

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

## **ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΧΥΤΕΥΣΗ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΦΟΙΤΗΤΕΣ:**

- 1.ΚΟΥΤΣΑΛΑΡΑΣ ΗΛΙΑΣ**
- 2.ΚΑΝΕΛΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Καθηγ. Δρ.-Μηχ. ΜΠΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2019**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη και την χύτευση του στροφαλοφόρου άξονα. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των βασικών μερών συγκεκριμένου στροφαλοφόρου άξονα τετρακύλινδρης μηχανής με μαθηματικούς υπολογισμούς και η περιγραφή της διαδικασίας χύτευσης του στροφαλοφόρου άξονα.

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία ενός εμβολοφόρου κινητήρα είναι ο στροφαλοφόρος άξονας ή απλά στροφαλόφορος. Ο στροφαλόφορος αποτελεί το συνδετικό στοιχείο μεταξύ του κιβωτίου ταχυτήτων και των εμβόλων και διωστήρων του κινητήρα και μετατρέπει μέσω των διωστήρων την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική με τη βοήθεια των στροφάλων.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται η λειτουργία και τα μέρη του στροφαλοφόρου άξονα. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία της χύτευσης και οι διάφορες μέθοδοι που ακολουθούνται αλλά και τα υλικά που χρησιμοποιούμε. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η χύτευση του στροφαλοφόρου άξονα. Στο τέταρτο κεφάλαιο υπολογίζονται μαθηματικά τα βασικά μέρη του στροφαλοφόρου άξονα ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται οι παράμετροί τους. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία κατασκευής του στροφαλοφόρου άξονα με τη μέθοδο της χύτευσης. Η εργασία έγινε στο εργαστήριο της Μηχανικής-Υλικών-Μηχανών με την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Μπατσούλα Νικόλαο τον οποίο τον ευχαριστούμε θερμά για την βοήθεια του.

## Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	- 1 -
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ .....	- 7 -
2.1. Σφυρηλάτηση .....	- 7 -
2.2. Μέθοδος Κοπής .....	- 12 -
2.3. Τα υλικά κατασκευής για σφυρηλάτηση .....	- 16 -
2.4. Τα υλικά κατασκευής για χύτευση .....	- 20 -
3. ΧΥΤΕΥΣΗ .....	- 25 -
3.1. Ταξινόμηση μεθόδων χύτευσης .....	- 28 -
4. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ : ΒΑΣΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	- 55 -
5. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ: ΣΧΕΔΙΑΣΗ .....	- 64 -
6. ΧΥΤΕΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ.....	- 65 -
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	- 69 -

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελεί το μέσο που ουσιαστικά μεταφέρει το έργο που παράγεται από την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων της μηχανής του οχήματος, τα οποία κινούνται ύστερα από την εκτόνωση των αερίων στον θάλαμο καύσης.

Στη πραγματικότητα, έχουμε τους διωστήρες (μπιέλες) που στρέφουν τον στροφαλοφόρο άξονα μετατρέποντας την παλινδρομική σε περιστροφική κίνηση. Βασικό στοιχείο της μηχανικής συναρμογής του στροφαλοφόρου αποτελούν τα κομβία βάσης, έδρανα υψηλή αντοχής στα οποία αυτός στηρίζεται και περιστρέφεται, ενώ ταυτόχρονα λιπαίνονται ώστε να μειωθούν οι παραγόμενες τριβές και κατά συνέπεια η θερμότητα που παράγεται.

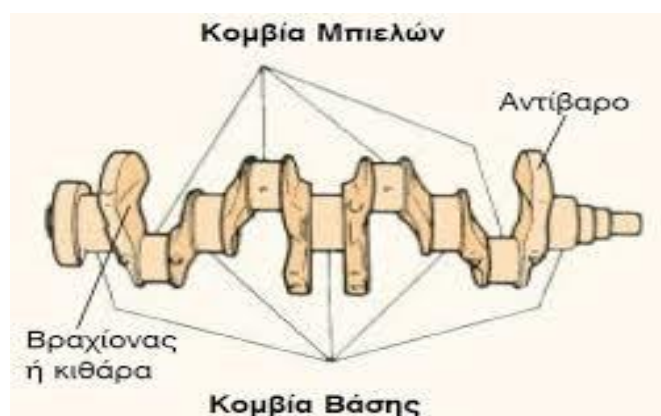


Σχ. 1.1: Ο στροφαλοφόρος άξονας [9]

Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελείται από τα **κομβία βάσης** (που εδράζονται στα έδρανα βάσης της μηχανής) και τα **κομβία των διωστήρων**, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τους βραχίονες. Σχηματίζονται διαδοχικά τμήματα σχήματος Π που ονομάζονται **αγκώνες** και καθένα από αυτά περιλαμβάνει δύο βραχίονες μαζί με το κομβίο του διωστήρα και υπάρχουν τόσος αγκώνες όσος είναι ο αριθμός των κυλίνδρων. Ο στροφαλοφόρος έχει σπαστό σχήμα και οι αγκώνες δεν βρίσκονται όλοι στο ίδιο επίπεδο.

Ο στροφαλοφόρος μέσω της μπιέλας δέχεται τη κινητική ενέργεια του εμβόλου, ενώ με τη σειρά του στέλνει τη δύναμη που χρειάζεται το έμβολο κατά τους παθητικούς χρόνους της εισαγωγής, της συμπίεσης και της εξαγωγής και κυρίως στη φάση της συμπίεσης. Στο άκρο του στροφαλοφόρου υπάρχει ένας βαρύς ζυγοσταθμισμένος δίσκος, που ονομάζεται σφόνδυλος ή βολάν, και συνδέεται με το πλησιέστερο προς το κιβώτιο ταχυτήτων άκρο του στροφαλοφόρου, με σκοπό να αποταμιεύει ενέργεια κατά τον ωφέλιμο χρόνο της εκτόνωσης και να την αποδεσμεύει ως δυναμική ενέργεια στους επόμενους τρεις χρόνους, έτσι ώστε να υπάρχει ένας σταθερός ρυθμός περιστροφής.

Οι βραχίονες του στροφαλοφόρου άξονα φέρουν αντίβαρα έτσι ώστε να ισορροπούν οι διάφορες δυνάμεις που εξασκούνται και να γίνεται επομένως ζυγοστάθμιση των έκκεντρων μαζών του στροφαλοφόρου και των κινούμενων τμημάτων όπως είναι και οι μπιέλες.



Σχ. 1.2 : Τα διάφορα μέρη ενός στροφαλοφόρου άξονα [10]

Οι δυνάμεις που καταπονούν τον στροφαλοφόρο άξονα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς. Πρωτογενείς δυνάμεις είναι οι δυνάμεις που προκαλούνται από τα αέρια που παράγονται από τη καύση, και οι οποίες ασκούνται στον άξονα, μέσω του εμβόλου και του διωστήρα. Δευτερογενείς δυνάμεις είναι οι δυνάμεις εκείνες που προκαλούνται από τις δυνάμεις αδράνειας των κινούμενων μαζών. Οι δυνάμεις αδράνειας, που οφείλονται στην παλινδρομική κίνηση του εμβόλου και του διωστήρα, λέγονται δυνάμεις αδράνειας παλινδρομικών μαζών, ενώ οι δυνάμεις αδράνειας που οφείλονται στην περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα και των βραχιόνων του, λέγονται δυνάμεις αδράνειας περιστροφικών μαζών.

Η καλή λειτουργία του στροφαλοφόρου λοιπόν φαίνεται ότι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι περισσότεροι από τους οποίους έχουν σχέση με τη σχεδίαση και την κατασκευή του.

Τα υλικά κατασκευής του στροφαλοφόρου είναι, όπως θα δούμε στη συνέχεια κράματα υψηλής αντοχής. Οι πιο φθινοί άξονες κατασκευάζονται μονοκόμματα από χυτοσίδηρο (μαντέμι) ή από χυτοχάλυβα και υφίστανται διάφορες κατεργασίες υψηλής ακρίβειας, ενώ οι ακριβότεροι κατασκευάζονται από ένα κομμάτι χάλυβα που διαμορφώνεται ανάλογα με τις ανάγκες σε τόρνο ακρίβειας. Το μεγάλο πλεονέκτημα των χυτών είναι η εύκολη και χαμηλού κόστους κατασκευή τους, ενώ το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η μεγαλύτερη πιθανότητα καταστροφής τους σε σχέση με ένα χαλύβδινο στροφαλοφόρο κατεργασμένο στον τόρνο.

Τα διάφορα μέρη ενός στροφαλοφόρου άξονα, όπως φαίνονται και στο σχήμα είναι:

Οι στροφείς ή κομβία βάσης (main journals): είναι οι στροφείς που αντιστοιχούν στα έδρανα βάσης που υπάρχουν στο σώμα του κυλίνδρου και στα οποία στηρίζεται ο στροφαλοφόρος, ενώ ταυτόχρονα λιπαίνονται ώστε να μειωθούν οι τριβές που δημιουργούνται και κατά συνέπεια να μειωθεί και η θερμότητα που παράγεται.

Τα κομβία βάσης χρησιμεύουν ως σημεία στήριξης και ως κέντρο περιστροφής για τον άξονα. Ως επιφάνειες στήριξης, τα κομβία βάσης και τα περιστρεφόμενα άκρα των στροφαλοφόρων αξόνων σκληραίνουν επιφανειακά έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα πιο ανθεκτικό μεταλλικό έδρανο χωρίς να προκαλείται υπερβολική φθορά του άξονα. Όπως φαίνεται και στο σχήμα οι στροφαλοφόροι άξονες έχουν ένα κομβίο βάσης σε κάθε άκρο του άξονα και ένα ενδιάμεσο κομβίο βάσης ως κύριο περίγραμμα μεταξύ των στροφάλων.

Στους μεγάλους τετρακύλινδρους κινητήρες, ενώ παλαιότερα υπήρχαν τρία κομβία βάσης σήμερα έχουν αυξηθεί σε πέντε ώστε η λειτουργία του κινητήρα να είναι πιο ομαλή ενώ και ο στροφαλοφόρος έχει μεγαλύτερη αντοχή στις καταπονήσεις.

Οι στροφείς μπιέλας ή στρόφαλα (rod journals): είναι οι στροφείς του στροφαλοφόρου στους οποίους συνδέονται οι μπιέλες (connecting rods). Το στρόφαλο είναι ένα τμήμα του στροφαλοφόρου που προεξέχει (εξόγκωμα), στην άκρη του οποίου

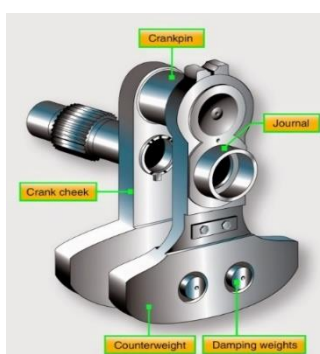
εδράζεται ο διωστήρας ούτως ώστε, κάθε φορά που ασκείται δύναμη σε αυτόν, να δημιουργείται ροπή που να περιστρέφει τον στροφαλοφόρο.

Η εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του στροφαλοφόρου εξαρτάται και από τη γωνία σφηνώσεως, τη γωνία δηλαδή που σχηματίζουν μεταξύ τους τα κομβία των διωστήρων που αντιστοιχούν σε κυλίνδρους διαδοχικών αναφλέξεων και όχι κατ' ανάγκην σε δύο γειτονικούς κυλίνδρους. Αυτή η γωνία είναι υπεύθυνη για την ομοιόμορφη κλιμάκωση των ωθήσεων από τους διωστήρες και τα έμβολα.

Σε έναν τετράχρονο κινητήρα, ο κύκλος πραγματοποιείται σε δύο περιστροφές, δηλαδή σε 720 μοίρες και , όταν είναι επιθυμητή η πιο ομαλή απόδοση της ροπής, αν  $N$  είναι ο αριθμός των κυλίνδρων η γωνία σφηνώσεως είναι  $720/N$ . Πρακτικά, η γωνία σφηνώσεως μπορεί να έχει τιμές από 360 μοίρες μέχρι και λιγότερο από 90 (για τους δίχρονους κινητήρες η γωνία σφηνώσεως είναι  $360/N$ )

Η διάταξη των κομβίων του στροφαλοφόρου άξονα εξαρτάται από τον αριθμό των κυλίνδρων του κινητήρα αλλά εξαρτάται επίσης και από τη σειρά ανάφλεξης τους. Η καλύτερη κατασκευή για εν σειρά κυλίνδρους θεωρείται εκείνη όπου τα κομβία των μπιελών εναλλάσσονται με τα κομβία βάσης.

Σε πολλούς στροφαλοφόρους άξονες, ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλους κινητήρες, τα κομβία βάσης, όπως και τα κομβία μπιέλας, έχουν κούφια κατασκευή. Η κοίλη κατασκευή όχι μόνο μειώνει σημαντικά το βάρος αλλά και αυξάνει την ικανότητα ροπής του στροφαλοφόρου άξονα και παρέχει ένα πέρασμα για τη ροή του λιπαντικού ελαίου.



Σχ. 1.3: Ένας βραχίονας στροφαλοφόρου άξονα μηχανής αεροπλάνου.[11]

Οι βραχίονες ή κιθάρες (throws): είναι τα τμήματα που συνδέουν τα κομβία βάσης με τα κομβία των μπιελών. Κάθε βραχίονας ενός άξονα αποτελείται από τρία μέρη, δύο " μάγουλα" και έναν πείρο, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Σε κάθε



στρόφαλο υπάρχουν τα σημεία στερέωσης για τις ράβδους σύνδεσης (μπιέλες), τα οποία οποίες είναι παράπλευρα στα κομβία βάσης. Τα αντίβαρα (counterweights): οι δυνάμεις που κινούν τον στροφαλοφόρο άξονα ενός κινητήρα ντήζελ παράγονται και μεταδίδονται στον στροφαλοφόρο άξονα με παλμικές κινήσεις. Αυτές οι κινήσεις δημιουργούν στρεπτικές ταλαντώσεις, οι οποίες καταπονούν σοβαρά έναν κινητήρα αν δεν αποσβεσθούν από κάποιες αντίθετες δυνάμεις. Για τον λόγο αυτό πολλοί κινητήρες απαιτούν ένα συμπληρωματικό σύστημα απόσβεσης ταλαντώσεων ώστε να εξασφαλίσουν συνθήκες ικανοποιητικής λειτουργίας. Ένας αποσβεστήρας κραδασμών τοποθετείται συνήθως στο ελεύθερο άκρο του στροφαλοφόρου άξονα. Σήμερα χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι στρεφόμενων αποσβεστήρων.

Σε ορισμένους στροφαλοφόρους άξονες, μέρος του ιστού του στροφαλοφόρου άξονα εκτείνεται πέρα από το στροφέιο βάσης ώστε να σχηματίζει μόνο του ή να υποστηρίζει επιπλέον αντίβαρα προσαρτημένα στο σύστημα με κοχλίες και παξιμάδια ή βιδωτές βίδες. Τα αντίβαρα εξισορροπούν το βάρος του μεμονωμένου στροφάλου και αντισταθμίζουν έτσι τη φυγόκεντρη δύναμη που παράγεται από κάθε εκτροπή στροφάλου. Χωρίς τέτοια ισορροπία, η δράση της στροφάλου θα δημιουργούσε σοβαρές δονήσεις, ιδιαίτερα στις υψηλότερες ταχύτητες και καθώς αυτού του είδους οι δονήσεις δύσκολα ελέγχονται ο άξονας γρήγορα θα καταστραφεί. Τα αντίβαρα δημιουργούν παρόμοιες με τους σφονδύλους αδρανειακές δυνάμεις για να μειώσουν την παλλόμενη επίδραση των παλμών ισχύος.

Το βολάν είναι ένας αρκετά βαρύς μεταλλικός δίσκος που βρίσκεται βιδωμένος στο οπίσθιο άκρο του στροφαλοφόρου άξονα, στο πίσω μέρος του κινητήρα, και περιστρέφεται με τις ίδιες στροφές, που περιστρέφεται και ο στροφαλοφόρος άξονας. Χρησιμεύει σαν αποθήκη ενέργειας για τους παθητικούς χρόνους της λειτουργίας του κινητήρα. Επομένως όσο περισσότερους κυλίνδρους έχει ένας κινητήρας, τόσο μικρότερο βάρος έχει το βολάν καθώς στη περίπτωση αυτή οι παθητικοί χρόνοι καλύπτονται από την εκτόνωση κάποιου άλλου κυλίνδρου.

Άκρο στροφαλοφόρου (snout): το άκρον του στροφαλοφόρου άξονα ή, όπως συνήθως αναφέρεται ως ρύγχος, βρίσκεται στο πρώτο μέρος του στροφαλοφόρου άξονα πριν από το κεντρικό έδρανο.

Συνήθως, το μήκος του άκρου είναι αρκετά μεγάλο ώστε να προεξέχει από το κάλυμμα χρονισμού του κινητήρα και έχει διάμετρο αρκετά μεγάλη για να φιλοξενεί πάνω του έναν εξισοροποιητή αρμονικών.. Αν και ορισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του άκρου του στροφαλοφόρου ποικίλλουν ανάλογα με τον κατασκευαστή, εξυπηρετούν όλες τις ίδιες βασικές λειτουργίες.



Σχ. 1.4: Το άκρο του στροφαλοφόρου άξονα.[12]

Το άκρο του στροφαλοφόρου άξονα εξυπηρετεί δύο βασικούς σκοπούς. Κατ'αρχάς, η μύτη μπορεί να δεχτεί ένα γρανάτζι χρονισμού και, δεύτερον, μπορεί να τοποθετηθεί ένας κατάλληλα επιλεγμένος αρμονικός εξισοροποιητής (αντίβαρο).

Το ρύγχος του στροφαλοφόρου άξονα είναι επομένως κρίσιμο για τη διατήρηση του χρονισμού και της ισοροπίας ανάφλεξης του κινητήρα, ενώ παράλληλα αποτελεί το καταλληλότερο σημείο για την τοποθέτηση ενός αποσβεστήρα.

Ο στροφαλοφόρος άξονας εδράζεται στα έδρανα βάσεως, πάνω στο μπλοκ του κινητήρα. Καθώς τα έμβολα κινούνται προς τα κάτω απ' τις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά τον χρόνο της εκτόνωσης, αναγκάζεται ο στροφαλοφόρος να περιστραφεί. Ο στροφαλοφόρος καθώς περιστρέφεται μετατρέπει την ροπή σε κινητική ενέργεια, μέσω του κιβωτίου και του διαφορικού στους τροχούς. Τα έδρανα στα οποία εδράζεται ο στροφαλοφόρος απαιτούν υδροδυναμική λίπανση με μεγάλη πίεση. Στη λειτουργία του κινητήρα, διοχετεύεται λιπαντικό απ' την αντλία λίπανσης (του κινητήρα) με υψηλή πίεση και έτσι ο στροφαλοφόρος περιστρέφεται πάνω σε ένα στρώμα λιπαντικής μεμβράνης. Η υδροδυναμική λίπανση εδράζει τον άξονα μέσα στο έδρανο ολίσθησης (κουζινέτο), λόγω της υψηλής πίεσης του λαδιού.

## **2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ**

### **ΑΞΟΝΑ**

Δεδομένου ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν μειώσει το συνολικό μέγεθος και το βάρος των αυτοκινήτων τους για να ανταποκριθούν στις οικονομίες καυσίμου και τα πρότυπα εκπομπών, για να μείνουν στη κούρσα του ανταγωνισμού έχουν εστιάσει σε επεμβάσεις αναβάθμισης του κινητήρα. Επειδή το μέγεθος του κινητήρα έχει μειωθεί εντυπωσιακά και τα εξαρτήματα του παράγονται από υλικά πιο ελαφρά, οι τάσεις σε κάθε δομικό και κινούμενο κατασκευαστικό στοιχείο έχουν αυξηθεί.

Ένα από τα συστατικά που επηρεάζονται περισσότερο από την αυξημένη τάση του κινητήρα είναι ο στροφαλοφόρος άξονας, καθώς χρησιμεύει ως πομπός ροπής στρέψης για ολόκληρη την κινητήρια αμαξοστοιχία. Απλά περιγράφεται, ένα μίγμα καυσίμου / αέρα ωθείται μέσα στο θάλαμο καύσης σε μια μηχανή όπου αναφλέγεται, αναγκάζοντας τα έμβολα, τα οποία βρίσκονται μέσα σε κάθε κύλινδρο μπλοκ κινητήρα, πάνω-κάτω. Αυτά τα έμβολα, τα οποία είναι συνδεδεμένα με τον στροφαλοφόρο άξονα με τις ράβδους σύνδεσης, ωθούν τον στροφαλοφόρο άξονα να περιστραφεί. Αυτή η περιδίνηση μεταφέρεται έπειτα στον σφόνδυλο, ο οποίος μεταφέρει την ενέργεια στο κιβώτιο ταχυτήτων και το σύστημα κίνησης για να γυρίσει τους τροχούς του αυτοκινήτου. Αυτή η περιστροφή περνά επίσης στον εκκεντροφόρο άξονα, ο οποίος ανοίγει και κλείνει τις πολλαπλές εισαγωγής και εξαγωγής για να αφήσει το μίγμα αέρα / καυσίμου μέσα και έξω από το θάλαμο καύσης.

Οι μέθοδοι κατασκευής των στροφαλοφόρων αξόνων είναι : η σφυρηλάτηση , κοπή και η χύτευση οι οποίες αναλύονται παρακάτω . Ειδικά η χύτευση αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο .

### **2.1. Σφυρηλάτηση**

Η σφυρηλάτηση είναι μια διαδικασία κατασκευής που περιλαμβάνει τη διαμόρφωση ενός μετάλλου με σφυρηλάτηση, συμπίεση ή κύλιση. Αυτές οι συμπιεστικές δυνάμεις παρέχονται με σφύρα ή μήτρα. Η σφυρηλασία συχνά κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία εκτελείται - κρύο, ζεστό ή ζεστό σφυρηλάτηση.

Ένα ευρύ φάσμα μετάλλων μπορεί να πλανιστεί. Τα τυπικά μέταλλα που χρησιμοποιούνται στη σφυρηλάτηση περιλαμβάνουν χάλυβα άνθρακα , κράμα χάλυβα και ανοξείδωτο χάλυβα . Πολύ μαλακά μέταλλα όπως το αλουμίνιο , ο ορείχαλκος και ο χαλκός μπορούν επίσης να πλανιστούν.

Η διαδικασία σφυρηλασίας μπορεί να παράγει εξαρτήματα με εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες με ελάχιστα απόβλητα. Η βασική ιδέα είναι ότι το αρχικό μέταλλο παραμορφώνεται πλαστικά στο επιθυμητό γεωμετρικό σχήμα δίνοντάς του μεγαλύτερη αντίσταση στην κόπωση και αντοχή.

Η διαδικασία είναι οικονομικά υγιής με την ικανότητα μαζικής παραγωγής μερών και την επίτευξη συγκεκριμένων μηχανικών ιδιοτήτων στο τελικό προϊόν.



Σχ. 2.1: Το μέταλλο διαμορφώνεται με συμπιεστικές δυνάμεις που παρέχονται από μια μηχανή σφυρηλάτησης. [13]

### **Θερμή σφυρηλάτηση**

Η θερμή σφυρηλάτηση είναι μια διεργασία μεταλλουργίας στην οποία τα μέταλλα παραμορφώνονται πλαστικά πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσής τους. Πράγμα που επιτρέπει στο υλικό να διατηρεί το παραμορφωμένο σχήμα του καθώς ψύχεται. 1250 ° C για τον χάλυβα, 300 έως 460 ° C για Al-κράματα, 750 έως 1040 ° C για κράματα τιτανίου και 700 έως 800 ° C για κράματα Cu. Η σφυρηλάτηση γίνεται με υδραυλικά ή πνευματικά σφυριά, πρέσες και άλλα παρόμοια μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη συμπίεση του θερμαινόμενου μετάλλου στο επιθυμητό σχήμα του τμήματος. Οι μήτρες που χρησιμοποιούνται στη θερμή σφυρηλάτηση είναι κατασκευασμένες κατά παραγγελία ώστε να ταιριάζουν με τα σχέδια εξαρτημάτων του

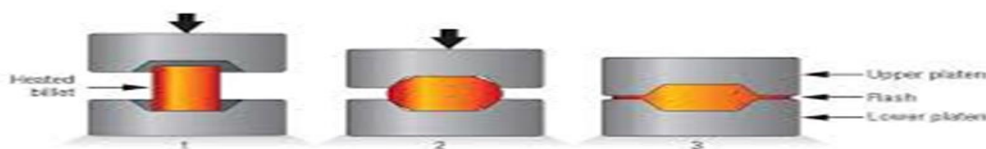
πελάτη. Επειδή το ζεστό μέταλλο είναι πιο εύκαμπτο, η διαδικασία αυτή επιτρέπει πιο περίπλοκα σχήματα από το ψήσιμο σε κρύο, καθιστώντας δυνατή μια τεράστια ποικιλία γεωμετρικών στοιχείων.



Σχ. 2.2: Διεργασία θερμής σφυρηλάτησης. [14]

### Ψυχρή σφυρηλάτηση

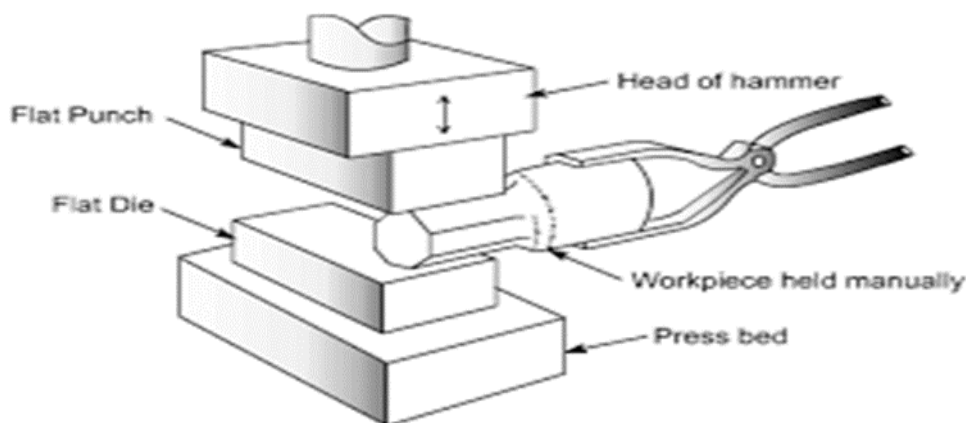
Η ψυχρή σφυρηλάτηση παραμορφώνει το μέταλλο κάτω από το σημείο ανακρυστάλλωσής του, κοντά ή σε θερμοκρασία δωματίου. Μία προτιμώμενη μέθοδος σφυρηλάτησης για μαλακότερα μέταλλα, το ψήσιμο σε κρύο είναι λιγότερο δαπανηρή και έχει την ικανότητα να παράγει σφυρηλατημένα τμήματα που δεν χρειάζονται καθόλου διαδικασίες φινιρίσματος. Μια διαδικασία ψυχρής εργασίας, το ψήσιμο σε κρύο, συνεπάγεται την τοποθέτηση ραβδώσεων σε μια μήτρα και στη συνέχεια τη συμπίεση με μια δεύτερη κλειστή μήτρα. Το τεμάχιο εργασίας συμπιέζεται ανάμεσα σε δύο μήτρες μέχρι να πάρει το επιθυμητό σχήμα της μήτρας. Παραμόρφωση συμβαίνει σε θερμοκρασία δωματίου, προκαλώντας μια αλλαγή στο μέγεθος και το σχήμα του μετάλλου. Οι βασικοί τύποι εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται για το εύρος μεθόδου σφυρηλάτησης περιλαμβάνουν κάθετες πρέσες, είτε πλήρως αυτόματες είτε με το χέρι. Σημειώστε επίσης ότι αυτές οι κάθετες πρέσες που χρησιμοποιούνται μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε υδραυλικά είτε μηχανικά.



Σχ. 2.3: Ψυχρή σφυρηλάτηση. [15]

## Σφυρηλάτηση ανοιχτής μήτρας

Η ανοικτή σφυρηλάτηση είναι ένα σφυρί που χτυπά και παραμορφώνει ένα μέταλλο σε ένα ακίνητο άκμονα. Σε αυτόν τον τύπο σφυρηλάτησης, το μέταλλο δεν είναι ποτέ αποκλεισμένο πλήρως στις μήτρες - επιτρέποντάς του να ρέει εκτός από τις περιοχές όπου βρίσκεται σε επαφή με τις μήτρες. Είναι ευθύνη του χειριστή να κατευθύνει και να τοποθετήσει το μέταλλο για να επιτύχει το επιθυμητό τελικό σχήμα. Χρησιμοποιούνται επίπεδες μήτρες, ενώ μερικές έχουν ειδικά διαμορφωμένες επιφάνειες για εξειδικευμένες λειτουργίες. Η ανοικτή σφυρηλασία είναι κατάλληλη για απλά και μεγάλα εξαρτήματα, καθώς και προσαρμοσμένα μεταλλικά εξαρτήματα.



Σχ. 2.4 Ανοικτή σφυρηλάτηση [15]

## Σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας

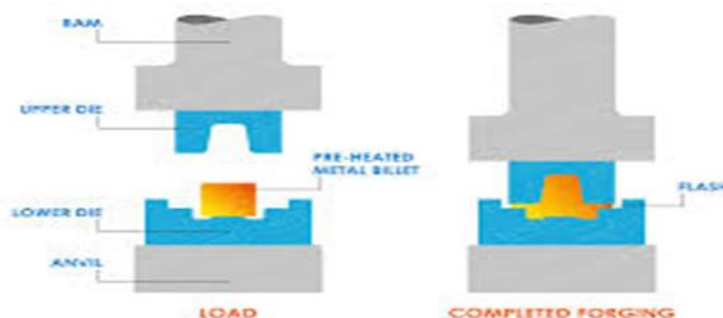
Το μέταλλο τοποθετείται σε μια μήτρα και προσαρτάται σε άκμονα. Το σφυρί πέφτει πάνω στο μέταλλο, προκαλώντας το να ρέει και να γεμίζει τις κοιλότητες της μήτρας. Το σφυρί χρονομετρείται ώστε να έρχεται σε επαφή με το μέταλλο σε γρήγορη διαδοχή σε κλίμακα των χιλιοστών του δευτερολέπτου. Το υπερβολικό μέταλλο ωθείται έξω από τις κοιλότητες της μήτρας, με αποτέλεσμα να . Το υπερβολικό μέταλλο ψύχεται γρηγορότερα από το υπόλοιπο υλικό, καθιστώντας το ισχυρότερο από το μέταλλο στη μήτρα. Μετά τη σφυρηλάτηση, αφαιρείται το υπερβολικό μέταλλο.

Για να φθάσει το μέταλλο στο τελικό στάδιο, μετακινείται μέσω μιας σειράς κοιλοτήτων σε μια μήτρα:

1. Κάμψη: Η πρώτη κάμψη που χρησιμοποιήθηκε για τη χύτευση του μετάλλου σε τραχύ σχήμα.

2. Αποκλεισμός των κοιλοτήτων: Το μέταλλο επεξεργάζεται σε σχήμα που μοιάζει περισσότερο με το τελικό προϊόν.

3. Τελική κοιλότητα: Τελικό στάδιο ολοκλήρωσης και λεπτομερούς επεξεργασίας του μετάλλου στο επιθυμητό σχήμα.



Σχ. 2.5 Σφυρηλασία κλειστής μήτρας. [15]

### Ισοθερμική σφυρηλάτηση

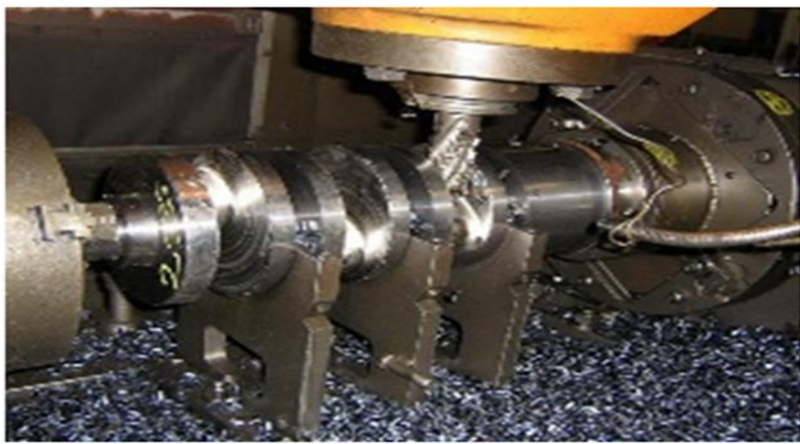
Η ισοθερμική σφυρηλασία είναι μια διαδικασία σφυρηλάτησης όπου το μέταλλο και η μήτρα θερμαίνονται στην ίδια θερμοκρασία. Χρησιμοποιείται αδιαβατική θέρμανση - δεν υπάρχει καθαρή μεταφορά μάζας ή θερμικής ανταλλαγής μεταξύ του συστήματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι αλλαγές οφείλονται σε εσωτερικές αλλαγές που οδηγούν σε πολύ ελεγχόμενους ρυθμούς καταπόνησης. Λόγω της μικρότερης απώλειας θερμότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες μηχανές για αυτή τη διαδικασία σφυρηλάτησης.



## 2.2. Μέθοδος Κοπής

Ο στροφαλοφόρος άξονας κατασκευάζεται από μια στρογγυλή ράβδο υλικού (billet).

Αυτή η μέθοδος κατασκευής παρέχει εξαιρετική ευελιξία στο σχεδιασμό και επιτρέπει γρήγορες αλλαγές στο αρχικό σχέδιο σε αναζήτηση κάποιων βέλτιστων χαρακτηριστικών απόδοσης. Εκτός από τις πλήρως επεξεργασμένες επιφάνειες, η διαδικασία κατασκευής ξεκινώντας από μια ράβδο καθιστά πολύ πιο εύκολο τον προσδιορισμό των θέσεων για τα αντίβαρα και τα κομβία ακριβώς εκεί που ο σχεδιαστής θέλει να είναι .



Σχ. 2.6 : Η πρώτη κατεργασία μιας ράβδου υλικού για τη κατασκευή του στροφαλοφόρου. [16]

Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλαμβάνει μια σειρά από απαιτητικές εργασίες μηχανουργικής κατεργασίας, ειδικά σε σχέση με τη μορφοποίηση και τη κοπή των αντίβαρων, και τις εργασίες διάτρησης για τα κομβία και τη λίπανση. Η διαθεσιμότητα πολυαξονικών μηχανημάτων CNC για μηχανολογική επεξεργασία υψηλής ταχύτητας και παράλληλα υψηλής ακρίβειας, έχει καταστήσει αρκετά αποδοτική τη μέθοδο της διαμόρφωσης του στροφαλοφόρου από την αρχική ράβδο του κράματος μέχρι το τελικό εξάρτημα. Με τη σειρά αυτή των μηχανολογικών κατεργασιών μπορούν πλέον σήμερα να παράγονται εξαιρετικά ακριβείς, ως προς τη σχεδίαση τους, στροφαλοφόροι άξονες, οι οποίοι συχνά απαιτούν πολύ λίγες διαμορφώσεις για λόγους τελικής ισορροπίας.



Σε όλα τα στάδια της κατασκευής του στροφαλοφόρου άξονα χρειάζεται να δίνεται μεγάλη προσοχή καθώς ο στροφαλοφόρος είναι το πιο σημαντικό μέρος του κινητήρα. Κατά τη μηχανική κατεργασία, ο άξονας πρέπει να στηρίζεται κατάλληλα μεταξύ των κέντρων και χρειάζεται να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις για την αποφυγή ρηγματώσεων από τις τάσεις που δημιουργούνται. Τα κομβία βάσης και μπιέλας διαμορφώνονται στις ακριβείς διαστάσεις τους μετά την τελική κατεργασία στον τόρνο. Σε μερικές περιπτώσεις, τα κομβία χρειάζονται και λείανση που γίνεται με το χέρι χρησιμοποιώντας ένα σφουγγάρι.

Δεδομένου ότι διαφορετικές ράβδοι και διαφορετικά έμβολα έχουν διαφορετικά βάρη, είναι αδύνατο να κατασκευαστεί ένας στροφαλοφόρος άξονας που να είναι πλήρως ισορροπημένος "έξω από το κουτί" για οποιοδήποτε συνδυασμό ράβδων και εμβόλων. Όλοι οι στροφαλοφόροι άξονες πρέπει να είναι ισορροπημένοι με τον συγκεκριμένο συνδυασμό ράβδων και εμβόλων.

Το πρώτο βήμα για την κατανόηση της ανάγκης εξισορρόπησης του στροφαλοφόρου άξονα είναι να γίνει κατανοητός ο ρόλος που παίζουν τα αντίβαρα. Τα αντίβαρα έχουν σχεδιαστεί για να αντισταθμίζουν το βάρος της ράβδου και των εμβόλων. Θα πρέπει δηλαδή, σε οποιοδήποτε σημείο της περιστροφής του συστήματος του στροφαλοφόρου άξονα, των εμβόλων και των ράβδων το άθροισμα όλων των δυνάμεων είναι περίπου ίσο με το μηδέν.

Εάν τα αντίβαρα έχουν το σωστό βάρος αλλά και τη σωστή τοποθέτηση για να αντισταθμίσουν το βάρος των ράβδων και των εμβόλων, ο στροφαλοφόρος είναι εξισορροπημένος. Αν τα αντίβαρα είναι πάρα πολύ βαριά, πρέπει να αφαιρεθεί υλικό με διάτρηση ή φρεζάρισμα τους, ενώ αν τα αντίβαρα είναι πολύ ελαφριά, πρέπει να προστεθεί βάρος στα αντίβαρα. Η πρόσθεση βάρους γίνεται συνήθως με άνοιγμα μιας οπής στο αντίβαρο και γέμισμα της οπής με "heavy metal" ή "επιπλέον βάρος". Αυτό το μέταλλο πλήρωσης είναι πυκνότερο και ανθεκτικότερο από το κράμα, έτσι ώστε το βάρος του αντίβαρου να αυξηθεί τελικά.

Όταν για να εξισορροπηθεί ο στροφαλοφόρος άξονας αρκεί να γίνει επέμβαση μόνο στα αντίβαρα, ο στροφαλοφόρος είναι "εσωτερικά ισορροπημένος". Αν τα αντίβαρα είναι πολύ ελαφριά από μόνα τους και για να εξισορροπηθεί ο στροφαλοφόρος άξονας χρειάζεται περισσότερο βάρος, χρειάζεται μια "εξωτερική ισορροπία". Αυτή περιλαμβάνει είτε ένα αρμονικό αποσβεστήρα που τοποθετείται στο

ελεύθερο άκρο του στροφαλοφόρου ή ένα σφόνδυλο που τοποθετείται στην ίδια θέση με το αντίβαρο και επομένως προσθέτει αποτελεσματικά το βάρος του στο βάρος του αντίβαρου.



Σχ. 2.7: Ο αρμονικός αποσβεστήρας σε μια τετρακύλινδρη μηχανή. [16]

Όταν ο στροφαλοφόρος χρειάζεται να εξισορροπηθεί δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος για την εξισορρόπηση και για το λόγο αυτό χρειάζεται να γίνει μια προσομοίωση. Αυτό το βάρος που χρησιμοποιείται στη προσομοίωση ονομάζεται "bobweight". Μόλις υπολογιστεί το bobweight, τα αντίβαρα κουμπώνουν πάνω στα κομβία μπιέλας για να προσομοιωθεί το συνολικό βάρος του στροφαλοφόρου ώστε να γίνει η διαδικασία εξισορρόπησης.

Μετά από αυτή την επεξεργασία ο στροφαλοφόρος είναι εξισορροπημένος. Οι μεγάλοι άξονες των κινητήρων χαμηλής ταχύτητας εξισορροπούνται στατικά αλλά οι στροφαλοφόροι για κινητήρες υψηλής ταχύτητας εξισορροπούνται δυναμικά και μόνο σε ειδικά μηχανήματα εξισορρόπησης. Οι περισσότεροι στροφαλοφόροι άξονες γειώνονται στα κομβία βάσης και μπιέλας για τη διοχέτευση των τάσεων.

Ο στροφαλοφόρος άξονας που χρησιμοποιείται σε μηχανές αυτοκινήτων υψηλής παραγωγής μπορεί να είναι είτε σφυρηλατημένος ή χυτευμένος.

Οι χάλυβες υψηλής αντοχής είναι προσεκτικά επεξεργασμένοι ώστε να έχουν απομακρυνθεί όσο το δυνατόν περισσότερες από τις ανεπιθύμητες ακαθαρσίες (θείο, φώσφορος, ασβέστιο κ.λπ.) και να έχουν επίσης περιορισθεί όσο πιο αυστηρά είναι δυνατόν οι ανοχές που καθορίζουν τις επιτρεπόμενες μεταβολές στο ποσοστό των στοιχείων κράματος.

Οι πολύ υψηλής ποιότητας κραματούχοι χάλυβες συνήθως καθορίζονται και παραγγέλλονται με αναφορά στον αριθμό AMS (αριθμός υλικού αεροσκάφους). Αυτές οι προδιαγραφές περιορίζουν αυστηρά τις ανοχές και για να επιτευχθεί η απαιτούμενη καθαρότητα χρειάζεται να γίνει τήξη σε κενό και κατόπιν επανάληψη της τήξης πάλι σε κενό για περαιτέρω βελτίωση του μετάλλου. Τυπικές μέθοδοι επεξεργασίας κενού είναι οι μέθοδοι VIM και VAR

### **Η τήξη μέσω επαγωγικών ρευμάτων σε κενό (VIM)**

Η τήξη με επαγωγή σε κενό (Vacuum Induction Melting) είναι η τήξη του μετάλλου μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής κάτω από συνθήκες κενού. Στη μέθοδο αυτή το υλικό φορτώνεται στον κλίβανο επαγωγής υπό κενό και εφαρμόζεται ισχύς για τη τήξη του φορτίου που βρίσκεται στον κλίβανο. Στον κλίβανο προστίθενται συνεχώς νέα φορτία ώστε να φθάσει το συνολικό φορτίο την δυνατότητα τήξης που έχει ο κλίβανος.

Το τήγμα μετάλλου εξευγενίζεται υπό κενό και ρυθμίζεται η χημική του σύσταση μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή σύνθεση. Οι ακαθαρσίες που περιέχονται απομακρύνονται με χημική αντίδραση, διάσπαση, επίπλευση και εξαέρωση (ASM Handbook, 2008).

Η VIM είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για να παραχθούν οι υψηλών ιδιοτήτων ανοξειδωτοι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη, τα υπερκράματα, τα μαγνητικά και τα κράματα των μπαταριών, καθώς και άλλα, κράματα υψηλών απαιτήσεων και υψηλής αξίας.

### **Η μέθοδος ανάτηξης με ηλεκτρικό τόξο εν κενώ (VAR)**

Η ανάτηξη σε κενό αέρος (VAR) είναι μια διαδικασία εξευγενισμού στην οποία τα κράματα διαλυτοποιούνται ξανά μέσα σε ένα θάλαμο κενού για τη μείωση της ποσότητας διαλυμένων αερίων στο μέταλλο. Η θέρμανση γίνεται μέσω ενός ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται μεταξύ ενός αναλώσιμου ηλεκτροδίου και του πλινθώματος (ASM Handbook, 2008).

Ο εξευγενισμός του κράματος με ανάτηξη εν κενώ (VAR) είναι μια δευτερογενής διαδικασία τήξης που επιτρέπει στο σώμα της ράβδου να έχει την ομοιογένεια και την καθαρότητα που απαιτείται. Ένα αναλώσιμο κυλινδρικό ηλεκτρόδιο, τοποθετείται σε ένα κυλινδρικά κλειστό χώρο που ψύχεται μέσα από ένα χιτώνιο νερού που τον περιβάλλει. Η τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος που ενεργοποιείται μεταξύ του ηλεκτροδίου και της βάσης του πλινθώματος δημιουργεί ένα ηλεκτρικό τόξο το οποίο τήκει το άκρο του ηλεκτροδίου. Μεταλλικά σταγονίδια που πέφτουν μέσα από το διάκενο του τόξου εκτίθενται σε κενό και οι ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας που υπάρχουν προκαλούν την απομάκρυνση τυχόν διαλυμένων στο κράμα αερίων, και στοιχείων ατμοποίησης με υψηλές τιμές τάσης ατμών όπως είναι ο άνθρακας, το θείο και το μαγνήσιο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η βελτίωση της καθαρότητας του κράματος.

### **2.3. Τα υλικά κατασκευής για σφυρηλάτηση .**

Τα σιδηρούχα κράματα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε στροφαλοφόρους υψηλής αντοχής έχουν επιλεγεί ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία ο στροφαλοφόρος θα χρησιμοποιηθεί και τον επιθυμητό συνδυασμό ιδιοτήτων που κάθε σχεδιαστής αντιλαμβάνεται ότι θα χρειασθούν για αυτήν. Στα παρακάτω δείχνει τη χημική σύσταση των κραμάτων που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή ενός στροφαλοφόρου.

Οι περιεκτικότητες σε άλλα στοιχεία του κράματος:

C = Άνθρακας Mn = Μαγγάνιο Cr = Χρώμιο Ni = Νικέλιο

Mo = Μολυβδαίνιο Si = Πυρίτιο V = Βανάδιο

Τα σιδηρούχα κράματα αποτελούνται κατά κύριο λόγο από σίδηρο μαζί με ένα μικρό ποσοστό άνθρακα (0,25% έως 0,45% άνθρακα), μαζί με συνδυασμούς πολλών άλλων στοιχείων κράματος, ώστε το μείγμα που έχει σχεδιαστεί να παρέχει συγκεκριμένες ιδιότητες στο κράμα που κατασκευάζεται. Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να είναι ιδιότητες σκληρυνσιμότητας, ικανότητας νιτρίωσης, της επιλεγμένης σκλήρυνσης επιφανείας και πυρήνα, της τελικής αντοχής σε εφελκυσμό, του ορίου αντοχής, της ολκιμότητας, της αντοχής στην κρούση, ή της ανθεκτικότητας. Τα στοιχεία κραματοποίησης που χρησιμοποιούνται συνήθως σε αυτούς τους

ανθρακούχους χάλυβες είναι το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο, το πυρίτιο, το κοβάλτιο, το βανάδιο και σε πολύ εξειδικευμένες περιπτώσεις το αλουμίνιο και το τιτάνιο. Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία προσθέτει συγκεκριμένες ιδιότητες σε κάθε κράμα. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι όμως ο κύριος καθοριστικός παράγοντας για τη τελική αντοχή και σκληρότητα την οποία μπορεί να έχει το κράμα.

Τα υλικά των στροφαλοφόρων αξόνων πρέπει να μπορούν χωρίς να έχουν πρόβλημα να υφίστανται μηχανική κατεργασία, να δέχονται μηχανικές και θερμικές κατεργασίες, να είναι ανθεκτικά και να έχουν σκληρότητα και υψηλή αντοχή στην κόπωση. Ο στροφαλοφόρος άξονας κατασκευάζεται από χάλυβα είτε με σφυρηλάτηση είτε με χύτευση ενώ μόνο τα έδρανα των ρουλεμάν σύνδεσης των διωστήρων με τον άξονα και των διωστήρων κατασκευάζονται από Babbitt ,που είναι ένα τριμερές κράμα κασσίτερου, χαλκού και μολυβδου. Οι σφυρήλατοι στροφαλοφόροι κατασκευάζονται από SAE 1045 ή παρόμοιου τύπου χάλυβα και είναι ισχυρότεροι από τους στροφαλοφόρους άξονες, αλλά είναι και ακριβότεροι. Η σφυρηλάτηση του άξονα δημιουργεί έναν πολύ πυκνό και σκληρό άξονα με έναν κόκκο που έχει διαταχθεί παράλληλα με την κύρια διεύθυνση τάσης.

Η επιλογή των διαφόρων χαλύβων κατασκευής του στροφαλοφόρου άξονα και οι θερμικές επεξεργασίες για διάφορες εφαρμογές έχουν ως εξής:

#### **Χάλυβας μαγγανίου-μολυβδαινίου.**

Πρόκειται για ένα σχετικά φθινό χάλυβα σφυρηλάτησης και, χρησιμοποιείται για στροφαλοφόρους σε βενζινοκινητήρες μεσαίας ιπποδύναμης. Το κράμα αυτό έχει τη σύνθεση 0,38% άνθρακα, 1,5% μαγγάνιο, 0,3% μολυβδαίνιο και το υπόλοιπο σίδηρο. Ο χάλυβας υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία με απότομη ψύξη από τη θερμοκρασία 1123 K, , ακολουθούμενη από σκλήρυνση στα 973 K, η οποία δημιουργεί μια επιφανειακή σκληρότητα περίπου 250 Brinell. Με αυτή την επιφανειακή σκληρότητα ο άξονας είναι κατάλληλος τόσο για έδρανα από κασσίτερο-αλουμίνιο όσο και για έδρανα από μολυβδο-χαλκό.

### **Χάλυβες χρωμίου-μολυβδαινίου.**

Αυτός ο χάλυβας σφυρηλάτησης χρησιμοποιείται για στροφαλοφόρους άξονες βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων μεσαίου έως βαρέως τύπου. Η σύνθεση αυτού του κράματος είναι 0,4% άνθρακα, 1,2% χρώμιο, 0,3% μολυβδαίνιο και υπόλοιπο σίδηρο. Ο χάλυβας υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία με σβέση σε λάδι από την αρχική θερμοκρασία των 1123 K και στη συνέχεια γίνεται σκλήρυνση στα 953 K, ενώ δημιουργείται μια επιφάνεια με περίπου 280 Brinell. Για τη χρήση σκληρότερων ρουλεμάν, οι σφόνδυλοι μπορούν να έχουν σκληρυνθεί επιφανειακά, με φλόγα ή επαγωγικά ρεύματα μέχρι τα 480 Brinell. Για εφαρμογές πολύ βαρέως τύπου, μια διαδικασία νιτρίωσης μπορεί να αυξήσει τη σκληρότητα της επιφάνειας μέχρι τα 700 Brinell. Αυτές οι επιφάνειες είναι κατάλληλες για όλους τους τύπους εδράνων, όπως τα έδρανα από κασσίτερο-αλουμίνιο και χαλκό.

Υπάρχουν και άλλοι χάλυβες εξαιρετικά υψηλής αντοχής που δεν είναι όμως κράματα που έχουν πρόσθετο άνθρακα. Αυτοί οι χάλυβες, γνωστοί ως ωστενιτικοί χάλυβες, δέχονται τη κατάλληλη επεξεργασία έτσι ώστε να απομακρύνουν όσο το δυνατόν περισσότερο τον άνθρακα και να αναπτύσσουν πολύ υψηλές ιδιότητες αντοχής και κόπωσης ως αποτέλεσμα των κρυσταλλικών δομών που σχηματίζονται από τις μεγάλες αναλογίες νικελίου (15 % και άνω) και κοβάλτιου (6% και άνω) που περιέχουν. Αυτοί οι χάλυβες μπορούν να επιτύχουν ακραία επίπεδα αντοχής και να διατηρήσουν εξαιρετικά επίπεδα αντοχής στην κρούση.

Στη κατηγορία αυτών των χαλύβων που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή στροφαλοφόρων αξόνων υψηλών επιδόσεων, το κράμα νικελίου-χρωμίου-Μολυβδαίνιου (SAE-4340) είναι, λόγω των πολύ ανθεκτικών και κρουστικών ιδιοτήτων του, σε συνδυασμό με τη καλή ολκιμότητα και αντοχή σε κρούση, ένα κράμα που επιλέγεται πολύ συχνά και μάλιστα περιγράφεται συχνά ως "το πρότυπο με το οποίο συγκρίνονται άλλα κράματα εξαιρετικά υψηλών αντοχών"

### **2,5% Χάλυβας-νικελίου-χρωμίου-μολυβδαινίου.**

Αυτός ο χάλυβας έχει επιλεγεί για τη κατασκευή στροφαλοφόρων αξόνων για πετρελαιοκινητήρες βαρέως τύπου. Η σύνθεση αυτού του κράματος είναι 0,31% άνθρακα, 2,5% νικέλιο, 0,65% χρώμιο, 0,55% μολυβδαίνιο και το υπόλοιπο σίδηρος.

Ο χάλυβας αρχικά υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία με σβέση σε λάδι από θερμοκρασία 1003 K και κατόπιν ψύχεται σε κατάλληλη θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 933 K. Η κατεργασία αυτή παράγει επιφανειακή σκληρότητα στην περιοχή του αριθμού 300 Brinell. Αυτός ο χάλυβας είναι ελαφρώς ακριβότερος από τους χάλυβες μαγγανίου-μολυβδαινίου και χρωμίου-μολυβδαινίου, αλλά έχει βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. 2,5% Χάλυβας-νικελίου-χρωμίου-μολυβδαινίου.

Αυτός ο χάλυβας έχει επιλεγεί για εφαρμογές πετρελαιοκινητήρων βαρέως τύπου. Η σύνθεση αυτού του κράματος είναι 0,31% άνθρακα, 2,5% νικέλιο, 0,65% χρώμιο, 0,55% μολυβδαίνιο και υπόλοιπο σίδηρο. Ο χάλυβας αρχικά υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία με σβέση σε λάδι από θερμοκρασία 1003 K και κατόπιν μετριέται σε κατάλληλη θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τα 933 K. Αυτό παράγει επιφανειακή σκληρότητα στην περιοχή των 300 Brinell. Αυτός ο χάλυβας είναι ελαφρώς ακριβότερος από τους χάλυβες μαγγανίου-μολυβδαινίου και χρωμίου-μολυβδαινίου, αλλά έχει βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες.

### **Κράματα με 3% -Chromium-molybdenum ή με 1,5% -Χρώμιο-αλουμίνιο-μολυβδαίνιο**

Αυτοί οι σφυρηλατημένοι χάλυβες χρησιμοποιούνται για στροφαλοφόρους κινητήρες ντίζελ κατάλληλους για έδρανα σκληρών υλικών υψηλής αντοχής στην κόπωση. Οι συνθέσεις των δύο κραμάτων είναι : για το πρώτο άνθρακας 0,15%, χρώμιο 3% και 0,5% μολυβδαίνιο και για το άλλο 0,3% άνθρακας, 1,5% χρώμιο, 1,1% αργίλιο και 0,2% μολυβδαίνιο. Η θερμική επεξεργασία που γίνεται και για τους δύο χάλυβες είναι το απότομο κρύωμα του λαδιού και η σκλήρυνση σε 1193 K και 883 K ή 1163 K και 963 K αντίστοιχα για τους δύο χάλυβες. Οι άξονες σκληρύνουν το περίβλημα με νιτρίωση, έτσι ώστε το άζωτο να απορροφάται στα επιφανειακά τους στρώματα. Εάν η νιτρίωση διεξάγεται καλά στα φιλέτα των περιοδικών, η αντοχή στην κόπωση αυτών των ατράκτων αυξάνεται κατά τουλάχιστον 30% σε σύγκριση με τους άξονες επαγωγής και τους πυρήνες που έχουν σκληρυνθεί με φλόγα. Ο χάλυβας χάλυβα 3% έχει σχετικά σκληρή επιφάνεια και σκληρότητα 800 έως 900 DPN. Από την άλλη πλευρά, το περίβλημα χάλυβα 1,5% χάλυβα τείνει να είναι ελαφρώς πιο εύθραυστο αλλά έχει αυξημένη σκληρότητα, της τάξεως των 1050 έως 1100 DPN.

### **Χάλυβες 3% με χρώμιο-μολυβδαίνιο ή 1,5% -Χρώμιο-αλουμίνιο-μολυβδαίνιο**

Αυτοί οι σφυρηλατημένοι χάλυβες χρησιμοποιούνται για στροφαλοφόρους άξονες που αφορούν τους κινητήρες ντίζελ και είναι κατάλληλοι για έδρανα κατασκευασμένα από σκληρά υλικά υψηλής αντοχής στην κόπωση. Οι συνθέσεις των κραμάτων αυτών είναι άνθρακας 0,15%, χρώμιο 3% και 0,5% μολυβδαίνιο ή για το άλλο 0,3% άνθρακας, 1,5% χρώμιο, 1,1% αργίλιο και 0,2% μολυβδαίνιο. Η αρχική θερμική επεξεργασία και για τους δύο χάλυβες είναι η σβέση του λαδιού και η σκλήρυνση σε 1193 K και 883 K ή 1163 K και 963 K αντίστοιχα για τους δύο χάλυβες. Στους άξονες βαρέως τύπου σκληραίνουν το περίβλημα τους με νιτρίδωση, έτσι ώστε το άζωτο να απορροφάται στα επιφανειακά τους στρώματα. Τα αποτελέσματα που έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα, από τη νιτρίδωση, όσον αφορά την αντοχή στην κόπωση των κομβίων διωστήρων, δείχνουν ότι αυτή αυξάνεται κατά τουλάχιστον 30% σε σύγκριση με τους άξονες που έχουν είτε υποστεί επαγωγή είτε έχουν σκληρυνθεί με φλόγα. Ο χάλυβας με χρώμιο 3% έχει σχετικά σκληρή επιφάνεια και σκληρότητα 800 έως 900.

#### **2.4. Τα υλικά κατασκευής για χύτευση .**

Οι στροφαλοφόροι άξονες χυτεύονται σε χάλυβα, ή σε οζώδη ή ελατό χυτοσίδηρο. Η θερμική επεξεργασία του οζώδους χυτοσίδηρου στοχεύει σε δύο πτυχές: πρώτον, να αλλάξει η διάταξη της μήτρας, να βελτιώσει τη λειτουργία του χυτοσίδηρου και δεύτερον για να αφαιρέσει τις τάσεις που δημιουργήθηκαν με τη χύτευση. Το κύριο πλεονέκτημα της διαδικασίας χύτευσης είναι ότι το κόστος του υλικού για τον στροφαλοφόρο άξονα και το κόστος μηχανουργικής κατεργασίας μειώνονται επειδή ο στροφαλοφόρος άξονας μπορεί να φτιαχτεί αρκετά κοντά στο απαιτούμενο σχήμα και μέγεθος, συμπεριλαμβανομένων από την αρχή και των αντίβαρων που χρειάζεται να υπάρχουν. Οι στροφαλοφόροι άξονες μπορούν να δεχθούν φορτία από όλες τις κατευθύνσεις καθώς η δομή των μεταλλικών κόκκων είναι ομοιόμορφη και οι κόκκοι τυχαία κατανεμημένοι Τα αντίβαρα στους χυτούς στροφαλοφόρους είναι ελαφρώς μεγαλύτερα από τα αντίβαρα σε σφυρήλατους στροφαλοφόρους άξονες, επειδή ο χυτοσίδηρος είναι λιγότερο πυκνός και ως εκ τούτου λίγο πιο ελαφρύς από τον σφυρήλατο .Γενικά, στο παρελθόν οι στροφαλοφόροι άξονες των οχημάτων ήταν



σφυρήλατοι ώστε να έχουν όλες τις επιθυμητές ιδιότητες. Ωστόσο, με την εξέλιξη των οξωδών χυτοσιδήρων και τις βελτιώσεις στις τεχνικές χύτευσης, για μέτρια φορτία προτιμούνται πλέον οι στροφαλοφόροι άξονες και μόνο για βαριές εφαρμογές προτιμώνται οι σφυρήλατοι άξονες.

Μια νέα τεχνολογία έδωσε ώθηση στη κατασκευή στροφαλοφόρων από χυτοσίδηρο. Πρόκειται για τη παραγωγή χυτοσίδηρο με ιώδη γραφίτη. Ο χυτοσίδηρος με ιώδη γραφίτη περιέχει τον γραφίτη σε μορφή ραβδωτών ινιδίων, τα οποία του δίνουν μηχανικά χαρακτηριστικά μεταξύ του χυτοσίδηρου με γραφίτη φολιδωτού (σε διαστρωματώσεις) και του χυτοσίδηρου σφαιροειδούς γραφίτη. Ο συνδυασμός της υψηλής αντοχής τους, της σχετικά καλής θερμικής αγωγιμότητας και της πλαστικότητας τους, κάνουν αυτού του τύπου τον χυτοσίδηρο ένα ενδιαφέρον υλικό για πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, ειδικά για τα μέρη εκείνα των μηχανών που υπόκεινται σε συχνές θερμικές εναλλαγές.



Σχ. 2.8: Σφυρηλατημένο (αριστερά) και χυτευμένο (δεξιά) στοιχείο στροφαλοφόρου. [16]

### **Χυτοχάλυβες (DIN 1681)**

Οι χυτοχάλυβες είναι κράματα σιδήρου / άνθρακα με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2%. Τη μορφή τους την παίρνουν χυνόμενοι σε τύπους από άμμο ή πυρίμαχο άργιλο ή άλλο πυρίμαχο υλικό. Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, διακρίνονται χυτοχάλυβες Siemens-Martin, Bessemer ή χυτοχάλυβες ηλεκτρικής καμίνου. Για την παραγωγή χυτοχάλυβα χρησιμοποιείται και η μέθοδος εμφυσήσεως οξυγόνου. Σύμφωνα με τα στοιχεία που περιέχονται στο κράμα, διακρίνεται καθαρός

χυτοχάλυβας, χωρίς προσμείξεις άλλων στοιχείων εκτός του άνθρακα, χυτοχάλυβας με μικρό ποσοστό προσμείξεων και χυτοχάλυβας με μεγάλο ποσοστό προσμείξεων. Οι Ιδιότητες του καθαρού χυτοχάλυβα καθορίζονται κυρίως από την περιεκτικότητα άνθρακα (0,1-0,7 %). Χυτοχάλυβας με μικρό ποσοστό προσμείξεων περιέχει σε διάφορες αναλογίες χρώμιο, νικέλιο, μολυβδαίνιο, βολφράμιο, βανάδιο, μαγγάνιο και πυρίτιο. Οι ανοξείδωτοι και ανθεκτικοί σε οξέα χυτοχάλυβες, χαρακτηρίζονται για τη μεγάλη τους ανθεκτικότητα στις χημικές επιδράσεις (DIN 17445)

Άλλοι τύποι χυτοχάλυβα με συγκεκριμένες ιδιότητες (π.χ. ανθεκτικοί σε μεγάλες θερμοκρασίες, αντιμαγνητικοί ή μαγνητιζόμενοι, ανθεκτικοί στη φθορά εκ τριβής κλπ.), επιτυγχάνονται με την προσθήκη διαφόρων προσμείξεων. Τα περισσότερα είδη χυτοχάλυβα είναι επιδεκτικά συγκολλήσεως. Για την επίτευξη καλύτερων μηχανικών ιδιοτήτων, οι καθαροί χυτοχάλυβες αλλά κυρίως οι χυτοχάλυβες με μικρό ποσοστό προσμείξεων, βελτιώνονται δια πυρώσεως. Κατά κανόνα τόσο οι ιδιότητες, όσο και η δυνατότητα θερμής κατεργασίας, σκληρύνσεως και προσμείξεως άλλων στοιχείων στον χυτοχάλυβα, είναι ίδιες με εκείνες του χάλυβα. Τα διάφορα είδη χυτοχάλυβα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που ή παραγωγή απαιτεί χύτευση και δεν επαρκούν οι αντοχές του τεφρού χάλυβα ή του χάλυβα ανοπτήσεως.

### **Χυτοσίδηρος με φυλλοειδή γραφίτη (DIN 1691)**

Ο παλαιότερα ονομαζόμενος φαιός χυτοσίδηρος με φυλλίδια γραφίτη, είναι ένα σιδηρούχο υλικό που συνήθως περιέχει περισσότερο από 2% C. Το μεγαλύτερο μέρος της ανθρακικής αυτής προσμείξεως βρίσκεται στον χυτοσίδηρο ιστό με τη μορφή φυλλοειδούς γραφίτη και δίνει σε πρόσφατη τομή του υλικού ένα φαιό χρώμα. Ο φυλλοειδής γραφίτης διακόπτει τον μεταλλικό ιστό της χυτοσίδηρης μάζας και μειώνει έτσι και την αντοχή. Η μορφή και το μέγεθος των φυλλιδίων γραφίτη είναι ως εκ τούτου καθοριστική για την αντοχή του χυτοσιδήρου. Η αντοχή του χυτοσιδήρου αυτού επηρεάζεται επίσης και από τον ιστό της βασικής μάζας. Τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες έχει ο χυτοσίδηρος όταν είναι καθαρός και περιέχει λεπτότατα πλακίδια γραφίτη ομοιόμορφα διασπαρμένα στη μάζα του. Λεπτότατα πλακίδια γραφίτη σχηματίζονται όταν ο χυτοσίδηρος παρασκευάζεται έτσι ώστε να πλησιάζει προς τον σκληρό χυτοσίδηρο, δηλαδή όταν εμφανίζει μία σχεδόν λευκή τομή. Με κράματα είναι δυνατή ή βελτίωση των ιδιοτήτων χυτοσιδήρου με πλακοειδή γραφίτη

και ή προσαρμογή τους προς συγκεκριμένες χρήσεις. Τα σπουδαιότερα συστατικά τέτοιων κραμάτων είναι πυρίτιο, μαγγάνιο, φωσφόρος, θείο, καθώς και νικέλιο και χρώμιο. Προσθήκη χρωμίου αυξάνει την αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Το νικέλιο αυξάνει την ανθεκτικότητα του χυτοσιδήρου στην επίδραση των αλκαλίων. Ο χυτοσίδηρος με πλακίδια γραφίτη παρουσιάζει μία εξαιρετική ικανότητα αποσβέσεως των κραδασμών και είναι κατάλληλος για. μηχανήματα κάθε είδους, για. στροφαλοφόρους άξονες, σφονδύλους, αλλά. και για θερμαντικά. σώματα, δομικές μηχανές και άλλα στοιχεία μηχανών. Στην εξωτερική επιφάνεια του χυτοσιδήρου βρίσκονται οξείδια και ενώσεις πυριτίου που προστατεύουν το υλικό από τη διάβρωση. Ο μεταλλικός ιστός του χυτοσιδήρου αυτού είναι δυνατόν να. αλλοιωθεί με θερμική κατεργασία. Σκληρύνεται όπως ο χάλυβας και πυρώνεται στους 500 ως 600 °C με σύγχρονη εξουδετέρωση των εσωτερικών τάσεων.

### **Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη (DTN 1693)**

Ο χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη (GGG, Guss-Graphit -Globular), είναι χυτοσίδηρος με περιεκτικότητα κατά κανόνα μεγαλύτερη από 2 % C, του οποίου το μεγαλύτερο μέρος περιέχεται στον ιστό του με τη μορφή σφαιριδίων γραφίτη. Η παραγωγή του γίνεται με τήξη ακατέργαστου σιδήρου και τεμαχίων χάλυβα σε θολωτές κάμινους και ανάτηξη σε ηλεκτρικές κάμινους. Η δημιουργία σφαιριδίων γραφίτη ευνοείται με την προσθήκη μερικών εκατοστών επί % μαγνησίου, που προστίθεται στους τύπους αποχύσεως του τηγματος. Αμέσως μετά. την χύτευση προστίθεται σιδηροπυρίτιο. Σε σχέση με τον χυτοσίδηρο με πλακοειδή γραφίτη, ο χυτοσίδηρος αυτός έχει μεγαλύτερη έφελκυστική αντοχή και μεγαλύτερη μήκυνση θραύσεως. Η ικανότητα αποσβέσεως του χυτοσιδήρου αυτού βρίσκεται μεταξύ εκείνης του χάλυβα και εκείνης του χυτοσιδήρου με πλακοειδή γραφίτη. Ο χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη είναι ελατός και επιδέχεται συγκόλληση. Έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη φθορά και στη διάβρωση από τον χυτοσίδηρο με πλακοειδή γραφίτη. Ο χυτοσίδηρος αυτός χαρακτηρίζεται από την ομοιότητά του προς τον χάλυβα καθώς και από το γεγονός ότι δεν σχηματίζει επιφανειακά οξείδια κατά τη θέρμανσή του σε υψηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται κυρίως για. την κατασκευή όπλων, αξόνων, πιεστηρίων, κιβωτίων ταχυτήτων, στροφαλοφόρων αξόνων, σωλήνων, εργαλείων κατεργασίας του ξύλου και πολλών άλλων εργαλείων.

## **Χυτοσίδηρος ανόπτησης (DIN 1692)**

Ο χυτοσίδηρος αυτός με τη λεγόμενη υποευθηκτική περιεκτικότητα άνθρακα, περιέχει στα τήγματα του άνθρακα υπό μορφή καρβιδίων. Με ειδική θερμική κατεργασία (ανόπτηση) διασπώνται τα καρβίδια και διαχωρίζεται ο άνθρακας. Διακρίνονται δύο είδη χυτοσιδήρου ανοπτησεως. Στο πρώτο είδος ή περιεκτικότητα του άνθρακα μειώνεται κατά την ανόπτηση (λευκός χυτοσίδηρος ανοπτησεως GTW). Στο δεύτερο είδος ή περιεκτικότητα σε άνθρακα δεν μειώνεται (μαύρος χυτοσίδηρος ανοπτησεως GTS). Οι ονομασίες λευκός και μαύρος χυτοσίδηρος προέρχονται από το χρώμα της τομής. Ο λευκός χυτοσίδηρος με υψηλότερη περιεκτικότητα άνθρακα, τήκεται απευθείας σε θολωτές κάμινους. Αντίθετα ο μαύρος χυτοσίδηρος με μικρότερο ποσοστό άνθρακα, απαιτεί μία συμπληρωματική θερμική κατεργασία και μία ακριβή ρύθμιση της χημικής του συστάσεως σε κάμινο γυμνής φλόγας ή σε περιστροφική ή σε ηλεκτρική κάμινο.

Ο χυτοσίδηρος ανοπτησεως κατέχει μεταξύ των χυτοσιδήρων προϊόντων μία ενδιαμέση θέση μεταξύ του χυτοσιδήρου με φυλλοειδή γραφίτη και του χυτοχάλυβα. Χυτεύεται εύκολα και οι ιδιότητές του πλησιάζουν εκείνες του χυτοχάλυβα. Έχει σχετικά μεγάλη αντοχή στον εφελκυσμό και στις κρούσεις.

Ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής του χρησιμοποιείται στη βιομηχανία αυτοκίνητων. Με το υλικό αυτό παράγονται π.χ. ταμπούρα φρένων, περιαξόνια, κιβώτια συστήματος οδηγήσεως και διαφορικού, εκκεντροφόροι και στροφαλοφόροι άξονες. Χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή συνδέσμων σωλήνων, στηριγμάτων μονωτήρων, κλειδιών και άλλων αντικειμένων. Ο χυτοσίδηρος αυτός είναι αρκετά ελατός, επιδέχεται συγκόλληση και οι ιδιότητές του είναι δυνατόν να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο με θερμική επεξεργασία.

### 3. ΧΥΤΕΥΣΗ

Η χύτευση είναι μια από τις αρχαιότερες μεθόδους διαμόρφωσης μετάλλου που έχει εφεύρει ο άνθρωπος που ακόμα είναι από τις σημαντικότερες κατεργασίες μετάλλου . Είναι μια μέθοδος διαμόρφωσης μετάλλου στην οποία λιώνουμε ένα επιθυμητό μέταλλο και στην συνέχεια το χύνουμε σε ένα καλούπι ώστε να πάρει το επιθυμητό σχήμα. Στην αρχαιότητα, περίπου το 3500π.Χ. στη Μεσοποταμία όπου και πρωτοεμφανίστηκε η μέθοδος της χύτευσης για την παραγωγή χάλκινων εξαρτημάτων, με καλούπια από πέτρα ή ψημένο πηλό. Έπειτα , είδαμε κάπου στο 2.000 π.Χ. εξέλιξη στην μέθοδο της χύτευσης με την πρώτη χρήση πυρήνων από ψημένο πηλό ,κάτι αντίστοιχο με τα σημερινά καλούπια “καρδίες”, για την κατασκευή εσωτερικών κοιλοτήτων .



Σχ. 3.1: Χύτευση σε καλούπι. [29]

Αργότερα το 1500μ.Χ. στην ανατολική Ασία στην περιοχή της Κίνας . Παρατηρήθηκε μια νέα μέθοδος χύτευσης με διαιρετά καλούπια πολλαπλών εξαρτημάτων τα οποία τα δέναν μεταξύ τους . Μέχρι να φτάσουμε κοντά στο 1000μ.Χ. ώστε να δούμε τις πρώτες χυτεύσεις σιδήρου στην περιοχή της Μεσοποταμίας πιο συγκεκριμένα στην Περσία.

#### **Τεχνική χύτευσης με μήτρα στην εποχή του χαλκού**

Με αυτή την χύτευση με μήτρα στην εποχή του χαλκού κατασκεύαζαν αντικείμενα από μέταλλο ή υαλομάζα. Τα περισσότερα βέβαια ήταν και από χρυσό αρκετά τέτοια ευρήματα είχαμε στην περιοχή της Κρήτης αλλά και στην περιοχή των

Μυκηνών, όπου στην τελευταία, βρέθηκαν αρκετά ευρήματα με τεχνική χύτευσης για χάνδρες και για περιάπτα από υαλομάζα που υποστηρίζεται ότι η κατασκευή τέτοιων αντικειμένων από τις Μυκήνες περίπου στο 2000π.Χ. Μεγάλη απήχηση στην τέχνη αυτή υπήρχε και στην περιοχή της Αιγύπτου όπου είδαμε αντικείμενα τύπου κοσμημάτων και δακτυλιδιών. Η τέχνη της χύτευσης κατά αυτό τον τρόπο συνήθως για τις μήτρες για την υαλομάζα ήταν κατασκευασμένες από μαλακότερες πέτρες ώστε να μπορούν να παίρνουν καλύτερα τις κοιλότητες αλλά και τις αυλακώσεις των κοσμημάτων. Να σημειωθεί ότι τα καλούπια ήταν ανοιχτού τύπου.



Σχ. 3.2: Ανοιχτό καλούπι κοσμημάτων. [29]

Φτιαγμένα από πηλό άψητο ή από πέτρα. Όσο για τις μήτρες μεταλλικών αντικειμένων, ήταν σαφώς από καλούπια μεγαλύτερης αντοχής από στεατίτη αλλά και από άλλες πέτρες τέτοιας αντοχής αλλά ακόμα και από μεταλλικά καλούπια. Βέβαια, είδαμε και καλούπια κατασκευασμένα από άμμο γιατί είχαν την ανάγκη για μαζική παραγωγή.

### **Η έννοια της χύτευσης**

Χύτευση είναι μία μέθοδος διαμόρφωσης μετάλλων χωρίς κάποια κατεργασία κοπής, με την οποία μετατρέπουμε την ρευστή άμορφη μάζα σε χυτά στοιχεία μηχανών, μεταλλικών αντικειμένων ή ακόμα σε εργαλεία. Όπου μπορούμε να ορίσουμε εμείς τις διαστάσεις και γεωμετρική μορφή του αντικειμένου.

Αυτά μπορούν να γίνουν με το γέμισμα κατάλληλων μεταλλικών διαμορφωμένων κοιλοτήτων τα οποία λέγονται καλούπια. Το μεταλλικό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί τήκεται μέσα σε ειδικούς κάμινους και αλλάζει μορφή σε ρευστή μεταλλική μάζα .

Το μέρος αυτών των μηχανολογικών κατεργασιών χύτευσης ονομάζεται χυτήριο. Ανάλογα με το υλικό το οποίο θέλουμε να χυτεύσουμε απευθυνόμαστε στο κατάλληλο χυτήριο. Τα χυτήρια μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Χυτήριο Χυτοσίδηρου
2. Χυτήριο Χάλυβα
3. Χυτήρια ελαφρών μετάλλων
4. Χυτήρια βαριών μετάλλων

Οι κατηγορίες 3 και 4 απευθύνονται σε μη σιδηρούχα μέταλλα.

Τα σύγχρονα χυτήρια αποτελούνται από κάποια βασικά τμήματα:

1. Τμήμα προετοιμασίας των υλικών κατασκευής των τύπων
2. Προτυποποιείο (πρότυπα από ξύλο, μεταλλικά υλικά, πλαστικά)
3. Τμήμα κατασκευής των τύπων (χειρωνακτική ή μηχανοποιημένη κατασκευή των τύπων)
4. Τμήμα τήξης των μετάλλων
5. Χυτήριο
6. Τμήμα καθαρισμού των χυτών
7. Τμήμα ανόπτησης των χυτών (αφαίρεση των εσωτερικών τάσεων από τα χυτά)
8. Τμήμα ελέγχου της ποιότητας.

Τα κύρια πλεονεκτήματα διαμόρφωσης μεταλλικών υλικών με τις ποικίλες μεθόδους χύτευσης είναι :

- Μπορούμε από μία μόνο φάση κατεργασίας να έχουμε έτοιμο προϊόν .
- Η φύρα του υλικού είναι κατά μεγάλο ποσοστό μικρότερη από ότι της μεθόδου κατεργασίας κοπής .
- Μας επιτρέπει να έχουμε ελευθερία ως προς την διαμόρφωση του προϊόντος διότι δεν έχουμε κάποιον περιορισμό στις γεωμετρικές μορφές των αντικειμένων που θέλουμε να διαμορφώσουμε .

### 3.1. Ταξινόμηση μεθόδων χύτευσης.

Οι μέθοδοι χύτευσης στα σύγχρονα μηχανολογικά εργαστήρια για την κατασκευή διάφορων χυτών στοιχείων μπορούμε να τις κατηγοριοποιήσουμε κατηγορίες με βάση δύο σημαντικών κριτηρίων:

1. Τον τρόπο διοχέτευσης της ρευστής μεταλλικής μάζας στον τύπο (την κοιλότητα)
2. Τον Αριθμό των χυτών που είναι δυνατό να χυτευτούν διαδοχικά μέσα σε έναν τύπο.

Σύμφωνα με την πρώτη κατηγορία κριτηρίου ταξινόμησης, υπάγονται σε δύο μεγάλες ομάδες μεθόδων χύτευσης :

1. Μέθοδος χύτευσης με βαρύτητα.
2. Μέθοδος χύτευσης με πίεση.

Για την πρώτη κατηγορία την μέθοδο χύτευσης με βαρύτητα , η ρευστή μεταλλική μάζα διοχετεύεται στο καλούπι με απλή απόχυση και το ρευστό μεταλλικό υλικό εισέρχεται στο καλούπι και καταλαμβάνει το κενό χώρο δηλαδή την κοιλότητα κάτω από την επίδραση της βαρύτητας και μόνο.

Αντιθέτως, με την άλλη την κατηγορία, η ρευστή μεταλλική μάζα διοχετεύεται στο καλούπι με απόχυση υπό πίεση και το ρευστό μεταλλικό υλικό εισέρχεται στο καλούπι και καταλαμβάνει το κενό χώρο υπό την επίδραση της πίεσης που ασκείται .

Σύμφωνα με το δεύτερο κριτήριο ταξινόμησης, έχουμε την κατηγοριοποίηση στις ακόλουθες ομάδες :

1. Μέθοδος χύτευσης σε μόνιμους τύπους.
2. Μέθοδοι χύτευσης σε τύπους μιας απόχυσης.

Για την πρώτη κατηγορία, είναι εφικτό σε ένα και μόνο καλούπι ή αλλιώς τύπο να μπορέσουμε να χυτεύσουμε διαδοχικά μεγάλο αριθμό χυτών. Σε αυτή την μέθοδο δεν χρειάζεται μοντέλο για την κατασκευή του καλουπιού.



Όσο για την δεύτερη κατηγορία, η μέθοδος χύτευσης είναι σχεδόν αντίθετη από την πρώτη κατηγορία διότι σε κάθε τύπο (καλούπι) μπορούμε να χυτεύσουμε μόνο ένα χυτό. Ο λόγος είναι, στην κατά την διάρκεια ή κατά την αφαίρεση του στερεοποιημένου χυτού από το καλούπι, το καλούπι καταστρέφεται. Παρακάτω θα αναφερθούν όλοι οι μέθοδοι χύτευσης των δύο αυτών κατηγοριών.

#### Μέθοδοι χύτευσης με βαρύτητα

Οι μέθοδοι χύτευσης για αυτή την κατηγορία είναι οι ακόλουθες :

1. Χύτευση στην άμμο
2. Χύτευση σε γύψο
3. Χύτευση σε τσιμέντο
4. Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους
5. Χύτευση ακριβείας - αποτύπωση με κέρινα πρότυπα
6. Χύτευση με χρήση προτύπων από πολυστερίνη
7. Χύτευση σε κελυφωτούς τύπους
8. Χύτευση CO<sub>2</sub>.

#### Χύτευση στην άμμο

Είναι από η αρχαιότερη και πιο δημοφιλής μέθοδος χύτευσης. Η μέθοδος χύτευσης στην άμμο είναι καταλαμβάνει την πρώτη θέση συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους χύτευσης για τον όγκο παραγωγής χυτών. Οι πιο βασικοί λόγοι που η μέθοδος αυτή είναι πρώτη σε θέμα εφαρμογής είναι οι παρακάτω:

- Το χαμηλό κόστος των εγκαταστάσεων χύτευσης με άμμο.
- Χαμηλό κόστος πρώτων υλών για την κατασκευή των καλουπιών.
- Προσφέρει μηχανοποιημένη μαζική ή ομαδική παραγωγή χυτών στοιχείων και άλλων αντικειμένων.

- Η εύκολη εφαρμογή χύτευσης στοιχείων μηχανών αλλά τόσο από σιδηρούχα όσο και από μη σιδηρούχα μεταλλικά υλικά.
- Το ευρύ πεδίο εφαρμογής για την παραγωγή χυτών με βάρος μερικών γραμμαρίων έως και τόνων.
- Βάση αυτής της μεθόδου έχουμε κατασκευάσει αρκετά χυτά εργαλεία αλλά και στοιχεία μηχανών με πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες.

Για την κατασκευή αντικειμένων με την μέθοδο της χύτευσης με την άμμο. Προαπαιτούνται κάποια βήματα τα οποία είναι τα εξής:

1. Κατασκευή του προτύπου (μοδέλου).
2. Κατασκευή των πυρήνων, όπου είναι αναγκαίο .
3. Αποτύπωση του προτύπου στην άμμο - κατασκευή του τύπου .
4. Τήξη της μεταλλικής μάζας.
5. Απόχυση της ρευστής μεταλλικής μάζας στον τύπο.
6. Αφαίρεση του στερεοποιημένου χυτού από τον τύπο.

Τα πρότυπα (μοδέλα) μας βοηθάνε για την μέθοδο χύτευσης σε τύπους απόχυσης για την δημιουργία της κοιλότητας στην άμμο ή ακόμη και σε άλλα υλικά κατασκευής τύπων.

Η κοιλότητα μπορεί να ονομαστεί αλλιώς τύπος. Μέσα λοιπόν σε αυτόν τον τύπο κατόπιν αποτυγχάνεται η ρευστή μεταλλική μάζα με αποτέλεσμα το να δημιουργηθεί το επιθυμητό χυτό με τις διαστάσεις και την μορφή που έχουμε ορίσει . Μόλις στερεωθεί αυτή η ρευστή μεταλλική μάζα , το επιθυμητό χυτό αφαιρείται από το τύπο.

Τα μοντέλα αποτύπωσης της κοιλότητας που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο χύτευσης με άμμο είναι μόνιμα μοντέλα, δηλαδή έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο αριθμό αποτύπωσης κοιλοτήτων. Τα υλικά τα οποία είναι κατασκευασμένα τα μόνιμα μοντέλα για την χύτευση με την άμμο είναι τα εξής:

- Ξύλο ( αποξηραμένο πεύκο ,μαχοκάνι)
- Μεταλλικά υλικά (ορείχαλκος , αλουμίνιο , γάλυβας χυτοσίδηρος)

- Γύψος
- Σύνθετα υλικά

Τα μοντέλα από σύνθετα υλικά και από γύψο χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μιας αποτύπωσης, γιατί διαμορφώνονται εύκολα και το κόστος είναι χαμηλό για την κατασκευή ενός προτύπου για κάθε αποτύπωση. Το οποίο δεν υπάγεται σαν αρνητικός λόγος ώστε να μην χρησιμοποιείται.

Όσο για τις δύο άλλες κατηγορίες-υλικά, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μόνιμων προτύπων. Το κριτήριο επιλογής μεταξύ ξύλου ή κάποιου μεταλλικού υλικού είναι ανάλογα τον αριθμό των χυτών που θέλουμε να αποτυπώσουμε με το πρότυπο.

Τα πρότυπα κατασκευάζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του αντικειμένου ,εργαλείου ή άλλου στοιχείου που θέλουμε αποτυπώσουμε. Σε ολόσωμα , διμερή ή πολυμερή πρότυπα.

Τα ολόσωμα κατασκευάζονται για την αποτύπωση αρκετά απλών χυτών . Σε περιπτώσεις που τα επιθυμητά χυτά οι μορφές τους είναι κάπως περίπλοκες, τότε τα πρότυπα που θα επιλέξουμε θα είναι είτε διμερή είτε παραπάνω μερών, τα οποία μπορούν να συναρμολογηθούν μεταξύ τους.

Ο τρόπος συναρμολόγησης των περίπλοκων αυτών προτύπων επιτυγχάνεται με κατάλληλους ειδικούς πείρους οι οποίοι είναι εύκολοι στην συναρμολόγηση των προτύπων αλλά και στην αποσυναρμολόγηση αυτών. Ο τρόπος αυτός έχει ως αποτέλεσμα να την ευκολία αποτύπωσης αλλά βασικότερο την αποσυναρμολόγηση ώστε να μην υποστεί ζημιές το επιθυμητό χυτό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαστάσεις κατασκευής των προτύπων αποτύπωσης διαστασιολογούνται και κατασκευάζονται σε μεγαλύτερες διαστάσεις από τις επιθυμητές για να αντιμετωπιστεί το φυσικό φαινόμενο της συστολής του ρευστού μεταλλικού υλικού του χυτού κατά την διαδικασία της απόψυξης και στερεοποίησης του από την ρευστή φάση χύτευσης.

Το ποσοστό αύξησης των διαστάσεων των προτύπων ονομάζεται Χάρη Διαστολής των προτύπων. Η οποία εκφράζεται σε ποσοστό % και καθορίζεται από δύο βασικούς παράγοντες :

1) Το συντελεστή γραμμικής διαστολής-συστολής του μεταλλικού υλικού κατασκευής του χυτού.

2) Το μέγεθος των διαστάσεων του χυτού.

Στις περισσότερες περιπτώσεις χυτών στοιχείων πρέπει να αναφερθεί ότι θα πρέπει να υποστούν μηχανικές κατεργασίες σε ειδικές εργαλειομηχανές ώστε να αποκτήσουν τις ακριβείς σχεδιαστικές διαστάσεις που υπάρχουν στα σχέδια. Γι'αυτό λοιπόν στα καλούπια προσδίδεται η απαιτούμενη χάρη κατεργασίας . Για να μπορεί μετά να υποστεί τις μηχανικές κατεργασίες που απαιτούνται σε κάποια τμήματα του κατεργαζόμενου στοιχείου. Οι εξαρτώμενοι παράγοντες για το μέγεθος της χάρης κατεργασίας είναι οι ακόλουθοι:

1. Το μεταλλικό υλικό κατασκευής του χυτού.

2. Το μέγεθος των διαστάσεων του χυτού.

3. Τη μορφή του χυτού.

Η κατασκευή των προτύπων η αλλιώς μοντέλων ή καλουπιών έχουν αρκετό μεγάλο βαθμό δυσκολίας ξέχωρα ότι πρέπει να λάβουμε υπόψιν τα παραπάνω δεδομένα αλλά το από τα κυριότερα χαρακτηριστικά είναι η ευκολία αφαίρεσης των προτύπων μετά από την αποτύπωση του χυτού στοιχείου .

Έτσι , όλα τα καλούπια χύτευσης και περισσότερο τα πολυμερή να έχουν κατασκευαστεί με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Να συναρμολογούνται με πολύ μεγάλη ευκολία και σε μικρό χρονικό διάστημα στις διάφορες φάσεις αποτύπωσης.

2. Να μπορούν να αποσυναρμολογηθούν με αρκετή μεγάλη ευκολία από το καλούπι αποτύπωσης, ώστε να μην προκληθούν ζημίες στα τοιχώματα του χυτού στοιχείου.

Για να είναι εφικτό αυτό πρέπει όλες οι κάθετες επιφάνειες των καλουπιών να έχουν κατασκευαστεί με μία κωνικότητα η οποία διευκολύνει αρκετά στην αφαίρεση του καλουπιού από τον το χυτό στοιχείο αποφεύγοντας έτσι οι πλευρικές ζημίες σε αυτό.

Για την δημιουργία αποτύπωσης οπών ή άλλων μορφών εσωτερικών κοιλοτήτων σε περιπτώσεις χύτευσης πολύπλοκων στοιχείων , χρησιμοποιούμε του πυρήνες σαν βοηθητικά μέσα χύτευσης τα οποία είναι πρόσθετα τμήματα μέσα στα καλούπια. Σαν πρακτική ορολογία των πυρήνων είναι η ονομασία “ καρδιές” .

### **Κατασκευή ενός μοντέλου**

Για την κατασκευή του μοντέλου (προτύπου, καλουπιού) από ξύλινο υλικό πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:

#### **1. Χάρη διαστολής**

Το ξύλινο αυτό καλούπι θα πρέπει να έχει κατασκευαστεί που όλες οι διαστάσεις του να είναι μεγαλύτερες κατά 0.1 cm/mm από τις διαστάσεις του επιθυμητού σχεδιασμένου στοιχείου. Είναι απαραίτητο για να μπορεί να αντισταθμιστεί η συνολική σμίκρυνση όλων των διαστάσεων του χυτού στοιχείου, με αποτέλεσμα την συστολή του μετάλλου μετά την διαδικασία της απόχυσης του αλλά και κατά την διαδικασία της απόψυξης και στερεοποίησης του. Τα μεγέθη των χάρων διαστολής είναι τυποποιημένα αλλά όμως ποικίλουν σε χώρα με χώρα ανάλογα τις εθνικές προδιαγραφές αυτής.

#### **2. Χάρη κατεργασίας**

Επειδή μετά την χύτευση οποιαδήποτε στοιχείου θα πρέπει να υποστεί κάποιες μηχανικές κατεργασίες σε ειδικές εργαλειομηχανές , αφήνεται η χάρη κατεργασίας . Οι οποίες και αυτές όπως και στην χάρη διαστολής είναι τυποποιημένες και αλλάζουν ανάλογα τις προδιαγραφές κάθε χώρας.

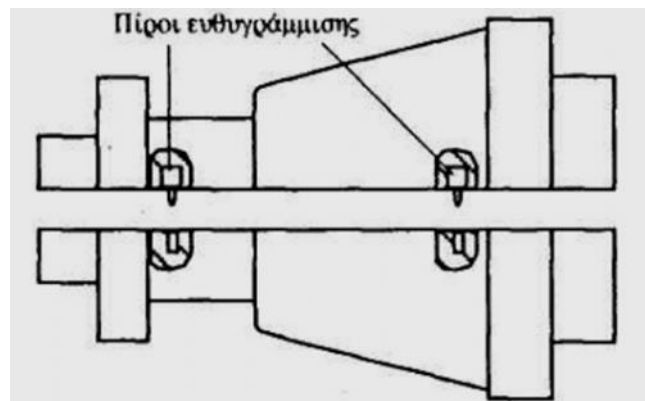
#### **3. Κωνικότητα αφαίρεσης των προτύπων από το τύπο**

Η προσεκτική αφαίρεση του προτύπου από το τύπο γίνεται με τους προσεκτικά παρακάτω τρόπο:

Όταν το πρότυπο είναι από ξύλινο υλικό σε συγκεκριμένες διαγώνιες συνήθως θέσεις χρησιμοποιούμε δύο ειδικούς κοχλίες για ξύλινα υλικά με το άκρο να είναι έχει την διαμόρφωση ενός τύπου γάντζου. Αφού βιδωθούν, οι συγκεκριμένοι κοχλίες πρέπει να χτυπηθούν ελαφρά με ειδικό σφυρί για να απλωθεί η άμμος σε όλα τα σημεία εσωτερικά του τύπου για να υπάρξει ιδανική αφαίρεση του προτύπου.

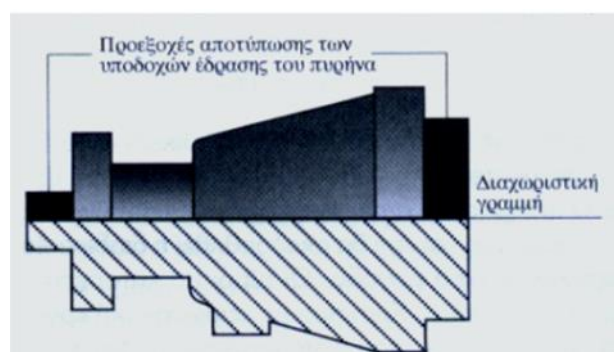
Η αφαίρεση του προτύπου γίνεται τραβώντας σταθερά τους ειδικούς γάντζους αλλά πάρα πολύ προσεκτικά κατακόρυφα προς τα πάνω. Χωρίς κανένα τρέμουλο ή κούνημα δεξιά αριστερά του προτύπου γιατί θα υποστεί ζημία το χυτό. Ο λόγος που όλες οι επιφάνειες του προτύπου είναι κατακόρυφες με την κίνηση αφαίρεσης του καλουπιού και έχουν μια μικρή κωνικότητα, είναι για να μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερη ευκολία στην αφαίρεση του προτύπου.

Η κατασκευή του προτύπου είναι κατασκευασμένο από δύο μέρη για μεγαλύτερη διευκόλυνση αποτύπωσης του χυτού στην άμμο παρακάτω βλέπουμε το πώς μπορούν να συναρμολογηθούν αυτά τα δύο μέρη στο Σχ. 3.3.



Σχ. 3.3: Μέθοδος συναρμολόγησης δύο μερών προτύπου αποτύπωσης. [29]

Με την κατασκευή του προτύπου πρέπει να υπολογιστεί οι ανάλογες προεξοχές αποτύπωσης στην άμμο των υποδοχών έδρασης των πυρήνων σχ.3.4.

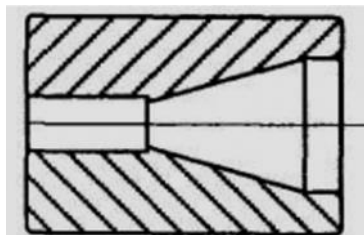


Σχ. 3.4: Διμερές πρότυπο αποτύπωσης του τύπου. [29]

### Κατασκευή Πυρήνα

Η κατασκευή του πυρήνα είναι λίγο περιοριστικός καθώς το μέγιστο ποσό τεμαχίων που μπορούν να φτιαχτούν είναι 100. Χρησιμοποιείται κατάλληλος ειδικός τύπος κατασκευής του πυρήνα (σχ. 2.3) που είναι διμερής από ξύλινο υλικό κατασκευής .Τα υλικά κατασκευής του πυρήνα είναι πυριτική άμμος αλλά και λινέλαιο. Καθώς έχουν κατασκευαστεί οι πυρήνες , τους ψήνουμε σε ειδικούς κλίβανους χυτηρίου ώστε να αποκτήσουν τις επιθυμητές μηχανικές τους αντοχές.

Σχ. 3.5: Διμερής τύπος κατασκευής πυρήνα. [29]

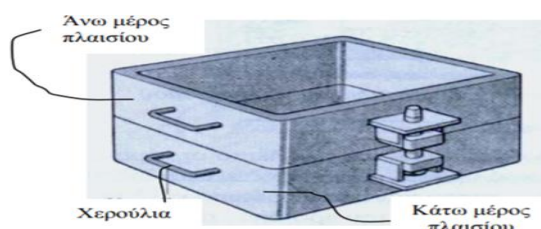


#### Διαδικασία αποτύπωσης του προτύπου στην άμμο

##### Στάδιο 1

Η επιφάνεια επαφής του μισού πρότυπου πρέπει να τοποθετηθεί πάνω σε μια μεταλλική είτε ξύλινη πλάκα. Περιμετρικά από το πρότυπο που βρίσκεται πάνω στην πλάκα τοποθετείται το κάτω μέρος του πλαισίου με αυτόν τον τρόπο που το πρότυπο θα είναι στο κέντρο του πλαισίου.Οι διαστάσεις της πλάκας αυτής πρέπει να είναι μεγαλύτερες από τις εξωτερικές διαστάσεις του πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του καλουπιού . Συνήθως τα πλαίσια αυτά φέρουν σχήμα τετράγωνα ή ορθογώνια μεταλλικά κουτιά που ο τρόπος κατασκευής τους είναι:

- Συγκολλητές κατασκευές από χαλύβδινο έλασμα.
- Χυτή κατασκευή από κράμα αλουμινίου ή από χυτοσίδηρο.



Σχ. 3.6: Τύπος πλαισίων άνω και κάτω μέρος πλαισίου. [29]

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα στις πλευρές υπάρχουν κατάλληλα χερούλια ώστε να είναι πιο εύκολη η μεταφορά των πλαισίων ενώ οι πείροι βοηθάνε για την ευθυγράμμιση κατά την συναρμολόγησή τους.

## Στάδιο 2

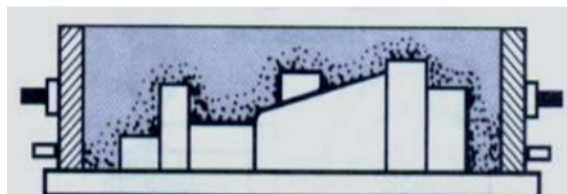
Το πρότυπο επικαλύπτεται με μια λεπτή στρώση διαχωριστικής τύπου σκόνης για να βοηθήσει στην αποκόλλησης του τύπου από το πρότυπο.

Μερικά διαχωριστικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την χύτευση με άμμο είναι τα παρακάτω:

1. Τάλκης (πούδρα)
2. Σκόνη ξυλάνθρακα
3. Αργυρογραφίτης
4. Σκόνη κεχριμπαριού
5. Πετρέλαιο
6. Πυροκαμένη λεπτόκοκκη άμμος
7. Χαρτί

Τα κριτήρια εφαρμογής για την επιλογή των παραπάνω διαχωριστικών υλικών είναι:

- Το υλικό κατασκευής του τύπου .
- Το βάθος πολυπλοκότητας του χυτού στοιχείου και την δυσκολία αποτύπωσής του .
- Την επιθυμητή ποιότητα του χυτού στοιχείου.
- Το υλικό κατασκευής του χυτού.

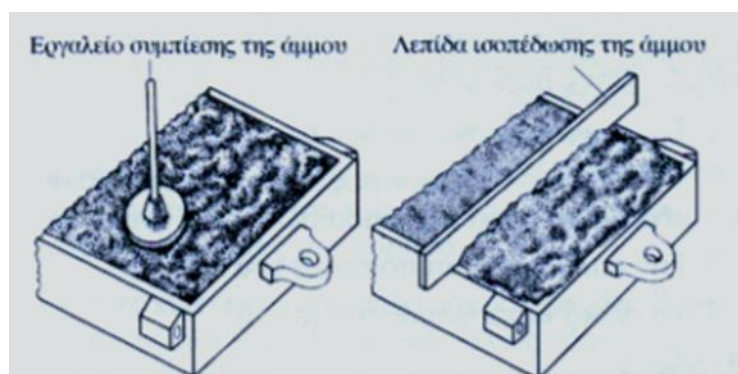


Σχ. 3.7: Επικάλυψη προτύπου με την διαχωριστική σκόνη. [29]

## Στάδιο 3



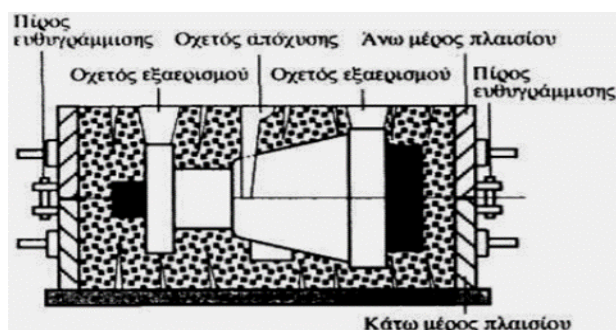
Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα ειδικό εργαλείο ώστε να απλώσουμε και να συμπιέσουμε εσωτερικά του πλαισίου μια υγρή άμμο αυτή η διαδικασία τελειώνει όταν γεμίσουμε το εσωτερικό μέρος του πλαισίου. Η περίσσια υγρή άμμος θα αφαιρεθεί με μια ειδική λεπίδα ώστε να είναι πλήρη επίπεδη επιφάνεια. Προς το τέλος της φάσης αυτής ανοίγονται οπές με ειδική βελόνα για την απελευθέρωση διάφορων φυσαλίδων κατά την χύτευση .



Σχ. 3.8: Γέμισμα εσωτερικού πλαισίου και οριζοντοποίησής του. [29]

#### **Στάδιο 4**

Το κάτω μέρος του πλαισίου μαζί με το μισό καλούπι και την ξύλινη πλάκα αναποδογυρίζονται και τοποθετούνται στο έδαφος ακριβώς επάνω σε μια άλλη ξύλινη πλάκα. Έπειτα η πλάκα αυτή αφαιρείται και συναρμολογείται με ιδιαίτερη προσοχή με το μέρος του προτύπου που αποτυπώθηκε στην άμμο. Περιμετρικά από το πρότυπο τοποθετείται το άνω μέρος του πλαισίου το οποίο ευθυγραμμίζεται με τους κυλινδρικούς πείρους οδήγησης με το κάτω μέρος του πλαισίου. Μετά τοποθετούμε τους σχετούς εξαερισμού και τους ειδικούς ξύλινους ράβδους για την απόχυση της ρευστής μεταλλικής μάζας.



Σχ. 3.9: Διαδικασία τέταρτου σταδίου. [29]

#### **Στάδιο 5**

Σε αυτό το στάδιο καλύπτουμε το μισό πρότυπο με λεπτή στρώση ειδικού μονωτικού υλικού, για να αποτρέψει την κόλληση της άμμου πάνω στο πρότυπο ώστε να είναι ευκολότερη η απομάκρυνση του προτύπου από το χυτό.

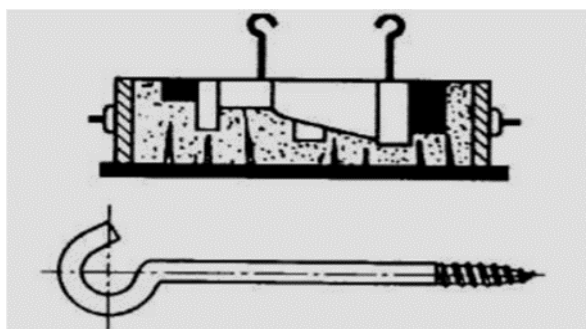
### Στάδιο 6

Τοποθετείται εκ νέου επίστρωση υγρής άμμου και συμπιέζεται όπως έγινε σε προηγούμενο στάδιο μέχρις ότου να γεμίσει ολόκληρος ο εσωτερικός χώρος του πλαισίου .

### Στάδιο 7

Κατά την ολοκλήρωση κατασκευής του προτύπου , ακολουθεί η αφαίρεση των τμημάτων με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην υποστεί κάποια ζημιά το χυτό η οποία θα είναι μη αναστρέψιμη. Ξεκινώντας με την αφαίρεση των ξύλινων οχετών απόχυσης και εξαέρωσης με πολύ ελαφρά χτυπήματα. Επόμενο βήμα είναι η απομάκρυνση του άνω πλαισίου το οποίο αφού το έχουμε αναποδογυρίσει το τοποθετούμε στην ξύλινη πλάκα. Ως αποτέλεσμα αυτών είναι να διαχωριστούν τα δύο πλαίσια, όπου τα στο ένα πλαίσιο θα παραμείνει το μισό πρότυπο και το υπόλοιπο μισό θα είναι στο άλλο μισό πλαίσιο.

Στο μισό πλαίσιο από ξύλο που βρίσκεται στο κάτω μέρος του πλαισίου, θα κοχλιωθούν ειδικοί κοχλίες τύπου ξυλόβιδες με το άκρο τους να φέρουν την μορφή γάντζου ώστε να μπορούμε να απομακρύνουμε με ελαφρά χτυπήματα τα τοιχώματα τραβώντας τους. Με την ίδια διαδικασία θα ακολουθήσει και η απομάκρυνση των τοιχωμάτων και στο άλλο πλαίσιο.



Σχ. 3.10: Ειδικοί γάντζοι για την αφαίρεση του προτύπου από τον τύπο. [29]

### Στάδιο 8

Επιστρώνουμε τα εσωτερικά τοιχώματα του καλουπιού και τις επιφάνειες της άμμου με μία λεπτή στρώση ειδικού τύπου επιχρίσματος που είναι από μείγματα γραφίτη,αργίλου ,νερού ή γραφίτη ,αργίλου και αλκοόλ. Αυτή η διαδικασία γίνεται με την μέθοδο ψεκασμού ή με αρκετά μαλακά πινέλα χωρίς να αφήσουν ίνες αυτών . Αφού ολοκληρώσουμε την διαδικασία αποξηραίνουμε την επίστρωση με φλόγα οξυγόνου-ασετιλίνης ή με φλόγα φωταερίου.

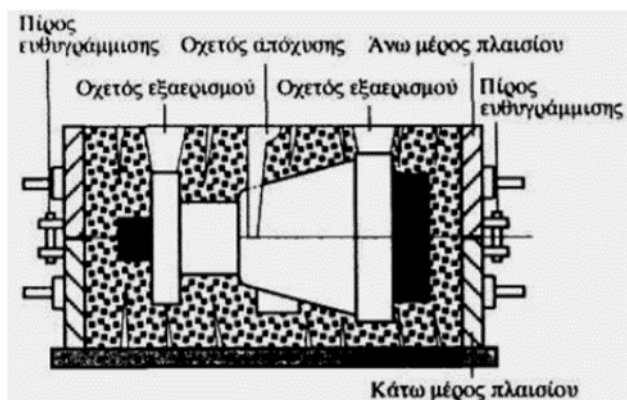
### Στάδιο 9

Οι τύποι μετά την κατασκευή και την επίστρωσή τους με τα ειδικά επιχρίσματα αποξηραίνονται με φλόγα οξυγόνου-ασετιλίνης ή φλόγα φωταερίου.

### Στάδιο 10

Έτσι υλοποιείται η διαδικασία κατασκευής του τύπου μιας απόχυσης στην άμμο. Το πάνω μέρος του πλαισίου επανατοποθετείται , με την παραπάνω περιγραφή . Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ανάλογα με τον αριθμό ζήτησης των απαιτούμενων χυτών στοιχείων. Πάνω από τα πλαίσια πρέπει να τοποθετηθούν βάρη για να αποφύγουμε την ανασήκωση των πλαισίων λόγω :

- Της πίεσης των αερίων που δημιουργείται κατά την φάση της απόχυσης
- Της υδροστατική πίεσης στο καλούπι.



Σχ. 3.11: Ολοκληρωμένη διαδικασία καλουπιού. [29]

## **Τήξη της μεταλλικής μάζας**

Το επόμενο στάδιο της χύτευσης, μετά την αποτύπωση του προτύπου στην άμμο, είναι η τήξη και ρευστοποίηση της μεταλλικής μάζας, ώστε να καταστεί δυνατή η απόχυση της στους τύπους. Ο χυτοσίδηρος αποτελεί σήμερα το πιο σημαντικό υλικό χύτευσης. Το υψηλό ποσοστό άνθρακα που περιέχεται στο χυτοσίδηρο επενεργεί θετικά στην ευτηκτότητα και τη χυτευτικότητα του και τον καθιστά το πιο σημαντικό υλικό χύτευσης στην κατασκευή χυτών μάζας από μερικά γραμμάρια μέχρι και αρκετούς τόνους.

Σαν κράμα χυτεύσεως, ο χυτοσίδηρος συνδυάζει τα ακόλουθα βασικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα άλλα μέταλλα και μεταλλικά κράματα χύτευσης:

1. Χαμηλό κόστος
2. Αρκετά καλή ευτηκτότητα και χυτευτικότητα
3. Καλή ικανότητα ροής και απόχυσης
4. Καλή κατεργαστικότητα με μηχανική κοπή σε εργαλειομηχανές
5. Μεγάλη αντοχή στη θλίψη
6. Εξαιρετική ικανότητα απορρόφησης και απόσβεσης κραδασμών
7. Καλή αντοχή στη φθορά τριβής ολίσθησης
8. Χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.

## **Απόχυση της ρευστής μεταλλικής μάζας**

Το μέταλλο ή μεταλλικό κράμα χύτευσης, αφού θερμανθεί στην κάμνο τήξης μέχρι τη θερμοκρασία χύτευσης (πάντοτε ψηλότερη από το σημείο τήξης του μετάλλου) και ρευστοποιηθεί, μεταφέρεται στη συνέχεια με κατάλληλα μέσα στον τόπο χύτευσης, όπου και αποχύνεται στους τύπους.

Σε κάθε τύπο αποχύνεται τόση ποσότητα ρευστοποιημένου μετάλλου, όση χρειάζεται για την πλήρωση του τύπου μέχρι το στόμιο του οχετού απόχυσης. Τα τοιχώματα του τύπου συγκρατούν το ρευστοποιημένο μέταλλο μέσα στον τύπο. Το

ρευστοποιημένο μέταλλο παίρνει έτσι τη μορφή του τύπου και παραμένει μέσα σ' αυτό μέχρι να στερεοποιηθεί.

### **Αφαίρεση των στερεοποιημένων χυτών από τους τόπους - Καθαρισμός των χυτών**

Μετά την αφαίρεσή τους από τους τόπους και την τέλεια απόψυξή τους, τα χυτά υποβάλλονται σε διάφορες κατεργασίες καθαρισμού και προετοιμάζονται για τις μηχανικές κατεργασίες που θα υποστούν σε εργαλειομηχανές. Οι κατεργασίες καθαρισμού και προετοιμασίας των χυτών για τις μηχανικές κατεργασίες είναι οι ακόλουθες:

1. Αφαίρεση των πυρήνων
2. Αποκοπή και αφαίρεση του οχετού απόχυσης από τα χυτά
3. Καθαρισμός των χυτών με πιεσμένη άμμο ή πιεσμένο νερό
4. Λείανση
5. Θερμικές επεξεργασίες.

### **Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους**

Η μέθοδος χύτευσης σε μεταλλικούς τύπους είναι όπως και οι άλλες μέθοδοι χύτευσης εκείνος ο τρόπος διαμόρφωσης των μεταλλικών υλικών χωρίς κοπή, με τον οποίο πραγματοποιείται η μετατροπή ρευστοποιημένης, άμορφης μεταλλικής μάζας σε χυτά στοιχεία μηχανών, εργαλεία ή άλλα αντικείμενα με ορισμένη γεωμετρική μορφή και καθορισμένες διαστάσεις.

Σε αντίθεση με τη χύτευση στην άμμο, όπου οι τύποι κατασκευάζονται στην άμμο, σ' αυτή τη μέθοδο χύτευσης οι τύποι κατασκευάζονται από μεταλλικά υλικά. Έτσι, ενώ στη χύτευση στην άμμο οι τύποι είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν μόνο για μια απόχυση, στη χύτευση σε μεταλλικούς τύπους οι τύποι χρησιμοποιούνται για μεγάλο αριθμό αποχύσεων (μόνιμοι τύποι).

Η χύτευση σε μεταλλικούς τύπους παρουσιάζει μεγάλα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τη χύτευση στην άμμο. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Μεγαλύτερη ακρίβεια διαστάσεων των χυτών

2. Καλύτερη ποιότητα επιφάνειας των χυτών
3. Χαμηλό κόστος παραγωγής
4. Εξοικονόμηση υλικού
5. Ελάττωση των μηχανικών κατεργασιών σε εργαλειομηχανές που γίνονται στα χυτά μετά τη χύτευση.

Βασικοί περιοριστικοί παράγοντες στην εφαρμογή της μεθόδου χύτευσης σε μεταλλικούς τύπους είναι:

- Το αρκετά ψηλό κόστος κατασκευής των μεταλλικών τύπων. Έτσι η μέθοδος αυτή χύτευσης είναι οικονομικά συμφέρουσα, όταν ο αριθμός των χυτών που θα παραχθεί ξεπερνά τις 5 000 τεμάχια.
- Το σχετικά περιορισμένο μέγεθος χυτών που είναι δυνατό να παραχθούν. Έτσι με τη μέθοδο αυτή κατασκευάζονται χυτά με μάζα μόνο μέχρι 55 kg.
- Η εκλογή των μεταλλικών υλικών χύτευσης που χρησιμοποιούνται στη χύτευση σε μεταλλικούς τύπους περιορίζεται μόνο σ' αυτά που έχουν σχετικά χαμηλό σημείο τήξης.

### **Χύτευση ακριβείας με βαρύτητα - αποτύπωση με κέρνα πρότυπα**

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται σ' αυτή τη μέθοδο χύτευσης είναι ολόσωμοι.

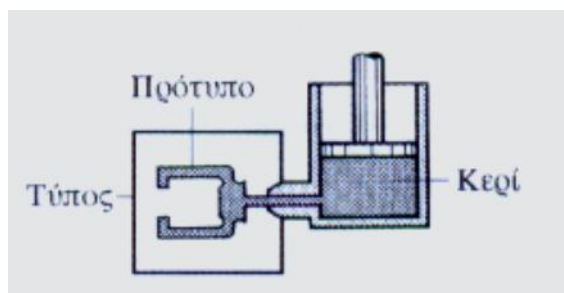
Για την κατασκευή των τύπων χύτευσης χρησιμοποιούνται πρότυπα μιας αποτύπωσης, που κατασκευάζονται από υλικά με χαμηλό σημείο τήξης, όπως:

- Μείγμα κεριού με βάση τον άνθρακα ή το αργό πετρέλαιο
- Τεχνητές ρητίνες
- Συνθετικά υλικά, όπως η πολυστερίνη.

Τα κέρινα πρότυπα κατασκευάζονται μέσα σε ειδικούς για το σκοπό αυτό τύπους, που είναι δυνατό να κατασκευαστούν με ένα από τα ακόλουθα υλικά:

1. Μαλακά μέταλλα, όπως για παράδειγμα μόλυβδος και κράματα κασσιτέρου
2. Συνθετικό καουτσούκ
3. Εποξική ρητίνη
4. Χάλυβας (για την κατασκευή πολύ μεγάλου αριθμού κέρινων προτύπων).

Το υλικό κατασκευής των προτύπων συμπιέζεται μέσα στον ειδικό τύπο (σχ. 3.12), αφήνεται να αποψυχθεί και αφαιρείται στη συνέχεια, για να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή του τύπου χύτευσης.



Σχ. 3.12: Συμπίεση του κεριού μέσα στον τύπο, για την κατασκευή του κέρινου προτύπου. [29]

Κέρινα πρότυπα με μεγάλο μέγεθος και πολύπλοκη γεωμετρική μορφή κατασκευάζονται πολυμερή, από ανάλογο αριθμό στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά συναρμολογούνται κατάλληλα, για να δώσουν το τελικό πρότυπο. Επίσης, κέρινα πρότυπα με σχετικά μικρό μέγεθος συναρμολογούνται κατά ομάδες σε ειδικούς κορμούς συγκράτησης των προτύπων, ώστε η χύτευσή τους να γίνεται κατά ομάδες.

#### **Κατασκευή των τύπων για τη χύτευση ακριβείας με χρήση κέρινων προτύπων**

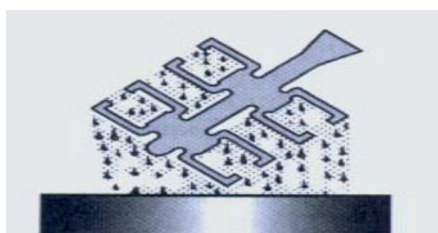
Ο κορμός με τα κέρινα πρότυπα ραντίζεται σε πρώτο στάδιο με διάλυση νερού-σαπουνιού, για καθαρισμό των προτύπων. Μικρά τεμάχια κεριού και ρητίνης που είναι επικολημένα στα πρότυπα ή στον κορμό αποχωρίζονται, παρασύρονται από τη διάλυση και απομακρύνονται.

Στη συνέχεια, κορμός και κέρινα πρότυπα πλένονται σε αλκοόλ και στεγνώνονται. Ακολουθεί η προετοιμασία ειδικής διάλυσης μέσα στην οποία θα πρέπει να εμβαπτιστούν κορμός και κέρινα πρότυπα. Η διάλυση αυτή περιέχει τα ακόλουθα συστατικά:

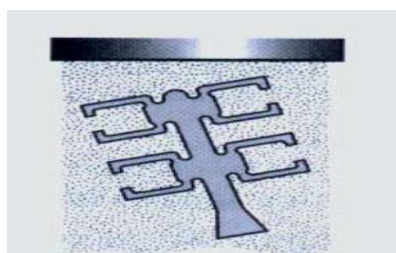
1. Αιθυλική αλκοόλη (οινόπνευμα) 18,00 l
2. Νερό 2,60 l
3. Υδροχλωρικό οξύ 0,13 l
4. Αιθυλοσιλικόνη 15,30 l

Τα υλικά αυτά χύνονται με την πιο πάνω σειρά σε αναδευτήρα, αφού προστεθεί σκόνη χαλαζιακής άμμου και αναδεύονται για μια περίπου ώρα.

Ο κορμός με τα κέρινα πρότυπα εμβαπτίζεται για σύντομο χρονικό διάστημα στη διάλυση αυτή με αποτέλεσμα να επικολληθεί στην εξωτερική τους επιφάνεια μια λεπτή επιστρωση της διάλυσης. Ενώ η επιστρωση αυτή είναι ακόμη υγρή, εκτινάσσεται ξηρή σκόνη πυρίμαχου υλικού στον κορμό και τα πρότυπα και έτσι δημιουργείται γύρω από τον κορμό και τα πρότυπα ένα κέλυφος από πυρίμαχο υλικό με ομοιόμορφο πάχος. Τα πυρίμαχα υλικά που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι χαλαζίας, κορούνδιο ή οξειδίο του ζirkονίου σε σκόνη.



Σχ. 3.13: Εμβάπτιση του κορμού και των κέρινων προτύπων σε ειδική διάλυση. [29]



Σχ. 3.14: Εκτίναξη ξηρής σκόνης πυρίμαχου υλικού στον κορμό και στα πρότυπα από κερί. [29]



Το κέλυφος αυτό στεγνώνεται και ο κορμός με τα πρότυπα εμβαπτίζεται ξανά στη διάλυση. Ακολουθεί εκτίναξη και νέας σκόνης πυρίμαχου υλικού, πιο χοντρόκοκκης αυτή τη φορά, στον κορμό και στα πρότυπα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τρεις φορές και σε ειδικές περιπτώσεις μέχρι και οκτώ φορές, ενώ κάθε φορά χρησιμοποιείται όλο και πιο χοντρόκοκκη σκόνη πυρίμαχου υλικού.

Έτσι γύρω από τον κορμό και τα πρότυπα από κερί δημιουργείται ένα κέλυφος με πάχος από 5 έως 8 mm, ανάλογα με το πόσες φορές επαναλαμβάνεται η διαδικασία αυτή. Το κέλυφος αυτό θα χρησιμοποιηθεί αργότερα σαν τύπος χύτευσης, για τη μέθοδο χύτευσης ακριβείας. Μετά από κάθε στάδιο εμβάπτισης και επίστρωσης του κορμού και των προτύπων με σκόνη πυρίμαχου υλικού, το κέλυφος που δημιουργείται στεγνώνεται σε θερμοκρασία 22 °C και υγρασία 70%, για 3 έως 8h.

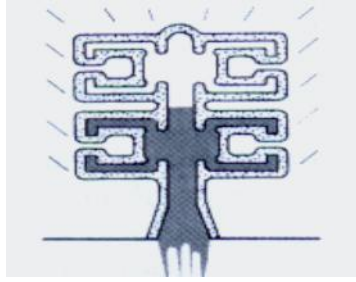


Σχ. 3.15: Αποπερατωμένος τύπος μαζί με τον κορμό και τα κέρινα πρότυπα για χύτευση ακριβείας. [29]

#### **Αφαίρεση του κορμού και των κέρινων προτύπων από τον τύπο**

Πριν από τη χύτευση ρευστής μεταλλικής μάζας μέσα στον τύπο, θα πρέπει πρώτα να αφαιρεθούν από αυτόν ο κορμός και τα πρότυπα από κερί, ώστε να παραμείνει η κοιλότητα του τύπου. Το κερί του κορμού και των προτύπων τήκεται ή διαλύεται χημικά και αφαιρείται από τον τύπο. Η εργασία τήξης και αφαίρεσης του κεριού διαρκεί 30 min περίπου. Για την τήξη του κεριού είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί:

- Ζεματισμένο νερό
- Θερμός αέρας ή
- Ατμός

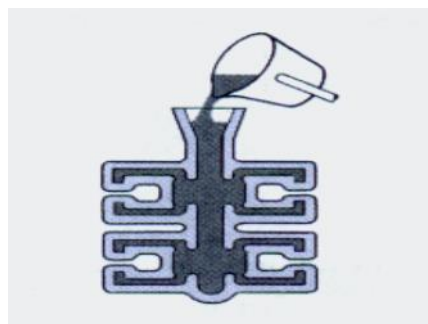


Σχ. 3.16 : Τήξη ή χημική διάλυση και αφαίρεση του κορμού και των κέρινων προτύπων από τον τύπο. [29]

Το ψήσιμο των τύπων χύτευσης, που ακολουθεί μετά τον καθαρισμό των κοιλοτήτων από το κερί, γίνεται σε ηλεκτρικούς κλιβάνους ή κλιβάνους φωταερίου σε θερμοκρασία 800 - 1000 °C και διαρκεί 6 - 7 h. Κατά το ψήσιμο, μαζί με το κάψιμο των υπολειμμάτων του κεριού που παραμένουν ακόμη στον τύπο, επιτυγχάνεται και η εξουδετέρωση της υγρασίας, που είναι εγκλωβισμένη στις κοιλότητες.

#### **Τήξη της μεταλλικής μάζας - Απόχυση -Καθαρισμός των χυτών**

Η απόχυση της ρευστής μεταλλικής μάζας στους τύπους γίνεται με τη βοήθεια κάδων απόχυσης με χειρολαβές, που κατασκευάζονται από πυρίμαχα υλικά.



Σχ. 3.17: Χύτευση ακριβείας με χρήση κέρινων προτύπων - Απόχυση της ρευστής μεταλλικής μάζας στον τύπο. [29]

Η θερμοκρασία χύτευσης κυμαίνεται γύρω στους 1650 οC και εξαρτάται από τη γεωμετρική μορφή και τον όγκο των χυτών, καθώς επίσης και από το κράμα του χάλυβα που θα χυτευθεί. Μετά την απόχυση της ρευστής μεταλλικής μάζας, οι πυρωμένοι τύποι αφήνονται εκτεθειμένοι στο περιβάλλον του Χυτηρίου, μέχρι την απόψυξη και εξίσωση της θερμοκρασίας τους με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια τοποθετούνται σε ειδικούς δονητές (vibrators), όπου με δονήσεις επιτυγχάνεται η θραύση και απομάκρυνση των τύπων από τα χυτά. Ο καθαρισμός των χυτών γίνεται με πιεσμένη άμμο.

Ο διαχωρισμός των χυτών από τον κορμό διεξάγεται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

1. Με απλό κτύπημα σφυριού
2. Με δόνηση (vibration)
3. Αποκοπή στη φρέζα
4. Αποκοπή με σφυριδοτροχό
5. Αποκοπή με φλόγα οξυγόνου-ασετιλίνης

Χύτευση με χρήση προτύπων από στυροπόριο

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται σ' αυτή τη μέθοδο χύτευσης είναι ολόσωμοι.

Τα πρότυπα από στυροπόριο κατασκευάζονται κάτω από ψηλές πιέσεις σε ημιαυτόματες και αυτόματες μηχανές με ειδικούς για το σκοπό αυτό τύπους. Οι τύποι αυτοί είναι δυνατό να κατασκευαστούν από τα ακόλουθα υλικά:

- Μαλακά μέταλλα, όπως βισμούθιο (Bi), μόλυβδος (Pb) και κράματα κασσιτέρου (Sn-alloys)
- Συνθετικό καουτσούκ
- Εποξική ρητίνη
- Χάλυβας (για την κατασκευή πολύ μεγάλου αριθμού προτύπων από πολυστερίνη).

Για την κατασκευή του τύπου, το πρότυπο από στυροπόριο τοποθετείται μέσα σε κατάλληλο πλαίσιο, σε σχήμα κιβωτίου, και γύρω από αυτό τοποθετείται πυριτική άμμος η οποία συμπιέζεται. Μετά την αποτύπωση στην άμμο, το πρότυπο παραμένει στον τύπο, καίεται κάτω από την επίδραση της θερμότητας ρευστής μεταλλικής μάζας κατά την απόχυσή της στον τύπο και εξαφανίζεται χωρίς να αφήνει κατάλοιπα.

### **Χύτευση σε κελυφωτούς τύπους**

Στη χύτευση με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται κελυφωτοί τύποι σε συνδυασμό με διάτρητους πυρήνες, αντί των συνηθισμένων τύπων από άμμο σε συνδυασμό με γεμάτους πυρήνες, που χρησιμοποιούνται στη χύτευση στην άμμο, ή αντί των μεταλλικών τύπων, που χρησιμοποιούνται στις άλλες μεθόδους χύτευσης.

Οι κελυφωτοί τύποι είναι «μάσκες» λεπτού πάχους (διμερείς ή πολυμερείς), που η εσωτερική τους επιφάνεια έχει τη γεωμετρική μορφή και τις διαστάσεις του χυτού που πρόκειται να χυτευτεί μέσα σ' αυτές. Τόσο οι κελυφωτοί τύποι, όσο και οι διάτρητοι πυρήνες κατασκευάζονται από μείγμα λεπτόκοκκης πυριτικής άμμου και συνθετικής ρητίνης (φαινόλη φορμαλδεύδη).

Με τη χύτευση σε κελυφωτούς τύπους κατασκευάζονται χυτά με κανονικό μέχρι πολύ λεπτό πάχος τοιχωμάτων και πολύπλοκη γεωμετρική μορφή με μάζα μέχρι 50 kg, που συνδυάζουν εξαιρετική ποιότητα επιφανειών και αξιοσημείωτη ακρίβεια διαστάσεων.

### **Μέθοδοι χύτευσης με πίεση**

Σ' αυτές τις μεθόδους χύτευσης η ρευστή μεταλλική μάζα διοχετεύεται στον τύπο με πίεση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ακόλουθες μέθοδοι χύτευσης:

1. Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους με πίεση.
2. Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους με χαμηλή πίεση.
3. Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους υπό την

επίδραση κενού.

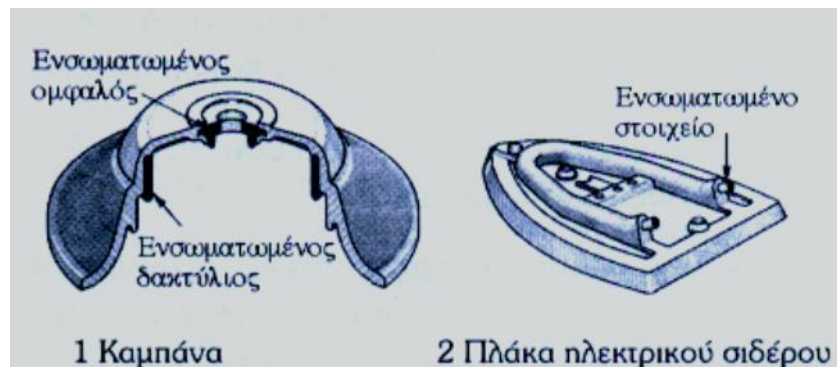
4. Χύτευση ακριβείας με πίεση-αποτύπωση με κέρινα πρότυπα.

5. Φυγοκεντρική χύτευση.

### Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους με πίεση

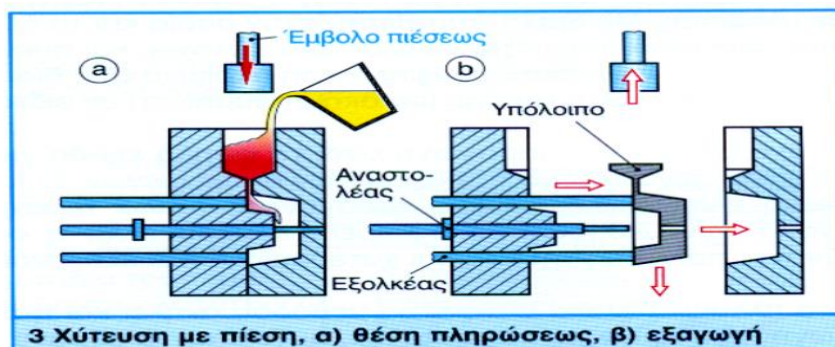
Η μέθοδος χύτευσης σε μεταλλικούς τύπους με πίεση αποτελεί εξέλιξη της μεθόδου χύτευσης σε μεταλλικούς τύπους με βαρύτητα. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων χύτευσης βρίσκεται στον τρόπο πλήρωσης της κοιλότητας των μεταλλικών τύπων με ρευστή μεταλλική μάζα. Έτσι στη μια μέθοδο η πλήρωση (το γέμισμα) των τύπων με ρευστή μεταλλική μάζα επιτυγχάνεται κάτω από την επίδραση της βαρύτητας και μόνο, ενώ στην άλλη μέθοδο η πλήρωση των τύπων επιτυγχάνεται με πίεση.

Για τη χύτευση σε μεταλλικούς τύπους με πίεση χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές χύτευσης με πίεση.



Σχ. 3.18: Παραδείγματα χυτών. [29]

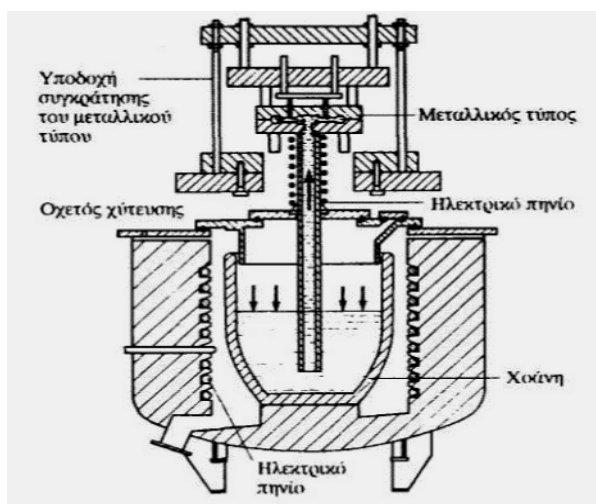
Η χύτευση με πίεση σε μεταλλικούς τύπους είναι μια μέθοδος για παραγωγή τεμαχίων σε μεγάλες σειρές, με λεπτά τοιχώματα από ελαφρά μέταλλα ή πλαστικά. Τα παραγόμενα χυτά έχουν μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις, καλή επιφάνεια, αντοχή και ομοιόμορφη δομή του υλικού. Μπορούν να παραχθούν σύνθετα τεμάχια, π.χ. κορμοί κινητήρων με πτερύγια ψύξεως. Το λεπτόρρευστο μέταλλο πιέζεται σε μεταλλικό τύπο (καλούπι), ο οποίος απαρτίζεται από δύο τεμάχια τουλάχιστον. Κατόπιν, ανοίγει ο τύπος και ένας εξολκέας ωθεί προς τα έξω το αντικείμενο.



Σχ. 3.19: Χύτευση με πίεση, (α) θέση πλήρωσης, (β) εξαγωγή. [29]

### Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους με χαμηλή πίεση

Η χύτευση σε μεταλλικούς τύπους με χαμηλή πίεση διεξάγεται σε ειδικές για το σκοπό αυτό μηχανές.



Σχ. 3.20: Μηχανή χύτευσης σε μεταλλικούς τύπους με χαμηλή πίεση. [29]

Το μεταλλικό υλικό που θα χυτευτεί τοποθετείται στη χοάνη της μηχανής που βρίσκεται στο κέντρο ηλεκτρικού πηνίου και τήκεται. Η χοάνη για την τήξη του μετάλλου συνήθως κατασκευάζεται από σίδηρο και σε μοντέρνες μηχανές από καρβίδιο του πυριτίου.

Στην επιφάνεια του τήγματος ασκείται στη συνέχεια πίεση 0,5 bar, με αποτέλεσμα ρευστή μεταλλική μάζα να διοχετεύεται με πίεση μέσω ενός κάθετου σωλήνα (οχετού χύτευσης) στο μεταλλικό τύπο. Μετά την απόψυξη και στερεοποίηση του χυτού στο μεταλλικό τύπο, η πίεση μέσα στη χοάνη, αφαιρείται μέσω κατάλληλης βαλβίδας. Το μεταλλικό υλικό μέσα στη χοάνη και στον οχετό διατηρείται σε ρευστή κατάσταση, γιατί τόσο η χοάνη όσο και ο οχετός περιβάλλονται από ηλεκτρικό πηνίο

για την τήξη του μετάλλου. Έτσι, μετά την αφαίρεση της πίεσης από τη χοάνη, το ρευστό μεταλλικό υλικό που βρίσκεται στον οχετό επιστρέφει λόγω της βαρύτητας στη χοάνη.

Ο μεταλλικός τύπος ανοίγεται στη συνέχεια με τη βοήθεια κατάλληλου υδραυλικού ή πνευματικού συστήματος, αφαιρείται το χυτό και κλείνεται πάλι ο τύπος. Έτσι ολοκληρώνεται ο κύκλος εργασίας για την κατασκευή ενός χυτού και η μηχανή είναι έτοιμη για την επανάληψη του κύκλου εργασίας και τη χύτευση του επόμενου χυτού.

Η υποδοχή συγκράτησης του μεταλλικού τύπου στις μηχανές χύτευσης, με χαμηλή πίεση, κατασκευάζεται με τρόπο ώστε να παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής του μεταλλικού τύπου χύτευσης ενός ορισμένου χυτού με μεταλλικούς τύπους χύτευσης άλλων χυτών.

Η μέθοδος χύτευσης σε μεταλλικούς τύπους με χαμηλή πίεση παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Αποφεύγεται οποιαδήποτε χειρωνακτική εργασία
- Η χύτευση είναι συνεχής και επιτυγχάνεται με μηχανοποίηση ή αυτοματοποίηση της μηχανικής χύτευσης
- Αποφεύγεται η δημιουργία οξειδίων (σκουριάς) στο τήγμα
- Κατασκευάζονται χυτά με αρκετά μικρό πάχος τοιχωμάτων.

Χύτευση σε μεταλλικούς τύπους υπό την επίδραση κενού

Σ' αυτή τη μέθοδο κατασκευής χυτών, η ρευστή μεταλλική μάζα χυτεύεται σε μεταλλικούς τύπους, από τους οποίους αφαιρείται πρώτα ο αέρας, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνθήκες κενού (vacuum) σ' αυτούς.

Για την αφαίρεση του αέρα από το μεταλλικό τύπο και τον οχετό χύτευσης και τη δημιουργία συνθηκών κενού, χρησιμεύει κατάλληλη αντλία κενού (vacuum pump). Απαραίτητη προϋπόθεση στη μέθοδο αυτή χύτευσης είναι ότι οι μεταλλικοί τύποι πρέπει να κατασκευάζονται με μεγάλη επιμέλεια και να συνδυάζουν ψηλό βαθμό στεγανότητας.

Όταν η αντλία κενού τεθεί σε λειτουργία, απορροφά τον αέρα από την κοιλότητα του τύπου και από τον οχετό χύτευσης. Το κενό που δημιουργείται υποβοηθεί τη ρευστή μεταλλική μάζα χύτευσης να εισχωρήσει με αυξημένη ταχύτητα ροής στον τύπο και να πληρώσει την κοιλότητά του, με αποτέλεσμα ο χρόνος χύτευσης να ελαττώνεται αισθητά. Η χύτευση σε μεταλλικούς τύπους υπό την επίδραση κενού συνδυάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Ο ελαττωμένος χρόνος χύτευσης επιτρέπει και την ελάττωση της θερμοκρασίας χύτευσης, με αποτέλεσμα να εξοικονομείται θερμική ενέργεια κατά την τήξη του μεταλλικού υλικού χύτευσης
2. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατό να κατασκευαστούν χυτά με το ελάχιστο δυνατό πάχος τοιχωμάτων.
3. Αποκλείεται ο εγκλωβισμός αέρα στα χυτά και έτσι αποφεύγεται η δημιουργία φυσαλίδων ή πόρων σ' αυτά
4. Η κρυσταλλική δομή των χυτών παρουσιάζει ψηλό Βαθμό πυκνότητας και συνεκτικότητας
5. Τα χυτά παρουσιάζουν εξαιρετικές ιδιότητες και ιδιαίτερα μεγάλη αντοχή
6. Ο βαθμός επιτυχίας αυτής της μεθόδου χύτευσης είναι σχεδόν 100% και επομένως αποκλείεται η χύτευση ελαττωματικών ή άχρηστων χυτών.

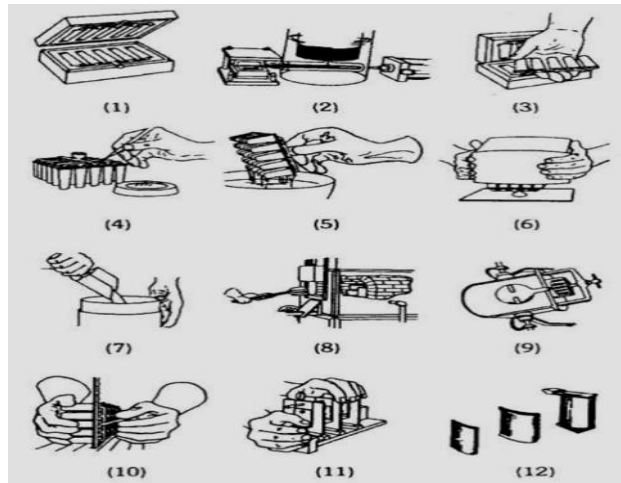
### **Χύτευση ακριβείας με πίεση αποτύπωση με κέρινα πρότυπα**

Η πορεία κατασκευής χυτών με τη μέθοδο χύτευσης ακριβείας με πίεση είναι η ίδια με αυτή που ακολουθείται στη μέθοδο χύτευσης ακριβείας με βαρύτητα.

Η μόνη διαφορά μεταξύ των δυο αυτών μεθόδων χύτευσης ακριβείας αφορά τον τρόπο διοχέτευσης της ρευστής μεταλλικής μάζας στον τύπο.

Έτσι στη μια μέθοδο χύτευσης η ρευστή μεταλλική μάζα διοχετεύεται στον τύπο με βαρύτητα, ενώ στην άλλη μέθοδο χύτευσης αυτό επιτυγχάνεται με πίεση.





Σχ. 3.21: Βασικά στάδια κατασκευής χυτών με τη μέθοδο χύτευσης ακριβείας με πίεση και χρήση κέρινων προτύπων. [29]

1. Τύπος κατασκευής των κέρινων προτύπων
2. Συμπύεση του κεριού στον τύπο κατασκευής των προτύπων
3. Αφαίρεση των κέρινων προτύπων από τον τύπο
4. Συναρμολόγηση των προτύπων στον κορμό
5. Αρχική εμφάνιση του κορμού και των προτύπων σε ειδική διάλυση
6. Εκτίναξη ξηρής σκόνης πυρίμαχου υλικού στον κορμό και στα πρότυπα
7. Τελική εμφάνιση του κορμού και των προτύπων σε ειδική διάλυση
8. Τήξη και αφαίρεση του κορμού και των κέρινων προτύπων από τον τύπο
9. Χύτευση της ρευστής μεταλλικής μάζας στον τύπο με πίεση
10. Αποκοπή των χυτών από τον κορμό
11. Έλεγχος των χυτών
12. Καθαρισμός των χυτών

### **Φυγοκεντρική χύτευση**

Η φυγοκεντρική χύτευση χρησιμοποιείται για την παραγωγή σωμάτων εκ περιστροφής. Το μέταλλο χυτεύεται σε ένα πλαίσιο το οποίο ψύχεται εξωτερικά, αλλά και στρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Λόγω της φυγόκεντρης δυνάμεως, εκτοξεύεται το μέταλλο προς τα τοιχώματα, όπου και στερεοποιείται. Ταυτόχρονα δημιουργείται μια ομοιό-μορφη λεπτόκοκκη δομή του υλικού.

Στην κατακόρυφη φυγοκεντρική χύτευση, η εισροή του ρευστού μετάλλου γίνεται κατά μήκος του άξονα περιστροφής. Κατασκευάζονται έτσι, π.χ. τροχοί ή οδοντοτροχοί.

Η οριζόντια φυγοκεντρική χύτευση χρησιμοποιείται για την παραγωγή σωλήνων μεγάλου μήκους.

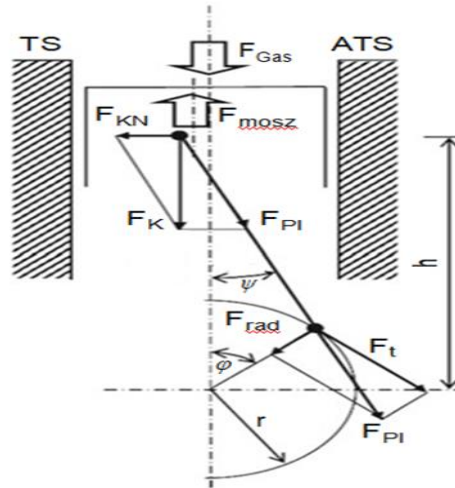
#### 4. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ

##### ΑΞΟΝΑ : ΒΑΣΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Για να μελετήσουμε τις δυνάμεις και τις τάσεις που ασκούνται στον στροφαλοφόρο άξονα που μελετάμε πήραμε τα εξής χαρακτηριστικά μιας 4-κύλινδρης μηχανής εσωτερικής καύσης:

Αριθμός κυλίνδρων	4
Διάμετρος πιστονιού (D)	86 mm
P <sub>max</sub>	10 N
Δύναμη Καυσαερίου (F <sub>gas</sub> )	25 bars
Στιγμιαία Γωνία στροφάλου (φ)	30°
Στιγμιαία Γωνία διωστήρα (ψ)	7,9836°

Π.4.1 : Στοιχεία κινητήρα.



Σχ. 4.2 : Ασκούμενες δυνάμεις Πιστονιού-Στροφάλου

Στο παραπάνω σχήμα [4.2] βλέπουμε τις δυνάμεις που ασκούνται στο πιστόνι και κατά συνέπεια στον στροφαλοφόρο άξονα. Η βασική δύναμη είναι του πιστονιού ( $F_k$ ) και υπολογίζεται με τον τύπο [10]:

$$F_k = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot P_{max}}{4} = \frac{3.14 \cdot 86^2 \cdot 10}{4} \Rightarrow \quad (4.1)$$

$$F_k = 58088.05 N = F_k = 58.08 kN$$

Όπου:

D: Διάμετρος πιστονιού.

P<sub>max</sub>: Ισχύς κινητήρα.

Μετά υπολογίζεται η δύναμη που ασκείται πάνω στον διωστήρα ( $F_{pl}$ ):

$$F_{pl} = \frac{F_p}{\cos \psi} = \frac{58088.05}{7.9836} \Rightarrow \quad (4.2)$$

$$F_{pl} = 58656.56 N \approx 58.56 kN$$

Όπου :

$\psi$  = στιγμαία γώνια Διωστήρα .

Αφότου έχουμε υπολογίσει τις Δυνάμεις που ασκούνται στο πιστόνι ( $F_k$ ) και στον διωστήρα ( $F_{pl}$ ) . Μπορούμε να υπολογίσουμε την εφαπτομενική δύναμη ( $F_t$ ) που ασκείται πάνω στο πείρο του στροφαλοφόρου άξονα :

$$F_t = F_{pl} * \sin(\varphi + \psi) = 58656.56 * \sin(30 + 7.9836) \Rightarrow \quad (4.3)$$

$$\mathbf{F_t = 36099.3497N \approx 36.1kN}$$

Στη συνέχεια, αφού είναι γνωστή η εφαπτομενική δύναμη στο κομβίο της μπιέλας μπορούμε να υπολογίσουμε την ακτινική δύναμη κατά μήκος του στροφαλοφόρου ( $F_{rad}$ ) :

$$F_{rad} = F_{pl} * \cos(\varphi + \psi) = 58656.56 * \cos(30 + 7.9836) \Rightarrow \quad (4.4)$$

$$\mathbf{F_{rad} = 46232.3313 N \approx 46.23kN}$$

Όπου :

$\Phi$ : στιγμιαία γωνία στροφαλοφόρου άξονα .

Η Εφαπτομενική δύναμη ( $F_t$ ) θα έχει δύο αντιδράσεις την  $H_{T1}$  και  $H_{T2}$  στα έδρανα στήριξης του στροφαλοφόρου άξονα. Το ίδιο ισχύει και για την ακτινική δύναμη κατά μήκος του στροφαλοφόρου ( $F_{rad}$ ) οι οποίες είναι  $H_{R1}$  και  $H_{R2}$  . Οι παραπάνω δυνάμεις υπολογίζονται:

Δυνάμεις εδράνων:

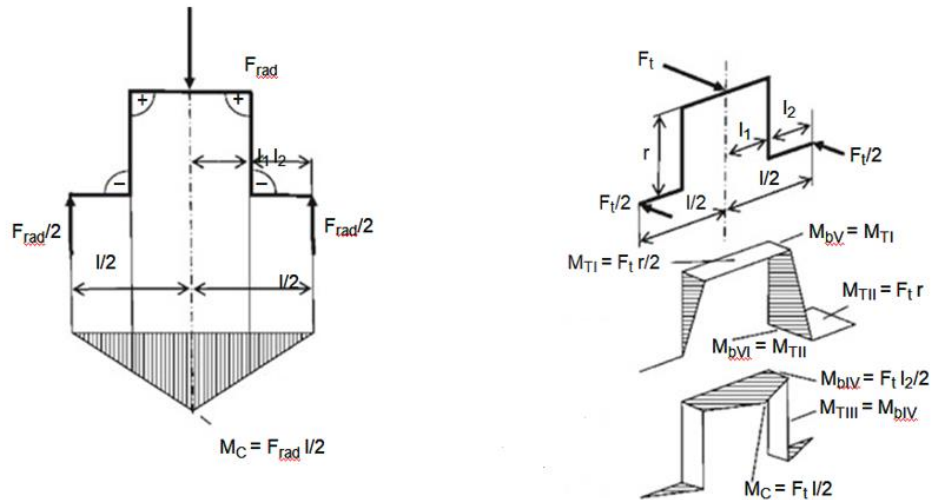
$$H_{T1} = H_{T2} = \frac{F_t}{2} = \frac{36099.3497}{2} \Rightarrow \quad (4.5)$$

$$\mathbf{H_{T1} = 18049.6749 N \approx 18,05kN}$$

$$H_{R1} = H_{R2} = \frac{F_{rad}}{2} = \frac{46232.3313}{2} \Rightarrow \quad (4.6)$$

$$\mathbf{H_{R1} = 23116,1657 N \approx 23,16 kN}$$

## Υπολογισμός κάμψεως και τάσεων



Σχ. 4.3 : Διάγραμμα καμπυκών ροπών και τάσεων.

Η απόσταση  $l$  (mm) μεταξύ των δύο εδράνων στήριξης του στροφαλοφόρου άξονα είναι  $l = 107.5$  mm άρα η απόσταση στο κέντρο του κομβίου στήριξης είναι :

$$\frac{l}{2} = 53.75 \text{ mm}$$

Άρα μπορούμε να υπολογίσουμε την ροπή κάμψης ( $M_c$ ) στο κέντρο του πείρου στροφάλου στο κέντρο του κομβίου διωστήρα :

$$M_c = H_{R2} * \frac{l}{2} = \frac{23116.1657 * 53.75}{2} \Rightarrow \quad (4.7)$$

$$M_c = 621.25 \text{ kN} * \text{mm}$$

Όπου :

$H_{R2}$  = Αντίδραση εδράνου στήριξης.

$l$  = απόσταση μεταξύ των εδράνων στήριξης.

Για να μπορούμε να υπολογίσουμε το κριτήριο Von Mises. Θα πρέπει να υπολογίσουμε την ροπή στρέψης ( $T_c$ ) ενώ έπειτα πρέπει να υπολογιστεί και η Ισοδύναμη ροπή στρέψης ( $T_e$ ) :

**Υπολογισμός ροπής στρέψης:**

$$T_c = H_{T1} * r = 18049.674 * 50 \Rightarrow \quad (4.8)$$

$$T_c = 902.483 \text{ kN} * \text{mm}$$

Όπου :

R = ακτίνα κομβίου από το κέντρο του στροφάλου

**Υπολογισμός ισοδύναμης ροπής στρέψης**

$$T_e = \sqrt{T_c + M_c} \Rightarrow \quad (4.9)$$

$$T_e = 39.03 \text{ kN} * \text{mm}$$

Πλέον μπορούμε να υπολογίσουμε την το κριτήριο αντοχής του Von Mises :

**Υπολογισμός Μεν**

$$M_{ev} = \sqrt{(K_b * M_c)^2 + (K_t * T_c)^2} \quad (4.10)$$

$$M_{ev} = 1837,49 \text{ kNmm}$$

Όπου :

$$K_b = 2$$

$$K_t = 1.5$$

$$M_{ev} = \frac{\pi * D^3}{32} * \sigma_v \Rightarrow \quad (4.11)$$

$$\sigma_v = 136.231 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Τέλος , εφόσον ξέρουμε πλέον την ελάχιστη αντοχή που χρειάζεται ο παραπάνω στροφαλοφόρος πρέπει να λάβουμε υπόψιν και τον συντελεστή ασφαλείας ο οποίος είναι  $K_{ασφ} = 1.5$

$$\sigma_{επ} = \sigma_v * K_{ασφ} \Rightarrow \quad (4.12)$$

$$\sigma_{επ} = 204.35 \text{ MPa}$$

Με βάση την παραπάνω τιμή της τάσης επιλέξαμε τον χυτοχάλυβα κατά DIN 17445 με τη παρακάτω σύσταση :

<b>Fe</b>
61,86 - 71%
<b>Cr</b>
18 - 20%
<b>Ni</b>
9 - 12%
<b>Mω</b>
2 - 2,5%
<b>VTO</b>
0 - 0,07%

Π.6.1 : Περιεκτικότητα συστατικών μετάλλου DIN 17445.

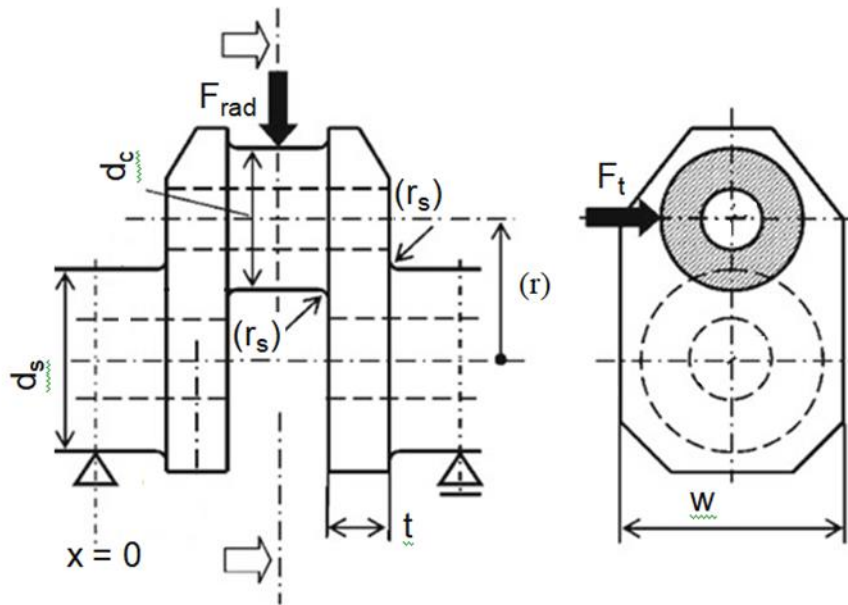
Οι μηχανικές ιδιότητες του χυτοχάλυβα , που επιλέξαμε , καλύπτουν τις απαιτήσεις της εφαρμογής μας.

Designation	Material no.	Standard	Typical heat treatment state	Mechanical and technological characteristics			Notched-bar impact work (ISO-V) (J)	Annealing hardness (HB)
				0.2% Proof stress Rp0.2	Tensile strength Rm (MPa)	Percent elongation at failure A5 (%)		
G X 8 CrNi 13	1.4008	DIN 17445	QT	≥ 440	≥ 570	≥ 15	≥ 27	170-240
G X 7 CrNiMo 12-1		EN 10283						

Π.6.2 : Μηχανικές αντοχές DIN17445



### Διαστασιολόγηση στροφαλοφόρου άξονα



Σχ.4.4 :Απεικόνιση παραμέτρων στροφαλοφόρου άξονα.

Όπου :

$d_c$  : διάμετρος του κομβίου μπιέλας σε mm

$d_s$  : Διάμετρος κομβίων στήριξης σε mm

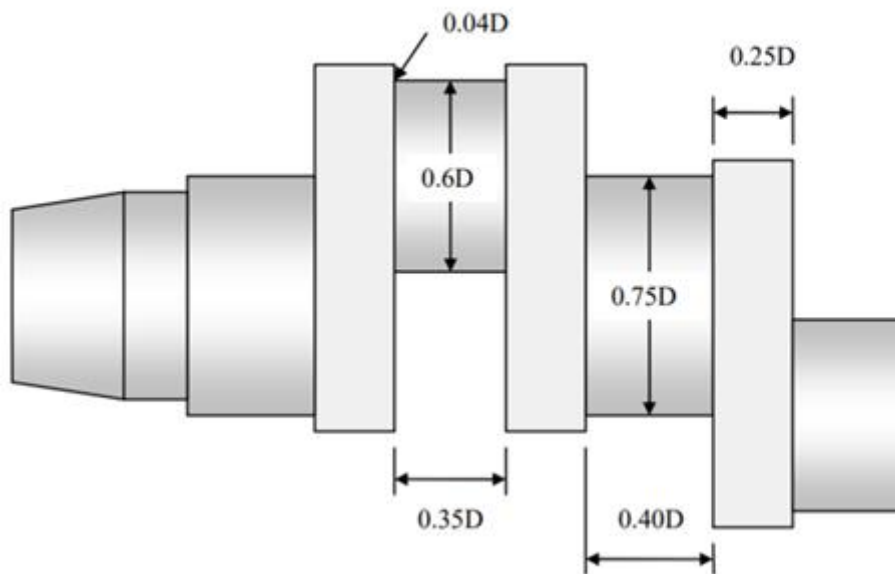
$l_c$  : μήκος του κομβίου μπιέλας σε mm

$r_s$  : καμπυλότητα κομβίων

w: Πλάτος αντιβάρου

t : πάχος αντιβάρου

Εφόσον είναι γνωστή η διάμετρος του πιστονιού  $D=86 \text{ mm}$  .Τα επιμέρους τμήματα του στροφαλοφόρου άξονα μπορούν να διαστασιολογηθούν με απλές πράξεις σύμφωνα με το παρακάτω μοντέλο[35] . Στο οποίο οι συντελεστές πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν συμπεριληφθεί όλες οι ισοδύναμες καμπύκες αλλά και στρεπτικές ροπές που καταπονείται το κάθε μέρος συγκεκριμένα.



Σχ.4.5 : Διαστασιολόγηση άξονα .

Οι διαστάσεις του στροφαλοφόρου άξονα μας φαίνονται στο παρακάτω πίνακα (π.4.2)

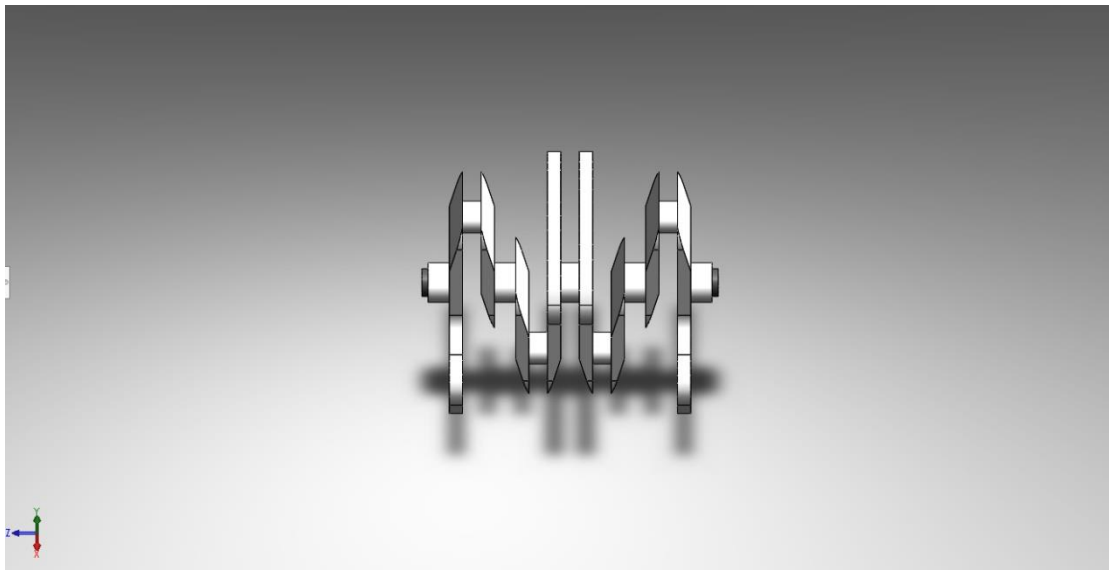
<b>Τμήματα στροφάλου</b>	<b>Διαστάσεις (mm)</b>
Διάμετρος πείρου στροφάλου ( $D_c$ )	51.6
Μήκος πείρου στροφάλου ( $L_c$ )	30.1
Διάμετρος Εδράνων στήριξης ( $d_s$ )	64.2
Μήκος Εδράνων στήριξης ( $l_s$ )	34.4
Πάχος Αντιβάρων (t)	21.5
Καμπυλότητα γωνιών ( $r_s$ )	3.4
Συνολικό μήκος Στροφαλοφόρου ( $L_{crank}$ )	464.4

Π. 4.2: Διαστάσεις στροφαλοφόρου άξονα.

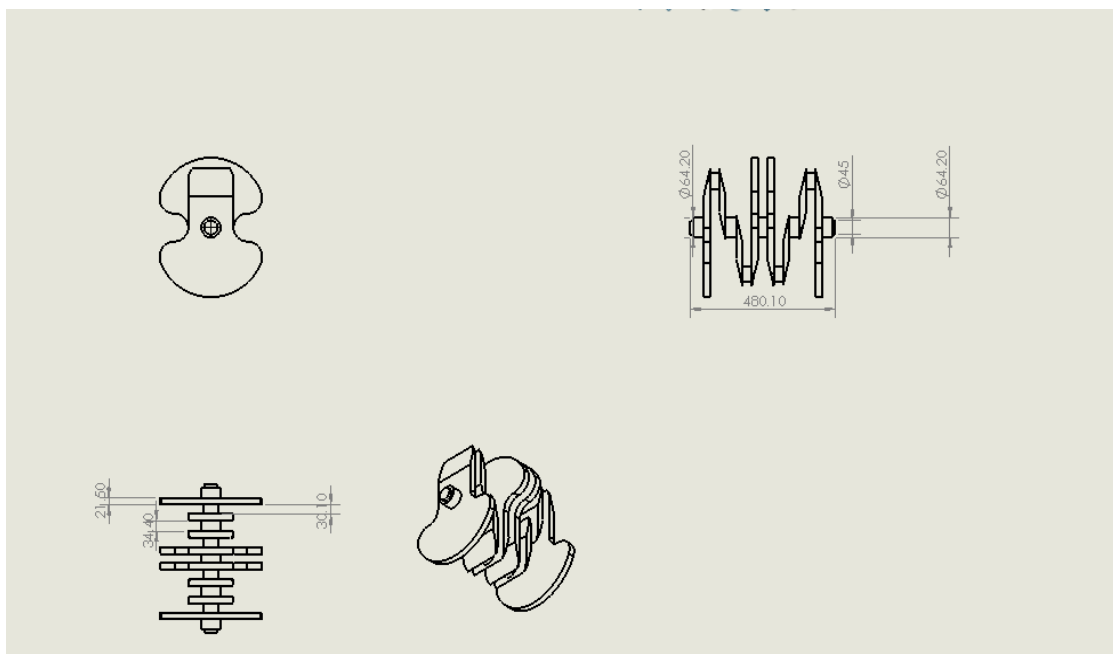
## 5. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ

### ΑΞΟΝΑ: ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Η σχεδίαση του στροφαλοφόρου άξονα που επιλέχτηκε πραγματοποιήθηκε με το σχεδιαστικό πρόγραμμα solidworks. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται ο στροφαλοφόρος άξονας αρχικά σε τρισδιάστατη μορφή και στη συνέχεια σε δυο διαστάσεις όπου αποτυπώνονται και οι διαστάσεις των μερών του αναλυτικά σε χιλιοστά.



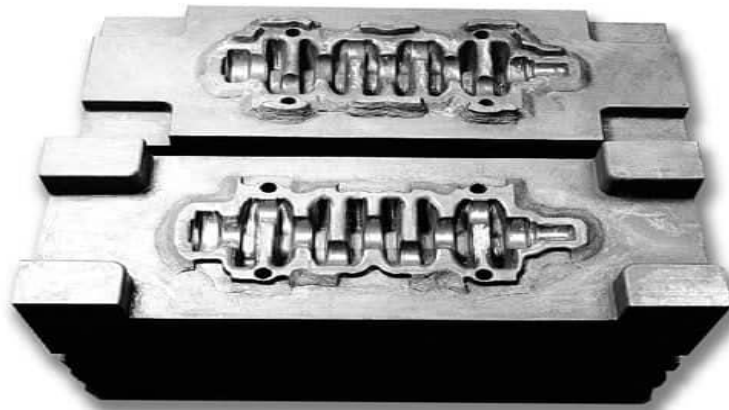
Σχ. 5.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση στροφαλοφόρου άξονα.



Σχ. 5.2: Οι διαστάσεις του στροφαλοφόρου άξονα.

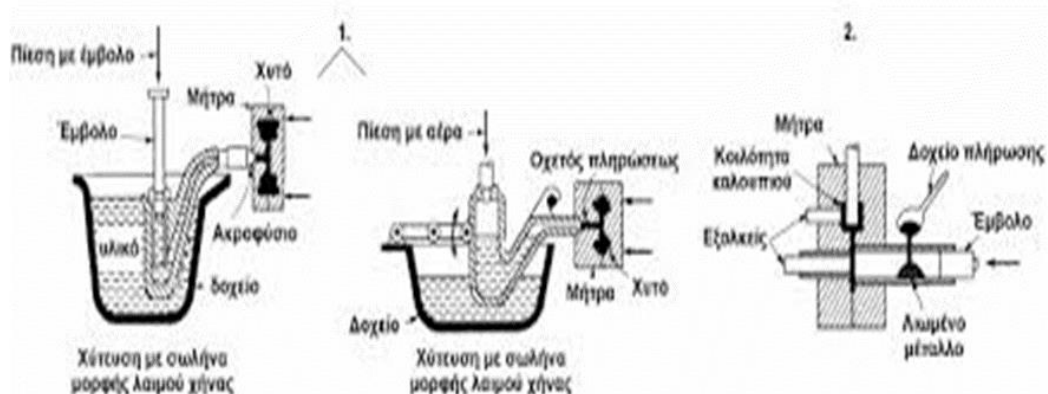
## 6. ΧΥΤΕΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ

Για τον στροφαλοφόρο άξονα που υπολογίσαμε , επιλέξαμε σαν μέθοδο κατασκευής την χύτευση και ειδικότερα την χύτευση σε κλειστή μήτρα. Δηλαδή χύτευση σε μόνιμο καλούπι σε υψηλή πίεση. Το καλούπι κατασκευής του στροφαλοφόρου άξονα φαίνεται στο σχήμα (6.1). Το καλούπι είναι κατασκευασμένο από χυτοχάλυβα S136 , λόγω των υψηλών μηχανικών ιδιοτήτων .



Σχ.6.1 : Το καλούπι του στροφαλοφόρου άξονα.

Στη μέθοδο αυτή ασκείται πίεση στο λιωμένο μέταλλο που βρίσκεται σε ένα δοχείο, ώστε να γεμίσει ταχύτατα την κοιλότητα της μήτρας. Οι μήτρες αυτές κατασκευάζονται από χαλβοκράματα ή ανθρακούχους χάλυβες. Επιλέξαμε λόγω των καλών ιδιοτήτων του το DIN 17445. Στο σχήμα (6.2) φαίνεται η μέθοδος αυτή. Το λιωμένο μέταλλο DIN 17445 βρίσκεται σε θερμό θάλαμο μέσα στη μηχανή χύτευσης (που λέγεται χυτόπρεσα). Το μέταλλο DIN 17445 μεταφέρεται στην κοιλότητα του καλουπιού με τη βοήθεια πίεσης που ασκείται από ένα έμβολο ή με πίεση από αέρα και μέσω ενός



Σχ.6.2 : Διαδικασία χυτεύσεως κλειστής μήτρας υπό πίεση

αγωγού σε μορφή “λαιμού χήνας”. Με τη βοήθεια εμβόλου, το λιωμένο μέταλλο DIN 17445 συμπιέζεται και γεμίζει τη μήτρα του στροφαλοφόρου μας. Τέλος ο στροφαλοφόρος άξονας απομακρύνεται με κατάλληλους εξολκείς και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Μόλις κατασκευασθεί και διαμορφωθεί ο στροφαλοφόρος μας, αρχίζει μια σειρά κατεργασιών που χρειάζεται να εκτελεστούν για να γίνει ο άξονας πιο ανθεκτικός και για να διασφαλισθεί ότι αυτός ο άξονας είναι ο πλέον κατάλληλος για χρήση.

Το Magnafluxing είναι ένα σημαντικό στάδιο στη διαδικασία επιλογής του στροφάλου μας. Είναι μια ξηρή, μη καταστρεπτική δοκιμή στην οποία το τμήμα υπόκειται στη δράση ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου, και μαγνητικά σωματίδια εκπέμπονται προς την επιφάνεια του. Κατά τη διάρκεια της δράσης του πεδίου οποιοσδήποτε ρωγμές υπάρχουν δρουν ως μαγνητικοί πόλοι, προκαλώντας τα σωματίδια να ευθυγραμμιστούν κατά μήκος αυτού του σημείου. Αν διαπιστωθούν οποιοσδήποτε ρωγμές, εκτός από μικρές ρωγμές τάσης που περιβάλλουν τις οπές που ανοίχθηκαν για τη λίπανση, αποτελούν λόγους απόρριψης του στροφάλου μας.

Επίσης στη διαδικασία Magnaglow είναι μια υγρή, μη καταστρεπτική δοκιμή κατά την οποία ο στροφάλος επικαλύπτεται με ένα υγρό που περιέχει μαγνητικά σωματίδια. Το τμήμα στη συνέχεια υποβάλλεται σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο που προκαλεί τα σωματίδια να ευθυγραμμιστούν κατά μήκος οποιωνδήποτε ρωγμών που μπορεί να υπάρχουν και γίνεται ανίχνευση των γραμμών των σωματιδίων, και επομένως και των ρωγμών, με φωτισμό υπεριώδους φως.

Το τρνίρισμα ή η λείανση αφορά τη μηχανική κατεργασία των κομβίων βάσης ή μπιέλας για μείωση των διαστάσεων τους ή για επιδιόρθωση της κατεστραμμένης φέρουσας επιφάνειας τους. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους μπορεί να χρειαστεί να γίνει αυτή η μηχανική κατεργασία, κυρίως αν η επιφάνεια των στροφέων έχει φθορά και αυτοί δεν είναι πλέον ομαλοί ή δεν έχουν ίδια διάμετρο στα δύο άκρα του στροφάλου.

Αν αποφασιστεί το τορνίρισμα του στροφαλοφόρου άξονα μας, το τορνίρισμα θα γίνει μόνο σε μέρος του ανώτερου στρώματος του στροφείου και η ποσότητα που αφαιρείται μετράται σε 0,010 "(συνήθως 0,010", 0,020 "ή 0,030" - ανάλογα με τη σοβαρότητα της φθοράς στο στροφείο). Μόλις το στροφείο φθάσει κοντά στις τελικές διαστάσεις που απαιτούνται ξεκινάει η τελική διαδικασία του γυαλίσματος του.

Συμπληρωματικά, η μικρολείανση (micropolishing) με χρήση laser δημιουργεί ένα φινίρισμα που μοιάζει με καθρέφτη στην επιφάνεια του περιβλήματος του εξαρτήματος και μπορεί να διορθώσει το στροφαλοφόρο άξονα που έχει πολύ μικρού μεγέθους εγχοπές ή μικροατέλειες.

Η διαδικασία της ευθυγράμμισης γίνεται με τη τοποθέτηση του στροφαλοφόρου άξονα σε ένα ειδικό εξάρτημα, η προφόρτιση του με μια υδραυλική πρέσσα και η προσεκτική διαμόρφωση του με κτυπήματα που δίνονται με ένα βαρύ σφυρί.

Σε όλες τις περιπτώσεις για να λειτουργήσει πάλι σωστά ο στροφαλοφόρος άξονας πρέπει να καλυφθεί ο επιπλέον χώρος που έχει αφαιρεθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτό γίνεται με τη χρήση ρουλεμάν μικρότερου μεγέθους που προσαρμόζονται ώστε να διατηρούν τις σωστές αποστάσεις για τη απρόσκοπτη ροή λαδιού στη νέα διάμετρο του στροφείου.

Η σταυροειδής διάτρηση περιλαμβάνει τη διάνοιξη δύο τμηματικών οπών σε ορθές γωνίες μεταξύ τους στα κομβία του άξονα, έτσι ώστε μέσω αυτών τα κομβία των διωστήρων να λιπαίνονται συνεχώς.

Η απομάκρυνση των γρεζιών και εξογκωμάτων με ένα τροχό λείανσης απομακρύνει τα αιχμηρά κατάλοιπα τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν ρωγμές (stress risers). Κάποιες από τις ανωμαλίες αυτές δημιουργούνται κατά το στάδιο της διάτρησης και ως εκ τούτου οι δύο αυτές κατεργασίες γίνονται η μια μετά την άλλη.

Ο βομβαρδισμός του στροφαλοφόρου άξονα με μεταλλικά σφαιρίδια, υπό τύπον αμμοβολής, αναγκάζει την επιφάνεια του μετάλλου να συμπιεσθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, βοηθώντας στην αποφυγή της εμφάνισης ρωγμών

Η εξουδετέρωση των κραδασμών γίνεται με την εργασία της ζυγοστάθμισης του στροφαλοφόρου άξονα . Η εργασία αυτή περιλαμβάνει δύο ελέγχους :

την στατική ζυγοστάθμιση κατά την οποία γίνεται έλεγχος αν το κέντρο βάρους του άξονα βρίσκεται πάνω στον άξονα περιστροφής του ) και

την δυναμική ζυγοστάθμιση όπου ο έλεγχος αφορά αν τα αντίβαρα ζυγοσταθμίζουν το βάρος του στροφαλοφόρου , αν όχι , αφαιρείται υλικό από τα αντίβαρα , που αρχικά κατασκευάζονται βαρύτερα.

Η αφαίρεση τάσεων είναι ένα στάδιο που επιβάλλεται να υπάρχει ώστε να μην υπάρχουν τάσεις που θα ζητήσουν κάποια στιγμή να εκτονωθούν. Η θέρμανση του στροφαλοφόρου άξονα σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία επιτρέπει στα μόρια μέσα στο πλέγμα του κράματος να αναδιατάσσονται. Στη συνέχεια γίνεται μια "χλιαρή" ανόπτηση, παρόμοια με τη κατάσταση που βρίσκεται ένα μπλοκ μηχανής όταν βρίσκεται επι μακρόν σε κίνηση.

Η επιχρωμίωση, χρησιμοποιείται συχνά για την αποκατάσταση ενός ελαττωματικού κομβίου ή στροφάλου καθώς προσφέρει επιπλέον σκλήρυνση της επιφανείας του.

Η διάχυση αζώτου και άνθρακα ή η απλή νιτρίδωση βελτιώνει την σκληρότητα των επιφανειών των εδράνων. Ο στρόφαλος θερμαίνεται στους 800 ° F και μετά βυθίζεται σε λουτρό κυανιούχου άλατος. Αυτή η διαδικασία ιδανικά δημιουργεί μια διείσδυση μέσα στα κομβία σε βάθος 50 mm περίπου αλλά τα αποτελέσματα στις αντοχές δεν είναι πάντοτε ικανοποιητικά.



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εξαρτήματα μιας μηχανής και ως εκ τούτου η καλή λειτουργία του κρίνεται απαραίτητη. Αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι περισσότεροι από τους οποίους έχουν σχέση με τη σχεδίαση και την κατασκευή του.

Τα υλικά κατασκευής του στροφαλοφόρου είναι υψηλής αντοχής όπως ο DIN 17445. Οι πιο φθηνοί στροφαλοφόροι κατασκευάζονται μονοκόμματα από χυτοσίδηρο (μαντέμι) ή από χυτοχάλυβα και υφίστανται διάφορες κατεργασίες υψηλής ακρίβειας, ενώ οι ακριβότεροι κατασκευάζονται από ένα κομμάτι χάλυβα που διαμορφώνεται από τόρνο ακριβείας CNC .

Στην εργασία αυτή καταλήξαμε στο γεγονός ότι το μεγάλο πλεονέκτημα των χυτευτών στροφαλοφόρων είναι η εύκολη και χαμηλού κόστους κατασκευή τους, η μεγάλη παραγωγικότητα, η παραγωγή μπορεί να φτάσει τα 1000 κομμάτια την ώρα, μεγάλη διαστατική ακρίβεια και καλή ποιότητα επιφάνειας, αυξημένη μηχανική αντοχή και πολύ μικρή συρρίκνωση λόγω συστολής στο χυτό, που οφείλεται στην πίεση που ασκείται κατά τη χύτευση και τη στερεοποίηση. Επίσης η εξέλιξη των μεταλλουργικών κατεργασιών εξασφαλίζει την απαιτούμενη αντοχή στις καμπτικές ροπές που δέχεται ο άξονας, διατηρώντας παράλληλα το συνολικό βάρος του κινητήρα σε χαμηλά επίπεδα αφού ο στροφαλοφόρος αποτελεί ένα από τα βαρύτερα εξαρτήματα μιας μηχανής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Α. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ,  
Στοιχεία Μηχανών Ι, ΙΩΝ, Αθήνα 2011
2. Ι. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Κ. ΣΤΕΡΓΙΟΥ,  
Στοιχεία μηχανών ΙΙ, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2002
3. Ι. ΚΑΡΒΕΛΗΣ, Α. ΜΠΑΛΝΤΟΥΚΑΣ, Α. ΝΤΑΣΚΑΓΙΑΝΝΗ,  
Στοιχεία Μηχανών – Σχέδιο, Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων, Αθήνα 2000
4. Γ. ΑΓΕΡΙΔΗΣ, Π. ΚΑΡΑΜΠΙΛΑΣ, Κ. ΡΩΣΣΗΣ,  
Μηχανές εσωτερικής Καύσης Ι, Τεύχος Α', Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων, Αθήνα, 2001
5. Γ. ΚΑΝΔΥΛΗΣ,  
Μηχανές Εσωτερικής Καύσης ΙΙ, Τεύχος Ι, Κωστόγιαννος, 2003
6. Χ.ΚΑΡΑΠΑΝΟΣ,Α.ΚΟΤΣΙΛΙΕΡΗΣ,Λ.ΚΟΥΝΤΟΥΡΑΣ,  
Μηχανές Εσωτερικής καύσης ΙΙ, Τεύχος Α', ΤΕΕ, Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων, Αθήνα 2001
7. Ν.ΑΝΔΡΙΝΟΣ,Π.ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗΣ,Ν.ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ,  
Συστήματα Αυτοκινήτου Ι, Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων, Αθήνα 2001
8. Δ.ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ,Γ.ΓΙΑΝΝΟΣ,Γ.ΚΑΠΕΤΑΝΑΚΗΣ,  
Συστήματα Αυτοκινήτου ΙΙ, Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων, Αθήνα 2001
9. Ν.ΜΠΑΤΣΟΥΛΑΣ  
Μηχανικές Διαμορφώσεις (Σημειώσεις) ,Πάτρα,2017
10. MOLLENHAUER, KLAUS, TSCHOKE, HELMUT (EDS.)  
Handbook of Diesel Engines , Springer BOSCH , 2010
11. V. ANGELOPOULOS,  
A model-based design approach to redesign a crankshaft for powder metal manufacturing , Master of Science Thesis , Stockholm KTH, 2015

### Διαδίκτυο

12. <https://gr.dreamstime.com/στοκ-εικόνα-στροφαλοφόρος-άξονας-image17133211>
13. <https://sites.google.com/site/mekikykleitourgias/kinematikos-mechanismos-embolou-diostera-strophalophorou-axona/strophalophoros-axonas---sphondylos>
14. <https://www.google.com/search?q=&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved>
15. <https://www.google.com/search?q=forging+CLOSE+mat&tbm=isch&source>
16. <https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=sKitXMrvI7HqXgOgnqXoDg&q=forging&oq=forging&gsuSM:>
17. [https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=WamtXNjiCZSo1fAPuva9qAU&q=forging+open&oq=forging+open&gs\\_l=img.3...337292.:](https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=WamtXNjiCZSo1fAPuva9qAU&q=forging+open&oq=forging+open&gs_l=img.3...337292.:)
18. [https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=sKitXMrvI7HqXgOgnqXoDg&q=forging&oq=forging&gs\\_l=img.2M:](https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=sKitXMrvI7HqXgOgnqXoDg&q=forging&oq=forging&gs_l=img.2M:)

19. <https://www.google.com/search?q=forging+cold&ei=6s-sXNPYJKmCk74Pz4iggA4&start=10&sa=N&ved=0ahUKEwjTj7a8vsPhAhUpwcQBHU8ECOAQ8tMDCNoB&biw=1366&bih=657>
20. [https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&ei=taatXKzUEYHXm\]wXu2LR4&q=forging+hold&oq=forging+hold&gs\\_l=psy-ab.3...2295.3295..4098...0.0..0.0.0.....0....1..gws-wiz.FPah\\_syg2ps](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&ei=taatXKzUEYHXm]wXu2LR4&q=forging+hold&oq=forging+hold&gs_l=psy-ab.3...2295.3295..4098...0.0..0.0.0.....0....1..gws-wiz.FPah_syg2ps)
21. [https://www.zollern.com/fileadmin/Upload\\_Konzernseite/Downloads/Brochueren/Casting\\_and\\_Forging/ZOLLERN-Broschuere\\_ZGM\\_Sandguss\\_ENG\\_8.816.pdf.sel.6,7](https://www.zollern.com/fileadmin/Upload_Konzernseite/Downloads/Brochueren/Casting_and_Forging/ZOLLERN-Broschuere_ZGM_Sandguss_ENG_8.816.pdf.sel.6,7)
22. [https://vidyaputrasite.files.wordpress.com/2016/01/handbook\\_diesel-engine-by-vidyaputra.pdf](https://vidyaputrasite.files.wordpress.com/2016/01/handbook_diesel-engine-by-vidyaputra.pdf)
23. [https://www.zollern.com/fileadmin/Upload\\_Konzernseite/Downloads/Brochueren/Casting\\_and\\_Forging/ZOLLERN-Broschuere\\_ZGM\\_Sandguss\\_ENG\\_8.816.pdf](https://www.zollern.com/fileadmin/Upload_Konzernseite/Downloads/Brochueren/Casting_and_Forging/ZOLLERN-Broschuere_ZGM_Sandguss_ENG_8.816.pdf)
24. [https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=AautXNrYNI6tgewe47YXgCg&q=%CF%87%CF%85%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7+%CE%BC%CE%B7%CF%84%CF%81%CE%B1&oq=%CF%87%CF%85%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7+%CE%BC%CE%B7%CF%84%CF%81%CE%B1&gs\\_l=img.3...1093187.1098548..1098661...0.0..0.1145.5927.0j2j1j2j0j2j2j2.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0j0i5i30j0i24.wVoIri3YhdU#imgrc=HF1EBZ4cVDyTeM:](https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=AautXNrYNI6tgewe47YXgCg&q=%CF%87%CF%85%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7+%CE%BC%CE%B7%CF%84%CF%81%CE%B1&oq=%CF%87%CF%85%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7+%CE%BC%CE%B7%CF%84%CF%81%CE%B1&gs_l=img.3...1093187.1098548..1098661...0.0..0.1145.5927.0j2j1j2j0j2j2j2.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0j0i5i30j0i24.wVoIri3YhdU#imgrc=HF1EBZ4cVDyTeM:)
25. <https://www.castingquality.com/wp-content/uploads/2010/08/DIN-EN-1561-1997.pdf>
26. [https://www.zollern.com/fileadmin/Upload\\_Konzernseite/Downloads/Brochueren/Casting\\_and\\_Forging/ZOLLERN-Broschuere\\_ZGM\\_Sandguss\\_ENG\\_8.816.pdf](https://www.zollern.com/fileadmin/Upload_Konzernseite/Downloads/Brochueren/Casting_and_Forging/ZOLLERN-Broschuere_ZGM_Sandguss_ENG_8.816.pdf)
27. <http://www.hetpeelhuis.nl/tank/75333/casting-and-forging-auto-engine-crankshaft.html>
28. [http://www.iraj.in/journal/journal\\_file/journal\\_pdf/13-144-143452470688-93.pdf?fbclid=IwAR3uBePcgShZIQQVzDLQLCUbSB1GIGLs06oJeMvvFizo1ZvApvJhRznT5H4](http://www.iraj.in/journal/journal_file/journal_pdf/13-144-143452470688-93.pdf?fbclid=IwAR3uBePcgShZIQQVzDLQLCUbSB1GIGLs06oJeMvvFizo1ZvApvJhRznT5H4)
29. <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2015/KapadoukakiEleftheria/attached-document-1427873266-167516-23892/KapadoukakiEleftheria2015.pdf>
30. [http://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/7223/dalkarakisk\\_micr\\_oforging.pdf?sequence=1](http://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/7223/dalkarakisk_micr_oforging.pdf?sequence=1)
31. <http://ijsetr.com/uploads/162543IJSETR4325-254.pdf?fbclid=IwAR381b6y2-E1QGigxKDbq0T3KyhvO84mOwsv5o5EU18VVcfCTb4JN75hUPE>
32. [http://www.edume.myds.me/00\\_0070\\_e\\_library/10020/1002/12.pdf](http://www.edume.myds.me/00_0070_e_library/10020/1002/12.pdf)
33. <https://www.slideshare.net/editorijritcc1/stress-analysis-in-crankshaft-through-fem?fbclid=IwAR3uBePcgShZIQQVzDLQLCUbSB1GIGLs06oJeMvvFizo1ZvApvJhRznT5H4>
34. <https://www.slideshare.net/editorijritcc1/stress-analysis-in-crankshaft-through-fem?fbclid=IwAR3uBePcgShZIQQVzDLQLCUbSB1GIGLs06oJeMvvFizo1ZvApvJhRznT5H4>
35. [https://www.academia.edu/23448052/Chapter\\_16\\_Cranktrain\\_Crankshafts\\_Connecting\\_Rods\\_and\\_Flywheel](https://www.academia.edu/23448052/Chapter_16_Cranktrain_Crankshafts_Connecting_Rods_and_Flywheel)

