

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΧΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΩΘΗΤΗ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ:  
**Άγγελος Σπύρου**  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
Ευγένιος Σκούρας

ΠΑΤΡΑ 2020



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στις αρχές που διέπουν καθώς και στις συνθήκες λειτουργίας ενός εξωθητή πολυπροπυλενίου.

Η διεργασία της εξώθησης αποτελεί μία από τις σημαντικότερες διεργασίες για την παραγωγή πλαστικών προϊόντων. Αρχικά, μελετάται το πολυπροπυλένιο (PP) κάνοντας αναφορά στη δομή και στις ιδιότητες του, καθώς και στα πλεονεκτήματα αλλά και στα μειονεκτήματα του. Στην συνέχεια περιγράφεται η διεργασία της εξώθησης. Πιο συγκεκριμένα περιγράφεται η αρχή λειτουργίας της εξώθησης, οι εξωθητές καθώς και τα προϊόντα που παράγονται από αυτή τη διεργασία. Τέλος, γίνεται αναφορά σε όλα τα μηχανήματα τα οποία συμμετέχουν σε μία διεργασία εξώθησης καθώς και περισσότερες λεπτομέρειες για τον εξωθητή.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Ευγένιο Σκούρα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Άγγελος Σπύρου

Μάιος 2020

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε η μελέτη των αρχών και συνθηκών λειτουργίας ενός σύγχρονου εξωθητή πολυπροπυλενίου. Το πολυπροπυλένιο (PP) είναι ένα από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα πλαστικά για μια πληθώρα προϊόντων λόγω των μηχανικών του ιδιοτήτων αλλά και της ευκολίας μορφοποίησης του. Μία από τις πιο σημαντικές διεργασίες για την παραγωγή προϊόντων από PP είναι η εξώθηση. Κατά την εξώθηση το λιωμένο τήγμα εξωθείτε προς μία μήτρα με τη βοήθεια ενός ή περισσοτέρων κοχλιών.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας έγινε αναφορά στις ιδιότητες, στα είδη, στα χαρακτηριστικά του PP, καθώς και στις μεθόδους παραγωγής και στις τεχνολογικές περιοχές στις οποίες βρίσκει εφαρμογή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, έγινε μία γενική περιγραφή του εξωθητή και του κοχλία ενώ παράλληλα αναφέρθηκαν οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την διεργασία της εξώθησης. Τέλος, παρουσιάστηκαν διάφορα προϊόντα τα οποία μπορούν να παραχθούν με εξώθηση.

Στο τρίτο κεφάλαιο έγινε αναλυτικότερη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του εξωθητή ενώ ταυτόχρονα παρουσιάστηκαν και άλλα τμήματα πέραν του εξωθητή που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός προϊόντος εξώθησης. Επιπροσθέτως έγινε αναφορά και σε κάποια βασικά μέτρα ασφαλείας που πρέπει να τηρούνται πριν και κατά την εξώθηση.

Η γνώση των παραπάνω είναι πολύ σημαντική για έναν μηχανικό τόσο για να διατηρήσει μία γραμμή παραγωγής χωρίς προβλήματα (π.χ. παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων) όσο και για την αποφυγή ατυχημάτων.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	v
1. ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ .....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ.....	1
1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ.....	3
1.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ.....	4
1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ.....	5
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	6
1.6 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....	8
2. ΕΞΩΘΗΤΗΣ .....	9
2.1 ΕΞΩΘΗΣΗ.....	9
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΞΩΘΗΤΗ .....	9
2.3 ΤΥΠΟΙ ΕΞΩΘΗΤΩΝ .....	10
2.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΟΚΟΧΛΙΟΥ ΚΑΙ ΕΞΩΘΗΤΗ ΔΙΠΛΟΥ ΚΟΧΛΙΑ .....	17
Πλεονεκτήματα .....	17
2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΞΩΘΗΤΩΝ .....	17
2.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΩΘΗΣΗ .....	17
2.7 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΞΩΘΗΣΗΣ .....	20
2.8 ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΩΘΗΣΗ .....	26
3. ΤΜΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΩΘΗΣΗ.....	28
3.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	28
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΕΞΩΘΗΤΗ .....	29
3.3 ΧΟΑΝΗ.....	32
3.4 ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ (ΒΑΡΕΛΙ) .....	33
3.4.1 Χαρακτηριστικά εξωθητών με αυλακώσεις και χωρίς αυλακώσεις .....	36
3.4.2 Διάβρωση και φθορά κυλίνδρου.....	37
3.4.3 Θέρμανση και ψύξη κυλίνδρου .....	37
3.4.4 Ζώνες θέρμανσης .....	38

3.4.5 Ρυθμίσεις θερμοκρασίας κυλίνδρου.....	38
3.4.6 Χρόνος παραμονής στον κύλινδρο .....	38
3.5 ΚΟΧΛΙΑΣ.....	39
3.5.1 Γενικές λειτουργίες του κοχλία .....	39
3.5.2 Φθορά του κοχλία .....	41
3.5.3 Θέματα απόδοσης .....	42
3.6 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΕΞΩΘΗΤΗ.....	43
3.7 ΑΝΤΛΙΑ ΤΗΓΜΑΤΟΣ .....	43
3.7.1 Λίπανση των αντλιών τήξης .....	45
3.8 ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ .....	45
3.8.1 Φίλτρα.....	47
3.9 ΜΗΤΡΕΣ – ΚΑΛΟΥΠΙΑ .....	49
3.9.1 Γενικά.....	49
3.9.2 Τύποι καλουπιών .....	50
3.10 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ.....	55
3.11 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΟΠΗΣ .....	59
3.12 ΕΞΟΛΚΕΑΣ .....	61
3.13 ΜΗΧΑΝΗ ΠΕΡΙΕΛΙΞΗΣ.....	62
3.14 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....	63
4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	66





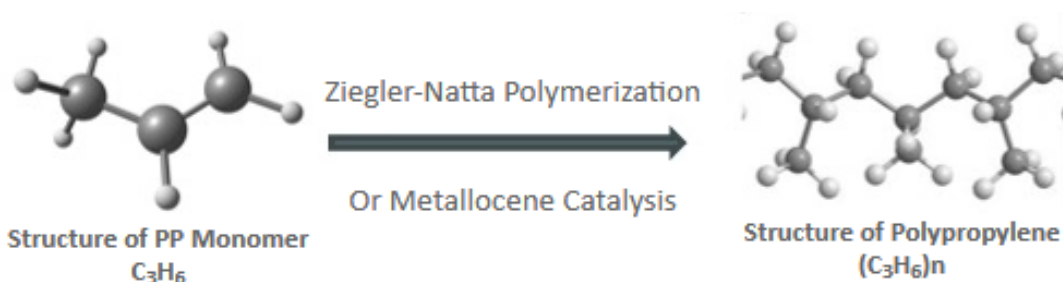
# 1. ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ

Το πολυπροπυλένιο (PP) είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές που παράγεται από το συνδυασμό μονομερών προπυλενίου. Ο χημικός του τύπος είναι  $(C_3H_6)_n$ . Το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές, τόσο ως πλαστικό όσο και ως ίνα. Δημιουργήθηκε για πρώτη φορά το 1951 από τους Paul Hogan και Robert Banks της εταιρείας πετρελαίου Phillips και αργότερα από τους Ιταλούς και Γερμανούς επιστήμονες Natta και Rehn. Ο Natta τελειοποίησε και συνέθεσε την πρώτη ρητίνη πολυπροπυλενίου στην Ισπανία το 1954 με κρυσταλλική μορφή (1).

Το πολυπροπυλένιο παράγεται από τον πολυμερισμό μονομερούς προπενίου με δύο τρόπους (Εικ.1.1) (2):

- Με πολυμερισμό Ziegler-Natta
- Με πολυμερισμό με τη χρήση καταλύτη μεταλλοκενίου

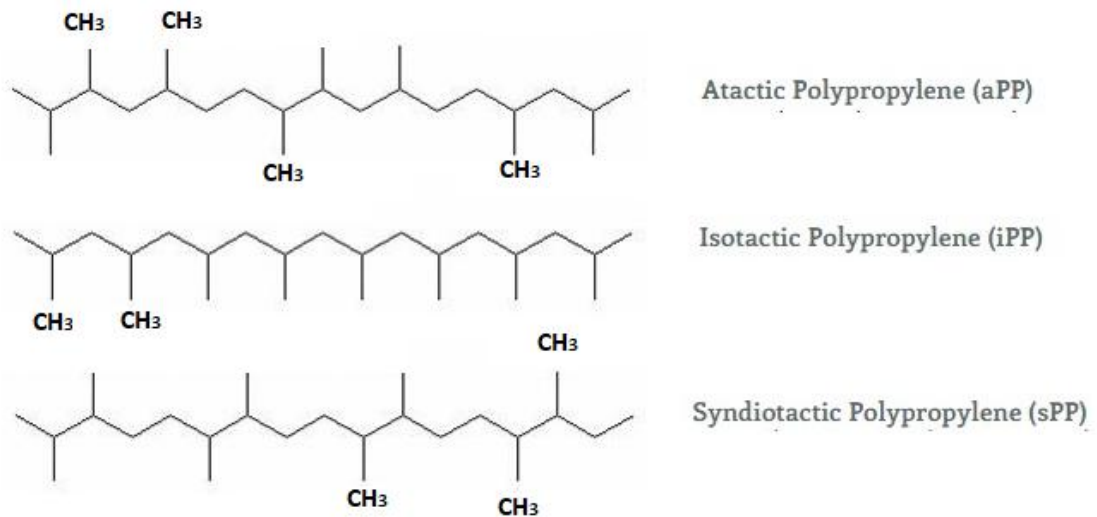


**Εικόνα 1.1:** Πολυμερισμός προπυλενίου (2).

Ανάλογα με τη θέση της μεθυλικής ομάδας ( $CH_3$ ) στην πολυμερική αλυσίδα το διακρίνουμε σε (2):

- Ατακτικό (aPP) – Ακανόνιστη διάταξη μεθυλικής ομάδας
- Ισοτακτικό (iPP) – Οι ομάδες μεθυλίου είναι διατεταγμένες στη μία πλευρά της αλυσίδας άνθρακα
- Συνδιοτακτικό (sPP) - Οι ομάδες μεθυλίου εναλλάσσονται στην αλυσίδα

Στην εικόνα 1.2 φαίνονται αυτές οι μορφές του PP.



**Εικόνα 1.2:** Δομή αλυσίδας ατακτικού, ισοτακτικού και συνδιστακτικού PP(2).

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι πολυπροπυλενίου:

- Το πολυπροπυλένιο που περιέχει μόνο μονομερές προπυλενίου σε ημικρυσταλλική στερεά μορφή και ονομάζεται ομοπολυμερές PP (HPP).
- Το πολυπροπυλένιο που περιέχει αιθυλένιο ως συν-μονομερές στις αλυσίδες PP σε περιεκτικότητες που κυμαίνονται από 1-8% και αυτό αναφέρεται ως τυχαίο συμπολυμερές (RCP).
- Το HPP που περιέχει μία μεικτή φάση RCP, η οποία έχει περιεκτικότητα αιθυλενίου 45-65%, και ονομάζεται μπλοκ συμπολυμερούς πολυπροπυλενίου (ICP) (3).

### Ομοπολυμερές

Το HPP είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος πολυπροπυλενίου στη βιομηχανία. Το HPP περιέχει τόσο κρυσταλλικές όσο και μη κρυσταλλικές περιοχές. Οι μη κρυσταλλικές (άμορφες) περιοχές έχουν τόσο ισοτακτικό PP όσο και ατακτικό PP. Το ισοτακτικό PP στις άμορφες περιοχές κρυσταλλώνεται με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, το HPP αποτελείται από μία μόνο μονάδα προπυλενίου κατά μήκος της αλυσίδας με κυρίως ισοτακτικές μονάδες που δίνουν μια κρυσταλλική δομή στο πολυμερές. Ως εκ τούτου, το HPP παρουσιάζει υψηλή δυσκαμψία σε θερμοκρασία δωματίου και υψηλό σημείο τήξης, ωστόσο το υλικό παρουσιάζει μικρότερη διαφάνεια καθώς και μειωμένη αντοχή σε κρούση (3).

### Τυχαία συμπολυμερή

Τα τυχαία συμπολυμερή είναι συμπολυμερή αιθυλενίου / προπυλενίου που παράγονται με συμπολυμερισμό προπυλενίου με μικρές ποσότητες αιθυλενίου (συνήθως 7% ή χαμηλότερα). Το αιθυλένιο διακόπτει την κανονική δομή του πολυπροπυλενίου και οδηγεί σε μείωση της κρυσταλλικής ομοιομορφίας στο πολυμερές. Η σχέση μεταξύ του αιθυλενίου και του κρυσταλλικού πάχους είναι αντιστρόφως ανάλογη, πράγμα που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε αιθυλένιο, το κρυσταλλικό πάχος μειώνεται βαθμιαία κάτι που οδηγεί σε χαμηλότερο σημείο τήξης. Τα συμπολυμερή έχουν συνήθως ελαφρώς καλύτερες ιδιότητες κρούσης, μειωμένο σημείο τήξης και αυξημένη ευκαμψία (3).

### Μπλοκ συμπολυμερούς πολυπροπυλενίου

Τα μπλοκ συμπολυμερούς πολυπροπυλενίου αποτελούν μείγματα HPP και RCP με συνολική περιεκτικότητα αιθυλενίου που κυμαίνεται από 6 έως 15% κατά βάρος. Αυτά τα πολυμερή παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στην κρούση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το τμήμα RCP του συμπολυμερούς έχει περιεκτικότητα αιθυλενίου της τάξης του 40-65%. Αυτή η φάση είναι υπεύθυνη για την αύξηση της αντοχής στην κρούση, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από - 20 ° C) (3).

## **1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ**

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του πολυπροπυλενίου είναι τα εξής (1):

### Πλεονεκτήματα

1. Το πολυπροπυλένιο είναι ένα διαθέσιμο και αρκετά φθινό υλικό.
2. Παρουσιάζει καλή επεξεργασιμότητα.
3. Έχει μεγάλη αντοχή στην κάμψη λόγω της ημι-κρυσταλλικής του φύσης.
4. Το πολυπροπυλένιο έχει σχετικά λεία επιφάνεια.
5. Είναι πολύ ανθεκτικό σε περιβάλλον με υγρασία.
6. Έχει καλή χημική αντοχή σε ένα ευρύ φάσμα βάσεων και οξέων.
7. Διαθέτει καλή αντοχή στην κόπωση.

8. Παρουσιάζει καλή αντοχή στην κρούση.
9. Είναι μονωτής του ηλεκτρισμού.

### **Μειονεκτήματα**

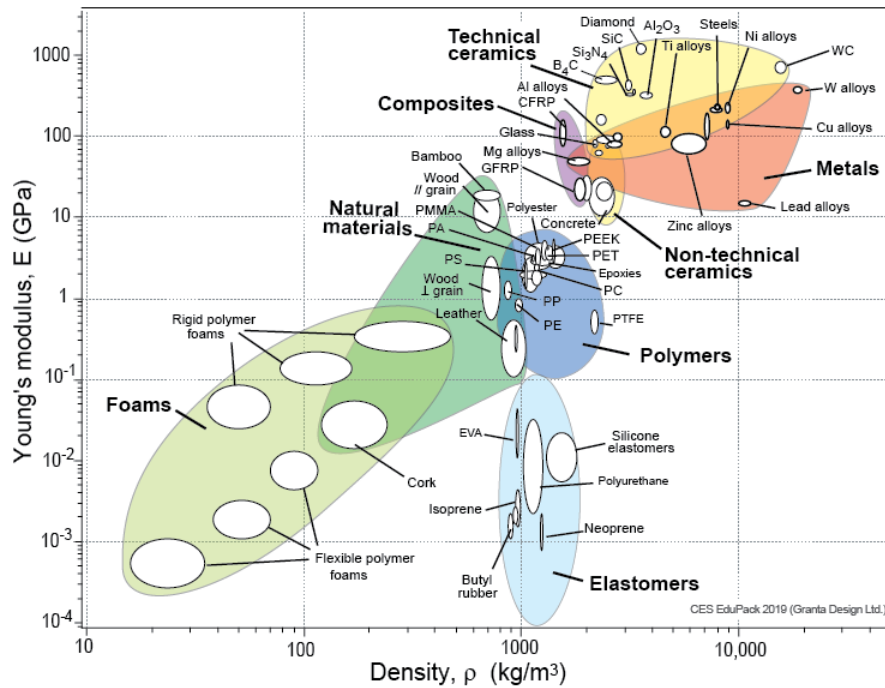
1. Έχει υψηλό συντελεστή θερμικής διαστολής ο οποίος περιορίζει τις εφαρμογές του σε υψηλές θερμοκρασίες.
2. Είναι ευαίσθητο στην UV ακτινοβολία.
3. Το πολυπροπυλένιο έχει μικρή αντίσταση σε χλωριωμένους διαλύτες και στις αρωματικές ενώσεις.
4. Είναι δύσκολο να βαφεί.
5. Είναι εξαιρετικά εύφλεκτο.
6. Είναι ευαίσθητο στην οξείδωση.

### **1.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ**

Κάποιες τυπικές ιδιότητες του πολυπροπυλενίου φαίνονται στον Πίν.1.1. Επίσης στην Εικ.1.3 φαίνονται η θέση του PP σε σχέση με άλλα τεχνολογικά υλικά με βάση το μέτρο ελαστικότητας και την πυκνότητα.

**Πίνακας 1.1:**Ιδιότητες πολυπροπυλενίου (1), (3).

Ιδιότητες	Τιμές
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	22-35
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	41
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	0,91-0,94
Σημείο τήξης (°C)	160-166



**Εικόνα 1.3:** Μηχανικές ιδιότητες PP σε σχέση με άλλα τεχνολογικά υλικά (4).

## 1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ

Η παραγωγή του πολυπροπυλενίου, όπως συμβαίνει και με άλλα πλαστικά, ξεκινάει με την απόσταξη καυσίμων υδρογονανθράκων σε ελαφρύτερες ομάδες που ονομάζονται "κλάσματα" μερικά από τα οποία συνδυάζονται με άλλους καταλύτες για την παραγωγή πλαστικών (τυπικά μέσω πολυμερισμού ή πολυσυμπύκνωσης) (1). Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι παραγωγής για το πολυπροπυλένιο που είναι (5):

### Πολυμερισμός σε αέρια φάση

Σε αυτόν τον τύπο διεργασίας το προπυλένιο και ο στερεός καταλύτης (καταλύτης 3ης γενιάς) έρχονται σε επαφή μαζί και στη συνέχεια διασκορπίζονται σε ξηρή σκόνη πολυμερούς μιας αναδευόμενης κλίνης. Ο πολυμερισμός λαμβάνει χώρα με δύο διαφορετικές μεθόδους:

- Αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης.
- Μέθοδος αναδευόμενου στρώματος

Σε αυτή τη μέθοδο παραγωγής η πίεση κυμαίνεται από 2 έως 4 MPa, ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα του πολυμερούς. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 50 έως 80°C και η αντίδραση πραγματοποιείται στην αέρια φάση. Αυτή η διαδικασία είναι η πιο απλή μέθοδος για την παραγωγή ομοπολυμερούς και συμπολυμερούς. Επιπλέον, είναι η συνηθέστερη μέθοδος που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες εγκαταστάσεις μεταξύ των διαφόρων υφιστάμενων διαδικασιών παραγωγής πολυπροπυλενίου και αποτελεί μια οικονομική και ευέλικτη τεχνολογία.

### **Πολυμερισμός διαλύτη**

Ο πολυμερισμός διαλύτη αποτελεί μία μέθοδο παραγωγής PP πρώτης γενιάς. Χρησιμοποιείται ένας αυτόκλειστος φούρνος και ένας αναδευτήρας. Η πίεση σε αυτή τη μέθοδο είναι 1 MPa και η θερμοκρασία κυμαίνεται από 50 έως 80°C. Η αντίδραση διεξάγεται σε αδρανή διαλύτη υδρογονάνθρακα όπως εξάνιο ή επτάνιο. Τα στάδια μέχρι την τελική παραγωγή του PP περιλαμβάνουν διεργασίες διαχωρισμού και ανάκτησης του προπυλενίου που δεν αντέδρασε, καθαρισμός σε νερό, φυγοκεντρικό διαχωρισμό κ.α. για τις μετέπειτα διαδικασίες επεξεργασίας.

### **Πολυμερισμός μάζας**

Σε αντίθεση με τον πολυμερισμό διαλύτη σε αυτή τη μέθοδο δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης διαλυτών εξάνιου ή επτανίου. Η πίεση σε αυτή τη μέθοδο παραγωγής κυμαίνεται από 2 έως 4 MPa και η θερμοκρασία από 50 έως 80°C. Η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε υγροποιημένο προπυλένιο το οποίο λειτουργεί ως αραιωτικό. Το υγροποιημένο προπυλένιο είναι ο μόνος διαλύτης που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μέθοδο παραγωγής, έτσι δεν απαιτείται ανάκτηση διαλυτών κάτι που οδηγεί σε μείωση του κόστους. Ο πολυμερισμός μάζας ήταν η συνηθισμένη διαδικασία παραγωγής δεύτερης γενιάς και χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα και αποτελεί μία πιο απλή διαδικασία σε σχέση με της πρώτης γενιάς.

## **1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

### **Αυτοκινητοβιομηχανία**

Το PP έχει μεγάλη παρουσία στα οχήματα. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται στις μπαταρίες και στις σωληνώσεις κλιματισμού. Δεδομένου ότι το PP θεωρείται ως το ελαφρύτερο θερμοπλαστικό λόγω της χαμηλής του πυκνότητας, 0,9 g/mL, μεγάλο μέρος των πλαστικών σε νέα αυτοκίνητα είναι από PP επειδή οι εταιρείες τείνουν να μειώνουν το συνολικό βάρος των αυτοκινήτων τους. Επίσης, διάφορα εσωτερικά και εξωτερικά εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα εξ' ολοκλήρου από ενώσεις PP ή PP. Ένα ειδικό

γνωστό υλικό που παράγεται από PP και ονομάζεται θερμοπλαστική ολεφίνη (TPO) χρησιμοποιείται σε προφυλακτήρες αυτοκινήτων (3).

### **Ιατρικές εφαρμογές**

Το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται σε διάφορες ιατρικές εφαρμογές λόγω της υψηλής χημικής και βακτηριακής αντοχής. Επίσης, παρουσιάζει καλή αντοχή στην αποστείρωση με ατμό. Οι σύριγγες μίας χρήσης είναι η πιο κοινή ιατρική εφαρμογή του PP. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν ιατρικά φιαλίδια, διαγνωστικές συσκευές, μπουκάλια δειγμάτων και χαπιών (2).

### **Ίνες και υφάσματα**

Ένας μεγάλος όγκος PP χρησιμοποιείται στην αγορά ως ίνες και υφάσματα σε ένα πλήθος εφαρμογών. Για παράδειγμα τα σχοινιά και οι σπάγγοι από PP είναι πολύ ανθεκτικά στην υγρασία και επομένως κατάλληλα για θαλάσσιες εφαρμογές (2).

### **Καταναλωτικά αγαθά**

Το PP χρησιμοποιείται σε πολλά οικιακά προϊόντα και καταναλωτικά αγαθά, όπως ημιδιαφανή εξαρτήματα, οικιακά σκεύη, έπιπλα, συσκευές, αποσκευές, παιχνίδια κ.λπ.(2).

### **Εφαρμογές συσκευασίας**

Η χαμηλή διαπερατότητα, η υψηλή αντοχή, η εξαιρετική διαφάνεια των λεπτών υμενίων PP και το χαμηλό κόστος το καθιστούν ιδανικό για χρήση σε συσκευασίες τροφίμων, σε κιβώτια, σε μπουκάλια, σε γλάστρες κλπ. (2).

### **Έγχυση με εμφύσηση**

Το PP χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων με την διαδικασία της έγχυσης με εμφύσηση. Η βασική αρχή της διαδικασίας χύτευσης με εμφύσηση είναι η παραγωγή ενός κοίλου αντικειμένου με την εμφύσηση θερμοπλαστικού με ζεστό αέρα. Ένας θερμοπλαστικός κοίλος σωλήνας ο οποίος έχει θερμανθεί τοποθετείται μέσα σε ένα κλειστό καλούπι. Στη συνέχεια γίνεται η εμφύσηση του αέρα και παίρνει το τελικό σχήμα. Τα μπουκάλια και τα βάζα είναι τα κύρια προϊόντα της διαδικασίας χύτευσης με εμφύσηση. Τυπικές εφαρμογές είναι οι φιάλες νερού, οι φιάλες σαμπουάν και οι συσκευασίες λιπαντικών / παρασιτοκτόνων (3).



### **Θερμική μορφοποίηση σε φύλλα**

Η διαδικασία θερμικής μορφοποίησης περιλαμβάνει τη θέρμανση ενός θερμοπλαστικού φύλλου στο σημείο τήξης του ή και υψηλότερη και στη συνέχεια αυτό παίρνει με την χρήση μηχανικών μέσων το επιθυμητό σχήμα. Οι διαφορές μεταξύ PP και πολυστυρενίου για την παραγωγή συσκευασιών βρίσκεται στο ότι οι ρητίνες PP είναι πιο ανθεκτικές στην παρουσία λιπαρών ουσιών σε σχέση με τις ρητίνες πολυστυρενίου. Το PP παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκαμψία και σκληρότητα από το πολυστυρένιο. Επίσης, το PP έχει χαμηλότερο ειδικό βάρος από το πολυστυρένιο κάτι που μας επιτρέπει να κατασκευάζουμε δοχεία ελαφρύτερα με το ίδιο πάχος και σχήμα (3).

### **Έγχυση σε καλούπι (Injection molding)**

Σε αυτή τη διαδικασία, οι κόκκοι του πολυμερούς θερμαίνονται μέχρι το σημείο τήξης. Κατόπιν, το τετηγμένο υλικό εγχύεται σε ένα κλειστό καλούπι. Το καλούπι αποτελείται κανονικά από δύο μισά που συγκρατούνται μαζί υπό πίεση. Στη συνέχεια, το εγχυόμενο υλικό αφήνεται να ψυχθεί και να στερεοποιηθεί στο καλούπι. Η χύτευση με έγχυση είναι η καλύτερη επιλογή για την παραγωγή δοχείων διαφόρων και περίπλοκων σχημάτων όπως π.χ τα μπουκάλια νερού (3).

## **1.6 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**

Το PP είναι 100% ανακυκλώσιμο. Τα καλώδια και οι μπαταρίες είναι μερικά προϊόντα που μπορούν να γίνουν από ανακυκλωμένο πολυπροπυλένιο (rPP). Η διαδικασία ανακύκλωσης PP περιλαμβάνει κυρίως την τήξη πλαστικών αποβλήτων στους 250°C ακολουθούμενη από απομάκρυνση διάφορων προσμίξεων υπό την παρουσία κενού. Στη συνέχεια στερεοποιείται στους 140°C. Το ανακυκλωμένο PP μπορεί να αναμιχθεί με PP έως και 50%. Η κύρια πρόκληση στην ανακύκλωση του PP σχετίζεται με την ποσότητα που ανακυκλώνεται. Σήμερα ανακυκλώνεται σχεδόν το 1% των φιαλών PP σε σύγκριση με το ποσοστό ανακύκλωσης 98% των φιαλών PET και HDPE. Η χρήση του PP θεωρείται ασφαλής διότι δεν έχει κάποια αξιοσημείωτη επίδραση στην υγεία από άποψη χημικής τοξικότητας (2).

## **2. ΕΞΩΘΗΤΗΣ**

### **2.1 ΕΞΩΘΗΣΗ**

Η εξώθηση αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες διεργασίες μορφοποίησης καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση και για άλλες τεχνικές διαμόρφωσης ( π.χ. για τεχνικές για την παραγωγή συνθέτων υλικών). Κατά την εξώθηση το υλικό εξαναγκάζεται να περάσει από ένα καλούπι το οποίο του δίνει και το επιθυμητό σχήμα. Το υλικό πριν περάσει στο καλούπι ομογενοποιείται μέσα σε έναν κύλινδρο όπου υπάρχει ένας περιστρεφόμενος κοχλίας. Αρχικά, το υλικό που είναι συνήθως κόκκοι πολυμερούς διοχετεύονται στη χοάνη. Η χοάνη στηρίζεται πάνω σε ένα θερμαινόμενο κοίλο κύλινδρο από χάλυβα. Η περιστροφή του κοχλίου ωθεί το υλικό προς τα εμπρός, μέσα στον κύλινδρο. Καθώς το υλικό κινείται προς το μπροστινό μέρος του κυλίνδρου, ομογενοποιείται λόγω της συμπίεσης από τον περιστρεφόμενο κοχλία, της θερμότητας που προκαλείται από τα εξωτερικά θερμαντικά στοιχεία και της τριβής η οποία προκαλείται μέσω της ιξώδους ροής. Στη συνέχεια το πολυμερές περνάει μέσα από ειδικά φίλτρα όπου συγκρατούνται τα ξένα σώματα και κομμάτια πλαστικού τα οποία μπορεί να μην έχουν λιώσει. Στο τέλος το υλικό διοχετεύεται μέσα σε ένα καλούπι (μήτρα). Η μήτρα είναι συνήθως από χάλυβα και έχει το σχήμα του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια το προϊόν απομακρύνεται από το καλούπι και ψύχεται με αέρα ή νερό. Μόλις κρυώσει, το προϊόν μπορεί να τυλιχτεί, να κοπεί σε τμήματα, να συσκευαστεί ή επεξεργαστεί περαιτέρω (6), (7).

### **2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΞΩΘΗΤΗΣ**

Ο μηχανικός Charles Hancock και οι συνεργάτες του εφάρμοσαν για πρώτη φορά την εξώθηση το 1820. Το 1870, αναπτύχθηκε η πρώτη μηχανή εξώθησης και το 1890 κατασκευάστηκε για εμπορική χρήση στις ΗΠΑ. Στην Ευρώπη ο Francis Shaw και ο Paul Troester ανέπτυξαν το σύστημα εξώθησης για εμπορική εκμετάλλευση το 1900. Ο πρώτος σύγχρονος εξωθητής αναπτύχθηκε στις αρχές του 19ου αιώνα. Η πρώτη εξώθηση θερμοπλαστικού υλικού αναπτύχθηκε το 1935 από τον Paul Troester και τη σύζυγό του Ashley Gerhoff στο Αμβούργο της Γερμανίας. Ο Roberto Colombo της Lampreupdatedusa ανέπτυξε τους πρώτους εξωθητές διπλού κοχλίου στην Ιταλία.

Η τεχνολογία της εξώθησης μείωσε αποτελεσματικά την πλαστική παραμόρφωση και αύξησε την παραγωγή διαφόρων θερμοπλαστικών πολυμερών. Από το 1960 και μετά οι συνεχείς εξελίξεις στην κατασκευή εξωθητών τους έδωσαν τη δυνατότητα να

χρησιμοποιηθούν για τη μορφοποίηση ενός μεγάλου φάσματος πολυμερών. Ο βασικός σχεδιασμός των μηχανημάτων εξώθησης δεν άλλαξε μετά. Κάθε μηχανή εξώθησης ακολουθεί την ίδια αρχή.

Το σύστημα εξώθησης πλέον είναι πλήρως αυτοματοποιημένο και βρίσκει ποίκιλες εφαρμογές, από σωλήνες έως αντικείμενα που εκτυπώνονται σε τρισδιάστατο εκτυπωτή (8).

## 2.3 ΤΥΠΟΙ ΕΞΩΘΗΤΩΝ

Οι βασικοί τύπου εξωθητών είναι οι:

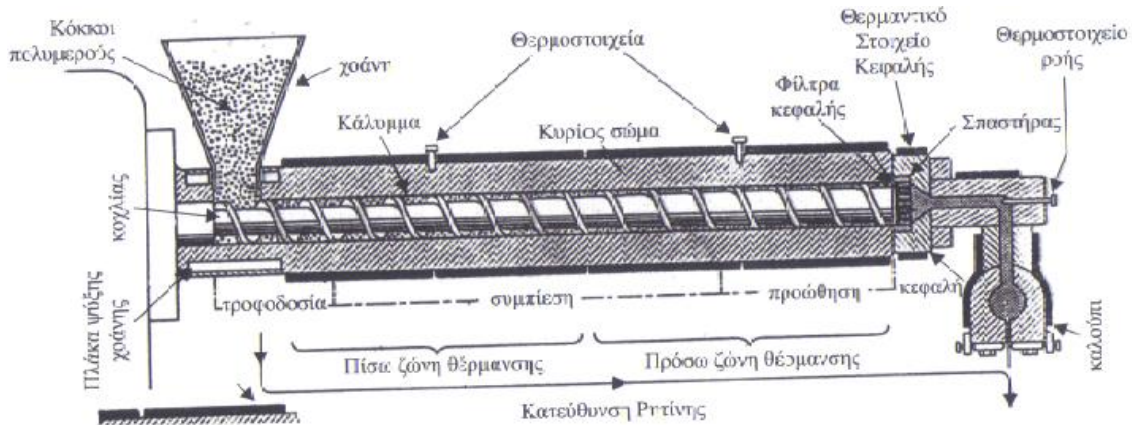
- Μονού κοχλία
- Διπλού κοχλία
- Πολλών κοχλιών

### Εξωθητής μονού κοχλία

Οι **εξωθητές μονού κοχλία** (Εικ.2.1) αποτελούνται από έναν περιστρεφόμενο κοχλία μέσα σε έναν κύλινδρο. Σε αυτό τον τύπο εξωθητή διακρίνονται τα εξής μέρη: α) το σύστημα μετάδοσης κίνησης, β) το κύριο σώμα, γ) το σύστημα μεταφοράς θερμότητας και ελέγχου της θερμοκρασίας και δ) την μήτρα εξώθησης.

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης αποτελείται από ένα ηλεκτροκινητήρα και από ένα κιβώτιο ταχυτήτων και είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των στροφών του κοχλία. Το σύστημα μεταφοράς θερμότητας και ελέγχου της θερμοκρασίας αποτελείται από έναν αριθμό θερμαντικών και ψυκτικών στοιχείων (ανεμιστήρων), ένα σύστημα ψύξης της περιοχής της τροφοδοσίας καθώς και από θερμοστοιχεία τα οποία είναι υπεύθυνα να ενεργοποιούν τα θερμαντικά και ψυκτικά στοιχεία της διάταξης. Το κύριο σώμα του εξωθητή αποτελείται από τον κοχλία και από έναν κύλινδρο ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα. Ο κοχλίας είναι αυτός που μέσω της περιστροφής του προωθεί το προϊόν το οποίο τήκεται, συμπιέζεται και εξέρχεται στη μήτρα (9).

Ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα αυτών των εξωθητών είναι το χαμηλό κόστος, ο απλός σχεδιασμός, η αξιοπιστία και ο καλύτερος λόγος απόδοσης / κόστους.



**Εικόνα 2.1:** Διάταξη μονοκόχλιου εξωθητή (9).

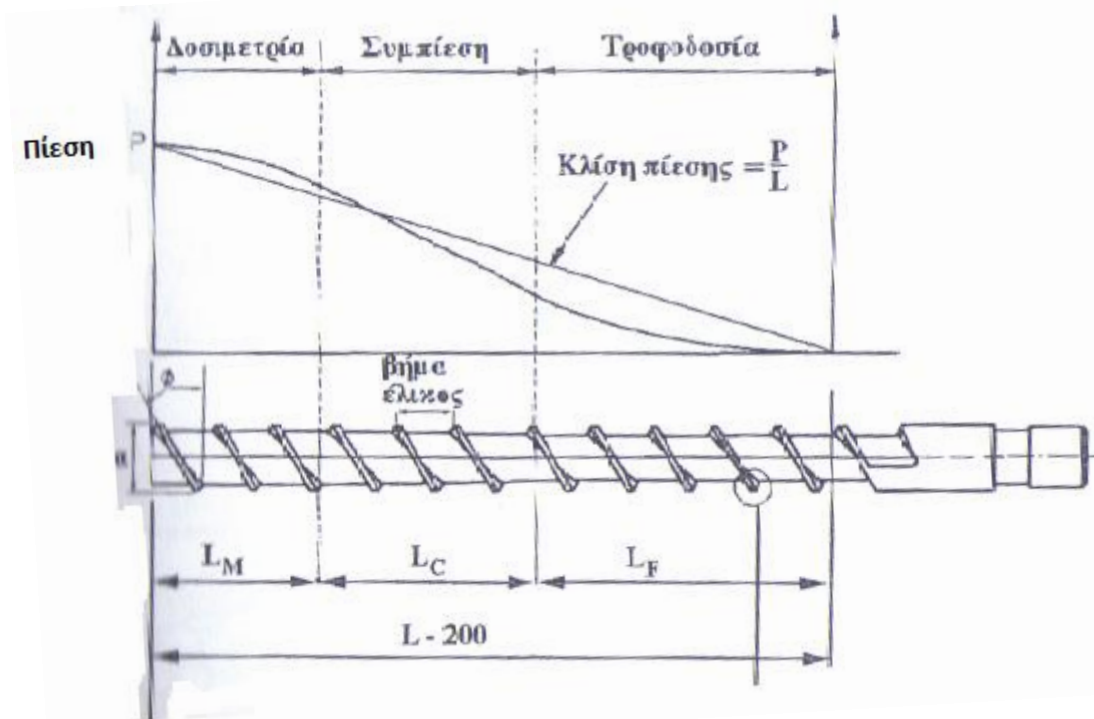
Στον κοχλία διακρίνονται τρεις ζώνες (Εικ.2.2):

- Η ζώνη τροφοδοσίας
- Η ζώνη συμπίεσης
- Η ζώνη δοσιμετρίας

Στη ζώνη τροφοδοσίας το υλικό προθερμαίνεται και μεταφέρεται στην επόμενη ζώνη. Ο σχεδιασμός αυτού του τμήματος του κοχλία είναι σημαντικός διότι η ποσότητα του υλικού που φτάνει στην ζώνη δοσιμετρίας θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε να μην υπάρχουν κενές περιοχές ενώ παράλληλα η ποσότητα του υλικού δεν θα πρέπει να είναι τόση που να προκαλεί υπερφόρτωση. Για τον σχεδιασμό αυτής της ζώνης οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η φύση και η κοκκομετρία του υλικού, η γεωμετρία του κοχλία και οι τριβές που αναπτύσσονται στον κοχλία και στον κύλινδρο.

Στη ζώνη συμπίεσης το βάθος της αύλακος του κοχλία μειώνεται προς την κατεύθυνση της εξόδου του εξωθητή. Αυτό οδηγεί στην συμπίεση του υλικού. Λόγω αυτής της συμπίεσης ο αέρας μεταξύ των κόκκων εξαναγκάζεται να εξέλθει από το άνοιγμα της τροφοδοσίας ενώ παράλληλα βελτιώνεται η μεταφορά θερμότητας λόγω της μείωσης του πάχους του υλικού.

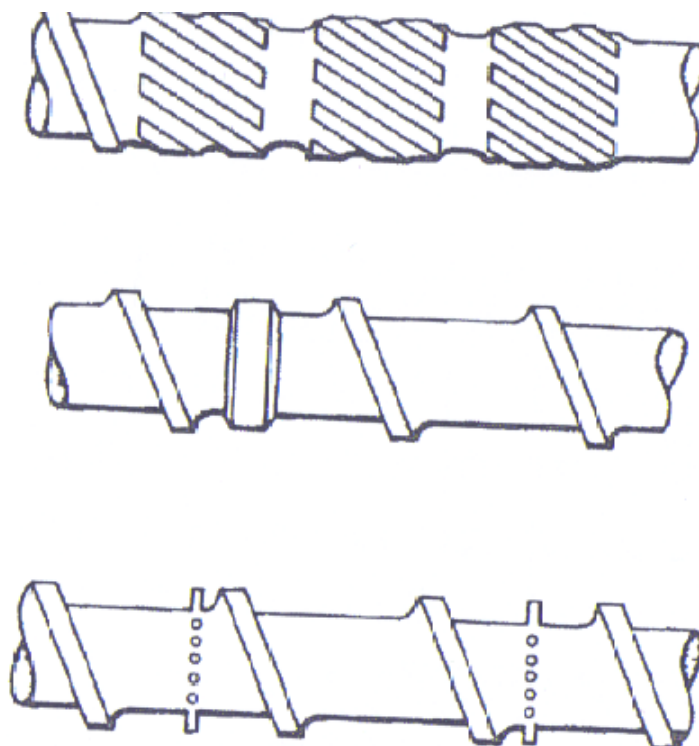
Στην τελευταία ζώνη, τη ζώνη δοσιμετρίας, το βάθος της αύλακος του κοχλία είναι σταθερό αλλά πολύ μικρότερο σε σχέση με το βάθος στη ζώνη τροφοδοσίας. Στη ζώνη δοσιμετρίας το τήγμα ομογενοποιείται έτσι ώστε να αποκτήσει ομοιόμορφη σύσταση, θερμοκρασία και πίεση και στη συνέχεια οδηγείται προς τη μήτρα εκβολής(9).



**Εικόνα 2.2:** Τυπικές ζώνες ενός μονοκόχλιου εξωθητή όππου:  $L_F$  είναι το μήκος της ζώνης τροφοδοσίας,  $L_C$  το μήκος της ζώνης συμπίεσης και  $L_M$  το μήκος της ζώνης δοσιμετρίας(9).

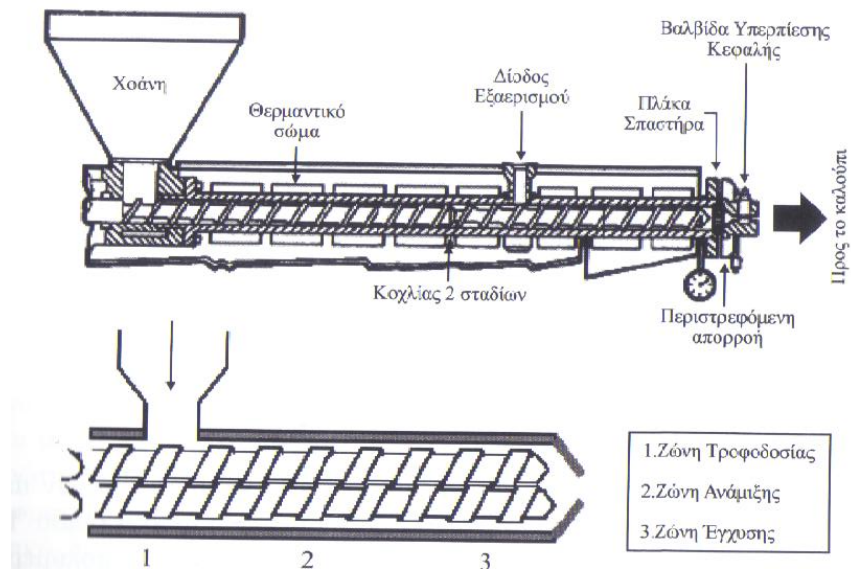
Το μήκος των ζωνών σε έναν κοχλία εξαρτάται από το κατεργαζόμενο υλικό. Για παράδειγμα στο νάυλον η τήξη πραγματοποιείται πολύ γρήγορα κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα η συμπίεση του τήγματος να γίνεται με ένα μόνο βήμα της έλικας του κοχλία. Αντίθετα το PVC είναι ευαίσθητο στη θερμότητα οπότε η ζώνη συμπίεσης καλύπτει σχεδόν όλο το μήκος του κοχλία.

Εκτός από τις παραπάνω ζώνες μπορεί να προστεθούν και άλλες ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε κατεργασίας (Εικ.2.3). Για παράδειγμα εάν απαιτείται είναι δυνατόν να υπάρχει μία ζώνη ανάμειξης με μία άτρακτο στη θέση της ζώνης δοσιμετρίας. Κατά την λειτουργία αυτή η περιοχή τροφοδοτείται με τήγμα το οποίο ομογενοποιείται από την άτρακτο(9).



**Εικόνα 2.3:** Διάφοροι κοχλίες που χρησιμοποιούνται στην εξώθηση (9).

Ένας εναλλακτικός σχεδιασμός του μονοκόχλιου εξωθητή είναι μία διάταξη η οποία επιτρέπει την απαέρωση του τήγματος πριν την εξώθησή του στη μήτρα (Εικ.2.4). Η ανάγκη αυτή είναι μεγάλη στην περίπτωση πολυμερών τα οποία προσροφούν εύκολα υγρασία από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Εάν δεν γίνει απαέρωση τότε το τελικό προϊόν θα είναι κακής ποιότητας. Ο απαερούμενος εξωθητής αποτελείται από δύο βαθμίδες οι οποίες διαχωρίζονται από την περιοχή απαέρωσης. Στη πρώτη βαθμίδα το υλικό τήκεται, συμπιέζεται και ομογενοποιείται. Στη συνέχεια η πίεση του τήγματος μειώνεται σε μία πίεση η οποία είναι μικρότερη ή ίση της ατμοσφαιρικής. Η αποσυμπίεση αυτή επιτρέπει την διαφυγή των αερίων μέσω μίας ειδικής πόρτας απαέρωσης του κυλίνδρου. Στη δεύτερη βαθμίδα υπάρχει μία δεύτερη ζώνη συμπίεσης η οποία εμποδίζει τον εγκλωβισμό των απαερίων. Μετά από αυτή τη ζώνη ακολουθεί μία δεύτερη ζώνη δοσιμετρίας όπου γίνεται η τελική ομοιογενοποίηση πριν την εξώθηση του τήγματος στη μήτρα (9).



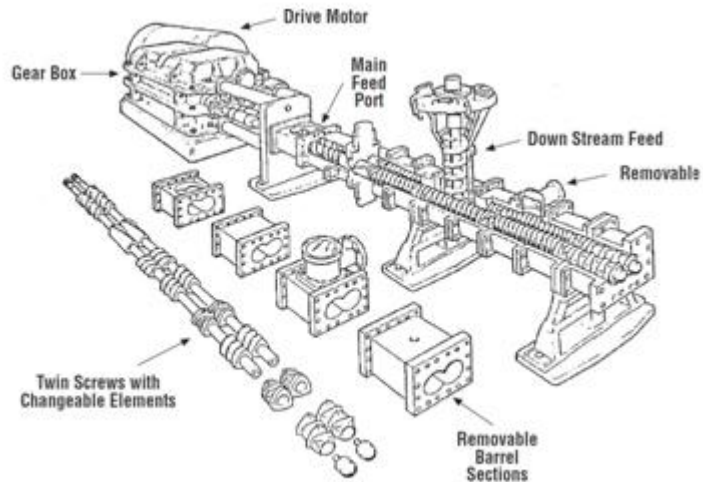
**Εικόνα 2.4:** Εξωθητής με εξαέρωση(6).

Συχνά στον εξωθητή μετά τον κοχλία και πριν τη μήτρα υπάρχει ένα πλέγμα ή ένα φίλτρο ο ρόλος του οποίου είναι να εμποδίζει την διέλευση στερεών ή άλλου ανομοιογενούς υλικού με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η φραγή της εξόδου ή η δημιουργία ανωμαλιών στο τελικό προϊόν.

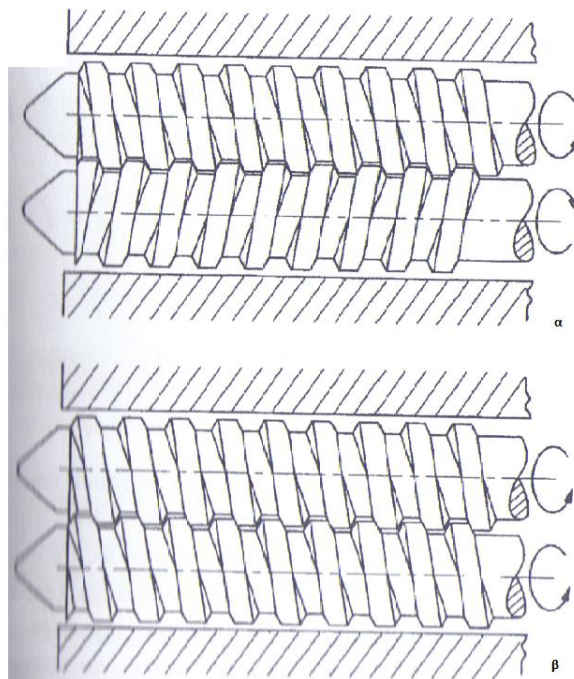
### Διπλοκόχλιοι εξωθητές

Οι **διπλοκόχλιοι εξωθητές** αποτελούνται από δύο κοχλίες μέσα στον κύλινδρο (Εικ.2.5). Ανάλογα με την περιστροφή των κοχλιών τους διακρίνουμε σε ομόστροφους εάν περιστρέφονται με την ίδια φορά και σε ετερόστροφους εάν περιστρέφονται κατά την αντίθετη φορά (Εικ.2.6) Οι κοχλίες επίσης διακρίνονται σε συμπλεκόμενους και σε εφαπτόμενους. Εφαπτόμενοι ονομάζονται οι κοχλίες οι σπείρες των οποίων εφάπτονται μεταξύ τους ενώ συμπλεκόμενοι ονομάζονται οι κοχλίες όπου οι σπείρες του ενός εισχωρούν στην αύλακα του άλλου κοχλία. Οι συμπλεκόμενοι κοχλίες με τη σειρά τους διακρίνονται σε συζευκτούς και σε ασύζευκτους (Εικ.2.7)(9).





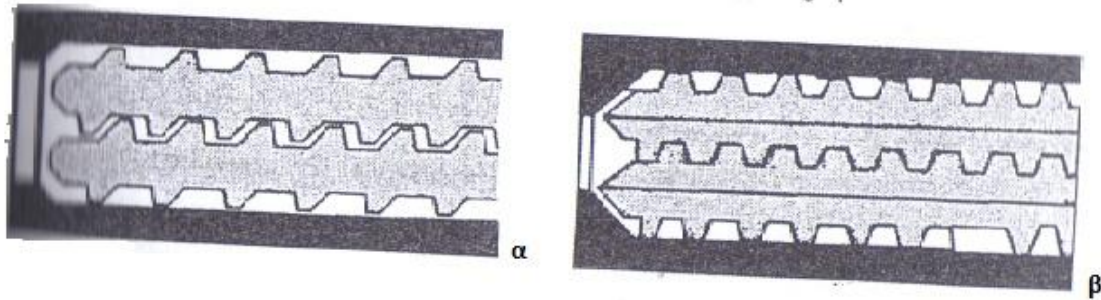
**Εικόνα 2.4:** Εξωθητής διπλού κοχλία (10).



**Εικόνα 2.5:** Ετερόστροφοι και ομόστροφοι δίδυμοι κοχλίες(9).

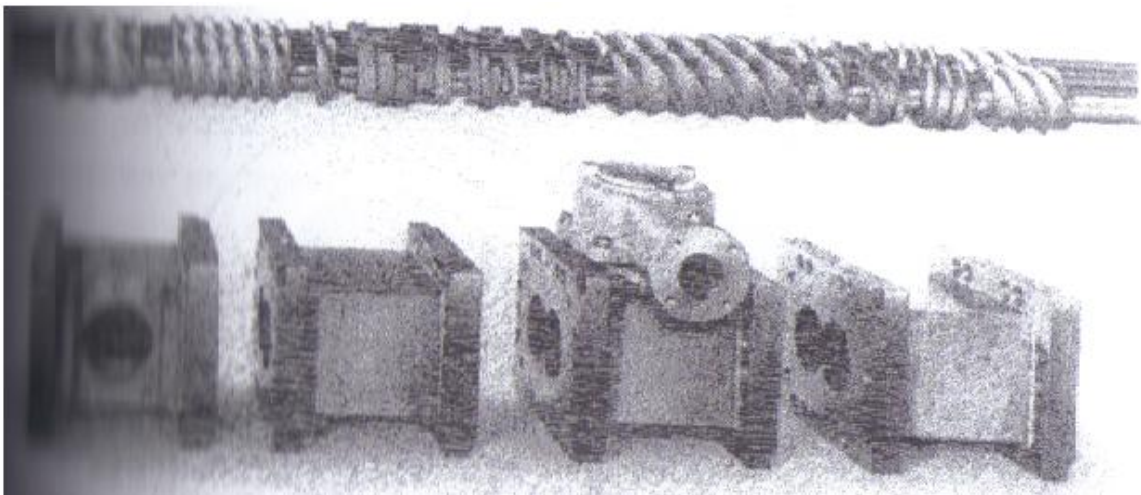
Στους συζευκτούς κοχλίες δεν υπάρχει χώρος ανάμεσα στις σπείρες των δύο κοχλιών επομένως το πολυμερές περιορίζεται στον χώρο ανάμεσα στους κοχλίες και στον κύλινδρο(9).





**Εικόνα 2.6:** Ασύζευκτοι και συζευκτοί δίδυμοι κοχλίες (9).

Οι διπλοκόχλιοι εξωθητές διακρίνονται επίσης σε ενιαίους και τμηματικούς. Ο ενιαίος είναι ένα σώμα ενώ οι τμηματικοί αποτελούνται από διάφορα κομμάτια τα οποία συναρμολογούνται πάνω σε άξονες (Εικ.2.8). Στους ενιαίους εξωθητές η διάταξη των σπειρών είναι δεδομένη. Επίσης ο κύλινδρος είναι και αυτός ενιαίος. Στους τμηματικούς κοχλίες ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την διάταξη των σπειρών. Στους τμηματικούς ο κύλινδρος είναι διαχωρισμένος σε διάφορα τμήματα. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά δίνουν στον τμηματικό εξωθητή μεγαλύτερη ευελιξία.



**Εικόνα 2.7:** Τμήματα κοχλιών και κυλίνδρου σε διπλοκόχλιο τμηματικό εξωθητή (9).

Τέλος υπάρχουν και εξωθητές πολλαπλών κοχλιών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ακόμα καλύτερη ποιότητα τελικού προϊόντος.

## 2.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΟΚΟΧΛΙΟΥ ΚΑΙ ΕΞΩΘΗΤΗ ΔΙΠΛΟΥ ΚΟΧΛΙΑ

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εξωθητή διπλού κοχλία σε σχέση με τον εξωθητή μονού κοχλία είναι τα εξής (7),(9):

### Πλεονεκτήματα

- Αυξημένη παροχή σε χαμηλό αριθμό στροφών
- Βελτιωμένο έλεγχο της εξώθησης του υλικού
- Μειωμένη απώλεια ενέργειας λόγω ιξώδους θερμότητας
- Χαμηλότερες απαιτήσεις σε ισχύ
- Αυξημένη αποτελεσματικότητα στην ανάμειξη
- Ικανότητα κατεργασίας δύσκολων στο να τροφοδοτηθούν υλικών

### Μειονεκτήματα

- Μεγαλύτερο κόστος
- Δεν μπορεί να προσεγγίσει υψηλή τιμή πίεσης

## 2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΞΩΘΗΤΩΝ

Οι εξωθητές κατηγοριοποιούνται χρησιμοποιώντας τρεις αριθμούς π.χ. 1-60-24. Ο πρώτος αριθμός προσδιορίζει τον αριθμό των κοχλιών που έχει ο εξωθητής, ο δεύτερος αριθμός δείχνει τη διάμετρο του κοχλία σε mm και ο τρίτος αριθμός είναι το πραγματικό μήκος του κοχλία ως πολλαπλάσιο της διαμέτρου του(10). Επομένως, στο δεδομένο παράδειγμα, περιγράφεται ένας εξωθητής που αποτελείται από έναν κοχλία με διάμετρο 60 mm και μήκος 24\*60 (δηλ., Λόγο L / D ίσο με 24/1).

## 2.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΩΘΗΣΗ

Οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διεργασία της εξώθησης έτσι ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα κατά την διεργασία και αστοχίες στο τελικό προϊόν είναι(8), (9):

## **Πυκνότητα του πολυμερούς**

Η πυκνότητα ορίζεται ως το βάρος ανά μονάδα όγκου. Στην εξώθηση είναι κρίσιμες τρεις διαφορετικές πυκνότητες:

- Πυκνότητα ακατέργαστου υλικού
- Πυκνότητα τήγματος στον εξωθητή
- Πυκνότητα του στερεού πολυμερούς

Η πυκνότητα των κόκκων του πολυμερούς (bulk density) είναι σημαντική για τον προσδιορισμό του κατά πόσο ενδέχεται να προκύψουν πιθανά προβλήματα τροφοδοσίας. Μία πυκνότητα κάτω από 320,37 χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο μπορεί να μην ρέει καλά από τη χοάνη τροφοδοσίας στον εξωθητή.

## **Στρεπτική ροπή**

Η στρεπτική ροπή είναι απλά η δύναμη που απαιτείται για την περιστροφή οποιουδήποτε αντικειμένου μέσω ενός άξονα. Η δύναμη και η απόσταση μεταξύ των αξόνων λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της ροπής. Είναι ένα μέγεθος πολύ σημαντικό όσον αφορά την επιλογή του κινητήρα.

## **Τριβή**

Όταν δύο επιφάνειες έρχονται σε επαφή και υπάρχει κάποια σχετική κίνηση, δημιουργείται μια αντίθετη δύναμη η οποία ονομάζεται τριβή. Η τριβή μεταξύ του υλικού του κοχλία και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου είναι πολύ σημαντική για τη διατήρηση της ποιότητας του εξωθημένου προϊόντος. Η θερμότητα που παράγεται από την τριβή λιώνει τους κόκκους του πολυμερούς. Οι ιδιότητες της επιφάνειας του κυλίνδρου και του κοχλία καθορίζουν και το μέγεθος της τριβής. Εάν η επιφάνεια είναι πολύ τραχιά τότε η τριβή είναι μεγαλύτερη στις επιφάνειες αυτές.

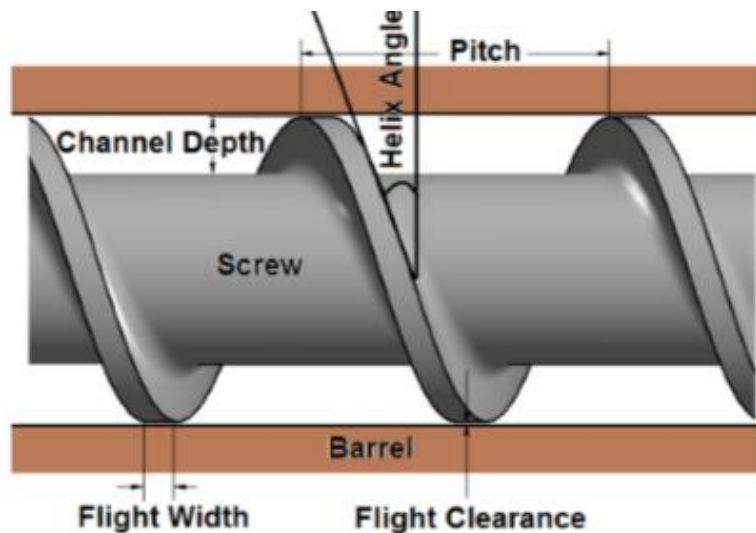
## **Λόγος μήκους/διάμετρο (L / D)**

Αυτός ο λόγος είναι πολύ σημαντικός στο σχεδιασμό των κοχλιών. Ο λόγος αυτός γενικά κυμαίνεται από 20 έως 32 για τα θερμοπλαστικά ενώ για τα ελαστομερή κυμαίνεται μεταξύ 4 και 7. Η διάμετρος του κοχλία μπορεί να παίρνει τιμές μικρότερες των 20 mm για εργαστηριακούς εξωθητές και μπορεί να φτάνει μέχρι και τα 750 mm για τους εξωθητές που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία. Η τελική εφαρμογή του κοχλία καθορίζει και το μήκος του. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του κοχλία τόσο μεγαλύτερη

είναι και η απόδοση της εγκατάστασης ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ομοιομορφία στο τήγμα και οι διαστάσεις του εξερχόμενου προϊόντος είναι πιο ακριβείς.

### Λόγος συμπίεσης

Ο λόγος του βάθους της αύλακος (Εικ.2.9) στη ζώνη τροφοδοσίας προς το βάθος της αύλακος στη ζώνη δοσιμετρίας ονομάζεται λόγος συμπίεσης. Ο λόγος αυτός θεωρείται πολύ σημαντική παράμετρος στον τομέα του σχεδιασμού των κοχλιών. Ο λόγος συμπίεσης κυμαίνεται συνήθως από 1,5:1 έως 4,5:1 για τα περισσότερα θερμοπλαστικά υλικά. Ο υψηλότερος λόγος συμπίεσης έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της διατμητικής θερμότητας που προσδίδεται στη ρητίνη και ομοιομορφία θερμότητας του τήγματος. Για την επιλογή του κατάλληλου λόγου συμπίεσης πρέπει να συνεκτιμηθεί η κοκκομετρία της τροφοδοσίας, το ιξώδες του τήγματος και η θερμική σταθερότητα του πολυμερούς.



**Εικόνα 2.8:** Βασικές διαστάσεις του κοχλία(8).

### Δείκτης ροής τήγματος

Ο δείκτης ροής τήγματος (MFI, MFR, MVR) είναι ένα ειδικό όργανο μέτρησης του ρυθμού ροής τήγματος θερμοπλαστικών υπό ορισμένες συνθήκες. Ο ρυθμός ροής τήγματος θερμοπλαστικών αναφέρεται στη μάζα ή τον όγκο τήξης του τήγματος που διέρχεται από το πρότυπο τριχοειδές κάθε 10 λεπτά σε μια ορισμένη θερμοκρασία και φορτίο. Εκφράζεται από την τιμή MFR (MI) ή MVR, η οποία μπορεί να διακρίνει τα χαρακτηριστικά ιξώδους ροής των θερμοπλαστικών στην τετηγμένη κατάσταση. Έχει

μεγάλη σημασία για τη διασφάλιση της ποιότητας πρώτων υλών και προϊόντων θερμοπλαστικών και χημικών ινών (11).

## **Ψύξη**

Η ψύξη με αέρα είναι μια μέθοδος αφαίρεσης θερμότητας. Λειτουργεί με την αύξηση της ροής του αέρα πάνω από το προς ψύξη αντικείμενο. Ο αέρας πρέπει να είναι πιο ψυχρός από το αντικείμενο ή την επιφάνεια από την οποία πρέπει να αφαιρεθεί θερμότητα. Η ψύξη του αέρα μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ανεμιστήρα.

## **2.7 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΞΩΘΗΣΗΣ**

### **Παραγωγή κόκκων**

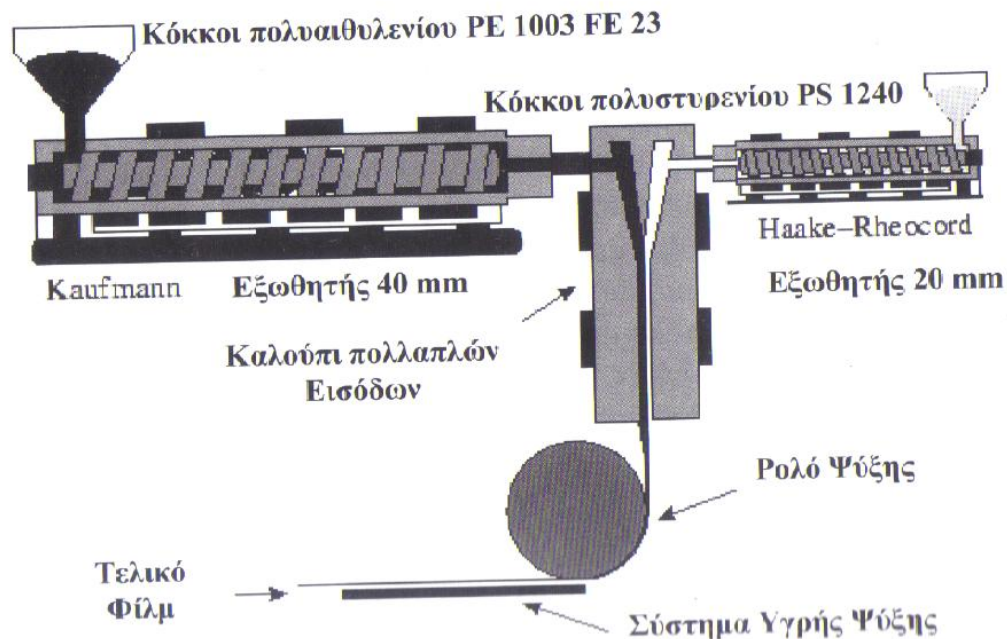
Το πολυμερές παράγεται με την μορφή κορδονιού διαμέτρου 3 mm και στη συνέχεια περνά από μία δεξαμενή νερού όπου και ψύχεται και τέλος κόβεται σε κόκκους με μήκος που κυμαίνονται από 2 έως 4 mm(6).

### **Μορφοποίηση με εμφύσηση**

Με την μορφοποίηση με εμφύσηση παράγονται κοίλα εξαρτήματα όπως φιάλες. Ο εξωθητής παράγει την πρώτη ύλη η οποία είναι κάποιο λιωμένο θερμοπλαστικό όπως το PVC και το PET. Στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός ελαστικού σωλήνα στον οποίο γίνεται εμφύσηση αέρα αυτό μεγεθύνεται στις διαστάσεις του καλούπιού. Τέλος, το πολυμερές στο καλούπι ρέει και παίρνει την μορφή του (6).

### **Επικάλυψη με εξώθηση**

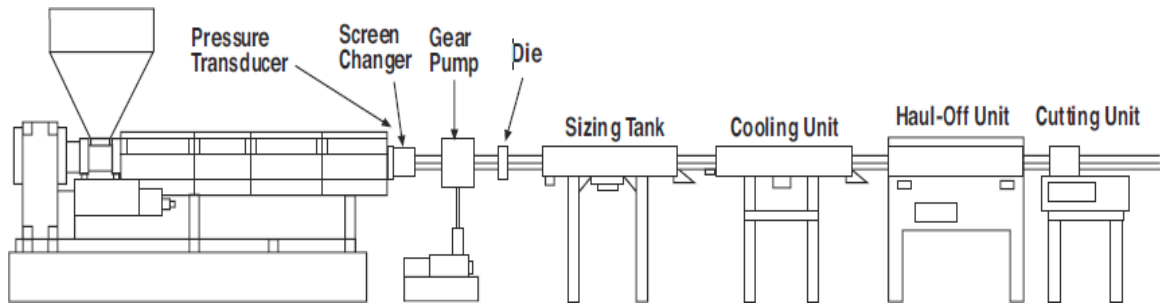
Πολλές φορές είναι επιθυμητή η επικάλυψη κάποιων φύλλων από άλλο πολυμερές. Το πολυμερές φύλλο εξωθείται και έρχεται σε επαφή με το φύλλο πολυμερούς που πρέπει να επικαλυφθεί. Αυτό το φύλλο παράγεται από έναν παράλληλο εξωθητή. Στη συνέχεια τα δύο αυτά φύλλα περνάνε είτε από περιστρεφόμενους κυλίνδρους είτε από κάποιο καλούπι έτσι ώστε τα δύο φύλλα να διατηρηθούν σε επαφή και το τελικό προϊόν να έχει ομοιόμορφο πάχος (6). Αυτή η διεργασία φαίνεται στην Εικ.2.10.



**Εικόνα 2.9:** Τεχνική επικάλυψης με παράλληλη εξώθηση (6).

### Παραγωγή προφίλ

Προφίλ ανοιχτής ή κοίλης διατομής μπορούν να δημιουργηθούν με την τεχνική της εξώθησης χρησιμοποιώντας ειδικά σχεδιασμένες μήτρες. Τέτοια προϊόντα μπορεί να είναι σωλήνες, ράβδοι, σκελετοί παραθύρων κ.α. Η επιτυχημένη παραγωγή αυτών των προϊόντων εξαρτάται από τον καλό σχεδιασμό της μήτρας εξώθησης. Αυτός ο σχεδιασμός παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες και συνήθως σχεδιάζονται εμπειρικά για να δώσουν προσεγγιστικά το αρχικό σχήμα και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται κατάλληλες διορθωτικές μονάδες για τον ακριβή έλεγχο του τελικού σχήματος (6). Η διάταξη εξώθησης για την παραγωγή προφίλ φαίνεται στην Εικ.2.11.

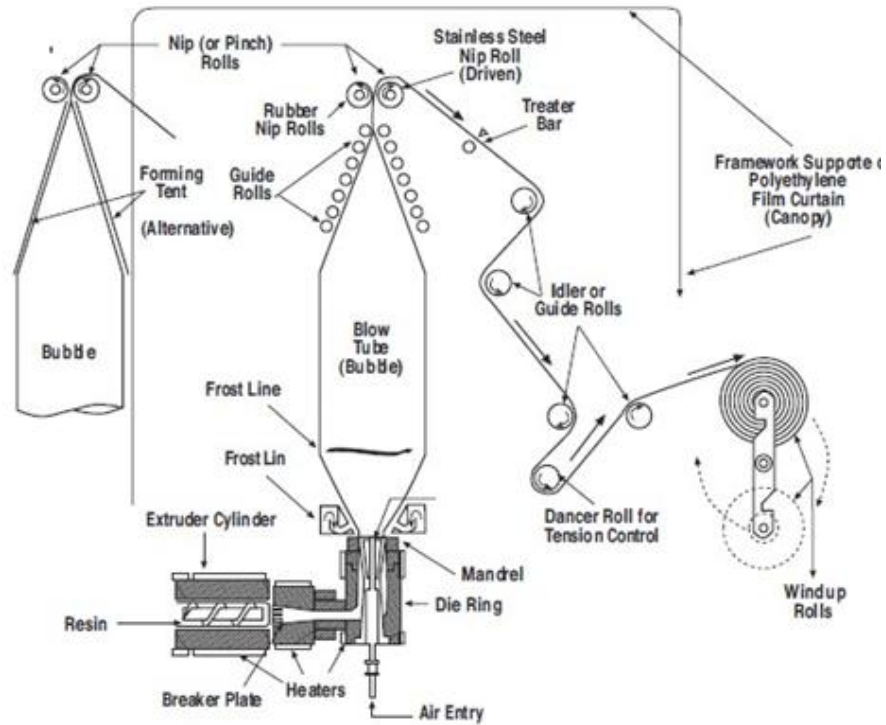


**Εικόνα 2.10:** Διάταξη εξώθησης για την παραγωγή διαφόρων τύπων προφίλ (10).

### **Παραγωγή λεπτών φύλλων με εμφύσηση**

Αυτή η μέθοδος αποτελεί τη συνηθέστερη μέθοδο για την παραγωγή λεπτών φύλλων και περιλαμβάνει τα εξής στάδια: Ο αέρας παραμορφώνει έναν αρχικό λεπτό κυλινδρικό σωλήνα ο οποίος εξέρχεται από τη μήτρα προς έναν κύλινδρο μεγαλύτερης διαμέτρου. Στη συνέχεια το λεπτό φύλλο ψύχεται μέσω ενός ρεύματος αέρα περιμετρικά του κυλίνδρου. Η ψύξη μπορεί επίσης να γίνει είτε με νερό είτε με την επαφή του φύλλου με κάποια ψυχρή μεταλλική επιφάνεια. Ο κύλινδρος στο άλλο άκρο του φράσσεται με κυλίνδρους δίπλωσης και έλξης (9). Τέλος το διπλωμένο φύλλο συλλέγεται και αποθηκεύεται ή υφίσταται περεταίρω επεξεργασία (Εικ.2.12).



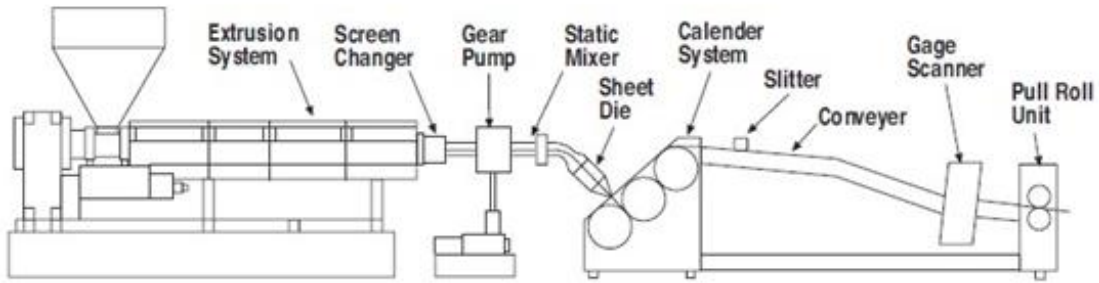


**Εικόνα 2.11:** Διάταξη Παραγωγής ταινιών και φύλλων με εμφύσηση (10).

### **Επίπεδα λεπτά φύλλα**

Κατά την εξώθηση επίπεδου υμενίου (Εικ.2.13), το τήγμα εξωθείται από μία μήτρα ευθείας σχισμής και ψύχεται είτε με νερό είτε σε κυλίνδρους ψύξης. Αμφότερα τα συστήματα είναι ικανά για ταχεία ψύξη της μεμβράνης. Η μήτρα η οποία συνήθως τροφοδοτείται κεντρικά, είναι εξοπλισμένη με θερμαντήρες κατά το μήκος της. Όταν για την ψύξη χρησιμοποιείται ένα λουτρό νερού, η μεταφορά του νερού μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα. Ως εκ τούτου, συνήθως προτιμάται η διαδικασία ψύξης η οποία δεν περιλαμβάνει άμεση επαφή του νερού με την μεμβράνη. Οι κύλινδροι ψύξης πρέπει να έχουν λεία επιφάνεια έτσι ώστε να μην υπάρχουν ατέλειες στο τελικό προϊόν (10).

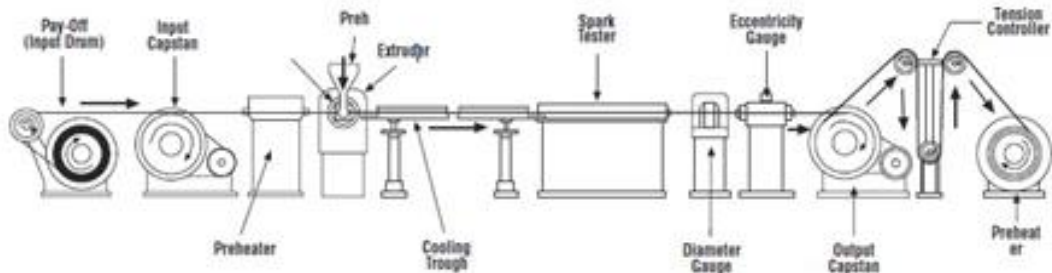




**Εικόνα 2.12:** Διάταξη παραγωγής λεπτών φύλλων (10).

### Μόνωση καλωδίων

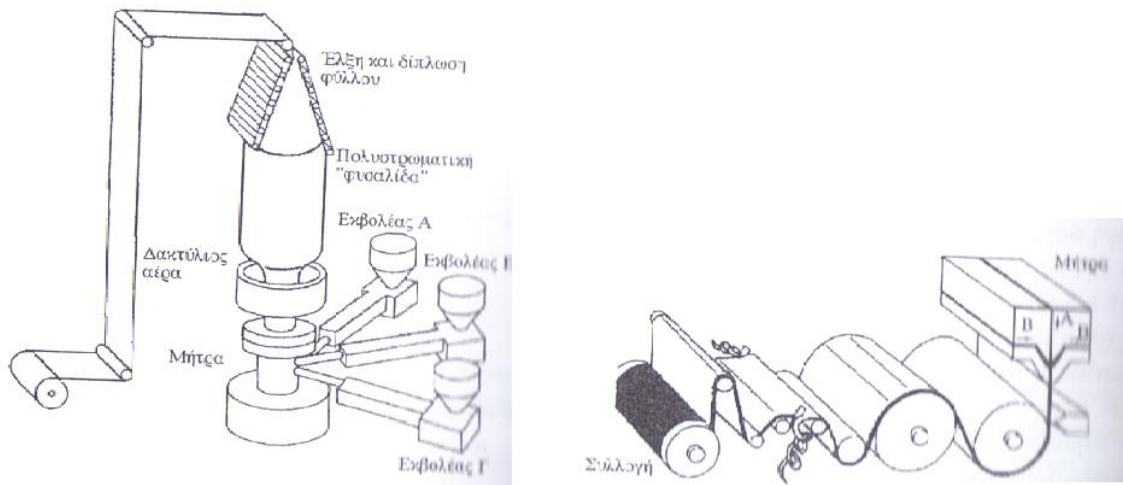
Σε αυτή τη διεργασία ο πυρήνας του καλωδίου (ο χάλυβας στο εσωτερικό του) μέσω ενός άξονα κατευθύνεται στο στόμιο της μήτρας. Εδώ ο πυρήνας έρχεται σε επαφή με λιωμένο πλαστικό. Στη συνέχεια το καλώδιο (ο πυρήνας και η μόνωση) απομακρύνεται από τη μήτρα με ένα προκαθορισμένο πάχος μόνωσης. Αργότερα, διέρχεται από ένα ή περισσότερα λουτρά ψύξης. Η ψύξη πρέπει να είναι βαθμιαία γιατί εάν η μόνωση κρυώσει πολύ γρήγορα τα εξωτερικά στρώματα παγώνουν και συρρικνώνονται με αποτέλεσμα να υπάρχουν κενά μεταξύ της μόνωσης και του πυρήνα (10). Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στην Εικ.2.14.



**Εικόνα 2.13:** Διάταξη μόνωσης καλωδίων (10).

## Μόρφωση με συνεκβολή

Πρόκειται για μια διεργασία η οποία είναι κατάλληλη για την παραγωγή συνεχών μορφών αποτελούμενων από διάφορα στρώματα πολυμερών. Χρησιμοποιούνται τόσο εξωθητές όσο είναι και τα διαφορετικά πολυμερή (Εικ.2.15). Όταν ο λόγος των ιξωδών δύο πολυμερών κυμαίνεται από 2:1 έως 3:1 τότε τα δύο πολυμερή συνδυάζονται πριν από τη μήτρα μορφοποίησης ενώ σε άλλες περιπτώσεις συνδυάζονται πριν την έξοδο της μήτρας αφού έχουν προμορφωθεί ξεχωριστά. Οι μήτρες που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι οι κυκλικές και οι επίπεδες με διατομή σχισμής. Ωστόσο σε αυτή τη τεχνική προκύπτουν προβλήματα με την ρεολογική συμβατότητα των πολυμερών καθώς τα ιξώδη τους μπορεί να διαφέρουν και τάξεις μεγέθους μεταξύ τους. Επίσης μπορεί να προκύψουν προβλήματα τα οποία σχετίζονται με την συγκόλληση των διαφόρων στρωμάτων (6).



**Εικόνα 2.14:** Διάταξη μορφοποίησης με συνεκβολή (6).

## Πολυμερή δίκτυα

Τα πολυμερή δίκτυα χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία για τη συσκευασία φρούτων. Το πολυμερές εξωθείται μέσω σχισμών και κόβεται σε κυκλική μήτρα. Περιστρέφοντας το εξωτερικό της μήτρας, σε σχέση με το κέντρο, μπορεί να παραχθούν δίκτυα σε ένα ευρύ φάσμα μοτίβων (10).

## 2.8 ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΩΘΗΣΗ

Οι επιφανειακές ατέλειες στο τελικό προϊόν μπορούν να παρουσιαστούν λόγω αστάθειας στη ροή του πλαστικού ή και λόγω υποβάθμισης των ιδιοτήτων του κατά την διεργασία. Κάποιες συχνές ατέλειες που συναντώνται στα προϊόντα που έχουν παραχθεί με εξώθηση καθώς και οι πιθανές αιτίες τους φαίνονται στον Πιν.2.1.

**Πίνακας 2.1:** Πιθανές ατέλειες σε προϊόντα που έχουν παραχθεί με τη διεργασία της εξώθησης(12).

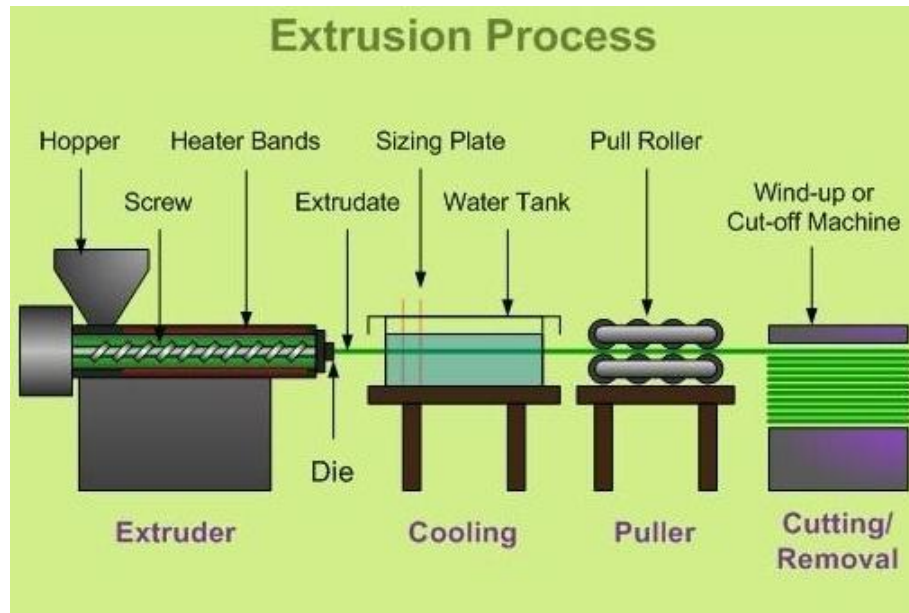
Ατέλεια	Περιγραφή	Αιτίες
Φουσκάλες (blisters)	Εξογκώματα στην επιφάνεια του υλικού	Η θερμοκρασία του πλαστικού υλικού μπορεί να είναι πολύ υψηλή προκαλώντας τη θερμική υποβάθμισή του
Ραβδώσεις διαφορετικού χρωματισμού (Color streaks)	Τοπική αλλαγή χρώματος στην επιφάνεια	Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για να δώσουν χρώμα στο πλαστικό (Masterbatch) δεν αναμίχθηκαν σωστά ή ο λόγος L / D του κοχλίου δεν ήταν αρκετά υψηλός
Gels	Επιφάνειες που μοιάζουν με τελεία	Κακή ανάμειξη του πλαστικού ή θερμική υποβάθμιση του πλαστικού στα τοιχώματα του κυλίνδρου ή πλαστικό που δεν έχει τηχθεί
Θραύση τήγματος	Πρόκειται για μεγάλες παραμορφώσεις οι οποίες μπορεί να έχουν σχήμα ελικοειδές ή σαν bambοοή μπορεί να είναι τελείως ακανόνιστες	Εμφανίζεται όταν υπάρχει υπέρβαση της κρίσιμης διατμητικής τάσης στη μήτρα
Ραβδώσεις	Ευθείες γραμμές στην κατεύθυνση της μηχανής κατά το πλάτος του φύλλου σε μία εξώθηση πολλαπλών στρώσεων	Μη ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στους κυλίνδρους ψύξης

Δέρμα καρχαρία (Shark skin)	Επιφανειακά ελαττώματα που μοιάζουν με κορυφογραμμές (ridges) και είναι κάθετες προς την κατεύθυνση της εξώθησης	Μπορεί να προκληθούν από υπερβολικά υψηλή ταχύτητα εξώθησης ή από υπερβολικά μεγάλη θερμοκρασία εξώθησης
-----------------------------	--	--

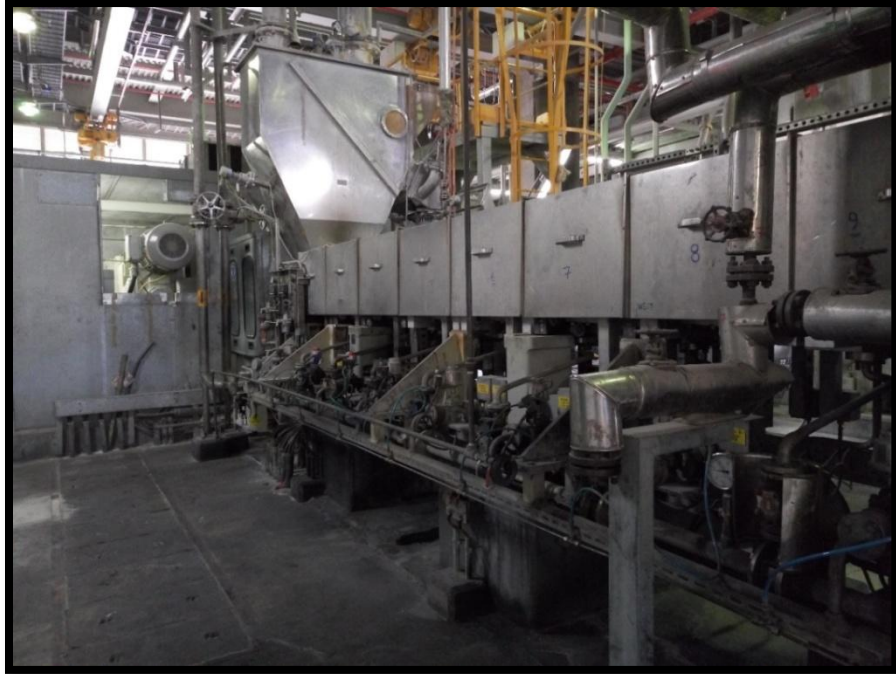
### 3. ΤΜΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΩΘΗΣΗ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εξώθηση είναι μία από τις σημαντικότερες διεργασίες για την παραγωγή μίας μεγάλης ποικιλίας προϊόντων από θερμοπλαστικά πολυμερή. Κατά τη διεργασία αυτή το πολυμερές περνάει μέσα από διάφορα στάδια επεξεργασίας. Αυτά τα στάδια περιλαμβάνουν την τροφοδοσία του υλικού στον εξωθητή, την επεξεργασία του στον εξωθητή καθώς και διάφορα άλλα στάδια όπως η ψύξη και η κοπή. Στην Εικ. 3.1 φαίνεται μία τέτοια γραμμή παραγωγής ενώ στην Εικ.3.2 φαίνεται η εγκατάσταση μίας μονάδας επεξεργασίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική αναφορά των μηχανημάτων και των συνθηκών που λαμβάνουν χώρα κατά την εξώθηση.



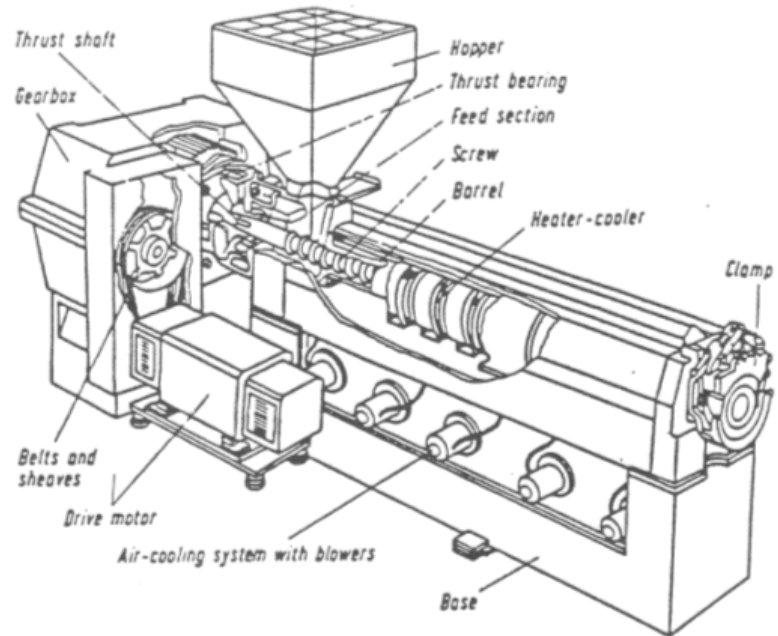
**Εικόνα 3.1:** Τυπική γραμμή παραγωγής ενός προϊόντος με εξώθηση. Περιλαμβάνει τον εξωθητή (extruder), τη μονάδα ψύξης (cooling), το τμήμα εξόλκησης (puller) και το τμήμα κοπής (cutting/ removal) (13).



**Εικόνα 3.2:** Εγκατάσταση μονάδας επεξεργασίας.

### **3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΕΞΩΘΗΤΗ**

Ο εξωθητής οδηγείται από έναν κινητήρα (είτε AC είτε DC) και η ισχύς μεταδίδεται από τον κινητήρα προς τους κοχλίες με τη βοήθεια μειωτήρα, τροχαλιών και ιμάντων. Για να ξεκινήσει ο κινητήρας χρησιμοποιείται βοηθητικά ένα μοτέρ κίνησης και ένας μειωτήρας. Στην Εικ.3.3 φαίνεται το σύστημα μετάδοσης κίνησης σε έναν εξωθητή μονού κοχλία ενώ στην Εικ.3.4 φαίνεται ο χώρος στέγασης του κινητήρα.



**Εικόνα 3.3:** Εξωθητής μονού κοχλία. Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το σύστημα μετάδοσης κίνησης το οποίο αποτελείται από τον κινητήρα (Drive motor), τους μάντες και τις τροχαλίες (Belts and sheaves) και από τον μειωτήρα (Gearbox) (14).



**Εικόνα 3.4:** Χώρος στέγασης του κινητήρα.



Το μέγεθος του κινητήρα που απαιτείται για την περιστροφή του κοχλία μπορεί να εκτιμηθεί από τον εμπειρικό κανόνα ότι περίπου 10 lbs/hr (4,5 kg/hr) πολυμερούς μπορούν να εξωθηθούν ανά ιπποδύναμη (HP) σε έναν μονοκόχλιο εξωθητή. Ορισμένες τυπικές απαιτήσεις ισχύος για διάφορα μεγέθη μονοκόχλιων εξωθητών (αναλογία L/D=24/1 χωρίς αυλάκωση στον κύλινδρο) δίνονται παρακάτω (Πιν.3.1).

**Πίνακας 3.1:** Τυπικές απαιτήσεις ισχύος για διάφορα μεγέθη μονοκόχλιων εξωθητών ( L / D=24/1 αναλογία, χωρίς αυλάκωση στον κύλινδρο) (15).

Διάμετρος (mm)	Ισχύς (kW)
38	12
50	40
90	85
100	130
150	230
200	400

Η ισχύς του κινητήρα εξαρτάται επίσης και από την εφαρμογή και από το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, για έναν εξωθητή με διάμετρο 150 mm η ισχύς του κινητήρα μπορεί να κυμαίνεται από 160 kW έως 280 kW ανάλογα με την εφαρμογή αλλά και το υλικό που χρησιμοποιείται όπως φαίνεται στον Πιν.3.2.



**Πίνακας 3.2:** Ισχύς κινητήρα ανάλογα με την διεργασία ή με το υλικό (15).

Τελικό προϊόν	Υλικό	Όγκος πολυμερούς στην έξοδο (kg/h)	Ισχύς (kW)
Φύλλα	PMMA	573	160
Επικάλυψη σωλήνων	HDPE	523	230
Παραγωγή λεπτών φύλλων με εμφύσηση	LDPE	909	280
Παραγωγή νημάτων	PP	795	280

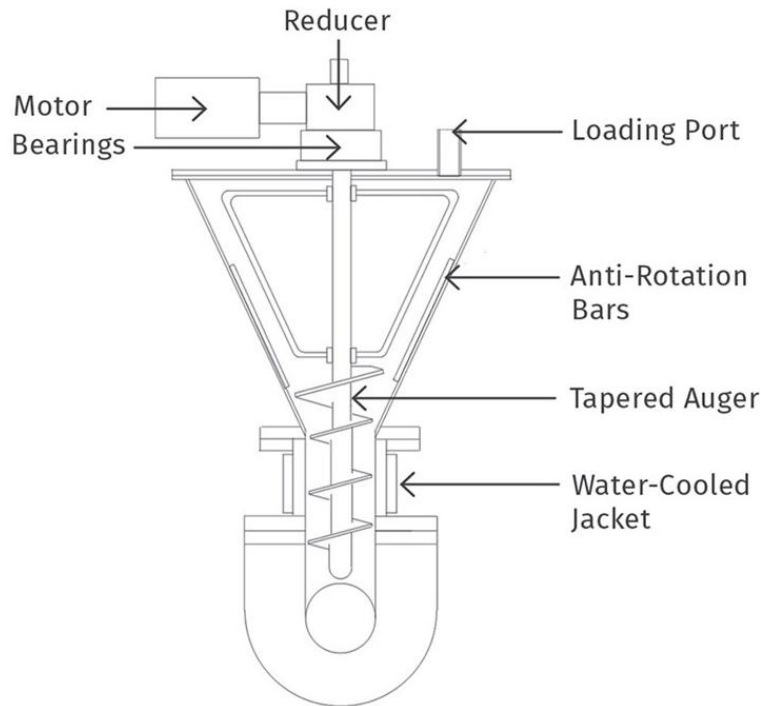
### 3.3 ΧΟΑΝΗ

Η χοάνη είναι η μονάδα συγκράτησης και τροφοδοσίας του υλικού και είναι συνδεδεμένη με τον κύλινδρο στη θύρα τροφοδοσίας. Η χοάνη έχει κωνικό σχήμα το μικρότερο άκρο της οποίας είναι προσαρτημένο στον κύλινδρο. Η γωνία κλίσης της χοάνης είναι συνήθως μεταξύ 20° και 45°. Η εσωτερική επιφάνεια της χοάνης πρέπει να είναι λεία και στιλπνή ώστε να αποφεύγεται η προσκόλληση του υλικού στην μεταλλική επιφάνεια.

Συχνά η χοάνη είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο αν και προτιμάται ο ανοξείδωτος χάλυβας. Για να αποφευχθούν προβλήματα τροφοδοσίας υλικού, πολλές φορές η χοάνη είτε δονείται και / ή το υλικό αναδεύεται μέσω ενός περιστρεφόμενου βραχίονα. Είναι επιθυμητό να διατηρείται η στάθμη του υλικού στη χοάνη όσο το δυνατόν πιο σταθερή ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή παροχή υλικού στη μήτρα. Η θερμοκρασία του υλικού πρέπει επίσης να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή με τη χρήση ενός θερμαινόμενου συγκροτήματος.

Πολλές φορές χρησιμοποιείται και ένα σύστημα ψύξης της χοάνης με χρήση νερού έτσι ώστε να αποφευχθεί η γεφύρωση του υλικού και το υλικό να διατηρήσει τη θερμοκρασία του. Επίσης κάποιες φορές μπορεί να είναι απαραίτητη η θέρμανση του υλικού πριν την τροφοδοσία κάτι που συμβαίνει με χρήση θερμαντήρων οι οποίοι

χρησιμοποιούν θερμό αέρα για να πετύχουν την θέρμανση του υλικού. Στην Εικ.3.5. φαίνεται ένα σύστημα χοάνης με αναδευτήρα (15).



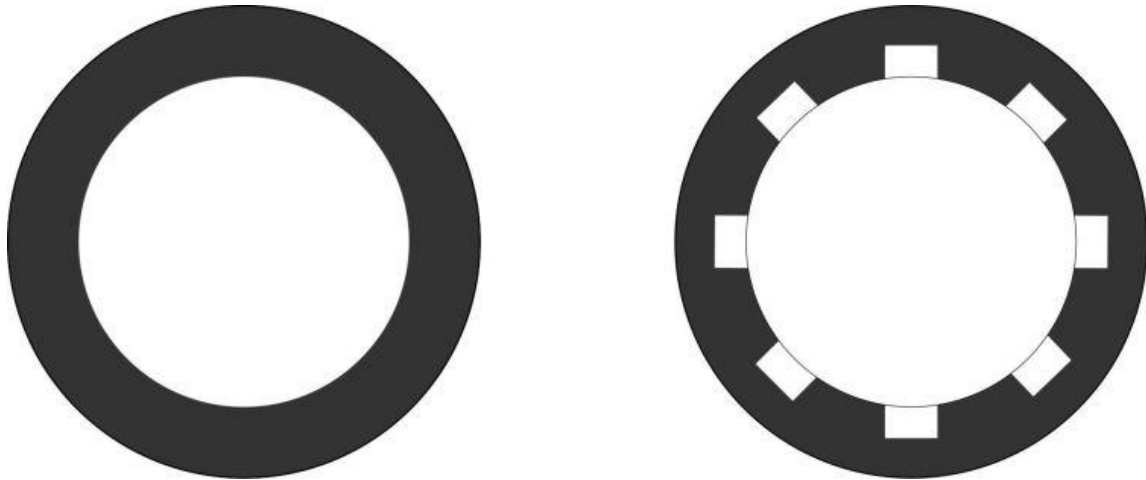
**Εικόνα 3.5:** Χοάνη με αναδευτήρα. Φαίνεται το σημείο τροφοδοσίας (Loading Port), ο αναδευτήρας (Tapered Auger) και ένα περίβλημα ψύξης (Water Cooled Jacket) (16).

### 3.4 ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ (ΒΑΡΕΛΙ)

Ο κύλινδρος του εξωθητή είναι κοίλος και μέσα σε αυτόν βρίσκονται οι κοχλίες. Οι κύλινδροι εξώθησης διαιρούνται σε αυτούς χωρίς αυλακώσεις και σε αυτούς με αυλακώσεις (Εικ.3.6). Το σχήμα, ο αριθμός και το μήκος των αυλακώσεων μπορεί να διαφέρουν. Οι αυλακώσεις μπορεί να είναι ορθογωνικές με αιχμηρές ή στρογγυλεμένες άκρες, τραπεζοειδείς, ημικυκλικές κλπ., οι οποίες μπορεί να διαφέρουν σε πλάτος, βάθος και αριθμό πάνω στην εσωτερική περιφέρεια. Όσον αφορά τον προσανατολισμό τους, μπορεί να είναι αξονικές ή και ελικοειδείς. Το μήκος των αυλακώσεων μπορεί επίσης να ποικίλει. Συχνά η αυλακωτή περιοχή τελειώνει στο άκρο της ζώνης τροφοδοσίας και το βάθος της αυλακώσεως μειώνεται συνεχώς από ένα αρχικό βάθος

στην εσωτερική διάμετρο του κυλίνδρου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι αυλακώσεις φτάνουν μέχρι το άκρο του εξωθητή (17).

Λόγω της υψηλής πίεσης που αναπτύσσεται μέσα στον κύλινδρο κατά την εξώθηση (έως και 70 MPa) ο κύλινδρος είναι κατασκευασμένος από χάλυβα, έχει αρκετά παχιά τοιχώματα και συνήθως έχει συντελεστή ασφαλείας ίσο με 2.



**Εικόνα 3.6:** Βαρέλι εξωθητή με αυλάκωση (αριστερά) και χωρίς αυλάκωση (δεξιά) (17).

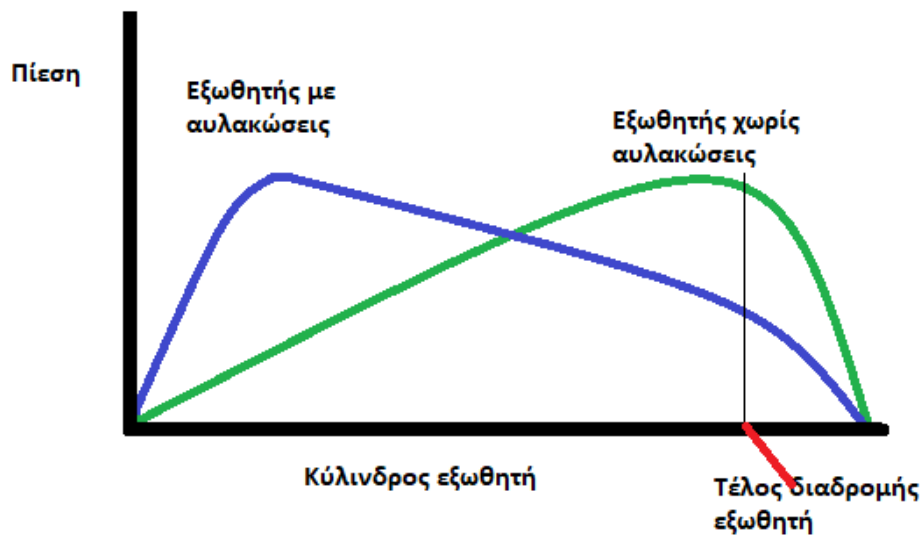
Μία από τις πιο σημαντικές εργασίες που εκτελεί ένας εξωθητής είναι η μεταφορά του πλαστικού από την τροφοδοσία έως το τέλος του κυλίνδρου. Προκειμένου να συμβεί αυτό είναι απαραίτητο το τήγμα να κινηθεί αξονικά κατά το μήκος του κοχλίου.

Θεωρητικά υπάρχουν τρεις πιθανές καταστάσεις κίνησης των κόκκων εντός ενός εξωθητή (17):

- Το υλικό δεν μεταφέρεται αξονικά αλλά ακολουθεί μια περιστροφική διαδρομή γύρω από τον κοχλία. Αυτή η ακραία κατάσταση θα απαιτούσε οι δυνάμεις τριβής μεταξύ του υλικού και του κοχλίου να είναι πολύ μεγαλύτερες από τις δυνάμεις τριβής μεταξύ του υλικού και του κυλίνδρου.
- Μία άλλη πιθανή κατάσταση είναι το κοκκώδες υλικό να μεταφέρεται καθαρά αξονικά και να μην κινείται σε κυκλική διαδρομή όπως ο κοχλίας. Αυτή η ακραία κατάσταση θα σήμαινε ότι οι δυνάμεις τριβής μεταξύ του βαρελιού και του υλικού είναι πολύ μεγαλύτερες από τις δυνάμεις τριβής μεταξύ του κοκκώδους υλικού και του κοχλίου.
- Η τρίτη περίπτωση η οποία συνήθως συμβαίνει στην πράξη σε έναν εξωθητή είναι το υλικό να μεταφέρεται αξονικά ενώ παράλληλα υπάρχει και μια περιστροφική κίνηση. Οι κόκκοι του υλικού μεταφέρονται έτσι κατά μήκος μιας ελικοειδούς διαδρομής από την είσοδο του εξωθητή έως τη μήτρα.

Η δεύτερη περίπτωση μπορεί να συμβεί μόνο σε εξωθητές με αυλακώσεις και μόνο εάν η κυκλική κίνηση μπορεί να εμποδιστεί πλήρως από τη γεωμετρία των αυλακώσεων. Ο αυλακωτός σχεδιασμός της εσωτερικής επιφάνειας του κυλίνδρου επιτρέπει στους κόκκους να εισέλθουν στις αυλακώσεις, οι οποίες εμποδίζουν τους κόκκους να κινούνται στην περιφερειακή κατεύθυνση. Συνεπώς, μια περιστροφική κίνηση του κοκκώδους υλικού γίνεται πιο δύσκολη και έτσι διευκολύνεται η αξονική κίνηση του υλικού. Ένας εξωθητής με αυλακώσεις μπορεί να αυξήσει την τριβή λόγω του σχεδιασμού της επιφάνειας του εσωτερικού κυλίνδρου, πράγμα που αυξάνει την αξονική κίνηση και μειώνει την περιφερειακή κίνηση των κόκκων .

Λόγω της προαναφερθείσας κατάστασης, υπάρχει μια πολύ διαφορετική συμπεριφορά στην αύξηση της πίεσης στους εξωθητές χωρίς αυλακώσεις και στους εξωθητές με αυλακώσεις. Στην πρώτη περίπτωση η πίεση αυξάνεται συνεχώς σε όλο το μήκος του κοχλίου και φθάνει στη μέγιστη τιμή της στην τελευταία περιοχή του εξωθητή. Στον αυλακωτό εξωθητή, από την άλλη πλευρά, η μέγιστη πίεση επιτυγχάνεται νωρίς και στη συνέχεια μειώνεται και πάλι στην περαιτέρω διαδρομή μέσα στον εξωθητή όπως φαίνεται στο Σχ.3.1.



**Σχήμα 3.1:** Μεταβολή της πίεσης σε κύλινδρο με αυλακώσεις και χωρίς αυλακώσεις (17).

### 3.4.1 Χαρακτηριστικά εξωθητών με αυλακώσεις και χωρίς αυλακώσεις

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά των εξωθητών με αυλακώσεις και αυτών χωρίς αυλακώσεις (17).

#### Εξωθητής με αυλακώσεις

- Μπορεί να λειτουργήσει και να επεξεργαστεί μεγαλύτερες ποσότητες μάζας
- Κατάλληλοι για την επεξεργασία υλικών με χαμηλό συντελεστή τριβής (το υλικό δεν περιστρέφεται με τον κοχλία)
- Η παροχή μάζας πρέπει να είναι ανεξάρτητη από την αντίθλιψη (την προς τα πίσω πίεση που δημιουργείται λόγω συμφόρησης στην προς τα πρόσω ροή) όσο το δυνατόν περισσότερο
- Ο εξωθητής λειτουργεί με υψηλή συνοχή και η ροή μάζας εξαρτάται μόνο από την ταχύτητα
- Η χρήση τους είναι συνήθως δυνατή μόνο με κοκκώδη υλικά (όχι ανακυκλωμένα υλικά και κόκκους υλικών με αιχμηρές άκρες) καθώς το σύστημα αντιδρά στις διακυμάνσεις της πυκνότητας και συνεπώς απειλείται η σταθερότητα της απόδοσης
- Η χρήση πρόσθετων αντλιών τήγματος συνήθως δεν είναι απαραίτητη
- Συνήθως απαιτείται ψύξη (συνήθως ψύχεται με νερό), σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επίσης χρήσιμος ο έλεγχος της θερμοκρασίας μέσω μονάδων ελέγχου
- Οι εξωθητές με αυλακώσεις αναπτύχθηκαν αρχικά για την επεξεργασία των PE και PP και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται κυρίως για το σκοπό αυτό (αλλά όχι αποκλειστικά)
- Η επεξεργασία πολύ σκληρών υλικών (πχ. πολλά άμορφα υλικά) γίνεται υπό όρους
- Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστούν πολύ υψηλές πιέσεις
- Αυξημένη φθορά
- Χρησιμοποιούνται στο πεδίο της εξώθησης με εμφύσηση μεμβράνης και της χύτευσης με εμφύσηση

#### Εξωθητής χωρίς αυλακώσεις

- Το αποτέλεσμα ανάμειξης του εξωθητή είναι πολύ καλό
- Οι διακυμάνσεις της ολικής πυκνότητας συνήθως δεν προκαλούν προβλήματα, π.χ. επεξεργασία ανακυκλωμένου υλικού
- Καθολική χρήση
- Είναι απλός στη χρήση και οικονομικός
- Δεν χρειάζεται πρόσθετη ψύξη
- Αλλαγές στην αντίθλιψη προκαλούν μεταβολές στην απόδοση

### 3.4.2 Διάβρωση και φθορά κυλίνδρου

Κατά τη λειτουργία του εξωθητή εμφανίζονται φαινόμενα διάβρωσης και φθοράς στον κύλινδρο ειδικά στην περιοχή σύνδεσης με τη χοάνη. Καθώς η τροποποίηση των ιδιοτήτων των πλαστικών υλικών με την χρήση πρόσθετων υλικών, όπως τα επιβραδυντικά φλόγας και το γυαλί, γίνεται όλο και πιο συχνή, η φθορά του κυλίνδρου έχει καταστεί μείζον πρόβλημα. Για να βελτιωθεί η αντοχή στη φθορά του κυλίνδρου μπορεί να υπάρξει είτε χημική τροποποίηση είτε επένδυση των τοιχωμάτων του. Η τροποποίηση μπορεί να γίνει με μεθόδους όπως η νιτρίδωση ή η εμφύτευση ιόντων, αλλά αυτές οι μέθοδοι δεν είναι τόσο αποτελεσματικές όσο η επένδυση (lining). Με αυτή τη μέθοδο έχουμε έναν κύλινδρο αποτελούμενο από δύο διαφορετικά μεταλλικά υλικά, στα οποία το ένα μεταλλικό υλικό περιβάλλει το άλλο. Το στρώμα που βρίσκεται σε επαφή με το τήγμα έχει καλή αντοχή στη φθορά και στη διάβρωση και είναι πάχους περίπου 1,5 mm (αυτό το πάχος είναι περίπου 2 mm για ένα βαρέλι με αυλακώσεις). Αυτό το στρώμα μπορεί να είναι κατασκευασμένο από διάφορα μεταλλικά κράματα όπως κράμα νικελίου ενισχυμένο με σωματίδια βορίου σιδήρου (iron borid) σε περιεκτικότητα 25%. Η εσωτερική επένδυση είναι από χάλυβα υψηλής αντοχής (AISI 4140), ο οποίος αντιστέκεται στη θραύση και τη στρέβλωση (15).

### 3.4.3 Θέρμανση και ψύξη κυλίνδρου

Οι περισσότεροι εξωθητές ζεσταίνονται ηλεκτρικά χρησιμοποιώντας πηνία. Με τη βοήθεια ενός θερμοζεύγους, το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσω αντίστασης και προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας. Αν χρησιμοποιείται ελεγκτής PID, καθώς πλησιάζει η θερμοκρασία του σημείου ρύθμισης, μειώνεται προοδευτικά η ισχύς και στη συνέχεια τελικά απενεργοποιείται εντελώς. Για ένα συγκεκριμένο μηχάνημα, οι πραγματικές ρυθμίσεις του κυλίνδρου που απαιτούνται για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας τήξης εξαρτώνται από την ταχύτητα περιστροφής του κοχλία, την πίεση εντός του συστήματος και τη διακίνηση του πολυμερούς. Καθώς είναι πολύ εύκολο να υπάρξει υπέρβαση της επιθυμητής θερμοκρασίας πολλά μηχανήματα είναι εξοπλισμένα με συστήματα ψύξης. Τα συστήματα ψύξης αέρα είναι τα απλούστερα στην εγκατάσταση και αποτελούνται από ανεμιστήρες οι οποίοι κυκλοφορούν τον αέρα στο βαρέλι. Αυτά δεν είναι τόσο αποτελεσματικά όσο τα συστήματα υγρής ψύξης. Ένα δημοφιλές σύστημα αυτού του είδους ψύξης βασίζεται σε έναν κλειστό βρόχο, ο οποίος αποτελείται από έναν εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιεί απεσταγμένο νερό που περιέχεται μέσα σε ένα σφραγισμένο πηνίο (sealed coil) που περιβάλλει το βαρέλι. Όταν ξεπεραστεί η επιθυμητή θερμοκρασία ο ατμός από αυτό το νερό ψύχεται από τη ροή του νερού έτσι ώστε ο ατμός του απεσταγμένου νερού να συμπυκνώνεται για να απορροφήσει περισσότερη θερμότητα (15).

### 3.4.4 Ζώνες θέρμανσης

Μία ζώνη είναι ένα τμήμα του κυλίνδρου του εξωθητή. Για ευκολία ελέγχου, το βαρέλι χωρίζεται σε ζώνες ή περιοχές. Η θέρμανση κάθε ζώνης ελέγχεται ξεχωριστά. Οι μικρότεροι εξωθητές συνήθως έχουν τρεις ζώνες, ενώ οι μεγαλύτεροι μπορεί να έχουν έως και δώδεκα. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας και τα συναφή ηλεκτρονικά του, (όπως ένας μικροεπεξεργαστής, ένας PID ελεγκτής), ελέγχει κάθε μία από αυτές τις ζώνες) (15).

### 3.4.5 Ρυθμίσεις θερμοκρασίας κυλίνδρου

Αυτές είναι οι θερμοκρασίες που έχουν ρυθμιστεί στα όργανα ελέγχου. Είναι η θερμοκρασία τήξης και τυχόν θερμοκρασίες των κυλίνδρων που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι μόνο κατευθυντήριες γραμμές. Όταν δεν υπάρχει εμπειρία στην επεξεργασία συγκεκριμένου υλικού, είναι καλύτερο να ξεκινήσουμε με τις χαμηλότερες συνιστώμενες ρυθμίσεις. Συνήθως η πρώτη θερμοκρασία ζώνης ρυθμίζεται στη χαμηλότερη τιμή καθώς αυτό αποτρέπει την πρόωρη τήξη και γεφύρωση της ρητίνης στο λαιμό τροφοδοσίας. Οι θερμοκρασίες των άλλων ζωνών αυξάνονται σταδιακά μέχρι το υλικό να φτάσει στη μήτρα. Στις διεργασίες εξώθησης, η θερμοκρασία της μήτρας ρυθμίζεται μερικές φορές ελαφρώς υψηλότερα για να δώσει μεγαλύτερη στυλπνότητα στο προϊόν. Καθώς είναι ευκολότερο να ζεσταθεί ένα βαρέλι παρά να κρυώσει, έχει νόημα να προσεγγίζουμε αργά τις τελικές θερμοκρασίες λειτουργίας για να ελαχιστοποιήσουμε τον κίνδυνο υπερθέρμανσης (15).

### 3.4.6 Χρόνος παραμονής στον κύλινδρο

Είναι ο μέσος χρόνος κατά τον οποίο ένα υλικό παραμένει μέσα στο βαρέλι του εξωθητή. Ένα πλαστικό μπορεί να υποστεί υποβάθμιση των ιδιοτήτων του με σύντομη έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία ή με μεγαλύτερη έκθεση σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Ο χρόνος παραμονής στο βαρέλι είναι επομένως σημαντικός. Ο πραγματικός χρόνος παραμονής μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να περάσει το πλαστικό μέσω του εξωθητή (15).

## 3.5 ΚΟΧΛΙΑΣ

### 3.5.1 Γενικές λειτουργίες του κοχλία

Οι κοχλίες (Εικ.3.7) είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα. Οι κοχλίες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά του υλικού μέσα στον κύλινδρο έχουν τις εξής παραμέτρους και χαρακτηριστικά σχεδιασμού κάποιους από τους οποίους είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο:

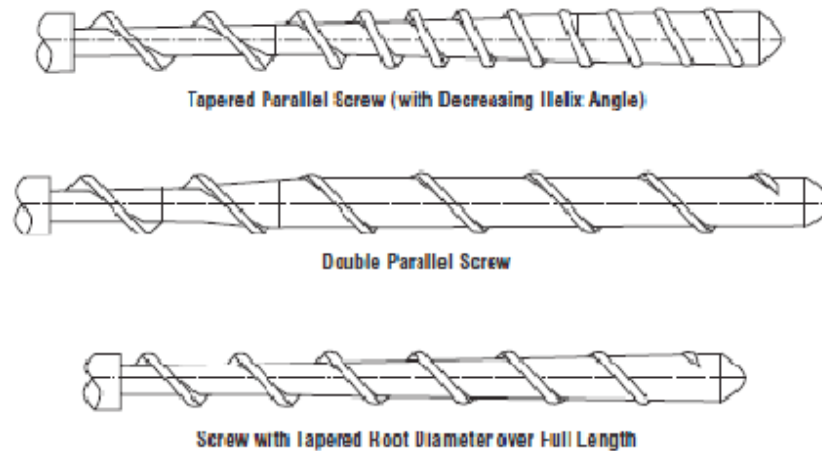
- Λόγος L / D
- Γωνία κλίσης και βήμα
- Λόγος συμπίεσης
- Κατασκευαστικό υλικό και φινίρισμα επιφάνειας

Στην απλούστερη διαμόρφωσή τους, οι κοχλίες εξώθησης αποτελούνται από τρεις λειτουργικές ζώνες: μία ζώνη τροφοδοσίας, μία ζώνη συμπίεσης τήγματος και μία ζώνη δοσιμετρίας. Η ζώνη δοσιμετρίας χρησιμεύει μόνο για την προώθηση του τηγμένου πολυμερούς προς τα εμπρός προς την ίδια κατεύθυνση, εξασφαλίζοντας τη σωστή πίεση για να μεταφερθεί στη μήτρα.

Οι βασικές λειτουργίες του κοχλία είναι (15):

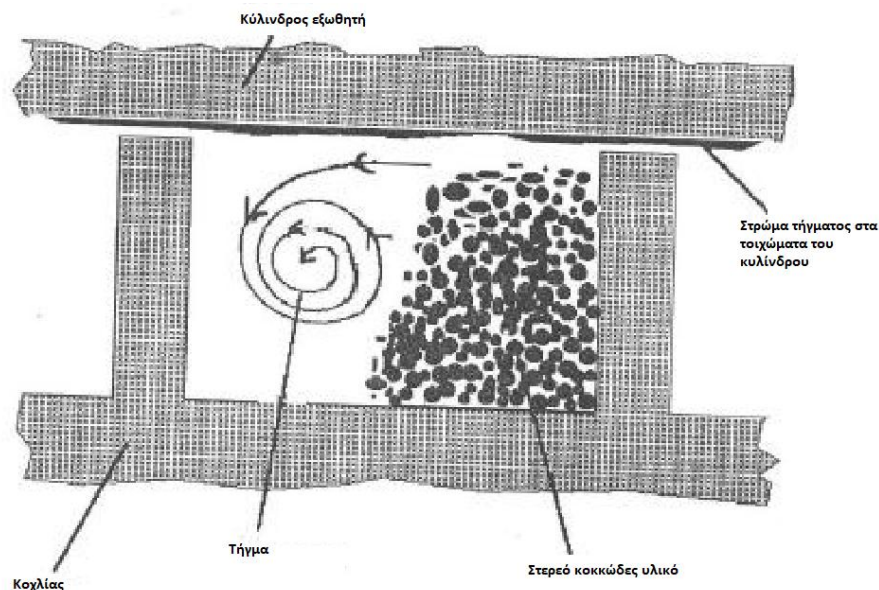
- Η μεταφορά του πολυμερούς από την χοάνη στην έξοδο του εξωθητή.
- Να επιφέρει την τήξη του πολυμερούς.
- Να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε απαιτούμενη ανάμειξη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.
- Να δημιουργηθεί μια σταθερή και ομοιογενής ροή του τήγματος του πολυμερούς.





**Εικόνα 3.7:** Διάφοροι τύποι κοχλιών (15).

Καθώς το πολυμερές κινείται κατά το μήκος του κοχλία ένα λεπτό στρώμα σχηματίζεται στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Ο κοχλίας ξύνει αυτό το στρώμα απομακρύνοντας το από τον κύλινδρο. Στη συνέχεια το υλικό ρέει στον πυρήνα του κοχλία. Η ροή του τήγματος μέσα στο βαρέλι είναι κυκλική και αξονική. Σε αυτή τη ροή το τήγμα αναμιγνύεται με τους μη τηγμένους κόκκους του πολυμερούς μέχρι να δημιουργηθεί ένα ομοιόμορφο τήγμα (Εικ.3.8) (15).



**Εικόνα 3.8:** Ροή τήγματος στον εξωθητή (18).

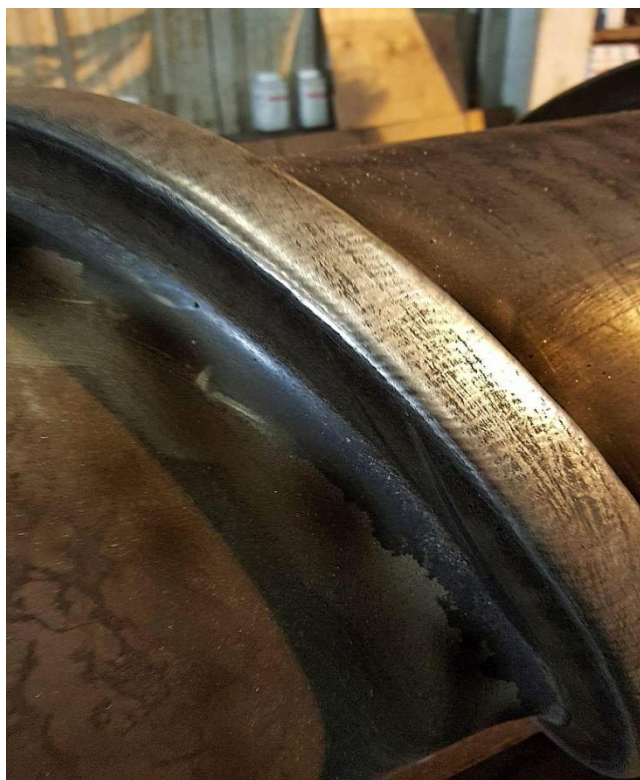
### 3.5.2 Φθορά του κοχλίου

Η φθορά του κοχλίου (Εικ.3.9) εμφανίζεται σε περιοχές υψηλής πίεσης όπως στο τμήμα δοσιμετρίας. Ένας λόγος που μπορεί να συμβαίνει αυτό είναι η επαφή του κοχλίου με το βαρέλι το οποίο μπορεί να οφείλεται σε κακή ευθυγράμμιση της διάταξης, βλάβη στο κιβώτιο ταχυτήτων, ο κοχλίας να έχει υποστεί κάποια καμπτική παραμόρφωση κ.α. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε πολλές βιομηχανίες έδειξαν ότι η αυξημένη πίεση και η θερμοκρασία οδηγούν σε αυξημένη τριβή. Δεδομένου ότι στο τέλος του τμήματος δοσιμετρίας παρουσιάζονται υψηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες, μπορούμε να προβλέψουμε ότι εκεί υπάρχει μεγαλύτερη φθορά.

Όταν γίνεται επεξεργασία υλικών όπως οι ίνες γυαλιού ή και το ανθρακικό ασβέστιο είναι πιθανό να παρατηρηθεί σοβαρή φθορά στο τμήμα τροφοδοσίας λόγω περιορισμένης λίπανσης που παρέχεται από τα μη-λιωμένα σφαιρίδια. Η ποσότητα και το σχήμα των σφαιριδίων επηρεάζουν το μέγεθος της φθοράς. Μεγαλύτερα σφαιρίδια με αιχμηρότερες άκρες τείνουν προκαλούν μεγαλύτερη φθορά σε σχέση με σφαιρικά σωματίδια. Οι επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος υπαγορεύουν το πληρωτικό που θα χρησιμοποιηθεί. Δεδομένου ότι η φθορά είναι ταχύτερη με την προσθήκη πληρωτικών συνηθίζεται αυτά να προστίθενται πιο μετά όπου το πολυμερές είναι ήδη λιωμένο έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη λίπανση (15).



α



β

**Εικόνα 3.9:** Κοχλίες που έχουν υποστεί φθορά (19).

### 3.5.3 Θέματα απόδοσης

Η φθορά των κοχλιών είναι γενικά μια αργή διαδικασία που μπορεί να περάσει απαρατήρητη έως ότου η απόδοση του κοχλία μειωθεί σημαντικά. Η μικρή φθορά θα έχει μικρή επίδραση στη συνολική απόδοση, καθώς οι παράμετροι του μηχανήματος μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να διατηρείται η παραγωγικότητα. Όταν η ακτινική απόσταση μεταξύ των σπειρών του κοχλία και του τοιχώματος του βαρελιού αυξάνεται, η διαρροή είναι αναπόφευκτη. Ο χειριστής θα δει μια μείωση της απόδοσης και την αύξηση της θερμοκρασίας τήξης με αποτέλεσμα να χρειάζεται υψηλότερες στροφές και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για να διατηρήσει τον επιθυμητό ρυθμό. Για την καλύτερη πρόβλεψη της επίδρασης της φθοράς, μπορεί να υπολογιστεί η διαρροή λαμβάνοντας υπόψη το πλάτος του σπειρώματος, την πίεση στην κεφαλή, το ιξώδες και την πυκνότητα του τήγματος. Αυτοί οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν αρκετά δύσκολοι όταν προσπαθούν να προβλέψουν με ακρίβεια την απόδοση αλλά μπορούν να παραχθούν αρκετά ακριβείς εκτιμήσεις που μπορούν να προβλέψουν πιθανή απώλεια. Η υποβάθμιση του υλικού μπορεί προκαλέσει σοβαρή ανησυχία κατά την επεξεργασία υλικών όπως το PVC. Το PVC τείνει να παράγει υδροχλωρικό οξύ σε υψηλές θερμοκρασίες, οδηγώντας σε ακραία διαβρωτική φθορά στον εξοπλισμό.

### 3.6 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΕΞΩΘΗΤΗ

Η ηλεκτρική θέρμανση είναι διαδικασία μέσω της οποίας παρέχεται θερμότητα με ηλεκτρικούς θερμαντήρες. Χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα καθώς είναι πολύ αποδοτικοί. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι ο εξής: Το ρεύμα περνά μέσα από αντιστάσεις, οι οποίες λειτουργούν ως φράγμα στη ροή του ρεύματος παράγοντας με αυτόν τον τρόπο θερμότητα.

Το SSR (Solid state relay- ηλεκτρονόμος (ρελέ) στερεάς κατάστασης) είναι η συσκευή στην οποία η θερμοκρασία μπορεί να ελεγχθεί με τη βοήθεια ενός αναλογικού-ολοκληρωτικού-παραγωγικού ελεγκτή (ελεγκτής PID). Ένας ελεγκτής PID προσπαθεί να διορθώσει το λάθος μεταξύ μιας μετρημένης μεταβλητής-διαδικασίας και ενός επιθυμητού σημείου λειτουργίας με τον υπολογισμό και έπειτα την έξοδο μιας διορθωτικής δράσης που μπορεί να ρυθμίσει τη διαδικασία αναλόγως. Αυτή η συσκευή ενεργεί ως πύλη για την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή, το SSR θα μεταφέρει περισσότερο ηλεκτρισμό στον θερμαντήρα και όταν η θερμοκρασία φτάσει στο επιθυμητό σημείο κόβει τον ηλεκτρισμό με τη βοήθεια του PID ελεγκτή και του θερμοστάτη.

Ο PID ελεγκτής είναι η συσκευή που παρέχει την πληροφορία στο SSR πότε πρέπει να ενεργοποιηθεί και πότε να απενεργοποιηθεί. Ο PID διαβάζει τη θερμοκρασία οποιουδήποτε συστήματος με τη βοήθεια του θερμοστάτη. Λειτουργεί ως πίνακας εισόδου στο σύστημα. Ο γενικός σκοπός των ελεγκτών θερμοκρασίας είναι ο έλεγχος των πιο σημαντικών διαδικασιών στη βιομηχανία. Συνήθως, έρχονται σε μια σειρά μεγεθών DIN, έχουν πολλαπλές εξόδους και προγραμματιζόμενες λειτουργίες εξόδου. Τοποθετούνται παραδοσιακά στον μπροστινό πίνακα με την οθόνη για εύκολη πρόσβαση από τον χειριστή. Αυτοί οι ελεγκτές έχουν μια λειτουργία προ-συντονισμού για τον αρχικό υπολογισμό της θερμοκρασίας για μια διαδικασία και μια λειτουργία συνεχούς λήψης για τη συνεχή βελτίωση της θερμοκρασίας (8).

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι γνωστός ως θερμοζεύγος. Αποτελείται από δύο σύρματα κατασκευασμένα από διαφορετικά μέταλλα. Όταν τα δύο υλικά θερμαίνονται, παράγεται ηλεκτρική τάση η οποία καθορίζει την ανάγνωση της θερμοκρασίας στο σύστημα. Το θερμοζεύγος είναι χαμηλού κόστους, ανθεκτικό και έχει μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (8).

### 3.7 ΑΝΤΛΙΑ ΤΗΓΜΑΤΟΣ

Ο κύριος σκοπός της αντλίας τήγματος είναι να ελέγχει με ακρίβεια την έξοδο στη μήτρα. Οι αντλίες αυτές αποτελούνται από δύο γρανάζια (Εικ.3.10), τα οποία συνήθως κινούνται από έναν κινητήρα. Ο εξωθητής γεμίζει τα γρανάζια από την πλευρά

αναρρόφησης και τα περιστρεφόμενα γρανάζια μεταφέρουν το πολυμερές στην άλλη πλευρά. Η ταχύτητα περιστροφής των γραναζιών ελέγχεται από έναν ηλεκτροκινητήρα AC ή DC. Με τον ακριβή έλεγχο της εξόδου του τήγματος εξαλείφονται πολλές από τις μεταβλητές που επηρεάζουν τη σταθερότητα της εξώθησης. Η αντλία αντισταθμίζει τέτοιους παράγοντες όπως ο ακανόνιστος έλεγχος θερμοκρασίας, οι διακοπές τροφοδοσίας και οι μεταβολές στο μίγμα του πολυμερούς (20).



**Εικόνα 3.10:** Αντλία τήγματος (21).

Η απόδοση της αντλίας πρέπει να παρακολουθείται σε κάποιο βαθμό. Οι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να παρακολουθούνται είναι οι πριν και μετά την αντλία πιέσεις και η διαφορά τους, ο κινητήρας, τυχόν διαρροή στους άξονες μετάδοσης, και η θερμοκρασία της αντλίας.

Η πίεση εκκένωσης πρέπει να είναι σταθερή, καθώς η ροή στη μήτρα θα ποικίλλει ανάλογα με τις αλλαγές στην πίεση εκκένωσης. Η πίεση εκκένωσης δεν πρέπει κυμαίνεται περισσότερο από  $\pm 10$  psig ( $\pm 0,069$  MPa). Μεγαλύτερες διακυμάνσεις από αυτές γενικά μπορούν προκαλούν προβλήματα στη λειτουργία της αντλίας. Μια σοβαρά φθαρμένη αντλία μπορεί επίσης να προκαλέσει τέτοιες διακυμάνσεις. Η μεταβολή της πίεσης αναρρόφησης αντανακλά την διακύμανση στην έξοδο του εξωθητή. Αν και ο κύριος σκοπός μιας αντλίας τήγματος είναι να εξαλείψει αυτές τις διακυμάνσεις, υπάρχουν όρια για το πόσο μπορεί να τις ελέγξει. Αν και η αντλία θα συνεχίσει να εκκενώνει έναν σταθερό όγκο πολυμερούς, η θερμοκρασία τήξης θα μεταβάλλεται καθώς ο κοχλίας θα αλλάζει ταχύτητα για να προσπαθήσει να διατηρήσει σταθερή πίεση αναρρόφησης. Η μεταβαλλόμενη θερμοκρασία τήξης θα προκαλέσει διακυμάνσεις στη ροή στη μήτρα και στη γεωμετρία του προϊόντος. Στη πίεση αναρρόφησης οι διακυμάνσεις δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερες από  $\pm 100$  psig ( $\pm 0,69$  MPa) και κατά προτίμηση από  $\pm 50$  psig ( $\pm 0,34$  MPa). Εάν η μεταβολή είναι μεγαλύτερη από αυτή, θα υπάρξουν αλλαγές στη ροή του υλικού στη μήτρα. Συχνά αυτό δεν απαιτεί τίποτα περισσότερο από την απενεργοποίηση της απόκρισης του κινητήρα του εξωθητή στην μεταβολή της πίεσης. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με την αύξηση του αναλογικού ελέγχου και του εύρους ζώνης του οργάνου πίεσης που ελέγχει τον κινητήρα του



εξωθητήρα. Εάν αυτό δεν ελαχιστοποιήσει την διακύμανση το πρόβλημα είναι πιθανό στον ίδιο τον εξωθητή. Η απαιτούμενη ισχύς για την περιστροφή των γραναζιών της αντλίας πρέπει να είναι σταθερή (20). Διακυμάνσεις πολλών αμπέρ συνιστούν πρόβλημα. Ο λόγος αυτών των διακυμάνσεων μπορεί να είναι (20):

- ζήτημα ρύθμισης των παραμέτρων κίνησης
- κάποιο μηχανικό πρόβλημα στην αντλία
- μηχανικό πρόβλημα στο κιβώτιο ταχυτήτων ή στον άξονα κίνησης
- υπερβολική μεταβολή της πίεσης αναρρόφησης

### 3.7.1 Λίπανση των αντλιών τήξης

Οι αντλίες τήξης έχουν έδρανα που λιπαίνονται από το ίδιο το τήγμα. Υπάρχει σχεδιασμένη διαρροή από την εκκένωση της αντλίας προς την πλευρά αναρρόφησης μέσω των εδράνων. Αυτή η ροή πολυμερούς είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η διάρκεια ζωής των εδράνων. Αυτή η ροή απαιτεί διαφορά πίεσης μεταξύ της εκκένωσης και της αναρρόφησης. Πρέπει να διατηρείται τουλάχιστον μερικές εκατοντάδες psi διαφορά μεταξύ των δύο. Δεδομένου ότι τα έδρανα της αντλίας τήξης λιπαίνονται από το τήγμα, οι σφραγίσεις έξω από τα έδρανα σταματούν τη ροή του πολυμερούς γύρω από τους άξονες του γραναζιού. Η θερμοκρασία της αντλίας τήγματος μετά την εκκίνηση θα πρέπει να είναι ίδια με τη θερμοκρασία τήξης του πολυμερούς ή / και την επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας τήγματος. Εάν η θερμοκρασία της αντλίας είναι πολύ πάνω από την επιθυμητή τιμή ή την πραγματική θερμοκρασία τήξης, υπάρχει κάποιο πρόβλημα με τα μηχανικά μέρη της αντλίας ή τα όργανα ελέγχου θερμοκρασίας (20).

Η αντλία τήγματος έχει πολλά άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα εκτός από την εκτόνωση ενός σταθερού όγκου πολυμερούς. Είναι πιο αποτελεσματική για την αύξηση της πίεσης σε σχέση με τον κοχλία εξώθησης. Ως αποτέλεσμα, η πίεση στον κοχλία μειώνεται, μειώνοντας τη θερμοκρασία τήξης και αυξάνοντας την απόδοση του κοχλία. Η αντλία τήγματος είναι επίσης μια συσκευή ανάμιξης βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του τήγματος (20).

### 3.8 ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ

Είναι μια συσκευή που φιλτράρει τις ακαθαρσίες στη διεργασία εξώθησης πολυμερούς χωρίς να διακόπτει τη διαδικασία όταν χρειάζεται ένα βρώμικο φίλτρο αλλαγή (Εικ.3.11). Χρησιμοποιείται σε διεργασίες όπου σωματίδια μπορούν να φράξουν τα φίλτρα σε σύντομο χρονικό διάστημα προκαλώντας έτσι προβλήματα στην διεργασία και στην παραγωγή. Οι διεργασίες εξώθησης που χρησιμοποιούν αυτή τη συσκευή

μπορεί να είναι διεργασίες για την παραγωγή σωλήνων και προφίλ, μεμβρανών και φύλλων, σύνθετων υλικών, χύτευση με εμφύσηση κ.α (22).

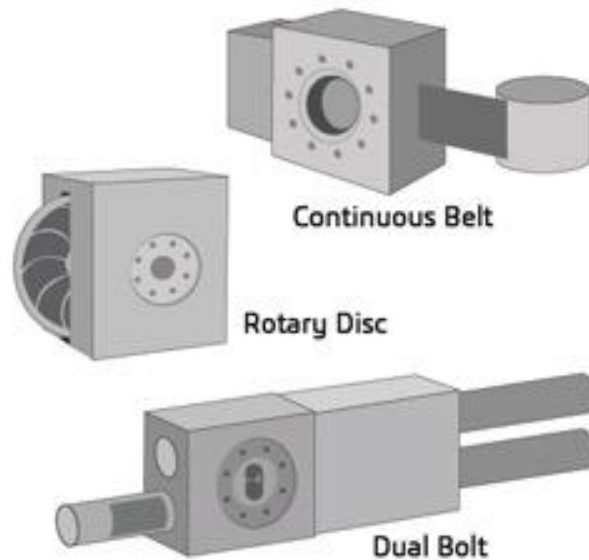
Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι μηχανημάτων αλλαγής φίλτρου ο καθένας με τα δικά του χαρακτηριστικά: Ο πρώτος τύπος χρησιμοποιεί έναν ιμάντα προσκολλημένο σε έναν κύλινδρο, ο δεύτερος τύπος αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο δίσκο ενώ ο τρίτος χρησιμοποιεί δύο πείρους (Εικ.3.12).

Όλες οι συσκευές αλλαγής φίλτρου προσφέρουν μια αδιάκοπη ροή τήγματος, αλλά κάθε μία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, αν και η σχετικά σταθερή πίεση τους μπορεί να είναι ένα συν, ο δεύτερος τύπος αλλαγής φίλτρου είναι επιρρεπής σε διαρροή λόγω της φθοράς της σφράγισης. Οι περιστροφικοί δίσκοι είναι πιο δύσκολο συναρμολογηθούν μετά τον καθαρισμό. Λόγω του σχεδιασμού τους, υπάρχει ένας σημαντικός βαθμός επαφής μετάλλου με μέταλλο, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα τη φθορά του (23).

Υπάρχουν μειονεκτήματα και στον τρίτο τύπο. Η πίεση πέφτει σημαντικά κατά την αλλαγή του φίλτρου και αυτό το μηχάνημα είναι επιρρεπές σε διαρροές ή μπλοκάρισμα υπό υψηλή πίεση. Επίσης, λόγω του συνολικού μεγέθους και της κατασκευής της το κόστος της είναι αρκετά υψηλό. Η πρώτη κατηγορία προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες δύο. Η συναρμολόγησή τους είναι ευκολότερη κάτι που αποτελεί ένα πλεονέκτημα στη συντήρηση και στον καθαρισμό. Υπάρχει ελάχιστη επαφή μετάλλου με μέταλλο, που σημαίνει λιγότερη φθορά. Επίσης δεν αντιμετωπίζουν πτώση πίεσης κατά την αλλαγή του φίλτρου και δεν παρουσιάζουν διαρροή ή εμπλοκές. Τέλος, προσφέρουν το χαμηλότερο κόστος και συχνά το χαμηλότερο κόστος κατανάλωσης (23).



**Εικόνα 3.11:** Μηχάνημα αλλαγής φίλτρου (22).



**Εικόνα 3.12:** Τύποι συσκευών αλλαγής φίλτρου (23).

### 3.8.1 Φίλτρα

Σχεδόν σε όλες τις διεργασίες εξώθησης το τήγμα περνάει από πλέγματα (wire mesh screens), επίπεδου (Εικ.3.13) ή κυλινδρικού σχήματος (Εικ.3.14) στο δρόμο προς τη μήτρα έτσι ώστε να φιλτράρεται. Αυτά τα πλέγματα επίσης επηρεάζουν κάποιες μεταβλητές της διεργασίας όπως π.χ. αύξηση της αντίθλιψης, αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της απόδοσης. Αυτά τα πλέγματα συγκρατούνται σε πλάκες φρεναρίσματος (breaker plates) με οπές ή εγκοπές, οι οποίες σχηματίζουν μία φραγή μεταξύ του εξωθητή και της μήτρας. Τα καθαρά πλέγματα προκαλούν μόνο μια μικρή αύξηση της πίεσης από 50 έως 100 psi (από 0,34 έως 0,68 MPa). Η μεγάλη αύξηση της πίεσης είναι το αποτέλεσμα των σωματιδίων που έχουν συγκρατηθεί.

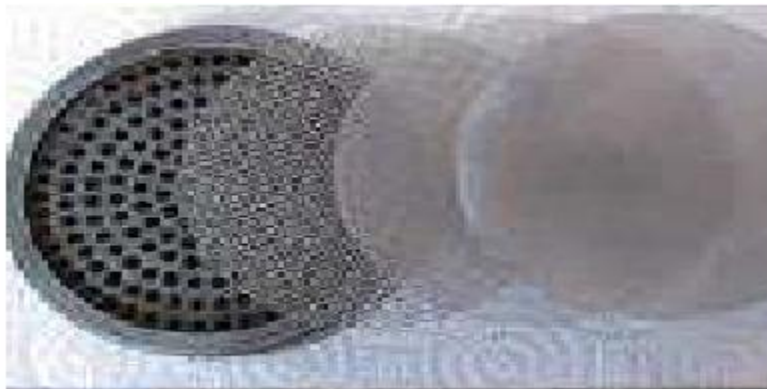
Όταν γίνεται αλλαγή των φίλτρων, η πίεση και η θερμοκρασία πέφτουν. Για να αντισταθμιστεί αυτό πρέπει οι στροφές του κοχλία να ρυθμιστούν έτσι ώστε να διατηρηθούν οι ίδιες διαστάσεις του προϊόντος. Κατά την εξώθηση ενός προϊόντος κυκλικού σχήματος, αυτές οι αλλαγές μπορεί να μην προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα κάτι που δεν συμβαίνει στην περίπτωση που το προφίλ είναι ακανόνιστο ή επίπεδο όπου η αλλαγή της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει το σχήμα του προϊόντος. Για παράδειγμα, σε μια επίπεδη μήτρα, το ψυχρότερο τήγμα θα δώσει στα φύλλα λεπτότερο κέντρο και παχύτερα άκρα. Αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί με αυτόματες ή χειροκίνητες προσαρμογές. Η τοποθέτηση αντλίας γρاناζιών μετά το τμήμα αλλαγής φίλτρου μπορεί να αποτρέψει αυτό το πρόβλημα διατηρώντας σταθερή την έξοδο στη μήτρας. Μερικοί βιομηχανικοί παραγωγοί δεν χρησιμοποιούν καθόλου φίλτρα. Για την παραγωγή



προϊόντων από PVC για παράδειγμα τα φίλτρα καθιστούν το τήγμα θερμότερο, το οποίο επομένως χρειάζεται περισσότερη σταθεροποίηση, γεγονός που αυξάνει το κόστος παραγωγής του υλικού. Ορισμένοι προμηθευτές προσφέρουν ειδικές συσκευές αλλαγής φίλτρου για πλαστικοποιημένο PVC.

Ο χάλυβας είναι το μέταλλο που χρησιμοποιείται στα φίλτρα των εξωθητών. Ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι ακριβότερος αλλά χρησιμοποιείται σε μερικές γραμμές PVC και αλλού για να αποφευχθούν προβλήματα σκουριάς. Τα κράματα νικελίου χρησιμοποιούνται για την αποφυγή διάβρωσης από φθοροπολυμερή και PVDC. Το πλέγμα του φίλτρου ανάλογα με τον αριθμό των συρμάτων ανά ίντσα διακρίνεται σε χονδρό, σε ενδιάμεσο και σε λεπτό.

Τα φίλτρα σκουριάζουν όταν αποθηκεύονται σε περιβάλλον με υγρασία και υπάρχει κίνδυνος αυτή η σκουριά να καταλήξει στο τήγμα. Ακόμη χειρότερα, ένα σκουριασμένο φίλτρο είναι πιο πιθανό να σπάσει. Τα φίλτρα πρέπει να συσκευάζονται σε ειδικές συσκευασίες. Οι πλάκες φρεναρίσματος μπορούν να παραμορφωθούν όταν καθαριστούν με χρήση φλόγας πολύ επιθετικά. Εάν συμβεί αυτό, οι επιφάνειες στεγανοποίησης υποβαθμίζονται και οι ολισθαίνουσες επιφάνειες δεν συμπλέκονται προκαλώντας διαρροές οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις των θερμοστοιχείων (24).



**Εικόνα 3.13:** Φίλτρο επίπεδου σχήματος (24).



**Εικόνα 3.14:** Χρησιμοποιημένο φίλτρο κυλινδρικού σχήματος.

### **3.9 ΜΗΤΡΕΣ – ΚΑΛΟΥΠΙΑ**

#### **3.9.1 Γενικά**

Μέσα στη μήτρα, η στρωτή ροή του τήγματος διατηρείται αποφεύγοντας νεκρά σημεία και απότομες αλλαγές των διατομών. Οι περισσότερες μήτρες σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αυξάνεται η πίεση πριν την έξοδο της μήτρας. Στο τελικό τμήμα οι διατομές διατηρούνται σταθερές για να ελαχιστοποιηθεί η διόγκωση της μήτρας (dieswell). Οι μήτρες θερμαίνονται από κάποια εξωτερική πηγή. Υψηλότερες θερμοκρασίες στην έξοδο της μήτρας μπορούν να παράγουν ένα καλύτερο φινίρισμα στο προϊόν εξώθησης και να ελαχιστοποιήσουν άλλα ελαττώματα εξώθησης.

Όταν ένα τήγμα ιξωδοελαστικού πολυμερούς υποβάλλεται σε διαμητικές τάσεις στην μήτρα, υπάρχει μία ελαστική ανάκτηση (μνήμη) στην κατεύθυνση εξώθησης μετά

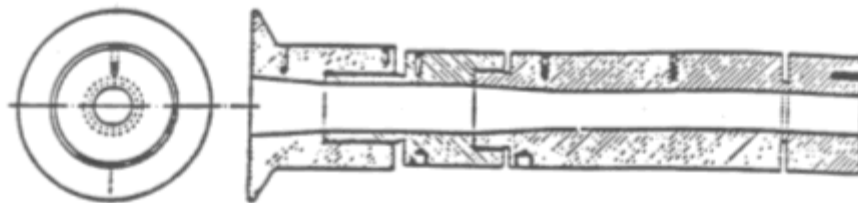
την έξοδο του προϊόντος εξώθησης από την μήτρα. Αυτή η ελαστική ανάκτηση εκδηλώνεται ως συστολή στο μήκος (μη ορατή σε μία συνεχή διαδικασία) και αντίστοιχη διαστολή στην εγκάρσια διατομή, παράγοντας ένα προϊόν εξώθησης με εγκάρσιες διαστάσεις μεγαλύτερες από τις διαστάσεις της εξόδου της μήτρας. Η διόγκωση μπορεί να κυμαίνεται από 10% έως περισσότερο από 100%. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται είναι: το υλικό, η θερμοκρασία τήξης, η ταχύτητα εξώθησης και η γεωμετρία της μήτρας. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί αυξάνοντας το μήκος της επιφάνειας της μήτρας, τη θερμοκρασία τήξης και μειώνοντας την ταχύτητα του κοχλία (14).

### 3.9.2 Τύποι καλουπιών

Οι μήτρες ποικίλλουν ανάλογα με το σχεδιασμό, το μέγεθος και την πολυπλοκότητα για να παράγουν ένα ευρύ φάσμα εξωθημένων προϊόντων (14).

#### Καλούπια για την παραγωγή συμπαγών διατομών

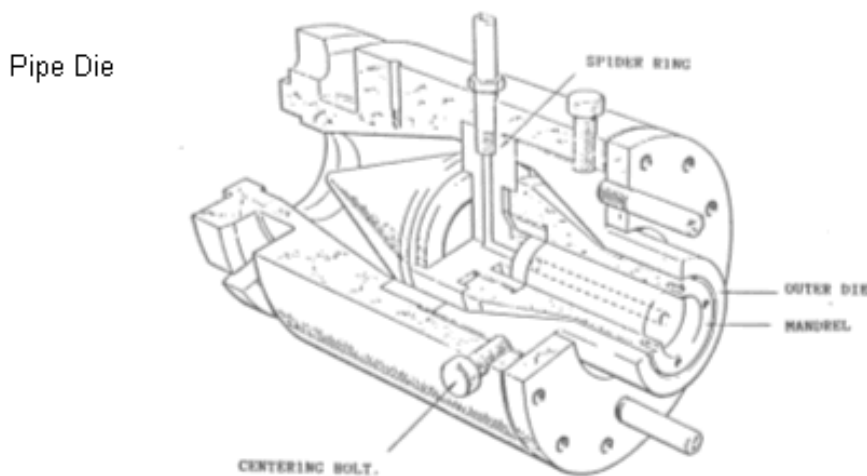
Για την παραγωγή ράβδων, κουρτινόξυλων και πλαισίων παραθύρων, οι μήτρες έχουν απλό σχεδιασμό με μια κατακόρυφη είσοδο μήτρας και μήκος τουλάχιστον 10 φορές τη διάσταση της διατομής.



**Εικόνα 3.15:** Καλούπια για την παραγωγή συμπαγών διατομών (14).

### Καλούπια για την παραγωγή κοίλων διατομών

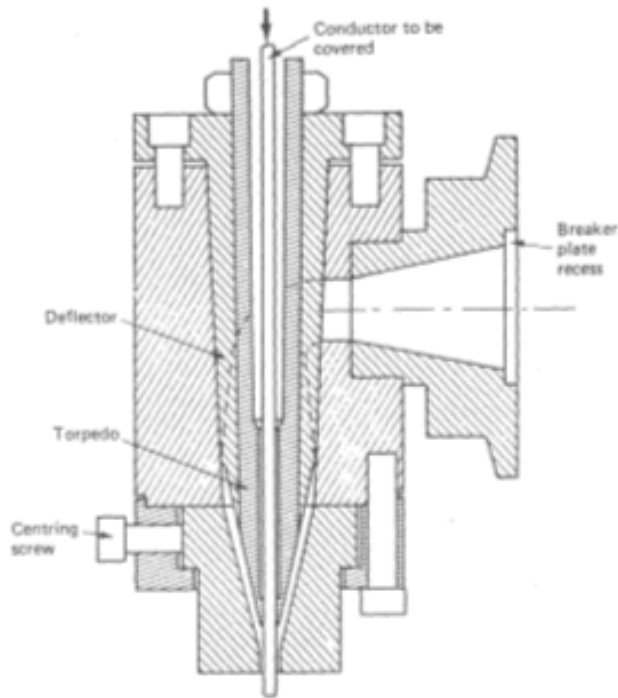
Για την παραγωγή σωληνώσεων, οι μήτρες σχεδιάζονται με έναν εσωτερικό άξονα για να δημιουργηθούν οι εσωτερικές διαστάσεις. Η πολυπλοκότητα προκύπτει από τη τοποθέτηση του άξονα εντός της μήτρας ώστε να ελαχιστοποιείται η διακοπή ροής. Μία πιθανή επιπλοκή σε κοίλες μήτρες είναι ότι πρέπει να υπάρχει μία εσωτερική πίεση στο προϊόν εξώθησης κατά τη διάρκεια της ψύξης για να αποφευχθεί η κατάρρευση του κοίλου εξωθήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με μια γραμμή αέρα μέσω του άξονα. Ωστόσο, μια καλύτερη λύση είναι να εφαρμοστεί ένα εξωτερικό κενό στο προϊόν εξώθησης καθώς ψύχεται.



**Εικόνα 3.16:** Καλούπια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κοίλων διατομών.

### Καλούπια που χρησιμοποιούνται στην επίστρωση καλωδίων

Με μία μήτρα <<crosshead die>> (μία μήτρα που χωρίζει τη ροή του τήγματος στα δύο στην είσοδο της και την συνδυάζει ξανά στην αντίθετη πλευρά ενός κυλινδρικού κεντρικού άξονα), είναι δυνατή η τροφοδοσία ενός υποστρώματος, όπως ενός σύρματος, μέσω ενός κοίλου άξονα έτσι ώστε το υπόστρωμα να δέχεται μια συνεχή επικάλυψη πολυμερούς τήγματος στην κεφαλή της μήτρας. Οι μήτρες μπορούν να σχεδιαστούν για να δώσουν ένα σταθερό πάχος τοιχώματος ή για να παράγουν ένα προϊόν σταθερής εξωτερικής διαμέτρου.

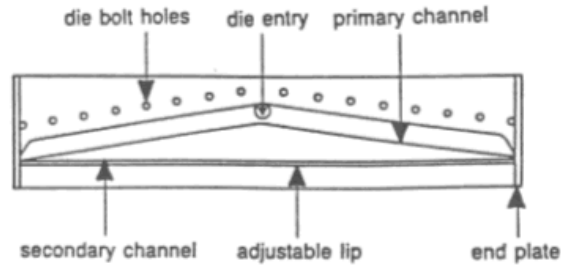


*Cross section of a wire or cable covering crosshead*

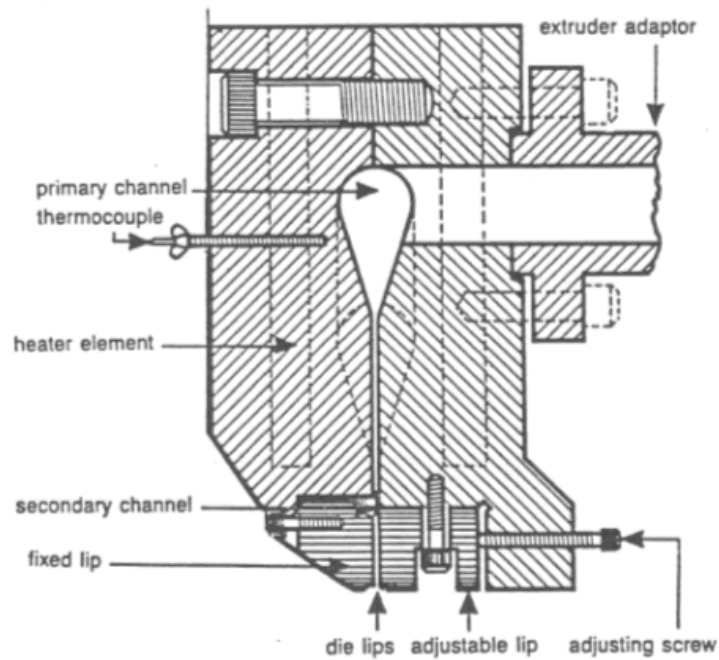
**Εικόνα 3.17:** Καλούπια που χρησιμοποιούνται στην επίστρωση καλωδίων (14).

### **Μήτρες για την παραγωγή λεπτών φιλμ**

Έχουν αναπτυχθεί μήτρες με σχισμή για την παραγωγή φιλμ και φύλλων μέχρι και πλάτους 2 m και πάχους μέχρι 100  $\mu\text{m}$ . Ορισμένα σχέδια, με σταδιακά αυξανόμενο πλάτος και μειωμένο ύψος, παρουσιάζουν προβλήματα στη διανομή του τήγματος στις άκρες. Η ενσωμάτωση διαύλων πολλαπλής πρόσβασης (manifold channels) στη μήτρα προκαλεί μια πιο ομοιόμορφη ροή.



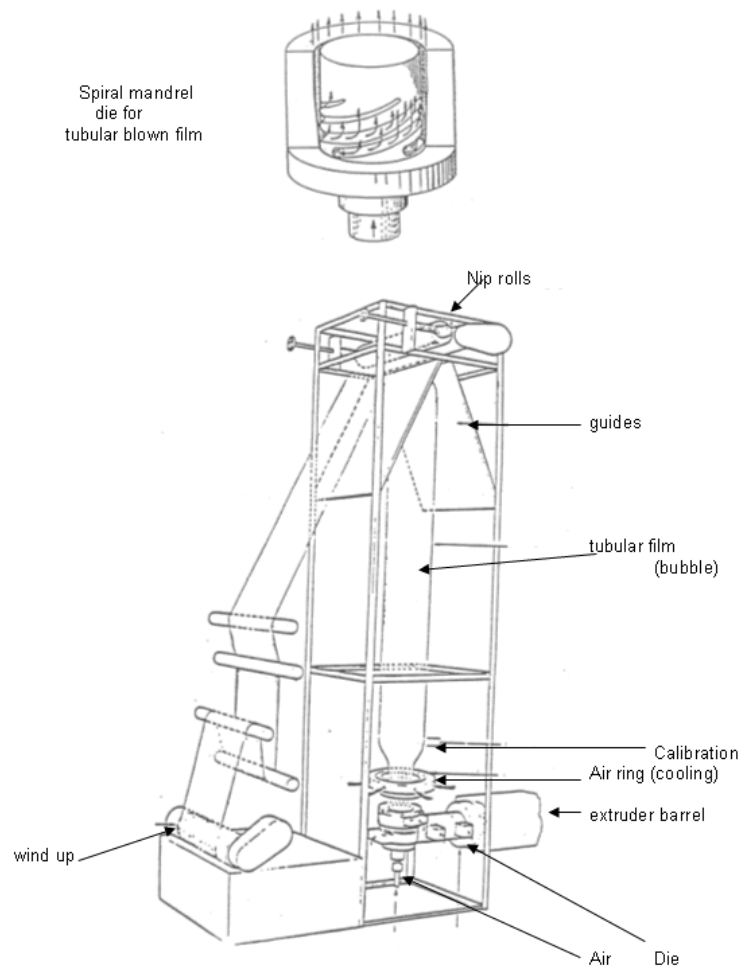
Plan view of coathanger sheet die



**Εικόνα 3.18:** Καλούπια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λεπτών υμενίων (φιλμς) (14).

### Μήτρες για την παραγωγή σωλήνων με λεπτά τοιχώματα

Οι μήτρες της μορφής <<crosshead>> παράγουν σωλήνες με λεπτό τοίχωμα και ομοιόμορφο πάχος. Με το τέντωμα του θερμού σωλήνα περιφερειακά και την τάνυση του σωλήνα στο μήκος, η διάμετρος αυξάνεται και το πάχος μειώνεται.



**Εικόνα 3.19:** Διάταξη για την παραγωγή σωλήνων με λεπτά τοιχώματα (14).

Τα θερμοπλαστικά φύλλα μπορούν να παραχθούν σε μήτρες συν-εξώθησης αποτελούμενες από επιμέρους στρώματα διαφορετικών πολυμερών συνδεδεμένων μεταξύ τους. Τα διάφορα ρεύματα τήγματος, που παρασκευάζονται σε ξεχωριστούς εξωθητές, φέρνονται μαζί είτε στην έξοδο της μήτρας είτε σε ένα προγενέστερο στάδιο. Το κλειδί της συν-εξώθησης έγκειται στην στρωτή ροή θερμοπλαστικών τήγματος, χωρίς τάση ανάμιξης μεταξύ διαδοχικών στρωμάτων.



### 3.10 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ

#### Σύστημα ψύξης με χρήση αέρα

Η χρήση του αέρα για ψύξη (Εικ.3.20) χρησιμοποιήθηκε για αρκετό καιρό. Σήμερα, σπάνια χρησιμοποιείται επειδή είναι αναποτελεσματική και συνήθως απαιτεί βραδύτερες ταχύτητες επεξεργασίας. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος ψύξης έχει χαμηλό κόστος κάτι που τον καθιστά κατάλληλο για μικρές γραμμές παραγωγής. Επίσης σαν σύστημα είναι απλό και γρήγορο στην εγκατάσταση.



**Εικόνα 3.20:** Σύστημα ψύξης με χρήση αέρα (25).

#### Ψύξη με χρήση δεξαμενής νερού

Σε αυτόν τον τρόπο ψύξης απαιτείται η παροχή νερού. Αυτό μπορεί να γίνει ως εξής: Είτε το νερό διανέμεται απευθείας στη δεξαμενή από το νερό του εργοστασίου είτε από ένα άλλο σύστημα κρύου νερού. Επίσης έχουμε δύο τύπους συστημάτων ψύξης: 1) Ένα σύστημα με απλή είσοδο / έξοδο του νερού και 2) ένα σύστημα ανακύκλωσης για τη μείωση της κατανάλωσης νερού από τη μονάδα. Το σύστημα ανακύκλωσης μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν εναλλάκτη θερμότητας για να διαχωρίσει το νερό από το κεντρικό σύστημα ή χωρίς εναλλάκτη θερμότητας και το νερό της διαδικασίας να αναμιγνύεται με



το κρύο νερό. Στη συνέχεια, το νερό αυτό χρησιμοποιείται για την ψύξη του προϊόντος. Κάποιος τύπος στήριξης είναι συνήθως τοποθετημένος μέσα στη δεξαμενή για να συγκρατεί το προϊόν ενώ ψύχεται από το νερό. Το νερό είτε ψεκάζεται στο προϊόν από πολλές κατευθύνσεις έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη ψύξη είτε η δεξαμενή πλημμυρίζεται με νερό έτσι ώστε το προϊόν να βυθίζεται στο νερό καθώς περνά μέσα από τη δεξαμενή. Οι δεξαμενές ψεκασμού γενικά προσφέρουν πιο αποτελεσματική ψύξη με πρόσθετο κόστος τη συντήρηση των ακροφυσίων ψεκασμού. Συνήθως, απαιτούνται περισσότερες από μία δεξαμενές ψύξης για να διασφαλιστεί ότι το τμήμα ψύχεται επαρκώς και διατηρεί σταθερότητα διαστάσεων μόλις βγει από την τελευταία δεξαμενή. Στην Εικ.3.21 παρουσιάζεται η εξωτερική εγκατάσταση ενός συστήματος ψύξης με νερό.



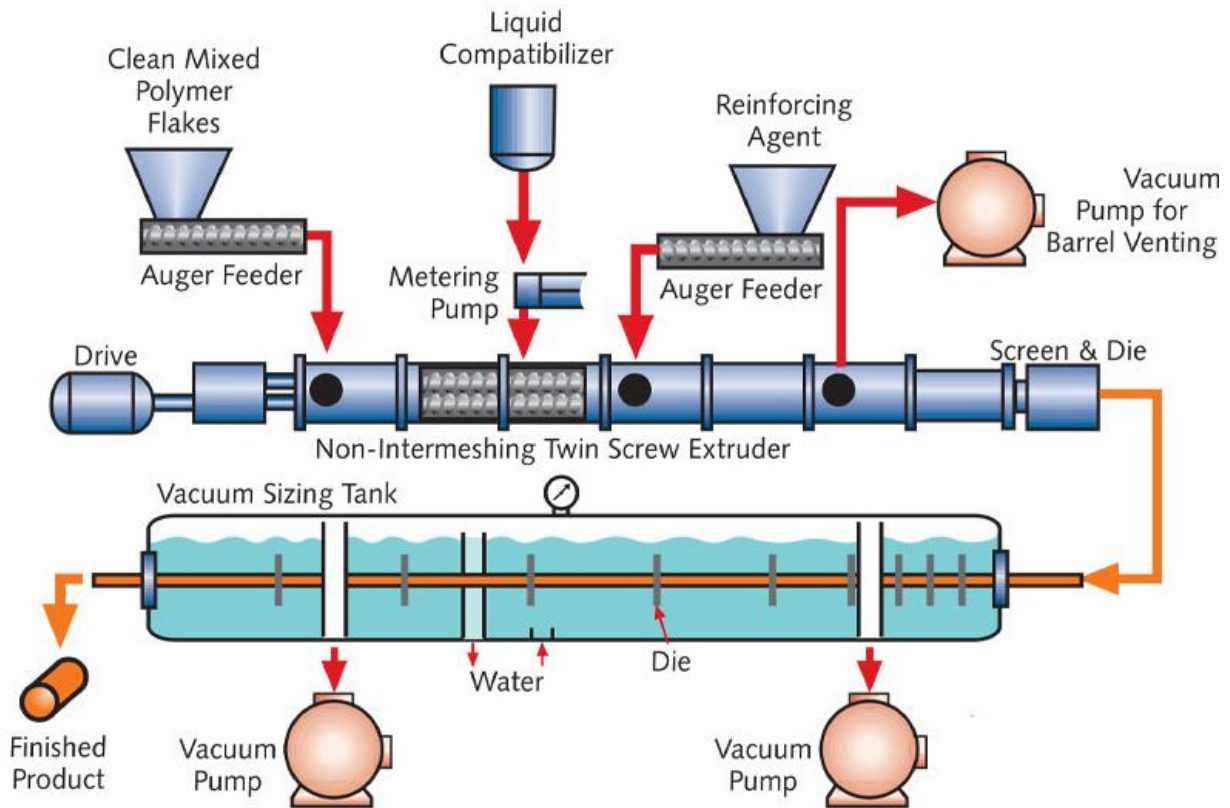
**Εικόνα 3.21:** Εξωτερική εγκατάσταση συστήματος ψύξης.

### Ψύξη με χρήση δεξαμενής κενού

Σε αυτού του είδους ψύξης η δεξαμενή έχει επιπλέον την δυνατότητα να διαμορφώσει τις διαστάσεις του προϊόντος κατά την διαδικασία ψύξης. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια μιας διαδικασίας με τη χρήση κενού που υποβάλει το προϊόν σε μια αλλαγή της πίεσης στη δεξαμενή για να βοηθήσει στη διατήρηση κοιλιοτήτων, στρογγυλότητας, πάχους τοιχώματος και πραγματικού μεγέθους. Με την προσθήκη αντλίας κενού και των απαιτούμενων υδραυλικών εγκαταστάσεων, διατηρείται μία σταθερή ατμόσφαιρα στη δεξαμενή. Η διαμόρφωση του μεγέθους του προϊόντος γίνεται με εργαλεία βαθμονόμησης που τοποθετούνται μέσα ή πριν από τη δεξαμενή. Η διατήρηση του κενού σε σταθερή τιμή απαιτεί καλές σφραγίσεις μεταξύ των διαφόρων συνδέσεων. Τα μήκη αυτών των δεξαμενών βασίζονται στις απαιτήσεις επεξεργασίας. Στην Εικ.3.22 φαίνεται μία τέτοια εγκατάσταση ενώ στην Εικ.3.23 ένα σχεδιάγραμμα λειτουργίας.



**Εικόνα 3.22:** Εγκατάσταση ψύξης με χρήση κενού (25).



**Εικόνα 3.23:** Σχεδιάγραμμα λειτουργίας μίας εγκατάστασης ψύξης με τη χρήση κενού (26).

### Τραπέζι βαθμονόμησης ψύξης νερού

Σε αυτόν τον τρόπο ψύξης (Εικ.3.24) δεν χρησιμοποιείται δεξαμενή νερού. Η παροχή κενού και νερού συνδέονται απευθείας στο σώμα της δεξαμενής. Αυτός ο τύπος διαδικασίας ονομάζεται μερικές φορές "υγρός/ξηρός" καθώς επιτρέπει να χρησιμοποιείται ή όχι νερό. Αυτός ο τύπος εξοπλισμού είναι συνήθως πολύ πιο ακριβός από μια απλή δεξαμενή, επομένως έχει μόνο ειδικές χρήσεις.



**Εικόνα 3.24:** Τραπέζι βαθμονόμησης ψύξης νερού (25).

### **3.11 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΟΠΗΣ**

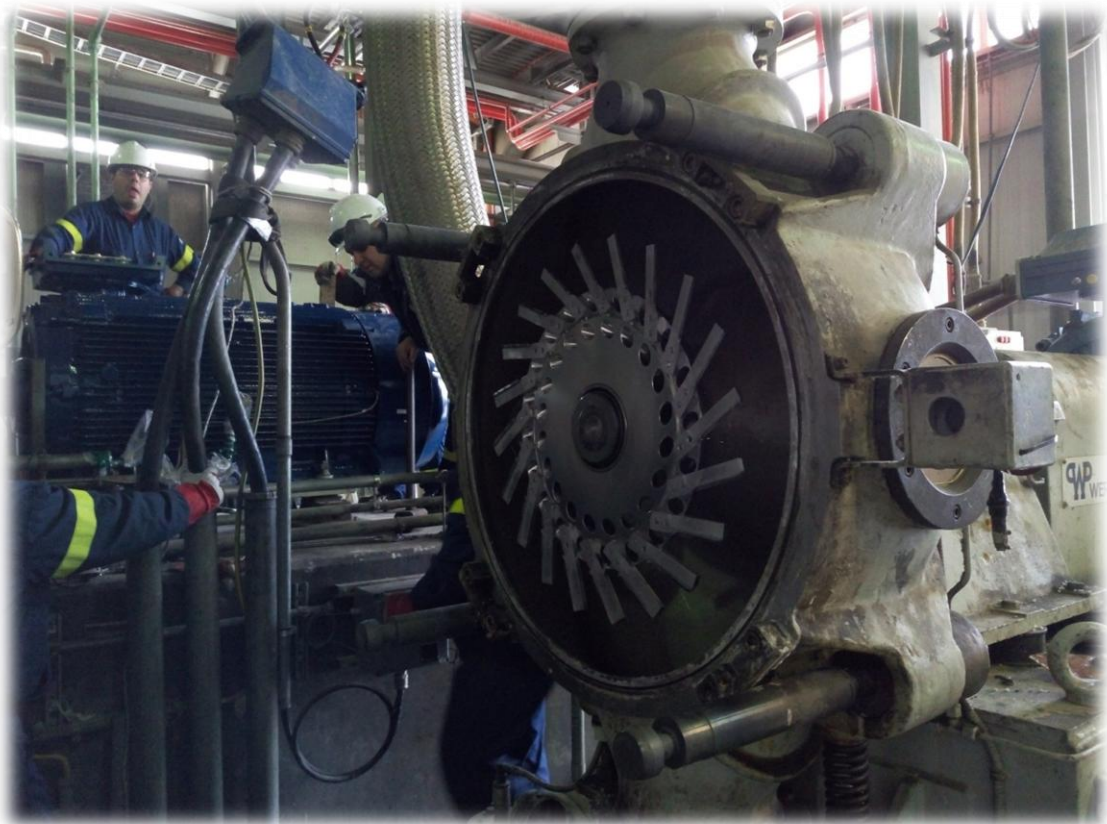
#### **Κοπή με μαχαίρια**

Το προϊόν περνά μέσα από ένα σετ δαχτυλιδιών (bushing) έτσι ώστε να διατηρεί τον προσανατολισμό του. Καθώς το προϊόν κινείται μέσα από τους δακτυλίους, ενεργοποιείται ο μηχανισμός κοπής. Αυτός είναι συνήθως ένας περιστρεφόμενος βραχίονας ή τροχός στον οποίο είναι τοποθετημένα τα μαχαίρια. Ο τύπος των μαχαιριών, η διαμόρφωση, η γωνία κοπής, και πολλά άλλα θα καθορίσουν την ποιότητα και την ανοχή του κομμένου προϊόντος. Υπάρχουν δύο τύποι λειτουργιών κοπής: Στην πρώτη περίπτωση ο μηχανισμός κοπής ενεργοποιείται μέσω ενός σήματος κάθε φορά που χρειάζεται να γίνει κοπή. Η ενεργοποίηση μπορεί να γίνει μέσω χρονοδιακόπτη, οπτικού αισθητήρα, κ.λπ. Στη δεύτερη περίπτωση ο μηχανισμός κοπής περιστρέφεται συνέχεια με σταθερή ταχύτητα και το προϊόν μετακινείται διαμέσου των δακτυλίων με σταθερό ρυθμό για να επιτυγχάνεται ένα συγκεκριμένο μήκος κοπής. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται συνήθως για πολύ μικρού μήκους προϊόντα ή για πολύ υψηλές ταχύτητες παραγωγής (25).

Αυτά τα μηχανήματα κοπής μπορούν να λειτουργούν με διάφορους τρόπους. Κάποιες παλιές μηχανές κοπής λειτουργούν με συμπλέκτη (clutch) που περιστρέφει τον βραχίονα. Ορισμένες χρησιμοποιούν κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούν σερβοκινητήρες με ή χωρίς μειωτήρες ταχυτήτων



για να κόψουν το προϊόν. Άλλες μηχανές κοπής χρησιμοποιούν μια λεπίδα στυλ γκιλοντίνας. Στην Εικ.3.25 φαίνονται ένα κοπτικό μηχανήμα που χρησιμοποιείται στην παραγωγή πλαστικού pellet (pelletizer).



**Εικόνα 3.25:** Αποσυνδεδεμένο pelletizer κατά τη συντήρηση.

## **Κοπή με πριόνι**

Το πριόνι είναι συνήθως απαραίτητο για προϊόντα με μεγαλύτερο πάχος (π.χ. σωλήνες). Τα πριόνια διατίθενται σε διάφορες διαμορφώσεις. Σε αυτόν τον τύπο κοπής το τραπέζι κινείται. Αυτό επιτρέπει στο να μην διακόπτεται η κίνηση του προϊόντος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να κινείται αυτός ο μηχανισμός κοπής είναι (25):

- Πνευματικός όπου απαιτείται η χρήση υδραυλικών κυλίνδρων
- Με τη χρήση σερβοκινητήρα που είναι και η πιο δημοφιλής μέθοδος. Η μέθοδος αυτή είναι πιο ακριβής, καθώς δεν απαιτεί το προϊόν να συσφίγγεται για να μετακινείται το τραπέζι.

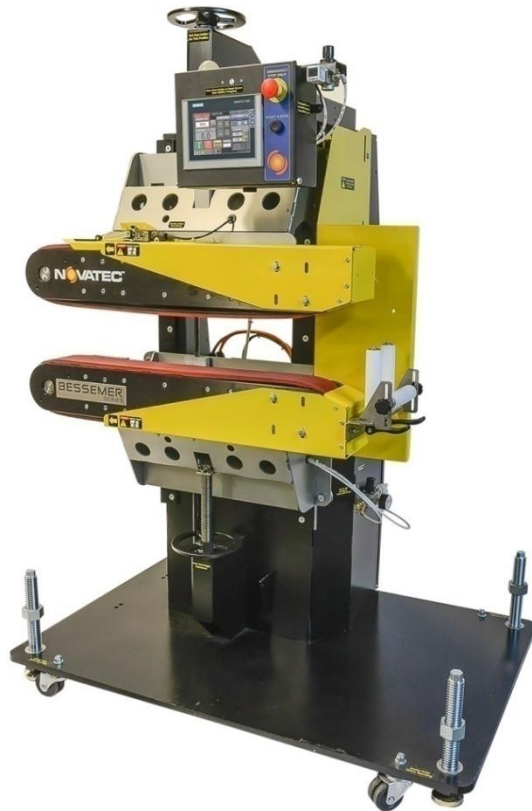
Οι τύποι των πριονιών που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είναι (25):

1) Up-Cut - αυτά είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πριόνια. Το πριόνι κινείται από κάτω προς τα πάνω κατά τη διάρκεια της κοπής. Αυτό το στυλ απαιτεί τη χρήση μίας αρπάγης για να λειτουργεί σωστά. Πριν από την έναρξη της κοπής, η αρπάγη σφίγγει το προϊόν στο τραπέζι. Αυτή η ενέργεια απαιτείται επειδή η λεπίδα θα ανυψώσει το προϊόν κατά τη διάρκεια της κοπής κάτι που θα μπορούσε να προκαλέσει κακή ποιότητα κοπής.

2) Crosscut - Αυτό το στυλ χρησιμοποιείται συνήθως όταν το προϊόν είναι μεγαλύτερο και ένα κανονικό κοπτικό πριόνι δεν μπορεί να το χειριστεί. Πολλές φορές χρησιμοποιείται ένα πριόνι που ξεκινάει κάτω από την επιφάνεια του τραπεζιού και στη συνέχεια το πριόνι κινείται προς τα πάνω και στη συνέχεια απέναντι.

## **3.12 ΕΞΟΛΚΕΑΣ**

Οι περισσότερες διαδικασίες εξώθησης απαιτούν έναν εξολκέα για την αποτελεσματική επεξεργασία ενός προϊόντος. Δεδομένου ότι μετά την ψύξη τα προϊόντα δεν μπορούν να ωθήσουν το δικό τους βάρος, χρειάζεται μία βοήθεια για να διατηρηθεί η κίνηση. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται και αυτές οι μηχανές (Εικ.3.26). Σε αυτή τη διαδικασία η ακρίβεια της ταχύτητας έλξης είναι σημαντική. Το προϊόν εξέρχεται από τον εξωθητή σε μια δεδομένη μάζα ανά ώρα. Αυτό ισοδυναμεί με μια δεδομένη γραμμική ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το βάρος του προϊόντος. Αυτή η ταχύτητα πρέπει να διατηρείται με ακρίβεια διαφορετικά θα υπάρξει πρόβλημα στην διαδικασία (25).



**Εικόνα 3.26:** Εξολκέας (25).

### **3.13 ΜΗΧΑΝΗ ΠΕΡΙΕΛΙΞΗΣ**

Μερικά προϊόντα όπως τα καλώδια, είναι συχνά επιθυμητό να περιελιχθούν π.χ. σε καρούλια για αποθήκευση μέχρι να γίνει μια δευτερεύουσα διεργασία ή ακόμα και πώληση. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται οι μηχανές περιέλιξης (Winders/ Coilers). Ένα τέτοιο μηχάνημα φαίνεται στην Εικ.3.27. Οι μηχανές αυτές διατίθενται σε ποικίλες διαμορφώσεις και μπορεί να είναι είτε χειροκίνητες όπου ο χειριστής θα περιτυλίγει το προϊόν στους άξονες ή στα καρούλια είτε τελείως αυτοματοποιημένες όπου το μόνο που θα χρειάζεται να κάνει ο χειριστής είναι να τοποθετεί καινούργιους άξονες και να αφαιρεί το τελικό προϊόν.



**Εικόνα 3.27:** Μηχανή περιέλιξης (25).

### **3.14 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

#### **Μέτρα προστασίας πριν την λειτουργία**

Πριν τεθεί σε λειτουργία ένας νέος εξωθητής, ένας αρμόδιος πρέπει να ελέγξει ότι το μηχάνημα είναι ασφαλές και ότι συμμορφώνεται με τοπικούς και εθνικούς κώδικες ασφαλείας. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ακούμε τις συμβουλές του προμηθευτή της μηχανής. Μια τοπική ένωση πλαστικών ή μια ομοσπονδία θα προσφέρει χρήσιμες συμβουλές σχετικά με το ποιος θα πρέπει να έρθει σε επαφή και ποιοι κώδικες πρακτικής πρέπει να ακολουθηθούν. Οποιαδήποτε ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να είναι ως το ελάχιστο απαιτούμενο. Είναι πολύ σημαντικό να διασφαλιστεί ότι όλοι όσοι ασχολούνται με την εξώθηση πρέπει να έχουν υπεύθυνη συμπεριφορά και να εκπαιδεύονται συνεχώς (15).

#### **Σωστός χειρισμός υλικών**

Για να αποφευχθεί η μόλυνση του υλικού δεν πρέπει να αγγίζεται με γυμνό χέρι. Επίσης δεν επιτρέπεται κανένα υλικό να έρθει σε επαφή με το δέρμα ή τα μάτια, ιδιαίτερα αν το υλικό έχει υποστεί κατεργασία με λιπαντικό. Εάν κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας υπάρχει πολύ σκόνη στην ατμόσφαιρα τότε η διαδικασία πρέπει



να αναθεωρηθεί και να τροποποιηθεί. Όταν χειριζόμαστε ένα θερμοπλαστικό υλικό, ο μεγαλύτερος κίνδυνος είναι να χυθεί στο δάπεδο κάνοντας το πολύ ολισθηρό κάτι που μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς. Επομένως, κάθε χυμένο στο δάπεδο υλικό πρέπει να συλλέγεται αμέσως και να απορρίπτεται με εγκεκριμένο τρόπο (15).

### **Προστασία από εγκαύματα**

Ορισμένοι εξωθητές λειτουργούν σε θερμοκρασίες άνω των 400°C. Οποιαδήποτε επαφή με τον εξωθητή μπορεί να προκαλέσει σοβαρά εγκαύματα. Γι' αυτόν τον λόγο ο κύλινδρος του εξωθητή καλύπτεται. Τα λιωμένα θερμοπλαστικά υλικά συμπεριφέρονται σαν συγκολλητικά θερμής τήξης και μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να αφαιρεθούν από το δέρμα. Αυτά τα υλικά είναι οργανικά και έχουν υψηλές ειδικές θερμότητες και χαμηλές θερμικές αγωγιμότητες. Έτσι, καθώς το τήγμα περιέχει μεγάλη ποσότητα θερμότητας, μπορεί να προκύψουν σοβαρά εγκαύματα. Πρόκειται για μία οδυνηρή εμπειρία καθώς το θερμό τήγμα απελευθερώνει τη θερμότητα που περιέχει πολύ αργά. Σε περίπτωση που έρθει σε επαφή η ρητίνη με το γυμνό χέρι τότε πρέπει να αφαιρεθεί γρήγορα να βυθιστεί σε κρύο νερό και στη συνέχεια να ζητηθεί ιατρική συμβουλή (15).

### **Αποσύνθεση ρητίνης και αέρια**

Τα θερμοπλαστικά υλικά στις υψηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στην εξώθηση μπορούν εύκολα να αποσυντεθούν και να δώσουν δυσάρεστες οσμές και σε περίπτωση σοβαρής υπερθέρμανσης, μπορούν να παράγουν μια μεγάλη ποσότητα επιβλαβούς αερίου. Αυτά τα αέρια δεν πρέπει να εισπνέονται διότι είναι επιβλαβή. Αυτό σημαίνει ότι εάν για παράδειγμα, ο κύλινδρος του εξωθητή προετοιμαστεί για καθαρισμό, αυτό πρέπει να γίνει σε καλά αεριζόμενο χώρο. Τα γάντια, οι φόρμες με μακριά μανίκια και η μάσκα πρέπει να φοριούνται όταν ο κύλινδρος και ο κοχλίας απογυμνωθούν για να καθαριστούν. Αν το αέριο που παράγεται από την αποσύνθεση του υλικού παγιδευτεί μέσα στο μηχάνημα, μπορεί να προκαλέσει σοβαρά ατυχήματα. Στη χειρότερη περίπτωση, θα μπορούσε να προκαλέσει έκρηξη και να προκαλέσει ζημιά στο μηχάνημα, όπως η διάτμηση των μπουλονιών που συγκρατούν τη μήτρα. Έτσι είναι απαραίτητο να ακολουθούνται πιστά όλες οι οδηγίες λειτουργίας (15).

### **Προστασία από τους περιστρεφόμενους κυλίνδρους**

Το κενό ανάμεσα σε περιστρεφόμενους κυλίνδρους που μπορεί να υπάρχουν σε κάποια τμήματα της διάταξης είναι πολύ επικίνδυνο καθώς υπάρχει πιθανότητα να παγιδευτούν δάχτυλα ή ρούχα και να προκληθεί σοβαρός τραυματισμός. Επίσης τα μακριά μαλλιά πρέπει να είναι μαζεμένα ενώ ρούχα όπως οι γραβάτες δεν πρέπει να φοριούνται καθώς μπορούν να παγιδευτούν. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται και όταν φοράμε γάντια καθώς και αυτά μπορεί να παγιδευτούν. Σε περίπτωση που κάποιος παγιδευτεί πρέπει να γνωρίζουμε πώς μπορούμε να σταματήσουμε το μηχάνημα και πώς θα απομακρύνουμε το άτομο (15).

## 4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά των θερμοπλαστικών πολυμερών όπως είναι το PP είναι η ευκολία με την οποία κατεργάζονται και μορφοποιούνται. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται σε μία πληθώρα προϊόντων. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η εξώθηση η οποία αποτελεί μία από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές τόσο για την μορφοποίηση όσο και για την ανάμειξη των πολυμερών. Πιο συγκεκριμένα περιγράφηκε αναλυτικά ο εξωθητής και παρουσιάστηκαν τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια γραμμή παραγωγής εξώθησης καθώς και οι συνθήκες και ο τρόπος λειτουργίας τους. Επίσης έγινε αναφορά και σε κάποια μέτρα προστασίας που πρέπει να παίρνονται για την αποφυγή ατυχημάτων κατά τη διεργασία της εξώθησης. Η γνώση των παραπάνω είναι πολύ σημαντική για έναν μηχανικό καθώς η λάθος ρύθμιση των παραμέτρων της διεργασίας ( θερμοκρασίας, πίεσης κτλ.) καθώς και η μη τήρηση κάποιων βασικών κανόνων ασφαλείας, θα οδηγήσει σε αστοχία του τελικού προϊόντος και οικονομικό κόστος στην πρώτη περίπτωση και ατυχήματα στη δεύτερη περίπτωση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Everything You Need To Know About Polypropylene (PP) Plastic: CreativeMechanisms, <https://www.creativemechanisms.com/blog/all-about-polypropylene-pp-plastic>.
2. The Definitive Guide to Polypropylene (PP): Omnexus The material selection platform, <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>.
3. Maddah H. A., Polypropylene as a Promising Plastic: A Review, American Journal of Polymer Science, Vol. 6(1), pp. 1-11, 2016.
4. Material property charts, Explore the beauty of materials property data!: Ansys Granta. Ansys Granta, <https://grantadesign.com/education/students/charts/>.
5. Saravanan A. M., Sulaiman K. A., A Study on the Process Plant Design for the production of Polypropylene Plant, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, pp. 631-635. Vol. 4 ,2014.
6. Παπανικολάου Γ., Μουζάκης Δ. Σύνθετα Υλικά, Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2007.
7. Alper K., Polymer Extrusion Experimental Report, Materials Processing Laboratory, Anadolu Univeristy, 2018.
8. Neupane B., Pathak M., Adhikari M, Design and fabrication of plastic extrusion machine, Department of Mechanical Engineering, Kathmandu University, 2019.
9. Κ., Παναγιώτου. Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών, 3η Έκδοση, Πήγασος, Θεσσαλονίκη, 2006.
10. Dynisco, Introduction to extrusion , [www.dynisco.com](http://www.dynisco.com).
11. Lonroy, Δείκτης ροής τήγματος (MFI, MFR, MVR), <http://gr.lr-test.com/>.
12. Greene J., P, Extrusion, Sustainable Plastics : Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics. 1st Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2014.
13. 3D printing for beginners, <http://3dprintingforbeginners.com/how-to-make-diy-filament-for-your-3d-printer/>.
14. Polymer manufacturing processes, Hardie Polymers, <https://www.hardiepolymers.com/knowledge/polymer-manufacturing-processes/>.
15. Dynisco, *The Screw and Barrel System*, [https://www.dynisco.com/userfiles/files/The\\_Screw\\_and\\_Barrel\\_System.pdf](https://www.dynisco.com/userfiles/files/The_Screw_and_Barrel_System.pdf).
16. Plastics Technology, Novatec, Extrusion: How Hopper Crammers Can Help Feeding, <https://www.ptonline.com/articles/extrusion-how-hopper-crammers-can-help-feeding>

17. Extrusion training, *Smooth barrel extruder or grooved barrel extruder – when, which one, and why?* , <https://extrusion-training.de/en/glattrohr-oder-genuteter-extruder-zylinder-wann-welcher-und-warum/#>.
18. Extrusion, [https://www.kmutt.ac.th/p-prof/Teaching%20documents/MTT%20655/MTT655%20W2\\_Extrusion.pdf](https://www.kmutt.ac.th/p-prof/Teaching%20documents/MTT%20655/MTT655%20W2_Extrusion.pdf)
19. Plastics Technology, Novatec, screw-wear-understanding-causes-effects-and-solutions  
<https://www.ptonline.com/articles/screw-wear-understanding-causes-effects-and-solutions>
20. Plastics online, Your Extruder's Best Friend, Noavatec,  
<https://www.ptonline.com/articles/your-extruders-best-friend>.
21. Pnh Melt Pumps and filters, <http://www.pnhmelpump.com/melt-pump/>
22. Plastics Technology, Novatec, Keep Your Screen Changer In the Flow,  
<https://www.ptonline.com/articles/keep-your-screen-changer-in-the-flow>.
23. Continuous Screen Changers 101, *Parkinson Technologies Inc*,  
<https://parkinsontechnologies.com/index.php/blog/continuous-screen-changers-101>.
24. Plastics Technology, Novatec, Get Smart about screens,  
<https://www.ptonline.com/articles/get-smart-about-screens>.
25. Plastics Technology, Novatec, *Knowledge center- Profile extrusion*,  
<https://www.ptonline.com/knowledgecenter/profile-extrusion/profile-extrusion-equipment>.
26. NASH, Vacuum pumps for plastic extrusion, <https://www.gardnerdenver.com/en-us/nash/industries/general-industrial/plastic-extrusion>