

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΣΕ  
ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΑΠΑΔΟΥΛΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΥ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2015**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΣΕ  
ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΑΠΑΔΟΥΛΗΣ**

**ΑΜ : 4779**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας των μηχανών εσωτερικής καύσης αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις οι οποίες καταπονούν τα υλικά των Μ.Ε.Κ. Επίσης η λειτουργία τους γίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες , στις οποίες δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν όλα τα είδη των υλικών και των μετάλλων. Στη παρούσα πτυχιακή εργασία θα παρουσιαστούν τα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένα τα μέρη των μηχανών τα οποία δέχονται την υψηλότερη θερμική καταπόνηση, όπως οι θάλαμοι καύσης, τα έμβολα, οι βαλβίδες εξαγωγής. Ακόμα θα αναλυθούν οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται τα συγκριμένα υλικά. Θα παρουσιαστούν επίσης νέα υλικά και τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία μιας πιο αξιόπιστης αλλά και περισσότερο αποδοτικής μηχανής εσωτερικής καύσης.

## **Abstract**

During the operation of internal combustion engines considerable forces are developed which stress the materials from which they are manufactured. Additionally, all kinds of materials and metals cannot withstand the extremely high temperatures at which the internal combustion engines normally operate. Therefore, the present dissertation has been written with a view to presenting the materials used to manufacture those engine components which are subjected to the greatest thermal stresses, namely the combustion chambers, the pistons, the exhaust valves. Moreover, an analysis and explanation why the specific materials are used will be provided. Last but not least, new materials and latest technologies will be presented, since these can enable the creation of a more reliable and much more efficient internal combustion engine.

## Πρόλογος

Μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης ονομάζεται η κινητήρια θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής, εξ ου και η ονομασία της, σε αντίθεση με την ατμομηχανή, (όπου η καύση γίνεται εκτός, στο λέβητα). Οι μηχανές αυτές έχει καθιερωθεί ευρύτερα να αναφέρονται με το κεφαλαιογράμματο αρκτικόλεξο ΜΕΚ.

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή, στην οποία καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια. Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης η εκτόνωση της πίεσης των αερίων που παράγονται ασκεί δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως στα έμβολα ή στα πτερύγια.

Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών σχεδίων για τις ΜΕΚ έχουν αναπτυχθεί και κατασκευαστεί, με ποικιλία διαφορετικών πλεονεκτημάτων και αδυναμιών. Αν και υπήρξαν και εξακολουθούν να είναι πολλές οι στατικές εφαρμογές, μεγάλη χρήση των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι σε εφαρμογές και κυριαρχούν στα αυτοκίνητα, αεροσκάφη και πλοία, από το μικρότερο έως το μεγαλύτερο.

Για έναν αιώνα οι μηχανές εσωτερικής καύσης ήταν και είναι ακόμα μια από τις επιτυχέστερες συμπαγείς φορητές αυτόνομες πηγές ισχύος που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές των ανθρώπων και των εμπορευμάτων πέρα από τις σχετικά μεγάλες αποστάσεις σχετικά γρήγορα.

Έτσι για το εγγύς μέλλον είναι πολύ πιθανό ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης θα συνεχίσουν να είναι η κυρίαρχη πηγή φορητής αυτόνομης δύναμης. Δεδομένου ότι η παγκόσμια αγορά μηχανών είναι τεράστια, άξιζε \$250 δισεκατομμύρια το 2010, υπάρχει ένα μεγάλο κίνητρο για να βελτιωθεί η απόδοση και η αποδοτικότητα της μηχανής. Επίσης, όσο οι πηγές αργού πετρελαίου μειώνονται, η αποδοτικότερη χρήση αυτού του πόρου απαιτείται. Για να στηριχθεί η μηχανή εσωτερικής καύσης στη μεταφορά στο μακρινό μέλλον, τα ανανεώσιμα καύσιμα και οι νέες τεχνολογίες υλικών προσφέρουν μια πιθανή λύση.

# Κεφάλαιο 1

## Κατηγορίες μετάλλων που χρησιμοποιούνται

### 1.1. Υλικά των Μ.Ε.Κ

Η επιλογή του μετάλλου ως υλικό από το οποίο οι μηχανές θερμότητας γίνονται είναι ανεπιτυχής. Αυτό είναι επειδή τα μέταλλα είναι σχετικά υλικά χαμηλής θερμοκρασίας για τις μηχανές θερμότητας και είναι επίσης καλοί θερμικοί αγωγοί, δύο ιδιότητες που είναι καταστρεπτικές στην αποδοτική καύση.

Ιστορικά, όταν αναπτυσσόταν η μηχανή εσωτερικής καύσης, ήταν μια αναπόφευκτη επιλογή επειδή τα μέταλλα ήταν το μόνο κατάλληλο υλικό διαθέσιμο εκείνη τη στιγμή. Αναγνωρίζοντας αυτό το πρόβλημα, η ανάπτυξη των νέων υλικών για τις μηχανές ολοκληρωμένου κυκλώματος ενθαρρύνεται τώρα από την αμερικανική κυβέρνηση.

### 1.2. Πυρίμαχα μέταλλα

Με τον όρο πυρίμαχα, ή πυράντοχα μέταλλα, χαρακτηρίζεται συγκεκριμένη ομάδα πέντε μετάλλων που παρουσιάζουν υψηλή θερμική αντοχή. Βασικό σημείο προσδιορισμού τους λαμβάνεται το σημείο τήξης τους που υπερβαίνει τους 2200 βαθμούς Κελσίου, ή 4000 βαθμούς Φαρενάιτ. Τα μέταλλα αυτά είναι το νιόβιο, το μολυβδαίνιο, το ταντάλιο, το βολφράμιο και το ρήνιο, όπου στον όρο συμπεριλαμβάνονται και τα κράματα αυτών.

Μια δευτερεύουσα ομάδα πυρίμαχων μετάλλων λαμβάνοντας υπόψη χαμηλότερο σημείο προσδιορισμού τους 1850 μέχρι τους 2200 βαθμούς Κελσίου, (ή 2120 – 4.000 F), με ευρύτατη όμως εφαρμογή είναι και τα εννέα ακόλουθα μέταλλα, που στον περιοδικό πίνακα γειτονεύουν στα προηγούμενα: το τιτάνιο, το βανάδιο, το χρώμιο, το ζirkόνιο, το άφνιο, το ρουθίνιο, το όσμιο, το ιρίδιο καθώς και το ουράνιο.

Τα πυρίμαχα μέταλλα είναι γενικώς αδρανή στοιχεία, παρουσιάζοντας υψηλή πυκνότητα καθώς και σκληρότητα. Η δε χρήση τους αυτών και των κραμάτων τους είναι ευρύτατη σε κατασκευή εργαλείων και κυρίως σε κατασκευές για υψηλή θερμοκρασία. Τα πυρίμαχα μέταλλα εξετάζονται ιδιαίτερα στη Μεταλλουργία, στην αντοχή υλικών καθώς και από τη Μηχανική γενικότερα.

### 1.3. Μη σιδηρούχα κράματα

#### 1.3.1. Κράματα χαλκού

Ο χαλκός είναι το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος είτε καθαρό είτε με τη μορφή κράματος (κρατέρωμα). Ο χαλκός ως καθαρό μέταλλο έχει κόκκινο χρώμα, κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο (κ.ε.) κρυσταλλικό πλέγμα και λιώνει στους 1083°C. Η πυκνότητά του είναι ίση με 8,9g/cm<sup>3</sup>.

Παρουσιάζει μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Επίσης, η ολκιμότητά του είναι τέτοια, ώστε να μπορεί να διαμορφωθεί εύκολα σε εξαρτήματα διαφόρων γεωμετριών, π.χ. σε ράβδους και σύρματα με διέλαση και σε φύλλα με έλαση. Ο καθαρός χαλκός χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ηλεκτρολογία (κατασκευή συρμάτων, πυκνωτών), λόγω της υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η καθαρότητα του χαλκού (>99,9%) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για πολλές ηλεκτρολογικές εφαρμογές, εφόσον αυτή επιδρά θετικά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η κατασκευή υπερκαθαρού χαλκού γίνεται είτε θερμικά (σε φούρνους τήξεως) είτε ηλεκτρολυτικά (ηλεκτρολυτικός χαλκός). Υπάρχει επίσης μία ποιότητα χαλκού υψηλών απαιτήσεων που ονομάζεται χαλκός OFHC (Oxygen Free High Conductivity Copper/Χαλκός Ελεύθερος Οξυγόνου Υψηλής Αγωγιμότητας). Ο χαλκός αυτός περιέχει μικρό ποσοστό φωσφόρου (0,05%) ο οποίος βοηθά στην αποξείδωση κατά τη χύτευση, δεσμεύοντας το οξυγόνο και δημιουργώντας στρώμα P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή δημιουργίας Cu<sub>2</sub>O κατά τη χύτευση, το οποίο παρουσία H<sub>2</sub> οδηγεί σε ψαθυροποίηση του μετάλλου.

Τα κράματα του χαλκού, λόγω των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν (ηλεκτρική-θερμική αγωγιμότητα, αντοχή στη διάβρωση, αντοχή στη φθορά-τριβή) και της αυξημένης διαμορφωσιμότητας (της δυνατότητας με την οποία μπορούν εύκολα να διαμορφωθούν), χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική, στη μηχανολογία (κατασκευή εδράνων, κουζινέτων), στην κατασκευή εναλλακτών θερμότητας, κελυφών κ.λπ.

Πολλές φορές, οι προσθήκες κραματικών στοιχείων στο χαλκό βελτιώνουν βασικές ιδιότητες, Π.χ. η προσθήκη ψευδαργύρου (Zn) βελτιώνει τη μηχανική αντοχή, η προσθήκη κασσιτέρου (Sn) βελτιώνει την αντοχή στη διάβρωση, η προσθήκη μολύβδου (Pb) την κατεργασιμότητα στην κοπή.

Τα βασικά κράματα χαλκού είναι τα ακόλουθα:

- Κράμα Cu-Zn (ορείχαλκος)
- Κράμα Cu-Sn (μπρούντζος)
- Κράμα Cu-Al (χαλκοαλουμίνιο)
- Κράμα Cu-Ni (χαλκονικέλιο)

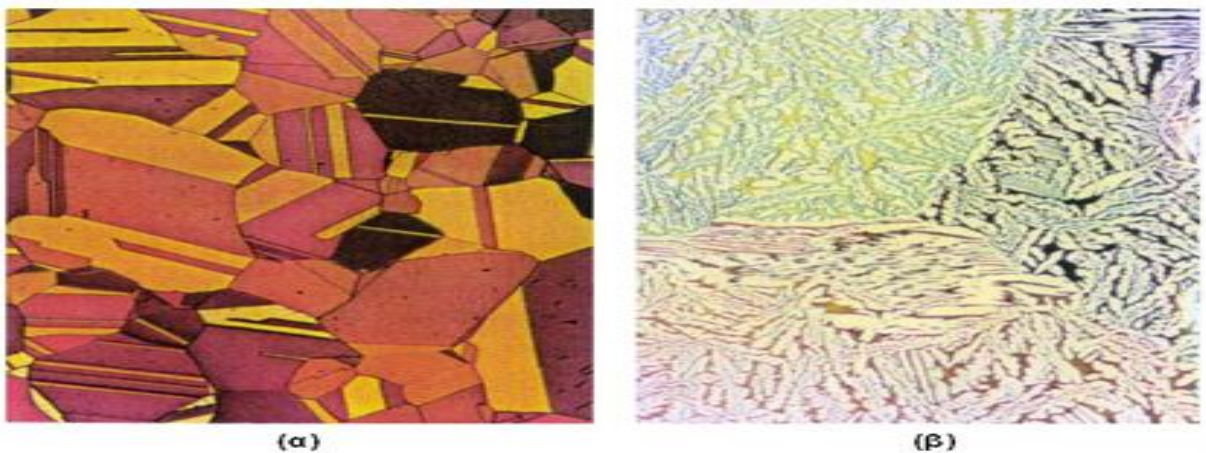
Άλλα κράματα είναι το χαλκοπυρίτιο (Cu-Si) και το χαλκοβηρύλλιο (Cu-Be). Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, διακρίνονται σε χυτά κράματα και κράματα διαμόρφωσης.

### 1.3.2. Κράματα Cu-Zn (Ορείχαλκοι)

Η προσθήκη του ψευδαργύρου μέχρι ποσοστού 30% βοηθά στην αύξηση της μηχανικής αντοχής του κράματος. Αυξανόμενου επίσης του ποσοστού ψευδαργύρου, το χρώμα από κόκκινο γίνεται σταδιακά κίτρινο. Με αναλογία ψευδαργύρου 0-39% δημιουργείται μονοφασικό κράμα φάσης α, κυβικού εδροκεντρωμένου πλέγματος (α-ορείχαλκοι). Όταν ο ψευδάργυρος βρίσκεται σε ποσοστό 40-45%, τότε το κράμα είναι διφασικό, δηλαδή περιέχει δύο διαφορετικές φάσεις α και β' (α+β ορείχαλκοι). Το ποσοστό του ψευδαργύρου δεν πρέπει να ξεπερνά το 45%, διότι σε μεγάλη αναλογία οδηγεί στο σχηματισμό εύθραυστων φάσεων και στην ψαθυροποίηση του υλικού.

Στην πράξη δηλαδή χρησιμοποιούνται δύο βασικά είδη ορείχαλκου :

- οι α-ορείχαλκοι ή μονοφασικοί ορείχαλκοι ( $Zn < 39\%$ ), βλ. σχήμα 1.3.2α και
- οι α+β' ορείχαλκοι ή διφασικοί ορείχαλκοι ( $Zn > 39\%$ ), βλ. σχήμα 1.3.2β.



**Σχήμα 1.3.2:** (α) Μικρογραφία μονοφασικού α-ορείχαλκου (67% Cu-33% Zn) και (β) μικρογραφία διφασικού α+β'-ορείχαλκου (60% Cu-40% Zn). (Μεγέθυνση X100).

Οι μονοφασικοί α-ορείχαλκοι διαμορφώνονται ευκολότερα εν ψυχρά, ενώ οι διφασικοί α+β'-ορείχαλκοι διαμορφώνονται ευκολότερα εν θερμό. Αυτό συμβαίνει, γιατί η β' φάση είναι σκληρή και εύθραυστη και μόνο με θέρμανση πάνω από τους 450°C μετατρέπεται στη β-φάση, η οποία είναι όλκιμη. Η σκληρότητα των ορειχάλκων ανάλογα με την κατεργασία (ανόπτηση, ψυχρή παραμόρφωση) κυμαίνεται από 60-180 HV.

Οι ορείχαλκοι με ποσοστό ψευδαργύρου μεγαλύτερο από 10% εμφανίζουν το φαινόμενο της εποχικής ρωγμάτωσης. Αυτό οφείλεται στην εργοδιάβρωση, δηλαδή στην ταυτόχρονη επίδραση της διάβρωσης γύρω από τα όρια των κόκκων (περικρυσταλλική), λόγω της υγρασίας της



ατμόσφαιρας και των εσωτερικών τάσεων, που υπάρχουν σε ορειχάλκινα εξαρτήματα, έπειτα από κατάλληλη ψυχρή παραμόρφωση (π.χ. έλαση, βαθεία κοίλανση). Η εργοδιάβρωση αντιμετωπίζεται με ανόπτηση σε θερμοκρασία 250-300°C, μετά από την ψυχρή διαμόρφωση για την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων.

Ένα άλλο συχνό φαινόμενο αστοχίας ορειχάλκινων εξαρτημάτων, π.χ. σωλήνων, που έρχονται σε επαφή με υγρό περιβάλλον, είναι η αποψευδαργύρωση. Αυτή είναι η σταδιακή διάλυση του ψευδαργύρου του ορείχαλκου, μέσα σε υγρό, η οποία γίνεται αντιληπτή με την εμφάνιση «κρατήρων» στην επιφάνεια του μετάλλου. Αυτό οφείλεται στην εκλεκτική διάβρωση του ψευδαργύρου (ηλεκτρόλυση) έναντι του χαλκού, ο οποίος θεωρείται ευγενέστερο μέταλλο. Η αποψευδαργύρωση αντιμετωπίζεται με προσθήκη μικρών ποσοτήτων κασσιτέρου Sn (1%) ή αρσενικού, As (0,01-0,20%) μέσα στο κράμα. Η προσθήκη αλουμινίου σε ποσοστό περίπου 2% έχει θετική επίδραση στην αντοχή στη διάβρωση.

Η προσθήκη μολύβδου (Pb) στον ορείχαλκο σε ποσοστά έως 3% βελτιώνει την κατεργασιμότητα του μετάλλου στην κοπή. Πιο συγκεκριμένα, επειδή ο μολύβδος διασπείρεται υπό μορφή σφαιρικών σωματιδίων μέσα στη δομή του υλικού, βοηθά στη μείωση της τριβής και φθοράς του εργαλείου κοπής και στον κατατεμαχισμό των αποβλήτων της κοπής (δημιουργεί δηλ. ασυνεχές γρέζι).

### 1.3.3. Κράματα Cu-Sn (Μπρούντζοι)

Περιέχουν κασσίτερο σε ποσοστά 7-18%. Συνήθως πρόκειται για μονοφασικά κράματα α-φάσης (κυβικού εδροκεντρωμένου πλέγματος), εφόσον η περιεκτικότητα σε κασσίτερο δεν ξεπερνά το 14%. Ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής τους, διακρίνονται σε κράματα χύτευσης και διαμόρφωσης. Παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερη αντοχή σε διάβρωση και φθορά-τριβή σε σχέση με τους ορείχαλκους αλλά το κόστος τους είναι μεγαλύτερο, λόγω του ότι ο κασσίτερος είναι ακριβότερο μέταλλο απ' ό,τι ο ψευδάργυρος.

Βασικά είδη μπρούντζου είναι τα ακόλουθα :

- **Μπρούντζος φωσφόρου.** Ο φωσφόρος αποτελεί στοιχείο αποξείδωσης πριν από τη χύτευση. Επιπλέον, αυξάνει την αντοχή σε διάβρωση, τη μηχανική αντοχή και την αντοχή σε τριβή μέσω της δημιουργίας της ένωσης Cu<sub>3</sub>P (ποσοστό φωσφόρου 0,1-1%). Από χυτό μπρούντζο φωσφόρου κατασκευάζονται έδρανα και κουζινέτα και γενικά στοιχεία που καταπονούνται σε τριβή.
- **Μπρούντζος ψευδαργύρου.** Περιέχει μικρές ποσότητες ψευδαργύρου (2-3%) προς αντικατάσταση του κασσιτέρου, κυρίως για λόγους οικονομίας. Επιπλέον ο ψευδάργυρος δρα ως αποξειδωτικό στοιχείο στα κράματα χύτευσης.

- **Μπρούντζος μολύβδου.** Η προσθήκη μολύβδου (έως 3%) βελτιώνει την κατεργασιμότητα στην κοπή. Επίσης, το συγκεκριμένο είδος μπρούντζου χρησιμοποιείται στην κατασκευή εδράνων υψηλών απαιτήσεων, που δέχονται μεγάλα φορτία ή/και η λίπανση είναι ανεπαρκής.

#### **1.3.4. Κράματα Cu-Al (χαλκοαλουμίνιο)**

Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε διάβρωση σε βιομηχανικό περιβάλλον, λόγω της αυθόρμητης δημιουργίας προστατευτικού στρώματος  $Al_2O_3$ . Είναι μονοφασικά κράματα α-φάσης, όταν το ποσοστό Al δεν υπερβαίνει το 9%, ενώ είναι διφασικά α+γ<sub>2</sub>, όταν το ποσοστό είναι 9-16%.

Τα **μονοφασικά κράματα** ( $Al < 9\%$ ) διαμορφώνονται με κατεργασία εν ψυχρώ και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σωλήνων, εναλλακτών θερμότητας κτλ.

Τα **διφασικά κράματα** ( $9\% < Al < 16\%$ ) διαμορφώνονται εν θερμό ή με απευθείας χύτευση σε καλούπι ή στην άμμο. Τα κράματα διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη αντοχή σε διαβρωτική ατμόσφαιρα ή/και σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα κράματα χύτευσης χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αξόνων, περωτών, εδράνων, κ.λπ.

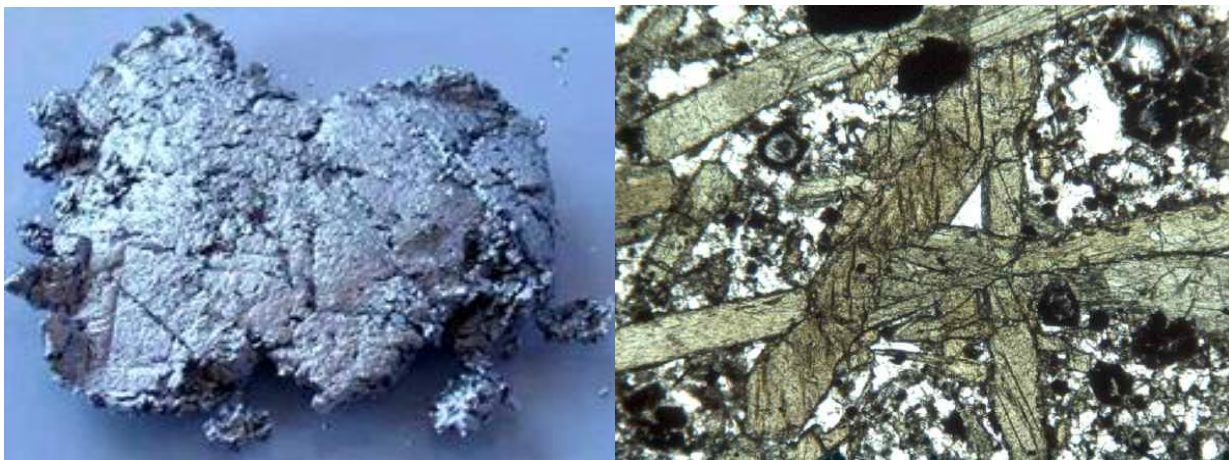
#### **1.3.5. Κράματα Αλουμινίου**

Το αλουμίνιο, μαζί με το μαγνήσιο και το τιτάνιο, ανήκει στην κατηγορία των ελαφρών μετάλλων με πυκνότητα 2,7 έναντι του σιδήρου που είναι 7,8 g/cm<sup>3</sup> και του χαλκού 8,9 g/cm<sup>3</sup>. Το αλουμίνιο και τα κράματά του εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση λόγω της αυθόρμητης δημιουργίας επιφανειακού στρώματος  $Al_2O_3$  που είναι λεπτό και αδιαπέραστο από το οξυγόνο, προστατεύοντας έτσι το υλικό από περαιτέρω οξείδωση και διάβρωση. Κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (κ.ε.) και λιώνει στους 661°C. Επιπλέον, λόγω της μεγάλης μηχανικής αντοχής, που επιδεικνύει ως προς το βάρος του, καθίσταται βασικό δομικό στοιχείο σε κατασκευές, που απαιτείται υψηλή αντοχή και χαμηλό βάρος, όπως στην βιομηχανία πλοίων.

Τα διάφορα κράματα αλουμινίου διακρίνονται σε χυτά και διαμόρφωσης και τυποποιούνται σύμφωνα με την Α.Α. (Aluminium Association). Η τυποποίηση των κραμάτων γίνεται σύμφωνα με την κύρια πρόσμειξη τόσο στα χυτά, όσο και στα κράματα διαμόρφωσης.

Στο σχήμα 1.3.5 φαίνονται οι δομές δύο ευρύτατα χρησιμοποιουμένων κραμάτων Al. Από τα παραπάνω κράματα αλουμινίου διαμόρφωσης (αλλά και στην περίπτωση των χυτών) διακρίνουμε τα κράματα που επιδέχονται και τα κράματα που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Τα κράματα

που επιδέχονται θερμική κατεργασία σκλήρυνσης αποκτούν σημαντική σκληρότητα και αντοχή και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων.



**Σχήμα 1.3.5.** : (α) Κράμα Al-Cu (σειρά 2000). (β) Δομή κράματος Al-Si (σειρά 4000). Διακρίνονται οι κρύσταλλοι Si (σκούρα φάση) μέσα σε λευκό φόντο εύτηκτου Al-Si. (Μεγέθυνση X100).

### 1.3.6. Κράματα Μαγνησίου

Το μαγνήσιο είναι ένα πολύ ελαφρό μέταλλο, πυκνότητας  $1,7\text{g/cm}^3$ , που χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, που απαιτείται υψηλός λόγος, αντοχή/βάρους, (αεροναυπηγική, αυτοκινητοβιομηχανία). Έχει καλή αντοχή στη διάβρωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (στον αέρα) αλλά το προστατευτικό οξείδιο που δημιουργείται στην επιφάνεια είναι ασταθές, κυρίως κάτω από την παρουσία αλάτων.

Κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό μεγίστης πυκνότητας πλέγμα (ε.μ.π.) και λιώνει στους  $650^\circ\text{C}$ . Η ικανότητα παραμόρφωσής του εν ψυχρώ (έλαση, διέλαση) είναι σχετικά μειωμένη σε σχέση με άλλα μέταλλα (π.χ. αλουμίνιο). Σε υψηλότερες θερμοκρασίες ( $>300^\circ\text{C}$ ) το μαγνήσιο εμφανίζει μεγαλύτερη πλαστικότητα. Όταν θερμανθεί στον αέρα σε υψηλή θερμοκρασία ( $800^\circ\text{C}$ ) καίγεται, παράγοντας εκτυφλωτική λάμψη.

Όπως και στα άλλα βιομηχανικά κράματα, έτσι και στα κράματα μαγνησίου υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες: τα κράματα διαμόρφωσης και τα κράματα χύτευσης. Η τήξη του μαγνησίου κατά τη χύτευση παρουσιάζει δυσκολίες, επειδή το μαγνήσιο καίγεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Η προσθήκη θείου προστατεύει το μαγνήσιο, επειδή καίγεται και δημιουργεί αέριο διοξείδιο του θείου.

Τα κυριότερα κράματα του μαγνησίου είναι τα ακόλουθα:

- **Κράματα Mg-Al-Zn.** Οι προσθήκες Al και Zn οδηγούν σε σκλήρυνση του κράματος (με κατακρήμνιση).

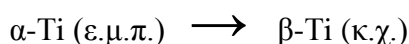
- **Κράματα Mg-Zr-Th.** Η προσθήκη ζirkονίου (Zr) βοηθά στη μείωση του μεγέθους των κόκκων, ενώ η προσθήκη θορίου (Th), καθώς και σπανίων γαιών (Ce, La), αυξάνει την αντοχή του υλικού σε ερπυσμό.

Βασικές χρήσεις των σφυρήλατων και χυτών κραμάτων Mg εντοπίζονται στην κατασκευή δομικών στοιχείων πλοίων, όπως π.χ. δοχεία πετρελαίου/λαδιού, πλαίσια στροφάλων, έμβολα μηχανών εσωτερικής καύσης.

### 1.3.7. Κράματα Τιτανίου

Το τιτάνιο έχει πυκνότητα 4,5 g/cm<sup>3</sup> και ανήκει μαζί με το αλουμίνιο και το μαγνήσιο στα ελαφρά μέταλλα. Είναι αλλοτροπικό μέταλλο, δηλαδή αλλάζει η κρυσταλλική του δομή με τη θερμοκρασία. Πιο συγκεκριμένα, από εξαγωνικό μεγίστης πυκνότητας (α-φάση) μετατρέπεται στους 882°C σε κυβικό χωροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (β-φάση), σύμφωνα με την αντίδραση:

882°C



#### *Σχέση 1.3.5*

Παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση, λόγω του στρώματος TiO<sub>2</sub>, που δημιουργείται στην επιφάνεια, και λιώνει σε υψηλή θερμοκρασία (1660°C), ιδιότητα σύμφωνα με την οποία θεωρείται πυρίμαχο υλικό. Επιπλέον, παρουσιάζει σημαντική μηχανική αντοχή, πράγμα που το καθιστά ως το βασικό δομικό στοιχείο για την κατασκευή κινητήρων.

Οι σημαντικότερες ιδιότητες του τιτανίου (και των κραμάτων του) είναι :

- χαμηλό ειδικό βάρος
- χημική αντοχή (μεγάλη αντοχή στη διάβρωση)
- πυριμαχικότητα (αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες)

Η κραματοποίηση του τιτανίου με διάφορα στοιχεία οδηγεί στη δημιουργία μονοφασικών κραμάτων α-φάσης (Al, Sn) ή β-φάσης (Mo, V, Nb) ή διφασικών κραμάτων α+β φάσης (Fe, Cr, Mn, Si).

**Καθαρό τιτάνιο** (ή σπανιότερα κράμα τιτανίου-παλλαδίου) ή μονοφασικό α-κράμα λόγω της υψηλής αντοχής στη διάβρωση, καθώς και της καλής κατεργασιμότητας και συγκολλησιμότητας, χρησιμοποιείται ευρύτατα στη χημική βιομηχανία ως υλικό κατασκευής επενδύσεων, δοχείων και δεξαμενών που έρχονται σε επαφή με διαβρωτικά υγρά.

Τα **διφασικά α+β** κράματα τιτανίου (κυρίως κράματα Ti-Al-V) εμφανίζουν τις περισσότερες χρήσεις, διότι επιδέχονται θερμικές κατεργασίες σκλήρυνσης με κατακρήμνιση (υπερβαφή – γήρανση). Λόγω της υψηλής τους μηχανικής αντοχής και χημικής αδράνειας, χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην βιομηχανία πλοίων, όπως π.χ. στην κατασκευή τμημάτων κινητήρων και αεροσυμπιεστών, πτερυγίων στροβίλων κτλ.

### 1.3.8. Κράματα Νικελίου

Το νικέλιο είναι μέταλλο μαγνητικό (όπως ο σίδηρος και το κοβάλτιο). Έχει πυκνότητα 8,9 g/cm<sup>3</sup> και λιώνει στους 1453°C. Το νικέλιο κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (κ.ε.). Το νικέλιο είναι αδρανές και παρουσιάζει έτσι εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση. Τα βασικά κράματα του νικελίου με μεγάλο βιομηχανικό ενδιαφέρον (μαζί με τις καθιερωμένες εμπορικές τους ονομασίες) είναι τα ακόλουθα:

- **Κράματα Ni-Cu (Monel)**

Είναι κράματα με σύσταση περίπου 70% Ni - 30% Cu, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κατασκευή δοχείων και δεξαμενών στη χημική βιομηχανία. Επίσης χρησιμοποιούνται και στη ναυπηγική, π.χ. στην κατασκευή αξόνων προπελών πλοίων.

- **Κράματα Ni-Ti (Nitinol)**

Σε μία συγκεκριμένη αναλογία 55% Ni - 45% Ti κατασκευάζονται ειδικά κράματα, που ονομάζονται κράματα μνήμης. Αυτά τα κράματα, μετά από κατάλληλη θερμομηχανική κατεργασία, παρουσιάζουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα ανάκτησης των αρχικών τους διαστάσεων. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές για την κατασκευή ειδικών διακοπών, συρμάτων, ενισχυμένων κατασκευών και ικανοποιούν απαιτήσεις της αεροδιαστημικής τεχνολογίας, όπως στην περίπτωση κατασκευής εξαρτημάτων κεραιών δορυφόρων.

- **Υπερκράματα**

Είναι κράματα Ni-Cr-Co-Mo-Ti-Al και Ni-Cr-Co-Fe-Mo-Ti-Al-W που σκληραίνουν σε μεγάλο βαθμό με κατάλληλες θερμικές κατεργασίες. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση και οξείδωση υψηλών θερμοκρασιών, καθώς επίσης και μεγάλη αντοχή στον ερπυσμό. Παρουσιάζουν εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων τόσο σε χημική, όσο και σε μηχανική αντοχή. Αντέχουν σε επιθετικές ατμόσφαιρες, όπου επικρατούν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και έντονα οξειδωτικό περιβάλλον. Είναι δομικά στοιχεία για την κατασκευή εξαρτημάτων φούρνων, χημικών αντιδραστήρων με έντονα όξινο περιβάλλον, ηλεκτρικών αντιστάσεων, μηχανών και πτερυγίων αεροστροβίλων, θαλάμων καύσεως, κ.λπ.

Μερικές χαρακτηριστικές κατηγορίες υπερκραμάτων Ni με τις αντίστοιχες καθιερωμένες εμπορικές τους ονομασίες και τις χημικές τους συστάσεις είναι οι ακόλουθες :

**Inconel 700** : Ni - 15 Cr - 9 Fe - 29 Co - 4 Mo - 2 Ti - 3 Al

**Hasteloy C** : Ni - 15 Cr - 5 Fe - 17 Mo - 4 W

**Nimonic 75** : Ni - 20 Cr - 0,4 Ti

**Astroloy** : Ni - 15 Cr - 15 Co - 5 Mo - 3 Ti - 4 Al

### 1.3.9. Κράματα Μολύβδου

Ο μολύβδος είναι από τα πιο βαριά μέταλλα με πυκνότητα 11,3 g/cm<sup>3</sup> και κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (κ.ε.). Λιώνει στους 327°C και παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση. Διαμορφώνεται εύκολα με χύτευση και παρουσιάζει πολύ μεγάλη ολκιμότητα.

Τα βασικότερα κράματα μολύβδου είναι τα ακόλουθα :

- **Κράματα Pb-Sb.** Περιέχουν 7-12% Sb με αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής.
- **Κράματα Pb-Sn.** Είναι κράματα με ποσοστό κασσιτέρου 20-50% και χρησιμοποιούνται, λόγω του χαμηλού σημείου τήξεως, ως συγκολλητικό υλικό για ψυχρές κολλήσεις, όπως η κασσιτεροκόλληση (καλάι).
- **Κράματα Pb-Sb-Sn.** Τα κράματα που περιέχουν 5-10% Sn και 5-20% Sb παρουσιάζουν πολύ καλή ευχytότητα και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τυπογραφικών στοιχείων. Η σημαντικότερη ίσως κατηγορία αυτών των κραμάτων είναι κράματα Pb-Sn-Sb γνωστά ως **λευκά μέταλλα**. Υπάρχουν επίσης και λευκά μέταλλα με βάση τον κασσίτερο (babbits). Ονομάζονται λευκά μέταλλα, σε αντιδιαστολή με τα κόκκινα, που είναι τα κράματα του χαλκού, τα οποία χρησιμοποιούνται επίσης στην κατασκευή εδράνων (π.χ. φωσφορούχος μπρούντζος). Τα λευκά μέταλλα μολύβδου περιέχουν 10% Sn και 15% Sb και έχουν μεγάλη αντοχή στη φθορά-τριβή λόγω της ύπαρξης των κρυστάλλων τύπου SbSn μέσα σε μαλακή μήτρα ευτηκτικού Pb-Sn. Τα λευκά μέταλλα χρησιμοποιούνται ως επενδύσεις εδράνων και κουζινέτων. Τα έδρανα αυτά αποτελούνται από μία στιβαρή χαλύβδινη βάση (χιτώνιο) και στην επιφάνεια αποτίθεται (π.χ. με χύτευση) το στρώμα του λευκού μετάλλου.

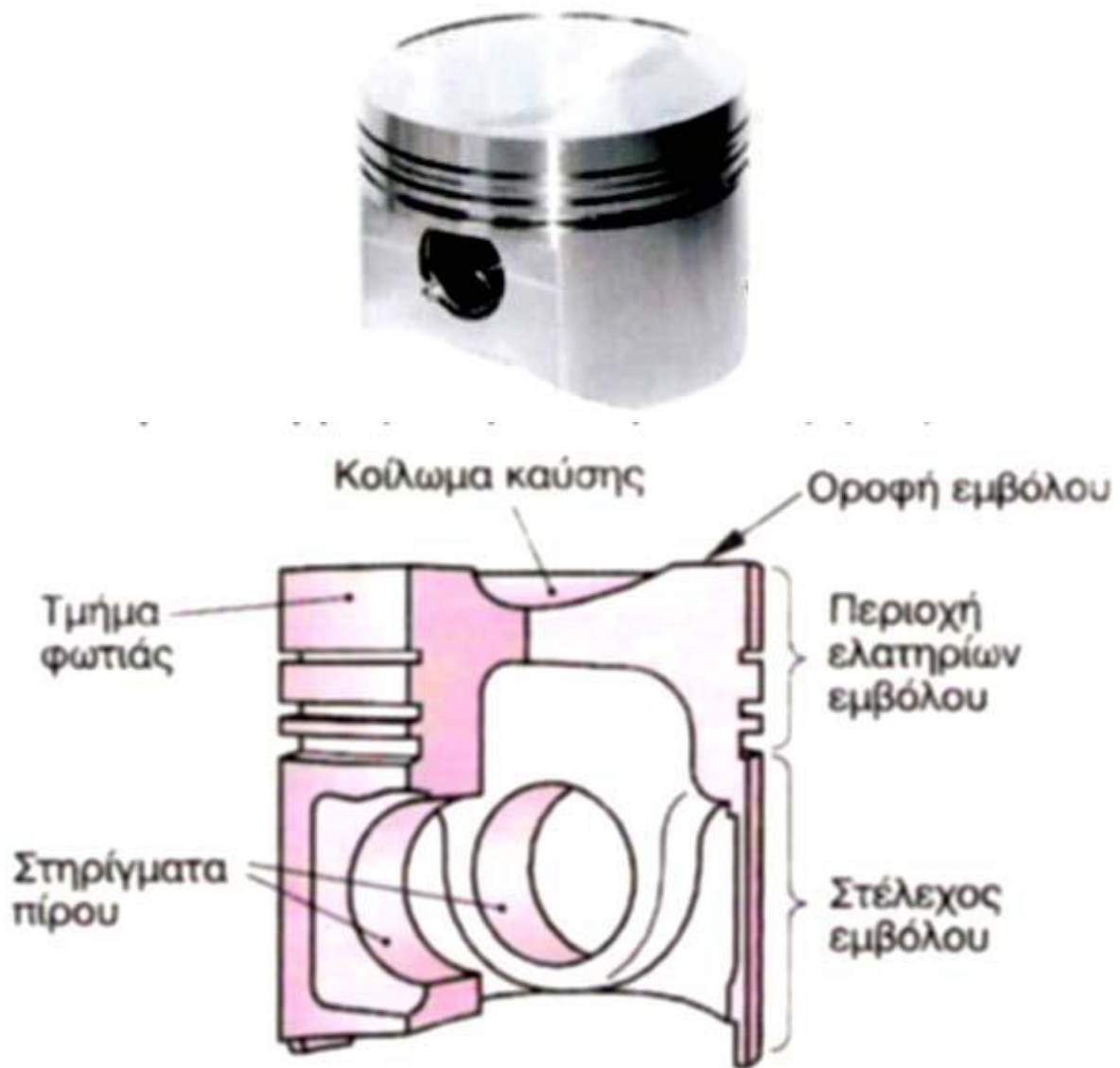
## Κεφάλαιο 2

### Μέρη Μ.Ε.Κ και υλικά κατασκευής

#### Γενικά

Σε αυτό το σημείο θα περιγράψουμε τα εξαρτήματα που λαμβάνουν χώρα σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης και επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας της. Αυτά είναι :

#### 2.1. Έμβολο



Σχήμα 2.1 : Έμβολο μηχανών εσωτερικής καύσης

### 2.1.1. Δομή εμβόλων

Οι περιοχές που διακρίνονται σε ένα έμβολο είναι :

- Η οροφή του εμβόλου.

Η μορφή της οροφής του εμβόλου επηρεάζεται από την διαμόρφωση του χώρου συμπίεσης και την διάταξη των βαλβίδων. Μπορεί να είναι επίπεδη, κυρτή ή κοίλη. Στους κινητήρες με μεγάλη ισχύ, χρησιμοποιούνται έμβολα που η κεφαλή τους έχει κοίλωμα, με αποτέλεσμα να μετατοπίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος ο χώρος συμπίεσης στο έμβολο.

- Το τμήμα φωτιάς.

Αυτό βρίσκεται μεταξύ της οροφής του εμβόλου και του υψηλότερου αύλακα του ελατηρίου. Το πάχος του τμήματος αυτού, διαμορφώνεται ανάλογα με την απαγόμενη θερμότητα και την μέγιστη πίεση λειτουργίας.

- Το στέλεχος του εμβόλου.

Είναι το τμήμα εκείνο του εμβόλου, το οποίο οδηγεί το έμβολο στον κύλινδρο και μεταφέρει τις πλευρικές δυνάμεις στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Το μήκος του στελέχους διαμορφώνεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ανατροπή του εμβόλου κατά την αλλαγή πλευράς επαφής. Η πίεση των αερίων εκτόνωσης, που δρα επάνω στην κεφαλή του εμβόλου, δημιουργεί μια τάση περιστροφής γύρω από τον εαυτό του. Έτσι το στέλεχος του εμβόλου, έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα του κυλίνδρου και μάλιστα εναλλάξ (μια κατά την άνοδο του και μια κατά την κάθοδο).

Οι επιφάνειες του εμβόλου, στις οποίες υπάρχουν τα στηρίγματα του πύρου, δεν παρουσιάζουν την τάση αυτή, αφού ο πύρος δεν επιτρέπει την κατά μήκος μετακίνηση του εμβόλου. Η ενέργεια αυτή δημιουργεί επιφάνειες τριβής (έδρασης) μεταξύ εμβόλου και τοιχωμάτων κυλίνδρου.

- Η περιοχή των ελατηρίων.

Στην περιοχή αυτή έχουμε αύλακες, στους οποίους τοποθετούνται τα ελατήρια του εμβόλου. Αυτά συμβάλλουν στην στεγανοποίηση και λίπανση του κυλίνδρου. Τα είδη των ελατηρίων θα αναφερθούν παρακάτω.

### 2.1.2. Διαμόρφωση εμβόλων με ανοχή συναρμογής

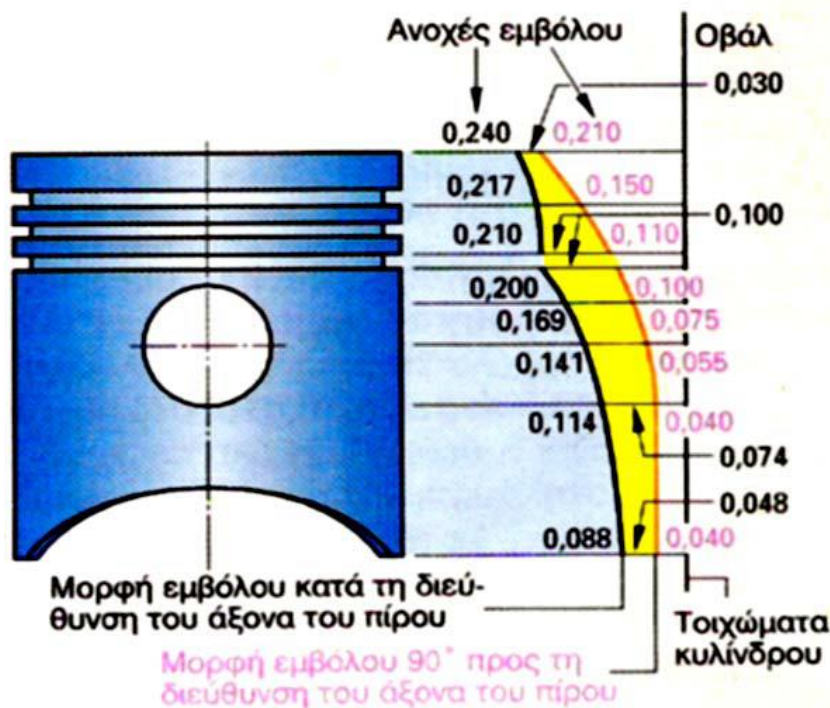
Το 20% της παραγόμενης θερμότητας κατά τη καύση απορροφάται από το έμβολο το οποίο και το μεταφέρει στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση, μπορούν να ανέλθουν στους 2500oC και έτσι μπορεί να γίνει κατανοητό το μέγεθος της θερμικής καταπόνησης που υφίσταται το έμβολο.



Η θέρμανση όμως προκαλεί διαστολή του υλικού, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε «σφήνωμα» του εμβόλου στον κύλινδρο.

Για το λόγο αυτό η μορφή του εμβόλου σε κρύα κατάσταση, είναι διαφορετική από την μορφή του σε θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα.

Σε κρύα κατάσταση, η διατομή του εμβόλου είναι οβάλ. Δηλαδή η χάρη μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου είναι διαφορετική κατά μήκος του εμβόλου. Οι ανοχές μέχρι και τον τελευταίο αύλακα είναι σχετικά μεγάλες, ενώ αυτές είναι σχετικά μικρές από τον τελευταίο αύλακα μέχρι το κάτω μέρος του στελέχους.



Σχήμα 2.1.2: Κατανομή ανοχών κατά μήκος εμβόλου

Η περιοχή της φωτιάς και η περιοχή των ελατηρίων υφίστανται μεγαλύτερη θερμική καταπόνηση απ' την περιοχή του στελέχους. Μεγαλύτερη θερμική καταπόνηση όμως σημαίνει και μεγαλύτερη θερμική διαστολή. Έτσι στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα, το έμβολο δεν θα «κολλήσει» στον κύλινδρο και πλέον η διατομή του θα είναι ομοιόμορφη (σχεδόν) σε όλο το μήκος του.

Πρέπει να αναφερθεί ότι στο κάτω άκρο / κατώτερο σημείο, της περιοχής του στελέχους του εμβόλου, η χάρη σε διεύθυνση κατά 90ο προς τον πύρο, είναι η μικρότερη. Η ανοχή αυτή ονομάζεται ανοχή συναρμογής, διότι δε αυτήν την θέση το έμβολο έχει την μέγιστη διάμετρο. Όσο μικρότερη είναι η ανοχή αυτή, τόσο «ελαττώνεται» η ανατροπή του εμβόλου.

### 2.1.3. Υλικά κατασκευής εμβόλων

Στους παλιούς κινητήρες χρησιμοποιούνταν έμβολα από μαντέμι. Όμως λόγω του μεγάλου βάρους τους, αναπτύσσονταν μεγάλες δυνάμεις αδράνειας και έτσι οι κινητήρες ήταν επί το πλείστον βραδύστροφοι.

Στους καινούριους κινητήρες, τα έμβολα είναι αποκλειστικά από κράματα αλουμινίου – πυριτίου. Τα έμβολα αυτά έχουν σχετικά μικρή μάζα αλλά και πολύ καλές ιδιότητες ολίσθησης μέσα στον κύλινδρο. Έτσι οι τριβές μειώνονται, οι κινητήρες γίνονται πολύστροφοι και παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό πυριτίου στο κράμα, τόσο μικρότερη είναι η θερμοδιαστολή και η φθορά, αλλά και τόσο δυσκολότερη γίνεται η κατεργασία κατά την κατασκευή. Με προστατευτικές στρώσεις στις πλευρικές επιφάνειες του εμβόλου, ελαττώνεται η τριβή, δημιουργούνται καλύτερες ιδιότητες λίπανσης και έτσι ο κινητήρας μπορεί να φορτιστεί περισσότερο. Χρησιμοποιούνται:

- **Στρώση κασσίτερου :**

Στην μέθοδο αυτή επικάθεται ο κασσίτερος στο αλουμινένιο έμβολο και έτσι το έμβολο έχει καλές ιδιότητες ολίσθησης.

- **Στρώση γραφίτη :**

Σε αυτή την μέθοδο η επίστρωση επιτυγχάνεται με εκτόξευση και το πάχος αυτής μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 0,04 mm. Η επίστρωση αυτή παρέχει εξαιρετική προστασία από την φθορά.

- **Στρώση σιδήρου :**

Εδώ, το στέλεχος του εμβόλου επικαλύπτεται και κατόπιν επιστρώνεται με μια στρώση σιδήρου πάχους 30 μm. Ως αντιδιαβρωτική προστασία χρησιμοποιείται μια στρώση κασσίτερου. Με αυτόν τον τρόπο, το έμβολο μπορεί να λειτουργήσει σε κύλινδρο από κράμα αλουμινίου.

Τα υλικά των εμβόλων πρέπει να παρουσιάζουν :

1. **Μικρή πυκνότητα:**

Το έμβολο πρέπει να έχει μικρή μάζα , για να μην εμφανίζονται μεγάλες δυνάμεις αδράνειας.

2. **Υψηλή αντοχή:**

Ακόμη και στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και υψηλό σημείο τήξης.

3. **Ελάχιστη θερμική διαστολή:**

Για να τηρούνται όσο το δυνατόν μικρότερες ανοχές μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου. Έτσι αποφεύγουμε το 'χτύπημα' του εμβόλου και στεγανοποιούμε τον κύλινδρο καλύτερα.

#### 4. Ελάχιστη αντίσταση τριβής :

Για να έχουμε καλύτερες ιδιότητες ολίσθησης του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο και έτσι να παρουσιάζεται αυξημένος βαθμός απόδοσης του κινητήρα.

##### 2.1.4. Κατασκευή εμβόλων

Η κατασκευή του εμβόλου χωρίζεται σε δυο τμήματα: στην χύτευση και στη μηχανουργική κατεργασία.

Η χύτευση γίνεται με ειδικά καλούπια σε ειδικά χυτήρια πίεσης. Το κράμα αλουμινίου – πυριτίου χυτεύεται στα καλούπια τα οποία είναι προθερμασμένα για να διευκολυνθεί η ροή του τηγμένου μετάλλου. Έπειτα μια πρέσα συμπιέζει το μέταλλο μέσα στα καλούπια με πιέσεις που φθάνουν του 80 t. Η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στην συμπίεση της μοριακής δομής του υλικού και συνεπώς στην ενίσχυση των μηχανικών του ιδιοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάζονται τα έμβολα των κινητήρων καθημερινής χρήσης. Αυτά έχουν μικρό συντελεστή κυβικής διαστολής, με λειτουργικές ανοχές εμβόλου – τοιχωμάτων κυλίνδρου που κυμαίνονται μεταξύ 0,02 – 0,04 mm. Αφού το μέταλλο στερεοποιηθεί και κρυώσει, το καλούπι αφαιρείται και το έμβολο πηγαίνει το μηχανουργείο για την διαμόρφωσή του.

##### 2.1.5. Σφυρήλατα έμβολα

Τα απλά σφυρήλατα έμβολα προέρχονται από την μηχανουργική κατεργασία έτοιμων μασουριών σφυρηλατημένου υλικού. Σ' αυτήν τη περίπτωση, το κράμα αλουμινίου χυτεύεται σε ειδικά καλούπια και αντί να πρεσαριστεί με σταθερή πίεση, σφυρηλατείται, από ένα βάρος που μπορεί να ξεπεράσει τους 100 t, πέφτει επάνω στο ελεύθερο άκρο της μήτρας και συμπιέζει το τηγμένο υλικό. Ένας άλλος τρόπος είναι ότι η σφυρηλάτηση γίνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, όταν το μασούρι αφαιρεθεί από το καλούπι, αλλά είναι ακόμα σε θερμοκρασία που το καθιστά εύπλαστο. Τότε τοποθετείται σε ειδικές μήτρες πρέσας και σφυρηλατείται. Με αυτόν τον τρόπο, η μοριακή δομή του κράματος συμπιέζεται περισσότερο και όντως οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού αυτού είναι λίγο ανώτερες από ενός 'κοινού' εμβόλου.

Τα «γνήσια» σφυρήλατα έμβολα όμως κατασκευάζονται διαφορετικά. Κύριος σκοπός της σφυρηλάτησης είναι η αύξηση της σκληρότητας του υλικού, μέσω της πύκνωσης του μοριακού του πλέγματος. Επειδή όμως ένα σφυρήλατο κράμα τείνει να έχει μικρότερη σκληρότητα προς το κέντρο της διατομής του, η σφυρηλάτηση των εμβόλων αυτών γίνεται με διαφορετικό τρόπο. Τα καλούπια τους μοιάζουν σχεδόν με αυτά των απλών εμβόλων και η σφυρηλάτηση γίνεται με το έμβολο μέσα στο καλούπι. Έτσι έχουμε ένα σφυρήλατο κράμα, με μορφή και διαστάσεις πολύ

κοντά σε αυτές του τελικού κατεργασμένου προϊόντος και άρα η μηχανουργική του κατεργασία δεν θα αλλοιώσει σχεδόν καθόλου τις ιδιότητες του. Σε αυτήν την περίπτωση, το μοριακό πλέγμα του κράματος είναι πολύ συμπιεσμένο, με αποτέλεσμα να έχει ειδικό βάρος σχεδόν ίδιο με αυτό του σιδήρου και συχνά μεγαλύτερο από αυτόν. Μοναδικό μειονέκτημα, είναι ότι έχει πολύ μεγάλο δείκτη κυβικής διαστολής, που επιτάσσει ανοχές μέχρι και τα 0,12 mm.

Το υπό κατασκευή έμβολο μετά την χύτευση περνά στον τόρνο και την φρέζα. Αυτά είναι εξελιγμένα CNC μηχανήματα που παίζουν με ακρίβεια χιλιοστό του χιλιοστού. Αυτά τα μηχανήματα μπορούν να κατεργάζονται το έμβολο ακόμα και γύρω από τους 5 άξονες ταυτόχρονα, προκειμένου να αποδίδουν πιστά τις κωνικές μορφές του, που θα εξασφαλίσουν το κυλινδρικό του σχήμα, όταν έρθει σε θερμοκρασία λειτουργίας. Τα κοπτικά πλακίδια και τα υγρά που χρησιμοποιούνται είναι εξειδικευμένα και ποικίλουν ανάλογα με το κράμα του εμβόλου. Τα κορυφαία κράματα είναι τόσο σκληρά, με αποτέλεσμα να απαιτούν κατεργασία με κοπτικά εργαλεία από κεραμικά υλικά. Το κόστος εργασίας ενός εμβόλου αυξάνεται, όσο αυξάνεται η ποιότητα του υλικού του.

#### **2.1.6. Έμβολα άνθρακα**

Έχουν αναπτυχθεί ειδικοί γραφίτες για τη χρήση ως υλικά εμβόλων στις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Έχουν αποδώσει επιτυχώς στις διάφορες δοκιμές μηχανών στις διαφορετικές δίχρονες και τετράχρονες μηχανές, και στη βενζίνη και στις ντιζελοκίνητες εκδόσεις.

##### **2.1.6.1. Γιατί έμβολα άνθρακα;**

Αυτήν την περίοδο, τα έμβολα για τις δίχρονες και τετράχρονες μηχανές εσωτερικής καύσης κατασκευάζονται αποκλειστικά από μεταλλικά υλικά συνήθως τα κράματα αργιλίου χρησιμοποιούνται. Τα τμήματα εμβόλων ή τα ολόκληρα έμβολα για τις ιδιαίτερα φορτωμένες μηχανές αποτελούνται συχνά από το χάλυβα.

Τα έμβολα είναι φτιαγμένα από ειδικά υλικά άνθρακα με σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών υλικών εμβόλων. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των εμβόλων άνθρακα είναι χαμηλό ειδικό βάρος, αντίσταση υψηλής θερμοκρασίας και θερμικού κλονισμού, χαμηλός συντελεστής της θερμικής επέκτασης καθώς επίσης και της άριστης αντοχής και των χαμηλών ιδιοτήτων τριβής.

### **2.1.6.2. Οι ιδιότητες και πλεονεκτήματα εμβόλων άνθρακα**

Τα έμβολα άνθρακά έχουν πυκνότητα που είναι μέχρι 30% χαμηλότερη από αυτή των συμβατικών εμβόλων αργιλίου. Αυτό το πλεονέκτημα σε βάρος οδηγεί σε μια αρκετά μειωμένη εναλλαγή μάζας στη μηχανή που οδηγεί στην υψηλότερη απόδοση και τη μειωμένη δόνηση καθώς επίσης και σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμων κατά μέχρι 5%.

Η μηχανική δύναμη των μετάλλων μειώνεται πολύ με την αυξανόμενη θερμοκρασία, ενώ η δύναμη των υλικών άνθρακα αυξάνεται. Αυτό επιτρέπει τη χρήση των εμβόλων άνθρακα ακόμη και στις μηχανές με τα πολύ υψηλά θερμικά φορτία. Ένα περίπλοκο σχέδιο εμβόλου-ψύξης δεν είναι απαραίτητο.

Η άριστη αντίσταση των εμβόλων άνθρακα στο θερμικό κλονισμό αποφεύγει τη διαστρέβλωση κάτω από το υψηλό θερμικό φορτίο και, επομένως, βελτιώνει τη σταθερότητα των εμβόλων. Αυτό υπονοεί επίσης μια σημαντική αύξηση στη λειτουργική αξιοπιστία.

Τα έμβολα άνθρακα εκθέτουν μια καταφανώς χαμηλότερη συμπεριφορά θερμικής επέκτασης έναντι αυτής των κραμάτων μετάλλων. Αυτό επιτρέπει στα σχέδια μηχανών να ενσωματώσουν τα διάκενα κρύας κατάστασης χωρίς διακινδύνευση της αυξημένης φθοράς των εμβόλων στη λειτουργούσα θερμοκρασία.

Τα διάκενα (όταν η μηχανή βρίσκεται σε κρύα κατάσταση) οδηγούν σε μια ιδιαίτερη μείωση στις εκπομπές υδρογονανθράκων κατά τη διάρκεια της κρύας έναρξης (μέχρι 50%) καθώς επίσης και στη μειωμένη απώλεια συμπίεσης.

Ακόμα και υπό ακραίες συνθήκες και στις υψηλές λειτουργούσες θερμοκρασίες η χαμηλή θερμική επέκταση των εμβόλων άνθρακα αποτρέπει την αυξημένη φθορά των εμβόλων αυξάνοντας τη λειτουργική αξιοπιστία.

Οι self-lubricating ιδιότητες των υλικών άνθρακα οδηγούν και στη μειωμένη κατανάλωση λιπαντικών και στη μειωμένη εσωτερική τριβή μηχανών. Τα έμβολα άνθρακά μας εκθέτουν τις άριστες τρέχοντας ιδιότητες έκτακτης ανάγκης. Αυτό εξασφαλίζει ομαλή λειτουργία ακόμα και όταν αποτυγχάνει η λίπανση εμβόλων.

### **2.1.6.3. Έμβολα άνθρακα επίσης για τις δίχρονες μηχανές πλοίων**

Τα έμβολα μετάλλων απαιτούν απαραίτητως ένα λιπαντικό για τη λειτουργία τους στη μηχανή. Το λιπαντικό παρέχεται είτε από ένα σύστημα λίπανσης μηχανών είτε αυτό, όπως για τις περισσότερες δίχρονες μηχανές, προστίθεται άμεσα στα καύσιμα.

Ειδικά στην περίπτωση των δίχρονων μηχανών, αυτή η περιεκτικότητα σε λάδι των καυσίμων οδηγεί στον αποκαλούμενο «μπλε καπνό».

Η χρήση των εμβόλων άνθρακα στις δίχρονες μηχανές επιτρέπει μια σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε λάδι στο μίγμα καυσίμων και, με αυτόν τον τρόπο, μιας ιδιαίτερης μείωσης στις εκπομπές των άκαυτων τμημάτων πετρελαίου.

## **2.2. Ελατήρια Εμβόλων**

Τα ελατήρια του εμβόλου είναι τοποθετημένα μέσα στα αυλάκια που υπάρχουν στην ζώνη των ελατηρίων, η οποία βρίσκεται κάτω από το τμήμα φωτιάς του εμβόλου.

Τρεις είναι οι προσφορές των ελατηρίων στον κύλινδρο.

- **Στεγανοποίηση :**  
Είναι σχεδιασμένα να στεγανοποιούν το εσωτερικό του κυλίνδρου από τον στροφαλοθάλαμο και την ελαιολεκάνη.
- **Λίπανση :**  
Είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούν ένα φιλμ λαδιού μεταξύ εμβόλου και τοιχωμάτων του κυλίνδρου.
- **Ψύξη :**  
Είναι σχεδιασμένα να παρέχουν δρόμο για την θερμότητα απ' το έμβολο προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου.

### **2.2.1. Ιδιότητες ελατηρίων**

Τα ελατήρια είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε η διάμετρός τους να είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν του κυλίνδρου, έτσι ώστε όταν τοποθετούνται να συσπειρώνονται και να ανοίγουν μετά την τοποθέτηση για να στεγανοποιούν κατάλληλα τον χώρο. Δηλαδή τα ελατήρια πρέπει να είναι ελαστικά και δεν πρέπει να εμφανίζουν μόνιμη παραμόρφωση.

### **2.2.2. Είδη ελατηρίων**

Τα ελατήρια έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με την λειτουργικότητα τους και την γεωμετρία τους. Ανάλογα με την λειτουργικότητά τους, υπάρχουν 3 κατηγορίες :

#### **1. Ελατήρια συμπίεσης:**

Είναι σχεδιασμένα με αντικειμενικό σκοπό, την στεγανοποίηση του κυλίνδρου στις μεγάλες πιέσεις της φάσεως της συμπίεσης και της εκτόνωσης. Ταυτόχρονα χρησιμεύουν στην

απαγωγή θερμότητας απ' το έμβολο προς τον ψυχόμενο κύλινδρο. Επίσης μπορεί να αναφερθεί ότι παίζουν κάποιο ρόλο στον έλεγχο της λιπαντικής μεμβράνης (φιλμ) των τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Τα ελατήρια αυτά κατασκευάζονται από χάλυβα μη περιεκτικότητας σε μολυβδό, πυρίτιο, χρώμιο και άλλα κράματα. Τα ελατήρια συμπίεσης είναι επικασσιτερωμένα και επιμεταλλωμένα με χρώμιο, για την ελάττωση των τριβών καθώς και για την μεγαλύτερη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες.

## **2. Ελατήρια απόξεσης λαδιού:**

Είναι σχεδιασμένα να υποβοηθούν την στεγανοποίηση, αλλά και να ελέγχουν την λιπαντική μεμβράνη. Το ελατήριο αυτό τοποθετείται κάτω από το ελατήριο συμπίεσης και πάνω από το ελατήριο πρόξεσης λαδιού. Αυτά κατασκευάζονται συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα.

## **3. Ελατήρια πρόξεσης λαδιού :**

Είναι σχεδιασμένα να ελέγχουν το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Η περίσσεια λαδιού περνάει στο θάλαμο καύσης, όπου καίγεται προκαλώντας αναθυμιάσεις. Λιγότερο λάδι απ' το κανονικό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη τριβών μεταξύ του εμβόλου, με τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το 'γδάρισμα' των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, των ελατηρίων και του στελέχους του εμβόλου. Ως υλικά για τα ελατήρια αυτά χρησιμοποιούνται ανοξείδωτος χάλυβας και βελτιωμένος χυτοσίδηρος. Ανάλογα με την γεωμετρία τους έχουμε τα εξής :

### **i) Τραπεζοειδή ελατήρια:**

Ο σχεδιασμός αυτός χρησιμοποιείται στα ελατήρια συμπίεσης, επειδή το σχήμα τους παρεμποδίζει σημαντικά την διαρροή των αερίων. Αυτά τοποθετούνται σε αυλάκι με σφηνοειδή διατομή.

### **ii) Κωνικά ελατήρια:**

Αυτά είναι κομμένα υπό γωνία, έτσι που το κάτω άκρο τους να σχηματίζει οξεία γωνία. Η κωνική αυτή επιφάνεια παρέχει πολύ καλή στεγανοποίηση σε μεγάλες πιέσεις.

## **2.3. Διωστήρας**

Ο διωστήρας αποτελεί ένα εξάρτημα που έχει ως βασικό στόχο την μεταφορά της δύναμης, που αναπτύσσεται κατά την εκτόνωση των αερίων μέσα στον κύλινδρο, προς τον στροφαλοφόρο άξονα. Εκτελεί σύνθετη κίνηση που ονομάζεται και «αιώρηση» διότι το άνω άκρο του εκτελεί ευθύγραμμη (παλινδρομική) κίνηση ενώ το κάτω άκρο του εκτελεί περιστροφική κίνηση.

### 2.3.1. Δομή

- **Κεφαλή του διωστήρα :**

Το άκρο του διωστήρα που συνδέεται στον πίσω του εμβόλου. Είναι γνωστή σαν κεφαλή ή ακόμη και σαν «μάτι». Αν ο πίσω μπορεί να περιστραφεί στην κεφαλή, τότε αυτή είναι διαμορφωμένη ως έδρανο και φέρει δακτύλιο από κράματα χαλκού.

Αν ο πίσω έχει σφιχτή συναρμογή με το «μάτι», τότε συναρμόζεται κατευθείαν ή δεν χρειάζεται δακτύλιος.



Σχήμα 2.3.1. : Διωστήρας

- **Πόδι του διωστήρα:**

Είναι το άλλο άκρο του διωστήρα και συνδέεται στο κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα. Το πόδι με το κάλυμμά του σχηματίζει το έδρανο του διωστήρα, το οποίο είναι έδρανο ολίσθησης. Αυτά τα δύο συνδέονται με τους κοχλίες επιμήκυνσης.

- **Το σώμα ή στέλεχος του διωστήρα :**

Το στέλεχος είναι αυτό που συνδέει το ένα άκρο με το άλλο, δηλαδή την κεφαλή του διωστήρα με το πόδι του. Αυτό έχει διατομή διπλού ταυ . Το στέλεχος του διωστήρα μπορεί να είναι συμπαγές, είτε μέσα σε αυτό να υπάρχει αγωγός λαδιού λίπανσης, για να μπορεί να φτάνει το λάδι στον πίσω του εμβόλου (κινητήρες μεγάλης ισχύος – πετρελαιοκινητήρες).



Συνήθως οι διωστήρες χυτεύονται σαν ενιαίο εξάρτημα και στη συνέχεια τεμαχίζεται σε δύο μέρη, ακριβώς στο πόδι του. Κύριο υλικό κατασκευής τους είναι κράματα τιτανίου και χυτοσιδήρου.

#### **2.4. Βαλβίδες εισαγωγής – εξαγωγής**

Οι βαλβίδες σχεδόν πάντοτε μια εισαγωγής και μια εξαγωγής για κάθε κύλινδρο σκοπό έχουν, ανοίγοντας την κατάλληλη στιγμή, να εισάγουν στον κύλινδρο το μίγμα αέρος - πετρελαίου και κλείνοντας να εξάγουν τα καμένα αέρια.

Οι πρώτες λέγονται εισαγωγής κι οι δεύτερες εξαγωγής. Επί πλέον οφείλουν να εξασφαλίζουν μια τέλεια ισορροπία και αντοχή κατά την διάρκεια της εκρήξεως (στιγμή καύσεως). Όλες αυτές οι εργασίες, πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια δύο πλήρων στροφών του στροφαλοφόρου.

Δηλαδή, κάθε δύο πλήρεις στροφές του στροφαλοφόρου, έχουμε μια εισαγωγή μίγματος και μια εξαγωγή. Συνεπώς, οι βαλβίδες κινούνται από ένα όργανο που περιστρέφεται μ' ένα αριθμό στροφών ίσο με το μισό του αριθμού στροφών του στροφαλοφόρου. Και το όργανο αυτό είναι ο εκκεντροφόρος που έχει στο γρανάζι του διπλάσια δόντια απ' ότι ο στροφαλοφόρος.

Αναλύοντας λεπτομερέστερα την λειτουργία των βαλβίδων, θα παρατηρήσουμε ότι αυτές δεν ανοίγουν ακριβώς στα λεγόμενα Νεκρά Σημεία (Ανω και Κάτω). Το άνοιγμα και το κλείσιμο συμβαίνουν ελάχιστα πιο νωρίς και ελάχιστα πιο αργά σε τρόπο ώστε να επιτρέψουν στο «μάξιμουμ» την πλήρωση του θαλάμου εκρήξεως με μίγμα καθώς και την εξαγωγή των καυσαερίων.

Αυτό όμως είναι μεγάλο σφάλμα υπολογισμού. Πράγματι οι βαλβίδες είναι τα θεμελιώδη όργανα για την απόδοση όλης της μηχανής, απόδοση που εξαρτάται ακριβώς απ' τις συνθήκες λειτουργίας των βαλβίδων.

Αν αυτές δεν λειτουργούν τέλεια, η μηχανή ταλαιπωρείται σημαντικά.

Πρέπει να έχουμε επίσης υπ' όψη μας, ότι η εξέλιξη της μηχανής είναι στενά συνυφασμένη με την εξέλιξη των βαλβίδων και ότι σ' αυτή την πορεία εξελίξεως βοήθησαν πολύ οι βελτιώσεις των οργάνων κινήσεων, όπως π.χ. τα έκκεντρα, τα υδραυλικά ωστήρια κτλ.

##### **2.4.1. Κοινές βαλβίδες**

Οι βαλβίδες εισαγωγής ή εξαγωγής συνήθως κατασκευάζονται από κράματα μολύβδου και τιτανίου. Αυτό συμβαίνει γιατί τα υλικά αυτά έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή χωρίς να υστερούν σε υψηλή θερμική αντοχή.



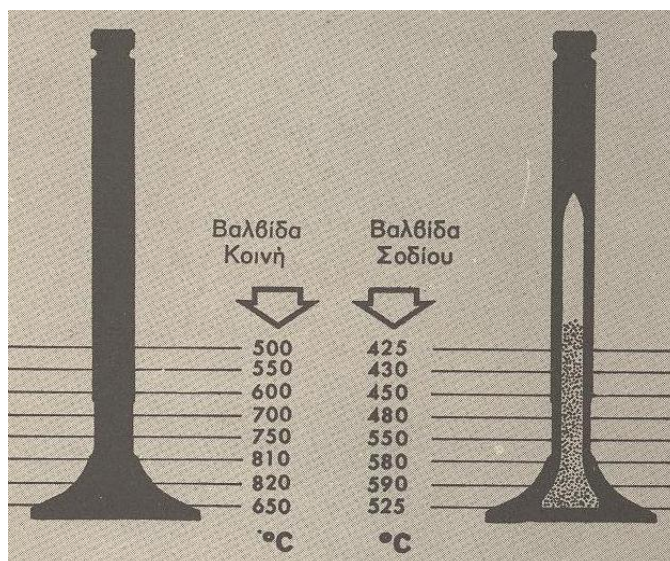
Σχήμα 2.4.1 : Βαλβίδες τιτανίου

### 2.4.2. Βαλβίδες σοδίου

Στα μοτέρ με υψηλές αποδόσεις τοποθετούνται ειδικές βαλβίδες εξαγωγής, οι οποίες στο εσωτερικό τους κοίλωμα περιέχουν σόδιο. Αυτό γίνεται για να διατηρείται η θερμοκρασία εργασίας σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Το σόδιο που υγροποιείται σε θερμοκρασίες μάλλον χαμηλές, κυκλοφορεί στο κοίλωμα του στελέχους (κορμού) της βαλβίδας διευκολύνοντας την μετάδοση της θερμότητας απ' την κεφαλή στο ψηλό σημείο του στελέχους.

Έτσι και κάτω από τις πιο δυσμενείς συνθήκες εργασίας (συνεχής υψηλές στροφές μηχανής π.χ.) η θερμοκρασία παραμένει κάτω των 600° στα πιο θερμά της σημεία, που είναι και η μέση θερμοκρασία της έδρας, ενώ στις κοινές βαλβίδες εξαγωγής η θερμοκρασία συχνά υπερβαίνει τους 800° με συνέπεια την ταχύτερη φθορά τους.



Σχήμα 2.4.2 : Σύγκριση κοινής βαλβίδας με βαλβίδα σοδίου

### 2.4.3. Έδρα βαλβίδας

Οι έδρες των βαλβίδων είναι κατασκευασμένες από υλικό (ειδικό ατσάλι με νικελ, ή χρώμιο ή τουκστένιο) που αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες. Μερικές φορές, όμως, η θερμοκρασία της μηχανής υπερβαίνει το όριο αντοχής των εδρών, που καίγονται.

Η αρχή του καψίματος συμβαίνει κατά κανόνα, όταν κάποιο μικρό κομματάκι μιας καρβουνιασμένης έδρας σπάει και ξεφεύγει. Με το σπάσιμο (έστω και μηδαμινό) αρχίζει να σχηματίζεται ένα αυλάκι απ' το οποίο περνούν τα ζεστά αέρια τα όποια σιγά - σιγά φθείρουν και χειροτερεύουν όλο και περισσότερο την όλη κατάσταση.



*Σχήμα 2.4.3 (α) : Καμένη έδρα βαλβίδας*



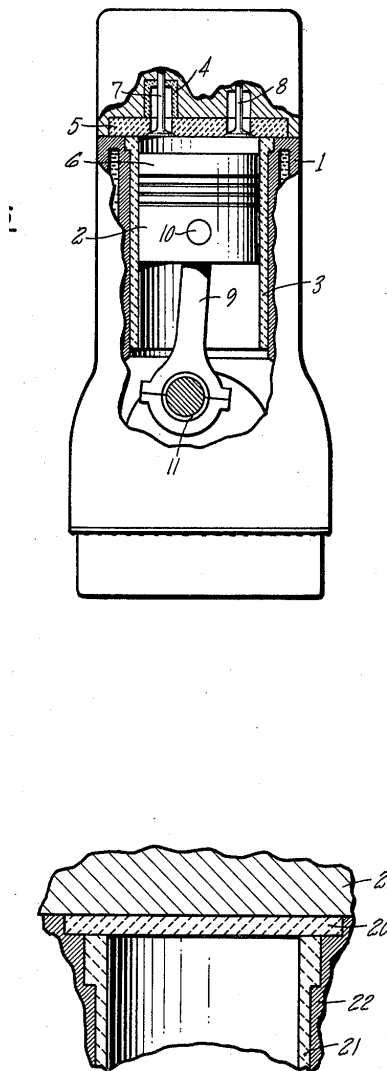
*Σχήμα 2.4.3 (β) : Καμένη βαλβίδα εξαγωγής*

## 2.5. Θάλαμος καύσης

Ο θάλαμος καύσης δέχεται τη μεγαλύτερη θερμική καταπόνηση, γιατί ουσιαστικά σ' αυτό το χώρο παράγεται όλη η ενέργεια που χρειάζεται για να κινηθεί η μηχανή.

Ένας υψηλής αντοχής, σκληρός, υψηλής θερμοκρασίας σταθερός, θερμομονομένος θάλαμος καύσης μηχανών είναι φτιαγμένος από ενισχυμένη κεραμική ίνα καρβιδίου του πυριτίου ή ενισχυμένο υλικό γυαλιού του πυριτίου του καρβιδίου.

Μια μηχανή εσωτερικής καύσης συνήθως έχει θαλάμους καύσης σαν αυτόν που περιγράφεται παραπάνω.



Σχήμα 2.5 : Δομή θαλάμου καύσης

### 2.5.1. Απαιτήσεις κατασκευής

Απαιτούμε :

- Ένα θάλαμο καύσης μηχανών που περιλαμβάνει μια μίξη των ουσιαστικά τιτάνιο-ελεύθερων κεραμικών στρωμάτων που επιλέγονται από την ομάδα που αποτελούνται από (α) alumino-silicate, (β) το λίθιο alumino-silicate, (γ) το μαγνήσιο alumino-silicate, και (δ) τα μίγματα επ' αυτού, κάθε στρώμα που ενισχύεται με ομοιοκατευθυνόμενες, συνεχείς ίνες καρβιδίου του πυριτίου , έχει αξονική δύναμη κάμψης μεγαλύτερη από 70.000 PSI, υψηλή ανθεκτικότητα σε θραύση. Επίσης έχουν υψηλή θερμοκρασιακή δύναμη, υψηλή θερμοκρασιακή σταθερότητα οξειδωσης, και καλές μονωτικές ιδιότητες.
- Ένα θάλαμο καύσης μηχανών που είναι κατασκευασμένος από ίνα καρβιδίου του πυριτίου ενισχυμένη με σύνθετο γυαλί του πυριτίου που συνίσταται ουσιαστικά περίπου 30% σε περίπου 70% από τις ίνες καρβιδίου του πυριτίου όγκου σε μια μήτρα γυαλιού που επιλέχτηκε από την ομάδα που αποτελείται από το γυαλί boro-silicate, το υψηλό γυαλί περιεκτικότητας σε πυρίτιο, το γυαλί alumino-silicate και τα μίγματα επ' αυτού, το σύνθετο έχει ανθεκτικότητα θραύσης πάνω από 15.000 PSI, υψηλή θερμοκρασιακή δύναμη, υψηλή θερμοκρασιακή σταθερότητα οξειδωσης και καλές μονωτικές ιδιότητες.
- Το συστατικό των αξιώσεων 1 ή 2 όπου η ίνα καρβιδίου του πυριτίου που περιέχουν τα στρώματα είναι μονοαξονικά προσανατολισμένα.
- Το συστατικό των αξιώσεων 1 ή 2 όπου η ίνα καρβιδίου του πυριτίου που περιέχουν τα στρώματα είναι πολυαξονικά προσανατολισμένα.
- Το συστατικό των αξιώσεων 1 ή 2 όπου οι ίνες καρβιδίου του πυριτίου περιλαμβάνουν ένα νήμα καρβιδίου του πυριτίου με μια μέση διάμετρο ινών μέχρι 50 μικρών.
- Το συστατικό της αξίωσης 5 όπου το νήμα έχει μια μέση διάμετρο ινών 5-15 μικρών.
- Το συστατικό των αξιώσεων 1 ή 2 όπου οι ίνες καρβιδίου του πυριτίου είναι παρούσες σε ένα ποσό τουλάχιστον περίπου 40% από τον όγκο
- Το συστατικό της αξίωσης 4 όπου οι ίνες είναι προσανατολισμένες στον προσανατολισμό  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $0^{\circ}/\pm 45^{\circ}/90^{\circ}$ , ή  $0^{\circ}/30^{\circ}/60^{\circ}/90^{\circ}$ .
- Το συστατικό της αξίωσης 1 όπου το σύνθετο διαμορφώνεται σε κεραμικό με υαλώδη μορφή.
- Το σύνθετο της αξίωσης 2 που έχει δύναμη κάμψης πάνω από 60.000 PSI μέχρι μια θερμοκρασία περίπου 600°C.
- Το σύνθετο της αξίωσης 2 όπου οι ίνες έχουν ουσιαστικά προσανατολισμό  $0^{\circ}/90^{\circ}$  μέσα στο σύνθετο.
- Το σύνθετο της αξίωσης 11 όπου η ίνα καρβιδίου του πυριτίου είναι παρούσα σε ποσό για 50% από τον όγκο.

- Το συστατικό της αξίωσης 2 που έχει μια κάμψης δύναμη επάνω από περίπου 150.000 PSI στις θερμοκρασίες μέχρι για 700°C.
- Το συστατικό της αξίωσης 2 που έχει ανθεκτικότητα σπασίματος πάνω από 25.000 PSI.
- Μια μηχανή εσωτερικής καύσης που περιέχει τουλάχιστον ένα τμήμα θαλάμου καύσης περιλαμβάνοντας ενισχυμένο σύνθετο γυαλιού καρβιδίου του πυριτίου σε ποσοστό περίπου 70%.

### **2.5.2. Κατασκευή θαλάμου καύσης**

Η παρούσα εφεύρεση κατευθύνεται σε μια λύση στη χρήση των μη μεταλλικών σύνθετων σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης, ποια σύνθετα μπορούν να αντισταθούν στις υψηλές θερμοκρασίες που παράγονται σε τέτοια μηχανή και να διατηρήσουν ακόμα την υψηλή αντοχή και οξειδωτική σταθερότητά τους. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση του σκληρού ενισχυμένου γυαλιού καρβιδίου του πυριτίου, με την υψηλής θερμοκρασίας δύναμη, την υψηλής θερμοκρασίας σταθερότητα οξείδωσης, και την καλή θερμομονοτική ιδιότητα ως εσωτερικά τμήματα θαλάμων καύσης μηχανών.

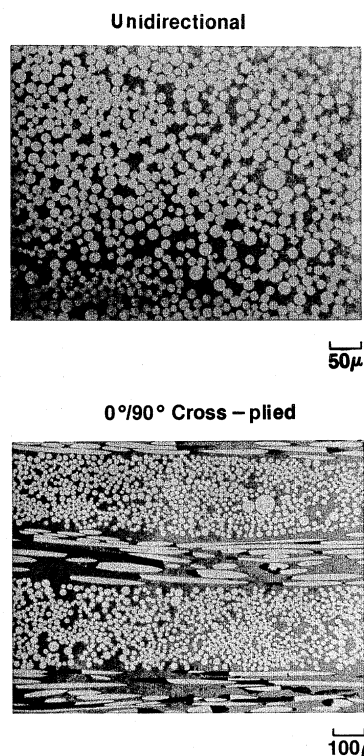
Μια πτυχή της εφεύρεσης περιλαμβάνει τη χρήση των συστατικών περιλαμβάνοντας ενισχυμένη πολυστρωματική ίνα, ένα κεραμικό φτιαγμένο επάνω σε πολλαπλά κεραμικά στρώματα. Κάθε στρώμα ενισχύεται με συνεχείς ίνες καρβιδίου του πυριτίου που έχει μια αξονική δύναμη κάμψης μεγαλύτερη 70.000 PSI και υψηλή ανθεκτικότητα σπασίματος.

Μια άλλη πτυχή της εφεύρεσης περιλαμβάνει τη χρήση των συστατικών περιλαμβάνοντας το ενισχυμένο boro-silicate γυαλί καρβιδίου του πυριτίου με δυνάμεις κάμψης επάνω από 60.000 PSI στις θερμοκρασίες μέχρι 600°C.

Μια άλλη πτυχή της εφεύρεσης περιλαμβάνει τη χρήση των συστατικών περιλαμβάνοντας ενισχυμένο γυαλί υψηλής περιεκτικότητας σε καρβιδίου του πυριτίου με τις δυνάμεις κάμψης επάνω από περίπου 60.000 PSI στις θερμοκρασίες μέχρι για 1150°C.

Μια άλλη πτυχή της εφεύρεσης περιλαμβάνει τη χρήση των συστατικών περιλαμβάνοντας το ενισχυμένο alumino-silicate γυαλί καρβιδίου του πυριτίου με τις δυνάμεις κάμψης επάνω από περίπου 75.000 PSI στις θερμοκρασίες μέχρι 700°C.

Μια άλλη πτυχή της εφεύρεσης περιλαμβάνει μια μηχανή εσωτερικής καύσης που περιέχει τα τμήματα θαλάμων καύσης φτιαγμένα από τα ανωτέρω σύνθετα υλικά.



*Σχήμα 2.5.2 (1) : Καρβίδιο του πυριτίου ενισχυμένο με κεραμική ίνα*

Ένα γυαλί, που μπορεί να μετατραπεί σε κεραμικό, είναι το προτιμώμενο υλικό για να διαμορφώσει τα σύνθετα συστατικά της παρούσας εφεύρεσης. Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης του σύνθετου το καλούπι διατηρείται σε υαλώδη μορφή, αποφεύγοντας κατά συνέπεια τη ζημία ινών και προωθώντας τη πύκνωση διά τη χαμηλά εφαρμοσμένη πίεση. Μετά από τη συμπίκνωση στην επιθυμητή ίνα συν τη διαμόρφωση καλουπιών, το υαλώδες καλούπι μπορεί να μετατραπεί σε κρυστάλλινο, ο βαθμός και την έκταση της κρυστάλλωσης ελέγχετε από το πρόγραμμα σύνθεσης και θερμικής επεξεργασίας που υιοθετείται. Μια ευρεία ποικιλία των γυαλιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά αυτόν τον τρόπο, εντούτοις, ένας ακριβής περιορισμός στο ποσό και στη δραστηριότητα του τιτανίου παρούσα στο γυαλί είναι ελέγχου της σημασίας.

Ενώ οποιοδήποτε σύστημα ινών καρβιδίου του πυριτίου με την απαραίτητη δύναμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την κεραμική μήτρα, ένα multi-filament νήμα καρβιδίου του πυριτίου με μια μέση διάμετρο ινών μέχρι 50 μικρά προτιμάται.

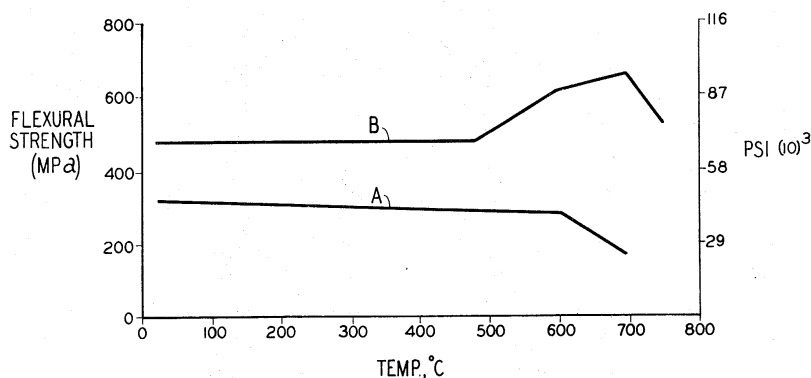
Η μέση δύναμη αυτής της ίνας είναι περίπου 300.000 PSI, και έχει θερμοκρασία χρήσης μέχρι 1500° C.

Ποικίλες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραγάγουν τα σύνθετα τμήματα γυαλιού της παρούσας εφεύρεσης. Η συνιστώμενη μέθοδος είναι η συμπίεση ενός καυτού μίγματος από ίνες καρβιδίου του πυριτίου και του κονιοποιημένου γυαλιού. Αυτή η μέθοδος παρέχει ιδιαίτερη

ευελιξία σχεδίου στον προσανατολισμό των ινών, και τα σύνθετα διαμορφώνονται - λόγω της καυτής συμπίεσης - στις επιθυμητές μορφές.

Εκτός από την άριστη ανθεκτικότητα σπασίματος και την υψηλή δύναμη κάμψης, τα σύνθετα γυαλιού της παρούσας εφεύρεσης διατηρούν αυτές τις ιδιότητες ακόμη και σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες που κάνει τη χρήση τους ιδιαίτερα κατάλληλη στο θάλαμο καύσης.

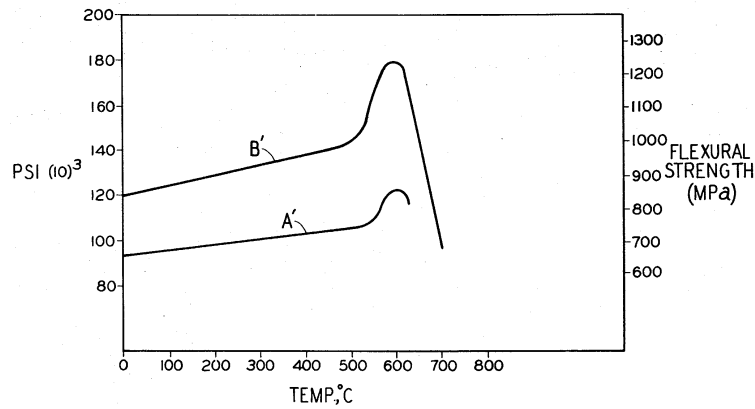
Το **σχήμα 2.5.2 (2α)** καταδεικνύει την εξαιρετική δύναμη κάμψης ενός ενισχυμένου σύνθετου τμήματος καρβιδίου του γυαλιού πυριτίου borosilicate που χρησιμοποιεί το καρβιδίου του πυριτίου. Για προσανατολισμό ινών  $0^{\circ}/90^{\circ}$  (καμπύλη Α), οι δυνάμεις κάμψης πάνω από 40.000 PSI μέχρι τις θερμοκρασίες περίπου  $600^{\circ}\text{C}$  επιτεύχθηκαν. Για προσανατολισμό ινών  $0^{\circ}$  (καμπύλη Β) οι δυνάμεις κάμψης πάνω από 60.000 PSI μέχρι τις θερμοκρασίες περίπου  $600^{\circ}\text{C}$  επιτεύχθηκαν.



**Σχήμα 2.5.2 (2α)** : Γραφική παράσταση δύναμης κάμψης για ένα σύνθετο τμήμα γυαλιού borosilicate που ενισχύεται με καρβιδίου του πυριτίου

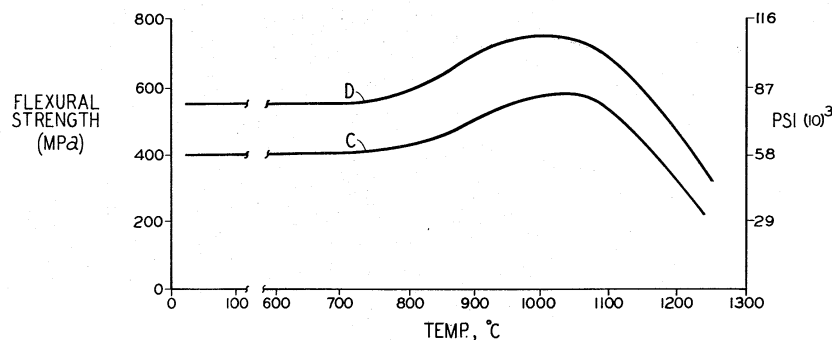
Το **σχήμα 2.5.2 (2β)** παρουσιάζει τα ( $0^{\circ}$  προσανατολισμένο) ενισχυμένα borosilicate σύνθετα γυαλιού ινών καρβιδίου του πυριτίου. Εκθέτει επίσης τις υψηλές δυνάμεις κάμψης πάνω από 60.000 PSI και όπως συγκεκριμένα καταδεικνύονται από τις καμπύλες Α και το Β πάνω από 75.000 PSI για την καμπύλη Α (35% από τη φόρτωση ινών όγκου) και επάνω από 100.000 PSI για την καμπύλη Β (65% από τη φόρτωση ινών όγκου) μέχρι την οποία οι δυνάμεις κάμψης είναι συντηρήσιμες στις θερμοκρασίες για  $600^{\circ}\text{C}$ . Ο προσανατολισμός ινών καρβιδίου του πυριτίου  $0^{\circ}/90^{\circ}$  στη μήτρα γυαλιού borosilicate παράγει μια δύναμη κάμψης πάνω από περίπου 50.000 PSI στις θερμοκρασίες μέχρι για  $600^{\circ}\text{C}$ .





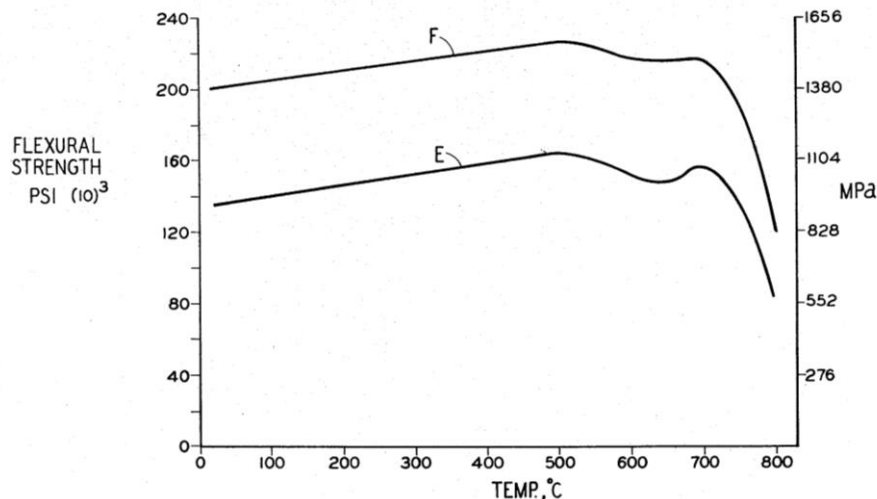
**Σχήμα 2.5.2 (2β)** : Γραφική παράσταση δύναμης κάμψης για ένα σύνθετο τμήμα γυαλιού borosilicate που ενισχύεται με monofilaments καρβιδίου του πυριτίου μεγάλων διαμέτρων

Το **σχήμα 2.5.2 (3)** παρουσιάζει γυαλί υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο, ενισχυμένο σύνθετο ινών καρβιδίου του πυριτίου (0° προσανατολισμένο). Οι καμπύλες C και D αντιπροσωπεύουν τα χαμηλότερα και ανώτερα όρια, αντίστοιχα, για τα στοιχεία δειγμάτων που λαμβάνονται με τα σύνθετα που περιέχουν μεταξύ της φόρτωσης ινών 30% και 40%, από τον όγκο. Αυτά τα σύνθετα γυαλιού υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο παρουσιάζουν δυνάμεις κάμψης πάνω από 70.000 PSI, ακόμη και στις θερμοκρασίες μέχρι 1150° C.



**Σχήμα 2.5.2 (3)** : Γραφική παράσταση δύναμης κάμψης για ένα σύνθετο τμήμα γυαλιού υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο

Το **σχήμα 2.5.2 (4)** (φόρτωση ινών 50% από τον όγκο) παρουσιάζει τις δυνάμεις κάμψης των ινών 0°/90° προσανατολισμού (καμπύλη E) πάνω από 75.000 PSI και κατά προτίμηση πάνω από 100.000 PSI που διατηρούνται στις θερμοκρασίες μέχρι για 700°C. και για την ίνα 0° προσανατολισμού οι δυνάμεις κάμψης (καμπύλη F) πάνω από 150.000 PSI και κατά προτίμηση πάνω από 200.000 PSI διατηρούν την ανθεκτικότητά τους στις θερμοκρασίες μέχρι 700°C.



**Σχήμα 2.5.2 (4)** : Γραφική παράσταση δύναμης κάμψης για ένα σύνθετο τμήμα γυαλιού *alumino-silicate*

Ενώ τα συστατικά της παρούσας εφεύρεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε περιοχή της μηχανής εσωτερικής, η αρχική χρησιμότητά τους είναι σε εκείνες τις περιοχές της μηχανής που παρουσιάζονται θερμοκρασίες πέρα από 500°C μέχρι και 1000°C, το οποίο αποτελείται πρώτιστα από το θάλαμο καύσης. Συνεπώς, τα υλικά κατασκευής του θαλάμου καύσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε μέρος της μηχανής που θα υποβληθεί στις θερμοκρασίες άνω των 500°C. Η δύναμη του σύνθετου υλικού (και σε καυτή και σε κρύα κατάσταση), η σταθερότητα και η αντίσταση οξειδωσης, που συνδέονται με την υψηλή ανθεκτικότητα θραύσης καθιστούν τα συστατικά της παρούσας εφεύρεσης ιδιαίτερα χρήσιμα σε αυτό το περιβάλλον.

## Κεφάλαιο 3

### Κεραμικά υλικά

#### 3.1. Γενικά

Ακούγοντας κανείς να γίνεται λόγος για κεραμικά υλικά το μόνο που δεν φαντάζεται, είναι ότι πρόκειται για κάτι που μπορεί να έχει σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Μπορεί δηλαδή να φανταστεί ότι πρόκειται για... κεραμίδια ή για διάφορα άλλα πήλινα αντικείμενα, αλλά δύσκολα θα πάει το μυαλό του στα έμβολα, στις βαλβίδες, στα χιτώνια, ή ακόμα και στον κορμό μιας μηχανής εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Τι ακριβώς όμως εννοούμε όταν μιλάμε για κεραμικά υλικά στη βιομηχανία και γιατί να γίνεται λόγος για αυτά τα υλικά; Σε τι διαφέρουν από τα παραδοσιακά βιομηχανικά υλικά και τι το καινούργιο φέρνουν πιο ειδικά στο χώρο των ΜΕΚ; Τι είναι αυτό που ωθεί ένα σημαντικό αριθμό επιστημόνων σε δύση και ανατολή να ασχολούνται συστηματικά με αυτά; Σε τι στάδιο βρίσκονται οι έρευνες στον τομέα αυτόν και σε τι στάδιο οι εφαρμογές; Τι προβλήματα υπάρχουν στη χρήση και διάδοση των κεραμικών υλικών και τι προβλέψεις μπορούμε: με βάση την μέχρι σήμερα πορεία των ερευνών, να κάνουμε για το μέλλον.

Μιλώντας γενικά για κεραμικά υλικά εννοούμε μια σειρά αντικείμενα από άργιλο, είτε καθαρή είτε με διάφορες προσμίξεις, τα οποία έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία, έχουν δηλαδή ψηθεί, σε υψηλή θερμοκρασία.

Με βάση τη σύστασή τους χωρίζονται σε δύο μεγάλες ομάδες: α) υλικά με βάση οξείδια του αλουμινίου (Al), του ζirkονίου (Zr), του μαγνησίου (Mg), του πυριτίου (Si) και άλλων μετάλλων, και β) άλλα υλικά με βάση διάφορες ενώσεις, όπως καρβίδια (ενώσεις του άνθρακα), σουλφίδια (ενώσεις του θείου), νιτρίδια (ενώσεις του αζώτου) και άλλα. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ιδιότητες των κεραμικών υλικών. Οι πιο χαρακτηριστικές είναι η μικρή θερμοαγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα, ο μικρός συντελεστής θερμικής διαστολής, η αντοχή τους στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας, η ικανότητα να διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, η μεγάλη αντοχή τους στη διάβρωση, η μικρή τους πυκνότητα, η υψηλή σκληρότητα, η μεγάλη αντοχή τους στη φθορά των τριβών (εφόσον έχουμε να κάνουμε με τριβόμενες επιφάνειες), και η υψηλή χημική τους αδράνεια. Όλα αυτά βέβαια αποτελούν θετικά χαρακτηριστικά των κεραμικών υλικών. Πρέπει όμως να αναφέρουμε άλλο ένα χαρακτηριστικό τους το οποίο αποτελεί και το μεγάλο τους μειονέκτημα: τα κεραμικά υλικά ραγίζουν σχετικά εύκολα. Αυτός άλλωστε είναι και ο βασικός λόγος που τα κεραμικά υλικά δεν έχουν ακόμα «μπει» στις μηχανές εσωτερικής καύσης.

Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες που αναφέρθηκαν ποικίλουν από υλικό σε υλικό, και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο επεξεργασίας του υλικού.

### **3.2. Οι θερμικές απώλειες**

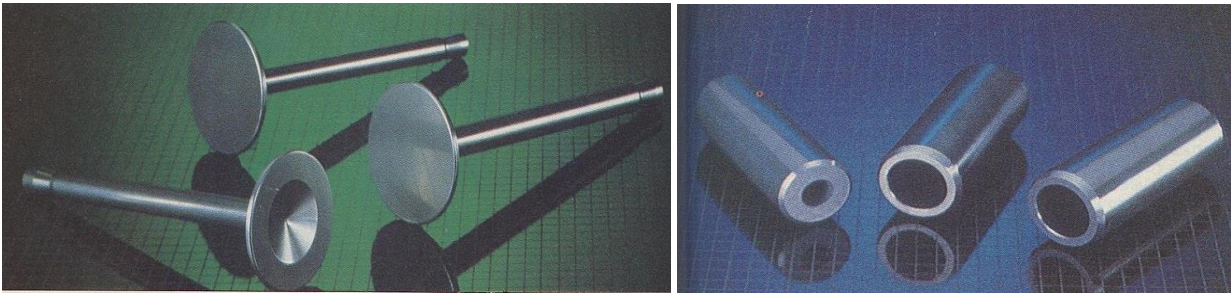
Το πόσο σημαντικές είναι οι ιδιότητες των κεραμικών υλικών για τις μηχανές εσωτερικής καύσης δεν γίνεται αντιληπτό με την πρώτη ματιά. Αν όμως αναλογιστεί κανείς μερικά Βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας των μηχανών, τότε δεν είναι δύσκολο να καταλάβει τη σπουδαιότητά τους. Κατ' αρχήν πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι μια μηχανή εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή. Σε μια τέτοια μηχανή η θερμική ενέργεια που παράγεται κατά την καύση του καυσίμου που εισάγεται στους κυλίνδρους της μετατρέπεται σε μηχανική. Το πρόβλημα είναι ότι μόνο ένα μικρό σχετικά (22-42%) μέρος της θερμικής ενέργειας μετατρέπεται σε ωφέλιμη για μας μηχανική ενέργεια. Από το υπόλοιπο ένα μέρος (27-36%) χάνεται στο σύστημα ψύξης, ένα άλλο μέρος (25-30%) διαφεύγει στο περιβάλλον μαζί με καυσαέρια, ενώ ένα τρίτο μέρος χάνεται με τα λιπαντικά υγρά και ένα άλλο μικρότερο μέρος της εκπέμπεται απ' ευθείας στο περιβάλλον. Επίσης ένα μέρος της θερμικής ενέργειας που μπορεί συνολικά να παραχθεί από την καύση του καυσίμου «χάνεται» ή πιο σωστά δεν παράγεται γιατί η καύση του είναι ατελής.

Είναι λογικό λοιπόν οι κατασκευαστές κινητήρων να κάνουν ό,τι μπορούν για να μειώσουν στο ελάχιστο δυνατόν τις απώλειες αυτές και είναι επίσης λογικό τα κεραμικά υλικά να έχουν τραβήξει την προσοχή τους μιας και υπόσχονται πολλά στον τομέα αυτόν.

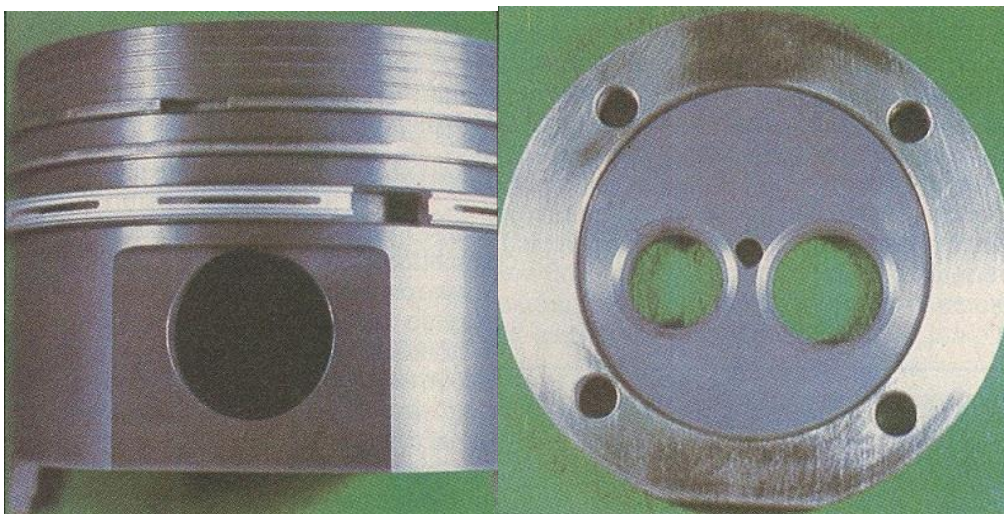
Χάρη στη μικρή τους θερμοαγωγιμότητα παίζουν το ρόλο του θερμομονωτικού μέσου και εφόσον χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μερών του θαλάμου καύσης, συντελούν στη σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών στο εσωτερικό του κυλίνδρου.

Σε αυτήν την περίπτωση η θερμοκρασία των καυσαερίων όποτε συμφέρει αν δεν επιβάλλεται κιόλας, η χρησιμοποίηση στροβιλοσυμπιεστή (TURBO στην καθομιλουμένη) για την αξιοποίηση της αυξημένης (λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας τους) ενέργειας των καυσαερίων. Μερικοί κατασκευαστές μάλιστα, χρησιμοποιούν αντί για το συνηθισμένο στροβιλοσυμπιεστή μια τουρμπίνα, η οποία είναι συνδεδεμένη με τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα και τον «βοηθάει» στην κίνησή του, μεταδίδοντας σε αυτόν την ενέργεια που παίρνει, κινούμενη από τα καυσαέρια.

Με αυτές τις προϋποθέσεις μείωση των θερμικών απωλειών, για παράδειγμα, κατά 5% μπορεί να συνεπάγεται αύξηση του βαθμού απόδοσης του κινητήρα μέχρι και κατά 12 ποσοστιαίες μονάδες.

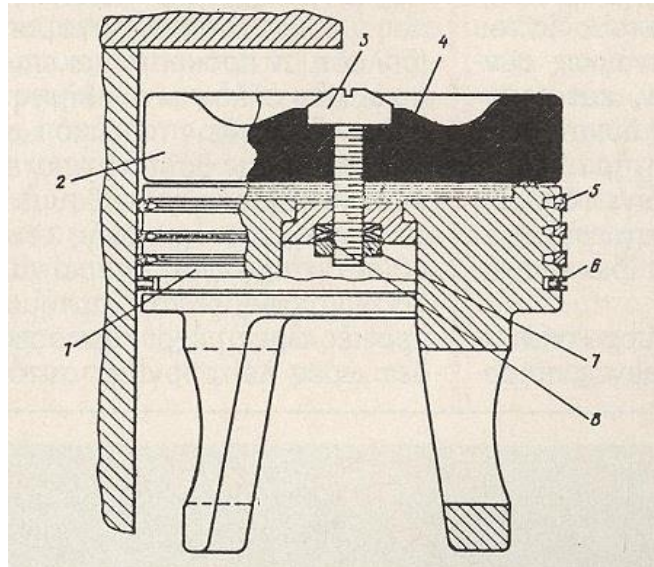


*Σχήμα 3.2 (1) : Κεραμικές βαλβίδες και κεραμικοί πύροι εμβόλων. Από κεραμικά υλικά μπορούν ακόμα να κατασκευαστούν οδηγοί βαλβίδων, χιτώνια κυλίνδρων, πτερύγια τουρμπίνων κ.ά.*



*Σχήμα 3.2 (2) : Κεραμικό έμβολο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το μοναδικό μεταλλικό στοιχείο των 2 εξαρτημάτων είναι το ελατήριο του λαδιού του εμβόλου. Τα ελατήρια της συμπίεσης (1ο και 2ο από πάνω προς τα κάτω) είναι κεραμικά.*

Πρέπει ακόμα να σημειωθεί, ότι εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων παρατηρείται γενικά μια αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κυλίνδρου σε όλες τις φάσεις της λειτουργίας του κινητήρα, κάτι που είναι άλλωστε πολύ λογικό και αναμενόμενο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν καύσιμα που σε συνηθισμένες για τις ΜΕΚ συνθήκες δύσκολα αναφλέγονται. Τέτοιο καύσιμο είναι για παράδειγμα η αιθανόλη που, λόγω του μικρού αριθμού κετανίων, για να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες Diesel, χρειάζεται η λήψη ειδικών μέτρων, ώστε να εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση η ανάφλεξή της, και κατά συνέπεια η ομαλή λειτουργία του κινητήρα.



**Σχήμα 3.2 (3) :** Σχέδιο εμβόλου, αποτελούμενου από κεραμικό και μεταλλικά μέρη,

1. μεταλλικό μέρος,
2. κεραμικό μέρος του εμβόλου,
3. βίδα,
4. φλάντζες,
- 5,6.ελατήρια,
7. παξιμάδι,
8. ροδέλα.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα, η βίδα που είναι κατασκευασμένη από ειδικό μέταλλο για να αντέχει στις ψηλές θερμοκρασίες, συγκρατεί το κεραμικό μέρος του εμβόλου πάνω στο μεταλλικό.

### 3.3. Κεραμικές μηχανές

Δεδομένου ότι τα κεραμικά είναι υψηλής θερμοκρασίας υλικά, μια κεραμική μηχανή πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες επιτρέποντας στην καύση των καυσίμων να είναι πληρέστερη με συνέπεια την αυξανόμενη αποδοτικότητα καύσης. Αυτό πρέπει να αυξήσει την απόδοση, να μειώσει την κατανάλωση καυσίμων και να μειώσει τη ρύπανση. Αυτό πρέπει επίσης να επιτρέψει στα διάφορα καύσιμα να χρησιμοποιηθούν (δηλ. multi-fuel ικανότητα).

### 3.3.1 Ποιο κεραμικό να επιλεγθεί

**Νιτρίδιο πυριτίου:** Μεταξύ της διάφορης κεραμικής εφαρμοσμένης μηχανικής που έχει αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των δεκαετιών, το νιτρίδιο πυριτίου έχει λάβει την περισσότερη προσοχή για τη χρήση στις μηχανές εσωτερικής καύσης και τους στροβίλους. Έχει καλή αντίσταση θερμικού κλονισμού (600 °C) και καλή αντίσταση ερπυσμού. Εν τούτοις η φτωχή μηχανική δύναμή τους (χαμηλή ανθεκτικότητα σπασίματος) έχει αποκλείσει τη χρήση τους στις μεταφέρουσες εφαρμογές. Δεδομένου ότι η ευθραυστότητα της πυρίτιο-βασισμένης κεραμικής θεωρείται ένα εγγενές χαρακτηριστικό τέτοιων υλικών, μόνο περιορισμένες αυξήσεις στην ανθεκτικότητα σπασίματος του νιτρίδιου πυριτίου θεωρούνται εφικτές. Η ανάπτυξη των κεραμικών σύνθετων μητρών (CMC) θεωρείται μια ελκυστικότερη εναλλακτική λύση, αλλά η επιτυχία σε αυτήν την προσέγγιση έχει περιοριστεί.

Αν και κάποια πρόοδος έχει σημειωθεί κατά τη διάρκεια των ετών, η επεξεργασία του νιτρίδιου πυριτίου παραμένει ένα πρόβλημα και τα μεγαλύτερα τμήματα νιτρίδιων πυριτίου υψηλής δύναμης πρέπει να κατασκευαστούν ακόμα. Το νιτρίδιο πυριτίου δεν μπορεί να θερμανθεί άνω των 1850 °C επειδή χωρίζεται στο πυρίτιο και το άζωτο. Επίσης η ομοιοπολική σύνδεσή του δεν επιτρέπει στο να συμπυκνώσει εύκολα και πλήρως.

Επιπλέον, η κεραμική νιτρίδιων πυριτίου σε μια καυτή, διαβρωτική και υγρή οξειδωτική ατμόσφαιρα (όπως κατά τη διάρκεια της καύσης στις μηχανές εσωτερικής καύσης και τους στροβίλους) είναι επιρρεπής σε υποβάθμιση. Όταν υπόκεινται στην οξείδωση, το υδρατμό και τις υψηλές θερμοκρασίες διαμορφώνουν ένα θερμικά αυξημένο στρώμα οξειδίων πυριτίου που εξατμίζει συνεχώς ως είδη υδροξειδίου έχοντας επιπτώσεις στην ακεραιότητα της πυρίτιο-βασισμένης κεραμικής επιφάνειας.

Παρά τα επίμονα και φαινομενικά δυσεπίλυτα προβλήματα της υποβάθμισης και των φτωχών μηχανικών δυνατοτήτων το νιτρίδιο του πυριτίου παραμένει ψηλά στην επιλογή για κατασκευή στροβίλων.

**Καρβίδιο του πυριτίου:** Ένα υλικό με πολύ υψηλή σκληρότητα, καρβίδιο του πυριτίου, στα τελευταία έτη, έχει λάβει κάποια προσοχή από την ηλεκτρομηχανική κοινότητα συστημάτων μικροϋπολογιστών (MEMS) στην αναζήτησή τους για να αναπτυχθεί μια μικροσκοπική μηχανή. Εντούτοις, τα ίδια προβλήματα που μολύνουν το νιτρίδιο πυριτίου θα ίσχυαν επίσης για το καρβίδιο του πυριτίου, και η ανθεκτικότητα σπασίματος του καρβιδίου του πυριτίου είναι ακόμα χαμηλότερη από αυτή του νιτρίδιου πυριτίου. Το καρβίδιο του πυριτίου έχει ακόμα πολλές άλλες χρήσεις που δεν απαιτούν τη μηχανική ακεραιότητα και τη δύναμη.

**Αλουμίνα:** Πολύ χρησιμοποιημένο κεραμικό, κυρίως ως ηλεκτρικός μονωτής, έχουν θεωρηθεί ως κατάλληλα υλικά για τις μηχανές ενδεχομένως λόγω της χαμηλής ανθεκτικότητας σπασίματος και

της υψηλής θερμικής αγωγιμότητάς τους. Εντούτοις, έχει υπάρξει κάποιο πρόσφατο ενδιαφέρον για την κατασκευή τμημάτων αλουμίνα για τις μικροϋπολογιστής-μηχανές

**Ζιρκόνια:** Αυτά τα κεραμικά εφαρμοσμένης μηχανικής χαρακτηρίστηκαν ως «κεραμικοί χάλυβες» λόγω της πολύ υψηλής ανθεκτικότητας σπασίματός τους. Επίσης, τα κεραμικά ζιρκόνια έχουν μιας από τις υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες υπηρεσιών (2000 °C) μεταξύ όλης της κεραμικής και διατηρούν μερικής από τη μηχανική δύναμή τους κοντά στο σημείο τήξης τους (2750 °C). Εντούτοις, η χαμηλή αντίσταση ερπυσμού τους και η χαμηλή αντίσταση θερμικού κλονισμού τους (350 °C) θα μπορούσαν να δημιουργήσουν πρόβλημα.

Η κεραμική ζιρκόνια έχει χρησιμοποιηθεί στις μηχανές θερμότητας λόγω δύο πολύ ξεχωριστών ιδιοτήτων που κατέχει: μια υψηλής θερμοκρασίας ικανότητα και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Κανένα άλλο κεραμικό υλικό δεν κατέχει θερμική αγωγιμότητα τόσο χαμηλή όσο τα ζιρκόνια. Αυτό σημαίνει ότι οι μηχανές που γίνονται από ζιρκόνια θα διατηρούσαν ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας που παράγεται στο χώρο καύσης αντί του χαλαρώματος του στα περίχωρα (που πλησιάζουν κοντά σε αδιαβατικές καταστάσεις). Κατά συνέπεια η ανάγκη για ένα σύστημα ψύξης θα μπορούσε επίσης να εξαιρεθεί.

### 3.3.2. Μηχανές χαμηλής απόρριψης θερμότητας

Ένα περίπου τρίτο της θερμότητας που παράγεται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης χάνεται στα περίχωρά του. Η μόνωση του θαλάμου καύσης με την ζιρκόνια-βασισμένη κεραμική για να μειώσει την απώλεια θερμότητας είναι η εστίαση κάποιας έρευνας για πάνω από τριάντα έτη αλλά η πρόοδος είναι αργή.

Σημειώστε ότι μια απλή ένα προς ένα μέταλλο-κεραμική αντικατάσταση δεν θεωρείται συνετή ή εφαρμόσιμη προσέγγιση λόγω των ανησυχιών για τις αντιστάσεις τριβής, κακός συνδυασμός αντίστασης θερμικού κλονισμού, και κεραμική αντίσταση οξειδωσης.

Τα μέταλλα είναι μαλακότερα και πιο όλκιμα από τα κεραμικά και έτσι προσαρμόζονται ευκολότερα στη μηχανή στα τμήματα ακρίβειας. Δεδομένου ότι τα κεραμικά είναι σκληρότερα και προσαρμόζονται δυσκολότερα στη μηχανή, το σχέδιο και η επεξεργασία των κεραμικών συστατικών για μια κεραμική μηχανή θα ήταν μια σημαντική πρόκληση, που απαιτεί τις νέες και καινοτόμες προσεγγίσεις.

### 3.4. Συμπερασματικά για τα κεραμικά υλικά

Η επιλογή ενός κεραμικού περιπλέκεται από τις ιδιαίτερες ιδιότητες που μπορεί να έχει ένα κεραμικό αλλά να λείπει από κάποιο άλλο. Επιπλέον, η επιλογή κεραμικού γίνεται δυσκολότερη



από την έλλειψη των χρήσεων, της σύντομης ιστορίας και μόνο ενός μικρού συνόλου δεδομένων των κεραμικών εφαρμογών. Αντίθετα, τα μέταλλα και τα κράματα έχουν μία εκτενή και μεγάλη ιστορία της δραστηριότητας και ένα μη αμελητέο ποσό στοιχείων για να στηριχθούν επάνω. Στη προσεχτική εξέταση έχουμε αποφασίσει σχετικά με μια βασισμένη εφαρμοσμένη μηχανική ζιρκόνια κεραμική για τους ακόλουθους λόγους:

- i) η σχετικά καλή μηχανική δύναμή του (δηλ. συνδυασμός υψηλής ανθεκτικότητας σπασίματος και υψηλής δύναμης κάμψεων)
- ii) οι ιδιότητες των ζιρκονίων που είναι σαφώς χρήσιμες στις μηχανές θερμότητας
- iii) δοκιμές που δείχνουν ότι το κεραμικό ζιρκόνια δεν πάσχει από την υδροθερμική υποβάθμιση που μολύνει αρκετά άλλα κεραμικά
- iv) όντας ένα οξειδίο, το ζιρκόνιο είναι απίθανο να οξειδωθεί περαιτέρω. Πολλά καύσιμα περιέχουν τις χημικά-ενεργές και διαβρωτικές ουσίες, η αντίσταση ενάντια στην υδροθερμική υποβάθμιση και η αντίσταση ενάντια στην οξείδωση είναι ιδιαίτερα επιθυμητές ιδιότητες ενός κεραμικού για μια μηχανή εσωτερικής καύσης.

## **Επίλογος – Συμπεράσματα**

Οι εφαρμογές των υλικών σε μηχανές εσωτερικής καύσεως αποτελούν πεδίο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος τα τελευταία 30 χρόνια. Η χρήση υλικών με υψηλή μηχανική αντοχή, πυριμαχικότητα και αντοχή σε θερμικές καταπονήσεις, επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας και συνεπώς βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμων. Όσο τα πλοία θα συνεχίσουν να είναι το κυρίαρχο μέσο μεταφοράς αγαθών ανά τον κόσμο τόσο η επιστήμη θα συνεχίσει να βρίσκει νέες τεχνολογίες και υλικά που θα κάνει τις μηχανές τους να λειτουργούν αποδοτικότερα, πιο αποτελεσματικά και με χαμηλότερο κόστος.

## Βιβλιογραφία

1. [http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=mX1-OJBQ6ngC&oi=fnd&pg=PA1&dq=high+temperature+materials+for+internal+combustion+engines&ots=imllTv9vrX&sig=RwcGxGY4c3u4qENeN7uyQOyvc0g&redir\\_esc=y#v=onepage&q=high%20temperature%20materials%20for%20internal%20combustion%20engines&f=false](http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=mX1-OJBQ6ngC&oi=fnd&pg=PA1&dq=high+temperature+materials+for+internal+combustion+engines&ots=imllTv9vrX&sig=RwcGxGY4c3u4qENeN7uyQOyvc0g&redir_esc=y#v=onepage&q=high%20temperature%20materials%20for%20internal%20combustion%20engines&f=false)
2. <http://www.google.com/patents/US4341826>
3. <http://www.google.com/patents/US4624940>
4. <http://ceramicrotaryengines.com/>
5. [http://www.schunk-group.com/uploads/tx\\_rmsschunktest/08-06\\_Carbon-Pistons-for-Internal-Combustion-Engines\\_04.pdf](http://www.schunk-group.com/uploads/tx_rmsschunktest/08-06_Carbon-Pistons-for-Internal-Combustion-Engines_04.pdf)
6. [http://oldportal.demokritos.gr/parousiaseis/VEKINIS\\_150705.pdf](http://oldportal.demokritos.gr/parousiaseis/VEKINIS_150705.pdf)
7. <http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/handle/123456789/1905?show=full>
8. <http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/YLIKA/SHMEIWSEIS/3%20MHXANIKH%20SYMPERIFORAw.pdf>
9. <http://iceal.wikidot.com/ilika>
10. Λάζαρος Χ. Κλιάνης, Ιωάννης Κ. Νικολού, Ιωάννης Κ. Σιδέρης, Μ.Ε.Κ Τόμος Πρώτος, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2003
11. Λάζαρος Χ. Κλιάνης, Ιωάννης Κ. Νικολού, Ιωάννης Κ. Σιδέρης, Μ.Ε.Κ Τόμος Δεύτερος, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2003

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Πρόλογος .....	5
Κεφάλαιο 1. Κατηγορίες μετάλλων που χρησιμοποιούνται .....	6
1.1. Υλικά των Μ.Ε.Κ .....	6
1.2. Πυρίμαχα μέταλλα .....	6
1.3. Μη σιδηρούχα κράματα .....	7
1.3.1: Κράματα χαλκού .....	7
1.3.2: Κράματα Cu-Zn (Ορείχαλκοι) .....	8
1.3.3. Κράματα Cu-Sn (Μπρούντζοι) .....	9
1.3.4. Κράματα Cu-Al (χαλκοαλουμίνιο) .....	10
1.3.6. Κράματα Μαγνησίου .....	11
1.3.6. Κράματα Αλουμινίου .....	11
1.3.7. Κράματα Τιτανίου .....	12
1.3.8. Κράματα Νικελίου .....	13
1.3.9. Κράματα Μολύβδου .....	14
Κεφάλαιο 2. Μέρη Μ.Ε.Κ και υλικά κατασκευής .....	15
Γενικά .....	15
2.1. Έμβολο .....	15
2.1.1. Δομή εμβόλων .....	16
2.1.2. Διαμόρφωση εμβόλων με ανοχή συναρμογής .....	16
2.1.3. Υλικά κατασκευής εμβόλων .....	18
2.1.4. Κατασκευή εμβόλων .....	19
2.1.5. Σφυρήλατα έμβολα .....	19
2.1.6. Έμβολα άνθρακα .....	20
2.1.6.1. Γιατί έμβολα άνθρακα; .....	20
2.1.6.2. Οι ιδιότητες και πλεονεκτήματα εμβόλων άνθρακα .....	21
2.1.6.3. Έμβολα άνθρακα επίσης για τις δίχρονες μηχανές πλοίων .....	21
2.2. Ελατήρια Εμβόλων .....	22
2.2.1. Ιδιότητες ελατηρίων .....	22
2.2.2. Είδη ελατηρίων .....	22
2.3. Διωστήρας .....	23
2.3.1. Δομή .....	24

2.4. Βαλβίδες εισαγωγής – εξαγωγής.....	25
2.4.1. Κοινές βαλβίδες.....	25
2.4.2. Βαλβίδες σοδίου.....	26
2.4.3. Έδρα βαλβίδας.....	27
2.5. Θάλαμος καύσης.....	28
2.5.1. Απαιτήσεις κατασκευής.....	29
2.5.2. Κατασκευή θαλάμου καύσης.....	30
Κεφάλαιο 3: Κεραμικά υλικά .....	35
3.1. Γενικά.....	35
3.2. Οι θερμικές απώλειες.....	36
3.3. Κεραμικές μηχανές.....	38
3.3.1 Ποιο κεραμικό να επιλεγθεί.....	39
3.3.2. Μηχανές χαμηλής απόρριψης θερμότητας.....	40
3.4. Συμπερασματικά για τα κεραμικά υλικά.....	40
Επίλογος – Συμπεράσματα.....	41
Βιβλιογραφία.....	42