

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε.
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: “ΧΥΤΕΥΣΗ - ΧΥΤΗΡΙΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ”**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

Κανελλάκης Ιωάννης

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

Σωτηρόπουλος Νικόλαος

ΠΑΤΡΑ 2001

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΑΓΩΓΗΣ	3459
--------------------	------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΧΥΤΕΥΣΗ – ΧΥΤΗΡΙΟ

1.1 Γενικά	3
1.2 Πλεονεκτήματα παραγωγής αντικειμένων με χύτευση	5
1.3 Η διαδικασία της χύτευσης	6
1.4 Μοδέλα	6
1.5 Σκοπός του μοντέλου	9
1.6 Καρδιές	11
1.7 Άμμος χύτευσης	12
1.8 Τα πλαίσια	14
1.9 Τύπωμα (Κατασκευή καλουπιού)	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΥΤΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ

2.1 Γενικά	24
2.2 Χύτευση σε διαιρούμενα κογχυλοειδή καλούπια	25
2.3 Χύτευση με πίεση	26
2.4 Χύτευση σε μήτρα ή χύτευση υπό πίεση	28
2.5 Χύτευση του χάλυβα	33
2.6 Η τήξη και η απόχυση χυτοσίδηρου	35
2.7 Καθαρισμός και επιθεώρηση των χυτών	38
2.8 Ελαττώματα χυτών	39
2.9 Ελαττώματα χελωνών	40
2.10 Φούρνος χυτηρίου	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΥΤΕΥΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

3.1 Γενικά	43
3.2 Φαίος χυτοσίδηρος	44
3.3 Μαλακτος χυτοσίδηρος	46
3.4 Ειδικό χυτοσίδηροι	47
3.5 Χυτοχάλυβας	49

3.6 Ελαφρά κράματα (κράματα αλουμινίου)	50
3.7 Κράματα χαλκού.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

4.1 Γενικά	53
4.2 Γενική περιγραφή της μηχανής.....	57
4.3 Υπολογισμός καλουπιού.....	59
4.4 Υπολογισμός δακτυλίων στήριξης του καλουπιού.....	82
4.5 Υπολογισμός πάχους δακτυλίων στήριξης.....	87
4.6 Υπολογισμός σφικτών συναρμογών	89
4.7 Υπολογισμός εδράσεων των δακτυλίων στήριξης.....	104
4.8 Υπολογισμός συγκολλήσεων	106
4.9 Υπολογισμός κοχλίων.....	108
4.10 Υπολογισμός αντίβαρων του κινητήριου γραναζιού	110
4.11 Υπολογισμός αντλίας.....	116
Βιβλιογραφία.....	131

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΧΥΤΕΥΣΗ – ΧΥΤΗΡΙΟ

1.1 Γενικά

Η χύτευση είναι και αυτή μια μέθοδος μορφοποιήσεως μεταλλικών προϊόντων και μάλιστα πολύ παλιά. Ανάγεται στο 4000 π.Χ. περίπου.

Κατά τη χύτευση, το μέταλλο ή το κράμα πυρώνεται μέχρι να λιώσει το λιωμένο μέταλλο (τήγμα) αποχύνεται κατόπι μέσα σε κατάλληλα προετοιμασμένο αποτύπωμα ή καλούπι (ανάλογα με τη μορφή του κομματιού, που θα χυτεύσομε), όπου αφήνεται να στερεοποιηθεί και να αποψυχθεί εντελώς. Έτσι, παράγεται ένα χυτό κομμάτι ή απλώς ένα χυτό. Μετά την απόψυξή του, το κομμάτι αφαιρείται από το αποτύπωμα, καθαρίζεται και αποτελειώνεται (παίρνει την τελική του μορφή και διαστάσεις), αν αυτό χρειάζεται να γίνει.

Με τη χύτευση παράγομε μεταλλικά προϊόντα στην τελική τους σχεδόν μορφή. Αυτό είναι βασικό πλεονέκτημα της χυτεύσεως. Τεράστιος είναι ο όγκος των χυτών, στα οποία μετά από τη χύτευση δε χρειάζεται να κάνομε παρά μόνο ένα απλό καθάρισμα ή μια ελαφρά κατεργασία κοπής (τόρνευση, φρεζάρισμα, πλάνισμα ή τρυπάνισμα κ.ά), για να τους δώσομε την τελική τους μορφή, τις τελικές τους διαστάσεις και την επιθυμητή τραχύτητα επιφάνειας.

Ακόμα, περίπλοκα κομμάτια (εσωτερικά ή εξωτερικά) μπορούν να χυτευθούν ικανοποιητικά επίσης, βαριά κομμάτια, που ζυγίζουν τόνους,

είναι δύσκολο (και αδύνατο σε ορισμένες περιπτώσεις) να παραχθούν κατά τρόπο οικονομικό με άλλη μέθοδο μορφοποίησεως εκτός από τη χύτευση.

Ειδικότερα για το φαιό χυτοσίδηρο, για τη χύτευση του οποίου θα μιλήσουμε συνοπτικά έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- α) Επειδή ο φαιός χυτοσίδηρος δεν είναι διαμορφώσιμος ούτε εν θερμώ ούτε εν ψυχρώ, ως μέθοδοι μορφοποίησεως του παραμένουν η χύτευση και οι κατεργασίες κοπής και
- β) λόγω του χαμηλού του κόστους και της πολύ καλής χυτευτότητάς του τα χυτά από χυτοσίδηρο είναι αρκετά φθηνά και καλής ποιότητας.

Τα βασικά είδη χυτεύσεως, που χρησιμοποιούμε στην πράξη, είναι:

- α) Η χύτευση με βαρύτητα, που περιλαμβάνει τη χύτευση στο χώμα και τη χύτευση σε μόνιμο καλούπι (συνήθως μεταλλικό).
- β) Η χύτευση υπό πίεση ή χύτευση σε μήτρα.
- γ) Η φυγοκεντρική χύτευση.
- δ) Η χύτευση ακριβείας.

Ο εργοστασιακός χώρος, μέσα στον οποίο γίνεται η χύτευση, ονομάζεται χυτήριο. Ανάλογα με το είδος της χυτεύσεως που κάνουμε και με το μέταλλο ή κράμα, που χυτεύουμε, συναντάμε χυτήρια, στα οποία κατασκευάζονται μόνο χυτά στο χώμα ή χυτοσιδηρά χυτά σε μόνιμα (μεταλλικά) καλούπια. Άλλα χυτήρια πάλι περιορίζονται στη χύτευση ειδικών κραμάτων του ψευδαργύρου και του αργιλίου σε μήτρες (με πίεση) κλπ.

Παρακάτω θα μιλήσουμε για τη χύτευση στην άμμο και θα συμπληρώσουμε με τον τρόπο, που χυτεύουμε το χυτοσίδηρο για την παραγωγή χυτοσιδηρών χυτών επίσης, Θα αναφέρομε λίγα σχετικά με τη χύτευση σε μήτρα, όπως και με τη φυγοκεντρική χύτευση.

1.2 Πλεονεκτήματα παραγωγής αντικειμένων με χύτευση

Με τη μέθοδο της χύτευσης, παράγουμε κομμάτια μηχανών ή άλλων κατασκευών που για λόγους τεχνικούς ή οικονομικούς δεν είναι δυνατόν να τα κατασκευάσουμε με άλλους τρόπους, όπως π.χ. με αφαίρεση υλικού (τόρνευση, πλάνισμα κλπ) ή με συνένωση κομματιών (με βίδες, ήλους, συγκόλληση κλπ.). Για παράδειγμα αναφέρουμε την περίπτωση κατασκευής του κορμού ενός τόρνου που έχει μεγάλο μέγεθος και ειδική μορφή καθώς και την περίπτωση κατασκευής της κεφαλής (καπακιού) μιας μηχανής αυτοκινήτου.

Σε μερικές περιπτώσεις τα κομμάτια δεν είναι ούτε μεγάλου μεγέθους ούτε περίπλοκης μορφής, ωστόσο τα παράγουμε με χύτευση. Αυτό γίνεται γιατί στις συγκεκριμένες αυτές περιπτώσεις η χύτευση θεωρείται από οικονομική άποψη η πιο κατάλληλη μέθοδος. Μετά από αυτά μπορούμε να πούμε ότι η μέθοδος παραγωγής μηχανουργικών προϊόντων με χύτευση, παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Είναι σε πολλές περιπτώσεις η πιο οικονομική μέθοδος.
2. Είναι η πιο κατάλληλη για κομμάτια με περίπλοκη μορφή.
3. Είναι πολλές φορές η πιο κατάλληλη για σγκώδη κομμάτια.

1.3 Η διαδικασία της χύτευσης

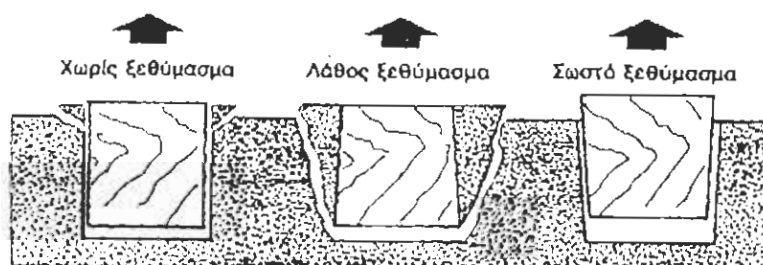
Για να πάρουμε χυτά αντικείμενα ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

1. Κατασκευάζουμε το μοντέλο
2. Τοποθετούμε την άμμο μέσα σε πλαίσια και την υγραίνουμε
3. Τυπώνουμε το μοντέλο, δηλαδή δημιουργούμε το καλούπι (αποτύπωμα).
4. Επιχρίουμε τις επιφάνειες του αποτυπώματος με γραφίτη
5. Δημιουργούμε τις καρδιές για τις κοιλότητες του κομματιού
6. Λιώνουμε το μέταλλο και το ρίχνουμε στο καλούπι.
7. Βγάζουμε το κομμάτι και το καθαρίζουμε.

1.4 Μοδέλα

Το μοντέλο είναι ένα πιστό αντίγραφο του κομματιού που θέλουμε να χυτεύσουμε και χρησιμοποιείται για την κατασκευή του αποτυπώματος, το οποίο γεμίζουμε, στη συνέχεια, με λιωμένο μέταλλο. Το μοντέλο σαν το κυριότερο εργαλείο του χύτη πρέπει να είναι στερεό, ακριβές και να διατηρεί την αρχική του ακρίβεια, παρά τις αλληπάλληλες χρήσεις και παρά την επίδραση που έχει, ιδιαίτερα στο ξύλο, η υγρασία της άμμου του χυτηρίου. Κατασκευάζεται από τον μοντελοποιό και απαιτεί μεγάλη επιδεξιότητα και προσοχή στην εκτέλεσή του. Ο μοντελοποιός σε συνεργασία με τον σχεδιαστή και τον χύτη, πρέπει να συλλάβει τη μορφή του μοντέλου και ειδικά, όταν πρόκειται για πολύπλοκα κομμάτια, να προβλέψει ώστε το ξεκαλούπωμα ορισμένων τμημάτων, που το α-

ποτελούν, να γίνεται χωρίς να καταστρέφεται το αποτύπωμα (σχ. 1). Πρέπει ακόμα να προβλέψει τη μείωση του όγκου του χυτού κομματιού, που γίνεται μετά τη ψύξη του.



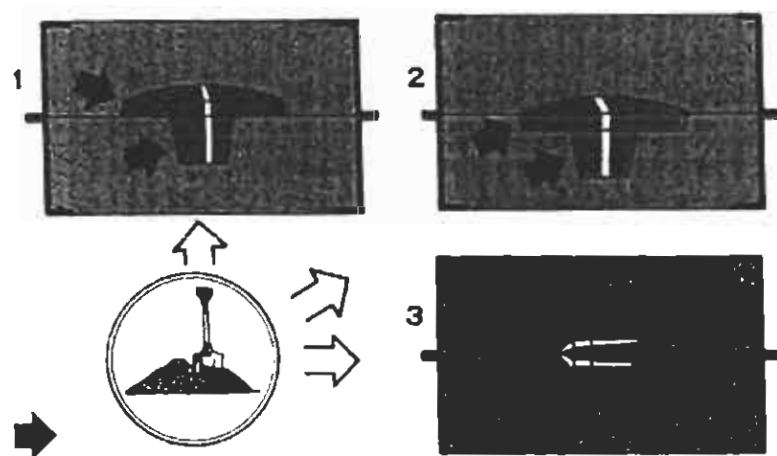
Σχήμα 1. Σωστή και εσφαλμένη κλίση μοντέλου

Αυτό οφείλεται στη συστολή του μετάλλου που εκδηλώνεται προς όλες τις κατευθύνσεις και ποικίλει ανάλογα με τη φύση του μετάλλου και τον όγκο του κομματιού. Γενικά ο μέσος όρος συστολής των μετάλλων και των κραμάτων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΩΝ	
Χυτοσίδηρος 10 mm/m	Μπρούντζος 15 mm/m
Αλουμίνιο 12 mm/m	Χυτοάλυβας και μαλακός χυτοσίδηρος 20 mm/m

Τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα ξύλα στην κατασκευή μοντέλου είναι η καρυδιά, που διακρίνεται για την εξαιρετική ποιότητα και σκληρότητά της, η φτελιά και η βαλανιδιά, που έχουν καλή συνδετικότητα και κατεργάζονται εύκολα προς όλες τις κατευθύνσεις, η οξιά, το έλατο κλπ. Τελευταία, με την εκτεταμένη χρήση του μηχανικού τυπώματος, κατασκευάζονται μονέλα από μέταλλο (αλουμίνιο, χυτοσίδηρο, μπρούντζο), βελτιωμένα ξύλα, γύψο και από συνθετικές ρητίνες. Τα χυτά κομμάτια δεν χρησιμοποιούνται όπως βγαίνουν από το

χυτήριο, αλλά υποβάλλονται σε μια περαιτέρω κατεργασία, ιδιαίτερα στα σημεία που θέλουμε να έχουμε ακριβείς διαστάσεις και λείες επιφάνειες. Η κατεργασία αυτή γίνεται, κατά κανόνα, με αφαίρεση υλικού και γι' αυτό το λόγο προβλέπουμε κατά τη διαδικασία κατασκευής του μονέλου, ανάλογο παραπανίσιο υλικό, το οποίο θα αφαιρεθεί με τη βοήθεια κοπτικών εργαλείων. Το υλικό αυτό δεν μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια, αλλά δεχόμαστε γενικώς, για μεν τα χυτά υπό χυτοσίδηρο και χυτοχάλυβα από 3 έως 12 mm, για δε τα χυτά από αλουμίνιο και κράματα χαλκού από 1 έως 6 mm. Συμπερασματικά, οποιαδήποτε μορφή και αν παρουσιάζουν τα κομμάτια, μπορούν να χυτευθούν. Εξαρτάται όμως από την ικανότητα του σχεδιαστή, του μονελοποιού και του χύτη να συλλάβουν και να μελετήσουν την πιο πρόσφορη μορφή τους. Γενικά, ένα μονέλο που κατασκευάστηκε για μια ορισμένη θέση χύτευσης δε μπορεί να χυτευθεί σε διαφορετική θέση (σχ. 2).



Σχήμα 2. Εκλογή σωστής θέσης χύτευσης

1.5 Σκοπός του μοντέλου

Το μοντέλο, όπως είπαμε είναι το ομοίωμα του αντικείμενου που θέλουμε να παράγουμε. Μ' αυτό δημιουργούμε μέσα στην άμμο ένα αποτύπωμα (καλούπι), δηλαδή μια κοιλότητα όμοια με το μοντέλο, την οποία θα γεμίσουμε με ρευστό μέταλλο, που, όταν στερεοποιηθεί, θα μας δώσει το ζητούμενο αντικείμενο.

Υλικό του μοντέλου

Για να κατασκευάσουμε μοντέλα χρησιμοποιούμε τα εξής υλικά:

1. Το ξύλο, είναι συνηθισμένο υλικό (όχι για μεγάλες παραγωγές) γιατί είναι φτηνό, κατεργάζεται εύκολα και δεν παθαίνει στρέβλωση (πιτσικάρισμα). Συνήθως χρησιμοποιούμε φλαμούρι, καρδιά, καστανιά, βελανιδιά κ.α.
2. Τα διάφορα είδη πεπιεσμένου ξύλου
3. Το κερί
4. Το αλουμίνιο (για μεγάλες παραγωγές)
5. Ο γύψος
6. Σύνθετα υλικά (για μεγάλες παραγωγές)

Οι διαστάσεις του μοντέλου

Το μοντέλο γίνεται λίγο μεγαλύτερο από το μέγεθος του κομματιού που θέλουμε να πετύχουμε για τους εξής λόγους:

1. Γιατί το ρευστό υλικό που θα γεμίσει το αποτύπωμα όταν κρυώσει θα συσταλλεί.

2. Γιατί ίσως χρειαστεί μετά αφαίρεση υλικού (με κατεργασία) σε μέρη του κομματιού που έρχονται σε επαφή με άλλα εξαρτήματα.

Η αύξηση των διαστάσεων του μοντέλου για την πρώτη περίπτωση εξαρτάται από το υλικό που θα χυτεύσουμε και είναι περίπου:

Για το χυτοσίδηρο 10%

Για τον μπρούντζο 14%-20%

Για κράματα αλουμινίου 13%-16%

Για χάλυβα 15%-20%.

Ενώ το επιπλέον υλικό που απαιτείται για τη δεύτερη περίπτωση είναι περίπου 3mm σε κάθε κατεργαζόμενη επιφάνεια. Οι επιφάνειες των μοντέλων πρέπει να είναι λείες για να τα βγάζουμε εύκολα από το χώμα και για να έχουμε λείο αποτύπωμα. Για να διατηρούνται και για να έχουμε πιο λείες επιφάνειες τα μοντέλα βάφονται και μάλιστα δίνουμε στα διάφορα μέρη διαφορετικά χρώματα τα οποία είναι συνθηματικά, π.χ. το κύριο μοντέλο βάφεται κόκκινο, οι προεξοχές μαύρες.

Μορφή του μοντέλου

Ανάλογα με το είδος του αντικειμένου και τον αριθμό χυτών που θέλουμε διαμορφώνουμε το μοντέλο διαφορετικά. Έτσι τα μοντέλα διαιρούνται σε:

- Μονοκόμματα ή μονομερή, για απλά αντικείμενα και μικρό αριθμό χυτών
- Διαιρούμενα ή διμερή, για πολύπλοκα αντικείμενα και μεγάλο αριθμό χυτών.

1.6 Καρδιές

Με τις καρδιές επιτυγχάνουμε διάφορες κοιλότητες ή τρύπες στο εσωτερικό των χυτών. Οι καρδιές αυτές είναι ομοιώματα των κοιλοτήτων φτιαγμένες από ψιλή άμμο θάλασσας σε πρόσμιξη με λινέλαιο ώστε να μπορούν εύκολα να διαλύονται.

Γίνονται μέσα σε καλούπια από ξύλο, αλουμίνιο ή σύνθετα υλικά και αποτελούνται από δύο ή περισσότερα κομμάτια.

Για να καταλάβουμε πως εργαζόμαστε με τις καρδιές, ας δούμε στο παράδειγμα το τύπωμα του κομματιού του σχήματος 3.1.

Πρώτα κατασκευάζεται το μοντέλο με το γνωστό τρόπο, με τη διαφορά ότι στις δύο άκρες τοποθετούνται δύο κυλινδρικά (ή άλλης μορφής ανάλογα με το σχήμα της κοιλότητας ή τρύπας του χυτού) κομμάτια που λέγονται πρέντια (σχ. 3). Η διάμετρος της καρδιάς είναι ίση με την διάμετρο της τρύπας.



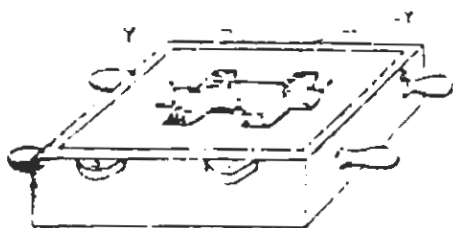
Σχήμα 3.1



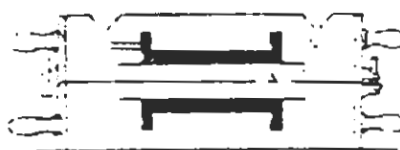
Σχήμα 3.2. Μοντέλο με πρέντια

Στο σχήμα 3.3 βλέπουμε τυπωμένο το μισό μοντέλο στο πλαίσιο. Κατόπιν γίνεται το τύπωμα του άλλου μισού σ' άλλο πλαίσιο. Μετά τοποθετούμε την καρδιά μέσα στις υποδοχές Y του ενός πλαισίου και τοποθετούμε το άλλο πλαίσιο από επάνω. Όταν τώρα χυθεί το μέταλλο

(με τη βαρύτητα) θα γεμίσει ο χώρος του αποτυπώματος εκτός από εκείνο που κατέχει η καρδιά σχ. 3.4.



Σχήμα 3.3



Σχήμα 3.4

Όταν το έτοιμο κομμάτι κτυπηθεί λίγο θα διαλυθεί η καρδιά αφού είναι από χώμα και θα μείνει το μεταλλικό κομμάτι με την τρύπα.

1.7 Άμμος χύτευσης

Η άμμος που χρησιμοποιείται στα χυτήρια για την αποτύπωση της μορφής του μοντέλου, πρέπει να έχει τις παρακάτω ιδιότητες.

- Δυστηκτικότητα. Η ιδιότητα αυτή δίνει στην άμμο μια αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Για να έχει αυτήν την ιδιότητα χρησιμοποιούμε άμμο με χαλαζία, σε περιεκτικότητα 75 έως 90%.
- Συνεκτικότητα. Η ιδιότητα αυτή δίνει στην άμμο τη δυνατότητα διατήρησης της μορφής του μοντέλου που έχουμε αποτυπώσει. Για να προσδώσουμε αυτήν την ιδιότητα, ενσωματώνουμε άργιλο σε ποσοστό 5 έως 10% και νερό σε ποσοστό 8%.
- Πλαστικότητα. Η ιδιότητα αυτή δίνει στην άμμο την ικανότητα λήψης της μορφής του μοντέλου. Η ιδιότητα αυτή παίρνεται με ανάμειξη (ζύμωμα) των συστατικών στοιχείων που την αποτελούν.

- Διαπερατότητα. Η ιδιότητα αυτή δίνει στην άμμο τη δυνατότητα απαγωγής των αερίων που σχηματίζονται κατά τη χύτευση. Η διαπερατότητα εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων και από την ένταση της συμπίεσης της άμμου, τη βελτιώνουμε δε προσθέτοντας ειδικό λάδι.

Όταν τα προς χύτευση κομμάτια είναι μικρά ή κομμάτια που θα υποστούν, στη συνέχεια, μικρή σχετικά, κατεργασία, χρησιμοποιούμε υγρή άμμο (πράσινη), ενώ όταν έχουμε να χυτεύσουμε μεγάλα κομμάτια ή κομμάτια που θα υποστούν στη συνέχεια αρκετή κατεργασία, χρησιμοποιούμε αποξηραμένη, σε φούρνο, άμμο. Γενικά η χονδρόκοκκη άμμος χρησιμοποιείται για τη χύτευση ογκωδών κομματιών, η μετρίοκοκκη για τη χύτευση πυρήνων και μέτριων κομματιών και η λεπτόκοκκη για τη χύτευση μικρών κομματιών.

Η άμμος που χρησιμοποιούμε για να κάνουμε τα αποτυπώματα, πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Να είναι πορώδες για να διαφεύγουν τα αέρια και υδρατμοί που δημιουργούνται μέσα στο αποτύπωμα.
2. Να είναι εύπλαστη για να μπορούμε να δημιουργήσουμε στο αποτύπωμα το επιθυμητό σχήμα.
3. Να είναι συνεκτική, ώστε να παραμένουν οι κόκκοι στη θέση τους και να μην καταστρέφεται το αποτύπωμα όταν βγάζουμε το μοντέλο.
4. Να έχει κατάλληλο μέγεθος κόκκων. Άμμο με μικρούς κόκκους χρησιμοποιούμε για μικρά κομμάτια ενώ για μεγάλα κομμάτια χρησιμοποιούμε μεγαλύτερους κόκκους.

5. Να είναι πυρίμαχη, ώστε να μην λιώνει όταν έρχεται σε επαφή με το ρευστό μέταλλο.

Η άμμος των χυτηρίων είναι συνήθως μίγμα τριών υλικών με την πιο κάτω αναλογία:

- Πυριτική άμμος 85%
- Άργιλος 10% ως συγκολλητικό υλικό
- Μπετονίτης 5%

1.8 Τα πλαίσια

Πλαίσια λέμε τα κουτιά (κάσες) που τα γεμίζουμε με άμμο μέσα στην οποία θα κάνουμε το αποτύπωμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιούμε για τα πλαίσια είναι ο χυτοσίδηρος, ο χυτοχάλυβας, το αλουμίνιο.

Τα πλαίσια τα κατατάσσουμε ως εξής:

1. Ανάλογα με τη μορφή τους:
 - α. Πλαίσια ανοιγόμενα ή λυόμενα
 - β. Πλαίσια ολόσωμα
2. Ανάλογα με τα μέρη που αποτελούνται
 - α. Πλαίσια διμερή
 - β. Πλαίσια τριμερή

1.9 Τύπωμα (Κατασκευή καλουπιού)

Το τύπωμα είναι από τις πιο σημαντικές εργασίες χύτευσης. Συνίσταται στη λήψη της μορφής του μοντέλου, με τη βοήθεια της άμμου, την οποία συμπιέζουμε στο δάπεδο ή μέσα σε κάσες. Για να προστατέψουμε το λιωμένο μέταλλο από την επίδραση της άμμου, επαλείφουμε την επιφάνεια του αποτυπώματος με ένα ειδικό μονωτικό που αποτελείται κυρίως από φούμο.

1. ΤΥΠΩΜΑ ΣΤΟ ΔΑΠΕΔΟ Ή ΑΝΟΙΧΤΟ ΤΥΠΩΜΑ

Το τύπωμα στο δάπεδο είναι η πιο οικονομική μέθοδος για χύτευση κομματιών με απλή μορφή. Το πάνω μέρος του κομματιού, επειδή το καλούπι είναι ανοιχτό, είναι πάντα επίπεδο και έρχεται σε επαφή με τον αέρα, γεγονός που του προσδίδει μια επιφάνεια τραχειά και ανώμαλη. Για να πραγματοποιήσουμε το τύπωμα αυτό:

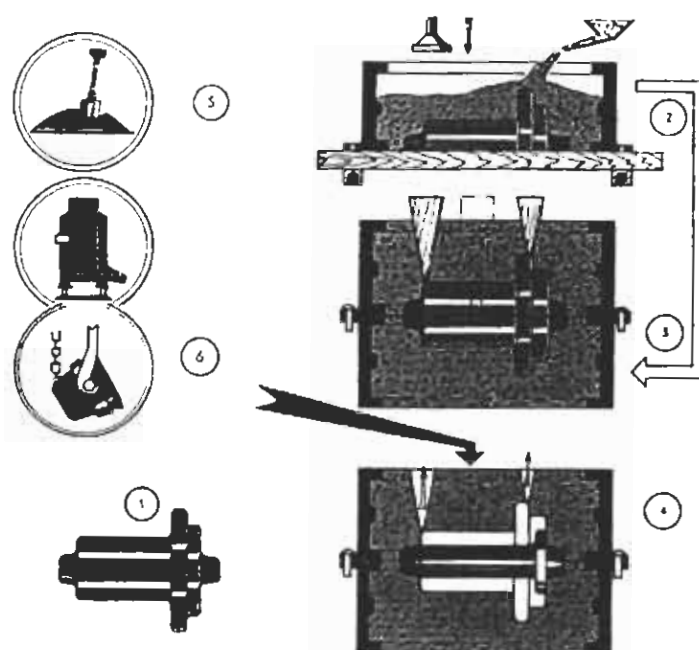
- Καθαρίζουμε το δάπεδο, όταν έχει προηγηθεί άλλο τύπωμα, και κοσκινίζουμε την άμμο, προσθέτοντας καινούργια. Στη συνέχεια την απλώνουμε και την αλφαδιάζουμε.
- Βυθίζουμε το μοντέλο μέσα στην άμμο, χτυπώντας το ελαφρά με ένα ξύλινο σφυρί. Ελέγχουμε την επιπεδότητα με ένα αλφάδι και απομακρύνουμε την άμμο που περισσεύει.
- Ελευθερώνουμε το μοντέλο χτυπώντας το με ένα σφυρί και στη συνέχεια το ανασηκώνουμε με ένα γάντζο ή με τη βοήθεια κρίκων, που είναι εκ των προτέρων στερεωμένοι πάνω σ' αυτό.

Μετά την αφαίρεση του μοντέλου στρώνουμε με μια σπάτουλα το εσωτερικό του αποτυπώματος του μοντέλου, το οποίο φθείρεται λίγο ή πολύ και στη συνέχεια πραγματοποιούμε με μια βελόνα μερικές τρύπες ($\varnothing 53$ mm) όσο το δυνατόν βαθύτερες για την απαγωγή των αερίων. Τέλος, «πασπαλίζουμε» με σκόνη γραφίτη.

2. ΤΥΠΩΜΑ ΣΕ ΚΑΣΣΑ Ή ΚΛΕΙΣΤΟ ΤΥΠΩΜΑ

Το τύπωμα αυτό γίνεται σε κάσες. Οι κάσες κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο και χρησιμεύουν για να συγκρατούν την άμμο του καλουπιού και να διευκολύνουν τις μετακινήσεις. Συνήθως είναι τετράγωνες ή ορθογωνικές, με τυποποιημένες διαστάσεις, για πιο εύκολη χρήση. Φέρουν εσωτερικά νευρώσεις, για να συγκρατείται η άμμος και εξωτερικά χειρολαβές, καθώς και υποδοχές για το κεντράρισμά τους. Για να πραγματοποιήσουμε το τύπωμα εργαζόμαστε με την παρακάτω σειρά (σχ. 4).

- Τοποθετούμε το μισό μοντέλο μέση στην κάσσα, που στηρίζεται στον πάγκο και γεμίζουμε με άμμο, την οποία συμπιέζουμε χτυπώντας την. Στη συνέχεια αναστρέφουμε την κάσσα, επιπεδώνουμε την επιφάνεια και την επαλείφουμε με σκόνη γραφίτη (φούμο) (2).
- Τοποθετούμε το άλλο μισό του μοντέλου πάνω στο πρώτο και κεντράρουμε τη δεύτερη κάσσα με τη βοήθεια πείρων. Στη συνέχεια τη γεμίζουμε με άμμο και την συμπιέζουμε χτυπώντας την (3).



Σχήμα 4. Σειρά τυπώματος σε κάσσα. 1) Διαιρούμενο μοντέλο, 2) Τύπωμα του πάνω τμήματος του κομματιού, 3) Τύπωμα του κάτω τμήματος του κομματιού, 4) Τοποθέτηση του πυρήνα και χύτευση του μετάλλου, 5) Άμμος τυπώματος, 6) Κάδος χύτευσης

- Αποχωρίζουμε τις κάσσες αναστρέφοντας τη δεύτερη και επαλείφουμε την άμμο με σκόνη γραφίτη. Και τέλος
- Αφαιρούμε το μοντέλο από τις δύο κάσσες και ανοίγουμε την τρύπα χύτευσης (μπουκαδούρα) και τα εξαεριστικά. Τοποθετούμε, στη συνέχεια, τις δύο κάσσες μαζί και το καλούπι είναι έτοιμο για χύτευση.

Όταν το προς χύτευση κομμάτι περιλαμβάνει ένα κοίλο τμήμα -όπως το μοντέλο που φαίνεται στο σχήμα- δηλαδή ένα τμήμα που δεν πρέπει να γεμίσει με λιωμένο μέταλλο, τότε το τμήμα αυτό πρέπει να γεμίσει από την άμμο του καλουπιού. Όταν αυτό δεν μπορεί να γίνει, γεγονός που συμβαίνει σχεδόν πάντα, τότε τοποθετούμε, αφού αφαιρέσουμε το

μοδέλο, ένα ξεχωριστό κομμάτι συμπαγούς μάζας που λέγεται πυρήνας (4). Οι πυρήνες κατασκευάζονται από άμμο όπως και το καλούπι, στην οποία προσθέτουμε διάφορες ουσίες που διευκολύνουν την απαγωγή των αερίων και αυξάνουν τη συνοχή.

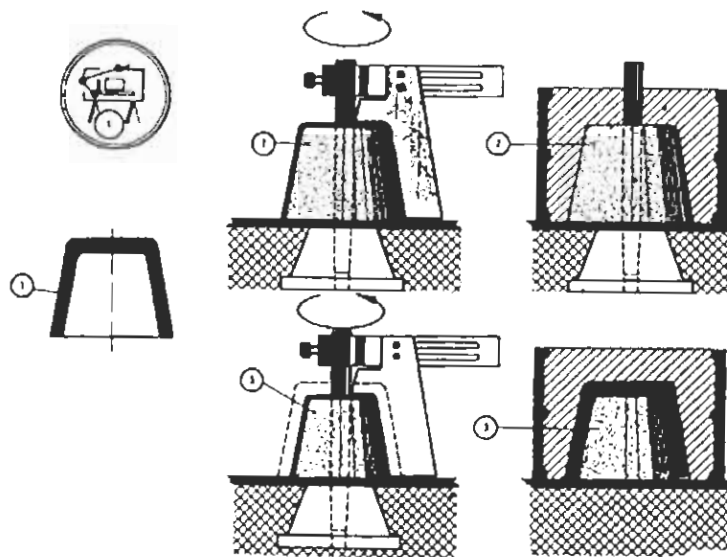
Η τοποθέτηση των πυρήνων γίνεται με μεγάλη προσοχή και όταν το καλούπι είναι τελείως έτοιμο. Οι υποδοχές των πυρήνων πρέπει να ελέγχονται με σχολαστικότητα και ακριβείς μετρήσεις.

Με αυτές τις μετρήσεις διαπιστώνουμε αν οι υποδοχές που έχουν τυπωθεί στην άμμο του καλουπιού ανταποκρίνονται επακριβώς στις προκαθορισμένες θέσεις.

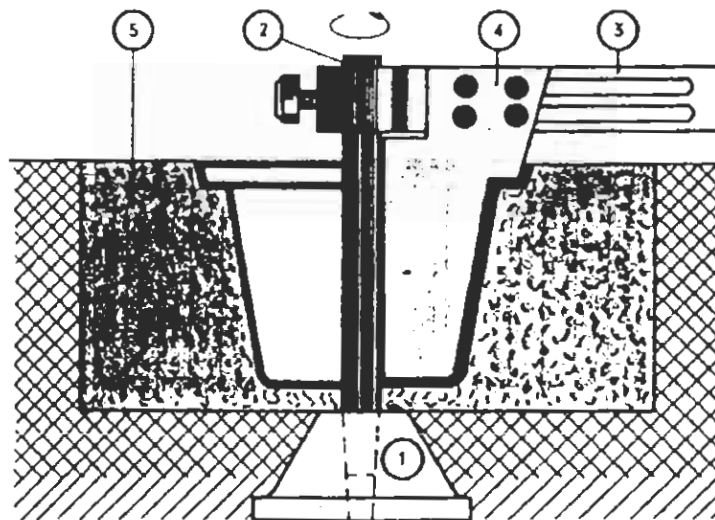
3. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟ ΤΥΠΩΜΑ

Το περιστροφικό τύπωμα συνίσταται στην αφαίρεση της άμμου με τη βοήθεια ενός περυγίου, το οποίο μετατοπίζεται παράλληλα ή κάθετα προς τον άξονα του κομματιού που θέλουμε να χυτεύσουμε ανάλογα με το σχήμα και τη μορφή του (σχ. 5).

Εφαρμόζεται σε κομμάτια με συμμετρικό σχήμα, όπως τροχαλίες, σφόνδυλοι, καμπάνες κλπ. και είναι οικονομικό επειδή με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγουμε την κατασκευή και χρησιμοποίηση μοντέλων.



Σχήμα 5. Εσωτερικό περιστροφικό τύπωμα. 1) Σχεδίαση του κομματιού, 2) Εξωτερική μορφή, 3) Εσωτερική μορφή.



Σχήμα 6. Εσωτερικό περιστροφικό τύπωμα. 1) Βάση στήριξης, 2) Άξονας περυσίου, 3) Κανόνας (λάμα) συγκράτησης περυσίου, 4) Πτερύγιο, 5) Άμμος τυπώματος

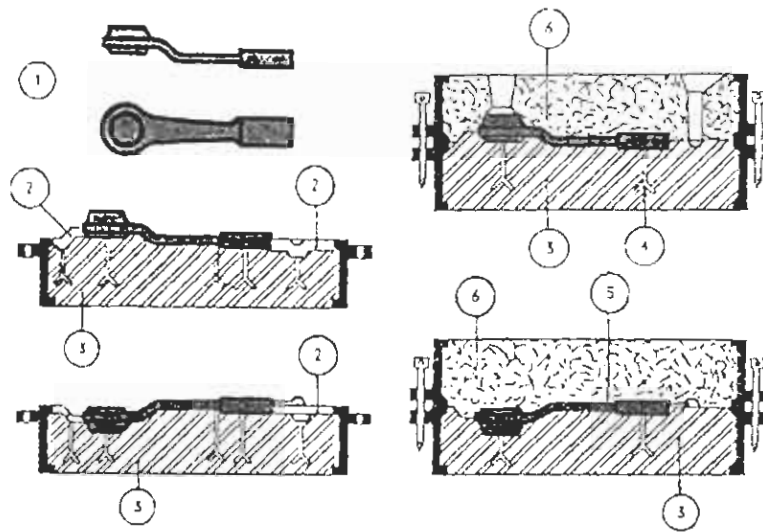
Μπορεί να γίνει με εξωτερικό πτερύγιο (Σχ. 5), που είναι προτιμότερο επειδή η αφαίρεση της άμμου γίνεται ευκολότερα, και με εσωτερικό (σχ.

6) όπου η αφαίρεση της άμμου γίνεται δύσκολα, ιδιαίτερα όταν έχουμε να χυτεύσουμε κοίλα κομμάτια, μεγάλου ύψους. Το περιστροφικό τύπωμα πραγματοποιείται με την ίδια επιτυχία, είτε σε κάσσες είτε στο δάπεδο. Όταν τα κομμάτια που τυπώνουμε με περιστροφικό τύπωμα περιλαμβάνουν εσωτερικές λεπτομέρειες, όπως βραχίονες ή νευρώσεις, τότε για να βρούμε σωστά και γρήγορα τη θέση τους, χρησιμοποιούμε ξύλινα στεφάνια, των οποίων την περιφέρεια έχουμε εκ των προτέρων διαιρέσει σε ανάλογα ίσα μέρη.

4. ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΥΠΩΜΑ

Το μηχανικό τύπωμα, όπως φανερώνει και η ονομασία του, γίνεται με τη βοήθεια μηχανών τυπώματος. Σ' αυτή τη μέθοδο, που συνιστάται για μεγάλες σειρές παραγωγής, χρησιμοποιούμε πλάκες τυπώματος (σχ. 7) πάνω στις οποίες στερεώνουμε το μοντέλο.

Οι πλάκες αυτές κατασκευάζονται, ανάλογα με τον αριθμό των κομματιών που έχουμε να τυπώσουμε, από γύψο, τσιμέντο ή μέταλλο. Τα μοντέλα, αντίστοιχα, κατασκευάζονται από μπρούντζο, χυτοσίδηρο, κράμα μολύβδου-αντιμονίου, εποξικές ρητίνες, ξύλο και ακόμα από γύψο ή τσιμέντο. Για να πραγματοποιήσουμε το τύπωμα, στερεώνουμε την πλάκα πάνω στο τραπέζι της μηχανής, τοποθετώντας παράλληλα την αντίστοιχη κάσσα την οποία γεμίζουμε με άμμο (σχ. 7). Συμπιέζοντας, στη συνέχεια, την άμμο με ένα έμβολο, παίρνουμε το αποτύπωμα του κομματιού. Τέλος, απομακρύνοντας το έμβολο, ελευθερώνουμε την κάσσα, την οποία μεταφέρουμε στη θέση χύτευσης. Γενικά, όλες οι μηχανές τυπώματος τυπώνουν με σύστημα αντιγραφής, έχοντας σαν οδηγό την πλάκα μοντέλο.



Σχήμα 7. Μηχανικό τύπωμα. 1) Μορφή κομματιού, 2) Μεταλλικός σύνδεσμος, 3) Γύψος, 4) Άγκιστρο στήριξης, 5) Μεταλλικό μοντέλο, 6) Άμμος τυπώματος

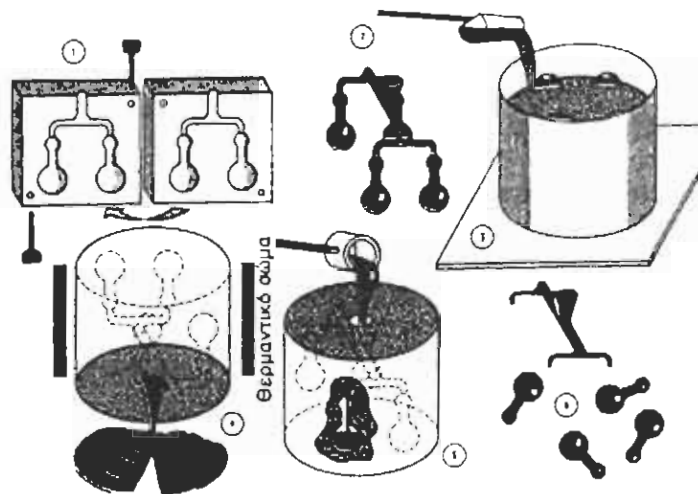
5. ΤΥΠΩΜΑ ΤΟΥ ΧΑΜΕΝΟΥ ΚΕΡΙΟΥ

Οι διάφορες μέθοδοι τυπώματος που αναπτύξαμε μέχρι τώρα, απαιτούν για την κατασκευή του αποτύπματος, τη χρησιμοποίηση δύο ή περισσότερων συναρμολογούμενων τμημάτων, τα οποία όπως μας δείχνει η εμπειρία, δεν είναι δυνατόν να μας δώσουν μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων, όσο και αν η συναρμολόγηση αυτών των τμημάτων που αποτελούν το μοντέλο ή το καλούπι, γίνει με μεγάλη προσοχή.

Το γεγονός αυτό μας υποχρεώνει να χρησιμοποιήσουμε μια μέθοδο που να επιτρέπει την κατασκευή μονοκόμματος καλουπιού, το οποίο να περιέχει το αποτύπωμα του μοντέλου και να εξασφαλίζει μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων και εξαιρετικά λεία επιφάνεια του χυτευόμενου κομματιού. Μια τέτοια μέθοδος είναι η μέθοδος του «χαμένου κεριού». Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ο υψηλός βαθμός φινιρίσματος και η μεγάλη ακρίβεια των διαστάσεων. Ενώ το κυριότερο μειονέκτημα

είναι η ανάγκη χρησιμοποίησης ενός μοντέλου για κάθε χυτό κομμάτι, επειδή το μοντέλο καταστρέφεται με τήξη ή καύση.

- Κατασκευή του μοντέλου. Τα χρησιμοποιούμενα μονέλα πρέπει να έχουν πάντα την ίδια ακρίβεια και γι' αυτό κατασκευάζονται σε διαιρούμενα κογχυλοειδή καλούπια με έγχυση. Κατασκευάζονται μεμονωμένα ή πολλά μαζί, ανάλογα με τον όγκο και τη μορφή, από ένα μείγμα κεριού ή συνθετικής ρητίνης και συμπιέζονται σε ειδικές πρέσες των οποίων η θερμοκρασία ρυθμίζεται με ακρίβεια.
- Τύπωμα (κατασκευή κολουπιού). Τα μονέλα αυτά, όταν είναι έτοιμα, τα βυθίζουμε σε μια υγρή μάζα που αποτελείται από πυρίμαχη ειδική άμμο χύτευσης και συνδετικό υλικό, με αποτέλεσμα να καλύπτονται από ένα ομοιόμορφο στρώμα πάχους 0,5 έως 1 mm. Αυτό το στρώμα περιέχει τη μορφή του κομματιού που θέλουμε να χυτεύσουμε και παρουσιάζει μια πολύ λεία εσωτερική επιφάνεια. Στη συνέχεια, αφού τα στεγνώσουμε στον αέρα, τα τοποθετούμε σε ένα ανοιχτό μεταλλικό δοχείο, το οποίο γεμίζουμε με πυρίμαχη άμμο. Τέλος, συμπιέζουμε την άμμο και θερμαίνουμε, ώστε να λιώσει το κερί και να μείνει το αποτύπωμα (σχ. 8).



Σχήμα 8. Τύπωμα χαμένου κεριού. 1) Κατασκευή κέρινου μοντέλου, 2) Σύνολο ίδιων κομματιών, 3) Τύπωμα με πυρίμαχη άμμο, 4) Απαγωγή του κεριού με θέρμανση, 5) Χύτευση μετάλλου, 6) Αποκοπή κομματιών

- Χύτευση. Η χύτευση γίνεται με τη βοήθεια της βαρύτητας ή φυγοκεντρικά σε ειδικές μηχανές ή ακόμα με τη βοήθεια ενός μικρού ανακλινόμενου φούρνου. Μετά την απόψυξη ξεκαλουπώνουμε θρυμματίζοντας την άμμο και το καλούπι χρησιμοποιώντας σφυριά, πιεσμένο αέρα ή ειδικούς δονητές. Τα κομμάτια που χυτεύουμε υπόκεινται σε θερμικές κατεργασίες, όπως ανόπτηση, επαναφορά, βαφή, σταθεροποίηση, ομοιογενοποίηση, γήρανση κλπ., ανάλογα με το μέταλλο. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να χυτεύσουμε ανθρακοχάλυβες, όλα τα κράματα του χυτοσιδήρου και του χάλυβα, χάλυβες ενανθράκωσης, ανοξειδωτούς και πυρίμαχους χάλυβες και μη σιδηρούχα μέταλλα. Κυρίως, όμως, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη χύτευση κομματιών, που λόγω της μορφής τους δεν μπορούν να υποστούν περαιτέρω κατεργασία, και κομματιών που κατασκευάζονται από κράματα που κατεργάζονται δύσκολα, όπως είναι ο στελίτης, οι ταχυχάλυβες, οι πυρίμαχοι χάλυβες κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΥΤΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ

2.1 Γενικά

Για να πραγματοποιήσουμε τη χύτευση των κομματιών, των οποίων τα αποτυπώματα έχουμε προετοιμάσει, με τους τρόπους που αναπτύξαμε πιο πάνω, λιώνουμε, τα προς χύτευση, μέταλλα σε κοινούς ή ειδικούς φούρνους χυτηρίου. Από το φούρνο τήξης τα λιωμένα μέταλλα μεταφέρονται στα σημεία χύτευσης με ειδικούς πυρίμαχους κάδους, τους οποίους χειριζόμαστε μηχανικά ή με τα χέρια. Η χύτευση του λιωμένου μετάλλου στα καλούπια, γίνεται με τους παρακάτω τρόπους, ανάλογα με τη μορφή των κομματιών που θέλουμε να πάρουμε. Έτσι έχουμε:

- Χύτευση με γέμισμα από το κάτω τμήμα του καλουπιού, σύμφωνα με την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων.
- Χύτευση με πτώση από ένα σημείο από το πάνω τμήμα του καλουπιού.
- Χύτευση με πτώση από πολλά σημεία (μπουκαδούρες) από το πάνω τμήμα του καλουπιού και
- Χύτευση με κεντρική μπουκαδούρα που διακλαδώνεται σε μικρότερες, από το πάνω τμήμα του καλουπιού.

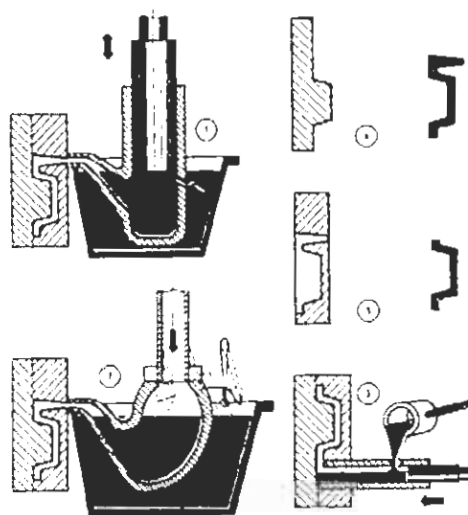
2.2 Χύτευση σε διαιρούμενα κογχυλοειδή καλούπια

Όπως αναφέραμε πιο πάνω, η χύτευση του λιωμένου μετάλλου γίνεται σε καλούπια από άμμο. Τα καλούπια αυτά όμως καταστρέφονται μετά από κάθε χύτευση, για να μπορέσουμε να πάρουμε τα κομμάτια που χυτεύσαμε. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος ιδιαίτερα όταν έχουμε να χυτεύσουμε μεγάλο αριθμό κομματιών. Σ' αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούμε διαιρούμενα κογχυλοειδή μεταλλικά καλούπια, μέση στα οποία χυτεύουμε το λιωμένο μέταλλο. Τα καλούπια αυτά χρησιμοποιούνται για τη χύτευση μετάλλων με χαμηλό σημείο τήξης, όπως είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο μπρούντζος κλπ., καθώς και για τη χύτευση χυτοσιδήρου και κατασκευάζονται από σίδηρο ή χάλυβα.

Στην τελευταία περίπτωση παίρνουμε σκληρυμένο ή βαμμένο χυτοσίδηρο, επειδή φθάνοντας ο λιωμένος χυτοσίδηρος απότομα στις επιφάνειες του κρύου μετάλλου του καλουπιού, σχηματίζει ένα στρώμα σκληρού και στιλπνού χυτοσιδήρου, που είναι αποτέλεσμα της μετατροπής του φαιού χυτοσιδήρου χύτευσης σε πολύ σκληρό και απρόσβλητο στα κοπτικά εργαλεία λευκό χυτοσίδηρο. Τα προϊόντα που παίρνουμε με αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σχαρών φούρνων, ελαστρων κυλίνδρων, σημείων διασταύρωσης σιδηροτραχιών κλπ.

2.3 Χύτευση με πίεση

Αυτή η χύτευση γίνεται σε μεταλλικά καλούπια των οποίων το γέμισμα πραγματοποιείται με μια μηχανή, η οποία πρεσάρει το λιωμένο μέταλλο με ένα έμβολο (σχ. 1).



Σχήμα 1. Χύτευση με πίεση. 1) Χύτευση με βυθιζόμενο έμβολο, 2) Χύτευση με πίεση αέρα, 3) Χύτευση με έκχυση, 4) Χυτευόμενο κομμάτι, 5) Έτοιμο κομμάτι

Τα καλούπια που χρησιμοποιούνται σ' αυτή τη μέθοδο κατασκευάζονται από ειδικό χάλυβα και το κόστος τους είναι πολύ υψηλό, γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε μεγάλες σειρές παραγωγής που κυμαίνονται από 5000 έως 10000 κομμάτια. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι τα χυτευόμενα κομμάτια δεν απαιτούν περαιτέρω κατεργασία και η ακρίβεια των διαστάσεων φθάνει, σε ορισμένες περιπτώσεις, μέχρι 0,002 mm. Μπορούμε ακόμα να κατασκευάσουμε κομμάτια πάχους μέχρι 1 mm.

Η προώθηση του λιωμένου μετάλλου μέσα στο καλούπι γίνεται, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο, είτε με πιεσμένο αέρα, είτε υδραυλικά. Η πίεση που απαιτείται είναι 8 έως 15 bars για τα κράματα του μολύβδου, του αντιμονίου και του κασσιτέρου, μεγαλύτερη για τα κράματα του ψευδάργυρου και του αλουμινίου και ακόμη μεγαλύτερη μέχρι 120 bars για τα κράματα χαλκού και ψευδαργύρου (ορείχαλκος). Τα κυριότερα μέταλλα που χυτεύονται με αυτή τη μέθοδο είναι τα λευκά κράματα, τα κράματα χαλκού και τα ελαφρά μέταλλα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος χύτευσης υπό πίεση είναι:

- Κατασκευή σε μεγάλες σειρές απλών και σύνθετων κομματιών.
- Κατασκευή μεμονωμένων κομματιών μεγάλου βάρους.
- Καθαρότητα επιφανειών και ακμών.
- Κατασκευή κομματιών με λεπτά τμήματα.
- Υψηλή ακρίβεια διαστάσεων και μορφής (εναλλαξιμότητα).
- Χύτευση κομματιών που περιέχουν λεπτομέρειες, όπως ρικνώσεις, σπειρώματα, τρύπες, εσοχές κλπ., χωρίς περαιτέρω κατεργασία.
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης, κατά τη χύτευση, στοιχείων από διαφορετικό μέταλλο. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι σφήνες, δαχτυλίδια, πείροι κλπ.
- Παραγωγή μεγάλου αριθμού κομματιών χωρίς αντικατάσταση του καλουπιού.
- Ελαχιστοποίηση της μηχανικής κατεργασίας των χυτευόμενων κομματιών. Και

- Μεγάλη οικονομία σε χρόνο και χώρο εργασίας, πρώτη ύλη, εργατικό δυναμικό κλπ.

2.4 Χύτευση σε μήτρα ή χύτευση υπό πίεση

A. Γενικά

Όταν λέμε χύτευση σε μήτρα, εννοούμε τη χύτευση εκείνη κατά την οποία ασκούμε πίεση για να αναγκάσουμε το λιωμένο μέταλλο να μεταφερθεί ταχύτητα (από κάποιο κάδο ή λουτρό) και να γεμίσει την κοιλότητα μιας μεταλλικής μήτρας, η κοιλότητα της μήτρας έχει τη μορφή του κομματιού, που πρόκειται να χυτεύσουμε.

Οι μήτρες κατασκευάζονται από ανθρακούχο χάλυβα με μέση περιεκτικότητα σε άνθρακα για χύτευση κραμάτων με χαμηλό σημείο τήξεως. (π.χ. κράματα ψευδαργύρου) και από χαλυβοκράματα για τη χύτευση κραμάτων με ψηλότερο σημείο τήξεως. Για μήτρα χυτεύσεως κραμάτων του χαλκού π.χ. μεταχειριζόμαστε ένα χάλυβα εργαλείων με χρώμιο, μολυβδαίνιο, βολφράμιο και κοβάλτιο.

Το αρχικό κόστος μιας μήτρας είναι αρκετά ψηλό σε σύγκριση με το κόστος ενός ξύλινου προτύπου και λίγων αποτυπωμάτων στο χώμα. Άρα η χύτευση σε μήτρα συμφέρει οικονομικά σε παραγωγή μεγάλου αριθμού όμοιων χυτών.

Η χύτευση σε μήτρα παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι:

- α) Η ταχύτατη μεταφορά του λιωμένου μετάλλου στην κοιλότητα της μήτρας έχει ως αποτέλεσμα πολύ μικρή απώλεια θερμότητας. Αυτό διευκολύνει τη χύτευση κομματιών με λεπτά τοιχώματα.
- β) Περιορίζεται σημαντικά η συστολή στο χυτεύόμενο κομμάτι, λόγω της πίεσεως που ασκείται κατά τη στερεοποίηση του τήγματος.
- γ) Παράγονται χυτά πολύ καλής ποιότητας. Η γρήγορη στερεοποίηση στη μεταλλική μήτρα δίνει λεπτόκοκκο κρυσταλλικό ιστό, άρα και αυξημένη μηχανική αντοχή στο χυτό.
- δ) Επιτυγχάνεται ακρίβεια στις διαστάσεις και βελτιωμένη τραχύτητα επιφάνειας του χυτού αυτό σημαίνει μικρότερο κόστος των κατεργασιών για το αποτελείωμα των χυτών.

Τα υλικά, που χυτεύονται σήμερα σε μήτρας με επιτυχία, περιορίζονται σε ορισμένα κράματα με βάση τον ψευδάργυρο (π.χ. $\pi(\text{Al})=3,5\%$ έως $4,3\%$, $\pi(\text{Cu})=0,75\%$ έως $1,25\%$ και το υπόλοιπο ψευδάργυρο), όπως και ορισμένα με βάση το αργίλιο (π.χ. $\pi(\text{Si})=9,0\%$ έως $11,5\%$, $\pi(\text{Fe})=1,0\%$ και το υπόλοιπο αργίλιο).

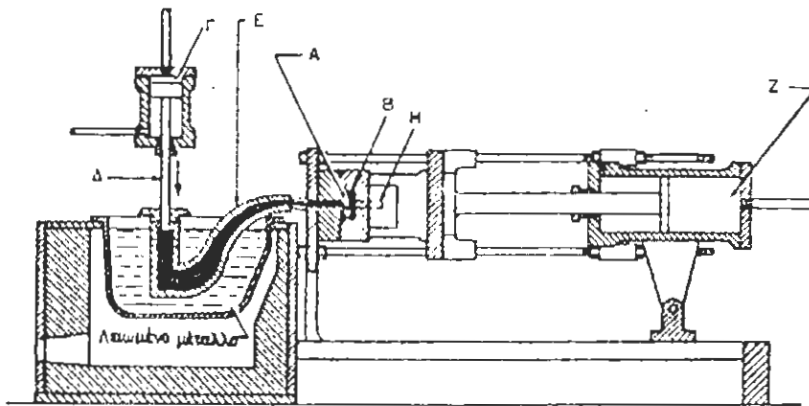
B. Είδη χυτεύσεως σε μήτρα

Η χύτευση σε μήτρα εκτελείται κατά διάφορους τρόπους:

1) Στο σχήμα 2 βλέπετε μια μηχανή χυτεύσεως, που λειτουργεί ως εξής:

Το λιωμένο μέταλλο, που τήκεται μέσα σε ένα λουτρό ενσωματωμένο στην ίδια τη μηχανή χυτεύσεως, μεταφέρεται στην κοιλότητα Α της μήτρας Β με τη βοήθεια πίεσεως που ασκείται από τον υδραυλικό κύλινδρο Γ στο έμβολο Δ, το οποίο παλινδρομεί στο άκρο ενός χυτού

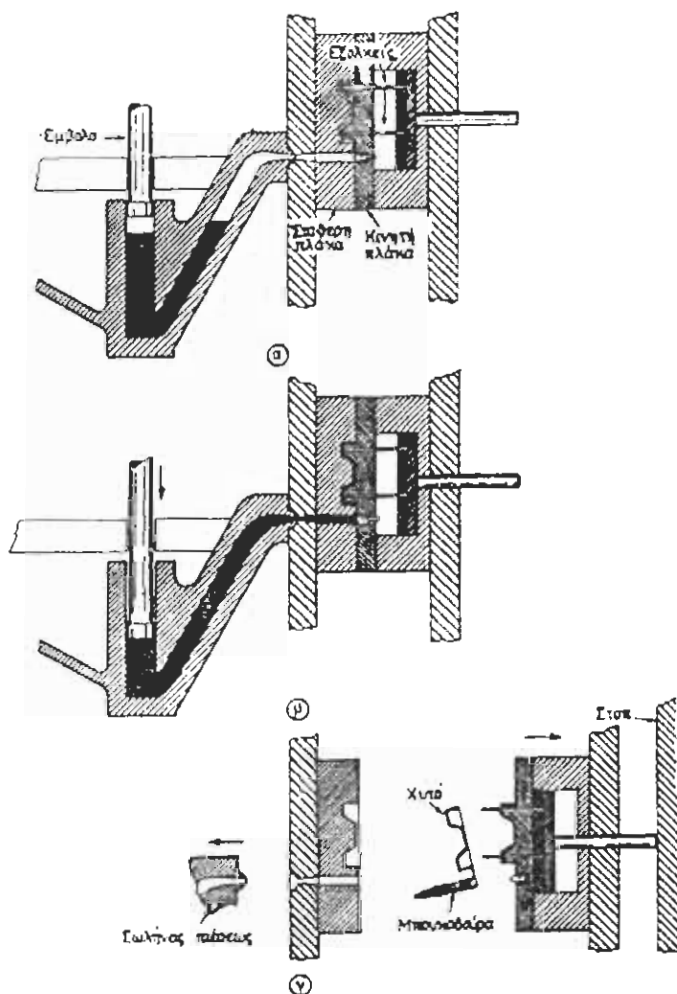
σωλήνα E με μορφή «λαιμού χήνας» βυθισμένου μέσα στο λιωμένο μέταλλο. Υδραυλικά επίσης λειτουργεί και ο μηχανισμός Z για το άνοιγμα και κλείσιμο της μήτρας.



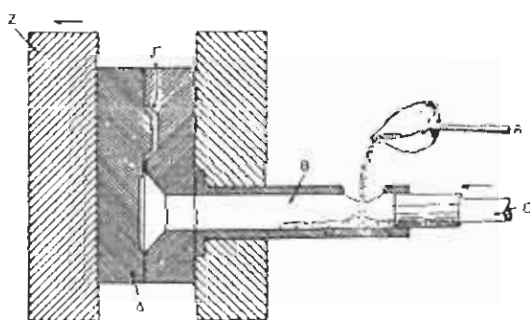
Σχήμα 2. Μηχανή χυτεύσεως σε μήτρα με λουτρό τήξεως και σωλήνα πίεσεως σε μορφή «λαιμού χήνας»

Όταν το έμβολο του υδραυλικού κυλίνδρου βρίσκεται στην ανώτερή του θέση, τότε λιωμένο μέταλλο ρέει με τη βαρύτητα μέσα στο σωλήνα E περνώντας από υπάρχουσες τρύπες. Με την κίνηση του εμβόλου προς τα κάτω, οι τρύπες αυτές κλείνουν από το ίδιο το έμβολο και ασκείται πίεση στα λιωμένα μέταλλα, το οποίο αναγκάζεται να συμπιεσθεί μέσα στην κοιλότητα της μήτρας A. Η πίεση, που σε ορισμένες μηχανές μπορεί να φθάσει μέχρι τις 350 ατμόσφαιρες, ασκείται σε όλη τη διάρκεια της στερεοποίησης του τήγματος. Η αφαίρεση του χυτού από τη μήτρα γίνεται με κατάλληλο εξολκέα Η.

Οι φάσεις χυτεύσεως σε μια τέτοια μηχανή φαίνονται παραστατικά στο σχήμα 3.



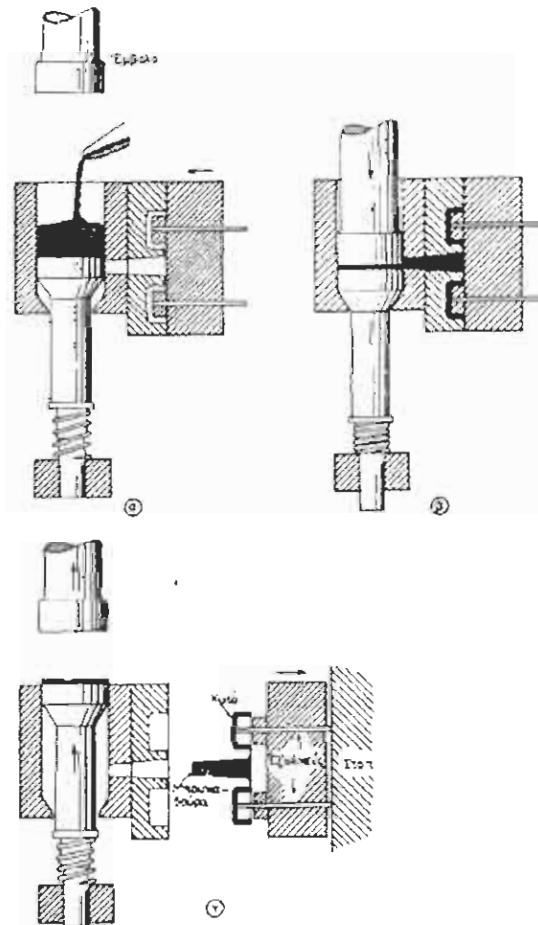
Σχ. 3. Φάσεις χυτεύσεως σε μήτρα σε μηχανή της μεθόδου του σχήματος 2.



Σχ. 4. Μέθοδος χυτεύσεως σε μήτρα σε κατακόρυφη μηχανή χυτεύσεως της μεθόδου του σχήματος 3.

2) Στο σχήμα 4 εικονίζεται άλλη μέθοδος χυτεύσεως σε μήτρα. Εδώ το μέταλλο τήκεται έξω από τη μηχανή, μεταφέρεται στη θέση της μηχανής

με κατάλληλο κάδο αποχύσεως Α και αποχύνεται στον κύλινδρο πληρώσεως μήτρας Β στην ποσότητα, που απαιτείται. Το λιωμένο μέταλλο συμπιέζεται μέσα στην κοιλότητα Γ της μήτρας Δ με τη βοήθεια του εμβόλου Ε. Το άνοιγμα και κλείσιμο της μήτρας επιτυγχάνεται με την κινητή πλάκα 2, που συνήθως κινείται υδραυλικά. Στις περισσότερες από τις μηχανές αυτού του είδους ο κύλινδρος πληρώσεως μήτρας Β είναι οριζόντιος. Υπάρχουν όμως και μηχανές χυτεύσεως με τον κύλινδρο αυτό κατακόρυφο. Στο σχήμα 5 βλέπετε τις φάσεις χυτεύσεως σε μια τέτοια μηχανή.



Σχήμα 5. Φάσεις χυτεύσεως σε μήτρα σε κατακόρυφη μηχανή χυτεύσεως της μεθόδου του σχήματος 3

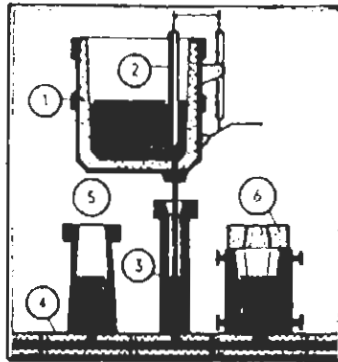
2.5 Χύτευση του χάλυβα

Ο τρόπος και η διαδικασία χύτευσης του έτοιμου λιωμένου χάλυβα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη μεταγενέστερη επεξεργασία και χρησιμοποίησή του. Γι' αυτό υπάρχουν οι πιο κάτω τρεις διαφορετικοί τρόποι χύτευσης.

I. ΕΜΜΕΣΗ ΧΥΤΕΥΣΗ

Η χύτευση αυτή στηρίζεται στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων και γι' αυτό ο κάδος που προέρχεται από τους φούρνους παρασκευής χάλυβα «αδειάζει» το περιεχόμενό του σε ένα κεντρικό υποδοχέα και από κει γεμίζει από κάτω προς τα πάνω τα διάφορα καλούπια (χελωνίστρες). Μια τέτοια διάταξη (σχ. 6) περιλαμβάνει:

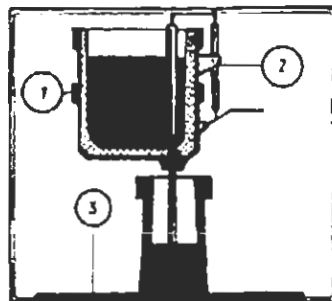
- Κάδο χύτευσης από χάλυβα με πυρίμαχη επένδυση.
- Μοχλό για τη διακοπή της χύτευσης
- Υποδοχέα του λιωμένου μετάλλου που λειτουργεί βάσει της αρχής των συγκοινωνούντων δοχείων
- Πυρίμαχα τούβλα με μια κεντρική τρύπα που δημιουργεί αγωγό. Τα τούβλα αυτά είναι τοποθετημένα επάνω σε εγκοπές που δημιουργούν οι χυτοσιδηρές πλάκες του δαπέδου.
- Χελωνίστρες παρασκευής χελωνών; από χυτοσίδηρο, ανοιχτές από πάνω και από κάτω. Και
- Χελωνίστρες με ειδικό καπάκι όπου συγκεντρώνονται τα ξένα στοιχεία και αφαιρούνται με αποκοπή μετά τη στερεοποίηση (βλέπε σχήμα 9).



Σχήμα 6. Έμμεση χύτευση του χάλυβα. 1) Κάδος χύτευσης, 2) Κλείστρο διακοπής της χύτευσης, 3) Κεντρικός υποδοχέας, 4) Πυρίμαχα τούβλα, 5) και 6) Κάδοι παρασκευής χελωνών (χελωνίστρες)

II. ΑΜΕΣΗ ΧΥΤΕΥΣΗ

Η χύτευση αυτή είναι όμοια με την έμμεση εκτός από το ότι ο λιωμένος χάλυβας πέφτει απευθείας στον κάδο παρασκευής χελωνών (χελωνίστρα) ο οποίος εδράζεται πάνω σε χυτοσίδηρες πλάκες (σχ. 7).



Σχήμα 7. Άμεση χύτευση του χάλυβα. . 1) Κάδος χύτευσης, 2) Κλείστρο διακοπής της χύτευσης, 3) Βάση από χυτοσίδηρο

III. ΣΥΝΕΧΗΣ ΧΥΤΕΥΣΗ

Σ' αυτή τη χύτευση η παραγωγή των χελωνών γίνεται χωρίς διακοπή και σε σειρά. Έχει το μεγάλο πλεονέκτημα να μη χρησιμοποιεί καλούπια

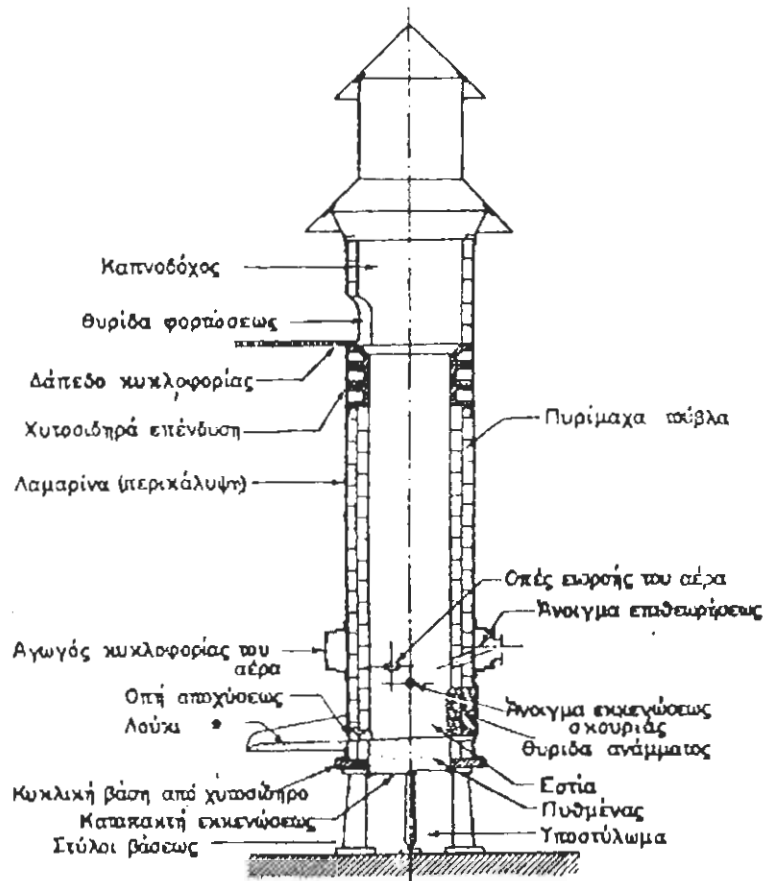
παρά μόνο ράουλα, που οδηγούν το χάλυβα, ο οποίος στερεοποιείται προοδευτικά, σε έναν καυστήρα οξυγονοασετυλίνης όπου γίνεται η κοπή σε ορισμένο μήκος. Το γεγονός της μη χρησιμοποίησης καλουπιών καταργεί την κατασκευή χελωνών καθώς και την πρώτη φάση της εξέλασης που ακολουθεί για την παραγωγή έτοιμων προϊόντων. Στη συνεχόμενη χύτευση χρησιμοποιούμε εκτός από τον κάδο χύτευσης και

- Κάνιστρο διανομής για περισσότερες χελώνες (3)
- Χελωνίστρα καμπύλης μορφής από χαλκό που ψύχεται με νερό (4)
- Θάλαμο ψύξης όπου γίνεται ψεκασμός νερού για γρηγορότερη ψύξη (5)
- Ράουλα οδήγησης σε τοξοειδή διάταξη (6)
- Ράουλα ευθυγράμμισης του ψυχόμενου χάλυβα (7)
- Καυστήρα κοπής των χελωνών που μετακινείται με ταχύτητα ίδια με αυτή της μπάρας για να πετυχαίνεται ευθεία κοπή (8).

2.6 Η τήξη και η απόχυση χυτοσιδήρου

Στην παράγραφο αυτή θα περιγράψουμε ειδικά πώς γίνεται στο χυτήριο η τήξη και η απόχυση του χυτοσιδήρου για την παραγωγή χυτοσιδηρών χυτών.

Ο χυτοσίδηρος τήκεται μέσα σε ειδική κατακόρυφη κάμινο, στην κάμινο χυτηρίου (κούπολα, cupola) όπως αυτή που εικονίζεται στο σχήμα 8).



Σχήμα 8. Η κάμινος χυτηρίου για την τήξη χυτοσιδήρου

Από την οπή αποχύσεως τρέχει ο λιωμένος χυτοσίδηρος. Η οπή αυτή φράσσεται και ανοίγεται, όταν χρειάζεται να χυθεί το λιωμένο μέταλλο. Απέναντι ακριβώς από την οπή αυτή υπάρχει η θυρίδα ανάμματος της καμίνου. Ψηλότερα βλέπουμε το άνοιγμα από όπου βγαίνουν οι σκουριές.

Λίγο ψηλότερα βλέπουμε τις οπές εισροής του πεπιεσμένου αέρα για την καύση του κωκ. Οι οπές αυτές συγκοινωνούν με ένα περιμετρικό αγωγό, στον οποίο καταλήγει ο σωλήνας, που έρχεται από τον ανεμιστήρα.

Από τη θυρίδα φορτώσεως της καμίνου ρίπτομε κατά στρώματα σκληρό κωκ και χυτοσίδηρο μαζί με το συλλίπασμα.

Τέλος, η κάμιнос φέρει την καπνοδόχο για την απαγωγή των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα.

Η διάμετρος μιας καμίνου χυτηρίου (η εσωτερική διάμετρος της καμίνου στη θέση των οπών εισροής του αέρα) κυμαίνεται από 500 mm μέχρι 1200 mm. Η ωριαία παραγωγή χυτοσιδήρου μιας καμίνου με διάμετρο 750 mm είναι περίπου 3,2 τόνοι.

Η κάμιнос λειτουργεί ως εξής:

Πριν γεμίσομε την κάμινο κατά στρώματα με τα υλικά, τοποθετούμε ξύλα και κωκ στο μέρος, όπως μπορούμε να βάλουμε φωτιά από τη θυρίδα ανάμματος. Αφού ανάψομε φωτιά, ρίχνομε από τη θυρίδα φορτώσεως την πρώτη στρώση κωκ και από επάνω της μια στρώση από χυτοσίδηρο, που να βρίσκεται περίπου 700 mm επάνω από τις οπές εισροής του πεπιεσμένου αέρα. Κατόπι κλείνομε τη θυρίδα ανάμματος και ανοίγομε τον αέρα της καύσεως. Έτσι καίεται η πρώτη στρώση κωκ και αρχίζει η τήξη του χυτοσιδήρου. Εν τω μεταξύ αποτελειώνομε τη φόρτωση της καμίνου από επάνω με τα υλικά τοποθετημένα όπως είπαμε, κατά στρώματα.

Παρακολουθούμε την τήξη του χυτοσιδήρου και όταν μαζευτεί αρκετός, ανοίγομε τη φραγμένη με πηλό οπή αποχύσεως και ο λιωμένος χυτοσίδηρος ρέει μέσα στους κάδους αποχύσεως. Ταυτόχρονα τροφοδοτούμε την κάμινο με κωκ, χυτοσίδηρο και συλλίπασμα και έτσι η λειτουργία της είναι συνεχής.

Με τους κάδους αποχύσεως μεταφέρομε το λιωμένο χυτοσίδηρο στις θέσεις της χυτεύσεως. Άλλοι από τους κάδους αυτούς μεταφέρονται από

ένα τεχνίτη άλλοι με δυο τεχνίτες ενώ οι κάδοι των οχημάτων, μετακινούνται με γερανό.

Κατά την απόχυση του λιωμένου μετάλλου στα αποτυπώματα τον «ξαφρίζομε», για να απομακρύνουμε έτσι τις διάφορες ακαθαρσίες (σκουριές), που επιπλέουν.

Το άδειασμα του μετάλλου πρέπει να γίνεται σταθερά χωρίς διακοπή. Ακόμα, την ώρα του αδειάσματος, φροντίζομε να κρατούμε συνεχώς γεμάτο το χωνί του οχετού εισροής. Κατ' αυτό τον τρόπο, εκτός από τη συνεχή ροή του μετάλλου, δεν εισέρχονται στο αποτύπωμα ακαθαρσίες.

2.7 Καθαρισμός και επιθεώρηση των χυτών

Προ του καθορισμού αφαιρούμε τις «μπουκαδούρες». Στα χυτοσιδηρά χυτά αυτό γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου σφυριού. Σε χυτά όμως από μη σιδηρούχα υλικά οι μπουκαδούρες αφαιρούνται με οξυγονοκοπή ή με πριόνισμα. Για το αποτελείωμα των χυτών μπορούμε να χρησιμοποιήσομε σμυριδοτροχούς.

Το χώμα, που παραμένει κολλημένο επάνω στα χυτά, απομακρύνεται με διάφορους τρόπους: με τοποθέτηση των χυτών επάνω σε ειδική ταλαντούμενη τράπεζα, με αμμοβολή τους ή με πλύσιμό τους με νερό υπό πίεση. Η τελευταία μέθοδος δεν ενδείκνυται για σιδηρούχα χυτά, γιατί μπορεί να σκουριάσουν.

Συνηθισμένα επιφανειακά ελαττώματα των χυτών μπορούμε να τα εντοπίσομε με οπτική επιθεώρησή τους. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνεται μετά τον καθαρισμό τους.

Εσωτερικά όμως ελαττώματά τους (σπήλαια κλπ.) ανακαλύπτονται με τη βοήθεια των ακτίνων Χ, ενώ υπάρχουν μέθοδοι, με τις οποίες εντοπίζονται επιφανειακές ρωγμές (π.χ. η μέθοδος με τη μαγνητική σκόνη).

Σε χυτά, που θα εργασθούν υπό πίεση (κύλινδροι, σωλήνες κλπ.) γίνεται κατάλληλος υδραυλικός ή πνευματικός έλεγχος αντοχής σε πίεση.

2.8 Ελαττώματα χυτών

Γενικά, ελαττώματα στα χυτά μπορούν να προκύψουν από σφάλματα: στην τήξη του μετάλλου, στην απόχυσή του στα αποτυπώματα, στην τύπωση, στη σχεδίαση και στην κατασκευή του μοντέλου, σε αντικανονική σύσταση του μετάλλου ή του κράματος, στο χρώμα χυτηρίου, στις καρδιές ή στη θέση των οχετών εισροής και εξαερισμού.

Ελαττώματα των χυτών, που παρουσιάζονται συχνά είναι:

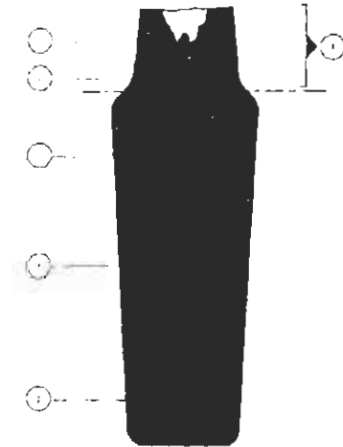
- α) Σπήλαια: Οφείλονται στην παρουσία αερίων και ατμών στο τήγμα κατά την απόχυση και στη μετέπειτα στερεοποίηση.
- β) Διάφορα εγκλείσματα: Δημιουργούνται από σκουριές ή τεμαχίδια οξειδίων ή χρώματος στο τήγμα.
- γ) Ασυνέχειες στη μάζα του χυτού, που μοιάζουν με ραφές: Οφείλονται σε έλλειψη ρευστότητας του τήγματος.
- δ) Ρωγμές: Προκαλούνται από τάσεις συστολής, μόλις τελειώσει η στερεοποίηση. Θα πρέπει να αποδοθούν κατά κύριο λόγο σε κακή σχεδίαση του μοντέλου.

2.9 Ελαττώματα χελωνών

Τα περισσότερα ελαττώματα που παρατηρούνται στις χελώνες (σχ. 7) οφείλονται κυρίως στη χύτευση ή στην ταχύτητα στερεοποίησης του χάλυβα. Από αυτά τα κυριότερα είναι:

- Ο κρατήρας. Είναι το πιο συνηθισμένο ελάττωμα και οφείλεται στην ανομοιογενή στερεοποίηση του λιωμένου μετάλλου, που συμβαίνει επειδή τα εξωτερικά τμήματα στερεοποιούνται γρηγορότερα από τα εσωτερικά. Διορθώνεται κυρίως με αποκοπή του αντίστοιχου τμήματος, με χύτευση παραπανίσιου υλικού ή με επαναθέρμανση του τμήματος της χελώνας που φέρει τον κρατήρα.
- Οι εγκλωβισμοί ξένων ουσιών. Οφείλονται στην συσσώρευση ακαθαρσιών στο τμήμα της χελώνας που στερεοποιείται τελευταίο και διορθώνεται σε μεγάλο ποσοστό με τη συνεχή χύτευση.
- Οι φυσαλίδες. Οφείλονται στην παρουσία αερίων τα οποία εγκλωβίζονται μέσα στο λιωμένο μέταλλο και παραμένουν λόγω της γρήγορης ψύξης. Διορθώνεται με την προσθήκη πυριτίου ή αλουμινίου στον κάδο χύτευσης σε ποσοστό 1%.
- Η ανομοιογένεια. Οφείλεται στη διαφορετική χημική σύνθεση των διαφόρων τμημάτων της χελώνας, λόγω του ότι το τμήμα που στερεοποιείται τελευταίο, περιέχει περισσότερο άνθρακα, πυρίτιο και φώσφορο από την περιφέρεια. Διορθώνεται με τη συνεχή χύτευση.
- Οι εσωτερικές κοιλότητες (κροκίδες). Οφείλονται στην παρουσία υδρογόνου που συγκεντρώνεται στο πάνω τμήμα της χελώνας. Παρατηρούνται συχνότερα στη χύτευση ειδικών χαλύβων με

αυξημένη περιεκτικότητα σε νικέλιο, μολυβδαίνιο και χρώμιο. Διορθώνονται με αργή ψύξη του λιωμένου χάλυβα.



Σχήμα 9. Ελαττώματα χελωνών του χάλυβα 1) Κρατήρας, 2) Κροκίδες (εγκλωβισμοί υδρογόνου), 3) Εγκλωβισμός ξένων ουσιών, 4) Φυσαλίδες, 5) Εγκλωβισμός ξένων ουσιών, 6) Αφαιρούμενο τμήμα

2.10 Φούρνος χυτηρίου

Η εγκατάσταση του φούρνου χυτηρίου μοιάζει με αυτή της υψικαμίνου και περιλαμβάνει ένα κάδο με σχήμα κόλουρου κώνου, του οποίου η βάση είναι κυλινδρική. Φέρει, συνήθως, εσωτερικά ουδέτερη επένδυση, για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όξινη και βασική λειτουργία. Οι συνήθεις διαστάσεις του είναι ύψος 23m και διάμετρος κάδου 1,10m περίπου. Είναι φούρνος δεύτερης τήξης και μπορούμε να παράγουμε ορισμένα είδη χυτοσίδηρου επακριβώς προσδιορισμένα.

Σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιούμε θρυμματισμένο φαιά χυτοσίδηρο, πρώτης τήξης που προέρχεται από την υψικάμινο, κωκ, συλλιπάσματα κλπ. Τα υλικά εισάγονται σε διαδοχικές στρώσεις και η καύση του μεταλλουργικού κωκ γίνεται με εμφύσηση θερμού αέρα, η οποία

πραγματοποιείται από τις σωληνώσεις που υπάρχουν στο κάτω τμήμα του κάδου. Η καύση του κωκ ανεβάζει τη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να λιώνουν τα υλικά που βρίσκονται μέσα στο φούρνο. Ο λιωμένος χυτοσίδηρος συγκεντρώνεται στο κάτω τμήμα του κάδου, περνάει από ένα διαχωριστήρα σκουριών και στη συνέχεια συγκεντρώνεται σε ένα κάδο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τη χύτευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΥΤΕΥΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

3.1 Γενικά

Με τον όρο χύτευση εννοούμε την παραγωγή κομματιών που γίνεται μέσα σε ειδικά καλούπια. Τα καλούπια αυτά περιέχουν το αποτύπωμα του κομματιού που θέλουμε να κατασκευάσουμε και γεμίζονται με λιωμένο μέταλλο. Με τη χύτευση μπορούμε να κατασκευάσουμε κομμάτια πολύπλοκης και ποικίλης μορφής, τα οποία δεν μπορούν να κατασκευαστούν με άλλη μέθοδο, όπως είναι τα σώματα κινητήρων, τα σώματα εργαλειομηχανών και άλλα.

Τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα μέταλλα ή κράματα, για την κατασκευή χυτών κομματιών, είναι ο φαιός χυτοσίδηρος, ο μαλακτοποιημένος λευκός χυτοσίδηρος, οι ειδικοί χυτοσίδηροι, ο μπρούντζος, ο ορείχαλκος, το μαγιασόρ, τα ελαφρά κράματα με βάση το αλουμίνιο, τα υπερελαφρά κράματα με βάση το μαγνήσιο και τα λευκά κράματα με βάση τον ψευδάργυρο, τον κασσίτερο, το αντιμόνιο και τον μόλυβδο. Τα παραπάνω υλικά παρουσιάζουν καλή ρευστότητα και χυτεύονται εύκολα, σε αντίθεση με το σίδηρο και το χαλκό, που είναι πολτώδη και γι' αυτό δε χυτεύονται.

3.2 Φαίος χυτοσίδηρος

Είναι το πιο χρησιμοποιούμενο μέταλλο στην κατασκευή χυτών κομματιών. Ονομάζεται συμβατικά συνήθης χυτοσίδηρος και περιέχει εκτός από το σίδηρο δεύτερης τήξης και άλλα στοιχεία, όπως C σε ποσοστό 2,5 έως 4,5%, Si από 0,5 έως 5%, Mn από 0,3 έως 1,5%, P από 0 έως 2% και S από 0 έως 0,15%. Το ειδικό βάρος του είναι 7,2 και έχει σημείο τήξης στους 1200 με 1300°C. Είναι υλικό σύνθετο και ετερογενές και αποτελείται από διάσπαρτες, μέσα στη μάζα του, στρώσεις γραφίτη (σχ. 1). Οι στρώσεις αυτές δημιουργούνται τη στιγμή της στερεοποίησης, σχηματίζοντας μια δομή που είναι αδύνατον να εξαλειφθεί ή να αλλάξει με μεταγενέστερη θερμική κατεργασία. Παρουσιάζει σχετικά εύκολη κατεργασία και χρησιμοποιείται ευρύτητα στις διάφορες κατασκευές, όπως είναι βάσεις μηχανημάτων, σώματα μηχανών εσωτερικής καύσης, βάσεις εργαλειομηχανών κλπ. Παρασκευάζεται στο φούρνο χυτηρίου. Μετά τη χύτευσή τους τα χυτά από χυτοσίδηρο πρέπει να ψύχονται αργά, για να αποφεύγεται η δημιουργία εσωτερικών τάσεων. Γενικά δεν υποβάλλονται σε θερμικές κατεργασίες, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις που μπορούν να υποβληθούν σε ανόπτηση, βαφή και εναζώτωση.

- Ήπια ανόπτηση. Αυτή η ανόπτηση διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό, την κατεργασία που γίνεται με αφαίρεση υλικού, μειώνοντας όμως παράλληλα τα μηχανικά χαρακτηριστικά, επειδή αλλάζει τη δομή του. Εφαρμόζεται μόνο σε χυτοσιδήρους συνήθων κατασκευών και όχι σε χυτοσιδήρους υψηλών απαιτήσεων.

- Αποτακική ανόπτηση. Αυτή η ανόπτηση πραγματοποιείται σε εξαρτήματα, από τα οποία μετά την κατεργασία, απαιτείται τέλεια σταθερότητα διαστάσεων και έχει σαν σκοπό την αποβολή των εσωτερικών τάσεων.
- Βαφή. Η βαφή γίνεται στο νερό, στο λάδι ή σε λουτρό αλάτων, ανάλογα με την περίπτωση, για να αυξήσουμε την αντοχή στη φθορά.
- Επιφανειακή βαφή. Η βαφή αυτή γίνεται στις περιπτώσεις που απαιτείται μια τοπική επιφανειακή σκληρότητα. Πραγματοποιείται θερμαίνοντας με επαγωγή και μετά την κατεργασία των κομματιών. Για να υποστούν βαφή οι χυτοσίδηροι, πρέπει να περιέχουν γενικά περισσότερο από 0,5% άνθρακα στα επιφανειακά στρώματα και σε μικρές ποσότητες ειδικά στοιχεία, όπως νικέλιο, χρώμιο και μολυβδαίνιο.
- Εναζώτωση. Η εναζώτωση είναι η μόνη μέθοδος επιφανειακής σκλήρυνσης με χημική επεξεργασία. Για να υποστούν εναζώτωση οι χυτοσίδηροι, πρέπει να περιέχουν Cr και Al, στοιχεία που ευνοούν την σκλήρυνση με άζωτο. Η τεχνική της εναζώτωσης των χυτοσιδήρων είναι όμοια με αυτή του χάλυβα, με την προϋπόθεση να έχουν λεπτόκοκκη δομή ή ο περιεχόμενος γραφίτης να βρίσκεται σε μορφή λεπτών κόκκων. Η εναζώτωση εφαρμόζεται κυρίως στα εμβολοχιτώνια, των οποίων η μέση σύνθεση είναι C 2,5 έως 2,75%, Si 2,5 έως 2,7%, Mn 0,5% περίπου, Cr 1,4 έως 1,6% και Al 0,7 έως 1% και γίνεται μετά τη μηχανική κατεργασία τους.

Το πάχος του εναζωτωμένου στρώματος κυμαίνεται από 0,2 έως 0,9 mm και η σκληρότητά τους ποικίλλει από 850 έως 900 Vickers.

3.3 Μαλακτος χυτοσίδηρος

Αυτός ο χυτοσίδηρος υπόκειται μετά τη χύτευσή του σε μια θερμική κατεργασία που λέγεται μαλακτοποίηση. Παρασκευάζεται από λευκό χυτοσίδηρο πρώτης τήξης, στον οποίο προσθέτουμε, κατά την τήξη του στο φούρνο χυτηρίου, αποκόμματα χαλύβων και μαλακτοποιημένων χυτοσιδήρων. Για να αποκτήσει μηχανικά χαρακτηριστική αντίστοιχα προς αυτά του χυτοχάλυβα (ανθεκτικότητα, κατεργαστικότητα κλπ.) τον υποβάλλουμε σε μια θερμική κατεργασία ανόπτησης, η οποία ανάλογα με την ατμόσφαιρα στην οποία θα πραγματοποιηθεί, του προσδίδει λευκή ή μαύρη επιφάνεια θραύσης. Έτσι, αν η ατμόσφαιρα κατά την ανόπτηση είναι ουδέτερη, παρασκευάζεται χυτοσίδηρος με μαύρη επιφάνεια θραύσης, ενώ αν είναι οξειδωτική, λόγω της απανθράκωσης, παρασκευάζεται χυτοσίδηρος με λευκή επιφάνεια θραύσης.

Ο χυτοσίδηρος με μαύρη επιφάνεια παρουσιάζει ομοιογενή δομή σε όλη τη μάζα του, ανεξάρτητη από το πάχος, μπορεί να υποστεί επιφανειακή σκλήρυνση με βαφή, καθώς και διάφορες επεξεργασίες προστασίας. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή χυτών εξαρτημάτων αυτοκινήτων και σιδηροδρόμων, αγροτικών μηχανημάτων, κουτιών διακλαδώσεων ρεύματος Υ.Τ. κλπ. Ο χυτοσίδηρος με λευκή επιφάνεια παρουσιάζει ετερογενή δομή (απουσία άνθρακα στις επιφάνειες και στα λεπτά τμήματα), μπορεί να υποστεί επιφανειακή βαφή, αλλά με προηγούμενη ενανθράκωση, καθώς και διάφορες επεξεργασίες προστασίας. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή εξαρτημάτων σωληνώσεων, ποδηλάτων και μοτοποδηλάτων, ειδών κιγκαλερίας και εξαρτημάτων υφαντουργίας.

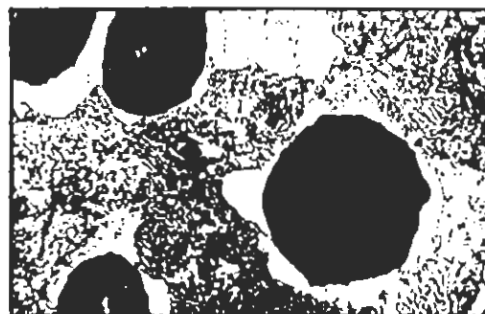
3.4 Ειδικοί χυτοσίδηροι

Οι ειδικοί χυτοσίδηροι είναι κοινοί χυτοσίδηροι, στους οποίους προσθέτουμε διάφορα στοιχεία (πρόσθετα), με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Η επίδραση των πρόσθετων στην κρυσταλλική δομή και στις ιδιότητες των χυτοσιδήρων είναι, τις περισσότερες φορές, ίδια με αυτή των χαλύβων. Τα κυριότερα πρόσθετα στοιχεία είναι το νικέλιο, το χρώμιο, το πυρίτιο, το μαγγάνιο και το μολυβδαίνιο. Έτσι έχουμε:

- Χυτοσιδήρους νικελίου. Το νικέλιο μειώνει τα φαινόμενα της διάβρωσης και αυξάνει τη σκληρότητα μέχρι 300 Brinell. Οι νικελιούχοι χυτοσίδηροι χυτεύονται εύκολα, παρουσιάζουν υψηλή ανθεκτικότητα στη φθορά και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εξαρτημάτων μηχανών και στην κατασκευή καλουπιών χυτηρίου.
- Χυτοσιδήρους χρωμίου. Το χρώμιο αυξάνει τη σκληρότητα και την αντοχή στην τριβή. Οι χυτοσίδηροι αυτοί χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κυλίνδρων και εμβόλων μηχανών αυτοκινήτων και αεροπλάνων, στην κατασκευή ελατηρίων εμβόλων, γραναζιών κλπ.
- Χυτοσιδήρους μολυβδαινίου. Το μολυβδαίνιο αυξάνει τη σκληρότητα των χυτοσιδήρων και καθιστά πιο ομοιογενή την κρυσταλλική δομή τους. Οι χυτοσίδηροι αυτοί χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία αυτοκινήτων και στην αεροναυπηγική, λόγω της μεγάλης ομοιογένειας που παρουσιάζουν.
- Χυτοσιδήρους πυριτίου. Το πυρίτιο βελτιώνει τη χύτευση και προσδίδει εξαιρετική κατεργαστικότητα αυξάνοντας συγχρόνως την

αντοχή σε μεγάλο βαθμό στα θειούχα ή νιτρικά οξέα και στα απορρυπαντικά. Οι χυτοσίδηροι αυτοί χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις χημικές βιομηχανίες.

- Χυτοσιδήρους μαγγανίου. Το μαγγάνιο αυξάνει τη σκληρότητα και μειώνει την κατεργαστικότητα. Οι χυτοσίδηροι αυτοί χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σωλήνων για εκτόξευση άμμου (αμμοβολή), υνιών αρότρων, σφαιρών αρθρώσεων σύνδεσης κλπ. Ακόμα χρησιμοποιούνται στην παρασκευή σιδήρων και χαλύβων.
- Χυτοσιδήρους με σφαιροειδή γραφίτη. Οι χυτοσίδηροι με λαμοειδή γραφίτη παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή, λόγω της διακοπής της συνέχειας από τις στρώσεις γραφίτη και δεν προσφέρεται για κατασκευές απαιτήσεων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούμε χυτοσιδήρους σφαιροειδούς γραφίτη (σχ. 2), στους οποίους ο γραφίτης παίρνει τη μορφή μικρών κανονικών σφαιρών. Η μετατροπή του γραφίτη από λαμοειδή σε σφαιροειδή μορφή, βελτιώνει αισθητά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των γνωστών χυτοσιδήρων και αυξάνει την αντοχή τους σε εφελκυσμό μέχρι 700 N/mm^2 . Οι χυτοσίδηροι αυτοί λαμβάνονται κατά κανόνα με προσθήκη μαγνησίου και χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στην κατασκευή σύνθετων κομματιών λεπτού πάχους και μεγάλης ανθεκτικότητας, όπως κεφαλές κυλίνδρων μηχανών εσωτερικής καύσης, τροχαλίες, τύμπανα ανυψωτικών μηχανημάτων κλπ.



Σχήμα 1 Χυτοσίδηρος με λαμοειδή γραφίτη Σχήμα 2 Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη

3.5 Χυτοχάλυβας

Χυτοχάλυβες ονομάζονται τα προϊόντα του σφυρήλατου σιδήρου και του χάλυβα των οποίων η μορφή παίρνεται αποκλειστικά με χύτευση και στερεοποίηση του ρευστού χάλυβα μέσα σε καλούπια από πυρίμαχη άμμο. Τα χυτά από χυτοχάλυβα, αφού καθαριστούν από την προσκολλημένη άμμο, τα υποβάλλουμε μόνο σε θερμική κατεργασία, συχνά τοπική, για να τους δώσουμε τα απαραίτητα μηχανικά χαρακτηριστικά, ανάλογα με τη μελλοντική τους χρήση.

Ο χυτοχάλυβας είναι πολύ παχύρρεστος και γι' αυτό δύσχυτος σε αντίθεση προς το χυτοσίδηρο, του οποίου η εξαιρετική ρευστότητα επιτρέπει τη χύτευση λεπτών και μικρών κομματιών. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην ποσότητα του περιεχόμενου άνθρακα, η οποία είναι 3 έως 4% στο χυτοσίδηρο και μόνο 0,2 έως 0,4% στο χυτοχάλυβα. Τα μικρά κομμάτια από χυτοχάλυβα δεν μπορούν να έχουν πάχος μικρότερο από 5 mm, ενώ αντίθετα μπορούν να κατασκευαστούν κομμάτια βάρους μέχρι και 100 tn. Ο χάλυβας κατά τη στερεοποίησή του μέσα στο καλούπι παρουσιάζει μια μεγάλη τάση δημιουργίας σχισμάτων και

χαρακτηρίζεται από υψηλή συστολή. Αυτοί οι δύο παράγοντες, καθώς και η γραμμική συστολή που φθάνει το 0,2%, δυσχεραίνουν την κατασκευή χυτών κομματιών από χυτοχάλυβα. Για να αποφύγουμε αυτά τα μειονεκτήματα, προβλέπουμε, κατά την κατασκευή του καλουπιού, ένα μεγάλο αριθμό «ξεθυμασμάτων».

Μετά τη χύτευση, η δομή των κομματιών που είναι λιγότερο ή περισσότερο κρυσταλλική και λέγεται δομή ακατέργαστου χάλυβα, πρέπει να μετασχηματιστεί σε δομή με όσο το δυνατόν μικρότερους κόκκους, για να έχουμε την απαιτούμενη, από την τελική χύτευση, συνεκτικότητα. Αυτός ο μετασχηματισμός πραγματοποιείται αποκλειστικά με ανόπτηση και γίνεται με θέρμανση των κομματιών σε μια θερμοκρασία 900 έως 1000 °C και απόψυξη μέσα στο φούρνο. Είναι πολύ σημαντικό, λόγω της σχετικής δυσκολίας που παρουσιάζει ο χυτοχάλυβας στην κατεργασία του, να πάρουμε εξαρχής όλες τις κατάλληλες προϋποθέσεις, ώστε να έχουμε μια άψογη κατασκευή. Ο φούρνος τήξης, σ' αυτήν την περίπτωση, παίζει ένα πρωταρχικό ρόλο και γι' αυτό το λόγο προσφέρεται περισσότερο ο φούρνος ηλεκτρικού τόξου.

3.6 Ελαφρά κράματα (κράματα αλουμινίου)

Η μηχανουργική τέχνη έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην κατασκευή μηχανών και μεταφορικών μέσων, των οποίων το κύριο χαρακτηριστικό πρέπει να είναι η ελαφρότητα. Η προϋπόθεση αυτή, δηλαδή η ελαφρότητα των κατασκευών καλύπτεται με την κατασκευή και χρησιμοποίηση κομματιών από ελαφρά κράματα. Τα κράματα αλουμινίου, λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών που

διαθέτουν, προσφέρονται περισσότερο για την κατασκευή τέτοιων κομματιών. Τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εξαρτημάτων στην αεροναυπηγική, στις βιομηχανίες τροφίμων, στις μηχανουργικές κατασκευές, στην αρχιτεκτονική, στην οικοδομική κλπ.

Γενικά, τα κράματα αυτά, εκτός από αλουμίνιο περιέχουν και άλλα στοιχεία, όπως πυρίτιο, μαγγάνιο, χαλκό κ.ά., σε ποσοστό ανάλογο με τις ιδιότητες που πρέπει να έχουν στην κατασκευή για την οποία προορίζονται. Μερικά υπόκεινται σε θερμικές κατεργασίες όπως είναι η ανόπτηση, η βαφή, η ωρίμανση κλπ. Με αυτές τις θερμικές κατεργασίες πετυχαίνουμε μια αντοχή σε εφελκυσμό, ίση με 220 έως 300 N/mm². Αντίθετα, άλλα δεν υπόκεινται σε θερμικές κατεργασίες και έχουν μειωμένη αντοχή στον εφελκυσμό, που κυμαίνεται από 140 έως 200 N/mm².

Τα κράματα αυτά χυτεύονται σε καλούπια από άμμο, σε οποιοδήποτε σχήμα και μορφή. Για μεγάλες ή μεσαίες σειρές ίδιων κομματιών χυτεύονται σε διαιρούμενα κογχυλοειδή μεταλλικά καλούπια. Τα κομμάτια που χυτεύονται σε κογχυλοειδή καλούπια έχουν γενικά καλύτερη εμφάνιση, μεγαλύτερη ακρίβεια στις διαστάσεις τους και πιο βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά.

3.7 Κράματα χαλκού

Η χύτευση των μπρούντζινων ή ορειχάλκινων κομματιών πραγματοποιείται με τις ίδιες μεθόδους που γίνεται και η χύτευση των χυτοσιδηρών κομματιών. Οι μπρούντζοι που χυτεύονται με φυγοκεντρική χύτευση σε χαλύβδινα κογχυλοειδή καλούπια

παρουσιάζουν πιο λεπτή και συμπαγή δομή από αυτούς που χυτεύονται στην άμμο.

Οι μπρούντζοι που περιέχουν εκτός από το χαλκό και τον κασσίτερο και ψευδάργυρο, μόλυβδο και αλουμίνιο, χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κουζινέτων, δακτυλιδιών, τροχαλιών, εξαρτημάτων στροβίλων, γλυστρών, συνδέσμων, εξαρτημάτων τριβής, ατέρμονων κοχλιών, φτερωτών, εξαρτημάτων διαφόρων μηχανών κλπ. Οι ορείχαλκοι χρησιμοποιούνται στην κρουνοποιία, στην κατασκευή συλλεκτών, καλύκων, στην κατασκευή κομματιών κοσμηματοποιίας κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

4.1 Γενικά

Η συνεχής χύτευση μετάλλων είναι γενικά η πιο συχνή και παραδεκτή μέθοδος για την παραγωγή ράβδων και πλακών. Ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής χρησιμοποιεί συνεχή χύτευση.

Η συνεχή χύτευση πραγματοποιείται με μια μηχανή η οποία περιλαμβάνει: ένα δοχείο με λειωμένο μέταλλο τον οποίον η στάθμη παραμένει σταθερή, ένα καλούπι για να στερεοποιεί και να μορφοποιεί το λειωμένο μέταλλο, μια ομάδα από κυλινδρικούς οδηγούς και μια ομάδα από κυλίνδρους οι οποίοι χρησιμεύουν για να μετακινούν το μορφοποιημένο μέταλλο απ' την μηχανή χύτευσης με μια ελεγχόμενη ταχύτητα. Οι ράβδοι ή οι πλάκες οι οποίες έχουν σχηματιστεί κόβονται στην συνέχεια στα επιθυμητά μήκη και κρυώνουν για να αποθηκευτούν ή μπορούν ακόμα και να περάσουν από έλαστρα για να αποκτήσουν τις επιθυμητές διαστάσεις.

Οι μηχανές συνεχούς χύτευσης χωρίζονται γενικά σε τρεις κατηγορίες:

α) Μηχανές καθέτου συνεχούς χύτευσης. Το λειωμένο μέταλλο απ' το δοχείο εισάγεται διά μέσου ενός ακροφυσίου, το οποίο είναι τοποθετημένο στην βάση του δοχείου, μέσα στο καλούπι. Το καλούπι είναι κατασκευασμένο από υλικό με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και

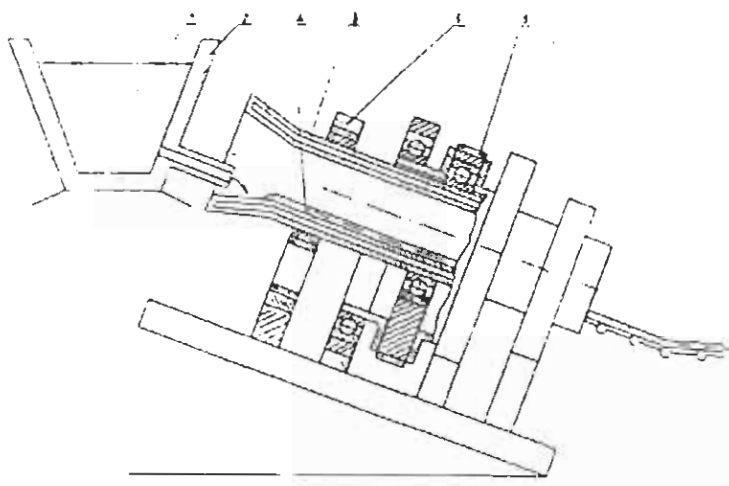
ψύχεται εξωτερικά με παροχή νερού υψηλής καθαρότητας. Το λειωμένο μέταλλο έρχεται σε επαφή με την εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού και κρυώνει ταχέως. Έτσι έχουμε σχηματισμό ενός στερεού φλοιού στα εξωτερικά όρια του χυτού όπου γίνεται η επαφή με το καλούπι. Το πάχος του φλοιού αυτού αυξάνεται σταδιακά καθώς το μορφοποιημένο μέταλλο κινείται μέσα στο καλούπι και τελικά απομένει ένας μικρός πυρήνας στο κέντρο από μέταλλο το οποίο βρίσκεται ακόμα στην υγρή φάση. Στην έξοδο του καλουπιού υπάρχουν οδηγία κύλιτρα και κύλιτρα με ελεγχόμενη ταχύτητα ενώ επίσης το μέταλλο συνεχίζει να ψύχεται με ψεκασμό νερού από μια ομάδα ακροφυσίων. Λόγω του ότι το στερεοποιούμενο μέταλλο έχει την τάση να κολλάει με την επιφάνεια του καλουπιού, το καλούπι τίθεται σε μια ταλαντωτική κίνηση με διάφορα εύροι και συχνότητες κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης του χυτού. Οι μηχανές καθέτου συνεχούς χύτευσης λειτουργούν συνήθως σε ταχύτητες χύτευσης περίπου 2,5 m/min και πάχη μεγαλύτερα από 150 mm. Μεγαλύτερες ταχύτητες δεν μπορούν να επιτευχθούν γιατί θα χρειαζόνταν αρκετά μεγάλο μήκος καλουπιού και ο πυρήνας που βρίσκεται ακόμα στην υγρή φάση όντας έτσι μεγάλου μήκους αυξάνει η πίεση λόγω της βαρύτητας και μπορεί να έχουμε ρήξη του στερεοποιημένου φλοιού. Αυτές οι ταχύτητες όμως είναι χαμηλές για να μπορέσει το μορφοποιημένο μέταλλο να οδηγηθεί κατ' ευθείαν σε έλαστρα και να λάβει μικρότερες διαστάσεις. Γι' αυτό το μέταλλο πρέπει να κρυώσει, να αποθηκευτεί και αργότερα να αναθερμανθεί και να οδηγηθεί στα έλαστρα με μεγαλύτερες ταχύτητες. Αυτή η διαδικασία απαιτεί μεγάλη ενεργειακή δαπάνη και πολλά περάσματα δια μέσου των ελάστρων για την μείωση των διαστάσεων.

β) Μηχανές οριζόντιας συνεχούς χύτευσης. Εδώ το καλούπι είναι σταθερά συνδεδεμένο με το δοχείο του λειωμένου μετάλλου. Επειδή δεν είναι πρακτικά εφικτό να ταλαντώνεται και το καλούπι και το δοχείο του μετάλλου τα κύλιστρα τα οποία χρησιμεύουν για την κίνηση του μετάλλου έχουν μια διαλείπουσα περιστροφική κίνηση που έχει σαν αποτέλεσμα μια ταλαντωτική κίνηση κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης του χυτού. Εδώ δεν μπορούν να επιτευχθούν μεγάλες ταχύτητες γιατί χρειάζεται καλούπι μεγάλου μήκους με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τριβή και να έχουμε ρωγμές στον στερεοποιημένο φλοιό. Επίσης το ξεκίνημα της διαδικασίας γίνεται αρκετά δύσκολα γιατί το χυτό είναι συχνά "παγωμένο" στο καλούπι. Οι μηχανές οριζόντιας χύτευσης μπορούν να δημιουργήσουν διατομές με αρκετά μικρότερες διαστάσεις απ' ό τι οι μηχανές κάθετης χύτευσης.

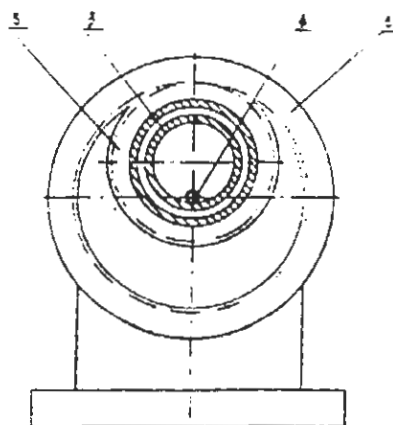
γ) Μηχανές αιωρούμενης χύτευσης. Πρόκειται για μηχανές καθέτου χύτευσης με το καλούπι σταθερά συνδεδεμένο με το δοχείο λειωμένου μετάλλου. Το λειωμένο μέταλλο ωθείται μέσα στο καλούπι από κάτω προς τα πάνω σε αντίθετη κατεύθυνση απ' την επιτάχυνση της βαρύτητας. Ένα ηλεκτρομαγνητικό τύλιγμα είναι τοποθετημένο γύρω απ' το καλούπι και με την ανοδική κίνηση του χυτού δημιουργείται μια δύναμη με φορά προς τα πάνω η οποία εξισορροπεί το βάρος του χυτού και μια ακτινική δύναμη η οποία δημιουργεί ένα κενό ανάμεσα στο καλούπι και στο χυτό προστατεύοντας την επιφάνεια του καλουπιού από την υπερθέρμανση. Η μέθοδος αυτή δεν είναι ακόμα καλά κατανοητή.

Η τεχνική της μεθόδου την οποία διαπραγματεύεται αυτή η εργασία περιγράφεται παρακάτω. Το λειωμένο μέταλλο (1) (σχήμα 1) μέσα στο

δοχείο (2) ρέει μέσα στο καλούπι (3) το οποίο είναι ένας κύλινδρος ο οποίος εκτελεί μια πλανητική κίνηση (η κίνηση αυτή φαίνεται καλύτερα στο σχήμα 2).



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Καθώς ο κύλινδρος εκτελεί αυτήν την κίνηση δημιουργείται μια ράβδος μετάλλου (4) με κυκλική διατομή η οποία κινείται κατά μήκος του κεντρικού άξονα της πλανητικής κίνησης ενώ η επαφή του λειωμένου μετάλλου με το καλούπι δεν είναι συνεχής. Η ταχύτητα περιστροφής του καλουπιού πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε η

ράβδος του μετάλλου που σχηματίζεται να κινείται όσο είναι δυνατόν κατά μήκος του άξονα περιστροφής και να μην έχουμε έτσι μεγάλη πτώση λόγω της βαρύτητας. Εξωτερικά του καλουπιού είναι προσαρμοσμένο ένα γρανάζι (5) το οποίο δίνει κίνηση στο καλούπι. Επίσης για να εξασφαλίζεται η περιστροφική κίνηση του καλουπιού υπάρχει ένα ζεύγος γραναζιών (6). Αυτή είναι σε γενικές γραμμές η τεχνική της μεθόδου με την οποία θα ασχοληθούμε. Βέβαια όλες οι λεπτομέρειες της μηχανής φαίνονται στα αντίστοιχα κατασκευαστικά σχέδια. Το καλούπι μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε επιθυμητή κλίση αναφορικά με την οριζόντια θέση. Το μήκος του καλουπιού μπορεί να είναι οσοδήποτε μακρύ (βέβαια μέσα στα λογικά πλαίσια) χωρίς η πίεση του λειωμένου μετάλλου να ξεπερνάει την αντοχή του στερεού φλοιού που σχηματίζεται. Οι ταχύτητες χύτευσης που μπορούμε να πετύχουμε έτσι είναι αρκετά μεγάλες (7 - 10 m/min). Επίσης μπορούν να σχηματιστούν διατομές με πολύ μικρές διαστάσεις (της τάξης των 10 mm).

4.2 Γενική περιγραφή της μηχανής

Εδώ θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή της μηχανής και θα μιλήσουμε για τα βασικά εξαρτήματά της. Η μηχανή φαίνεται στο συναρμολογημένο σχέδιο που παρατίθεται στο τέλος. Τα βασικά εξαρτήματα της μηχανής είναι:

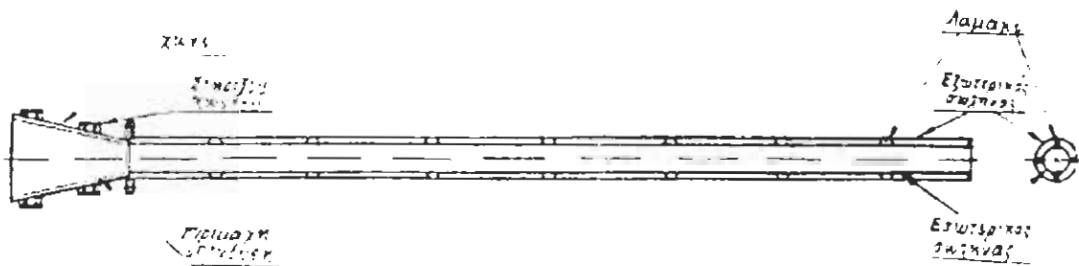
Το καλούπι (1) το οποίο έχει μήκος 2 m και αποτελείται βασικά από δύο σωλήνες οι οποίοι συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους. Στα αριστερά του σωλήνα είναι συνδεδεμένο ένα χωνί (5) το οποίο χρησιμεύει για την

εύκολη εισροή του ρευστού μετάλλου μέσα στο καλούπι. Ο δακτύλιος (17) ο οποίος είναι κατάλληλα προσαρμοσμένος πάνω στο καλούπι, χρησιμεύει για την εισροή του ψυκτικού νερού στο διάκενο που σχηματίζεται ανάμεσα στους δύο σωλήνες του καλουπιού ενώ ένας ίδιος δακτύλιος χρησιμεύει για την έξοδο του νερού απ' το καλούπι. Η ροή του νερού, θα εξασφαλίζεται με κάποια αντλία. Πάνω στο καλούπι είναι προσαρμοσμένοι δύο κυλινδρικοί οδοντωτοί τροχοί (γρανάζια) με ευθεία οδόντωση (3) (έχουμε δύο γρανάζια για συμμετρία) οι οποίοι συνεργάζονται με δύο αντίστοιχα γρανάζια με εσωτερική οδόντωση (4). Τα γρανάζια αυτά χρησιμεύουν ώστε να εξασφαλίζεται η πλανητική κίνηση του καλουπιού που είναι απαραίτητη για το σχηματισμό της κυλινδρικής ράβδου. Επίσης στα γρανάζια με εξωτερική οδόντωση υπάρχουν ειδικές προεξοχές οι οποίες χρησιμεύουν για να μην παίρνουν φορτίο τα δόντια (λόγω της φυγοκέντρου δύναμης που αναπτύσσεται) γιατί έτσι μπλοκάρουν μεταξύ τους. Επίσης υπάρχουν 6 μεγάλοι δακτύλιοι οι οποίοι χρησιμεύουν για την παραλαβή της φυγοκέντρου δύναμης που αναπτύσσεται λόγω της περιστροφής του καλουπιού. Η κίνηση στο καλούπι δίνεται μέσω του κινητήριου οδοντωτού τροχού (2). Ο οδοντωτός τροχός θα παίρνει κίνηση από κάποιον ηλεκτροκινητήρα. Για να μπορέσει να εξασφαλιστεί η πλανητική κίνηση του καλουπιού πρέπει να παρεμβληθεί ανάμεσα στο γρανάζι και το καλούπι ένα ρουλεμάν (10) το οποίο είναι έκκεντρα τοποθετημένο ως προς το γεωμετρικό άξονα του γραναζιού. Το κινητήριο γρανάζι στηρίζεται, μέσω των κοίλων αξόνων (20), στα έδρανα (8) τα οποία έχουν ρουλεμάν. Όλη η μηχανή εδράζεται πάνω σε μια μεγάλη πλάκα η οποία χρησιμεύει για να παίρνει η μηχανή διάφορες κλίσεις. Η πλάκα αυτή θα στηρίζεται απ' την μια πλευρά με δύο

αρθρώσεις και απ' την άλλη πλευρά με δύο ράβδους οι οποίες θα διαθέτουν ένα ορισμένο αριθμό οπών. Μέσα στις οπές αυτές θα μπαίνουν ειδικές προεξοχές οι οποίες είναι θα είναι συγκολλημένες πάνω στην πλάκα. Έτσι αναλόγως σε ποιες οπές θα τοποθετήσουμε τις προεξοχές θα δίνουμε και διαφορετική κλίση στη μηχανή.

4.3 Υπολογισμός καλουπιού

Τις βασικές διαστάσεις του καλουπιού τις έχουμε ήδη υπολογίσει πιο πάνω. Το καλούπι θα κατασκευαστεί από δύο σωλήνες ο ένας μικρότερης και ο άλλος μεγαλύτερης διαμέτρου και ο ένας θα μπαίνει μέσα στον άλλον (σχήμα 3). Έτσι ανάμεσά τους θα υπάρχει κάποιο διάκενο απ' το οποίο θα διέρχεται το ψυκτικό νερό.



Σχήμα 3. Σχέδιο τον καλουπιού

Οι σωλήνες στο δεξιό άκρο θα είναι ενωμένοι σταθερά με ένα κυκλικό λαμάκι το οποίο θα μπαίνει ανάμεσα στους σωλήνες και θα συγκολλείται πάνω σ' αυτούς. Στο αριστερό άκρο όμως οι σωλήνες δεν είναι συγκολλημένοι. Για να υπάρχει όμως σταθερή σύνδεση ανάμεσα στους δύο σωλήνες κατά την εγκάρσια διεύθυνση έχουν τοποθετηθεί ανάμεσά τους καθ' όλο το μήκος τους επτά στηρίξεις που αποτελούνται από

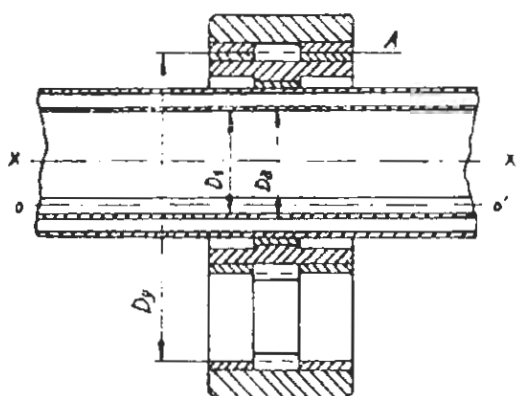
λαμάκια όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Κάθε στήριξη, αποτελείται από τέσσερα λαμάκια τα οποία είναι ακτινικά συγκολλημένα στην επιφάνεια του εσωτερικού σωλήνα. Βάλαμε μόνο τέσσερα λαμάκια σε κάθε στήριξη και τα τοποθετήσαμε κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην εμποδίζεται σοβαρά η ροή του νερού ανάμεσα στους σωλήνες. Τα λαμάκια είναι συγκολλημένα μόνο στο εσωτερικό σωλήνα και όχι στον εξωτερικό (εξ' άλλου η συγκόλληση στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού σωλήνα είναι αρκετά δύσκολη) έτσι ώστε να υπάρχει ελευθερία στη γραμμική διαστολή του εσωτερικού σωλήνα λόγω της θερμοκρασίας. Επειδή η θερμοκρασία του εσωτερικού σωλήνα είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' την θερμοκρασία του εξωτερικού σωλήνα τότε η γραμμική διαστολή του εσωτερικού σωλήνα θα είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' αυτήν του εξωτερικού και αν τα λαμάκια ήταν συγκολλημένα και στους δύο σωλήνες τότε θα είχαμε στρέβλωση των σωλήνων.

Επίσης στο αριστερό άκρο του σωλήνα είναι συγκολλημένο ένα χωνί έτσι ώστε να δίνει μεγαλύτερο χώρο εισροής στο λειωμένο μέταλλο που εισέρχεται μέσα στο καλούπι με τη βοήθεια της βαρύτητας (το λειωμένο μέταλλο θα εισρέει μέσα στο χωνί με τη βοήθεια της βαρύτητας και όχι με άλλο τρόπο γιατί είναι ο πιο εύκολος). Επειδή είναι κάπως δύσκολο να ψύξουμε το χωνί με νερό θα επενδύσουμε την εσωτερική επιφάνεια του χωνιού με πυρίμαχο υλικό για προστασία του χωνιού από υπερθέρμανση. Λόγω της κίνησης του καλουπιού αναπτύσσεται μια φυγόκεντρη δύναμη η οποία είναι και η βασική δύναμη που καταπονεί τα εξαρτήματα της μηχανής μας. Αυτή τη δύναμη θα υπολογίσουμε τώρα.

Όταν μια μάζα m εκτελεί περιστροφική κίνηση με ακτίνα r και με γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από ένα κέντρο περιστροφής τότε η φυγόκεντρος δύναμη που αναπτύσσεται πάνω στη μάζα δίνεται απ' τη σχέση:

$$F_{\text{φυγ}} = m \omega^2 r \quad (4.1)$$

Στο πρόβλημά μας η φυγόκεντρος δύναμη είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλο το μήκος του καλουπιού. Βέβαια σε ορισμένα σημεία του καλουπιού όπου είναι τοποθετημένα τα γρανάζια ή διάφοροι δακτύλιοι (τα οποία μπορούμε να τα θεωρήσουμε σαν σημειακές μάζες) αναπτύσσονται επιπρόσθετες τοπικές φυγόκεντρες δυνάμεις. Επίσης η φυγόκεντρη δύναμη στο χωνί δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη λόγω του ότι δεν έχει σταθερή διάμετρο σε όλο το μήκος του. Προς το παρόν όμως θα ασχοληθούμε με τη φυγόκεντρη δύναμη που αναπτύσσεται απ' τους δύο σωλήνες που αποτελούν το καλούπι. Θεωρούμε ότι η μάζα του καλουπιού είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στον άξονα xx' του καλουπιού (σχήμα 4).



Σχήμα 4

Η μάζα αυτή περιστρέφεται ως προς τον άξονα oo' ο οποίος είναι και κεντροβαρικός άξονας της χυτευόμενης ράβδου. Η μάζα όμως αυτή εκτελεί ταυτόχρονα και μια άλλη κίνηση. Περιστρέφεται ως προς ένα στιγμιαίο κέντρο περιστροφής το οποίο κάθε φορά αλλάζει αλλά βρίσκεται συνέχεια πάνω στο μοντουλικό κύκλο του γραναζιού με εσωτερική οδόντωση. Στο σχήμα 4 το σημείο αυτό είναι το σημείο Α. Πρέπει λοιπόν να λάβουμε υπ' όψιν τις δύο αυτές κινήσεις και να κατασκευάσουμε ένα ισοδύναμο πρόβλημα όπου θα έχουμε μόνο μια απλή περιστροφή γύρω απ' τον άξονα oo' . Με άλλα λόγια θα βρούμε την ανηγμένη μάζα $M_{\gamma\mu}$ του συστήματος πάνω στον άξονα xx' .

Αν η μάζα των σωλήνων ανά μέτρο μήκους είναι M , η ροπή αδράνειας των σωλήνων ως προς τον κεντροβαρικό τους άξονα xx' είναι J και η γραμμική ταχύτητα του άξονα xx' είναι u τότε έχουμε:

$$\frac{1}{2} M_{\gamma\mu} \cdot u^2 = \frac{1}{2} (J \cdot w^2 + M \cdot u^2) \Rightarrow M_{\gamma\mu} = M + J \frac{w^2}{u^2} \quad (4.2)$$

Είναι όμως

$$u = w \frac{Dg}{2} \quad (4.3)$$

όπου Dg είναι η διάμετρος του μοντουλικού κύκλου του γραναζιού με εξωτερική οδόντωση.

Έτσι απ' τις σχέσεις 4.2 και 4.3 παίρνουμε:

$$M_{\gamma\mu} = M + J \frac{4}{Dg^2} \quad (4.4)$$

Η ροπή αδράνειας του εσωτερικού σωλήνα δίνεται απ' τη σχέση

$$J = \frac{M}{8} \quad (4.5)$$

όπου: D_i εσωτερική διάμετρος του σωλήνα

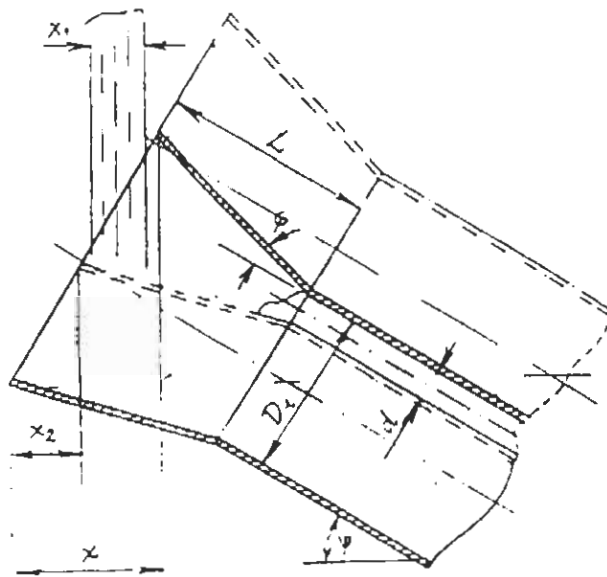
D_a εξωτερική διάμετρος του σωλήνα

Έτσι αφού βρήκαμε την ανηγμένη μάζα $M_{γμ}$ ανά μονάδα μήκους μπορούμε να αντικαταστήσουμε στη σχέση 4.1 και να βρούμε την αντίστοιχη φυγόκεντρο δύναμη.

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τις διαστάσεις που πρέπει να έχει το χωνί. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 5 το χωνί παίρνει διάφορες θέσεις. Σε όλες αυτές τις θέσεις το πλάτος εισροής x πρέπει να είναι τέτοιο ώστε το λιωμένο μέταλλο να χάνεται με ασφάλεια μέσα στο χωνί και κατόπιν στο καλούπι χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να χυθεί έξω. Για να βρούμε τη θέση όπου θα πέφτει η δέσμη του λιωμένου μετάλλου θα μελετήσουμε τη θέση που έχει το χωνί όταν το καλούπι βρίσκεται στην κατώτερη θέση του όταν εκτελεί την πλανητική κίνησή του. Αν παίρναμε υπ' όψιν την ανώτερη θέση (διακεκομμένες γραμμές) τότε υπάρχει κίνδυνος όταν το καλούπι έρθει στην κατώτερη θέση το λιωμένο μέταλλο να χυθεί στην εξωτερική επιφάνεια του χωνιού.

Η διάσταση x δίνεται απ' τη σχέση:

$$x = \frac{l}{\cos \phi} [\cos(\psi - \phi) - \cos(\psi + \phi)] \quad (4.6)$$



Σχήμα 5

Έτσι απ' τη σχέση 4.6, αν δώσουμε μια τιμή πού θέλουμε στο x μπορούμε να βρούμε το αντίστοιχο μήκος L που πρέπει να έχει το χωνί. Για να δώσουμε κάποια τιμή αρκετά ασφαλή στο μήκος x πρέπει να γνωρίζουμε κατά κύριο λόγο το πάχος της δέσμης x_1 του λιωμένου μετάλλου το οποίο ρέει στο χωνί και την παροχή του. Αλλά πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν και κάτι άλλο. Καθώς το χωνί εκτελεί, μαζί με το καλούπι, την πλανητική του κίνηση, μετατοπίζεται οριζόντια κατά μια απόσταση x_2 η οποία δίνεται απ' τη σχέση:

$$x_2 = (D_1 - d) \sin \psi \quad (4.7)$$

Έτσι για να υπολογίσουμε το μήκος του καλουπιού θα θέσουμε στη σχέση όπου x την τιμή:

$$x = x_1 + x_2$$

Αν λαμβάναμε υπ' όψιν μόνο την τιμή x_1 τότε αν το χωνί κατά την κίνησή του βρίσκεται στην κατώτερη θέση τότε το ρευστό χύνεται

κανονικά μέσα στο χωνί αλλά καθώς το χωνί κινείται προς την ανώτερη θέση τότε λόγω του ότι έχουμε μια οριζόντια συνιστώσα της κίνησης προς τα δεξιά τότε υπάρχει κίνδυνος το ρευστό μέταλλο να χυθεί έξω απ' το χωνί.

Η πιο δυσμενής θέση είναι αυτή όπου η γωνία ψ παίρνει πολύ μικρές τιμές δηλαδή το καλούπι τείνει να γίνει οριζόντιο. Αν δώσουμε πολύ μικρές τιμές στη γωνία ψ τότε απ' τη σχέση 4.6 βρίσκουμε ότι το μήκος L παίρνει πολύ μεγάλες τιμές και είναι ασύμφορο να κατασκευαστεί τέτοιο χωνί. Τελικά μετά από αρκετές δοκιμές δεχόμαστε τις παρακάτω τιμές:

$$\text{Ελάχιστη γωνία } \psi = 15^\circ$$

$$\varphi = 13^\circ$$

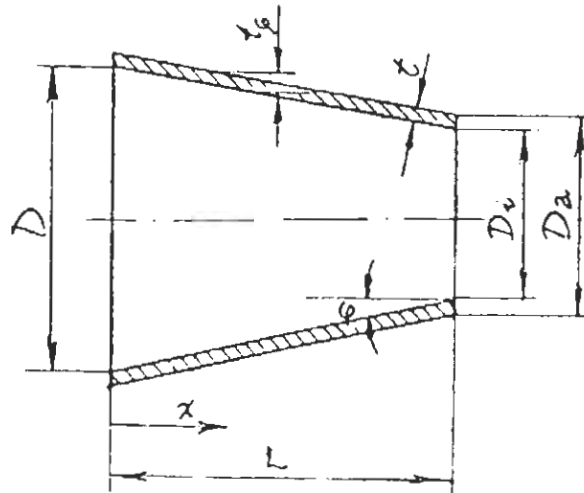
Η γωνία φ όπως βλέπουμε είναι λίγο μικρότερη απ' τη γωνία ψ γιατί όταν το χωνί πάρει τέτοια θέση ώστε η γωνία ψ να πάρει την ελάχιστη τιμή ($\psi = 15^\circ$) τότε πρέπει να υπάρχει μια μικρή κλίση για να κυλάει το ρευστό μέσα στο καλούπι.

Αν δεχτούμε ότι το πάχος της δέσμης που πέφτει στο χωνί είναι περίπου 10 mm (όσο και η διάμετρος της χυτευόμενης ράβδου) και πάrouμε επίσης και μια επιπλέον προσαύξηση 5 mm για ασφάλεια τότε έχουμε:

$$x = x_1 + 5 \text{ mm} + x_2 = 10 + 5 + 60.3 \sin 15 = 30606 \text{ mm}$$

Αν εισαγάγουμε αυτήν την τιμή του x στη σχέση παίρνουμε μήκος χωνιού $L = 280 \text{ mm}$.

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την κατανομή της φυγοκέντρου δύναμης στο χωνί.



Σχήμα 6

Η εσωτερική διάμετρος D_i του χωνιού συναρτήσει της απόστασης (σχήμα 6), δίνεται απ' τη σχέση

$$D_i = D + 2(L - x)\sin\phi \quad (4.8)$$

όπου $D =$ η εσωτερική διάμετρος του χωνιού για $x=0$.

Η μάζα του χωνιού ανά μονάδα μήκους είναι:

$$M = \frac{\pi \cdot \rho}{4} (D\alpha^2 - D_i^2) \quad (4.9)$$

όπου $D\alpha =$ εξωτερική διάμετρος του χωνιού

Η ροπή αδράνειας J δίνεται απ' τη σχέση:

$$J = \frac{M}{8} (D\alpha^2 + D_i^2) \quad (4.10)$$

Έτσι η ανηγμένη μάζα $M_{\gamma\mu}$ στον άξονα xx' , ανά μονάδα μήκους, με βάση τις σχέσεις 4.9, 4.10 είναι:

$$M_{\gamma\mu} = M + J \frac{4}{Dg^2} = \frac{\pi \cdot \rho}{4} (Da^2 - Di^2) + \frac{\pi \cdot \rho}{8} \frac{(Da^2 - Di^2)(Da^2 + Di^2)}{Dg^2} =$$

$$= \frac{\pi \cdot \rho}{4} (Da^2 - Di^2) \left[1 + \frac{1}{2} \frac{(Da^2 - Di^2)}{Dg^2} \right] \quad (4.11)$$

Έχουμε όμως ότι: $Da = Di + 2t\phi$ (4.12)

$$\text{με } t\phi = \frac{t}{\cos \phi}$$

όπου t = πάχος του τοιχώματος του χωνιού

Έτσι αν θέσουμε τις σχέσεις 4.12, 4.13 στη σχέση 4.11 και κάνουμε πράξεις έχουμε:

$$M_{\gamma\mu} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot t\phi}{Dg^2} [ax^3 + bx^2 + cx + d] \quad (4.14)$$

όπου:

$$a = -8 \sin \phi^3 x^3$$

$$b = 12 \sin \phi^2 (D + 2L \sin \phi) + 12t\phi \sin \phi^2$$

$$c = -6D^2 \sin \phi - 24L^2 \sin \phi^3 - 24DL \sin^2 \phi - 24t\phi \sin \phi^2 -$$

$$- 12t\phi D \sin \phi - (8t\phi^2 + 2Dg^2) \sin \phi$$

$$d = D^3 + 8L^3 \sin^3 \phi + 6D^2 \sin \phi L + 12L^2 \sin \phi^2 D + 3t\phi D +$$

$$+ 12t\phi L^2 \sin \phi^2 + 12DL \sin \phi t\phi + 4t\phi^2 D +$$

$$+ (8t\phi^2 + 2Dg^2) L \sin \phi + D \cdot Dg^2 + 2t\phi^3 + Dg^2 t\phi$$

Έτσι αν αντικαταστήσουμε το $M_{\gamma\mu}$ στη σχέση 4.1 μπορούμε να βρούμε την κατανομή της φυγοκέντρου δύναμης κατά μήκος του χωνιού.

Τελικά αν χρησιμοποιήσουμε όλες τις παραπάνω σχέσεις βρίσκουμε ότι για τον εσωτερικό σωλήνα η κατανομή της φυγοκέντρου δύναμης είναι:

$$F_{\phi\upsilon\gamma} = 8575 [N / m]$$

Επίσης για το χωνί η κατανομή της φυγοκέντρου δύναμης κατά μήκος του χωνιού είναι:

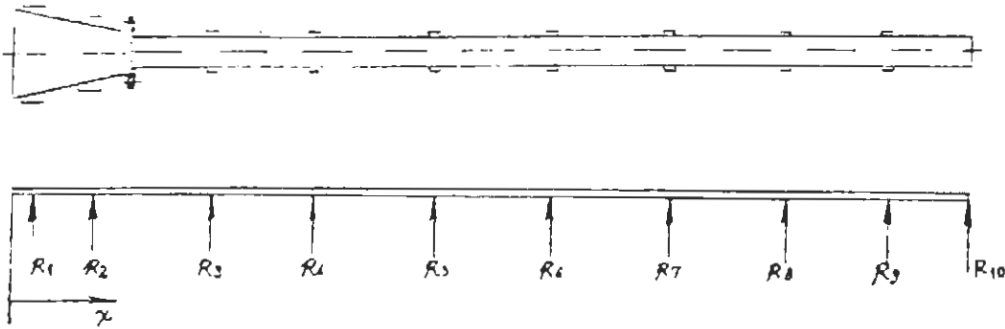
$$F_{\phi\upsilon\gamma} = -91064x^3 + 1288825x^2 - 710114x + 143775 \quad (4.15)$$

Η τελευταία σχέση μας δίνει τη φυγόκεντρη δύναμη σε N/m.

Ο εσωτερικός σωλήνας στηρίζεται στον εξωτερικό σε επτά σημεία (σχήμα 1) με λαμάκια και τα χωνί στηρίζεται σε δύο σημεία με δύο μεγάλους δακτύλιους. Έχουμε δηλαδή συνολικά εννέα στηρίξεις. Αφού ξέρουμε την κατανομή της φυγοκέντρου δύναμης σε όλο το μήκος του καλουπιού μπορούμε να υπολογίσουμε τις αντιδράσεις στις εννέα στηρίξεις και κατόπιν να βρούμε το διάγραμμα καμπτικών ροπών και να υπολογίσουμε την αντοχή του καλουπιού. Στην πραγματικότητα οι στηρίξεις δεν είναι σημειακές αλλά έχουν κάποιο πλάτος και μάλιστα στα δύο δακτυλίδια του χωνιού είναι αρκετό. Εμείς όμως θα τις θεωρήσουμε σαν σημειακές παίρνοντας έτσι τις πιο δυσμενείς συνθήκες.

Επειδή το πρόβλημά μας είναι υπερστατικό κατασκευάσαμε το πρόγραμμα BEAM.BAS το οποίο βρίσκει τις αντιδράσεις στα σημεία στήριξης χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Επίσης το πρόγραμμα βρίσκει και το διάγραμμα των καμπτικών ροπών

και μάλιστα μπορούμε να υπολογίσουμε τις θέσεις στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι στηρίξεις έτσι ώστε να έχουμε τις ελάχιστες καμπτικές ροπές. Πρέπει να πούμε ότι για τη στήριξη του εσωτερικού σωλήνα στον εξωτερικό κοιτάξαμε να έχουμε όσο το δυνατόν λιγότερες στηρίξεις γιατί κατά κύριο λόγο δημιουργούν αντιστάσεις στη ροή του νερού και κατά δεύτερο λόγο οι πολλές συγκολλήσεις πάνω στο σωλήνα, επειδή είναι κάπως λεπτότοιχος, αν δεν γίνουν αρκετά προσεκτικά αυξάνουν σημαντικά τον κίνδυνο παραμόρφωσης του σωλήνα. Τελικά οι στηρίξεις πρέπει να τοποθετηθούν στα σημεία που φαίνονται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7

Και οι τιμές των αντιδράσεων είναι:

Πίνακας 1

ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ (N)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (mm)
$R_1 = 12922$	40
$R_2 = 9215$	240
$R_3 = 2298$	480
$R_4 = 2445$	720

$R_5 = 2412$	1000
$R_6 = 2396$	1280
$R_7 = 2495$	1560
$R_8 = 2103$	1840
$R_9 = 1435$	2080
$R_{10} = 1400$	2280

Επίσης με βάση αυτές τις τιμές σχηματίσαμε το διάγραμμα καμπτικών ροπών που φαίνεται στο σχήμα 8



Σχήμα 8. Διάγραμμα καμπτικών ροπών στον εσωτερικό σωλήνα του καλοπιού

Όπως βλέπουμε λοιπόν έχουμε:

Μέγιστη καμπτική ροπή $M_{max} = 145,28 \text{ Nm}$ σε απόσταση $x = 200 \text{ mm}$

Έχοντας λοιπόν τη μέγιστη καμπτική τάση θα υπολογίσουμε την αντοχή του εσωτερικού σωλήνα. Η καταπόνηση του εσωτερικού σωλήνα, που στην ουσία είναι ένας κοίλος άξονας, είναι δυναμική. Θα χρησιμοποιήσουμε τη θεωρία μέγιστης διατμητικής τάσης σύμφωνα με την οποία έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{Sy}{2N} = \frac{16}{\pi D I^3 [1 - (D_2 / D I)^4]} \cdot \sqrt{\left(Mm + \frac{Sy}{Se} Mr \right)^2 + \left(Tm + \frac{Ssy}{Ses} Tr \right)^2}$$

όπου:

τ_{max} = μέγιστη διατμητική τάση

S_y = όριο ροής

N = συντελεστής ασφάλειας

D_1 = εξωτερική διάμετρος

D_2 = εσωτερική διάμετρος

M_m = μέση καμπτική ροπή

M_r = μεταβολή της καμπτικής ροπής

T_m = μέση στρεπτική ροπή

T_r = μεταβολή της στρεπτικής ροπής

S_y = όριο ροής σε εφελκυσμό

S_{sy} = όριο ροής σε διάτμηση

S_e = όριο διαρκής αντοχής σε εφελκυσμό

S_{es} = όριο διαρκής αντοχής σε διάτμηση

Επειδή όμως στο σωλήνα ασκούνται πολύ μικρές στρεπτικές ροπές, κυρίως λόγω τριβής, η εξίσωση 4.16.α γίνεται:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2N} = \frac{16}{\pi D_1^3 \left[1 - \left(D_2 / D_1 \right)^4 \right]} \left[M_m + \frac{S_y}{S_e} M_r \right] \quad (4.16)$$

Επειδή ο εσωτερικός σωλήνας έχει αρκετά μεγάλη θερμοκρασία, κατά μέσο όρο γύρω στους 600 °C λόγω του ότι έρχεται σε επαφή με τη θερμή ράβδο και επειδή έχει και αρκετά μικρό πάχος θα πρέπει να κατασκευαστεί από χάλυβα αρκετά ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες.

Από πίνακες χαλυβδοσωλήνων που κυκλοφορούν στο εμπόριο (Παράρτημα), διαλέγουμε υλικό με τα εξής χαρακτηριστικά:

DIN-Χαρακτηρισμός X 10CrAl18

Αριθμός υλικού κατεργασίας 1.4742

Όριο θραύσης σε εφελκυσμό 440...640 N/mm²

Όριο ροής σε εφελκυσμό 265 N/mm² τουλάχιστον

(Για περισσότερες πληροφορίες στο παράρτημα)

Έχουμε ότι:

$$S_e = C_f \cdot C_r \cdot C_w \frac{1}{K_f} S_n'$$

Επειδή η κύρια καταπόνηση του άξονα είναι η κάμψη έχουμε ότι:

$$S_n' = C \cdot 0,45 S_u$$

Ο συντελεστής C για διάμετρο του άξονα 76,1 mm παίρνει την τιμή:

$$C = 0,648$$

Επίσης αν για το χάλυβα που χρησιμοποιούμε πάρουμε την πιο δυσμενή τιμή $S_u = 440 \text{ N/mm}^2$ έχουμε:

$$S_n' = 0,648 \cdot 0,45 \cdot 440 = 128,3 \text{ N/mm}^2$$

C_f = συντελεστής επιφανειακής κατεργασίας κατά Lehr. Από σχήμα βρίσκουμε ότι για συνήθη λείανση έχουμε:

$$C_f = 0,9$$

C_r = συντελεστής αξιοπιστίας που δίνεται απ' την εξίσωση:

$$C_r = 1 - 0,08(DMF)$$

DMF είναι ένας συντελεστής που για βαθμό επιβίωσης 99% παίρνει την τιμή:

$$DMF = 2,33$$

Έτσι παίρνουμε:

$$C_r = 1 - 0,08 \cdot 2,33 = 0,8136$$

C_s = συντελεστής διόρθωσης μεγέθους

Επειδή ο άξονάς μας έχει διάμετρο 76,1 mm έχουμε ότι:

$$C_s = 0,616$$

C_w = συντελεστής απομείωσης αντοχής συγκόλλησης σε κόπωση.

Παίρνουμε αυτόν το συντελεστή υπ' όψιν γιατί έχουμε συγκολλησει πάνω στον εσωτερικό άξονα τα λαμάκια που τον στηρίζουν με τον εσωτερικό σωλήνα. Για τον τρόπο με τον οποίον έχει γίνει η συγκόλληση παίρνουμε:

$$C_w = 0,667$$

Για το συντελεστή K_f έχουμε:

$$K_f = 1 + q(Kt - 1)$$

όπου:

q = συντελεστής ευαισθησίας σε ρωγμές

K_f = συντελεστής συγκέντρωσης τάσεως θεωρητικός

Στο σημείο ένωσης του εσωτερικού σωλήνα με το χωνί έχουμε καμπυλότητα 2mm. Έτσι για το χάλυβα που προαναφέραμε και βρίσκουμε ότι:

$$q = 0,75$$

Επίσης βρίσκουμε ότι:

$$K_t = 1,25$$

Έτσι έχουμε ότι:

$$K_f = 1 + 0,75(1,25 - 1) = 1,187$$

Έτσι τελικά βρίσκουμε ότι:

$$S_c = 0,9 \cdot 0,8136 \cdot 0,616 \cdot 0,667 \frac{1}{1,187} \cdot 128,3 = 32,51 \text{ N/mm}^2$$

Έτσι έχουμε ότι:

$$\frac{S_y}{S_c} = \frac{265}{32,51} = 8,15$$

Απ' τη σχέση λοιπόν 4.15 παίρνουμε ότι:

$$\tau_{max} = \frac{16}{\pi(76,1)^3 [1 - (70,3/76,1)^4]} 8,15 \cdot 145280 = 50,35 \text{ N/mm}^2$$

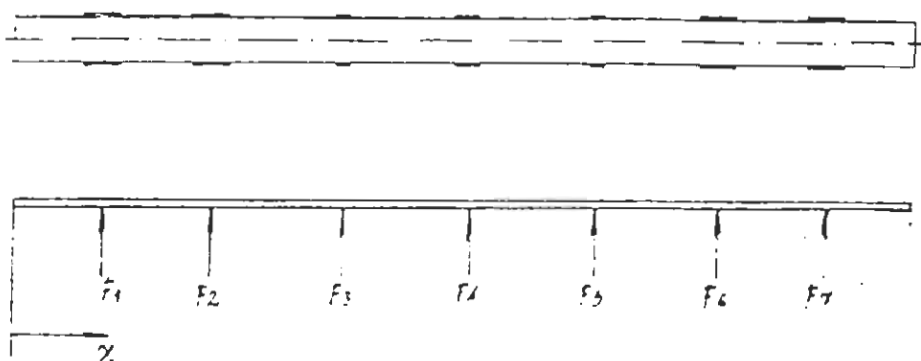
Είναι λοιπόν ότι:

$$N = \frac{S_y}{2\tau_{max}} = \frac{265}{2 \cdot 50,35} = 2,63$$

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τις αντιδράσεις που δέχεται απ' τις στηρίξεις του ο εξωτερικός σωλήνας του καλουπιού και στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το διάγραμμα καμπτικών ροπών. Ο εξωτερικός σωλήνας στηρίζεται σε επτά σημεία όπως έχουμε πει παραπάνω. Η φυγόκεντρος δύναμη με την οποία καταπονείται ο σωλήνας έχει τιμή:

$$F_{\text{φυγ}} = 18085 \text{ N/m}$$

Σ' αυτήν την τιμή περιλαμβάνεται και η φυγόκεντρος δύναμη λόγω του νερού. Επίσης ο εξωτερικός σωλήνας καταπονείται με επτά δυνάμεις που είναι ίσες με τις αντιδράσεις που βρήκαμε προηγουμένως και που αντιστοιχούν στις στηρίξεις του εσωτερικού σωλήνα στον εξωτερικό. Εδώ πρέπει να πούμε ότι οι στηρίξεις του εσωτερικού σωλήνα τοποθετήθηκαν ακριβώς στις ίδιες θέσεις με τις στηρίξεις του εξωτερικού σωλήνα έτσι που όλη τη δύναμη της εσωτερικής στήριξης να την παραλαμβάνει η αντίστοιχη εξωτερική στήριξη για να μην έχουμε σημαντική καταπόνηση του εξωτερικού σωλήνα. Οι στηρίξεις του εξωτερικού σωλήνα τοποθετούνται όπως φαίνεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9

Επίσης απ' το πρόγραμμα BEAM.BAS βρίσκουμε για τις αντιδράσεις τις εξής τιμές:

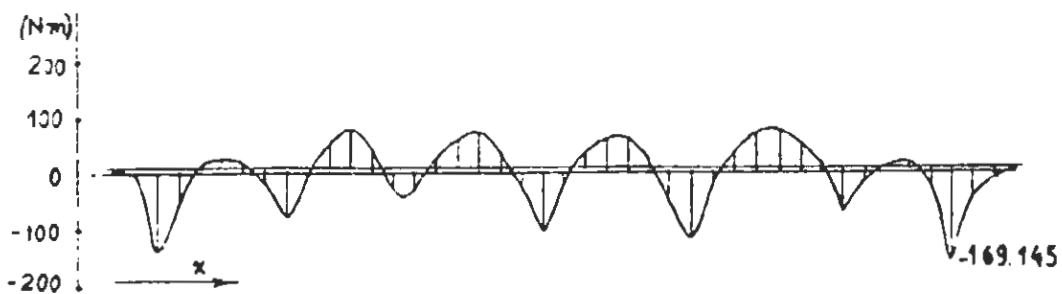
Πίνακας 2

ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ (N)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (mm)
$F_1= 6203$	480
$F_2= 6755$	720
$F_3= 7689$	1000
$F_4= 7385$	1250
$F_5= 7799$	1560
$F_6= 6279$	1840
$F_7= 6851$	2080

Με βάση λοιπόν αυτές τις τιμές κατασκευάζουμε το διάγραμμα καμπτικών ροπών που φαίνεται στο σχήμα 10. Βλέπουμε λοιπόν ότι:

Μέγιστη καμπτική ροπή $M_{max}=169,145Nm$ σε απόσταση $x=1600mm$

Ο εξωτερικός σωλήνας έχει σχεδόν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και επειδή και η καμπτική ροπή έχει μικρή τιμή δεν είναι ανάγκη να πάρουμε πολύ ανθεκτικό χάλυβα αλλά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε χάλυβα με τα εξής χαρακτηριστικά:



Σχήμα 10. Διάγραμμα καμπτικών ροπών για τον εξωτερικό σωλήνα του καλουπιού

DIN-χαρακτηρισμός St 35

Αριθμός υλικού 1,0308

Όριο θραύσης σε εφελκυσμό 340-440 N/mm²

Όριο ροής σε εφελκυσμό 235 N/mm²

Ακολουθώντας λοιπόν πάλι την παραπάνω διαδικασία παίρνουμε:

$$S_{n'} = C \cdot 0,45S_u$$

Ο συντελεστής C για διάμετρο του άξονα 101,6 mm παίρνει την τιμή 0,6:

Επίσης έχουμε: $S_u = 340 \text{ N/mm}^2$

$$S_{n'} = 0,6 \cdot 0,45 \cdot 340 = 91,8 \text{ N/mm}^2$$

$$C_f = 0,9$$

$$C_r = 1 - 0,08(DMF) = 1 - 0,08 \cdot 2,33 = 0,8136$$

Επειδή ο άξονάς μας έχει διάμετρο 101,6 mm έχουμε ότι:

$$C_s = 0,59$$

Επίσης είναι $C_w = 0,667$

Για το συντελεστή K_f έχουμε:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

όπου:

q = συντελεστής ευαισθησίας σε ρωγμές

K_t = συντελεστής συγκέντρωσης τάσεως θεωρητικός

$q = 0,65$

Επίσης βρίσκουμε ότι:

$$K_1 = 1,6$$

Έτσι έχουμε ότι:

$$K_f = 1 + 0,65 \cdot (1,6 - 1) = 1,39$$

Έτσι τελικά βρίσκουμε ότι:

$$S_c = 0,9 \cdot 0,8136 \cdot 0,59 \cdot 0,667 \cdot \frac{1}{1,39} \cdot 91,8 = 19,03 \text{ N/mm}^2$$

Έτσι έχουμε ότι:

$$\frac{S_y}{S_c} = \frac{235}{19,03} = 12,34$$

Απ' τη σχέση λοιπόν 4.15 παίρνουμε ότι:

$$\tau_{max} = \frac{16}{\pi(101,6)^3 \cdot [1 - (94,4/101,6)^4]} 12,34 \cdot 169145 = 39,79 \text{ N/mm}^2$$

Είναι λοιπόν ότι:

$$N = \frac{S_y}{2\tau_{max}} = \frac{235}{2 \cdot 39,79} = 2,95$$

Υπολογίσαμε λοιπόν μέχρι εδώ την αντοχή των σωλήνων με τους οποίους θα κατασκευάσουμε το καλούπι. Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τις διαστάσεις των ελασμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για τη στήριξη του εξωτερικού σωλήνα στον εσωτερικό όπως φαίνεται στο σχήμα 11. Όπως βλέπουμε σε κάθε στήριξη έχουμε τέσσερα ελάσματα. Η μέγιστη φυγόκεντρος δύναμη που καταπονεί τα ελάσματα είναι $P = 2835 \text{ N}$. Σε οποιαδήποτε θέση του καλουπιού η φυγόκεντρος δύναμη μπορεί να αναλυθεί σε μια οριζόντια συνιστώσα P_x και μια κάθετη συνιστώσα P_y όπου:

$$P_x = P \cos a, P_y = P \sin a$$

Έστω ότι σε μια τυχαία θέση του καλουπιού η φυγόκεντρος δύναμη έχει τη διεύθυνση που φαίνεται στο σχήμα 11. Η οριζόντια συνιστώσα P_x παραλαμβάνεται απ' τα ελάσματα A, D, C ενώ η κάθετη συνιστώσα παραλαμβάνεται απ' τα ελάσματα H, A, D. Βλέπουμε λοιπόν ότι κάθε φορά οι συνιστώσες P_x, P_y παραλαμβάνονται από τρία ελάσματα και έτσι στη γενική περίπτωση οι συνιστώσες F_x, F_y είναι:

$$F_x = \frac{P_x}{3}, F_y = \frac{P_y}{3}$$

Αν μελετήσουμε για παράδειγμα το έλασμα A έχουμε:

$$F_x = P \frac{\cos a}{3}, F_y = \frac{\sin a}{3}$$

Ας μελετήσουμε για παράδειγμα το έλασμα A. Λόγω της δύναμης F_x έχουμε καταπόνηση σε κάμψη και διάτμηση και λόγω της δύναμης F_y έχουμε καταπόνηση σε θλίψη. Έτσι έχουμε:

α) Κάμψη

Η μέγιστη τιμή της κάμψης που καταπονεί το έλασμα είναι:

$$M = F_x \cdot h$$

Η αντίστοιχη τιμή της τάσης είναι:

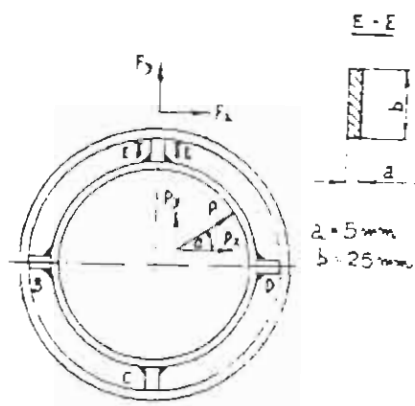
$$\sigma_x = \frac{M_b}{I_2} \text{ με } I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

β) Διάτμηση

$$\tau_{\delta} = \frac{F_x}{a \cdot b}$$

γ) Θλίψη

$$\sigma_{\theta} = \frac{F_y}{a \cdot b}$$



Σχήμα 11

Για την κατασκευή των ελασμάτων θα χρησιμοποιήσουμε χάλυβα St70.11 με όριο θραύσης $S_u = 85 \text{ kp/mm}^2$ και όριο ροής $S_y = 35 \text{ kp/mm}^2$.

Όπως θα δούμε και παρακάτω το έλασμα καταπονείται κυρίως σε κάμψη. Η καταπόνηση του ελάσματος είναι εναλλασσόμενη και για τη δυναμική αντοχή S_n έχουμε:

$$S_n = 0,85 \cdot 0,45 S_u = 0,85 \cdot 0,45 \cdot 85 = 32,51 \text{ kp/mm}^2$$

Επίσης έχουμε:

$$S_e = C_f \cdot C_r \cdot C_s \cdot C_w \cdot \frac{1}{K_f} S_n$$

με $C_f = 0,9$, $C_r = 0,8136$, $C_s = 0,82$, $C_w = 0,667$

Λόγω του ότι δεν έχουμε ρωγμές ή σημεία με κάποια μικρή ακτίνα καμπυλότητας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι $K_f = 1$ και έτσι παίρνουμε:

$$S_e = 0,8136 \cdot 0,82 \cdot 0,667 \cdot 32,51 = 14,5 \text{ kp/mm}^2$$

Έτσι έχουμε:

$$\frac{S_y}{S_c} = \frac{35}{14,5} = 2,4$$

Σύμφωνα με το κριτήριο της μέγιστης διατμητικής τάσης έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2N} = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\sigma_m + \frac{S_y}{S_c} \sigma_r \right)^2 + \left(\tau_{ms} + \frac{S_{sy}}{S_{cs}} \tau_{rs} \right)^2} \quad (4.17)$$

Έχουμε:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{\sigma - \sigma}{2} = 0$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{\sigma + \sigma}{2} = \sigma$$

όπου: $\sigma = \sigma_k + \sigma_0$

όμοια ισχύουν για τις διατρητικές τάσεις τ_{ms} , τ_{rs}

Έτσι απ' τη σχέση 4.17 βρίσκουμε ότι για γωνία $5,5^\circ$ έχουμε τη μέγιστη τιμή $\tau_{max} = 9,9 \text{ kp/mm}^2$ με

$$\sigma_k = 8,26 \text{ kp/mm}^2, \sigma_0 = 0,071 \text{ kp/mm}^2, \tau_s = 0,75 \text{ kp/mm}^2$$

και έτσι έχουμε ένα συντελεστή ασφάλειας

$$N = \frac{S_y}{2\tau_{max}} = \frac{35}{2 \cdot 9,9} = 1,8$$

4.4 Υπολογισμός δακτυλίων στήριξης του καλουπιού

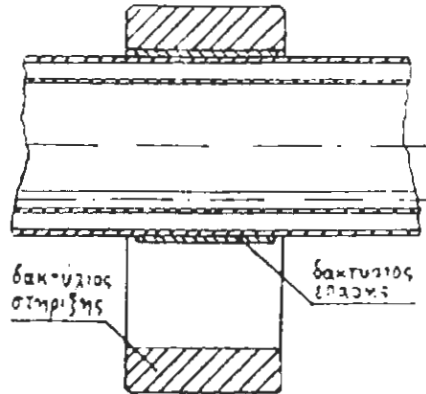
Όπως έχουμε πει παραπάνω σε ολόκληρη τη μηχανή έχουμε 4 δακτυλίους οι οποίοι χρησιμεύουν για τη στήριξη του καλουπιού. Επίσης έχουμε και δύο γρανάζια με εσωτερική οδόντωση που χρησιμεύουν για την επίτευξη της πλανητικής κίνησης, αλλά επειδή αυτά τα γρανάζια έχουν προσαρμοσμένους δακτύλιους οι οποίοι παίρνουν όλη τη φυγόκεντρο δύναμη, έτσι ώστε να μην μπλοκάρουν τα δόντια των γραναζιών, μπορούμε να τα θεωρήσουμε και αυτά σαν στηρίξεις. Επίσης και το κινητήριο γρανάζι δέχεται φυγόκεντρο δύναμη, άσχετα αν την εξουδετερώνουμε με αντίβαρα όπως θα πούμε παρακάτω, και άρα χρησιμεύει και αυτό για στήριξη. Πρώτα όμως θα μελετήσουμε τους απλούς δακτύλιους και μετά αυτούς που είναι προσαρμοσμένοι στα γρανάζια.

Κατ' αρχήν θα κάνουμε μελέτη των δακτυλίων σε επιφανειακή αντοχή για να προσδιορίσουμε το πλάτος τους. Σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα 2 βλέπουμε πως η μέγιστη αντίδραση στους απλούς δακτυλίους, απ' αυτούς που στηρίζουν το καλούπι και όχι το χωνί, η οποία αντιστοιχεί και στη δύναμη καταπόνησης έχει την τιμή:

$$F_7 = 6851 \text{ N}$$

Έτσι αρκεί να μελετήσουμε αυτόν το δακτύλιο και οι άλλοι 3 δακτύλιοι οι οποίοι στηρίζουν το καλούπι θα έχουν ίδιες διαστάσεις. Όλοι οι δακτύλιοι στήριξης δεν έρχονται κατ' ευθείαν σε επαφή με το καλούπι αλλά παρεμβάλλεται ανάμεσά τους κάποιος δακτύλιος με αρκετά μεγάλη σκληρότητα, μεγαλύτερη απ' αυτήν του καλουπιού έτσι ώστε το

απαιτούμενο πλάτος του δακτυλίου που ικανοποιεί την επιφανειακή αντοχή να μην παίρνει μεγάλες διαστάσεις. Επίσης αυτός ο δακτύλιος μπαίνει και για να υπάρχει καλύτερη επαφή ανάμεσα στο καλούπι και το δακτύλιο στήριξης. Ο δακτύλιος αυτός προσαρμόζεται πάνω στο καλούπι με σφιχτή συναρμογή (σχήμα 12).



Σχήμα 12

Το πάχος του δακτυλίου διαλέγουμε να είναι:

$$t = 4,2 \text{ mm}$$

έτσι ώστε να έχει το ίδιο πάχος με το δακτυλίδι που μπαίνει ανάμεσα στο καλούπι και το ρουλεμάν του κινητήριου γραναζιού. Έτσι στην ουσία έχουμε να μελετήσουμε την επαφή μεταξύ δύο κυλίνδρων εκ' των οποίων ο ένας (το καλούπι) έχει διάμετρο:

$$d_1 = 101,6 + 2 \cdot 4,2 = 110 \text{ mm}$$

και ο άλλος (δακτύλιος στήριξης) έχει διάμετρο:

$$d_2 = 170,3 \text{ mm}$$

Η δύναμη η οποία καταπονεί τους δυο κυλίνδρους δεν είναι μόνο η F_7 που είπαμε παραπάνω αλλά πρέπει να προσθέσουμε και τη φυγόκεντρο

δύναμη που δημιουργείται απ' τον επιπρόσθετο δακτύλιο. Επειδή όμως δεν ξέρουμε απ' την αρχή το πλάτος του δακτυλίου δεν μπορούμε να ξέρουμε και τη φυγόκεντρο δύναμη που δημιουργεί γι' αυτό θα υποθέσουμε μια αρχική τιμή για το πλάτος και στη συνέχεια θα κάνουμε επαναληπτική διαδικασία μέχρι που να βρούμε τις κατάλληλες τιμές. Τελικά μετά από κάποιες επαναλήψεις βρίσκουμε ότι το πλάτος του επιπρόσθετου δακτυλίου θα είναι:

$$b = 80 \text{ mm}$$

Έτσι η επιπρόσθετη φυγόκεντρος δύναμη που δημιουργείται είναι:

$$F' = m_{\gamma\mu} \cdot \omega^2 \cdot r$$

όπου:

$$m_{\gamma\mu} = m + J \frac{4}{Dg}$$

$$m = \frac{\pi}{4} \rho \cdot (d_2^2 - d_1^2) b, \quad J = \frac{m}{8} (d_2^2 + d_1^2)$$

(d_2 , d_1 είναι η εξωτερική και η εσωτερική αντίστοιχα διάμετρος του επιπρόσθετου δακτυλίου και ρ είναι η πυκνότητα του χάλυβα).

r = απόσταση ανάμεσα στο κέντρο της χυτεόμενης ράβδου και το κέντρο του καλουπιού που αποτελεί και την ακτίνα της κυκλικής κίνησης.

Έτσι παίρνουμε:

$$m = \frac{\pi}{4} 7850 (0,110^2 - 0,1016^2) \cdot 0,080 = 0,8766 \text{ kg}$$

$$J = \frac{0,8766}{8} (0,110^2 + 0,1016^2) = 2,557 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

$$m_{\text{m}} = 0,8766 + 2,557 \cdot 10^{-3} \frac{4}{0,15^2} = 1,33 \text{ kg}$$

$$F' = 1,33(2\pi 2000 / 60)2 \cdot 0,03015 = 1758,96 \text{ N}$$

Με βάση αυτή την τιμή της φυγοκέντρου δύναμης θα κάνουμε μελέτη της επιφανειακής αντοχής.

Η επιφανειακή αντοχή S_{fe} για χάλυβες κατά τον Buckingham δίνεται απ' τη σχέση:

$$S_{fe} = \frac{400(BHN) - 10000}{14,2} \text{ kp/cm}^2 \quad (4.18)$$

Αν για το δακτύλιο χρησιμοποιήσουμε χάλυβα St70 με σκληρότητα σε BHN 195 τότε:

$$S_{fe} = \frac{400 \cdot 195 - 10000}{14,2} = 4788,73 \text{ kp/cm}^2$$

Έτσι ο συντελεστής Buckingham δίνεται απ' τη σχέση:

$$K_1 = 2,857 S_{fe}^2 \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right] \quad (4.19)$$

Επειδή όμως και οι δυο κύλινδροι είναι χαλύβδινοι έχουμε:

$$E_1 = E_2 = E = 2,1 \cdot 10^7 \text{ kp/cm}^2$$

Έτσι παίρνουμε:

$$K_1 = 2,857 \cdot 4788,73^2 \left[\frac{2}{2,1 \cdot 10^6} \right] = 62,397 \text{ kp/cm}^2$$

Άρα για το πλάτος b έχουμε:

$$b \geq \frac{8609,96^2}{62,397} \left[\frac{1}{8,515} + \frac{1}{5,5} \right] = 82,58 \text{ mm}$$

Άρα βλέπουμε ότι η τελική τιμή b που υποθέσαμε είναι περίπου ίση με την αρχική και έτσι δεχόμαστε πλάτος

$$b = 80 \text{ mm}$$

Έτσι θα κατασκευάσουμε τον παρεμβαλλόμενο δακτύλιο με πλάτος 80 mm ενώ το δακτύλιο έδρασης με πλάτος λίγο μεγαλύτερο

$$b_2 = 90 \text{ mm}$$

Έτσι ώστε αν υπάρξει μια κατά μήκος μετατόπιση των δυο δακτυλίων ο παρεμβαλλόμενος δακτύλιος να βρίσκεται ολόκληρος σε επαφή με το δακτύλιο στήριξης.

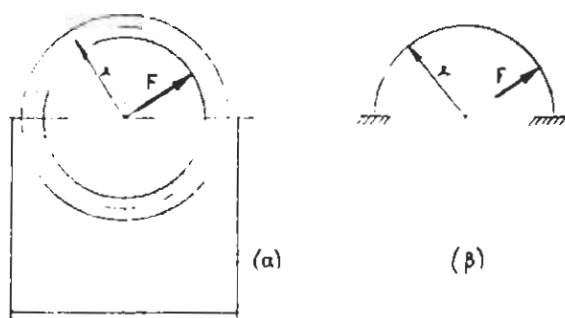
Πίνακας 3

Στήριξη	Πλάτος mm	Υλικό επαφής	BHN
1	50	X20Cr13	250
2	50	X20Cr13	250
3	80	St70	195
4	80	St70	195
5	70	St70	195
6	70	St70	195
7	70	St70	195
8	80	St70	195
9	80	St70	195

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω βρίσκουμε ότι για όλες τις στηρίξεις, όπως αριθμούνται παραπάνω, τα αντίστοιχα πλάτη των δακτυλίων είναι:

4.5 Υπολογισμός πάχους δακτυλίων στήριξης

Αφού υπολογίσαμε το πλάτος του δακτυλίου θα υπολογίσουμε το πλάτος τώρα το πάχος του. Ο δακτύλιος εδράζεται με δύο στηρίγματα πάνω σε μια πλάκα. Τα στηρίγματα είναι δύο πλάκες οι οποίες είναι κατάλληλα συγκολλημένες στην εξωτερική επιφάνεια του δακτυλίου (σχήμα 13). Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε το δακτύλιο θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο του σχήματος 13β, δηλαδή ο δακτύλιος συμπεριφέρεται σαν ένα τόξο το οποίο είναι πακτωμένο στα άκρα του και καταπονείται με εναλλασσόμενο φορτίο.



Σχήμα 13

Το πρόβλημά μας είναι 3 φορές υπερστατικό και για να λυθεί κατασκευάστηκε το πρόγραμμα ARCH.BAS.

Το πρόγραμμα αυτό υπολογίζει τις αντιδράσεις στις δύο πακτώσεις του δακτυλίου και με βάση αυτές υπολογίζει το διάγραμμα καμπτικών ροπών, διατμητικών και ορθών δυνάμεων για κάθε θέση της

φυγοκέντρου δύναμης που καταπονεί το δακτύλιο. Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την πιο δυσμενή θέση της φυγοκέντρου δύναμης. Τελικά επειδή οι καμπτικές ροπές δημιουργούν τάσεις πολύ μεγαλύτερες απ' τις τάσεις που δημιουργούνται απ' τις ορθές και τις διατμητικές δυνάμεις θα λάβουμε υπ' όψιν μόνο αυτές. Αφού υπολογιστεί λοιπόν η μέγιστη καμπτική ροπή υπολογίζεται στη συνέχεια και η μέγιστη διατμητική τάση (σύμφωνα με το κριτήριο μέγιστης διατμητικής τάσης για εναλλασσόμενο φορτίο), όπως προηγουμένως θεωρώντας κάποιο πάχος δακτυλίου. Τελικά σταματάμε όταν βρούμε κάποιο πάχος που να μας δίνει κάποιο ικανοποιητικό βαθμό ασφάλειας.

Έτσι αν θέσουμε στο πρόγραμμα ARCH.BAS τα εξής δεδομένα:

Φυγόκεντρος δύναμη= 8609,96 N

Μέση ακτίνα δακτυλίου= 195,3 mm

(Η μέση ακτίνα έχει αυτήν την τιμή γιατί υποθέσαμε πάχος δακτυλίου=25 mm και άρα η μέση ακτίνα είναι $170,3+25=195,3$ mm) βρίσκουμε ότι η πιο δυσμενής κατάσταση είναι όταν η φυγόκεντρος δύναμη δρα στη γωνία 36° με αντίστοιχη μέγιστη διατμητική τάση:

$$\tau_{max} = 8,5 \text{ kp/cm}^2$$

Αν το υλικό κατασκευής του δακτυλίου είναι χάλυβας St 70 με όριο ροής $S_y = 35 \text{ Kp/cm}^2$ τότε έχουμε ένα συντελεστή ασφάλειας

$$N = \frac{S_y}{2\tau_{max}} = \frac{35}{2 \cdot 8,5} = 2$$

Έτσι το πάχος 25 mm είναι αρκετά ικανοποιητικό.

Τελικά με το πρόγραμμα ARCH.BAS βρίσκουμε ότι για τους δακτυλίους στήριξης θα χρησιμοποιήσουμε τα παρακάτω πάχη και τα παρακάτω υλικά:

Πίνακας 4

ΣΤΗΡΙΞΗ	ΠΑΧΟΣ [mm]	ΥΛΙΚΟ
1	25	X20Cr13
2	20	X20Cr13
3	25	St70
4	25	St70
5	25	St70
6	25	St70
7	25	St70
8	25	St70
9	25	St70

4.6 Υπολογισμός σφικτών συναρμογών

Τώρα θα υπολογίσουμε τη σφικτή συναρμογή με την οποία θα προσαρμόσουμε πάνω στο καλούπι το δακτύλιο που θα παρεμβάλλεται ανάμεσα στο καλούπι και το δακτύλιο στήριξης. Επειδή τα κομμάτια τα οποία θέλουμε να συνδέσουμε με σφικτή συναρμογή δεν μεταφέρουν υπολογίσιμες στρεπτικές ροπές ή αξονικές δυνάμεις δεν μπορούμε να υπολογίσουμε ποια σφικτή συναρμογή θα χρησιμοποιήσουμε βάση των ροπών αυτών ή των δυνάμεων. Έτσι θα διαλέξουμε, βάση της εμπειρίας,

συναρμογές από πίνακες οι οποίες να μας παρέχουν αρκετή ασφάλεια αλλά και να μην έχουν πολύ στενά όρια. Έτσι διαλέγουμε από πίνακες τη συναρμογή P7/h6, στο σύστημα βασικού άξονα.

Τα όρια για τον άξονα και για την τρύπα φαίνονται παρακάτω:

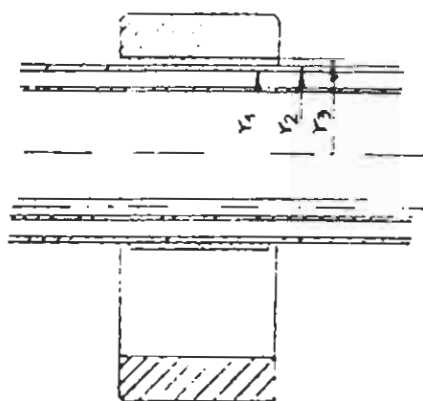
	0 μm	-24 μm
Άξονας		Τρύπα
	-22 μm	-59 μm

Έτσι βλέπουμε ότι η ελάχιστη και η μέγιστη σύσφιξη είναι αντίστοιχα:

$$e_{\min} = 2 \mu\text{m}$$

$$e_{\max} = 59 \mu\text{m}$$

Τώρα όμως πρέπει να υπολογίσουμε και τις τάσεις που εμφανίζονται κατά τη σφικτή συναρμογή για να δούμε αν αντέχει ο σωλήνας και το δακτυλίδι. Για να υπολογίσουμε την αντοχή θα λάβουμε υπ' όψιν τη μέγιστη σύσφιξη e_{\max} .



Σχήμα 14

Η ακτινική μεταβολή u_1 για το δακτύλιο στην ακτίνα r_2 (σχήμα 14) δίνεται απ' τη σχέση:

$$u_1 = \frac{P}{E} \left[(1-\nu) \frac{r_2^3}{r_3^2 - r_2^2} + (1+\nu) \frac{r_2 r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} \right] \quad (4.21)$$

όπου ν = λόγος Poisson

p = πίεση που στην επιφάνεια της σφικτής συναρμογής

Επίσης η ακτινική μεταβολή u_2 του σωλήνα στην ακτίνα r_2 είναι:

$$u_2 = \frac{P}{E} \left[-(1-\nu) \frac{r_2^3}{r_2^2 - r_1^2} - (1+\nu) \frac{r_1 r_2}{r_2^2 - r_1^2} \right] \quad (4.22)$$

Έτσι από τη σχέση 4.21 παίρνουμε:

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{P}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1-0,28) \frac{0,0508^3}{0,055^2 - 0,0508^2} + 1,28 \frac{0,0508 \cdot 0,055^2}{0,055^2 - 0,0508^2} \right] = \\ &= 3,11938 \cdot 10^{-12} [p] \end{aligned}$$

Από τη σχέση 4.22 παίρνουμε:

$$\begin{aligned} u_2 &= \frac{P}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1-0,28) \frac{0,0508^3}{0,0508^2 - 0,0472^2} + 1,28 \frac{0,0472^2 \cdot 0,0508}{0,0508^2 - 0,0472^2} \right] = \\ &= -3,2293 \cdot 10^{-12} [p] \end{aligned}$$

Ισχύει όμως ότι:

$$u_1 + u_2 = e_{\max}$$

Οπότε απ' τις εξισώσεις 4.21, 4.23, 4.23 παίρνουμε για την τιμή της πίεσης:

$$P = \frac{59 \cdot 10^{-6}}{3,11938 \cdot 10^{-12} + 3,2293 \cdot 10^{-12}} = 0,928 \text{ kp/mm}^2$$

Αφού βρήκαμε την πίεση θα χρησιμοποιήσουμε τώρα το κριτήριο της μέγιστης διατμητικής τάσης για να υπολογίσουμε την αντοχή του σωλήνα και του δακτυλίου στη σφικτή συναρμογή. Για ένα δακτύλιο με εσωτερική ακτίνα r_1 , εξωτερική ακτίνα r_2 , εσωτερική πίεση p_1 και εξωτερική πίεση p_2 έχουμε:

$$\sigma_t = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2 - (r_1^2 r_2^2 / r^2)(p_1 - p_2)}{r_2^2 - r_1^2} \quad (4.24)$$

$$\sigma_r = \frac{p_2 r_2^2 - p_1 r_1^2 - (r_1^2 r_2^2 / r^2)(p_1 - p_2)}{r_2^2 - r_1^2} \quad (4.25)$$

Οι σχέσεις 4.24, 4.25 μας δίνουν την περιφερειακή τάση σ_t και την ακτινική τάση σ_r συναρτήσει της ακτίνας r . Η μέγιστη διατμητική τάση δίνεται απ' τη σχέση:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_t - \sigma_r}{2} \quad (4.26)$$

Τελικά βρίσκουμε ότι η μέγιστη τιμή τ_{max} είναι στην εσωτερική ακτίνα του δακτυλίου.

Για το σωλήνα έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{p \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{0,928 \cdot 0,0508^2}{0,0508^2 - 0,0472^2} = 7,315 \text{ kp/mm}^2$$

Επειδή ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από χάλυβα με όριο ροής σε εφελκυσμό $S_y=23,5 \text{ kp/mm}^2$ έχουμε για το συντελεστή ασφάλειας ότι:

$$N = \frac{S_y}{2\tau_{max}} = \frac{23,5}{2 \cdot 7,315} = 1,7$$

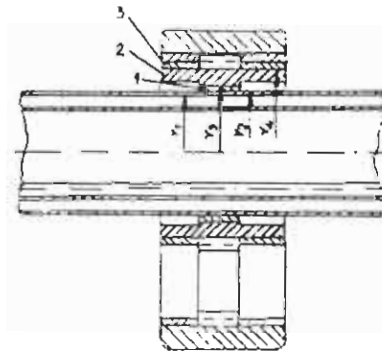
Για το δακτυλίδι έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{p \cdot r_2^2}{r_3^2 - r_2^2} = \frac{0,928 \cdot 0,0508^2}{0,055^2 - 0,0508^2} = 5,389 \text{ kp/mm}^2$$

Έτσι έχουμε:

$$N = \frac{S_y}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{35}{2 \cdot 5,389} = 3,2$$

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τις σφιχτές συναρμογές που φαίνονται στο σχήμα 15



Σχήμα 15

Εδώ έχουμε δύο συναρμογές. Μία μεταξύ του δακτυλίου και του εξωτερικού σωλήνα του καλουπιού και μια μεταξύ του δακτυλίου και της πλύμνης του γριναζιού. Οι συναρμογές που θα χρησιμοποιήσουμε και εδώ θα είναι P₇/h₆. Η ελάχιστη και η μέγιστη σύσφιξη φαίνονται παραπάνω. Η περίπτωση που αντιμετωπίζουμε είναι κάπως πιο σύνθετη απ' τη προηγούμενη γιατί έχοντας δύο συναρμογές θα πρέπει να υπολογίσουμε δύο πέσεις οι οποίες όμως δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Έτσι για να τις υπολογίσουμε θα πρέπει να φτάσουμε σε ένα σύστημα εξισώσεων. Για την ακτινική μεταβολή του εξωτερικού σωλήνα του καλουπιού στην ακτίνα r₂ έχουμε:

$$u_{11} = \frac{p_1}{E} \left[-(1-\nu) \frac{r_2^3}{r_2^2 - r_1^2} - (1+\nu) \frac{r_1^2 r_2}{r_2^2 - r_1^2} \right] \quad (4.27)$$

όπου p_1 είναι η πίεση της συναρμογής ανάμεσα στο σωλήνα του καλουπιού και του δακτυλίου.

Επίσης η ακτινική μεταβολή του δακτυλίου στην ακτίνα r_2 είναι:

$$u_{12} = \frac{p_1 - p_2}{E} \left[(1-\nu) \frac{r_2^2 - r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} r_2 + (1+\nu) \frac{r_2^2 r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} \right] \quad (4.28)$$

Ομοίως για την ακτινική μεταβολή του δακτυλίου στην ακτίνα r_3 έχουμε:

$$u_{21} = \frac{p_1 - p_2}{E} \left[-(1-\nu) \frac{r_2^2 - r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} r_3 - (1+\nu) \frac{r_2^2 r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} \right] \quad (4.29)$$

Για την ακτινική μεταβολή της πλήμνης του γραναζιού στην ακτίνα r_3 έχουμε:

$$u_{22} = \frac{p_2}{E} \left[(1-\nu) \frac{r_3^3}{r_4^2 - r_3^2} + (1+\nu) \frac{r_3 r_4^2}{r_4^2 - r_3^2} \right] \quad (4.30)$$

Όπως έχουμε όμως πει ισχύει:

$$u_{11} + u_{12} = e_{max} \quad (4.31)$$

$$u_{21} + u_{22} = e_{max} \quad (4.32)$$

Έτσι αν αντικαταστήσουμε τις σχέσεις 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 στις σχέσεις 4.31, 4.32 παίρνουμε το παρακάτω σύστημα εξισώσεων:

$$p_1 \left[\frac{1-\nu}{E} \frac{r_2^3}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{1+\nu}{E} \frac{r_1^2 r_2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{1-\nu}{E} \frac{r_2^3}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{1+\nu}{E} \frac{r_2 r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} \right] +$$

$$P_2 \left[\frac{1-\nu}{E} \frac{r_3^2 r_2}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{1+\nu}{E} \frac{r_2 r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} \right] = e_{max} \quad (4.33)$$

$$P_2 \left[\frac{1-\nu}{E} \frac{r_3^3}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{1+\nu}{E} \frac{r_2^2 r_3}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{1-\nu}{E} \frac{r_3^3}{r_4^2 - r_3^2} + \frac{1+\nu}{E} \frac{r_3 r_4^2}{r_4^2 - r_3^2} \right] +$$

$$P_1 \left[\frac{1-\nu}{E} \frac{r_2^2 r_3}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{1+\nu}{E} \frac{r_2^2 r_3}{r_2^2 - r_1^2} \right] = e_{max} \quad (4.34)$$

Έτσι αν λύσουμε το σύστημα των εξισώσεων 4.33, 4.34 βρίσκουμε για τις πιέσεις p_1, p_2 τις τιμές:

$$p_1 = 0,379 \text{ kp/mm}^2, \quad p_2 = 1,059 \text{ kp/mm}^2$$

Επίσης σύμφωνα με το κριτήριο μέγιστης διατμητικής τάσης έχουμε:

$$\tau_{max} = 2,77 \text{ kp/mm}^2, \quad N = \frac{23,5}{2 \cdot 2,77} = 4,2$$

Για το δακτύλιο:

$$\tau_{max} = 4,63 \text{ kp/mm}^2, \quad N = \frac{35}{2 \cdot 4,63} = 3,7$$

Για το γρανάζι:

$$\tau_{max} = 1,85 \text{ kp/mm}^2, \quad N = \frac{21}{2 \cdot 1,85} = 5,6$$

Τώρα θα ασχοληθούμε με τη συναρμογή του δακτυλίου (2) και του δακτυλίου (3). Ο τελευταίος αποτελεί ένα σώμα με το γρανάζι με εσωτερική οδόντωση. Σύμφωνα με τα παραπάνω έχουμε ότι η ακτινική μεταβολή του δακτυλίου (2) στην ακτίνα r_6 είναι:

$$u_1 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1-0,28) \frac{0,1115^3}{0,1115^2 - 0,105^2} + 1,28 \frac{0,105^2 \cdot 0,1115}{0,1115^2 - 0,105^2} \right] =$$

$$= 8,702 \cdot 10^{-12} p$$

Επίσης για την ακτινική μεταβολή του δακτυλίου (3) στην ακτίνα r6 έχουμε:

$$u_1 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1 - 0,28) \frac{0,1115^3}{0,160^2 - 0,1115^2} + 1,28 \frac{0,1115^2 \cdot 0,160^2}{0,160^2 - 0,1115^2} \right] =$$
$$= 1,682 \cdot 10^{-12} p$$

Θα χρησιμοποιήσουμε συναρμογή H7/r6, σύστημα βασικής τρύπας, όπου έχουμε:

	35 μm	59 μm
Τρύπα		Άξονας
	0 μm	37 μm

με $e_{\min} = 2 \mu\text{m}$ και $e_{\max} = 59 \mu\text{m}$

Έτσι παίρνουμε ότι:

$$p = \frac{59 \cdot 10^{-6}}{8,702 \cdot 10^{-12} + 1,682 \cdot 10^{-12}} = 0,568 \text{ kp/mm}^2$$

Οι δακτύλιοι 2, 3 είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα St 70 με $S_y = 35 \text{ kp/mm}^2$ και για το δακτύλιο (2) έχουμε:

$$\tau_{\max} = \frac{0,568 \cdot 0,1115^2}{0,1115^2 - 0,105^2} = 5,019 \text{ kp/mm}^2 \text{ και}$$

$$N = \frac{35}{2 \cdot 5,019} = 3,48$$

Επίσης για το δακτύλιο (3) έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{0,568 \cdot 0,1115^2}{0,160^2 - 0,1115^2} = 0,536 \text{ kp/mm}^2 \text{ και}$$

$$N = \frac{35}{2 \cdot 0,536} = 32$$

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τις συναρμογές που χρησιμοποιούμε για να τοποθετήσουμε τα ρουλεμάν της μηχανής στις αντίστοιχες θέσεις τους. Αρχίζουμε με το ρουλεμάν το οποίο φωλιάζει στην έκκεντρη τρύπα που έχει ανοιχτεί στο κινητήριο γρανάζι. Θα μελετήσουμε πρώτα τη συναρμογή με την οποία προσαρμόζεται ο εξωτερικός δακτύλιος του ρουλεμάν με το γρανάζι. Θα χρησιμοποιήσουμε και εδώ συναρμογή P₇/h₆, στο σύστημα βασικού άξονα με όρια:

0 μm	-28 μm
Άξονας	Τρύπα
-25 μm	-68 μm

όπου βλέπουμε ότι η ελάχιστη και η μέγιστη σύσφιξη είναι αντίστοιχα:

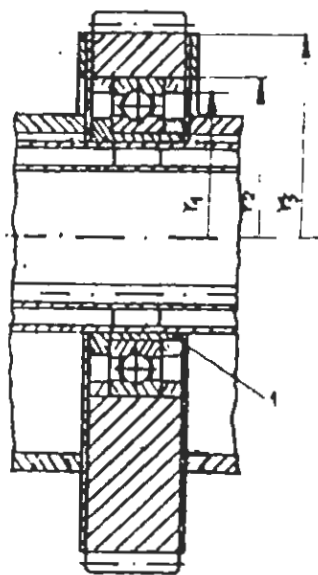
$$e_{min} = 3\mu m, e_{max} = 68\mu m$$

Εκτελώντας τη διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω βρίσκουμε ότι η ακτινική μεταβολή u_1 για το γρανάζι στην ακτίνα r_2 δίνεται απ' τη σχέση:

$$u_1 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1 - 0,28) \frac{0,085^3}{0,109^2 - 0,085^2} + 1,28 \frac{0,085^2 \cdot 0,109^2}{0,109^2 - 0,085^2} \right] =$$

$$= 1,77428 \cdot 10^{-12} p$$

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι η ακτίνα $r_3=109\text{mm}$ που χρησιμοποιήσαμε στην τελευταία σχέση και που, αντιστοιχεί στο γρανάζι, δεν είναι η πραγματική ακτίνα του γραναζιού (λόγω του ότι η τρύπα είναι ανοιγμένη έκκεντρα) αλλά πήραμε τη δυσμενέστερη περίπτωση και θεωρήσαμε ότι r_3 είναι η ελάχιστη απόσταση του κέντρου της τρύπας απ' την περιφέρεια του γραναζιού (σχήμα 16).



Σχήμα 16

Επίσης για την ακτινική μεταβολή του εξωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν στην ακτίνα r_2 έχουμε:

$$u_2 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1 - 0,28) \frac{0,085^3}{0,085^2 - 0,0765^2} + 1,28 \frac{0,0765^2 \cdot 0,085}{0,085^2 - 0,0765^2} \right] =$$

$$= 3,74255 \cdot 10^{-12} p$$

Έτσι παίρνουμε:

$$u_1 + u_2 = e_{max} \Rightarrow p = \frac{68 \cdot 10^{-6}}{1,77428 \cdot 10^{-12} + 3,74255 \cdot 10^{-12}} = 1,062 \text{ kp/mm}^2$$

Άρα για το γρανάζι έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{p \cdot r_3^2}{r_1^2 - r_2^2} = \frac{1,062 \cdot 0,109^2}{0,109^2 - 0,085^2} = 2,71 \text{ kp/mm}^2$$

Έτσι αν το γρανάζι γίνει από χάλυβα S_t με $S_y=21 \text{ kp/mm}^2$ έχουμε ένα συντελεστή ασφάλειας:

$$N = \frac{S_y}{2 \cdot \tau_{max}} = 3,89$$

Επίσης για τον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{p \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{1,062 \cdot 0,085^2}{0,085^2 - 0,0765^2} = 5,589 \text{ kp/mm}^2$$

Για το ρουλεμάν επειδή δεν ξέρουμε το όριο ροής του χάλυβα απ' τον οποίο είναι κατασκευασμένο δεν μπορούμε να βρούμε ένα συντελεστή ασφάλειας. Συμπεραίνουμε όμως ότι ο συντελεστής ασφάλειας θα είναι αρκετά μεγάλος γιατί αν π.χ. ήταν κατασκευασμένο από St37 θα είχε ένα συντελεστή περίπου 2. Επειδή όμως τα υλικά απ' τα οποία κατασκευάζονται τα ρουλεμάν είναι αρκετά ισχυρότερα βλέπουμε ότι είμαστε καλυμμένοι.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τη συναρμογή του εσωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν στο δακτύλιο (1), και τη συναρμογή του τελευταίου πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του καλουπιού. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω βρίσκουμε ότι η πίεση στη συναρμογή του δακτυλίου (1) και του καλουπιού είναι:

$$p_1 = 0,458 \text{ kp/mm}^2$$

Επίσης ομοίως βρίσκουμε ότι η πίεση στη συναρμογή του εσωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν και του δακτυλίου (1) είναι:

$$p_2 = 0,908 \text{ kp/mm}^2$$

και έτσι βρίσκουμε:

Για τον εξωτερικό σωλήνα του καλουπιού:

$$\tau_{max} = 3,35 \text{ kp/mm}^2, N = \frac{23,5}{2 \cdot 3,35} = 3,5$$

Για το δακτύλιο (1):

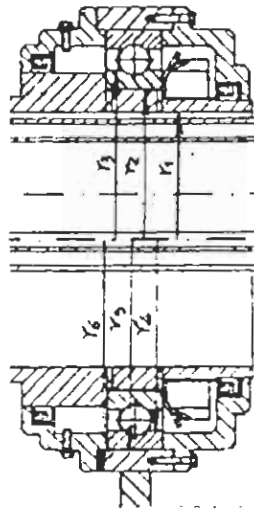
$$\tau_{max} = 3,063 \text{ kp/mm}^2, N = \frac{35}{2 \cdot 3,063} = 5,7$$

Για το δακτύλιο του ρουλεμάν:

$$\tau_{max} = 2,42 \text{ kp/mm}^2$$

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τη συναρμογή με την οποία προσαρμόζουμε τον άξονα του κινητήριου γραναζιού στα ρουλεμάν στήριξης. Θα αρχίσουμε απ' τη συναρμογή του εσωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν με τον άξονα του γραναζιού. Σύμφωνα με το σχήμα 17 έχουμε:

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



Σχήμα 17

$$r_1=85 \text{ mm}, r_2=100 \text{ mm}, r_3=113 \text{ mm}$$

Έτσι για την ακτινική μεταβολή του άξονα με την ακτίνα r_2 έχουμε:

$$u_1 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1-0,28) \frac{0,100^3}{0,100^2 - 0,085^2} + 1,2 \frac{0,085^2 \cdot 0,100}{0,100 - 0,085^2} \right] =$$

$$= 9,15848 \cdot 10^{-12} p$$

Επίσης για την ακτινική μεταβολή του εσωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν έχουμε:

$$u_2 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1-0,28) \frac{0,100^3}{0,113^2 - 0,100^2} + 1,2 \frac{0,100^2 \cdot 0,113^2}{0,113^2 - 0,100^2} \right] =$$

$$= 6,72924 \cdot 10^{-12} p$$

	46 μm	79 μm
Τρύπα	Άξονας	
	0 μm	50 μm

και $e_{\min} = 4 \mu\text{m}$, $e_{\max} = 79 \mu\text{m}$

Έτσι παίρνουμε:

$$p = \frac{79 \cdot 10^{-6}}{9,158 \cdot 10^{-12} + 6,729 \cdot 10^{-12}} = 0,497 \text{ kp/mm}^2$$

Για τον άξονα έχουμε:

$$\tau_{\max} = \frac{0,497 \cdot 0,100^2}{0,100^2 - 0,085^2} = 1,792 \text{ kp/mm}^2$$

Ο άξονας είναι κατασκευασμένος από χάλυβα St37 με $S_y=21\text{kp/mm}^2$ και άρα έχουμε συντελεστή ασφάλειας:

$$N = \frac{21}{2 \cdot 1,792} = 5,86$$

Για τον εσωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν έχουμε:

$$\tau_{\max} = \frac{0,497 \cdot 0,100^2}{0,113^2 - 0,100^2} = 1,795 \text{ kp/mm}^2$$

Τώρα θα ασχοληθούμε με τη συναρμογή στην οποία λαμβάνει μέρος ο εξωτερικός δακτύλιος του προηγούμενου ρουλεμάν. Η ακτινική μεταβολή του δακτυλίου του ρουλεμάν στην ακτίνα r_5 είναι:

$$u_1 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1-0,28) \frac{0,140^3}{0,140^2 - 0,127^2} + 1,28 \frac{0,127^2 \cdot 0,140}{0,140^2 - 0,127^2} \right] =$$
$$= 6,675 \cdot 10^{-12} p$$

Επίσης για την ακτινική μεταβολή του δακτυλίου στήριξης (1) έχουμε:

$$u_2 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1-0,28) \frac{0,140^3}{0,160^2 - 0,140^2} + 1,28 \frac{0,140 \cdot 0,160^2}{0,160^2 - 0,140^2} \right] =$$
$$= 5,208 \cdot 10^{-12} p$$

Η σφικτή συναρμογή που χρησιμοποιούμε είναι P₇/h₆, στο σύστημα άξονα με:

	0 μm	-36 μm
Άξονας		Τρύπα
	-32 μm	-88 μm

και $e_{\min}=4 \mu\text{m}$, $e_{\max}=88 \mu\text{m}$.

Έτσι έχουμε:

$$p = \frac{88 \cdot 10^{-6}}{6,675 \cdot 10^{-12} + 5,208 \cdot 10^{-12}} = 0,74 \text{ kp/mm}^2$$

Για το δακτύλιο στήριξης (1) έχουμε:

$$\tau_{\max} = \frac{0,740 \cdot 0,140^2}{0,160^2 - 0,140^2} = 2,419 \text{ kp/mm}^2$$

Ο δακτύλιος αυτός είναι κατασκευασμένος από χάλυβα St70 και άρα ο συντελεστής ασφάλειας είναι:

$$N = \frac{35}{2 \cdot 2,419} = 7,2$$

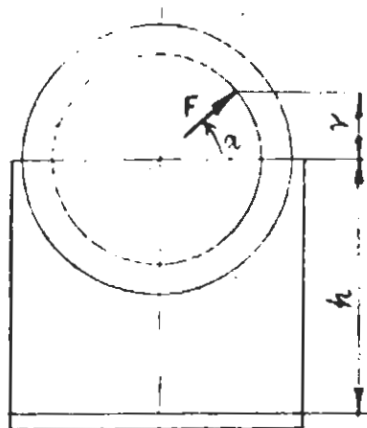
Τέλος για τον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν έχουμε:

$$\tau_{\max} = \frac{0,740 \cdot 0,140^2}{0,160^2 - 0,140^2} = 2,417 \text{ kp/mm}^2$$

$$u_2 = \frac{p}{2,1 \cdot 10^{11}} \left[(1 - 0,28) \frac{0,100^3}{0,113^2 - 0,100^2} + 1,28 \frac{0,100 \cdot 0,113^2}{0,113^2 - 0,100^2} \right] =$$
$$= 6,72924 \cdot 10^{-12} p$$

4.7 Υπολογισμός εδράσεων των δακτυλίων στήριξης

Εδώ θα υπολογίσουμε το πάχος των πλακών οι οποίες είναι συγκολλημένες πάνω στους δακτύλιους στήριξης και χρησιμεύουν για να εδράζονται οι δακτύλιοι πάνω στην πλάκα. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 18 οι στηρίξεις καταπονούνται σε κάμψη διάτμηση και εφελκυσμό ή θλίψη. Θα αρχίσουμε τον υπολογισμό μας απ' το μεγάλο έδρανο του χωνιού.



Σχήμα 18

Η ροπή κάμψης είναι:

$$M = F_{\phi\gamma} \cdot \cos \alpha (r \sin \alpha + h) \quad (4.35)$$

Η δύναμη διάτμησης είναι:

$$F_Q = F_{\phi\gamma} \cdot \cos \alpha \quad (4.36)$$

Η δύναμη εφελκυσμού ή θλίψης είναι:

$$F_N = F_{\phi\gamma} \cdot \sin \alpha \quad (4.37)$$

Η στήριξη καταπονείται με εναλλασσόμενο φορτίο. Έχουμε ότι:

$$S_e = C_f \cdot C_r \cdot C_s \cdot C_w \cdot \frac{1}{k_f} S_{n'}$$

Σαν υλικό των στηρίξεων θα χρησιμοποιήσουμε κοινό χάλυβα St37 με $S_y=21 \text{ kp/mm}^2$ και $S_u=37 \text{ kp/mm}^2$. Επειδή, όπως θα δούμε παρακάτω, οι πλάκες καταπονούνται κυρίως σε κάμψη έχουμε ότι:

$$S_{n'} = 10,82 \text{ kp/mm}^2$$

Επίσης είναι:

$$C_f = 0,9, C_r = 0,8136, C_s = 0,5, C_w = 0,667$$

Έτσι: $S_e=2,64 \text{ kp/mm}^2$ και $S_y/S_e=7,95$

Αν χρησιμοποιήσουμε πάχος 12 mm βρίσκουμε ότι:

$$\sigma_m = 0 \text{ kp/mm}^2, \sigma_r = 1,163 \text{ kp/mm}^2$$

$$r_m = 0 \text{ kp/mm}^2, \tau_t = 0,24 \text{ kp/mm}^2$$

Έτσι με το θεώρημα της μέγιστης διατμητικής τάσης παίρνουμε:

$$\tau_{max} = \sqrt{\frac{1}{4}(7,95 \cdot 1,163)^2 + (7,95 \cdot 0,31)^2} = \frac{21}{2N}$$

και παίρνουμε: $N=2,099$

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία βρίσκουμε τις τιμές και για τις υπόλοιπες εδράσεις. Έτσι παίρνουμε:

Πίνακας 5

ΕΔΡΑΣΗ	ΠΑΧΟΣ mm
1	12
2	12
3	10
4	10
5	10
6	10
7	10
8	10
9	10

4.8 Υπολογισμός συγκολλήσεων

Εδώ θα υπολογίσουμε τις συγκολλήσεις που κάνουμε για να ενώσουμε τις πλάκες έδρασης, που μελετήσαμε προηγουμένως, με τους αντίστοιχους δακτύλιους στήριξης. Οι συγκολλήσεις καταπονούνται σε εφελκυσμό (ή θλίψη), διάτμηση και κάμψη και φαίνονται στο σχήμα 19.

Για τον εφελκυσμό έχουμε:

$$f_{εφ} = F_{φιντ} \cdot \frac{\sin \alpha}{L} \quad (3.38)$$

όπου L= ολικό μήκος της συγκόλλησης (L=2d)

Για τη διάτμηση έχουμε:

$$f_{διατ.} = F_{φιντ} \cdot \frac{\cos \alpha}{L} \quad (3.38)$$

Τέλος για την κάμψη έχουμε:

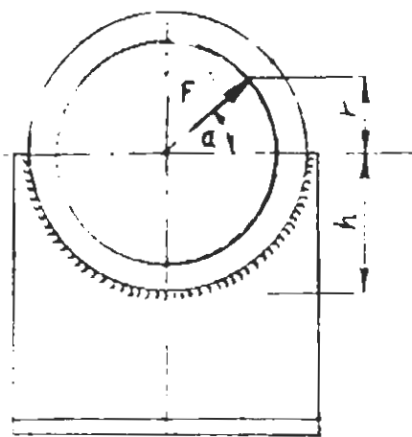
$$f_{καμ.} = \frac{F_{φυγ.} \cdot \cos \alpha \cdot r(h/r + \sin \alpha)}{w} \quad (4.40)$$

όπου

$$w = b \cdot d + \frac{d^2}{3} \quad (4.41)$$

Έτσι παίρνουμε ότι:

$$f_{εq} = \sqrt{(f_{καμ.} + f_{εφ.})^2 + 1,8 f_{διατ.}^2} \quad (4.42)$$



Σχήμα 19

Έτσι για το πάχος της συγκόλλησης h έχουμε:

$$h = \frac{2K_t \cdot f_{εq}}{S_y \sqrt{2}} \quad (4.43)$$

όπου K_t είναι ένας συντελεστής για δυναμική καταπόνηση και παίρνει την τιμή $K_t=1,5$.

Αν τελικά χρησιμοποιήσουμε μπρουτζοκόλληση με $S_y=21 \text{ kp/cm}^2$ βρίσκουμε ότι τα πάση των συγκολλήσεων για όλες τις στηρίξεις είναι:

Πίνακας 6

ΣΤΗΡΙΞΗ	ΠΑΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ mm
1	0,997
2	0,769
3	0,548
4	0,548
5	0,82
6	0,82
7	0,82
8	0,548
9	0,548

Επειδή όμως συνήθως οι συγκολλήσεις έχουν μεγαλύτερο πάχος τελικά θα χρησιμοποιήσουμε μπρουτζοκόλληση με πάχος 3 mm η οποία έχει $S_y=20-30 \text{ kp/mm}^2$, $S_{sy}=15-22 \text{ kp/mm}^2$.

4.9 Υπολογισμός κοχλίων

Εδώ θα υπολογίσουμε τους κοχλίες που χρησιμοποιούμε για να συνδέσουμε τους δακτύλιους έδρασης με την πλάκα. Οι κοχλίες αυτοί καταπονούνται φυσικά με εναλλασσόμενη φόρτιση. Θα αρχίσουμε με τους κοχλίες του μεγάλου εδράνου του χωνιού. Μετά από πολλές επαναληπτικές διαδικασίες καταλήξαμε στο ότι θα χρησιμοποιήσουμε κοχλίες M12 X 1,75.

Για τους κοχλίες αυτούς έχουμε:

$$d_2 = 10,863 \text{ mm}$$

$$d_3 = 9,853 \text{ mm}$$

Έτσι η καταπονούμενη διατομή είναι:

$$F = \frac{\pi}{16} (d_2 + d_3)^2 = 84,26 \text{ mm}^2$$

Οι κοχλίες θα είναι κλάσης 5.6 και θα έχουν:

$$S_y = 300 \text{ N/mm}^2, S_u = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{n'} = 0,315 \cdot 500 = 15,75 \text{ kp/mm}^2$$

$$C_f = 0,9, C_r = 0,8136, C_s = 1, C_w = 1, K_t = 2,3$$

Έτσι έχουμε:

$$S_e = \frac{C_f \cdot C_r \cdot C_s \cdot C_w}{K_t \cdot S_{n'}} = 0,318 \cdot 15,75 = 5 \text{ kp/mm}^2$$

και

$$\frac{S_y}{S_e} = \frac{300}{5} = 6 \text{ kp/mm}^2$$

Έτσι αν βάλουμε 6 κοχλίες έχουμε με το κριτήριο μέγιστης διατμητικής τάσης ότι:

$$\tau_{max} = 8 \text{ kp/mm}^2$$

και άρα:

$$N = \frac{S_y}{2\tau_{max}} = 2$$

Τελικά βρίσκουμε ότι παντού θα χρησιμοποιήσουμε κοχλίες M12X1,75 με τις εξής ποσότητες:

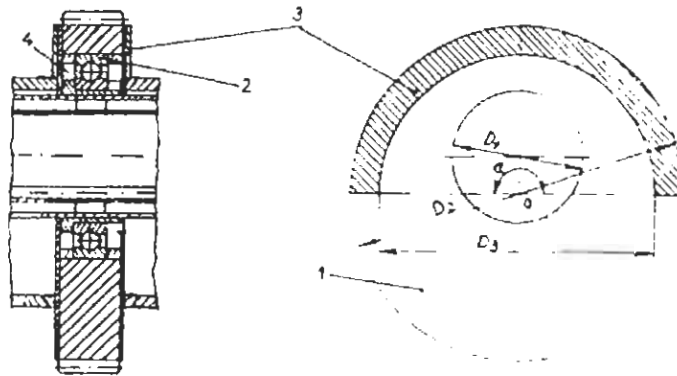
Πίνακας 7

ΣΤΗΡΙΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ
1	12
2	12
3	8
5	8
6	8
7	8
8	8
9	8

4.10 Υπολογισμός αντίβαρων του κινητήριου γραναζιού

Όπως έχουμε πει παραπάνω στο κινητήριο γρανάζι έχουμε ανοίξει έκκεντρα μια τρύπα μέσα στην οποία «φωλιάζει» ένα ρουλεμάν στον εσωτερικό δακτύλιο του οποίου εφαρμόζει ο εξωτερικός σωλήνας του καλουπιού. Λόγω του ότι η τρύπα είναι ανοιγμένη έκκεντρα δημιουργείται αζυγοσταθμία την οποία πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπ' όψιν γιατί λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής του γραναζιού παίρνει αρκετά μεγάλες τιμές. Επίσης στο γρανάζι εκτός απ' τη δύναμη αυτή ασκείται και η φυγόκεντρος δύναμη λόγω της περιστροφής του καλουπιού και μάλιστα η φυγόκεντρος δύναμη έχει αντίθετη φορά απ' αυτήν της δύναμης αζυγοσταθμίας. Τελικά λοιπόν πάνω στο γρανάζι ασκείται μια συνισταμένη δύναμη που έχει ακτινική διεύθυνση και την οποία μπορούμε να εξουδετερώσουμε εκλέγοντας τα κατάλληλα αντίβαρα τα οποία θα τα τοποθετήσουμε πάνω στο γρανάζι. Παρακάτω θα κάνουμε τον υπολογισμό αυτών των αντιβάρων.

Τα κενά που αφήνει η έκκεντρη τρύπα στο γρανάζι δημιουργεί μια έλλειψη μάζας. Για να βρούμε αυτήν την έλλειψη μάζας πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν και το δακτύλιο στήριξης του ρουλεμάν ο οποίος εφάπτεται με τον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν (σχήμα 20).



Σχήμα 20

Έτσι η διάμετρος της τρύπας που μας ενδιαφέρει έχει τιμή $D=151 \text{ mm}$.

Αρα η έλλειψη μάζας που αντιστοιχεί στην τρύπα είναι:

$$M = \pi \frac{D^2}{4} B \cdot \rho \quad (4.44)$$

όπου: B = πλάτος του γραναζιού

ρ = πυκνότητα του χάλυβα

Έτσι απ' τη σχέση 4.44 παίρνουμε:

$$m_l = \pi \frac{0,151^2}{4} 0,050 \cdot 7850 = 7,0288 \text{ kg}$$

Η απόσταση ανάμεσα στον άξονα συμμετρίας του καλουπιού και στον άξονα συμμετρίας της τρύπας είναι:

$$r_l = 30,15 \text{ mm}$$

Έτσι έχουμε:

$$m_1 \cdot r_1 = 7,0288 \cdot 0,03015 = 0,2119 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Επίσης η φυγόκεντρος δύναμη λόγω της περιστροφής του καλουπιού είναι $F_{\text{φυγ}}=7385,442\text{N}$. Η δύναμη αυτή ισοδυναμεί με ένα γινόμενο:

$$m_2 \cdot r_2 = \frac{F_{\text{φυγ}}}{\omega^2} \quad (4.45)$$

όπου ω =ταχύτητα περιστροφής του γραναζιού (rad/sec)

Έτσι απ' τη σχέση 4.33 παίρνουμε:

$$m_2 \cdot r_2 = \frac{7385,442}{(2\pi 2000 / 60)^2} = 0,168 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Τελικά λοιπόν έχουμε μια συνιστάμενη τιμή

$$M_{\text{ολ}} \cdot r_{\text{ολ}} = -m_1 \cdot r_1 + m_2 \cdot r_2 = -0,04355 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Η φυγόκεντρος δύναμη που αντιστοιχεί στο γινόμενο $M_{\text{ολ}}r_{\text{ολ}}$ είναι:

$$F_{\text{φυγ}} = M_{\text{ολ}} \cdot r_{\text{ολ}} \cdot \omega^2 = -0,04355(2\pi 2000 / 60)^2 = -1910,38 \text{ N}$$

Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η φορά της συνισταμένης φυγοκέντρου δύναμης είναι αντίθετη με τη φορά της φυγοκέντρου δύναμης που αναπτύσσεται καθαρά μόνο απ' την περιστροφή του καλουπιού. Θα πρέπει λοιπόν να κατασκευάσουμε αντίβαρα που το κέντρο βάρους τους να βρίσκεται σε τέτοιο σημείο ώστε να εξουδετερώνεται η συνιστάμενη φυγόκεντρος δύναμη. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 3.1 υπάρχει ένας κυκλικός δίσκος (1) με μια έκκεντρη τρύπα, μέσα απ' την οποία διέρχεται το καλούπι, ο οποίος χρησιμεύει για την πλευρική στήριξη του ρουλεμάν (2). Ο δίσκος αυτός είναι

συγκολλημένος πάνω στον άξονα (2). Τα αντίβαρα (3) βιδώνονται με κοχλίες πάνω στο γρανάζι. Στο χώρο (4) ανάμεσα στον κυκλικό δίσκο και στο ρουλεμάν μπαίνει γράσο για τη λίπανση του ρουλεμάν.

Αρχικά θα βρούμε τη θέση του κέντρου βάρους αυτού του κυκλικού δίσκου.

Το εμβαδόν της τρύπας είναι:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 110^2}{4} = 9503,317 \text{ mm}^2$$

Το εμβαδόν του κυκλικού δίσκου χωρίς την τρύπα είναι:

$$F_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 278^2}{4} = 60698,711 \text{ mm}^2$$

Άρα λοιπόν το κέντρο βάρους του κυκλικού δίσκου απέχει απ' το κέντρο βάρους 0 (σχήμα 20) του γραναζιού απόσταση xg_1

$$xg_1 = \frac{-F_1 \cdot 30,15 + F_2 \cdot 0}{F_2 - F_1} = -5,596 \text{ mm}$$

Αν πάρουμε ότι ο κυκλικός δίσκος έχει πάχος $h=3\text{mm}$ τότε έχει μάζα:

$$M_1 = \rho(F_2 - F_1)h = 1,205 \text{ kg}$$

Τώρα θα βρούμε το κέντρο βάρους των αντιβάρων η μορφή των οποίων φαίνεται στο σχήμα 20. Αν η γωνία α πάρει την τιμή $\alpha=\pi/2$ τότε το κέντρο βάρους του αντίβαρου δίνεται απ' τη σχέση:

$$xg_2 = \frac{-F_3 \cdot xg^3 + F_4 \cdot xg^4}{F_4 - F_3} \quad (4.46)$$

όπου:

$$F_3 = \frac{a \cdot D_3^2}{4}, \quad F_4 = \frac{a \cdot D_2^2}{4}$$
$$xg_3 = \frac{D_3 \cdot \sin a}{3a}, \quad xg_4 = \frac{D_2 \cdot \sin a}{3a}$$

Τελικά παίρνουμε ότι:

$$xg_2 = 81,09 \text{ mm}$$

Έτσι λοιπόν για να έχουμε εξουδετέρωση των φυγόκεντρων δυνάμεων θα πρέπει το πάχος h_2 των αντίβαρων να είναι τέτοιο ώστε να ισχύει:

$$-xg_1 \cdot M_1 + xg_2 \cdot M_2 = -xg_1 \cdot M_1 + xg_2 (F_4 - F_2) \cdot \rho \cdot h_2 = M_{ολ} \cdot r_{ολ} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow h_2 = 8,25 \text{ mm}$$

Αυτό το πάχος είναι το συνολικό πάχος των αντίβαρων. Έτσι μιας και θα τοποθετήσουμε δύο αντίβαρα, ένα σε κάθε πλευρά του γραναζιού, το πάχος του κάθε αντίβαρου θα είναι:

$$h_3 = \frac{h_2}{2} = 4,12 \text{ mm}$$

Τα αντίβαρα αυτά θα πρέπει να βιδωθούν πάνω στο γρανάτζι και θα υπολογίσουμε τώρα τη διατομή των κοχλιών. Οι κοχλίες καταπονούνται σε διάτμηση και η συνολική φυγόκεντρος δύναμη που φέρουν είναι όπως έχουμε πει παραπάνω.

$$F_{\acute{\alpha}\nu\gamma} = 1910,38 \text{ N}$$

Θα χρησιμοποιήσουμε 4 κοχλίες M5x0,8, οι οποίοι για συμμετρικία θα τοποθετηθούν ανά δυο σε κάθε πλευρά του γραναζιού. Οι κοχλίες θα είναι κλάσης 3,6 με όριο διαρροής $S_y = 200 \text{ N/mm}^2$.

Η καταπονούμενη διατομή των κοχλιών αυτών είναι:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot w} \left(\frac{63000}{7385} \right)^3$$

όπου w = ταχύτητα περιστροφής, rpm

Λόγω όμως της πλανητικής κίνησης η ταχύτητα περιστροφής του ρουλεμάν δεν είναι ίδια με την ταχύτητα περιστροφής του γραναζιού. Συγκεκριμένα αν λάβουμε υπ' όψιν τις διαστάσεις του ρουλεμάν και του καλουπιού έχουμε:

$$w = 1,402 \cdot w_1$$

όπου w_1 = ταχύτητα περιστροφής του γραναζιού

Αν έχουμε $w_1 = 2000$ rpm τότε παίρνουμε:

$$w = 1,402 \cdot 2000 = 2804 \text{ rpm}$$

Έτσι παίρνουμε:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 2804} \cdot \left(\frac{63000}{7385} \right)^3 = 3689 \text{ h} = 153 \text{ μέρες}$$

Τα δυο υπόλοιπα ρουλεμάν θα είναι SKF61940, (General Catalogue)

Και τα ρουλεμάν αυτά διαλέγουμε να είναι με σφαιρικούς τριβείς. Λόγω του ότι τα ρουλεμάν αυτά σηκώνουν πολύ μικρό φορτίο, όπως είπαμε, θα έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα διάφορα στοιχεία των ρουλεμάν που θα χρησιμοποιήσουμε φαίνονται στο παράρτημα.

4.11 Υπολογισμός αντλίας

Εδώ θα υπολογίσουμε τα βασικά στοιχεία του συστήματος τροφοδοσίας νερού της μηχανής.

Όπως έχουμε υπολογίσει παραπάνω η μαζική παροχή του νερού που θέλουμε είναι $m=8,577$ kg/sec. Έχοντας το πάχος του διακένου του καλουπιού μέσα απ' το οποίο διέρχεται το νερό μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του νερού. Το διάκενο αυτό βρίσκεται ανάμεσα στον εσωτερικό και τον εξωτερικό σωλήνα του καλουπιού, όπως έχουμε πει παραπάνω, και έτσι η επιφάνεια ροής του νερού δίνεται απ' τη σχέση:

$$A = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_{in}^2) \quad (4.48)$$

όπου:

d_{in} =εξωτερική διάμετρος του εσωτερικού σωλήνα

d_o = εσωτερική διάμετρος του εξωτερικού σωλήνα

Αλλά είναι:

$$m = \rho \cdot A \cdot u \quad (4.49)$$

όπου:

ρ = πυκνότητα του νερού

u = ταχύτητα του νερού

Έτσι απ' την 4.38 και την 4.39 παίρνουμε:

$$u = \frac{4m}{\pi \cdot \rho (d_o^2 - d_{in}^2)} \quad (4.50)$$

Αν πάρουμε πυκνότητα νερού $\rho=1000\text{kg/m}^3$ τότε απ' τη 4.50 παίρνουμε:

$$u = \frac{4 \cdot 8,577}{\pi \cdot 1000(0,0944^2 - 0,0761^2)} = 3,5 \text{ m/sec}$$

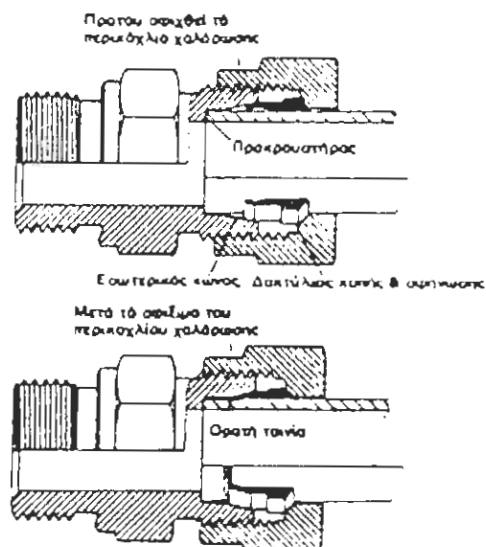
Όπως έχουμε πει παραπάνω για την είσοδο του νερού στη μηχανή υπάρχει ειδικός δακτύλιος ο οποίος έχει έναν ορισμένο αριθμό οπών μέσα απ' τις οποίες διέρχεται το νερό. Ο δακτύλιος αυτός περνιέται στην εξωτερική επιφάνεια του εξωτερικού σωλήνα του καλουπιού και για να εξασφαλίζεται στεγανότητα υπάρχουν δυο τσιμούχες, μια σε κάθε πλευρά του δακτυλίου, όπως φαίνεται στο συναρμολογημένο σχέδιο. Επίσης για να υπάρχει στεγανότητα στις οπές μέσα απ' τις οποίες διέρχεται το νερό χρησιμοποιούμε κοχλιωτή σύνδεση δακτυλίου κοπής (κατασκευής Ermeto) όπως φαίνεται στο σχήμα 21. Πρέπει τώρα να υπολογίσουμε την εσωτερική διάμετρο της κοχλιωτής σύνδεσης μέσα απ' την οποία διέρχεται το νερό έτσι ώστε να είναι ικανή να μας εξασφαλίσει την παροχή που θέλουμε.

Απ' τη σχέση 4.49 παίρνουμε:

$$m = \rho \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{u \cdot \rho \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,577}{3,5 \cdot 1000 \cdot \pi}} \Rightarrow d = 56 \text{ mm}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι για να εξασφαλιστεί η παροχή που θέλουμε χρειάζεται η εσωτερική διάμετρος της κοχλιωτής σύνδεσης να είναι 56 mm. Επειδή η τιμή αυτή είναι αρκετά μεγάλη σε σύγκριση με τις διαστάσεις του δακτυλίου και επειδή στην αγορά δεν κυκλοφορούν συνήθως κοχλιωτές συνδέσεις με τέτοια εσωτερική διάμετρο

αποφασίσαμε αντί για μια σύνδεση να φτιάξουμε τέσσερις συνδέσεις όπου η κάθε μια θα έχει εσωτερική διάμετρο $d=14\text{mm}$.



Σχήμα 21. Κοχλιωτή σύνδεση δακτυλίου κοπής (κατασκευής Ermeto)

Η διαδρομή που θα κάνει το νερό στην εγκατάσταση θα είναι η εξής: Το νερό εισέρχεται στη μηχανή μέσα απ' τις κοχλιωτές συνδέσεις όπως περιγράψαμε παραπάνω, κινείται κατά μήκος του καλουπιού μέσα απ' το ειδικό διάκενο απορροφώντας τη θερμότητα που αποβάλλεται απ' τη ράβδο του αλουμινίου, εξέρχεται απ' το καλούπι με τρόπο παρόμοιο με τον οποίον έγινε η είσοδος αλλά με θερμοκρασία αρκετά ανεβασμένη, στη συνέχεια διέρχεται μέσα από έναν εναλλάκτη όπου ψύχεται μέχρι μια θερμοκρασία χαμηλή, συγκεντρώνεται σε κάποια μικρή δεξαμενή όπου έπειτα αναρροφάτε από μια αντλία και στέλνεται πάλι στην είσοδο του καλουπιού. Τώρα θα υπολογίσουμε το μανομετρικό της αντλίας που θα χρησιμοποιήσουμε στο κύκλωμα του νερού. Το μανομετρικό δίνεται απ' τη σχέση:

$$H = \frac{P_b - P_a}{\rho \cdot g} + \frac{u_b^2 - u_a^2}{2g} + h_b - h_a + \sum h_{vab} \quad (m) \quad (4.51)$$

Το σύμβολο b αναφέρεται στο σημείο όπου γίνεται η έξοδος του νερού προς τη δεξαμενή ενώ το σύμβολο a αναφέρεται στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής (και αντιστοιχεί στην είσοδο του νερού στο κύκλωμα ροής). Έτσι έχουμε:

P_b, P_a = πίεση στα αντίστοιχα σημεία

u_b, u_a = ταχύτητα του νερού στα αντίστοιχα σημεία

h_b, h_a = ύψος στα αντίστοιχα σημεία

$\sum h_{vab}$ = απώλειες απ' το σημείο a στο b .

Έχουμε τώρα ότι:

$P_a = P_b = 1 \text{ atm}$

$u_a = 0, u_b = 3,5 \text{ m/sec}$

Επίσης επειδή τα ύψη h_a, h_b έχουν μικρή διαφορά μεταξύ τους θεωρούμε ότι είναι περίπου ίσα.

Θα υπολογίσουμε τώρα τις απώλειες $\sum h_{vab}$ οι οποίες δίνονται απ' τη σχέση:

$$\sum h_{vab} = \sum \frac{\lambda \cdot l \cdot u^2}{2 \cdot d \cdot g} + \sum \frac{J \cdot u^2}{2 \cdot g} \quad (4.52)$$

όπου l είναι τα διάφορα μήκη του αγωγού με τις αντίστοιχες διαμέτρους d και τους αντίστοιχους συντελεστές τριβής λ , J είναι συντελεστές απωλειών των διαφόρων ιδιόμορφων τμημάτων όπως γωνίες, διακλαδώσεις κλπ. Το συντελεστή τριβής λ θα τον υπολογίσουμε

από διάγραμμα (Moody), το οποίο μας δίνει την εξάρτηση του συντελεστή τριβής λ απ' τον αριθμό Reynolds σε αγωγούς. Έτσι πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε τον αριθμό Reynolds ο οποίος δίνεται απ' τη σχέση:

$$R_e = \frac{u \cdot d_h}{\nu} \quad (4.53)$$

όπου d_h = υδραυλική διάμετρος

ν = κινηματικό ιξώδες του ρευστού

Η υδραυλική διάμετρος δίνεται στη γενική περίπτωση απ' τη σχέση:

$$d_h = \frac{4A}{\Pi} \quad (4.54)$$

όπου A = η επιφάνεια της ροής

Π = η περίμετρος της βρεχόμενης επιφάνειας

Σε κοινούς όμως σωλήνες όταν αντικαταστήσουμε τους όρους στην σχέση 4.54 βλέπουμε ότι η υδραυλική διάμετρος είναι ίση με την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα.

Θα αναφερθούμε πρώτα στον αγωγό που σχηματίζεται απ' το διάκενο του καλουπιού.

Ισχύει ότι:

$$A = \frac{\pi(d_o^2 - d_{in}^2)}{4} \quad (4.55)$$

και

$$\Pi = \pi(d_o + d_{in}) \quad (4.56)$$

όπου:

d_{in} = εξωτερική διάμετρος του εσωτερικού σωλήνα

d_o = εσωτερική διάμετρος του εξωτερικού σωλήνα

Έτσι από τις σχέσεις 3.54, 3.55, 3.56 παίρνουμε ότι:

$$d_h = \frac{4\pi(d_o^2 - d_{in}^2)}{4\pi(d_o + d_{in})} = d_o - d_{in} \quad (4.57)$$

Επειδή είναι: $d_o=94,4\text{mm}$, $d_{in}=76,1$ παίρνουμε:

$$d_h = 94,4 - 76,1 = 18,3\text{mm}$$

Επίσης για μια μέση θερμοκρασία του νερού 40°C βρίσκουμε από πίνακες ότι το κινηματικό ιξώδες ν του νερού είναι:

$$\nu = 6,58 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Έτσι απ' τη σχέση 3.53 παίρνουμε ότι:

$$R_e = \frac{3,5 \cdot 0,0183}{6,58 \cdot 10^{-7}} = 97340$$

Επειδή σε αγωγούς ο κρίσιμος αριθμός Reynolds είναι $R_e=2320$ βλέπουμε ότι η ροή είναι τυρβώδης. Σε σωλήνες, χωρίς ραφή, σαν αυτούς που χρησιμοποιούμε, μια συνηθισμένη τραχύτητα k είναι $k=0,06\text{mm}$ και άρα έχουμε:

$$\frac{k}{d_h} = \frac{0,00006}{0,0183} = 0,00328$$

Έτσι έχοντας τις τιμές Re , k/d_h μπορούμε να βρούμε απ' το διάγραμμα Moody ότι η τραχύτητα λ έχει την τιμή $\lambda=0,028$

Για το υπόλοιπο δίκτυο διαλέγουμε σωληνώσεις οι οποίες (σύμφωνα με πίνακες σωληνώσεων βλ. παράρτημα) έχουν εξωτερική διάμετρο $d_a=60,3\text{mm}$ και πάχος $s=2,9\text{mm}$. Έτσι η εσωτερική τους διάμετρο είναι:

$$d_m = 60,3 - 2 \cdot 2,9 = 54,5$$

που είναι περίπου ίση με τη διάμετρο που χρειαζόμαστε για να εξασφαλίζεται ικανοποιητική παροχή. Έτσι παίρνουμε:

$$R_e = \frac{3,5 \cdot 0,0545}{6,58 \cdot 10^{-7}} = 289893$$

Και εδώ βλέπουμε ότι η ροή είναι τυρβώδης. Επίσης είναι:

$$\frac{k}{d} = \frac{0,00006}{0,0545} = 0,0011$$

Έτσι απ' τα διάγραμμα Moody βρίσκουμε ότι $\lambda=0,02$.

Τώρα θα υπολογίσουμε τους τοπικούς συντελεστές απωλειών J , για το σημείο όπου το νερό απ' τον κύριο τροφοδοτικά σωλήνα με διάμετρο 54,5 mm διαχωρίζεται σε τέσσερις επιμέρους ροές (η κάθε ροή αντιστοιχεί στον κάθε κοχλιωτό σύνδεσμο) με διάμετρο της επιφάνειας ροής 14 mm, βρίσκουμε από πίνακες ότι $J_1=0,25$. Επίσης για το σημείο όπου το νερό εισέρχεται στο καλούπι και που αλλάζει η διεύθυνση ροής κατά 90 μοίρες βρίσκουμε από πίνακες ότι $J_2=2,54$. Για κάθε ένα απ' τα επτά στηρίγματα του εσωτερικού στον εξωτερικό σωλήνα βρίσκουμε ότι ο συντελεστής είναι $J_3=0,39$. Για το σημείο εξόδου του νερού απ' το καλούπι όπου το νερό αλλάζει πάλι διεύθυνση 90 μοιρών θέτουμε $J_4=2,54$. Τέλος στο σημείο όπου οι τέσσερις επιμέρους ροές ενώνονται σε μια θέτουμε πάλι $J_5=0,25$. Έτσι έχουμε:

$$J_{ολ} = 0,25 + 2,54 + 7 \cdot 0,39 + 2,54 + 0,25 = 8,31$$

Τέλος σαν μήκος θέτουμε στον αγωγό που σχηματίζεται απ' το καλούπι $l_1=2m$ και στις υπόλοιπες σωληνώσεις που θα χρησιμοποιήσουμε θέτουμε προσεγγιστικά $l_2=4m$.

Έτσι απ' τη σχέση 4.51, 4.52 παίρνουμε:

$$H = \frac{u^2}{2g} + \frac{\lambda_1 \cdot l_1 \cdot u^2}{2dh \cdot g} + \frac{\lambda_2 \cdot l_2 \cdot u^2}{2d \cdot g} + \frac{J_{ολ} \cdot u^2}{2g}$$

$$H = \frac{3,5^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{0,028 \cdot 2 \cdot 3,5^2}{2 \cdot 0,0183 \cdot 9,81} + \frac{0,02 \cdot 4 \cdot 3,5^2}{2 \cdot 0,545 \cdot 9,81} + \frac{8,31 \cdot 3,5^2}{2 \cdot 9,81} = 7,815m$$

Η τιμή H αντιστοιχεί σε διαφορά πίεσης:

$$\Delta P = H \cdot \rho \cdot g = 7,815 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 0,757 atm$$

Λόγω του ότι μπορεί στο κύκλωμα του νερού να υπάρχουν και άλλες απώλειες τις οποίες μπορεί να μην έχουμε λάβει υπ' όψιν παίρνουμε τελικά αντλία με $\Delta P=1 atm$. Αν η παροχή είναι αρκετά αυξημένη, λόγω της αύξησης του ΔP , τότε μπορούμε να στραγγαλίσουμε τη ροή.

Χύτευση-Χυτήριο και υπολογισμός κατασκευής μηχανής συνεχούς χύτευσης αλουμινίου

Λειτουργία των χαλυβουργιών σε θερμοκρασία δωματίου

Συμβολο	Αντοχή σε τρέξιμο αέ Ν/mm ²	Όριο τήσης ροής σε Ν/mm ² για πάχος τοιχώματος σε mm τουλάχιστον			Διαστολή σε θραύση (L = 3 α) τουλάχιστον		Εργασία κτυπήματος σε εγκοπή σε J μέση τιμή από δείγματα (τουλάχιστον) DIN 50115 κατά ISO-V κατά ISO/R 148			
		≤ 16	έως 40	> 40 έως 80	κρίθ μήκος %	εγκάρσια %	κατά μήκος εγκάρσια	κατά μήκος εγκάρσια		
Μη μειωμένοι χαλύβες										
St 34.2	330-410	205	205		26	24				
St 37.2	360-440	235	225		23	21				
St 42.2	410-490	255	245		20	18				
St 52.2	510-610	355	345 ³		22	20				
St 35	340-440	235	225	215	25	23				
St 45	440-540	255	245	235	21	19				
St 52	510-610	355	345 ³	335 ³	22	20				
ASt 35	340-440	235	225	215 ³	25	23				
ASt 45	440-540	255	245	235 ³	21	19				
ASt 52	510-610	355	345 ³	335 ³	22	20				
St 35B	340-440	235	235	225	25	23	48	34		
St 37B	340-440	235			25					
St 42B	440-540	255			21					
St 45B	440-540	255	255	245	21	19	61	27		
Χαμηλού κράματος χαλύβες										
17 Mn 4	450-550	275	275	265	23	21	48	34		
19 Mn 5	510-610	315	315	305	19	17	48	34		
20 Mn 6	540-670	375	355 ³	345	21	18	55	41		
15 Mo 3	440-540	285	285	275	22	20	48	34		
16 Mo 5	440-540	285	285	275	22	20	48	34		
11 CrMo 44	440-570	295	295	285	22	20	48	34		
14 MoV 67	490-690	365	355	345 ³	20	18	62	41		

10 CrMo 9 10	440-590	295	285	295	20	18	55	34		
10 CrMo 9 10 V	500-680	485	485	485	17	13	41	27	35	24
WB 30	550-690	410	410	410	22	18	55	41	47	31
WB 35	590-780	460	460	450	18	16	55	34		
117 MnMoV 641										
WB 36	610-760	440	440 ³	430	20	16	48	34		
115 NiCuMoVb 51										
20 MoMoNi 45	590-740	440	440	440	20	16	55	34		
15 MoMoNiV 53	690-830	540	540	540	19	17	54	41	47	30
22 NiMoCr 37	590-740	440	440	440	20	15	62	41	63	30
12 CrMo 19 5	590-740	390	390	390	17	15	48	34		
Υψηλού κράματος χαλύβες										
X 12 CrMo 9 1	590-740	390	390	390	20	18	55	34		
X 20 CrMoV 12 1	690-830	490	490	490	17	14	55	34		
X 20 CrMoV 12 1	690-830	490	490	490	17	14	55	34		
X 3 CrNi 18 11	490-690	185	185		50	37	96	69		
X 6 CrNi 18 11										
X 3 CrNiMoN 17 13	490-690	205	205		45	34	96	69		
X 6 CrNiMo 17 13										
X 8 CrNiNb 18 13	510-690	205	205		35	22	103	69		
X 6 CrNiMoNb 18 18	530-690	215	215		35	22	103	69		
X 8 CrNiMoNb 18 13	540-740	255	255		30	20	49	41		

1) Ισχύει σε εφαπτεμάτιο, διαστολή με θραύση και εργασία κτυπήματος σε εγκοπή ισχύουν κάθε φορά μέχρι το μένιστο πάχος τοιχώματος, για οποία αναφέρεται στον πίνακα τα όρια τήσης ροής.

2) Οι άλλες τιμές > 30mm εξωτερικής διαμέτρου με < 3 mm πάχος τοιχώματος τα όρια τήσης ροής βρίσκονται χαμηλότερα κατά 10 N/mm².

3) Έως 25 mm πάχος τοιχώματος
4) Έως 30 mm πάχος τοιχώματος

3) Έως 50 mm πάχος τοιχώματος
4) Έως 60 mm πάχος τοιχώματος

Σύνθεση και χαρακτηριστικές τιμές αντοχής ανθεκτικών στη θερμοκρασία 200°C, μ.μ.μ.

Χαλβιδωσμένες	Χημική σύνθεση (ισοβαρικές τιμές)										
	Αριθμός αλουμινίου κατεργασίας	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Λοιπό			
DIN-Χαλβιδωσμένες											
8 CrSi 77	14700	≤ 0.12	1.5...2.0	≤ 1.0	1.5...2.0						
X 10 CrAl 17	14713	≤ 0.12	0.5...1.0	≤ 1.0	6.0...9.0		0.5...1.0				
X 10 CrAl 13	14724	≤ 0.12	0.7...1.2	≤ 1.0	12...14		0.7...1.2				
X 10 CrAl 18	14742	≤ 0.12	1.0...1.5	≤ 1.0	17...19		0.7...1.2				
X 10 CrTi 25	14746	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 1.0	24...26			Ti			
X 10 CrNi 28	14749	0.15...0.20	≤ 1.0	≤ 1.0	26...29			N			
X 10 CrAl 24	14762	≤ 0.12	1.0...1.5	≤ 1.0	23...25	12...17					
X 20 CrNiSi 25 4	14821	0.10...0.20	0.8...1.5	≤ 2.0	24...26	3.5...5.5					
X 12 CrNiTi 18 9	14878	≤ 0.12	≤ 1.0	≤ 2.0	17...19	9.0...11.5		Ti			
X 15 CrNiSi 20 12	14878	≤ 0.20	1.5...2.5	≤ 2.0	19...21	11...13					
X 15 CrNiSi 25 20	14841	≤ 0.20	1.5...2.5	≤ 2.0	24...26	19...21					
X 10 NiCrAlTi 37 20	14876	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 1.5	19...23	30...34		Al, Ti			

Οι τιμές οφείλουν να ομαλύνονται εν ψυχρώ μέχρι το 5 mm μέγιστος τοκεματίας.

Πίνακας 6.9. Χημική σύνθεση και χαρακτηριστικές τιμές αντοχής ανθεκτικών εν ψυχρώ χαλβιδωσ.

Χαλβιδωσμένες	Χημική σύνθεση (ισοβαρικές τιμές)										
	Αριθμός αλουμινίου κατεργασίας	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Λοιπό		
DIN-Χαλβιδωσμένες											
Ti Si 35 N	10358	≤ 0.17	≤ 0.35	≤ 0.40							
Ti Si 35 V	15639	≤ 0.12	0.10...0.35	0.3...0.6			3.2...3.8				
10 Ni 14	15680	≤ 0.20	0.10...0.35	0.3...0.6			4.5...5.3				
12 Ni 19	15662	≤ 0.10	0.10...0.35	0.3...0.6			8.0...10.0				
X 8 Ni 9	15740	≤ 0.12	≤ 1.0	≤ 2.0	17	14	8...10				
X 12 CrNi 18 9		≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 2.0	17	14	8...10				
X 10 CrNiTi 18 10	16803	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 2.0	17	14	8...10	10...12	Ti		
X 10 CrNiNb 18 10	16805	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 2.0	17	14	8...10	10...12	Ti		
X 5 CrNi 18 10	16806	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 2.0	17	14	8...10	10...12	Nb		

Οι τιμές οφείλουν να ομαλύνονται εν ψυχρώ μέχρι το 10 mm

Αντοχή σε εφελκυσμό N/mm ²	Όριο τάρσης N/mm ²	Διαστάση σε βράση σε μήκος $L_0 = 5d_0$ τουλάχιστον	Χημική αντοχή επιφανειών N/mm ² σε θερμοκρασία υπολογισμού σε °C				Περίσσει εφελκυστικής ισχύος στον αέρα
			500	700	900	1100	
440...640	245	20	13				620
440...640	215	20	20	5	2	1	620
440...640	245	15	20	5	2	1	920
440...640	265	12	20	5	2	1	1050
490...740	265	10	20	5	2	1	1100
490...740	265	10	20	5	2	1	1100
490...740	265	10	20	5	2	1	1200
590...780	390	20	20	5	2	1	1100
490...740	185	40	78	25	8	3	890
490...740	225	40	64	16	7	3	1050
540...780	225	30	78	18	7	3	1200
490...740	185	30	39	20	8	3	1050

Αντοχή σε εφελκυσμό σε RT N/mm ²	Διαστάση σε βράση σε μήκος σε RT $L_0 = 5d_0$ τουλάχιστον	Επίσρα κτυπήματος σε οριζόντιο σε DIN 50160 σπρέκ																
		195	175	140	120	100	80	60	40									
340...440	275	35																
340...490	255	24																
440...640	345	20																
540...740	420	19																
640...830	500	17																
490...690	315	50																
490...740	205	40																
490...740	205	40																
490...690	185	20																

Χύτευση-Χυτήριο και υπολογισμός κατασκευής μηχανής συνεχούς χύτευσης αλουμινίου

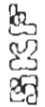
Χαρακτηριστικές τιμές αντοχής μη αβειδωμένων χαλύβων σιδηροχρωμίου χύρου κατά DIN 17440/12 721

Όρος χάλυβα συμβολο	Αριθμός α- λυσίου κατα- σκευής	Κατάσταση βελτισ- τισμού	Συμμετρικό R15	Όριο τάσης ροής R _{0,2} (MPa)	Όριο R _m (MPa)	Αντοχή σε εφελκυσ- μό	Διαστολή σε θάβωση (L ₀ = 5g) για παχύς σε mm								
							≤ 5	> 5	> 10	> 20	≤ 5	> 5	> 10	> 20	
							Διάμετρος d				Κατευθυνση δοκιμής κατά μήκος				
							≤ 15	> 15	> 60	> 100	—	—	—	—	> 100
							≤ 60	≤ 100	≤ 160	—	—	—	—	—	≤ 160
							%				%				
Χημικοί και μαρτενιτικοί χάλυβες															
7 Cr 13	1 4000	Πυρακτω- μενών εν θερμώ	130 ως 180 160 ως 210	250 400	—	450 ως 650 550 ως 700	20	—	—	—	15	—	—	—	
7 Cr 1Al 13	1 4002	Πυρακτω- μενών εν θερμώ	130 ως 180 160 ως 210	250 400	—	450 ως 650 550 ως 700	20	—	—	—	15	—	—	—	
10 Cr 13	1 4006	Πυρακτω- μενών εν θερμώ	140 ως 180 170 ως 210	300 450	—	550 ως 700 600 ως 750	20	—	—	—	15	—	—	—	
15 Cr 13	1 4024	Πυρακτω- μενών εν θερμώ	— 180 ως 210	— 450	—	— 450 ως 800	— 18	—	—	—	—	13	13	—	
20 Cr 13	1 4021	Πυρακτω- μενών εν θερ- μώ	— 180 ως 230 230 ως 275	— 450 550	—	— 650 ως 800 800 ως 950	— 19 15	—	—	—	—	13	13	12	
40 Cr 13	1 4034	Πυρακτω- μενών	—	—	—	— 800	—	—	—	—	—	—	—	—	
45 CrMoV 15	1 4116	Πυρακτω- μενών	—	—	—	— 800	—	—	—	—	—	—	—	—	
8 Cr 17	1 4016	Πυρακτω- μενών	130 ως 170	210	—	450 ως 600	20	—	—	—	15	—	—	—	
9 CrTi 17	1 4510	Πυρακτω- μενών	130 ως 170	270	—	450 ως 600	20	—	—	—	15	—	—	—	
14 CrNi 17	1 4511	Πυρακτω- μενών	130 ως 170	270	—	450 ως 600	20	—	—	—	15	—	—	—	
14 CrMo 17	1 4113	Πυρακτω- μενών	130 ως 180	270	—	450 ως 650	20	—	—	—	15	—	—	—	
17 CrNiMoS 17	1 4104	Πυρακτω- μενών εν θερμώ	180 ως 210 190 ως 235	300 450	—	350 ως 700 700 ως 850	20 12	—	—	—	—	—	—	—	
22 CrNi 17	1 4057	Πυρακτω- μενών εν θερμώ	— 225 ως 275	— 600	—	— 800 ως 950	— 14	—	—	—	—	—	10	10	
Μαρτενιτικοί χάλυβες															
X 12 CrNiS 18 9	1 4305	Ταχείας αλληλυν- σης	130 ως 180	215	255	500 ως 700	50	—	—	—	—	—	—	—	
X 5 CrNi 18 9	1 4301		130 ως 180	185	225	500 ως 700	50	—	—	—	—	—	—	34	
X 5 CrNi 19 11	1 4303		130 ως 180	185	225	500 ως 700	50	—	—	—	—	—	—	34	
X 2 CrNi 18 9	1 4306		120 ως 180	175	215	450 ως 700	50	—	—	—	—	—	—	34	
X 10 CrNiTi 18 9	1 4541		130 ως 190	205	245	500 ως 750	40	—	—	—	—	—	—	26	
X 10 CrNiNb 18 9	1 4550		130 ως 190	205	245	500 ως 750	40	—	—	—	—	—	—	26	
X 5 CrNiMo 18 10	1 4401	Ταχείας αλληλυν- σης	130 ως 180	205	245	500 ως 700	45	—	—	—	—	—	—	30	
X 2 CrNiMo 18 10	1 4404		120 ως 180	195	235	450 ως 700	45	—	—	—	—	—	—	30	
X 10 CrNiMoTi 18 10	1 4571		130 ως 190	225	265	500 ως 750	40	—	—	—	—	—	—	26	
X 10 CrNiNb 18 10	1 4580		130 ως 190	225	265	500 ως 750	40	—	—	—	—	—	—	26	
X 5 CrNiMo 18 12	1 4436	Ταχείας αλληλυν- σης	130 ως 180	205	245	500 ως 700	45	—	—	—	—	—	—	30	
X 2 CrNiMo 18 12	1 4435		120 ως 180	195	235	450 ως 700	45	—	—	—	—	—	—	30	
X 2 CrNiMo 18 16	1 4438		130 ως 180	195	235	500 ως 700	45	—	—	—	—	—	—	30	
X 2 CrNiH 18 10	1 4311	Ταχείας αλληλυν- σης	140 ως 200	270	310	550 ως 750	40	—	—	—	—	—	—	26	
X 2 CrNiMoH 18 12	1 4408		150 ως 210	250	320	600 ως 800	40	—	—	—	—	—	—	26	
X 2 CrNiMoH 18 13	1 4429		150 ως 210	300	340	600 ως 800	40	—	—	—	—	—	—	26	

Η ελάχιστη τιμή για το όριο τάσης ροής του 0,2 ορίου καθώς και η ελάχιστη τιμή για το 1% - όρια διαστολής ισχύουν για αερίους μόνο μέχρι το πάχος των 20 mm και μπορούν στο κάτω όριο να υποβαστούν κατά τα ανωτέρω αναφερόμενα ποσά σε προσαρμοστά σε δι-
κλάδες προφίλ σε όλα τα πάχη στον χάλυβα 1,4541 κατά 20 N/mm² και στην διατομή στον χάλυβα 1,4541 και στον χάλυβα 1,4571 κατά 10
N/mm², σε ραβδούς με διαμέτρους άνω των 100 mm ή της επόμενης διατομής στον χάλυβα 1,4541 και στον χάλυβα 1,4571 κατά 10 N/mm²

Χύτευση-Χυτήριο και υπολογισμός κατασκευής μηχανής συνεχούς χύτευσης αλουμινίου

Deep groove ball bearings
d 75-105 mm



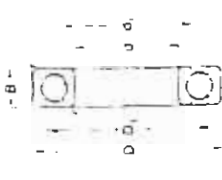
Load rating (dynamic)
C₁₀ (kN)
C₉₀ (kN)
C₅₀ (kN)
C₁ (kN)
C₂ (kN)
C₃ (kN)
C₄ (kN)
C₅ (kN)
C₆ (kN)
C₇ (kN)
C₈ (kN)
C₉ (kN)
C₁₀ (kN)

Dimensions
d D B C

d	D	B	C	d	D	B	C	d	D	B	C	d	D	B	C	d	D	B	C
75	110	22	28	75	110	22	28	75	110	22	28	75	110	22	28	75	110	22	28
80	115	23	29	80	115	23	29	80	115	23	29	80	115	23	29	80	115	23	29
85	120	24	30	85	120	24	30	85	120	24	30	85	120	24	30	85	120	24	30
90	125	25	31	90	125	25	31	90	125	25	31	90	125	25	31	90	125	25	31
95	130	26	32	95	130	26	32	95	130	26	32	95	130	26	32	95	130	26	32
100	135	27	33	100	135	27	33	100	135	27	33	100	135	27	33	100	135	27	33
105	140	28	34	105	140	28	34	105	140	28	34	105	140	28	34	105	140	28	34



Deep groove ball bearings
d 75-105 mm



Dimensions
d D B C

d	D	B	C	d	D	B	C	d	D	B	C	d	D	B	C	d	D	B	C
75	110	22	28	75	110	22	28	75	110	22	28	75	110	22	28	75	110	22	28
80	115	23	29	80	115	23	29	80	115	23	29	80	115	23	29	80	115	23	29
85	120	24	30	85	120	24	30	85	120	24	30	85	120	24	30	85	120	24	30
90	125	25	31	90	125	25	31	90	125	25	31	90	125	25	31	90	125	25	31
95	130	26	32	95	130	26	32	95	130	26	32	95	130	26	32	95	130	26	32
100	135	27	33	100	135	27	33	100	135	27	33	100	135	27	33	100	135	27	33
105	140	28	34	105	140	28	34	105	140	28	34	105	140	28	34	105	140	28	34

Χύτευση-Χυτήριο και υπολογισμός κατασκευής μηχανής συνεχούς χύτευσης αλουμινίου

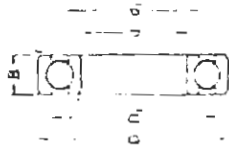
Deep groove ball bearings
d 110-170 mm

SKF



SKF

Deep groove ball bearings
d 110-170 mm



Επιλεγμένα Υλικά
Material Selection
Από το βιβλίο: "Metals Handbook", 9η έκδοση, τ. 2, σελ. 10.57.

Υπολογισμοί/Calculations

Diameter mm	Dimensions			Shaftment and Ball diameters			Calculation factors
	d	D	B	d ₁	D ₁	d ₂	
110	110	130	13	105	125	1	0.775
115	115	135	13	110	130	1	0.74
120	120	140	13	115	135	1	0.71
125	125	145	13	120	140	1	0.68
130	130	150	13	125	145	1	0.65
135	135	155	13	130	150	1	0.62
140	140	160	13	135	155	1	0.59
145	145	165	13	140	160	1	0.56
150	150	170	13	145	165	1	0.53
155	155	175	13	150	170	1	0.5
160	160	180	13	155	175	1	0.47
165	165	185	13	160	180	1	0.44
170	170	190	13	165	185	1	0.41

SKF

Diameter mm	Material (mm)			Loading capacity		Mass kg	Designation
	d	D	B	Static Load C ₀	Dynamic Load C		
110	110	130	13	3000	11200	0.60	61822
115	115	135	13	3000	11200	0.65	61822
120	120	140	13	3000	11200	0.70	61822
125	125	145	13	3000	11200	0.75	61822
130	130	150	13	3000	11200	0.80	61822
135	135	155	13	3000	11200	0.85	61822
140	140	160	13	3000	11200	0.90	61822
145	145	165	13	3000	11200	0.95	61822
150	150	170	13	3000	11200	1.00	61822
155	155	175	13	3000	11200	1.05	61822
160	160	180	13	3000	11200	1.10	61822
165	165	185	13	3000	11200	1.15	61822
170	170	190	13	3000	11200	1.20	61822

Βιβλιογραφία

1. Dusenberre, G.M. Heat Tranfer Calculations by Finite Differences, International Textbook Co., Scranton, Pennsylvania, 1961.
2. Drank, J. and and Nicolson, P., “A Practical Method for Numerical Evaluation of Solutions od P.D.E. of thw Heat Sonduction Type@, Proc, Camb. Phil. Soc., 1947
3. Smith, G.D., Numerical Solution of Partial Differential Equations, Oxford University Press, London 1965
4. Ανδρέα Δημαρόγκωνα, ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ, Τόμος 1, 2, ΠΑΤΡΑ 1985
5. Θωμά Δ. Καρακώστα, Νικολάου Ι. Νιάρχου, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΑΘΗΝΑ 1994
6. Π.Γ. Πετρόπουλος, ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΑΘΗΝΑ 1997.

