

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Των** *Ζαννιά Κωνσταντίνου*  
*Λιακόπουλο Χρήστου*  
*Μιχαηλίδη Ανάργυρου*

**Επιβλέπων καθηγητής**

**Δρ. Γιαννακόπουλος Κωνσταντίνος**

**Πειραιάς 2016**

## Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία επεξεργάζεται την αστοχία υλικού, στην προκειμένη περίπτωση χάλυβα, υπό την επίδραση μηχανικής φόρτισης. Ο χάλυβας που μελετάτε είναι διαμορφωμένος σε σχήμα εκκεντροφόρου, ενός εξαρτήματος που είναι αναγκαίο για τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Το προς μελέτη δοκίμιο έχει υποστεί πολλαπλές θραύσεις κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Σκοπός μας είναι να μελετηθεί τόσο ο τρόπος που πραγματοποιήθηκε η θραύση του, χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά προγράμματα για τη ψηφιακή του απεικόνιση και στη συνέχεια την επεξεργασία του ηλεκτρονικού μοντέλου από προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων.

Τέλος μελετάται και η θραυστογραφία του εκκεντροφόρου ώστε να αποτυπωθεί ο λόγος που προκλήθηκε η θραύση του δοκιμίου τη στιγμή που εφαρμοζόταν σε αυτό μηχανική φόρτιση.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε το καθηγητή μας Δρ. Αντώνιο Τσολάκη για τις πολύτιμες πληροφορίες που μας παρείχε στις απορίες που ολοένα δημιουργούνταν για τη λειτουργία των μηχανών όσο και τον καθηγητή Σαγιά Βασίλειο για τη βοήθειά του στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη του εκκεντροφόρου επίσης και τον καθηγητή Παπαγεωργίου Δημήτριο για τη βοήθεια του κατά τη διάρκεια της θραυστογραφίας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....σελ.1	σελ.1
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Θεωρία</b>	
<b>1.1. Ιστορική Αναδρομή.....</b>	<b>σελ6</b>
1.1.1.Λειτουργία Πετρελαιοκινητήρα.....	σελ12
1.2.2.Ρύπανση.....	σελ15
1.2.3.Λειτουργία Εκκεντροφόρου.....	σελ16
<b>1.2. Χημική Σύσταση Εκκεντροφόρων.....</b>	<b>σελ17</b>
<b>1.3. Θέση Εκκεντροφόρου.....</b>	<b>σελ19</b>
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Παλαιότερα Πειράματα</b>	
<b>2.1. Η εξέλιξη της τοπογραφίας της επιφάνειας των έκκεντρων.....</b>	<b>σελ21</b>
<b>2.2. Αριθμητική προσομοίωση της έναρξης της ρωγμής κόπωσης σε επαφή κύλισης από πορώδες χάλυβα.....</b>	<b>σελ29</b>
<b>2.3.Σχηματισμός μηχανισμού ‘black-line’ σε εκκεντροφόρο σιδήρου με απλή ψύξη.....</b>	<b>σελ46</b>
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Επεξήγηση-Διαδικασία Μελέτης</b>	
<b>3.1. Φωτογραφίες δοκιμίου.....</b>	<b>σελ54</b>
<b>3.2. Σχεδίαση μηχανολογικού σχεδίου του δοκιμίου.....</b>	<b>σελ58</b>
<b>3.3. Σχεδίαση δοκιμίου στο Inventor 2014 Professional.....</b>	<b>σελ61</b>
<b>3.4 Επεξήγηση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.....</b>	<b>σελ63</b>
<b>3.5 Εφαρμογή προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.....</b>	<b>σελ64</b>
<b>3.6 Μελέτη θραυστογραφίας δοκιμίου.....</b>	<b>σελ70</b>
<b>Αποτελέσματα.....</b>	<b>σελ76</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>σελ77</b>

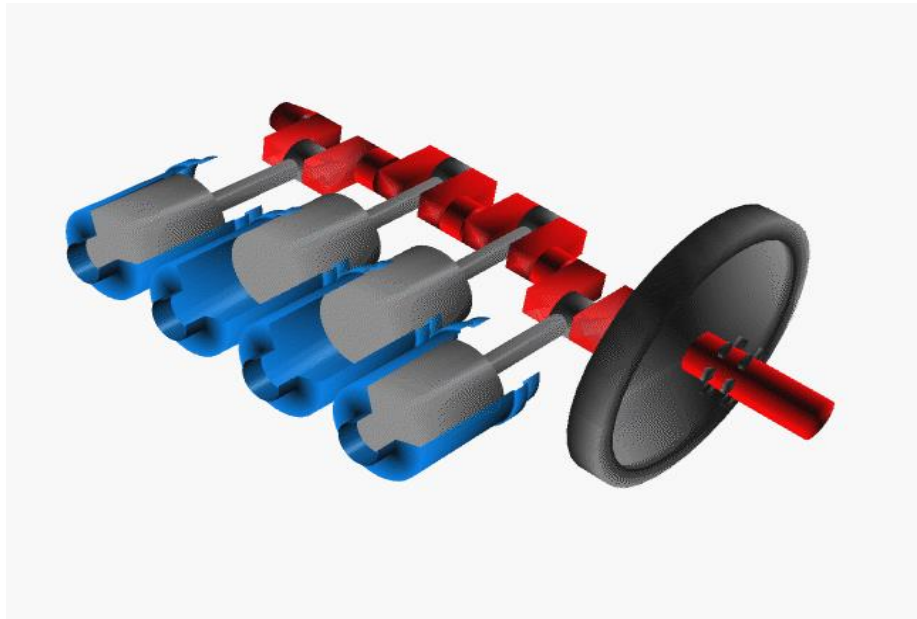
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην καθημερινότητα του ανθρώπου , από τη μείωση του χρόνου στη μεταφορά του (σε στεριά , θάλασσα και αέρα) καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ιστορία των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης αρχίζει το 1876 με τον κινητήρα του Otto και το 1892 με τον κινητήρα του Diesel. Από τον πρώτο κινητήρα εσωτερικής καύσης μέχρι και σήμερα οι γνώσεις πολλαπλασιάζονται και αυτοί εξελίσσονται συνέχεια όχι μόνο προς τον σχεδιασμό τους και την λειτουργία τους αλλά και προς την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι ο βασικός παράγοντας για την μόλυνση του περιβάλλοντος και για αυτό οι εταιρίες που τις κατασκευάζουν σχεδιάζουν διαρκώς νέους τύπους μηχανών για τη μείωση των ρύπων. Καθώς και οι πετρελαϊκές δημιουργούν νέα καύσιμα για μείωση των ρύπων αλλά και για καλύτερη απόδοση του κινητήρα. Ωστόσο καθώς η ζήτηση συνεχώς αυξάνεται έχει σαν αποτέλεσμα την εντατικοποίηση των ερευνών για περαιτέρω βελτίωση και ανάπτυξη.

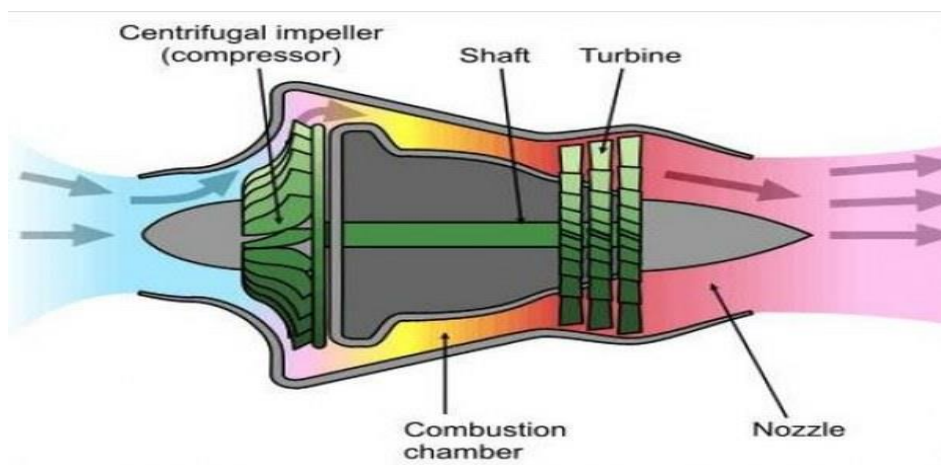
## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι θερμικές μηχανές που καταναλώνουν ενέργεια για την παραγωγή μηχανικής ισχύος. Η ενέργεια που καταναλώνουν οι μηχανές εσωτερικής καύσης βρίσκεται αποθηκευμένη στα υγρά καύσιμα που χρησιμοποιούν. Το μίγμα αέρα-καυσίμου πριν από την καύση και τα από αυτήν αποτελούν το εργαζόμενο μέσο. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, οι πιο σημαντικές είναι :

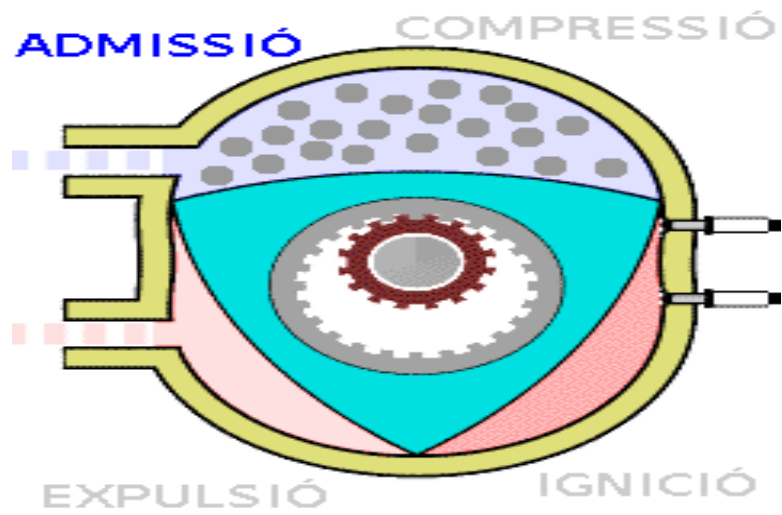
1) Εμβολοφόροι παλινδρομικοί (90%) στην παραγωγή.



2) Αεριοστρόβιλοι - jet (5-6%) στην παραγωγή.



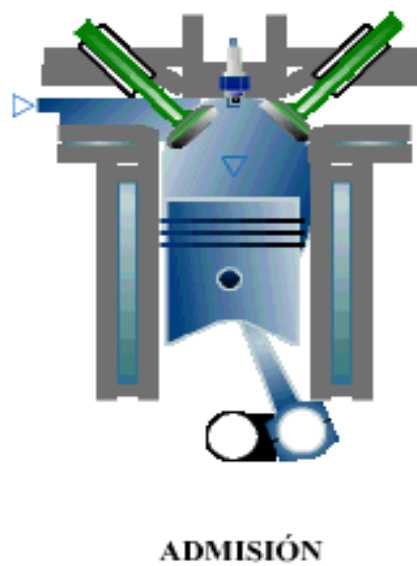
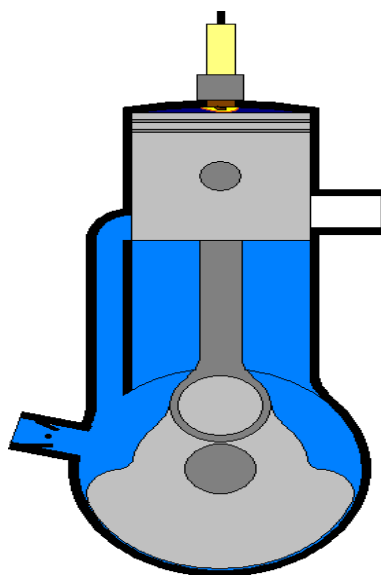
3) Περιστροφικοί (wankel) (3-4%) στην παραγωγή.



Οι εμβολοφόροι χωρίζονται σε :

1) Δίχρονους

2) Τετράχρονους



Καθώς και σε :

α) Otto (κινητήρες βενζίνης)

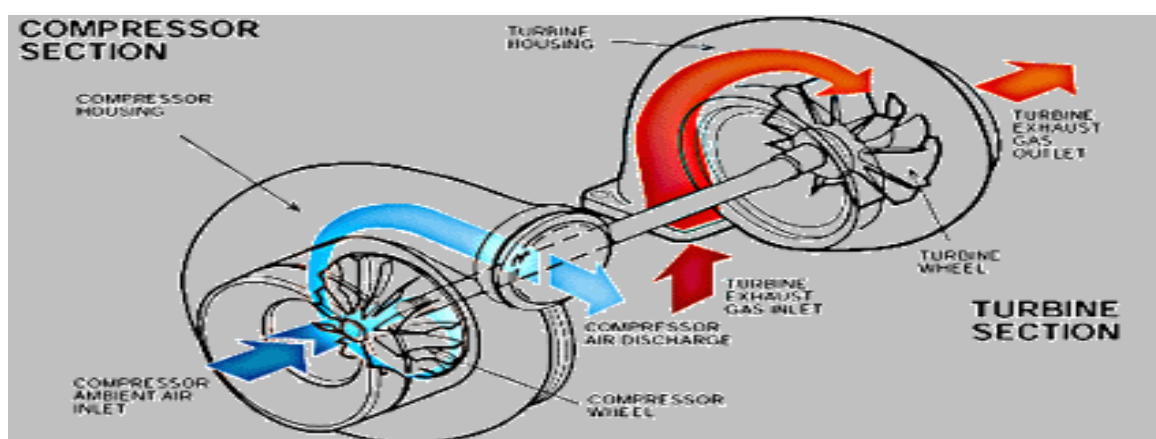
β) Diesel (κινητήρες πετρελαίου)

Που μπορεί να είναι δίχρονοι ή τετράχρονοι.

Επίσης άλλη κατηγορία είναι:

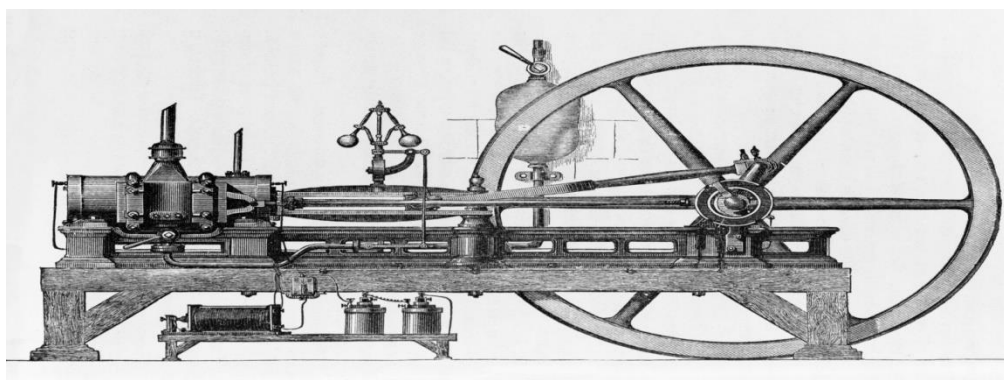
1) Απλή πλήρωση (όπου η πίεση μέσα στον θάλαμο καύσης είναι 1 atm)

2) Υπέρ πλήρωση (όπου η πίεση μέσα στον θάλαμο καύσης είναι πάνω από 1 atm).



Εξαιτίας της απλότητας τους, της αντοχής τους και του υψηλού λόγου ισχύος σε σχέση με το βάρος τους οι εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης κατέχουν το 90% της παραγωγής και κυρίως στις μεταφορές σε στεριά και θάλασσα καθώς και στην παραγωγή ισχύος και ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης κατασκευάστηκε το 1860 και λειτουργούσε ικανοποιητικά από ένα Γάλλο εφευρέτη γεννημένο στο Βέλγιο τον Ζαν-Ζοζέφ-Λενουάρ (1822-1900).





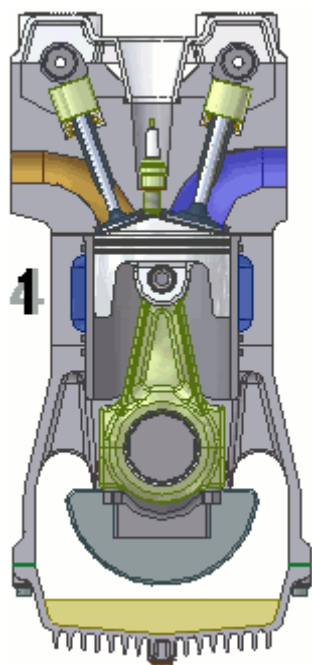
Η μηχανή αυτή χρησιμοποιούσε ως καύσιμο ένα μίγμα από κάρβουνο , φωταέριο και αέρα υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης , δηλαδή δεν γινόταν συμπίεση πριν από την καύση. Η παραγωγή μίγματος στον κύλινδρο γινόταν στο πρώτο μισό του κύκλου λειτουργίας. Κατόπιν , ένας σπινθήρας προκαλούσε την καύση , η πίεση αυξανόταν και τα αέρια προϊόντα της καύσης παρείχαν ισχύ στο έμβολο κατά το δεύτερο μισό του κύκλου λειτουργίας. Ο κύκλος συμπληρωνόταν με την αποβολή των καυσαερίων. Μεταξύ των ετών 1860 και 1865 κατασκευάστηκαν περίπου 5.000 τέτοιοι κινητήρες για εμπορική χρήση. Η ισχύς των κινητήρων αυτών δεν ξεπερνούσε τους 6 Ps ενώ ο βαθμός απόδοσης τους στην καλύτερη περίπτωση έφτανε το 5%. Παρόλα αυτά η μηχανή εσωτερικής καύσης του Λενουάρ είχε πολύ χαμηλή απόδοση. Ο Αυστριακός Ζιγκφριντ Μάρκουσ έκανε πειράματα που χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο το βενζίνη. Ο Μάρκουσ τοποθέτησε μια τέτοια μηχανή πάνω σε μια άμαξα το 1864 και η κατασκευή αυτή θα πρέπει να θεωρηθεί ως το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο.

Οι Nicolaus A. Otto (1876-1891) και Eugen Langen (1833-1895) ανέπτυξαν το 1867 έναν πιο επιτυχημένο κινητήρα στον οποίο η αύξηση που προερχόταν από την καύση του μίγματος χρησιμοποιούνταν από ένα ζεύγος εμβόλου και τροχού για να δημιουργήσει κενό στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Η ατμοσφαιρική πίεση στη συνέχεια ωθούσε το έμβολο προς το εσωτερικό του κυλίνδρου. Περίπου 5.000 τέτοιοι κινητήρες κατασκευάστηκαν για εμπορική χρήση με βαθμό απόδοσης της τάξεως του 11%

Η πρώτη όμως μηχανή με βενζίνη που ήταν αρκετά αποδοτική ώστε να διαδοθεί ευρέως , θα κατασκευάζονταν την επόμενη δεκαετία. Ο Γερμανός μηχανικός Νικολάους Ουγκουστ Οττο κατασκεύασε μια τροποποιημένη μορφή κινητήρα στην οποία η βελτίωση του βαθμού απόδοσης του οφείλεται στην μείωση του υπερβολικού του βάρους και πρότεινε έναν κύκλο λειτουργίας με τις ακόλουθες φάσεις: Εισαγωγή, συμπίεση, καύση, εκτόνωση

Έτσι καθώς το έμβολο κινούνταν προς τα κάτω (πρώτος χρόνος) , αναρροφούσε μέσα στον κύλινδρο ένα μίγμα από αέρα και εύφλεκτων ατμών. Κατόπιν το έμβολο το έμβολο κινούνταν προς τα επάνω συμπιέζοντας το μίγμα αυτό (δεύτερος χρόνος). Όταν η συμπίεση έφτανε στην μέγιστη τιμή της ένας σπινθήρας προκαλούσε την ανάφλεξη του μίγματος , ενώ η πίεση των αερίων που δημιουργούνταν από την ανάφλεξη ωθούσε το έμβολο προς τα κάτω (τρίτος χρόνος) με αποτέλεσμα την

παραγωγή έργου και την μετατροπή του σε κίνηση. Όταν το έμβολο κινούνταν ξανά προς τα επάνω (τέταρτος χρόνος) , ωθούσε τα αέρια προϊόντα της καύσης (καυσαέρια) έξω από τον κύλινδρο. Στη συνέχεια ο κύκλος επαναλαμβανόταν από την αρχή.



Ο πρότυπος αυτός τετράχρονος κινητήρας λειτουργούσε για πρώτη φορά το 1876. Απλή σύγκριση αυτού του κινητήρα του Otto με τον ατμοσφαιρικό προκάτοχο του , δείχνει τους λόγους της επιτυχίας του που είναι η πολύ σημαντική μείωση του όγκου και του βάρους του. Αυτή ήταν η καινοτομία που εδραίωσε την βιομηχανία κατασκευής μηχανών εσωτερικής καύσης. Μέχρι το 1890, περίπου 50.000 τέτοιοι κινητήρες είχαν πουληθεί στην Ευρώπη και την Αμερική.

Το 1884 βρέθηκε μια μη δημοσιοποιημένη Γαλλική ευρεσιτεχνία του 1862 , που αποδίδεται στον Alphonse Beau DeRochas (1815-1893) Η ευρεσιτεχνία αυτή περιέγραφε τις αρχές του τετράχρονου κύκλου. Αυτή η τυχαία ανακάλυψη , δημιούργησε αμφιβολίες για την ευρεσιτεχνία του Otto , και στην Γερμανία θεωρήθηκε ως άκυρη. Ο Beau DeRochas παρουσίασε εκτός των άλλων τις συνθήκες κάτω από τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί ο μέγιστος βαθμός απόδοσης σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης.

Οι συνθήκες αυτές είναι :

- 1) Ο μέγιστος δυνατός όγκος κυλίνδρου με την ελάχιστη δυνατή επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον.
- 2) Η μέγιστη δυνατή ταχύτητα περιστροφής
- 3) Ο μέγιστος δυνατός βαθμός εκτόνωσης
- 4) Η μέγιστη δυνατή πίεση κατά την έναρξη της εκτόνωσης

Σύμφωνα με τις δύο πρώτες συνθήκες ο βαθμός απόδοσης είναι ανάλογος του όγκου του κυλίνδρου και της ταχύτητας λειτουργίας του και αντιστρόφως ανάλογος της επιφάνειας συναλλαγής (μείωση των θερμικών απωλειών). Από την τρίτη και τέταρτη συνθήκη προκύπτει ότι μεγαλύτερες πιέσεις και καύσης και βαθμοί εκτόνωσης έχουν σαν συνέπεια μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Παρόλο που τα μη δημοσιευμένα κείμενα του Beau DeRochas υπήρχαν νωρίτερα από τις ανακαλύψεις του Otto , ο ίδιος ποτέ δεν εφάρμοσε αυτές τις ιδέες στην πράξη. Συνεπώς , με την ευρεία έννοια , ο Otto θεωρείτε ο εφευρέτης της μηχανής εσωτερικής καύσης με την μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα.

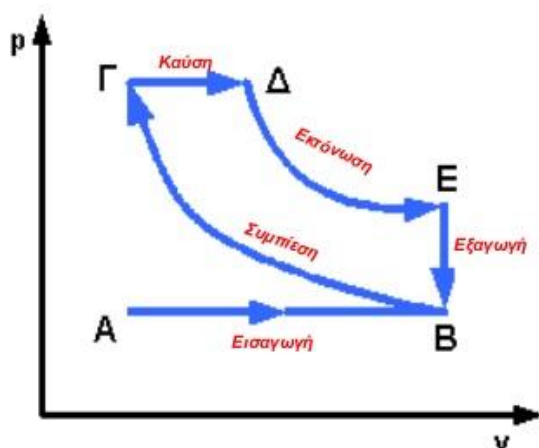
Η εμπορική επιτυχία του κινητήρα Otto είχε σαν άμεσο αποτέλεσμα την εντατικοποίηση των προσπαθειών για περαιτέρω βελτίωση. Μέχρι το 1889 διάφοροι μηχανικοί (Π.χ. Dugald Clerk , 1854-1913 και James Robson 1833-1913, στην Αγγλία και Karl Benz 1844-1929,) στην Γερμανία ανέπτυξαν επιτυχώς τις δίχρονες μηχανές εσωτερικής καύσης , στις οποίες οι διεργασίες της εξαγωγής συνέβαιναν κατά το τέλος της φάσης της συμπίεσης. Ο James Atkinson (1846-1914) στην Αγγλία κατασκεύασε έναν κινητήρα με μεγαλύτερη τη φάση της εκτόνωσης από τη φάση της συμπίεσης , ο οποίος είχε σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης για την εποχή τους αλλά και αρκετές μηχανικές αδυναμίες και γρήγορα εγκαταλείφθηκε. Με τις βελτιώσεις αυτές επιβεβαιώθηκε ότι ο βαθμός απόδοσης μιας μηχανής εσωτερικής καύσης είναι άμεση συνάρτηση του βαθμού εκτόνωσης. Διάφοροι περιορισμοί σχετιζόμενοι με την ποιότητα των διαθέσιμων την εποχή εκείνη καυσίμων , των υλικών που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή των κινητήρων , κλπ. δεν επέτρεπαν βαθμούς συμπίεσης μεγαλύτερους του 4. Το μεγαλύτερο πρόβλημα πάντως που είχαν να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί της εποχής εκείνης ήταν η αποφυγή του προβλήματος της κρουστικής καύσης. Σημαντικές καινοτομίες στα συστήματα παραγωγής της

καύσης είχαν σαν συνέπεια την σημαντική μείωση του βάρους των μηχανών εσωτερικής καύσης και την περαιτέρω βελτίωση του βαθμού απόδοσης τους με αποτέλεσμα την τοποθέτηση και λειτουργία τους σε αυτοκίνητα διαφόρων τύπων και μεγεθών. Η χρησιμοποίηση των μηχανών εσωτερικής καύσης σε αυτοκίνητα γενικεύθηκε το 1880. Την ίδια εποχή σημειώθηκε αξιοσημείωτη πρόοδος και στις σταθερές μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή ισχύος. Την εποχή εκείνη (τέλος του δέκατου ένατου αιώνα) μεγάλοι μονοκύλινδροι κινητήρες με διάμετρο εμβόλου 1,3 μέτρα παρήγαγαν ισχύ και 600 Ps στις 900 rpm. Την ίδια εποχή διάφοροι περιορισμοί στην Αγγλία σχετιζόμενοι με την διαθεσιμότητα των καυσίμων , την ποιότητα τους , κλπ. έστρεψαν την προσοχή των ερευνητών στην έρευνα για πιθανή χρήση κηροζίνης ως καύσιμου των μηχανών εσωτερικής καύσης.

Το 1892 ο Rudolf Diesel (1859 - 1913) Γερμανός μηχανικός και εφευρέτης , πήρε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα θερμικό κύκλο υψηλής απόδοσης.

## Λειτουργία πετρελαιοκινητήρα :

- Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος 4-χρονου πετρελαιοκινητήρα σε διάγραμμα p-v



(1<sup>ος</sup> χρόνος): **Εισαγωγή (A-B)**  
Εισροή αέρα στον κύλινδρο  
Πίεση σταθερή (ατμοσφαιρική)

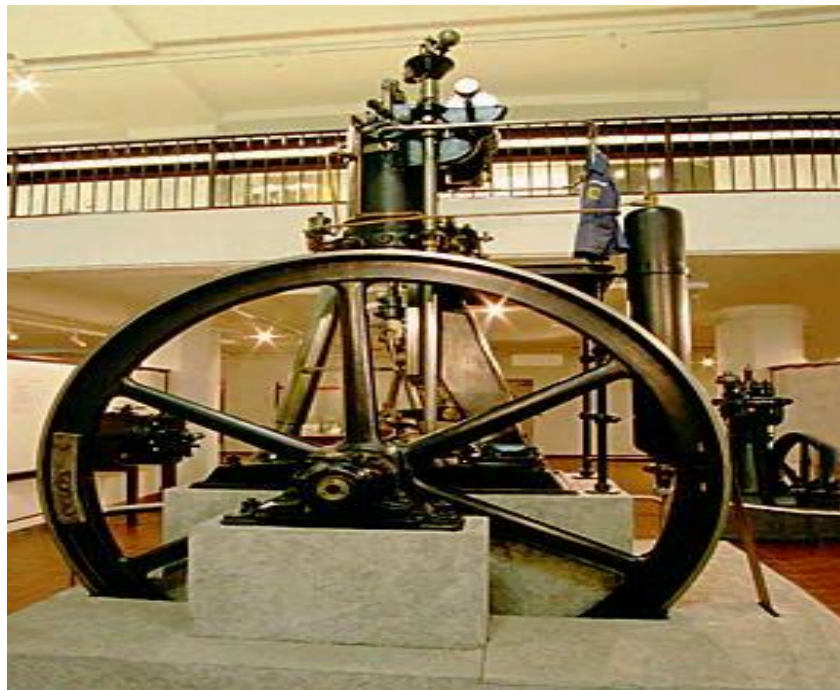
(2<sup>ος</sup> χρόνος): **Συμπίεση (B-Γ)**  
Πίεση και θερμοκρασία αυξάνονται

(3<sup>ος</sup> χρόνος): **Καύση (Γ-Δ):**  
Έγχυση πετρελαίου (σταγονίδια)  
**Αυτανάφλεξη**  
Ισοβαρής - Πίεση σταθερή  
**Εκτόνωση (Δ-E):**  
**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ**

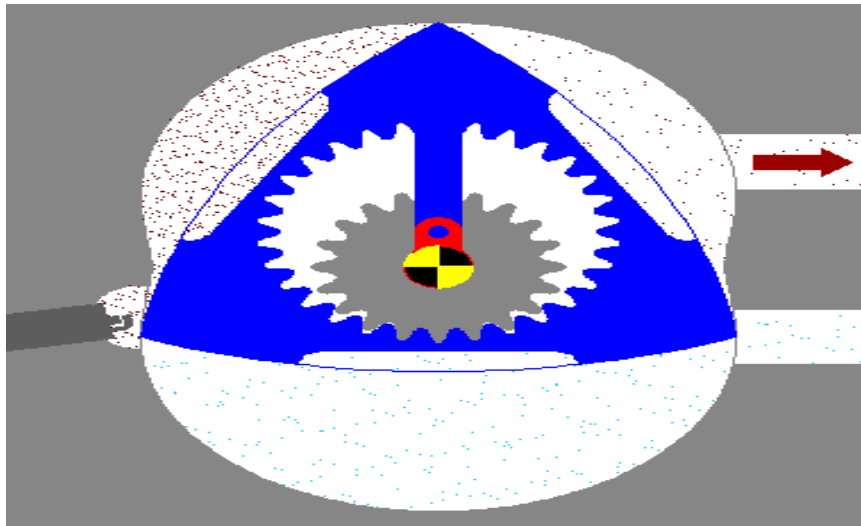
(4<sup>ος</sup> χρόνος): **Εξαγωγή (E-B)**  
Καυσαέρια εξέρχονται στην ατμόσφαιρα  
Ισόχωρη (όγκος σταθερός)  
Η πίεση μειώνεται (ατμοσφαιρική)  
**(B-A)**  
Πίεση σταθερή

Σύμφωνα με αυτόν , κατά τον πρώτο χρόνο αναρροφάται (λόγω υπό πίεσης) μέσα στον κύλινδρο ατμοσφαιρικός αέρας και συμπιέζεται ως 40 ατμόσφαιρες και αποκτάει υψηλή θερμοκρασία , περίπου 600 °C . Στο τέλος της συμπίεσης μπαίνει μέσα στον κύλινδρο το πετρέλαιο με ειδική αντλία σαν ένα νέφος από μικρά

σταγονίδια. Επειδή το πετρέλαιο καταμερίζεται και επικρατεί υψηλή θερμοκρασία , το πετρέλαιο αναφλέγεται. Η μέθοδος αυτή είχε ως αποτέλεσμα τον διπλασιασμό του βαθμού απόδοσης συγκριτικά με τις υπάρχουσες μηχανές εσωτερικής καύσης. Πολύ μεγαλύτεροι βαθμοί εκτόνωσης , χωρίς προβλήματα κρουστικής καύσης. Το 1897 έγιναν οι δοκιμές του τυπικού κινητήρα Diesel που τα χαρακτηριστικά του είναι σχεδόν ίδια με τα χαρακτηριστικά των σημερινών κινητήρων.



Οι καινοτομίες στην τεχνολογία των μηχανών εσωτερικής καύσης, λιγότερο θεμελιώδεις αλλά εξίσου σημαντικές στην διαρκώς διευρυνόμενη αγορά, συνεχίστηκαν και συνεχίζονται χωρίς διακοπή μέχρι σήμερα. Μια αξιοσημείωτη καινοτομία ήταν η ανάπτυξη περιστροφικών μηχανών εσωτερικής καύσης (δηλαδή κινητήρων χωρίς παλινδρομούσες μάζες). Ο λόγος που ώθησε τους ερευνητές προς αυτή την κατεύθυνση είναι προφανής. Μειωμένες παλινδρομικές μάζες ή παντελής έλλειψη αυτών έχει σαν συνέπεια σημαντική μείωση των ταλαντώσεων και των απαιτήσεων για ζυγοστάθμιση. Παρόλο που μια μεγάλη ποικιλία πειραματικών περιστροφικών μηχανών εσωτερικής καύσης προτάθηκαν μέχρι σήμερα, ο πρώτος πραγματικά εκμεταλλεύσιμος κινητήρας, ο κινητήρας Wankel από το όνομα του Γερμανού μηχανικού Felix Wankel, δοκιμάστηκε επιτυχώς το 1957.



Αντί για έμβολο ο κινητήρας βάνκελ έχει έναν τροχιακό ρότορα, ισόπλευρο και περίπου τρίγωνο, που στρέφεται μέσα σε έναν κλειστό θάλαμο, ενώ οι τρεις κορυφές του εφάπτονται συνεχώς πάνω στην εσωτερική επιφάνεια του κελύφους. Μεταξύ του ρότορα και του κελύφους σχηματίζονται τρεις ημισεληνοειδείς θάλαμοι, ο όγκος των οποίων μεταβάλλεται με την κίνηση του ρότορα. Ο όγκος αυτός μεγιστοποιείται όταν η πλευρά του ρότορα που σχηματίζει τον θάλαμο είναι παράλληλη προς τη δευτερεύουσα διάμετρο του κελύφους, ενώ ελαχιστοποιείται όταν η ίδια πλευρά του ρότορα καθορίζουν το σχήμα των θαλάμων καύσης και τον λόγο συμπίεσης. Το καύσιμο μίγμα, προερχόμενο από τον εξαερωτήρα, εισέρχεται στους θαλάμους καύσης από μια θυρίδα εισαγωγής σε μια από τις ακραίες πλάκες του κελύφους. Σε μια από τις ακραίες πλάκες του κελύφους σε μια από τις επίπεδες πλευρές του κελύφους σχηματίζεται μια θυρίδα εξαγωγής. Ο σπινθηριστήρας βρίσκεται σε εσοχή που επικοινωνεί με τους θαλάμους μέσα από ένα στένωμα, στην απέναντι πλευρά του κελύφους. Βασικό πρόβλημα στο σχεδιασμό είναι στεγανοποίηση στις κορυφές και τις παρειές του ρότορα. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του κινητήρα βάνκελ είναι ο μικρός χώρος και το μικρό βάρος ανά μονάδα ισχύς, η στρωτή χωρίς κραδασμούς αθόρυβη λειτουργία του καθώς και το χαμηλό κόστος κατασκευής του, αποτέλεσμα της μηχανικής του απλότητας. Η απουσία αδρανειακών δυνάμεων από τα μέρη που παλινδρομούν και η κατάργηση των μυκητοειδών βαλβίδων επιτρέπουν λειτουργία σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες από ότι στους παλινδρομικούς κινητήρες. Η εισαγωγή νωπού μίγματος καυσίμων και η εξαγωγή των καυσαερίων είναι αποτελεσματικότερες, γιατί οι θυρίδες του ανοιγοκλείνουν ταχύτερα απ' ότι με

μυκητοειδής βαλβίδες, ενώ η ροή μέσα από αυτές είναι σχεδόν συνεχής. Η οικονομία σε καύσιμο είναι εφάμιλλη με εκείνη στις συμβατικές μηχανές, επιτρέποντας αθόρυβη καύση και μεγαλύτερη ποικιλία καυσίμων. Η μικρότερη μάζα και η χαμηλότερη θέση του κέντρου βάρους καθιστούν τον κινητήρα αυτόν ασφαλέστερο για αυτοκίνητα. Τα κινούμενα μέρη ενός κινητήρα Βάνκελ ανέρχονται στο ένα τρίτο περίπου από ότι σε τυπικό εξακύλινδρο κινητήρα

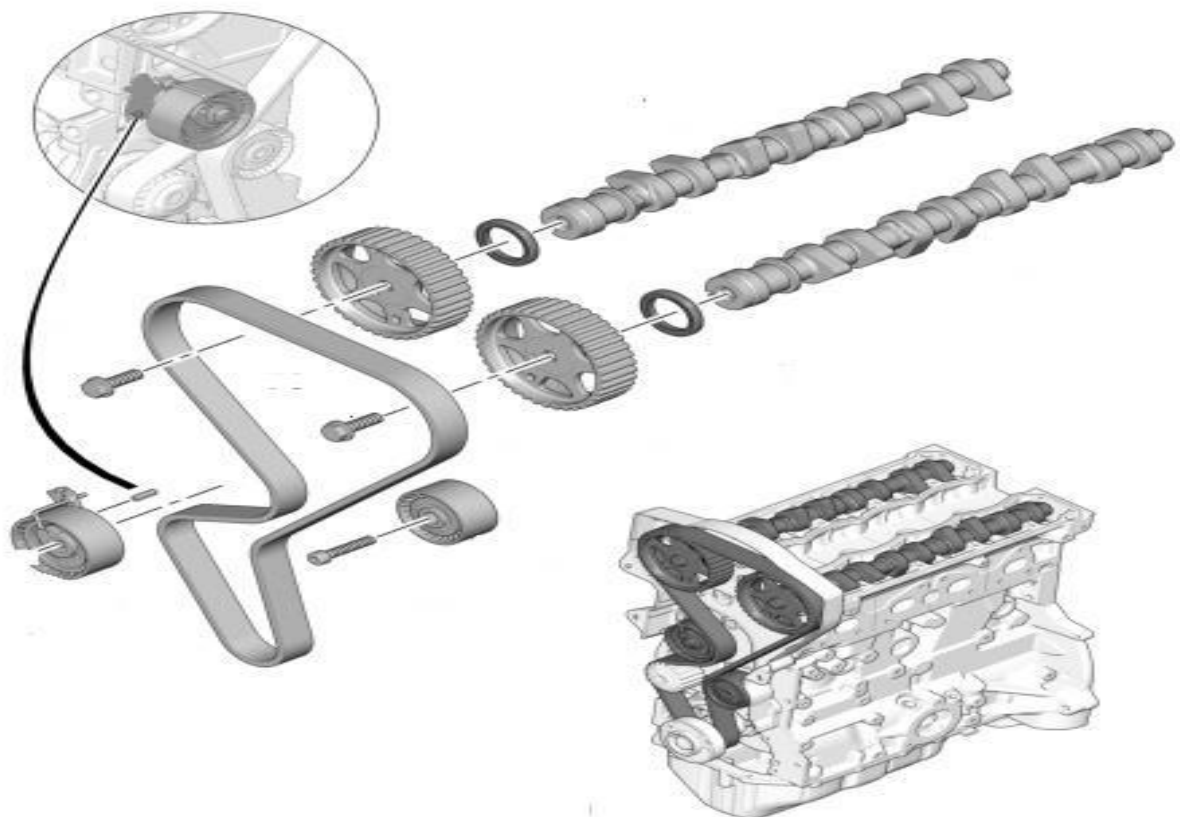
## **Ρύπανση**

Η οφειλόμενη στα αυτοκίνητα ατμοσφαιρική ρύπανση μελετήθηκε για πρώτη φορά την δεκαετία του 1940 στην περιοχή του Los Angeles. Το 1952 ο καθηγητής A.J. Haagen-Smit επεσήμανε ότι το πρόβλημα του "νέφους" οφειλόταν σε αντιδράσεις ανάμεσα σε οξειδία του αζώτου και υδρογονανθράκων υπό της ηλιακής ακτινοβολίας. Διαπιστώθηκε τα οξειδία του αζώτου και των υδρογονανθράκων προέρχονταν κατά κύριο λόγο από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Επίσης διαπιστώθηκε ότι τα καυσαέρια των αυτοκινήτων ήταν η κύρια αιτία για τα υψηλά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα σε αστικές περιοχές. Τα καυσαέρια των κινητήρων Diesel αποτελούν σημαντικές πηγές αιθάλης, καθώς επίσης υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου. Σταδιακά άρχισαν να εμφανίζονται κανονισμοί που περιορίζαν την ποσότητα των ρύπων στα καυσαέρια των αυτοκινήτων, αρχικά στην California και αργότερα σε όλη την επικράτεια των Ηνωμένων Πολιτειών. Η περιοριστική αυτή νομοθεσία στην εκπομπή ρύπων επεκτάθηκε γρήγορα στην Ιαπωνία αλλά και στην Ευρώπη. Με αυτών τον τρόπο σημειώθηκε σημαντική μείωση στις εκπομπές ρύπων από τις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, άμεση συνέπεια των ερευνών που ακολούθησαν την εφαρμογή των περιοριστικών μέτρων. Η χρήση των καταλυτών στα συστήματα εξατμίσεως των βενζινοκινητήρων από την μια πλευρά και η τοξικότητα των μολυβδούχων πρόσθετων της βενζίνης που σαν σκοπό είχαν να περιοριστούν τα προβλήματα κρουστικής καύσης από την άλλη πλευρά οδηγούσαν στην επανεμφάνιση της αμόλυβδης βενζίνης ως το κύριο είδος καυσίμου για την αυτοκίνηση. Η διαρκώς αυστηρότερη νομοθεσία για την εκπομπή ρύπων από τα αυτοκίνητα και οι σημαντικές και διαρκείς καινοτομίες στον τομέα των καυσίμων οδηγούσαν σε πολύ σημαντικές αλλαγές στην σχεδίαση και λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης αποτελούν μια πολύ σημαντική πηγή θορύβου. Οι κυριότερες πηγές θορύβου είναι το σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, το σύστημα εισαγωγής αέρα, ο ανεμιστήρας που χρησιμοποιείται για

την ψύξη του κινητήρα(engine block surface). Ο θόρυβος μπορεί να οφείλεται σε αεροδυναμικά αίτια στις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την διεργασία της καύσης ή μπορεί να είναι αποτέλεσμα της μηχανικής διέγερσης των περιστρεφόμενων ή παλινδρομούσαν μαζών του κινητήρα. Οι πρώτοι νόμοι που περιόριζαν τα επίπεδα θορύβου των βενζινοκινητήρων των αυτοκινήτων τέθηκαν σε εφαρμογή τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 70.

### **Τι είναι ο εκκεντροφόρος**

Είναι ένας άξονας που βρίσκεται στο καπάκι του κινητήρα. Αυτός ενσωματώνει έκκεντρα, τα οποία αναλαμβάνουν να ανοίγουν και να κλείνουν τις βαλβίδες εισαγωγείς για την παροχή καυσίμου μείγματος στους θαλάμους καύσης και την εξαγωγή του καυσαερίου. Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα (4c/6c σε σχήμα Vκ.λπ.) ένα αυτοκίνητο μπορεί να έχει από έναν εκκεντροφόρο SOHC(Single Over Head Cam) έως - αν διαθέτει 4 και πάνω βαλβίδες ανά κύλινδρο - δύο εκκεντροφόρους (DOHC).Ο εκκεντροφόρος τέλος ,περιστρέφεται μέσο ιμάντα ή καδένα παλαιότερας τεχνολογίας κινητήρων) ο οποίος παίρνει ροπή από τον στροφαλοφόρο άξονα στο εμπρόσθιο μέρος του κινητήρα.





## Υλικό κατασκευής εκκεντροφόρου

Το υλικό κατασκευής του εκκεντροφόρου άξονα είναι σφυρήλατος βελτιωμένος χάλυβας ή χυτοσίδηρος, ειδικά κατεργασμένος ώστε να έχει υψηλή αντοχή και να παρουσιάζει την μικρότερη δυνατή φθορά των επιφανειών των λοβών οι οποίοι σκληρύνονται με επαγωγική μέθοδο.

### Χημική σύσταση εκκεντροφόρων :

Βελτιωμένος χάλυβας 42CrMo4 κατάλληλος για άξονες, διωστήρες, στροφαλοφόρους και εκκεντροφόρους άξονες, ημιαξόνια, ακραξόνια κ.λπ. Ενδείκνυται για την κατασκευή αγκυριών και στροφίων ποιότητας 10.9 according to DIN 267

0,42 C  
0,40Si  
0,70Mn  
1,00Cr  
0,20Mo

Βελτιωμένος χάλυβας 34CrNiMo6 μεγαλύτερης αντοχής σε καταπονήσεις κρούσεις, στρέψης και κάμψης κατάλληλος για απαιτήσεων εξαρτήματα αυτοκινήτων εκκεντροφόρους και στροφαλοφόρους άξονες, κόμπλερ κ.λπ.

0,34 C  
0,25Si  
0,60Mn  
1,5Cr  
0,20Mo1,50Ni

**Ο εκκεντροφόρος στον οποίο θα κάνουμε την μελέτη αστοχίας έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:**

ISI 8620

UTS 830 MPa

Ορ. διαρροής 385 MPa

E=190-210 MPa (Μέτρο Ελαστικότητας)

P< 0,35

Fe= 97-98 % (σίδηρος )

Mn=0,7 - 0,9% (μαγνήσιο)

Ni =0,4 - 0,7 % (νικέλιο)

Cr = 0,4 - 0,6 % (χρώμιο)

Si= 0,15 - 0,13 % (πυρίτιο)

Mo= 0,15 - 0,25 %

S =0,04% (θείο)

C = 0,18 - 0,23 % άνθρακας

## **Μέθοδοι κατασκευής του εκκεντροφόρου**

### **Σφυρηλάτηση (Forging)**

Η πλαστική παραμόρφωση του ΤΕ επιτυγχάνεται με άσκηση θλιπτικών φορτίων από το ΕΡ.

Είναι η παλαιότερη κατεργασία (πριν από το 5000 π.χ.)

Εφαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία μεγέθους και σχήματος ΤΕ και από ποικιλία υλικών.

Τυπικά σφυρηλάτα προϊόντα : εκκεντροφόροι άξονες ,διωστήρες ,τροχοί χειρός ,οδοντωτοί τροχοί ,εργαλεία, πτερύγια ελίκων κ.λπ.

Λαμβάνει χώρα και εν ψυχρώ και σε υψηλές θερμοκρασίες. Χονδρική ταξινόμηση βάσει της θερμοκρασίας κατεργασίας(όπου  $T_m$  το σ.ζ του κατεργασμένου υλικού)

ψυχρή σφυρηλάτηση :  $T < 0,3 T_m$

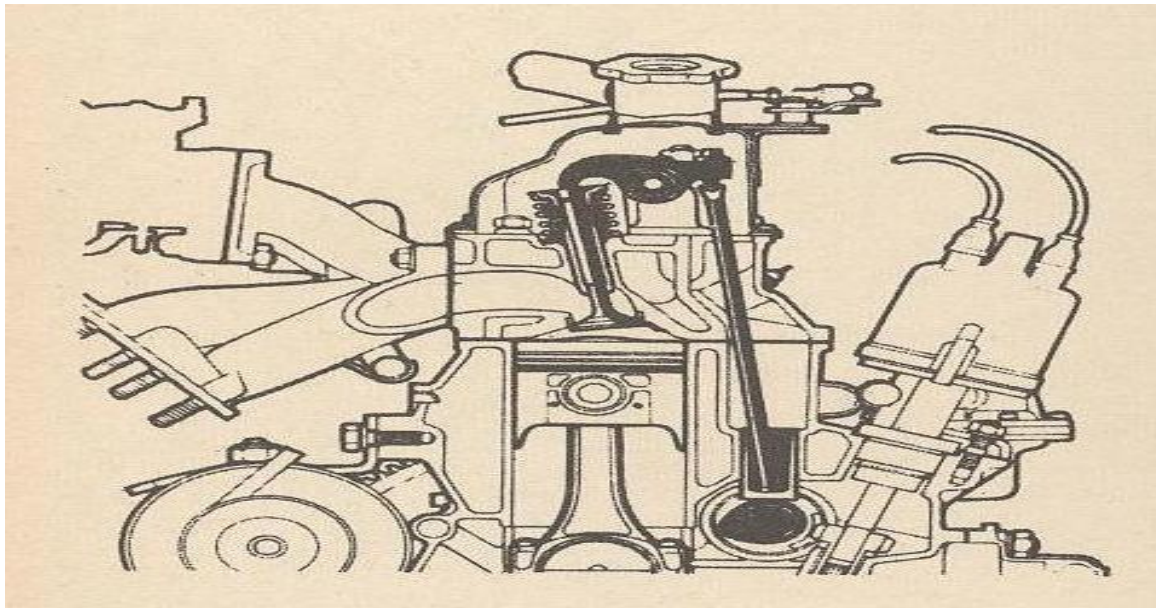
θερμή σφυρηλάτηση :  $T > 0,5 T_m$

Ημίθερμη σφυρηλάτηση  $0,3 T_m < T < 0,5 T_m$

## Θέση εκκεντροφόρου άξονα

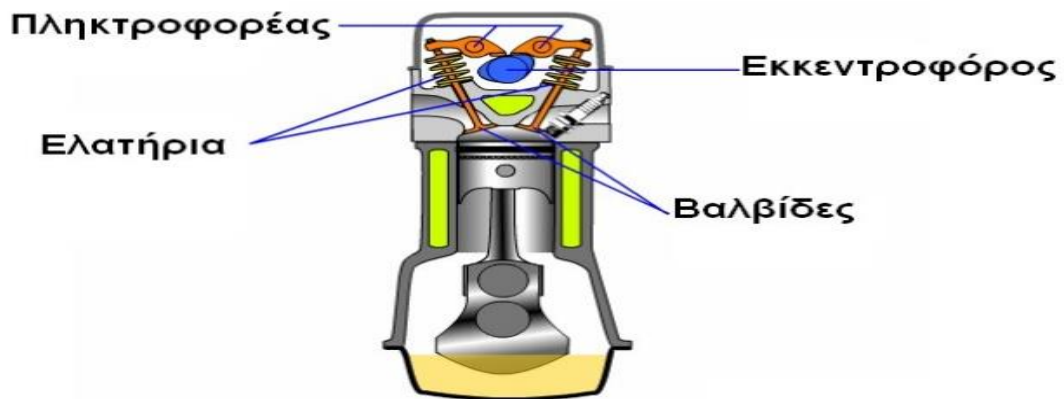
Η θέση του εκκεντροφόρου άξονα εξαρτάται από την σχεδίαση του κινητήρα από τη θέση που έχουν οι βαλβίδες. Έτσι υπάρχουν :

1) Κινητήρες με βαλβίδες στην κυλινδροκεφαλή και εκκεντροφόρο άξονα στα πλάγια. Στην περίπτωση αυτή για να κινηθούν οι βαλβίδες χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός κίνησης που περιλαμβάνει το ωστήριο (ποτηράκι) , την ωστική ράβδο (καλάμι) , το ζύγοθρο (κοκοράκι) και τον πληκτροφορέα (πιανόλα). οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται με επικεφαλής βαλβίδες (OHV)

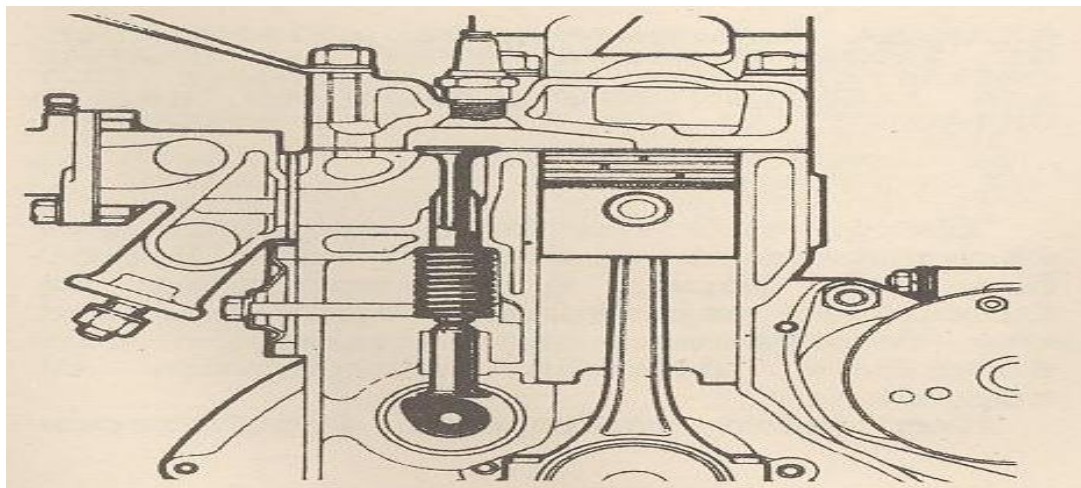


2) Κινητήρες με τις βαλβίδες και τον εκκεντροφόρο άξονα στην κυλινδροκεφαλή. Στην περίπτωση αυτή ο εκκεντροφόρος άξονας τοποθετείται επάνω από τους κυλίνδρους και οι βαλβίδες για να ανοίγουν και να κλείνουν ,είτε κινούνται από ζύγοθρα που παίρνουν κίνηση απευθείας από τον εκκεντροφόρο είτε οι βαλβίδες οι ίδιες κινούνται απευθείας από τον εκκεντροφόρο , μέσω του ωστηρίου (ποτηρακι). Στην δεύτερη περίπτωση το ωστήριο στο πάνω μέρος του έχει μια κοιλότητα όπου τοποθετείται ένας μαλακός δίσκος (πλακάκι ή καπελότο). Αν αλλάξει το πάχος του δίσκου αυτού ,λόγο φθοράς θα αλλάξει και η διαδρομή κίνησης της βαλβίδας. στη περίπτωση αυτή θα πρέπει ο δίσκος να αντικατασταθεί με άλλον κατάλληλου πάχους ώστε να επιτευχθεί και πάλι το επιθυμητό διάκενο της βαλβίδας. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται κινητήρες με επικεφαλής εκκεντροφόρο (OHC-Over Head Camshaft) ενώ είναι δυνατό να υπάρχουν και δυο εκκεντροφόροι (DOHC-Double Over Head Camshaft)

## ΘΕΣΗ ΕΚΚΕΝΤΡΟΦΟΡΟΥ ΕΠΙ ΚΕΦΑΛΗΣ



3)Κινητήρες με βαλβίδες και εκκεντροφόρο άξονα στα πλάγια. Στην περίπτωση αυτή ο εκκεντροφόρος άξονας βρίσκεται τοποθετημένος κάτω από τις βαλβίδες. Ο μηχανισμός κίνησης αποτελείται από το ωστήριο (ποτηράκι) ,τη βίδα ρύθμισης ,το ελατήριο της βαλβίδας και τον οδηγό.



## Μελέτες, Ερευνητικές μέθοδοι και Αποτελέσματα από προηγούμενα πειράματα

### Η εξέλιξη της τοπογραφίας της επιφάνειας των έκκεντρων

Η τριβή και η φθορά είναι συνεχή προβλήματα που ανέκυψαν κατά την ανάπτυξη του εκκεντροφόρου. Ανάμεσα σε μια μεγάλη ποσότητα από παράγοντες, όπως η επιφανειακή τοπογραφία είναι μία σημαντική χαρακτηριστική βελτίωση σε αυτό το πολύπλοκο σύστημα. Τέσσερα μέρη διαφορετικών σχημάτων μπορούν να διαφοροποιηθούν σε ένα προφίλ εκκεντροφόρου. Συνεπώς, η μηχανική κατεργασία του εν λόγω συστατικού είναι αρκετά ιδιαίτερη. Λαμβάνοντας υπόψη το πολύπλοκο σχήμα ενός εκκεντροφόρου, το παρόν έγγραφο χωρίζεται σε δύο μελέτες:

1. Τροποποιήσεις της τοπογραφίας της επιφάνειας γύρω από τα έκκεντρα, προκειμένου να τονίσει το συγκεκριμένο προφίλ του εκκεντροφόρου που οδηγεί σε ένα σύνθετο μοντέλο μεταλλοτεχνίας.
2. Εξέλιξη των επιφανειών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας για να ανακαλύψετε τις επιπτώσεις της διαδικασίας φθοράς με μια ομάδα παραμέτρων τραχύτητας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν μία παραλλαγή της πυκνότητας κατά μήκος των κορυφών του που πρόκειται να παραχθούν στην επιφάνεια του εκκεντροφόρου και υπογραμμίζουν επίσης τη σημασία της εξέλιξης της τοπογραφίας. Περαιτέρω αποτελέσματα δείχνουν ότι οι κορυφές στην επιφάνεια στρογγυλοποιούνται κατά τη διάρκεια του στρωσίματος. Όσον αφορά το μέλλον, τα αποτελέσματα της μελέτης είναι ενθαρρυντικά για την ερευνηθεί πιο βαθιά η τριβολογική συμπεριφορά (μηχανικό επαφή, πάχος φιλμ λαδιού) των επιφανειών.

### **1.Εισαγωγή**

Σήμερα, η ανάπτυξη των κινητήρων των φορτηγών ωθείται έντονα από τον πελάτη και τις απαιτήσεις της νομοθεσίας [1]. Στην ανάπτυξη εκκεντροφόρου εμπίπτουν το πεδίο εφαρμογής των εν λόγω ισχυρών απαιτήσεων. Αυτό το στοιχείο είναι ένα από τα πλέον σημαίνοντα μέρη που διέπουν την εκτέλεση του κινητήρα[2]. Τελικές διαδικασίες παραγωγής (σκλήρυνση, λείανση) έχουν ισχυρό αντίκτυπο στην λειτουργία cam. Είναι επίσης ένα πολύπλοκο σύστημα που υποβάλλεται σε μία μεγάλη ποικιλία τρόπων αστοχίας. Το έκκεντρο είναι ένα από τα πλέον προβληματικά μέρη του εκκεντροφόρου: ενώ οι βαλβίδες εξαγωγής και εισαγωγής ασκώντας πίεση επί δοντιών, η πίεση εγχύσεως που εφαρμόζεται με τη βοήθεια του στροφάλου πάνω στα έκκεντρα αυξάνεται. Οι υψηλές πιέσεις που απαιτούνται για μια βελτιωμένη καύση με ψεκασμό μικρών σταγόνων καυσίμου (βλέπε Εικ. 1). Η επαφή μεταξύ του κυλίνδρου AMIXandcamis της ολίσθησης και κύλισης η οποία οδηγεί σε μια ποικιλία από αποτυχίες. Η μοναδικότητα αυτής της επαφής οφείλεται σε παραλλαγές σε όλο

τον εκκεντροφόρο και σε ενός πλήθους παραμέτρων όπως ακτίνα καμπυλότητας, φορτίο, ταχύτητα ολίσθησης και γωνία πίεση επαφής.

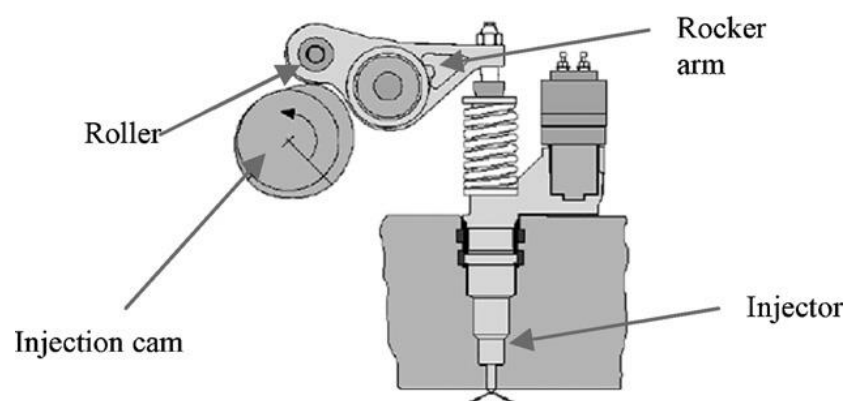
Σύμφωνα με αυτές τις πολύπλοκες συνθήκες, η αστοχία μπορεί να λάβει ένα ευρύ φάσμα μορφών [3]: from rolling επαπτομενική κόπωση από γδαρσίματα (συγκόλληση μία από τις επιφάνειες προς την άλλη).

Εντωμεταξύ ο μεγάλος αριθμός των παραμέτρων, τοπογραφία της επιφάνειας είναι απαραίτητη για να την μελέτη.

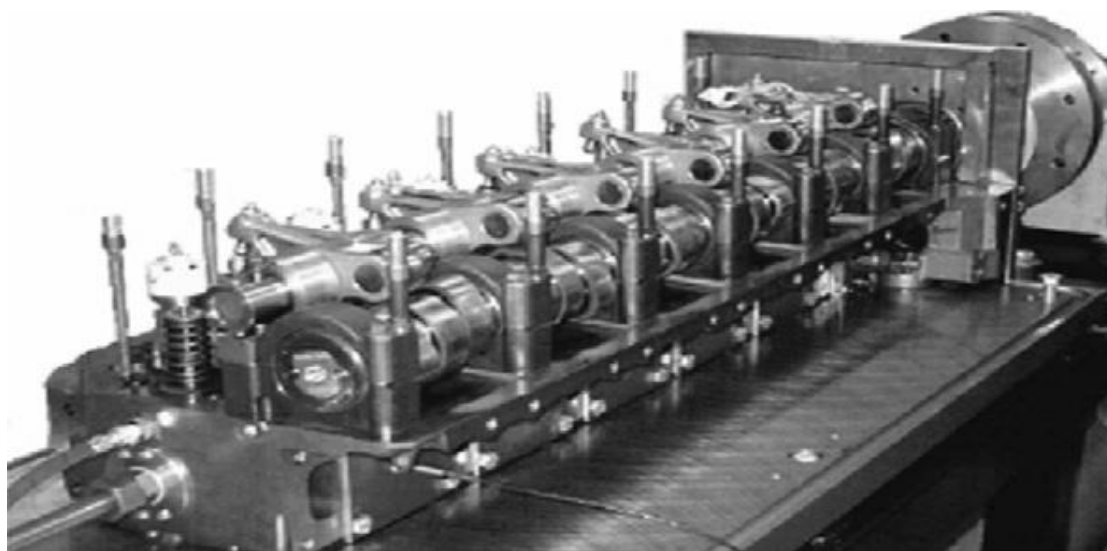
Οι στόχοι του παρεμπορεί να διακριθούν σε δύο μέρη:

το πρώτο αφορά παραλλαγές στη τοπογραφία της επιφάνειας κατά μήκος προκειμένου να τονίσει την πολυπλοκότητα κατεργασίας.

η δεύτερη μελέτη αφορά την εξέλιξη των επιφανειών κατά την διάρκεια εκτέλεσης σε μια δοκιμαστική εξέδρα (βλέπε Εικ. 2).



Εικ. 1



Εικ. 2

## 2. Μέθοδος

### 2.1. Ο εξοπλισμός δοκιμής κύλινδρος έκκεντρου

Σε αυτή τη μελέτη, ο μηχανισμός κίνησης βαλβίδων που χτίστηκε κατά τη διάρκεια της διατριβής του Lindholm [4] χρησιμοποιείται για την προσομοίωση και τη μέτρηση της run-in σε ένα κινητήρα φορτηγού. Η διάταξη δοκιμής που βρίσκεται στο Finnveden Powertrain AB έχει σχεδιαστεί για ένα Volvo πετρελαιοκινητήρα 12 l (βλέπε Εικο. 2).

Ο εκκεντροφόρος τοποθετείται πάνω στις βαλβίδες εισόδου και εξόδου. Στο μέτωπο, ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Το λιπαντικό θερμαίνεται έως 110 °C.

Μια αντλία λαδιού κυκλοφορεί το λάδι μέσα στο κανονικό σύστημα λίπανσης. Για την προσομοίωση της θερμότητας του κινητήρα το θερμό έλαιο αποστέλλεται επίσης στο εσωτερικό των καναλιών ψύξης. Στο ίδιο τρόπο, το καύσιμο διέρχεται από το αρχικό σύστημα: το καύσιμο ψεκάζεται χωρίς καύση μέσα στον θάλαμο μέσω των μπεκ και τότε ανακυκλώνεται. Ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται με 700rpm και διατηρείται για όλη τη διάρκεια της δοκιμής και οι μεταβλητές είναι οι εξής:

- Χρόνος λειτουργίας: μετρήσεις γίνονται πριν από την εκτέλεση, μετά από 8 και 160 ώρες λειτουργίας.
- Μπεκ: η δύναμη αντιστοιχεί σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας τομέα: 6.5 kN.
- Τα ράουλα για κάθε έγχυση cam αναπροσαρμόζονται 1-6: Οι 2 τυπικοί κύλινδροι συναρμολογούνται για έκκεντρο 6 και 3, 2 με επικάλυψη κυλίνδρων A (Diamond-Like Coating) για έκκεντρο 5 και 2 και 2 επικαλυμμένα κυλίνδρους B (Diamond Like Carbon-επικάλυψη) για cam 4 και 1

### 2.3. Διαδικασία-μετρήσεις

Δύο είδη παρατηρήσεων έγιναν στο τέλος κάθε δοκιμής: μια πρώτη οπτική παρατήρηση της επιφάνειας πάντα αξιολογείται πριν η μέτρηση της τοπογραφίας της επιφάνειας. Επειδή μετρήσεις δεν θα μπορούσε να γίνουν άμεσα στον εκκεντροφόρο, μαλακό αντίγραφο Provil νονο 1 χρησιμοποιήθηκαν για να επαναλάβει τις επιφάνειες. Κάθε αντίγραφο αντιστοιχεί σε 5 σημεία των μετρήσεων κατά μήκος του πλάτους. Οι μετρήσεις τραχύτητας (600 M × 800 M, ανάλυση των 1.25 m για x και y κατευθύνσεις) έγιναν με ένα ελαφρύ μη επαφής συμβολόμετρο Φάση MicroXam.2 Τα αντίγραφα της επιφάνειας που λαμβάνονται για οκτώ διαφορετικές γωνίες των έκκεντρων, όπως φαίνεται στο Σχ. 3α. Για κάθε γωνία κάθε έκκεντρου, το αντίστοιχο αντίγραφο μετριέται με συμβολόμετρο σε πέντε αξονικές θέσεις του έκκεντρου, όπως φαίνεται στο Σχ. 3β.

### **3. Αποτελέσματα και συζήτηση**

Η οπτική παρατήρηση κατά την διάρκεια εκτέλεσης σε αυτή τονίζεται η σημασία του τύπου κυλίνδρου για τη φθορά των έκκεντρων. Πράγματι, τα επικαλυμμένα μέρη στο κύλινδρο έχουν περισσότερες λειασμένες επιφάνειες από τα μη επικαλυμμένα. Ωστόσο, η ποσοτική παρατήρηση με ανάλυση τραχύτητα γίνεται.

#### **3.1. Προϋποθέσεις ανάλυσης τραχύτητας**

Το δεύτερο μέρος της ανάλυσης της τραχύτητας εστιάζετε στην εξέλιξη της τοπογραφίας της επιφάνειας κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της στον εκκεντροφόρο. Μια πρώτη σφαιρική προσέγγιση από το μέσο όρο όλων των αποτελεσμάτων της ανάλυσης επιφάνειας δείχνει μια γενική τάση για όλες τις επιφάνειες να λειανθούν (βλ Εικο. 7α). Η κίνηση-in είναι επίσης πολύ σαφής και είναι προσβάσιμη σε λιγότερο από 8 h (300 000 κύκλους). Ένα βασικό ερώτημα που τίθεται είναι πώς η επιφάνεια γίνεται πιο λεία. Επειδή η φθορά επηρεάζει τις κορυφές, η μελέτη επικεντρώνεται στις κορυφές και τη καμπυλότητα τους: Σχ. 7b δείχνει την συνολικής μεταβολής των παραμέτρων τραχύτητας μεταξύ άφθαρτων και φθαρμένων (160 ώρες λειτουργίας) επιφανειών. Η πλέον σημαντική μείωση (40%) στην τιμή αφορά τις κορυφές της καμπυλότητας Ssc πράγμα που σημαίνει ότι οι κορυφές στρογγυλοποιούνται.

#### **3.2. Ανάλυση τραχύτητας**

##### **3.2.1. Επιφανειακή τοπογραφία του άφθαρτου εκκεντροφόρου**

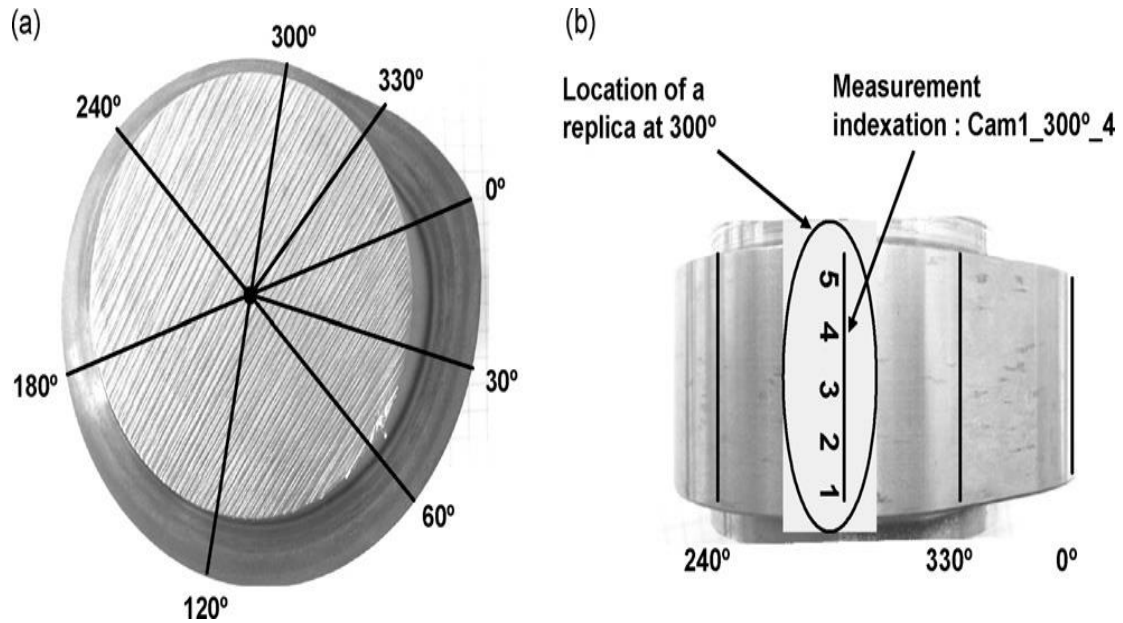
Σε αυτό το μέρος της ανάλυσης της τοπογραφίας επιφάνειας, ο στόχος ήταν η ανάλυση της σχέσης μεταξύ μιας παραμέτρου τραχύτητας και τη γωνία ενός έκκεντρου. Τα αποτελέσματα δείχνουν η τάση να είναι υψηλότερη γύρω από την κορυφή του έκκεντρου από ότι στις εκατέρωθεν πλευρές του (βλέπε Εικο. 5b) σε σύγκριση με το κυκλικού σχήματος έκκεντρου. Αυτή η δήλωση είναι καθώς επιβεβαιώνεται από μια παρόμοια μελέτη με μετρήσεις από μετρητή τραχύτητας. Τραχύτητα παραμέτρου από τρία σημεία: κορυφή, πυρήνας, κοιλάδα (βλέπε Σχ. 6) μπορεί να ποικίλει έως και 100% από τη μία θέση στην άλλη και να οδηγήσει σε παραλλαγές της τριβολογικής συμπεριφοράς γύρω από το έκκεντρο.

##### **3.2.2. Επιφανειακή τοπογραφία του φθαρμένου εκκεντροφόρου**

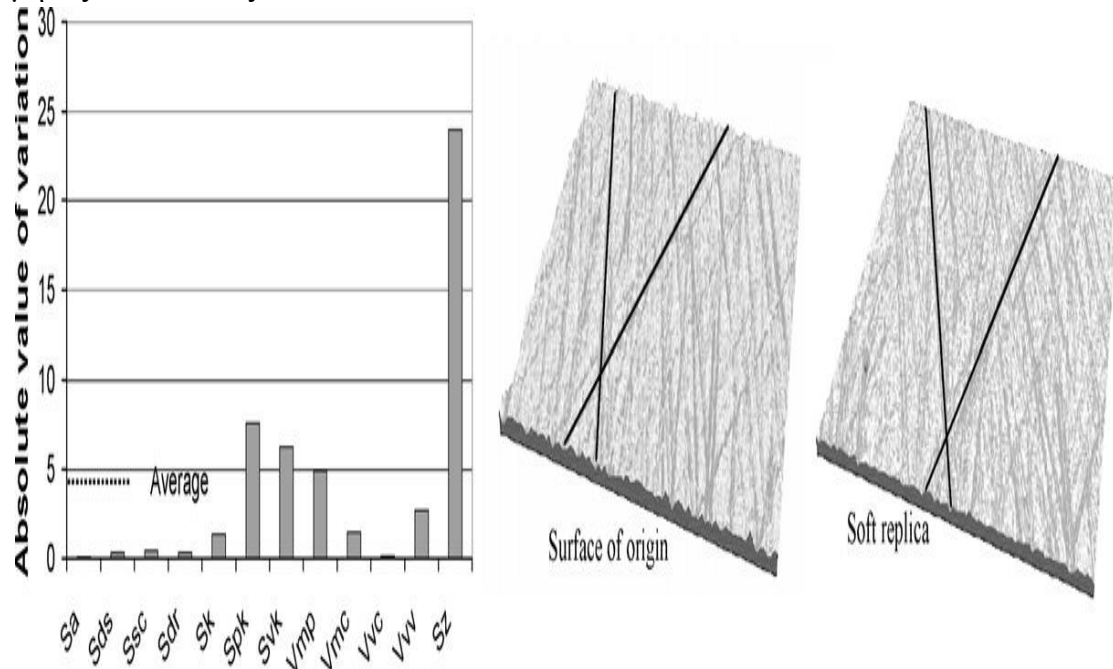
Το δεύτερο μέρος της ανάλυσης της τραχύτητας εστιάζεται στην εξέλιξη της τοπογραφίας της επιφάνειας κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της φθοράς στο έκκεντρο. Μια πρώτη σφαιρική προσέγγιση από το μέσο όρο όλων των αποτελεσμάτων της ανάλυσης επιφάνειας δείχνει μια γενική τάση για όλες τις επιφάνειες να λειανθούν (βλ Εικο. 7α). Η run-in είναι επίσης πολύ σαφής και είναι προσβάσιμη σε λιγότερο από 8 h (300 000 κύκλους). Ένα βασικό ερώτημα που τίθεται είναι πώς η επιφάνεια γίνεται πιο λεία. Επειδή η φθορά επηρεάζει τις κορυφές, η μελέτη επικεντρώνεται στις κορυφές και την καμπυλότητα τους: Σχ. 7b δείχνει την συνολικής μεταβολής των παραμέτρων τραχύτητας μεταξύ φθαρμένων και άφθαρτων (160 ώρες λειτουργίας)



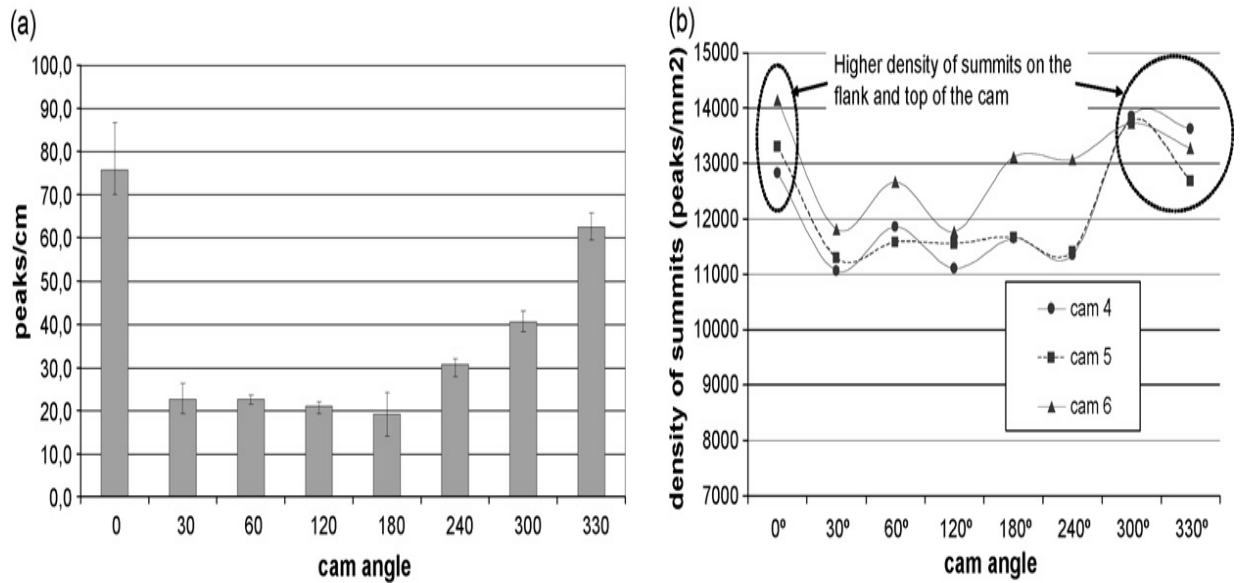
επιφανειών. Η πλέον σημαντική μείωση (40%) στην τιμή αφορά τις κορυφές της καμπυλότητας Ssc πράγμα που σημαίνει ότι οι κορυφές στρογγυλοποιούνται. Τα τριβολογικά αποτελέσματα θα πρέπει να είναι επωφελής δεδομένου ότι λιγότερο απότομη κορυφή θα μπορούσε να σπάσει μέσα από την ταινία του πετρελαίου. η επαφή θα πρέπει επίσης να βελτιωθεί με υψηλότερη φέρουσα ικανότητα των κορυφών.



Εικο. 3. Μετρήσεις: (α) θέση γωνία επιφάνειας (β5 μετρήσεις από αντίγραφο κατά μήκος του πλάτους.



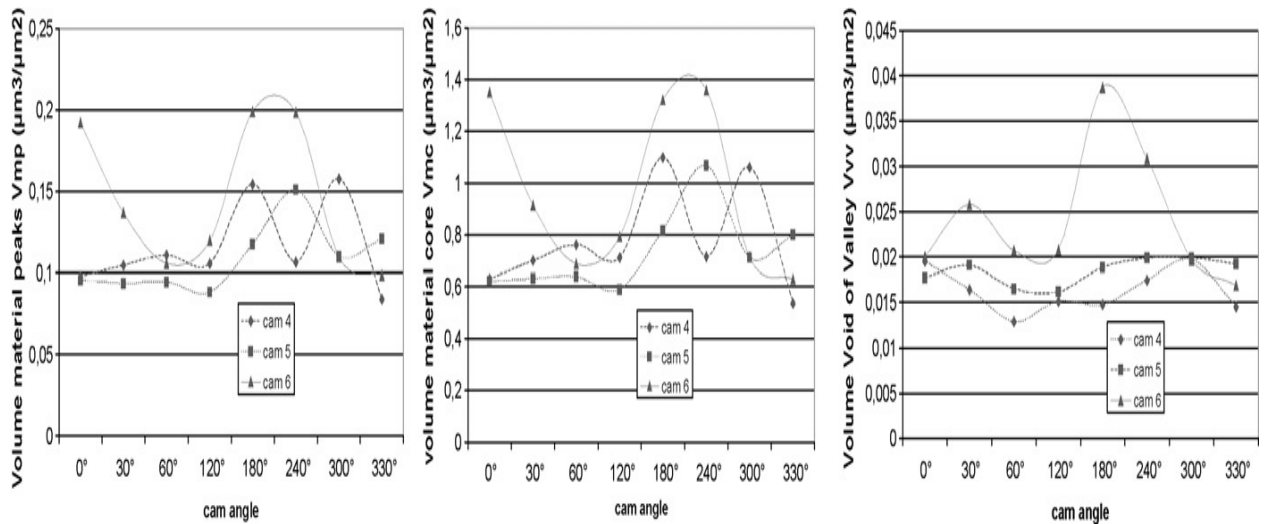
Εικο. 4.



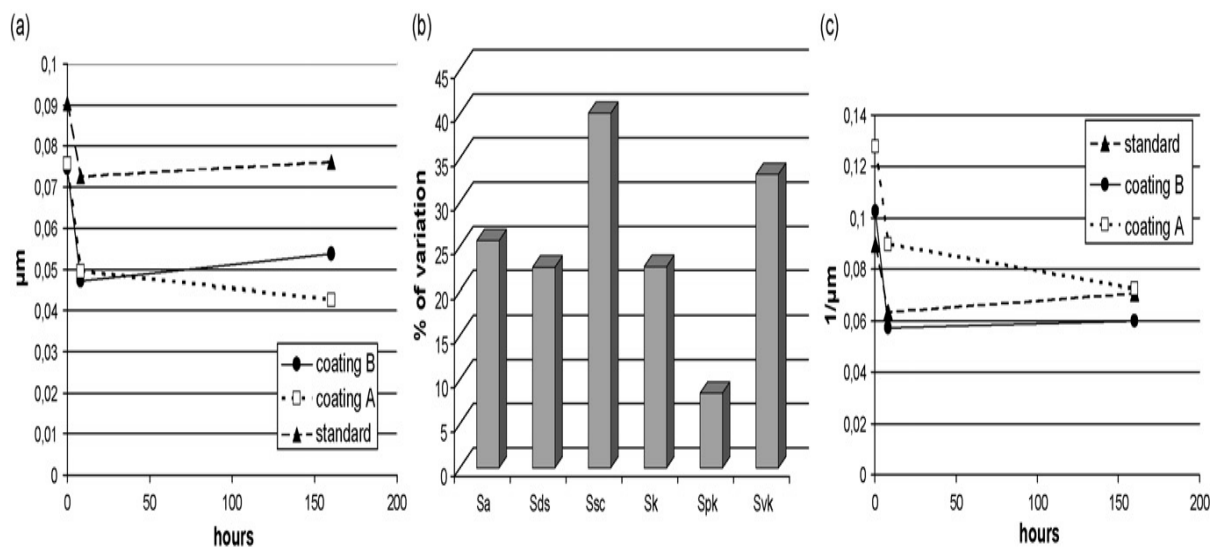
Εικό. 5. (α) Ρρρ παραλλαγές (β) Εξέλιξη των παραμέτρων SDS κατά μήκος διαφορετικών δοντιών.

Οι παράμετροι από την καμπύλη αναλογίας φέρει απόδειξης, καθώς δείχνει μια ισοπέδωση των επιφανειών. Αυτή η πρώτη γενική εντύπωση επιβεβαιώνεται από μια μελέτη των παραμέτρων κατά μήκος του άξονα των έκκεντρων. Δύο μετρήσεις στα σύνορα του έκκεντρου είναι χωρίς φθορά επειδή ο κύλινδρος δεν βρίσκεται σε επαφή σε όλη του την επιφάνεια: από εκεί και οι διαφορές της φθοράς των έκκεντρων από κύλινδρο σε κύλινδρο όπου προσδιορίζονται σαφώς (βλ. Σχήμα 8β).

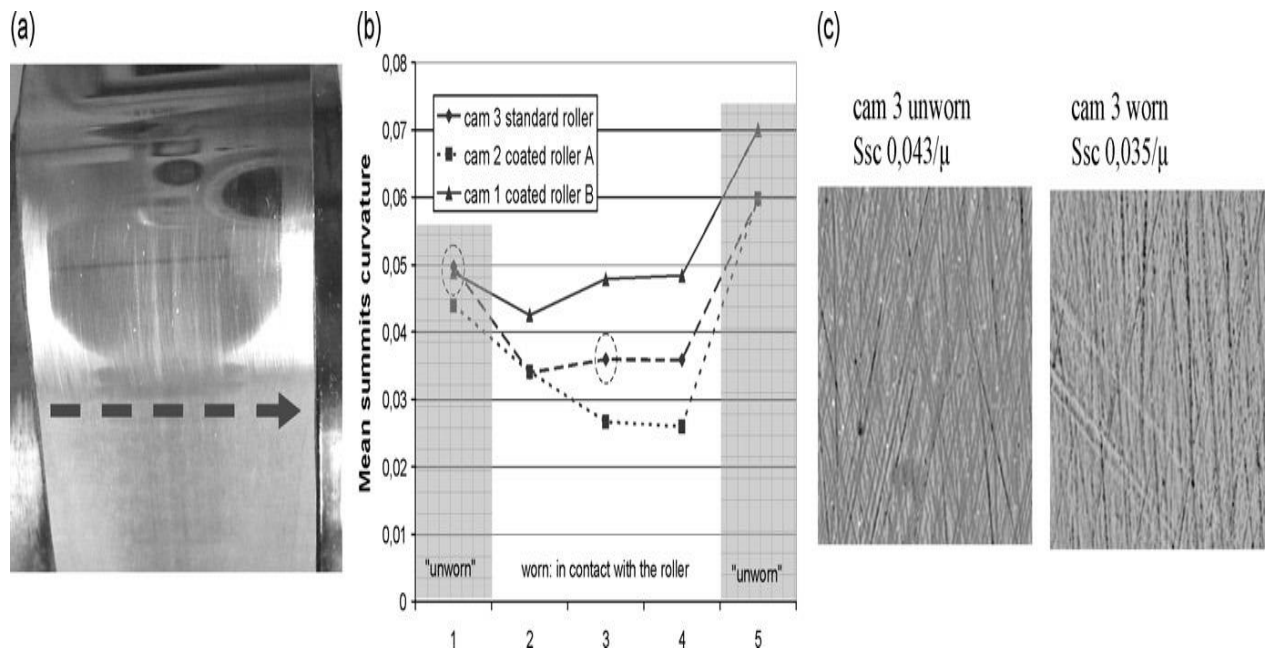
Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται επίσης για τους κυλίνδρους που έχουν τις κορυφές της καμπυλότητας να μειώνονται. Ένα άλλο σημαντικό αποτέλεσμα δείχνει ότι επικαλυμμένοι κύλινδροι δημιουργούν ένα πιο γρήγορο run-IN της τοπογραφίας του μετρητή μέρος σε σύγκριση με τους πρότυπους κυλίνδρους. Τέλος, φάνηκε στην πορεία η ομογενοποίηση της τραχύτητας σε όλο το έκκεντρο. Παρ'όλα αυτά η συγκεκριμένη τραχύτητα στις πλευρές και την κορυφή του δοντιών δεσ στην ενότητα 3.2.1 είναι εξασθενημένη, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν.



Εικό. 6. Τυχαία εξέλιξη της κορυφής ( $V_{mp}$ ), πυρήνα ( $V_{mc}$ ) και στην κοιλάδα ( $V_{vv}$ ) παραμέτρων.



Σύκο. 7. Εξέλιξη των φθαρμένων επιφανειών στα έκκεντρα (α)  $S_a$  μειώνεται, (β) σημαντική μεταβολή του  $S_{sc}$ , και (γ)  $S_{sc}$  μειώνεται.



Εικό. 8. (α) μελέτη κατά μήκος του πλάτους, (β) Ssc χαμηλότερη για επαφή με επικαλυμμένα κυλίνδρους, και (γ) 3D επιφάνειες χωρίς φθορά / με φθορά.

#### 4. Συμπεράσματα και μελλοντικές ερευνητικές εργασίες

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να κατανοηθεί περισσότερο ο ρόλος της επιφάνειας τοπογραφίας στο βρόχο ελέγχου της κατασκευής, χαρακτηρισμού και τη λειτουργία [7] από την επαφή του έκκεντρου. Η πρώτη μελέτη έδειξε ότι οι επιφάνειες των κορυφών δεν φθείρονται τόσο και είναι μια συνάρτηση της γωνίας του έκκεντρου με τη μορφή κατεργασίας που όλο μαζί αλληλεπιδρά με την τριβολογική συμπεριφορά των έκκεντρων. Το δεύτερο μέρος αναδεικνύει τη σημασία των τύπων επικάλυψης στην επιφάνεια. Τα επικαλυμμένα επιταχύνουν το φαινόμενο αυτό, λόγω της υψηλής σκληρότητάς τους. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι κορυφές της επιφάνειας στρογγυλοποιούνται. Η κορυφή της καμπυλότητας είναι μια ενδιαφέρουσα παράμετρος για τον χαρακτηρισμό της ήπιας φθοράς των έκκεντρων. Τα δύο τμήματα της μελέτης αυτής, τόσο τα άφθαρτα όσο και τα φθαρμένα δείχνουν σημαντικές παραμέτρους (SDS, ΕΣΕ) για τον χαρακτηρισμό αντίστοιχα μεταλλοτεχνίας και φθοράς. Η μελέτη απέδειξε τη σημασία των παραμέτρων κορυφής, και έμφαση στην τριβολογική συμπεριφορά (πρόχειρη επαφή, φιλμ λαδιού πάχος) η οποία συνδέεται στενά με την εμφάνιση κορυφών (SDS) Ένα άλλο σημαντικό σημείο είναι να εκτελέσετε το τεστ για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

## **Αριθμητική προσομοίωση της έναρξης της ρωγμής κόπωσης σε επαφή κύλισης από πορώδες χάλυβα**

### **Περίληψη**

Η κόπωση στην επαφή κύλισης είναι ένα σημαντικό πρόβλημα σε μηχανικά συστήματα που υποβάλλονται σε πολύ υψηλή πίεση επαφής. Πορώδης χάλυβες συχνά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του εκκεντροφόρου, έτσι ώστε να μειωθεί το βάρος και το κόστος παραγωγής. Προηγούμενες έρευνες έχουν ήδη δείξει τη σημασία της επιφανειακής σκληρότητας και της πυκνότητας στην κόπωση και στην αντίσταση σε πορώδες χάλυβες. Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να διερευνήσει, από μια αριθμητική προσέγγιση, την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων υλικού, όπως η εργασία-σκλήρυνση, κοντά σε πορώδες κατά τη διάρκεια μιας κυλιόμενης επαφής. Εφελκυστικές τάσεις λόγω της πλαστικής παραμόρφωσης παρατηρούνται σε πορώδη υλικά και έχουν ιδιαίτερα αποκαλυφθεί μετά από μια σειρά, η οποία θα μπορούσε να εξηγήσει τη διάδοση της ρωγμής που θα παρατηρηθεί πειραματικά σχετικά με εκκεντροφόρους. Έχει αποδειχθεί ότι η έναρξη των ρωγμών μπορεί να εξηγηθεί χρησιμοποιώντας Dang Van κριτήριο την κούραση. Το άνοιγμα και η διάδοση της ρωγμής στη συνέχεια συζητήθηκε με τη βοήθεια της μηχανικής θραύσης σε εύθραυστο υλικό.

### **1. Η διάβρωση φθορά από πορώδες χάλυβα**

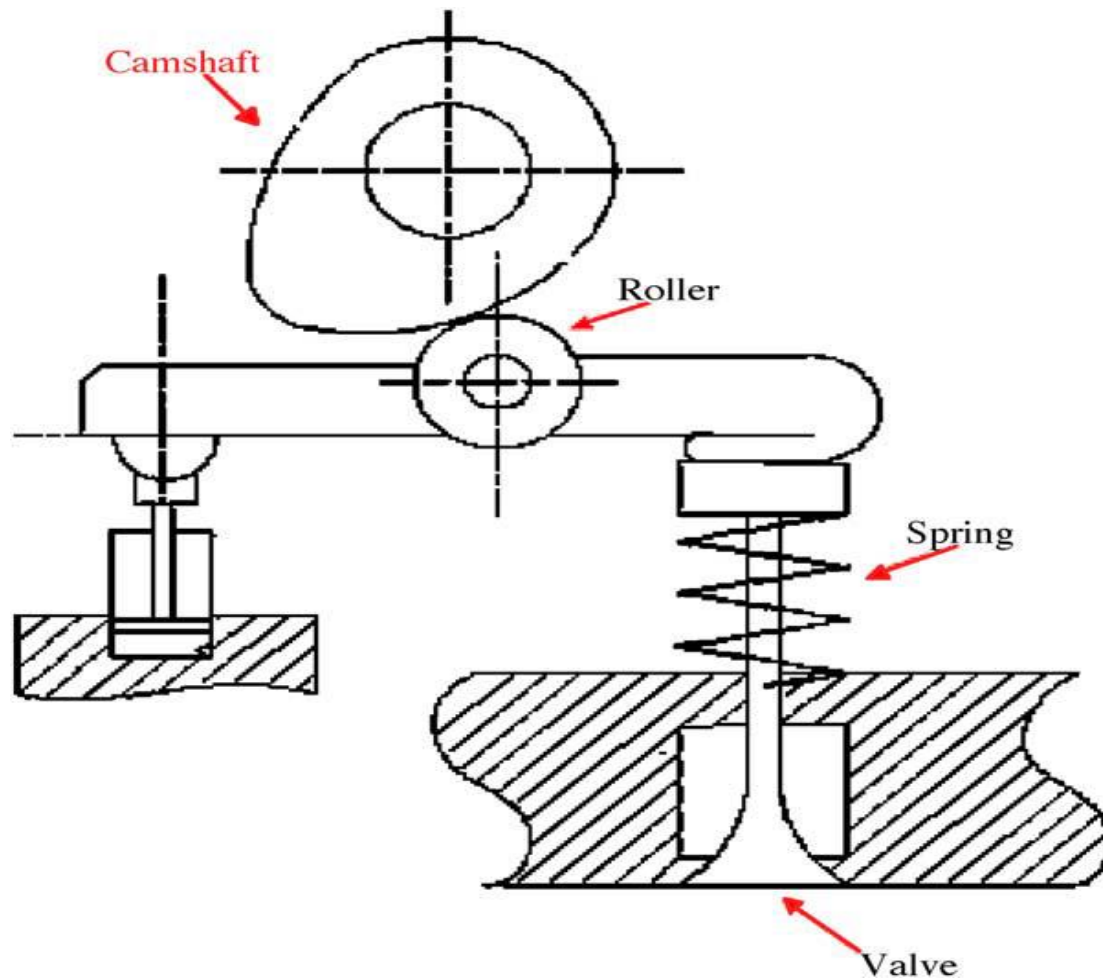
Η κόπωση επαφή κύλισης [1-9] είναι ιδιαίτερα μεγάλη σημασία για τα κομμάτια κατασκευασμένα από συντετηγμένο χάλυβα, όπως ο εκκεντροφόρος. Η διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης επιτρέπει μια σαφή μείωση στη μάζα των εκκεντροφόρων και ιδιαίτερα τη μείωση του παραγωγικού κόστους, λόγω της καταστολής της κατεργασίας για την κατασκευή των εκκεντροφόρων από χυτοσίδηρο. Δυστυχώς, ένα ιδιαίτερο είδος της φθοράς που ονομάζεται σκασίματα μπορεί να συμβεί στους εκκεντροφόρους κατά τη διάρκεια της επαφής με κύλιση. Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να καταλάβουμε ποιες είναι οι μηχανικοί παράμετροι που επηρεάζουν τα σκασίματα φαινόμενα φθοράς συντετηγμένου χάλυβα. Μόνο οι βαλβίδες εξαγωγής σε επαφή με τα έκκεντρα που αφορά τα φαινόμενα (Εικ. 1). Υπάρχει μια κυλιόμενη επαφή μεταξύ βαλβίδας και έκκεντρο, με πίεσηερτζιανών περίπου 1100 MPa.

Μια περίπτωση με απλό συντετηγμένο χάλυβα και μια περίπτωση με κατεργασμένο σε σκλήρυνση συντετηγμένου χάλυβα έχουν δοκιμαστεί. Αυτές οι δύο περιπτώσεις χάλυβα έχουν ίδια σύνθεση σκόνης, εκτός από το ποσοστό του άνθρακα. Πράγματι, υπάρχει περισσότερος άνθρακας στο συντετηγμένο χάλυβα με σκόνη, επειδή στην περίπτωση που σκληρύνει πυροσυσσωματωμένο, το ποσοστό αυτό αυξάνεται με διάχυση και ο άνθρακας στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας. Λόγω της σκληρότητας του άνθρακα, ένα ποσοστό μικρότερο του άνθρακα δίνει μια καλύτερη πυκνότητα. Έτσι ώστε αν σκληρύνει ο συντετηγμένος χάλυβα έχει μια

καλύτερη πυκνότητα και τελικά το ίδιο ποσοστό άνθρακα. Έχει επίσης μια καλύτερη σκληρότητα λόγω της θερμικής επεξεργασίας. Όπως μπορεί να φανεί στο Σχδ. 2, η ρωγμή κόπωσης λαμβάνει χώρα γύρω από το πορώδες και στη συνέχεια, αναπτύσσεται παράλληλα προς την επιφάνεια επαφής. Όταν η ρωγμή είναι μακρύτερα αρκετά, εμφανίζονται τα φαινόμενα σκασίματα. Γνωρίζουμε επίσης από τη βιβλιογραφία καθώς και από τα διαφορετικά δείγματα δοκιμάστηκαν και αναλύονται οι ρωγμές κινήσει τη μέγιστη νση Mises ζώνη του στρες. Με την υπόθεση ότι σκληρώνει ο συντετηγμένος χάλυβας, καμία διάβρωση δεν έχει παρατηρηθεί. Η πυκνότητά του είναι περίπου 7.55, ενώ είναι περίπου 7,4 για το πορώδες χάλυβα. Υποθετικά εάν σκληρώνει επίσης θα αυξηθεί η σκληρότητα 50-55 HRC, και η υδροστατική πίεση περίπου 200MPa. Διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη διάβρωση από πορώδες χάλυβα μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία, το κύριο μέλημα είναι η πυκνότητα, η σκληρότητα και η μορφολογία του πορώδους.

Μπορούν να βελτιωθούν η αντοχή σε κόπωση με την αύξηση της πυκνότητας με χαμηλότερο ποσοστό άνθρακα στη χημική σύνθεση των δειγμάτων που ελέγχθηκαν. Με τον τρόπο αυτό τονίζεται ότι η πυκνότητα έχει μεγαλύτερη επιρροή από τη σκληρότητα σχετικά με τη συμπεριφορά σε σκασίματα από πορώδες χάλυβα. Έχουν δείξει ότι η θερμική κατεργασία, αυξάνει την αντοχή σε κόπωση, όπως επίσης και την πυκνότητα. Με μια πιο γενική παρατήρηση φαινομένων κόπωσης για συντετηγμένο χάλυβα, μπορούμε να μιλήσουμε για Koetal. [7] οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση Baushinger για συντετηγμένο χάλυβα με κλασικό τεστ κόπωσης (stress εναλλακτική λύση σε εφελκυσμό).

Δείχνουν ότι η κόπωση μειώνει την αντοχή με αποτέλεσμα Baushinger. Πράγματι, όταν υπάρχει σκλήρυνση, υπάρχουν λιγότερες παραμένουσες τάσεις, οι οποίες μπορούν να κλείσουν τις ρωγμές. Όλα αυτά τα έργα υπογραμμίζουν τη σημασία της πυκνότητας και φυσικά ο στόχος της εργασίας αυτής ήταν να φέρει μια καλύτερη κατανόηση σε αυτές τις πειραματικές παρατηρήσεις. Μια μικροσκοπική ανάλυση της συμπεριφοράς ενός ενιαίου πορώδους στην επιφάνεια που υποβλήθηκαν σε επαφή κύλισης έχει διαμορφωθεί αριθμητικά, έτσι ώστε να κατανοήσουν τις μηχανικές παραμέτρους που οδηγούν στην έναρξη των ρωγμών. Με τη σκλήρυνση ως παράμετρο, τη μορφολογία του πορώδους, και τη διάδοση μιας ρωγμής όταν διερευνώνται.



Εικό 1. κίνηση του εκκεντροφόρου.

## 2. Πεπερασμένα στοιχεία μοντελοποίησης

Το μοντέλο θεωρεί κυλιόμενη επαφή μεταξύ 10 mm διάμετρο κυλίνδρου και ένα μέρος, κατασκευασμένο από πορώδες χάλυβα, θεωρείται παραλληλεπίπεδο (8 χιλιοστά πάχος). Ένα πορώδες μοντελοποιήθηκε σε κύκλο διαμέτρου 0,02 χιλιοστών, και έχει εντοπισθεί κάτω από την επιφάνεια σε απόσταση 0.04 χιλιοστά. Από μακροσκοπική άποψη, η πραγματική επαφή μεταξύ του κυλίνδρου και του εκκεντροφόρου μπορεί να θεωρηθεί ως μια γραμμή (περίπτωση δύο ιδανικό άκαμπτα υλικά). Από μια μικροσκοπική άποψη, η ερτζιανή πίεση μεταξύ του κυλίνδρου και του τμήματος φθάνει περίπου 1200MPa (περίπτωση δύο ελαστικά σώματα). Για να απλοποιηθεί η μελέτη, θεωρούμε ότι η επαφή αυτή θεωρείται ως απόλυτη με λιπαντικό (τριβή λιγότερο). Το υλικό του κυλίνδρου είναι, στην περίπτωση αυτή ένα αυτοκινούμενο εφαρμογής, AISI52100 χάλυβα. Σε αυτή τη μελέτη, θα εστιάσουμε σχετικά με την φθορά του συντετηγμένο χάλυβα. Ως μία πρώτη προσέγγιση, ο κύλινδρος έχει διαμορφωθεί ως ένα άκαμπτο σώμα (Εικ. 3).

Ο πυροσυσσωματωμένος χάλυβα που εξετάζεται στην παρούσα έρευνα έχει παραχθεί από ομογενές σκόνη. Κατά συνέπεια, οι αρχικοί κόκκοι έχουν την ίδια σύνθεση όπως το τελικό στη μακροσκοπική σύνθεση. Φυσικά, οι ιδιότητες του πυροσυσσωματωμένου χάλυβα εξαρτώνται έντονα από τη σύνθεση της αρχικής σκόνης, τη διαδικασία συμπίεσης και τη διαδικασία θέρμανσης. Παρ'όλα αυτά, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι η μηχανική συμπεριφορά αυτού του υλικού είναι ομοιογενές και ισοτροπικό. οι μηχανικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της συντετηγμένο χάλυβα είναι οι εξής:

- Το μέτρο Young: 188 GPa
- Λόγος Poisson: 0,3
- Τάση διαρροής: 750MPa.

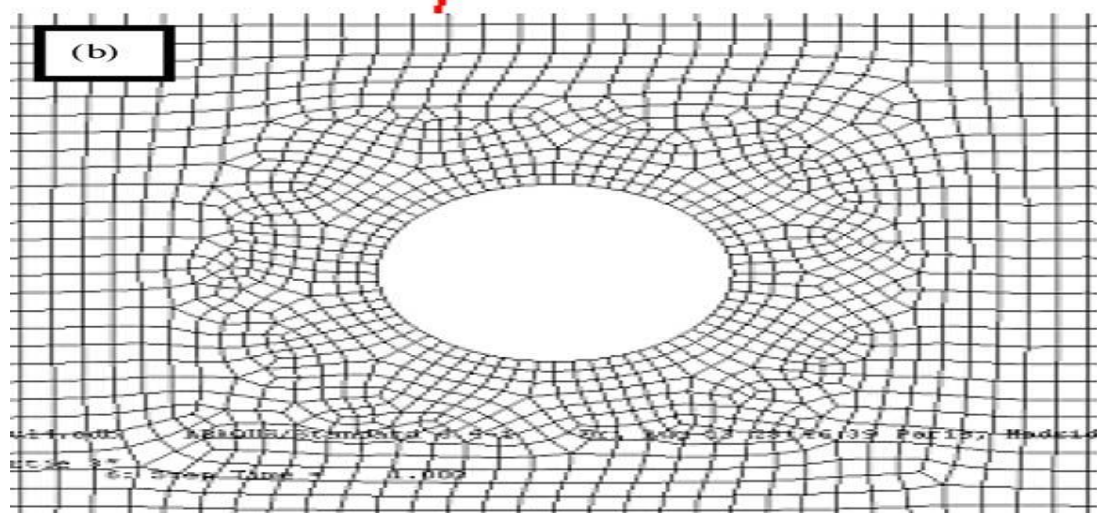
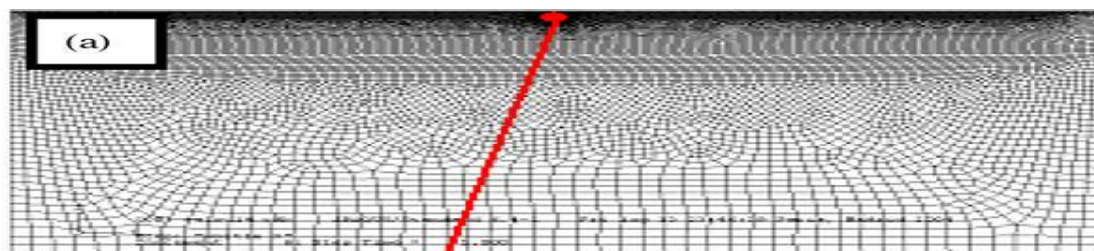
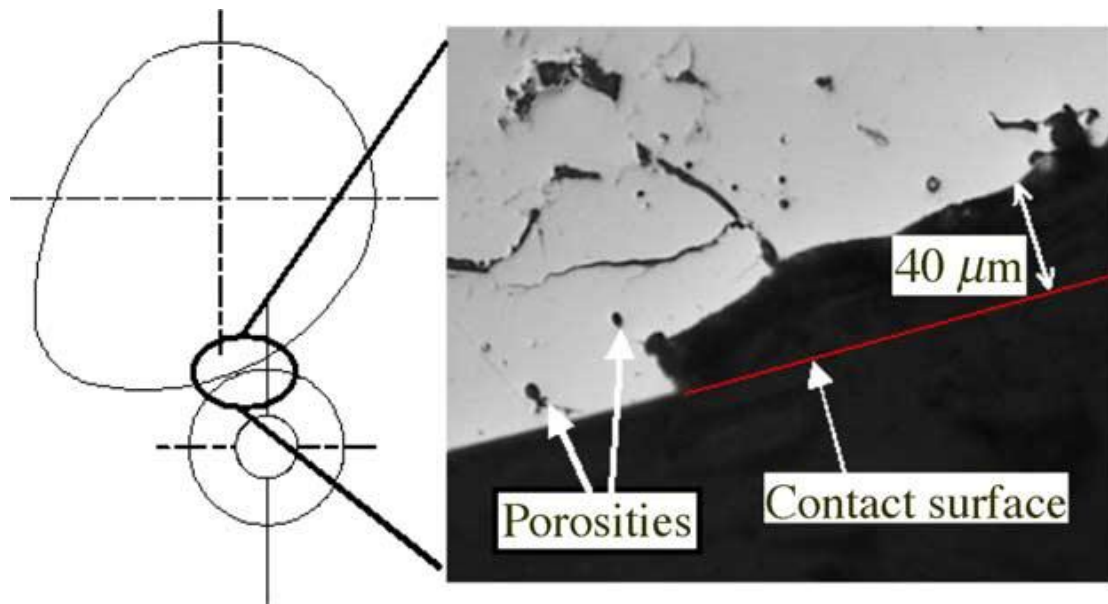
Σκλήρυνση υποτίθεται ότι είναι κινηματική προκειμένου να μοντελοποιήσει την επίδραση Bauschinger στη διάρκεια της έλασης επαφής. η σκλήρυνση της εργασίας είναι περίπου 2750MPa με ένα πλαστικό στέλεχος 0.1.

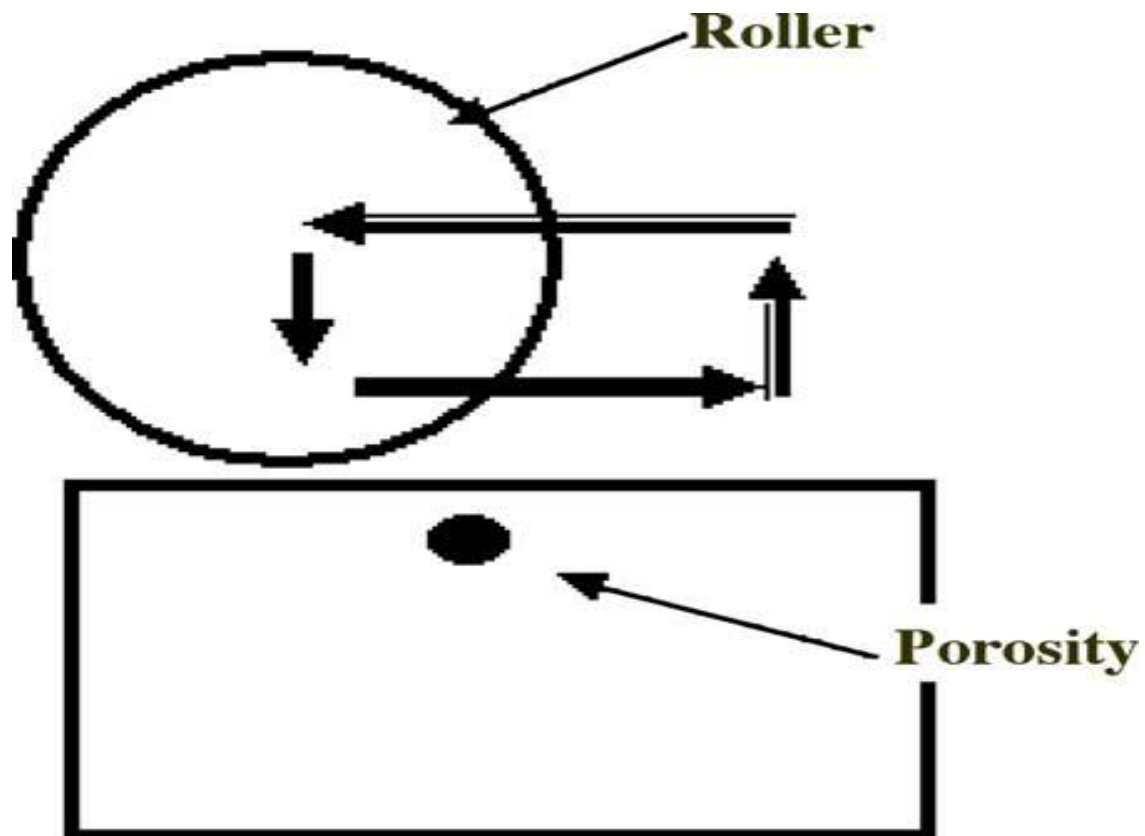
Ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS έχει χρησιμοποιηθεί για να κάνει αυτή την έρευνα.

Η επαφή με το πρότυπο μια επιφάνεια στην επιφάνεια τύπου στο ABAQUS. Για να ικανοποιήσει επαφή ανισώσεων, ο πολλαπλασιαστής Lagrange στον σκληρή επαφή κανονική συμπεριφορά, και η τριβή επιλογή για την εφαπτομενική συμπεριφορά έχουν εφαρμοστεί. Οι συνθήκες φορτώσεως είναι ως ακολούθως. Μια κάθετη δύναμη από 700N εφαρμόζεται επί του κυλίνδρου ώστε να ληφθεί μια μέση πίεση περίπου 1077 MPa. Η σχετική κίνηση του ο κύλινδρου που περιγράφεται στο Σχ. 5. Αυτή η κίνηση μπορεί να διαιρεθεί σε τρία στάδια. Πρώτον, η εξέλιξη του κατακόρυφου φορτίου μέχρι επιτευχθεί η επιθυμητή μέση πίεση επαφής. Δεύτερον, η ολίσθηση (παρόμοιο με ένα κυλιόμενο επαφή χωρίς τριβή κατά την ολίσθηση) του κυλίνδρου σε μια σταθερή μέση πίεση επαφής και ως εκ τούτου σε ένα σταθερό φορτίο που εφαρμόζεται στον κύλινδρο. Αυτή η σχέση μπορεί να εφαρμοστεί μόνο αν η επαφή είναι μόνο ελαστική. Σε άλλες περιπτώσεις, μια σταθερή μέση πίεση επαφής θα μπορούσε να επιβάλει ένα μεταβαλλόμενο φορτίο εφαρμόζεται στον κύλινδρο τρίτον, η φάση εκφόρτωσης.

Αυτή η αλληλουχία στη συνέχεια επαναλαμβάνεται πολλές φορές. Ο χρόνος της CPU για την προσομοίωση αυτού του κύκλου είναι περίπου 5 ώρες με έναν επεξεργαστή 1000MHz. Στο έγγραφο αυτό, ο κύκλος επαναλαμβάνεται τρεις φορές., ένας κύκλος τριών αλληλουχιών ολίσθηση πάνω από το πορώδες έχει μελετηθεί.



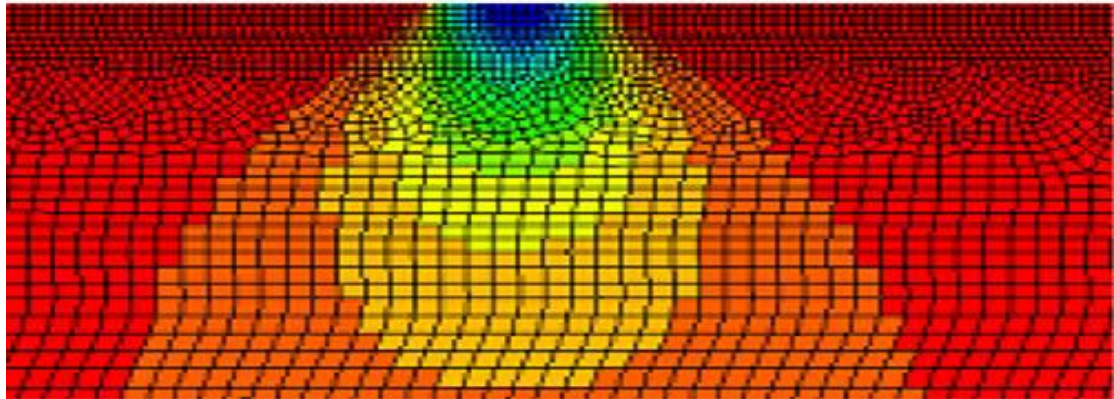
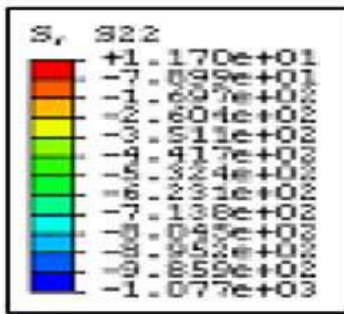




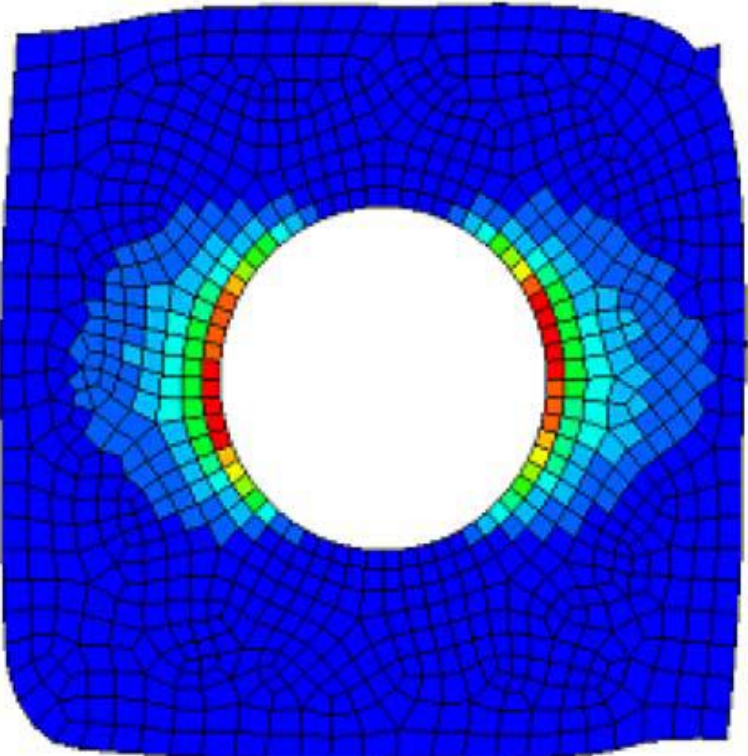
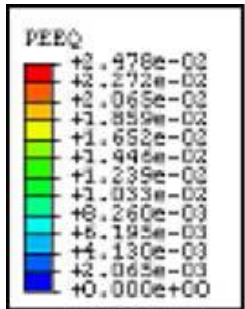
### 3. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης πεπερασμένων στοιχείων

#### 3.1. Μελέτη ενός κύκλου

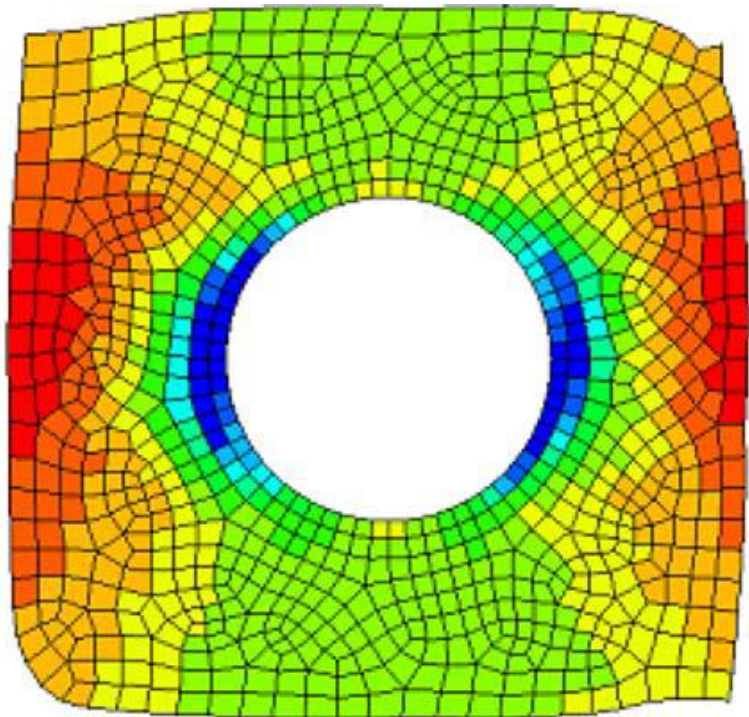
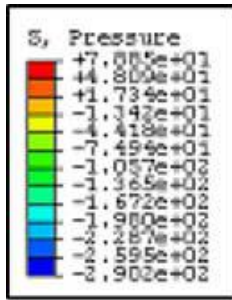
Η κατανομή στον  $\sigma_{yy}$  του stress για το πλέγμα φαίνεται στο Σχ. 6. Αυτή είναι ακριβώς η ίδια διανομή από τα ερτζιανά. Έτσι, η επαφή μπορεί να θεωρηθεί ως πλήρως ελαστική. Επιπλέον, μπορούμε να θεωρήσουμε, σε πρώτη προσέγγιση, ότι δεν υπάρχει πλαστική περιοχή στο υλικό κατά τη διάρκεια της ολίσθησης. Αλλά, σε τοπικό επίπεδο, κοντά στο πορώδες και αμέσως μετά το πρώτο έχουμε αλληλουχία (Σχήμα 7), πλαστικών παραμορφώσεων που έχουν παραχθεί.



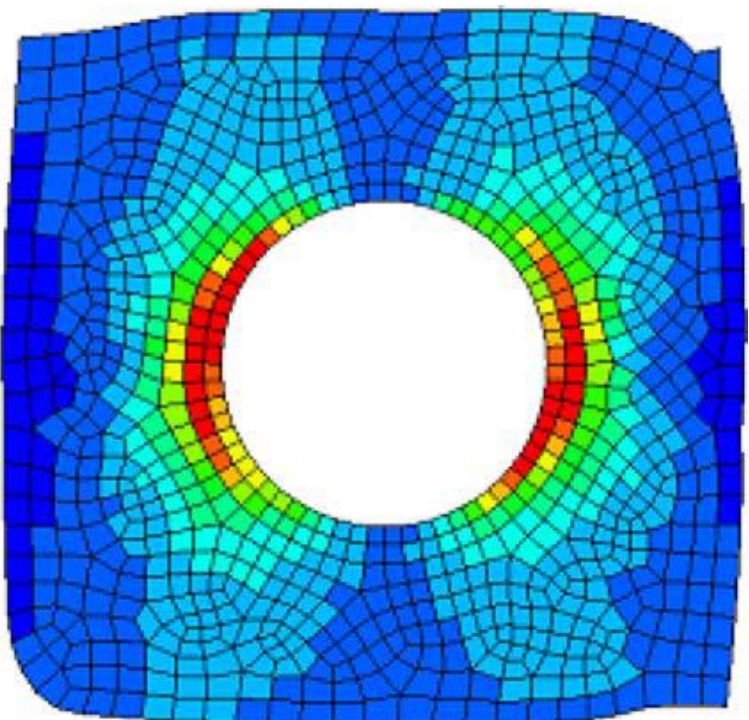
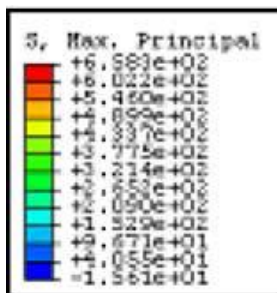
Εικο. 6. Κατανομή σ<sub>υυ</sub> στην πλήρη μοντέλο.



Εικο. 7. συνολική πλαστική παραμόρφωση μετά από μια ακολουθία ολίσθησης.



Εικο. 9. Η πίεση γύρω πορώδες στο τέλος του κύκλου, σε εφελκυσμό



Εικο.8. Η μέγιστη κύρια τάση γύρω από πορώδες στο τέλος του κύκλου, 0,658 χιλιάδες MPa.

Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η κατανομή των τάσεων είναι τροποποιημένη κατά την εγγύτητα του πορώδους. Η πληγείσα περιοχή είναι αρκετά μικρή σε σύγκριση με το μέγεθος της επαφής για να εξεταστεί μια ελαστική επαφή μεταξύ του κυλίνδρου και του συντετηγμένου χάλυβα. Ένα άλλο αποτέλεσμα της πλαστικής είναι η δημιουργία μιας παραμένουσας τάσης field. Η σειρά που είναι πάνω, η ελαστική ανάκτηση του υλικού δίνει υπολειμματικό εφελκυσμό όπως φαίνεται στο Σχ. 8, με το κύριο μέγιστο στρες. Κοντά στο πορώδες, υπάρχει μια τάση εφελκυσμού μεγέθους 650 MPa προσανατολισμένη κατά μήκος του άξονα γ. Έχει αποδειχθεί στην βιβλιογραφία ότι ο πυροσυσσωματωμένος χάλυβας είναι πιο εύθραυστος από όλκιμος. Τέτοια σημαντική τάση εφελκυσμού κοντά στο πορώδες θα μπορούσε να είναι η αιτία για την έναρξη μιας ρωγμής. Αυτό το σημείο θα συζητηθεί αργότερα.

Στο δεύτερο και τρίτο κύκλο δεν αλλάζει το stress και τα πεδία. Δεν υπάρχει πλέον η πλαστική παραμόρφωση που παράγεται κατά τη διάρκεια της εν λόγω διαδικασίας. Έτσι, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η κατάσταση είναι στάσιμη και έφτασε στο τέλος του πρώτου κύκλου. Αυτά τα αποτελέσματα μας επιτρέπουν να εξετάσουμε την έναρξη της ρωγμής από κόπωση κατά τη διάρκεια του σταθεροποιημένου κύκλου.

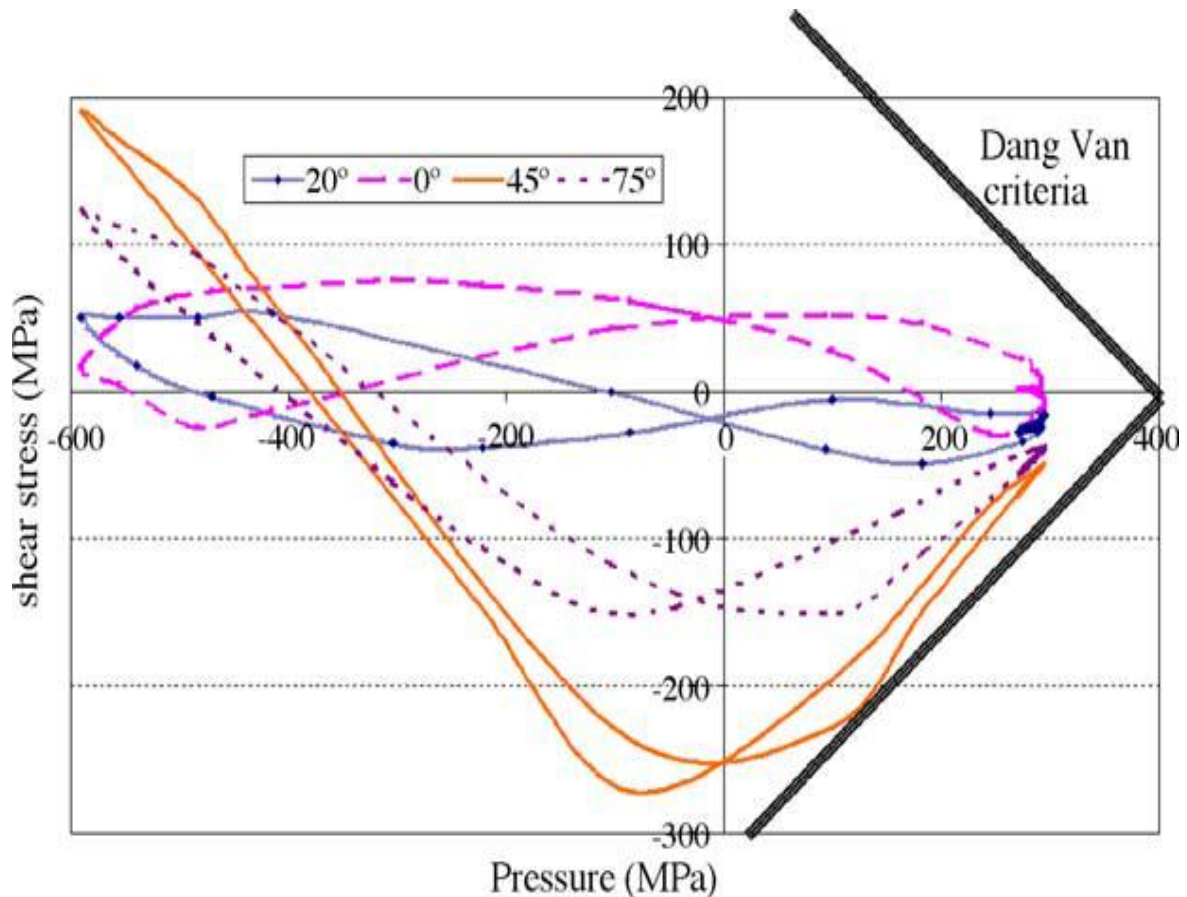
### 3.2. Μελέτη των φαινομένων κόπωσης

Το άλλο σημαντικό αποτέλεσμα, λαμβάνοντας υπόψη το σημείο κόπωσης του είναι η πίεση εφελκυσμού κοντά στο πορώδες (Εικ. 9). Πράγματι, πολλές εμπειρίες έχουν δείξει ότι, σε αντίθεση με τη μέση διάτμηση του στρες, η μέση εφελκυστική τάση επηρεάζει τον μονοδιάστατο εφελκυσμό και το όριο κόπωσης κατά τη στρέψη. Το όριο αυτό μειώνεται γραμμικά με τη μέση τάση εφελκυσμού. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, αρκετοί συγγραφείς έχουν προτείνει τρισδιάστατο κριτήριο για το όριο κόπωσης. Σε αυτή τη μελέτη, έχουμε επιλέξει το DangVan κριτήριο. Αυτός βασίζεται σε μια φυσική προσέγγιση και συχνά χρησιμοποιείται στην περίπτωση της κόπωσης με υψηλούς αριθμούς του κύκλου [10,11]. Λαμβάνει υπόψη την πτυχή που φέρει το μέγιστο μέγεθος διάτμησης κατά τη διάρκεια του κύκλου. Το κριτήριο αυτό γράφεται ως εξής:

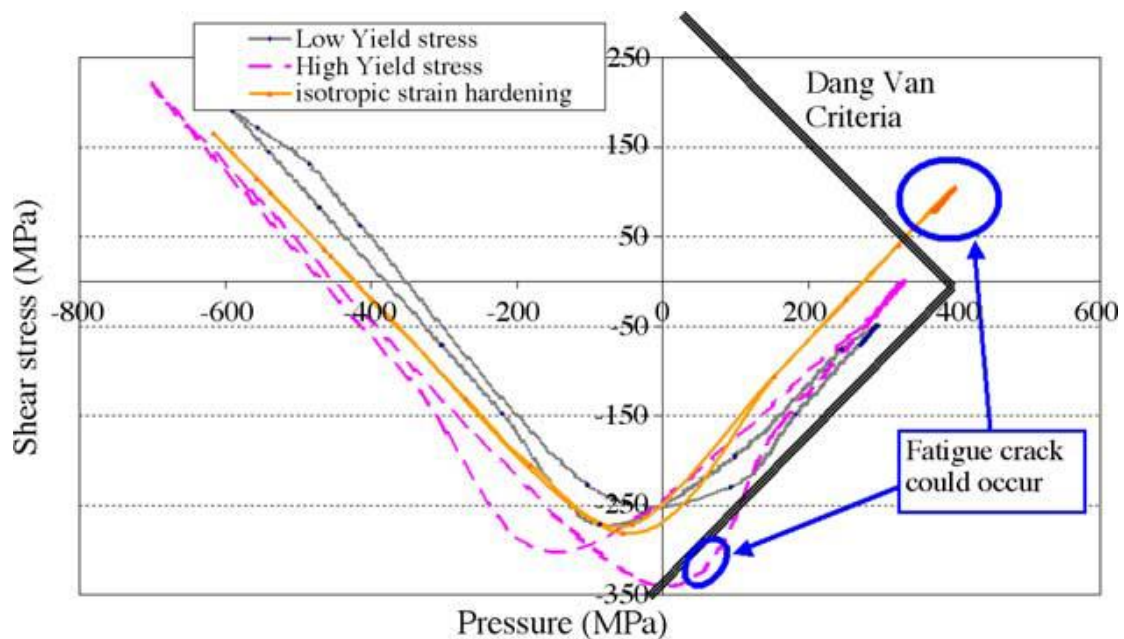
$$\begin{aligned} \text{Max}_{\bar{n}} \text{Max}_{\bar{t}} \left[ \|\bar{\tau}(t) - \bar{\tau}\| + \frac{1}{2} \left( \frac{3b\sigma_{l_0}}{1 - b\sigma_{l_0}} \right) \sigma_H(t) \right] \\ = \frac{\sigma_{l_0}}{2(1 - b\sigma_{l_0})} \end{aligned} \quad (1)$$

με  $\tau(t)$  είναι η διατμητική τάση (προσανατολισμένη από την κανονική  $n$ ), τη μέση διατμητική τάση (προσανατολισμένη από την κανονική  $n$ ),  $\sigma_H(t)$  η υδροστατική πίεση και  $\beta \sigma_{l0}$  και οι υλικές σταθερές. Η τιμή της διαφοράς μεταξύ της τάσης διάτμησης και της μέσης διατμητικής τάσης και τη τιμή της υδροστατικής πίεσης έχει υπολογιστεί σε διάφορες κατευθύνσεις του ολοκληρωμένου στοιχείου (ακριβώς δίπλα στο πορώδες) κατά τη διάρκεια της δεύτερης περίπτωσης. Δεν έχουν χαρακτηριστικό υλικό. Τα χαρακτηριστικά κόπωσης του χάλυβα χωρίς πορώδες ήταν για καταλληλότερη χρήση. Είναι πολύ δύσκολο να έχουμε πρόσβαση σε αυτά τα χαρακτηριστικά από πειραματικές έρευνες. Ωστόσο, μπορούμε να δώσουμε κάποιες εξηγήσεις κοιτάζοντας προς το γράφημα που φαίνεται στο Σχ. 10, η οποία αντιπροσωπεύει το κριτήριο που υπολογίζεται με έδρες από μια προσανατολισμένη γωνία με την επιφάνεια επαφής. Τέσσερις όψεις έχουν μελετηθεί:  $20^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  και  $75^\circ$ .

$$\frac{1}{2} \left( \frac{3b\sigma_{l0}}{1 - b\sigma_{l0}} \right) \sigma_H(t) - \frac{\sigma_{l0}}{2(1 - b\sigma_{l0})} = 0 \quad (2)$$



Εικό. 10. Dang Van κριτήριο λειτουργίας της διατμητικής κατεύθυνσης του στρες.



Εικο. 11. Κριτήριο DangVan για τρεις πρώτες ύλες και μια πτυχή της 45°.

Τα όρια κόπωσης, μαύρες ευθείες, ανάλογα με την κατεύθυνση διάτμησης στρες, το γράφημα λαμβάνει διάφορες μορφές. Μόλις μπορεί να δει το αποτέλεσμα της υδροστατικής πίεσης που προκαλείται από το πλαστικό στέλεχος. Οι μαύρες ευθείες γραμμές δίνουν για παράδειγμα που θα μπορούσε να είναι τα όρια κόπωσης στρες. η υδροστατική πίεση περιορίζει την ανθεκτικότητα κόπωσης του έκκεντρο. Και η πιο κρίσιμη πτυχή έχει προσανατολισμένη κατεύθυνση διάτμησης με μία γωνία 45° με την επιφάνεια επαφής. Υπογραμμίζει το γεγονός ότι η εφελκυστική υδροστατική πίεση που παρατηρήθηκε κοντά στο πορώδες μετά την ολίσθηση αυξάνει τον κίνδυνο ρωγμών κόπωσης.

### 3.3. Επίδραση των ιδιοτήτων των υλικών στην κούραση

Στην ενότητα αυτή, η επίδραση των δύο χαρακτηριστικών των υλικών, απόδοση και στρες θα συζητηθεί ο τύπος σκλήρυνσης. Ας κάνουμε την υπόθεση ότι δεν έχουν καμία επίδραση σχετικά με τις δύο Dang Van παραμέτρους. Ας εξετάσουμε αυτά τα στοιχεία:

(1) Χαμηλή τάση διαρροής, με σκλήρυνση στέλεχος με γραμμικό κινηματικό τύπο:

- απόδοση του στρες: 750MPa
- μονάδα στέλεχος σκλήρυνση: 20 000MPa.

(2) υψηλής αντοχής, με σκλήρυνση στέλεχος με γραμμικό κινηματικό τύπο:

- απόδοση του στρες: 1000MPa
- σκλήρυνση στέλεχος Μέτρο ελαστικότητας: 20 000 MPa.

(3) Ισότροπος στέλεχος σκλήρυνσης, με γραμμικό ισοτροπικό τύπο σκλήρυνσης :

- απόδοση του στρες: 750MPa
- μονάδα στέλεχος σκλήρυνση: 20 000MPa.

Όπως και στην προηγούμενη μελέτη, το κριτήριο Dang Van υπάρχει και χρησιμοποιείται για να κατανοήσουν την επίδραση των παραμέτρων διατριβών. Έχειδειχθεί προηγουμένως ότι η κρίσιμη πτυχή είναι η μία με γωνία  $45^\circ$ . Σχδ. 11 δείχνει τα αποτελέσματα που ελήφθησαν με αυτά τρία υλικά χρησιμοποιώντας το κριτήριο DangVan. Αυτό το γράφημα δείχνει ότι τόσο η τάση διαρροής όσο και το είδος της σκλήρυνσης εργασίας έχουν κάποια επίδραση. Η επίδραση της υψηλής απόδοσης στρες είναι μια αύξηση στο μέγεθος της ψευδοδιατμητικής τάσης (διαφορά μεταξύ της μέγιστης διατμητικής τάσης και της μέση διατμητικής τάσης). Κόπωση με ρωγή μπορεί να προκύψει λόγω του στρες διάτμησης. Έχει δειχθεί ότι η DangVan σταθερά εξαρτάται από το όριο απόδοσης του υλικού. Έτσι, μια αύξηση του ορίου απόδοσης προκαλεί μία αύξηση της μέγιστης διατμητικής τάσης και έτσι μια αύξηση του κριτηρίου του είδους του στέλεχος φαίνεται η σκλήρυνση να έχει μια ισχυρή επίδραση στην υδροστατική πίεση. Η αλλαγή στη φύση της εργασίας της σκλήρυνσης από κινηματικά ισότροπα οδηγεί σε αύξηση της πίεσης εφελκυσμού (σε σχέση με την υδροστατική πίεση). Το κριτήριο Dang Van έτσι επηρεάζεται έντονα. Το είδος της σκλήρυνσης φαίνεται να είναι η πιο κρίσιμη παράμετρος. Ως ένα πρώτο συμπέρασμα, είναι ενδιαφέρον να αποτρέψει σκασίματα από φθορά σε συντετηγμένο χάλυβα.

#### 4. Άνοιγμα και διάδοσης της ρωγμής

Αφού συζητήσαμε σχετικά με την έναρξη ρωγμής από κόπωση, εμείς θα μελετήσουμε τώρα την επίδραση των τάσεων στη διάδοση των ρωγμών, χρησιμοποιώντας διάφορα κριτήρια, όπως μέγιστη απελευθέρωση της ενέργειας ως ποσοστό, συντελεστή έντασης στρες ή τη μέγιστη περιμετρική του στρες γύρω από το άκρο της ρωγμής. Όπως φαίνεται στο Σχ. 12, η ρωγή διαδίδεται παράλληλα προς την επιφάνεια επαφής, αφού προηγουμένως ξεκίνησε στη μέγιστη διατμητική κατεύθυνση του στρες. Παρουσιάζουμε το ακόλουθο μοντέλο, το οποίο δείχνει μια ρωγή στο δεύτερο στάδιο της κόπωσης κατά τη διάρκεια του πολλαπλασιασμού. Το πρώτο στάδιο είναι η έναρξη στη μέγιστη διεύθυνση της διατμητικής τάσης και το δεύτερο στάδιο είναι η διάδοση κάθετη προς την μέγιστη κύρια κατεύθυνση του στρες. Ας κάνουμε την υπόθεση ότι η μηχανική θραύση σε εύθραυστο υλικό μπορεί να εφαρμοστεί για να διαμορφώσει το άνοιγμα και τη διάδοση της ρωγμής. Το μοντέλο έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας πεπερασμένα στοιχεία. Το πλέγμα της ρωγμής στο δεύτερο κομμάτι επεκτείνεται στο τρίτο και στο τέταρτο κομμάτι κατά μήκος του στοιχείου. Αυτό το συγκεκριμένο πλέγμα δίνει ιδιομορφία stress στην



άκρη της ρωγμής. Οι παρακάτω εξισώσεις μας δίνουν μία λύση στο τρόπο που η διάδοση του ραγίσματος δίνοντας τις εξής τάσεις σε ένα επίπεδο:

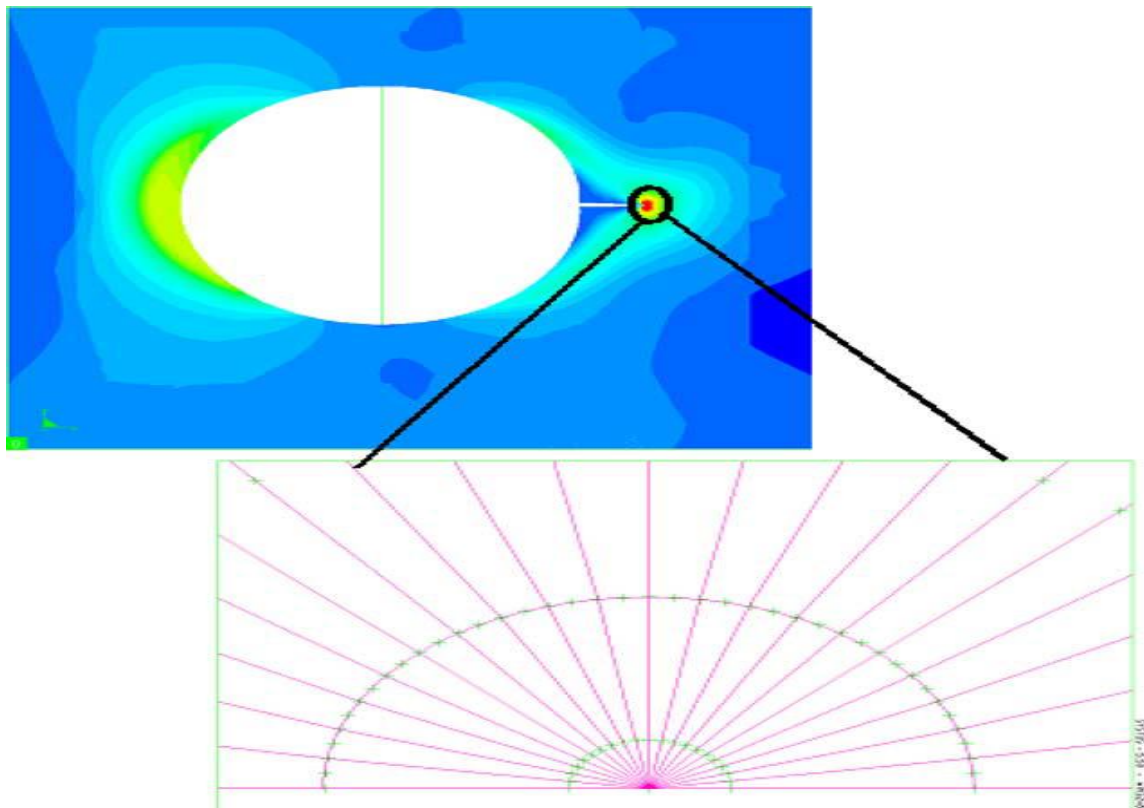
$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right), \\ \sigma_{22} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right), \\ \sigma_{12} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}\end{aligned}\quad (3)$$

με  $K_I$  είναι ο συντελεστής έντασης στρες  $r$ ,  $\theta$  η κυλινδρική συντεταγμένη.

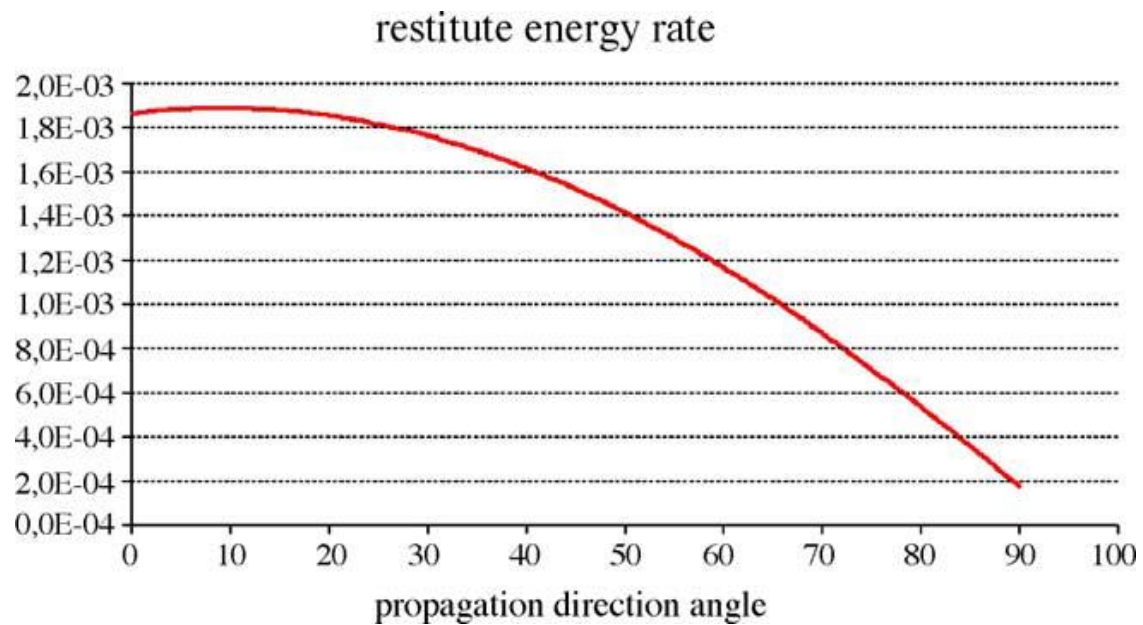
Με μια μέθοδο FEM, η μοναδικότητα του στρες δίνεται από το πλέγμα, φαίνεται στην εικόνα 13, η ένταση του στρες. Οι παράγοντες που δίνονται από το FEM computing. Για τον υπολογισμό της ρωγμής και της κατεύθυνση διάδοσης, χρησιμοποιούμε το ποσοστό της ενέργειας που αποδίδει, την περιφερειακή μέγιστη καταπόνηση και την ένταση του στρες ως παράγοντες, οι οποίες αντιστοιχούν, με τους τρόπους I, II και III τύπου διάδοσης. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους μηχανισμούς θραύσης σε εύθραυστο υλικό και ειδικά σε χρήση της μέγιστης ενέργειας και ρυθμό απελευθέρωσης μπορεί να βρεθεί στο [10]. Η κατεύθυνση της ρωγμής μπορεί να βρεθεί αν ψάξουμε τη γωνία κατεύθυνσης, η οποία μεγιστοποιεί το μέγιστο ρυθμό απελευθέρωσης ενέργειας. Για την ανάλυση της επίδρασης της υπολειμματικής τάσης εφελκυσμού, η ρωγμή με μια επαφή μεταξύ των δύο όψεων της ρωγμής προσομοιώνεται. Η ίδια ακολουθία φόρτισης από το πρώτο υπόδειγμα στο παρόν έγγραφο (Εικ. 5) εφαρμόζεται.

Η ρωγμή έχει πλέον ανοίξει έτσι ώστε να μπορούμε να μελετήσουμε το ρυθμό απελευθέρωσης ενέργειας και το μέγιστο περιμετρικό στρες, όπως φαίνεται στα Σχ. 13 και μελέτη 14. Μελετάμε δύο διαφορετικά μεγέθη ρωγμής, η πρώτη αντιστοιχεί σε μια άκρη στο πεδίο εφελκυσμού στρες, η δεύτερη αντιστοιχεί σε ένα άκρο ρωγμής, η οποία δεν είναι στο πεδίο εφελκυσμού στρες. Στα Σχ. 13 και 14, μπορούμε να δούμε, αντίστοιχα, το ρυθμό απελευθέρωσης της ενέργειας και το μέγιστο περιμετρικό stress για το πρώτο. Και οι δύο δείχνουν ότι η ρωγμή θα διαδοθεί διατηρώντας την ίδια κατεύθυνση και παράλληλα προς την επιφάνεια επαφής, η οποία είναι συμβατή με τα πειραματικά αποτελέσματα. Εικό. 15 δείχνει το μέγιστο περιμετρικό στρες με δεύτερο τύπο ρωγμής. Μπορούμε να δούμε ότι η κατεύθυνση της ρωγμής διάδοσης θα αλλάξει. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το πεδίο εφελκυσμού στρες δεν επηρεάζει πια τη διάδοση των ρωγμών. Υπολογίζοντας την ακολουθία της τροχιάς μιας ρωγμής, είναι δυνατόν να συγκρίνει την επέκταση των ρωγμών που υπολογίζεται από την FEM λαμβάνοντας υπόψη την υπόθεση (το αποτέλεσμα της πλαστικότητας στο άκρο της ρωγμής είναι παραμελημένο), και τη διάδοση των ρωγμών που φαίνεται στο Σχ. 2.

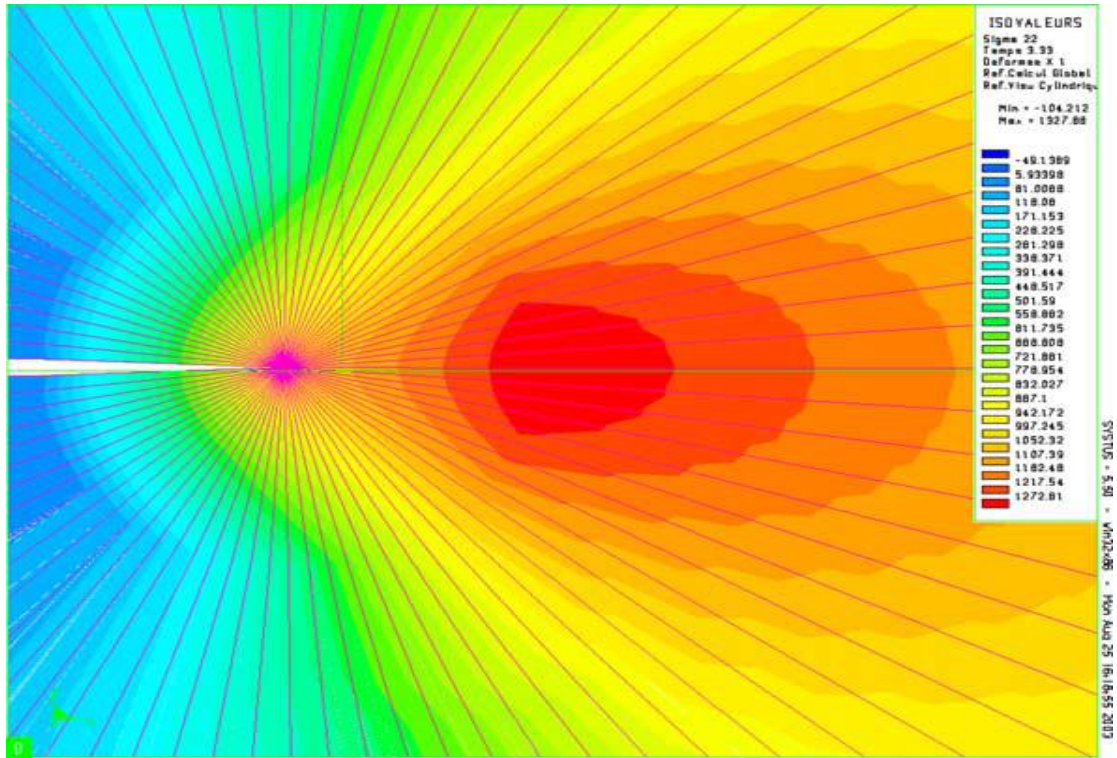
Η σύγκριση αυτή δίνεται από την ανάλυση του στρες του παράγοντες της έντασης στους τρόπους I και II (Εξ. (3)) που φαίνεται στο Σχ. 16.



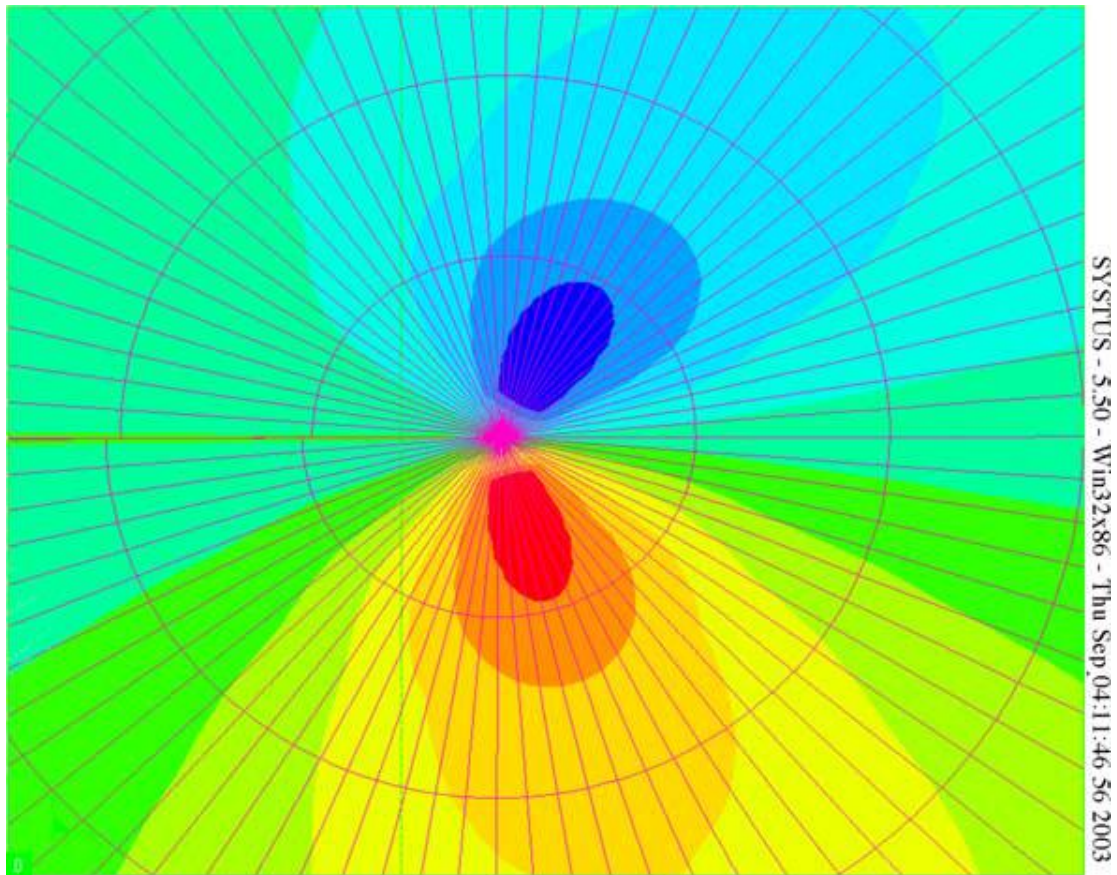
Εικο. 12. μοντέλο διάδοσης ρωγμών.



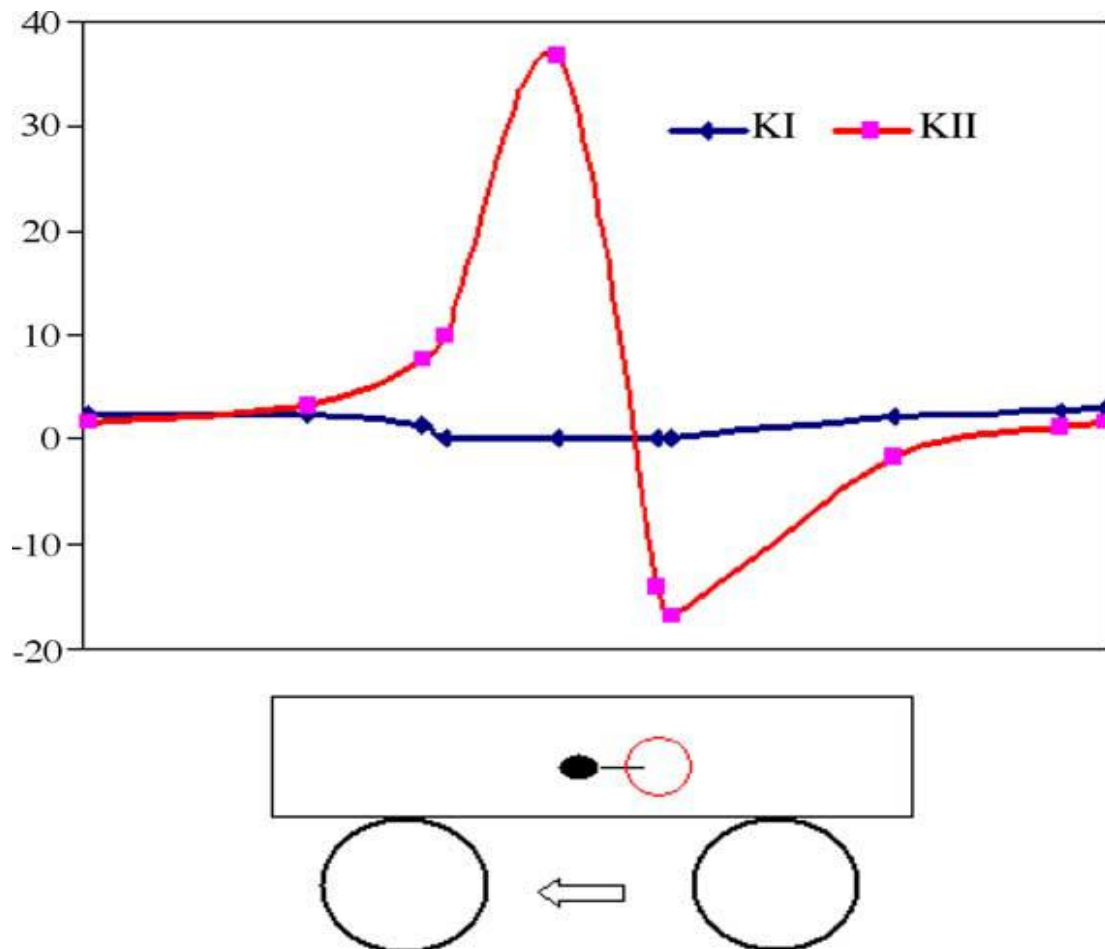
Εικο. 13 ρυθμός απελευθέρωσης. ενέργειας στη ρωγή.



Εικο. 14. Μέγιστη περιμετρική ρωγμή.



Εικο. 15. Μέγιστο περιμετρικό στρες με μεγάλη ρωγμή.



Εικ. 16. παράγοντες Ένταση κατά τη διάρκεια μιας ακολουθίας ολίσθησης.

Το αποτέλεσμα που δίνει το FEM, με μια γωνία  $45^\circ$  με την επιφάνεια επαφής (Εικ. 16). Η υπόθεση που έχουμε επιλέξει να υπολογίσουμε με το μοντέλο αυτό ίσως εξηγεί τη διαφορά μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικότητας σχετικά με τη διάδοση των ρωγμών, εξηγεί τον τρόπο που πολλαπλασιάζεται με την υδροστατική πίεση η ρωγή στη δεδομένη στιγμή που το λιπαντικό έκλεισε κάτω από τον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της αλληλουχίας της έλασης. Όμως στην περίπτωση μας, η ρωγή αρχίζει στο υπέδαφος, οπότε δεν υπάρχει λιπαντικό στη ρωγή.

## 5. Συμπέρασμα

Σε αυτή την εργασία, έχουμε παρουσιάσει κάποιες αριθμητικές έρευνες, θα προσπαθήσω να δώσω κάποιες εξηγήσεις σχετικά με τα φαινόμενα των σκασιμάτων που παρατηρούνται σε ένα τμήμα του χάλυβα. Διάφορα συμπεράσματα έχουν αποκαλυφθεί. Έχει ιδιαίτερη σημασία ότι το στρες σε εφελκυσμό εμφανίστηκε κοντά σε πορώδες μετά από μια στιγμιαία επαφή. Η συγκέντρωση στρες, σε αυτές τις συγκεκριμένες ζώνες, δίνει πλαστική παραμόρφωση κατά τη διάρκεια της ακολουθίας της έλασης, αυτά τα πλαστικά στελέχη, με την ελαστική ανάκτηση του υλικού, δίνει εφελκυσμό σε παραμένουσες τάσεις.

Αντοχή σε υδροστατική πίεση εμφανίστηκε και έτσι ώστε, να αλλάξει σαφώς μια προσέγγιση Dang Van κόπωση. Για να αυξηθεί η αντοχή σε κόπωση, θα πρέπει να επιλέξουμε ένα υλικό με καλά χαρακτηριστικά κόπωσης, αλλά επίσης και ένα στέλεχος με σκλήρυνση η οποία εμποδίζει τις παραμένουσες τάσεις εφελκυσμού. Έχουμε επίσης δείξει ότι κατά τη λειτουργία οι εφελκυστικές παραμένουσες τάσεις δημιουργούν ρωγμή η οποία διαδίδεται, αλλά μόνο όταν η άκρη της ρωγμής είναι στον τομέα της εφελκυστικής τάσης. Αυτό μας κάνει να σκεφτούμε ότι δεν έχει γίνει σωστή υπόθεση και δεν έχουν ιδιαίτερα ληφθεί υπόψη οι τριβές στην επιφάνεια επαφής του μοντέλου και ότι η γραμμική διατύπωση απέτυχε να αναλύσει τη διάδοση των ρωγμών. Στις μελλοντικές έρευνες, οι συγκολλητικές επιδράσεις λόγω λιπαντικού ή πλαστικού στελέχους στο άκρο της ρωγμής θα μπορούσαν να αναλυθούν. Σε μια κόπωση, η επίδραση των διαφόρων κυκλικού τύπου σκλήρυνσης και οι μεταλλουργικές παράμετροι, οι οποίες θα μπορούσαν να αυξήσουν την αντοχή στην κόπωση και να μειώσουν τις παραμένουσες τάσεις εφελκυσμού θα πρέπει να εξεταστούν.

## Σχηματισμός μηχανισμού «black line» σε εκκεντροφόρο σιδήρου με απλή ψύξη

### Περίληψη

Ο μηχανισμός «black line» (B-line για συντομία) δημιουργεί ελάττωμα σε ένα παγωμένο εκκεντροφόρο χυτοσίδηρου και αναλύεται χρησιμοποιώντας προσομοίωση σε υπολογιστή σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της διαδικασίας κατασκευής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η B-line σχηματίζεται λόγω της ασταθούς κατάστασης όταν υγρό μέταλλο ρέει μέσα σε ένα καλούπι: η τοποθέτηση του στο καλούπι είναι ένας βασικός παράγοντας για την παραγωγή αυτού του ελαττώματος. Για την εξάλειψη B-line, πρέπει να βρίσκεται στο κατώτερο τμήμα του καλουπιού, σε σχέση με τη θέση έκχυσης, και η πλήρωση του καλουπιού πρέπει να είναι όσο το δυνατόν σταθερότερη.

### 1. Εισαγωγή

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ανθεκτικό στη φθορά επιφάνεια εκκεντρο του χυτού εκκεντροφόρου, τα ρίγη που χρησιμοποιούνται για την αύξηση του ρυθμού ψύξης και δημιουργείτε λεδεβουρίτης υλικό με σκληρή δομή [1]. Η B-line είναι ένας τύπος ελαττώματος που συνήθως βρίσκεται στην παγωμένη περιοχή του εκκεντρο. Παίρνει τη μορφή ενός στρώματος από φαιό χυτοσίδηρο που βρίσκεται κοντά στην παγωμένη επιφάνεια του εκκεντρο. Το πλάτος αυτής της στιβάδας είναι συνήθως λιγότερο από 1mm και η σκληρότητά του είναι πολύ χαμηλότερη από εκείνη του λεδεβουρίτη. Η ύπαρξη των B-line μειώνει σημαντικά την αντίσταση στη φθορά του εκκεντροφόρου. Για να προσδιοριστούν οι συνθήκες υπό τις οποίες σχηματίζονται B-line, αναλύθηκαν αρκετές εκατοντάδες εκκεντρα και έγιναν προσομοιώσεις πλήρωσης του καλουπιού όπου διεξήχθη χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα προσομοίωσης χύτευσης MAGMASoft.

### 2. Χυτήριο τεχνολογίας για την παραγωγή εκκεντροφόρων

Οι εκκεντροφόροι της Suzuki-SC110 δημιουργούνται με τη τεχνολογία η οποία απεικονίζεται στο Σχ. 1 [2]. Ένα καλούπι κέλυφος χρησιμοποιείται για την παραγωγή δύο στοιχείων. Το υλικό του εκκεντροφόρου είναι φαιός χυτοσίδηρος-250 με ισοδύναμο άνθρακα από 3.7-4.2%. Η θερμοκρασία που μπαίνει στο καλούπι είναι περίπου 1380 °C. Όλα τα οκτώ εκκεντρα ψύχονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, χρησιμοποιώντας χυτοσίδηρο, η παγωμένη περιοχή κάθε εκκεντρο που φαίνεται στο Σχ. 2. Η σκληρότητα που απαιτείται στην κορυφή ενός εκκεντρο είναι περίπου 48 HRC, ενώ το εύρος σκληρότητας στις πλευρές του είναι από 35 HRC έως 45 HRC και στο κέντρο του εκκεντρο, είναι περίπου 220 HB

### 3. Πειραματικά αποτελέσματα

Σαράντα εκκεντροφόροι παρήχθησαν ανά παρτίδα. δύο εκκεντροφόροι επιλέχθηκαν τυχαία από κάθε παρτίδα και όλοι τεμαχίσθηκαν για την επιθεώρηση, ο συνολικός αριθμός των εκκεντρων που δοκιμάστηκαν ήταν 400. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους Πίνακες 1-3, και επίσης σε Σχ. 3 και 4. Η Μεταλλογραφία αποκάλυψε ότι η B-line είναι ένα λεπτό στρώμα από φαιό χυτοσίδηρο μέσα στο παγωμένο χώρο του εκκεντροφόρου. Αποτελείται από περλίτη και γραφίτη. Η σκληρότητα της B-line είναι περίπου 35HRC, η οποία είναι πολύ λιγότερη από εκείνη που απαιτείται στην διατηρημένη με απλή ψύξη περιοχή. B-lines εμφανίστηκαν μόνο στο ανώτερο τμήμα της παγωμένης περιοχής, στα έκκεντρα κατευθύνεται προς τα πάνω ή προς την πλευρά του εκκεντροφόρου (Πίνακας 1 και Σχ. 3). Υπό αυτές τις συνθήκες, το πιο κοντινό έκκεντρο είναι το σύστημα πύλης, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα της εμφάνισης ενός B-line (Εικ. 4). Δεν υπάρχουν B-lines σε έκκεντρα που κατευθύνονται προς τα κάτω, πράγμα που σημαίνει ότι ο σχηματισμός της B-line σχετίζεται με την θέση του στο καλούπι. Διαπιστώθηκε ότι το πλάτος ελαττώματος B-line κυμαίνεται από 0,1 έως 1,4 mm, με τα περισσότερα αποτελέσματα που περιλαμβάνεται μεταξύ 0,4 και 1,0 χιλιοστών (Πίνακας 2). Σε κάποιο βαθμό, το πλάτος της B-line δείχνει το βαθμό της βλάβης. B-line συμβαίνουν πάντα κοντά στα ρίγη, η απόσταση μεταξύ μιας B-line και στην επιφάνεια ενός chill συνήθως είναι περίπου 1-2 mm (Πίνακας 3). Ωστόσο, η κατεργασία έκκεντρων σχεδιάστηκε για να είναι 1,5 mm. Επομένως, στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα ελάττωμα B-line θα εμφανιστεί στην επιφάνειά του έκκεντρου μετά την κατεργασία. Εκκεντροφόροι με χαμηλή επιφανειακή σκληρότητα, λόγω του σχηματισμού B-line, έχουν ανεπαρκή αντίσταση, γεγονός που τους καθιστά πρακτικά μη λειτουργικούς. Είναι προφανές ότι η ψυχρή θέση στο καλούπι είναι βασικός παράγοντας στο σχηματισμό B-line, αν και αναγνωρίζεται ότι το ισοδύναμο κράμα άνθρακα και η θερμοκρασία έκχυσης έχουν επίσης επίδραση. Η θεμελιώδης απαίτηση για την πρόληψη του σχηματισμού B-line είναι ότι τα ρίγη κοντά στο σύστημα πύλης πρέπει να κατευθύνεται προς τα κάτω, δηλαδή να βρίσκεται στην κάτω επιφάνεια του καλουπιού. Όταν υιοθετηθεί αυτή η προσέγγιση με τον ισοδύναμο άνθρακα και η θερμοκρασία πέσει είναι υπό επαρκή έλεγχο, τότε δεν θα εμφανιστούν ελαττώματα B-line.

### 4. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και ανάλυσης

Προκειμένου να αναλυθεί ο μηχανισμός σχηματισμού B-line, το λογισμικό προσομοίωσης που ονομάζεται MAGMASoft χρησιμοποιήθηκε. Το MAGMASoft επιτρέπει την προσομοίωση των διεργασιών χύτευσης, συμπεριλαμβανομένης της πλήρωσης του καλουπιού και της στερεοποίησης. Ειδικότερα, η προσομοίωση πλήρωσης του καλουπιού μπορεί να προσφέρει μια καλύτερη εικόνα για τη διαδικασία, δεδομένου ότι είναι δύσκολο να παρατηρηθεί πλήρωση του καλουπιού σε μια διαδικασία κατασκευής. Το AutoCAD 13 χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργήσει στερεά μοντέλα του εκκεντροφόρου. Τα μοντέλα αυτά μετατράπηκαν σε μορφή STL και εξάγονται στην MAGMASoft. Ο συνολικός αριθμός των στοιχείων ήταν 1,6 εκατ και ο αριθμός των στοιχείων ελέγχου μέταλλο ήταν 141.000. Το

προκύπτουν πλέγμα φαίνεται στο Σχ. 5. Οι κρίσιμες παράμετροι για την προσομοίωση, όπως η μείωση της θερμοκρασίας, ο χρόνος και το γέμισμα, ήταν τα ίδια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή.

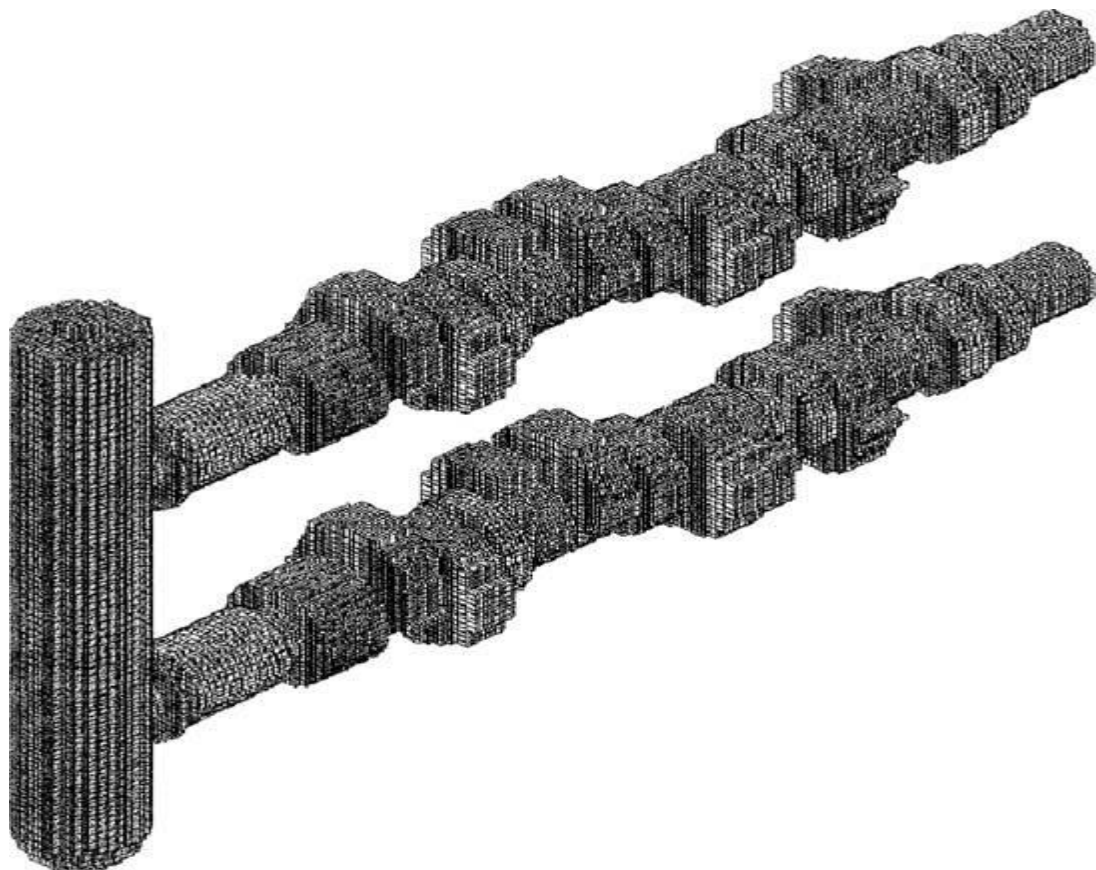
Η προσομοίωση έλαβε υπόψη επίσης τον εμβολιασμό, τη λανθάνουσα θερμότητα και τη καταβύθιση γραφίτη. Για να ενεργοποιήσετε την ευκολότερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων, η προσομοίωση της κίνησης των σωματιδίων στο τήγμα επίσης μια λειτουργία του MAGMASoft ονομάζεται «συμπλήρωση ιχνηθέτη», επιλέγονται σωματίδια που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πλήρωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίνουν μια σαφή εικόνα της πλήρωσης του καλουπιού. Με τη λειτουργία «συμπλήρωση ιχνηθέτη» στο εξής, μπορεί να φανεί ότι όταν το υγρό μέταλλο εισέρχεται στο καλούπι κινείται προς τα εμπρός κατά μήκος του εκκεντροφόρου άξονα με ένα κυματιστό τρόπο (Εικ. 6). Μπορεί επίσης να φανεί ότι στην ίδια θέση (σημείο Α), σε διαφορετικό χρόνο, υπάρχει μια αλλαγή στο επίπεδο του υγρού μέταλλο, το οποίο στην περίπτωση (α) είναι υψηλότερη από ότι στην περίπτωση (β). Υπάρχουν αρκετές αλλαγές τέτοιου επιπέδου καθ' όλη τη διαδικασία γέμισης. "Συμπλήρωση ιχνηθέτη" σε αποτελέσματα animation δίνουν μια σαφή ένδειξη ότι η διαδικασία πλήρωσης δεν είναι σταθερή. Αυτή η συμπεριφορά πλήρωσης προκαλείται κυρίως από το σχήμα του εκκεντροφόρου, το οποίο έχει αρκετές αλλαγές στα τμήματά του κατά μήκος του άξονά του. Όταν το υγρό μέταλλο ταξιδεύει κατά μήκος του καλουπιού, έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της ταχύτητας του υγρού μετάλλου, καθώς και την κατεύθυνση (Σχ. 6 και 7).

Αυτό το είδος της αλλαγής ταχύτητας κάνει τη ροή του υγρού μετάλλου οδοντωτή ώστε η επιφάνειά του πάει πάνω και κάτω, ενώ το μέταλλο γεμίζει σταδιακά το καλούπι. Όταν το υγρό μέταλλο φθάσει στην κορυφή του καλουπιού, στερεοποιείται λόγω της ισχυρής ψύξης, και δημιουργείται ένα στρώμα στερεοποιημένου μετάλλου, που αποτελείται από λεδεβουρίτη. Κάτω από αυτό το στρώμα, μια ευαίσθητη περιοχή, με βαθμιαία αύξηση της περιεκτικότητας των υγρών, μπορεί να παρατηρηθεί (Εικ. 8). Εάν το επίπεδο του υγρού μετάλλου δεν μειωθεί, η στερεοποίηση θα συνεχιστεί με κανονική λεδεβουριτική δομή σχηματισμού. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, το υγρό μέταλλο θα διαχωριστεί από το στερεοποιημένο στρώμα, όπως φαίνεται στο Σχ. 9. Ακριβέστερα, ένα κενό είναι που σχηματίζεται μεταξύ του υγρού και του ευαίσθητου στρώματος το οποίο κολλά στο στερεοποιημένο μέταλλο. Το κενό που δημιουργείται από την μείωση της στάθμης του υγρού αλλάζει τις συνθήκες στερεοποίησης στην εσωτερική επιφάνεια του ευαίσθητου στρώματος. Ο ρυθμός ψύξης σε αυτήν την επιφάνεια μειώνεται απότομα, και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της υπόψυξης: αυτές οι συνθήκες προάγουν την κατακρήμνιση και την ανάπτυξη γραφίτη. Όμως σε σύγκριση με εκείνη για την φυσιολογική ανάπτυξη των νιφάδων γραφίτη, ο ρυθμός ψύξης είναι υψηλός. Υπό αυτές τις συνθήκες, γραφίτης δεν μπορεί να αναπτυχθεί σε μορφή νιφάδων: μπορεί να καθιζάνει μόνο σε μορφή dot, τα λεγόμενα υποθερμία γραφίτη.

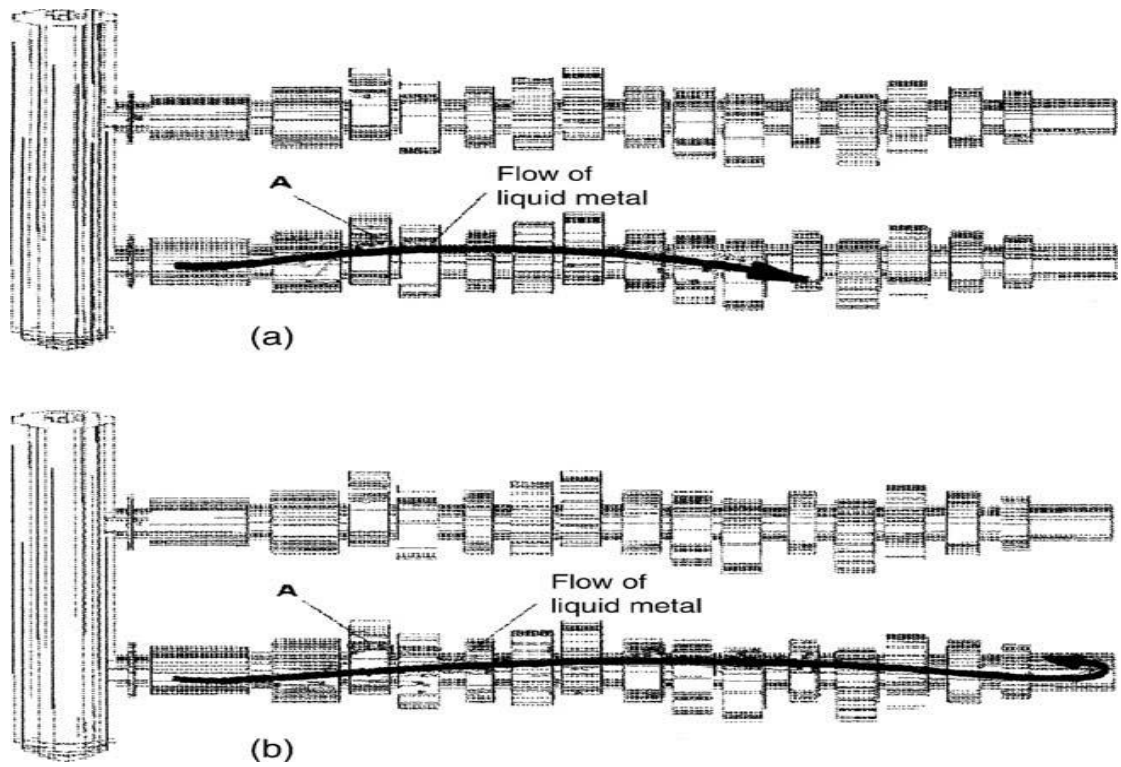
Αυτό θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός λεπτού στρώματος γκρι σιδήρου, η οποία αποτελείται από περλίτη και γραφίτη. Μια άλλη πιθανή εξήγηση είναι ότι ο άνθρακας



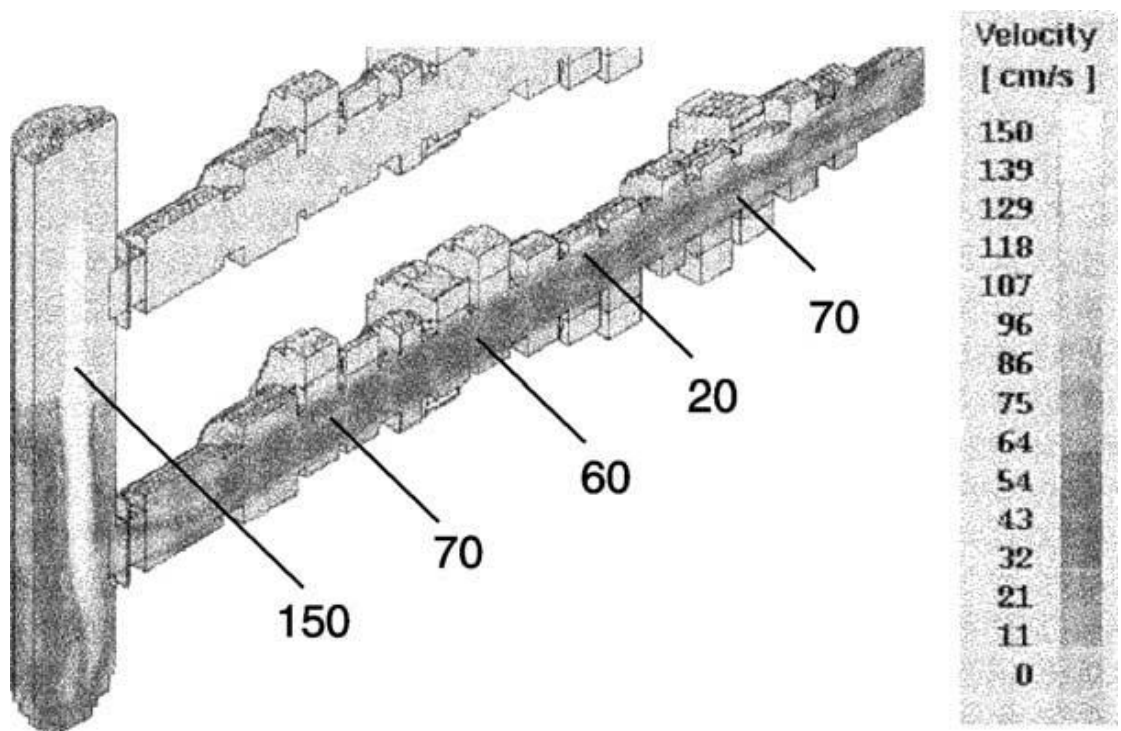
με μικρότερη περιεκτικότητα σε λεδευουριτική δομή κατά τη στερεοποίηση εξισορροπείται από μια υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα στη στερεοποίηση. Όσο η διαδικασία στερεοποίησης είναι συνεχής, τόσο πιο πολύς άνθρακας κινείται μέσα στο καλούπι χύτευσης και τελικά να ενταχθεί στην γκριζα ζώνη του σιδήρου. Ωστόσο, όταν η διαδικασία της στερεοποίησης τελειώσει, ο διαχωρισμός του άνθρακα γίνεται και ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα και δημιουργείται γκρι σίδηρος. Λόγω της ισχυρής δράσης ψύξης του και τα προηγουμένως στερεοποιημένα στρώματα, ο βαθμός υποθερμίας αυξάνεται και πάλι και μια άλλη περιοχή με λεδευουριτική δομή σχηματίζεται. Αυτή η αλληλουχία των γεγονότων έχει ως αποτελέσματα το σχηματισμό B-line μέσα σε μια παγωμένη περιοχή. Είναι προφανές ότι όσο μια ψυχρή επιφάνεια βρίσκεται στο κάτω μέρος του καλουπιού, το υγρό μέταλλο δεν μπορεί να διαχωριστεί από το ρίγος λόγω της δράσης της βαρύτητας. Στην περίπτωση αυτή, τα ελαττώματα B-line δεν θα συμβεί, ακόμη και αν η οδοντωτή ροή εξακολουθεί να υφίσταται. Το οδοντωτό μοτίβο της ροής του μετάλλου μειώνεται καθώς η απόσταση από το σύστημα δίοδου αυξάνεται κατά μήκος του άξονα ενός εκκεντροφόρου, έτσι για τον ίδιο τύπο εκκεντροφόρο, η επίπτωση του σχηματισμού B-line πιο μακριά από το σύστημα πύλης είναι κατώτερο (Σχ. 4).



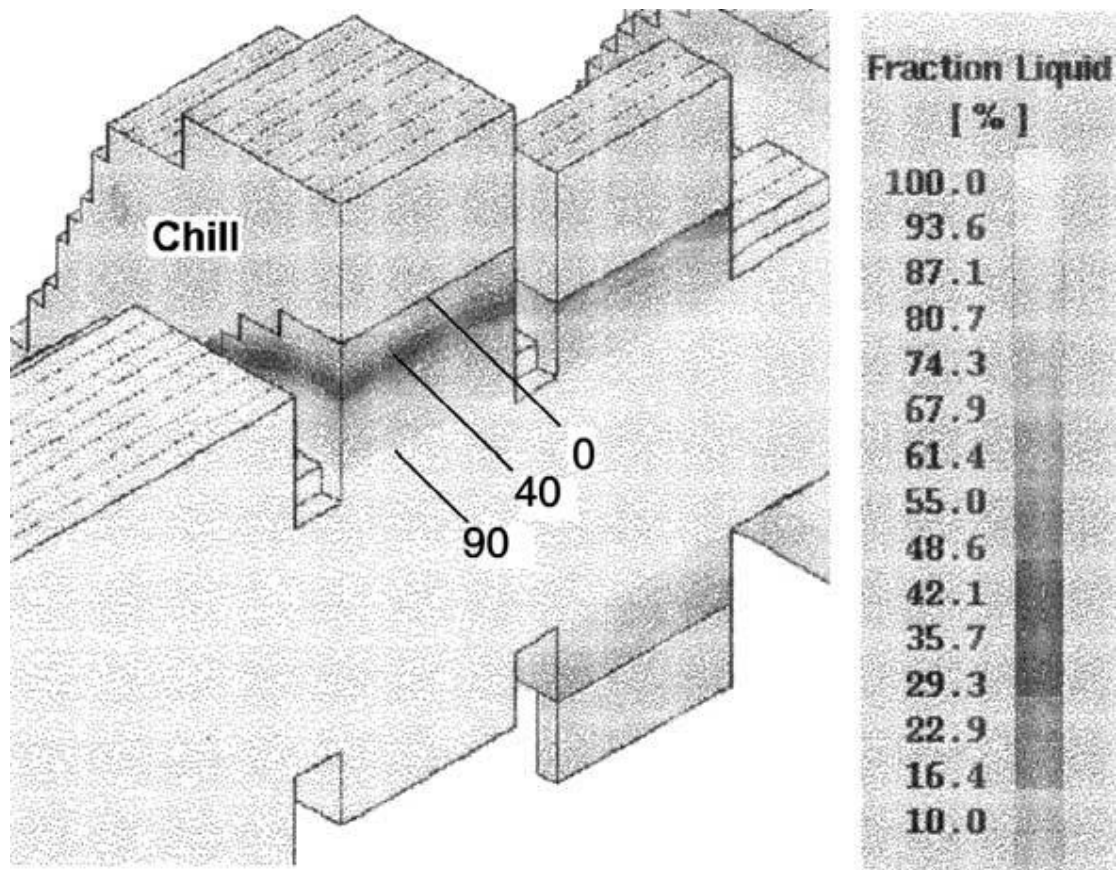
Εικο. 5. πλέγμα FDM.



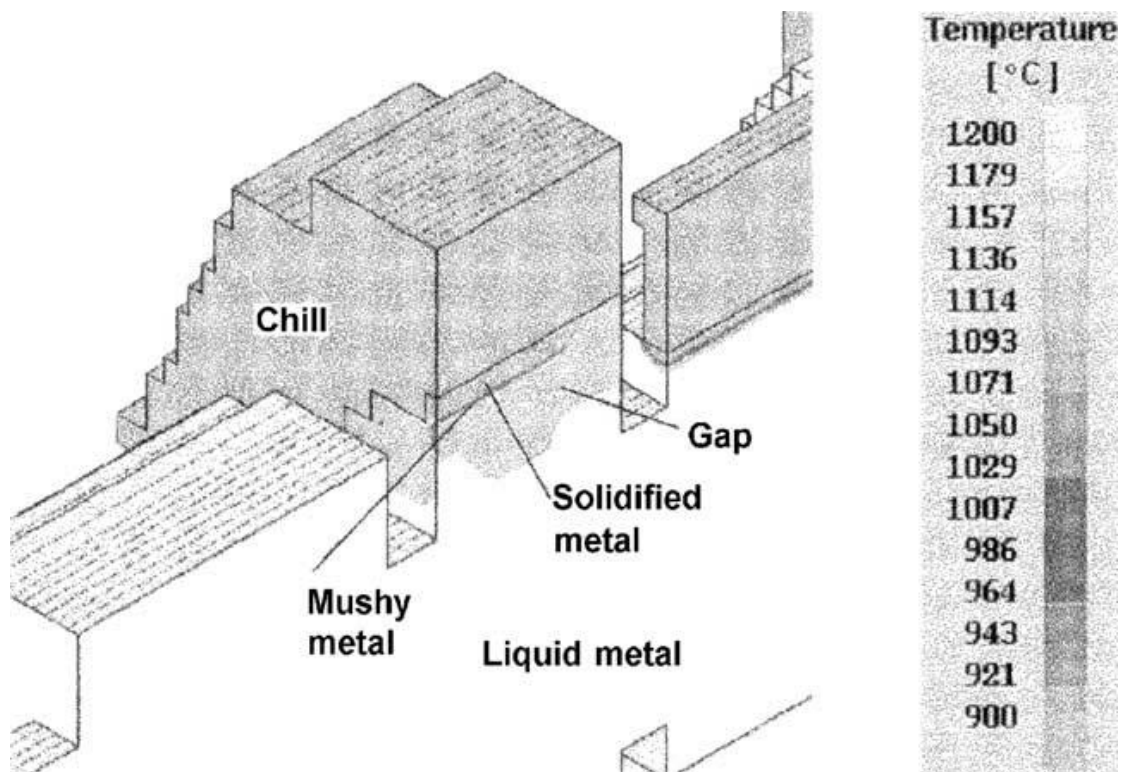
Εικό. 6. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για διαφορετικούς χρόνους πλήρωσης.



Σύκο. 7. πεδίο ταχυτήτων στο 53%.



Εικο. 8. Το κλάσμα της υγρής φάσης.



Εικο. 9. Δημιουργία του χάσματος.

## 5. Συμπεράσματα διαδικασίας

Της B-line τα ελαττώματα συμβαίνουν πιο εύκολα όταν μια ψυχρή επιφάνεια είναι σε ανώτερο τμήμα του καλουπιού σε σχέση με τη θέση που εισάγεται το χυτό. Υπό αυτές τις συνθήκες, το πιο κοντινό έκκεντρο είναι το σύστημα πύλης, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα του σχηματισμού B-line. Στην ιδανική περίπτωση, για την εξάλειψη των B-line, όλα τα ρίγη πρέπει να βρίσκονται στο κάτω μέρος του καλουπιού. Επειδή στην περίπτωση των εκκεντροφόρων αυτό δεν είναι δυνατό, τα προς τα πάνω ρίγη πρέπει τουλάχιστον να βρίσκονται μακριά από το σύστημα πύλης. Ο κυματισμός του υγρού μετάλλου μέσα στο καλούπι είναι ο κύριος λόγος για το σχηματισμό των ρωγμών B-line σε έκκεντρα. Για να μειώσετε αυτό το αποτέλεσμα, η ροή του μετάλλου στο καλούπι πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερη και σταθερή.

## Επεξήγηση-Διαδικασία Πειράματος

Η πειραματική διαδικασία άρχισε παραλαμβάνοντας τον εκκεντροφόρο, που στο εξής θα αναφέρεται ως δοκίμιο, τον οποίο των αποτυπώσαμε σε ψηφιακές φωτογραφίες.

Αρχικά παρατηρούμε ότι το δοκίμιο έχει υποστεί θραύσεις σε τρία σημεία, και αποτελείται από 4 κομμάτια χωρίς το γρανάζι που εφαρμόζει στην αρχή και του ασκεί τη περιστροφική δύναμη. Οι φθορές που παρατηρούνται είναι μηχανική καταπόνηση που πιθανώς δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Δεν παρατηρείτε κάποια βίαια κρούση που να χρήζει μελέτης εκτός από κάποια σημεία όπως στο 6<sup>ο</sup> & 7<sup>ο</sup> αμύδαλο τα οποία πιθανώς να προκληθήκαν κατά την εξαγωγή του από το κινητήρα ή κατά τη μεταφορά του. Στα σημεία θραύσης υπάρχει έντονα το φαινόμενο της λείανσης μεταξύ των επαπτόμενων πλευρών λόγω της περιστροφής του δοκιμίου αφού υπέστη τη θραύση. Το γρανάζι που μεταφέρει τη περιστροφική δύναμη από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο, μέσω ιμάντα, έχει υποστεί θραύση στο σημείο που εφαρμόζει με το δοκίμιο. Το σημείο της θραύσης είναι ένα κομμάτι που έχει σχήμα τριγώνου και εφάπτεται με την εσοχή που υπάρχει στο πρώτο κομμάτι του εκκεντροφόρου, το γρανάζι έχει σφιχτή συναρμογή με το δοκίμιο μέσω μιας βίδας. Το τριγωνικό κομμάτι δεν μας παραδόθηκε, όμως από ότι γίνεται κατανοητό η θραύση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια λειτουργίας γιατί παρατηρείται και εκδορά στην εσοχή του εκκεντροφόρου που εφάρμοζε.

Παρακάτω παραθέτονται εικόνες των θραύσεων που έχει υποστεί το δοκίμιο.



1.Ολόκληρο το δοκίμιο με τα σημεία θραύσης.



2.Κομμάτι 1° (αριστερή πλευρά)



3.Κομμάτι 2° (δεξιά πλευρά)



4.Κομμάτι 2° (αριστερή πλευρά)



5. Κομμάτι 3° (δεξιά πλευρά)



6. Κομμάτι 3° (αριστερή πλευρά)





7.Κομμάτι 4° (δεξιά πλευρά)

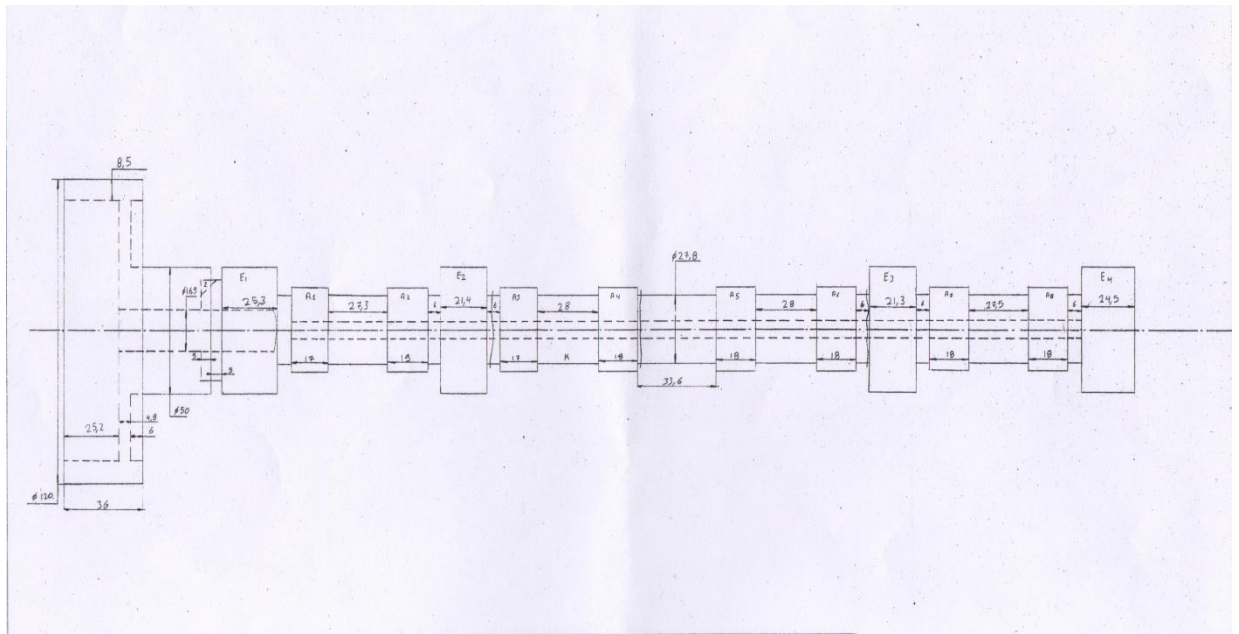


8.Γρανάζι

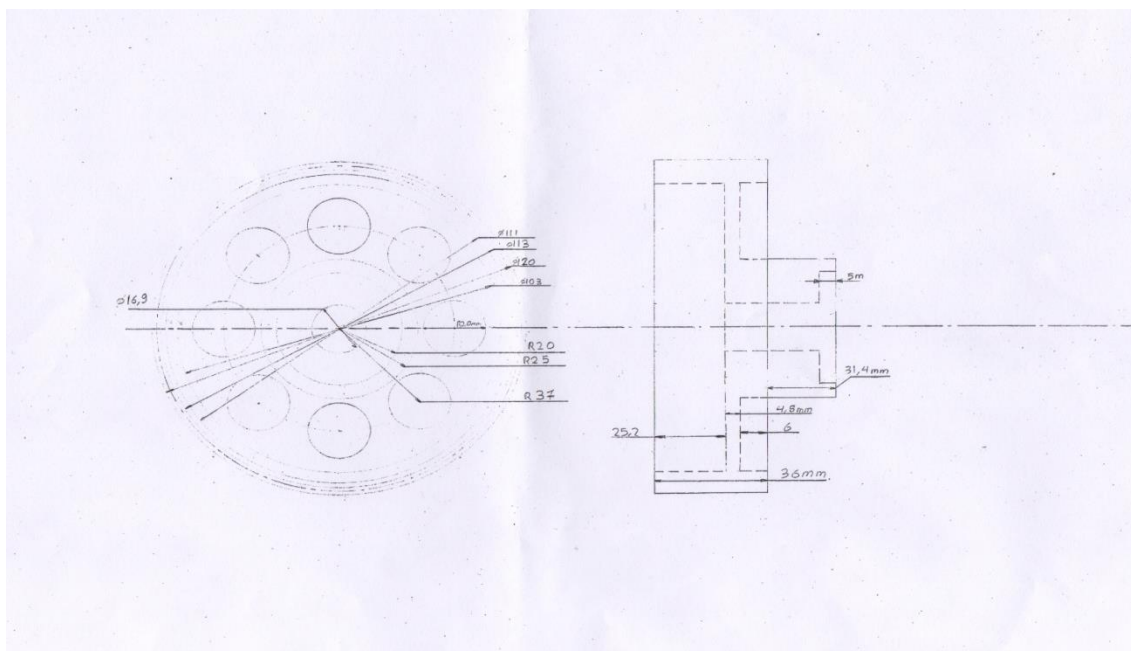
## Μέτρηση Διαστάσεων Δοκιμίου

Ολόκληρο το δοκίμιο μετρήθηκε με παχύμετρο για να σχεδιαστεί σε μηχανολογικό σχέδιο. Το σχέδιο δημιουργήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του μηχανολογικού σχεδίου, οι διαστάσεις είναι σε χιλιοστά και η κλίμακα 1:1.

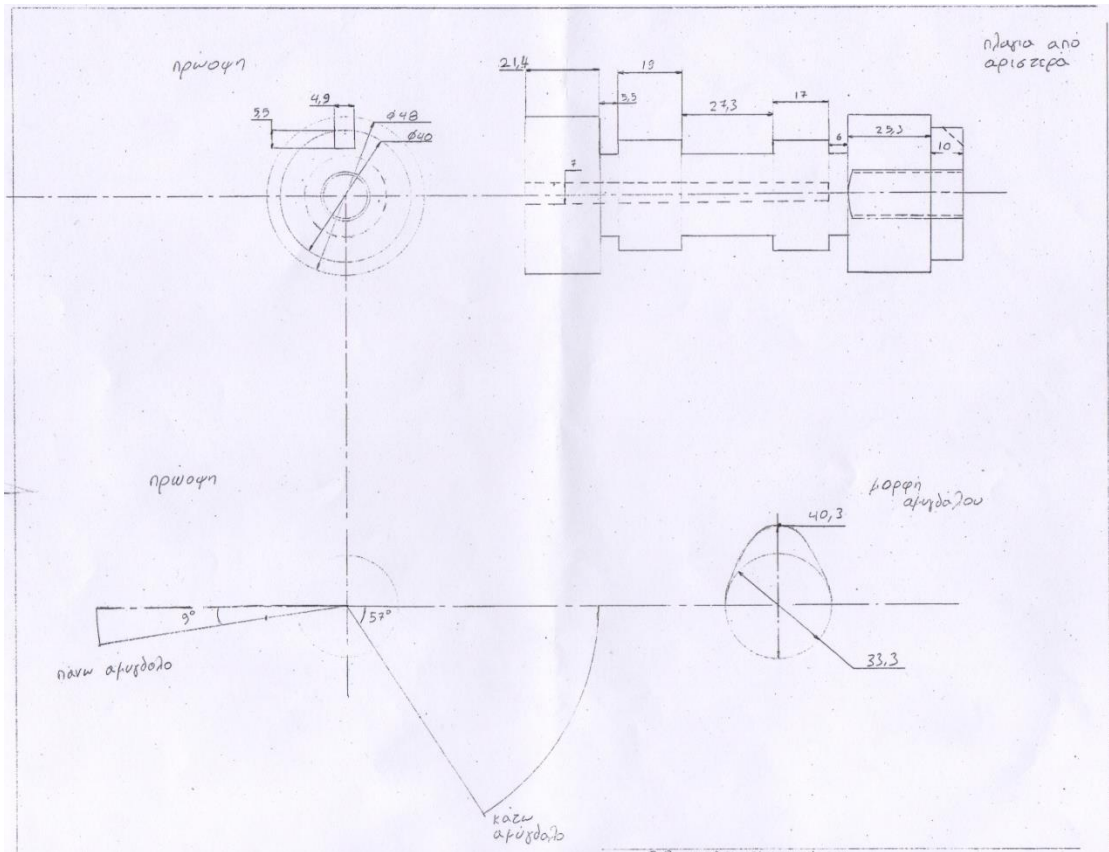
Ακολουθούν φωτογραφίες του μηχανολογικού σχεδίου του δοκιμίου.



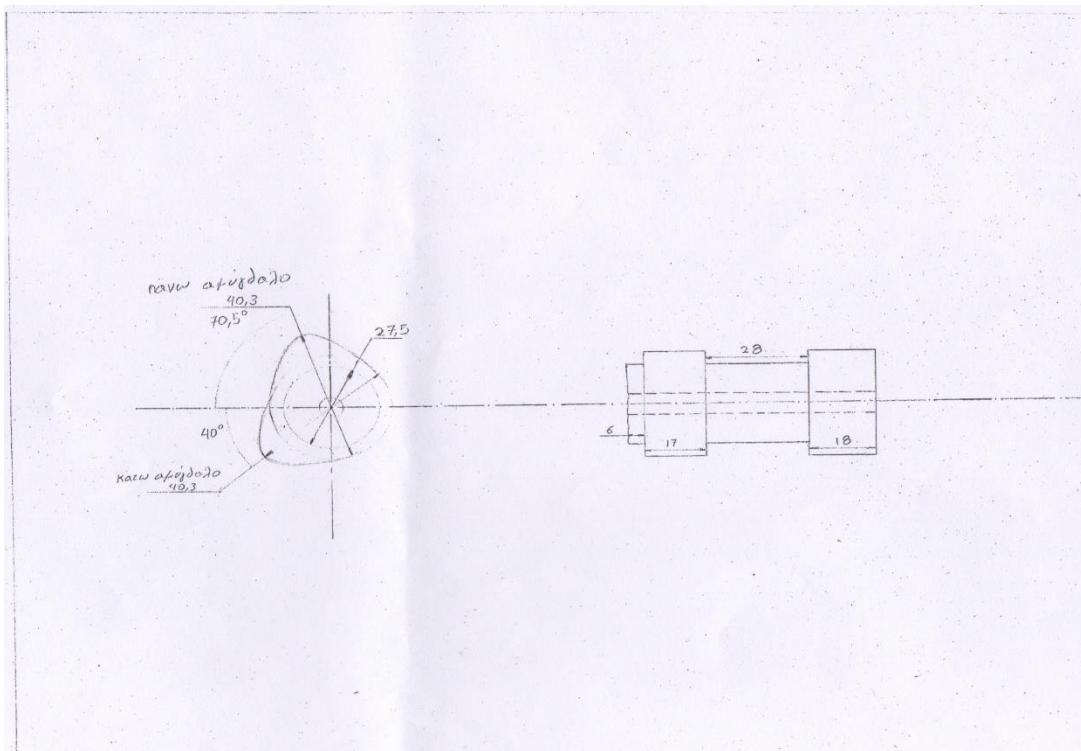
### 1. Ολόκληρο το δοκίμιο



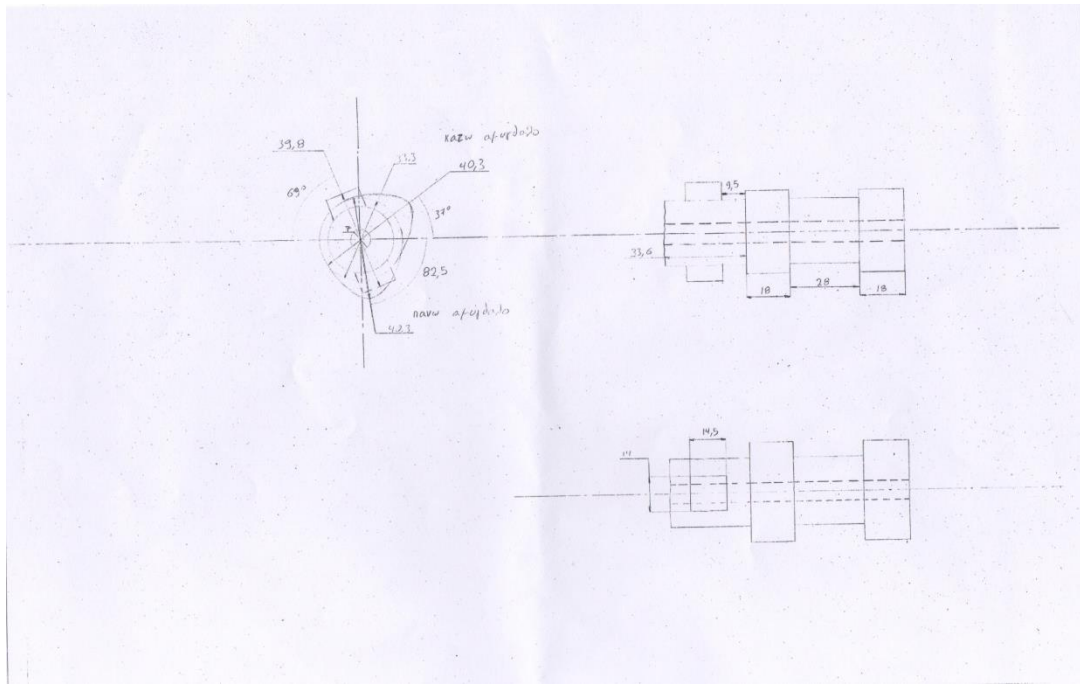
### 2. Το γρανάτζι



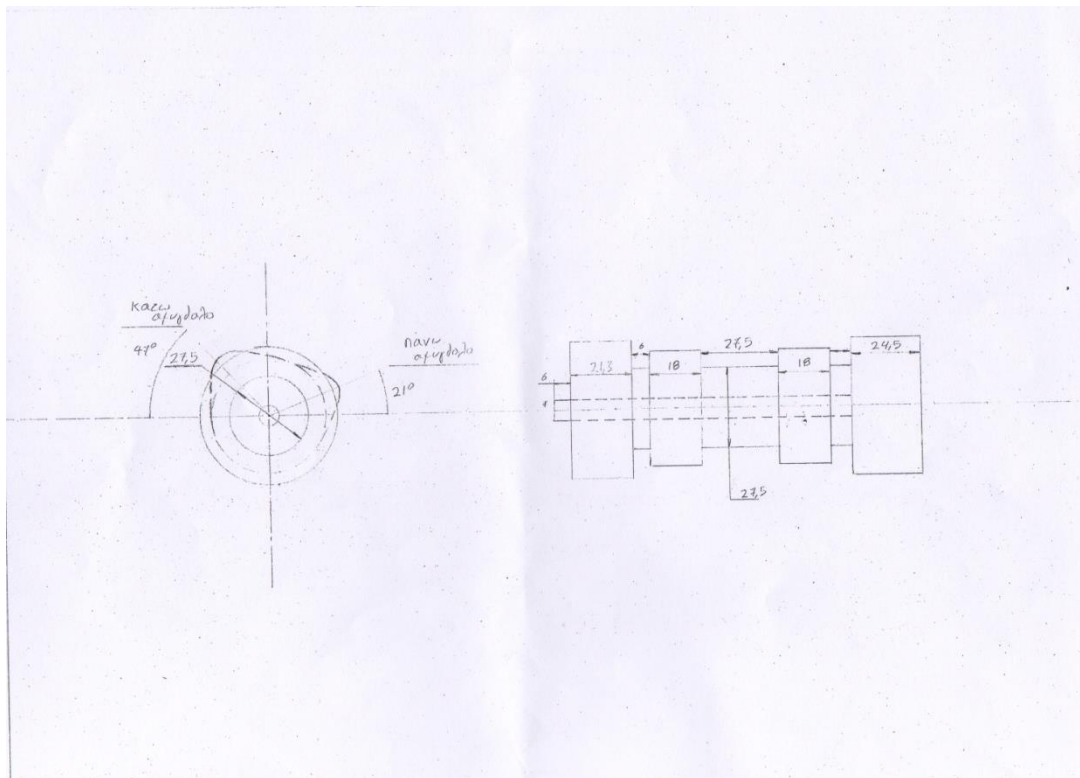
### 3. Το 1<sup>ο</sup> κομμάτι



### 4. Το 2<sup>ο</sup> κομμάτι



5. Το 3<sup>ο</sup> κομμάτι

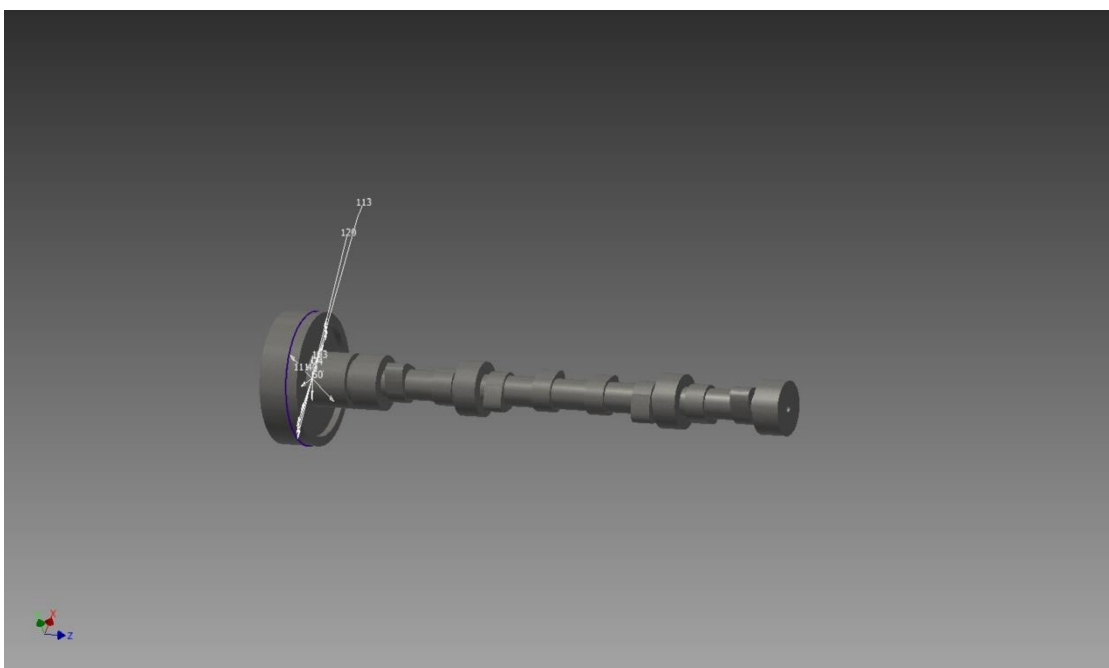
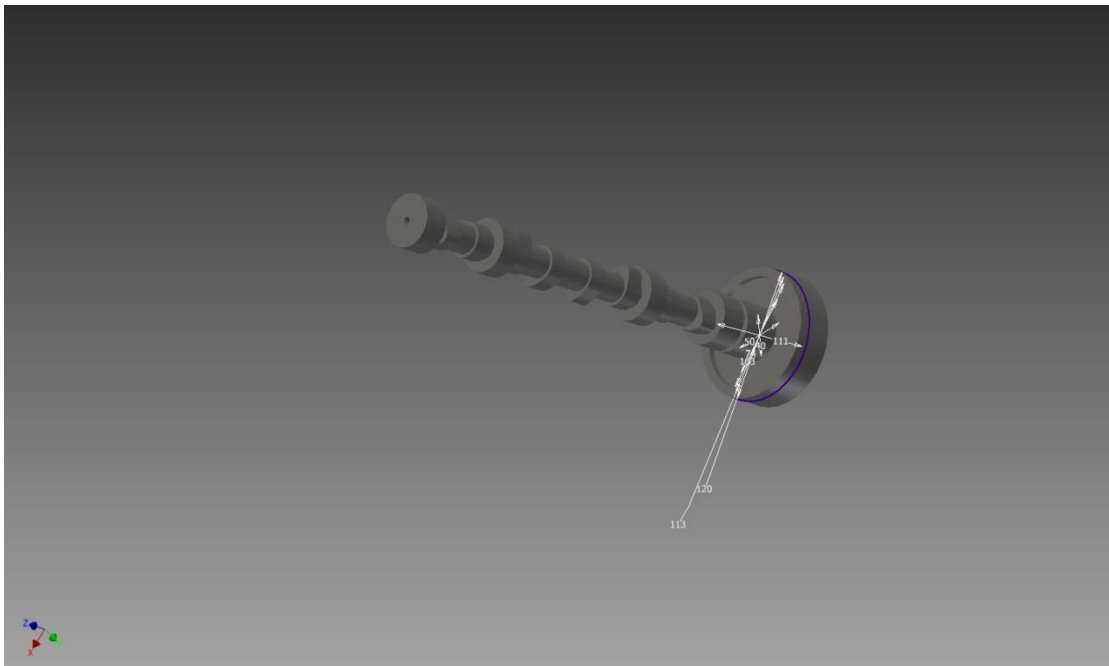


6. Το 4<sup>ο</sup> κομμάτι

## Σχεδίαση δοκιμίου σε σχεδιαστικό πρόγραμμα Η/Υ

Για τη σχεδίαση του δοκιμίου χρησιμοποιούμε το Inventor Professional 2014 της Autodesk. Η σχεδίαση στο πρόγραμμα γίνεται αρχικά σε 2 διαστάσεις (πλάτος και ύψος) δημιουργώντας την περίμετρο του γεωμετρικού σχήματος και ύστερα προσδιορίζεται και η τρίτη διάσταση που είναι το μήκος. Όπως σχεδιάστηκε το δοκίμιο με το μηχανολογικό σχέδιο έτσι διαμορφώθηκε και στο πρόγραμμα σχεδίασης με αποτέλεσμα να έχουμε ψηφιοποιήσει το δοκίμιο.

Παραθέτονται φωτογραφίες από το ψηφιακό μοντέλο του δοκιμίου.





Αρχικά σχεδιάστηκε το γρανάζι που ασκεί την περιστροφική κίνηση στον εκκεντροφόρο και στη συνέχεια το υπόλοιπο δοκίμιο σύμφωνα με το μηχανολογικό σχέδιο. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα είναι το sketch 2D, η 'extrude', η 'hole'. Η σχεδίαση των αμυγδάλων έγινε φτιάχνοντας σημεία σε ίση απόσταση μεταξύ τους και ανεβαίνοντας προς τη κορυφή, δηλαδή μετρήθηκαν οι αποστάσεις εκατέρωθεν του κάθε αμυγδάλου και σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα.

### **Επεξήγηση Προγράμματος Πεπερασμένων Στοιχείων**

Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων υπολογιστικής ανάλυσης των τάσεων σε εκκεντροφόρο άξονα μετά οδοντωτού τροχού (γρανάζι) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος (δηλ. μέθοδος υπολογισμού με χρήση H/Y) για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων.

Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, υπήρχε η ανάγκη να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι.

Μία τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό όμως το μειονέκτημα ξεπεράστηκε τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών. Η επιτυχία αυτής της μεθόδου ήταν τόσο μεγάλη, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στην έρευνα και στην βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διάφορων κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία εξέλιξη των μητρικών μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων και έγινε από διάφορους σπουδαίους επιστήμονες όπως ο Ιωάννης Αργύρης, ο Ρέι Κλαφ, ο Βάλτερ Ριτζ, ο Μπόρις Γκαλέρκιν και άλλοι.

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

1. Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
2. Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται preprocessor.
3. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
4. Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται postprocessor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα

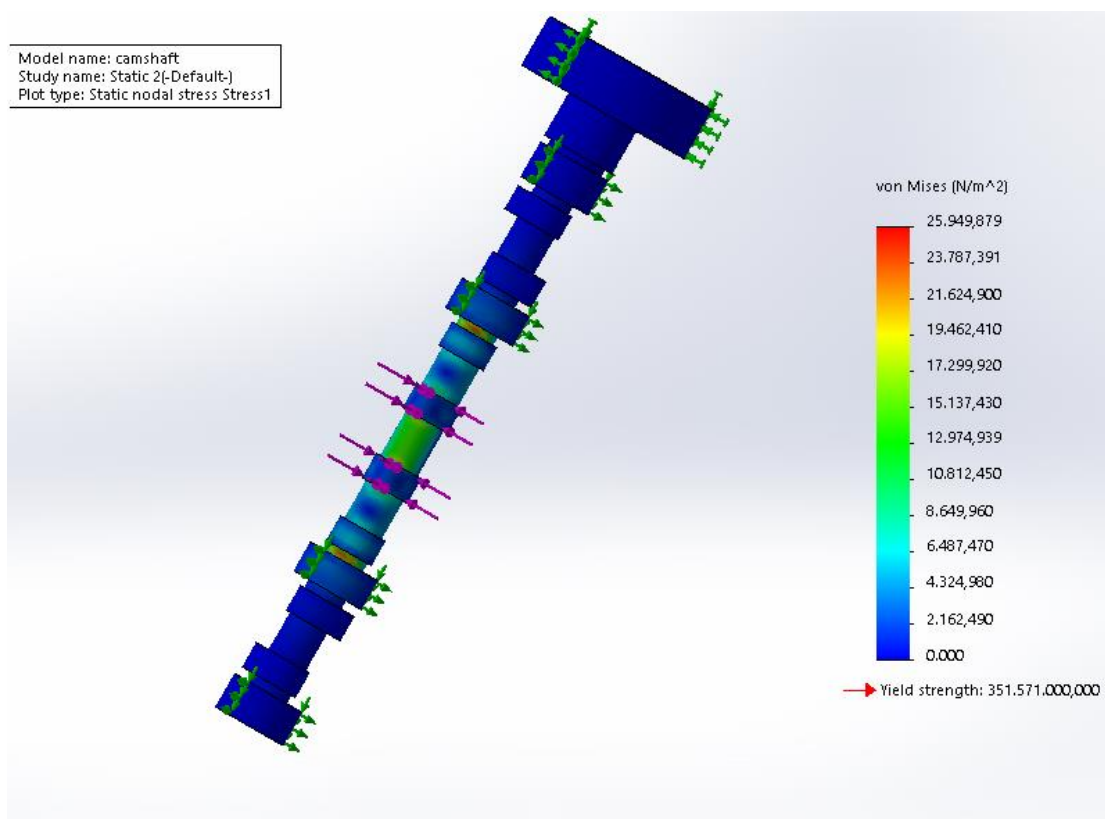
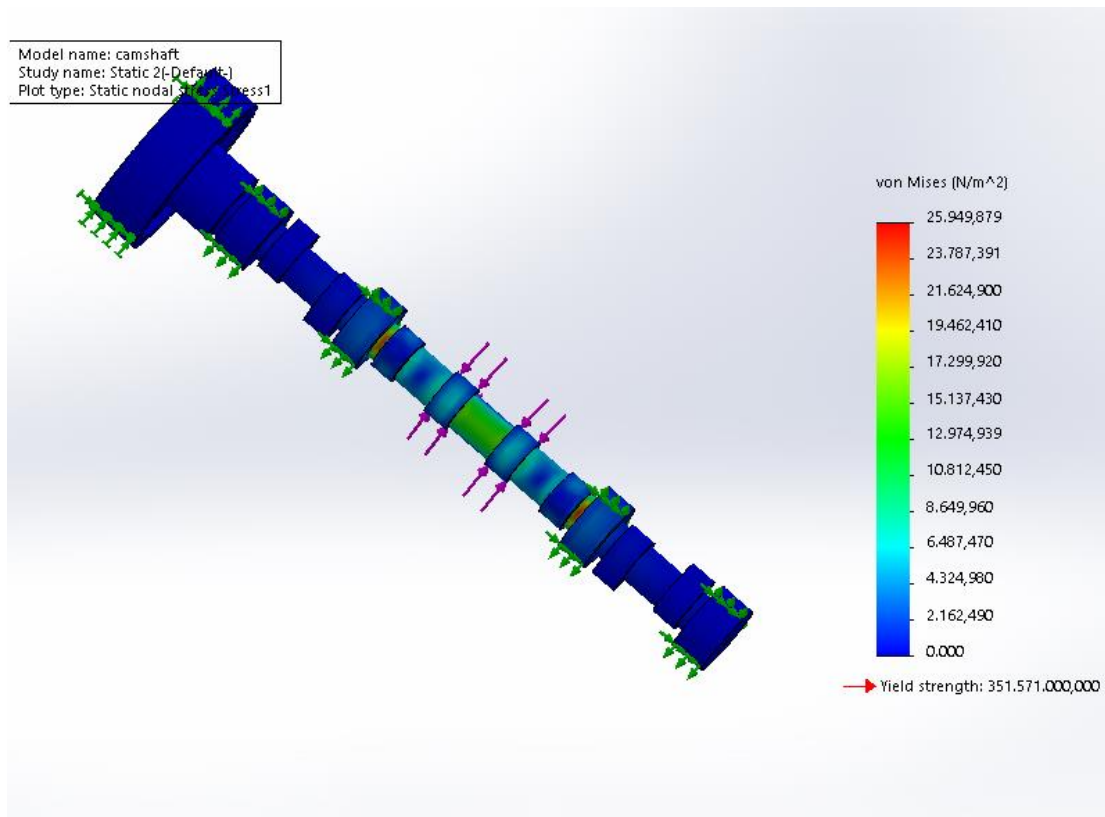
### **Εφαρμογή του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων**

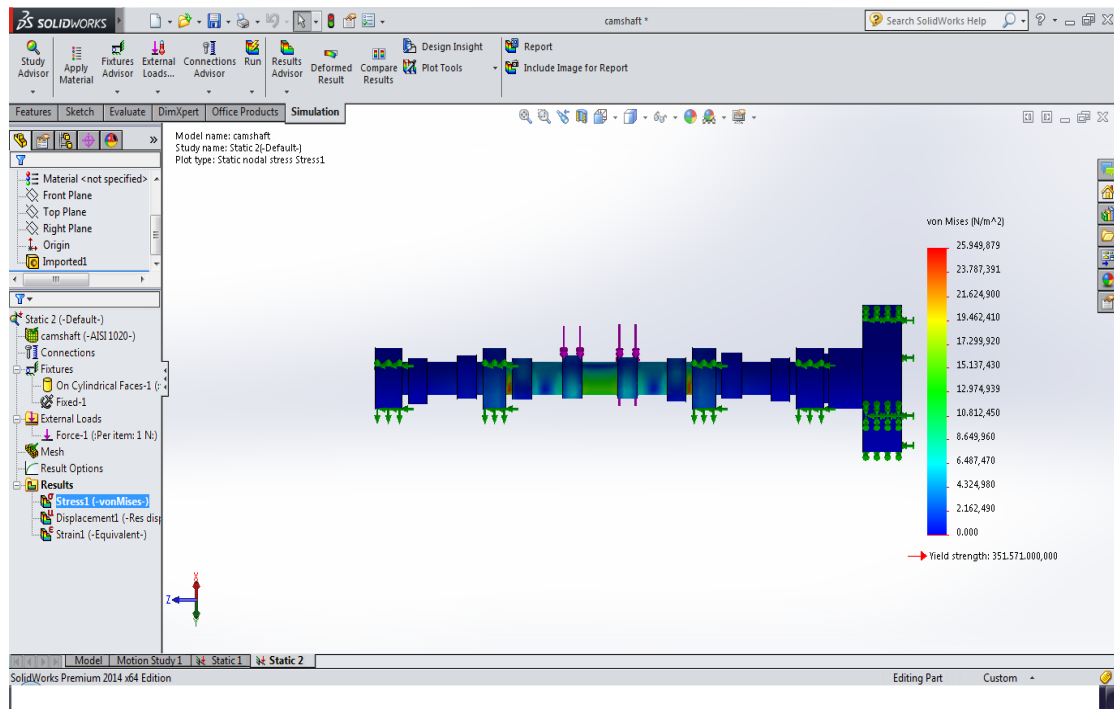
Αφού σχεδιάστηκε το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εισάγαμε το αρχείο CAD πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Solidworks σε αυτό αφού προσθέσαμε τις παραμέτρους όπως το μέτρο ελαστικότητας και το υλικό που είναι κατασκευασμένο το δοκίμιο πραγματοποιήσαμε ποικιλία συνδυασμών όσον αναφορά τη κύλιση (στήριξη) στα κουζινέτα και την άσκηση ροπής (δύναμη) στο γρανάζι, για τη περιστροφή. Στο πρόγραμμα υπάρχει η επιλογή External Loades όπου ρυθμίζουμε τη παράμετρο Torque και επιλέγουμε την επιφάνεια και σε ποιόν άξονα θα ασκείται η ροπή. Αφού πατήσουμε την εντολή Run δημιουργείτε το γράφημα με τις τάσεις, στο πρόγραμμα αναφέρεται ως 'Mesh'.

Αφού υπολογίσαμε όλες τις παραμέτρους πραγματοποιήσαμε τα διάφορα σενάρια που μπορεί να είχαν συμβεί όταν ο εκκεντροφόρος βρισκόταν στο κινητήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας.



Παρακάτω παραθέτουμε τα σενάρια που πραγματοποιήσαμε, σε φωτογραφίες από το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.



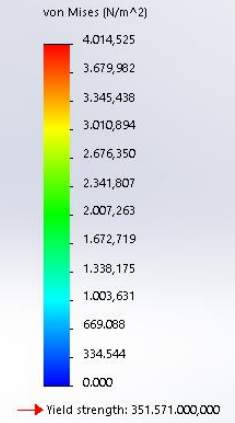
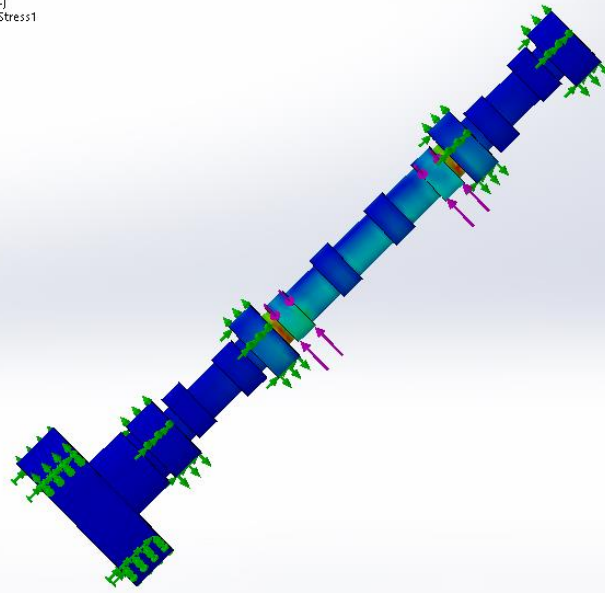


Στις προηγούμενες 3 φωτογραφίες ασκείται κάθετη δύναμη στο  $4^{\circ}$  και  $5^{\circ}$  αμύγδαλο του εκκεντροφόρου άξονα, έχει ρυθμιστεί στα τέσσερα κουζινετα ολίσθηση με ένα βαθμό ελευθερίας και στο γρανάτζι ασκείται ροπή για τη προσομοίωση της περιστροφής. Η κάθετη δύναμη που ασκείται στα έκκεντρα είναι της τάξεως των 10KN. Στο διάγραμμα τάσεων που δημιουργείται, παρατηρούμε μεγάλη συσσώρευση τάσεων μετά το δεύτερο κουζινέτο και πριν το τρίτο κουζινέτο

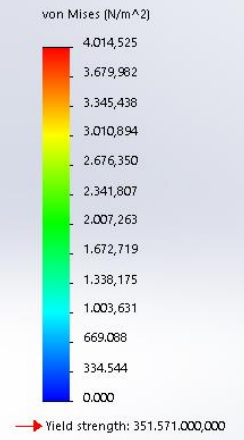
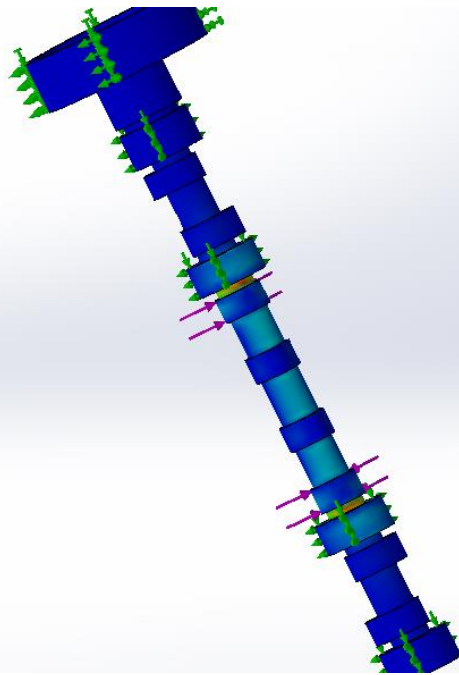
Σε αυτό το ποσοτικό διάγραμμα με αυτή τη δοκιμή που εφαρμόστηκε, επαληθεύονται οι 2 από τις 4 θραύσεις που έχει υποστεί το δοκίμιο.

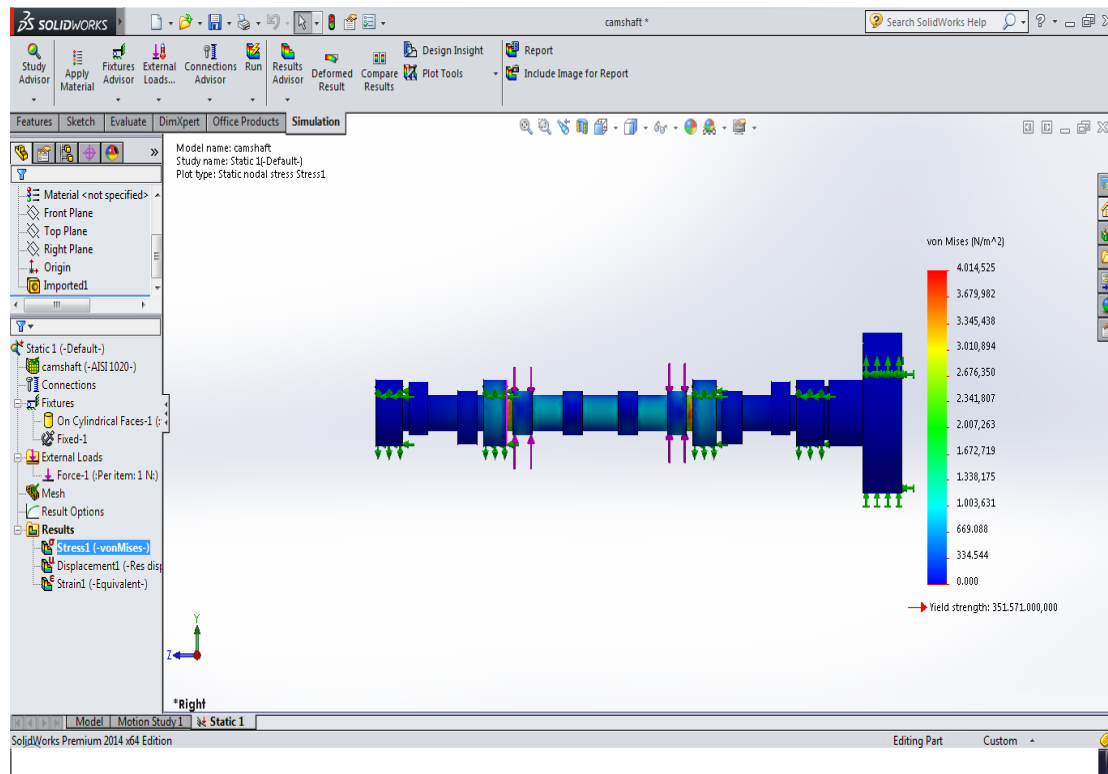
Είναι ένα στιγμιαίο πραγματικό ενδεχόμενο που συμβαίνει στον εκκεντροφόρο όταν η βαλβίδα εξαγωγής του κυλίνδρου 3 βρίσκεται βυθισμένη στο κατώτατο σημείο της και η βαλβίδα εισαγωγής του κυλίνδρου 2 βρίσκεται και αυτή βυθισμένη στο κατώτατο σημείο της τότε οι τάσεις μεγιστοποιούνται.

Model name: camshaft  
Study name: Static 1(-Default-)  
Plot type: Static nodal stress Stress1



Model name: camshaft  
Study name: Static 1(-Default-)  
Plot type: Static nodal stress Stress1





Στις προηγούμενες 3 φωτογραφίες ασκείται κάθετη δύναμη στο 3<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup> αμύγαλο του εκκεντροφόρου άξονα, έχει ρυθμιστεί στα τέσσερα κουζινέτα ολίσθηση με βαθμό ελευθερίας ένα και στο γρανάτζι ασκείται ροπή για τη προσομοίωση της περιστροφής. Η κάθετη δύναμη που ασκείται στα έκκεντρα είναι της τάξεως των 10KN. Στο διάγραμμα τάσεων που δημιουργείται, παρατηρούμε μεγάλη συσσώρευση τάσεων μετά το δεύτερο κουζινέτο και πριν το τρίτο κουζινέτο

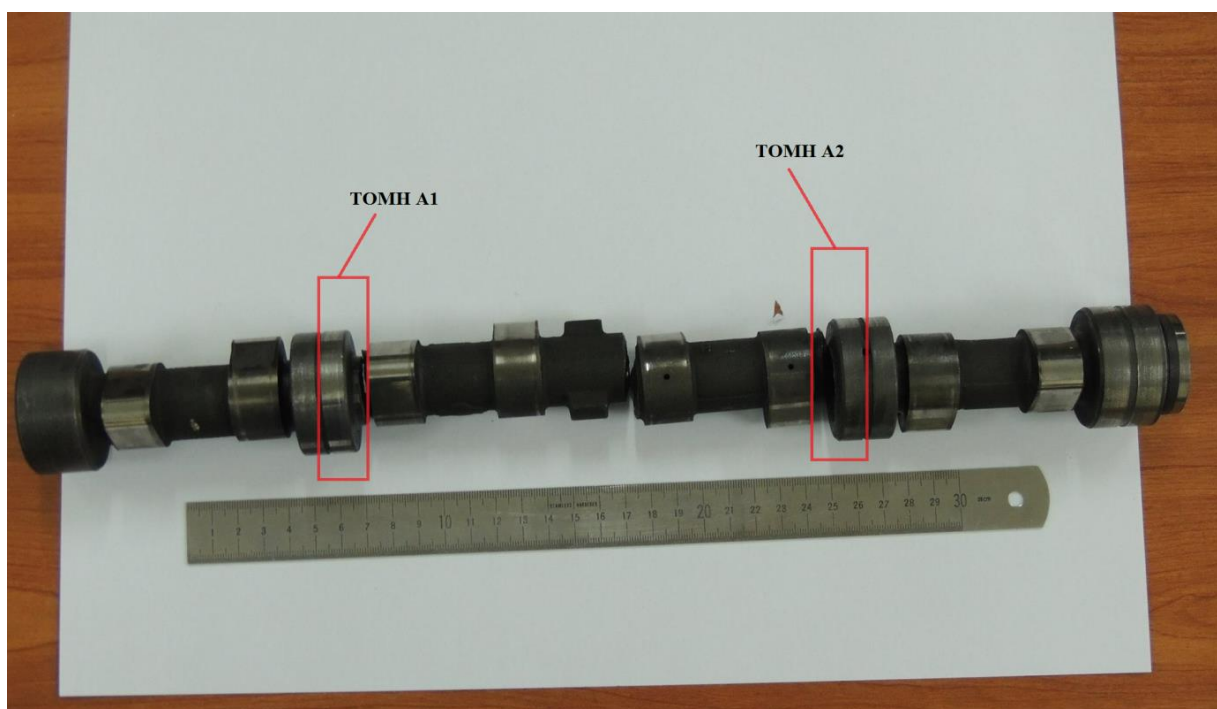
Σε αυτό το ποσοτικό διάγραμμα με αυτή τη δοκιμή που εφαρμόστηκε, επαληθεύονται οι 2 από τις 4 θραύσεις που έχει υποστεί το δοκίμιο.

Είναι ένα στιγμιαίο πραγματικό ενδεχόμενο που συμβαίνει στον εκκεντροφόρο όταν η βαλβίδα του κυλίνδρου 3ου βρίσκεται βυθισμένη στο κατώτατο σημείο της και η βαλβίδα του κυλίνδρου 2ου βρίσκεται και αυτή βυθισμένη στο κατώτατο σημείο της τότε οι τάσεις μεγιστοποιούνται.

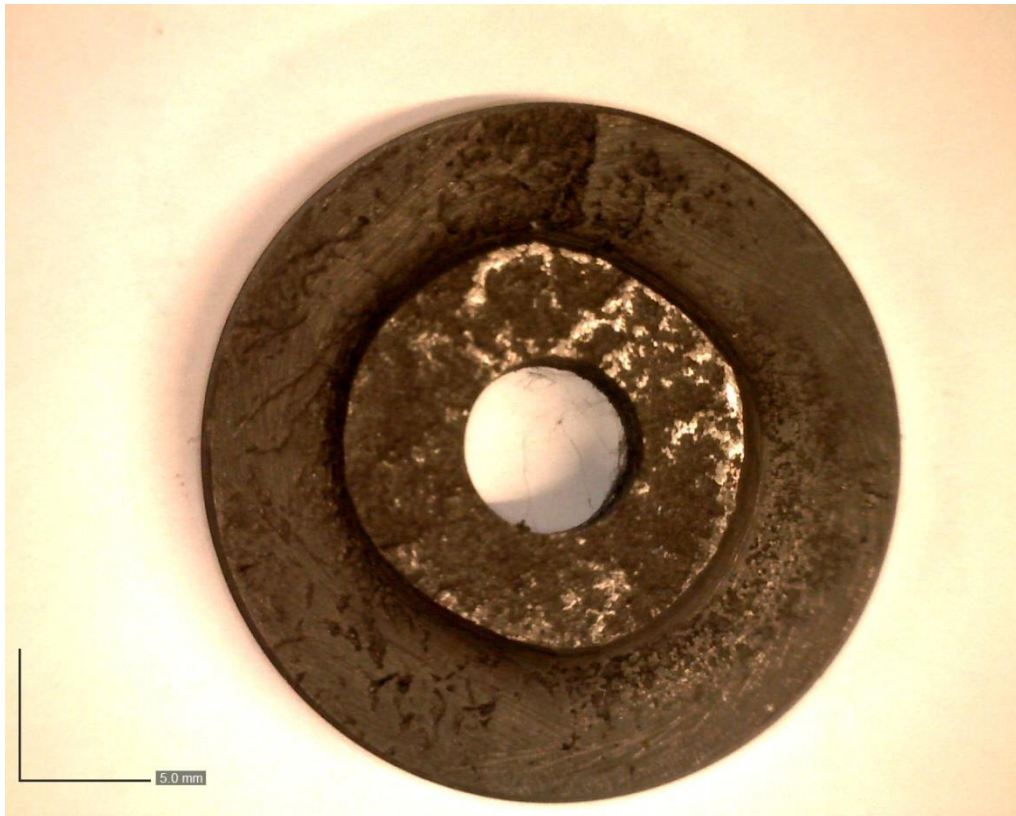


## Μελέτη Θραυστογραφίας Στα Σημεία Θραύσης

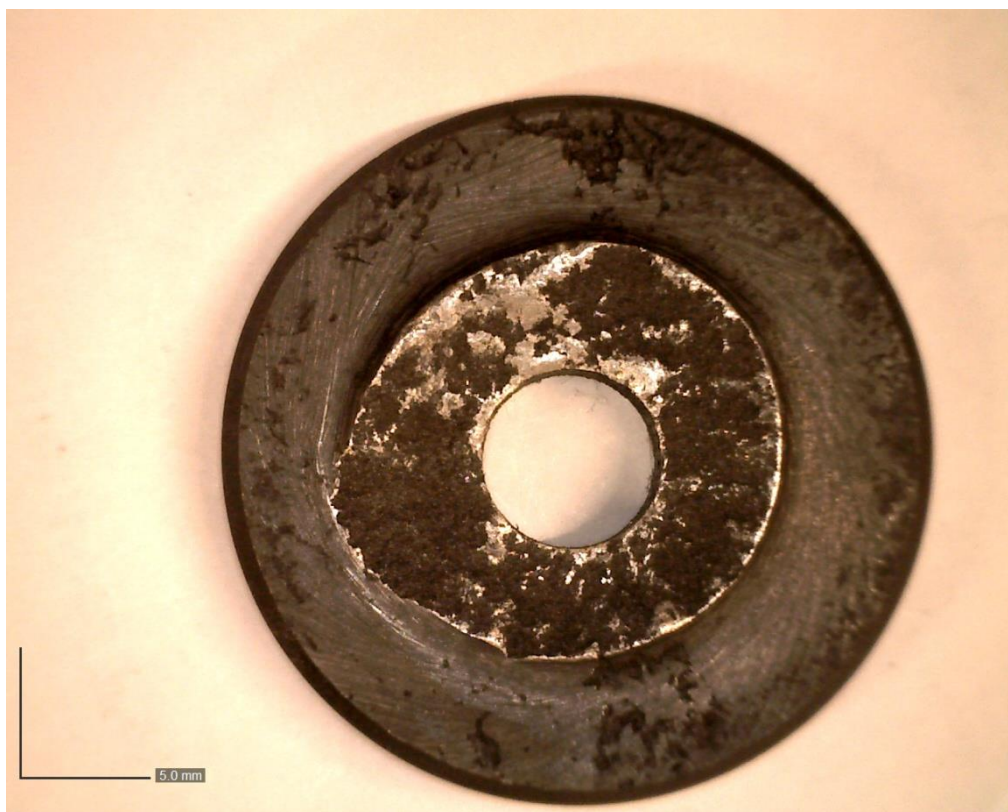
Έπειτα για να μελετήσουμε τις επιφάνειες θραύσης του χάλυβα που είναι κατασκευασμένος ο εκκεντροφόρος έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο δείγμα από αυτόν, περιφερειακά από τα σημεία που είχε σπάσει. Όπως φαίνεται παρακάτω από τις φωτογραφίες επιλέχτηκαν δύο δείγματα από τα δύο μεσαία κουζινέτα για τη μελέτη.



Ακολουθούν φωτογραφίες πριν από το χημικό καθαρισμό.



Εικ.1 (κομμάτι Α1)



Εικ.2 (κομμάτι Α2)

### Επεξήγηση διαδικασίας της θραυστογραφίας

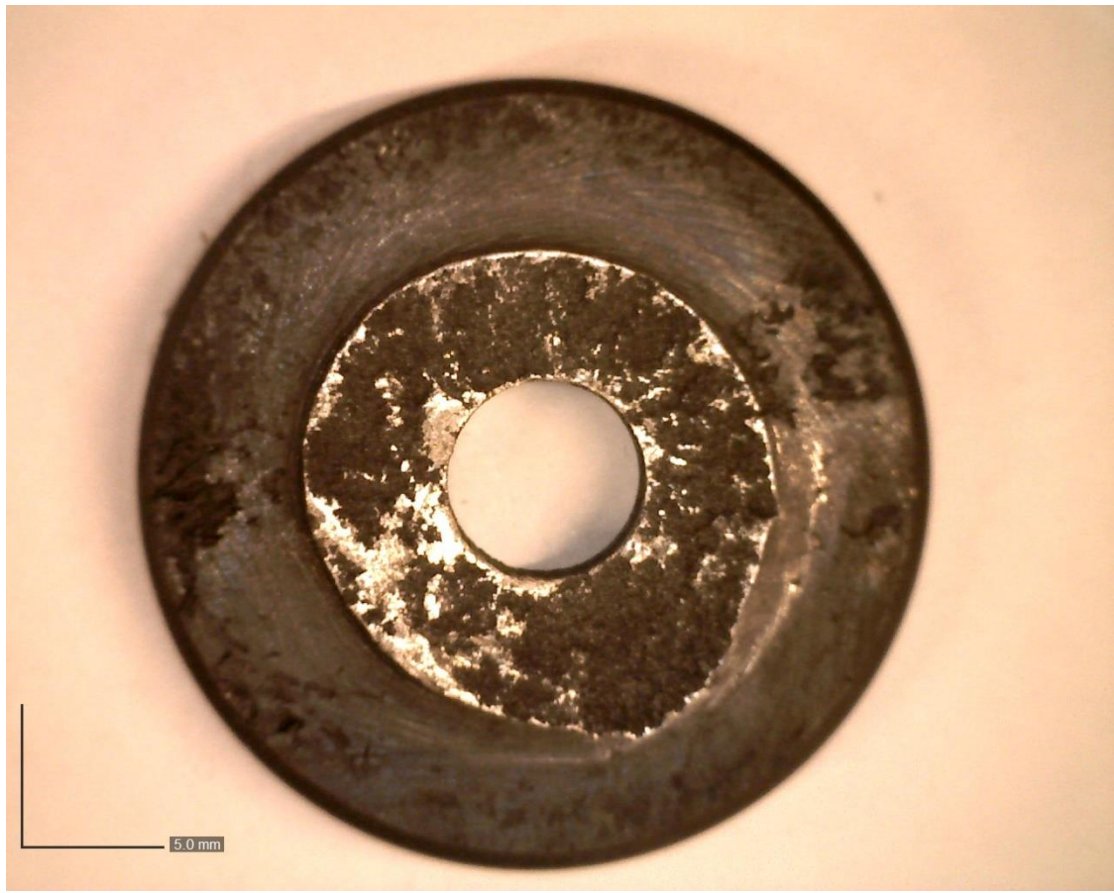
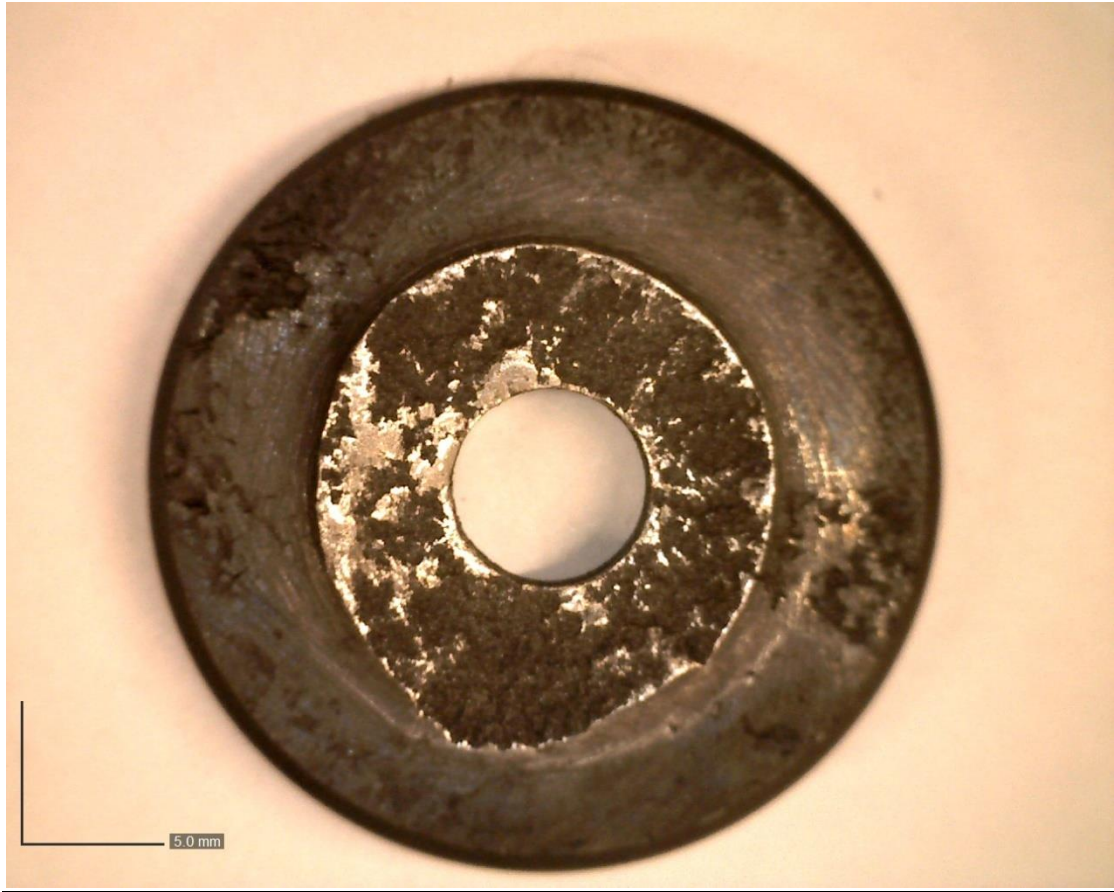
Κατά τη διαδικασία της θραυστογραφίας αρχικά αποτυπώθηκαν φωτογραφίες στην κατάσταση που παραλάβαμε το δοκίμιο, έπειτα για να έχουμε καλύτερο αποτέλεσμα, από τη μελέτη, εφαρμόσαμε μια ήπια μορφή χημικού καθαρισμού που περιελάμβανε Νιτάλ 3% με το οποίο καθαρίσαμε την επιφάνεια θραύσης μέσω ειδικού τριχοειδούς εργαλείου και στη συνέχεια εφαρμόσαμε μεθανόλη. Η μεθανόλη χρησιμοποιείται για να μην 'μαυρίσει' το δοκίμιο. Το μικροσκόπιο με το οποίο αποτυπώθηκαν οι φωτογραφίες της θραυστογραφίας είναι το Dinolite Pro Premier-AM41123 T (Digital Microscope)

### Ανάλυση θραυστογραφίας

Οι φωτογραφίες που ακολουθούν αντιστοιχούν στις επιφάνειες θραύσης των περιοχών του εκκεντροφόρου άξονα.







Στις παραπάνω φωτογραφίες απεικονίζονται οι επιφάνειες θραύσης, ακριβώς δίπλα σε διατομές που αντιστοιχούν στα 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> κουζινέτα, στις οποίες είναι εμφανής η έντονη πλαστική παραμόρφωση κατά τη θραύση τους (μικρός δακτύλιος) ενώ στον εξωτερικό δακτύλιο εμφανίζονται περιοχές έντονης φθοράς.

Στον εσωτερικό δακτύλιο των παρακάτω φωτογραφιών





Εμφανίζονται καθαρά περιοχές έντονης πλαστικής παραμόρφωσης χωρίς εμφανή επίπεδα κόπωσης γεγονός που δικαιολογείται και από το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τα αποτελέσματα της θραυστογραφίας και του προγράμματος των πεπερασμένων στοιχείων στο οποίο εφαρμόζοντας δύο πιθανά ποιοτικά σενάρια, μας επαλήθευσε 2 πραγματικές θραύσεις που έχει υποστεί ο εκκεντροφόρος άξονας. Σε αυτό που καταλήγουμε βάση τη μελέτη είναι ότι το δοκίμιο δεν έπαθε τις θραύσεις από είδος κόπωσης αφού δεν εμφανίζεται πουθενά το φαινόμενο αυτό. Αποδεικνύεται και από τις φωτογραφίες της θραυστογραφίας που δεν εμφανίζεται πουθενά κόπωση του υλικού αλλά και από την επεξεργασία του δοκιμίου στον Η/Υ.

## **Βιβλιογραφία**

[https://el.wikipedia.org/wiki/Μέθοδος\\_πεπερασμένων\\_στοιχείων](https://el.wikipedia.org/wiki/Μέθοδος_πεπερασμένων_στοιχείων)

[https://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανή\\_εσωτερικής\\_καύσης](https://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανή_εσωτερικής_καύσης)

Πεχλιβάνογλου Γιώργος Βιβλίο δημοσιευμένο στο διαδίκτυο: Μηχανές Εσωτερικής Καύσης  
(<http://demo.openeclass.org/modules/document/file.php/DEMO>)

Αγερίδης Γεώργιος, Καραμπιάς Πέτρος, Ρώσσης Κυριάκος (Αθήνα 2001) Βιβλίο : Μηχανές εσωτερικής καύσης 1(Α΄ Τεύχος)  
(<http://meklab.teipir.gr/wordpress/wp-content/docs/Mixanes-Esoterikis-Kaysis1.pdf>)

Καραπάνος Χαράλαμπος, Κοτσιλιέρης Ανάργυρος, Κουντουράς Λίνος (Αθήνα 2001) Βιβλίο: Μηχανές Εσωτερικής Καύσης 2(Α΄ Τεύχος)

Βασίλης Σαμαράς, Νίκος Σκοταράς Βιβλίο : Τεχνολογία Υλικών Αυτοκινήτου (<http://meklab.teipir.gr/wordpress/wp-content/docs/Texnologia-Ylikon-Autokinitou.pdf>)

Αλεξάνδρου Δημήτριος, Γιάννος Γεώργιος, Καπετανάκης Γεώργιος Βιβλίο: Συστήματα Αυτοκινήτου 2 (<http://meklab.teipir.gr/wordpress/wp-content/docs/Sustimata-Autokinitou2.pdf>)

Περικλής Γ. Χασιώτης (2010) Βιβλίο : Μηχανές Εσωτερικής Καύσης 2, Εκδόσεις ΙΩΝ

Νικόλαος Α. Κυριάκης (Θεσσαλονίκη 2008) Βιβλίο : Μηχανές εσωτερικής καύσης, Σοφία Α.Ε.

Κ. Δ Ρακόπουλος Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. (2009)  
Αρχές Εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσης, Εκδόσεις Γρ.Χ.Φούντας

Δόδουλας Α. Ηλίας (ΑΘΗΝΑ 2009) Μελέτη Στρεπτικών Τάσεων Στροφαλοφόρου Ατράκτου Υπερπληρωμένου Κινητήρα Diesel Σε μόνιμη Και Μεταβατική Κατάσταση Λειτουργίας, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

F. Cabanettes, J. Claret-Tournier, J. Mohlin, P.H. Nilsson, B.G. Rosen, L. Xiao(2008, 23 July), *Wear* 266 (2009) 570–57, The evolution of surface topography of injection cams

J.-B. Delbos, G. Kermouche, J. Rech, H. Hamdi, H. Zahouani , *Journal of Materials Processing Technology* 164–165 (2005) 1185–1191, Numerical modelling of fatigue crack's initiation in rolling contact of sintered steels

Yi Yang, A. Rosochowski, Xi Wang, Yuming Jiang, *Journal of Materials Processing Technology* 145 (2004) 264–267, Mechanism of “black line” formation in chilled cast iron camshafts