



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ



Κωνσταντίνος Κανέλλος, ΑΜ: 38855
Κακουλίδη Μελπομένη, ΑΜ: 38862

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ. Α. Τσολάκης

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	4
1.1 Πολυμερή	4
1.2 Ιξώδες.....	6
1.3 Πολυαιθυλένιο ή πολυαιθένιο.....	12
1.4 Πολυπροπυλένιο	15
1.5 Νάιλον	20
1.6 Πολυβινυλοχλωρίδιο ή PVC	25
2. Εξωθητής πολυμερικών φύλλων (extruder)	31
2.1 Ηλεκτροκινητήρες	32
2.2 Μειωτήρες.....	32
2.3 Εκβολέας ή Κοχλίας.....	33
2.3.1 Μονοκόχλιος Εκβολέας.....	34
2.3.2 Διπλοκόχλιοι Εκβολείς	38
2.4 Τύποι Κοχλίων	40
2.5 Τροποποιήσεις στον κοχλία τυπικού εκβολέα.....	43
2.6 Απαεριούμενος εκβολέας	45
2.7 Φίλτρα	46
2.8 Μήτρα.....	46
2.9 Προσανατολισμός	50
2.10 Συνεκβολή	52
2.11 Παραγωγή φιλμ με διαξονικό προσανατολισμό.....	53
2.12 Σύστημα περιστροφής	54
2.12 Τραβηχτικό Μηχάνημα	55
2.13 Τυλιχτικό Μηχάνημα.....	56
3. Συντήρηση	57
4. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	58
Βιβλιογραφία	59
Παραπομπές.....	60

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία συνιστά το αποτέλεσμα της τετραετούς φοίτησής μας στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά και αποτελεί το τελευταίο στάδιο των σπουδών μας για την απόκτηση του προπτυχιακού τίτλου σπουδών στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Το θέμα που παρουσιάζεται στην προκειμένη εργασία είναι η παραγωγή πολυμερικών φύλλων.

Αναλύουμε τα **πολυμερή** και τον **εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder)**.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται στοιχεία για τα πολυμερή (ιδιότητες, ιξώδες και που χρησιμοποιούνται) και πιο αναλυτικά για 4 πολυμερή Πολυπροπυλένιο – PP, Πολυαιθυλένιο – PE, Πολυβινυλοχλωρίδιο – PVC και Νάιλον ή πολυαμίδες.

Στο δεύτερο μέρος, γίνεται ανάλυση στα μέρη και στα εξαρτήματα που απαρτίζουν έναν εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder), καθώς επίσης και στην συντήρηση και στα προβλήματα του.

Ακόμα αναφέρονται αναλυτικά τα μέρη του μηχανήματος, όπως ο κοχλίας, η μήτρα, το τραβηχτικό, το τυλιχτικό κλπ.

Τέλος Πραγματοποιείται ανάλυση σχετικά με τη συντήρηση, τα προβλήματα και τους τρόπους επίλυσης των προβλημάτων.

SUMMARY

In this paper, the first part contains data for polymers (properties, viscosity and used) and more detailed 4 Polymers Polypropylene - PP, Polyethylene - PE, Polyvinyl chloride - PVC and Nylon or Polyamide.

In the second part we analyze the parts and components that make up an extruder, and maintenance problems.

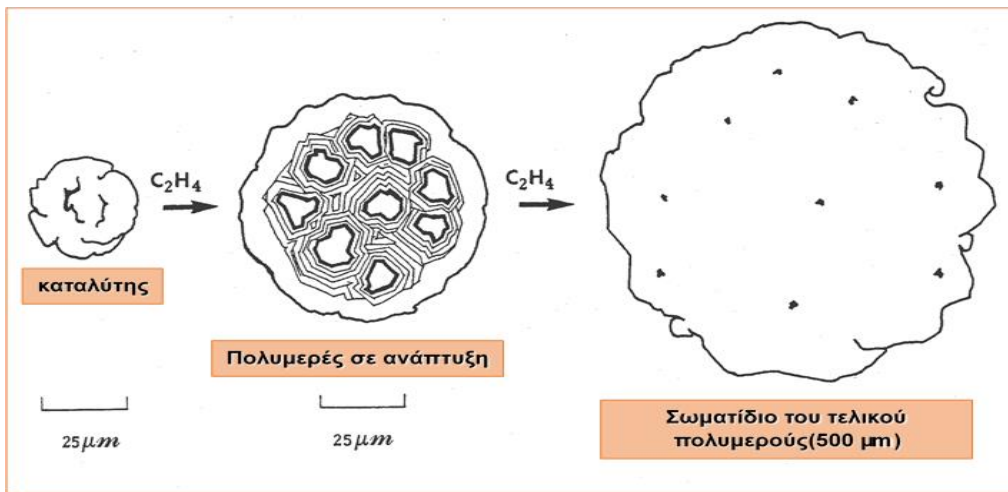
Detailed parts of the machine, such as screw, matrix, pulled, rolled etc.

An analysis to maintain, to the problems and ways of solving problems.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Πολυμερή

Είναι γνωστό ότι η τεράστια διάδοση των πλαστικών υλικών και η εκτόπιση άλλων παραδοσιακών υλικών από τις τεχνικές και κοινόχρηστες εφαρμογές έγκειται στην τεράστια ευελιξία που προσφέρει ο σχετικά νέος αυτός κλάδος των υλικών. Πολυμερή ονομάζονται οι χημικές ενώσεις με μεγάλα μόρια, τα λεγόμενα μακρομόρια, που σχηματίζονται από τη σύνδεση πολλών όμοιων μικρών μορίων, που λέγονται "μονομερή". Τα πολυμερή προκύπτουν από τη χημική αντίδραση των μονομερών, που ονομάζεται πολυμερισμός.



1.1 Πολυμερική διαδικασία

Όμως, προσοχή, καθώς δεν είναι όλα τα μακρομόρια πολυμερή, επειδή δεν αποτελούνται όλα τους από όμοια μόρια π.χ. τα λιπίδια. Τα πολυμερή διακρίνονται εκ της προέλευσής τους σε "φυσικά πολυμερή" και "συνθετικά πολυμερή". Τέτοια φυσικά πολυμερή είναι για παράδειγμα το DNA, το καουτσούκ, το άμυλο, η κυτταρίνη, οι πρωτεΐνες κ.λπ., ενώ συνθετικά πολυμερή είναι τα πλαστικά, οι εκρηκτικές ύλες, οι λευκαντικές ουσίες, τα σαπούνια κ.λπ. Επίσης, διακρίνονται σε θερμοπλαστικά, ελαστομερή και θερμοσκληρυνόμενα. Πράγματι, τα πολυμερή μπορούν να συντεθούν με μεγάλη ποικιλία χημικών αντιδράσεων πολυμερισμού και από μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών (μονομερή). Αποτέλεσμα αυτού του χαρακτηριστικού είναι η διαθεσιμότητα πολλών προϊόντων και μάλιστα, για κάθε ένα από αυτά διατίθενται εμπορικά και πολλοί εναλλακτικοί τύποι που μπορεί να διαφέρουν σε μοριακό βάρος ή άλλη παράμετρο δομής του υλικού. Όμως η ευελιξία των πλαστικών δεν περιορίζεται στη δυνατότητα που περιγράφεται πιο πάνω.

Η ευελιξία επεκτείνεται σημαντικά με την ευχέρεια που παρουσιάζουν τα πλαστικά να ενσωματώνουν διάφορα πρόσθετα και με τον τρόπο αυτό να εμφανίζουν διαφοροποιημένες ιδιότητες, οι οποίες μάλιστα μπορούν να προσχεδιασθούν ανάλογα με το είδος και την αναλογία του προσθέτου. Οι τροποποιήσεις των πλαστικών που επιτυγχάνονται με την ενσωμάτωση προσθέτων, καθώς και η μορφοποίησή τους, εξετάζονται από την Επεξεργασία Πολυμερών. Οι σχετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούν διαδικασίες τήγματος, εκμεταλλεύονται δηλαδή την ιδιότητα των θερμοπλαστικών να τήκονται με θέρμανση και να στερεοποιούνται με ψύξη σε θεωρητικά άπειρους κύκλους.

Με την τήξη και τη ρευστοποίηση του πλαστικού παραλαμβάνεται ένα υλικό με σημαντικά μειωμένο ιξώδες και η κατάσταση αυτή επιτρέπει αφενός την ευχερή του παραμόρφωση, με την επιβολή τάσεων, ώστε να μορφοποιηθεί, και αφετέρου την ενσωμάτωση προσθέτων και την ομοιόμορφη διασπορά τους μέσα στη μάζα του τήγματος. Βασικοί παράγοντες για την παραλαβή προϊόντος καλής ποιότητας αλλά και για υψηλούς ρυθμούς παραγωγής σε μία πορεία επεξεργασίας πλαστικών, είναι η σταθερότητα του τήγματος, η τιμή των ιξώδους του και το μέγεθος των τριβών μεταξύ πλαστικού και μεταλλικών επιφανειών του μηχανήματος στο οποίο γίνεται η επεξεργασία. Η θερμική σταθερότητα του τήγματος αποκλείει την αποσύνθεσή του, άρα και την αλλοίωση του προϊόντος. Με τον όρο αποσύνθεση εννοείται κάθε χημική αντίδραση που μεταβάλλει τη δομή του πλαστικού και υποβαθμίζει έτσι τις φυσικές του ιδιότητες. Παράλληλα, η θερμική σταθερότητα ενός πλαστικού δίνει την δυνατότητα της επεξεργασίας σε υψηλότερη θερμοκρασία οπότε μειώνεται το ιξώδες και αυξάνεται ο ρυθμός παραγωγής.

Επίσης, οι τριβές μεταξύ του πλαστικού και των μεταλλικών τμημάτων των μηχανών επεξεργασίας καθορίζουν το χρόνο παραμονής των μορίων του πλαστικού στη διεπιφάνεια και έτσι επιδρούν άμεσα στη θερμική αποσύνθεση του πλαστικού.

Η ρύθμιση των παραμέτρων που αναφέρθηκαν γίνεται με την προσθήκη σταθεροποιητών και λιπαντικών.

Εμείς θα ασχοληθούμε κυρίως με τα θερμοπλαστικά και πιο συγκεκριμένα με τα παρακάτω:

- **Πολυπροπυλένιο – PP**
- **Πολυαιθυλένιο - PE**
- **πολυβινυλοχλωρίδιο - PVC**
- **Νάιλον ή πολυαμίδες**

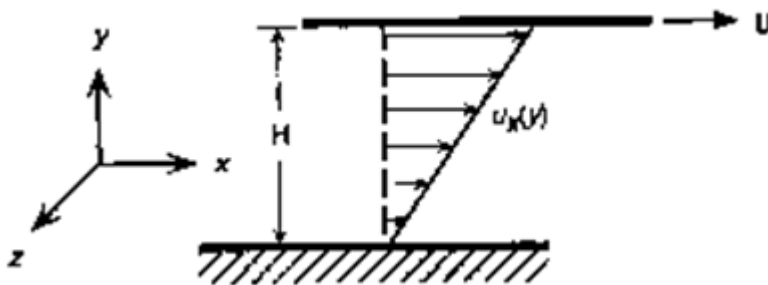
1.2 ΙΞΩΔΕΣ

Το ιξώδες αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα ενός ρευστού και αντιπροσωπεύει την αντίστασή του στη ροή. Νευτωνικά είναι τα ρευστά στα οποία η διατμητική τάση και ο ρυθμός παραμόρφωσης συνδέονται με μια γραμμική σχέση:

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad [1.1]$$

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad [1.2]$$

όπου τ η ασκούμενη διατμητική τάση, μ ο συντελεστής του νευτωνικού (διατμητικού) ιξώδους και $\dot{\gamma}$ ($d\gamma/dt = \dot{\gamma}$) ο ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης του υλικού.



Σχήμα 1.2 Ροή διάτμησης μεταξύ επίπεδων παράλληλων πλακών, όπου η πάνω πλάκα κινείται με σταθερή ταχύτητα U .

Για τον ορισμό του ιξώδους θεωρούμε ότι ρευστό βρίσκεται μεταξύ δύο επίπεδων πλακών εκ των οποίων η μια είναι ακίνητη και η άλλη κινείται με σταθερή ταχύτητα U , όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Για την ανάλυση της απλής αυτής ροής χρησιμοποιούμε σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων όπου ο x άξονας είναι προσανατολισμένος κατά τη φορά της διάτμησης και ο y άξονας είναι κάθετος στην επιφάνεια των επιπέδων. Η ροή είναι μονοδιάστατη κατά τον άξονα x (η συνιστώσα της ταχύτητα u_x είναι συνάρτηση μόνο του y). Η διατμητική παραμόρφωση γ ορίζεται ως ο λόγος της παραμόρφωσης ενός στοιχειώδους όγκου στην x -κατεύθυνση (dx) προς αυτή στην y -κατεύθυνση (dy), κατά τη διάρκεια της διατμητικής παραμόρφωσης.

Αποδεικνύεται ότι στη γεωμετρία αυτή ο ρυθμός διάτμησης $\dot{\gamma}$ είναι ίσος με τη βαθμίδα της ταχύτητας:

$$\dot{\gamma} \equiv \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dy} \right) = \frac{d}{dy} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{du_x}{dy} \quad [1.3]$$

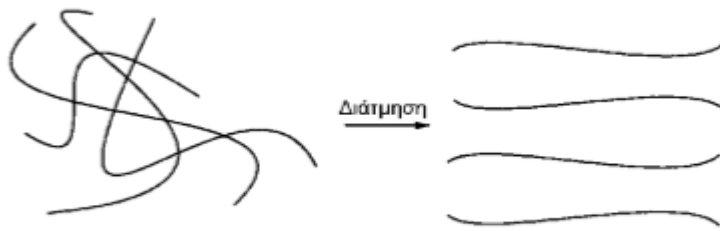
όπου η u_x είναι η ταχύτητα του ρευστού στην x-κατεύθυνση.

Ο μέγιστος ρυθμός διάτμησης αναπτύσσεται στην επιφάνεια της κινούμενης πλάκας και είναι ίσος με U/H όπου U η σταθερή ταχύτητα της πάνω πλάκας που κινείται στη x-κατεύθυνση και H η απόσταση μεταξύ των δύο παράλληλων πλακών. Ο ελάχιστος ρυθμός διάτμησης συμβαίνει στην ακίνητη κάτω πλάκα ($y=0$) με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει ολίσθηση του ρευστού στην επιφάνειά της, επομένως $u_x(0)=0$.

Στα νευτωνικά ρευστά το ιξώδες αποτελεί σταθερά (ανεξάρτητη από το ρυθμό διάτμησης), η τιμή της οποίας εξαρτάται από τη μοριακή φύση και την κατάσταση (θερμοκρασία και πίεση) του ρευστού. Στα μη νευτωνικά ρευστά, η σχέση μεταξύ τάσης και ρυθμού παραμόρφωσης δεν είναι γραμμική. Για το λόγο αυτό εισάγεται η έννοια του φαινομενικού ιξώδους $\eta\phi$, οι τιμές του οποίου μπορεί να είναι συνάρτηση του ρυθμού παραμόρφωσης ή/και της τάσης ή/και του χρόνου.

Σε πολυμερικά διαλύματα και τήγματα παρατηρείται το φαινόμενο το ιξώδες να μειώνεται με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης (du/dy) και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *διατμητική λέπτυνση* (shear-thinning). Η εξήγηση σε μοριακό επίπεδο της διατμητικής λέπτυνσης βασίζεται στην επίδραση της διατμητικής παραμόρφωσης στις *μοριακές εμπλοκές* (entanglements) όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης οι μοριακές εμπλοκές των πολυμερικών αλυσίδων αποτελούν εμπόδιο στη ροή διάτμησης με αποτέλεσμα το ιξώδες να είναι υψηλό. Με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης, οι αλυσίδες αρχίζουν να προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση της ροής με αποτέλεσμα την απεμπλοκή της μιας από την άλλη, και κατά συνέπεια την πτώση του ιξώδους.

Τέλος, σε υψηλούς ρυθμούς διάτμησης οι μοριακές αλυσίδες προσανατολίζονται πλήρως στην κατεύθυνση της ροής. Στο σημείο αυτό οι μοριακές εμπλοκές δεν είναι δυνατό να παραμείνουν περαιτέρω σταθερές και το ιξώδες αποκτά χαμηλές τιμές, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από το ρυθμό διάτμησης. Η δεύτερη αυτή περιοχή Νευτωνικής συμπεριφοράς παρατηρείται σε κάποιες περιπτώσεις διαλυμάτων πολυμερών, αλλά είναι πολύ σπάνια σε τήγματα. Στην τελευταία περίπτωση απαιτούνται τόσο υψηλοί ρυθμοί διάτμησης για τον προσανατολισμό των πολυμερικών αλυσίδων, ώστε αυτές να υφίστανται αποικοδόμηση.



Σχήμα 1.3 Ιδανική παρουσίαση της επίδρασης της διάτμησης στις μοριακές εμπλοκές πυκνών πολυμερικών διαλυμάτων και τηγμάτων.

Σε σπάνιες περιπτώσεις, το ιξώδες αυξάνεται με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης. Ρευστά που παρουσιάζουν αυτή τη συμπεριφορά περιορίζονται σε πάστες πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και πολυμερικά τήγματα στα οποία αναπτύσσεται κρυσταλλικότητα με την επιβολή διατμητικών τάσεων (shear induced crystallization).

Χαρακτηριστική τιμή του ιξώδους αποτελεί το οριακό ιξώδες για μηδενικό ρυθμό διάτμησης (η_0), το οποίο είναι συνάρτηση του μοριακού βάρους του πολυμερούς. Ορίζεται επίσης μια κρίσιμη τιμή του μοριακού βάρους M_{cr} όπου αρχίζουν να γίνονται αισθητές οι επιδράσεις των μοριακών εμπλοκών.

Υπάρχουν πολλές σχέσεις που συνδέουν το φαινομενικό ιξώδες με το ρυθμό παραμόρφωσης, οι περισσότερες από τις οποίες είναι εμπειρικές. Μια απλή σχέση προσαρμογής δεδομένων ιξώδους για πολυμερικά τήγματα αποτελεί ο εκθετικός νόμος (power-law) των Ostwald-de Waele:

$$\tau = m \cdot \dot{\gamma}^n \quad [1.4] \quad \text{ή} \quad \eta = m \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \quad [1.5]$$

όπου ο συνετελεστής m ονομάζεται *δείκτης συνοχής* (σε Pas^n) και ο εκθέτης n ονομάζεται *δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς* (σταθερά αδιάστατη) και εκφράζει το βαθμό της απόκλισης από τη νευτωνική συμπεριφορά του ρευστού.

Για $n=1$ το ρευστό είναι νευτωνικό, ενώ για τιμές $n < 1$ τα πολυμερή παρουσιάζουν συμπεριφορά διατμητικής λέπτυνσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση του δείκτη n από τη μονάδα τόσο πιο έντονη είναι η μη νευτωνική συμπεριφορά του ρευστού.

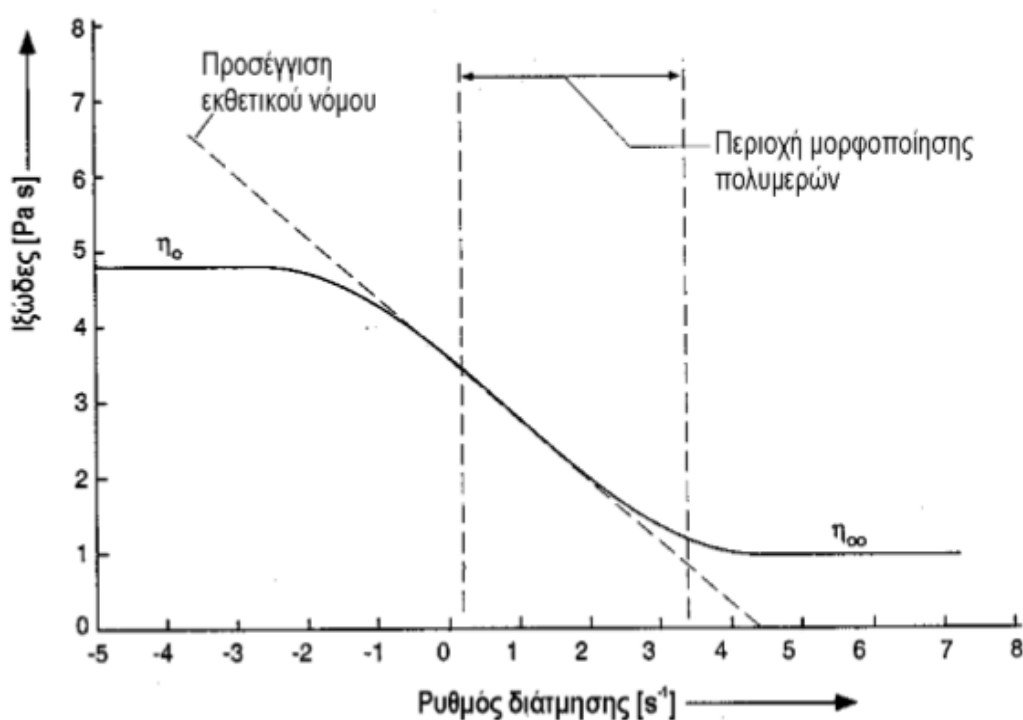
Ο δείκτης συνοχής m εξαρτάται εκθετικά από τη θερμοκρασία. Μια σχέση που περιγράφει αυτή την εξάρτηση είναι η εξής:

$$m = m_0 \cdot e^{-b(T-T_0)} \quad [1.6]$$

όπου m_0 είναι η τιμή του δείκτη συνοχής σε θερμοκρασία αναφοράς T_0 .

Από τον εκθετικό νόμο λαμβάνεται: $\log \eta = \log m + (n - 1) \log \dot{\gamma}$

Το γενικό σχήμα της καμπύλης ιξώδες-ρυθμός παραμόρφωσης για ένα ψευδοπλαστικό τήγμα πολυμερούς παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.4. Σε χαμηλούς ρυθμούς διατμητικής παραμόρφωσης, το ιξώδες είναι ανεξάρτητο του ρυθμού διάτμησης. Η περιοχή των τιμών του ρυθμού διάτμησης που αναπτύσσονται στις περισσότερες διεργασίες μορφοποίησης πολυμερών είναι 1-10,000s⁻¹. Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 1.3, σε αυτή την περιοχή η καμπύλη ιξώδους-ρυθμού διάτμησης προσεγγίζεται με γραμμική σχέση, γεγονός που είναι αληθινό για πολλά πολυμερή. Η γραμμική σχέση σε διάγραμμα με λογαριθμικούς άξονες υποδεικνύει ότι οι μεταβλητές συνδέονται με εξίσωση εκθετικού νόμου.



Σχήμα 1.4 Εξέλιξη του ιξώδους σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης για ψευδοπλαστική συμπεριφορά.

Η εξίσωση αποτελεί αντιπροσωπευτική έκφραση για την εξάρτηση του ιξώδους από το ρυθμό διάτμησης μόνο στην περιοχή διατμητικών τάσεων, όπου η γραφική παράσταση [$\log \eta$], σε συνάρτηση προς $\log \dot{\gamma}$, είναι γραμμική. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 1.4, στις περισσότερες από τις σημαντικές διεργασίες μορφοποίησης, όπως η εκβολή και η έγχυση, η περιοχή των ρυθμών διάτμησης που αναπτύσσονται βρίσκονται στην περιοχή που ισχύει ο εκθετικός νόμος.

Διεργασία	Περιοχή ρυθμού διάτμησης $\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)
Θερμή συμπίεση	1-10
Κυλίνδρωση	10-10 ²
Εκβολή	10 ² -10 ³
Έγχυση	10 ³ -10 ⁴

Πίνακας 1.5 Τυπικές τιμές ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης για διεργασίες μορφοποίησης πολυμερών.

Σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. 100οC πάνω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης T_g), η εξάρτηση του φαινομενικού ιξώδους των πολυμερών από τη θερμοκρασία ακολουθεί τη σχέση του Arrhenius :

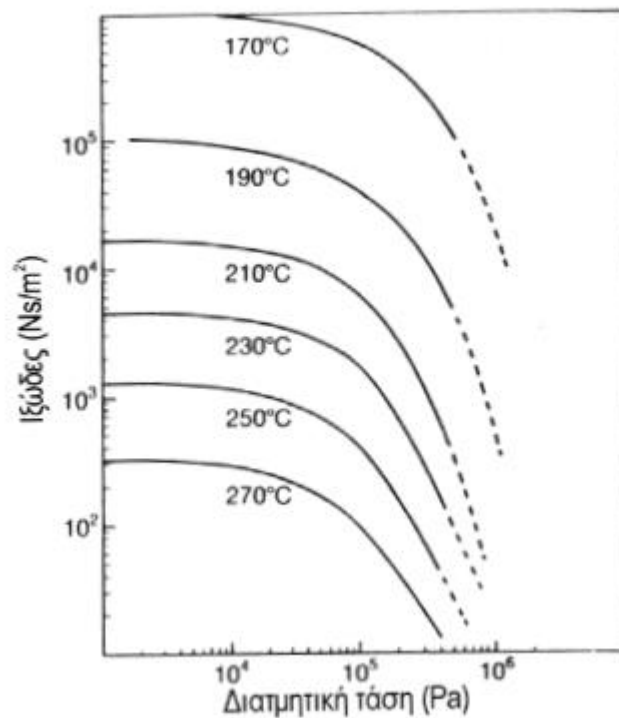
$$\eta = \eta_r \exp \left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right]$$

όπου η_r είναι το ιξώδες σε κάποια θερμοκρασία αναφοράς T_r, E η ενέργεια ενεργοποίησης (τυπικές τιμές 21 με 210kJ/mol) και R η παγκόσμια σταθερά των αερίων με τιμές 1.987cal/mol K ή 8.314J/mol K.

Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, στην περιοχή της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης, T_g < T < T_g + 100οC, το ιξώδες αυξάνει πολύ πιο γρήγορα με τη μείωση της θερμοκρασίας από αυτό που προβλέπεται από τη σχέση του Arrhenius. Στην περίπτωση αυτή η εξάρτηση του ιξώδους δίνεται από τη σχέση των Williams, Landell και Ferry, εξίσωση WLF :

$$\log \eta = \log \eta_{T_g} - \left[\frac{17.44(T - T_g)}{51.6 + T - T_g} \right]$$

Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται η εξάρτηση του φαινομενικού ιξώδους του πολύ (μεθακρυλικού μεθυλίου) (PMMA) από τη διατμητική τάση, για θερμοκρασίες από 170 μέχρι 270οC.



Σχήμα 1.6: Εξάρτηση του φαινομενικού ιξώδους από την τάση για θερμοκρασίες μεταξύ 170 και 270οC πολύ(μεθακρυλικου μεθυλίου).

Η εξάρτηση του ιξώδους από την πίεση είναι πολύ σημαντική παράμετρος κατά το σχεδιασμό των διεργασιών μορφοποίησης των πολυμερών, όπως στην περίπτωση της έγχυσης όπου ασκούνται πολύ υψηλές πιέσεις. Για σταθερή θερμοκρασία η επίδραση της πίεσης στο ιξώδες προσεγγίζεται με τη σχέση:

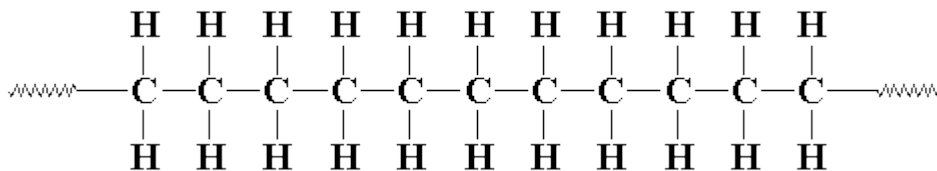
$$\ln\left(\frac{\eta}{\eta_r}\right) = \beta(P - P_r)$$

όπου η_r είναι το ιξώδες αναφοράς το οποίο αντιστοιχεί σε πίεση αναφοράς P_r , και β είναι ένας συντελεστής πίεσης με τιμές στην περιοχή $0.87-4.93 \times 10^8 Pa^{-1}$.

Για παράδειγμα το ιξώδες τήγματος πολυστυρενίου (PS), στους 250οC περίπου, διπλασιάζεται με την αύξηση της πίεσης από 13.8 σε 27.6 MPa.[1,2]

1.3 Πολυαιθυλένιο ή πολυαιθένιο

Πολυαιθυλένιο ή πολυαιθένιο είναι το πιο κοινό πλαστικό. Πολλά είδη πολυαιθυλενίου είναι γνωστά, με τα περισσότερα να έχουν τον χημικό τύπο $(C_2H_4)_nH_2$. Συνεπώς, το PE (πολυαιθυλένιο) είναι συνήθως ένα μείγμα παρόμοιων οργανικών ενώσεων που διαφέρουν στην τιμή του n.



Το πολυαιθυλένιο είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές που αποτελείται από μεγάλες αλυσίδες υδρογονανθράκων. Ανάλογα με την κρυσταλλική δομή και τη σχετική μοριακή μάζα, μπορεί να παρατηρείται ή όχι σημείο τήξης και υαλώδους μετάπτωσης. Η θερμοκρασία στην οποία συμβαίνουν αυτά ποικίλει πολύ, ανάλογα με τον τύπο του πολυαιθυλενίου.

Για τις συνηθισμένες εμπορικές ποιότητες του μεσαίας και υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου, το σημείο τήξης είναι τυπικά στην περιοχή 120 έως 180°C. Το σημείο τήξης για το μέσο εμπορικό, χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο είναι τυπικά 105 έως 115°C, το οποίο είναι και διαφανές.

Οι περισσότερες ποιότητες, LDPE, MDPE και HDPE, έχουν εξαιρετική χημική αντίσταση, που σημαίνει ότι δεν προσβάλλονται από ισχυρά οξέα ή ισχυρές βάσεις. Αντιστέκονται επίσης σε ήπια οξειδωτικά και αναγωγικά.

Το πολυαιθυλένιο καίγεται αργά με μια γαλάζια φλόγα που έχει μια κίτρινη κορυφή και δίνει μια οσμή παραφίνης. Το υλικό εξακολουθεί να καίγεται αν αφαιρεθεί η πηγή της φλόγας και παράγει σταγόνες. Επίσης τα κρυσταλλικά δείγματα δεν διαλύονται σε θερμοκρασία δωματίου. Το πολυαιθυλένιο (πέρα από το διασταυρωμένο πολυαιθυλένιο) μπορεί συνήθως να διαλυθεί σε αυξημένες θερμοκρασίες σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες όπως το λουόλιο ή ξυλένιο, ή σε χλωριωμένους διαλύτες, όπως το τριχλωροαιθάνιο ή τριχλωροβενζένιο.

Το μονομερές είναι το αιθυλένιο (όνομα ή αιθένιο), ένας αέριος υδρογονάνθρακας με μοριακό τύπο C_2H_4 , που μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ζεύγος από μεθυλενομάδες (CH_2) συνδεδεμένες μεταξύ τους. Επειδή η ένωση αυτή αντιδρά έντονα, το αιθυλένιο πρέπει να είναι υψηλής καθαρότητας. Τυπικές προδιαγραφές είναι <5 ppm για νερό, οξυγόνο και άλλα αλκένια. Επίσης αποδεκτοί ρυπαντές περιλαμβάνουν το N_2 , το αιθάνιο (συνηθισμένη πρόδρομη ουσία για το αιθυλένιο) και το μεθάνιο. Το αιθένιο

παράγεται συνήθως από πετροχημικές πηγές, αλλά παράγεται επίσης και από αφυδάτωση της αιθανόλης.

Το αιθυλένιο είναι ένα μάλλον σταθερό μόριο που πολυμερίζεται όταν έρθει σε επαφή με καταλύτες, των οποίων η μετατροπή είναι πολύ εξώθερμη. Στον πολυμερισμό σύμπλεξης χρησιμοποιούνται χλωρίδια ή οξειδια μετάλλων. Οι πιο συνηθισμένοι καταλύτες αποτελούνται από χλωριούχο τιτάνιο(III), και είναι γνωστοί ως καταλύτες Ziegler-Natta. Ένας άλλος συνηθισμένος καταλύτης είναι ο καταλύτης Phillips, που δημιουργείται με απόθεση τριοξειδίου του χρωμίου σε διοξείδιο του πυριτίου.

Το αιθυλένιο μπορεί να παρασκευαστεί με πολυμερισμό ριζών, αλλά αυτή η αντίδραση έχει μόνο περιορισμένη χρησιμότητα και απαιτεί συσκευή υψηλής πίεσης. Πέρα από τον συμπολυμερισμό με άλφα-ολεφίνες, το αιθένιο μπορεί επίσης να συμπολυμεριστεί με ένα ευρύ φάσμα από άλλα μονομερή και ιονικά συστατικά, που δημιουργεί ιονισμένες ελεύθερες ρίζες. Συνηθισμένα παραδείγματα περιλαμβάνουν τον οξικό βινυλεστέρα (το τελικό προϊόν είναι το συμπολυμερές οξικού αιθυλενοβινυλίου ή EVA, που χρησιμοποιείται ευρέως σε αφρούς σόλας αθλητικών υποδημάτων) και σε μια ποικιλία ακρυλικών. Εφαρμογές του συμπολυμερούς της ακρυλικής ρητίνης συμπεριλαμβάνουν τη συσκευασία και αθλητικά προϊόντα, καθώς και σε υπερπλαστικοποιητές, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου.

Το πολυαιθυλένιο πρωτοπαρασκευάστηκε από τον Γερμανό χημικό Χάνς φον Πέχμαν (Hans von Pechmann) το 1898 ενώ μελετούσε το διαζωμεθάνιο. Όταν οι συνάδελφοι του Eugen Bamberger και Friedrich Tschirner μελέτησαν τη λευκή, κηρώδη ουσία που είχε δημιουργήσει, αναγνώρισαν ότι περιείχε μεγάλες αλυσίδες $-CH_2-$ και το ονόμασαν πολυμεθυλένιο.

Η πρώτη βιομηχανική πρακτική σύνθεση του πολυαιθυλενίου (το διαζωμεθάνιο, η οποία αποτελεί μια έντονα ασταθή ουσία που γενικά αποφεύγεται σε βιομηχανικές εφαρμογές) ανακαλύφθηκε το 1933 από τους Έρικ Φόσετ (Eric Fawcett) και Ρέγκιναλντ Γκίμπσον (Reginald Gibson), πάλι κατά λάθος, στο Imperial Chemical Industries (ICI) στο Νορθγουίτς (Northwich) της Αγγλίας. Εφαρμόζοντας πολύ υψηλή πίεση (αρκετές εκατοντάδες ατμόσφαιρες) σε ένα μείγμα αιθυλενίου και βενζαλδεΐδης παρασκεύασαν πάλι ένα λευκό, κηρώδες υλικό. Επειδή η αντίδραση είχε ξεκινήσει από επιμόλυνση με ίχνη οξυγόνου στη συσκευή τους, το πείραμα ήταν αρχικά δύσκολο να αναπαραχθεί. Το 1935 ένας άλλος χημικός της ICI, ο Μίκαελ Πέρνιν (Michael Perrin), ανέπτυξε αυτό το ατύχημα σε μια αναπαραγωγίμη σύνθεση υψηλής πίεσης του πολυαιθενίου που έγινε η βάση για τη βιομηχανική παραγωγή του LDPE που ξεκίνησε το 1939. Επειδή βρέθηκε ότι το πολυαιθένιο έχει ιδιότητες πολύ χαμηλών απωλειών σε πολύ υψηλή συχνότητα ραδιοκυμάτων, η εμπορική διανομή στην Βρετανία ανεστάλη με την έναρξη του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου για λόγους μυστικότητας και η νέα διεργασία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή

μόνωσης για τα UHF και SHF ομοαξονικά καλώδια των ραντάρ. Κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, περαιτέρω έρευνα έγινε σε αυτήν τη διεργασία και το 1944 η Bakelite Corporation στο Sabine του Τέξας και η Du Pont στο Charleston της Δυτικής Βιρτζίνια ξεκίνησαν μια μεγάλης κλίμακας εμπορική παραγωγή με άδεια από την ICI.

Η ανακάλυψη ορόσημο στην εμπορική παραγωγή του πολυαιθυλενίου ξεκίνησε με την ανάπτυξη του καταλύτη που προήγαγε τον πολυμερισμό σε μέτριες θερμοκρασίες και πιέσεις. Ο πρώτος καταλύτης που ανακαλύφθηκε ήταν με βάση το τριοξείδιο του χρωμίου το 1951 από τους Ρόμπερτ Μπάνκς (Robert Banks) και J Πολ Χόγκαν (J. Paul Hogan) στο Phillips Petroleum. Το 1953 ο Γερμανός χημικός Καρλ Τζίγκλερ (Karl Ziegler) ανέπτυξε ένα καταλυτικό σύστημα με βάση αλογονίδια του τιτανίου και οργανοαργλικές ενώσεις που δούλεψε σε ακόμα πιο ήπιες συνθήκες από τον καταλύτη της Phillips. Όμως, ο καταλύτης της Phillips ήταν λιγότερο ακριβός και πιο εύκολα επεξεργάσιμος. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στη βιομηχανία.

Στο τέλος της δεκαετίας του 1950 και οι δύο καταλύτες της Phillips και των Ziegler-Natta χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του HDPE. Την δεκαετία του 1970, ο καταλύτης Τζίγκλερ βελτιώθηκε με την ενσωμάτωση χλωριούχου μαγνησίου. Καταλυτικά συστήματα με βάση διαλυτούς καταλύτες, τα μεταλλοκένια, αναφέρθηκαν το 1976 από τους Γουόλτερ Καμίνσκι (Walter Kaminsky) και Χάνσγιεργκ Ζιν (Hansjörg Sinn). Οι οικογένειες καταλυτών με βάση τους Ziegler και μεταλλοκενίων έχουν αποδειχθεί να είναι πολύ ευέλικτοι στον συμπολυμερισμό του αιθυλενίου με άλλα αλκένια και έχουν γίνει η βάση για το μεγάλο εύρος των ρητινών πολυαιθυλενίου που είναι διαθέσιμες σήμερα, συμπεριλαμβανομένου του πολυαιθυλενίου πολύ χαμηλής πυκνότητας και του γραμμικού πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας. Τέτοιες ρητίνες, με τη μορφή ινών του πολυαιθυλενίου υπερυψηλής σχετικής μοριακής μάζας, έχουν ξεκινήσει (από το 2005) να αντικαθιστούν τα αραμίδια σε πολλές εφαρμογές με υψηλή αντοχή. Το LLDPE ορίζεται από μια περιοχή πυκνοτήτων 0,915–0,925 g/cm³. Το LLDPE είναι ουσιαστικά ένα γραμμικό πολυμερές με σημαντικό αριθμό μικρών διακλαδώσεων, που συνήθως γίνονται με συμπολυμερισμό του αιθυλενίου με μικρές αλυσίδες άλφα-αλκενίων (π.χ. 1-βουτένιο, 1-εξένιο και 1-οκτένιο). Το LLDPE έχει μεγαλύτερη αντοχή στον εφελκυσμό από το LDPE, παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή θραύσης και αντίσταση διάτρησης από το LDPE. Μεμβράνες με μικρότερο πάχος μπορεί να φουσκωθούν και συγκρινόμενες με το LDPE έχουν καλύτερη περιβαλλοντική αντίσταση στη ρωγμάτωση από τάση, αλλά δεν έχουν τόσο εύκολη επεξεργασία.

Το LLDPE χρησιμοποιείται στη συσκευασία, σε ειδικές μεμβράνες για σακούλες και φύλλα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερο πάχος συγκρινόμενο με το LDPE.

Χρησιμοποιείται επίσης στην κάλυψη καλωδίων, παιχνιδιών, καπακιών, κάδων, πυκνωτών και σωλήνων. Αν και υπάρχουν και άλλες εφαρμογές το LLDPE χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές μεμβράνης λόγω της σκληρότητας του, της ευλυγισίας του και της σχετικής διαφάνειάς του. Η χρήση του εκτείνεται από γεωμεμβράνες, καλύμματα Σάραν και περιτύλιγμα με φυσαλίδες, μέχρι πολυστρωματικές και σύνθετες μεμβράνες. Το 2009 το εμπόριο του LLDPE έφτασε περίπου 24 δισεκατομμύρια US\$ (17 δισεκατομμύρια €). Το LDPE καθορίζεται από μια περιοχή πυκνοτήτων 0,910–0,940 g/cm³. Το LDPE έχει έναν υψηλό βαθμό μικρών και μεγάλων αλυσίδων διακλαδώσεων, που σημαίνει ότι οι αλυσίδες δεν συσχευάζονται στην κρυσταλλική δομή επίσης. Έχει, συνεπώς, λιγότερο ισχυρές διαμοριακές δυνάμεις επειδή η έλξη στιγμιαίου-διπόλου επαγομένου-διπόλου είναι μικρότερη. Αυτό καταλήγει σε μια χαμηλότερη αντοχή στον εφελκυσμό και αυξημένη ολκιμότητα. Το LDPE δημιουργείται από πολυμερισμό ελευθέρων ριζών. Ο υψηλός βαθμός διακλαδώσεων με μεγάλες αλυσίδες δίνει στο τετηγμένο LDPE μοναδικές και επιθυμητές ιδιότητες ροής. Το LDPE χρησιμοποιείται και για δύσκαμπτους περιέκτες και για εφαρμογές πλαστικής μεμβράνης όπως στις πλαστικές σακούλες και στην αναδίπλωση μεμβράνης συσκευασίας.

Το 2009 το παγκόσμιο εμπόριο του LDPE είχε έναν κύκλο 22,2 δισεκατομμυρίων US\$ (15,9 δισεκατομμύρια €).

Το πολυαιθυλένιο είναι το βασικότερο υλικό συσκευασίας του οποίου η ετήσια παγκόσμια παραγωγή είναι περίπου 80 εκατομμύρια τόνοι. Η βασική του χρήση είναι στη συσκευασία (πλαστικές σακούλες, πλαστικές μεμβράνες, γεωμεμβράνες, σε περιέκτες όπως φιάλες, κλπ.). [3,4]

1.4 Πολυπροπυλένιο

Το **πολυπροπυλένιο** είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές που χρησιμοποιείται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών συμπεριλαμβανομένης της συσκευασίας και της επισήμανσης, στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (π.χ., σχοινιά, χαλιά κτλ.), χαρτικά, πλαστικά μέρη και επαναχρησιμοποιούμενα δοχεία διαφόρων τύπων, εργαστηριακό εξοπλισμό και εξαρτήματα αυτοκινήτων. Επιπλέον, είναι ένα πολυμερές το οποίο γίνεται από το μονομερές προπυλενίου, είναι τραχύ και ασυνήθιστα ανθεκτικό σε πολλά χημικά διαλυτικά, οξέα και βάσεις.

Τα περισσότερα εμπορικά πολυμερεί πολυπροπυλενίου είναι συμμετρικά και έχει ένα ενδιάμεσο επίπεδο της διαύγειας μεταξύ εκείνου του πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) και υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE).

Το πολυπροπυλένιο είναι συνήθως σκληρό και ευέλικτο, ειδικά όταν ενονοντε με συμπολυμερή με αιθυλένιο. Αυτό επιτρέπει στο πολυπροπυλένιο να χρησιμοποιηθεί

ως ένα πλαστικό μηχανικής, με ανταγωνιστικά υλικά, όπως το ακρυλονιτρίλιο βουταδιενίου στυρολίου (ABS). Το πολυπροπυλένιο είναι οικονομικό και μπορεί να γίνει διαφανές όταν είναι αχρωμάτιστο, αλλά δεν γίνεται τόσο εύκολα διαφανές σαν το πολυστυρένιο, το ακρυλικό, ή ορισμένες άλλες πλαστικές ύλες. Είναι συχνά αδιαφανές ή χρωματιστό χρησιμοποιώντας χρώμα και έχει καλή αντοχή στην κόπωση.

Η τήξη του πολυπροπυλενίου παρουσιάζεται ως διακύμανση, έτσι, ένα σημείο τήξης καθορίζεται από την εύρεση της υψηλότερης θερμοκρασίας ενός θερμιδομετρικού διαγράμματος σάρωσης. Ένα απόλυτα συμμετρικό πολυπροπυλένιο έχει ένα σημείο τήξης 171 °C (340 °F). Ένα εμπορικό πολυπροπυλένιο έχει σημείο τήξης που κυμαίνεται από 160 έως 166 °C (320 - 331 °F), ανάλογα με το υλικό διαύγειας.

Ο ρυθμός ροής τηγμένου (MFR) ή τήξη δείκτη ροής (NFI) είναι ένα μέτρο του μοριακού βάρους του πολυπροπυλενίου. Το μέτρο αυτό βοηθά να καθορίσει το πόσο εύκολα θα λιώσει η πρώτη ύλη κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Ένα πολυπροπυλένιο με υψηλότερο MFR θα γεμίσει το πλαστικό καλούπι πιο εύκολα κατά τη διάρκεια της έγχυσης ή εμφύσησης της παραγωγικής διαδικασίας. Καθώς λιώνει, αυξάνει τη ροή του, ωστόσο ορισμένες φυσικές ιδιότητες, όπως η αντοχή στην κρούση, θα μειωθούν.

Υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες πολυπροπυλενίου: ομοπολυμερές, τυχαίο συμπολυμερές, και συμπολυμερές. Το συμπολυμερές χρησιμοποιείται συνήθως με το αιθυλένιο.

Το ατακτικό πολυπροπυλένιο (άμορφο) ανακαλύφθηκε σχετικά πρόσφατα (το 1950) από τον Fontana, ενώ η σύνθεση του ισοστατικού πολυπροπυλενίου (ημικρυσταλλικό) το οποίο έχει βιομηχανικές εφαρμογές, έγινε το 1954 από τον Giulio Natta, ο οποίος μοιράστηκε το βραβείο Nobel Χημείας με τον Karl Ziegler το 1963.

Το πολυπροπυλένιο είναι ανακυκλώσιμο και έχει τον αριθμό "5" και επαναχρησιμοποιείται για δοχεία μαργαρίνης και δίσκους φαγητού για το φούρνο μικροκυμάτων.

Το νάιλον είναι ένα από τα συχνά χρησιμοποιούμενα πολυμερή. Η γενική ονομασία του ανήκει στην οικογένεια συνθετικών πολυμερών, γνωστών γενικά ως αλειφατικών πολυαμιδίων, που πρωτοδημιουργήθηκε στις 28 Φεβρουαρίου 1935, από τον Γουάλας Κάραδερς (Wallace Carothers).

Είναι ένα θερμοπλαστικό, μεταξωτό υλικό, που πρωτοχρησιμοποιήθηκε εμπορικά σε μια οδοντόβουρτσα με νάιλον τρίχα (1938) και ακολούθως ως ύφασμα το 1939 και στις πιο διάσημες γυναικείες κάλτσες το 1940. Το νάιλον παρασκευάζεται από επαναλαμβανόμενες μονάδες συνδεδεμένες με αμιδικούς δεσμούς και αναφέρεται συχνά ως *πολυαμίδιο* (PA). Το νάιλον ήταν το πρώτο εμπορικά πετυχημένο συνθετικό θερμοπλαστικό πολυμερές. Υπάρχουν δύο συνήθεις τρόποι παραγωγής νάιλον για εφαρμογές ινών. Στη μια προσέγγιση, τα μόρια με μια

καρβοξυλομάδα (-COOH) σε κάθε άκρο, αντιδρούν με μόρια που περιέχουν αμινομάδα (-NH₂) σε κάθε άκρο. Το τελικό νάιλον ονομάζεται με βάση τον αριθμό των ατόμων άνθρακα που χωρίζει τις δύο καρβοξυλομάδες και τις δύο αμινομάδες. Αυτές σχηματίζονται σε μονομερή ενδιάμεσης μοριακής μάζας, που έπειτα αντιδρούν για να σχηματίσουν μεγάλες πολυμερείς αλυσίδες.

Το πολυπροπυλένιο (PP) είναι συνθετική οργανική ένωση, ανήκει στη μεγάλη κατηγορία των πλαστικών, είναι άοσμο, άχρωμο και διαυγές, χαρακτηρίζεται ως θερμοπλαστικό πολυμερές, ανήκει στις πολυολεφίνες και προέρχεται από τον πολυμερισμό του προπυλενίου. Το πολυπροπυλένιο είναι ανθεκτικότερο και ελαφρύτερο, με χαμηλή διαπερατότητα του ατμού, καλή αντίσταση σε λίπη, σταθερό σε υψηλές θερμοκρασίες και αρκετά λαμπερό. Πέραν της καταλληλότητάς του για πλήρη ανακύκλωση, έχει πολύ χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια σε σχέση με άλλα υλικά και κυρίως με μέταλλα όπως ο χαλκός και το ατσάλι, με συνέπεια να επιβαρύνει ελάχιστα το περιβάλλον σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Το PP (πολυπροπυλένιο) είναι η καλύτερη επιλογή υλικού για τη βιομηχανία τροφίμων και ποτών, ειδικότερα για φιάλες μωρών. [4]

Το πολυπροπυλένιο στην φυσική του κατάσταση είναι σκληρό γαλακτώδες, λευκό υλικό. Λόγω της υψηλής κρυσταλλικότητάς του, δεν μπορεί να παραχθεί ως τελείως διαφανές υλικό, τα φιλμ πολυπροπυλενίου όμως έχουν παρόμοια διαφάνεια με αυτήν των πολυαιθυλενίων. Είναι ένα από τα πιο ελαφρά πλαστικά με πυκνότητα 0,89 – 0,91.

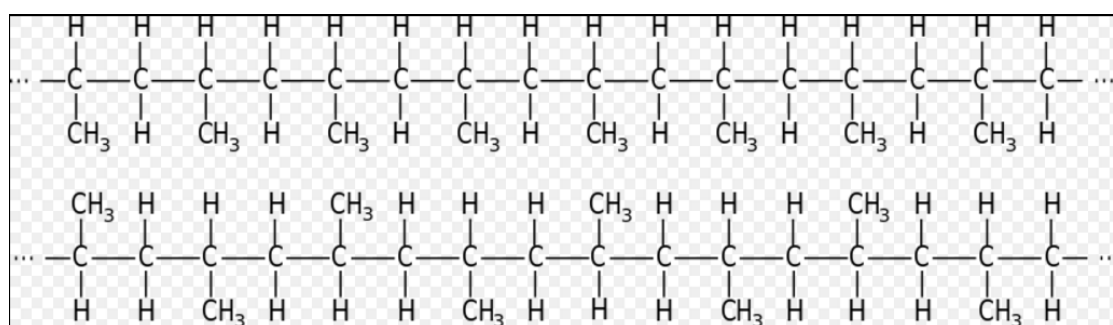
Οι κυριότερες ιδιότητες του είναι οι ακόλουθες:

- καλή επιφανειακή σκληρότητα και αντοχή στην τριβή
- άριστη διαστασιολογική σταθερότητα
- εξαιρετική αντοχή στις κάμψεις (πχ. σύνδεσμος)
- άριστες ηλεκτρικές ιδιότητες ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες
- ορισμένες χημικές ουσίες, πχ. υδρογονάνθρακες, μαλακώνουν και διογκώνουν το πολυπροπυλένιο
- άριστη αντοχή στο νερό και αέρια
- καλή χημική αντοχή
- βάφεται εύκολα
- εύκολη κατεργασία

Το πολυπροπυλένιο σε σχέση με το πολυαιθυλένιο υπερτερεί στα ακόλουθα:

- αντοχή σε κάμψεις
- θερμική αντοχή
- αντοχή στον εφελκυσμό
- αντοχή στην επέκταση ρωγμών λόγω εσωτερικών ή εξωτερικών τάσεων (πιέσεων)

Μια σημαντική έννοια για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ της δομής του πολυπροπυλενίου και των ιδιοτήτων του είναι η τακτικότητα. Ο σχετικός προσανατολισμός της κάθε ομάδας μεθυλίου (CH₃ στο παρακάτω σχήμα), σε σχέση με τις ομάδες μεθυλίου σε γειτονικές μονάδες μονομερούς, έχει μια ισχυρή επίδραση στην ικανότητα του πολυμερούς να σχηματίζει κρυστάλλους.



Ένας καταλύτης Ziegler-Natta είναι σε θέση να περιορίσει τη σύνδεση των μονομερών μορίων σε ένα συγκεκριμένο προσανατολισμό. Ο προσανατολισμός αυτός είναι:

- **Ισοτακτικός**, όταν όλες οι ομάδες μεθυλίου είναι τοποθετημένες στην ίδια πλευρά σε σχέση με τον σκελετό της πολυμερούς αλυσίδας
- **Συνδιοτακτικός**, όταν οι θέσεις των μεθυλικών ομάδων εναλλάσσονται.

Το εμπορικό πολυπροπυλένιο κατασκευάζεται με δύο τύπους καταλυτών Ziegler-Natta. Η πρώτη ομάδα των καταλυτών περιλαμβάνει στερεούς καταλύτες και ορισμένους τύπους καταλυτών διαλυτών.

Τέτοια ισοτακτικά μακρομόρια διατάσσονται σε ελικοειδή σχήματα. Αυτές οι έλικες τάσσονται η μία δίπλα στην άλλη για να σχηματίσουν τους κρυστάλλους που προσδίδουν στο εμπορικό πολυπροπυλένιο πολλές από τις επιθυμητές ιδιότητες του.

Όταν οι ομάδες μεθυλίου σε μία αλυσίδα πολυπροπυλενίου δεν εμφανίζουν κάποιο συγκεκριμένο προσανατολισμό, τα πολυμερή ονομάζονται ατακτικά. Το ατακτικό

πολυπροπυλένιο είναι ένα άμορφο ελαστικό υλικό. Μπορεί να παραχθεί εμπορικά είτε με έναν ειδικό τύπο υποστηριζόμενου καταλύτη Ziegler-Natta ή με καταλύτες μεταλλοκενίου.

Το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται στα βιομηχανικά συστήματα σωληνώσεων. Το υλικό αυτό συχνά χρησιμοποιείται, λόγω της ανθεκτικότητας του σε διάβρωση, της αντοχής του σε διάφορους μηχανισμούς φθοράς, συμπεριλαμβανομένης της κρούσης καθώς και της ψύξης. Επίσης, το υλικό αυτό προτιμάται για τα περιβαλλοντολογικά του οφέλη και για την ικανότητα του να συγκολλείται θερμαίνοντας το, χωρίς τη χρήση πρόσθετου συγκολλητικού υλικού.

Πολλά πλαστικά αντικείμενα που χρησιμοποιούνται σε φαρμακευτικά εργαστήρια είναι κατασκευασμένα από πολυπροπυλένιο, διότι το υλικό αυτό μπορεί να αντέξει τη θερμοκρασία που δημιουργείται στο εσωτερικό ενός κλιβάνου.



Η αντοχή του σε αυξημένες θερμοκρασίες το καθιστά κατάλληλο υλικό κατασκευής οικιακών συσκευών, όπως για παράδειγμα ο βραστήρας. Δοχεία φαγητού που είναι κατασκευασμένα από πολυπροπυλένιο δεν λιώνουν στο πλυντήριο πιάτων, ούτε κατά την πλήρωσή τους από καυτό περιεχόμενο.



Από τις συνηθέστερες εφαρμογές φύλλων πολυπροπυλενίου είναι η χρήση τους για την κατασκευή διαφανών σακούλων. Όταν το πολυπροπυλένιο είναι διαξονικά προσανατολισμένο, γίνεται τελείως διαφανές και αποτελεί ένα εξαιρετικό μέσο φύλαξης διαφόρων προϊόντων. [5,6,7]

1.5 Νάιλον

Το **νάιλον** αποσκοπούσε να γίνει ένα συνθετικό υποκατάστατο του μεταξιού και το υποκατέστησε σε πολλά διαφορετικά προϊόντα, αφού το μετάξι έγινε σπάνιο κατά τη διάρκεια του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου. Αντικατέστησε το μετάξι σε στρατιωτικές εφαρμογές όπως στα αλεξίπτωτα και σε κάποια είδη αλεξίσφαιρων γιλέκων (Flak jacket) και χρησιμοποιήθηκε σε πολλούς τύπους ελαστικών οχημάτων.



Οι ίνες νάιλον χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των υφασμάτων ρούχων, των γαμήλιων πέπλων, των χαρτιών συσκευασίας, των χαλιών, των μουσικών χορδών, των σωλήνων, των τεντών και των σχοινιών.

Το στερεό νάιλον χρησιμοποιείται σε χτένες μαλλιών και σε τμήματα μηχανών όπως σε βίδες μηχανών, γρανάζια και σε άλλα συστατικά χαμηλής έως μέτριας τάσης. Το νάιλον μηχανικής ποιότητας επεξεργάζεται με εξέλαση, χύτευση και χύτευση με έγχυση.

Ο τύπος νάιλον-6,6 101 είναι η πιο συνηθισμένη εμπορική ποιότητα του νάιλον και το νάιλον-6 είναι η πιο συνηθισμένη εμπορική ποιότητα χυτευτού νάιλον.

Για χρήση σε εργαλεία, το νάιλον είναι διαθέσιμο σε πολυμερές ενισχυμένο με γυαλί που αυξάνει την αντοχή σε πρόσκρουση, τη δομική αντοχή και την ακαμψία, ενώ υπάρχουν παραλλαγές με θειούχο μολυβδαίνιο που αυξάνουν τη λιπαντικότητα. Οι ποικίλες ιδιότητες του το κάνουν επίσης χρήσιμο ως υλικό για τρισδιάστατη εκτύπωση· ιδιαίτερα ως νήμα σε καταναλωτικό και επαγγελματικό επίπεδο σε τρισδιάστατους εκτυπωτές με τη μορφή λιωμένης απόθεσης.

Το νάιλον είναι πολυμερές συμπύκνωσης που σχηματίζεται με την αντίδραση ίσων μερών διαμίνης και δικαρβοξυλικού οξέος, έτσι ώστε τα αμίδια να σχηματίζονται και στα δύο άκρα κάθε μονομερούς σε μια διεργασία ανάλογη με τα βιοπολυμερή πολυπεπτιδίου. Τα χημικά στοιχεία που περιλαμβάνονται είναι άνθρακας, υδρογόνο, άζωτο και οξυγόνο.

Το αριθμητικό επίθημα καθορίζει τους αριθμούς των ανθράκων που δίνονται από τα μονομερή· πρώτα της διαμίνης και έπειτα του οξέος. Η πιο συνηθισμένη παραλλαγή είναι το νάιλον-6,6, που αναφέρεται στο ότι η διαμίνη (εξαμεθυλενοδιαμίνη) και το δισόξινο (αδιπικό οξύ) δίνουν το καθένα 6 άνθρακες στην πολυμερή αλυσίδα. Όπως με τα άλλα κανονικά συμπολυμερή, όπως οι πολυεστέρες και οι πολυουρεθάνες, η "επαναλαμβανόμενη μονάδα" αποτελείται από ένα από κάθε μονομερές, έτσι ώστε να εναλλάσσονται στην αλυσίδα. Επειδή κάθε μονομερές σε αυτό το συμπολυμερές έχει την ίδια δραστική ομάδα σε κάθε άκρο, η κατεύθυνση του αμιδικού δεσμού αντιστρέφεται μεταξύ κάθε μονομερούς, αντίθετα με τις φυσικές πρωτεΐνες του πολυαμιδίου που έχουν γενική κατεύθυνση: τελικός C → τελικό N . Στο εργαστήριο, το νάιλον-6,6 μπορεί να παρασκευαστεί επίσης χρησιμοποιώντας διχλωροεξανοδιοϊκό οξύ, αντί για αδιπικό οξύ.

Είναι δύσκολη η ακριβής λήψη των αναλογιών και οι αποκλίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε τερματισμό της αλυσίδας σε μοριακές μάζες μικρότερες από την επιθυμητή τιμή των 10.000 amu (ατομική μονάδα μάζας). Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, ένα κρυσταλλικό, στερεό "άλας του νάιλον" μπορεί να μορφοποιηθεί σε θερμοκρασία δωματίου, χρησιμοποιώντας μια ακριβή αναλογία 1:1 του οξέος και της βάσης για να αλληλοεξουδετερωθούν μεταξύ τους. Θερμαινόμενο στους 285 °C (545 °F), το άλας αντιδρά για να σχηματίσει πολυμερές νάιλον. Πάνω από 20.000 amu είναι αδύνατη η νηματοποίηση των αλυσίδων και για να καταπολεμηθεί αυτό προστίθεται κάποιο αιθανικό οξύ, για να αντιδράσει με το ελεύθερο άκρο της αμινομάδας κατά τη διάρκεια της επιμήκυνσης του πολυμερούς, ώστε να περιοριστεί η μοριακή μάζα. Στην πράξη, και ειδικά για το 6,6, συνδυάζονται συχνά τα μονομερή σε ένα υδατικό διάλυμα.

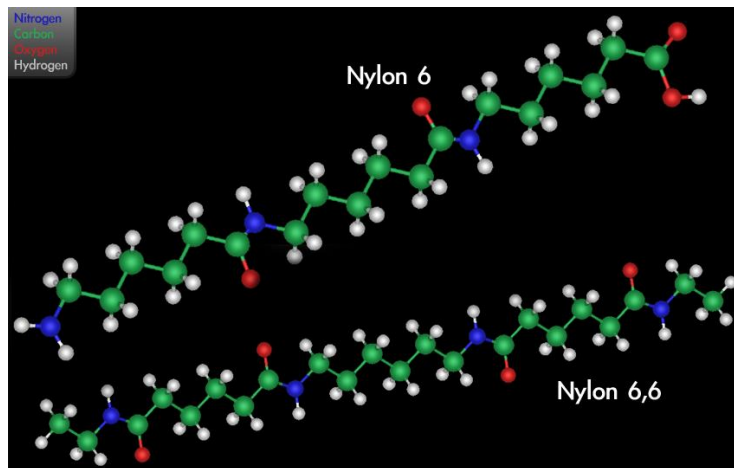
Το χρησιμοποιούμενο νερό για τη δημιουργία του διαλύματος εξατμίζεται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες και η αυξημένη συγκέντρωση του "άλατος" πολυμερίζεται στην τελική μοριακή μάζα.

Η DuPont κατοχύρωσε το νάιλον-6,6. Για να την ανταγωνιστούν οι άλλες εταιρείες (ειδικά η γερμανική BASF) ανέπτυξαν το ομοπολυμερές νάιλον-6, ή πολυκαπρολακτάμη — που δεν είναι πολυμερές συμπύκνωσης, αλλά σχηματίστηκε από πολυμερισμό διάνοιξης δακτυλίου (εναλλακτικά γίνεται από πολυμερισμό αμινοκαπροϊκού οξέος).

Ο πεπτιδικός δεσμός μέσα στην καπρολακτάμη διασπάται με τις εκτιθέμενες δραστικές ομάδες σε κάθε πλευρά να ενσωματώνονται σε δύο νέους δεσμούς καθώς το μονομερές γίνεται μέρος του σκελετού του πολυμερούς. Σε αυτήν την περίπτωση, όλοι οι αμιδικοί δεσμοί βρίσκονται στην ίδια κατεύθυνση, αλλά οι ιδιότητες του νάιλον-6 είναι μερικές φορές πανομοιότυπες με τις ιδιότητες του νάιλον-6,6 — εκτός από τη θερμοκρασία τήξης και κάποιες ιδιότητες της ίνας σε προϊόντα όπως χαλιά και υφάσματα. Υπάρχει επίσης το νάιλον-9.

Το σημείο τήξης των 428 °F (220 °C) του νάιλον-6 είναι χαμηλότερο από το σημείο τήξης των 509 °F (265 °C) του νάιλον-6,6.

Το νάιλον-5,10, παρασκευάζεται από πενταμεθυλενοδιαμίνη και σεβακικό οξύ, μελετήθηκε από τον Καράδερς πριν ακόμα το νάιλον-6,6 και έχει καλύτερες ιδιότητες, αλλά είναι πιο ακριβό στην παρασκευή. Το "νάιλον-6,12" (N-6,12) ή "PA-6,12" είναι ένα συμπολυμερές από μια διαμίνη με 6C και ενός δικαρβοξυλικού οξέος με 12C. Παρομοίως ισχύει για τα N-5,10 N-6,11; N-10,12, κλπ. Άλλα νάιλον περιλαμβάνουν προϊόντα συμπολυμερισμένου δικαρβοξυλικού οξέος/διαμίνης, που δεν βασίζονται στα μονομερή που προαναφέρθηκαν. Παραδείγματος χάρη, κάποια αρωματικά νάιλον πολυμερίζονται με την προσθήκη δικαρβοξυλικών οξέων, όπως τερεφθαλικό οξύ(→ Kevlar, Twaron) ή ισοφθαλικού οξέος (→ Nomex), που συνήθως συνδέονται με πολυεστέρες. Υπάρχουν συμπολυμερή N-6,6/N6-, συμπολυμερή N-6,6/N-6/N-12 κ.α. Λόγω του τρόπου σχηματισμού των πολυαμιδίων του νάιλον μπορεί να φαινόταν ότι περιορίζεται σε μη διακλαδισμένες, ευθείες αλυσίδες. Όμως, μπορούν να παραχθούν "αστεροειδώς" διακλαδισμένα νάιλον με συμπύκνωση δικαρβοξυλικών οξέων με πολυαμίνες που έχουν τρεις ή περισσότερες αμινομάδες.



Εκλύονται δύο μόρια ύδατος και σχηματίζεται το νάιλον. Οι ιδιότητές του καθορίζονται από τις ομάδες R και R' στα μονομερή. Στο νάιλον-6,6, R = 4C και R' = 6C αλκανίων, αλλά η μία ομάδα πρέπει να συμπεριλαμβάνει επίσης τους δύο καρβοξυλικούς άνθρακες στο δικαρβοξυλικό οξύ για να πάρει τον αριθμό που δίνει στην αλυσίδα. Στο Kevlar, και το R και το R' είναι δακτύλιοι βενζολίου.

Μόρια με μια καρβοξυλομάδα (COOH) σε κάθε άκρο αντιδρούν με χημικές ενώσεις που περιέχουν δύο αμινομάδες (NH₂) σε κάθε άκρο. Αυτή η διεργασία παράγει νάιλον-6,6, που δημιουργείται από εξαμεθυλενοδιαμίνη με έξι άτομα άνθρακα και αδιπικό οξύ.

Μια ένωση έχει ένα οξύ στο ένα άκρο και μια αμίνη στο άλλο και πολυμερίζεται για να σχηματίσει μια αλυσίδα με επαναλαμβανόμενες μονάδες από (-NH-[CH₂]_n-CO-)_x. Με άλλα λόγια, το νάιλον-6 παρασκευάζεται από μια ουσία με έξι άτομα άνθρακα που λέγεται καπρολακτάμη. Σε αυτήν την εξίσωση, αν n = 5, τότε λέγεται νάιλον-6.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του νάιλον-6,6 περιλαμβάνουν:

- Οι πτυχώσεις μπορούν να ρυθμιστούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες
- Πιο συμπαγή μοριακή δομή
- Καλύτερες ιδιότητες αποσάθρωσης· καλύτερη αντίσταση στο ηλιακό φως
- Πιο μαλακό στην αφή
- Υψηλότερο σημείο τήξης (256 °C/492.8 °F)
- Χρώματα που δεν ξεβάφουν
- Εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση

Το νάιλον-6 βάφεται εύκολα, ξεθωριάζει πιο εύκολα· έχει πιο υψηλή αντίσταση στη θραύση, πιο γρήγορη απορρόφηση υγρασίας, μεγαλύτερη ελαστικότητα και ελαστική ανάκτηση.

Το νάιλον έχει την ικανότητα να είναι πολύ γυαλιστερό, ημίστιλπο ή θαμπό, οι ίνες του με την υψηλή ανθεκτικότητα τους χρησιμοποιούνται σε ζώνες ασφαλείας, στα ελαστικά οχημάτων, στη βαλλιστική και για άλλες χρήσεις. Μεγάλη επιμήκυνση, εξαιρετική αντίσταση διάβρωσης, υψηλή ελαστικότητα, προετοιμάζει ενδύματα εύκολης φροντίδας με υψηλή αντίσταση σε έντομα, μύκητες, μούχλα, σήψη και σε πολλά χημικά χρησιμοποιείται σε χαλιά και κάλτσες. Τήκεται αντί να καίγεται και χρησιμοποιείται σε πολλές στρατιωτικές εφαρμογές. Τέλος έχει καλή ειδική αντοχή και είναι διαφανές στο υπέρυθρο φως.

Τα θερμοπλαστικά, όπως το νάιλον, είναι άμορφα στερεά ή ιξώδη ρευστά στα οποία οι αλυσίδες προσεγγίζουν τις τυχαίες δομές. Κάτω από το, οι άμορφες περιοχές εναλλάσσονται με περιοχές που είναι ελασματοειδείς κρύσταλλοι. Οι άμορφες περιοχές συνεισφέρουν στην ελαστικότητα και οι κρυσταλλικές περιοχές συνεισφέρουν στην αντοχή και την ακαμψία.

Οι επίπεδες αμιδικές ομάδες (-CO-NH-) είναι πολωμένες, έτσι το νάιλον σχηματίζει πολλούς δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των γειτονικών κλώνων. Επειδή ο σκελετός του νάιλον είναι τόσο κανονικός και συμμετρικός, ειδικά αν όλοι οι αμιδικοί δεσμοί έχουν διαμόρφωση *trans*, τα νάιλον έχουν συχνά υψηλή κρυσταλλικότητα και δημιουργούν εξαιρετικές ίνες.

Ο βαθμός κρυσταλλικότητας εξαρτάται από τις λεπτομέρειες σχηματισμού, καθώς και από το είδος του νάιλον. Προφανώς, δεν μπορεί ποτέ να ληφθεί με τήξη ως πλήρως άμορφο στερεό.

Όταν υφίσταται εξέλαση σε ίνες μέσα από τους πόρους σε μια βιομηχανική φιλιέρα, οι μεμονωμένες αλυσίδες του πολυμερούς τείνουν να ευθυγραμμιστούν λόγω της ιξώδους ροής. Αν υποβληθεί μετά σε ψυχρό εφελκυσμό, οι ίνες στοιχίζονται παραπέρα, αυξάνοντας την κρυσταλλικότητά τους και το υλικό χρειάζεται πρόσθετη αντοχή στον εφελκυσμό. Στην πράξη, οι ίνες νάιλον συνήθως τεντώνονται χρησιμοποιώντας θερμαινόμενους κυλίνδρους σε υψηλές ταχύτητες.

Ένα κομμάτι νάιλον τείνει να είναι λιγότερο κρυσταλλικό, εκτός από κοντά στις επιφάνειες λόγω των διατμητικών τάσεων κατά τη διάρκεια του σχηματισμού. Το νάιλον είναι διαυγές και άχρωμο ή γαλακτώδες, αλλά βάφεται εύκολα. Τα άκρα μπορούν να τηχτούν και να συγχωνευτούν με μια πηγή θερμότητας όπως μια φλόγα ή ηλεκτρόδιο για να αποτραπεί αυτό. Όταν είναι ξηρό, το πολυαμίδιο είναι ένας καλός ηλεκτρικός μονωτής. Όμως, το πολυαμίδιο είναι υγροσκοπικό.

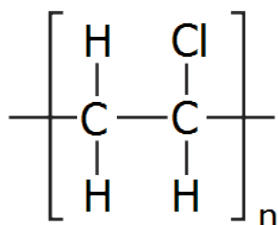
Η απορρόφηση του νερού θα αλλάξει κάποιες από τις ιδιότητες του υλικού όπως την ηλεκτρική αντίσταση. Το νάιλον είναι λιγότερο απορροφητικό από το μαλλί ή το βαμβάκι.

Το νάιλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μητρικό υλικό σε σύνθετα υλικά, με ενισχυτικές ίνες όπως ίνες γυαλιού ή άνθρακα· ένα τέτοιο σύνθετο υλικό έχει υψηλότερη πυκνότητα από το καθαρό νάιλον. Τέτοια θερμοπλαστικά σύνθετα υλικά (25% με 30% υαλοβάμβακα) χρησιμοποιούνται συχνά σε συστατικά αυτοκινήτων δίπλα στη μηχανή, όπως σε σωλήνες εισαγωγής, όπου η καλή θερμική αντίσταση τέτοιων υλικών τα κάνει ανταγωνιστές ως προς τα μέταλλα.

Όλα τα νάιλον είναι ευπαθή στην υδρόλυση, ιδιαίτερα από ισχυρά οξέα, μια αντίδραση βασικά αντίστροφη της αντίδρασης σύνθεσης που φαίνεται παραπάνω. Η μοριακή μάζα των προϊόντων νάιλον που δέχονται τέτοια προσβολή πέφτει γρήγορα και σχηματίζονται γρήγορα ρωγμές στις επηρεαζόμενες ζώνες. Τα πιο χαμηλά μέλη των νάιλον (όπως το νάιλον-6) επηρεάζονται περισσότερο από τα πιο υψηλά μέλη όπως το νάιλον-12. Αυτό σημαίνει ότι τα μέρη του νάιλον δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το θειικό οξύ παραδείγματος χάρη, όπως ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Όταν καλουπώνεται, το νάιλον πρέπει να ξηραθεί για να αποτραπεί η υδρόλυση στο δοχείο του μηχανήματος χύτευσης, επειδή το νερό σε υψηλή θερμοκρασία μπορεί επίσης να υποβαθμίσει το πολυμερές. (Παραπομπές 1-21)

1.6 Πολυβινυλοχλωρίδιο ή PVC

Το **Πολυβινυλοχλωρίδιο** ή αλλιώς **PVC** (C_2H_3Cl)_n παρασκευάστηκε από λάθος του Γερμανού χημικού Έιγκεν Μπάουμαν (Eugen Baumann) το 1872.



Το πολυμερές εμφανίστηκε σαν ένα λευκό στερεό μέσα σε υάλινες φιάλες που περιείχαν αέριο βινυλοχλωρίδιο και είχαν εκτεθεί στην επίδραση του ηλιακού φωτός. Στις αρχές του 20ου αιώνα ο Ρώσος χημικός Ιβάν Οστρομισλένσκι (Ivan Ostromislensky) και ο Φριτζ Κλάτε (Fritz Klatt) της γερμανικής χημικής εταιρείας Griesheim-Elektron προσπάθησαν και οι δύο να χρησιμοποιήσουν το πολυβινυλοχλωρίδιο σε εμπορικά προϊόντα, αλλά οι δυσκολίες στην επεξεργασία του δύσκαμπτου, μερικές φορές εύθρυπτου πολυμερούς, απέτρεψαν τις προσπάθειές τους. Το 1926 οι Γουόλντο Σέμον (Waldo Semon) και η εταιρεία Goodrich Corporation ανέπτυξαν μια μέθοδο για να πλαστικοποιήσουν το πολυβινυλοχλωρίδιο αναμειγνύοντάς το με διάφορα πρόσθετα. Το αποτέλεσμα ήταν ένα πιο εύκαμπτο και εύκολα επεξεργάσιμο υλικό που σύντομα πέτυχε πλατιά εμπορική χρήση. Το Πολυβινυλοχλωρίδιο είναι το τρίτο σε κατάταξη με τα πιο

παραγόμενα συνθετικά πολυμερή πλαστικά, μετά το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο.

Το πολυβινυλοχλωρίδιο έρχεται με δύο βασικές μορφές: δύσκαμπτο και εύκαμπτο. Η δύσκαμπτη μορφή του πολυβινυλοχλωρίδιο χρησιμοποιείται στην κατασκευή σωλήνων, σε πόρτες και παράθυρα. Χρησιμοποιείται επίσης για φιάλες, όπως και για άλλες συσκευασίες που δεν προορίζονται για τρόφιμα, ακόμα και κάρτες π.χ. τραπεζικές ή μέλους.



Μπορεί να γίνει πιο μαλακό και πιο ευλύγιστο με την προσθήκη πλαστικοποιητών, οι πιο πλατιά χρησιμοποιούμενοι είναι φθαλικές ενώσεις. Σε αυτήν τη μορφή, χρησιμοποιείται επίσης στην υδραυλική, στη μόνωση ηλεκτρικών καλωδίων, στην απομίμηση δέρματος, στη σήμανση, σε φουσκωτά προϊόντα και σε πολλές εφαρμογές όπου αντικαθιστά ελαστικά.

Τα πολυμερή είναι γραμμικά και ισχυρά. Τα μονομερή είναι διευθετημένα κυρίως από το κεφάλι προς την ουρά (head-to-tail), που σημαίνει ότι υπάρχουν χλωρίδια με εναλλασσόμενα κέντρα άνθρακα. Το PVC έχει κυρίως μια ατακτική στερεοχημεία (atactic stereochemistry), που σημαίνει ότι η σχετική στερεοχημεία των κέντρων του χλωριδίου είναι τυχαία. Κάποιος βαθμός συνδιοτακτικότητας της αλυσίδας δίνει ένα μικρό ποσοστό κρυσταλλικότητας που επηρεάζει τις ιδιότητες του υλικού. Περίπου το 57% της μάζας του PVC είναι χλώριο. Η παρουσία των ομάδων χλωρίου δίνει στο πολυμερές πολύ διαφορετικές ιδιότητες από το δομικά σχετικό υλικό του πολυαιθυλενίου.

Το προϊόν της διεργασίας πολυμερισμού είναι ατροποποίητο PVC. Πριν να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ως τελικό προϊόν, απαιτεί πάντα μετατροπή σε μια ένωση με την ενσωμάτωση προσθέτων (αλλά όχι αναγκαστικά όλων των παρακάτω) όπως σταθεροποιητές θερμότητας, σταθεροποιητές υπεριώδους, πλαστικοποιητές, βοηθήματα επεξεργασίας, αντιθραυστικά (impact modifiers), θερμικούς τροποποιητές, πληρωτές, επιβραδυντές φωτιάς, βιοκτόνα, διογκωτές (blowing agents), καταστολείς καπνού και προαιρετικά χρωστικές.

Η επιλογή των χρησιμοποιούμενων προσθέτων για το τελικό προϊόν PVC ελέγχεται από το κόστος απόδοσης της χρήσης της τελικής προδιαγραφής, π.χ. υπόγειοι σωλήνες, πλαίσια παραθύρων, ενδοφλέβια σωλήνωση και υλικά πατωμάτων, που όλα τους έχουν πολύ διαφορετικά συστατικά για να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις απόδοσής τους.

Το πολυβινυλοχλωρίδιο παράγεται με πολυμερισμό του μονομερούς χλωροαιθενίου (VCM), όπως φαίνεται παρακάτω. Περίπου το 80% της παραγωγής παράγεται με πολυμερισμό αιωρήματος (suspension polymerization), το 12% με πολυμερισμό γαλακτώματος (Emulsion polymerization) και το 8% με πολυμερισμό μάζας (bulk polymerization). Οι πολυμερισμοί αιωρήματος διατίθενται για σωματίδια με μέση διάμετρο 100–180 μm, ενώ ο πολυμερισμός γαλακτώματος δίνει πολύ μικρότερα σωματίδια με μέσο μέγεθος γύρω στα 0,2 μm. Μονομερές βινυλοχλωριδίου (VCM) και νερό εισάγονται στον αντιδραστήρα, καθώς και ο εκκινητής πολυμερισμού, μαζί με άλλα πρόσθετα. Το δοχείο της αντίδρασης πρέπει να αντέχει την πίεση για να περιέχει το VCM. Τα περιεχόμενα του δοχείου της αντίδρασης αναμειγνύονται συνεχώς, για να κρατηθούν σε αιώρηση και να εξασφαλίσουν ένα ομοιόμορφο μέγεθος σωματιδίων της ρητίνης PVC.

Η αντίδραση είναι εξώθερμη και συνεπώς απαιτεί ψύξη. Επειδή μειώνεται ο όγκος κατά τη διάρκεια της αντίδρασης (το PVC είναι πιο πυκνό από το VCM), προστίθεται συνέχεια νερό στο μείγμα για να κρατηθεί σε αιώρηση.

Ο πολυμερισμός του VCM ξεκινά από ενώσεις που λέγονται εκκινητές και αναμειγνύονται στα σταγονίδια. Αυτές οι ενώσεις διαιρούνται για να ξεκινήσει η αντίδραση αλυσιδωτών ριζών (radical chain reaction). Συνηθισμένοι εκκινητές περιλαμβάνουν το υπεροξειδίο του διοκτανυλίου (dioctanoyl peroxide) και διδεκαεξυλο υπεροξυδιττανθρακικό (dicetyl peroxydicarbonate), που και τα δυο τους έχουν εύκαμπτους δεσμούς O-O. Κάποιοι εκκινητές ξεκινούν την αντίδραση γρήγορα, αλλά παρακαμάζουν γρήγορα και άλλοι εκκινητές παρουσιάζουν το αντίθετο φαινόμενο. Χρησιμοποιείται συχνά ένας συνδυασμός των δύο διαφορετικών εκκινητών, για να ληφθεί ένας ομοιόμορφος ρυθμός πολυμερισμού.

Αφού το πολυμερές έχει μεγαλώσει κατά 10 φορές, το μικρό πολυμερές καθιζάνει μέσα στο σταγονίδιο του VCM και ο πολυμερισμός συνεχίζεται με τα καταβυθισμένα σωματίδια που είναι διογκωμένα με διαλύτη. Το μέσο βάρος των μοριακών βαρών των εμπορικών πολυμερών κυμαίνεται από 100.000 μέχρι 200.000 και τα αριθμητικά μέσα μοριακά βάρη κυμαίνονται από 45.000 μέχρι 64.000.

Όταν η αντίδραση έχει κάνει τον κύκλο της, ο τελικός πολτός PVC απαερώνεται και απομακρύνεται η περίσσεια του VCM, που ανακυκλώνεται.

Το πολυμερές περνάει έπειτα μέσω μιας φυγοκέντρου για να αφαιρεθεί το νερό. Ο χυλός ξηραίνεται παραπέρα σε μια θερμή αέρια κλίση και η τελική σκόνη κοσκινίζεται πριν την αποθήκευση ή την σύμπληξη. Κανονικά, το τελικό PVC περιέχει VCM λιγότερο

από 1 μέρος ανά εκατομμύριο. Άλλες διεργασίες παραγωγής, όπως ο πολυμερισμός μικροαιωρήματος και ο πολυμερισμός γαλακτώματος, παράγουν PVC με μικρότερα μεγέθη σωματιδίων (10 μm έναντι 120–150 μm για PVC σε αιώρημα), με ελαφρώς διαφορετικές ιδιότητες και κάπως διαφορετικές εφαρμογές.

Τα περισσότερα προϊόντα βινυλίου περιέχουν πλαστικοποιητές που βελτιώνουν πολύ τα χαρακτηριστικά απόδοσής τους. Οι πιο κοινοί πλαστικοποιητές είναι παράγωγα του φθαλικού οξέος. Τα υλικά επιλέγονται με βάση τη συμβατότητά τους με το πολυμερές, τα χαμηλά επίπεδα πτητικότητας και κόστους. Αυτά τα υλικά είναι συνήθως ελαιώδεις άχρωμες ουσίες που αναμειγνύονται καλά με σωματίδια PVC. Το 90% της αγοράς των πλαστικοποιητών, που εκτιμάται ότι είναι εκατομμύρια τόνοι τον χρόνο παγκοσμίως, αφιερώνεται στο PVC. Το Φθαλικό δις(2-αιθυλεξύλιο) (Bis(2-ethylhexyl) phthalate) ήταν ένας κοινός πλαστικοποιητής για το PVC, αλλά αντικαταστάθηκε από φθαλικά με υψηλότερη μοριακή μάζα. Τα φθαλικά μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις ομάδες με βάση τη μοριακή τους μάζα.

Τα χαμηλής μοριακής μάζας φθαλικά έχουν 6 ή 7 άτομα άνθρακα στην αλκοολική τους αλυσίδα. Τα μεσαίας μοριακής μάζας φθαλικά έχουν 8 ή 9 άνθρακες στην αλκοολική τους αλυσίδα. Τα μεγάλης μοριακής μάζας φθαλικά έχουν από 10 έως 13 άνθρακες στην αλκοολική τους αλυσίδα. Τα χαμηλής μοριακής μάζας φθαλικά δεν χρησιμοποιούνται πια στις ΗΠΑ λόγω της υψηλής τους πτητικότητας στις θερμοκρασίες επεξεργασίας του PVC. Τα πιο κοινά μέσης μοριακής μάζας είναι τα DOP (φθαλικό διοκτύλιο- dioctyl phthalate), γνωστά και ως DEHP, φθαλικό δις(2-αιθυλεξύλιο)) και τα DINP (φθαλικό διισοοννεύλιο - diisononyl phthalate). Τα υψηλής μοριακής μάζας φθαλικά έχουν ένα όριο 12 ανθράκων (αν είναι γραμμικά) ή 13 ανθράκων (αν είναι διακλαδισμένα) στην ανθρακική αλυσίδα, επειδή τα φθαλικά με μεγαλύτερες αλκοολικές αλυσίδες είναι ασύμβατα με τις ρητίνες PVC. Τα πιο κοινά υψηλής μοριακής μάζας φθαλικά είναι τα DIDP, DPHP και DTDP, όλα από διακλαδισμένες αλκοόλες. Υπάρχουν φθαλικά από γραμμικές αλκοόλες με 8 έως 12 άνθρακες που χρησιμοποιούνται όταν η εύκαμπτη ένωση PVC πρόκειται να έχει ανώτερη ευκαμψία χαμηλής θερμοκρασίας και βελτιωμένη αντοχή στη διάβρωση. Λόγω των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία, υπάρχουν κινήσεις αντικατάστασης κάποιων φθαλικών όπως τα DOP/DEHP με πιο ασφαλείς εναλλακτικές ενώσεις στον Καναδά, την Ευρωπαϊκή Ένωση και τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Στην Ευρώπη τα DEHP και DBP υφίστανται την επεξεργασία εξουσιοδότησης REACH (καταχώριση, αξιολόγηση, αδειοδότηση, περιορισμοί χημικών - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) με τα αποτελέσματα να αναμένονται το 2014. Επειδή δεν υπήρξαν εφαρμογές για το BBP και το DIBP που να έγιναν δεκτές από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (European Chemicals Agency ή ECHA), η χρήση αυτών των ουσιών τελείωσε στην ΕΕ τον Φεβρουάριο του 2015.

Τα φθαλικά μέσης-υψηλής μοριακής μάζας αντιπροσωπεύουν πάνω από το 85% όλων των φθαλικών που παράγονται στην Ευρώπη (2011). Στις 31 Ιανουαρίου 2014 η ευρωπαϊκή επιτροπή δημοσίευσε τα συμπεράσματά της ως προς την επανεκτίμηση των περιορισμών για τα DINP και DIDP σε παιχνίδια και αντικείμενα παιδικής φροντίδας που μπορούν να μπουν στο στόμα. Η επιτροπή επιβεβαίωσε τα κύρια συμπεράσματα που παρουσιάστηκαν τον Αύγουστο του 2013 από την ECHA.

Ένα από τα πιο σημαντικά πρόσθετα είναι οι σταθεροποιητές θερμότητας. Αυτοί οι παράγοντες ελαχιστοποιούν την απώλεια HCl, μια διαδικασία υποβάθμισης που ξεκινά πάνω από τους 70 °C. Μόλις ξεκινήσει η απομάκρυνση του υδροχλωρίου, είναι αυτοκαταλυόμενη. Πολλά διαφορετικά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί που συμπεριλαμβάνουν παραδοσιακά παράγωγα των βαρέων μετάλλων (π.χ. μόλυβδος, κάδμιο).

Αυξάνεται η χρήση μεταλλικών σαπώνων (μεταλλικά "άλατα" των λιπαρών οξέων), όπως του στεατικού ασβεστίου. Τα επίπεδα προσθήκης ποικίλλουν συνήθως από 2% έως 4%. Η επιλογή των βέλτιστων σταθεροποιητών θερμότητας εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα του κόστους της τελικής χρήσης, τις απαιτήσεις απόδοσης, την τεχνολογία επεξεργασίας και τις ρυθμιστικές εγκρίσεις.

Στην Ευρώπη υπάρχει μια δέσμευση περιορισμού της χρήσης του καδμίου (που παλιότερα χρησιμοποιείτο ως τμήμα των σταθεροποιητών θερμότητας στα κουφώματα παραθύρων) και εξάλειψης των σταθεροποιητών θερμότητας με βάση τον μόλυβδο (όπως χρησιμοποιείτο σε σωλήνες και περιοχές κουφωμάτων) μέχρι το 2015. Σύμφωνα με την τελική μελέτη του 2010 για το βινύλιο απομακρύνθηκε το κάδμιο από την Ευρώπη μέχρι το 2007. Η σταδιακή αντικατάσταση των σταθεροποιητών με βάση τον μόλυβδο επιβεβαιώνεται από τη μείωση κατά 75% από το 2000 και συνεχίζεται. Υπάρχει αύξηση στους σταθεροποιητές με βάση το ασβέστιο, που χρησιμοποιείται εναλλακτικά.

Σταθεροποιητές με βάση τον κασσίτερο χρησιμοποιούνται κυρίως στην Ευρώπη για δύσκαμπτες διαφανείς εφαρμογές λόγω της υψηλής χρησιμοποιούμενης θερμοκρασίας. Η κατάσταση στη Βόρεια Αμερική είναι διαφορετική. Τα συστήματα κασσιτέρου χρησιμοποιούνται για σχεδόν όλες τις εφαρμογές δύσκαμπτου PVC. Οι σταθεροποιητές κασσιτέρου μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κύριες ομάδες.

Η πρώτη ομάδα περιέχει τους σταθεροποιητές με δεσμούς κασσιτέρου-οξυγόνου και η δεύτερη ομάδα σταθεροποιητές με δεσμούς κασσιτέρου-θείου.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκούς παραγωγούς σταθεροποιητών οι περισσότεροι σταθεροποιητές οργανικού κασσιτέρου έχουν ήδη καταχωρηθεί με επιτυχία στο REACH.

Καλώδια και σύρματα με επικάλυψη εύκαμπτου PVC για ηλεκτρική χρήση έχουν παραδοσιακά σταθεροποιηθεί με μόλυβδο, αλλά αυτά αντικαθίστανται, κατά τη μετάβαση προς τη δύσκαμπτη περιοχή, από συστήματα με βάση το ασβέστιο.

Υγροί μεικτοί μεταλλικοί σταθεροποιητές χρησιμοποιούνται σε αρκετές εφαρμογές εύκαμπτου PVC όπως σε σιλβωμένες ταινίες, σόλες και υποδήματα, σε μήτρες έγχυσης, εξηλασμένους σωλήνες και πλαστισόλες, όπου μια πάστα PVC απλώνεται σε μια επένδυση (υλικά πατωμάτων, επικάλυψη τοίχου, τεχνητό δέρμα). Οι υγροί μεικτοί μεταλλικοί σταθεροποιητές βασίζονται κυρίως σε βάριο, ψευδάργυρο και καρβοξυλικό ασβέστιο. Γενικά, υγρά μεικτά μέταλλα όπως BaZn, CaZn απαιτούν την προσθήκη συσταθεροποιητών, αντιοξειδωτικών και οργανοφωσφορωδών για να παράσχουν τη βέλτιστη απόδοση.

Οι σταθεροποιητές BaZn έχουν αντικαταστήσει επιτυχώς τους σταθεροποιητές με βάση το κάδμιο στην Ευρώπη σε πολλές εφαρμογές με ημιδύσκαμπτο και εύκαμπτο PVC σύμφωνα με τους Ευρωπαϊούς παραγωγούς.

Το PVC έχει μεγάλη σκληρότητα και υψηλές μηχανικές ιδιότητες. Οι μηχανικές ιδιότητες βελτιώνονται με την αύξηση της μοριακής μάζας, αλλά μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι μηχανικές ιδιότητες του δύσκαμπτου (uPVC) είναι πολύ καλές· το μέτρο ελαστικότητας (elastic modulus) μπορεί να φτάσει τα 1500-3.000 MPa. Η ελαστικότητα του μαλακού PVC (εύκαμπτο PVC) είναι 1,5-15 MPa. Όμως η επιμήκυνση θραύσης (elongation at break) είναι 200-450%. Η τριβή του PVC είναι συνηθισμένη· ο συντελεστής στατικής τριβής (static friction factor) είναι 0,4-0,5 και ο συντελεστής τριβής ολίσθησης (dynamic friction factor) είναι 0,23.

Η θερμική σταθερότητα του ακατέργαστου PVC είναι πολύ φτωχή, έτσι είναι απαραίτητη η προσθήκη ενός σταθεροποιητή θερμότητας κατά τη διάρκεια της διεργασίας για να εξασφαλίσει τις ιδιότητες του προϊόντος. Το PVC αρχίζει να αποσυντίθεται όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 140 °C, με το σημείο τήξης να ξεκινά περίπου στους 160 °C. Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του δύσκαμπτου PVC είναι μικρός και έχει καλή φλογοεπιβραδυντικότητα (flame retardancy), ο δείκτης ελάχιστου οξυγόνου (Limiting oxygen index ή LOI) είναι μέχρι 45 ή περισσότερο. Το LOI είναι η ελάχιστη συγκέντρωση του οξυγόνου, εκφρασμένη ως ποσοστό, που θα υποστηρίξει την καύση ενός πολυμερούς, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αέρας έχει συγκέντρωση οξυγόνου 20%.

Το PVC είναι ένα πολυμερές με καλές μονωτικές ιδιότητες, αλλά λόγω της μεγαλύτερης διπολικής φύσης του η ηλεκτρική μονωτική ιδιότητα υστερεί έναντι των μη πολικών πολυμερών, όπως το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο.

Επειδή η διηλεκτρική σταθερά, η τιμή διηλεκτρικής απώλειας και η ειδική αντίσταση όγκου (volume resistivity) είναι υψηλές, η αντίσταση στέμματος (corona resistance) δεν είναι πολύ καλή και είναι γενικά κατάλληλο για μονωτικά υλικά μεσαίας και χαμηλής τάσης και χαμηλής συχνότητας.

Τέλος το PVC χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε αγωγούς αποχέτευσης λόγω του χαμηλού του κόστους, της χημικής αντίστασης και της εύκολης σύνδεσης. Το PVC με σχετικά χαμηλό κόστος, χημική και βιολογική αντίσταση και επεξεργασιμότητα, έχει

καταλήξει να χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Χρησιμοποιείται για το δίκτυο αποχέτευσης και άλλες εφαρμογές σωλήνων όπου το κόστος ή η ευπάθεια στη διάβρωση περιορίζουν τη χρήση μετάλλων. Με την προσθήκη των τροποποιητών πρόσκρουσης και σταθεροποιητών, έχει γίνει ένα δημοφιλές υλικό για πλαίσια παραθύρων και θυρών.

Προσθέτοντας πλαστικοποιητές, μπορεί να γίνει αρκετά εύκαμπτο ώστε να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές καλωδίωσης ως μονωτής καλωδίων. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές άλλες εφαρμογές. Το 2013, περίπου 39,3 εκατομμύρια τόνοι PVC καταναλώθηκαν παγκοσμίως. Η ζήτηση του PVC προβλέπεται να αυξηθεί με έναν ετήσιο ρυθμό 3,2% μέχρι το 2021. [8]

2.Εξωθητής πολυμερικών φύλλων (extruder)

Τα υλικά έρχονται από χώρες του εξωτερικού όπως είναι η Αραβία και η Ιταλία σε παλέτες των 1250 κιλών συσκευασμένα σε σακιά των 25 κιλών και μέσω γεμιστικού μηχανήματος αποθηκεύονται σε σιλό των 5 τόνων.

Μέσω συστήματος vacuum μεταφέρονται στον εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder) ανάλογα με τη ζήτηση. Κάθε εξωθητής πολυμερικών φύλλων (extruder) έχει 4 δοχεία αποθήκευσης υλικού, 2 για παρθένο υλικό, 1 για αναγεννημένο υλικό και 1 για το χρώμα (master batch). Κάθε φορά που η στάθμη ενός δοχείου πέσει κάτω από ένα όριο το σύστημα αναρρόφησης ενεργοποιείται και μεταφέρει αυτόματα την ποσότητα υλικού που χρειάζεται από τα σιλό στα δοχεία του εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder).

Κάτω από τα δοχεία υπάρχει ένα ζυγιστικό μηχάνημα με έναν αναδευτήρα στη μέση, όπου μέσω υπολογιστή φτιάχνει τη δοσολογία για την οποία είναι προγραμματισμένο και την ανακατεύει ώστε να ομογενοποιηθεί, για παράδειγμα 87% παρθένο υλικό, 10% αναγεννημένο και 3% χρώμα.

2.1 Ηλεκτροκινητήρες

Οι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος και στους κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος, οι οποίοι καλύπτουν και την πλειοψηφία των εφαρμογών. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με τη σειρά τους διακρίνονται σε μονοφασικούς και πολυφασικούς. Τόσο οι μονοφασικοί όσο και οι πολυφασικοί κινητήρες διακρίνονται σε σύγχρονους κινητήρες και σε κινητήρες επαγωγής ή ασύγχρονους. Ένας σύγχρονος κινητήρας αποτελείται από μια σειρά τριών τυλιγμάτων στο στάτορα με ένα απλό στρεφόμενο μέρος. Καθώς το ρεύμα που περνάει από το πηνίο μεταβάλλεται, ο κινητήρας εργάζεται ομαλά μόνο στη συχνότητα του ημιτονοειδούς ρεύματος, επιτυγχάνοντας μια λειτουργία με σταθερή ταχύτητα από μηδενικό ως πλήρες φορτίο λειτουργίας.



2.2 Μειωτήρες

Η μετάδοση ισχύος σε μια βιομηχανική εγκατάσταση συνιστά μια διαδικασία πολλών σταδίων αλλά και πολλαπλών μετατροπών. Για παράδειγμα η ευθύγραμμη κίνηση ενός κοχλία προκύπτει από τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης του κινητήριου μοτέρ σε ευθύγραμμη κίνηση, ωστόσο η μετατροπή αυτή γίνεται σε περισσότερα από ένα στάδια.

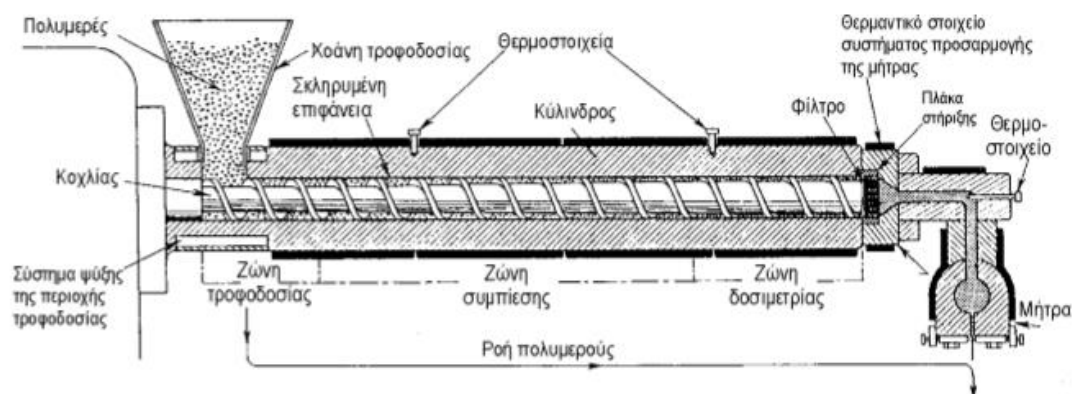
Οι πολλαπλές αυτές μετατροπές αφορούν διάφορες παραμέτρους της κίνησης και διαμορφώνουν έναν τελικό συντελεστή ισχύος του εκάστοτε μηχανισμού μετάδοσης κίνησης. Το πρώτο στάδιο μιας τυπικής διαδικασίας μετάδοσης ισχύος είναι η μείωση (ή σπανιότατα η αύξηση) των στροφών του κινητήριου μοτέρ που συνδυάζεται συχνά με την αλλαγή του άξονα περιστροφής της μεταδιδόμενης κίνησης. Αυτή η πρώτη μετατροπή της κίνησης που παράγεται από την ενέργεια που μεταδίδει ένας κινητήρας στον άξονά του γίνεται από τους μειωτήρες στροφών.

Ο άξονας περιστροφής της κίνησης που μεταδίδει ο μειωτήρας μπορεί να είναι παράλληλος, τεμνόμενος ή ασύμβατος με τον άξονα του κινητήρα. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται με γρανάζια. Τα γρανάζια, σαν μηχανισμός αλλαγής των στροφών, εξασφαλίζουν μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας, ακριβή σχέση μετάδοσης, δυνατότητα υπερφόρτισης, μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλο βαθμό απόδοσης. Μέσα στο κέλυφος ενός μειωτήρα μπορούν να είναι προσαρμοσμένοι πολλοί οδοντωτοί τροχοί διαφόρων τύπων. Οι συνήθεις τύποι γραναζιών που αξιοποιούνται στην κατασκευή των μειωτήρων είναι οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί, οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, οι κοχλιωτοί οδοντωτοί τροχοί και το σύστημα ατέρμονα κοχλία – οδοντωτού τροχού.



2.3 Εκβολέας ή Κοχλίας

Αφού ζυγιστεί και ομογενοποιηθεί από το γεμιστικό περνάει στον εκβολέα όπου λιώνεται, ωθείται και ομογενοποιείται μέσω του κοχλίου. Δυο είναι τα σημαντικότερα μέρη του μηχανήματος, ο εκβολέας και η μήτρα. Η εκβολή αποτελεί μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές τόσο για τη μορφοποίηση όσο και για την ανάμειξη πολυμερών. Περίπου το 60% των πλαστικών παγκοσμίως μορφοποιούνται με τη μέθοδο της εκβολής. Στα προϊόντα που μορφοποιούνται με εκβολή ανήκουν οι σωλήνες, ράβδοι, προφίλ (όπως πλαίσια σε παράθυρα), φιλμ, ίνες, μονωμένα καλώδια για ηλεκτρικές εφαρμογές.



Σχήμα 2.1: Διάταξη μονοκόχλιου εκβολέα

Η λειτουργία ενός εκβολέα συνίσταται στη μετατροπή των στερεών κόκκων του πολυμερούς τροφοδοσίας σε ομογενές τήγμα το οποίο στη συνέχεια προωθείται με ομοιόμορφο ρυθμό σε μία μήτρα. Διακρίνουμε συστήματα εκβολής (i) ενός κοχλίου και (ii) δύο κοχλιών.

2.3.1 ΜΟΝΟΚΟΧΛΙΟΣ ΕΚΒΟΛΕΑΣ

Ο μονοκόχλιος εκβολέας αποτελεί μια διάταξη τήξης, ανάμειξης και προώθησης του πολυμερούς, μέσω μιας μήτρας μορφοποίησης, χρησιμοποιώντας έναν περιστρεφόμενο κοχλία μέσα σε έναν κύλινδρο. Τα βασικά τμήματα που απαρτίζουν μια διάταξη εκβολής είναι τα εξής:

- i. Σύστημα μετάδοσης κίνησης
- ii. Κύριο σώμα
- iii. Σύστημα μεταφοράς θερμότητας και ελέγχου της θερμοκρασίας
- iv. Μήτρα εκβολής

Σε μια συνήθη διάταξη εκβολής το πολυμερές σε μορφή σκόνης ή κόκκων (pellets) αναμιγνύεται με τα απαραίτητα πρόσθετα και μέσω της χοάνης τροφοδοσίας προωθούνται στο κυλινδρικό σώμα του εκβολέα. Ο κοχλίας περιστρέφεται από το σύστημα μετάδοσης κίνησης που αποτελείται από ένα ηλεκτροκινητήρα και ένα κιβώτιο ταχυτήτων για τον έλεγχο των στροφών του κοχλίου.

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης εξασφαλίζει τις απαιτήσεις της διάταξης σε μηχανική ενέργεια. Η απαιτούμενη μηχανική ενέργεια μιας διάταξης εκβολής αυξάνεται όταν: (1) αυξάνεται η ογκομετρική παροχή εξόδου (2) αυξάνεται η διάμετρος του κυλινδρικού σώματος (3) αυξάνεται το μήκος του κοχλίας και (4) όταν απαιτείται υψηλή ογκομετρική παροχή εξόδου σε υψηλές θερμοκρασίες.

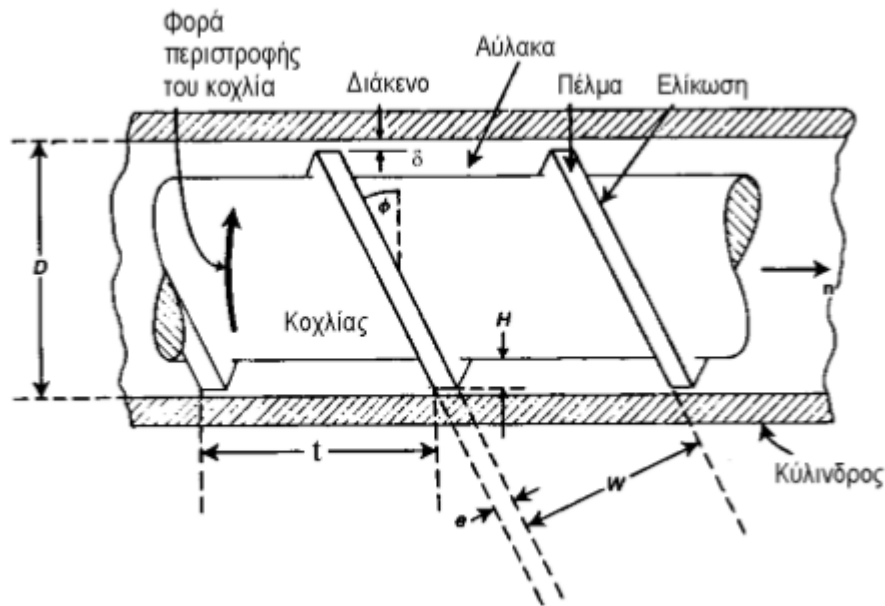
Οι απαιτήσεις σε μηχανική ενέργεια επίσης εξαρτώνται από τον τύπο της πολυμερικής ρητίνης και το σχεδιασμό της μήτρας.

Το σύστημα μεταφοράς θερμότητας αποτελείται από θερμαντικά στοιχεία ηλεκτρικής αντίστασης, σύστημα ψύξης στην περιοχή της τροφοδοσίας και έναν αριθμό θερμοστοιχείων. Τα θερμοστοιχεία είναι συνδεδεμένα με τους ρυθμιστές θερμοκρασίας, οι οποίοι ενεργοποιούν τα θερμαντικά ή ψυκτικά στοιχεία ώστε να διατηρηθεί το επιθυμητό θερμοκρασιακό προφίλ στον εκβολέα. Κατά την περιστροφή του ο κοχλίας δέχεται μια ώθηση από το πολυμερικό τήγμα προς το πίσω μέρος του εκβολέα. Για το λόγο αυτό υπάρχουν τα έδρανα αντίθλιψης που λειτουργούν για την απόσβεση αυτής της δράσης. Το κύριο σώμα της διάταξης εκβολής αποτελείται από τον κύλινδρο (barrel) και τον κοχλία (screw). Ο κύλινδρος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα και η εσωτερική επιφάνεια είναι ειδικά επεξεργασμένη για να έχει αντίσταση στην τριβή και στη διάβρωση. Η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου είναι μια σημαντική παράμετρος που καθορίζει το μέγεθος και τη δυναμικότητα ενός εκβολέα.

Με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα ο κοχλίας περιστρέφεται αξονικά μέσα στον κύλινδρο, προωθώντας το πολυμερές που τροφοδοτείται μέσω της χοάνης τροφοδοσίας.

Κατά τη διαδρομή προς την έξοδο το προϊόν τήκεται, συμπιέζεται και εξέρχεται μέσω της μήτρας εκβολής. Η τήξη συντελείται από τους ακόλουθους μηχανισμούς: - μεταφορά θερμότητας από τα θερμαντικά στοιχεία και - από τη διάτμηση που προκαλεί η κίνηση του κοχλίας.

Ο κοχλίας εκτελεί σημαντικές λειτουργίες όπως: Μεταφορά της ρητίνης μέσα στον εκβολέα Μετάδοση της μηχανικής ενέργειας η οποία αποτελεί μέρος της διαδικασίας τήξης Ανάμειξη των διαφορετικών πρώτων υλών $\frac{3}{4}$ Ανάπτυξη πίεσης στον εκβολέα ούτως ώστε η ρητίνη να εξωθηθεί στη μήτρα. Μια σημαντική παράμετρος η οποία συνδέεται με τον κοχλία είναι ο αδιάστατος λόγος L/D , όπου L το μήκος του κοχλίας και D η διάμετρος του. Για τα θερμοπλαστικά ο λόγος L/D κυμαίνεται συνήθως από 16:1 μέχρι 32:1, ενώ για τα ελαστομερή είναι πολύ μικρότερος και κυμαίνεται μεταξύ 4:1 μέχρι 7:1. Η διάμετρος του κοχλίας ποικίλει, με τιμές κάτω των 20mm για τους εργαστηριακούς εκβολείς, ενώ στους βιομηχανικούς εκβολείς η διάμετρος φθάνει τα 750mm. Γενικά, όσο αυξάνει το μήκος του κοχλίας τόσο αυξάνει και η απόδοση της εγκατάστασης ανά μονάδα καταναλισκόμενης ισχύος, καθώς και η ομοιομορφία του τήγματος και η ακρίβεια των διαστάσεων του εξερχόμενου προϊόντος.



Σχήμα 2.2: Λεπτομέρειες στη γεωμετρία του κοχλίας.

Η διάμετρος του κυλίνδρου D_b είναι σταθερή σε όλο το μήκος του εκβολέα. Η γωνία που σχηματίζει η έλικα με έναν άξονα κάθετο προς τον κοχλία ονομάζεται γωνία ελίκωσης (ϕ). Το διάστημα που προχωρεί η ελίκωση σε μια πλήρη περιστροφή ονομάζεται βήμα (t). Σε πολλούς κοχλίες σε μια πλήρη στροφή η ελίκωση προχωρεί κατά μήκος ίσο προς τη διάμετρο. Στην περίπτωση αυτή έχουμε κοχλία τετράγωνου βήματος (squared pitched screw) και αντιστοιχεί σε γωνία ελίκωσης $\phi=17.65^\circ$. Το πέλμα της ελίκωσης είναι η επιφάνειά της που είναι στραμμένη προς το σώμα του κυλίνδρου του εκβολέα. Το πλάτος του πέλματος και το διάκενο μεταξύ πέλματος-σώματος του κυλίνδρου συμβολίζονται με e και δ αντίστοιχα.

Για τη διάμετρο του κοχλίας ισχύει: $D_s = D_b - 2\delta$. Το διάκενο (δ) είναι τόσο μικρό ώστε η διάμετρος του κυλίνδρου (D_b) και η διάμετρος του κοχλίας (D_s) μπορεί να θεωρηθεί ότι στις περισσότερες εφαρμογές ταυτίζονται: $D_b = D_s = D$. Το διάκενο που υπάρχει μεταξύ των σπειρών της ελίκωσης ονομάζεται αύλακα. Το πλάτος της αύλακας παρίσταται με w και το βάθος με H . Στον κοχλία διακρίνουμε τρεις ζώνες: τη ζώνη τροφοδοσίας (feed section), τη ζώνη συμπίεσης ή τήξης (compression section) και τη ζώνη δοσιμετρίας (metering section).

- Ζώνη τροφοδοσίας: Η λειτουργία της ζώνης αυτής έχει ως σκοπό την προθέρμανση του πολυμερούς και τη μεταφορά του στην επόμενη ζώνη. Η ζώνη τροφοδοσίας χαρακτηρίζεται από σταθερό και σχετικά μεγάλο βάθος αύλακας. Προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε το υλικό να μην υπερθερμανθεί πολύ γρήγορα γιατί στην περίπτωση αυτή η ρητίνη θα κολλήσει στον κοχλία και απλώς θα περιστρέφεται χωρίς να μεταφέρεται στην επόμενη ζώνη. Η ζώνη τροφοδοσίας σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει τη μεγαλύτερη δυνατότητα μεταφοράς στα επόμενα τμήματα του κοχλία, ώστε να μην παρουσιασθεί έλλειψη υλικού.
- Ζώνη συμπίεσης ή τήξης: Κατά μήκος της ζώνης αυτής το βάθος της αύλακας του κοχλία μειώνεται βαθμιαία, με αποτέλεσμα το τήγμα να συμπιέζεται και να εξαναγκάζεται ο εγκλωβισμένος από το πλαστικό αέρας, καθώς και άλλες πτητικές ουσίες, να εξέλθουν από το πολυμερές.
- Ζώνη δοσιμετρίας: Στη ζώνη αυτή ο κοχλίας χαρακτηρίζεται από σταθερό και πολύ μικρό βάθος αύλακας. Το μικρό βάθος της αύλακας επιφέρει την ανάπτυξη υψηλών διατμητικών τάσεων στη ρητίνη, με αποτέλεσμα την ολοκλήρωση της τήξης του πολυμερούς. Η ανάπτυξη υψηλών διατμητικών τάσεων στη ζώνη αυτή οδηγεί στην ανάπτυξη πίεσης στο πολυμερικό τήγμα, ούτως ώστε να εξωθηθεί προς την έξοδο του εκβολέα.

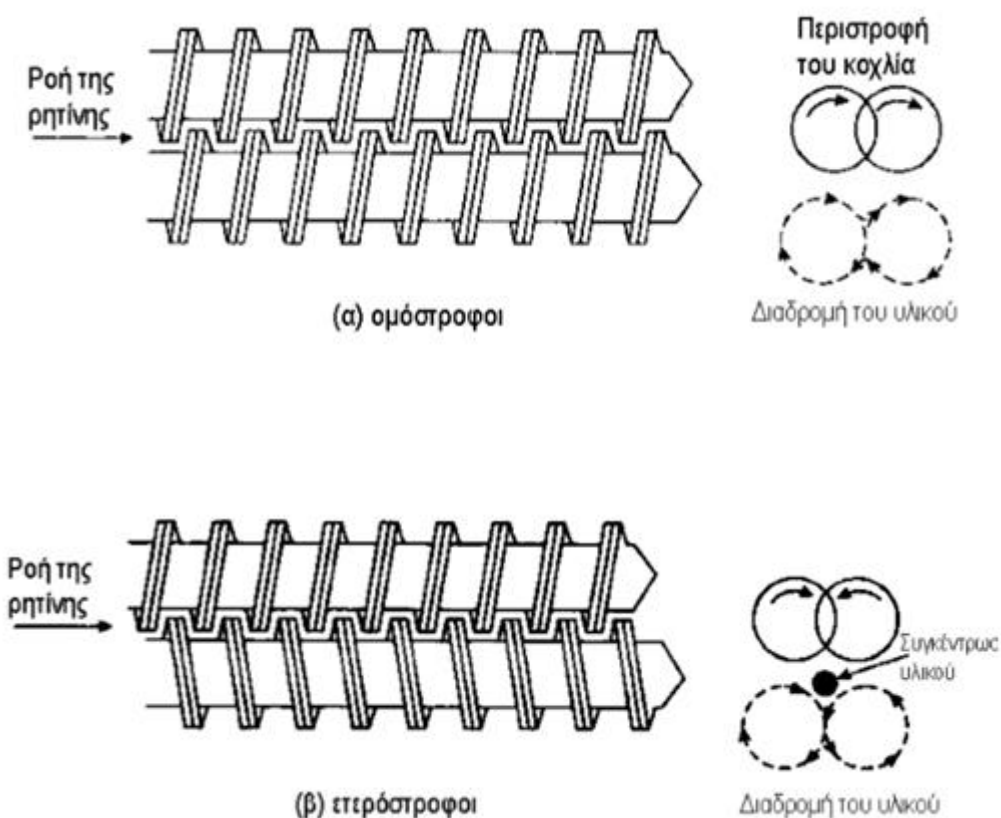
Το τήγμα ομογενοποιείται και με ομοιόμορφη σύσταση, θερμοκρασία και πίεση οδηγείται με σταθερή παροχή στη μήτρα εκβολής. Η συμπίεση του πολυμερούς οφείλεται στην προοδευτική μείωση στο βάθος της αύλακας του κοχλία κατά μήκος του εκβολέα. Μια σημαντική παράμετρος ενός συστήματος εκβολής είναι ο λόγος συμπίεσης (compression ratio), που ορίζεται ως ο λόγος του βάθους της αύλακας στη ζώνη τροφοδοσίας προς το βάθος της αύλακας στη ζώνη δοσιμετρίας. Μετά τον κοχλία, το τήγμα οδηγείται σε μια πλάκα όπου είναι στερεωμένα μεταλλικά πλέγματα, τα οποία χρησιμεύουν ως φίλτρα για την κατακράτηση ακαθαρσιών και άλλων ξένων σωμάτων που τυχόν εμπεριέχονται στο πολυμερές.

Οι βασικές λειτουργίες που συμβαίνουν κατά τη διεργασία της εκβολής είναι οι εξής:

- Μεταφορά των στερεών σωματιδίων
- Πλαστικοποίηση ή τήξη
- Μεταφορά του τήγματος
- Απαερίωση
- Ανάμειξη
- Μορφοποίηση

2.3.2 Διπλοκόχλιοι Εκβολείς

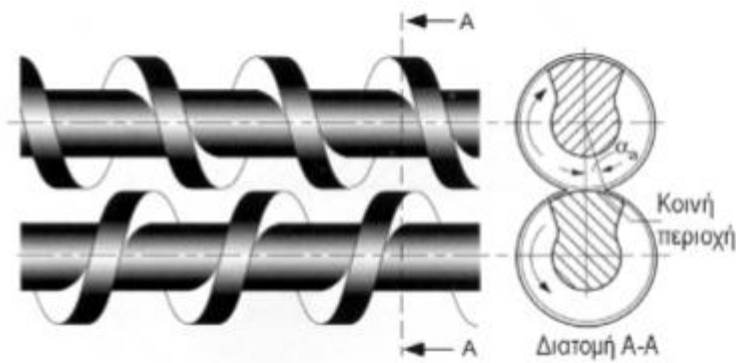
Ένα σύστημα εκβολής μπορεί να έχει περισσότερους από έναν κοχλίες. Η συνηθέστερη περίπτωση είναι αυτή των εκβολέων δίδυμου κοχλία (twin screw) εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder), όπου οι δύο παράλληλοι κοχλίες περιστρέφονται μέσα σε κατάλληλα σχεδιασμένο κύλινδρο. Ανάλογα με το αν οι κοχλίες περιστρέφονται κατά την ίδια ή αντίθετη φορά, οι διπλοκόχλιοι εκβολείς διακρίνονται σε ομόστροφους (co-rotating) και σε ετερόστροφους (counter-rotating) αντίστοιχα.



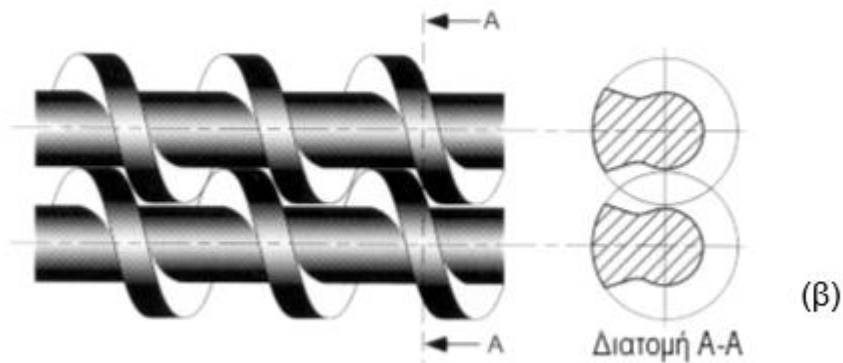
Σχήμα 2.3: (α) Ομόστροφοι και (β) ετερόστροφοι δίδυμοι κοχλίες.

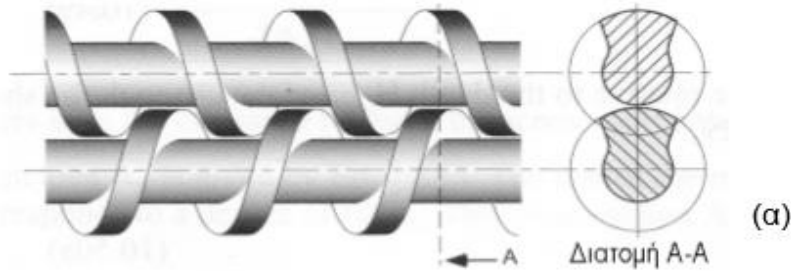
Στους ομόστροφους κοχλίες το υλικό μεταφέρεται από τον ένα κοχλία στον άλλο. Στους ετερόστροφους κοχλίες το πολυμερές οδηγείται στο σημείο συνάντησης των δύο κοχλιών όπου δημιουργείται μια συσσώρευση υλικού, το οποίο μεταφέρεται κατά μήκος του κοχλία προς την έξοδο (Σχήμα 2.3).

Αν οι σπείρες του ενός κοχλία εφάπτονται με τις σπείρες του άλλου κοχλία έχουμε τους εφαιπτόμενους (non-intermeshing) κοχλίες (Σχήμα 2.4). Όταν οι σπείρες του ενός κοχλία εισχωρούν στην εκγλυφή του άλλου κοχλία έχουμε τους συμπλεκόμενους (intermeshing) κοχλίες (Σχήμα 2.5). Στην περίπτωση των συμπλεκόμενων κοχλιών υπάρχει η ακόλουθη διάκριση: Η σπείρα να εισχωρεί και να καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της εκγλυφής οπότε οι κοχλίες καλούνται συζευκτοί (conjugated) και η σπείρα να καλύπτει ένα μέρος της εκγλυφής οπότε οι κοχλίες καλούνται ασύζευκτοι (non-conjugated)



Σχήμα 2.4 Εφαιπτόμενοι ετερόστροφοι δίδυμοι εκβολείς



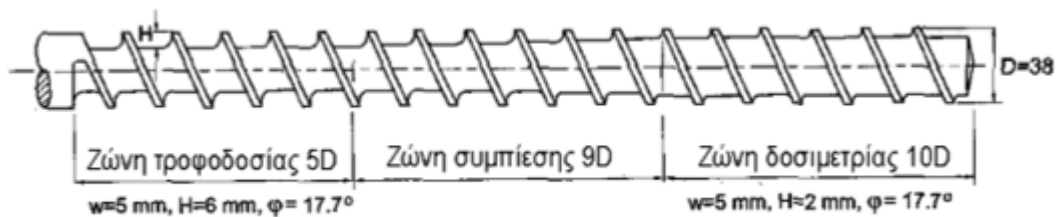


Σχήμα 2.5: Συμπλεκόμενοι (α) Ετερόστροφοι και (β) ομότροφοι, δίδυμοι Εκβολείς.

2.4 ΤΥΠΟΙ ΚΟΧΛΙΩΝ

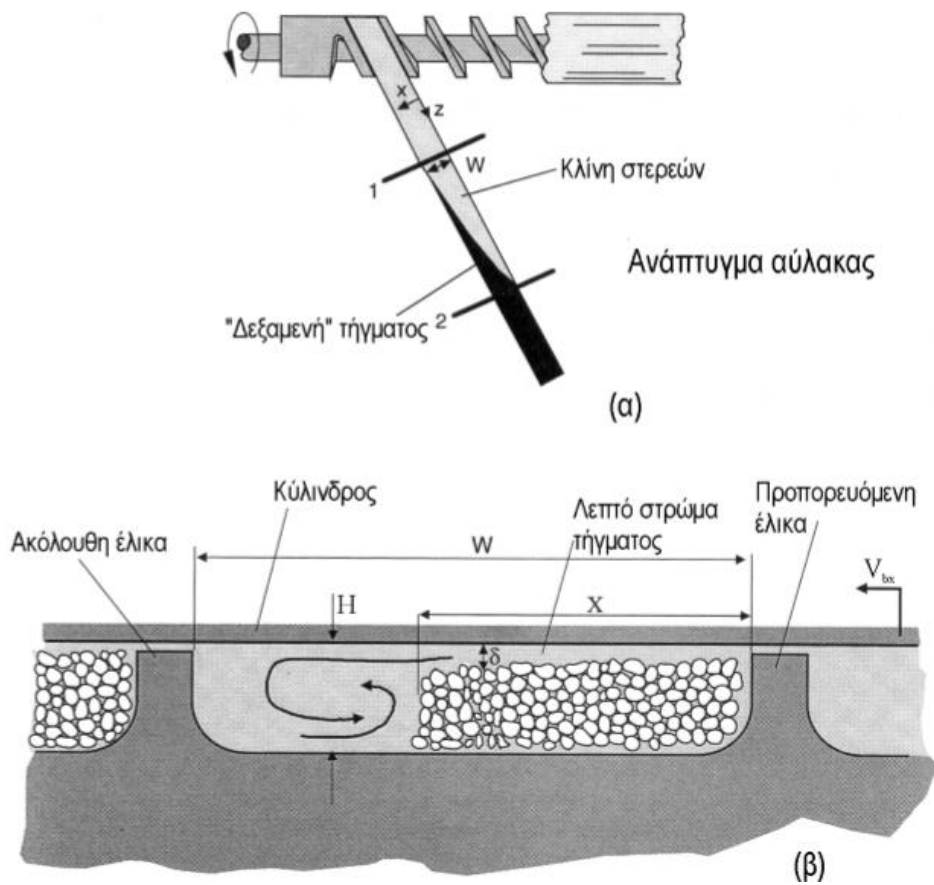
Μια επιτυχημένη διαδικασία εκβολής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από το σχεδιασμό του κοχλία. Τα γενικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού εκβολέα είναι τα εξής:

Συνολικό μήκος	20-30D
Μήκος ζώνης τροφοδοσίας	4-8D
Μήκος ζώνης δοσιμετρίας	6-10D
Αριθμός παράλληλων ελικώσεων	1
Βήμα του κοχλία	1D (γωνία ελίκωσης ϕ 17.66°)
Πλάτος αύλακας	0.1 D
Βάθος αύλακας στη ζώνη τροφοδοσίας	0.15-0.20D
Λόγος βάθους της αύλακας	2-4

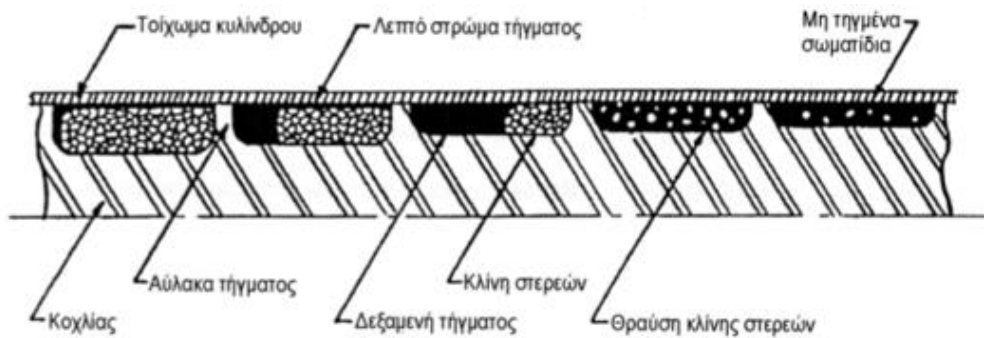


Σχήμα 2.6 Τυπικός κοχλίας εκβολέα.

Ο τυπικός κοχλίας έχει αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες κυρίως με εμπειρικό τρόπο και έχει διαπιστωθεί ότι λειτουργεί πολύ καλά με πολλούς και διαφορετικούς τύπους πολυμερών. Για να ικανοποιούνται όσο το δυνατό πληρέστερα οι συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε διεργασίας εκβολής έχουν γίνει μια σειρά από τροποποιήσεις στο σχεδιασμό της γεωμετρίας του κοχλία. Ακολουθεί αναφορά στους πιο σημαντικούς από αυτούς.

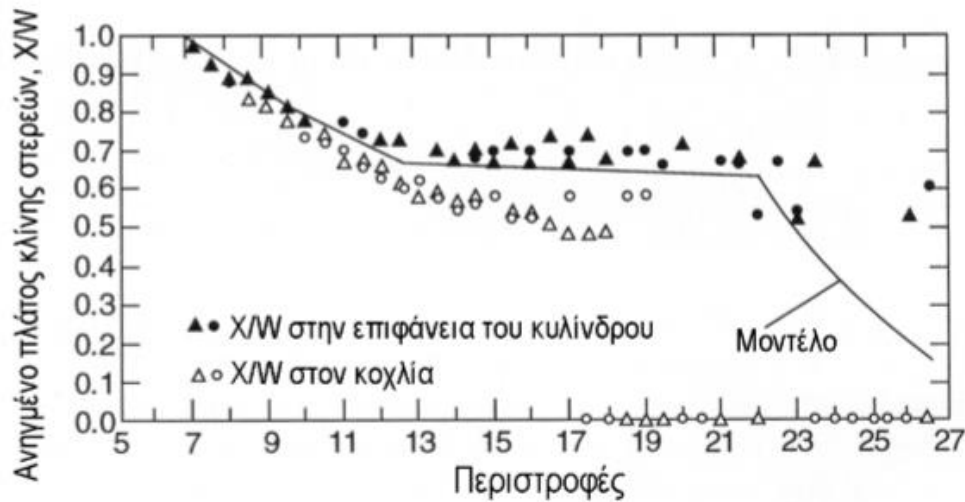


Σχήμα 2.7 (α) Κλίνη στερεών σε ανάπτυγμα αύλακας κοχλίας και (β) εγκάρσια τομή αύλακας κοχλίας στη ζώνη τήξης.



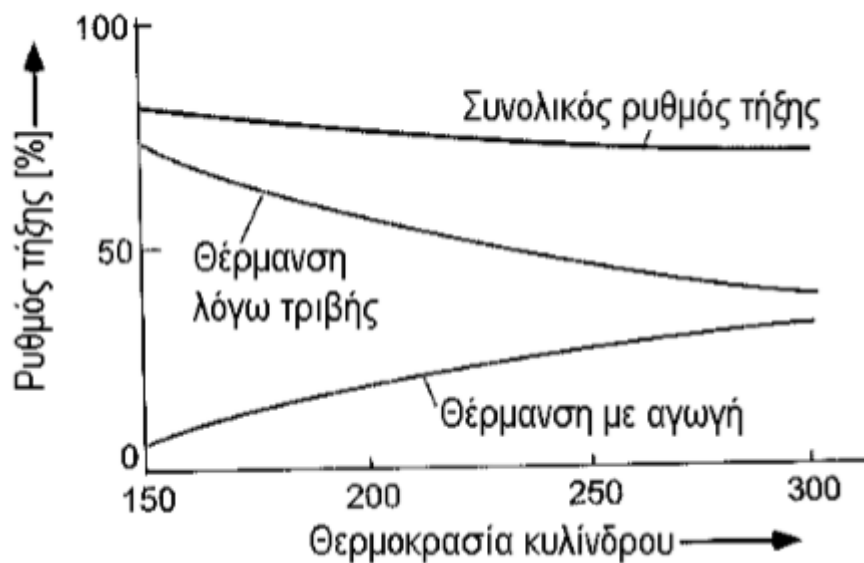
Σχήμα 2.8 Εξέλιξη της τήξης της κλίνης των στερεών σωματιδίων στις αύλακες του κοχλίας.

Στο Σχήμα 2.8 παρουσιάζονται τα πειραματικά και τα προβλεπόμενα με τη χρήση του μοντέλου τήξης του Tadmor αποτελέσματα, για το προφίλ της κλίνης στερεών κατά την εκβολή LDPE σε μονοκόχλιο εκβολέα.



Σχήμα 2.9: Προβλεπόμενες τιμές με βάση το μοντέλο Tadmor και πειραματικές τιμές του προφίλ της κλίνης των στερεών.

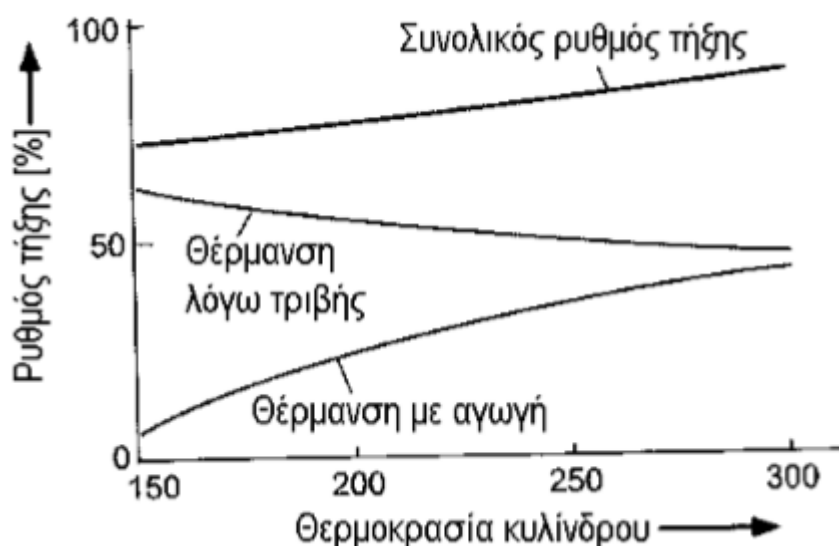
Η αύξηση της θερμοκρασίας του κυλίνδρου T_b μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία τήξης, με τον περιορισμό της πιθανότητας έναρξης θερμικής αποικοδόμησης του πολυμερούς. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του κυλίνδρου δεν επιφέρει βελτίωση στη διαδικασία τήξης. Με την αύξηση στην T_b αυξάνεται ο όρος της θερμότητας που μεταδίδεται με αγωγή αλλά μειώνεται ο όρος της θερμότητας λόγω τριβής στο στρώμα του τήγματος γιατί μειώνεται το ιξώδες του. Επομένως, αν με την αύξηση της T_b η μείωση στην παραγωγή ιξώδους θερμότητας είναι μεγαλύτερη από την αύξηση στην μεταφορά θερμότητας με αγωγή στα σωματίδια, το αποτέλεσμα θα είναι η μείωση του ρυθμού τήξης του πολυμερούς όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10: Η επίδραση της T_b στο ρυθμό τήξης, όταν το ιξώδες επηρεάζεται σημαντικά από τις μεταβολές στη θερμοκρασία.

Αυτό μπορεί να συμβεί σε πολυμερή των οποίων το ιξώδες τήγματος είναι πολύ ευαίσθητο στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας όπως το PMMA, PVA, PVC κλπ. Στην αντίθετη περίπτωση ο ρυθμός τήξης θα αυξηθεί με την αύξηση της T_b .

Όταν το ιξώδες του τήγματος δεν είναι πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές της θερμοκρασίας, μείωση της θερμοκρασίας του κυλίνδρου θα επιφέρει μικρή μείωση στη θερμότητα λόγω τριβής. Ως αποτέλεσμα, με την αύξηση της θερμοκρασίας του κυλίνδρου είναι πιθανό να αυξάνει ο ρυθμός τήξης όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.5.



Σχήμα 2.11: Η επίδραση της T_b στο ρυθμό τήξης όταν το ιξώδες δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις μεταβολές στη θερμοκρασία.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι ο τοπικός ρυθμός τήξης υπολογίζεται απ' ευθείας από το πλάτος της κλίνης των στερεών. Το μέγιστο πλάτος αντιστοιχεί στο πλάτος της αύλακας, όσο προχωρά η διαδικασία τήξης το πλάτος της κλίνης των στερεών, και κατά συνέπεια και ο τοπικός ρυθμός τήξης, μειώνονται. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ο υψηλότερος ρυθμός επιτυγχάνεται στην έναρξη της διαδικασίας τήξης, στη συνέχεια και όσο μειώνεται το πλάτος της κλίνης των στερεών μειώνεται μονοτονικά με την αξονική απόσταση.

2.5 Τροποποιήσεις στον κοχλία τυπικού εκβολέα

Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται ο τυπικός εκβολέας με μια επιπλέον έλικα στη ζώνη τροφοδοσίας. Η πρόσθετη έλικα έχει ως σκοπό να εξομαλύνει τη διακύμανση στην πίεση που προκαλείται από τη διακοπή στην ελεύθερη ροή του υλικού που εισάγεται από τη χοάνη τροφοδοσίας σε κάθε περιστροφή του κοχλία.



Σχήμα 2.12: Τυπικός κοχλίας με επιπλέον έλικα στη ζώνη τροφοδοσίας.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα στη γεωμετρία της διπλής έλικας είναι ότι εξισορροπούνται καλύτερα οι δυνάμεις που ασκούνται στον κοχλία, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η πιθανότητα να συμβεί κάποια εκτροπή του κοχλία.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, η επιπλέον έλικα μειώνει την εγκάρσια επιφάνεια της αύλακας ενώ αυξάνει η επιφάνεια επαφής μεταξύ της κλίνης των στερεών σωματιδίων του πολυμερούς και του κοχλία.

Στη γεωμετρία του κοχλία που παρουσιάζεται στα σχήματα 2.13(α&β) το βήμα μεταβάλλεται κατά μήκος του κοχλία.



Σχήμα 2.13(α): Κοχλίας εκβολέα με μεταβλητό αυξανόμενο βήμα.

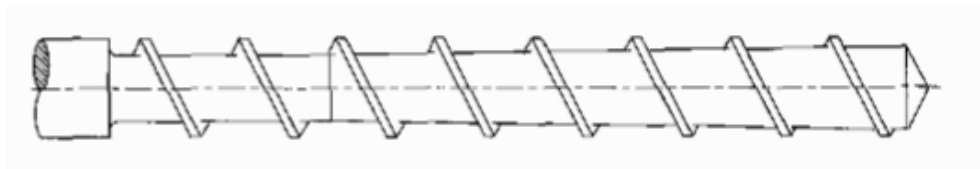


Σχήμα 2.13(β): Κοχλίας εκβολέα με μεταβλητό ελαττούμενο βήμα.

Η διαφοροποίηση στο βήμα δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιείται για κάθε ζώνη του κοχλία η βέλτιστη γωνία της ελίκωσης. Για παράδειγμα άλλη τιμή έχει η βέλτιστη γωνία για τη μεταφορά των στερεών σωματιδίων στη ζώνη τροφοδοσίας και άλλη για τη μεταφορά του τήγματος στη ζώνη δοσιμετρίας. Στο σχήμα 2.13(β) το βήμα ελαττώνεται κατά μήκος του κοχλία. Η συνεχής μείωση στο βήμα του κοχλία επιφέρει εγκάρσια συμπίεση στο υλικό μέσα στην αύλακα, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η κάθετη συμπίεση που προέρχεται από τη μείωση στο βάθος της αύλακας. Σε πολλές περιπτώσεις κοχλιών μεταβλητού ελατούμενου βήματος, η αύλακα διατηρεί το ίδιο βάθος σε όλο το μήκος του κοχλία.

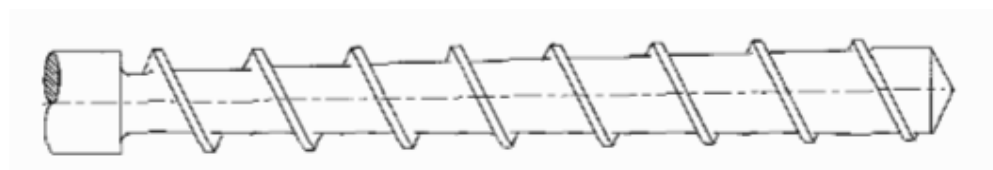
Πρέπει να αναφερθεί ότι ο κοχλίας μεταβλητού ελατούμενου βήματος δεν αποτελεί κοχλία υψηλών αποδόσεων. Αναπτύχθηκε με πρωταρχικό σκοπό να εξασκεί την ελάχιστη διατμητική καταπόνηση στο πολυμερές, ο λόγος L/D είναι γενικά αρκετά μικρός (περίπου 10). Αυτός ο τύπος κοχλία χρησιμοποιείται κυρίως για τη μορφοποίηση των ελαστομερών.

Στο Σχήμα 2.14 παρουσιάζεται ο κοχλίας χωρίς ζώνη δοσιμετρίας (zero-meter screw). Η γεωμετρία αυτή είναι ενδεδειγμένη για την τήξη του πολυμερούς σε μονάδες μορφοποίησης με έγχυση. Ο κοχλίας χωρίς ζώνη δοσιμετρίας χρησιμοποιείται για να περιορίσει την αύξηση στη θερμοκρασία του υλικού, αυξάνοντας το βάθος της αύλακας στη ζώνη μεταφοράς του τήγματος του εκβολέα. Ένα εμφανές μειονέκτημα του κοχλία χωρίς ζώνης δοσιμετρίας είναι ότι μειώνεται η ικανότητα παραγωγής πίεσης από το σύστημα, γεγονός που άλλωστε δεν αποτελεί ζητούμενο σε εφαρμογές έγχυσης.



Σχήμα 2.14: Κοχλίας εκβολέα με μηδενική ζώνη δοσιμετρίας.

Επέκταση του παραπάνω κοχλία, αποτελεί ο κοχλίας μηδενικής τροφοδοσίας και δοσιμετρίας (zero-feed zero-meter screw) (Σχήμα 2.15). Ο κοχλίας αυτός απαρτίζεται μόνο από τη ζώνη συμπίεσης, γεγονός που επιτρέπει μια πολύ σταδιακή συμπίεση του υλικού.



Σχήμα 2.15: Κοχλίας εκβολέα με μηδενική ζώνη τροφοδοσίας και δοσιμετρίας.

2.6 Απαεριούμενος εκβολέας

Ο Απαεριούμενος εκβολέας είναι διάταξη που επιτρέπει τη συνεχή απαερίωση του τήγματος πριν από την εξώθησή του στη μήτρα. Η απαερίωση είναι πολύ σημαντική ιδιαίτερα στην περίπτωση των υγροσκοπικών πολυμερών, καθώς επίσης και στις ακόλουθες εφαρμογές:

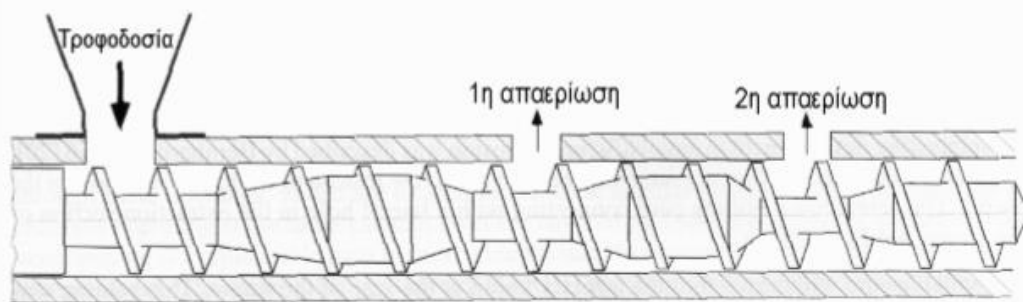
- Απομάκρυνση μονομερών και ολιγομερών κατά την παραγωγή πολυμερών (PS, HDPE, PP,...)
- Απομάκρυνση παραπροϊόντων αντιδράσεων πολυσυμπύκνωσης (νερό, μεθανόλη) και ολιγομερών από πολυεστέρες και νάυλον
- Απομάκρυνση του αέρα από ενισχυμένα πολυμερή
- Απομάκρυνση υπολειμμάτων από το μέσο διασποράς σε πολυμερισμούς διαλύματος, αιωρήματος και γαλακτώματος
- Απομάκρυνση υγρασίας από υγροσκοπικά πολυμερή
- Απομάκρυνση πτητικών συστατικών κατά την ανάμιξη πολυμερών- προσθέτων

Ο απαεριούμενος εκβολέας αποτελείται από δύο βαθμίδες, οι οποίες χωρίζονται από την περιοχή απαερίωσης. Στην πρώτη βαθμίδα το πολυμερές παραλαμβάνεται από τη ζώνη τροφοδοσίας, τήκεται, συμπιέζεται και ομογενοποιείται. Στη συνέχεια το τήγμα περνά από τη ζώνη αποσυμπίεσης όπου η πίεση μειώνεται στην ατμοσφαιρική. Η αποσυμπίεση επιτρέπει την απομάκρυνση των πτητικών απαερίων μέσω μιας ειδικής εξόδου απαερίωσης που υπάρχει στον κύλινδρο. Το απαεριωμένο τήγμα στη συνέχεια προωθείται προς τη δεύτερη βαθμίδα όπου υπάρχει δεύτερη ζώνη συμπίεσης και ακολουθεί η δεύτερη ζώνη δοσιμετρίας όπου το τήγμα ομογενοποιείται και εξωθείται στη μήτρα εκβολής. Η διαδικασία απαερίωσης ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από τη διάχυση και όπως είναι γνωστό ο

συντελεστής διάχυσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όταν το πολυμερές βρίσκεται κάτω από το σημείο τήξης, η διάχυση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό.

Για το λόγο αυτό πρέπει το πολυμερές να γίνει τήγμα, οπότε η απαερίωση είναι πιο αποτελεσματική και ενισχύεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του τήγματος. Επίσης η συνεχής ανανέωση της επιφάνειας του τήγματος, η οποία εξαρτάται από τη γεωμετρία του κοχλίου, βελτιώνει σημαντικά την ικανότητα απαερίωσης.

Στην περίπτωση που πρέπει να απομακρυνθούν μεγαλύτερες ποσότητες πτητικών ουσιών από το πολυμερές, χρησιμοποιούνται κοχλίες με πολλαπλές εξόδους απαερίωσης. Μια τυπική διάταξη τέτοιου εκβολέα τριών σταδίων φαίνεται στο Σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.16 Εκβολέας με πολλαπλές ζώνες απαερίωσης. [9,10,11,12]

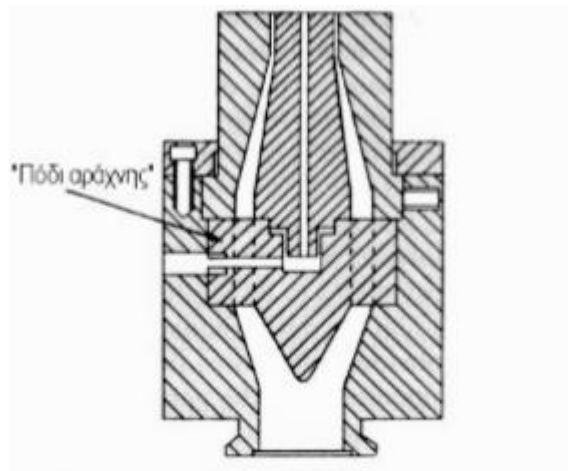
2.7 Φίλτρα

Το υλικό λιωμένο πια περνάει μέσα από φίλτρα για τη συγκράτηση σκόνης και μικροσωματιδίων και μεταφέρεται στη μήτρα. Το φίλτρο είναι δεδομένο πάνω σε ένα άξονα όπου στο τέλος του έχει ένα κωνικό τρύπιο μέταλλο ώστε το υλικό να περνάει μέσα από τις τρύπες και να συναντά το φίλτρο. Ο άξονας στην άλλη του μεριά έχει ένα στρογγυλό μέταλλο όπου είναι βιδωμένο με έξι μπουλόνια για να συγκρατείτε στην θέση του το φίλτρο γιατί οι πιέσεις είναι πολύ υψηλές.

2.8 Μήτρα

Η μήτρα όπως προ είπα και παραπάνω είναι ένα από δυο κυριότερα μέρει του μηχανήματος. Κατά την εκβολή του φιλμ σε μήτρα με κυκλική σχισμή παράγεται σωλήνας ορισμένης διαμέτρου ο οποίος διογκώνεται με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα που απελευθερώνεται στο εσωτερικό του σωλήνα και δημιουργεί έτσι ένα ασκό. Οι μήτρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του σωλήνα είναι οι εξής:

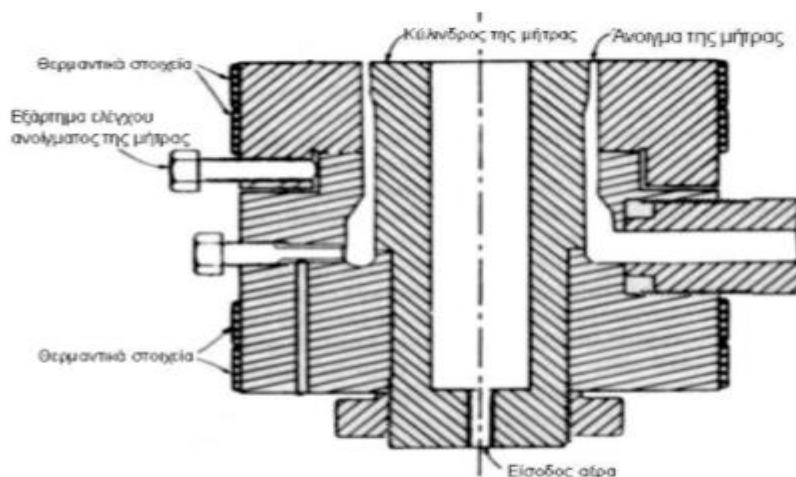
A. Μήτρα με τροφοδοσία από τον πυθμένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.17.



Σχήμα 2.17: Μήτρα με κεντρική τροφοδοσία από τον πυθμένα.

Ο τύπος αυτός καλείται μήτρα “τύπου αράχνης”, από το γεγονός ότι δακτύλιος στήριξης με ακτινικά στοιχεία (“πόδια” αράχνης) συνδέει τον κεντρικό άξονα με το σώμα της μήτρας. Η αξονική τροφοδοσία της μήτρας τύπου αράχνης ευνοεί την ομοιόμορφη κατανομή του τήγματος στην έξοδο της μήτρας, ενώ η διακλάδωση της ροής πίσω από το “πόδι” κάθε αράχνης προκαλεί την εμφάνιση γραμμών συγκόλλησης (weld lines). Το τήγμα του πολυμερούς εισάγεται από τη βάση της μήτρας όπου συναντά έναν κώνο, απλώνεται γύρω από αυτόν και οδηγείται προς την έξοδο της μήτρας στη μορφή σωλήνα. Αέρας εισάγεται από το πίσω μέρος της μήτρας και εισέρχεται στο διαμορφωμένο σωλήνα για να δώσει τις τελικές διαστάσεις ενώ το πολυμερές είναι ακόμα στη ρευστή κατάσταση (Σχήμα 2.17).

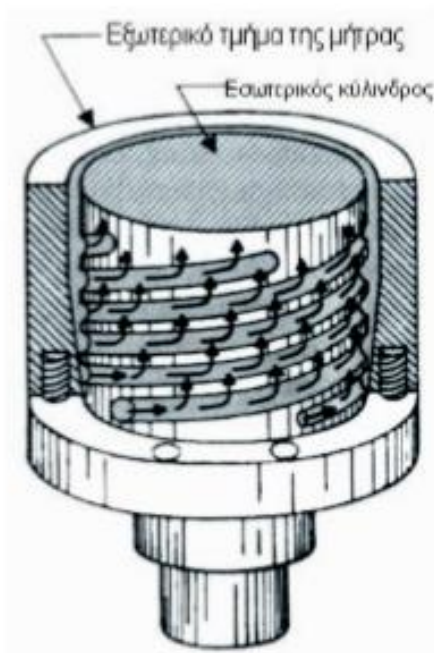
B. Μήτρα με πλευρική τροφοδοσία (Σχήμα 2.18).



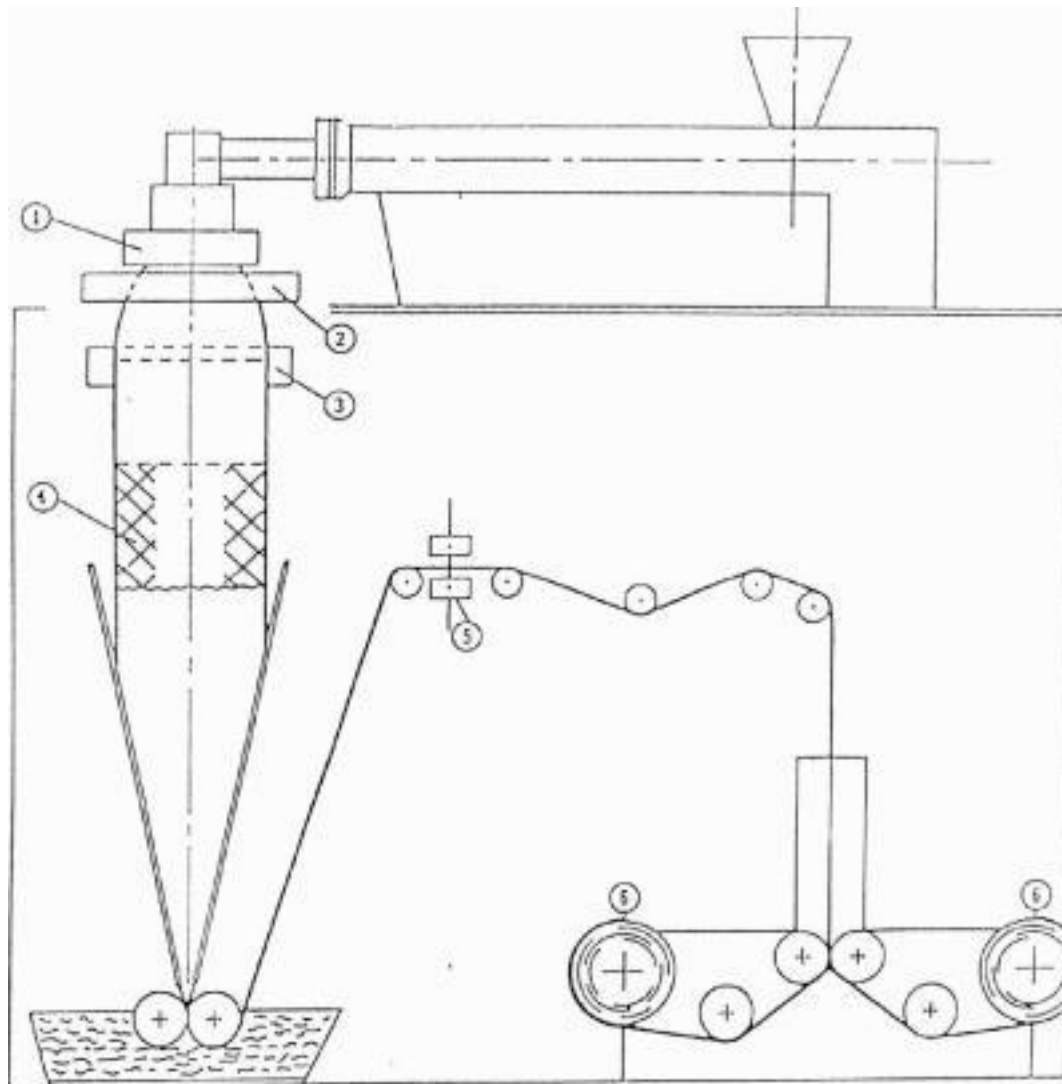
Σχήμα 2.18: Μήτρα με πλευρική τροφοδοσία.

Γ. Οι μήτρες τύπου σπείρας (Σχήμα 2.19) είναι από τις πιο διαδεδομένες στη λειτουργία των σύγχρονων γραμμών παραγωγής φιλμ με φύσημα. Το τήγμα τροφοδοτείται αξονικά στη μήτρα και στη συνέχεια μέσα από ακτινικά κανάλια του άξονα τύπου σπείρας, με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η ανομοιομορφία του τήγματος στην έξοδο της μήτρας.

Η ροή του αέρα σπρώχνει το σωλήνα προς τα έξω. Ο σωλήνας διαστέλλεται, ψύχεται μέχρι η ακτινική αντοχή του πλαστικού να εξισωθεί με την πίεση του αέρα. Η παραμόρφωση σταματά στη γραμμή ψύξης (freeze line), όπου συμβαίνει αλλαγή από την κατάσταση του τήγματος σε στερεό φιλμ. Εφαρμόζεται επίσης εξωτερική ψύξη με τη βοήθεια κυκλικού δακτυλίου ψύξης που εκσφενδονίζει κρύο αέρα πάνω στον κινούμενο σωλήνα. Ο εκτεταμένος σωλήνας προχωρά κατά ύψος και προωθείται μέσω κατάλληλου πλαισίου στο σύστημα των κυλίνδρων έλξης και στη συνέχεια στη διάταξη περιτύλιξης για τη συλλογή του φιλμ σε ρολλά.



Σχήμα 2.19: Μήτρα τύπου σπείρας.



Σχήμα 2.21: Παραγωγή φιλμ με φύσημα και ψύξη με λουτρό νερού.

(1) μήτρα, (2) δακτύλιος ψύξης, (3) σταθεροποίηση με τροφοδοσία νερού, (4) διαμόρφωση σταθερής διαμέτρου, (5) επιφανειακή κατεργασία με κορόνα, (6) συλλογή.

2.9 Προσανατολισμός

Όπως προαναφέρθηκε, αμέσως μετά την έξοδό του από τη μήτρα, το πολυμερές ψύχεται με ρεύμα αέρα στη θερμοκρασία προσανατολισμού. Υπό την επίδραση του αέρα που είναι εγκλωβισμένος, ο σωλήνας παραμορφώνεται πλευρικά μέχρι την μέγιστη διάμετρο. Η ώθηση του αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα προσανατολίζει τα μόρια στην ακτινική διεύθυνση (transverse direction, TD), ενώ το τράβηγμα από το σύστημα κυλίνδρων έλξης προσανατολίζει τα μόρια κατά τη φορά της μηχανής (machine direction, MD).

Βασικές παράμετροι με τις οποίες ελέγχεται η διεργασία και είναι εφικτή η πρόβλεψη των μηχανικών ιδιοτήτων του παραγόμενου φιλμ είναι οι ακόλουθες:

i. λόγος εμφύσησης (blow-up ratio) $B_R = R_f / R_0$: ο λόγος της τελικής ακτίνας του σωλήνα προς την ακτίνα του δακτυλίου της μήτρας εκβολής (τυπικές τιμές μεταξύ 1 και 4).

ii. λόγος τανυσμού (draw ratio) $D_R = v_f / v_0$: ο λόγος της ταχύτητας του σωλήνα στη γραμμή ψύξης προς τη μέση ταχύτητα εκβολής από τη μήτρα (τυπικές τιμές μεταξύ 10 και 40).

iii. μείωση του πάχους (thickness reduction) $T_r = h_0 / h_f$: ο λόγος του ανοίγματος της δακτυλικής μήτρας εκβολής προς το πάχος του σωλήνα στη γραμμή ψύξης (τυπικές τιμές μεταξύ 20 και 200).

Ο προσανατολισμός κατά τη φορά της μηχανής ελέγχεται από τη διαφοροποίηση της ταχύτητας εκβολής του φιλμ και της ταχύτητας των κυλίνδρων έλξης. Σε περίπτωση που είναι επιθυμητός ο μονοαξονικός προσανατολισμός, η ταχύτητα έλξης πρέπει να είναι ίση με την ταχύτητα εκβολής.

Με δεδομένο ότι η ογκομετρική παροχή στη μήτρα και στον διογκωμένο κύλινδρο είναι η ίδια, μπορούμε να γράψουμε το απλό ισοζύγιο ενέργειας, θεωρώντας σταθερή την πυκνότητα του πολυμερούς:

$$\frac{h_0}{h_f} = B_R D_R$$

Οι Pearson και Petrie ανέπτυξαν και επίλυσαν το μοντέλο παραγωγής φιλμ : «εκβολή» και «φύσημα» και έκαναν γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων σε αδιάστατα γραφήματα. Επιπροσθέτως των όρων : «λόγος τανυσμού DR», «λόγος εμφύσησης BR» και «λόγος μείωσης του πάχους h_0/h_f », εισήγαγαν τα ακόλουθα αδιάστατα μεγέθη:

$$\text{Πίεση: } P = \frac{\pi R_0^3 \Delta p}{\mu Q} \quad (4.2)$$

$$\text{Δύναμη τανυσμού : } F = \frac{R_0 f_z}{\mu Q} \quad (4.3)$$

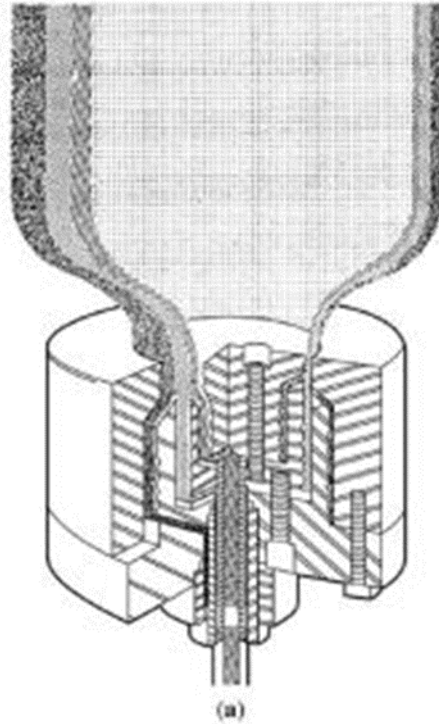
$$\text{Ύψος γραμμή ψύξης: } X = \frac{Z}{R_0} \quad (4.4)$$

Όπου μ : το νευτωνικό ιξώδες, R_0 : η ακτίνα του εκβαλλόμενου σωλήνα,
 R_f : η τελική ακτίνα του σωλήνα,
 v_0 : η ταχύτητα του τήγματος στην έξοδο της μήτρας,
 v_f : η ταχύτητα έλξης του φιλμ,
 Q : η ογκομετρική παροχή του τήγματος,
 Δp : η διαφορά πίεσης κατά μήκος του φιλμ,
 f_z : η δύναμη τανυσμού που ασκείται στο φιλμ.

2.10 Συνεκβολή

Η συνεκβολή είναι μια τροποποιημένη περίπτωση εκβολής, η οποία δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης μορφοποίησης δύο ή και περισσότερων ρευμάτων από τήγματα διαφορετικών πολυμερών, ώστε να γίνεται δυνατή η παραγωγή σύνθετων δομών φιλμ.

Η εφαρμογή της συνεκβολής απαιτεί εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν συστήματα εκβολής, συστήματα συνδυασμού της ροής των υλικών, κατάλληλη μήτρα μόρφωσης και σύστημα συλλογής του προϊόντος. Τα ρεύματα των διαφορετικών πολυμερών τροφοδοτούν ένα σύστημα συνδυασμού και στη συνέχεια οδηγούνται στη μήτρα μόρφωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο συνδυασμός των υλικών γίνεται πριν την έξοδο από τη μήτρα. Στην εξωτερική περίμετρο του ανοίγματος της κύριας μήτρας προσαρμόζεται μία δεύτερη παροχή ρητίνης (από άλλον εκβολέα) που περιβάλλει την πρώτη, με αποτέλεσμα τελικά να μορφοποιείται ο ένας σωλήνας μέσα στον άλλον (Σχήμα 4.17).

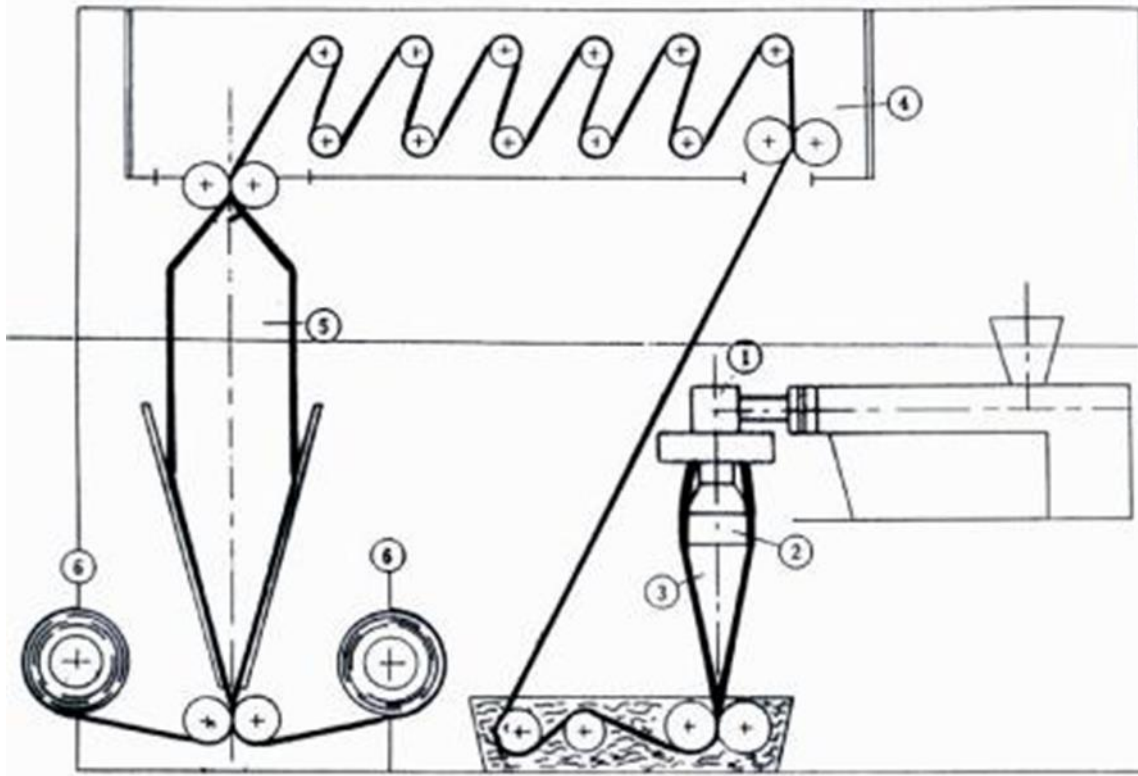


Σχήμα 2.22: Μήτρα για τη συνεκβολή φυσητού φιλμ.

Η συνεκβολή στην τεχνολογία του φιλμ χρησιμοποιείται για τη δημιουργία υλικών με βελτιωμένες ιδιότητες φραγμού (barrier properties) με την εισαγωγή ενός στρώματος από πολυμερές με τέτοιες ιδιότητες [όπως το συμπολυμερές αιθυλενίου και βινυλικής αλκόολης (EVOH), το συμπολυμερές βινυλιδενοχλωριδίου-βινυλοχλωριδίου, (PVDC)].

2.11 Παραγωγή φιλμ με διαξονικό προσανατολισμό

Στο φιλμ αυτό τα μόρια είναι προσανατολισμένα κατά προτίμηση και προς τις δύο κάθετες κατευθύνσεις, γεγονός που βελτιώνει σημαντικά την αντοχή τους. Ο διπλός προσανατολισμός επιτυγχάνεται με έκταση διαδοχικά και προς τις δύο κατευθύνσεις και μπορεί να γίνει με κατάλληλες προσαρμογές στην παραγωγή φιλμ με εμφύσηση (Σχήμα 2.23). Στην περίπτωση της εκβολής με φύσημα, δημιουργείται ο πρώτος σωλήνας, ο οποίος με φύσημα τανύζεται σε έναν βαθμό, ψύχεται, θερμαίνεται και υφίσταται για δεύτερη φορά τανυσμό με φύσημα (Double bubble technology).



Σχήμα 2.24: Παραγωγή διαξονικά προσανατολισμένου φιλμ με διπλό ασκό (1) μήτρα, (2) δακτύλιος ψύξης, (3) ψύξη με νερό, (4) φούρνος θερμού ατμού, (5) διαξονικός προσανατολισμός, (6) συλλογή [13,14,15,16]

2.12 Σύστημα περιστροφής

Όλη η μήτρα βρίσκεται πάνω σε ένα γρανάζι όπου με τη βοήθεια ενός μοτέρ περιστρέφεται, για να μπορέσει να διορθώσει οποιοδήποτε σφάλμα προκληθεί από αυτήν και προκειμένου να καταφέρει το φιλμ να έχει το ίδιο πάχος σε όλη του την περίμετρο. Η κίνηση αυτή είναι αρκετά αργή. Η σχέση του μειωτήρα αλλά και των γραναζιών είναι αρκετά μεγάλη και κατά συνέπεια μια πλήρης περιστροφή (360°) χρειάζεται 60 δευτερόλεπτα (sec). Στον εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder) νεότερης τεχνολογίας δεν περιστρέφεται η μήτρα αλλά όλο το καλάθι. Δηλαδή το πάνω μέρος του εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder). Αυτό το καλάθι βρίσκεται πάνω σε ένα ρουλεμάν τύπου μπιντέ με οδόντωση, για να μπορεί να περιστρέφεται από ένα μοτέρ.

Τέτοια ρουλεμάν χρησιμοποιούνται σε τανκ, εκκαφεείς και άλλα πολλά μηχανήματα που έχουν πολύ βάρος και κάνουν πλήρεις περιστροφές.

Αυτό βοηθάει στο να κάνει το φιλμ μεγαλύτερη διαδρομή, ώστε να κρυώνει πιο πολύ και να διορθώνει λίγο το σφάλμα από τη μήτρα, αφού περιστρέφεται και το τραβηχτικό. Αυτό το σύστημα, όμως, δεν μπορεί να κάνει περιστροφή 360°, γιατί τα καλώδια είναι συνδεδεμένα στο πάνω μέρος του μηχανήματος, οπότε εκεί υπάρχουν δυο codacs. Όταν η περιστροφή φτάσει και πιέσει το codac, τότε γίνεται ανάποδη περιστροφή μέχρι το ίδιο σημείο.

Το δεύτερο codac είναι ασφαλείας. Αν για κάποιον λόγο δεν αλλάξει η περιστροφή, όταν πατηθεί το codac και φτάσει στο δεύτερο, τότε κλείνει η περιστροφή και ειδοποιεί με alarm ότι υπάρχει πρόβλημα.

2.12 Τραβηχτικό μηχανήμα

Το τραβηχτικό μηχανήμα αποτελείται από έναν λαστιχένιο και από έναν μεταλλικό κύλινδρο στο πάνω μέρος του εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder). Η διαφοροποίηση των κυλίνδρων υπάρχει, για να μην σκίζεται το φιλμ, για να μπορεί να συγκρατεί τον αέρα παγιδευμένο μέσα στο μπαλόني καθώς και για να μην υπάρχουν διαρροές, ώστε το φιλμ να έχει την ίδια εξέλαση σε όλο του το μήκος. Οι κύλινδροι του τραβηχτικού ανοίγουν και κλείνουν. Αυτό γίνεται στο ξεκίνημα του μηχανήματος και ο κινητός κύλινδρος είναι ο λαστιχένιος. Όταν σταματά το μηχανήμα, το φιλμ κόβεται και παραμένει κρεμασμένο ακριβώς πάνω από τη μήτρα. Όταν ξεκινήσει το μηχανήμα, πρέπει να ενώσουμε το υλικό με το φιλμ, ώστε να το οδηγήσουμε στο τραβηχτικό. Η ένωση αυτή είναι μια άμορφη μάζα υλικού που είναι πιο χοντρή από το φιλμ, άρα δεν χωράει να περάσει από το τραβηχτικό. Γι' αυτό και ανοίγουν οι κύλινδροι. Η κίνηση αυτή γίνεται από δυο πνευματικά έμβολα που είναι ενωμένα με τους κυλίνδρους του τραβηχτικού. Ωστόσο η διαδρομή είναι μικρή, περίπου 50 (mm). Λόγω της κίνησης αυτής, οι κύλινδροι έχουν σπαστά ρουλεμάν, ώστε, αν για κάποιον λόγο ένα από τα δυο έμβολα σπρώξει περισσότερο, να μην φρακάρει ο κύλινδρος.

Ανάμεσα στο τραβηχτικό και τη μήτρα του εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder) παλιότερης τεχνολογίας, υπάρχει ένα στεφάνι που σκοπό έχει να συγκρατεί το φιλμ, ώστε αυτό να μην ταλαντεύεται αριστερά και δεξιά. Στον νεότερης τεχνολογίας εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder) έχει αφαιρεθεί το στεφάνι και έχει αντικατασταθεί από ρυθμιζόμενα ξύλα περιμετρικά του μπαλονιού σε όλη τη διαδρομή. Αυτό βοηθάει στη σταθεροποίηση του μπαλονιού και κατ' επέκταση του φιλμ, ώστε να βγαίνει από το τραβηχτικό στην ίδια θέση και να τυλίγεται αργότερα στο τυλιχτικό ομοιόμορφα.

Είναι αδύνατον να φτάσει στο τραβηχτικό ένα μπαλόνι, πχ. διαμέτρου 1.000 (mm), και να μην σκάσει. Γι' αυτό, λίγο πριν το τραβηχτικό υπάρχουν δύο ξύλινα πλαίσια υπό γωνία τέτοια, ώστε να μειωθεί η διάμετρος του μπαλονιού και να μπορέσουν ομαλά οι κύλινδροι να το τραβήξουν πια σαν δύο ενωμένα φύλλα.

2.13 Τυλιχτικό μηχάνημα

Μετά το τραβηχτικό, το φιλμ κάνει μια μικρή διαδρομή, προκειμένου να κρυσώσει πριν πάει στο τυλιχτικό. Στον παλιές τεχνολογίας εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder) περνούσε από τους κύλινδρους κατεύθυνσης του φιλμ που ήταν σε συγκεκριμένες θέσεις, για να σχηματίζουν γωνίες και για να παραμένει το φιλμ τεντωμένο. Στον νέας τεχνολογίας εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder) στον οποίο το καλάθι κινείται όπως προείπα, ακολουθεί μεγαλύτερη διαδρομή. Μετά το τραβηχτικό, υπάρχει ένας κύλινδρος με γωνία 45° και μετά από εκεί δύο σταθεροί κύλινδροι 180° , ώστε να φέρουν το φιλμ σε κάθετη θέση από οριζόντια που ήταν. Μετά από εκεί, κάνει μια περιστροφή πάνω στο καλάθι ακλουθώντας 8 κάθετους κύλινδρους που είναι πάνω στο καλάθι και περιστρέφονται. Από εκεί κατευθύνεται σε κύλινδρο με γωνία 45° πάλι, ώστε να έρθει ξανά σε οριζόντια θέση και από εκεί κατευθύνεται στο τυλιχτικό.

Πριν το τυλιχτικό, υπάρχουν δύο κύλινδροι οδήγησης του φιλμ, οι οποίοι βρίσκονται πάνω σε ένα πλαίσιο, το οποίο μπορεί να κινηθεί. Το πλαίσιο συνδέεται με δύο πνευματικά έμβολα, τα όποια το στρίβουν αριστερά και δεξιά. Στο κάτω μέρος του συστήματος, από εκεί που περνάει το φιλμ, έχει δυο φωτοκύτταρα, ένα αριστερά και ένα δεξιά που βλέπουν το φιλμ. Αν το φιλμ φύγει από τη θέση του, τότε δίνουν εντολή στο αντίστοιχο έμβολο να κινηθεί, έτσι ώστε να διορθώσει την κατεύθυνση του φιλμ και να τυλιχτεί ομοιόμορφα και ίσια.

Στο πάνω μέρος του τυλιχτικού, υπάρχουν δύο λαστιχένιοι κύλινδροι που συνδέονται με ένα μοτέρ, για να κρατάνε το φιλμ τεντωμένο καθ' όλη την πορεία του μέχρι εκεί. Οι κύλινδροι αυτοί ανοίγουν και κλείνουν ακριβώς το ίδιο με το τραβηχτικό, δηλαδή συνδέονται με δύο πνευματικά έμβολα διαδρομής περίπου 50 (mm), για τον ίδιον ακριβώς λόγο. Για να μπορεί να περάσει η ένωση του φιλμ στο ξεκίνημα του εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder). Μετά, το φιλμ περνάει από τρεις ακόμα κύλινδρους κατεύθυνσης του φιλμ, ώστε να πάρει σωστή θέση για να τυλιχτεί.

Το ρολό τυλίγεται πάνω σε αλουμινένιους σωλήνες, ώστε να είναι ελαφριοί αλλά να μπορούν να αντέξουν τις δυνάμεις ενός ρολού 500 κιλών περίπου. Οι σωλήνες μπαίνουν μέσα σε άξονες. Οι άξονες αυτοί έχουν διπλά ρουλεμάν κλειστού τύπου, για να μπορούν να αντέξουν τις δυνάμεις του ρολού. Ο άξονας μέσα είναι κούφιος και περιμετρικά έχει λωρίδες από λάστιχα και μια βαλβίδα, για να μπορεί να εγκλωβίσει αέρα μέσα. Όταν γεμίσεις αέρα τον άξονα, τότε τα λάστιχα από την πίεση βγαίνουν έξω και έτσι συγκρατείται ο σωλήνας στον άξονα και γίνεται ένα σώμα.

Όταν θέλεις να αφαιρέσεις τον άξονα από τον σωλήνα, πατάς τη βαλβίδα για να αφαιρεθεί ο εγκλωβισμένος αέρας και έτσι τα λάστιχα που τον συγκρατούν υποχωρούν και μπορείς να τον αφαιρέσεις.

Όταν το ρολό φτάσει στο επιθυμητό μέγεθος, πρέπει να γίνει αλλαγή και να μπει καινούριος άξονας και σωλήνας, για να τυλιχτεί το επόμενο ρολό. Οι εξωθητές πολυμερικών φύλλων (extruder) αυτού του τύπου δεν μπορούν να σταματούν και να ξεκινούν σε κάθε αλλαγή ρολού, επειδή είναι πολύ χρονοβόρο να ξεκινήσεις έναν εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder). Γι' αυτό η αλλαγή γίνεται εν κινήσει. Επάνω στο τυλιχτικό υπάρχει εφεδρικός άξονας με σωλήνα έτοιμος για την αλλαγή. Στο πλάι υπάρχει ένας μοχλός, όπου γυρίζοντάς τον χειροκίνητα ένας βραχίονας, παίρνει τον δεύτερο άξονα και τον σηκώνει ακριβώς κάτω από το φιλμ, μπροστά από το έτοιμο ρολό. Κόβουμε το φιλμ και το περνάμε στον άξονα για να τυλιχτεί εκεί. Δύο βραχίονες ενωμένοι με δύο πνευματικά έμβολα συγκρατούν το ρολό την ώρα που τυλίγει. Αφού έχουμε κόψει το φιλμ και δεν τυλίγει πια σε αυτόν τον άξονα, πατάμε το κουμπί και τα έμβολα σπρώχνουν τους βραχίονες, έτσι ώστε να ακουμπήσουν το έτοιμο ρολό κάτω. Αφού το απομακρύνουμε από εκεί, κλείνουμε τους βραχίονες και με το χειροκίνητο σύστημα αφήνουμε τον καινούριο άξονα που τυλίγει πάνω στους βραχίονες. Μετά βγάζουμε τον άξονα από το τελειωμένο ρολό, του τοποθετούμε καινούριο σωλήνα και τον βάζουμε πάνω στον εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder), ώστε να είναι έτοιμος για την επόμενη αλλαγή.

3. Συντήρηση

Οι εξωθητές πολυμερικών φύλλων (extruder) δεν έχουν ιδιαίτερη συντήρηση λόγω του ότι είναι ηλεκτρικά μηχανήματα και τα ηλεκτρικά μηχανήματα δεν έχουν ιδιαίτερη συντήρηση γενικά.

Ένα κομμάτι της συντήρησης είναι οι μειωτήρες. Οι μειωτήρες χρειάζονται αλλαγή λαδιών κάθε ένα χρονικό διάστημα και παρακολούθηση της στάθμης του λαδιού μήπως χρειαστεί να συμπληρώσουμε λάδι. Η διαδικασία αλλαγής του λαδιού του μειωτήρα είναι απλή : ανοίγουμε την τάπα, ώστε να φύγει το δουλεμένο λάδι, και προσθέτουμε καινούριο λάδι μέχρι την ένδειξη του κατασκευαστή.

Ένα άλλο κομμάτι της συντήρησης είναι η αλλαγή των φίλτρων κάθε δύο εβδομάδες. Όπως έχω πει και παραπάνω, από τον κοχλία το υλικό περνάει στα φίλτρα που είναι λίγο πριν τη μήτρα και χρησιμεύουν στη συγκράτηση σκόνης και μικροσωματιδίων που τυχόν βρίσκονται στο υλικό. Η διαδικασία της αλλαγής των φίλτρων δεν είναι και τόσο απλή. Το μηχανήμα πρέπει να είναι αναμμένο, ώστε το υλικό που υπάρχει μέσα στο φίλτρο να είναι λιωμένο. Ωστόσο δεν πρέπει να λειτουργεί τίποτε αλλά εκτός από τη θερμοκρασία. Το φίλτρο είναι δεμένο πάνω σε έναν άξονα, ο οποίος στο τέλος του έχει ένα κωνικό τρύπιο μέταλλο, ώστε το υλικό να περνάει μέσα από τις τρύπες και να συναντά το φίλτρο. Ο άξονας στην άλλη του μεριά έχει ένα στρογγυλό μέταλλο

που είναι βιδωμένο με έξι μπουλόνια, για να συγκρατείται στη θέση του το φίλτρο, αφού οι πιέσεις είναι πολύ υψηλές. Μετά, καθαρίζουμε όλον τον μηχανισμό με ηλεκτρική βούρτσα από το υλικό που έχει παραμείνει πάνω. Μετά, λύνουμε και βγάζουμε το φίλτρο και τοποθετούμε καινούριο που το δένουμε καλά στη θέση ακριβώς όπου ήταν το προηγούμενο. Εν συνεχεία καθαρίζουμε καλά την περιοχή, όπου μπαίνει ο άξονας, από το υλικό που έχει τρέξει, τοποθετούμε τον άξονα στη θέση του και βιδώνουμε πολύ καλά.

Μια άλλη μορφή συντήρησης που γίνεται σε εβδομαδιαία βάση είναι ο καθαρισμός των κυλίνδρων κατεύθυνσης του φιλμ. Το φιλμ περνώντας από τους κυλίνδρους, ζεστό ακόμα, αφήνει μια πούδρα πάνω, η οποία μαζί με τη σκόνη από το περιβάλλον λερώνει τους κυλίνδρους και δυσκολεύει την κατεύθυνση του φιλμ.

Οπότε κάθε εβδομάδα καθαρίζουμε έναν έναν τους κυλίνδρους με ειδικά καθαριστικά και ειδικά πανιά, για να μην τους γδάρουμε. Αυτό γίνεται, γιατί, αν ένας κύλινδρος γδαρθεί, θα σκίζει το φιλμ κάθε φορά που περνάει από εκεί.

Η τελευταία συντήρηση που απαιτεί ένας εξωθητής πολυμερικών φύλλων (extruder) είναι η αλλαγή των χαλασμένων ρουλεμάν, κυρίως εξαιτίας των κυλίνδρων κατεύθυνσης του φιλμ. Κάθε κύλινδρος έχει δυο ρουλεμάν που γυρίζουν ασταμάτητα όσο το μηχάνημα βρίσκεται σε λειτουργία. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι καταπονούνται ιδιαίτερα σε βάθος χρόνου. Στους κυλίνδρους χρησιμοποιούμε ρουλεμάν ανοιχτού τύπου. Τα ρουλεμάν ανοιχτού τύπου είναι λιγότερο σφιχτά, οπότε μπορούν και περιστρέφονται πιο εύκολα. Όμως είναι για μικρά φορτία. Σε αντίθεση με τα ρουλεμάν κλειστού τύπου που είναι πιο σφιχτά αλλά μπορούν να δεχτούν μεγαλύτερο φορτίο. Στους κυλίνδρους καθοδήγησης του φιλμ οι δυνάμεις είναι ελάχιστες. Γι' αυτό και χρησιμοποιούμε ρουλεμάν ανοιχτού τύπου. Αν ένα ρουλεμάν κολλήσει και δεν το καταλάβουμε εγκαίρως μπορεί να δημιουργήσει σοβαρό πρόβλημα στον κύλινδρο. Για την αλλαγή των ρουλεμάν πρέπει να λύσουμε τον κύλινδρο, να τον κατεβάσουμε, μετά να αφαιρέσουμε με εξωλκέα τα παλιά ρουλεμάν, να καθαρίσουμε καλά την επιφάνεια που μπαίνει το ρουλεμάν, να τοποθετήσουμε κόλλα σε αυτό το σημείο και μετά να τοποθετήσουμε τα καινούρια ρουλεμάν.

4. Προβλήματα

Οι εξωθητές πολυμερικών φύλλων (extruder) αυτού του τύπου αντιμετωπίζουν προβλήματα από τον αέρα. Αν εν ώρα λειτουργίας ανοίξει κάποια πόρτα και δεν κλείσει σύντομα, το μπαλόνι σταματά να κρύνει σε εκείνο το σημείο που κρύνει πριν και αρχίζει να ανεβοκατεβαίνει το σημείο της εξέλασης.

Αυτό οφείλεται στο ότι τα ρεύματα του αέρα δεν έχουν ομοιόμορφη θερμοκρασία και έτσι το μπαλόνι μια κρύνει πιο γρήγορα, μια πιο αργά. Η εξέλαση του μπαλονιού

παίζει τον σημαντικότερο λόγο σε έναν εξωθητή πολυμερικών φύλλων (extruder), γιατί καθορίζει το μέγεθός του και το πάχος του.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι, επειδή το μηχάνημα δουλεύει είκοσι τέσσερις ώρες το εικοσιτετράωρο, φθείρονται τα ρουλεμάν, των κυλίνδρων συνήθως, αλλά και τα υπόλοιπα, αρκετά γρήγορα. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα, γιατί χρειάζεται να σταματήσει το μηχάνημα για να αλλαχτούν.

Βιβλιογραφία

1. Καμπούρη Μ., Παπασπυρίδη Κ., “Τεχνολογία Πολυμερών (Δομή-Ιδιότητες των Πολυμερών)”, ΕΜΠ (1998).
2. Tadmor Z, and Gogos C.G., “Principles of Polymer Processing”, SPE Monographs, Wiley-Interscience, New York (1979).
3. Piringer, Otto G.; Baner, Albert Lawrence (2008). *Plastic packaging: interactions with food and pharmaceuticals* (2nd έκδοση). Wiley-VCH. ISBN 978-3-527-31455-3. Ανακτήθηκε στις 2014-02-20.
4. Plastics Design Library (1997). *Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide* (Illustrated έκδοση). William Andrew. ISBN 978-1-884207-17-4. Ανακτήθηκε στις 2014-02-20.
5. <http://www.manufacturingterms.com/Greek/PP.html>
6. www.interplast.gr/Downloads/AtlasPlus/03.pdf
7. <http://www.anakyklosi.com.gr/site.php?&file=pages.xml&catid=70>
8. Titow, W. (1984). *PVC Technology*. London: Elsevier Applied Science Publishers
9. Μητσούλης Ευάγγ., “Βασικές Αρχές Μορφοποίησης Πολυμερών”, ΕΜΠ (1999)
10. Ανδρεόπουλος Α.Γ., “Επεξεργασία Πολυμερών & Σχεδιασμός Προϊόντων”, ΕΜΠ (2004).
11. Vlachopoulos J., “Introduction to Plastics Processing”, McMaster Univ. Ontario Canada (2001).
12. Fried J.R., “Polymer Science and Technology”, Prentice Hall PTR, New Jersey (1995). 7. Rauwendall Chr., “Polymer Extrusion”, Hanser Publ. 4th ed. (2001).
13. Ανδρεόπουλος Α.Γ., “Επεξεργασία Πολυμερών & Σχεδιασμός Προϊόντων”, ΕΜΠ (2004).
14. Brent Strong A., “Plastics: Materials and Processing”, Prentice Hall 3rd ed. (2006).
15. Osswald T.A. “Polymer Processing Fundamentals”, Hanser 1998, p. 143-148.

16. Μητσούλης Ευάγγ., “Βασικές Αρχές Μορφοποίησης Πολυμερών”, ΕΜΠ (1999).

Παραπομπές

1. American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks. «[Foundations of Polymer Science: Wallace Carothers and the Development of Nylon](#)». *ACS Chemistry for Life*. Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
2. «[Wallace Hume Carothers](#)». [Chemical Heritage Foundation](#). Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
3. Palmer, R. J. 2001. Polyamides, Plastics. *Encyclopedia Of Polymer Science and Technology*. doi:10.1002/0471440264.pst251
4. Vogler, H. (2013), Wettstreit um die Polyamidfasern. *Chemie in unserer Zeit*, 47: 62–63. doi:10.1002/ciuz.201390006
5. Wolfe, Audra J. (2008). «[Nylon: A Revolution in Textiles](#)». *Chemical Heritage Magazine* **26** (3). Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
6. «[Science of Plastics](#)». *Conflicts in Chemistry: The Case of Plastics*. Chemical Heritage Foundation. Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
7. Clark, Jim. «[Polyamides](#)». *Chemguide*. Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
8. Youssef, Helmi A.. El-Hofy,, Hassan A.. Ahmed, Mahmoud H. (2011). *Manufacturing technology : materials, processes, and equipment*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis/CRC Press, σελ. 350. ISBN 9781439810859. Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
9. «[Nylon 6/6 – Commercial Grades and Properties](#)». *Emco Industrial Plastics, Inc.*. Ανακτήθηκε στις November 17, 2014.
10. «[Use of Nylon in 3D Printing](#)». <http://3dprintingforbeginners.com/>. Ανακτήθηκε στις 11 January 2015.
11. [History of Nylon](#) US Patent 2,130,523 'Linear polyamides suitable for spinning into strong pliable fibers', U.S. Patent 2,130,947 'Diamine dicarboxylic acid salt' and U.S. Patent 2,130,948 'Synthetic fibers', all issued September 20, 1938
12. Typical physical characteristics of nylon at "[Basics of Design Engineering](#)"
13. Bjarnason, J. E.; Chan, T. L. J.; Lee, A. W. M.; Celis, M. A.; Brown, E. R. (2004). «Millimeter-wave, terahertz, and mid-infrared transmission through common clothing». *Applied Physics Letters* **85** (4): 519. doi:10.1063/1.1771814.
14. [Valerie Menzer's Nylon 66 Webpage](#). Arizona University
15. Campbell, Ian M. (2000). *Introduction to synthetic polymers*. Oxford: Oxford Univ. Press. ISBN 0198564708.
16. «[Fiberglass and Composite Material Design Guide](#)». *Performance Composites Inc.*. Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
17. Page, I. B. (2000). *Polyamides as engineering thermoplastic materials*. Shawbury, Shrewsbury: Rapra Technology Ltd., σελ. 115. ISBN 9781859572207.
18. «[Adhesive for nylon & kevlar](#)». *Reltek*. Ανακτήθηκε στις 27 January 2015.
19. Mike Berners-Lee, *How Bad are Bananas? The Carbon Footprint of Everything* (London: Profile, 2010), p. 112 (table 6.1), <http://books.google.is/books?id=zs13m5JquBwC&>.
20. Typically 80 to 100% is sent to landfill or garbage dumps, while less than 18% are incinerated while recovering the energy. See Francesco La Mantia (August 2002). *Handbook of plastics recycling*. iSmithers Rapra Publishing, σελ. 19–. ISBN 978-1-85957-325-9. Ανακτήθηκε στις 17 October 2011.
21. Typically 1% or less of nylons are recycled this way.