Εικόνα 5.53: Διόρθωση σφάλματος.



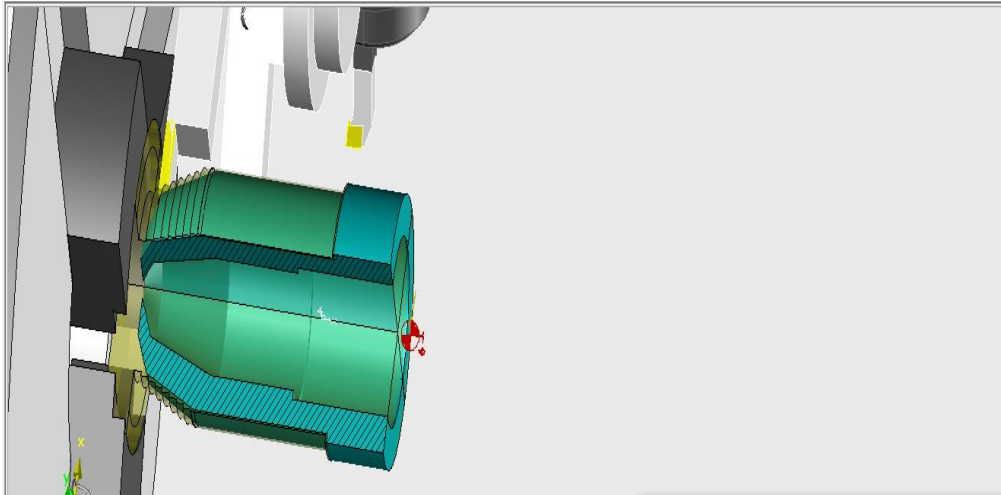
Εικόνα 5.54: Εξωτερική περιφερειακή τόνρευση – Δημιουργία ορίου για την αποφυγή σύγκρουσης.



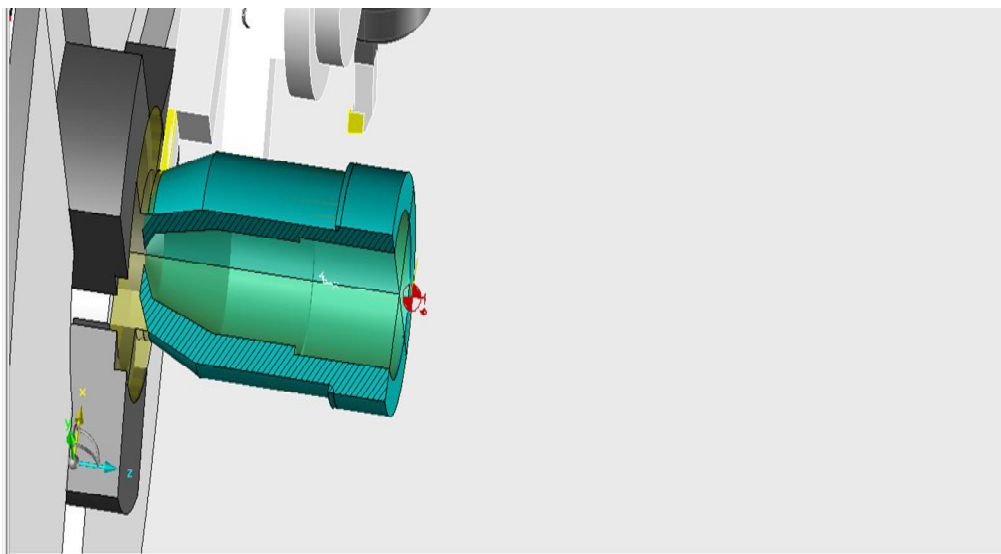
Εικόνα 5.55: Φινίρισμα επιφανείας.



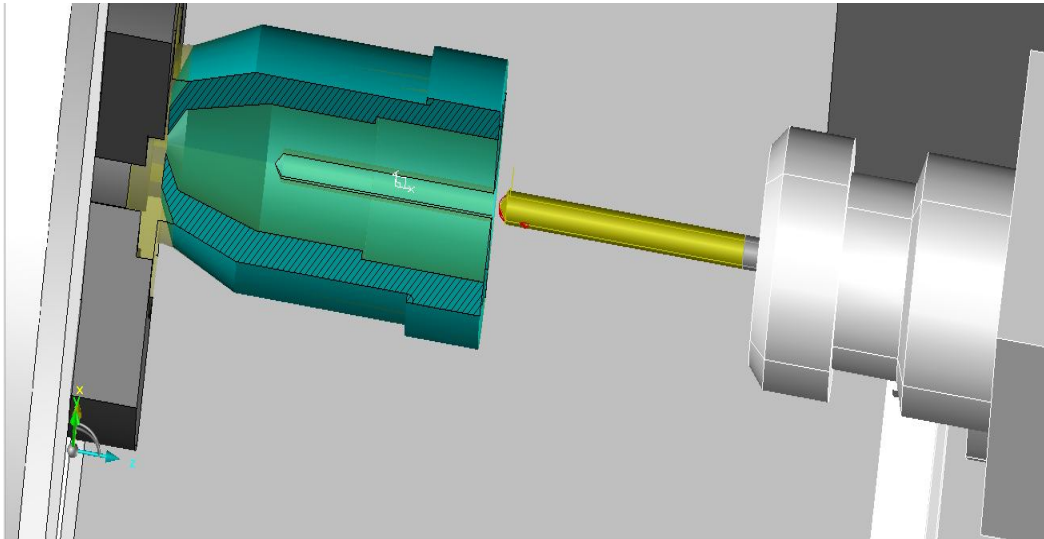
Εικόνα 5.56: Περιφερειακή τόννευση – Ξεχόνδρισμα.



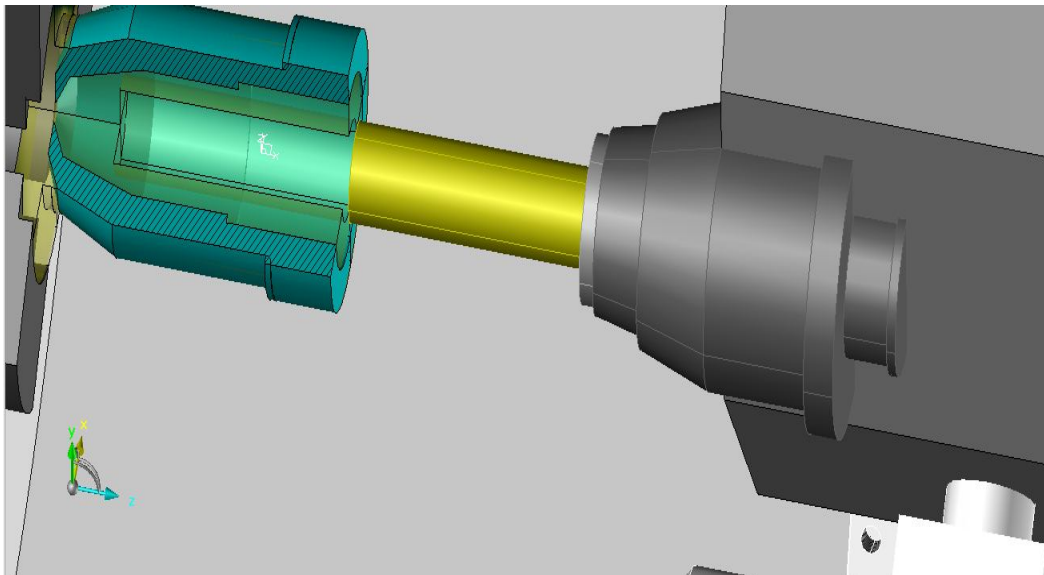
Εικόνα 5.57: Περιφερειακή τόννευση – Φινίρισμα.



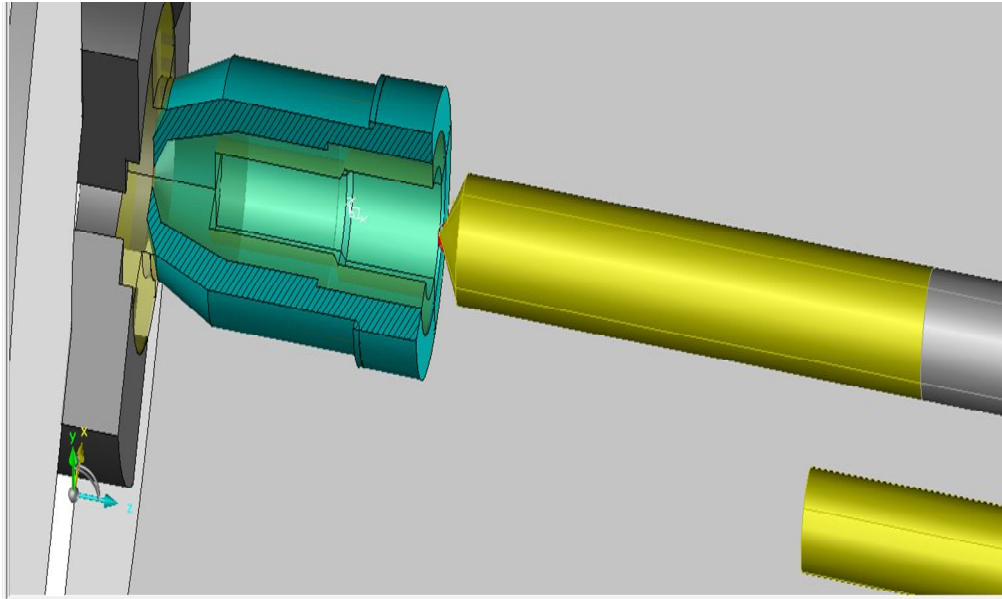
Εικόνα 5.58: Τελική περιφερειακή τόννευση.



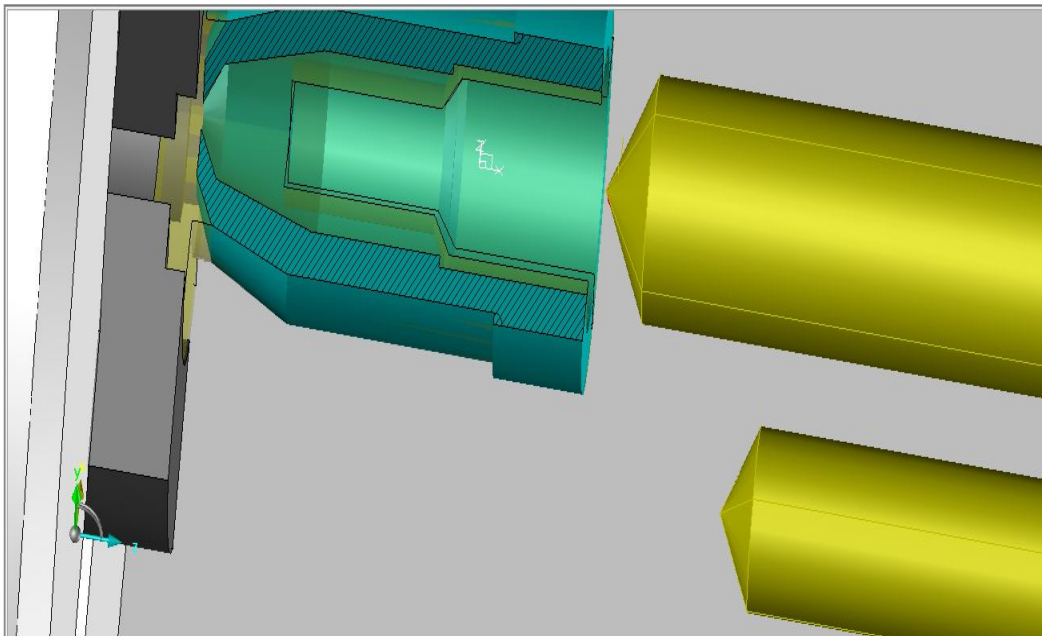
Εικόνα 5.59: Δημιουργία οπής Φ8.



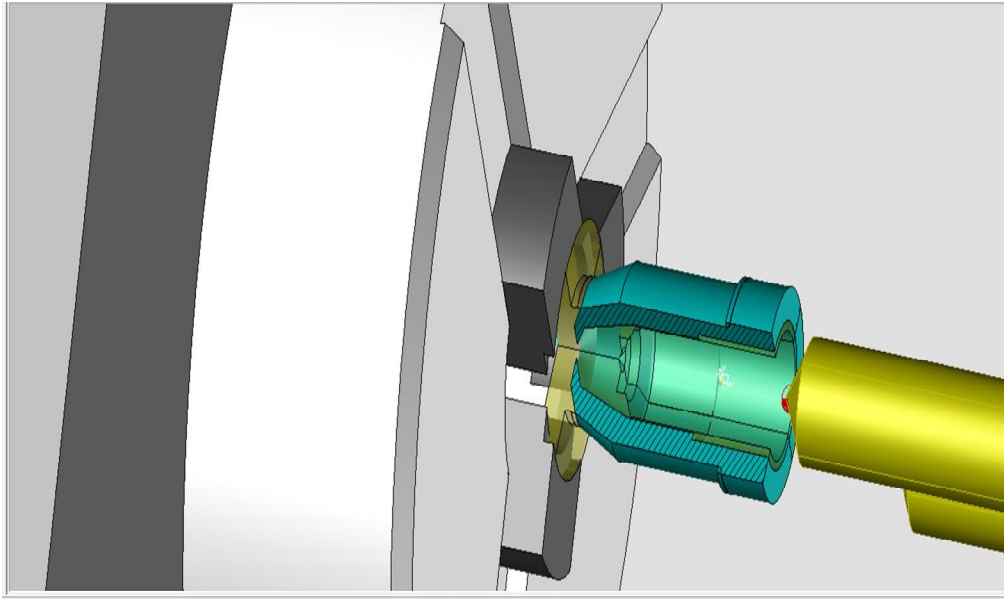
Εικόνα 5.60: Διάνοιξη της οπής περαιτέρω με τρυπάνι Φ20.



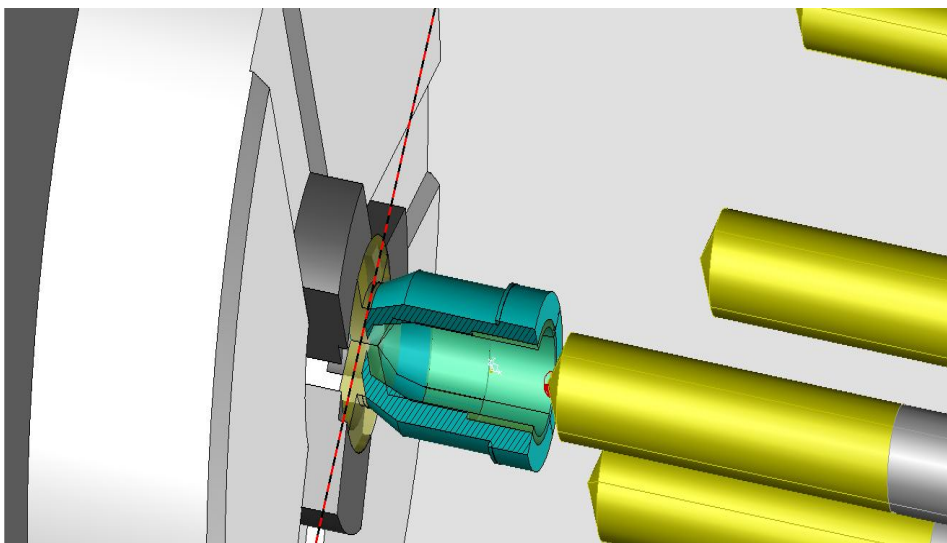
Εικόνα 5.61: Διάνοιξη οπής με $\Phi 46$.



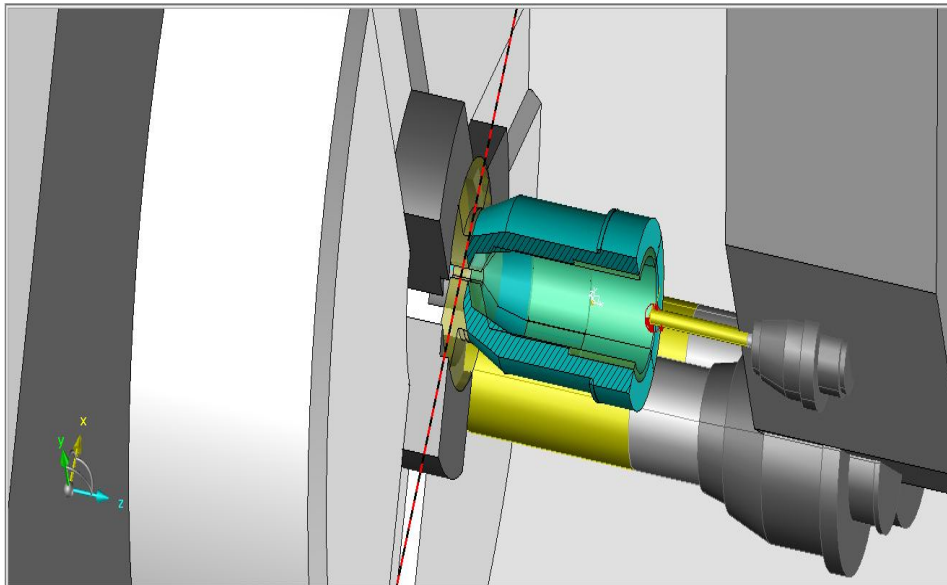
Εικόνα 5.62: Διάνοιξη οπής εσωτερικά του δοκιμίου.



Εικόνα 5.63: Διάνοιξη οπής με Φ41.



Εικόνα 5.64: Διάνοιξη οπής με Φ26.



Εικόνα 5.65: Διάνοιξη οπής με $\Phi 6$ της άλλης άκρης του δοκιμίου.

6. Επίλογος – Συμπεράσματα

Η εργασία έχει σκοπό μέσω του προγράμματος CAM την προσομοίωση της κατεργασίας των εξαρτημάτων του συστήματος ψεκασμού καυσίμου της κύριας μηχανής MAN ώστε να προκύψει κώδικας βάσει του οποίου θα υλοποιηθεί η κατεργασία σε αυτόματο C.N.C.

Τα διάφορα κομμάτια σχεδιάστηκαν ώστε να υπάρχει η δυνατότητα συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησής τους με αποτέλεσμα την καλύτερη παρουσίαση στο μάθημα Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (MEK). Το πλέον χρήσιμο (που προσφέρεται από ένα τέτοιου είδους λογισμικού) είναι η κατασκευή των δοκιμίων με την εξαγωγή κώδικα με την βοήθεια της προσομοίωσης για τον μηδενισμό των λαθών που τυχόν θα εμφανιστούν κατά την κατεργασία.

Τελικός σκοπός για τα δοκίμια είναι να κατασκευαστούν με την ελαχιστοποίηση του κόστους τους (οικονομικό – χρονικό) καθώς και την επαναληψιμότητάς τους.

7. Βιβλιογραφία

1. Βιβλίο Μηχανών Εσωτερικής Καύσεως (MEK I) Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, Ίδρυμα Ευγενίδου 2010
2. Βιβλίο Μηχανών Εσωτερικής Καύσεως (MEK II) Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, Ίδρυμα Ευγενίδου 2010
3. Κυρτάτος, Ν. Π., “Ναυτικοί Κινητήρες Diesel – Θέματα Σχεδίασης και Λειτουργίας”, Εκδόσεις Συμμετρία, 1993
4. Τσιφάκι, Α.Χ., “Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως”, Ίδρυμα Ευγενίδη, 1999
5. Βούσουρας, Ε.Α., “Μηχανές Εσωτερικής Καύσης”, Αθήνα, 1994
6. www.google.com
7. http://www.solidworks.com/sw/education/SDL_form.html (Solidworks Demo)
8. Top Solid Education 2005

8. Παράρτημα Κώδικας Εργαλειομηχανής CNC

Οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της κατεργασίας των εξαρτημάτων είναι:

Για το 1^ο δοκίμιο:

```
%  
(PGM,NAME=1)  
(MSG,DOCUMENT2)  
G0M5  
(MSG,EXTERNAL TURN TOOL TU_EXTE-LX06C2D-BT25)  
O10G0T1M6  
O20G0X35420Y0S449M4  
Z66569M8  
(MSG,WCS PART 1)  
H1  
C0  
Z2400  
G1Z-64382F.2  
G18X40390Z-86058  
X40400Z-86102  
G0Z2400  
X30439  
G1Z-42662  
X35420Z-64382  
G0Z2400  
X25459  
G1Z-20943  
X30439Z-42662  
G0Z2400  
X20479  
G1Z-11747  
X23817Z-13783  
X25459Z-20943  
G0Z2400  
X15498  
G1Z-8710  
X20479Z-11747  
G0Z2400  
X10518  
G1Z-5674  
X15498Z-8710  
G0Z2400  
X5538  
G1Z-2637
```

X10518Z-5674
G0Z2400
X557
G1Z400
X653Z342
X5538Z-2637
X6952Z-1223
S2289
G0X37075
Z-69599
G1Z-354850
X40000
X40400
G0Z-68627
X38416
G1X36568Z-69392
Z-69439
X33749Z-354850
X37075
X38489Z-353436
G0M9
Z66569
O0
Z200000
M5
M30

Για το 2^ο δοκίμιο:

%
(PGM,NAME=1)
(MSG,DOCUMENT7)
G0M5
(MSG,EXTERNAL TURN TOOL TU_EXTE-LX06C2D-BT25)
O10G0T1M6
O20G0X16320Y0S975M4
Z38284M8
(MSG,WCS PART 3)
H1
C0
Z5309
G1Z-39221F.2
G18X20379Z-51399
X20400Z-51461
G0Z5309
X12240
G1Z-26981
X16320Z-39221
G0Z5309
X8160

G1Z-14741
X12240Z-26981
G0Z5309
X4080
G1Z-5040
X5350Z-6310
X8160Z-14741
G0Z5309
X0
G1Z-960
X283Z-1243
X4080Z-5040
X5494Z-3626
S2897
G0X11177Z-21793
G1Z-33626
X14167
X14455
G0Z-11961
X7900
G1Z-33626
X11177
X12592Z-32211
S1264
G0X12875Z-31626
G1Z-38835
X17783Z-43743
X17850Z-43810
G0Z-31626
X7900
G1Z-33860
X12875Z-38835
X14289Z-37421
S1114
G0X16650Z-40610
G1Z-58626
X20000
X20400
G0Z-36860
X12900
G1Z-58626
X16650
X18064Z-57211
G0M9
Z38284
O0
Z200000
M5
M30

Για το 3^ο δοκίμιο:

%
(PGM,NAME=1)
(MSG,dokimio 3)
G0M5
(MSG,TIP DRILL FO_POIN-005520F-MACH)
O10G0T1M6
O20G0X0Y0S9999M3
Z45355M8
(MSG,WCS PART 1)
H1
C0
Z2000
G81Z-57200R2F1
G80R2
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-008070J-MACH)
O30G0T2M6
O40G0X0Y0S9999M3
Z45355M8
Z2000
G81Z-82323R2F1
G80R2
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-010080K-MACH)
O50G0T3M6
O60G0X0Y0S9999M3
Z45355M8
Z2000
G81Z-92800R2F1
G80R2
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,EXTERNAL TURN TOOL TU_EXTE-LX06C2D-BT25)
O70G0T4M6
O80G0X21240Y0S749M4
Z45355M8

Z2400
G1Z-54100F.2
G18X25000
X25400
G0Z2400
X17080
G1Z-54100
X21240
G0Z2400
X12920
G1Z-13459
X15900Z-17184
Z-54100
X17080
G0Z2400
X8760
G1Z-8259
X12920Z-13459
G0Z2400
X4600
G1Z-3059
X5312Z-3950
X8760Z-8259
X10174Z-6845
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,EXTERNAL GROOVE TOOL GO_EXTE-BT-151.2L21B-D01-MACH)
O90G0T5M6
O100G0X5312Y0S2996M4
Z45355M8
Z-2189
G2G42X4562Z-3751I6562K-3.751F.1
G2X5000Z-5000I6562K-3.751
G1X15000Z-17500
Z-55000
G40X17000
S936
G0
G42X13000
G2X15000Z-55000I15000K-53
G1X22500
Z-80000
G40X24500
G0M9
Z45355
O0
Z200000
M5

M30

Για το 4^ο δοκίμιο:

%
(PGM,NAME=1)
(MSG,DOCUMENT71)
G0M5
(MSG,EXTERNAL TURN TOOL TU_EXTE-LX06C2D-BT25)
O10G0T1M6
O20G0X42400Y0S375M4
Z66569M8
(MSG,WCS PART 4)
H1
C0
Z-4600
G1X0F.2
G18X5000Z400
G0X42400
Z-9600
G1X33400
Z-4600
X0
G0X42400
Z-14600
G1X33400
Z-9600
G0X42400
Z-19600
G1X33400
Z-14600
G0X42400
Z-24600
G1X33400
Z-19600
G0X42400
Z-29600
G1X33400
Z-24600
G0X42400
Z-34600
G1X33400
Z-29600
G0X42400
Z-39600
G1X33400
Z-34600
G0X42400

Z-44600
G1X33400
Z-39600
G0X42400
Z-49600
G1X33400
Z-44600
G0X42400
Z-54600
G1X33400
Z-49600
G0X42400
Z-59600
G1X33400
Z-54600
G0X42400
Z-64600
G1X33400
Z-59600
G0X42400
Z-69600
G1X33400
Z-64600
G0X42400
Z-74600
G1X33400
Z-69600
G0X42400
Z-79600
G1X33400
Z-74600
G0X42400
Z-84600
G1X33400
Z-79600
G0X42400
Z-89600
G1X33400
Z-84600
G0X42400
Z-94600
G1X33400
Z-89600
G0X42400
Z-99600
G1X33400
Z-94600
G0X42400
Z-104600
G1X33400

Z-99600
X34814Z-98186
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,EXTERNAL GROOVE TOOL GO_EXTE-BT-151.2L21B-D01-MACH)
O30G0T3M6
O40G0X35000Y0S455M4
Z66569M8
Z-31000
G1X31000F.1
X35000
G0Z-33960
G1X31000
X32414Z-32546
G0X35000
Z-36920
G1X31000
X32414Z-35506
G0X35000
Z-39880
G1X31000
X32414Z-38466
G0X35000
Z-42840
G1X31000
X32414Z-41426
G0X35000
Z-45800
G1X31000
X32414Z-44386
G0X35000
Z-48760
G1X31000
X32414Z-47346
G0X35000
Z-51720
G1X31000
X32414Z-50306
G0X35000
Z-54680
G1X31000
X32414Z-53266
G0X35000
Z-57640
G1X31000
X32414Z-56226
G0X35000
Z-60600

G1X31000
X32414Z-59186
G0X35000
Z-63560
G1X31000
X32414Z-62146
G0X35000
Z-66520
G1X31000
X32414Z-65106
G0X35000
Z-69480
G1X31000
X32414Z-68066
G0X35000
Z-72440
G1X31000
X32414Z-71026
G0X35000
Z-75400
G1X31000
X32414Z-73986
G0X35000
Z-78360
G1X31000
X32414Z-76946
G0X35000
Z-81320
G1X31000
X32414Z-79906
G0X35000
Z-84280
G1X30554
X31000
X32414Z-82866
G0X35000
Z-87240
G1X29444
X30554
X31968Z-85826
G0X35000
Z-90200
G1X28334
X29444
X30858Z-88786
G0X35000
Z-93160
G1X27224
X28334
X29748Z-91746

G0X35000
Z-96120
G1X26114
X27224
X28638Z-94706
G0X35000
Z-99080
G1X25004
X26114
X27528Z-97666
G0X35000
Z-102040
G1X25000
X23894
X25004
X26418Z-100626
G0X35400
Z-105000
G1X25400
X22784
X23894
X25308Z-103586
S629
G0
G42X32500
G2X30500Z-30500I32500K-30.5
G1Z-83000
X23000Z-103000
G40X24873
G0Z-103702M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-008070J-VDI)
O50G0T4M6
O60G0X0Y0S9999M3
Z66569M8
Z-3000
G81Z-68840R-3F1
G80R-3
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,CARBIDE DRILL FO_CARB-02400W2N-MACH)
O70G0T5M6
O80G0X0Y0S9999M3
Z66569M8
Z-3000
G81Z-79940R-3F1

G80R-3
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-030090N-MACH)
O90G0T6M6
O100G0X0Y0S9999M3
Z66569M8
Z-3000
G81Z-42191R-3F1
G80R-3
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-040090S-MACH)
O110G0T7M6
O120G0X0Y0S9999M3
Z66569M8
Z-3000
G81Z-48820R-3F1
G80R-3
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-040090S-MACH C)
O130G0T9M6
O140G0X0Y0S9999M3
Z66569M8
Z-3000
G81Z-82177R-3F1
G80R-3
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-040090S-MACH V)
O150G0T10M6
O160G0X0Y0S9999M3
Z66569M8
Z-3000
G81Z-96667R-3F1
G80R-3
G0M9
O0
Z200000
M5
(MSG,TWIST DRILL FO_HELI-006050G-MACH)

O170G0T11M6
O180G0X0Y0S9999M3
Z66569M8
Z-3000
G81Z-126783R-3F1
G80R-3
G0M9
Z66569
O0
Z200000
M5
M30

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 2 Κύκλος λειτουργίας δίχρονου ναυτικού κινητήρα.....	7-8
Κεφάλαιο 3 Εγχυτήρας πετρελαίου.....	9
3.1 Περιγραφή τμημάτων εγχυτήρα.....	9
3.2 Λειτουργία εγχυτήρων.....	10
3.3 Είδη εγχυτήρων.....	11
3.3.1 Εγχυτήρες μιας οπής.....	11
3.3.2 Εγχυτήρες πολλών οπών.....	11
Σχετικές εικόνες.....	12-17
3.4 Βλάβες των εγχυτήρων.....	18
Κεφάλαιο 4 Έγχυση.....	19
4.1 Γενικές αρχές εγχύσεως.....	20
4.2 Σχηματισμός νέφους σωματιδίων.....	21-22
4.3 Απαιτήσεις για αποδοτική έγχυση.....	23
4.4 Σύστημα εγχύσεως.....	24
4.4.1 Σύστημα εγχύσεως με αντλίες μονού βυθίσματος.....	24
4.4.2 Συστήματα με μονάδες εγχύσεως.....	25
Σχετικές εικόνες.....	26-30
4.5 Εξελιγμένες μορφές του συστήματος εγχύσεως με αντλίες μονού Βυθίσματος.....	31
4.5.1 Σύστημα πιλοτικής εγχύσεως με ανεξάρτητο εγχυτήρα.....	31
4.5.2 Σύστημα εγχύσεως με υδραυλική ενεργοποίηση των αντλιών απουσία εκκεντροφόρου.....	31-33
4.5.3 Σύστημα κοινού συλλέκτη.....	34
Κεφάλαιο 5 Προσομοίωση κατεργασίας εξαρτημάτων σε σύστημα CAM	35-67
Κεφάλαιο 6 Επίλογος – Συμπεράσματα.....	68
Κεφάλαιο 7 Βιβλιογραφία.....	69
Κεφάλαιο 8 Παράρτημα Κώδικας Εργαλειομηχανής CNC.....	70-81