

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΕΓΧΥΣΗΣ
(INJECTION MOULD) ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΑΖΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΚΑΠΑΚΙΩΝ ΜΠΟΥΚΑΛΙΩΝ ΜΕ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ
ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΚΑΛΟΥΠΙ
(MOLDFLOW OPTIMIZATION)».**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΑΔΑΜΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΠΕΤΡΙΝΟΛΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ: ΜΠΑΡΟΥΝΗ ΑΝΤΙΓΟΝΗ
ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2013

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Ανωτάτου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και είχε ως στόχο το σχεδιασμό και την μελέτη καλουπιού για την μαζική παραγωγή καπακιών για πλαστικά μπουκάλια καθώς και την μελέτη της ροής του υλικού. Είναι γνωστό ότι ο καλύτερος τρόπος για να παραχθεί μια μεγάλη ποσότητα ενός προϊόντος είναι με την χρήση καλουπιών και χρησιμοποιείται ευρύτατα στις κατασκευαστικές βιομηχανίες.

Στην αρχή η παρούσα εργασία αναφέρεται θεωρητικά στις μηχανικές διαμορφώσεις και ειδικεύεται στη χύτευση με έγχυση υλικού, στο τρόπο λειτουργίας των μηχανών έγχυσης και στα χαρακτηριστικά των καλουπιών χύτευσης. Στη συνέχεια γίνεται μια καταγραφή των πιο γνωστών πολυμερών υλικών. Επίσης μελετάται και σχεδιάζεται κάθε μέρος του καλουπιού που παράγει το προϊόν, χωριστά. Ακολουθούν όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί. Τέλος, γίνεται μια μελέτη για τη ροή του υλικού μέσα στις κοιλότητες του καλουπιού.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο το σχεδιασμό καλουπιού έγχυσης για την μέση μαζική παραγωγή πλαστικών καπακιών και τη μελέτη της ροής του πλαστικού μέσα σε αυτό. Παρουσιάζονται τα βήματα σχεδιασμού του καλουπιού και αναφέρονται τα στάδια μελέτης της ροής του πλαστικού μέσα σε αυτό.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή και αναφέρεται γενικά στις μηχανικές διαμορφώσεις και στα είδη των καλουπιών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή και περιγράφονται τα καλούπια χύτευσης με έγχυση. Αναφέρονται τα είδη, τα μέρη, οι δυνατότητές τους και τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης αναφέρονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πλαστικών προϊόντων. Γίνεται αναλυτική περιγραφή των μερών μιας μηχανής αλλά και ενός καλουπιού έγχυσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται το προϊόν που θα παράγεται από το καλούπι που θα σχεδιάσουμε και περιγράφονται κάποια πλαστικά υλικά, από τα οποία παράγονται τα καπάκια, και τα χαρακτηριστικά τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στο σχεδιαστικό πρόγραμμα με το οποίο θα σχεδιάσουμε το καλούπι, το SolidWorks 2010. Περιγράφονται εκτενώς τα βήματα σχεδιασμού του καλουπιού και αναλύονται τα μέρη του που θα συναρμολογηθούν και θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μελέτη της ροής του πλαστικού μέσα στο αποτύπωμα του καλουπιού. Η μελέτη γίνεται με το πρόγραμμα Moldflow της Autodesk και σκοπό έχει τον καθορισμό του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του προϊόντος, των παραμέτρων έγχυσης αλλά και την διόρθωση-βελτιστοποίηση του προϊόντος και του καλουπιού με την βοήθεια της προσομοίωσης.

Στο έκτο κεφάλαιο έχουμε τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, στόχος της οποίας ήταν ο σχεδιασμός ενός καλουπιού για την παραγωγή πλαστικών καπακιών και η μελέτη της ροής του υλικού μέσα στο καλούπι.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 ^ο : «Μηχανικές διαμορφώσεις και καλούπια»	σελ. 1
1.1. Μηχανικές διαμορφώσεις.....	σελ. 1
1.2. Είδη καλουπιών.....	σελ. 2
1.2.1. Κοπτικά καλούπια	σελ. 2
1.2.2. Διαμορφωτικά καλούπια κάμψης- κοίλανσης.....	σελ. 3
1.2.3. Καλούπια χύτευσης.....	σελ. 4
Κεφάλαιο 2 ^ο : «Καλούπια χύτευσης με έγχυση»	σελ. 9
2.1. Εισαγωγή	σελ. 9
2.2. Ιστορική αναδρομή	σελ. 9
2.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χύτευσης με έγχυση	σελ. 10
2.4. Εφαρμογές	σελ. 10
2.5. Υλικά παραγωγής πλαστικών προϊόντων	σελ. 11
2.6. Αναλυτική περιγραφή μηχανής έγχυσης.....	σελ. 13
2.7. Καλούπια έγχυσης.....	σελ. 16
2.8. Καλούπια κρύου δρομέα (cold runner injection moulds)	σελ. 18
2.9. Καλούπια ζεστού δρομέα (hot runner injection moulds)	σελ. 18
2.10. Καλούπια με τρεις πλάκες (three plates moulds)	σελ. 19
2.11. Καλούπια με δύο πλάκες	σελ. 20
2.12. Βασικά μέρη καλουπιού	σελ. 21
1. Αποτύπωμα (impression)	σελ. 21
2. Μήτρα (cavity)	σελ. 21
3. Πυρήνας (core).....	σελ. 22
4. Σύστημα εξοστήρων (ejector grid)	σελ. 22
2.13. Δακτύλιοι ολίσθησης- πείροι οδήγησης (guide bush- guide pillars)	σελ. 27
2.14. Χοάνη μπουκαδούρας	σελ. 27
2.15. Σύστημα πύλης και δρομέα (gate and runner system)	σελ. 28
2.16. Ρυθμιστικοί δακτύλιοι (register rings)	σελ. 29
2.17. Σταθερό μισό και κινητό μισό (fixed half and moved half)	σελ. 29
2.18. Υλικά κατασκευής καλουπιών.....	σελ. 30
2.19. Διαδικασία χύτευσης με έγχυση.....	σελ. 30
2.20. Ελαττώματα προϊόντος κατά την χύτευση	σελ. 32
2.21. Ψύξη	σελ. 33
2.22. Κατασκευή καλουπιών	σελ. 34
2.23. Κόστος καλουπιών	σελ. 35

Κεφάλαιο 3 ^ο : «Πλαστικά υλικά κατασκευής καπακιών»	σελ. 36
3.1. Πολυαιθυλένιο	σελ. 36
3.1.1. Φυσικές ιδιότητες.....	σελ. 37
3.1.2. Εφαρμογές.....	σελ. 37
3.2. Πολυστυρένιο	σελ. 38
3.2.1. Εφαρμογές.....	σελ. 39
3.2.2. Πλεονεκτήματα πολυστυρενίου.....	σελ. 39
3.3. Προϊόν	σελ. 40
Κεφάλαιο 4 ^ο : «Σχεδιασμός καλουπιού»	σελ. 41
4.1. Γενικά.....	σελ. 41
4.2. Λογισμικό SolidWorks	σελ. 41
4.3. Σχεδιασμός μήτρας (cavity)	σελ. 42
4.4. Σχεδιασμός πυρήνα (core)	σελ. 45
4.5. Σχεδιασμός δακτυλίου ολίσθησης (guide bush).....	σελ. 47
4.6. Σχεδιασμός πείρου οδήγησης (guide pillar)	σελ. 48
4.7. Σχεδιασμός πλάκας εξόλκευσης.....	σελ. 49
4.8. Σχεδιασμός συστήματος υποστήριξης (support block)	σελ. 50
4.9 Σχεδιασμός συστήματος ψύξης καλουπιού (mould cooling).....	σελ. 51
4.10. Συναρμολόγηση καλουπιού.....	σελ. 54
Κεφάλαιο 5 ^ο : «Μελέτη ροής του πλαστικού».....	σελ. 58
5.1. Γενικά.....	σελ. 58
5.2. Επίδραση στην ποιότητα προϊόντος.....	σελ. 58
5.3. Λογισμικό Autodesk Moldflow	σελ. 59
5.4. Μοντέλο	σελ. 60
5.4.1. Ανάλυση θέσης της πύλης έγχυσης	σελ. 60
5.4.2. Ανάλυση ροής πλαστικού.....	σελ. 62
5.4.3. Molding window analysis.....	σελ. 66
Κεφάλαιο 6 ^ο : «Συμπεράσματα».....	σελ. 76
Κεφάλαιο 7 ^ο : «Βιβλιογραφία».....	σελ. 78

Κεφάλαιο 1^ο: «Μηχανικές διαμορφώσεις και καλούπια»

1.1. Μηχανικές διαμορφώσεις

Μια παραγωγική διεργασία ορίζεται ως η χρήση ενός ή περισσότερων φυσικών μηχανισμών για την μεταβολή του σχήματος και της μορφής του υλικού. Οι παραγωγικές διεργασίες μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες:

1. Στις διεργασίες σχηματισμού ή αρχικού σχηματισμού, στις οποίες το σχήμα παράγεται από υλικό που βρίσκεται σε τηγμένη ή αέρια κατάσταση ή από στερεά σωματίδια ακαθόριστου σχήματος. Κατά την διάρκεια των διεργασιών αρχικού σχηματισμού, δημιουργούνται κατά κανόνα δυνάμεις συνοχής μεταξύ των σωματιδίων.
2. Στις διεργασίες διαμόρφωσης, οι οποίες μετατρέπουν το αρχικό σχήμα ενός στερεού σε ένα άλλο σχήμα, χωρίς να αλλάξουν τη μάζα ή τη σύνθεση του υλικού. Κατά την διάρκεια αυτών των διεργασιών, διατηρείται η συνοχή ανάμεσα στα σωματίδια.
3. Στις διεργασίες συνένωσης, οι οποίες ενώνουν μεμονωμένα κομμάτια για τον σχηματισμό τελικών προϊόντων (εικόνα 1.1.). Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν και τις προσθετικές διεργασίες, όπως την πλήρωση και τον εμποτισμό κομματιών. Σαν αποτέλεσμα, η συνοχή ανάμεσα στα σωματίδια αυξάνεται.



Εικόνα 1.1. Διεργασία συνένωσης

4. Στις διεργασίες αφαίρεσης υλικού, στις οποίες η αφαίρεση πραγματοποιείται κατά την εξέλιξη της διεργασίας. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την καταστροφή της συνοχής των σωματιδίων.
5. Στις διεργασίες τροποποίησης των ιδιοτήτων του υλικού, οι οποίες εσκεμμένα μεταβάλλουν τις ιδιότητες του κομματιού, ώστε να επιτευχθούν επιθυμητά χαρακτηριστικά χωρίς να μεταβληθεί το σχήμα του, π.χ. θερμικές κατεργασίες (εικόνα 1.2.).



Εικόνα 1.2. Θερμική κατεργασία [3]

Αυτές οι κατηγορίες διεργασιών εφαρμόζονται σε μια ποικιλία τεχνικών υλικών, τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή και σύνθετα υλικά.

Η επιλογή της διεργασίας που θα εφαρμοστεί σε ένα συγκεκριμένο υλικό, εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων που επηρεάζουν το κόστος, την παραγωγικότητα, την ευελιξία και την ποιότητα. Οι τέσσερις σπουδαιότεροι παράγοντες είναι:

1. Το σχήμα του προϊόντος
2. Ο όγκος παραγωγής
3. Η ταχύτητα παραγωγής
4. Οι φυσικές ιδιότητες του υλικού (π.χ. ολκιμότητα).

Οι διεργασίες διαμόρφωσης παρουσιάζουν ποικιλία εφαρμογών στην βιομηχανία. Εξαρτήματα αυτοκινήτων, βιομηχανικός εξοπλισμός, εργαλειομηχανές, καθώς και εργαλεία χειρός, είναι μερικές από τις βιομηχανικές εφαρμογές των διεργασιών διαμόρφωσης. Με τη χρήση των διεργασιών διαμόρφωσης παράγονται δοχεία, μεταλλικά κουτιά, κοχλίες περικόχλια ακόμα και διάφορα ανταλλακτικά για τις ίδιες τις μηχανές διαμόρφωσης. Τα πιο κοινά υλικά στις διεργασίες αυτές είναι το ατσάλι, ανθρακούχοι χάλυβες, ανοξείδωτοι χάλυβες, χάλυβες θερμικής αντοχής, μη σιδηρούχα βαριά και ελαφριά κράματα όπως κράματα αλουμινίου, ψευδαργύρου και χαλκού, τιτάνιο, θερμικά ανθεκτικά κράματα νικελίου ακόμα και μη μεταλλικά υλικά όπως πολυαιθυλένιο, πολυστερίνη και νάιλον.

1.2. Είδη καλουπιών

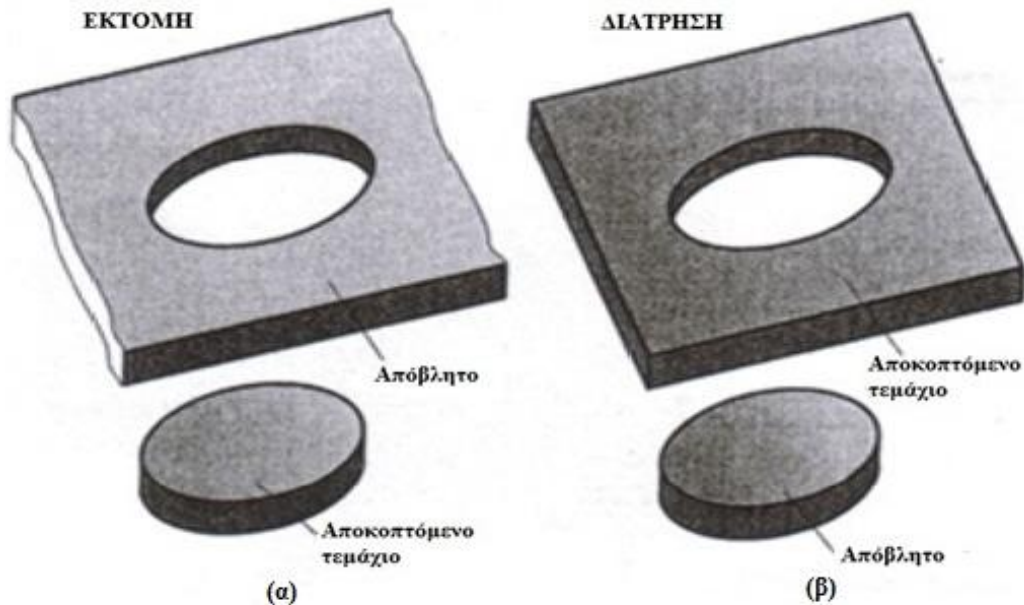
Στην αγορά υπάρχουν διαφόρων ειδών καλούπια. Πιο συγκεκριμένα έχουμε :

1. Τα κοπτικά καλούπια
2. Τα διαμορφωτικά καλούπια κάμψης-κοίλανσης
3. Τα καλούπια χύτευσης, τα οποία χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:
 - 3.1. Τα καλούπια χύτευσης υλικού, συνήθως μετάλλου, από άμμο (sand mold-casting)
 - 3.2. Τα καλούπια έμφυσης πολυμερούς ή συνθετικού υλικού (blow molding)
 - 3.3. Τα καλούπια χύτευσης με έγχυση, είτε πολυμερούς είτε συνθετικού υλικού (injection molding)

1.2.1. ΚΟΠΤΙΚΑ ΚΑΛΟΥΠΙΑ

Τα κοπτικά καλούπια χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία κατά 90% για το λόγο ότι είναι πολύ πιο παραγωγικά από τα κέντρα κατεργασίας και από μηχανήματα υδροκοπής (water jet) ή λέιζερ. Τα κοπτικά καλούπια μπορούν να διαμορφώσουν μια διάτρηση οποιασδήποτε γεωμετρίας ή να κόβουν κομμάτια από ένα φύλλο λαμαρίνας χωρίς να επηρεάζεται θερμικά το υλικό. Η κοπή μπορεί να οριστεί σαν η κατεργασία κατά την οποία γίνεται αποχωρισμός ενός ή περισσότερων κομματιών λαμαρίνας από ένα αρχικό φύλλο ή μια συνεχή λωρίδα λαμαρίνας. Η κατεργασία της κοπής είναι πολύ σημαντική, καθώς πάντα προηγείται οποιασδήποτε άλλης κατεργασίας. Αν το όριο ανάμεσα στα αποχωρισμένα κομμάτια είναι μια ανοιχτή γραμμή, τότε η κατεργασία ονομάζεται **απότμηση**. Συνήθως η τομή είναι μια κλειστή γραμμή π.χ. κύκλος, έλλειψη ή σύνθετη γραμμή που αποτελείται από ευθύγραμμα τμήματα ή/και κυκλικά τόξα. Η κοπή αυτής της μορφής γίνεται σε πρέσες με ειδικά διαμορφωμένα κοπτικά καλούπια. Αν το αποχωρισμένο κομμάτι είναι αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε ενώ ότι μένει πέρα από αυτό απορρίπτεται, τότε η κατεργασία λέγεται

εκτομή (εικόνα 1.3.α). Αν το κομμάτι της λαμαρίνας που αποχωρίζεται από το αρχικό απορρίπτεται σαν απόβλητο, τότε η κατεργασία λέγεται **διάτρηση** (1.3.β).



Εικόνα 1.3. Προϊόντα κοπτικών καλουπιών

1.2.2. ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΙΚΑ ΚΑΛΟΥΠΙΑ ΚΑΜΨΗΣ –ΚΟΙΛΑΝΣΗΣ

Τα καλούπια κάμψης-κοίλανσης χρησιμοποιούνται και αυτά σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό στη βιομηχανία. Τα καλούπια αυτά δεν αφαιρούν υλικό, απλά αλλάζουν την γεωμετρία του. Με αυτά τα καλούπια κατασκευάζονται γωνίες, κοιλάνσεις όπως τα αντικείμενα στην εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4. Προϊόντα καλουπιών διαμόρφωσης [4]

Γενικά τα καλούπια κοπής και κάμψης χρησιμοποιούνται πολύ στη βιομηχανία, από το πιο μικρό μηχανουργείο διαμόρφωσης λαμαρίνας μέχρι και τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Οι εργαλειομηχανές που φέρουν τέτοια καλούπια ονομάζονται «στράτζες» (εικόνα 1.5.), όπου διαμορφώνουν απλά τη γεωμετρία της λαμαρίνας, ενώ αυτές που προκαλούν κοπή ονομάζονται «ψαλίδια» (εικόνα 1.6.).



Εικόνα 1.5. Στράτζα [5]



Εικόνα 1.6. Ψαλίδι [6]

1.2.3. ΚΑΛΟΥΠΙΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ

Όπως προαναφέραμε τα καλούπια χύτευσης χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- i. Τα καλούπια χύτευσης από άμμο (sand casting molding)
- ii. Τα φουσητά καλούπια (blow molding)
- iii. Τα καλούπια χύτευσης με έγχυση υλικού (injection molding).

i) ΚΑΛΟΥΠΙΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΑΜΜΟ

Τα καλούπια αυτά χρησιμοποιούνται από την αρχέγονη εποχή. Η χύτευση (casting) αποτελεί ίσως την πρώτη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για τη μορφοποίηση μετάλλων. Για τη χύτευση το μέταλλο ή το κράμα τήκεται και κατόπιν χυτεύεται σε μία μήτρα (καλούπι). Η μήτρα μπορεί να είναι κενή ή να περιέχει μοντέλο από εύτηκτο στερεό υλικό, όπως κερί ή πολυστυρένιο, το οποίο καταστρέφεται καθώς εισέρχεται στη μήτρα το τηγμένο μέταλλο. Η μήτρα μπορεί να είναι φτιαγμένη από άμμο, γύψο ή κεραμικό υλικό για μια χρήση. Για αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων, η χύτευση μπορεί να γίνει σε καλούπια πολλαπλής χρήσης συνήθως φτιαγμένα από χυτοσίδηρο, ορείχαλκο, κ.λπ. Το μεταλλικό αντικείμενο που παράγεται με χύτευση, συνήθως καθαρίζεται από ατέλειες και εξωτερικές ακαθαρσίες, στο τέλος όμως λειαινείται και διαμορφώνεται στις τελικές του διαστάσεις.

Στη βιομηχανία υπάρχει και η συνεχής χύτευση, η οποία εφαρμόζεται για την παραγωγή πλατεών ή μακρών προϊόντων, όπως δοκοί (μπιγιέτες) και πλινθώματα χάλυβα, αλουμινίου και χαλκού.

Για την παραγωγή ενός εξαρτήματος με χύτευση από καλούπι άμμου, ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1. Τοποθετούμε το εξάρτημα στο πάγκο και του φέρουμε από τη μια πλευρά το κάτω μέρος του καλουπιού.
2. Το γεμίζουμε με χώμα ψιλό στην αρχή (ώστε να αποτυπωθούν οι λεπτομέρειες) και μετά συνεχίζουμε με πιο χοντρόκοκκο χώμα.
3. Ταυτόχρονα χτυπάμε το χώμα με τον "κόπανο" ώστε να πάει το χώμα σε όλα τα σημεία και να γίνει πιο συμπαγές.
4. Αφότου τελειώσουμε με το κάτω μέρος του καλουπιού επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία και για το πάνω μέρος.
5. Ενώνουμε το πάνω και το κάτω μέρος του καλουπιού.
6. Ανοίγουμε 2 οπές οι οποίες θα είναι οι είσοδοι του υλικού.
7. Τώρα ενδιάμεσα τους υπάρχει ένα κενό το οποίο είναι το εξάρτημα που θέλουμε να παράγουμε.
8. Το μέταλλο είναι μέσα στο καμίνι και θερμαίνεται.
9. Με μία ειδική κουτάλα αδειάζουμε το υλικό από το καμίνι σε μια χοάνη (ένα μεταλλικό δοχείο).
10. Το υλικό που περιέχει η χοάνη το αδειάζουμε σε μια από τις 2 οπές που έχουμε φτιάξει.
11. Περιμένουμε να πήξει το εξάρτημα ώστε να το αποβάλουμε από το καλούπι.

ii) ΦΥΣΗΤΑ ΚΑΛΟΥΠΙΑ

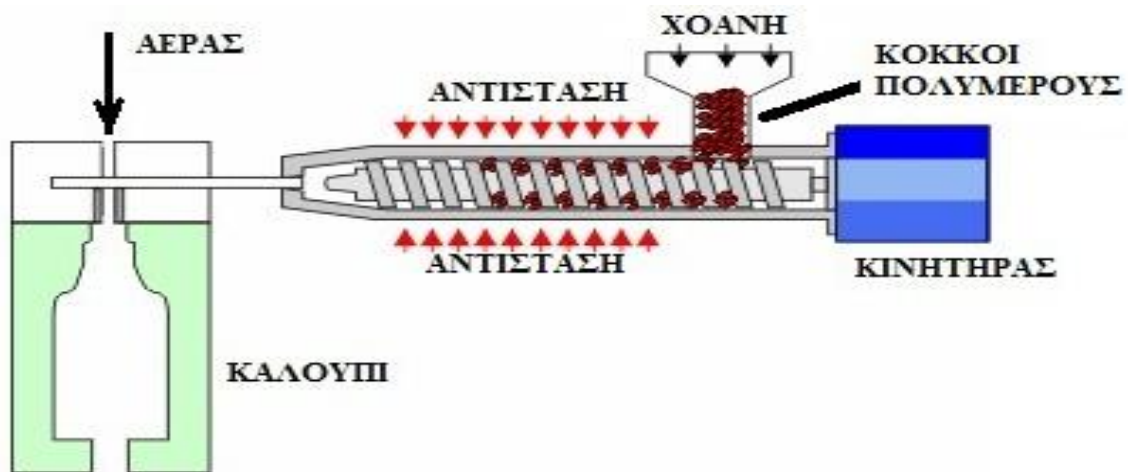
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων από φυσητά καλούπια είναι πολυμερή ή σύνθετα υλικά. Με αυτά τα καλούπια παράγονται πλαστικά μπουκάλια νερού, απορρυπαντικών, αναψυκτικών κτλ. Το καλούπι σε αυτές τις μηχανές φέρει τα «αρνητικά» του προϊόντος που θέλουμε να παράγουμε (εικόνα 1.7.).



Εικόνα 1.7. Καλούπια έμφυσης (<http://www.yuexiangcn.com/supply/364.html>)

Υπάρχουν 2 τύποι μηχανών που παράγουν τέτοια προϊόντα:

1. Η μηχανή στη χοάνη της οποίας έχουμε το υλικό σε κόκκους. Η χοάνη οδηγεί το υλικό σε έναν άξονα ο οποίος έχει σπείρωμα και περιμετρικά του υπάρχουν αντιστάσεις οι οποίες θερμαίνουν τους κόκκους και αυτοί με τη σειρά τους λιώνουν και γίνονται ρευστό. Ο κοχλίας αυτός οδηγεί το ρευστό υλικό σε μια οπή και από εκεί τροφοδοτεί με υλικό ένα καλούπι το οποίο όμως είναι χωρισμένο. Έτσι το υλικό παίρνει το σχήμα ενός μασουριού. Το καλούπι στη συνέχεια κλείνει και εκεί έρχεται ένα έμβολο το οποίο με πεπιεσμένο αέρα πιέζει το υλικό να πάρει τη μορφή του καλουπιού (εικόνα 1.8.).



Εικόνα 1.8. Λειτουργία μηχανής έμφυσης [7]

2. Η μηχανή τροφοδοτείται με το υλικό το οποίο έχει ήδη τη μορφή του μασουριού (εικόνα 1.9.). Κάθε μασούρι τοποθετείται στον οδηγό μεταφοράς. Περιμετρικά του οδηγού υπάρχουν αντιστάσεις οι οποίες θερμαίνουν τα μασούρια. Όταν φτάσει το μασούρι στο σημείο τροφοδοσίας του καλουπιού έρχεται η μπουκάλα και με το φαινόμενο αναρρόφησης (vacuum) το μεταφέρει στο καλούπι όπου εκεί ρίχνει πεπιεσμένο αέρα και το μασούρι παίρνει το σχήμα του καλουπιού (εικόνα 1.10.).



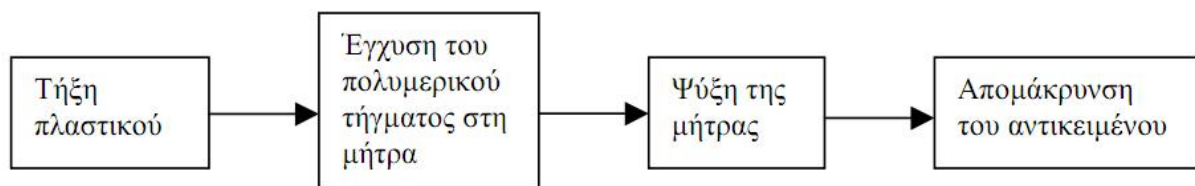
Εικόνα 1.9. Μασούρια [8]



Εικόνα 1.10. Μασούρια μετά την κατεργασία [9]

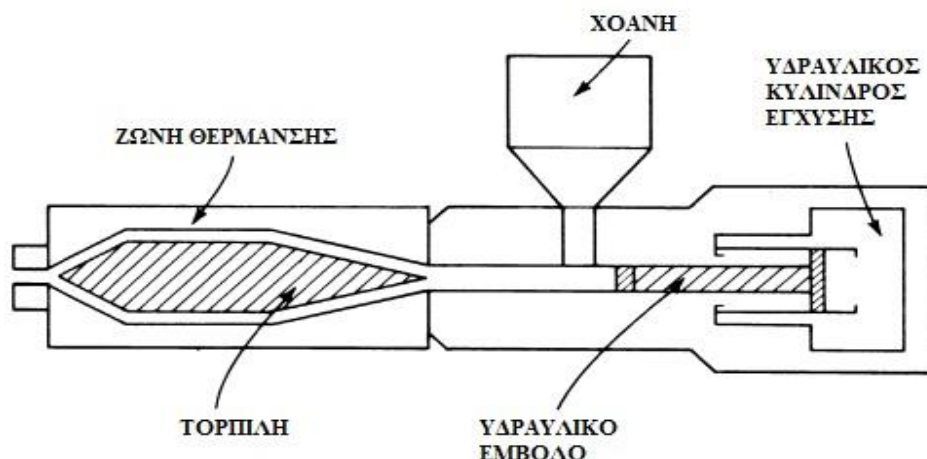
iii) ΚΑΛΟΥΠΙΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ

Στη βιομηχανία πλαστικών, για την παραγωγή διαφόρων αντικειμένων που παλαιότερα γίνονταν με μέταλλα, σήμερα γίνονται με την διεργασία χύτευσης με έγχυση πολυμερικών τηγμάτων. Η διεργασία αυτή είναι από τις πιο κοινές στη μορφοποίηση πλαστικών. Αντικείμενα που παράγονται με έγχυση σε μήτρες χύτευσης (καλούπια) συμπεριλαμβάνουν από συνδετήρες χαρτιών μέχρι προφυλακτήρες αυτοκινήτων και από κύπελλα καφέ μέχρι περιβλήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Λόγω της μεγάλης ευκολίας στη χρήση, ευελιξίας και ολικού βιομηχανικού όγκου πλαστικών που παράγονται με τη διεργασία αυτή, αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες μορφοποίησης πλαστικών που υπάρχουν σήμερα. Αναφορικά με τα βασικά στάδια της διεργασίας, η χύτευση με έγχυση μπορεί να παρουσιαστεί σχηματικά όπως φαίνεται στην εικόνα 1.11. Το πολυμερικό στερεό υλικό τήκεται και το τήγμα μεταφέρεται στη μήτρα όπου εγχύεται κάτω από υψηλή πίεση. Η μήτρα ψύχεται για τη στερεοποίηση του προϊόντος, κατόπιν ανοίγει, και το ολοκληρωμένο πλαστικό αντικείμενο εξολκύεται. Η μήτρα κλείνει και ο κύκλος επαναλαμβάνετε.



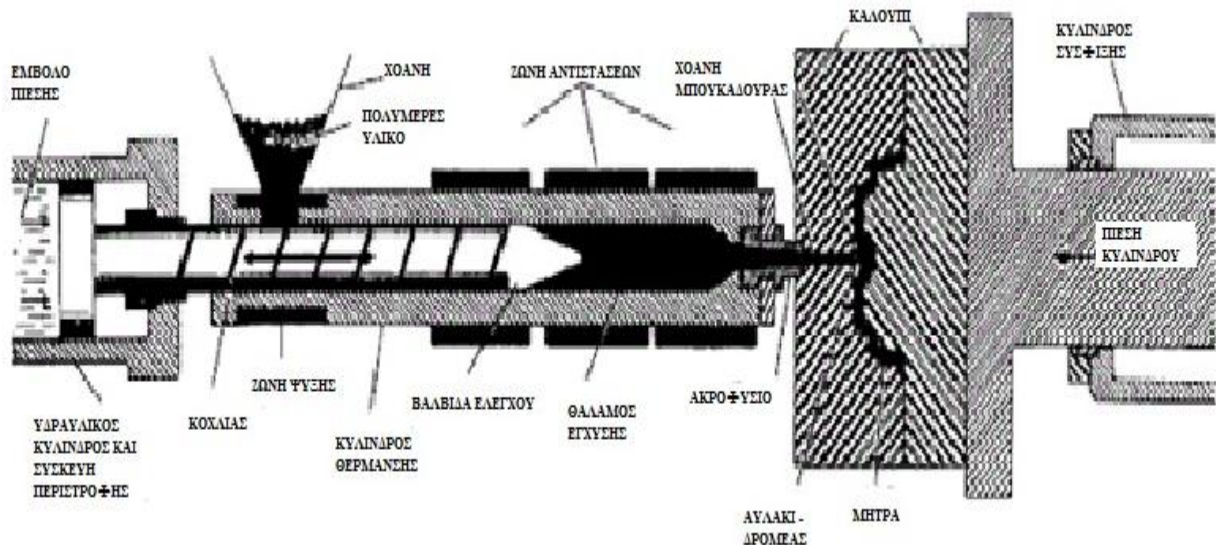
Εικόνα 1.11. Διαδικασία χύτευσης με έγχυση [7]

Μια απλή μηχανή έγχυσης είναι η μηχανή τύπου εμβόλου (ram ή plunger). Το πλαστικό ωθείται προς τα εμπρός από το έμβολο μέσα στη θερμαινόμενη περιοχή. Επειδή το υψηλό ιξώδες του πολυμερούς εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, είναι απαραίτητο να απλωθεί το πολυμερικό τήγμα σε ένα λεπτό στρώμα για να έρθει σε επαφή με τις θερμαινόμενες επιφάνειες. Ο απλωτήρας τύπου «τορπίλης» είναι από τους πιο κοινούς απλωτήρες ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 1, και απλά τροφοδοτεί το υλικό κυκλικά μέσα από έναν δακτύλιο. Μετά την τήξη, το υλικό συγκλίνει και ρέει μέσα από το ακροφύσιο που το οδηγεί στη μήτρα έγχυσης.



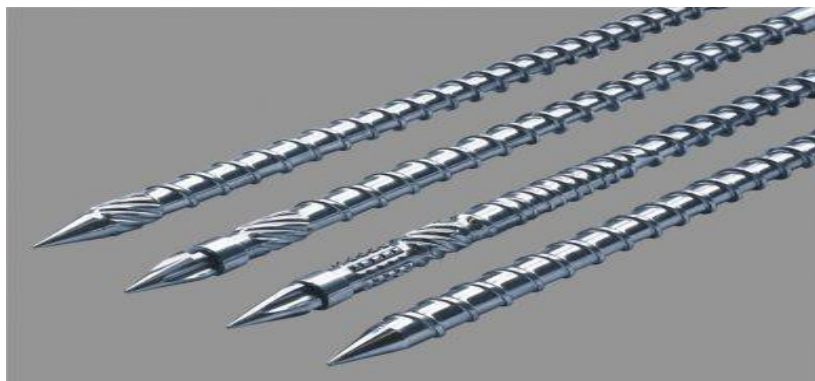
Σχήμα 1: Μηχανή εμβόλου [10]

Η πιο κοινή μηχανή στις σημερινές χρήσεις είναι η μηχανή τύπου παλινδρομούντος κοχλία (reciprocating screw), όπως φαίνεται στην εικόνα 1.12. Στο σύστημα αυτό η λειτουργία του κοχλία (εικόνα 1.13.) είναι κυρίως να τήξει και να αναμίξει το υλικό της τροφοδοσίας. Για την έγχυση, ολόκληρος ο κοχλίας κινείται προς τα εμπρός, ενώ η ειδική βαλβίδα δεν επιτρέπει ροή προς τα πίσω.



Εικόνα 1.12. Μηχανή παλινδρομούντος κοχλία (<http://www.plastics.com/injection-what-is-pg2.html>)

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα, οι μηχανές χύτευσης με έγχυση είναι αρκετά πολύπλοκες. Ο μηχανικός σχεδιασμός τους, που συμπεριλαμβάνει τη σύσφιξη της μήτρας (clamping), την απελευθέρωση του πολυμερούς, και την εξόλκευση (ejection) του ολοκληρωμένου και στερεοποιημένου πλέον αντικειμένου, αποτελεί ολόκληρη την επιστήμη της μηχανολογίας.



Εικόνα 1.13. Κοχλίες (http://greek.smallinjectionmachine.com/china-high_precision_automatic_injection_plastic_machine-3015.html)

Κεφάλαιο 2ο: «Καλούπια χύτευσης με έγχυση (injection moulds)»

2.1. Εισαγωγή

Η χύτευση με έγχυση είναι μια διαδικασία παραγωγής για την παραγωγή εξαρτημάτων τόσο από θερμοπλαστικά όσο και από θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά υλικά. Το υλικό τροφοδοτείται από ένα βαρέλι σε έναν θερμαινόμενο κοχλία και αυτός με τη σειρά του τροφοδοτεί το ζεστό πια υλικό σε ένα καλούπι όπου ψύχεται και σκληραίνει.

Η διαδικασία έγχυσης είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ένα ευρύ φάσμα αντικειμένων, όπως τμήματα υδραυλικών, πλαστικά είδη τουαλέτας, λαβές οδοντόβουρτσων, παιχνίδια, ταμπλό αυτοκινήτων και πολλά άλλα όπως δείχνει και η εικόνα 2.1. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία έγχυσης ποικίλλουν, αλλά συχνά περιλαμβάνουν πλαστικά ή συνθετικά πολυμερή που μπορούν εύκολα να μορφοποιηθούν.

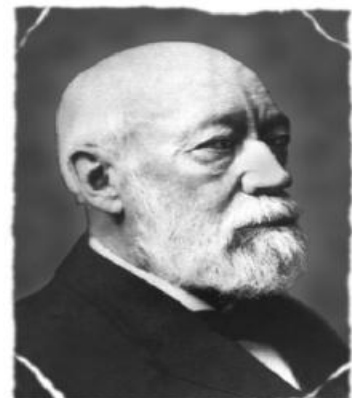


Εικόνα 2.1. Προϊόντα χύτευσης με έγχυση [11]

2.2. Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες τεχνικές εφαρμογές πλαστικών, εφευρέθηκαν στη Μεγάλη Βρετανία το 1861 από τον Alexander Parkes. Τις παρουσίασε στο κοινό το 1862 στη Διεθνή Έκθεση στο Λονδίνο, καλώντας τα υλικά που παράγονται "Parkesine", το οποίο προέρχεται από τη λέξη «κυτταρίνη». Η «Parkesine» μπορεί να θερμαίνεται, να μορφοποιείται και να διατηρεί το σχήμα της όταν δροσίζεται. Ήταν, ωστόσο, ακριβή για την παραγωγή, επιρρεπής σε ρωγμές, και πολύ εύφλεκτη ουσία.

Το 1868, ο Αμερικανός εφευρέτης John Wesley Hyatt ανέπτυξε ένα πλαστικό υλικό που ονόμασε ζελατίνη, βελτιώνοντας την εφεύρεση του Parkes έτσι ώστε να μπορεί να μεταποιηθεί σε τελική μορφή. Μαζί με τον αδελφό του Isaiah, ο Hyatt κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το πρώτο μηχάνημα έγχυσης το 1872. Αυτή η μηχανή ήταν σχετικά απλή σε σύγκριση με τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Δούλεψε χρησιμοποιώντας ένα έμβολο για να εισχωρεί το πλαστικό μέσω ενός θερμαινόμενου κυλίνδρου σε ένα καλούπι. Η βιομηχανία προχώρησε σιγά-σιγά με τα χρόνια, με την παραγωγή προϊόντων όπως τα κουμπιά και τις χτένες μαλλιών.



John Wesley Hyatt

Σήμερα οι μηχανές έγχυσης με κοχλία αντιπροσωπεύουν τη συντριπτική πλειοψηφία του συνόλου των μηχανών έγχυσης. Η βιομηχανία πλαστικών καλουπιών με έγχυση έχει εξελιχθεί με τα χρόνια και από την παραγωγή χτενών και κουμπιών, έχει φτάσει να παράγει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων για πολλές βιομηχανίες όπως της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ιατρικής, της αεροδιαστημικής, των καταναλωτικών προϊόντων, των παιχνιδιών, τους χώρους υγιεινής, της συσκευασίας, και τις κατασκευές.

2.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χύτευσης με έγχυση

Ορισμένα πλεονεκτήματα της χύτευσης με καλούπια έγχυσης είναι:

1. Τα υψηλά ποσοστά παραγωγής,
2. οι επαναλαμβανόμενες υψηλές ανοχές,
3. η δυνατότητα να χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα υλικών,
4. το χαμηλό κόστος εργασίας,
5. οι ελάχιστες απώλειες - θραύσματα,
6. και οι ελάχιστες κατεργασίες που χρειάζονται για να τελειοποιηθούν τα προϊόντα μετά την χύτευση.

Μερικά μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

1. Οι δαπανηρές επενδύσεις σε εξοπλισμό,
2. το υψηλό κόστος λειτουργίας,
3. και η ανάγκη για το σχεδιασμό της μήτρας και του εμβόλου κάθε φορά που αλλάζει το αντικείμενο χύτευσης.

2.4. Εφαρμογές

Η χύτευση με έγχυση χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει πολλά αντικείμενα όπως τα τμήματα υδραυλικών, τα καπάκια, τα ταμπλό των αυτοκινήτων, τις χτένες τσέπης, τα πλαστικά τμήματα κινητών τηλεφώνων και ηλεκτρονικών παιχνιδιών και τα περισσότερα πλαστικά προϊόντα που διατίθενται σήμερα (Εικόνα 2.2.).



Εικόνα 2.2. Προϊόντα χύτευσης με έγχυση [11]

2.5. Υλικά παραγωγής πλαστικών προϊόντων

Το 1995, υπήρχαν περίπου 18.000 διαφορετικά υλικά που διατίθενται για χύτευση με έγχυση και ο αριθμός αυτός αυξανόταν κατά μέσο όρο 750 μονάδες ετησίως. Το ότι τα διαθέσιμα υλικά είναι τα κράματα ή μείγματα υλικών από προϊόντα που είχαν κατασκευαστεί στο παρελθόν, δίνει την έννοια ότι οι σχεδιαστές των προϊόντων μπορούν να επιλέξουν από μια μεγάλη ποικιλία υλικών, τα οποία θα έχουν ακριβώς τις σωστές ιδιότητες. Τα υλικά επιλέγονται με βάση την αντοχή και τη λειτουργικότητα που απαιτείται από το τελικό προϊόν, αλλά κάθε υλικό έχει διαφορετικές παραμέτρους για τη μορφοποίησή του, που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Κοινά πολυμερή όπως οι εποξικές και οι φαινολικές ρητίνες, είναι παραδείγματα θερμοσκληρυνόμενων πλαστικών, ενώ το νάιλον, το πολυαιθυλένιο, και το πολυστυρένιο είναι θερμοπλαστικά. Επίσης χρησιμοποιούνται και ελαστομερή πλαστικά.

Με τον όρο πολυμερή, εννοούμε τις φυσικές ή συνθετικές οργανικές χημικές ενώσεις οι οποίες αποτελούνται από τα λεγόμενα «μακρομόρια». Τις συνθετικές ενώσεις τις παράγει ο άνθρωπος στο εργαστήριο ή στη βιομηχανία. Τα πλαστικά είναι μια κατηγορία των πολυμερών.

Τα πολυμερή χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες και μία από αυτές είναι η διάκριση τους με βάση το κριτήριο της θερμικής συμπεριφοράς τους. Συγκεκριμένα διακρίνονται στα θερμοπλαστικά και στα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή.

i) Θερμοπλαστικά

Θερμοπλαστικό είναι ένα παραμορφώσιμο πλαστικό υλικό το οποίο όταν θερμαίνεται λιώνει και καταλήγει σε υγρή μορφή ενώ όταν ψήχεται επαρκώς γίνεται ένα υαλώδους κατάστασης εύθραυστο στερεό. Τα θερμοπλαστικά είναι πολυμερή μεγάλου μοριακού βάρους των οποίων οι αλυσίδες συνδέονται με ασθενείς δυνάμεις Wan Der Waals (πολυαιθυλένιο), ισχυρότερες δυνάμεις δίπολου-δίπολου και δεσμούς υδρογόνου (νάιλον) ή ακόμα και ενώσεις αρωματικών δακτυλίων. Τα θερμοπλαστικά διαφέρουν από τα θερμοσκληρυνόμενα τα οποία όταν μορφοποιηθούν και ψυχθούν, δεν μπορούν να θερμανθούν ξανά ώστε να τα μορφοποιήσουμε.

Τα θερμοπλαστικά εμφανίζουν την εξής συμπεριφορά όταν επιδρά πάνω τους η θερμοκρασία: τα πολυμερή αυτά μαλακώνουν φτάνοντας σε μία φάση στην οποία δεν είναι ούτε εύθραυστα ούτε υγρά. Σαν αποτέλεσμα, εμείς μπορούμε να τα μορφοποιήσουμε, χρησιμοποιώντας καλούπια, δίνοντάς τους το γεωμετρικό σχήμα και μορφή που εμείς επιθυμούμε. Κατόπιν, ψύχουμε το υλικό έτσι ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι τα πολυμερή αυτά μας παρέχουν τη δυνατότητα στο τέλος κάθε κατεργασίας να επαναλάβουμε την παραπάνω διαδικασία άπειρες φορές και μάλιστα εάν το επιθυμούμε να προσδίδουμε κάθε φορά που ακολουθείται η διαδικασία διαφορετικό γεωμετρικό σχήμα και μορφή από το αρχικό. Έτσι, για τα θερμοπλαστικά πολυμερή υπάρχει μεγάλη επαναληψιμότητα στην θερμική τους συμπεριφορά.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι μπορούμε εύκολα να ανακυκλώσουμε τα θερμοπλαστικά πολυμερή, κάτι που έχει αντίκτυπο τόσο στο περιβάλλον όσο και στο ζήτημα εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων.

Τα θερμοπλαστικά αντιστοιχούν περίπου στο 80% μέχρι 85% του συνόλου των διεθνώς παραγόμενων πολυμερών. Αυτό είναι μια ευτυχής συγκυρία, καθόσον τα υλικά αυτά είναι εύκολα ανακυκλώσιμα.

Παραδείγματα θερμοπλαστικών πολυμερών που παράγονται σε μεγάλες ποσότητες για το εμπόριο, περιλαμβάνουν πολυμερή όπως:

- Η ζελατίνη
- Η οξική κυτταρίνη
- Το αιθυλένιο βινυλικής αλκοόλης (EVAL)
- Η πολυακετάλη ή ακετάλη (POM)
- Το πολυβουτυλένιο (PB)
- Το πολυβουταδιένιο (PBD)
- Το πολυαμίδιο ή νάιλον (PA)
- Ο πολυεστέρας
- Το πολυαιθυλένιο
- Το πολυγαλακτικό οξύ (PLA)
- Το πολυστυρένιο (PS)
- Το πολυπροπυλένιο (PP)
- Το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

ii) Θερμοσκληρυνόμενα

Ο όρος θερμοσκληρυνόμενο αναφέρεται σε μία ποικιλία πολυμερών τα οποία μετατρέπονται με την επίδραση κάποιας ενέργειας σε πιο γερή δομή από την προηγούμενη που είχαν. Η ενέργεια αυτή μπορεί να είναι είτε με τη μορφή θερμότητας (πάνω από 200°C) είτε με τη μορφή ακτινοβολίας. Τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά είναι συνήθως σε υγρή μορφή, σε σκόνη ή σε ελατή μορφή και τότε είτε μορφοποιούνται είτε χρησιμοποιούνται ως κόλλες.

Από την άλλη, τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή αποτελούν περίπου το 15% του συνόλου των διεθνώς παραγόμενων πολυμερών. Σε αντίθεση με τα θερμοπλαστικά, τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή δεν επηρεάζονται από την θερμότητα ώστε να γίνουν εύπλαστα και να μπορούμε να τους δώσουμε νέα μορφή και γεωμετρικό σχήμα. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά την διαδικασία παραγωγής τους αυτά τα υλικά σκληραίνουν και μορφοποιούνται αναντίστρεπτα και δυστυχώς δεν μπορούμε πλέον να τα επηρεάσουμε με την επίδραση της θερμότητας. Η αιτία για την συμπεριφορά των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών είναι η συνθετότητα της δομής τους. Σαν αποτέλεσμα τα πολυμερή αυτά είναι μη ανακυκλώσιμα.

Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή είναι γενικά πιο σκληρά από τα θερμοπλαστικά και επίσης είναι καταλληλότερα για υψηλών θερμοκρασιών εφαρμογές.

Παραδείγματα θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών :

- Το φυσικό καουτσούκ
- Ο βακελίτης
- Η μελαμίνη
- αφρός ουρίας-φορμαλδεΐδης (χρησιμοποιείται στα νοβοπάν και στα κόντρα πλακέ)
- Η πολυεστερική ρητίνη (fibreglass)
- Η εποξική ρητίνη

2.6. Αναλυτική περιγραφή μηχανής έγχυσης

Οι μηχανές έγχυσης είναι πρέσες στις οποίες, προσαρμόζοντας τα ανάλογα καλούπια, παράγουμε διάφορα πλαστικά αντικείμενα. Η μεγάλη εξέλιξη και ποικιλία των πλαστικών υλικών, οδήγησε στην εξέλιξη των μηχανών και ιδιαίτερα μηχανών προηγμένης τεχνολογίας, και μεγάλης πολυπλοκότητας.

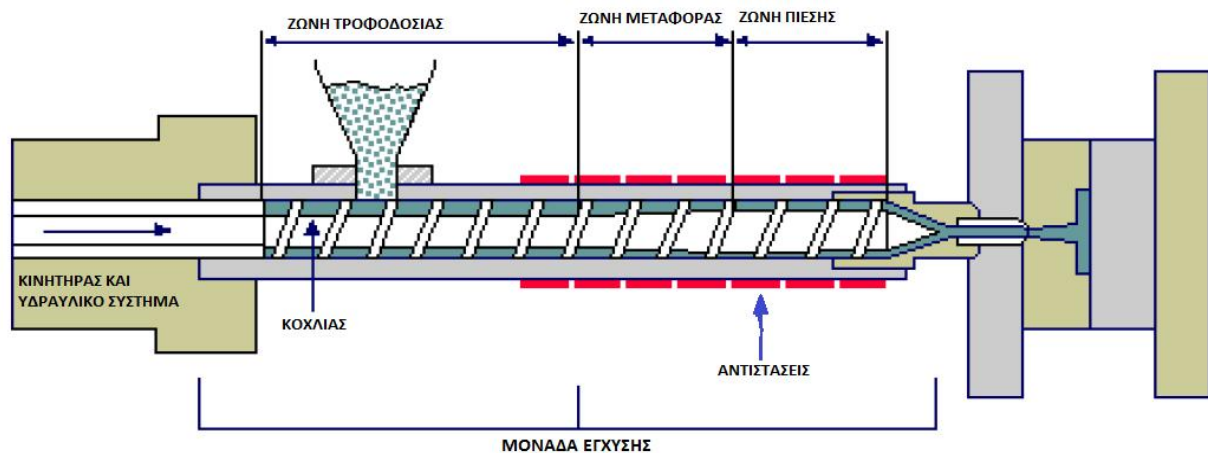
Έχουν τη δυνατότητα να αντεπεξέρχονται στις ιδιαιτερότητες του κάθε υλικού και να εκμεταλλεύονται στο μέγιστο δυνατό τις ιδιότητές του.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια μηχανή έγχυσης, είναι:

1. μονάδα εγχύσεως
2. μονάδα κινήσεως

Η μονάδα εγχύσεως (εικόνα 2.3.) αποτελεί το πολυπλοκότερο και σημαντικότερο τμήμα της μηχανής. Απαρτίζεται από:

- τον κώνο τροφοδοσίας υλικού όπου αποθηκεύεται το υλικό και πέφτει ελεγχόμενα στον κοχλία
- τον κοχλία όπου θερμαίνεται και προωθείται το υλικό
- τις ηλεκτρικές αντιστάσεις που περιβάλλουν τον κοχλία και θερμαίνουν τον χώρο γύρω από αυτόν
- τον κινητήρα που περιστρέφει τον κοχλία και
- το υδραυλικό σύστημα προώθησης που προωθεί τον κοχλία



Εικόνα 2.3. Μονάδα έγχυσης [2]

Ο κοχλίας είναι η καρδιά του φούρνου. Από την ακρίβεια λειτουργίας του εξαρτάται η σωστή τροφοδοσία του υλικού στο καλούπι και η πίεση έγχυσης με την οποία πραγματοποιείται η τροφοδοσία. Το σπείρωμα του κοχλία είναι τετραγωνικό και το βήμα ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή. Το μπροστά μέρος του καταλήγει σε κωνικότητα. Μεταξύ του τέλους του σπειρώματος και της κωνικότητας, υπάρχει μηχανισμός αντεπιστροφής, ώστε να εμποδίζει το υλικό που βρίσκεται μπροστά από τον κοχλία να διαφύγει προς τα πίσω κατά την συμπίεση. Έχουν δημιουργηθεί πολλές μορφές κοχλιών, η κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια ομάδα συγγενών υλικών. Το κόστος τους όμως είναι αρκετά υψηλό, αφού κατασκευάζονται από χάλυβες ιδιαίτερα υψηλής αντοχής, για να είναι ικανοί να λειτουργούν κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Οι βιοτεχνίες κατασκευής πλαστικών αντικειμένων, επεξεργάζονται πολλά είδη και ποικιλίες υλικών.

Λόγω όμως του υψηλού κόστους των κοχλιών, είναι αδύνατο να προμηθευτούν όλους τους τύπους κοχλιών. Γι' αυτό το λόγο έχουν κατασκευαστεί υβριδικοί τύποι κοχλιών, κατάλληλοι να λειτουργούν με πολλά υλικά, χωρίς όμως η συνεργασία τους μ' αυτά να είναι η ιδανική. Με κατάλληλη όμως ρύθμιση της θερμοκρασίας και της πίεσης έκχυσης, η κατάσταση εξομαλύνεται.

Ο κοχλίας έχει την δυνατότητα περιστροφής, αλλά και οριζόντιας παλινδρόμησης. Η περιστροφική κίνηση επιτυγχάνεται με τη σύζευξη ηλεκτροκινητήρα – μειωτήρα με ηλεκτρομαγνητικούς συνδέσμους. Η φορά περιστροφής, εξαρτάται από τη φάση εργασίας. Η κίνηση εμπρός – πίσω, γίνεται από υδραυλικό σύστημα, με υδραυλικό έμβολο διπλής ενέργειας, που τροφοδοτείται με λάδι σε υψηλή πίεση. Ο κοχλίας λειτουργεί μέσα σε ένα μακρύ σωλήνα, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου χρησιμοποιείται για την τήξη του υλικού, με ηλεκτρικές αντιστάσεις που τοποθετούνται περιφερειακά σε αυτόν. Ο αριθμός των αντιστάσεων ποικίλει, ανάλογα με το μέγεθος της μηχανής.

Οι θερμοκρασίες των αντιστάσεων είναι διαφορετικές μεταξύ τους, για να επιτυγχάνεται ομαλή τήξη του υλικού. Είναι διαφορετικές για κάθε υλικό και δίνονται από τον προμηθευτή.

Στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες για κάποιο λόγο, θα είναι μικρότερες του κανονικού, το παραγόμενο υλικό θα έχει ανομοιόμορφη δομή, γιατί η διεργασία της στερεοποίησης θα αρχίσει πριν προλάβει να γεμίσει η κοιλότητα του καλουπιού με υλικό.

Αντίθετα αν οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες, υπάρχει ο κίνδυνος της υδρόλυσης του υλικού (κάψιμο, κατά την ορολογία των τεχνιτών) και το αντικείμενό μας θα έχει επιφανειακές φυσαλίδες. Αυτό γιατί η διάσπαση των δεσμών του υδρογόνου, που συμβαίνει κατά την υδρόλυση, αλλάζει την δομή του υλικού και κατά συνέπεια τον τρόπο κρυσταλλοποίησής του.

Και στις δύο περιπτώσεις τα αντικείμενα που παράγονται δεν ικανοποιούν τις ποιοτικές απαιτήσεις μας, μιας και οι ιδιότητες του υλικού έχουν αλλάξει ριζικά. Η διεργασία της υδρόλυσης, μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση που το υλικό αφηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα στο θάλαμο υλικού, ακόμα και αν οι θερμοκρασίες των αντιστάσεων έχουν ρυθμιστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Το μπροστινό μέρος του σωλήνα ονομάζεται «θάλαμος υλικού» (ζώνη πίεσης). Είναι ο χώρος που συγκεντρώνεται το υλικό και συμπιέζεται στο καλούπι από τον κοχλία. Ο θάλαμος περιβάλλεται από ηλεκτρική αντίσταση, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του υλικού. Ο όγκος του θαλάμου είναι το μέτρο σύγκρισης του μεγέθους των μηχανών έκχυσης. Στην αγορά όμως έχει επικρατήσει να ταξινομούν τις μηχανές, ανάλογα με το βάρος του υλικού που χωράει στο θάλαμο. Λένε για παράδειγμα πρέσα 250 gr. Αυτό είναι λάθος γιατί η πρέσα μπορεί να λειτουργήσει με πολλά υλικά, με διαφορετικό ειδικό βάρος. Ο χαρακτηρισμός της μηχανής με το βάρος θα ήταν σωστός, μόνο αν αναφέραμε και το αντίστοιχο υλικό. Μπροστά από τον θάλαμο υπάρχει το ακροφύσιο έκχυσης (nozzle), που είναι ειδικά διαμορφωμένο για να εφαρμόζεται στην αντίστοιχη υποδοχή του καλουπιού. Το ακροφύσιο περιβάλλεται από αντίσταση για να αποδώσει στο υλικό τη θερμότητα που χάθηκε λόγω απωλειών. Έχει επίσης βαλβίδα εκροής, η οποία δεν επιτρέπει την διαρροή του υλικού όταν το ακροφύσιο δεν ακουμπά στο καλούπι. Η βαλβίδα αυτή οδηγείται με ελατήριο. Το καλούπι συγκρατείται πάνω στις δύο πλάκες προσαρμογής της μηχανής (machine platen), την σταθερή και την κινητή.

Η μονάδα κινήσεως έχει ως αποστολή την συγκράτηση, το άνοιγμα-κλείσιμο του καλουπιού καθώς και τη λειτουργία του συστήματος εξόλκευσης. Το καλούπι προσαρμόζεται πάνω σε δύο πλάκες της μηχανής, μια σταθερή και μια κινητή ώστε να ανοίγει όταν απομακρύνεται η κινητή από τη σταθερή πλάκα. Η μετακίνηση της κινητής πλάκας επιτυγχάνεται με υδραυλικό έμβολο διπλής ενέργειας. Η ταχύτητα της κίνησης, καθώς και η εξασκούμενη δύναμη, έχουν δυνατότητα ρύθμισης. Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα χειροκίνητης μετακίνησης της πλάκας, που μας διευκολύνει στην αρχική τοποθέτηση του καλουπιού. Η κινητή πλάκα ολισθαίνει πάνω σε τέσσερις άξονες, η σωστή λίπανση των οποίων είναι απαραίτητη.

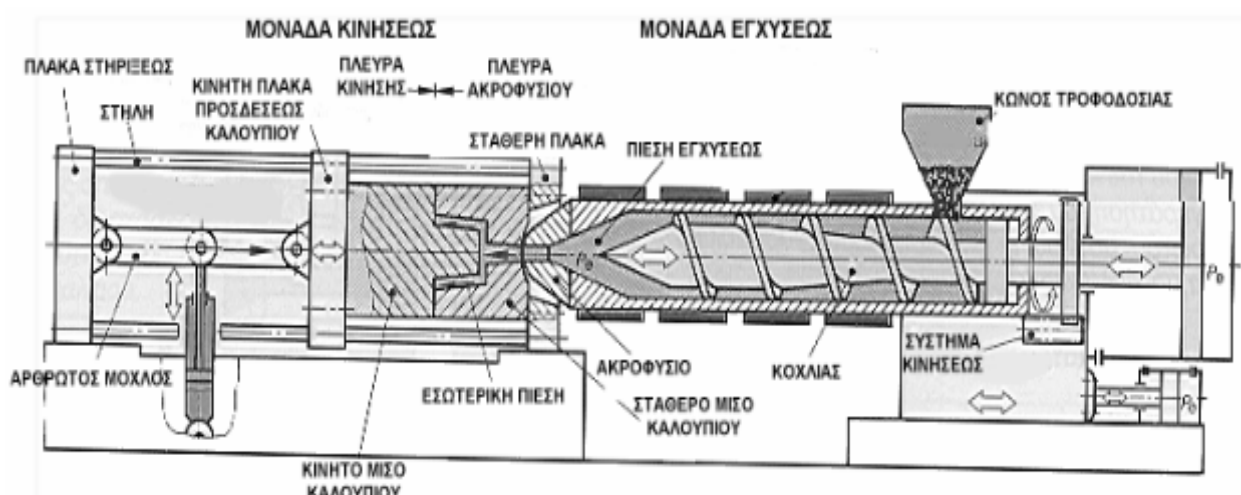
Οι παλαιότερες μηχανές είχαν χειροκίνητο σύστημα λίπανσης. Έτσι ο χειριστής έπρεπε κάθε 3-4 ώρες να πρεσάρει λάδι, για να τροφοδοτείται το σύστημα. Σήμερα η διεργασία αυτή γίνεται αυτόματα και η συχνότητα τροφοδοσίας ρυθμίζεται ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά, σε σχέση με τις μετακινήσεις της πλάκας. Στο πίσω μέρος της πλάκας έχουμε τη δυνατότητα τοποθέτησης υδραυλικού εξολκέα.

Βασική προϋπόθεση της παραγωγής σωστών αντικειμένων, είναι η ακριβής ρύθμιση της μηχανής. Στις παλαιότερες μηχανές οι ρυθμίσεις γίνονται με ηλεκτρικά όργανα. Η μη ακρίβεια τους όμως καθώς και η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε στην αντικατάσταση των περισσότερων ηλεκτρικών συστημάτων με ηλεκτρονικά.

Για την ασφάλεια του χειριστή η μηχανή δεν λειτουργεί αν δεν έχουν κλείσει οι πόρτες που απομονώνουν τα κινητά της μέρη από τον γύρω χώρο. Επίσης υπάρχει προειδοποιητικό σύστημα για την περίπτωση βλάβης σε κάποιο σύστημα της μηχανής.

Στις σύγχρονες μηχανές, υπάρχει ηλεκτρονικός υπολογιστής που ελέγχει την λειτουργία όλων των συστημάτων και στην τυχόν εμφάνιση προβλημάτων, ακινητοποιεί τη μηχανή και πληροφορεί σχετικά με τη βλάβη.

Στην εικόνα 2.4. βλέπουμε μια μηχανή έγχυσης και τα τμήματα από τα οποία αποτελείται.



Εικόνα 2.4. Ολοκληρωμένη μονάδα έγχυσης [10]

2.7. Καλούπια έγχυσης

Τα καλούπια είναι το σημαντικότερο εργαλείο για την κατεργασία της χύτευσης με έγχυσης. Αυτό θα καθορίσει το τελικό μέγεθος και σχήμα των παραγόμενων προϊόντων, την τελική επιφάνεια του προϊόντος και το πόσο καλά θα εξελιχθεί η παραγωγική διαδικασία.

Καλούπι (Εικόνα 2.5.) είναι η κοινή ορολογία που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το εργαλείο αυτό.



Εικόνα 2.5. Καλούπια έγχυσης [12]

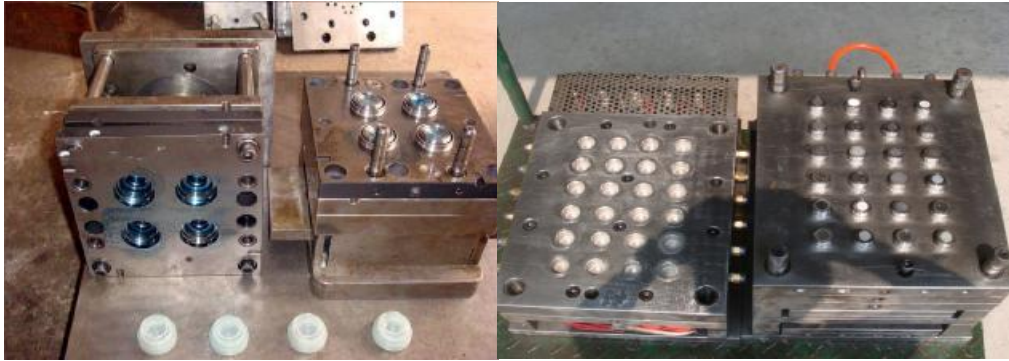
Μερικά καλούπια επιτρέπουν σε προηγούμενα μορφοποιημένα τεμάχια να επανατοποθετηθούν σε μια νέα πλαστική επιφάνεια και να επαναδιαμορφωθούν μαζί με το πρώτο μέρος. Αυτό συχνά αναφέρεται ως επαναδιαμόρφωση (overmolding). Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των ελαστικών αυτοκινήτων.

Αυτά τα καλούπια μπορεί να είναι καλούπια διπλής ή πολλαπλής έγχυσης που έχουν σχεδιαστεί για την επαναδιαμόρφωση σε ένα ενιαίο κύκλο διαμόρφωσης και πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία σε εξειδικευμένες μηχανές με δύο ή περισσότερες μονάδες έγχυσης. Αυτή η διαδικασία είναι στην πραγματικότητα μια διαδικασία έγχυσης που εκτελείται δύο φορές. Στο πρώτο βήμα, το υλικό χρώμα βάσης είναι φορμαρισμένο σε ένα βασικό σχήμα. Στη συνέχεια, το δεύτερο υλικό είναι διαμορφωμένο με έγχυση στους υπόλοιπους ανοιχτούς χώρους. Αυτό το διάστημα είναι συνέχεια γεμάτο κατά το δεύτερο στάδιο της έγχυσης με ένα υλικό διαφορετικού χρώματος. (Εικόνα 2.6.).



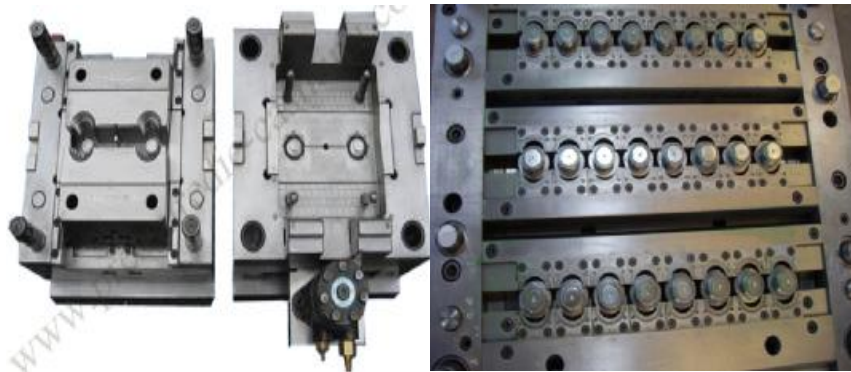
Εικόνα 2.6. Προϊόντα επαναδιαμόρφωσης [13]

Το καλούπι μπορεί να παράγει πολλά αντίτυπα του ίδιου αντικείμενου με μια ενιαία έγχυση. Ένα εργαλείο με μια κοιλότητα ενός αντικείμενου συχνά αποκαλείται «ενός αποτυπώματος καλούπι». Ένα καλούπι με δύο ή περισσότερες κοιλότητες του ίδιου αντικείμενου κατά πάσα πιθανότητα θα αναφέρεται ως πολλαπλού αποτυπώματος καλούπι (εικόνα 2.7.). Ορισμένα εξαιρετικά υψηλού όγκου παραγωγής καλούπια, όπως αυτά για τα καπάκια, μπορούν να έχουν πάνω από 128 κοιλότητες.



Εικόνα 2.7. Καλούπι πολλαπλού αποτυπώματος [14]

Πιο πολύπλοκα τμήματα σχηματίζονται με πιο σύνθετα καλούπια. (Εικόνα 2.8.).



Εικόνα 2.8. Σύνθετο καλούπι με κινητά μέρη [15]

Σε ορισμένες περιπτώσεις, πολλαπλά εργαλεία κοιλότητας, χυτεύουν μια σειρά από διαφορετικά μέρη στο ίδιο εργαλείο (εικόνα 2.9.).



Εικόνα 2.9. Καλούπι πολλαπλού αποτυπώματος [15]

2.8. Καλούπια κρύου δρομέα (cold runner injection moulds)

Η πλειοψηφία των πλαστικών τεμαχίων που παράγονται από καλούπια, παράγονται από καλούπια «κρύου δρομέα». Σε αυτό το είδος καλουπιού, το λιωμένο πλαστικό εγχύεται μέσα στο αποτύπωμα διαμέσου της μπουκαδούρας και του συστήματος του δρομέα. Κατά την διάρκεια της ψύξης, το υλικό που βρίσκεται μέσα στην χοάνη της μπουκαδούρας, στους δρομείς αλλά και στο αποτύπωμα, στερεοποιείται. Έτσι, σε αυτό το είδος έγχυσης, η μπουκαδούρα και οι δρομείς απορρίπτονται ως άχρηστα. Ύστερα αυτά τεμαχίζονται σε μικρά κομματάκια ή σφαιρίδια και αναμειγνύονται με το αρχικό πλαστικό υλικό για επαναχρησιμοποίηση. Τα καλούπια κρύου δρομέα είναι πιο οικονομικά στο να κατασκευαστούν σε σχέση με αυτά του ζεστού δρομέα, αλλά μπορούν να γίνουν λιγότερο οικονομικά αν το ποσοστό του υλικού που στερεοποιείται στην μπουκαδούρα και στους δρομείς ξεπερνά το 35% του υλικού που εγχύεται μέσα στο αποτύπωμα του καλουπιού.

2.9. Καλούπια ζεστού δρομέα (hot runner injection moulds)

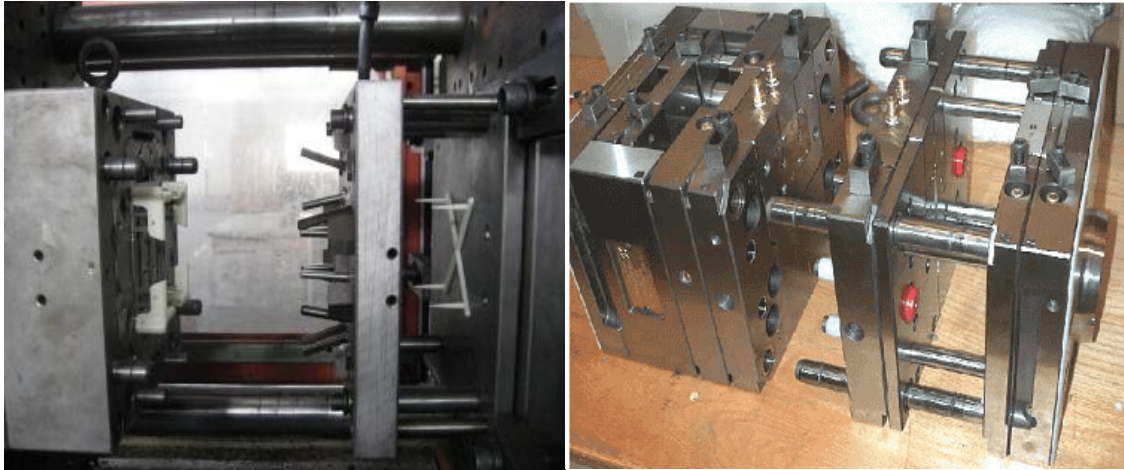
Τα «ζεστού δρομέα» καλούπια, χρησιμοποιούν μια θερμαινόμενη πολλαπλή μπουκαδούρα (εικόνα 2.10.) για να εγχύουν κατευθείαν το λιωμένο πλαστικό μέσα στα αποτυπώματα μέσω ενός ακροφύσιου. Το πλεονέκτημα των καλουπιών αυτών είναι ότι το υλικό μέσα στην μπουκαδούρα και στους δρομείς παραμένει λιωμένο και έτσι δεν χρειάζεται να πεταχτεί ή να διαχωριστεί. Επίσης ο χρόνος για έναν κύκλο κατεργασίας είναι συνήθως μικρότερος, λόγω του ότι μειώνεται δραστικά το ποσό του πλαστικού που λιώνει και μετά ψύχεται. Παρόλο που τα ζεστού δρομέα καλούπια είναι πιο ακριβά από τα συμβατικά καλούπια κρύου δρομέα, ευνοούν ιδιαίτερα τα καλούπια έγχυσης μικρών τεμαχίων όπου η χοάνη της μπουκαδούρας και το σύστημα του δρομέα αποτελούνται από πάνω από 50% του συνολικού υλικού που εγχύεται σε κάθε κύκλο κατεργασίας.



Εικόνα 2.10. Καλούπι ζεστού δρομέα [16]

2.10. Καλούπια με τρεις πλάκες (three plate moulds)

Ένα καλούπι τριών πλακών (εικόνα 2.11.) αποτελείται από τρία βασικά μέρη που είναι η πλάκα του δρομέα (η οποία είναι τοποθετημένη στο σταθερό μέρος του καλουπιού) όπου περιλαμβάνει την χοάνη μπουκαδούρας και τη μισή γεωμετρία του συστήματος του δρομέα, την κινητή πλάκα που τοποθετείται στο κινητό μέρος του καλουπιού και περιλαμβάνει το σύστημα εξόλκευσης και το μισό μέρος του αποτυπώματος (είτε μήτρα είτε πυρήνα) και την ενδιάμεση – ελεύθερη πλάκα που κινείται μεταξύ των άλλων δύο πλακών και περιέχει το άλλο μισό του αποτυπώματος και το άλλο μισό του συστήματος του δρομέα.



Εικόνα 2.11. Καλούπια με τρεις πλάκες [17]

Καθώς το καλούπι ανοίγει, η ελεύθερη και η κινητή πλάκα παραμένουν ενωμένες, απελευθερώνουν τη μπουκαδούρα ενώ το πλαστικό κομμάτι βρίσκεται ακόμα στο αποτύπωμα. Καθώς συνεχίζει το καλούπι να ανοίγει, η ελεύθερη και η κινητή πλάκα διαχωρίζονται έτσι ώστε να μπορεί να εξολκεθεί το προϊόν. Το πλεονέκτημα αυτών των καλουπιών είναι ότι επιτρέπουν την ακριβή τοποθέτηση της πύλης στο κέντρο του αποτυπώματος. Αυτό το είδος καλουπιού είναι πιο φθηνό από τα αντίστοιχα καλούπια ζεστού δρομέα.

Πλεονεκτήματα καλουπιού με τρεις πλάκες

Τα πλεονεκτήματα των καλουπιών αυτών είναι:

- ⊖ Το σύστημα του δρομέα διαχωρίζεται αυτόματα από το προϊόν
- ⊖ Μπορεί να μειωθεί ο κύκλος παραγωγής του προϊόντος διότι δεν χάνεται χρόνος στην αφαίρεση του προϊόντος από τον δρομέα
- ⊖ Μειώνεται το κόστος παραγωγής του προϊόντος

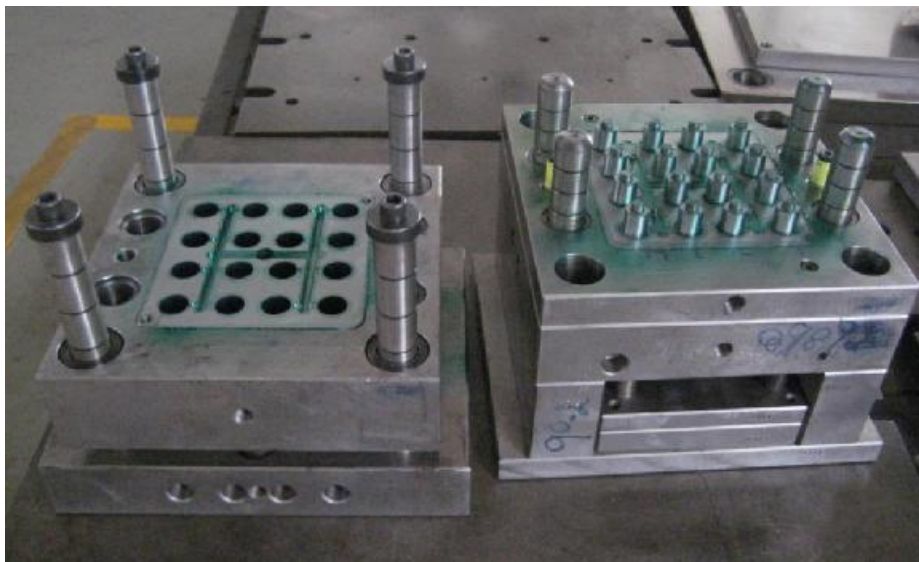
Μειονεκτήματα καλουπιού με τρεις πλάκες

Τα μειονεκτήματα των καλουπιών με τρεις πλάκες είναι τα εξής:

- ⊖ Η δομή των καλουπιών αυτών είναι πολύπλοκη
- ⊖ Υψηλό κόστος κατασκευής τους
- ⊖ Υψηλό κόστος συντήρησης των καλουπιών αυτών
- ⊖ Μεγάλος χρόνος κατασκευής τους

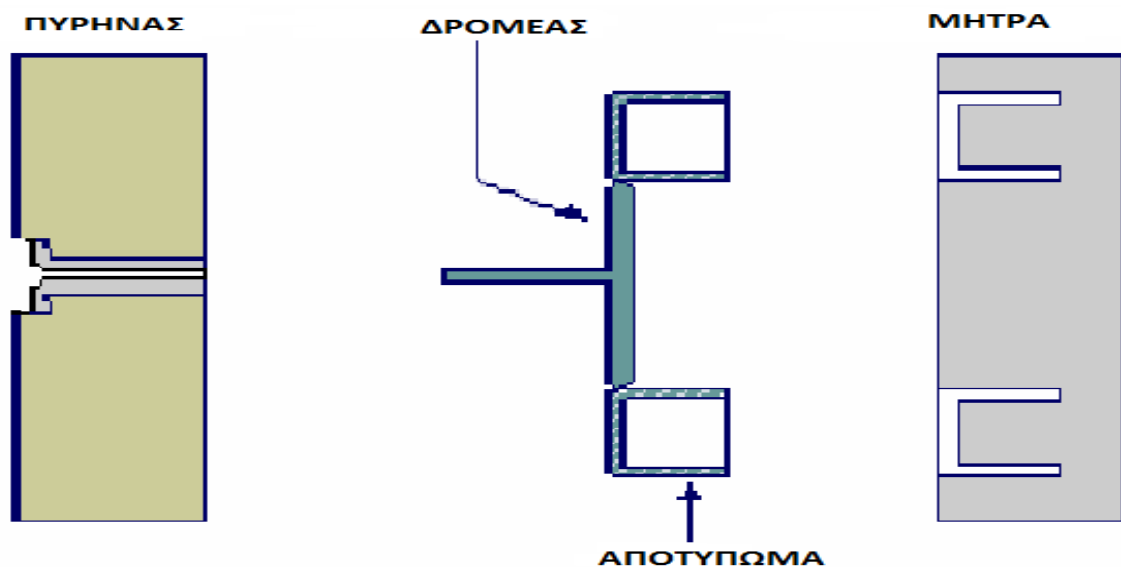
2.11. Καλούπια με δύο πλάκες

Αυτός ο τύπος καλουπιού χρησιμοποιείται για αποτυπώματα τα οποία τροφοδοτούνται είτε από την πάνω πλευρά τους είτε από κάποιο σημείο της περιφέρειάς του, με το σύστημα του δρομέα να βρίσκεται στη ίδια πλάκα που βρίσκεται και η μήτρα. Τα καλούπια με δύο πλάκες (εικόνα 2.12.) χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, σε καλούπια ζεστού δρομέα, κρύου δρομέα και σε συμβατικά καλούπια.



Εικόνα 2.12. Καλούπι με δύο πλάκες [18]

Η εικόνα 2.13. μας δείχνει ένα καλούπι με δύο πλάκες η μία εκ των οποίων ονομάζεται «μήτρα» (cavity) και η άλλη «πυρήνας» (core).



Εικόνα 2.13. Μέρη καλουπιού με δύο πλάκες [2]

Πλεονεκτήματα καλουπιού με δύο πλάκες

Τα πλεονεκτήματα των καλουπιών αυτών είναι:

- Û Χαμηλό κόστος κατασκευής
- Û Απλά εργαλεία για την κατασκευή τους
- Û Εύκολη ρύθμιση των παραμέτρων έγχυσης κατά την διάρκεια της χύτευσης
- Û Γρήγορη κατασκευή των καλουπιών αυτών
- Û Εύκολη συντήρηση
- Û Εύκολη τοποθέτηση και συναρμολόγηση
- Û Απλό σύστημα εξόλκευσης του προϊόντος

Μειονεκτήματα καλουπιού με δύο πλάκες

Τα μειονεκτηματά τους είναι:

- Û Το σύστημα του δρομέα και το προϊόν δεν διαχωρίζονται αυτόματα
- Û Η περιοχή της πύλης έγχυσης φαίνεται ξεκάθαρα πάνω στο προϊόν

2.12. Βασικά μέρη καλουπιού

Στην παράγραφο αυτή θα περιγραφούν τα βασικά μέρη ενός συνηθισμένου καλουπιού με δύο πλάκες γιατί αυτό θα μας απασχολήσει στα επόμενα κεφάλαια όσο αναφορά στον σχεδιασμό του και την μελέτη του προϊόντος του.

1) ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ (IMPRESSION)

Το καλούπι έγχυσης (injection mould) είναι ένα συγκρότημα από τεμάχια που στο εσωτερικό τους περικλείουν ένα αποτύπωμα, μέσα στο οποίο το πλαστικό υλικό εκχύνεται και ψύχεται. Αυτό το αποτύπωμα είναι που δίνει στο χυτό το σχήμα και τη γεωμετρία του. Το αποτύπωμα σχηματίζεται από δύο τεμάχια του καλουπιού:

- I. Την κοιλότητα (cavity), που είναι το θηλυκό τμήμα του καλουπιού και δίνει στο χυτό την εξωτερική του μορφή.
- II. Τον πυρήνα (core), που είναι το αρσενικό τμήμα του καλουπιού και σχηματίζει την εσωτερική φόρμα του καλουπιού.

2) ΜΗΤΡΑ (CAVITY)

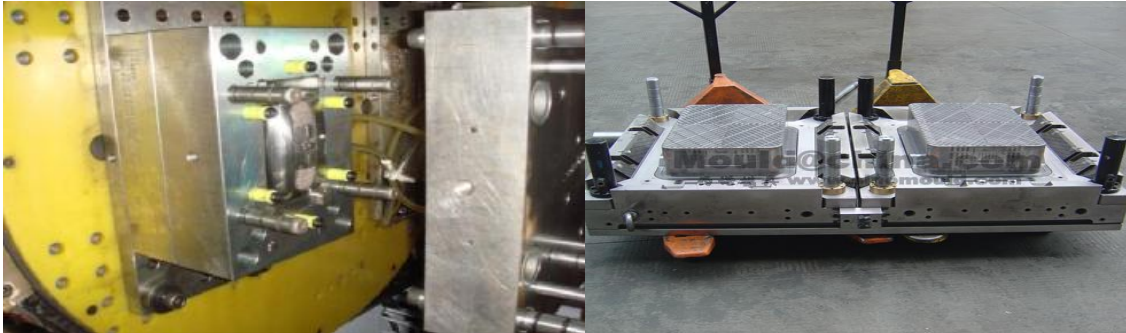
Η μήτρα είναι το «θηλυκό» τμήμα του καλουπιού το οποίο προσδίδει την εξωτερική μορφή του τελικού μας προϊόντος (εικόνα 2.14.). Η μήτρα είναι το σταθερό τμήμα του καλουπιού.



Εικόνα 2.14. Μήτρα [19]

3) ΠΥΡΗΝΑΣ (CORE)

Ο πυρήνας από την άλλη είναι το «αρσενικό» τμήμα του καλουπιού και βρίσκεται στο κινούμενο μέρος αυτού (εικόνα 2.15.). Ο πυρήνας προσδίδει την διαμόρφωση στο εσωτερικό του προϊόντος μας.

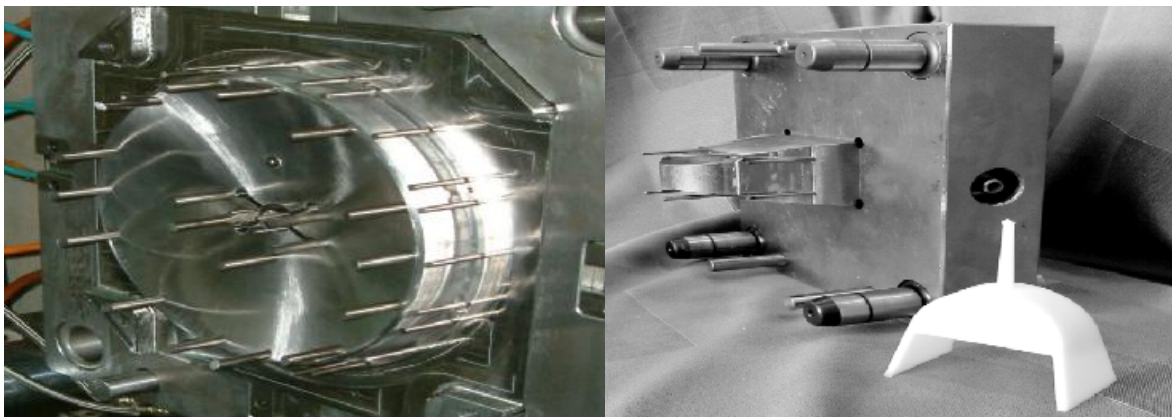


Εικόνα 2.15. Πυρήνας [20]

Όταν το καλούπι κλείνει, τα δύο αυτά τμήματα ενώνονται και δημιουργείται ανάμεσά τους ένας χώρος (αποτύπωμα) στον οποίο εγγέεται το πλαστικό. Αφού ψυχθεί το πλαστικό και ανοίξει το καλούπι, προκύπτει το προϊόν που έχουμε σχεδιάσει.

4) ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΟΣΤΗΡΩΝ (EJECTOR GRID)

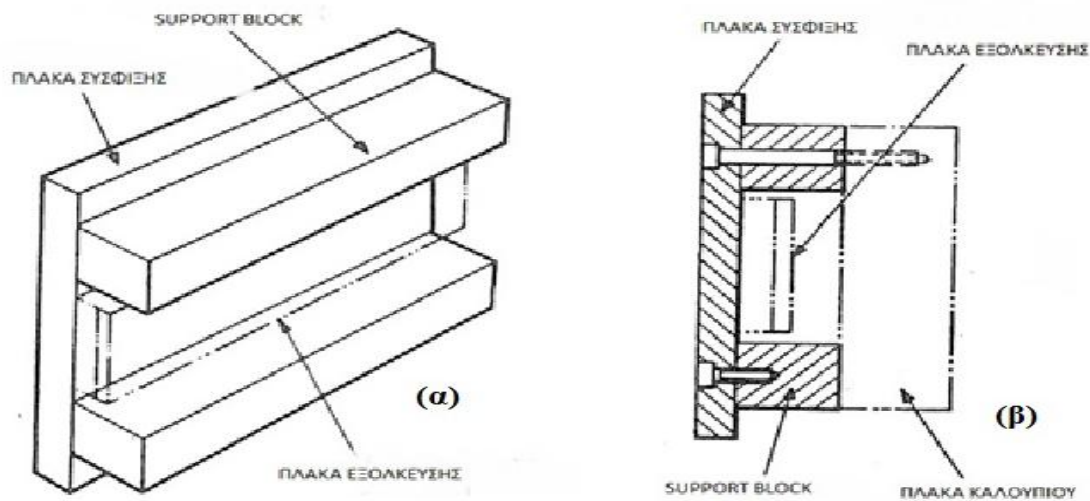
Το σύστημα εξοστήρων είναι μέρος του καλουπιού (Εικόνα 2.16.). Στηρίζεται πάνω στην κινητή πλάκα του καλουπιού, το core, και συγκεκριμένα η πλάκα του συστήματος αυτού δημιουργεί έναν χώρο με την πλάκα του καλουπιού μέσα στον οποίο τοποθετείται η πλάκα εξοστήρων. Το σύστημα κανονικά αποτελείται από την πλάκα σύσφιξης (clamp plate), πάνω στην οποία υπάρχουν τα «support blocks», δηλαδή τμήματα της πλάκας που στηρίζουν την πλάκα εξοστήρων.



Εικόνα 2.16. Εξοστήρες [21]

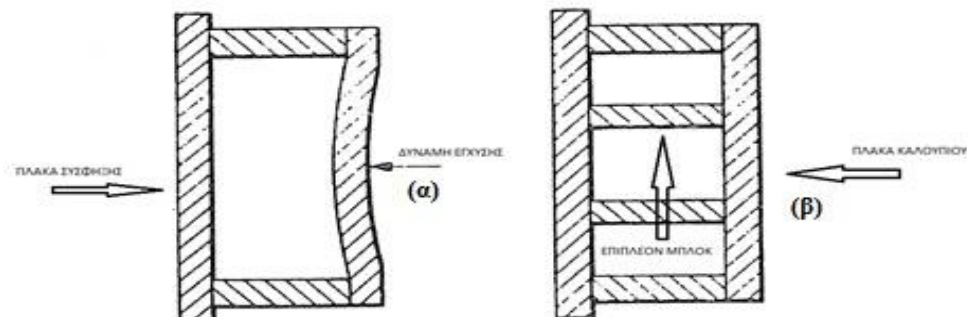
- Υπάρχουν τρεις εναλλακτικοί τρόποι σχεδιασμού ενός συστήματος εξοστήρων.
- Το σύστημα εξοστήρων σε σειρά (in-line ejector grid).
 - Το σύστημα εξοστήρων σε πλαίσιο (frame type ejector grid).
 - Το σύστημα με κυκλικό τμήμα υποστήριξης (circular support block grid).

Το σύστημα σε σειρά, αποτελείται από δύο ορθογώνια block στήριξης τοποθετημένα πάνω στην πλάκα σύσφιξης. Η πλάκα εξοστήρων που φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή στο εικόνα 2.17 α, τοποθετείται παράλληλα και στον χώρο που βρίσκεται ανάμεσα στα block στήριξης. Η θέση της πλάκας του καλουπιού υποδεικνύεται επίσης με διακεκομμένες γραμμές για ευκολία κατανόησης της θέσης του συστήματος εξοστήρων (Εικόνα 2.17 β).



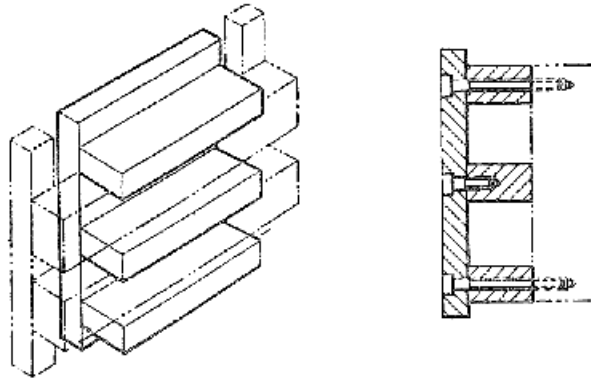
Εικόνα 2.17. Εξοστήρες σε σειρά [1]

Το σχέδιο που απεικονίζεται παραπάνω είναι κατάλληλο για μικρού τύπου καλούπια όπου το συνολικό μέγεθος της πλάκας εξοστήρων δεν απαιτεί τα τμήματα στήριξης να είναι τοποθετημένα σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Ωστόσο, αν η πλάκα του καλουπιού δεν είναι αρκετά παχιά, υπάρχει η πιθανότητα η πλάκα αυτή να παραμορφωθεί από τις δυνάμεις της έγχυσης (Εικόνα 2.18 α). Για να αποφευχθεί η ανάγκη μιας παχιάς και συνάμα βαριάς πλάκας, τοποθετούνται επιπλέον «πλάκες στήριξης» στο κέντρο της πλάκας σύσφιξης (Εικόνα 2.18 β).



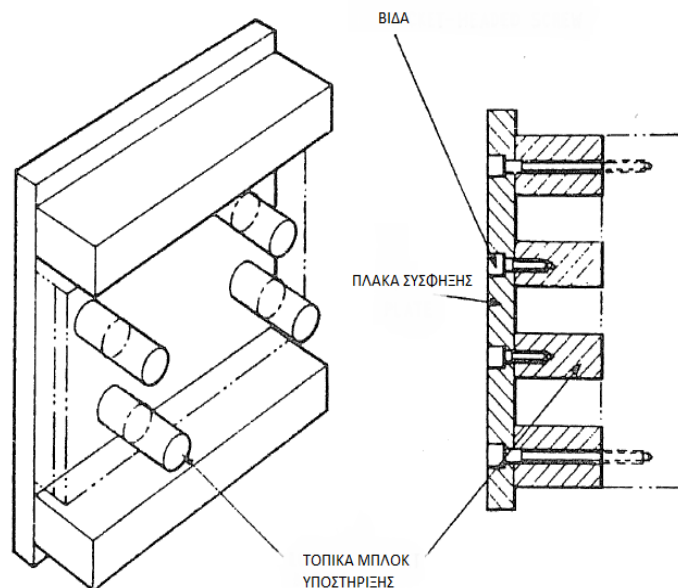
Εικόνα 2.18. Πλάκα στήριξης [1]

Η έξτρα αυτή στήριξη μπορεί να έχει τη μορφή ενός ή και περισσότερων τμημάτων στήριξης τοποθετημένα παράλληλα στο αρχικό ζευγάρι των «support blocks» (Εικόνα 2.19.). Η πλάκα εξοστήρων, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.19 με τις διακεκομμένες γραμμές, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με αυτό τον τύπο συστήματος εξοστήρων. Συνίσταται κυρίως από ράβδους ορθογωνικής διατομής όπου εκτείνονται κάθετα και συγκρατούν τα επιπλέον τμήματα στήριξης από τα άκρα του καθενός.



Εικόνα 2.19. Ορθογωνική διάταξη εξοστήρων [1]

Μια εναλλακτική διεύθετηση της υποστήριξης φαίνεται στο Εικόνα 2.20. Σε αυτό το σύστημα ενσωματώνονται επιπρόσθετοι πυλώνες στήριξης σε επιλεγμένες θέσεις ώστε να παρέχουν την απαιτούμενη πρόσθετη στήριξη. Αυτοί οι πυλώνες φτιάχνονται από μαλακό χάλυβα και συγκρατούνται από μία βίδα από την πίσω πλευρά της πλάκας σύσφιξης. Η πλάκα εξοστήρων που απεικονίζεται στο Εικόνα 2.20 με διακεκομμένες γραμμές, θα πρέπει να έχει τρύπες στις αντίστοιχες θέσεις που έχει και η πλάκα σύσφιξης και συγκρατεί τους πυλώνες, για να συγκρατηθεί και αυτή με βίδες.



Εικόνα 2.20. Πυλώνες στήριξης [1]

Τα συστήματα εξοστήρων σε πλαίσιο, διαφέρουν από αυτά σε σειρά και το χαρακτηριστικό τους φαίνεται στην εικόνα 2.21 παρακάτω. Ο πιο κοινός τύπος πλαισίου είναι αυτός με το ορθογώνιο πλαίσιο κατασκευασμένος από τέσσερα τμήματα στήριξης κατάλληλα τοποθετημένα στην πλάκα σύσφιξης (Εικόνα 2.21 α). Οι περισσότεροι σχεδιαστές καλουπιών προτιμούν το συγκεκριμένο σύστημα εξοστήρων για τους εξής λόγους:

- Κατασκευάζεται εύκολα και φθηνά.
- Παρέχει καλή υποστήριξη στην πλάκα του καλουπιού.
- Επιτρέπει την χρήση μίας βολικής σε σχήμα πλάκας εξοστήρων (ορθογώνιας).
- Η πλάκα εξοστήρων περικλείεται ολοκληρωτικά και ως εκ τούτου εμποδίζει ξένα σώματα να μπουν στο σύστημα.

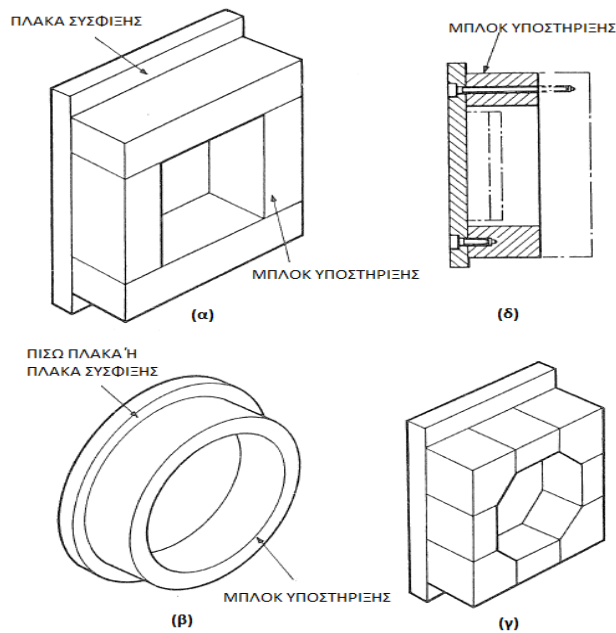
Όταν η πλάκα του καλουπιού είναι κυκλική, βολεύει να σχεδιάζουμε ένα αντίστοιχο σχήματος σύστημα εξοστήρων. Ένα τυπικό σχέδιο απεικονίζεται στην εικόνα 2.21 β. Αποτελείται από ένα κυκλικό πλαίσιο στήριξης τοποθετημένο στην πλάκα σύσφιξης. Το πλαίσιο αυτό είναι αποτέλεσμα κατεργασίας ενός στερεού κομματιού από χάλυβα, πράγμα που το κάνει ελαφρώς πιο ακριβό για να παραχθεί σε σχέση με ένα ορθογώνιο πλαίσιο.

Αναφέραμε προηγουμένως ότι το σύστημα εξοστήρων πρέπει να παρέχει επαρκή υποστήριξη στην πλάκα του καλουπιού. Τώρα, καθώς το μέγεθος της πλάκας του καλουπιού αυξάνεται (και με την παραδοχή ότι αυξάνεται αντίστοιχα σε μέγεθος και η πλάκα εξοστήρων), η αποτελεσματικότητα της υποστήριξης που παρέχει καθένα από τα παραπάνω σχέδια των συστημάτων εξοστήρων, μειώνεται σταδιακά.

Μια μέθοδος για την βελτίωση αυτής της κατάστασης είναι να ενσωματώσουμε επιπλέον πυλώνες υποστήριξης σε τέτοιες θέσεις και με τέτοιο τρόπο όπως περιγράψαμε και στο σύστημα εξοστήρων σε σειρά (Εικόνα 2.21).

Ωστόσο είναι συχνά πιθανό να αποκτήσουμε υποστήριξη στην πλάκα του καλουπιού σχεδιάζοντας το σύστημα εξοστήρων με σχήμα διαφορετικό από τα βασικά, ορθογώνιο και κυκλικό. Το ακριβές σχέδιο εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την τοποθέτηση των προς εξόλκευση στοιχείων η οποία με την σειρά της καθορίζει ποιο τμήμα της πλάκας εξοστήρων πρέπει να επεξεργαστεί ώστε να καταστεί δυνατή η πρόσθετη στήριξη που θα ενσωματωθεί στο σχέδιο. Τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 2.21 γ. Σε αυτή την περίπτωση, μια καλύτερη υποστήριξη επιτυγχάνεται με μία μικρή μορφοποίηση σε κάθε γωνία της πλάκας εξοστήρων (δηλαδή με το να μετακινούνται οι γωνίες μιας ορθογώνιας πλάκας εξοστήρων). Ακόμα πιο ακανόνιστες μορφές πλαισίων σχεδιάζονται όταν απαιτείται μέγιστη δυνατή στήριξη.

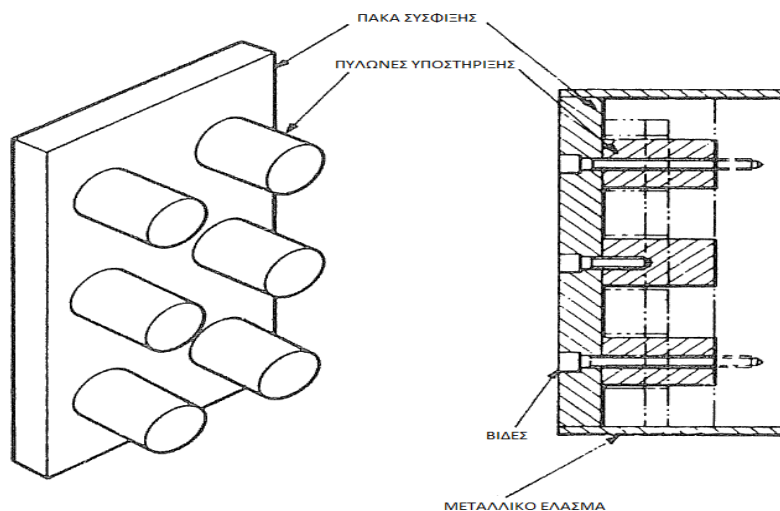
Μια γενική διατομή για καθένα από τα παραπάνω πλαίσια φαίνεται στην εικόνα 2.21 δ. η συνδεσμολογία της πλάκας του καλουπιού και της πλάκας εξοστήρων φαίνονται με διακεκομμένες γραμμές. Να σημειωθεί πως ορισμένες βίδες χρησιμοποιούνται απλά για να προσδένουν το τμήμα υποστήριξης με την πλάκα σύσφιξης και άλλες που διαπερνούν την πλάκα στήριξης και χρησιμοποιούνται για να συγκρατούν την πλάκα του καλουπιού με το σύστημα εξοστήρων. Αφαιρώντας τις τελευταίες βίδες που αναφέραμε, το σύστημα εξοστήρων μπορεί ολόκληρο να απομακρυνθεί από το καλούπι. Αυτό το χαρακτηριστικό διευκολύνει στις επιδιορθώσεις των βλαβών κ.τ.λ.



Εικόνα 2.21. Πλαίσια εξοστήρων [1]

Τέλος, το σύστημα υποστήριξης με κυλινδρικούς πυλώνες χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει μόνο την πλάκα του καλουπιού και το ορθογώνιο πλαίσιο ορισμένων προηγούμενων συστημάτων, καταργείται εντελώς. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιείται για μεγάλα καλούπια όταν υπάρχει η αίσθηση ότι δε θα επιτευχθεί η επιπλέον υποστήριξη που απαιτείται χρησιμοποιώντας τα ορθογώνια κομμάτια.

Ένα τυπικό σύστημα εξοστήρων με πυλώνες φαίνεται στην εικόνα 2.21. Το σχέδιο αποτελείται από έναν αριθμό κυλινδρικών πυλώνων υποστήριξης συμμετρικά κατανεμημένων στην πλάκα σύσφιξης του συστήματος. Το σύστημα ενώνετε με βίδες με την πλάκα του καλουπιού. Η πλάκα εξοστήρων (απεικονίζεται με τις διακεκομμένες γραμμές) μπορεί να κινείται ελεύθερα, όπως συνέβαινε και στα προηγούμενα συστήματα. Υπάρχουν τρύπες που διαπερνούν την πλάκα αυτή ώστε να συγκρατούνται με τις βίδες οι πυλώνες υποστήριξης. Για να αποφύγουμε την είσοδο ξένων σωμάτων μέσα στο σύστημα εξοστήρων, είναι καλό να το «κλείνουμε» με λεπτά μεταλλικά ελάσματα.

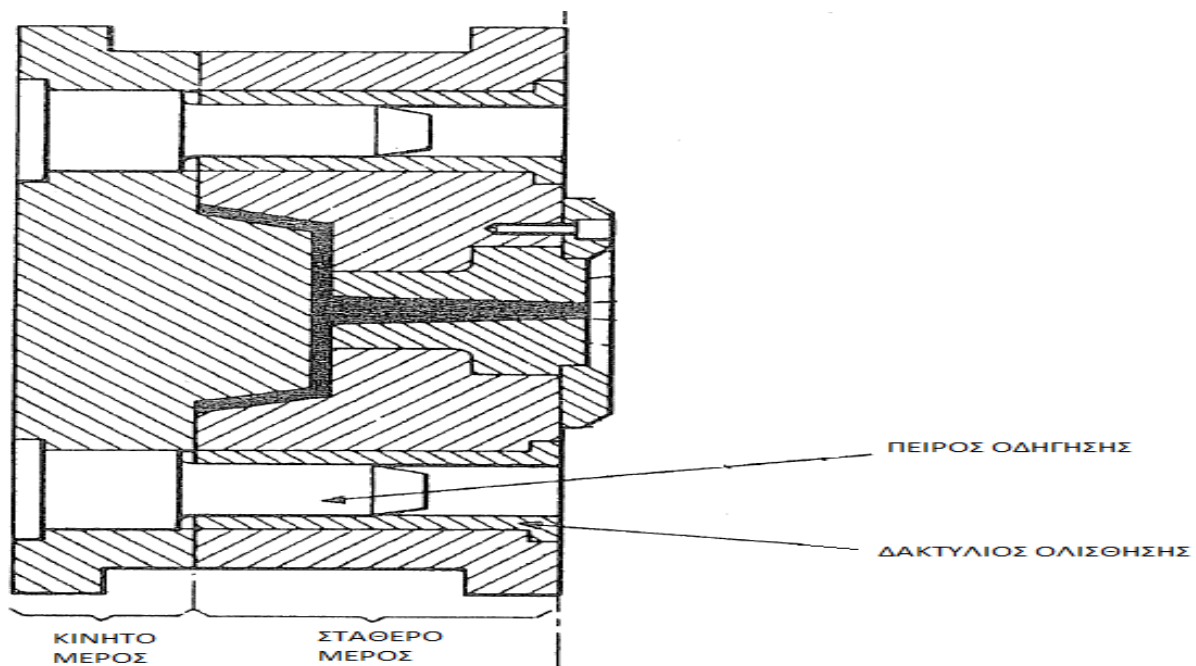


Εικόνα 2.21. Πυλώνες στήριξης [1]

Θα πρέπει να επισημάνουμε πως εκτός από αυτά τα συστήματα εξοστήρων, υπάρχουν και άλλα πιο πολύπλοκα συστήματα εξόλκευσης κυρίως για κομμάτια τα οποία περιλαμβάνουν σπείρωμα, είτε αυτό είναι εξωτερικό είτε είναι εσωτερικό. Στο 4^ο κεφάλαιο που αφορά το σχεδιασμό του καλουπιού που θα παράγει το προϊόν μας το οποίο περιέχει σπείρωμα, γίνεται μια αναφορά στα συστήματα αυτά.

2.13. Δακτύλιοι ολίσθησης- πείροι οδήγησης (guide bush- guide pillars)

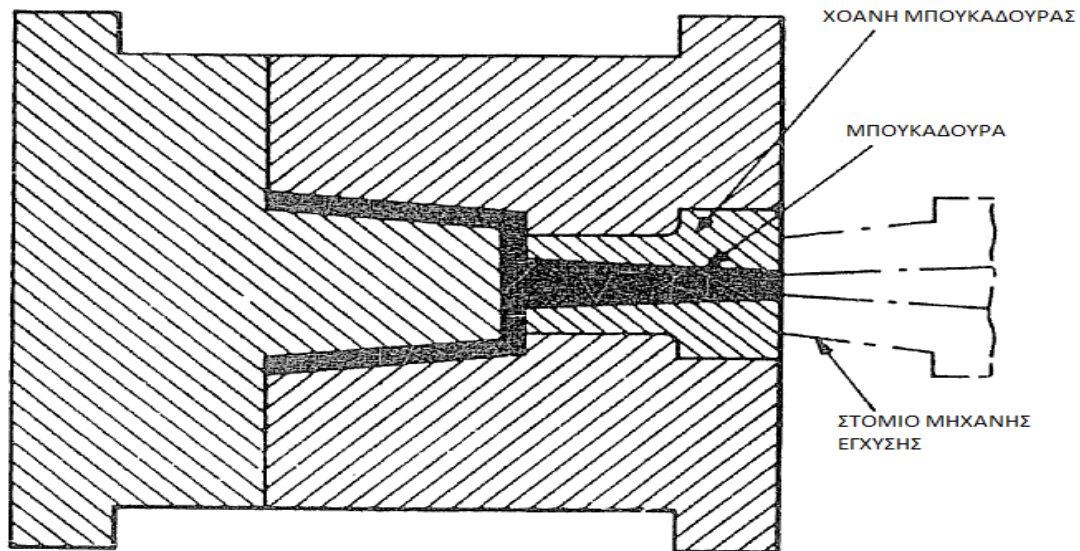
Για να πραγματοποιηθεί η χύτευση με έγχυση είναι απαραίτητο να εξασφαλίσουμε ότι η μήτρα (cavity) και ο πυρήνας (core) είναι σε απόλυτη ευθυγράμμιση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση πείρων οδήγησης στην μια πλάκα του καλουπιού. Αυτοί με την σειρά τους μπαίνουν στους αντίστοιχους δακτυλίους οδήγησης που βρίσκονται στην άλλη πλάκα του καλουπιού καθώς αυτό κλείνει. Ένα παράδειγμα με πείρο οδήγησης τοποθετημένο στην κινητή πλάκα (πλάκα πυρήνα) και έναν δακτύλιο οδήγησης στην αντίστοιχη πλευρά της σταθερής πλάκας (πλάκα μήτρας), φαίνεται στην εικόνα 2.22. Το μέγεθος των πείρων οδήγησης θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να διατηρούν την ευθυγράμμιση τους ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη δύναμη (applied moulding force). Το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται οι πείροι και οι δακτύλιοι είναι χάλυβας βαμμένος επιφανειακά.



Εικόνα 2.22. Δακτύλιοι ολίσθησης – Πείροι οδήγησης [1]

2.14. Χοάνη μπουκαδούρας

Κατά την διαδικασία της έγχυσης το πλαστικό υλικό βγαίνει από το στόμιο της μηχανής (nozzle) σε υγρή μορφή. Έπειτα μεταφέρεται στο αποτύπωμα διαμέσου ενός «μονοπατιού». Στην πιο απλή περίπτωση αυτό το μονοπάτι είναι μια κωνική τρύπα εντός της χοάνης (Εικόνα 2.23.). Αυτή η κωνική οπή (δακτύλιος) ονομάζεται δακτύλιος μπουκαδούρας (sprue bush).

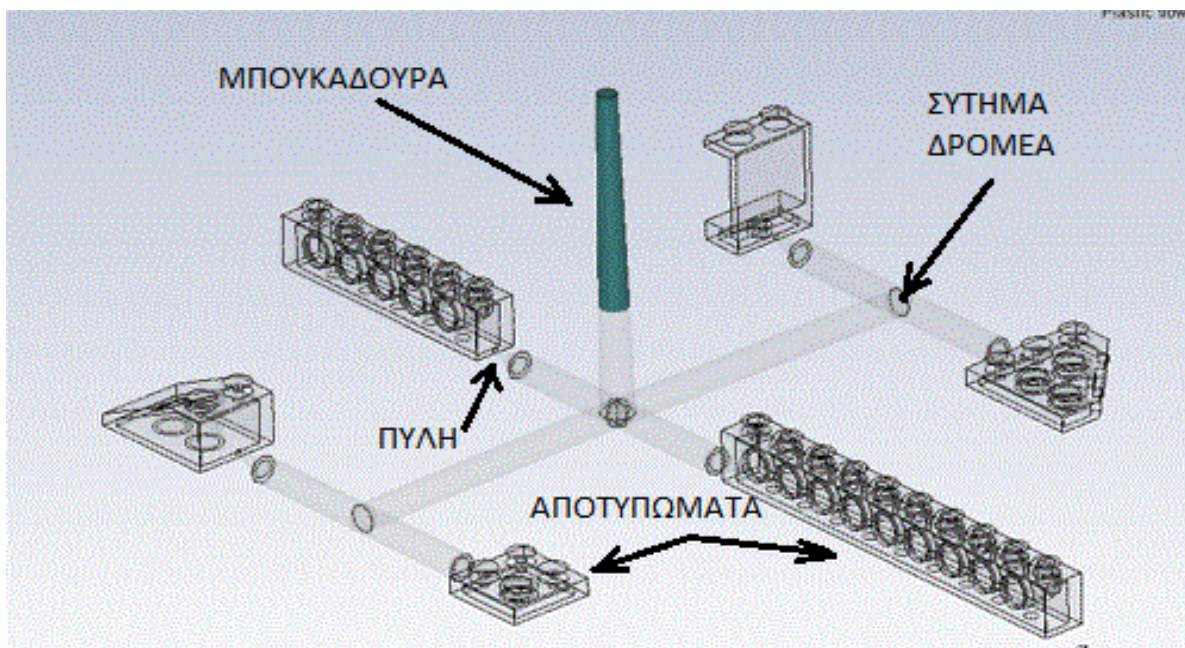


Εικόνα 2.23. Χοάνη μπουκαδούρας [1]

Το υλικό μέσα στο «μονοπάτι» ονομάζεται μπουκαδούρα, και η χοάνη ονομάζεται χοάνη μπουκαδούρας.

2.15. Σύστημα πύλης και δρομέα (gate and runner system)

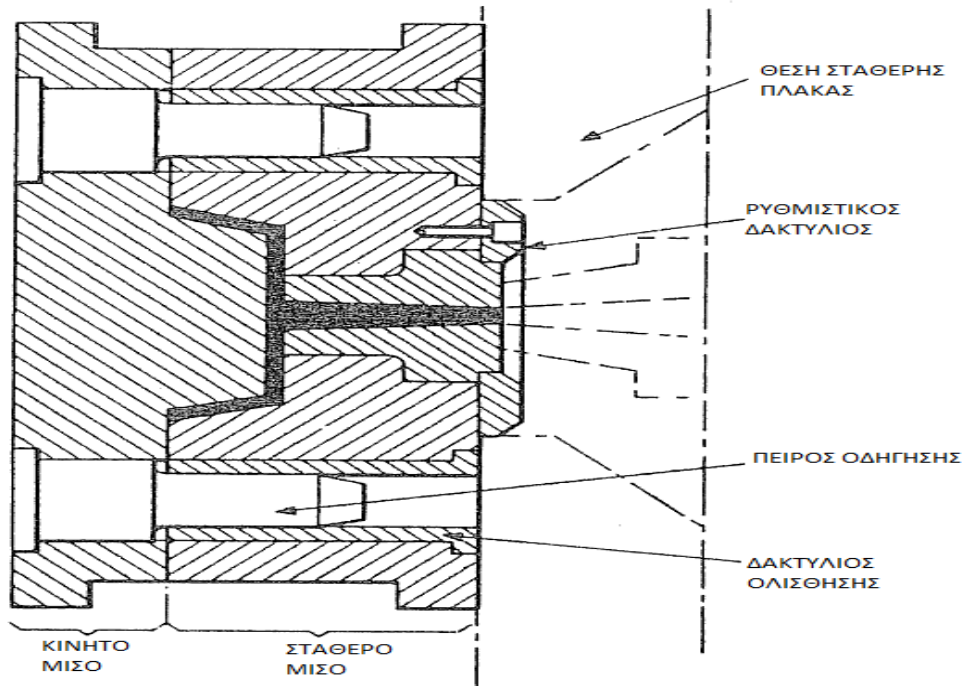
Το υλικό μπορεί να εγχυθεί απευθείας μέσα στο αποτύπωμα μέσω του δακτυλίου μπουκαδούρας (βλ. Εικόνα 2.23.). Διαφορετικά αν το καλούπι είναι πολλαπλών αποτυπωμάτων (multi-impession moulds), το υλικό θα περάσει από την χοάνη θα μπει στο σύστημα του δρομέα και έπειτα από την πύλη (gate) θα μπει στο αποτύπωμα. (Εικόνα 2.24.).



Εικόνα 2.24. Σύστημα πύλης και δρομέα [22]

2.16. Ρυθμιστικοί δακτύλιοι (register rings)

Για να περάσει το υλικό στο καλούπι χωρίς εμπόδια, πρέπει το ακροφύσιο και η μπουκαδούρα να είναι σωστά ευθυγραμμισμένα. Για να βεβαιωθούμε ότι αυτό θα συμβαίνει, το καλούπι πρέπει να κεντραριστεί στη μηχανή. Αυτό επιτυγχάνεται προσθέτοντας ένα ρυθμιστικό δακτύλιο (register ring).(Εικόνα 2.25.).



Εικόνα 2.25. Ρυθμιστικός δακτύλιος [1]

2.17. Σταθερό μισό και κινητό μισό (fixed half and moved half)

Τελικά, τα διάφορα μέρη του καλουπιού συγκροτούν δύο τμήματα (δύο μισά), από τα οποία αποτελείται το καλούπι (βλ. εικόνα 2.25.). Ως εκ τούτου, το μισό που είναι συνδεδεμένο στη σταθερή πλάκα (stationary platen) της μηχανής, καλείται σταθερό μισό (fixed half). Το άλλο μισό του καλουπιού, συνδεδεμένο στην κινητή πλάκα (moving platen) της μηχανής, είναι γνωστό σαν κινητό μισό (moving half). Τώρα πρέπει να αποφασιστεί σε ποιο από τα δύο μισά θα τοποθετηθεί η κοιλότητα ή ο πυρήνας. Γενικά ο πυρήνας τοποθετείται στο κινητό μισό, και ο σημαντικότερος λόγος για να γίνει αυτό εξηγείται παρακάτω.

Το χυτό όπως ψύχεται θα συσταλεί στην καρδιά και θα μείνει εκεί όπως θα ανοίξει το καλούπι. Αυτό θα γίνει ανεξάρτητα αν ο πυρήνας είναι στο σταθερό ή στο κινητό μισό. Εν τούτοις, αυτή η συρρίκνωση πάνω στην καρδιά σημαίνει ότι είναι σχεδόν αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί κάποιας μορφής συστήματα εξόλκευσης (ejector system). Είναι εύκολο να διασφαλιστεί κίνηση για το σύστημα εξόλκευσης, αν η καρδιά είναι στο κινητό μισό.

2.18. Υλικά κατασκευής καλουπιών

Τα τυπικά καλούπια είναι κατασκευασμένα από βαμμένο χάλυβα, από προ-βαμμένο χάλυβα, αλουμίνιο, από βηρύλλιο-κράμα χαλκού, νικέλιο ή μαλακό χάλυβα. Νέο σκληρό αλουμίνιο (7075 και 2024 κράματα) με κατάλληλο σχεδιασμό καλουπιών, μπορεί εύκολα να φτιάξει καλούπια που είναι δυνατόν να παράγουν 100.000 ή περισσότερα αντικείμενα. Η επιλογή του υλικού για την κατασκευή ενός καλουπιού είναι κατά κύριο λόγο αυτό που επηρεάζει κατά πολύ την τιμή του καλουπιού.

Καλούπια από προ-βαμμένο χάλυβα είναι λιγότερο ανθεκτικά στη φθορά και χρησιμοποιούνται για τις χαμηλότερες απαιτήσεις όγκου ή μεγαλύτερα κατασκευαστικά στοιχεία. Η χαρακτηριστική σκληρότητα του χάλυβα είναι 38-45 στην κλίμακα Rockwell-C. Καλούπια από βαμμένο χάλυβα υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία μετά την κατεργασία. Αυτά είναι με διαφορά τα ανώτερα από την άποψη της αντοχής στη φθορά και τη διάρκεια ζωής. Ο τυπικός βαθμός σκληρότητας είναι μεταξύ 50 και 60 Rockwell-C. Καλούπια από αλουμίνιο μπορεί να κοστίζουν σημαντικά λιγότερο, και όταν σχεδιάζονται και επεξεργάζονται με σύγχρονο μηχανολογικό εξοπλισμό, μπορεί να είναι οικονομικά για χύτευση δεκάδων ή ακόμη και εκατοντάδων χιλιάδων κομματιών. Ο χαλκός βηρυλλίου χρησιμοποιείται σε περιοχές του καλουπιού που απαιτούν γρήγορη αφαίρεση θερμότητας.

2.19. Διαδικασία χύτευσης με έγχυση

Η διαδικασία της έγχυσης είναι απλή στη σκέψη της και απαιτεί την ακριβή λειτουργία όλων των τμημάτων της injection μηχανής. Θα επιχειρήσουμε να την περιγράψουμε με απλά λόγια και θα αναφερθούμε περισσότερο στον τρόπο που το υλικό φτάνει από τον κώνο τροφοδοσίας στο ακροφύσιο της μονάδας εγχύσεως, απ' όπου το εκχύνουμε στο καλούπι.

Αρχικά θεωρούμε το καλούπι κλειστό και την μονάδα να βρίσκεται σε φάση εκκίνησης, στο πίσω μέρος της μηχανής. Ολόκληρο το σύστημα της μονάδας προωθείται προς τα εμπρός, έως ότου το ακροφύσιό της προσαρμοστεί στην ειδική υποδοχή (sprue bush) που υπάρχει στο τμήμα του καλουπιού που είναι στηριγμένο στη σταθερή πλάκα προσαρμογής της μηχανής (fixed half).

Στη φάση αυτή, ο κοχλίας που βρίσκεται τραβηγμένος πίσω αρχίζει να περιστρέφεται δεξιόστροφα ενώ ταυτόχρονα προωθείται προς τα εμπρός, λειτουργώντας σαν έμβολο και συμπιέζει το υλικό που βρίσκεται στο θάλαμο. Η βαλβίδα εκροής που βρίσκεται στο ακροφύσιο ανοίγει από τη στιγμή που αυτό ακουμπάει στο καλούπι και το υλικό εγχύεται μέσα σε αυτό. Κατά την έγχυση, η βαλβίδα που βρίσκεται πριν την κωνικότητα του κοχλίου απομονώνει την περιοχή του σωλήνα της μονάδας έγχυσης από το θάλαμο, για να μην γίνεται επιστροφή υλικού. Η κίνηση του κοχλίου δεξιόστροφα γίνεται για να τραβήξουμε υλικό από το χώρο που βρίσκεται πίσω από την βαλβίδα του κοχλίου, ώστε να μην την καταπονούμε με πίεση που τείνει να την ανοίξει.

Όταν τελειώσει η φάση της έγχυσης, ο κοχλίας σταματά να περιστρέφεται και αρχίζει η φάση της επονομαζόμενης δεύτερης πίεσης. Ο κοχλίας τότε αυξάνει την πίεση που εξασκεί σε τιμή και χρόνο που ρυθμίζονται. Κατά τη δεύτερη πίεση, περνά κάποια μικρή ποσότητα υλικού από το ακροφύσιο στο καλούπι για να συμπληρώσει τα κενά που δημιουργούνται από

τον εγκλωβισμό αέρα και την συρρίκνωση του υλικού. Έτσι πετυχαίνουμε πολύ καλό γέμισμα του καλούπι. Στους χρήστες των μηχανών έκχυσης αυτή η φάση εφαρμογής της δεύτερης πίεσης είναι γνωστή σαν «σιδέρωμα».

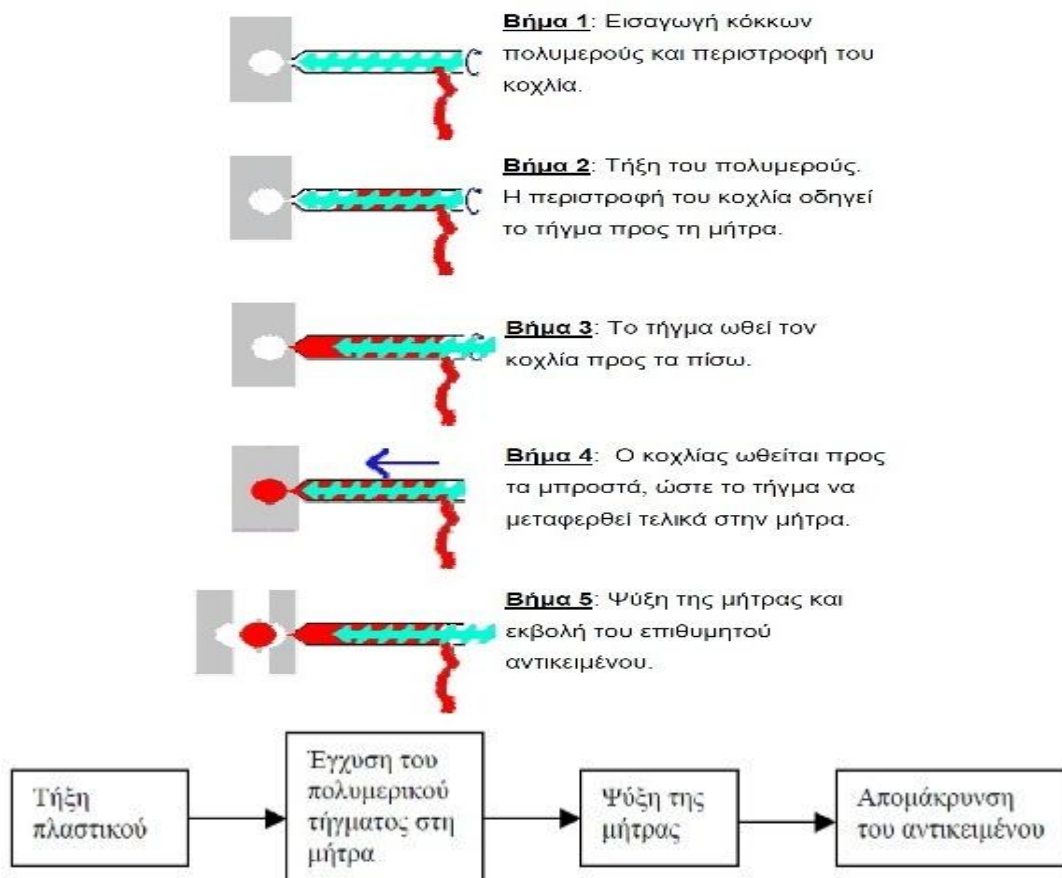
Μετά το πέρας και αυτής της φάσης, ολόκληρο το σύστημα της μονάδας εγχύσεως απομακρύνεται από το καλούπι κινούμενο προς τα πίσω. Ταυτόχρονα ο κοχλίας κινείται προς την πίσω πλευρά της μονάδας, ενώ περιστρέφεται αριστερόστροφα. Με την περιστροφή αυτή προωθείται λειωμένο υλικό στο θάλαμο, ενώ νέο στέρεο υλικό καταλαμβάνει τη θέση του προηγούμενου, για να λειώσει και αυτό με την σειρά του. Το καλούπι παραμένει για λίγο χρόνο ακόμα κλειστό για να ψυχθεί το αντικείμενο.

Ο χρόνος αυτός ρυθμίζεται και εξαρτάται από:

- το υλικό
- το μέγεθος του αντικειμένου
- το πάχος των τοιχωμάτων
- την σχεδίαση της ψύξης.

Μετά το πέρας του χρόνου αυτού το καλούπι ανοίγει, το αντικείμενο εξολκεύεται και το καλούπι ξανακλείνει, αρχίζοντας ένας ακόμα κύκλος έκχυσης. Το προϊόν μπορεί να περιέχει περιττά κομμάτια τα οποία ονομάζονται «δρομείς», που αποκόπτονται και ανακυκλώνονται.

Αν περιγράψαμε την όλη διαδικασία με απλές εικόνες θα βλέπαμε το παρακάτω (Εικόνα 2.26.).



Εικόνα 2.26. Διαδικασία χύτευσης με έγχυση (<http://www.design-technology.org/injectionmoulding2.htm>)

2.20. Ελαττώματα προϊόντος κατά την έγχυση

Στην χύτευση πλαστικού με έγχυση, υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες το παραγόμενο προϊόν να βγει ελαττωματικό. Τα ελαττώματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε λάθη στον σχεδιασμό και στην κατασκευή των καλουπιών, στα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα καλούπια, στο πλαστικό υλικό που πρόκειται να μορφοποιηθεί και σε διάφορα άλλα λάθη. Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 1.), δείχνει τα κυριότερα ελαττώματα που εμφανίζονται και την αίτια που τα προκάλεσε.

Πίνακας 1

ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΑ	ΑΙΤΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ
A) Μαύρα σημεία	Ξένα σώματα μέσα στην ρητίνη ή κενός χώρος στο ακροφύσιο
B) Φυσαλίδες	Ή αλλιώς κενά που βρίσκονται μέσα στο προϊόν. Οφείλεται σε ανεπαρκή πλήρωση του αποτυπώματος ή σε παγιδευμένο αέρα
Γ) Ρωγμές	Δημιουργούνται πάνω στην επιφάνεια του προϊόντος συνήθως από την εναπομένουσα πίεση κατά την ψύξη και την συρρίκνωσή του
Δ) «Πτερύγια»	Είναι επίπεδες προβολές του λιωμένου πλαστικού όταν αυτό εισχωρεί στη διαχωριστική γραμμή των δύο πλακών. Οφείλονται στην κακή ένωση των πλακών του καλουπιού, στην ανεπαρκή δύναμη σύσφιξης, στην υπερβολική πίεση έγχυσης ή στο χαμηλό ιξώδες του πλαστικού
Ε) Γραμμή ροής	Ομόκεντρα μοτίβα που δημιουργούνται γύρω από μια πύλη. Συνήθως οφείλονται στην σταδιακή στερεοποίηση του τηγμένου πλαστικού κατά τις διαδοχικές ροές του μέσα στο μονοπάτι του καλουπιού
ΣΤ) Ελαττώματα από το άνοιγμα του καλουπιού	Λόγω υπερπλήρωσης του αποτυπώματος με πλαστικό υλικό
Z) Ελαττώματα λόγω χρόνου κατεργασίας	Ατέλειες στο προϊόν όπου λείπουν τμήματά του λόγω μη ολοκληρωμένης πλήρωσης του αποτυπώματος με υλικό
Η) Στρέβλωση	Παραμόρφωση του προϊόντος λόγω συρρίκνωσης ή κακού ανοίγματος του καλουπιού

2.21. Ψύξη

Βασική αρχή στην διαμόρφωση αντικειμένων με καλούπια έκχυσης, είναι ότι στο καλούπι εισέρχεται θερμό υλικό, και εκεί ψύχεται γρήγορα σε μια θερμοκρασία, στην οποία στερεοποιείται ικανοποιητικά, ώστε να κρατήσει τη μορφή του αποτυπώματος. Η θερμοκρασία λοιπόν του καλουπιού είναι σημαντική, καθώς ρυθμίζει ένα μέρος του συνολικού κύκλου διαμόρφωσης (moulding cycle). Καθώς το λειωμένο υλικό ρέει πιο ελεύθερα σε ένα ζεστό καλούπι, απαιτείται μεγαλύτερης χρονικής περιόδου ψύξη, για να στερεοποιηθεί το χυτό πριν εξολκευθεί. Αντίθετα ενώ το υλικό στερεοποιείται πιο γρήγορα σε ένα κρύο καλούπι, μπορεί να μην καλύψει τα άκρα του αποτυπώματος. Πρέπει λοιπόν να δεχτούμε μια συμβιβαστική λύση ανάμεσα στα δύο άκρα, για να πετύχουμε τον βέλτιστο κύκλο διαμόρφωσης.

Η θερμοκρασία λειτουργίας για ένα συγκεκριμένο καλούπι θα εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων που περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Τύπο και ποιότητα του υλικού που θα διαμορφωθεί.
2. Μήκος ροής μέσα στο αποτύπωμα.
3. Τομή τοιχωμάτων του χυτού.
4. Μήκος του συστήματος τροφοδοσίας κ.α.

Πολλές φορές θεωρείται σκόπιμο να χρησιμοποιούμε ελαφρά μεγαλύτερη θερμοκρασία από αυτή που απαιτείται για να γεμίσει απλά το αποτύπωμα, ώστε να βελτιώσουμε το τελείωμα της επιφάνειας του χυτού, ελαχιστοποιώντας τις γραμμές συγκόλλησης, τα σημάδια ροής και άλλα ελαττώματα. Για να διατηρήσουμε την απαιτούμενη θερμοκρασία μεταξύ καλουπιού και πλαστικού υλικού, νερό (ή άλλο υγρό) τίθεται σε κυκλοφορία μέσα από οπές ή δίοδους μέσα στο καλούπι. Το νερό χρησιμοποιείται ως ο κύριος παράγοντας ψύξης λόγω της θερμοχωρητικότητας, του χαμηλού κόστους και της διαθεσιμότητάς του. Αυτές οι οπές ή οι δίοδοι ονομάζονται flow-ways ή water-ways και το πλήρες σύστημα από flow-ways ονομάζεται circuit (διαδρομή). Στο στάδιο του γεμίσματος του αποτυπώματος, το πιο ζεστό υλικό θα βρίσκεται κοντά στο σημείο εισόδου, δηλαδή την πύλη και αντίστοιχα το πιο κρύο υλικό θα βρίσκεται στο πιο απομακρυσμένο από την πύλη σημείο. Η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού οπωσδήποτε αυξάνεται κατά την κυκλοφορία του στο καλούπι. Γι' αυτό για να πετύχουμε ακόμα μεγαλύτερο ποσοστό ψύξης στην επιφάνεια διαμόρφωσης είναι απαραίτητο να φροντίσουμε να εισέρχεται το ψυκτικό υγρό δίπλα στις «θερμές» επιφάνειες διαμόρφωσης, και να τοποθετήσουμε τις δίοδους που περιέχουν «θερμότερο» ψυκτικό υγρό δίπλα στις «ψυχρές» επιφάνειες διαμόρφωσης. Εξάλλου δεν είναι πάντα εφικτό να εκλεγεί η ιδανική πρόσβαση και ο σχεδιαστής πρέπει να βρει την ιδανικότερη λύση για την σωστή κατανομή των ψυκτικών διαδρομών ώστε να αποφευχθούν τα ακριβά καλούπια που δεν είναι απαραίτητα.

Οι συσκευές για την κυκλοφορία του νερού (ή άλλων ρευστών) είναι διαθέσιμες στο εμπόριο. Αυτές οι συσκευές είναι απλά συνδεδεμένες στο καλούπι δια μέσω εύκαμπτων υδροσωλήνων. Μ' αυτές τις συσκευές η θερμοκρασία του καλουπιού μπορεί να διατηρηθεί σε ορισμένα όρια. Πιο ακριβής έλεγχος θερμοκρασίας δεν μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας το εναλλακτικό σύστημα, στο οποίο το καλούπι είναι συνδεδεμένο σε μια παροχή κρύου νερού. Είναι ευθύνη του σχεδιαστή του καλουπιού να προβλέψει ένα επαρκές σύστημα κυκλοφορίας εντός του καλουπιού, που μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Γενικά τα απλούστερα συστήματα είναι αυτά, στα οποία οι οπές είναι ανοιγμένες κατά μήκος απ' άκρη σε άκρη στις πλάκες. Βέβαια αυτή δεν είναι απαραίτητα η πιο αποτελεσματική μέθοδος για ένα συγκεκριμένο καλούπι. Όταν χρησιμοποιούμε ανοίγματα τρύπας (drillings) για την κυκλοφορία του ψυκτικού, αυτά δεν πρέπει να τοποθετούνται πολύ κοντά στο αποτύπωμα

(π.χ. πιο κοντά από 15 mm) γιατί αυτό θα προκαλέσει μια αξιοσημείωτη μεταβολή θερμοκρασίας κατά μήκος του αποτυπώματος με αποτέλεσμα, προβλήματα διαμόρφωσης.

Ο σχεδιασμός μιας διαδρομής (circuit), είναι συχνά πολύπλοκος, λόγω του ότι οι δίοδοι (flow-ways) δεν πρέπει να ανοίγονται πολύ κοντά σε άλλες οπές στην ίδια πλάκα καλουπιού. Όπως ξέρουμε η πλάκα καλουπιού έχει ένα μεγάλο αριθμό οπών και εγκοπών, για να προσαρμοστούν οι εξοστήρες, οι πείροι και οι δακτύλιοι οδήγησης, κτλ. Το πόσο κοντά είναι ασφαλές να τοποθετηθεί μια δίοδος σε μια οπή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος της διόδου που απαιτείται. Για να εξασφαλίσουμε την καλύτερη δυνατή θέση μιας διαδρομής είναι καλή τακτική να υπολογιστεί αυτή πρώτη στο σχεδιασμό. Τα άλλα στοιχεία του καλουπιού όπως εξοστήρες, πείροι και δακτύλιοι οδήγησης κ.ά., θα τοποθετηθούν αναλόγως.

2.22. Κατασκευή καλουπιών

Τα καλούπια μπορούν να φτιαχτούν μέσω δύο μεθόδων: Με κατεργασία αφαίρεσης υλικού (CNC φρέζες και τόνους), {εικόνα 2.27.} και με ηλεκτρικές μηχανικές κατεργασίες εκκένωσης (EDM). Η μέθοδος αφαίρεσης υλικού ήταν ιστορικά η μέθοδος αυτή με την οποία κατασκευάζονταν τα καλούπια. Με την τεχνολογική ανάπτυξη, οι CNC μηχανές έγιναν το κυρίαρχο μέσο με τις οποίες θα κατασκευάζονταν πιο περίπλοκα καλούπια με πιο ακριβείς λεπτομέρειες σε λιγότερο χρόνο από τις παραδοσιακές μεθόδους.



Εικόνα 2.27. CNC κατασκευή [23]

Η ηλεκτρική μηχανική κατεργασία εκκένωσης (EDM) {εικόνα 2.28.}, είναι μία διαδικασία διάβρωσης με σπινθήρα και έχει γίνει ευρέως γνωστή στην κατασκευή καλουπιών. Επιτρέπει το σχηματισμό γεωμετριών που είναι δύσκολο για μια εργαλειομηχανή, αλλά μπορεί να διαμορφώσει και προσκληρυμένα καλούπια έτσι ώστε να μην απαιτείται θερμική επεξεργασία αργότερα.

Αλλαγές σε ένα σκληρό καλούπι με κατεργασίες όπως τρύπημα και φρεζάρισμα, απαιτούν ανόπτηση για να μαλακώσει το καλούπι, ακολουθούμενη από θερμική επεξεργασία για να σκληρύνει πάλι. Η ηλεκτρική μηχανική κατεργασία εκκένωσης είναι μια απλή διαδικασία στην οποία ένα ηλεκτρόδιο, συνήθως από χαλκό ή γραφίτη, μειώνεται πολύ αργά πάνω στην επιφάνεια του καλουπιού (σε διάστημα πολλών ωρών), που είναι βυθισμένο στο παραφινέλαιο. Μια τάση εφαρμόζεται μεταξύ του εργαλείου και καλουπιού με αποτέλεσμα να προκαλεί σπινθήρα διάβρωσης της επιφάνειας του καλουπιού στον αντίστροφο σχήμα του ηλεκτροδίου.



Εικόνα 2.28. EDM κατασκευή [24]

2.23. Κόστος καλουπιών

Τα καλούπια με έγχυση από μόνα τους είναι εκπληκτικά ακριβά, καθώς μερικές φορές ξεπερνούν τα 100.000\$. Εάν η παραγωγική δυνατότητα όμως είναι αρκετά μεγάλη, το κόστος του καλουπιού γίνεται σχετικά ασήμαντο, καθώς και τα υλικά (πλαστικά) έχουν λογικές τιμές. Πολλά καλούπια φτιάχνονται με περισσότερες από μία κοιλότητες. Αυτά, κοστίζουν περισσότερο από τα καλούπια με ενιαίες κοιλότητες αλλά λόγω της αύξησης της αποδοτικότητας της παραγωγής, το κόστος ανά τεμάχιο ελαχιστοποιείται. Το κόστος κατασκευής καλουπιών εξαρτάται από ένα πολύ μεγάλο σύνολο παραγόντων που κυμαίνονται από τον αριθμό των κοιλοτήτων, το μέγεθος των μερών (και κατά συνέπεια το καλούπι), τη πολυπλοκότητα των τεμαχίων, τη μακροζωία του εργαλείου, των επιφανειών και πολλές άλλες.

Σε γενικές γραμμές, τα καλούπια από χάλυβα κοστίζουν περισσότερο στην κατασκευή, αλλά έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής το οποίο αντισταθμίζει το υψηλότερο αρχικό κόστος.

Κεφάλαιο 3ο: «Πλαστικά υλικά κατασκευής καπακιών»

Τα πλαστικά υλικά ποικίλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητές τους. Αυτά είναι και τα κριτήρια με τα οποία επιλέγουμε ποιο υλικό θα χρησιμοποιήσουμε για την παραγωγή ενός προϊόντος. Τα πλαστικά καπάκια κατασκευάζονται συνήθως από χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο ή πολυστυρένιο, δύο υλικά τα οποία αναλύονται παρακάτω.

3.1. Πολυαιθυλένιο (PE)

Το πολυαιθυλένιο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πλαστικό υλικό, με ετήσια παραγωγή 80 εκατομμύρια τόνους. Η κύρια χρήση του είναι στην παραγωγή προϊόντων συσκευασίας όπως πλαστική τσάντα (εικόνα 3.1.), πλαστικό φιλμ.



Εικόνα 3.1. Πλαστική σακούλα

Είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές που αποτελείται από μακριές μοριακές αλυσίδες που παράγονται από το συνδυασμό των συστατικών μονομερούς αιθυλενίου. Το όνομα του προέρχεται από τα προϊόντα της ουσίας και όχι την πραγματική χημική ουσία που προκύπτει. Το αιθυλένιο στην πραγματικότητα μετατρέπεται σε αιθάλη. Καθώς καταλαμβάνει θέση σε ένα πολυμερές, τα ευθεία τμήματα του πολυμερούς έχουν την ίδια δομή με μια απλή αλυσίδα υδρογονανθράκων π.χ., προπάνιο, δεκάνιο και άλλες απλές και μονομερείς αλυσίδες άνθρακα.

Η επιστημονική ονομασία πολυαιθυλένιο προέρχεται από την επιστημονική ονομασία του μονομερούς. Τα αρχικά του είναι PE με τρόπο παρόμοιο όπως άλλα πολυμερή, όπως πολυπροπυλένιο και πολυστυρένιο που έχουν αυτές τις συντομογραφίες αντίστοιχα PP και PS.

3.1.1. Φυσικές ιδιότητες

Ανάλογα με την κρυσταλλικότητα και το μοριακό βάρος, ένα σημείο τήξης και μετάπτωσης δεν μπορεί να είναι εύκολα παρατηρήσιμα. Η θερμοκρασία στην οποία αυτές εμφανίζονται ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό με τον τύπο του πολυαιθυλενίου. Για το εμπόριο οι βαθμοί της μεσαίας και υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο από το σημείο τήξης είναι συνήθως της τάξης 120 - 130 °C (248 - 266 °F). Το σημείο τήξης για το χαμηλό σε πυκνότητα πολυαιθυλένιο είναι συνήθως 105 - 115 °C (221 - 239 °F).

Οι περισσότεροι βαθμοί πυκνότητας LDPE, MDPE και HDPE έχουν εξαιρετική χημική αντοχή και δεν διαλύονται σε θερμοκρασία δωματίου λόγω της κρυσταλλικότητάς τους. Το πολυαιθυλένιο μπορεί να διαλυθεί σε υψηλές θερμοκρασίες και σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, όπως το τολουόλιο και το ξυλόλιο, ή σε χλωριωμένους διαλύτες όπως το τριχλωροαιθάνιο ή το τριχλωροβενζόλιο. Το πολυαιθυλένιο καίγεται αργά με μπλε φλόγα με κίτρινο άκρο και εκπέμπει μια οσμή της παραφίνης.

3.1.2. Εφαρμογές

Το πολυαιθυλένιο είναι μια κατηγορία θερμοπλαστικού και συναντάται σχεδόν σε όλα τα καταναλωτικά προϊόντα (εικόνα 3.2.). Σε μορφή αφρού, το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιείται στη συσκευασία, στη μόνωση και ως υλικό για την απορρόφηση των κραδασμών. Ο αφρός πολυαιθυλενίου πιο συχνά θεωρείται ως υλικό συσκευασίας. Το αφρώδες πολυαιθυλένιο είναι ανοδικό, γεγονός που το καθιστά δημοφιλές για τις ναυτικές χρήσεις. Πολλοί τύποι αφρού πολυαιθυλενίου έχουν εγκριθεί για χρήση στη βιομηχανία τροφίμων. Το υλικό αυτό βρίσκεται σε όλα τα είδη συσκευασιών, καθώς επίσης χρησιμοποιείται για να τυλίξει τα έπιπλα, τα εξαρτήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, ηλεκτρονικών ειδών, αθλητικών ειδών, τα φυτά, τα κατεψυγμένα τρόφιμα, τα ρούχα, τις μπάλες bowling, τις πινακίδες, τα μεταλλικά προϊόντα κ.ά.



Εικόνα 3.2. Προϊόντα πολυαιθυλενίου [25]

3.2. Πολυστυρένιο (PS)

Το πολυστυρένιο (εικόνα 3.3.), γνωστό επίσης ως Thermocole, συντομογραφία PS κατά το πρότυπο ISO, είναι ένα αρωματικό πολυμερές που γίνεται από το μονομερές στυρόλιο, ένα υγρό υδρογονανθράκων που παράγεται από πετρέλαιο από τη χημική βιομηχανία.



Εικόνα 3.3. Πολυστυρένιο [25]

Το πολυστυρένιο είναι ένα θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο είναι σε στερεή κατάσταση, γυάλινη σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά αν θερμανθεί πάνω από τη θερμοκρασία μετάπτωσης -περίπου 100°C- γίνεται ρευστό (για χύτευση ή εξώθηση) και γίνεται συμπαγές πάλι όταν ψύχεται. Σε στερεά μορφή είναι ένα άχρωμο, σκληρό πλαστικό με περιορισμένη ευελιξία. Μπορεί να εγχύεται σε καλούπια με λεπτομέρειες. Το πολυστυρένιο μπορεί να είναι διαφανές αλλά και χρωματιστό.

Στερεό πολυστυρένιο χρησιμοποιείται, για παράδειγμα, σε μαχαιροπήρουνα, πλαστικά καπάκια, CD και DVD και σε περιβλήματα αισθητήρων. Προϊόντα κατασκευασμένα από αφρώδες πολυστυρένιο συναντώνται πολύ συχνά, όπως για παράδειγμα σε υλικά συσκευασίας (εικόνα 3.4.), στη μόνωση κτλ.



Εικόνα 3.4. Προϊόν πολυστυρενίου [25]

Η πολυστερίνη μπορεί να ανακυκλωθεί, και έχει τον αριθμό "6", όπως το σύμβολο της ανακύκλωσης (Εικόνα 3.5.). Οι αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου έχουν αυξήσει την αξία της πολυστερίνης για ανακύκλωση.



Εικόνα 3.5. Σύμβολο ανακύκλωσης

3.2.1. Εφαρμογές

Το πολυστυρένιο συνήθως το συναντάμε σε καλούπια χύτευσης με έγχυση ή σε διέλαση, ενώ τη διογκωμένη πολυστερίνη τη συναντάμε είτε σε διέλαση είτε σε χυτό σε μια ειδική διαδικασία. Από τη συμπολυμερή πολυστερίνη παράγονται επίσης υλικά που περιέχουν ένα ή περισσότερα άλλα μονομερή εκτός από στυρόλιο. Τα τελευταία χρόνια, παράγονται σύνθετα διογκωμένης πολυστερίνης με κυτταρίνη και άμυλο.

3.2.2. Πλεονεκτήματα πολυστυρενίου

- Διαφάνεια, στιλπνότητα & καθαρότητα
- Εύκολη διαμόρφωση, εκτύπωση & δημιουργία ανάγλυφου
- Υψηλή ακαμψία
- Μικρή συρρίκνωση
- Εγκεκριμένο για χρήση σε επαφή με τρόφιμα
- Καλή αντοχή σε κρούση
- Αδιαφανές υλικό & υλικό που χρωματίζεται εύκολα
- Μικρή συρρίκνωση
- Εγκεκριμένο για χρήση σε επαφή με τρόφιμα

3.3. Προϊόν

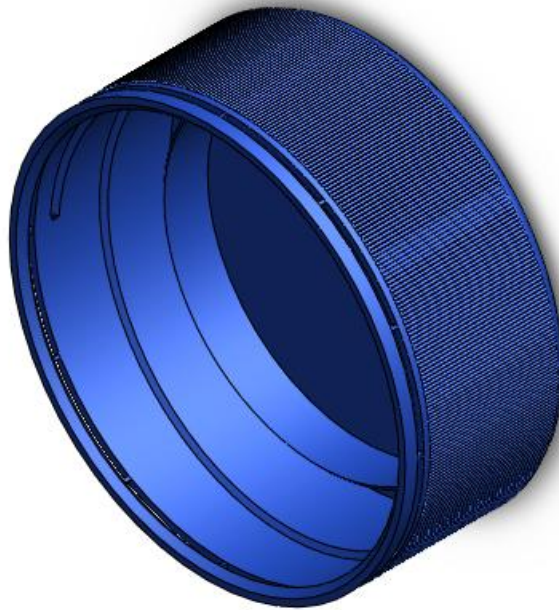
Στην παρούσα εργασία θα σχεδιάσουμε το καλούπι το οποίο θα παράγει το προϊόν μας. Το προϊόν θα είναι ένα πλαστικό καπάκι μπουκαλιού νερού (εικόνα 3.6.) και θα παράγεται από ένα καλούπι μέσης παραγωγής όπου σε κάθε κλείσιμο του θα παράγονται δώδεκα (12) πλαστικά καπάκια. Το καπάκι της εικόνας είναι ένα καπάκι παραγωγής και όχι αυτό το οποίο παράγεται από το καλούπι που θα σχεδιάσουμε.



Εικόνα 3.6. Πλαστικό καπάκι μπουκαλιού νερού

Ενδεικτικά οι κύριες διαστάσεις του προϊόντος (εικόνα 3.7.) παρατίθενται παρακάτω:

- Εξωτερική διάμετρος καπακιού: $\Phi 32\text{mm}$
- Ολικό ύψος καπακιού: 13.4mm
- Ύψος ασφάλειας: 1.5mm



Εικόνα 3.7. Προϊόν προς μελέτη

Κεφάλαιο 4^ο: «Σχεδιασμός καλουπιού»

4.1. Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο θα σχεδιαστούν αναλυτικά όλα τα μέρη του καλουπιού έγχυσης που μελετάμε για την παραγωγή 12 καπακιών, για ένα μπουκάλι νερού, σε κάθε κλείσιμο του καλουπιού. Η σχεδίαση των διαφόρων εξαρτημάτων και στοιχείων του καλουπιού έγινε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού πακέτου παραμετρικής σχεδίασης SolidWorks 2010 premium. Στην επόμενη παράγραφο ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή του SolidWorks.

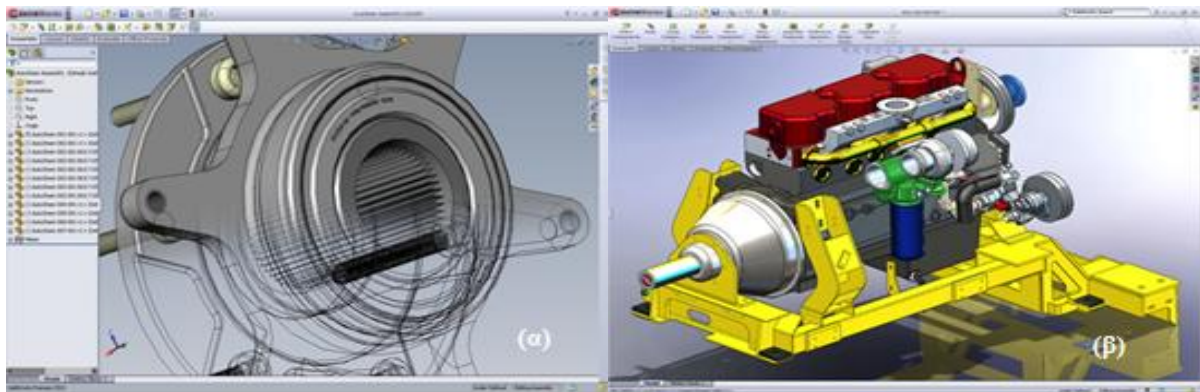
4.2. Λογισμικό SolidWorks

Το solidworks είναι ένα μηχανολογικό σχεδιαστικό πρόγραμμα στο οποίο με την βοήθεια του υπολογιστή σχεδιάζουμε τρισδιάστατα μοντέλα. Το πρόγραμμα αυτό τρέχει σε Microsoft Windows και αναπτύχθηκε από την Dassault Systems Solidworks Corporation, την θυγατρική εταιρεία της Dassault Systems. Το Solidworks σήμερα χρησιμοποιείται από πάνω από ένα εκατομμύριο χρήστες, μηχανικούς και σχεδιαστές σε περισσότερες από 130.000 χώρες παγκοσμίως.

Η Solidworks ιδρύθηκε τον Δεκέμβριο του 1993 από τον Jon Hirschtick και την ομάδα του στην πόλη Waltham στην Μασαχουσέτη των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Ο Jon Hirschtick προσέλαβε μια ομάδα μηχανολόγων για να χτίσει μια εταιρεία η οποία θα δημιουργούσε ένα τρισδιάστατο (3D) CAD (Computer Aided Design) λογισμικό εύκολο στην χρήση, προσιτό και διαθέσιμο για τα Windows. Έτσι αυτός και η ομάδα του κυκλοφόρησαν το 1995 το πρώτο τους δημιούργημα, το Solidworks 95.

Σήμερα η Solidworks μαζί με το κυρίως λογισμικό της εμπορεύεται και διάφορες άλλες εκδόσεις και εφαρμογές του cad sw, όπως το eDrawings και το Draft Sight, ένα δισδιάστατο CAD προϊόν. Το 1997 η εταιρεία Dassault Ststems, η οποία είναι γνωστή για το λογισμικό CAD CATIA (Computer Aided Three –dimensional Interactive Application), απέκτησε την Solidworks και σήμερα της ανήκει το 100% των μετοχών της.

Μια γενική εικόνα του περιβάλλοντος εργασίας του Solidworks βλέπουμε στις εικόνες 4.1. (α) και (β). Οι λειτουργίες του είναι πολλές και ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει από το πιο απλό έως το πιο περίπλοκο σχέδιο.



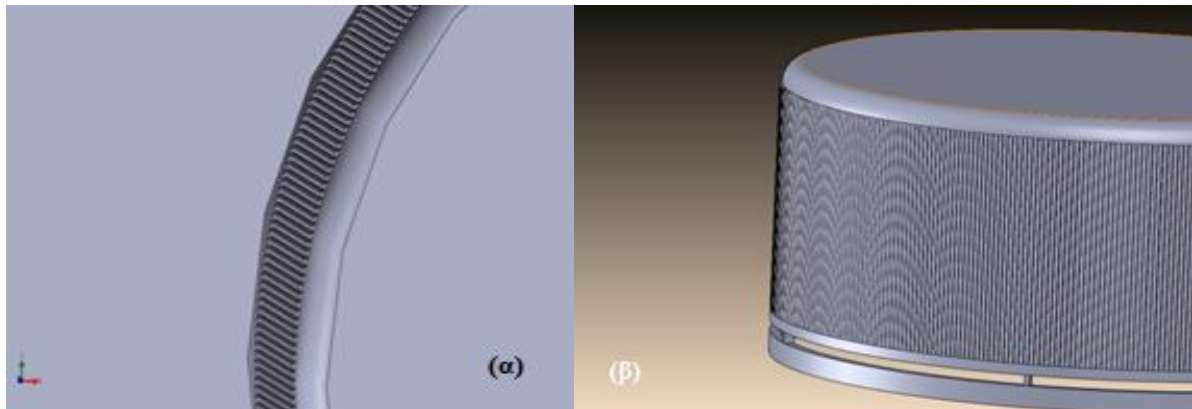
Εικόνα 4.1. Λογισμικό SolidWorks [26]

4.3. Σχεδιασμός μήτρας (cavity)

Η μήτρα του καλουπιού θα κατασκευαστεί από απλό χάλυβα με μέτρο ελαστικότητας $E=200$ GPa. Στην πλάκα αυτή θα ενσωματωθούν η χοάνη μπουκαδούρας καθώς και οι δακτύλιοι ολίσθησης.

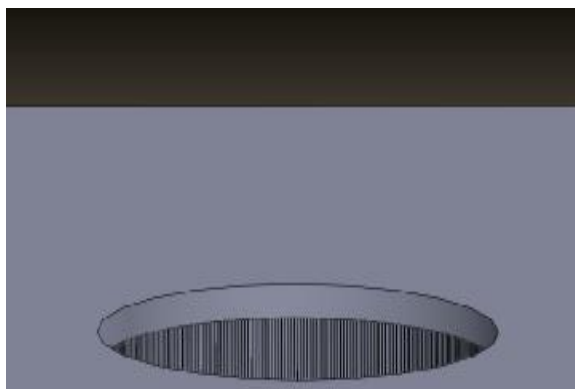
Η μήτρα θα είναι τετραγωνική και οι διαστάσεις της είναι 370 mm πλάτος και μήκος, έχοντας πάχος 50 mm. Το πάχος είναι τέτοιο ώστε να αποφύγουμε τυχόν καταστροφές από την δύναμη έγχυσης.

Από το κέντρο της μήτρας και σε ακτίνα 110 mm έχουν σχεδιαστεί οι 12 κοιλότητες (περιμετρικά του κύκλου αυτού) που θα δώσουν την εξωτερική μορφή στο προϊόν μας. Κάθε κοιλότητα έχει βάθος 13,4 mm και διάμετρο $\Phi 32$ mm. Στα τοιχώματα κάθε κοιλότητας υπάρχουν ημικυκλικά αυλάκια ακτίνας $r=0,1$ mm (εικόνα 4.2 α.) που δίνουν στην εξωτερική πλευρά του προϊόντος τραχιά επιφάνεια (εικόνα 4.2 β.).

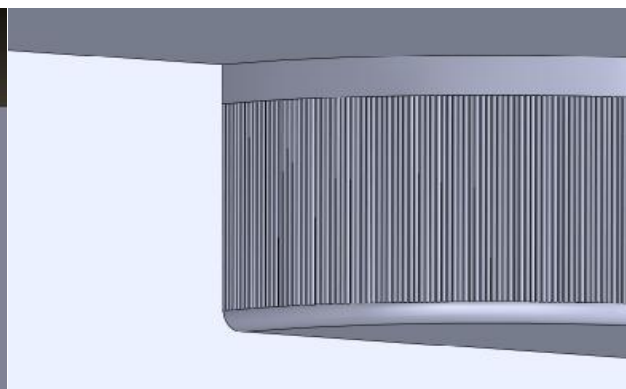


Εικόνα 4.2.

Τα αυλάκια αυτά έχουν μήκος 10,4 mm και ξεκινούν 2 mm πιο κάτω από το επάνω επίπεδο της μήτρας (εικόνα 4.3.). Η εξωτερική περίμετρος του πυθμένα έχει μια διαμόρφωση ακτίνας $r=1$ mm (εικόνα 4.4.).

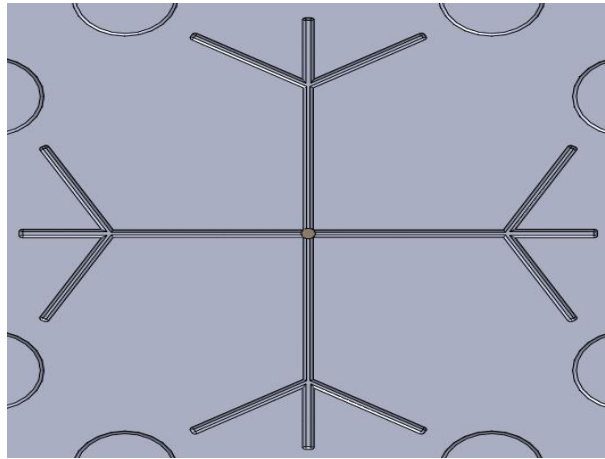


Εικόνα 4.3.

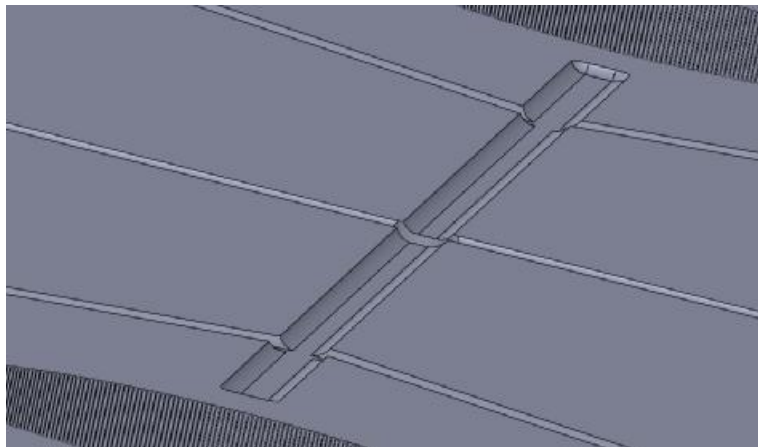


Εικόνα 4.4.

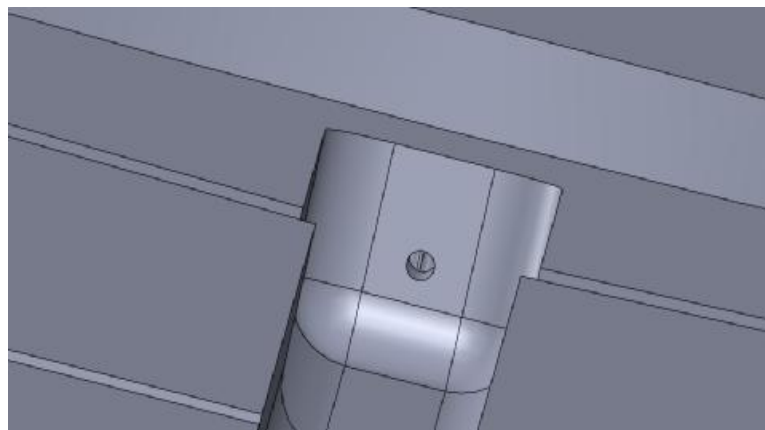
Το σύστημα του δρομέα, τα αυλάκια δηλαδή που θα μεταφέρουν το λιωμένο πλαστικό στις πύλες και από εκεί στα αποτυπώματα, βρίσκεται πάνω στην μήτρα. Από το κέντρο της μήτρας εκτείνονται τέσσερα αυλάκια για μήκος 60 mm και ύστερα καθένα σπάει σε τρία. Στο κέντρο επίσης βρίσκεται και το άκρο της χοάνης μπουκαδούρας (εικόνα 4.5.). Τα δώδεκα αυτά αυλάκια, καταλήγουν ένα σε κάθε κοιλότητα. Τα αυλάκια αυτά έχουν πλάτος και βάθος 3 mm. Ο πυθμένας τους έχει μία κοιλότητα με $r=1$ mm (εικόνα 4.6.). Στα άκρα των δρομέων υπάρχουν οι πύλες οι οποίες έχουν διάμετρο $\Phi 0,4$ mm (εικόνα 4.7.).



Εικόνα 4.5.

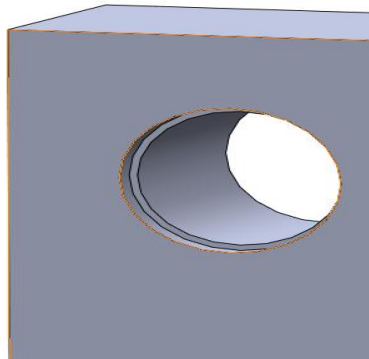


Εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.7.

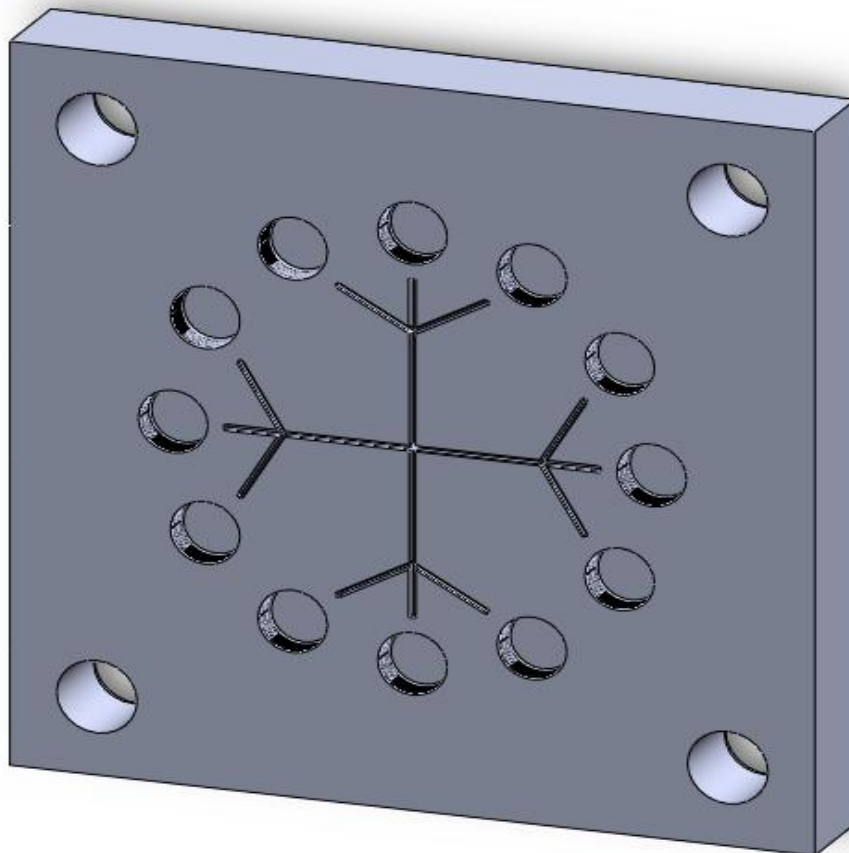
Στα άκρα της πλάκας υπάρχουν τέσσερις διαμετρικές τρύπες $\Phi 37$ mm. Από την πίσω πλευρά της πλάκας οι τρύπες αυτές έχουν διάμετρο $\Phi 40$ mm για βάθος 5 mm (εικόνα 4.8.).



Εικόνα 4.8.

Οι κοιλότητες και γενικά η αφαίρεση υλικού, έγιναν με την εντολή *extruded cut*. Όγκο στα δισδιάστατα σχέδια δίνει η εντολή *extruded boss* η οποία χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία της πλάκας της μήτρας. Οι διαμορφώσεις στον πυθμένα των κοιλιοτήτων και των αυλακιών έγιναν με την εντολή *fillet*. Τέλος, τα άκρα των αυλακιών έχουν μια κλίση η οποία δόθηκε με την εντολή *chamfer* για απόσταση 0,5 mm και γωνία 88.3° . Η κλίση αυτή έγινε ώστε να μην φράζεται η πύλη καθώς το καλούπι κλείνει και ενώνεται με τον πυρήνα.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.9.), φαίνεται το ολοκληρωμένο σχέδιο της μήτρας.



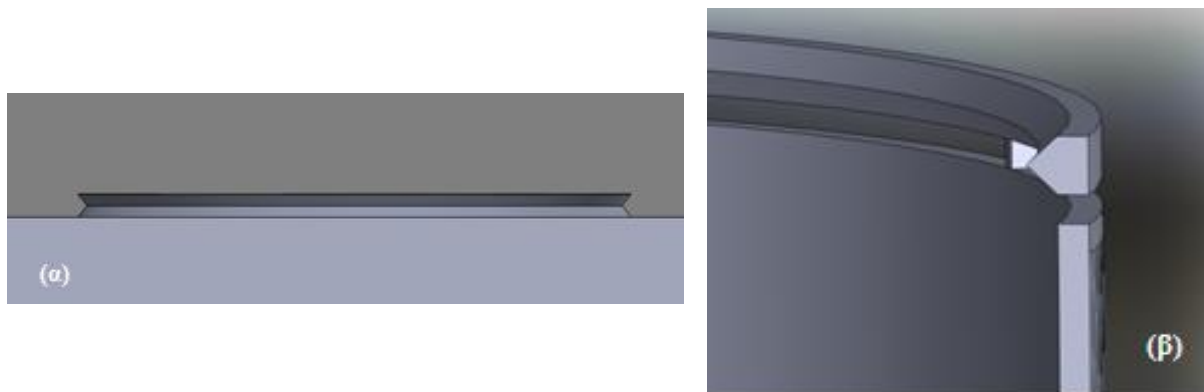
Εικόνα 4.9. Μήτρα

4.4. Σχεδιασμός πυρήνα (core)

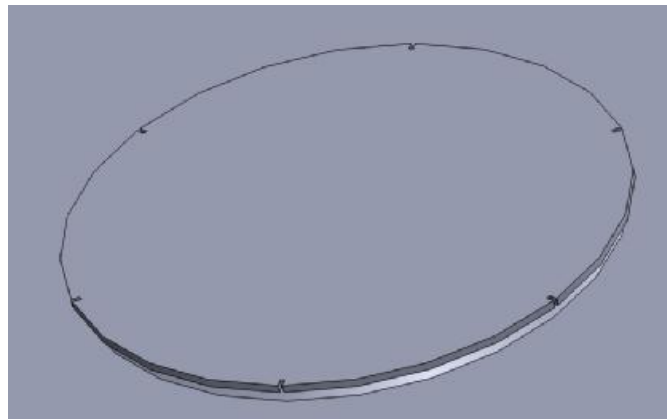
Η πλάκα του πυρήνα θα κατασκευαστεί από χάλυβα με μέτρο ελαστικότητας $E=200$ GPa. Στην πλάκα αυτή θα ενσωματωθούν οι πείροι οδήγησης και το σύστημα εξόλκευσης.

Οι διαστάσεις του πυρήνα είναι 370 mm πλάτος και μήκος. Το πάχος του είναι 50 mm. Στις ίδιες θέσεις που υπάρχουν οι κοιλότητες στην μήτρα, υπάρχουν αντίστοιχα και κάποια «νησιά» στην πλάκα του πυρήνα. Τα νησιά αυτά θα διαμορφώσουν το εσωτερικό του προϊόντος.

Η βάση κάθε «νησιού» έχει διάμετρο $\Phi 31$ mm. Για ύψος 1 mm η βάση αυτή έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε κατά την διαδικασία της έγχυσης σε αυτό το σημείο, να δημιουργείται ένα γώνιασμα πάνω στο προϊόν (εικόνα 4.10 α, β.). Πάνω σε αυτή τη βάση υπάρχει ένας κύλινδρος διαμέτρου $\Phi 32$ mm και ύψους 0,5 mm. Στην περίμετρο αυτού, υπάρχουν έξι μικρά αυλάκια (εικόνα 4.11.) μήκους 0,5 mm, πλάτους 0,25 mm και ύψους 0,5 mm.

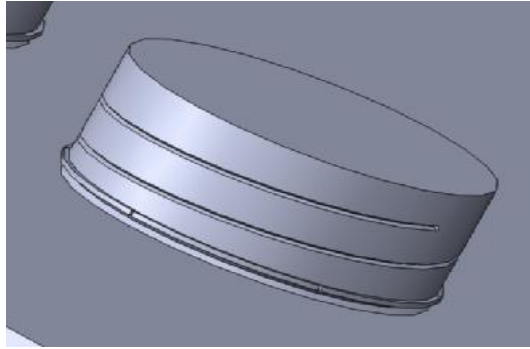


Εικόνα 4.10.

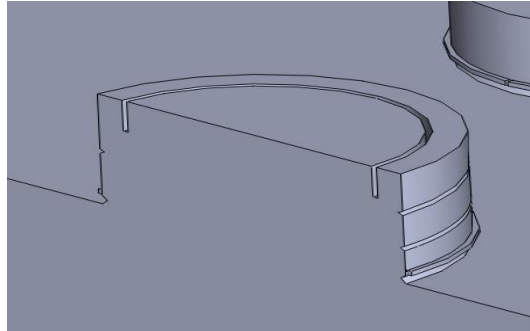


Εικόνα 4.11.

Έπειτα υπάρχει ένας κύλινδρος διαμέτρου $\Phi 31$ mm και ύψους 11 mm. Στην εξωτερική του πλευρά έχει σχεδιαστεί ένα σπирάλ αυλάκι το οποίο θα δίνει τη μορφή του σπειρώματος στον εσωτερικό του προϊόντος μας (εικόνα 4.12.). Στο επάνω επίπεδο του κυλίνδρου αυτού υπάρχει ένα κυκλικό αυλάκι με εξωτερική διάμετρο $\Phi 26$ mm και εσωτερική $\Phi 25$ mm. Το βάθος του είναι 3,5 mm και στον πυθμένα του έχει μία κυκλική διαμόρφωση με ακτίνα $r=1$ mm (εικόνα 4.13.).

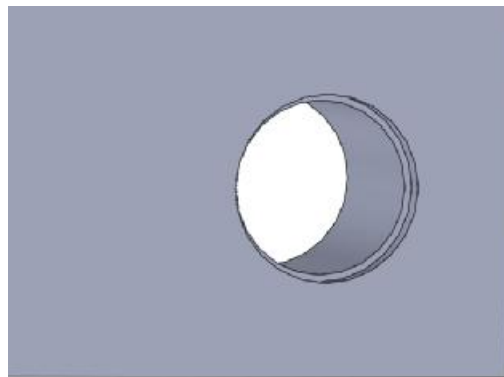


Εικόνα 4.12.



Εικόνα 4.13.

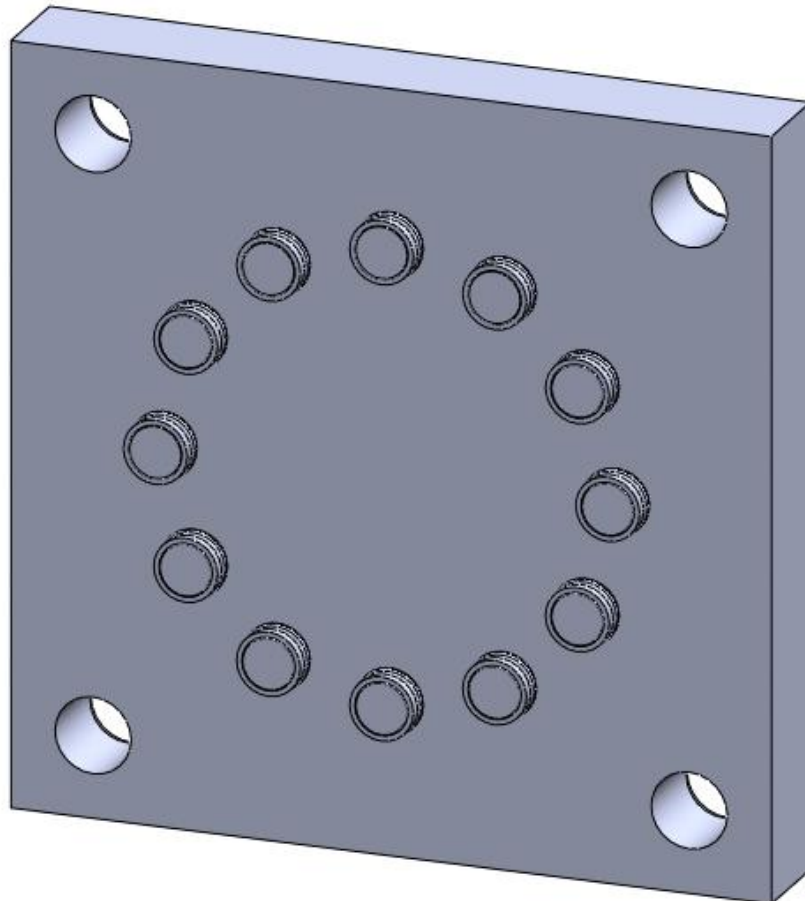
Στα άκρα της πλάκας του πυρήνα υπάρχουν τέσσερις διαμπερείς τρύπες $\Phi 37$ mm. Από την πίσω πλευρά της πλάκας οι τρύπες αυτές έχουν διάμετρο $\Phi 40$ mm για βάθος 5 mm (εικόνα 4.14.).



Εικόνα 4.14.

Με την εντολή *extruded boss* δώσαμε όγκο στην πλάκα του πυρήνα. Η αφαίρεση υλικού έγινε με την εντολή *extruded cut*. Η διαμόρφωση που απεικονίζεται και στην εικόνα 4.10 α καθώς και τα γωνιάσματα στα άκρα των σπειρωμάτων, έγιναν με την εντολή *chamfer* ενώ αυτή που περιγράφεται και απεικονίζεται στην εικόνα 4.13. έγινε με την εντολή *fillet*. Συγκεκριμένα για το σπείρωμα χρησιμοποιήσαμε την εντολή *helix and spiral* για να σχεδιάσουμε την διαδρομή του. Στο ένα της άκρο σχεδιάσαμε ένα ισόπλευρο τρίγωνο με πλευρά 0,5 mm και με την εντολή *swept cut* δημιουργήσαμε το σπιδάλ αυλάκι.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.15.) φαίνεται το ολοκληρωμένο σχέδιο του πυρήνα.

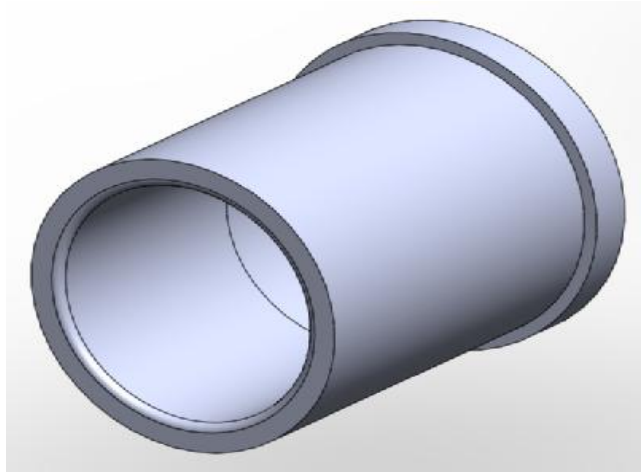


Εικόνα 4.15. Πυρήνας

4.5. Σχεδιασμός δακτυλίου ολίσθησης (*guide bush*)

Ο δακτύλιος οδήγησης είναι κατασκευασμένος από μαλακό χάλυβα. Η επιφάνειά του έχει υποστεί κατεργασία σκλήρυνσης ώστε να αντιστέκεται στην φθορά.

Ο δακτύλιος ολίσθησης (εικόνα 4.16.) έχει εσωτερική διάμετρο $\Phi 30$ mm και εξωτερική $\Phi 37$ mm. Στο πίσω μέρος του έχει μια πατούρα $\Phi 40$ mm πλάτους 5 mm, η οποία βοηθά στην στήριξη του πάνω στην μήτρα. Υπάρχει ένα μικρό γώνιασμα ακτίνας 1 mm στο εμπρός μέρος του δακτυλίου στην εσωτερική διάμετρο ώστε να βοηθά στην είσοδο του πείρου οδήγησης. Τέλος, στο πίσω μέρος του δακτυλίου, η εσωτερική διάμετρος για 20 mm μήκος είναι $\Phi 30,8$ mm.



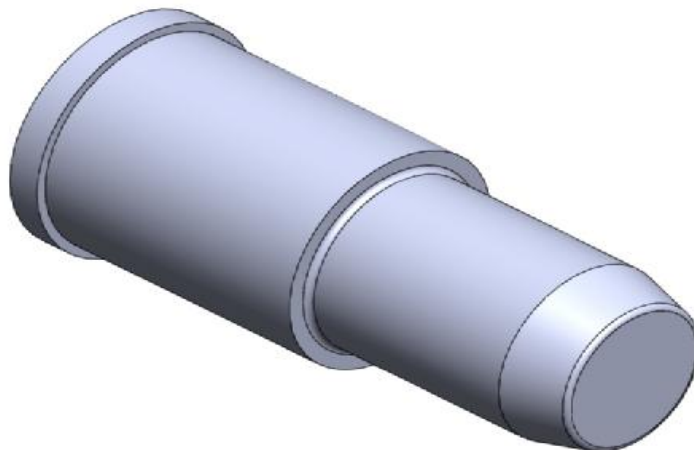
Εικόνα 4.16. Δακτύλιος ολίσθησης

4.6. Σχεδιασμός πείρων οδήγησης (guide pillars)

Όπως ο δακτύλιος οδήγησης, έτσι και ο πείρος οδήγησης είναι κατασκευασμένος από μαλακό χάλυβα όπου η επιφάνειά του έχει υποστεί σκλήρυνση.

Ο πείρος οδήγησης (εικόνα 4.17.) ξεκινά με μια πατούρα $\Phi 40$ mm για ύψος 5 mm. Η πατούρα βοηθά στην στήριξη του πείρου πάνω στην πλάκα του πυρήνα. Μετά η διάμετρος του μειώνεται σε $\Phi 37$ mm για ύψος 45 mm. Τέλος ακολουθεί μια μικρότερη διάμετρος $\Phi 30$ mm για ύψος 45 mm.

Διαμορφώνουμε το μπροστά άκρο του πείρου με την εντολή chamfer για απόσταση 10 mm και γωνία 15° . Επίσης διαμορφώνουμε την γωνία που σχηματίζουν οι κύλινδροι διαμέτρου $\Phi 37$ mm και $\Phi 30$ mm καθώς και την περίμετρο του μπροστινού μέρους του πείρου, με την εντολή fillet για ακτίνα $r=1$ mm.



Εικόνα 4.17. Πείρος οδήγησης

4.7. Σχεδιασμός πλάκας εξόλκευσης

Το μοντέλο μας περιλαμβάνει σπείρωμα. Έτσι είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί ένα σύστημα εξόλκευσης με αυξημένη πολυπλοκότητα σχεδιασμού και αυτό γιατί θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τρόπος με τον οποίο θα εξολκύνεται το προϊόν μας χωρίς να καταστρέφεται το σπείρωμα. Ο βαθμός πολυπλοκότητας ποικίλει και εξαρτάται από:

- 1) Τον τύπο του σπειρώματος (εσωτερικό, εξωτερικό, συνεχές, διακεκομμένο).
- 2) Την μέθοδο δημιουργίας του. Το σπείρωμα μπορεί είτε να χυτευτεί είτε να ενσωματωθεί με την χρήση ενός μεταλλικού ένθετου.
- 3) Το είδος παραγωγής (χειροκίνητος, ημιαυτόματος, πλήρως αυτόματος).
- 4) Άλλους παράγοντες και εκτιμήσεις όπως από το αν το σπείρωμα έχει τέτοια μορφή που του επιτρέπει την απλή εξόλκευσή του χωρίς ιδιαίτερους μηχανισμούς.

Στην περίπτωση μας, στο πλαστικό καπάκι, έχουμε εσωτερικό σπείρωμα. Το σπείρωμα αυτό δημιουργεί μια εσωτερική εγκοπή η οποία εμποδίζει την ευθεία απομάκρυνση του προϊόντος από τον πυρήνα. Υπάρχουν διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι σχεδιασμού καλουπιού και συστήματος εξόλκευσης που μπορούμε να εξετάσουμε και αναφορικά είναι οι εξής:

- Single interrupt thread design (Ενιαίος σχεδιασμός σπειρώματος)
- Stripping (jumping off) thread design (Απογύμνωση του σπειρώματος)
- Split core design (Ξεχωριστό κομμάτι και σχέδιο πυρήνα)
- Fixed threaded core design (Πυρήνας σταθερού σπειρώματος)
- Loose threaded core design (Πυρήνας «χαλαρού» - αποσπώμενου σπειρώματος)
- Collapsible core design (Πτυσσόμενος πυρήνας)
- Unscrewing mould design (Καλούπι περιστρεφόμενου πυρήνα)

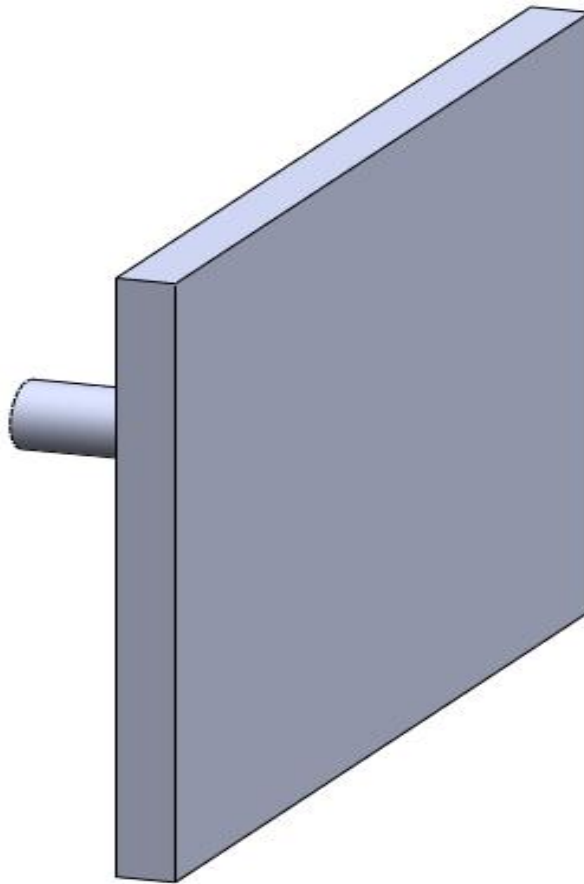
Οι κατηγορίες που θα μας απασχολήσουν και μας βολεύουν ώστε να εξολκύνουμε άρτιο το προϊόν μας είναι η κατηγορία του αποσπώμενου πυρήνα με το σπείρωμα και αυτή του πυρήνα που περιστρέφεται ολόκληρος και ουσιαστικά ξεβιδώνεται το προϊόν μας και εξολκύνεται.

Στην πρώτη κατηγορία υπάρχει ένα ξεχωριστό μέρος του πυρήνα όπου προσαρμόζεται μια μικρή μεταλλική κεφαλή πάνω στην οποία βρίσκεται το σπείρωμα. Καθώς ανοίγει το καλούπι, το προϊόν εξολκύνεται με την βοήθεια ενός συστήματος εξοστήρων. Η κεφαλή επίσης εξολκύνεται μαζί με το προϊόν και ύστερα ξεβιδώνεται από αυτό.

Μια πιο σύγχρονη μέθοδος εξόλκευσης, είναι να γίνεται υδραυλικά. Με αυτό τον τρόπο δεν εξολκύνεται και η κεφαλή μαζί με το προϊόν αλλά καθώς ανοίγει το καλούπι, η κεφαλή περιστρέφεται με αποτέλεσμα το προϊόν να ξεβιδώνεται και να πέφτει. Αυτή είναι η κατηγορία «unscrewing mould design» που αναφέραμε παραπάνω και είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί για την εξόλκευση του καπακιού μας από το καλούπι.

Λόγω της υψηλής πολυπλοκότητας και μεγάλης ανάλυσης που χρειάζεται το σύστημα κίνησης των περιστρεφόμενων πυρήνων αλλά και όλου του συστήματος εξόλκευσης, θα θεωρήσουμε πως έχουμε το κατάλληλο σύστημα και πως είναι τοποθετημένο στην παρακάτω πλάκα, συνεχίζοντας έτσι στον σχεδιασμό του υπόλοιπου καλουπιού.

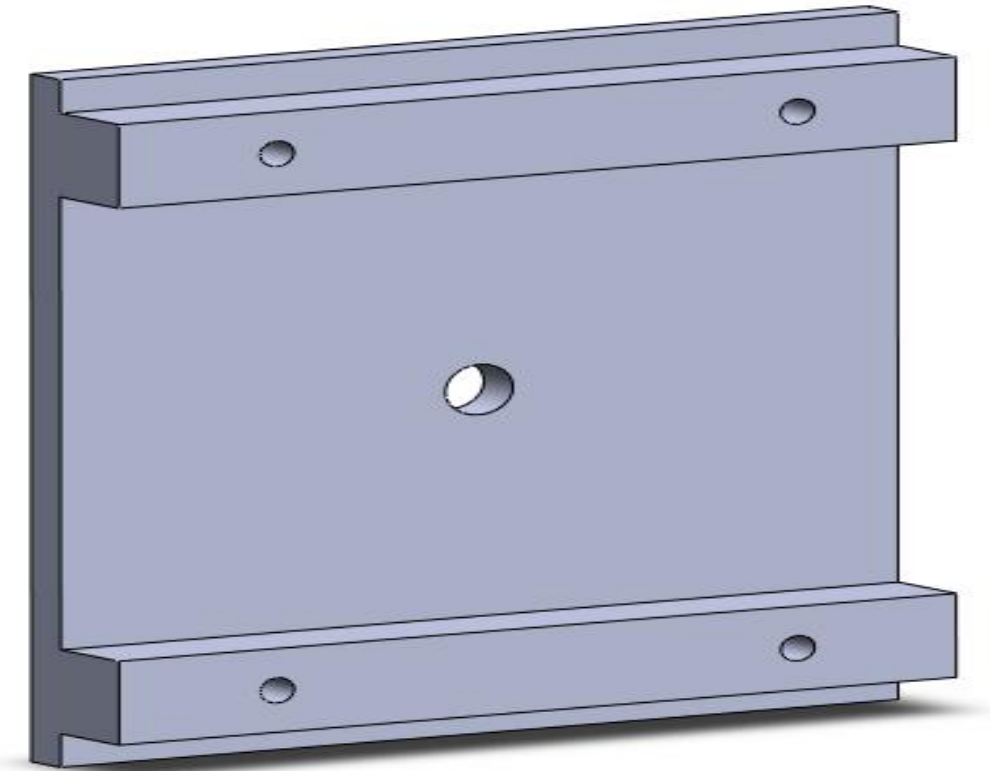
Η πλάκα εξόλκευσης (εικόνα 4.18.) έχει διαστάσεις 370 mm x 270 mm και ύψος 20 mm. Πάνω σε αυτή θα τοποθετηθεί ένα ολόκληρο και πολύπλοκο σύστημα κίνησης το οποίο θα περιστρέφει τους 12 πυρήνες καθώς το καλούπι θα ανοίγει για να είναι έτσι εφικτή η εξόλκευση του προϊόντος.



Εικόνα 4.18. Πλάκα εξόλκευσης

4.8. Σχεδιασμός συστήματος υποστήριξης (support blocks)

Η πλάκα στήριξης (εικόνα 4.19.) έχει διαστάσεις 370 mm x 410 mm και πάχος 20 mm. Στο εμπρός μέρος της βρίσκονται τα support blocks τα οποία έχουν διαστάσεις 370 mm x 50 mm και ύψος 40 mm. Τα blocks είναι έτσι τοποθετημένα ώστε να εφαρμόζει ακριβώς ανάμεσά τους η πλάκα εξόλκευσης. Στο κέντρο της πλάκας υπάρχει μια τρύπα $\Phi 30$ mm μέσα από την οποία περνάει ο πείρος της πλάκας εξόλκευσης. Στην πλάκα υπάρχουν επίσης τέσσερις τρύπες $\Phi 15$ mm στις οποίες μπαίνουν βίδες που συγκρατούν το σύστημα εξόλκευσης με την πλάκα του πυρήνα.



Εικόνα 4.19. Σύστημα υποστήριξης

4.9. Σχεδιασμός συστήματος ψύξης καλουπιού (mould cooling)

Μια θεμελιώδης αρχή των καλουπιών έγχυσης είναι ότι ζεστό υλικό εισέρχεται σε ένα καλούπι όπου ψύχεται ραγδαία σε μια θερμοκρασία στην οποία στερεοποιείται επαρκώς ώστε να διατηρήσει την μορφή του αποτυπώματος. Ως εκ τούτου η θερμοκρασία του καλουπιού είναι σημαντική καθώς διέπει ένα μέρος του συνολικού κύκλου έγχυσης. Καθώς το λιωμένο υλικό ρέει πιο ελεύθερα μέσα σε ένα ζεστό καλούπι, απαιτείται μια μεγαλύτερη περίοδος ψύξης πριν το στερεοποιημένο προϊόν εξολκευθεί. Αντίθετα, καθώς το υλικό ψύχεται γρήγορα μέσα σε ένα κρύο καλούπι, ίσως να μην καλύψει όλες τις άκρες του αποτυπώματος. Πρέπει λοιπόν να γίνει ένας συμβιβασμός μεταξύ των δυο περιπτώσεων για να έχουμε τον βέλτιστο χρόνο έγχυσης.

Η θερμοκρασία λειτουργίας ενός συγκεκριμένου καλουπιού εξαρτάται από κάποιους παράγοντες, όπως: το είδος του υλικού που εγχύεται, την απόσταση της ροής μέσα στο αποτύπωμα καθώς και στο σύστημα τροφοδοσίας κ.ά. Είναι συνήθως προτιμότερο να χρησιμοποιούμε μια ελαφρώς μεγαλύτερη θερμοκρασία υλικού από αυτή που προτείνεται ώστε να γεμίσει το αποτύπωμα, καθώς αυτό τείνει να βελτιώσει την τελική επιφάνεια του προϊόντος, ελαχιστοποιώντας τα σημάδια από την ροή, τις φυσαλίδες και άλλα «ψεγάδια». Για να διατηρηθεί η απαιτούμενη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του καλουπιού και του πλαστικού υλικού που εγχύεται, κυκλοφορεί νερό (ή άλλο υγρό) μέσα στο καλούπι διαμέσου καναλιών. Το σύνολο των καναλιών αυτών ονομάζεται *κύκλωμα*.

Κατά τη διάρκεια της πλήρωσης του αποτυπώματος, το θερμότερο υλικό θα βρίσκεται κοντά στο σημείο εισόδου του, δηλαδή κοντά στη χοάνη της μπουκαδούρας, ενώ το ψυχρότερο θα βρίσκεται στο πιο μακρινό, από την χοάνη, σημείο του αποτυπώματος. Ωστόσο, η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού αυξάνεται καθώς κυκλοφορεί μέσα στο

καλούπι. Επομένως, για να επιτευχθεί ένα ποσοστό ψύξης πάνω στην επιφάνεια του αποτυπώματος, είναι απαραίτητο να τοποθετήσουμε το εισερχόμενο ψυκτικό υγρό παρακείμενα της ζεστής επιφάνειας του αποτυπώματος και καθώς ρέει μέσα στα κανάλια, το θερμασμένο ψυκτικό υγρό να περνά από τις ψυχρότερες περιοχές του αποτυπώματος. Παρ' όλ' αυτά, δεν είναι πάντα εφικτό να εγκριθεί η εξιδανικευμένη προσέγγιση και έτσι ο σχεδιαστής θα πρέπει να σκεφτεί καθώς σχεδιάζει ένα κύκλωμα ψύξης ώστε να αποφευχθεί η αδικαιολόγητη κατασκευή ακριβών καλουπιών.

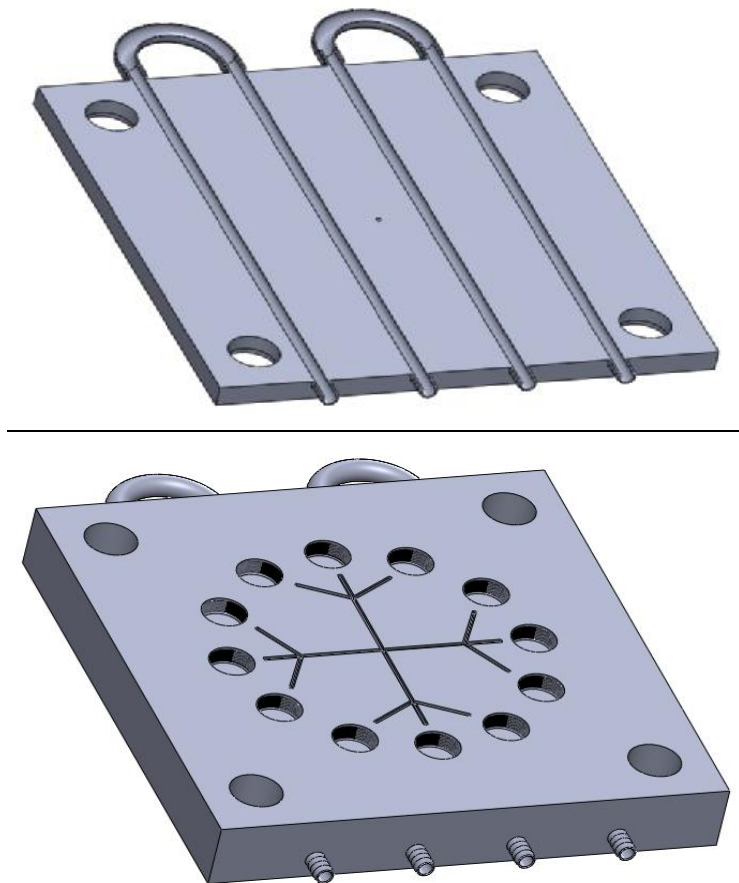
Στο εμπόριο διατίθενται μεμονωμένα κυκλώματα ψύξης με νερό (ή άλλα υγρά). Αυτά συνδέονται απλά στο καλούπι μέσω ελαστικών μικρών σωλήνων. Με τα κυκλώματα αυτά η θερμοκρασία των καλουπιών διατηρείται εντός των επιτρεπτών ορίων.

Είναι ευθύνη του κατασκευαστή να σχεδιάσει ένα επαρκές κύκλωμα-σύστημα ψύξης μέσα στο καλούπι. Γενικά το πιο απλό σύστημα είναι αυτό στο οποίο υπάρχουν διαμπερείς τρύπες κατά μήκος του καλουπιού, ένα σύστημα το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε κι εμείς στο καλούπι μας. Ωστόσο δεν είναι πάντα η πιο αποτελεσματική μέθοδος, ειδικά για ένα ιδιαίτερο καλούπι.

Όταν χρησιμοποιούνται τρυπάνια για την δημιουργία του συστήματος της ψύξης, δεν πρέπει να τρυπούν πολύ κοντά στο αποτύπωμα (απόσταση τουλάχιστον 16 mm) καθώς είναι πιθανό να προκαλέσουν αισθητές μεταβολές της θερμοκρασίας με συνεπακόλουθα προβλήματα κατά την χύτευση.

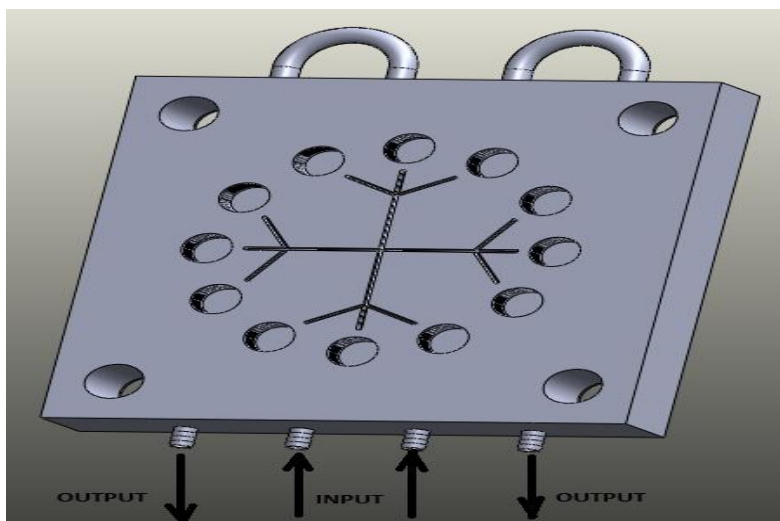
Η διάταξη του κυκλώματος ψύξης είναι συχνά πολύπλοκη δεδομένου ότι τα κανάλια δεν πρέπει να βρίσκονται πολύ κοντά σε οποιαδήποτε άλλη τρύπα πάνω στην ίδια πλάκα του καλουπιού. Να υπενθυμίσουμε ότι κάθε πλάκα του καλουπιού έχει έναν μεγάλο αριθμό από τρύπες και εσοχές που δέχονται τους εξολκείς, την χοάνη μπουκαδούρας, τον δακτύλιο ολίσθησης και τον πείρο οδήγησης. Το πόσο κοντά είναι ασφαλές να τοποθετήσουμε τα κανάλια σε σχέση με τις υπόλοιπες τρύπες του καλουπιού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το απαιτούμενο βάθος του καναλιού. Ένας κανόνας που συνήθως εφαρμόζεται είναι ότι για τρύπημα βάθους πάνω από 150 mm, το κανάλι θα πρέπει να απέχει τουλάχιστον 3 mm από οποιαδήποτε άλλη τρύπα. Για κανάλια μεγαλύτερου βάθους αυτό το περιθώριο αυξάνεται στα 5 mm.

Όσο αναφορά το καλούπι που σχεδιάσαμε, λόγω της διάταξης των αποτυπωμάτων πάνω στην πλάκα της μήτρας, η καλύτερη και ευκολότερη διάταξη του συστήματος ψύξης είναι η τοποθέτηση τεσσάρων καναλιών παράλληλα και σε ίση απόσταση μεταξύ τους (εικόνα 4.20.), με διάμετρο Φ10mm. Τα διαμπερή αυτά κανάλια έγιναν με τη βοήθεια τρυπανιού Φ10 mm, ικανό να τρυπήσει το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένη η πλάκα της μήτρας.



Εικόνα 4.20.

Η απόστασή τους από το αποτύπωμα είναι 16 mm, η ελάχιστα δηλαδή επιτρεπόμενη όπως προαναφέραμε. Επίσης, απέχουν από τις υποδοχές των δακτυλίων ολίσθησης 10 mm (με ελάχιστο όριο τα 5 mm αφού τα κανάλια έχουν μήκος πάνω από 150 mm). Τα κανάλια αυτά συνδέονται με ελαστικά σωληνάκια όπου η σύνδεση καθώς και η ροή του ψυκτικού φαίνεται στην εικόνα 4.21.



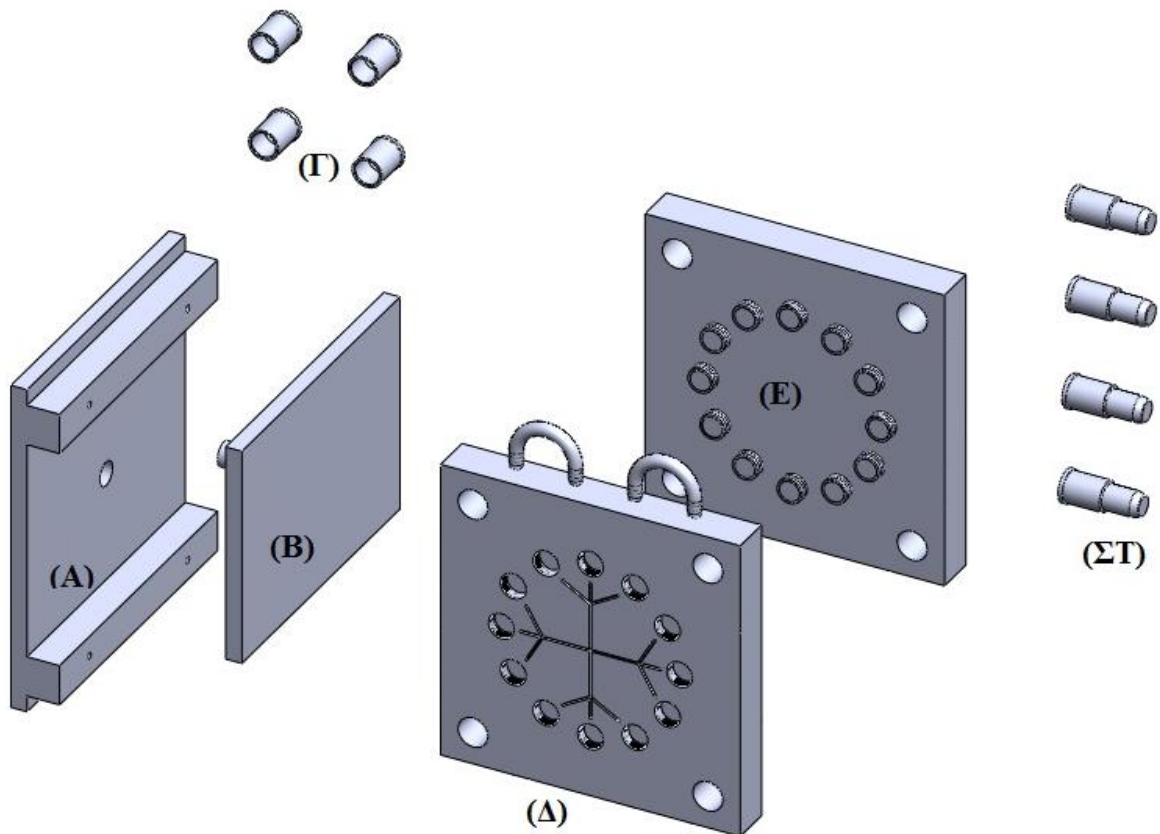
Εικόνα 4.21. Σύστημα ψύξης

4.10. Συναρμολόγηση καλουπιού

Η συναρμολόγηση (assembly) ενός καλουπιού περιλαμβάνει τον τρόπο σύνδεσης των επιμέρους στοιχείων του καθώς και τον καθορισμό των ελεύθερων κινήσεων που μπορεί να πραγματοποιήσει το καλούπι κατά την κίνησή του. Όταν κατασκευαστούν οι πλάκες και τα εξαρτήματα του καλουπιού, θα πρέπει να συναρμολογηθούν και να ελεγχθούν ότι ταιριάζουν μεταξύ τους, εφαρμόζουν σωστά και έχουν καλή λειτουργία.

Η συναρμολόγηση του καλουπιού που σχεδιάζουμε πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα SolidWorks, κάνοντας χρήση του μενού Assembly.

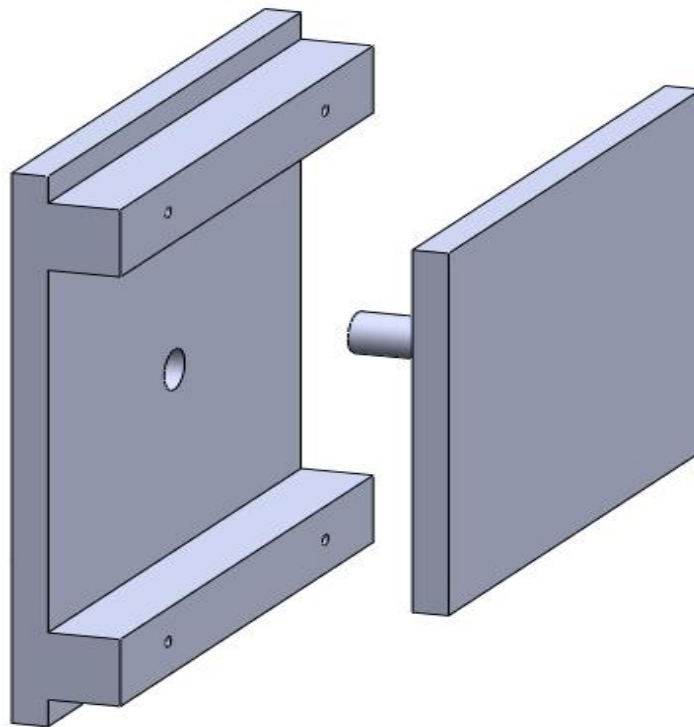
Η εικόνα 4.22. δείχνει τα κομμάτια του καλουπιού που πρόκειται να συναρμολογηθούν. Αποτελείται από την πλάκα στήριξης (Α) η οποία θα τοποθετηθεί στον κινητό βραχίονα, από το σύστημα εξόλκευσης (Β), από τους δακτυλίους ολίσθησης (Γ), την πλάκα της μήτρας (Δ), την πλάκα του πυρήνα (Ε) και τους πείρους οδήγησης (ΣΤ).



Εικόνα 4.22.

ΒΗΜΑ 1^ο

Στο κινητό έμβολο της μηχανής έγχυσης θα τοποθετηθεί η πλάκα στήριξης και πάνω σε αυτή θα τοποθετηθεί το σύστημα εξόλκευσης. (Εικόνα 4.23.).



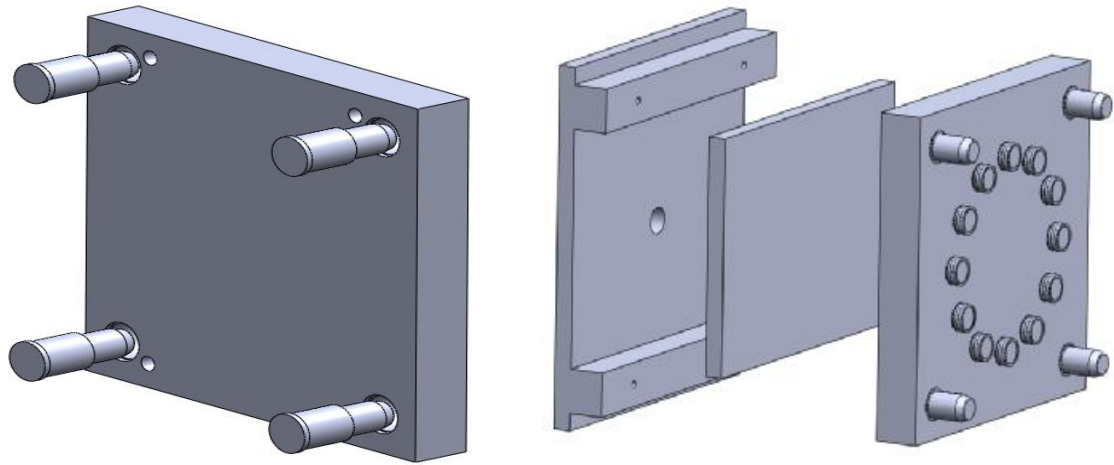
Εικόνα 4.23.

ΒΗΜΑ 2^ο

Αφού πρώτα τοποθετηθούν οι πείροι οδήγησης πάνω στην πλάκα του πυρήνα, έπειτα η πλάκα αυτή θα βιδωθεί πάνω στην πλάκα στήριξης του συστήματος εξόλκευσης. Για την συναρμολόγηση εδώ θα χρειαστούμε τέσσερις βίδες. Θα χρησιμοποιήσουμε βίδες από την βιβλιοθήκη του σχεδιαστικού προγράμματος η οποίες θα είναι M8x1.25x80mm (εικόνα 4.24). Η συναρμολόγηση αυτή φαίνεται στις εικόνες 4.25.



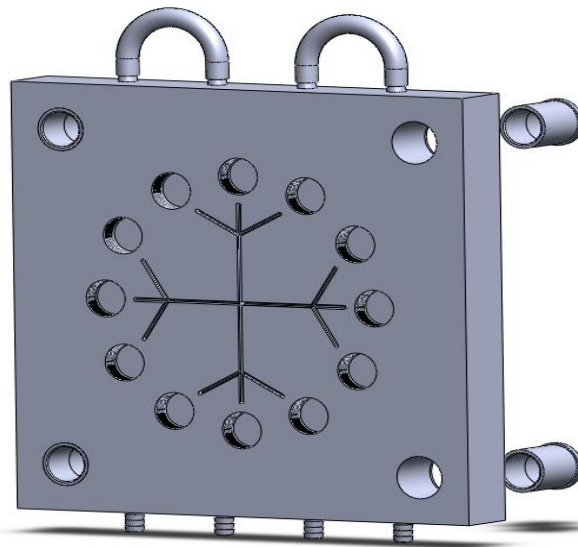
Εικόνα 4.24.



Εικόνα 4.25.

ΒΗΜΑ 3^ο

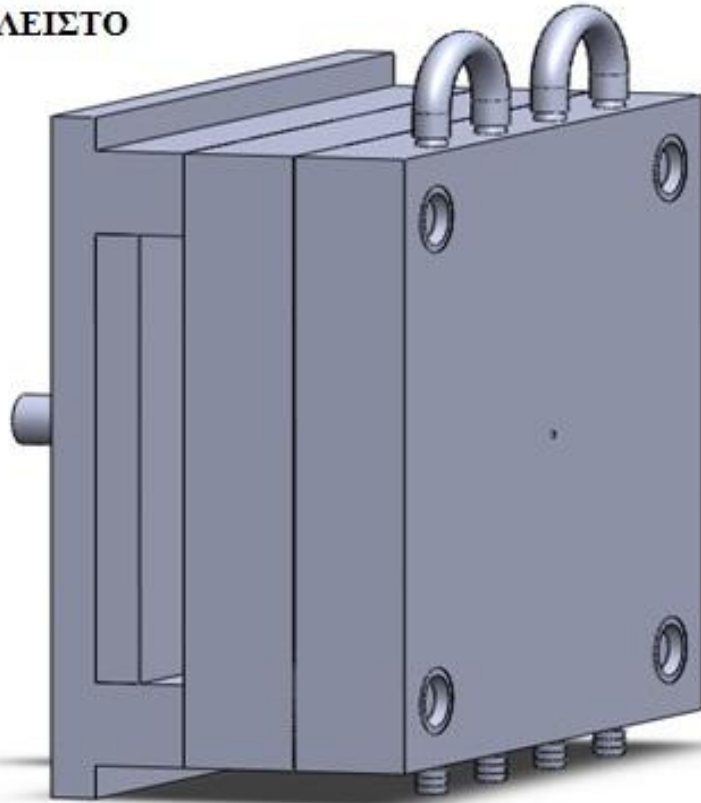
Ακολουθεί τώρα η συναρμολόγηση των δακτυλίων ολίσθησης με την πλάκα της μήτρας (εικόνα 4.26.) και η τοποθέτηση αυτής στο σταθερό μέρος της μηχανής, εκεί όπου βρίσκεται η χοάνη της μπουκαδούρας η οποία είναι σε θέση πλέον να τροφοδοτήσει το καλούπι με πλαστικό υλικό.



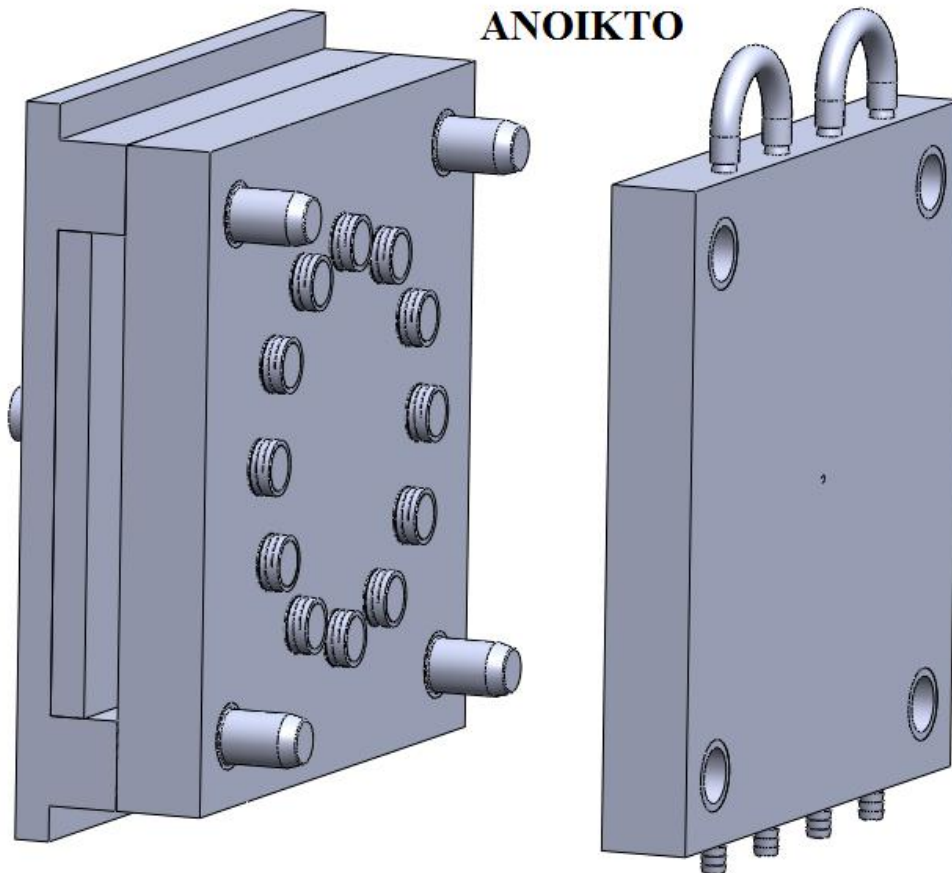
Εικόνα 4.26.

Εκτελώντας τα παραπάνω βήματα το καλούπι θα είναι έτοιμο και θα έχει την μορφή όπως δείχνει η εικόνα 4.27., όταν θα είναι κλειστό και θα τροφοδοτεί το αποτύπωμα με το υλικό και όταν θα είναι ανοικτό και θα εξολκεί το προϊόν.

ΚΛΕΙΣΤΟ



ΑΝΟΙΚΤΟ



Εικόνα 4.27. Ολοκληρωμένο καλούπι

Κεφάλαιο 5ο: «Μελέτη ροής του πλαστικού»

5.1. Γενικά

Πρώτα από όλα, πολλοί μηχανικοί- σχεδιαστές, πιστεύουν ότι αν ξέρεις που θα τοποθετήσεις την πύλη έγχυσης στο καλούπι, δεν χρειάζεται να κάνεις μελέτη ροής του πλαστικού μέσα στο καλούπι. Αυτό είναι μια παρανόηση. Η ανάλυση της ροής θα μας βοηθήσει να ελαττώσουμε το κόστος και τον χρόνο κατασκευής αλλά θα προβλέψουμε και άλλα προβλήματα. Οι κατασκευαστές καλουπιών, με πειράματα, θα έχουν την δυνατότητα να γεμίζουν τα αποτυπώματα και να παίρνουν τα αποτελέσματα, αλλά το προϊόν θα είναι τέλειο από την πρώτη προσπάθεια; Αυτό το ερώτημα μπορεί να απαντηθεί μόνο κάνοντας μελέτη της ροής του πλαστικού.

Με τεράστια εμπειρία στην διαδικασία χύτευσης με έγχυση αλλά και στην κατασκευή καλουπιών, η θέση της πύλης έγχυσης μπορεί να εκτιμηθεί αλλά δεν μπορεί να εντοπισθεί με ακρίβεια ώστε να έχουμε ένα ισορροπημένο γέμισμα των κοιλοτήτων. Μια μικρή ανισορροπία της τάξεως του 2% - 10%, μπορεί να είναι αρκετή για να δημιουργήσει αρκετά προβλήματα κατά την έγχυση. Προβλήματα όμως τα οποία δεν φαίνονται κατά την διαδικασία της χύτευσης αλλά κρύβονται μέσα σε όλη την διαδικασία παραγωγής και διάθεσης του προϊόντος όπως στην ψύξη, στα ποσοστά απόρριψης προϊόντων, στην ποιότητα της επιφάνειας κ.ά. Στην σημερινή ανταγωνιστική αγορά, αυτά αρκούν για να εξαλείψουν τα περιθώρια κέρδους.

Το κόστος της ανάλυσης μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες έως και χιλιάδες δολάρια, ανάλογα με το αντικείμενο της μελέτης, μια κοστολόγηση η οποία αρχικά δείχνει πολύ ακριβή αφού η ανάλυση γίνεται μόνο μία φορά. Ωστόσο, σε σχέση με την αρχική επένδυση, είναι ο πιο φθηνός τρόπος που παρέχει εξοικονόμηση κόστους και χρόνου παραγωγής ενός προϊόντος ή μιας κατεργασίας, εξοικονόμηση επεξεργασιών και λειτουργικών απαιτήσεων.

Έτσι στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μελέτη της ροής του πλαστικού με τη βοήθεια του λογισμικού Moldflow Adviser της Autodesk, για να δούμε την ποιότητα του παραγόμενου καπακιού από το καλούπι που έχουμε σχεδιάσει.

5.2. Επίδραση στην ποιότητα του προϊόντος

Κατά κύριο λόγο αυτό που επηρεάζει την ροή του πλαστικού μέσα στο καλούπι είναι η πίεση και η θερμοκρασία με την οποία θα γίνει η έγχυση του πλαστικού αλλά και το πάχος του αποτυπώματος μέσα στο οποίο ρέει το πλαστικό. Αν η θερμοκρασία του πλαστικού είναι χαμηλή κατά την είσοδό του στο αποτύπωμα τότε δεν θα έχουμε πλήρες γέμισμα του αποτυπώματος διότι το πλαστικό που βρίσκεται στο απομακρυσμένο σημείο από την πύλη θα έχει παγώσει και κατά συνέπεια θα έχει στερεοποιηθεί πριν προλάβει να καταλάβει όλο τον όγκο του αποτυπώματος. Από την άλλη, αν η πίεση είναι μικρή θα παρατηρηθεί το ίδιο φαινόμενο που αναφέραμε παραπάνω ενώ αν είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή θα έχουμε διαρροή του πλαστικού από τις ενώσεις των δύο πλακών, της μήτρας και του πυρήνα.

Οπότε η μελέτη της ροής του πλαστικού γίνεται για να καθορίσουμε τις βέλτιστες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης που θα μας δώσουν καλής ποιότητας προϊόν στον επιθυμητό χρόνο.

5.3. Λογισμικό Autodesk Moldflow

Η εταιρεία Moldflow δημιουργήθηκε το 1978 από τον Colin Austin στην Μελβούρνη της Αυστραλίας, γνωστή ως Moldflow Pty. Ltd. Η εταιρεία σήμερα εδράζεται στο Framingham της Μασαχουσέτης και ανήκει ολοκληρωτικά στην Autodesk η οποία παράγει CAE (Computer Aided Engineering) λογισμικά.

Το λογισμικό της Moldflow μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις διαφορετικές «οικογένειες», την Moldflow Plastics Advisers (IVIPA) όπου ειδικεύεται στον σχεδιασμό μοντέλων και υψηλού επιπέδου σχεδιασμό καλουπιών, την Moldflow Plastics Insight (IVIPi) στην οποία μελετώνται καλούπια με μεγάλες κοιλότητες και την Moldflow Plastics Expert (IVIPX) το λογισμικό της οποίας παρακολουθεί και ρυθμίζει την παραγωγική διαδικασία.

Επιπλέον, παράγει τα λογισμικά Moldflow Design Link, Moldflow CAD Doctor, Moldflow Magics STL Expert και το Moldflow Structural Alliance το οποίο χρησιμεύει σαν συνδετικό λογισμικό για άλλα CAD και CAE λογισμικά.

Συνεπώς το λογισμικό Moldflow της Autodesk που προσομοιώνει την χύτευση πλαστικού με έγχυση, είναι η λύση της Autodesk για τα ψηφιακά πρωτότυπα που παρέχει εργαλεία τα οποία βοηθούν τους κατασκευαστές να καθορίσουν και να βελτιστοποιήσουν τα σχέδια τόσο των προϊόντων όσο και των καλουπιών που θα τα παράγουν αλλά και να μελετήσουν την διαδικασία της έγχυσης. Εταιρείες σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν το λογισμικό προσομοίωσης της Autodesk Moldflow Adviser ή Moldflow insight, για να βοηθήσει στην αποφυγή της χρήσης δαπανηρών φυσικών πρωτοτύπων και κατασκευαστικών λαθών. Έτσι, θα έχουν γρήγορα στην αγορά αξιόπιστα και νέα προϊόντα.

Το λογισμικό της Moldflow έχει την ικανότητα να ανοίγει διάφορους τύπους αρχείων, όπως .iges, .step, .parasolid, .stl και άλλα. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα για τους χρήστες γιατί τα περισσότερα σχεδιαστικά προγράμματα έχουν την δυνατότητα να εξάγουν και να αποθηκεύουν τα 3D μοντέλα τους σε αυτούς τους τύπους αρχείων.

Όπως προαναφέραμε, στην εργασία αυτή η μελέτη θα γίνει με το λογισμικό Moldflow Adviser, το οποίο παρέχει εφαρμογές στους σχεδιαστές καλουπιών να ελέγχουν γρήγορα την κατασκευαστική ποιότητα των προϊόντων τους καθώς θα βρίσκονται ακόμα στα πρώτα στάδια σχεδιασμού τους. Το λογισμικό αποτελείται από δύο προϊόντα που είναι τα εξής:

- Part Adviser

Το Part Adviser είναι μια εύχρηστη εφαρμογή η οποία δίνει την δυνατότητα σε σχεδιαστές χωρίς εμπειρία στον σχεδιασμό πλαστικών εξαρτημάτων, να αντιμετωπίσουν βασικές «ανησυχίες» στην προκαταρκτική φάση του σχεδιασμού. Προσφέρει πρακτικές συμβουλές για το ευρύ φάσμα των προβλημάτων που εντοπίζει ο σχεδιαστής, χωρίς την ανάγκη να ζητήσει την γνώμη έμπειρων μηχανικών που ειδικεύονται στον σχεδιασμό πλαστικών εξαρτημάτων. Ξεκινώντας, οι σχεδιαστές είναι σε θέσεις να λάβουν ταχείς απαντήσεις σχετικά με το βαθμό στον οποίο ένας αριθμός παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των

τροποποιήσεων στη γεωμετρία του μοντέλου, την επιλογή του υλικού ή την θέση της πύλης έγχυσης, επηρεάζουν την κατασκευή ενός πλαστικού κομματιού. Επιπλέον, το Part Adviser επιτρέπει στον σχεδιαστή, να μοιράζεται πληροφορίες με άλλα μέλη της ομάδας του μέσω διαδικτύου.

- Mold Adviser

Το Mold Adviser επεκτείνει τις δυνατότητες του Part Adviser στο να επιτρέπει στον σχεδιαστή να αναλύει και να σχεδιάζει το βέλτιστο καλούπι για το προϊόν που θέλει. Επίσης, εξαλείφει την ανάγκη να σχεδιάζουμε καλούπια για την δοκιμή τους μέσω της διαδικασίας «δοκιμή και λάθος», επιτρέποντας έτσι στον σχεδιαστή να δημιουργήσει ένα καλούπι γρήγορα και αποτελεσματικά.

5.4. Μοντέλο

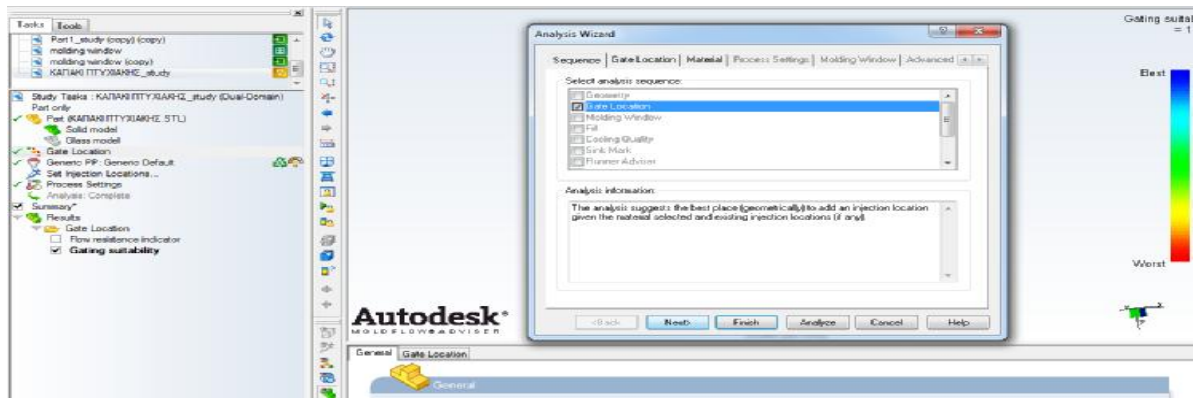
Στην παράγραφο αυτή, θα μελετήσουμε, με την βοήθεια του Moldflow Advisers, το προϊόν που θα παράγεται από το καλούπι που σχεδιάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το πλαστικό καπάκι.

5.4.1. Ανάλυση θέσης της πύλης έγχυσης

Η ανάλυση στο Moldflow Adviser ξεκινά με την μελέτη της θέσης της πύλης έγχυσης. Το λογισμικό θα ξεκινήσει αρχικά αναλύοντας το 3D μοντέλο μας με βάση το είδος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί και τη γεωμετρία του.

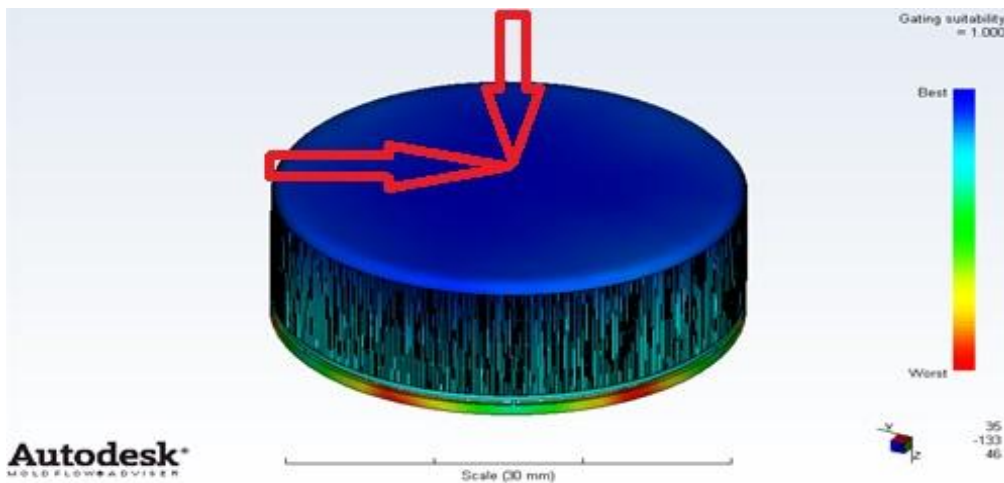
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης θα παρουσιαστούν πάνω στο μοντέλο μας με τα χρώματα, μπλε, κίτρινο και κόκκινο. Το μπλε δείχνει την καλύτερη περιοχή στην οποία μπορεί να τοποθετηθεί η πύλη ενώ στις κόκκινες περιοχές καλό είναι να αποφεύγεται η τοποθέτηση αυτής.

Αφού λοιπόν ανοίξουμε το Moldflow και φορτώσουμε το .stl αρχείο με το καπάκι μας, είμαστε έτοιμοι να αρχίσουμε την μελέτη. Να σημειώσουμε πως για κάθε μελέτη που κάνουμε, δημιουργείται ένα αντίγραφο ώστε να έχουμε την επιλογή να επεξεργαστούμαστε όποτε θέλουμε την πορεία και τα χαρακτηριστικά κάθε μελέτης. Για να βρούμε την θέση της πύλης έγχυσης θα επιλέξουμε «fill» πηγαίνοντας analysis à analysis wizard, και στο παράθυρο που θα ανοίξει θα επιλέξουμε gate location (εικόνα 5.1.). Στην επόμενη καρτέλα βάζουμε τον αριθμό πυλών που θέλουμε και πατάμε τέλος.

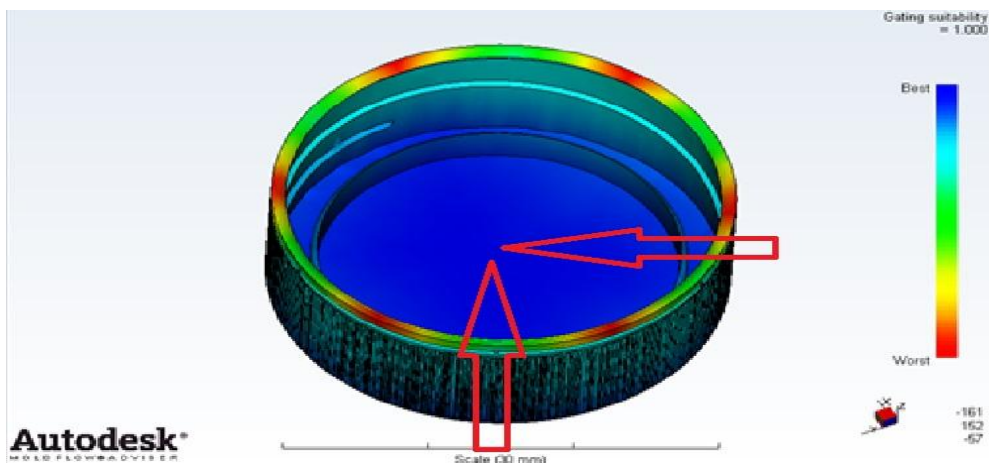


Εικόνα 5.1.

Επιλέγουμε να ξεκινήσει η ανάλυση και με την ολοκλήρωσή της βλέπουμε την καταλληλότερη περιοχή που μπορεί να τοποθετηθεί η πύλη όπως αναφέραμε και παραπάνω. (Εικόνα 5.2. , 5.3.).



Εικόνα 5.2.



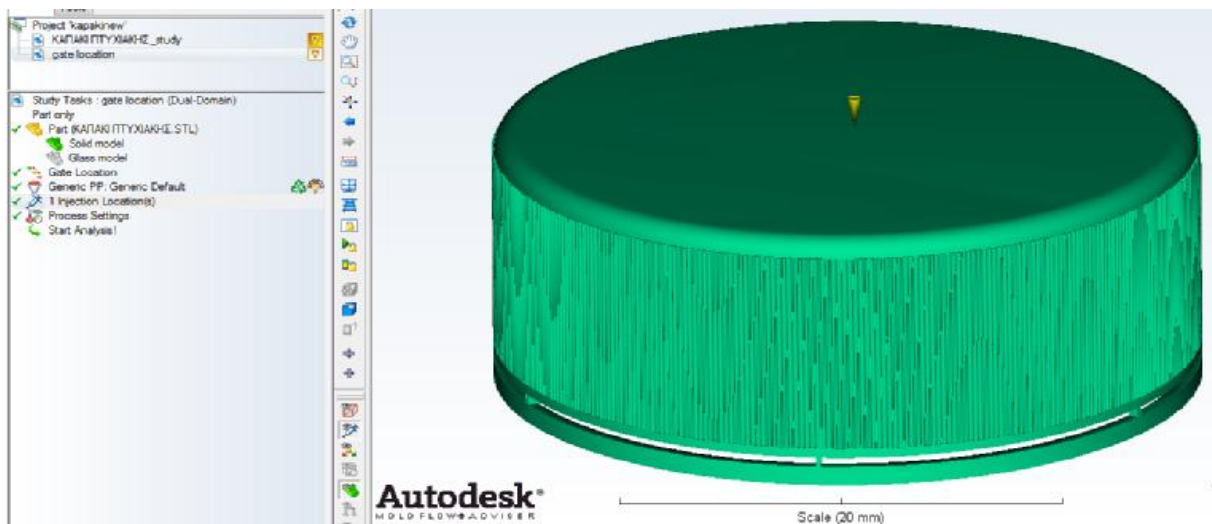
Εικόνα 5.3.

Η ανάλυση μας δείχνει, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω του ότι το μοντέλο μας είναι συμμετρικό, πως το καταλληλότερο σημείο για την τοποθέτηση της πύλης είναι στο κέντρο του άξονα συμμετρίας του μοντέλου.

5.4.2. Ανάλυση ροής πλαστικού (plastic flow analysis)

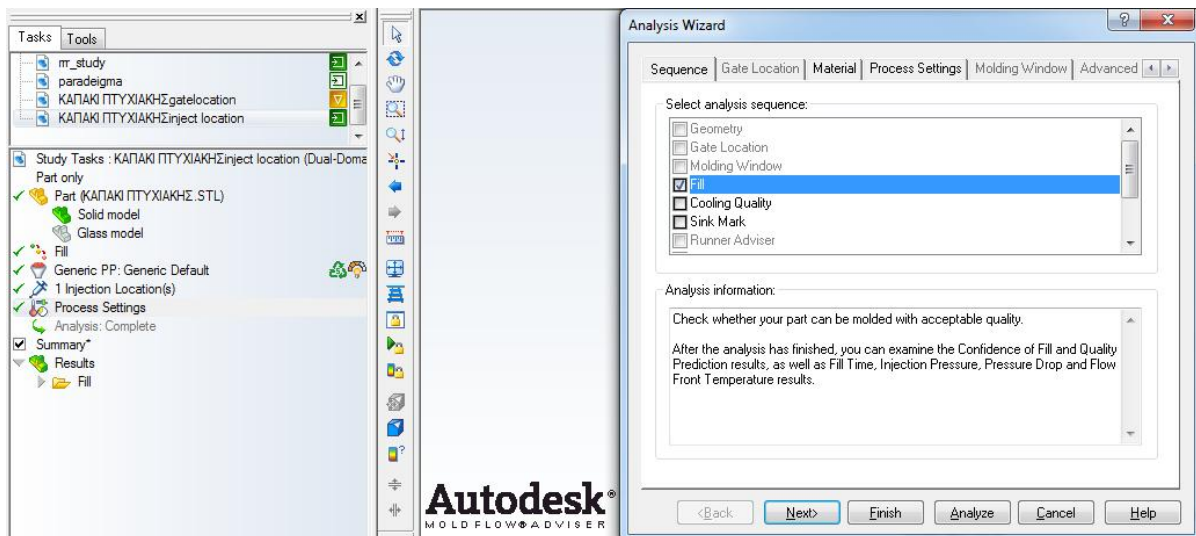
Στην μελέτη ροής, επεξεργαζόμαστε την θερμοκρασία του ρευστού και την θερμοκρασία του καλουπιού ώστε να εξασφαλίσουμε ομαλή ροή του πλαστικού και γέμισμα του αποτυπώματος.

Έτσι, πηγαίνουμε στο πρόγραμμα και επιλέγουμε την θέση της πύλης έγχυσης (εικόνα 5.4.) στο κέντρο της πάνω πλευρά του καπακιού σύμφωνα με το αποτέλεσμα της προηγούμενης ανάλυσης.



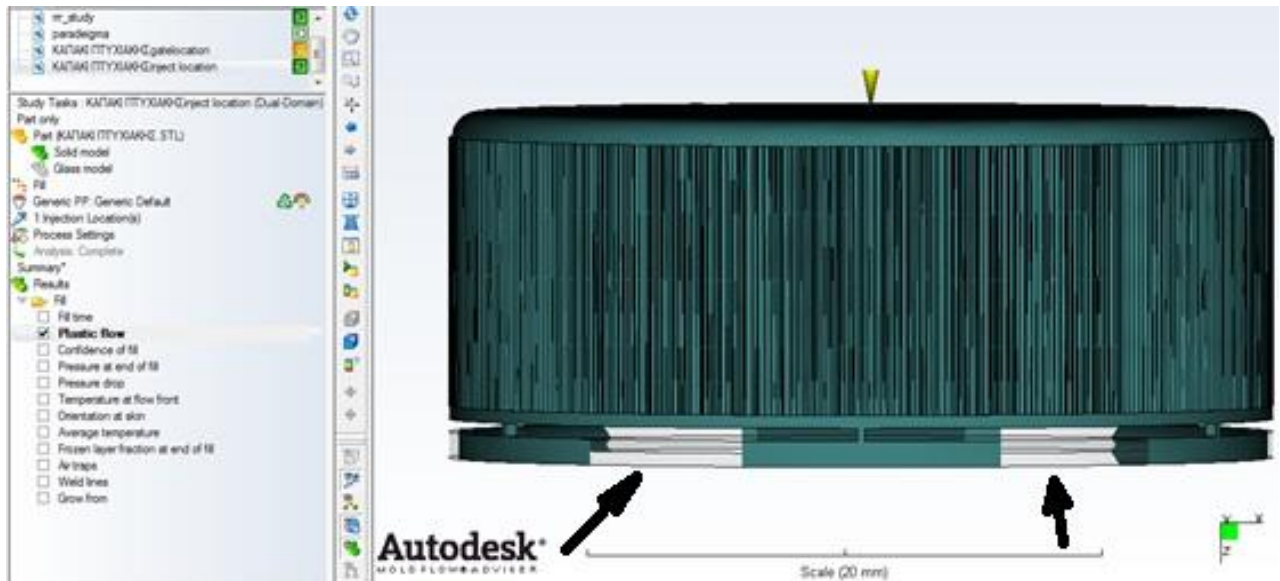
Εικόνα 5.4.

Επόμενο βήμα είναι να δούμε αν η ροή του πλαστικού, ανεξαρτήτως του είδους, είναι ομαλή και γεμίζει ολόκληρο το αποτύπωμα. Έτσι θα επιλέξουμε το process settings και στην καρτέλα «sequence» θα επιλέξουμε το «fill» (εικόνα 5.5.). Χωρίς να ρυθμίσουμε κάτι άλλο πατάμε finish και ξεκινάμε την ανάλυση.



Εικόνα 5.5.

Αφού ολοκληρωθεί η ανάλυση, υπάρχει μια λίστα με αποτελέσματα που το καθένα απεικονίζεται με χρώματα πάνω στο μοντέλο μας. Αυτό που θα κοιτάξουμε πρώτο από όλα είναι να δούμε αν με τη γεωμετρία που έχει το αποτύπωμά μας, γεμίζει με πλαστικό υλικό. Επιλέγουμε «plastic flow» στην λίστα και μελετούμε το αποτέλεσμα.

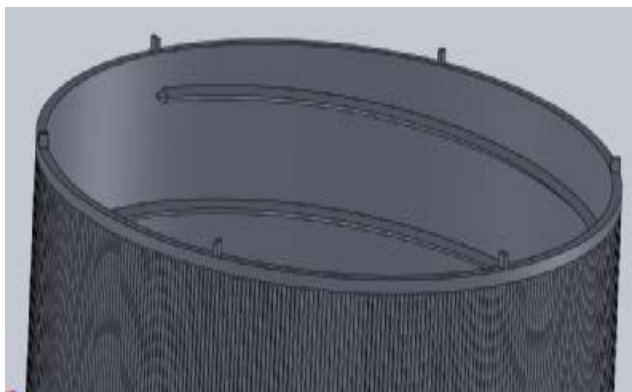


Εικόνα 5.6.

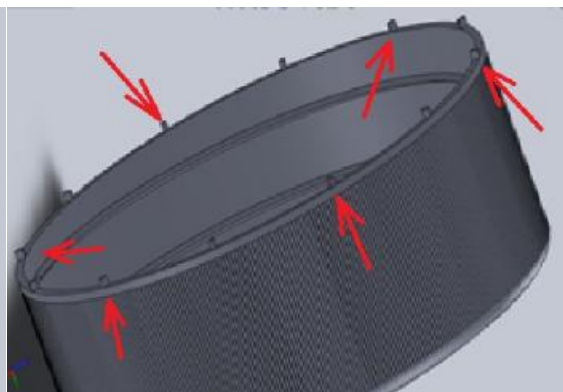
Με κάθε αλλαγή στις θερμοκρασίες ρευστού και καλουπιού παρατηρούμε ότι το γέμισμα του αποτυπώματος δεν ολοκληρώνεται σε ορισμένα σημεία, όπως δείχνουν τα βέλη στην εικόνα 5.6 πάνω.

Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να βελτιστοποιήσουμε το σχέδιο-προϊόν μας πριν συνεχίσουμε την μελέτη. Μετά την βελτιστοποίηση θα κάνουμε μελέτη στο νέο σχέδιο.

Η βελτιστοποίηση που πρέπει να κάνουμε βάση του αποτελέσματος της μελέτης ροής, είναι να προσθέσουμε «ασφάλειες» στο προϊόν μας. Οι ασφάλειες αυτές στο καλούπι είναι οι δίοδοι από τις οποίες περνά το πλαστικό και γεμίζει ολόκληρη η ασφάλεια του καπακιού. Με την επέμβαση αυτή, επιτυγχάνουμε την πλήρωση της ασφάλειας με πλαστικό από περισσότερες «πύλες». Σχηματικά η επέμβαση-διόρθωση εμφανίζεται στις εικόνες 5.7. και 5.8., με την δεύτερη να μας δείχνει το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης.



Εικόνα 5.7.

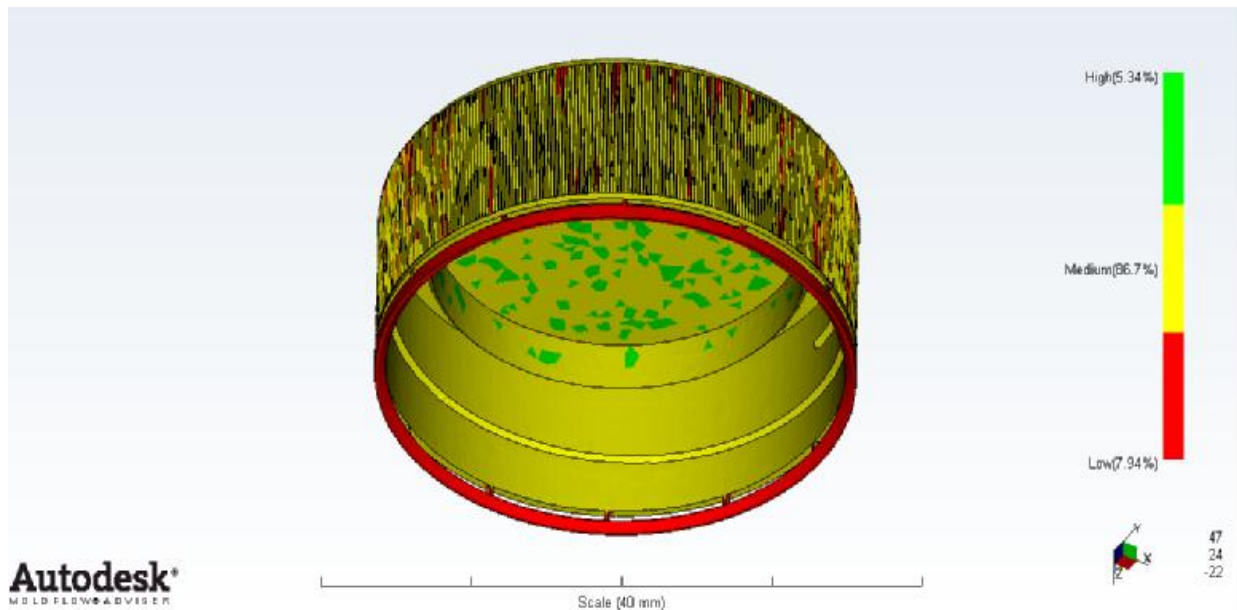


Εικόνα 5.8.

Έχοντας πλέον το βελτιστοποιημένο σχέδιο στα χέρια μας, ξεκινάμε την μελέτη πάνω σε αυτό για να δούμε αρχικά αν η γεωμετρία του προϊόντος μας είναι κατάλληλη και μπορεί να πληρωθεί σωστά το αποτύπωμα.

Σε αυτό θα μας βοηθήσει το geometry analysis, πηγαίνοντας analysis > analysis wizard, και στο παράθυρο που θα ανοίξει στο tab «sequence» θα επιλέξουμε geometry analysis. Έπειτα πατάμε finish και ξεκινάμε την ανάλυση (start analysis).

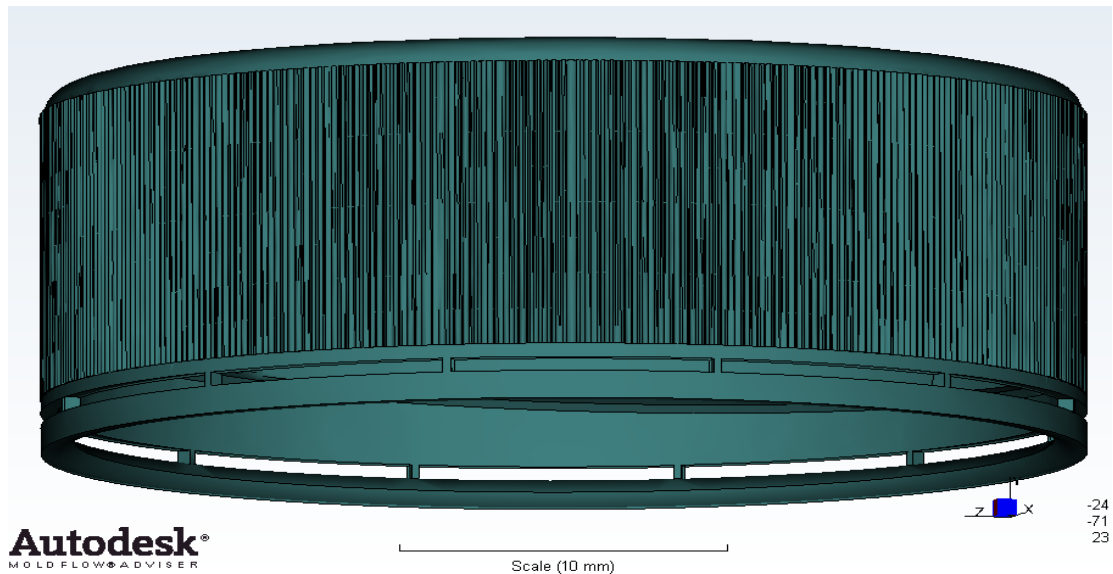
Το αποτέλεσμα της ανάλυσης φαίνεται στην εικόνα 5.9, η οποία μας δείχνει την καταλληλότητα της γεωμετρίας του προϊόντος ώστε να έχει η διεργασία σωστό αποτέλεσμα.



Εικόνα 5.9.

Το πράσινο χρώμα δείχνει την υψηλή καταλληλότητα του αποτυπώματος, το κίτρινο την μέση και το κόκκινο την χαμηλή καταλληλότητα. Παρατηρούμε λοιπόν πως η γεωμετρία του δαχτυλιδιού της ασφάλειας δεν είναι η καταλληλότερη για την παραγωγή του προϊόντος με αποτέλεσμα στην συνέχεια της μελέτης να μην δούμε σωστή πλήρωση του αποτυπώματος μέσα στο καλούπι.

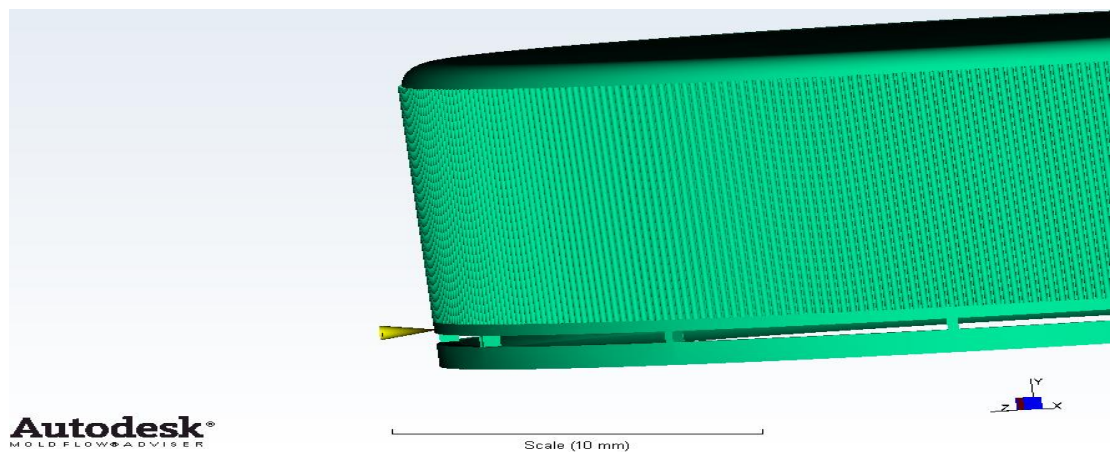
Στη συνέχεια θα κάνουμε fill analysis για να δούμε αν το αποτύπωμα γεμίζει με υλικό. Πηγαίνουμε πάλι στο «sequence» και επιλέγουμε fill. Χωρίς να επιλέξουμε υλικό και με τις δεδομένες συνθήκες κατεργασίας που δίνει το πρόγραμμα, ξεκινάμε την ανάλυση. Το αποτέλεσμα αυτής φαίνεται στην εικόνα 5.10, η οποία μας δείχνει πως κατά πάσα πιθανότητα θα έχουμε σωστό γέμισμα του αποτυπώματος. Έτσι θα αρκεστούμε σε αυτή τη βελτιστοποίηση της αύξησης του αριθμού των ασφαλειών και θα συνεχίσουμε την μελέτη.



Εικόνα 5.10.

Στην παράγραφο 3.3 καθορίσαμε πως σε κάθε κλείσιμο του καλουπιού θα παράγονται 12 καπάκια. Έτσι πάνω στη μήτρα έπρεπε να σχεδιάσουμε, όπως και κάναμε, ένα σύστημα αυλακιών ώστε να τροφοδοτούνται και οι δώδεκα κοιλότητες με το λιωμένο πλαστικό. Για να επιτευχθεί αυτό βάλαμε την θέση της πύλης στο πλάι κάθε αποτυπώματος (εικόνα 5.11.). Σύμφωνα με την μελέτη θέσης της πύλης και όπως βλέπουμε και από την εικόνα 5.2., η θέση που επιλέξαμε είναι ικανοποιητική.

Οπότε η ολοκληρωμένη μελέτη θα γίνει με την πύλη έγχυσης στο πλάι του αποτυπώματος.



Εικόνα 5.11.

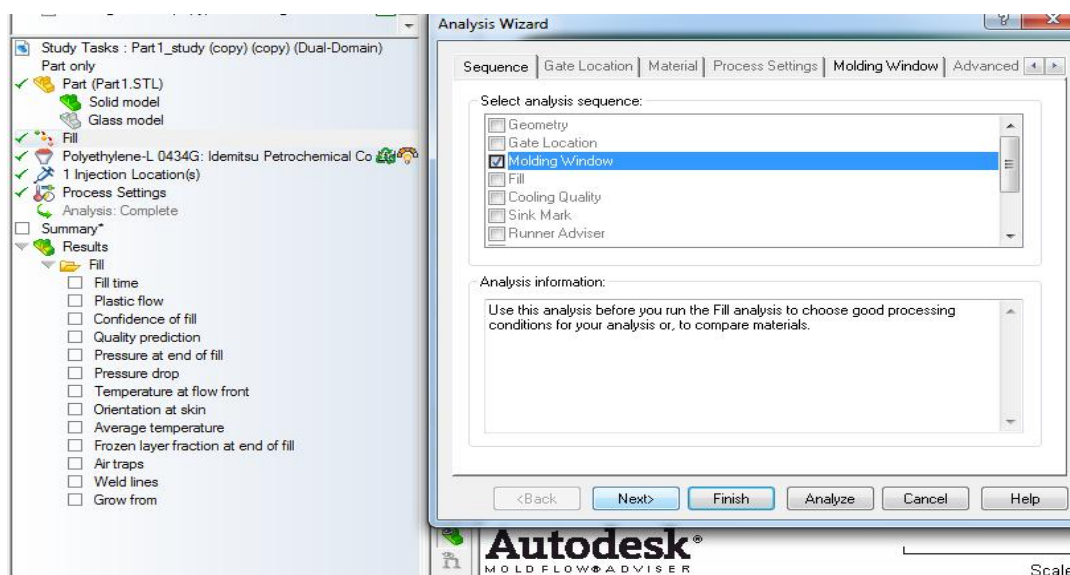
5.4.3. Molding window analysis

Το επόμενο βήμα είναι η ανάλυση “molding window”, η οποία βασίζεται στην μορφή του προϊόντος, στην θέση της πύλης έγχυσης και στο υλικό από το οποίο θα παραχθεί το προϊόν. Η ανάλυση αυτή μας συμβουλεύει για το εύρος της θερμοκρασία τήξης και τον χρόνο της διαδικασίας έγχυσης.

Όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 3.1., τα πλαστικά καπάκια κατασκευάζονται από χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο ή από πολυστυρένιο (PS).

Έτσι η ανάλυση θα γίνει και για τα δύο υλικά για να δούμε ποιο είναι καταλληλότερο για την παραγωγή του προϊόντος μας.

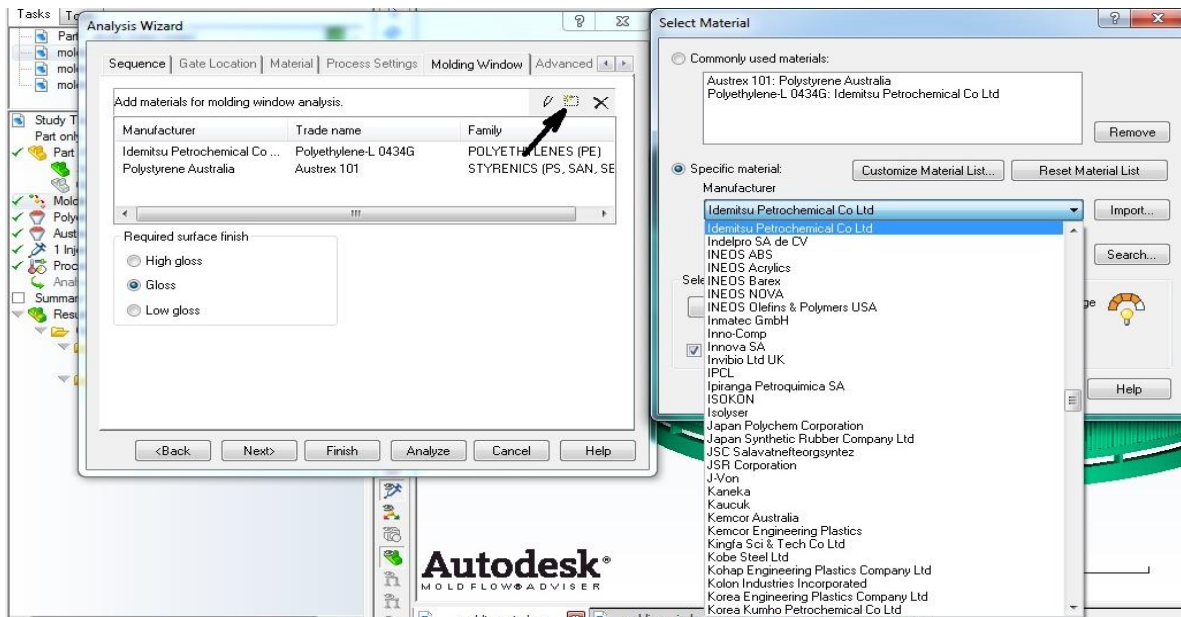
Αρχικά, επιλέγουμε πάλι «process settings» και στο «sequence» επιλέγουμε «molding window» (εικόνα 5.12.).



Εικόνα 5.12.

Στην επόμενη καρτέλα που θα μπορούμε να δούμε ότι έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε από μια λίστα με πολλά υλικά, τα δύο υλικά που θέλουμε έτσι ώστε να τα αναλύσουμε και να δούμε για το συγκεκριμένο αποτύπωμα, ποιο υλικό και υπό ποιες συνθήκες θα έχει καλύτερη συμπεριφορά και θα μας δώσει καλύτερο αποτέλεσμα.

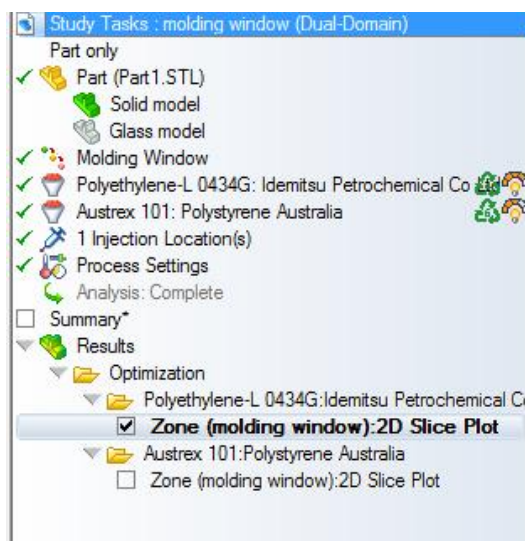
Έχοντας επιλέξει τα κατάλληλα υλικά στο 3^ο κεφάλαιο, τα επιλέγουμε από τη λίστα και ξεκινάμε τη μελέτη. (εικόνα 5.13.). Υπενθυμίζουμε πως τα υλικά τα οποία θα αναλύσουμε είναι το πολυαιθυλένιο και το πολυστυρένιο.



Εικόνα 5.13.

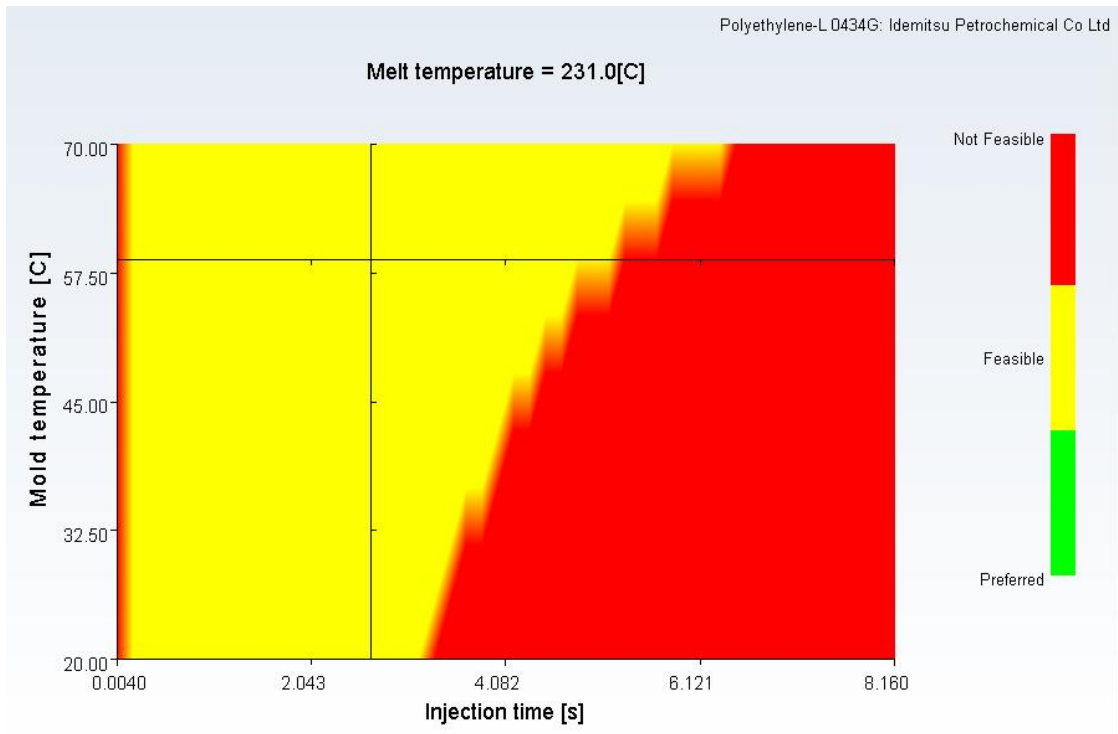
Αφού τελειώσει η ανάλυση, επιλέγοντας το κάθε υλικό (εικόνα 5.14.), το πρόγραμμα μας εμφανίζει μια γραφική παράσταση θερμοκρασίας καλουπιού συναρτήσεως της θερμοκρασίας του ρευστού υλικού και μας δείχνει τις καταλληλότερες τιμές αυτών ώστε να πάρουμε το καλύτερο αποτέλεσμα έγχυσης και πλήρωσης του αποτύπματος.

Η καταλληλότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης έχει τρεις βαθμίδες οι οποίες διαχωρίζονται με κόκκινο, κίτρινο και πράσινο χρώμα. Το κόκκινο χρώμα μας δείχνει πως το υλικό που χρησιμοποιούμε δεν είναι κατάλληλο για την παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος και το αποτέλεσμα που θέλουμε δεν είναι εφικτό. Το κίτρινο χρώμα μας δείχνει πως το αποτέλεσμα είναι εφικτό αλλά όχι με ικανοποιητικής ποιότητας προϊόν και τέλος το πράσινο είναι αυτό που μας δείχνει ότι το υλικό που έχουμε επιλέξει, είναι το κατάλληλο για έγχυση στο αποτύπωμα που έχουμε σχεδιάσει.



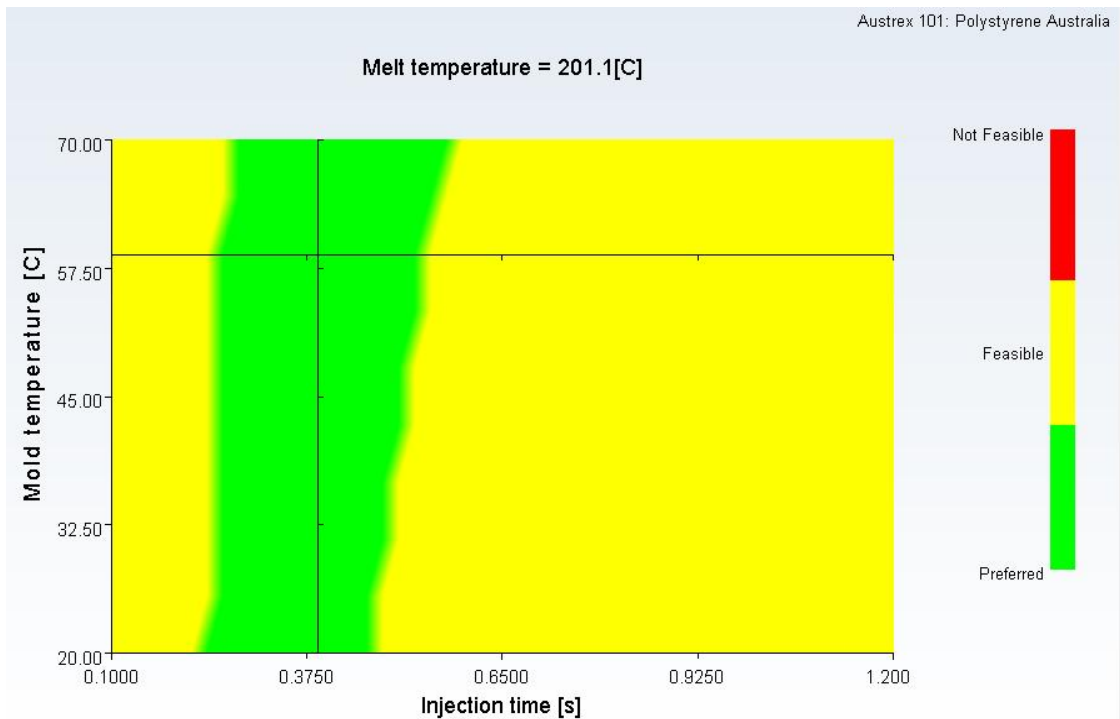
Εικόνα 5.14.

Η εικόνα 5.15. αφορά την ανάλυση του πολυαιθυλενίου.



Εικόνα 5.15.

Ύστερα έρχεται η σειρά του πολυστυρενίου να αναλυθεί για να δούμε την καταλληλότητά του (εικόνα 5.16.).

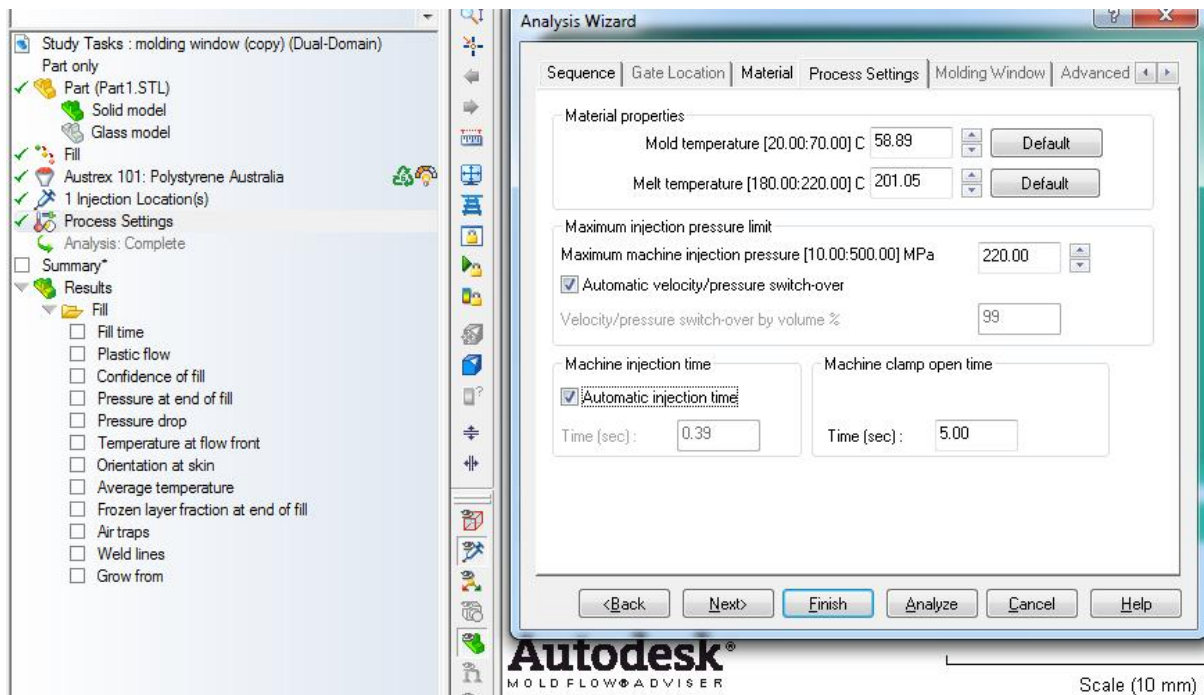


Εικόνα 5.16.

Από τα αποτελέσματα καταλαβαίνουμε πως με το πολυαιθυλένιο έχουμε ένα εφικτό αποτέλεσμα αλλά το πολυστυρένιο είναι αυτό που προτείνεται και είναι καταλληλότερο για την παραγωγή του προϊόντος μας. Έτσι τα επόμενα στάδια της μελέτης θα γίνουν με την θερμοκρασία και τον χρόνο έγχυσης που καθορίζονται από την ανάλυση του πολυστυρένιου μιας που αυτό θα είναι τελικά το υλικό από το οποίο θα παράγουμε τα καπάκια.

Πηγαίνουμε λοιπόν στο παράθυρο analysis wizard και επιλέγουμε πάλι το «fill». Στην επόμενη καρτέλα επιλέγουμε το υλικό και έπειτα στην καρτέλα «process settings» βλέπουμε τις συνθήκες έγχυσης στις οποίες υπάρχουν οι τιμές των αποτελεσμάτων που βγήκαν από την προηγούμενη ανάλυση (εικόνα 5.17) οι οποίες είναι και οι καταλληλότερες για την κατεργασία με το υλικό που επιλέξαμε.

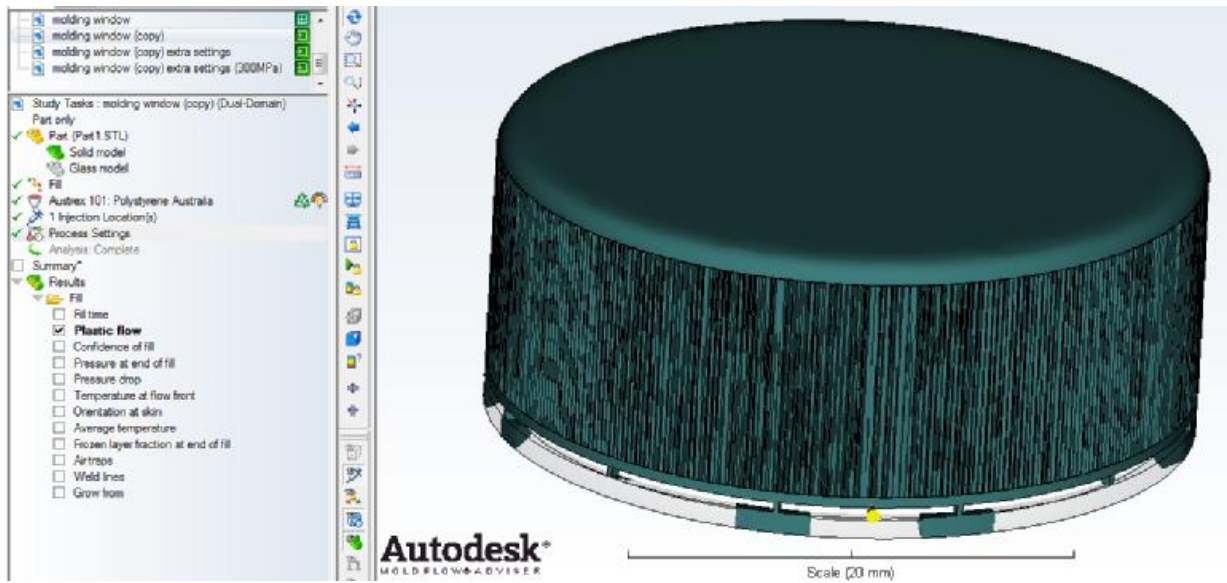
Οι τιμές είναι: Mold temperature = 58.89°C
Melt temperature = 201,05°C
Injection Pressure = 220 MPa
Injection time = 0.39 sec



Εικόνα 5.17.

Αφού ολοκληρώσουμε με τις παραμέτρους, μπορούμε πλέον να ξεκινήσουμε την ανάλυση πατώντας «start analysis».

Με την ολοκλήρωση της ανάλυσης παίρνουμε το αποτέλεσμα της εικόνας 5.18. που μας δείχνει ότι με το υλικό που έχουμε επιλέξει και με τις ιδιότητες έγχυσης που έχουμε ρυθμίσει, η πλήρωση του αποτυπώματος δεν γίνεται σωστά.



Εικόνα 5.18.

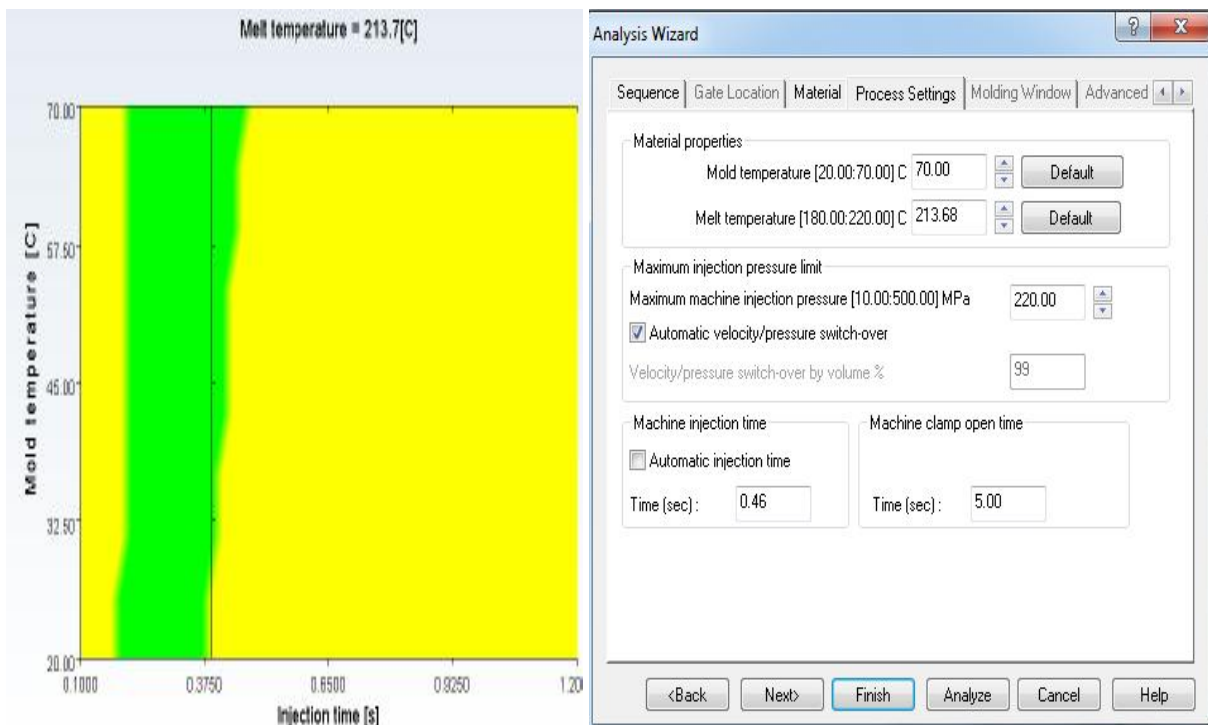
Θα πάρουμε τις μέγιστες δυνατές τιμές θερμοκρασίας και χρόνου έγχυσης για το πολυστυρένιο (εικόνα 5.19.), σε μία προσπάθεια να καταφέρουμε την πλήρωση του αποτυπώματος και θα ξεκινήσουμε μια νέα ανάλυση.

Οι τιμές είναι: Mold temperature = 70°C

Melt temperature = 213.68°C

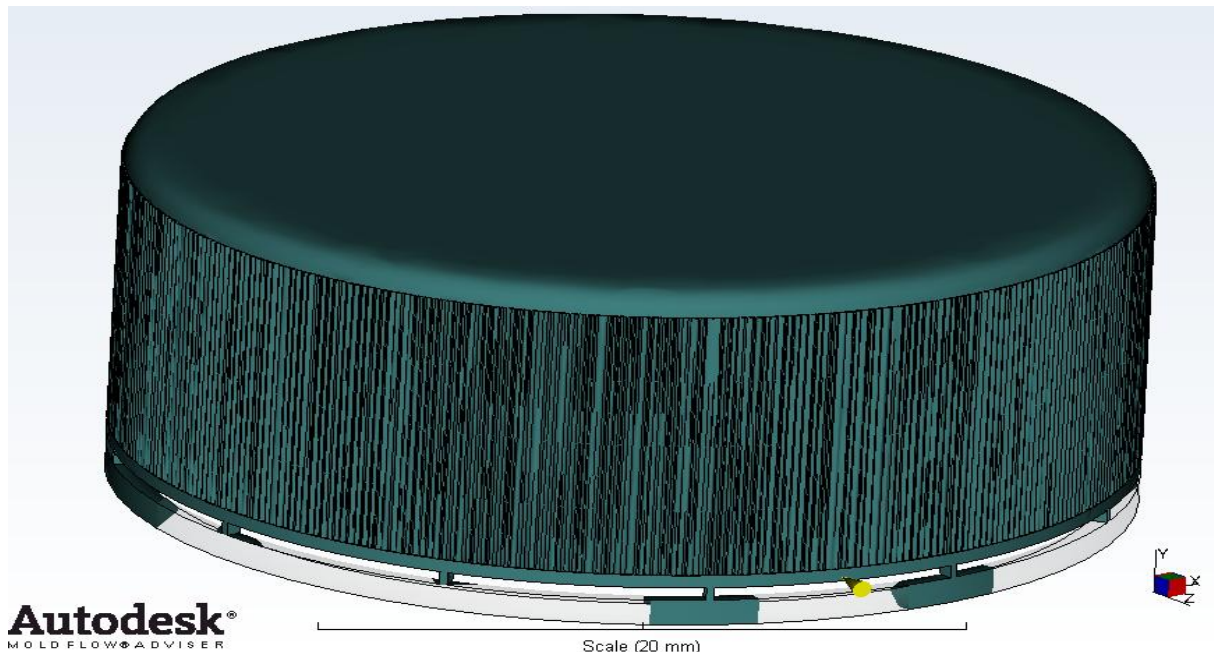
Injection Pressure = 220 MPa

Injection time = 0.46 sec



Εικόνα 5.19.

Το αποτέλεσμα (εικόνα 5.20.) δεν είναι αυτό που περιμέναμε καθώς το αποτύπωμα δεν γεμίζει σωστά παρά τις αλλαγές που κάναμε στις ιδιότητες της κατεργασίας.

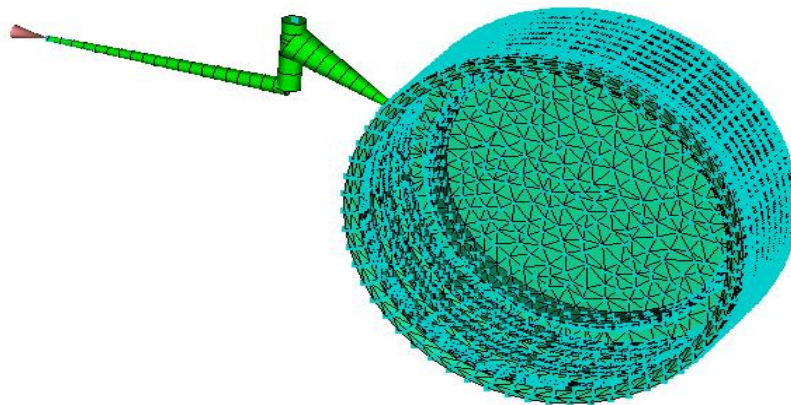


Εικόνα 5.20.

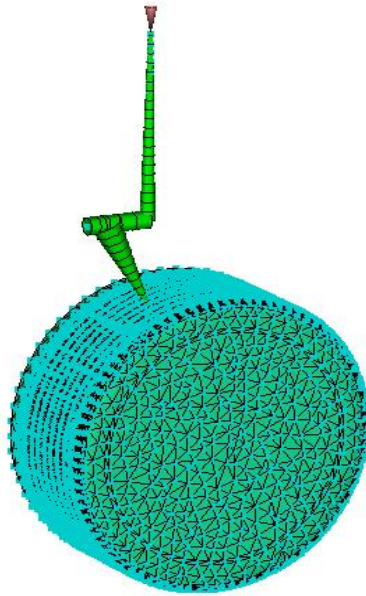
Επόμενο βήμα είναι να συνεχίσουμε την μελέτη με το Moldflow Insight, ένα ίδιο πρόγραμμα με το παραπάνω, με την διαφορά ότι κάνει πιο εμπειριστατωμένη ανάλυση του μοντέλου δημιουργώντας «πλέγμα». Πλέγμα, ονομάζεται η διαδικασία διαχωρισμού του μοντέλου σε μικρότερα στοιχεία. Αυτά τα στοιχεία σχηματίζονται από την δημιουργία κόμβων πάνω στην επιφάνεια του μοντέλου. Οι κόμβοι ενώνονται και δημιουργούνται τα στοιχεία. Έτσι γίνεται ανάλυση σε κάθε στοιχείο με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερα και αναλυτικότερα αποτελέσματα μετά το πέρας της ανάλυσης.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να γίνει η ανάλυση αυτή, ήταν η εξής:

- Ξεκίνησε κάνοντας «import» το .stl αρχείο με το μοντέλο του προϊόντος.
- Έπειτα, από το menu επιλέξαμε mesh & generate mesh, ώστε να δημιουργηθεί το πλέγμα στο μοντέλο μας (εικόνες 5.21., 5.22.). Ο δρομέας έχει μοντελοποιηθεί υποτυπωδώς και τον δημιουργεί αυτόματα το πρόγραμμα.

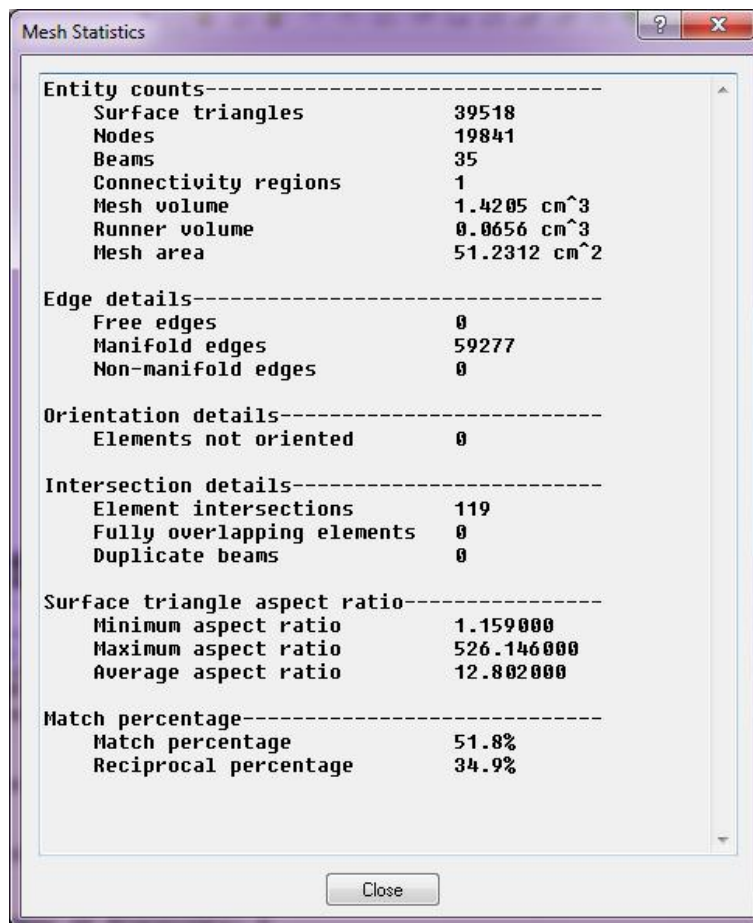


Εικόνα 5.21.



Εικόνα 5.22.

Αφού δημιουργήθηκε το πλέγμα εμφανίσαμε τα στατιστικά της ανάλυσης (εικόνα 5.23.), δηλαδή το πόσους κόμβους και πόσα στοιχεία έχουμε, επιλέγοντας από το μενού mesh \rightarrow mesh statistics.

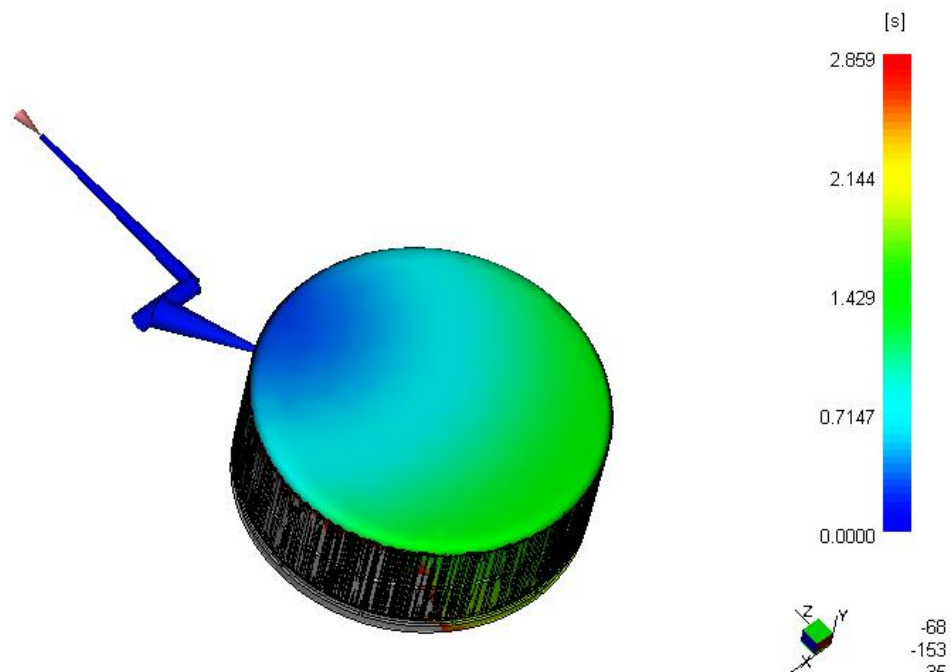


Εικόνα 5.23.

- Κάναμε auto-repair για τυχόν λάθη που μπορεί να δημιουργήθηκαν στο πλέγμα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό βήμα γιατί διαφορετικά μπορεί να βγάλει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα η ανάλυση. (mesh → mesh tools → autorepair).
- Ορίσαμε το είδος της κατεργασίας που θα κάνουμε πηγαίνοντας στο μενού και επιλέγοντας Analysis → Set Molding Process → Thermo Plastic Injection Molding.
- Μετά ορίσαμε το είδος της ανάλυσης που θα γίνει, πηγαίνοντας στο Analysis → Set analysis Sequence → Fill.
- Ορίσαμε το υλικό από το οποίο θα παράγουμε το καπάκι και είναι το πολυστυρένιο όπως είχαμε αναλύσει στην παράγραφο 5.4.3. Το επιλέξαμε πηγαίνοντας Analysis → Select Material → Fill και επιλέξαμε συγκεκριμένα το polystyrene 1161 της εταιρείας Total Petrochemicals.
- Στο μενού Analysis → Process Settings Wizard, ορίσαμε τις παραμέτρους της κατεργασίας όπως καθορίστηκαν από το διάγραμμα της εικόνας 5.16. Οι τιμές είναι: Mold temperature = 58.89°C, Melt temperature = 201.05°C, Injection Pressure = 220 MPa.
- Ορίσαμε την θέση της πύλης (Analysis → Set Injection Location) στο ίδιο σημείο που την είχαμε ορίσει και στην ανάλυση με το Moldflow Adviser.
- Ενώσαμε τον δρομέα που δημιουργήθηκε στην αρχή με την πύλη που ορίσαμε στο προηγούμενο βήμα η οποία έχει διάμετρο 0.4mm, πηγαίνοντας Modeling → Runner System Wizard.
- Analysis → analysis now, το επιλέγουμε και ξεκινάει η ανάλυση.

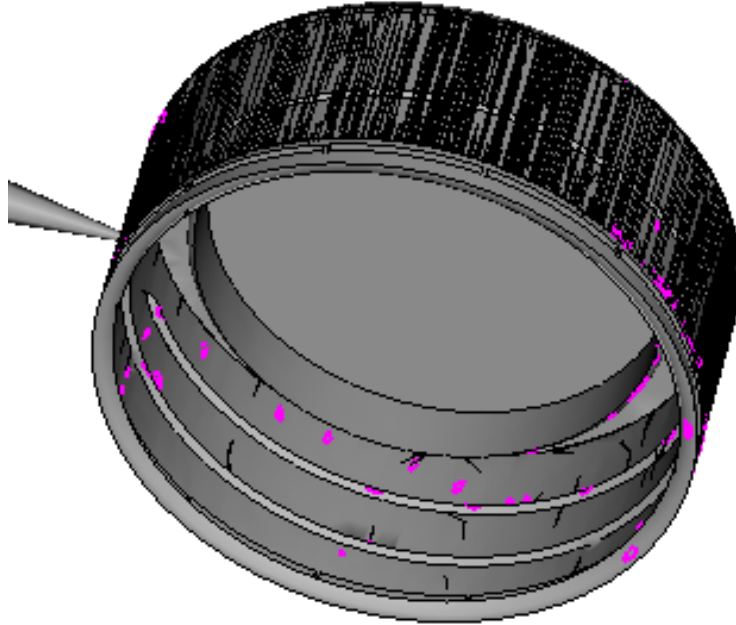
Με το πέρας της ανάλυσης πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Ο χρόνος που χρειάζεται το αποτύπωμα για να γεμίσει είναι 2.859sec (εικόνα 5.24.)



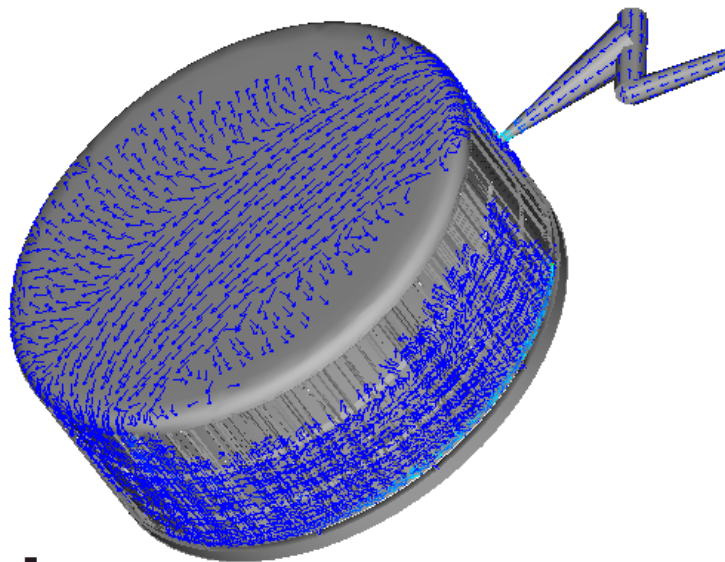
Εικόνα 5.24.

Στο μενού των αποτελεσμάτων επιλέγουμε την ανάλυση air trap η οποία μας δείχνει τα σημεία μέσα στο αποτύπωμα όπου έχει εγκλωβιστεί αέρας. Αυτό σημαίνει ότι με το πέρας του γεμίματος του αποτυπώματος το προϊόν θα περιέχει μερικά «κενά», όπως δείχνουν οι ροζ κουκίδες στην εικόνα 5.25.



Εικόνα 5.25.

Το επόμενο αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι αυτό που δείχνει την ταχύτητα της ροής του πλαστικού μέσα στο αποτύπωμα, όταν ο χρόνος είναι μέγιστος. Με τα μπλε βέλη φαίνεται η φορά της ροής του υλικού (εικόνα 5.26.).

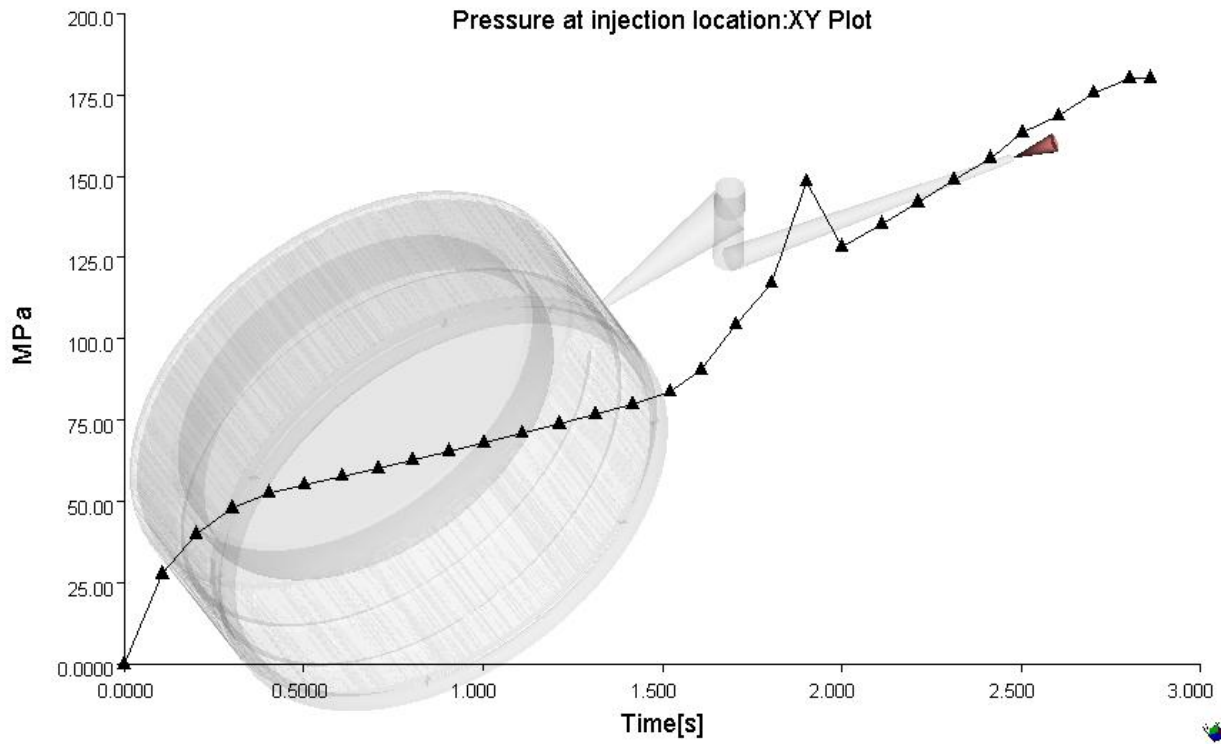


Autodesk[®]
4OLD FLOW® INSIGHT

Scale (40 mm)

Εικόνα 5.26.

Τέλος η ανάλυση τελειώνει με ένα διάγραμμα της πίεσης στη θέση της πύλης συναρτήσει του χρόνου γεμίσματος. (Εικόνα 5.27.).



Εικόνα 5.27.

Κεφάλαιο 6ο : «Συμπεράσματα»

Με το πέρας την πτυχιακής αυτής εργασίας καταφέραμε να εξοικειωθούμε με τον σχεδιασμό ενός καλουπιού έγχυσης και την ανάλυση – μελέτη της ροής του πλαστικού υλικού μέσα σε αυτό. Δώσαμε ιδιαίτερη έμφαση στην μελέτη της ροής αναλύοντας την συμπεριφορά των πλαστικών υλικών μέσα στο αποτύπωμα κάτω από διάφορες συνθήκες κατεργασίας. Κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας και για να είναι εφικτή η μελέτη ροής υλικού μέσα στο καλούπι, χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε δύο προγράμματα. Για τον ευκολότερο σχεδιασμό των τρισδιάστατων μερών του καλουπιού αλλά και του προϊόντος, καθώς και την συνεργασία των τμημάτων του που εξειδικεύονται στον κύκλο παραγωγής του κομματιού χρησιμοποιήσαμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks. Με την χρησιμοποίησή του επιτύχαμε να μειώσουμε τον χρόνο σχεδίασης του καλουπιού και κατά συνέπεια το κόστος κατασκευής του. Η χρησιμοποίηση του στην εργασία, μας πρόσφερε την εξοικείωση με το πρόγραμμα, που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην παγκόσμια βιομηχανία στον τομέα μαζικής παραγωγής.

Επίσης κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας έπρεπε να αναλυθεί η ροή του υλικού μέσα στο αποτύπωμα του καλουπιού που σχεδιάσαμε. Έτσι κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη της ροής του υλικού μέσα στο καλούπι προκειμένου να επιλεγεί το καταλληλότερο υλικό για την διεργασία αλλά και οι καταλληλότερες συνθήκες κατεργασίας που θα μας δώσουν το βέλτιστο αποτέλεσμα. Για την μελέτη αυτή μας βοήθησαν τα προγράμματα Moldflow Adviser και Moldflow Insight. Τα προγράμματα αυτά προσομοιώνουν την ροή του υλικού μέσα στο αποτύπωμα με αποτέλεσμα να έχουμε άμεσα αποτελέσματα για την ποιότητα του προϊόντος, αλλά και γενικά για τις συνθήκες τις κατεργασίας χωρίς να χρειαστεί κάποιο πειραματικό στάδιο σε πραγματικές συνθήκες μειώνοντας έτσι δραματικά τον χρόνο αλλά και το κόστος μελέτης και, κατ' επέκταση, κατασκευής ενός καλουπιού, ενώ συνέτειναν στην αποφυγή περισσότερων υπολογισμών και οδήγησαν σε ακριβέστερους υπολογισμούς λόγω μείωσης σφάλματος εξαιτίας της ανθρώπινης παρεμβολής.

Στο κομμάτι της μελέτης και πάντα με την βοήθεια των δύο παραπάνω προγραμμάτων, παρατηρήσαμε πώς το αρχικό σχέδιο του καπακιού δεν ήταν κατάλληλο για παραγωγή και έτσι προχωρήσαμε στην βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του. Συνεχίσαμε με την μελέτη της ροής, αφού πρώτα καταλήξαμε πως καταλληλότερο υλικό για την διεργασία μας είναι το πολυστυρένιο και συμπεράναμε πως το καλούπι θα δουλέψει ικανοποιητικά στις συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που κατέληξε το πρόγραμμα και πως το αποτύπωμα γεμίζει επιτυχώς σε χρόνο 2.859sec.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, με την βοήθεια όλων αυτών των παραμέτρων, καταφέραμε να φέρουμε εις πέρας τον σχεδιασμό του προϊόντος και του καλουπιού αλλά και την μελέτη και ανάλυση της ροής του υλικού μέσα στο καλούπι μαζικής παραγωγής πλαστικών καπακιών.

Τέλος θα μπορούσαμε να αναφέρουμε κάποιες επιπλέον βελτιστοποιήσεις που θα κατάφερναν να κάνουν το καλούπι μας αλλά και το προϊόν μας παραγωγής. Δύο από τους πιο βασικούς τρόπους βελτιστοποίησης της πλήρωσης του αποτυπώματος με πλαστικό θα ήταν οι εξής:

1. ο σχεδιαστής, να αλλάξει την διάμετρο των δώδεκα πυλών (Φ 0.4mm) οι οποίες γεμίζουν τα αποτυπώματα
2. ο χειριστής να αυξήσει την πίεση έγχυσης της μηχανής, πάντα μέσα στα επιτρεπτά όρια αυτής αλλά και του καλουπιού.

Επίσης θα μπορούσαμε να δώσουμε κάποιες κλίσεις και στις επιφάνειες του καπακιού αλλά και του καλουπιού ώστε να είναι ευκολότερη η εξόλκευσή μετά την ψύξη και την συρρίκνωση. Έπειτα θα είχαμε ίσως καλύτερη πλήρωση αν η γεωμετρία των διόδων προς την ασφάλεια του καπακιού ήταν διαφορετική (βλ. geometry analysis). Και τέλος θα μπορούσαμε να αλλάξουμε την πίεση με την οποία θα γινόταν η έγχυση πράγμα βέβαιο που εξαρτάται από την μηχανή που χρησιμοποιούμε.

Κεφάλαιο 7ο : «Βιβλιογραφία»

Βιβλία:

[1] Injection Mould Design 4th Ed., Ronald George William Pye, Longman Scientific and Technical 1989, ISBN: 0-582-01611-8

[2] Analyses of material flow in two and three-plate moulds for mould design selection, Shayfull Zamree Bin Abd. Rahim, Faculty of Mechanical Engineering University of Malaysia

Διαδίκτυο:

- Injection moulding – Wikipedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Injection_molding)
- Solidworks – Wikipedia (<http://en.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>)
- Injection Moulding glossary-Google (<http://www.npd-solutions.com/injectmoldglos.html>)
- Injection mould machine parts – IMould (<http://www.imould.com/news/The+shot+size+is+the+maximum+amount+of+plastic+injection+mold-1913.html>)
- Moldflow plastic Insight – Google (http://www.mem.odu.edu/faculty_staff/hou/section2.pdf)

Εικόνες:

[3] [Θερμική κατεργασία](#)

[4] [Προϊόντα καλουπιών διαμόρφωσης](#)

[5] [Στράτζα](#)

[6] [Ψαλίδι](#)

[7] [Διαδικασία χύτευσης με έγχυση](#)

[8] [Μασούρια](#)

[9] [Μασούρια μετά την κατεργασία](#)

[10] [Μηχανή εμβόλου](#)

[11] [Προϊόντα χύτευσης με έγχυση](#)

- [12] [Καλούπια έγχυσης](#)
- [13] [Προϊόντα επαναδιαμόρφωσης](#)
- [14] [Καλούπι πολλαπλού αποτυπώματος](#)
- [15] [Σύνθετο καλούπι με κινητά μέρη](#)
- [16] [Καλούπι ζεστού δρομέα](#)
- [17] [Καλούπια με τρείς πλάκες](#)
- [18] [Καλούπι με δύο πλάκες](#)
- [19] [Μήτρα](#)
- [20] [Πυρήνας](#)
- [21] [Εξοστήρες](#)
- [22] [Σύστημα πύλης και δρομέα](#)
- [23] [CNC κατασκευή](#)
- [24] [EDM κατασκευή](#)
- [25] [Πολυστυρένιο](#)
- [26] [Λογισμικό SolidWorks](#)