



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΑΝΤΖΑΛΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΟΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή και εισηγητή του θέματός μου, κύριο Τσολάκη για την καθοδήγηση και τη συμβολή του στη διεκπεραίωση της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης, όλους τους καθηγητές μας για τις γνώσεις που μας προσέφεραν στη διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλες τις εταιρείες που συνεργάστηκαν και με βοήθησαν προσφέροντας ενημερωτικό υλικό, συνεισφέροντας έτσι στην έρευνά μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή έχει ως θέμα τα πολυμερή υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή στοιχείων μηχανών. Γίνεται λοιπόν μια εισαγωγή στην δομή και τις ιδιότητες των πολυμερών υλικών και, πιο συγκεκριμένα, σε αυτά που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε μηχανολογικές εφαρμογές. Μέσα από ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας γίνεται μια παρουσίαση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων που τα καθιστούν κατάλληλα για τις σύγχρονες εφαρμογές, καθώς και των δυνατοτήτων βελτίωσης και εξέλιξης μέσα από τις νέες τεχνολογίες όπως το 3d printing.

ABSTRACT

This essay deals with the polymer materials used in the manufacture of machine components. There is an introduction to the structure and properties of polymeric materials and, more particularly, to those that are widely used in mechanical applications. A review of the existing literature gives a presentation of the physical and mechanical properties that make them suitable for modern applications, as well as the potential for improvement and development through new technologies such as 3d printing.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΟΛΥΜΕΡΗ	8
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	8
1.2 ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ.....	9
1.3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	10
1.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	11
1.4.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ.....	12
1.4.2 ΕΙΔΟΣ ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΑΛΥΣΙΔΑ.....	13
1.4.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΥΡΙΑΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ.....	13
1.4.4 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ - ΓΕΝΙΚΑ.....	14
1.5 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ - ΓΕΝΙΚΑ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΑ ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ-	16
ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΟ 6 (PA6, PA6G) STEMAMID.....	16
ΠΟΛΥΑΚΕΤΑΛΗ (POM) STEMARIN.....	17
ΤΕΦΛΟΝ (P.T.F.E.) STEMEFロン.....	17
ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ (PE) STEMYLEN.....	18
ΠΟΛΥΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ (PVC) STEMIDUR.....	18
ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ (PP) STEMYLEN P.....	19
ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ (PC) STEMANAT	20
ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ (PET) STEMARET	20
ΠΑΝΙΤΗΣ (HGW 2082) STEMATEC C.....	21
ΕΠΟΞΙΚΟ (HGW 2372) STEMATEC G	22
ΒΑΚΕΛΙΤΗΣ.....	22
ΚΑΡΒΟΥΝΟ ΓΡΑΦΙΤΗΣ.....	23
ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗ (PUR) STEMETHAN	23
ΣΙΛΙΚΟΝΗ (SI) STEMASIL	24
ΕΛΑΣΤΙΚΟ - ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ (NBR, NR, SBR)	24
PLA.....	25
ABS.....	26
Nylon Powder.....	26

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

High Resolution SLA	26
Flexible	26
Polycarbonate	27
Z-Ultrat	27
Polymax	27
Z-GLASS	27
Z-HIPS	27
NYLON.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΙΣΤΟΥΝ ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	29
3.1 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (Modulus of elasticity).....	30
3.2 ΕΡΙΠΥΣΜΟΣ	31
3.3 ΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ	34
3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΡΟΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	36
3.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΟΡΙΑΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	37
3.6 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΠΩΣΗΣ.....	38
3.6 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	39
3.6.1 ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΤΡΙΒΗ ΚΑΙ ΤΗ ΦΘΟΡΑ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	44
4.2 ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΕΣ	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	50

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά το γεγονός ότι τα πολυμερή χρησιμοποιούνταν από τα αρχαία χρόνια (π.χ. βαμβάκι, μαλλί κτλ.) δεν είχαν εκτιμηθεί και επεξηγηθεί επαρκώς πριν τον 20^ο αιώνα. Ο γερμανός χημικός Hermann Staudinger εισήγαγε για πρώτη φορά την έννοια του μακρομορίου. Η θεωρία άρχισε να αποκτά υποστηρικτές την δεκαετία του 1930 και ο ίδιος βραβεύτηκε με Nobel Χημείας το 1953.

Η λέξη πολυμερές είναι σύνθετη : πολύς + μέρος, γεγονός που αιτιολογείται πλήρως από τα μόρια μεγάλων διαστάσεων που αποτελούν τα πολυμερή, τα μακρομόρια. Οι ιδιότητες των πολυμερών είναι ενδιαφέρουσες και σε κάποιες περιπτώσεις καλύτερες κι από αυτές των μετάλλων. Τα πολυμερή μορφοποιούνται εύκολα και παρασκευάζονται εύκολα ανάλογα με τις απαιτήσεις μας , έτσι ώστε να συνδυάζουν ταυτόχρονα πολλά πλεονεκτήματα, όπως :

- τη δυνατότητα δημιουργίας προϊόντων πολύπλοκης γεωμετρίας
- τη διαφάνεια, σε σημείο που μπορούν να αντικαταστήσουν το γυαλί
- χαμηλή πυκνότητα άρα και βάρος
- καλές μηχανικές ιδιότητες και
- συνήθως χαμηλό κόστος.

Τα πολυμερή σε σχέση με τα μεταλλικά υλικά, παρουσιάζουν όμως και μειονεκτήματα . Στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν:

- χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες
- δεν είναι δυνατή η χρήση τους σε υψηλές θερμοκρασίες.
- επιπτώσεις στο περιβάλλον και τους μεγάλους κινδύνους ρύπανσης καθώς τα περισσότερα πολυμερή δεν είναι ανακυκλώσιμα.

Η εμπορική ταξινόμηση των πολυμερών γίνεται συνήθως σε τρεις κατηγορίες.

α) ευρείας χρήσης : LDPE, HDPE, PP, PS, PVC, πολυμερή με χαμηλή πυκνότητα

β) ειδικής τεχνολογίας : PC, NYLON, PPS

γ) προχωρημένης τεχνολογίας : πολυμερή υγρών κρυστάλλων, PTFE, PRRK, PES,

πολυμερή με ιδιαίτερα υψηλή απόδοση.

Τα πολυμερή συμπεριφέρονται μηχανικά με διάφορους τρόπους: ως ψαθυρό υλικό και ως ελαστικό. Η μηχανική συμπεριφορά κάθε πολυμερούς επηρεάζεται κατά πολύ από την θερμοκρασία. Η διαρροή, ο σχηματισμός λαιμού, η θραύση, η κόπωση, η κρούση αλλά και η τριβή είναι μηχανικές ιδιότητες που δεν πρέπει να περνούν απαρατήρητες από κάποιον που μελετά τα πολυμερή υλικά.

Η αποσύνθεση των πολυμερών υλικών είναι άμεσα συνδεδεμένη με το περιβάλλον και οι επιπτώσεις που έχει το τελευταίο στην δομή τους εξαρτάται από την χημική τους σύνθεση. Το οξυγόνο, η υψηλή θερμοκρασία, οι ακτίνες UV καθώς και άλλοι παράγοντες επιδρούν αρνητικά στην τεχνολογική συμπεριφορά των πολυμερών υλικών.

Οι εφαρμογές των πολυμερών εκτείνονται από τις απλές καθημερινές χρήσεις, όπως τα οικιακά, διακοσμητικά είδη συσκευασίας κλπ, μέχρι τις πιο προηγμένες, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην μικροηλεκτρονική και αλλού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΟΛΥΜΕΡΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Πολυμερές είναι μόριο μεγάλους μεγέθους (μακρομόριο) που αποτελείται από επαναλαμβανόμενες (δομικές) μονάδες ενώ Μονομερές είναι απλή χημική ένωση από την οποία μπορεί να ληφθεί ένα πολυμερές μέσω μιας επαναλαμβανόμενης αντίδρασης.

Αν και τα πολυμερή αποτελούσαν συστατικό της ζωής του ανθρώπου από την αρχή της ιστορίας του, η επιστημονική προσέγγιση της δομής τους καθώς και η συνθετική παραγωγή τους αποτελούν επιτεύγματα του 20ού αιώνα. Τα πολυμερή υλικά διακρίνονται στα φυσικά και στα συνθετικά πολυμερή. Τα φυσικά πολυμερή τα συναντάμε στη φύση (ξύλο, βαμβάκι, το μετάξι, οι ίνες των οργανισμών, τα οστά και φυσικά το DNA των κυττάρων, καθώς και η μεμβράνη που χωρίζει το ένα κύτταρο από το άλλο αποτελούν παραδείγματα φυσικών 29 πολυμερών, ενώ τα συνθετικά παράγονται από τον άνθρωπο. Ορίζουμε τα πολυμερή ως φυσικές ή τεχνητά παρασκευασμένες ύλες, αποτελούμενες από μόρια μεγάλων διαστάσεων (μεγάλου μοριακού βάρους).

Τα πολυμερή συνδυάζουν πλήθος πλεονεκτημάτων, όπως το ότι μπορούν να μορφοποιηθούν εύκολα και να δώσουν προϊόντα πολύπλοκης γεωμετρίας, διαθέτουν διαφάνεια οπότε μπορούν να αντικαταστήσουν το γυαλί, έχουν χαμηλή πυκνότητα, καλές μηχανικές ιδιότητες και αρκετά χαμηλό κόστος.

Παρόλα αυτά παρουσιάζουν και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Όπως έχει αποδειχθεί ήδη, η χρήση των πλαστικών υλικών προκαλεί μια από τις σημαντικότερες αιτίες μόλυνσης του περιβάλλοντος. Συγχρόνως, ένα μεγάλο ποσοστό πλαστικών προϊόντων έχει σαν πρώτη ύλη το πετρέλαιο, γεγονός που σημαίνει ότι η παραγωγή τους έχει άμεση εξάρτηση από την τιμή και την πολιτική του πετρελαίου, μιας μη ανανεώσιμης πρώτης ύλης.

Το 19ο αιώνα η χρήση των πολυμερών άλλαξε δραματικά με την παραγωγή ημι-συνθετικών πολυμερών, δηλαδή φυσικών πολυμερών που επεξεργάζονται χημικά ώστε να προκύψουν υλικά με βελτιωμένες ιδιότητες. Χαρακτηριστικής σημασίας είναι η μετατροπή του καουτσούκ σε ελαστικό καλύτερων ιδιοτήτων με την προσθήκη θείου που πρώτος παρατήρησε ο Charles Goodyear (1839), διαδικασία που αργότερα καθιερώθηκε με το όνομα βουλκανισμός. Το πρώτο πλαστικό που παρασκευάστηκε ήταν η συνθετική κυτταρίνη (celluloid) το 1870. Τη δεκαετία του 1920 ο χημικός Hermann Staudinger εισήγαγε την έννοια του μακρομορίου. Ο ίδιος βραβεύτηκε με Nobel το 1953. Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο η βιομηχανία των πολυμερών είχε ραγδαία ανάπτυξη με την παραγωγή συνθετικών 30 πολυμερών με χημικές κατεργασίες, και αυτό συνέβη κυρίως εξαιτίας της ανεπάρκειας φυσικών πολυμερών.

Έτσι, τα συνθετικά αντικατέστησαν τα φυσικά πολυμερή, δίνοντάς τους έτσι τεράστια ώθηση, με κύριο συντελεστή ανάπτυξης τις Η.Π.Α. Την εποχή αυτή αναπτύχθηκαν και τα θερμοπλαστικά πολυμερή, όπως το πολυστυρένιο (PS), το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC).

1.2 ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

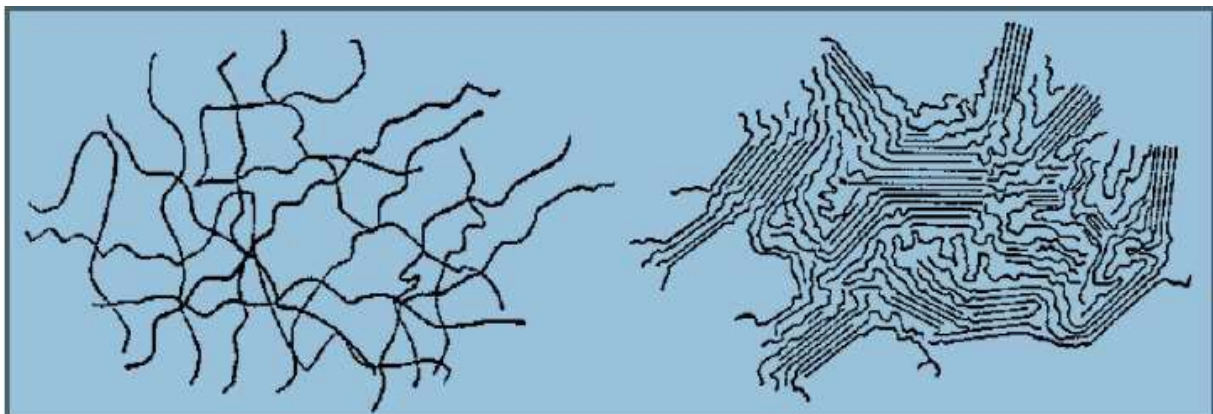
Η λέξη πολυμερές είναι σύνθετη και προέρχεται από το πολύς + μέρος, ενώ μονομερές είναι απλή χημική ένωση από την οποία μπορεί να ληφθεί ένα πολυμερές μέσω μιας επαναλαμβανόμενης αντίδρασης.

Τα πολυμερή είναι φυσικά ή τεχνητά παρασκευασμένα υλικά που αποτελούνται από μόρια μεγάλων διαστάσεων, τα μακρομόρια. Δομικά συστατικά των μακρομορίων είναι τα μονομερή, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν τη μακρομοριακή αλυσίδα των πολυμερών.

Το επαναλαμβανόμενο μονομερές (A) είναι η δομική μονάδα που επαναλαμβάνεται σε όλη τη δομή του πολυμερούς. Το πολυμερές τότε έχει τη μορφή:



Ο αριθμός των επαναλήψεων του μονομερούς (n) ονομάζεται βαθμός πολυμερισμού (degree of polymerization ή β.π.). Ο β.π. έχει σχέση και με το μοριακό βάρος του πολυμερούς. Αν τα μονομερή που αποτελούν το πολυμερές είναι ενός τύπου, το μακρομόριο ονομάζεται ομοιοπολυμερές ενώ αν το αποτελούν διάφοροι τύποι μονομερών ονομάζεται συμπολυμερές. Ο βαθμός πολυμερισμού επηρεάζει τόσο τις φυσικές όσο και τις μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών. Στα πολυμερή συναντάμε τρία είδη χημικών δεσμών: ομοιοπολικούς δεσμούς κατά μήκος της αλυσίδας του μακρομορίου, που είναι και οι πιο ισχυροί, δεσμούς Van der Waals και δεσμούς υδρογόνου μεταξύ απομακρυσμένων τμημάτων της ίδιας αλυσίδας ή μεταξύ διαφορετικών μακρομορίων, οι οποίοι είναι πιο ασθενείς δεσμοί. Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού δεσμών άνθρακα στο μόριο του πολυμερούς, η αλυσίδα του πολυμερούς είναι αδύνατο να ευθυγραμμιστεί, ενώ το μόριο 31 περιστρέφεται και αλλάζει συνεχώς κατευθύνσεις. Τα μόρια των πολυμερών με την ίδια σύσταση μπορούν να έχουν διαφορετική διεύθυνση των ατόμων τους, ένα φαινόμενο που ονομάζεται ισομέρεια.



Εικόνα 1

Άμορφο πολυμερές

Ημικρυσταλλικό

Ως κρυσταλλικό θεωρείται το πολυμερές του οποίου οι μακρομοριακές αλυσίδες βρίσκονται σε διάταξη περιοδικά επαναλαμβανόμενη, ενώ άμορφο θεωρείται το πολυμερές του οποίου η δομή μοιάζει με αυτή της υγρής φάσης και δεν παρουσιάζει κανονικότητα (Εικ.1). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κρυσταλλικότητα των πολυμερών είναι αρχιτεκτονική των αλυσίδων, δηλαδή αν υπάρχει συμμετρία των αλυσίδων ή αν υπάρχουν πλευρικές ομάδες. Επίσης, το βαθμό κρυσταλλικότητας επηρεάζει ο βαθμός πολυμερισμού. Με την αύξηση του βαθμού πολυμερισμού μειώνεται η κρυσταλλικότητα του πολυμερούς. Η αύξηση της θερμοκρασίας μετά τη μορφοποίηση του πολυμερούς ευνοεί την κρυστάλλωση ενώ η άσκηση μηχανικής καταπόνησης, εφελκυσμού για παράδειγμα, προκαλεί την παράλληλη διευθέτηση των αλυσίδων και επομένως διευκολύνει την κρυστάλλωση.

Τα κρυσταλλικά πολυμερή είναι γενικά πιο άκαμπτα από τα άμορφα ημικρυσταλλικά πολυμερή. Η αντοχή των ημικρυσταλλικών πολυμερών αυξάνεται όσο αυξάνεται ο βαθμός κρυσταλλικότητας.

Η διαφάνεια στα πολυμερή έχει άμεση σχέση με την κρυσταλλικότητα. Όσο πιο μεγάλος είναι ο βαθμός κρυστάλλωσης, τόσο πιο λίγο φως περνάει από το πολυμερές και επομένως τόσο πιο αδιαφανές είναι το υλικό. Τα άμορφα πολυμερή γενικά παρουσιάζουν διαφάνεια, ιδιότητα σημαντική για πολλές εφαρμογές, όπως σε συσκευασίες τροφίμων και φακούς επαφής. Τα πολυμερή με μικρά μοριακά βάρη είναι σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Τα πολυμερή με μοριακό βάρος περίπου 1000 gr/mol είναι κηρώδη στερεά ενώ τα στερεά πολυμερή έχουν συνήθως μοριακά βάρη μεταξύ 1000 και μερικών εκατομμυρίων gr/mol. Τα φυσικά χαρακτηριστικά των πολυμερών δεν εξαρτώνται μόνο από το μοριακό τους βάρος αλλά και από τις δομές των μοριακών αλυσίδων. Οι μοριακές δομές είναι γραμμικές, διακλαδιζόμενες, διασταυρωμένες και δικτυωμένες.

1.3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

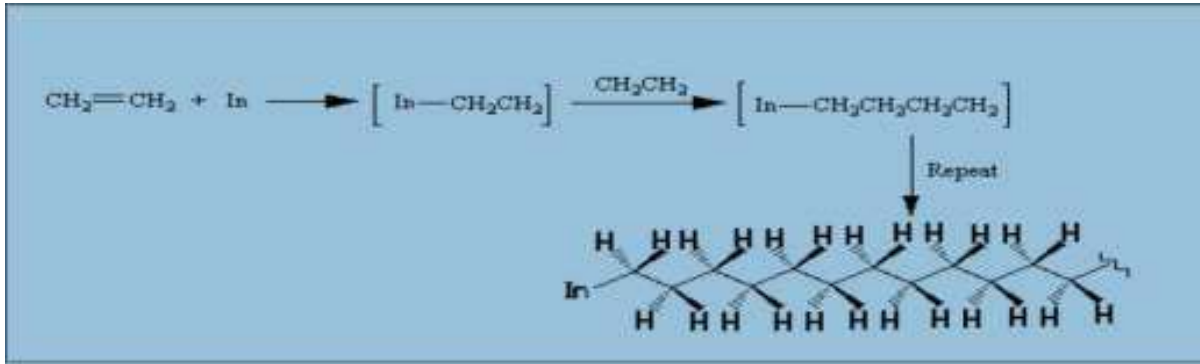
Κάποια από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των πολυμερών είναι τα παρακάτω:

- Αποτελούνται κυρίως από C και H.
- Έχουν χαμηλά σημεία τήξης
- Τα πιο πολλά δεν είναι αγωγοί θερμότητας και ηλεκτρισμού.

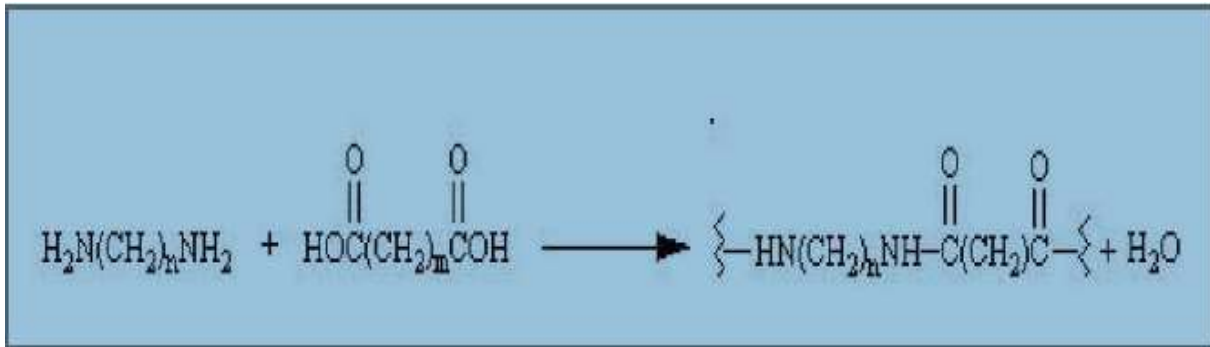
Τα πολυμερή έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα και γι' αυτό βρίσκουν εφαρμογή ως θερμομονωτικά. Επίσης χρησιμοποιούνται και ως μονωτές ηλεκτρισμού. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι ομοιοπολικοί δεσμοί των πολυμερών δεν επιτρέπουν ελεύθερο ηλεκτρικό φορτίο, οπότε και εμφανίζουν μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Επίσης γενικά παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε χημική προσβολή. Τα πολυμερή υλικά είναι ελαφριά, δηλαδή έχουν χαμηλή πυκνότητα και αυτό γιατί τα στοιχεία H, C έχουν μικρά ατομικά βάρη ενώ η δομή των πολυμερών είναι ανοιχτή. Τα κρυσταλλικά πολυμερή παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τα άμορφα εξαιτίας της πυκνής κανονικής διάταξης. Τα πιο ελαφριά πολυμερή είναι τα θερμοπλαστικά. Τα συνθετικά πολυμερή χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

στα πολυμερή προσθήκης και στα πολυμερή συμπύκνωσης (Εικ.2,3).



Εικόνα 2. Πολυμερή προσθήκης



Εικόνα 3. Πολυμερή συμπύκνωσης

Τα πολυμερή προσθήκης προκύπτουν με διαδοχικές αντιδράσεις προσθήκης μονομερών μέχρι να προκύψει το τελικό πολυμερές. Τα πολυμερή προσθήκης στην κύρια αλυσίδα έχουν μόνο άτομα άνθρακα.

Τα πολυμερή συμπύκνωσης προκύπτουν με την αντίδραση δύο μορίων πολυμερών διαφορετικών ομάδων. Το πολυμερές που προκύπτει συνήθως περιλαμβάνει στην κύρια αλυσίδα και άλλα άτομα εκτός από άνθρακα.

1.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

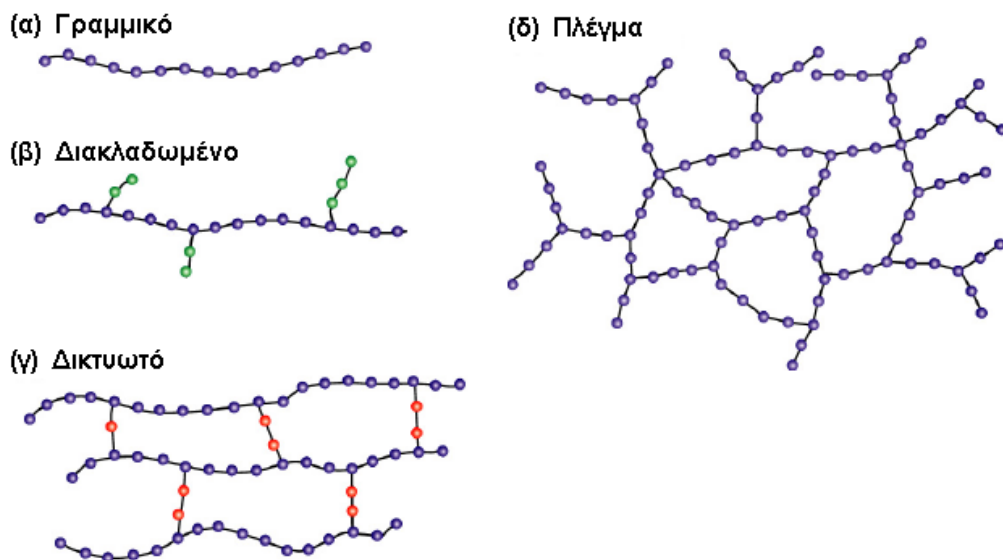
Τα πολυμερή ταξινομούνται ανάλογα:

- Με την αρχιτεκτονική της πολυμερούς αλυσίδας.
- Με το είδος των ατόμων που συμμετέχουν στη δομή της κύριας αλυσίδας.
- Με την οργάνωση της κύριας αλυσίδας.
- Ανάλογα με τις θερμομηχανικές ιδιότητές τους.

1.4.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ¹

Οι όροι «πολυμερή» και «πλαστικά» συνήθως θεωρούνται συνώνυμοι. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχει διαφορά μεταξύ τους. Το πολυμερές είναι ένα καθαρό υλικό που προκύπτει από τη διαδικασία του πολυμερισμού και συνήθως εκπροσωπεί την οικογένεια των υλικών που χαρακτηρίζονται από μακρομοριακή δομή (συμπεριλαμβανομένων και των ελαστομερών). Καθαρά πολυμερή σπανίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές. Συνήθως τα πολυμερή εμπεριέχουν και διάφορες πρόσθετες ουσίες και τότε ονομάζονται πλαστικά. Η ταξινόμηση των πολυμερών πραγματοποιείται με διάφορα κριτήρια. Με κριτήριο την αρχιτεκτονική της αλυσίδας τους, τα πολυμερή διακρίνονται σε:

- α) Γραμμικά
- β) Διακλαδωμένα
- γ) Δικτυωμένα
- δ) Διασταυρωμένα



Εικόνα 4. Αρχιτεκτονική αλυσίδων

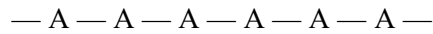
Γραμμικά είναι τα πολυμερή στα οποία οι ομάδες μονομερών συνδέονται μεταξύ τους από τα άκρα σε απλές αλυσίδες. Μεταξύ των αλυσίδων αναπτύσσονται δυνάμεις Van der Waals. Παραδείγματα πολυμερών με γραμμικές δομές είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο, το πολυστυρένιο, το νάιλον και άλλα. Διακλαδωμένα είναι τα πολυμερή των οποίων οι κύριες αλυσίδες συνδέονται με πλευρικές αλυσίδες. Η παρουσία πλευρικών αλυσίδων μειώνει την πυκνότητα του πολυμερούς. τα διασταυρωμένα πολυμερή οι γειτονικές πλευρικές αλυσίδες ενώνονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς (Εικ.1.6). Πολλά από τα ελαστικά υλικά είναι διασταυρωμένα. Τέλος, τα δικτυωμένα πολυμερή ονομάζονται έτσι εξαιτίας των τρισδιάστατων

¹ courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/A1_Polimeri_Genika.pdf

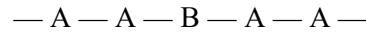
δικτύων που σχηματίζουν τα άτομα άνθρακα των ομάδων των μονομερών με τους τρεις ενεργούς ομοιοπολικούς δεσμούς που διαθέτουν.

1.4.2 ΕΙΔΟΣ ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

Ομοαλυσωτά: Η αλυσίδα τους αποτελείται από ένα είδος ατόμων, π.χ.



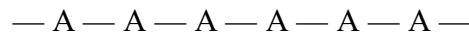
Ετεροαλυσωτά: Η αλυσίδα τους αποτελείται από περισσότερα είδη ατόμων, π.χ.



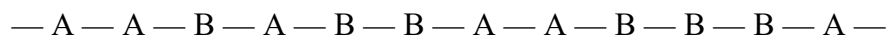
Τα συνηθέστερα ετεροάτομα που λαμβάνουν μέρος στο σχηματισμό της κύριας αλυσίδας είναι O, S, N.

1.4.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΥΡΙΑΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

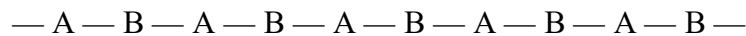
- Ομοιοπολυμερή (homopolymers): Τα μόρια τους αποτελούνται από ένα είδος δομικών μονάδων, π.χ.



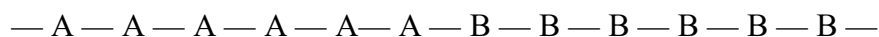
- Συμπολυμερή (copolymers): Τα μόρια τους αποτελούνται από δύο (συνήθως) ή περισσότερα είδη δομικών μονάδων. Αν δύο μονομερή A και B πολυμεριστούν μαζί, τότε είναι δυνατές οι ακόλουθες τέσσερις διευθετήσεις στη δομή του προκύπτοντος συμπολυμερούς:
- Τυπικό ή τυχαίο συμπολυμερές (random copolymer): Η διάταξη των δομικών μονάδων του είναι τυχαία και τα Ομοιοπολυμερή τμήματα του μικρά, π.χ.



- Εναλλασσόμενο συμπολυμερές (alternating copolymer): Οι δύο δομικές μονάδες ακολουθούν κανονικά εναλλασσόμενη διάταξη, π.χ.



- Αδρομερές συμπολυμερές (block copolymer): Η διάταξη των δομικών μονάδων αποδίδει μόριο που αποτελείται από “αδρά” Ομοιοπολυμερή τμήματα, π.χ.



1.4.4 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ - ΓΕΝΙΚΑ

Με κριτήριο τη μηχανική συμπεριφορά τους κατά τη θέρμανση, τα πολυμερή κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Θερμοπλαστικά
- Θερμοσκληραινόμενα
- Ελαστομερή

Τα θερμοπλαστικά πολυμερή μαλακώνουν όταν θερμαίνονται και σκληραίνουν όταν ψύχονται. Οι διαδικασίες αυτές είναι αντιστρεπτές. Τα υλικά αυτά μορφοποιούνται με εφαρμογή θερμότητας και πίεσης. Τα θερμοπλαστικά είναι μαλακά και όλκιμα υλικά. Τα περισσότερα γραμμικά πολυμερή είναι θερμοπλαστικά.

Τα θερμοσκληραινόμενα πολυμερή σκληραίνουν μόνιμα όταν ψύχονται, εφαρμόζεται σε αυτά τάση και δεν μαλακώνουν με θέρμανση. Είναι σκληρότερα, ισχυρότερα και πιο ψαθυρά από τα θερμοπλαστικά και διαθέτουν σταθερότητα διαστάσεων. Τα περισσότερα διασταυρωμένα και δικτυωμένα πολυμερή είναι θερμοσκληραινόμενα, όπως για παράδειγμα το καουτσούκ, οι εποξειδικές και οι πολυεστερικές ρητίνες.

Τα ελαστομερή κατά τη φόρτισή τους μπορούν να υποστούν μεγάλες παραμορφώσεις και να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα όταν το φορτίο σταματήσει να υφίσταται. Έχουν μικρά μέτρα ελαστικότητας ενώ η ελαστική περιοχή στην καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης δεν είναι γραμμική.

Με κριτήριο την προέλευση τα πολυμερή διακρίνονται σε:

- Φυσικά πολυμερή
- Ημισυνθετικά πολυμερή
- Συνθετικά πολυμερή

Τα φυσικά πολυμερή βρίσκονται στη φύση. Ημισυνθετικά ονομάζονται τα πολυμερή που προκύπτουν από χημική επεξεργασία φυσικών πρώτων υλών. Τα συνθετικά πολυμερή έχουν μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες και συντίθενται χημικά.

1.5 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ - ΓΕΝΙΚΑ

Η μηχανική συμπεριφορά των πολυμερών στηρίζεται κυρίως σε δύο χαρακτηριστικά: στην ακαμψία τους, δηλαδή την αντίστασή τους στην ελαστική παραμόρφωση και στην αντοχή τους, δηλαδή την αντίστασή τους στη θραύση. Κάποιες από τις πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες που απαιτούνται για τη μελέτη των πολυμερών είναι:

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

- το μέτρο ελαστικότητας E
- το όριο διαρροής
- η αντοχή στον εφελκυσμό
- η επιμήκυνση κατά τη θραύση

Το μέτρο ελαστικότητας εκφράζει την ακαμψία του πολυμερούς, το όριο διαρροής εκφράζει την αντοχή του πολυμερούς μέχρι τη στιγμή που τελειώνει η ελαστική και ξεκινάει η πλαστική παραμόρφωση και η αντοχή στον εφελκυσμό εκφράζει την αντοχή του πολυμερούς μέχρι τη θραύση. Η επιμήκυνση κατά τη θραύση εκφράζει το ποσοστό επιμήκυνσης του πολυμερούς μέχρι τη στιγμή της θραύσης .

Η δοκιμή του εφελκυσμού χρησιμοποιείται για την εύρεση μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών όπως είναι η σχέση τάσης - παραμόρφωσης (σ - ϵ) που θεωρούνται χρήσιμες κατά το σχεδιασμό.

Το μέτρο ελαστικότητας στα πολυμερή είναι αρκετά μικρότερο από αυτό των μετάλλων και αυτό οφείλεται στους δευτερεύοντες ασθενείς δεσμούς μεταξύ των αλυσίδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΑ ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ-

Στις σύγχρονες εφαρμογές της μηχανικής και την κατασκευή στοιχείων μηχανών χρησιμοποιούνται πλέον κατά κόρον τα πολυμερή υλικά. Αυτό συμβαίνει γιατί συνδυάζουν φυσικές και μηχανικές ιδιότητες με δελεαστικά χαμηλό κόστος. Ειδικότερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την εξάπλωση του 3d printing, τα πολυμερή υλικά αποκτούν όλο και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Ακολουθεί μια συνοπτική λίστα με τα πιο διαδεδομένα υλικά:

Κλασσικά υλικά για έτοιμα εξαρτήματα:

ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΟ 6 (PA6, PA6G) STEMYAMID



Εικόνα 5. Μηχανικά μέρη από πολυαμίδιο

Γενικές ιδιότητες

- Σκληρό
- ελαστικό ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες
- εξαιρετική δυσθραυστότητα
- καλή αντοχή σε φθορά
- υψηλή απορρόφηση υγρασίας
- καλή χημική αντίσταση

Παραδείγματα εφαρμογών

Οδοντωτοί τροχοί, έδρανα ολίσθησης, ράουλα, κοχλίες, εξαρτήματα απορρόφησης κραδασμών, διάφορα εξαρτήματα για γενική χρήση

ΠΟΛΥΑΚΕΤΑΛΗ (POM) STEMARIN

Γενικές ιδιότητες

- Πολύ υψηλή διαστατική σταθερότητα
- καλή κατεργαστικότητα
- πολύ χαμηλή απορρόφηση υγρασίας
- μεγάλη σκληρότητα
- καλή χημική αντίσταση
- καλή αντίσταση σε παραμόρφωση



Εικόνα 6. Μηχανικά μέρη από πολυακετάλη

Παραδείγματα εφαρμογών

Πλήμνες εδράνων, έδρανα ολίσθησης, οδοντωτοί τροχοί, ελατήρια, ράουλα, κοχλίες, δακτύλιοι, έμβολα, μήτρες, εξαρτήματα αυτοκινητοβιομηχανίας

ΤΕΦΛΟΝ (P.T.F.E.) STEMFLON

Γενικές ιδιότητες

- Εξαιρετική χημική αντίσταση
- πολύ χαμηλή απορρόφηση υγρασίας
- πολύ υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
- εξαιρετικές ιδιότητες ολίσθησης
- μη τοξικό
- δεν καίγεται
- εξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION



Εικόνα 7. Μηχανικά μέρη από τεφλόν

Παραδείγματα εφαρμογών

Έδρανα ολίσθησης, δακτύλιοι στεγανότητας, γλυσιέρες, εξαρτήματα ηλεκτρονικής, χημικών βιομηχανιών, ιατρικής

ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ (PE) STEMYLEN

Γενικές ιδιότητες

- Πολύ χαμηλή απορρόφηση υγρασίας,
- καλή συγκολλητότητα
- πολύ καλή χημική αντίσταση



Εικόνα 8. Μέρη από πολυαιθυλένιο

Παραδείγματα εφαρμογών

Σωληνώσεις, δεξαμενές, εξαρτήματα χημικών βιομηχανιών

ΠΟΛΥΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ (PVC) STEMIDUR

Γενικές ιδιότητες

- Πολύ χαμηλή απορρόφηση υγρασίας

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

- καλή συγκολλητότητα
- πολύ καλή χημική αντίσταση



Εικόνα 9. Μηχανικά μέρη από πολυβινυλοχλωρίδιο

Παραδείγματα εφαρμογών

Σωληνώσεις, δεξαμενές, εξαρτήματα χημικών βιομηχανιών

ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ (PP) STEMYLEN P

Γενικές ιδιότητες

- Πολύ υψηλή δυσθραυστότητα
- πολύ χαμηλή απορρόφηση υγρασίας
- υψηλή συνεχής θερμοκρασία λειτουργίας
- καλές ηλεκτρικές ιδιότητες
- διαφανές
- μη τοξικό
- καλή διαστατική σταθερότητα



Εικόνα 10. Μηχανικά μέρη από πολυπροπυλένιο

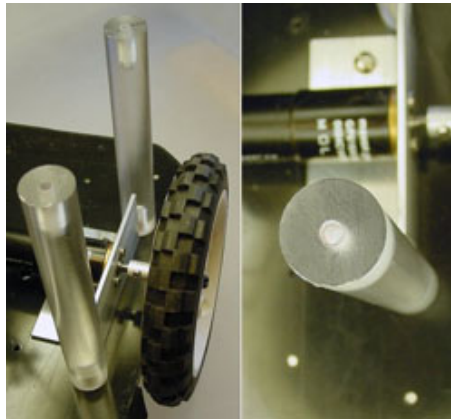
Παραδείγματα εφαρμογών

Εξαρτήματα ακριβείας, προστατευτικά τζάμια, βαλβίδες, πτερωτές, εξαρτήματα αυτοκινητοβιομηχανίας, ηλεκτρονικής, ιατρικής

ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ (PC) STEMANAT

Γενικές ιδιότητες

- Πολύ υψηλή διαστατική σταθερότητα
- πολύ υψηλή θερμική σταθερότητα
- εξαιρετικές ιδιότητες ολίσθησης
- πολύ καλή κατεργαστικότητα
- πολύ χαμηλή απορρόφηση υγρασίας



Εικόνα 11. Πολυκαρβονικά μέρη

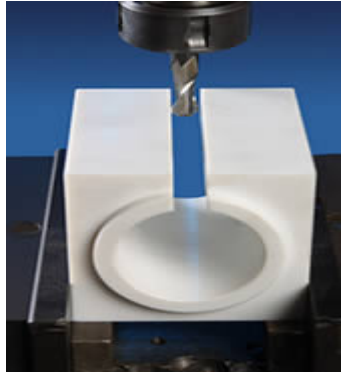
Παραδείγματα εφαρμογών

Πηνία, διανομείς, κελύφη αντλιών, τροχίσκοι, έδρανα ολίσθησης, εξαρτήματα ακριβείας

ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ (PET) STEMAPET

Γενικές ιδιότητες

- Πολύ υψηλή διαστατική σταθερότητα
- πολύ υψηλή θερμική σταθερότητα
- εξαιρετικές ιδιότητες ολίσθησης
- πολύ καλή κατεργαστικότητα
- πολύ χαμηλή απορρόφηση υγρασίας



Εικόνα 12. Πολυεστερικά μέρη

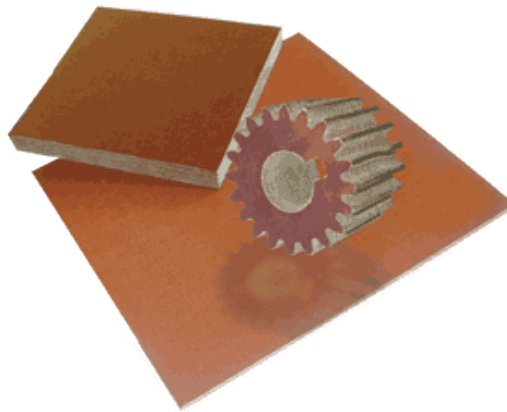
Παραδείγματα εφαρμογών

Πηνία, διανομείς, κελύφη αντλιών, τροχίσκοι, έδρανα ολίσθησης, εξαρτήματα ακριβείας

ΠΑΝΙΤΗΣ (HGW 2082) STEMATEC C

Γενικές ιδιότητες

- Εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες
- πολύ καλές ηλεκτρικές ιδιότητες



Εικόνα 13. Μηχανικά μέρη από πανίτη

Παραδείγματα εφαρμογών

Οδοντωτοί τροχοί, ξύστρες, γλυσιέρες, πίνακες, μονωτικά καλύμματα

ΕΠΟΞΙΚΟ (HGW 2372) STEMATEC G

Γενικές ιδιότητες⁴

- Εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες
- εξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες
- υψηλή δυσθραυστότητα
- χαμηλή απορρόφηση υγρασίας



Εικόνα 14. Εποξικά μέρη

Παραδείγματα εφαρμογών

Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, πηνία, μονωτικά καλύμματα, οδοντωτοί τροχοί, δονητικά συστήματα

ΒΑΚΕΛΙΤΗΣ

Γενικές ιδιότητες

- Καλές μηχανικές ιδιότητες
- ξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες
- χαμηλό κόστος



Εικόνα 15. Μηχανικά μέρη από βακελίτη

Παραδείγματα εφαρμογών

Πίνακες, εξαρτήματα ηλεκτρονικής

ΚΑΡΒΟΥΝΟ ΓΡΑΦΙΤΗΣ

Γενικές ιδιότητες

- Πολύ υψηλό όριο θλίψης
- χαμηλό πορώδες
- υψηλή συνεχής θερμοκρασία λειτουργίας



Εικόνα 16. Μέρη από κάρβουνο γραφίτη

Παραδείγματα εφαρμογών

Έδρανα ολίσθησης, δακτύλιοι στεγανότητας, πτερωτές, σε σκληρές συνθήκες

ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗ (PUR) STEMETHAN

Γενικές ιδιότητες

- Εξαιρετικές ελαστικές ιδιότητες
- εξαιρετική αντίσταση σε παραμόρφωση
- χαμηλή απορρόφηση υγρασίας
- εξαιρετική ελαστική επαναφορά σε συμπίεση



Εικόνα 17. Εξαρτήματα πολυουρεθάνης

Παραδείγματα εφαρμογών

Υδραυλικά συστήματα, δακτύλιοι στεγανότητας, πλήμνες, κόπλερ, ράουλα, τροχοί, ελατήρια

ΣΙΛΙΚΟΝΗ (SI) STEMASIL

Γενικές ιδιότητες

- Εξαιρετική σταθερότητα σε μεγάλες θερμοκρασίες
- δεν καίγεται
- χαμηλή απορρόφηση υγρασίας
- καλή ελαστικότητα



Εικόνα 18. Μηχανικά μέρη από σιλικόνη

Παραδείγματα εφαρμογών

Θερμικά συστήματα

ΕΛΑΣΤΙΚΟ - ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ (NBR, NR, SBR)

Γενικές ιδιότητες

- Εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες
- εξαιρετική αντίσταση σε φθορά (τύπος NR)
- καλές φυσικές ιδιότητες (τύπος SBR, NBR)
- καλή αντίσταση σε φθορά (τύπος SBR)
- εξαιρετική αντίσταση σε πετρελαιοειδή και μη τοξικό (τύπος NBR)



Εικόνα 19. Εξαρτήματα από καοτσούκ

Παραδείγματα εφαρμογών

Δακτύλιοι στεγανότητας, εξαρτήματα βιομηχανιών τροφίμων (τύπος NBR)

Παρακάτω φαίνονται οι ιδιότητες κάποιων βασικών θερμοπλαστικών και θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών υλικών:²

Πίνακας 1. Θεμοπλαστικά

Polymer	Density - ρ - (kg/m^3) (lb/ft^3)	Tensile Strength - σ - (MPa)	Elongation (%)	Young's Modulus - E - (GPa)	Brinell Hardness Number
PVC	1330	48	200	3.4	20
Polystyrene	1050	48	3	3.4	25
PTFE	2100	13	100	0.3	
Polypropylene	900	27	200 - 700	1.3	10
Nylon	1160	60	90	2.4	10
Cellulose Nitrate	1350	48	40	1.4	10
Cellulose Acetate	1300	40	10 - 60	1.4	12
Acrylic (metacrylate)	1190	74	6	3.0	34
Polyethylene	950	20 - 30	20 - 100	0.7	2

Πίνακας 2. Θερμοσκληρυνόμενα

Polymer	Density - ρ - (kg/m^3) (lb/ft^3)	Tensile Strength - σ - (MPa)	Elongation (%)	Young's Modulus - E - (GPa)	Brinell Hardness Number
Epoxy resin, glass filled	1600 - 2000	68 - 200	4	20	38
Melamine formaldehyde, fabric filled	1800 - 2000	60 - 90		7	38
Urea formaldehyde, cellulose filled	1500	38 - 90	1	7 - 10	51
Phenol formaldehyde, mica filled	1600 - 1900	38 - 50	0.5	17 - 35	36
Acetals, glass filled	1600	58 - 75	2 - 7	7	27

Ωστόσο, εκτός από τα τυποποιημένα εξαρτήματα και στοιχεία μηχανών, το μέλλον βρίσκεται στην δημιουργία εξαρτημάτων με **3d printing**.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία αυτή είναι:

PLA

Το PLA (Polylactic Acid) είναι ένα δημοφιλές γενικής χρήσης νήμα 3D εκτόπωσης. Παράγεται από ανανεώσιμες πηγές όπως ζαχαρότευτλα, σόγια κλπ και είναι οικολογικό και

² https://www.engineeringtoolbox.com/polymer-properties-d_1222.html

ασφαλές. Χρησιμοποιείται σε κάθε είδους μοντέλα και λόγω πολύ μικρού συντελεστή συρρίκνωσης εμφανίζει μηδαμινή στρέβλωση ακόμα και σε μεγάλα αντικείμενα. Λόγω χαμηλής θερμοκρασίας εκτύπωσης και εύκολης ψύξης, έχει πλεονέκτημα σε μοντέλα με μικρολεπτομέρειες και αιχμηρές άκρες. Η επιφάνειά του είναι σχετικά γυαλιστερή και μπορεί να δεχτεί κανονικά εξωτερική επεξεργασία. Είναι πιο σκληρό από το ABS αλλά πιο ψαθυρό.

ABS

Το ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή υλικά 3D εκτύπωσης μαζί με το PLA. Το ABS είναι πιο εύκαμπτο και ανθεκτικό σε κρούση, διαθέτει επίσης υψηλότερο σημείο τήξης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Η υφή του είναι πιο ματ από του PLA και μπορεί να υποστεί επεξεργασία, τρίψιμο και βάψιμο. Επίσης είναι διαλυτό σε ακετόνη, κάτι που μας βοηθάει για συγκόλληση εκτυπώσεων μεταξύ τους ή για την εξομάλυνσή τους. Είναι κατάλληλο για κάθε είδους μοντέλα με μόνο περιορισμό τα πολύ μεγάλα αντικείμενα που λόγω συρρίκνωσης ενδέχεται να εμφανίσουν στρέβλωση.

Nylon Powder

Η εκτύπωση με πούδρα Nylon έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης διαστατικής ακρίβειας και της δυνατότητα απόδοσης οποιασδήποτε γεωμετρίας χωρίς περιορισμούς και την ανάγκη υποστηριγμάτων. Δίνει απόλυτη ελευθερία στο σχεδιασμό και χρησιμοποιείται σε κάθε είδους μοντέλα, λειτουργικά, αρχιτεκτονικά κλπ αλλά κυρίως σε πρωτότυπα.

High Resolution SLA

Υπερυψηλής ανάλυσης εκτύπωση σε υγρή φωτοπολυμεριζόμενη ρητίνη. Είναι η ιδανική μέθοδος εκτύπωσης για μινιατούρες και άλλα μικρά αντικείμενα που έχουν λεπτομέρειες. Επίσης είναι κατάλληλη για εκτύπωση πρωτοτύπων κοσμημάτων με ρητίνη που αντέχει βουλκανισμό για πάτημα λάστιχου, είτε με χυτεύσιμη ρητίνη για απευθείας lost wax χύτευση.

Flexible

Ελαστικό και πολύ δυνατό TPE ελαστομερές για μοντέλα που θέλουμε να έχουν ελαστικότητα, αντοχή σε θερμοκρασίες, έκθεση σε UV και χημικά. Πολύ ελαστικό και δυνατό, αντέχει σε χημική έκθεση και θερμοκρασία. Προσφέρει πολύ καλή συναρμογή μεταξύ των layer και η υφή του είναι πραγματικά σα λάστιχο.

Polycarbonate

Ειδικά σχεδιασμένο πολυκαρβονικό αναλώσιμο που προσφέρει ανώτερη ποιότητα εκτύπωσης, εξαιρετικές μηχανικές αντοχές και ανθεκτικότητα σε θερμοκρασία σε σχέση με τα άλλα υλικά 3D εκτύπωσης. Είναι το υλικό επιλογής για μοντέλα που μας ενδιαφέρει η απόλυτη αντοχή, όπως ανταλλακτικά συσκευών, για μοντελισμό, drones κλπ

Z-Ultrat

Ένα σύνθετο θερμοπλαστικό που αποτελεί μια πιο εξελιγμένη έκδοση του ABS με προσμίξεις από άλλα πολυμερή (Polycarbonate κλπ) που του δίνουν σκληρότητα και αντοχή σε παραμορφώσεις. Είναι το πιο κατάλληλο υλικό για εκτυπώσεις λειτουργικών μηχανολογικών πρωτοτύπων, εξαρτημάτων, τελικών χρηστικών αντικειμένων και μοντέλα που επιθυμούμε να έχουν αυξημένες μηχανικές αντοχές.

Polymax

Έχει ως και 9 φορές μεγαλύτερη αντοχή κρούσης από το PLA και 20% μεγαλύτερη από το ABS και χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να παράξουμε μοντέλα με βάση το PLA αλλά να έχουν παράλληλα και εξαιρετικές μηχανικές αντοχές.

Z-GLASS

Είναι ένα ημιδιάφανο θερμοπλαστικό με μεγάλη φωτοδιαπερατότητα και εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, μειωμένο warping, αντοχή στην τριβή, στον εφελκυσμό και τις υψηλές θερμοκρασίες. Έχει επίσης και υψηλή χημική αντίσταση σε οξέα, άλατα και αλκαλικές ενώσεις.

Z-HIPS

Το Z-HIPS (high impact polystyrene) είναι ένα πολύ ανθεκτικό αναλώσιμο με πολύ μικρό συντελεστή συρρίκνωσης και επομένως ελάχιστο warping. Δεν είναι εξαιρετικά σκληρό και σαν αποτέλεσμα δεν είναι εύθραυστο και αντέχει σε άσκηση πιέσεων και σε δυνάμεις εφελκισμού. Εξαιρετικά χρήσιμο για μεγάλα αντικείμενα με δύσκολες επιφάνειες αλλά και για αρχιτεκτονικά μοντέλα.

NYLON

Το υλικό αυτό προσφέρει ευελιξία και μεγάλη αντοχή, ενώ έχει εξαιρετικά μικρό βάρος. Αποτελεί λοιπόν μια εξαιρετική επιλογή για την εκτύπωση αντικειμένων όπως όπως εργαλεία, γρανάζια, προσθετικά μέλη ή πρωτότυπα λειτουργικών μοντέλων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΙΣΤΟΥΝ ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Για πολλές εφαρμογές, η επιλογή του χρησιμοποιούμενου υλικού εξαρτάται από την ισορροπία της ακαμψίας, της σκληρότητας, της δυνατότητας επεξεργασίας και της τιμής. Για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, ένας συμβιβασμός μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών θα είναι συνήθως απαραίτητος. Για παράδειγμα, είναι γενικά αλήθεια ότι, σε μια δεδομένη οικογένεια βαθμών ενός συγκεκριμένου πολυμερούς, η ακαμψία αυξάνεται όσο η αντοχή στην κρούση μειώνεται. Επιπλέον, δεν μπορεί να τοποθετηθεί μία μοναδική τιμή στην ακαμψία ή την ανθεκτικότητα ενός πλαστικού γιατί:

- Η δυσκαμψία ποικίλλει ανάλογα με το χρόνο, την πίεση και τη θερμοκρασία.
- Η ανθεκτικότητα επηρεάζεται από το σχεδιασμό και το μέγεθος του εξαρτήματος, τον σχεδιασμό του καλουπιού, τις συνθήκες επεξεργασίας και τη θερμοκρασία χρήσης.
- Η ακαμψία και η σκληρότητα μπορούν να επηρεαστούν από περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως η θερμική και η οξειδωτική γήρανση, η γήρανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) και η χημική προσβολή

Επιπλέον, μια αλλαγή σε μια ειδική παράμετρο πολυμερούς μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα επεξεργασίας και τις βασικές φυσικές ιδιότητες. Και οι δύο αυτοί παράγοντες μπορούν να αλληλεπιδρούν κατά τη ρύθμιση της συμπεριφοράς ενός κατασκευασμένου αντικειμένου. Συνεπώς, απαιτούνται πλήρη πειραματικά δεδομένα για να κατανοηθούν αποτελεσματικά τη συμπεριφορά των πλαστικών υλικών και να δώσουν ένα ρεαλιστικό και αξιόπιστο οδηγό για την επιλογή του υλικού και της ποιότητας

Τα πολυμερή με εξαιρετική αντοχή σε εφελκυσμό (δηλ., > 100 MPa) περιλαμβάνουν: εποξικά, ελασματοποιημένα, πολυεστέρα, πολυαμίδιο (PA) 4/6, πολυαιθεριμίδιο, φθοριούχο πολυβινυλιδένιο.

Πολυμερή με πολύ καλή αντοχή σε κρούση (δηλ., 60-100 MPa) περιλαμβάνουν: ακετάλες, τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο, τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), πολυαλλυλοφθαλικό εστέρα, πολυαιθερκετόνη, πολυανθρακικό (PC), πολυφαινυλένιο, στυρόλιο-μηλεϊνικό οξύ, συμπολυμερές, PA 6/9, PA 12, πολυϊμίδιο 6/6 PA 6/12, πολυϊμίδιο: ουρία-φορμαλδεΐδη, συμπολυμερές στυρενίου-ακρυλονιτριλίου, χλωριωμένο

πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πολυφαινυλενοσουλφίδιο, πολυσουλφόνη, σιλικόνες και αλκυδικές ρητίνες.

Στον Πίνακα του παραρτήματος παρατίθενται εκείνα τα πολυμερή υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό και επίσης εκείνα τα οποία έχουν υψηλό συντελεστή κάμψης. Αυτό δείχνει ότι η υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό δεν αποτελεί εγγύηση για υψηλό συντελεστή κάμψης.

Κατά την επιλογή ενός πολυμερούς για μια συγκεκριμένη εφαρμογή τελικής χρήσης, είναι συχνά απαραίτητο να υπάρξει συμβιβασμός στις ιδιότητές του. Έτσι, ενώ οι εποξικές ρητίνες έχουν εξαιρετική αντοχή εφελκυσμού και μέτρο ελαστικότητας, έχουν χαμηλή αντίσταση στη ακτινοβολία γάμμα, κακή απόδοση θερμικής παραμόρφωσης και κακές ιδιότητες φθοράς. Είναι επίσης ακριβές και έχουν χαμηλή ευαισθησία όγκου και φινίρισμα επιφάνειας.

Οι Tasdemir και Yildirim (2003) έδειξαν ότι σκληρά πλαστικά όπως πολυστερίνη (PS), PVC, πολυπροπυλένιο (PP), νάυλον και PC, εποξικά, ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες και PA μπορούν να σκληρυνθούν και οι ιδιότητες πρόσκρουσής τους να βελτιωθούν με ενσωμάτωση το σκεύασμα 5-20% ενός ελαστομερούς όπως το τριπολυμερές ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρολίου (ABS).

3.1 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (Modulus of elasticity)

Αυτό είναι το μέτρο ελαστικότητας των υλικών σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Οι αξιολογήσεις για το συντελεστή κάμψης έχουν καθοριστεί στους 20 °C και συνήθως καθορίζονται σε στέλεχος ~ 1%

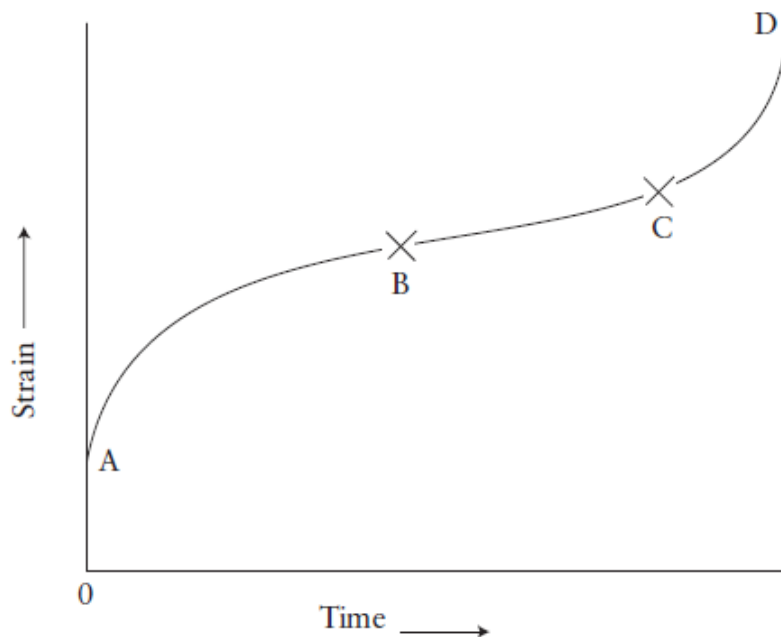
Ο Janick και ο Krolkowski (2002) διερεύνησαν την επίδραση της αντοχής κρούσης στο μέτρο κάμψης των PE και PET. Πολυμερή με καλό μέτρο ελαστικότητας (μεταξύ 6 GPa και 80 GPa) είναι : πολυδιαιθυλοφθαλικό (11.3 GPa), φαινόλη φορμαλδεΰδη (6.5 GPa), αλκυδικές ρητίνες (8.6 GPa) και πολυφαινυλενο σουλφίδιο (13.8 GPa) καθώς και εποξειδικές ρητίνες πολυεστερικές πολυαμιδικές (16 GPa), γεμισμένα με σίλικα εποξικά (15 GPa) και ακετάλες που περιέχουν 30% ίνες άνθρακα (17.2 GPa).

Η επιμήκυνση στη θραύση είναι το στέλεχος στο οποίο ένα πολυμερές θραύεται όταν δοκιμάζεται σε τάση σε ελεγχόμενη θερμοκρασία (δηλ., Η επιμήκυνση εφελκυσμού κατά το σπάσιμο του δείγματος).

Ένας αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών αναπτύσσονται για θερμοπλαστικά μέσα στα οποία ένα κατασκευασμένο είδος υποβάλλεται σε παρατεταμένη συνεχή τάση. Τυπικά παραδείγματα είναι οι σωλήνες, τα κιβώτια, οι δεξαμενές κρύου νερού και οι ανεμιστήρες ψύξης του κινητήρα. Κάτω από τέτοιες συνθήκες σταθερής καταπόνησης, τα υλικά παρουσιάζουν (σε διαφορετική έκταση) συνεχή παραμόρφωση σε αυξανόμενο χρόνο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «ερπυσμός».

3.2 ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Μια ευρεία ποικιλία υλικών, υπό κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, θα παρουσιάσει έναν χαρακτηριστικό τύπο συμπεριφοράς ερπυσμού.



Εικόνα 20. Γενική μορφή καμπύλης ερπυσμού

Η γενική μορφή αυτής της καμπύλης ερπυσμού μπορεί να περιγραφεί ως εξής. Με την εφαρμογή του φορτίου, λαμβάνει χώρα στιγμιαία ελαστική παραμόρφωση (O-A). Αυτό ακολουθείται από μια αύξηση της παραμόρφωσης με το χρόνο όπως αναπαρίσταται από το τμήμα της καμπύλης A-D. Αυτή είναι η γενικά αποδεκτή κλασική καμπύλη ερπυσμού και συνήθως θεωρείται ότι χωρίζεται σε τρία μέρη:

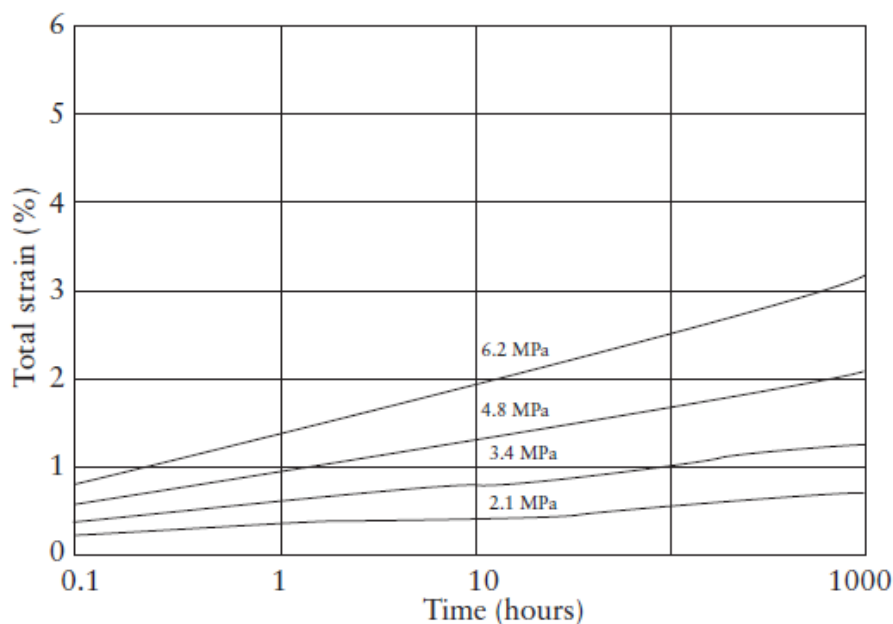
- A-B: Το πρωτεύον στάδιο στο οποίο η ταχύτητα ερπυσμού μειώνεται γραμμικά με το χρόνο.
- B-C: Το δευτερεύον στάδιο όπου η μεταβολή των διαστάσεων με το χρόνο είναι σταθερή (δηλ. Μια σταθερή ταχύτητα ερπυσμού).

- C-D: Το τριτοβάθμιο στάδιο όπου ο ρυθμός ερπυσμού αυξάνεται και πάλι μέχρι να συμβεί ρήξη.

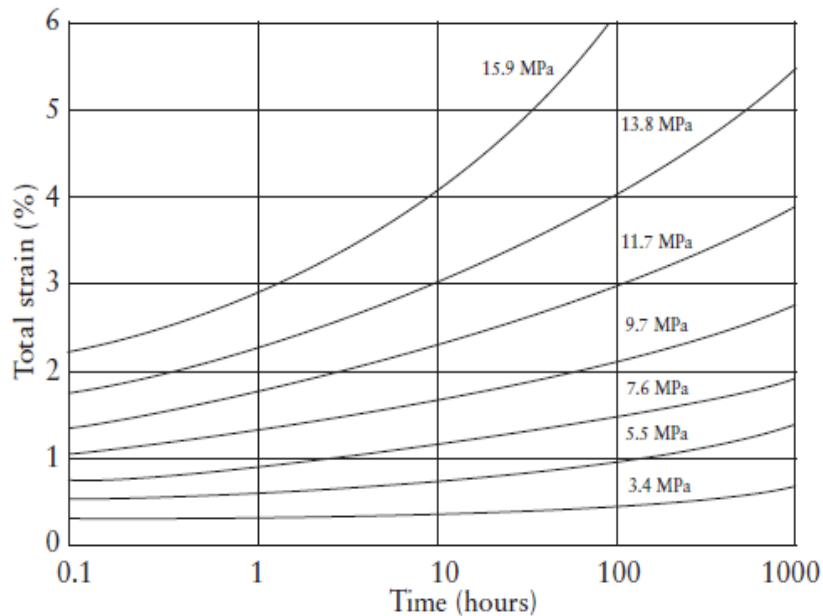
Με τα θερμοπλαστικά, η δεύτερη βαθμίδα είναι συχνά μόνο ένα σημείο καμπής και το τελικό τριτοβάθμιο στάδιο συνήθως συνοδεύεται από ρωγή του δείγματος ή, σε υψηλότερες καταπονήσεις, από την εμφάνιση του λαιμού (δηλ., Σημειωμένη τοπική μείωση της εγκάρσιας τομής περιοχή). Κατά την αξιολόγηση της πρακτικής καταλληλότητας των πλαστικών, μας ενδιαφέρει τα προηγούμενα τμήματα της καμπύλης, πριν από την έναρξη του τριτοβάθμιου σταδίου, καθώς και στη συμπεριφορά ρήξης.

Καθώς οι τιμές της τάσης, της θερμοκρασίας και του χρόνου φόρτισης ποικίλλουν ανάλογα με τις διαφορετικές εφαρμογές, ο τύπος των πληροφοριών που εξάγονται από αυτά τα βασικά δεδομένα ερπυσμού θα ποικίλει επίσης ανάλογα με την εφαρμογή. Επομένως, θεωρείται ότι έχει την μεγαλύτερη αξία για να δώσει τις πραγματικές καμπύλες ερπυσμού και για να συζητήσει με παραδείγματα τις μεθόδους με τις οποίες μπορούν να εξαχθούν συγκεκριμένα δεδομένα από αυτές τις βασικές καμπύλες ερπυσμού.

Οι τυπικές καμπύλες ερπυσμού για PE και PP στους 23 ° C φαίνονται στα σχήματα παρακάτω. Ο Lin και οι συνεργάτες του (1995) συζήτησαν την ακρίβεια των φαινομένων ερπυσμού σε ενισχυμένα σύνθετα PA και PC. Το φαινόμενο της αυξανόμενης δυναμικής ερπυσμού και της θερμοκρασίας υπό φορτίο έντασης εφελκυσμού συγκρίνεται μεταξύ ημικρυσταλλικών και άμορφων σύνθετων υλικών



Εικόνα 21. Ερπυσμός πολυαιθυλενίου μεγάλης πυκνότητας στους 23°C



Εικόνα 22. Ερπυσμός PP στους 23°C

Για να ελαχιστοποιηθεί όσο είναι δυνατόν η επίδραση των μεταβλητών επεξεργασίας, πραγματοποιήθηκαν μελέτες με τη χρήση δοκιμών ερπυσμού-εφελκυσμού σε προσεκτικά προετοιμασμένα δείγματα με χύτευση με συμπίεση. Με τα προϊόντα με χύτευση με έγχυση, οι ιδιότητες ερπυσμού θα υπόκεινται επίσης σε μεταβολή με την ποσότητα και την κατεύθυνση του υπολειπόμενου προσανατολισμού ροής.

Εν τούτοις, με κρυσταλλικά πολυμερή όπως οι πολυολεφίνες, τα αποτελέσματα ερπυσμού θα επηρεάζονται επίσης από μεταβολές της πυκνότητας που προκαλούνται από έναν συνδυασμό προσανατολισμού ροής, συμπιεστικής συσκευασίας και αποτελεσμάτων ψύξης. Οι πιέσεις θα είναι γενικά περίπλοκες και συχνά περιλαμβάνουν συμπιεστικές και εύκαμπτες συνιστώσες. Ωστόσο, τα αντικείμενα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να περιορίζονται τα στελέχη που εμφανίζονται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, όπου μπορεί να αναμένεται εύλογη συσχέτιση μεταξύ δεδομένων εφελκυσμού, συμπίεσης και ερπυσμού.

Γενικά, το πρώτο βήμα για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εικόνας της συμπεριφοράς ερπυσμού είναι η λήψη καμπυλών ερπυσμού (επιμήκυνση έναντι χρόνου) σε μια σειρά επιπέδων τάσης, κάθε μια σε μια σειρά θερμοκρασιών δοκιμής. Είναι συνηθισμένη η πρακτική να σχεδιαστεί η καταπόνηση σε γραμμική κλίμακα έναντι του χρόνου σε λογαριθμική κλίμακα. Κάθε καμπύλη θα πρέπει κατά προτίμηση να καλύπτει αρκετές δεκαετίες στη λογαριθμική χρονική κλίμακα, έτσι ώστε οι επόμενες παρεκτάσεις να έχουν σταθερή βάση.

Οι Wong et al. (2001) συνένωσαν έναν εμπορικά διαθέσιμο δυναμικό μηχανικό αναλυτή βαθμού έρευνας με ένα φασματομέτρο υπέρυθρης μετασχηματισμού Fourier (FTIR) για την ταυτόχρονη μηχανική ανάλυση και τη δυναμική IR φασματική μέτρηση ταινιών ελαστομερούς πολυεστέρα ουρεθάνης υπό παραμόρφωση μεγάλου εύρους πλάτους. Διαφορικός προσανατολισμός διαφόρων τμημάτων του μορίου παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ερπυσμού και ανάκτησης. Η μόνιμη βλάβη του ελαστομερούς που παρατηρήθηκε μετά από μια μεγάλη μετατόπιση αποδόθηκε στην μη αναστρέψιμη καταστροφή της δομής του μικροσκοπικού δικτύου.

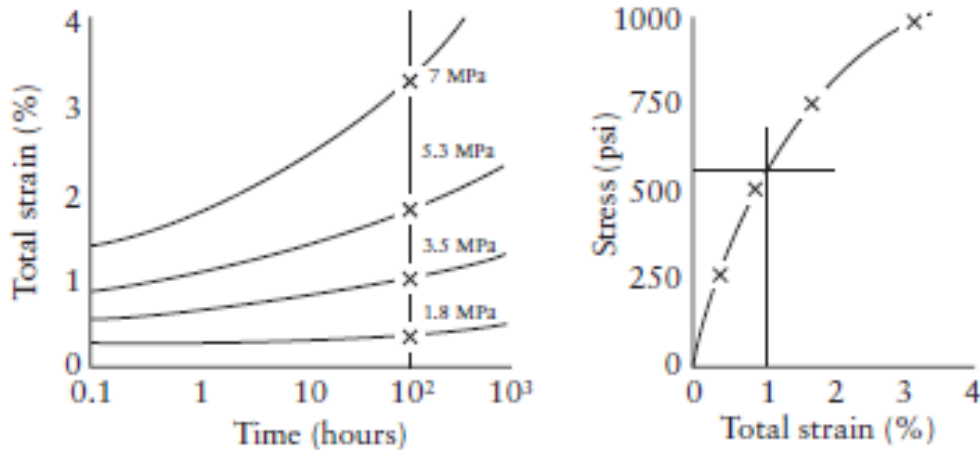
Ο πίνακας του παραρτήματος απαριθμεί πολυμερή με εξαιρετική ποσοστιαία επιμήκυνση. Η υψηλή επιμήκυνση δεν συνοδεύεται απαραίτητως από υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό. Επίσης αναφέρονται τα ιδιαίτερα καλά και ιδιαίτερα κακά χαρακτηριστικά απόδοσης τα οποία συνοδεύουν υψηλή επιμήκυνση κατά το σπάσιμο.

Ο Janick και ο Krolkowski (2002) μελετούσαν την επίδραση ιδιοτήτων όπως η επιμήκυνση σε θραύση, αντοχή σε εφελκυσμό, αντοχή σε κάμψη, μέτρο ελαστικότητας και ελαφρύ μέτρο στην επιμήκυνση σε επιδόσεις θραύσης μείγματα πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (PET) και PET-PP.

3.3 ΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ³

Τα υλικά που χαρακτηρίζονται «πολύ καλά» ως «πολύ φτωχά» περιλαμβάνουν όλα εκείνα που παρουσιάζουν απόδοση, ταξινομημένα σύμφωνα με την τάση τους σε απόδοση, καθώς και όλκιμα υλικά με χαμηλότερη επιμήκυνση από εκείνα που χαρακτηρίζονται ως «εξαιρετικά» και εύθραυστα υλικά με υψηλότερη επιμήκυνση διάλειμμα από εκείνους που έχουν χαρακτηριστεί ως «μη εφαρμόσιμοι». Γενικά, τα όλκιμα υλικά κυμαίνονται από «άριστα» έως «πολύ φτωχά» με φθίνουσα επιμήκυνση έως θραύση και εύθραυστα υλικά από «φτωχά» έως «μη εφαρμόσιμα» με φθίνουσα επιμήκυνση σε θραύση.

³ Οι τιμές που δίνονται είναι τυπικές τιμές θερμοκρασίας δωματίου.



Εικόνα 23. Ισοχρονική καμπύλη stress-strain για το PE

Οι Hay et al. (1999) ανέπτυξαν μια προσέγγιση κατά προσέγγιση για τη θεωρητική αντιμετώπιση της πίεσης και των αποτελεσμάτων της ιξώδους θέρμανσης στη ροή ενός ρευστού νόμου ισχύος μέσω μιας μήτρας σχισμών. Η ροή υποτίθεται ότι παραμένει μονοδιάστατη και η ακρίβεια αυτής της προσέγγισης ελέγχεται μέσω προσομοιώσεων πεπερασμένων στοιχείων από τις πλήρεις εξισώσεις ορμής και ενέργειας. Για πιέσεις που τυπικά επιτεύχθηκαν στο εργαστήριο, παρατηρήθηκε ότι η μονοδιάστατη προσέγγιση συγκρίθηκε καλά με τις προσομοιώσεις. Το μοντέλο προσέφερε ως εκ τούτου μια μέθοδο συμπερίληψης της πίεσης και της επίδρασης της ιξώδους θέρμανσης στην ανάλυση των πειραμάτων και χρησιμοποιήθηκε για τον εξορθολογισμό πειραματικά προφίλ πίεσης που λαμβάνονται για τη ροή πολυμερών τήγματος διαμέσου μιας μήτρας σχισμής.

Τα δεδομένα για τη διαρροή ενός LDPE και μιας μήτρας σχισμής τήγματος PS έδειξαν ότι αυτά τα δύο αποτελέσματα ήταν σημαντικά κάτω από κανονικές εργαστηριακές συνθήκες. Οι καμπύλες διατμητικής τάσης-καταπόνησης θα επηρέαζαν έτσι στο σημείο να είναι ανακριβείς σε υψηλές ταχύτητες διάτμησης. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η τυπική τεχνική για τη διόρθωση για ένα εξαρτώμενο από την πίεση ιξώδες ήταν επίσης ανακριβής, επηρεάζοντάς την από την ιξώδη θέρμανση και μεταφορά θερμότητας από το τήγμα στην μήτρα.

Η θερμομηχανική ανάλυση είναι μια ιδανική τεχνική για την ανάλυση των ινών, επειδή οι μετρούμενες παράμετροι - αλλαγή διαστάσεων, θερμοκρασία και τάση - αποτελούν μείζονες μεταβλητές που επηρεάζουν την επεξεργασία των ινών. Το σχήμα δείχνει τις καμπύλες ανάλυσης θερμικής καταπόνησης για μια ίνα πολυολεφίνης όπως ελήφθη και μετά από ψυχρή έλξη. Σε αυτό το πείραμα, οι ίνες υποβάλλονται σε αρχική καταπόνηση (1% αρχικού μήκους) και παρακολουθείται η δύναμη που απαιτείται για να διατηρηθεί αυτό το μήκος ινών. Καθώς η ίνα

προσπαθεί να συρρικνωθεί, πρέπει να ασκηθεί περισσότερη δύναμη για να διατηρηθεί σταθερό μήκος. Το αποτέλεσμα είναι η άμεση μέτρηση της δύναμης συρρίκνωσης της ίνας. Η δύναμη συρρίκνωσης αντανακλά τον προσανατολισμό που καταψύχεται στην ίνα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, η οποία σχετίζεται κυρίως με τα άμορφα τμήματα της ίνας.

Επομένως, οι τεχνικές που παρακολουθούν την κρυσταλλικότητα των ινών δεν είναι τόσο ευαίσθητες ως ένα μέτρο των συνθηκών επεξεργασίας όπως η θερμομηχανική ανάλυση. Σε αυτή την περίπτωση, η έναρξη της κορυφής της δύναμης συρρίκνωσης δείχνει τη θερμοκρασία έλξης, ενώ το μέγεθος της κορυφής σχετίζεται με την αναλογία έλξης της ίνας. Έχει αποδειχθεί ότι η περιοχή κάτω από την καμπύλη δύναμης συρρίκνωσης (από την αρχή μέχρι τα μέγιστα) μπορεί να συσχετιστεί με ιδιότητες όπως η επιμήκυνση κατά τη διάσπαση και η αντοχή των κόμβων.

Άλλα τμήματα της θεματικής θερμικής καταπόνησης της θερμομηχανικής ανάλυσης μπορούν να δώσουν πρόσθετες πληροφορίες. Για παράδειγμα, η αρχική μειούμενη κλίση σχετίζεται με τις ιδιότητες διαστολής της ίνας και η εμφάνιση δευτερευουσών κορυφών δυνάμεως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό τιμών όπως είναι η θερμότητα που έχει ρυθμιστεί στη Νάιλον.

3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΡΟΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

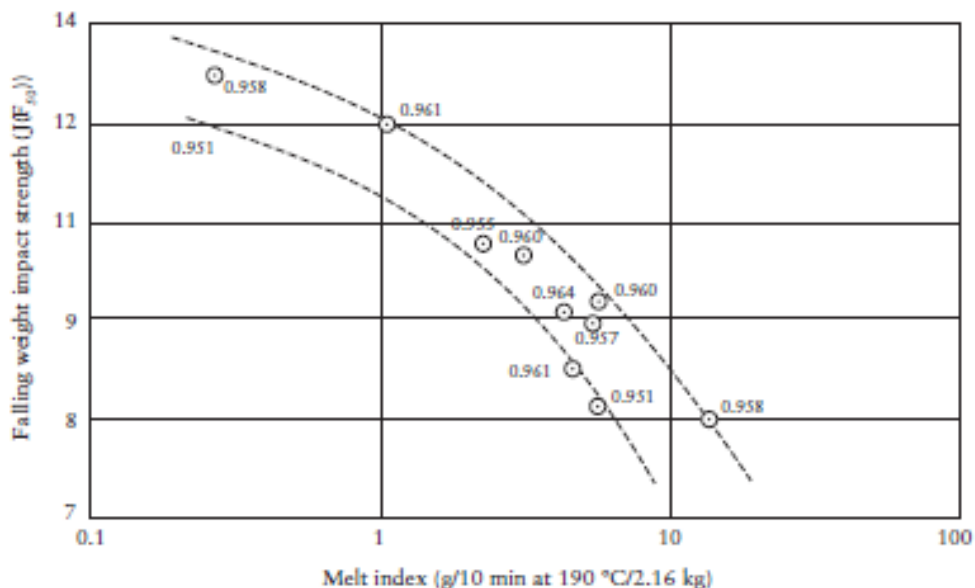
Από τις πολλές ιδιότητες ενός πλαστικού που επηρεάζουν την επιλογή του για ένα συγκεκριμένο είδος ή εφαρμογή, η ικανότητα να αντιστέκεται στα αναπόφευκτα έντονα χτυπήματα και σταγόνες που συναντώνται κατά την καθημερινή χρήση είναι ένα από τα πιο σημαντικά.

Το πρωταρχικό αντικείμενο της δοκιμής πρόσκρουσης πρέπει να είναι να παρέχει έναν αξιόπιστο οδηγό για τις πρακτικές επιδόσεις. Ωστόσο, οι απαιτήσεις απόδοσης και ο σχεδιασμός και το μέγεθος των αντικειμένων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Η μέθοδος κατασκευής μπορεί επίσης να ποικίλει και, επειδή όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τις επιδόσεις των επιπτώσεων, απαιτούνται ευλόγως ευρύ φάσμα δεδομένων εάν τα περισσότερα από αυτά τα περιστατικά πρόκειται να καλυφθούν και τα υλικά και οι βαθμοί να συγκριθούν λογικά.

3.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΟΡΙΑΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Εστιάζεται η κύρια επίδραση της MW στη συμπεριφορά κρούσης των πολυολεφινών σε σχέση με τις δοκιμές κρούσης Izod και με πτώση βάρους. Με το HDPE, το MW είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που ελέγχει τη συμπεριφορά πρόσκρουσης και η πυκνότητα είναι δευτερεύων παράγοντας. Αυτό φαίνεται σαφώς στα Σχήματα , τα οποία δείχνουν τα αποτελέσματα για το εμπορικό HDPE. Ωστόσο, γενικά θεωρείται ότι για οποιαδήποτε δεδομένη πυκνότητα υπάρχει ένας κρίσιμος δείκτης τήξης ο οποίος αυξάνεται καθώς μειώνεται η πυκνότητα. Πάνω από αυτήν την τιμή, εμφανίζεται μια έντονη πτώση στην αντοχή στην κρούση. Επιπλέον, σε μια δεδομένη οικογένεια βαθμών, η μείωση του δείκτη τήξης συνήθως συνοδεύεται από ελαφρά μείωση της πυκνότητας.

Μια σύγκριση των δεδομένων κρούσης με τα δεδομένα ερπυσμού επιβεβαιώνει, ιδιαίτερα με τα πολυμερή PP, ότι η αύξηση της αντοχής σε κρούση συνοδεύεται από μείωση της αντοχής ερπυσμού.



Εικόνα 24. Επίδραση κρούσης σε διάγραμμα τήξης

Pick και Harkin-Jones (2003) και άλλοι διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ των επιδόσεων κρούσης των προϊόντων περιστροφικής χύτευσης PE και των δυναμικών μηχανικών ιδιοτήτων τους.

3.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

Αυτή είναι μια εκτίμηση του συντελεστή τριβής των υλικών όσον αφορά τη δυναμική (ολισθαίνουσα) τριβή κατά του χάλυβα. Η τριβή επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, την επιφανειακή μόλυνση και, κυρίως, από τις δύο επιφάνειες του υλικού:

- Μια εξαιρετική βαθμολογία υποδηλώνει χαμηλό συντελεστή τριβής.
- Μια πολύ κακή βαθμολογία υποδηλώνει υψηλό συντελεστή τριβής.

Τα Miyata και Yamodka (2002) χρησιμοποίησαν τη μικροσκοπία ανίχνευσης σάρωσης (SPM) για να προσδιορίσουν τη δύναμη τριβής σε μικρο-κλίμακα των επιφανειών φιλμ που έχουν υποστεί επεξεργασία με σιλικόνη. Τα ακρυλικά πολυουρεθάνης (PU) που σκληρύνθηκαν με δέσμη ηλεκτρονίων χρησιμοποιήθηκαν ως πολυμερείς μεμβράνες. Η δύναμη τριβής μικρής κλίμακας που αποκτήθηκε από το SPM συγκρίθηκε με μακροσκοπικά δεδομένα, όπως η ελεύθερη επιφανειακή ενέργεια όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Owens-Wendt και τον συντελεστή τριβής μακρο-κλίμακας που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο ASTM. Αυτές οι συγκρίσεις έδειξαν καλή γραμμική σχέση μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας και της δύναμης τριβής, η οποία ήταν μη ευαίσθητη στη φύση των δειγμάτων πολυμερούς ή στις μεθόδους επεξεργασίας σιλικόνης.

Επίσης, παρατηρήθηκε καλή γραμμικότητα μεταξύ της μακροοικονομικής κλίμακας και της δύναμης τριβής μικρής κλίμακας. Το συμπέρασμα ήταν ότι το SPM θα μπορούσε να είναι ένα ισχυρό εργαλείο στον τομέα αυτό της επιστήμης των πολυμερών. Οι Everar et al. (1999) ανέφεραν μετρήσεις συντελεστών τριβής για καουτσούκ νιτριλίου. Οι ιδιότητες τριβής των PA, πολυακετάλες, PET / πολυ τετραφθοροαιθυλένιο (PTFE) καθώς και οι πολυεστέρες και τα ακρυλικά έχουν επίσης μελετηθεί.

3.6 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ

Αυτή είναι μια εκτίμηση της ικανότητας των υλικών να αντιστέκονται σε ταλαντευόμενη (ή δυναμική), φορτίο ή παραμορφωμένη παραμόρφωση:

- Μια εξαιρετική βαθμολογία δείχνει εξαιρετική αντίσταση στη φόρτιση με κόπωση.
- Μια πολύ κακή βαθμολογία υποδεικνύει χαμηλή αντίσταση στη φόρτιση λόγω κόπωσης.

Οι δοκιμές προσομοιώνουν τις καταπονήσεις κατά την τάνυση ή τη συμπίεση της έμφραξης ή σε συνδυασμό των τριών τρόπων εφαρμογής του φορτίου στους οποίους θα υποβάλλονται τα υλικά κατά τη χρήση.

Η αστοχία των δοκιμασμένων δειγμάτων υποδηλώνεται με ρωγμές της επιφάνειας ή, όπως προδιαγράφεται από τις προδιαγραφές ASTM D813⁴, από την αύξηση διαστάσεων ενός

⁴ 58. ASTM D813-95, Standard Test Method for Stiffness Properties of Plastics as a Function of Temperature by Means of Torsion Test, 2000.

πικουριού που έχει γίνει πάνω στο δείγμα πριν από την έναρξη της δοκιμής. Στην περίπτωση σύνθετων υλικών, η αστοχία μπορεί να εμφανιστεί ως διαχωρισμός των διαφορετικών στρωμάτων.

Ο Lin et al (1995) διερεύνησαν επίσης τη στατική αντοχή σε εφελκυσμό και τη συμπεριφορά κούρασης από μακρύ κρυσταλλικό PA (νάυλον) ενισχυμένο με ίνες υάλου και άμορφα σύνθετα PC. Η μέτρηση της στατικής εφελκυσμού σε διάφορες θερμοκρασίες και δοκιμές φόρτισης εφελκυσμού τάσης εφελκυσμού σε διάφορα επίπεδα πλάτους τάσης μελετήθηκαν.

Η αυξανόμενη ιδιότητα δυναμικής ερπυσμού και η θερμοκρασία υπό φορτίο εφελκυσμού συγκρίνονται μεταξύ ημι-κρυσταλλικών και άμορφων σύνθετων υλικών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η στατική αντοχή εφελκυσμού των σύνθετων υλικών PA είναι υψηλότερη από εκείνη των σύνθετων υλικών PC, με χαμηλότερη διάρκεια κόπωσης και μεγαλύτερη ευαισθησία στη θερμοκρασία. Η κλίση των καμπυλών S-N0 των μακρών ημικρυσταλλικών PA ενισχυμένων με ίνες υάλου και τα άμορφα σύνθετα PC είναι σχεδόν πανομοιότυπα.

3.6 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Οι δοκιμές ανθεκτικότητας διεξάγονται παραδοσιακά στους 40 ° C (-40 ° F) ή στους 20 ° C (68 ° F). Αυτή η ποσότητα σχετίζεται με την αντοχή κρούσης Izod. Περιλαμβάνει μια εκτίμηση της συνολικής σκληρότητας θραύσης του πολυμερούς.

3.6.1 ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΤΡΙΒΗ ΚΑΙ ΤΗ ΦΘΟΡΑ

Αυτή είναι μια εκτίμηση του ρυθμού με τον οποίο το υλικό χάνεται από την επιφάνεια του δείγματος όταν τρίβεται σε μια επιφάνεια χάλυβα. Οι ρυθμοί φθοράς εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η πίεση επαφής, η σχετική ταχύτητα, η θερμοκρασία και η αρχική τραχύτητα της επιφάνειας. Αυτή η αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη την εγγενή ικανότητα ενός υλικού να αντιστέκεται στη φθορά:

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

Polymer	Type	Fatigue index	Wear	Coefficient of friction
LDPE	General purpose (GP)	Very good	Poor	Very poor
Crosslinked polyethylene	GP	Good	Good	Very poor
HDPE	GP	Very good	Good	Good
Polypropylene	GP	Excellent	Good	Good
Polybutylene	GP	Very good	Very good	Very poor
Polymethyl pentene	GP	Very good	Good	Poor
Ethylene-propylene copolymer	GP	Excellent	Good	Very poor
Styrene-ethylene-butylene copolymer	GP	Good	Good	Very poor
High-impact polystyrene	GP	Poor	Very poor	Very poor
Polystyrene	GP	Good	Very poor	Very poor
Epoxy resins	GP	Poor	Good	Very poor
Acetal copolymer	GP	Very good	-	-
Polyesters	GP	Good	Poor	Very poor
Polybutylene terephthalate	GP	Good	Good	Poor
Polyethylene terephthalate	GP	Poor	Good	Very poor
Polyether ether ketone	GP	Very good	Good	Good
Ethylene tetrafluoro ethylene	GP	Very good	Poor	Very poor
Polycarbonate	GP	Poor	Poor	Poor
Polyphenylene oxide	GP	Very poor	Very poor	Good
Acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer	30% glass fibre-reinforced	Poor	Poor	Very poor
Phenol-formaldehyde	GP	Poor	Good	Very poor
Perfluoroalkoxy ethylene	GP	Very good	Very poor	Poor
Styrene-maleic anhydride copolymer	GP	Poor	Very poor	Very poor
Polymethylmethacrylate	GP	Poor	Good	Very poor
Ethylene vinylacetate copolymer	25% vinyl acetate	Very good	Poor	Very poor
Polyamide 11	GP	Very good	Good	Good
Polyamide 12	GP	Very good	Good	Good
Polyamide 6,6	GP	Very good	Good	Good
Polyamide 6,10	GP	Very good	Good	Good
Polyamide 6	GP	Very good	Good	Good
Polyamide 6,9	GP	Very good	Good	Good
Polyamide 6, 12	GP	Very good	Good	Good
Polyamide-imide	GP	Poor	Very good	Poor

Polyimide	GP	Poor	Very good	Good
Polyetherimide	GP	Very poor	Poor	Poor
Polyurethane	GP	Excellent	Very good	Very poor
Polyetherester amide	GP	Very good	Very good	Very poor
Urea formaldehyde	Foam	Very poor	Very poor	Very poor
Styrene-acrylonitrile copolymer	High impact	Very poor	Very poor	Very poor
Acrylate-styrene-acrylonitrile terpolymer	GP	Very poor	Very poor	Very poor
Polytetrafluoroethylene	GP	Very good	Very good	Excellent
Polyvinyl fluoride	GP	Very good	Poor	Good
Polyvinylidene fluoride	GP	Excellent	Good	Very good
Perfluoroalkoxy ethylene	20% glass fibre-reinforced	Good	Poor	Good
Ethylene chloro-trifluoroethylene	Glass fibre-reinforced	Very good	Poor	Very good
Fluorinated ethylene propylene copolymer	GP	Very good	Very poor	Poor
Chlorinated PVC	GP	Very poor	Poor	Very poor
Unplasticised PVC	GP	Poor	Poor	Very poor
Plasticised PVC	GP	Good	Poor	Very poor
Polyphenylene sulfide	Glass fibre-reinforced	Poor	Good	Poor
Polysulfone	10% glass fibre-reinforced	Poor	Good	Good
Polyether sulfone	GP	Very poor	Good	Good
Silicones	GP	Poor	Very good	Very good

Εικόνα 25. Κόπωση, φθορά και τριβή πολυμερών

Πηγή : *Smithers Rapra*

3.6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΛΗΡΩΤΙΚΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ⁵

Διάφοροι τυπικοί ενισχυτικοί παράγοντες και πληρωτικά έχουν χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσουν ή να τροποποιήσουν τις μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών. Αυτές περιλαμβάνουν γυάλινες ίνες, γυάλινες χάντρες, ανθρακικό ασβέστιο, μέταλλα, μαρμαρυγία, τάλκη, πηλό, ίνες άνθρακα, νανοσωλήνες άνθρακα, αλουμίνιο ή άλλες μεταλλικές σκόνες, σίλικα και σιλικόνες (Yuan, 2004)

⁵ Smithers Rapra

3.6.2.1 ΓΥΑΛΙ ΠΟΛΥΤΕΤΡΑΦΘΟΡΟΑΙΘΥΛΕΝΙΟ

Η ενσωμάτωση 25% γυάλινων ινών αυξάνει την αντοχή εφελκυσμού από 25 MPa σε 180 MPa και το μέτρο κάμψης του PTFE από 0,07 GPa σε 1,03 GPa ενώ μειώνει την επιμήκυνση κατά το σπάσιμο από 400% σε 240%.

3.6.2.2 ΤΕΡΕΦΘΑΛΙΚΟ ΠΟΛΥΑΘΥΛΕΝΙΟ

Η ενσωμάτωση 30% ίνες γυαλιού αυξάνει την αντοχή εφελκυσμού του PET από 55 MPa σε 100 MPa και το μέτρο κάμψης από 2,3 GPa σε 9,5 GPa μειώνοντας ταυτόχρονα την επιμήκυνση στη θραύση από 300% σε 2,2%. Το γυαλιστερό PP έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών που αφορούν τη δοκιμή εφελκυσμού και τη μέτρηση της αντοχής στην κρούση του Izod. Οι Gurpta al. (2003) παρατήρησαν μια μέγιστη βελτίωση των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων στο PP σε 1% χημικού παράγοντα σύζευξης.

3.6.2.3 ΠΟΛΥΙΜΙΔΙΟ

Στην περίπτωση του πολυϊμιδίου, η ενσωμάτωση 40% γυάλινων ινών αυξάνει το συντελεστή κάμψης από 2,46 GPa σε 132 GPa με σχεδόν καθόλου επίδραση στην αντοχή εφελκυσμού. Η επιμήκυνση κατά το σπάσιμο μειώνεται από 8% έως 1,2%.

3.6.2.4 ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΚΟ ΙΜΙΔΙΟ

Η ενσωμάτωση ινών από γυαλί αυξάνει την αντοχή εφελκυσμού του PA-ιμιδίου από 18,5 MPa έως 195 MPa και το μέτρο κάμψης από 0,6 GPa έως 11,1 GPa ενώ η επιμήκυνση σε θραύση πέφτει από 12% έως 5%.

Η επίδραση των γυάλινων σφαιριδίων στις μηχανικές ιδιότητες του PP έχει μελετηθεί (Mishra et al., 2007). Διάφοροι ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση των ινών γυαλιού επί της επίδρασης διαφόρων παραγόντων όπως η θερμοκρασία τήγματος, η αντοχή της γραμμής συγκόλλησης και η ανόπτηση σε ενισχυμένα με ύαλο πολυμερή. (π.χ. 1997)

3.6.2.5 ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ

Το ανθρακικό ασβέστιο έχει χρησιμοποιηθεί ως ενισχυτικός παράγοντας για την πολυαιθερική κετόνη, το τριπολυμερές ABS, το PP και το συμπολυμερές οξικού βινυλεστέρα (PPVA). (Yan et al., 2004)

Οι Tang et al. (1999) έδειξαν ότι το μέτρο εφελκυσμού του PPVA συμπολυμερούς αυξήθηκε με αύξηση του κλάσματος βάρους του πληρωτικού. Η αντοχή στην κρούση μειώθηκε ραγδαία όταν το κλάσμα βάρους του ανθρακικού ασβεστίου έπεσε κάτω από το 10% και κατόπιν μειώθηκε σταδιακά με την αύξηση του κλάσματος βάρους του ανθρακικού ασβεστίου.

3.6.2.6 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΑΡΓΙΛΟΙ

Διάφοροι ερευνητές έχουν διερευνήσει τις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες των πολυμερών στα οποία είχαν ενσωματωθεί βιολογικά τροποποιημένοι άργιλοι και μοντομοριλλονίτες. Γενικά, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση των περιεχομένων αργίλου ενός πολυμερούς αύξησε το μέτρο αποθήκευσης και απώλειας καθώς και το μέτρο του Young και μειωμένη κρυσταλλικότητα. Η θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου (T_g) αυξήθηκε και η θερμική σταθερότητα τείνει να βελτιώνεται.

Τα σύνθετα από πηλό-πολυβινυλιδένιο φθορίδιο έχουν σημαντικά βελτιωμένο συντελεστή αποθήκευσης στο πολυμερές βάσης σε θερμοκρασίες από -100 °C έως 150 °C (Priya and J.P. Jog, 2003). Ο Gupta και οι συνεργάτες του (2003) και ο Yan και οι συνεργάτες του (2004) ανέφεραν τη μηχανική και θερμική συμπεριφορά των νανοσύνθετων υλικών πολυβινυλιδενο-μπεντονίτη-πηλού γεμισμένα με γυάλινες ίνες ή γυάλινες χάντρες, τα οποία αποδείχθηκαν ότι έχουν σημαντικά βελτιωμένη αποθήκευση μέτρηση στα βασικά πολυμερή.

3.6.2.7 ΝΑΝΟΣΥΜΒΑΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Έχει βρεθεί ότι η T_g του ABS, του διοξειδίου του πυριτίου και των μεθακρυλικών πυριτικών νανοσύνθετων πολυμερών (Wong et al., 2004) αυξήθηκε με περιεκτικότητα σε διοξείδιο του πυριτίου. Επίσης, οι θερμικές ιδιότητες ενισχύθηκαν. Έτσι, η θερμοκρασία αποδόμησης σε απώλεια βάρους 10% ήταν υψηλότερη κατά 30 °C από εκείνη του παρθένου μεθακρυλικού πολυμεθυλεστέρα. Άλλες ιδιότητες που έχουν μελετηθεί περιλαμβάνουν μηχανικές, ιξωδοελαστικές, θερμικές και οπτικές ιδιότητες (Kadei et al., 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα πολυμερή είναι υλικά που αποτελούνται από μόρια μεγάλων διαστάσεων, τα μακρομόρια. Οι ιδιότητες των πολυμερών είναι ενδιαφέρουσες και σε κάποιες περιπτώσεις καλύτερες κι από αυτές των μετάλλων. Τα πολυμερή μορφοποιούνται εύκολα και παρασκευάζονται εύκολα ανάλογα με τις απαιτήσεις μας, έτσι ώστε να συνδυάζουν ταυτόχρονα πολλά πλεονεκτήματα, όπως :

- τη δημιουργία προϊόντων πολύπλοκης γεωμετρίας
- τη διαφάνεια, σε σημείο που μπορούν να αντικαταστήσουν το γυαλί
- χαμηλή πυκνότητα και βάρος
- καλές μηχανικές ιδιότητες και
- συνήθως χαμηλό κόστος.

Τα πολυμερή σε σχέση με τα μεταλλικά υλικά, παρουσιάζουν όμως και μειονεκτήματα . Στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν:

- χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες
- αδυναμία χρήσης σε υψηλές θερμοκρασίες.
- επιπτώσεις στο περιβάλλον και τους μεγάλους κινδύνους ρύπανσης καθώς τα περισσότερα δεν είναι ανακυκλώσιμα.

Κάποια από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των πολυμερών είναι τα παρακάτω:

- Αποτελούνται κυρίως από C και H.
- Έχουν χαμηλά σημεία τήξης
- Τα πιο πολλά δεν είναι αγωγοί θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Τα πολυμερή έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα και γι' αυτό βρίσκουν εφαρμογή ως θερμομονωτικά. Επίσης χρησιμοποιούνται και ως μονωτές ηλεκτρισμού.

Επίσης γενικά παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε χημική προσβολή. Τα πολυμερή υλικά είναι ελαφριά, δηλαδή έχουν χαμηλή πυκνότητα και αυτό γιατί τα στοιχεία H, C έχουν μικρά ατομικά βάρη ενώ η δομή των πολυμερών είναι ανοιχτή.

Τα κρυσταλλικά πολυμερή παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τα άμορφα εξαιτίας της πυκνής κανονικής διάταξης. Τα πιο ελαφριά πολυμερή είναι τα θερμοπλαστικά.

Τα συνθετικά πολυμερή χωρίζονται σε βασικές κατηγορίες:

Τα θερμοπλαστικά πολυμερή μαλακώνουν όταν θερμαίνονται και σκληραίνουν όταν ψύχονται. Οι διαδικασίες αυτές είναι αντιστρεπτές. Τα υλικά αυτά μορφοποιούνται με εφαρμογή θερμότητας και πίεσης. Τα θερμοπλαστικά είναι μαλακά και όλκιμα υλικά. Τα περισσότερα γραμμικά πολυμερή είναι θερμοπλαστικά.

Τα θερμοσκληραινόμενα πολυμερή σκληραίνουν μόνιμα όταν ψύχονται, εφαρμόζεται σε αυτά τάση και δεν μαλακώνουν με θέρμανση. Είναι σκληρότερα, ισχυρότερα και πιο ψαθυρά από τα θερμοπλαστικά και διαθέτουν σταθερότητα διαστάσεων

Τα ελαστομερή κατά τη φόρτισή τους μπορούν να υποστούν μεγάλες παραμορφώσεις και να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα όταν το φορτίο σταματήσει να υφίσταται. Έχουν μικρά μέτρα ελαστικότητας ενώ η ελαστική περιοχή στην καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης δεν είναι γραμμική.

Η εμπορική ταξινόμηση των πολυμερών γίνεται συνήθως σε τρεις κατηγορίες.

α) ευρείας χρήσης : LDPE, HDPE, PP, PS, PVC, πολυμερή με χαμηλή πυκνότητα

β) ειδικής τεχνολογίας : PC, NYLON, PPS

γ) προχωρημένης τεχνολογίας : πολυμερή υγρών κρυστάλλων, PTFE, PRRK, PES, πολυμερή με ιδιαίτερα υψηλή απόδοση.

Τα πολυμερή συμπεριφέρονται μηχανικά με διάφορους τρόπους: ως ψαθυρό υλικό και ως ελαστικό. Η μηχανική συμπεριφορά κάθε πολυμερούς επηρεάζεται κατά πολύ από την θερμοκρασία. Η διαρροή, ο σχηματισμός λαιμού, η θραύση, η κόπωση, η κρούση αλλά και η τριβή είναι μηχανικές ιδιότητες που δεν πρέπει να περνούν απαρατήρητες από κάποιον που μελετά τα πολυμερή υλικά.

Η αποσύνθεση των πολυμερών υλικών είναι άμεσα συνδεδεμένη με το περιβάλλον και οι επιπτώσεις που έχει το τελευταίο στην δομή τους εξαρτάται από την χημική τους σύνθεση. Το

οξυγόνο, η υψηλή θερμοκρασία, οι ακτίνες UV καθώς και άλλοι παράγοντες επιδρούν αρνητικά στην τεχνολογική συμπεριφορά των πολυμερών υλικών.

Οι εφαρμογές των πολυμερών εκτείνονται από τις απλές καθημερινές χρήσεις, όπως τα οικιακά, διακοσμητικά είδη συσκευασίας κλπ, μέχρι τις πιο προηγμένες, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην μικροηλεκτρονική και τις μηχανολογικές εφαρμογές.

4.2 ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΕΣ

Από τις προαναφερθείσες δοκιμές προκύπτει ότι η υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό δεν αποτελεί εγγύηση για υψηλό συντελεστή κάμψης.

Πολυμερή με πολύ καλή αντοχή σε κρούση (δηλ., 60-100 MPa) είναι: ακετάλες, τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο, τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), πολυαλλυλοφθαλικό εστέρα, πολυαιθερκετόνη, πολυανθρακικό (PC), πολυφαινυλένιο, στυρόλιο- μηλεϊνικό οξύ, συμπολυμερές, PA 6/9, PA 12, πολυϊμίδιο 6/6 PA 6/12, πολυϊμίδιο: ουρία-φορμαλδεΰδη, συμπολυμερές στυρενίου-ακρυλονιτριλίου, χλωριωμένο πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πολυφαινυλενοσουλφίδιο, πολυσουλφόνη, σιλικόνες και αλκυδικές ρητίνες.

Ένώ οι εποξικές ρητίνες έχουν εξαιρετική αντοχή εφελκυσμού και μέτρο ελαστικότητας, έχουν χαμηλή αντίσταση στη ακτινοβολία γάμμα, κακή απόδοση θερμικής παραμόρφωσης και κακές ιδιότητες φθοράς. Είναι επίσης ακριβές και έχουν χαμηλή ευαισθησία όγκου και φινίρισμα επιφάνειας.

Τα σκληρά πλαστικά όπως πολυστερίνη (PS), PVC, πολυπροπυλένιο (PP), νάυλον και PC, εποξικά, ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες και PA μπορούν να σκληρυνθούν και οι ιδιότητες πρόσκρουσής τους να βελτιωθούν με ενσωμάτωση το σκεύασμα 5-20% ενός ελαστομερούς όπως το τριπολυμερές ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρολίου (ABS).

Πολυμερή με καλό μέτρο ελαστικότητας (μεταξύ 6 GPa και 80 GPa) είναι : πολυδιαιθυλοφθαλικό (11.3 GPa), φαινόλη φορμαλδεΰδη (6.5 GPa), αλκυδικές ρητίνες (8.6 GPa) και πολυφαινυλενο σουλφίδιο (13.8 GPa) καθώς και εποξειδικές ρητίνες πολυεστερικές πολυαμιδικές (16 GPa)), γειμισμένα με σίλικα εποξικά (15 GPa) και ακετάλες που περιέχουν 30% ίνες άνθρακα (17.2 GPa).

Μια σύγκριση των δεδομένων κρούσης με τα δεδομένα ερπυσμού επιβεβαιώνει, ιδιαίτερα με τα πολυμερή PP, ότι η αύξηση της αντοχής σε κρούση συνοδεύεται από μείωση της αντοχής ερπυσμού.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η στατική αντοχή εφελκυσμού των σύνθετων υλικών PA είναι υψηλότερη από εκείνη των σύνθετων υλικών PC, με χαμηλότερη διάρκεια κόπωσης και μεγαλύτερη ευαισθησία στη θερμοκρασία

Ωστόσο, διάφοροι τυπικοί ενισχυτικοί παράγοντες και πληρωτικά έχουν χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσουν ή να τροποποιήσουν τις μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών. Αυτές περιλαμβάνουν γυάλινες ίνες, γυάλινες χάντρες, ανθρακικό ασβέστιο, μέταλλα, μαρμαρυγία, τάλκη, πηλό, ίνες άνθρακα, νανοσωλήνες άνθρακα, αλουμίνιο ή άλλες μεταλλικές σκόνες, σίλικα και σιλικόνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βελαώρας, Ι. Χ. (1998) Αντοχή Υλικών, Αθήνα, Εκδόσεις Ίων
- Βουθούνης, Π.Α. (2002) Τεχνική Μηχανική Αντοχή των Υλικών, Αθήνα, Εκδόσεις, Βουθούνης Π.Α.
- Εργαστηριακές ασκήσεις από το μάθημα της Αντοχής των Υλικών, Τ.Ε.Ι Καβάλας, τμήμα Μηχανολογίας
- Καραγιαννίδης, Γ. Π. (2009), Τεχνολογία Πολυμερών, Αθήνα, Εκδόσεις Ζήτη.
- Καραγιαννίδης, Γ. Π. (2006) Χημεία Πολυμερών, Αθήνα, Εκδόσεις Ζήτη Μητσούλης, Ε. (1998), Πολυμερή και Σύνθετα Υλικά, Αθήνα, Εκδόσεις Ε. Μπένου.
- Σαπουνά Μ.,(2012), Εργοδιάβρωση τεχνολογικών υλικών.(Περίπτωση του PMMA). Διπλωματική εργασία. ΕΜΠ
- Σιδεράτου, Ω. (1997). Ανάπτυξη υλικών υπερμοριακής δομής μέσω μοριακής αναγνώρισης με δεσμούς υδρογόνου.
- Τσιούρβας, Δ. (1992). Σύνθεση και χαρακτηρισμός νέων υγρών κρυσταλλικών πολυμερών προερχομένων από δραστικά πολυμερή.
- Φωτόπουλος, Ν. (1998). Σχεδιασμός, σύνθεση και χαρακτηρισμός συμπλοκών με φαρμακολογικές ιδιότητες.
- Flory, P.J. (1941). Molecular size distribution in three dimensional polymers. I. Gelation. J Am Chem Soc.,63, (pp.3083–90).
- ASTM D638-03, Standard Test Method for Testing Tensile Properties of *Plastics*, 2003.
- M. Tasdemir and H. Yildirim, Journal of Applied Polymer Science, 2003, **83**, 2967.
- J. Janick and W. Krolkowski, *Polymer*, 2002, **47**, 250.
- S. H. Lin, C.C.M. Ma, N.H. Tai and I.H. Perng, Proceeding of Materials Challenge, Diversification and the Future Symposium, Anaheim, CA, USA, 1995, **40**, 2, 1046.
- H. Wong, P.G. Thompson, J.R. Schoonover, S.R. Ambuchon and R.A. Palmer, *Polymer Macromolecules*, 2001, **34**, 7084.
- G. Hay, P.E. Mackey, P.N. Awati and Y. Park, Journal of Rheology, 1999, **43**, 1099.
- L.T. Pick and E. Harkin-Jones, Polymer Engineering and Science, 2003, **43**, 905.
- Y. Kayano, H. Keskkula and D.R. Paul, *Polymer*, 1997, **38**, 1885.
- G. Evrard, A. Belgrine, F. Carpier, E. Valot and P. Dang, Revue Generale des Caoutchouces et Plastiques, 1999, **777**, 95.
- ASTM D813-95, Standard Test Method for Stiffness Properties of Plastics as a Function of Temperature by Means of Torsion Test, 2000.
- Q. Yuan, W. Jiang, L. An and L.K.Y. Li, *Polymers for Advanced Technologies*, 2004, **15**, 409.
- A.P. Gupta, U.K. Saroop, G.S. Jha and M. Verma, *Polymer Plastics, Technology and Engineering*, 2003, **42**, 297.

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

- C.Y. Tang, L.C. Chan, J.Z. Liang, K.W.E. Cheng and T. Wong, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2002, **21**, 1337.
- L. Priya and J.P. Jog, *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics Edition*, 2003, **41**, 31.
- A.P. Gupta, U.K. Saroop, G.S. Tha and M. Verma, *Polymer Plastics, Technology and Engineering*, 2003, **42**, 297.
- Q. Yan, W. Jiang, L. An and R.K.Y. Li, *Polymers for Advanced Technologies*, 2004, **15**, 409.
- . H. Xiaoming Xu, Y. Song, Q. Zheng and G. Ha, *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, **103**, 2027.
- W. Leong, Z.A.M. Ishak and A. Ariffin, *Journal of Applied Science*, 2004, **915**, 3327.
- O. Okzuk and H. Yildirim, *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, **96**, 1126.
- S. Mishra and N.G. Shimpi, *Journal of Polymer Science*, 2007, **104**, 2018.
- Y-H. Hu, C-Y. Chen and C-C. Wong, *Macromolecules*, 2004, **37**, 2411. 135
Mechanical Properties of Polymers
- E.A. Poppe, K. Leidig, K. Schirmer and L. Jayle, *Revue General des Caoutchoucs et Plastiques*, 1997, 760, 41.
- R. Selden, *Polymer Engineering and Science*, 1997, 37, 205.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πολυμερή	Εφαρμογή
Συνθετικά πολυμερή	
Πολυαιθυλένιο (PE)	Αγγειακά εμφυτεύματα, αρθροπλαστική ισχίου
Πολυαιθυλενιμίνες	Γονιδιακή μεταφορά, ιστική μηχανική
πολυαμίδια	Επικάλυψη τραύματος
Πολυεστέρες	Μεταφορά φαρμάκων, ράμματα, επικαλύψεις, στενς, νανοσωματίδια
πολυαμιδοαμίνες	Βιο-ιατρική απεικόνιση
Πολυγλυκολικό οξύ (PGA)	Απορροφήσιμα ράμματα, απορροφήσιμες συσκευές οστεοσύνθεσης
Πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA)	Οστικά τσιμέντα, φακοί επαφής, ενδοφθάλμιοι φακοί, κινητές και ακίνητες προσθετικές οδοντιατρικές εργασίες
Πολυ (πολυμεθακρυλικά)	Φακοί επαφής
Πολυπροπυλένιο (PP)	Αγγειακά εμφυτεύματα, καθετήρες ουροποιητικού συστήματος
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE)	Αγγειακά εμφυτεύματα, καρδιακές βαλβίδες, μη απορροφήσιμες μεμβράνες ιστικής αναγέννησης, καθετήρες ουροποιητικού συστήματος, τεχνητοί σύνδεσμοι και τένοντες
Σιλικόνες (Silicones)	Εμφυτεύματα μαλακών ιστών π.χ. εμφυτεύματα για αύξηση στήθους (breast implants), αποτυπωτικά οδοντιατρικά βιοϋλικά
Φυσικά πολυμερή	
πολυπεπτίδια	Γονιδιακή μεταφορά, βιο-ιατρική απεικόνιση, μεταφορά φαρμάκων
πολυσακχαρίτες	Ιστική μηχανική, νανοσωματίδια
πολυνουκλεοτίδια	Βιο-ιατρική απεικόνιση

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά θερμοπλαστικά υλικά

Συμβολισμοί	Τεχνικός χαρακτηρισμός	Είδος επεξεργασίας	Χαρακτηριστικά	Χρησιμοποίηση στην οικοδομή
PE	Πολυαιθυλένιο		PE μαλακό $d \geq 0,92$ PE σκληρό $d \leq 0,96$ Μερικώς κρυσταλλικό. Ανάλογα προς το φαινόμενο βάρος πτυσσόμενο ή σκληρό. Ανθεκτικό σε διάβρωση και ψύχος.	Προστατευτικά έναντι καιρικών συνθηκών φυλλίδια, σωληνώσεις παροχών, αποχετεύσεις, σωληνώσεις μεγάλης διατομής, ηλεκτρικές μονώσεις (HF καλώδια αντένων).
E/VAC	Συμπολυμερισμένο αιθυλένιο	Με οξείκο βινύλιο κ.ά.	Πτυσσόμενο, μαλακό.	Στεγανοποιητικά προφίλ, στεγανοποιητικές λωρίδες οικοδομών.
PP	Πολυπροπυλένιο όμοιο με πολυβουτένιο -I (PB)		Σκληρότερο και ανθεκτικότερο σε θερμοκρασίες, λιγότερο ανθεκτικό σε ψύχος αλλιώς όμοιο με PE.	Γιά ανθεκτικά σε θέρμανση εξαρτήματα, σωλήνες αποχετεύσεως νερών οικιών, θερμάνσεις πατωμάτων δωμάτων.
PIB	Πολυισοβουτυλένιο		Ανάλογα με το είδος ελαστικό σε κόμμι μέχρι πλαστικό.	Λωρίδες στεγανοποίησης οικοδομικών, επικαλύψεις σκεπών, ταινίες στεγανώσεως.
TPX	Πολυμεθυλένιο πεντένιο		Διαυγές σαν γυαλί, ανθεκτικό σε έλξη.	Για εσωτερικά υαλοστάσια.
PS SB SAN ABS ASA	Πολυστυρένιο Συμπολυμερή πλαστικά	Με βουταδιένιο (B) ακρυλικό νιτρίλιο (AN ή A) με AN+ ακρυλ. εστέρα	Σκληρό διαυγές σαν γυαλί λίγο ψαθυρό. Ανθεκτικότερο σε έλξη παρά το PS. Καλά μορφοποιούμενο εν θερμώ. Αντέχει καλά σε καιρικές μεταβολές.	Αφρώδη πλαστικά για μόνωση θερμότητας (Hostapor, Styropor, Styrofoam). Περικαλύμματα προστατευτικά κράνη, τμήματα εξαρτημάτων, ΗΤ-σωλήνες αποχετεύσεως.
PVC PVDC	Χλωριούχο πολυβινύλιο Διχλωριούχο πολυβινύλιο	Υψηλότερη περιεκτικ. χλωρίου	Σκληρό, αντοχής σε διάβρωση, καλή μορφοποίηση εν θερμώ και συγκολλητό. Όμοιο με PVC	Είναι το σπουδαιότερο υλικό σωλήνων παροχών, επίσης για εφαρμογές εκτός άλλων σχημάτων κατασκευή βрусών, προφίλ περσιδίων. Αποχετεύσεις χημείου και σωλήνες οχετών.
PVC	Polyblends Αυξάνει την αντοχή σε κρούση	Με προσθήκες που το κάνουν ελαστικότερο	Ανθεκτικότερο σε έλξη και κρούση παρά PVC, επίσης στη περιοχή χαμηλών θερμοκρασιών.	Παράθυρα, επικαλύψεις προσόψεων, φωτεινές πλάκες, κυματοειδή φύλλα, υδρορροές, φυλλίδια επικαλύψεων επίπλων.
PVC μαλακό	Χλωριούχο πολυβινύλιο μαλακό	PVC + πλαστικοποιητικές ουσίες	Αναλόγως προς την ποιότητα των πλαστικοποιητικών ουσιών: σε είδος δέρματος ή μαλακού κόμμιος.	Κάλυψη ηλεκτρικών αγωγών, επίπλων, δομικών προφίλ, κλπ.
PVF	Φθοριούχο πολυβινύλιο		Αντοχή σε διάβρωση και καιρικές μεταβολές.	Λεπτά φύλλα για επενδύσεις εξωτερικών τοίχων και σκεπών.
PTFE	Πολυτετραφθοριούχο αιθυλένιο		Εξαιρετικής αντοχής σε διάβρωση και σε θερμοκρασίες.	Φυλλίδια ολισθήσεως εδράνων για προκατασκευασμένα τμήματα μετόν π.χ. στο σύστημα ρυθμικής ωθήσεως στη κατασκευή γεφυρών.
PVAC	Οξείκο πολυβινύλιο		Διαυγές σαν γυαλί, σχηματίζει εύπλαστες μεμβράνες (φίλμ).	PVAC κ.α. συμπολυμερισμένα πλαστικά, βασική ύλη για κόλλες και μέσα επιχρώσεως ως επί το πλείστον σαν υδάτινες διασπορές.
PMMA	Πολυ-μεθυλμετακρυλικό (ακρυλικό γυαλί)		Σκληρό, λαμπερό, διαφανές σαν γυαλί. Το χυτό μετασχηματίζεται μόνο εν θερμώ.	Διαφανείς τοίχοι, φωταγωγοί, επικαλύψεις προσόψεων, φωτεινών σωμάτων, πρώτη ύλη προστασίας επιφανειών, υαλοπίνακες.
POM	Πολιοξυμεθυλένιο και συγγενή πολιοξείκα		Τελείως κρυσταλλικό, αντοχής σε εφελκυσμό, κερατοειδές μέχρι σκληρό, σταθερό σε θέρμανση.	Αυτά και άλλα πλαστικά είναι "δομικά πλαστικά" για εξοπλισμούς οικοδομών, εξαρτήματα μηχανών πχ Πολυφαινολοξειδίο Noryl, PPO
PA	Πολυαμίδια			
PETP PBTP	Πολυτερεφθαλικά E= αιθυλένιο B= βουτυλένιο		Ανθεκτικά στη φωτιά λεπτά φυλλίδια	Φυλλίδια για λωρίδες στεγανοποίησης οικοδομών - Τεχνικά εξαρτήματα.
PC	Πολυανθρακικά		Διαυγές ως γυαλί, ανθεκτικό σε φωτιά και κάμψη	Λάμπες των δρόμων Αθραυστα υαλοστάσια.
CA CAB CAP	Εστέρες της κυτταρίνης: Οξείκης κυτταρίνης Οξείκοβουτυρικής κυττ. Οξείκοπροπιονικής κυττ.	Εστεροποίηση φυσικής κυτταρίνης από ξύλο ή βαμβάκι	Διαυγές ως γυαλί, αντοχής σε εφελκυσμό διαφόρων ειδών σκληρότητας.	Διαφόρων σχημάτων εξαρτήματα για επιστρώσεις κτιρίων ή επίπλων. CAB επίσης για σωλήνες, διαφανείς τοίχους και φωταγωγούς.
MC CMC	Αιθέρες της κυτταρίνης μεθυλική κυτταρίνη καρβοξυλική-μεθυλική κυτταρίνη	Σχηματισμός αιθέρων κυτταρίνης	Υδατοδιαλυτά συνδετικά μέσα.	Κόλλες ταπετοαρίας, κόλλα ζωγράφων εσωτερικά κονιάματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Χαρακτηριστικά θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά

ΣΥΜΒ	Τεχνικός χαρακτηρισμός της ομάδος τεχνητών ρητινών	Χημική δομή και είδος επεξεργασίας	Χαρακτηριστικά	Χρησιμοποίηση στην Οικοδομή
PF	Τεχνητές ρητίνες φαινόλης, φορμαλδεύδης (φαινοπλάστες)	Novolak, Resol : δυνατόν να καούν, εν μέρει διαλυτά ενδιάμεσα προϊόντα από φαινόλες και φορμαλδεύδη. Σκλήρυνση με θέρμανση και πίεση, ειδικές ρητίνες εν ψυχρώ με οξέα. Resit: σκληρυνόμενο πλαστικό φαινόλης.	Στερεές ρητίνες, διαλύτες σε οινόπνευμα εν μέρει σε νερό, δυνατόν να αραιωθούν.	Κόλλες εν θερμώ, για ανθεκτική σε επιδράσεις συγκολλητή και κόντρα-πλακέ ξυλεία. Συνδετικό μέσο για σκληρές ινώδεις και αφρώδη πλαστικά. Βασικά υλικά : νερό και κόλλες ανθεκτικές σε καιρικές μεταβολές.
			Ρητίνες φαινόλης - ρεσορίνης. Τεχνικά ημιπροϊόντα Σκληρό χαρτί Σκληρό ύφασμα Πρεσσαριστών στρωμάτων ξύλου	
UF MF	Ρητίνες ουρίας φορμαλδεύδης μελαμίνης φορμαλδεύδης (γενικό όνομα: αμινοπλάστες)	Υδατοδιαλυτά προκαταρκτικά προϊόντα από ουρία ή μελαμίνη και φορμαλδεύδη. Σκλήρυνση υπό πίεση και θέρμανση ή χωρίς θέρμανση με χρησιμοποίηση ελαφρών όξινων καταλυτών.	Στερεό σαν θρύψαλα ή σκόνη συχνά σε υδάτινα διαλύματα. Ενισχυτικό υλικό γομώσεως κυτταρίνης λιγότερο ανθεκτικό στο νερό τυπ. 31, καλύτερα ανθεκτικό σε υγρασία, για πινακιά με διάφορα προσθετικά υλικά. Σκληρός χάρτης με PF πυρήνα, MF με έγχρωμες διακοσμητικές πλάκες	Ψυχρές ή θερμές κόλλες ανθεκτικές σε υγρασία μέχρι νερό. UF-συνδετικά μέσα για μορισανίδες, αφρώδη της στιγμής για θερμομονώσεις. Χρωματιστές κατασκευές για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, επιπλοποιία, επενδύσεις. Πλάκες για τοίχους καί έπιπλα.
UP EP	Ακόρεστοι πολυεστέρες Εποξεικές ρητίνες κ.α. χωρίς πίεση "σκληρυνόμενες ρητίνες"	UP (πολυεστέρες διαλυμένοι σε στυρόλιο + καταλύτες). EP (+ Αμινοσκληρυντές) είναι τεχνητές ρητίνες, οι οποίες μετά από ανάμειξη με ορισμένες ουσίες χωρίς πίεση εν θερμώ ή εν ψυχρώ σκληρύνονται.	Τα υγρά ή τηγμένα μείγματα πρέπει να επεξεργασθούν σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα με ενισχυτικά ή προσθήκες. Όταν σκληρυνθούν οι EP τότε είναι ανθεκτικότερες σε διαβρώσεις και θερμοκρασίες παρά σαν UP.	Είναι συνδετικά μέσα για τα σκυροδέματα με τεχνητές ρητίνες, για πλαστικά δάπεδα, για παρκέ διαρκείας, κόλλες για κατασκευαστικές επιβαρυμένα μέταλλα, πετρώματα και μπετόν και σε συνδυασμό με υαλούφανση για επενδύσεις υπο - γείων κατασκευών με τη μέθοδο του ψεκασμού.
GFK GF-UP GF-EP	Ενισχυμένες με υαλούφανση πλαστικές Τεχνητές ρητίνες (30-80% γυαλι)	Τεχνητές ρητίνες ως ανωτέρω ενισχυμένες με υαλούφανση - υαλοπλήγματα, υαλοπλέγματα υαλοβάμβακα.	Κατά μήκος και διαγωνίως κυματοειδείς, διαφανείς πλάκες με ίνες αλλά επίσης εξαρτήματα διαφόρου μορφής, σωλήνες, προφίλ.	Διαφανείς τοίχοι και σκεπές, φωταγωγοί, κατασκευαστικά προφίλ, φαρδείς σωλήνες σιλό ζωοτροφών, δεξαμενές ελαίων θερμάνσεως.
PUR	Πολυουρεθάνη	Προπαρασκευαστικά προϊόντα Desmorphene (πολυαλκοόλες) Desmodure (πολυισοκυανιούχα) αντιδρούν μεταξύ τους προς σκληρά ή ελαστικά προϊόντα	Εξαιρετική ποικιλία κατασκευής πλαστικών με εκάστοτε ειδική τεχνική επεξεργασία	Συνδετικά μέσα για επιστρώσεις πατωμάτων, ελαστικά αθλητικά όργανα, ειδικές κόλλες, σκληρά και μαλακά αφρώδη υλικά και υλικά σαν ελαστικό κόμμι.
SI	SI Σιλικόνες		Εξαιρετικού αντοχής σε θερμοκρασίες, υγρασία, στερεά ειδικά προϊόντα αδιάβροχα κλπ.	Ρητίνες σιλικόνης, λακ καμινάδων, καουτσούκ σιλικόνης, ηλεκτρικής μονώσεως, στεγανώσεις αρμών. Άλατα σιλικόνης, προστατευτικά τοίχων από την υγρασία.

1. Ελαστομερή είναι μερικά PUR και SI προϊόντα καθώς και βουλκανισμένα συνθετικά καουτσούκ, όπως το πολυχλωροπρένιο (CR), νιτρίλια του καουτσούκ (NBR), πολυσουλφίδια του καουτσούκ.
2. Δεν παρουσιάζονται ονόματα πρώτων υλών για φαινοπλάστες και αμινοπλάστες επειδή αυτά κυκλοφορούν υπό τεχνικές ονομασίες (τυπικές). Ιστορικές γνωστές ονομασίες είναι : οι βακελίτες ειδικώς για PF προϊόντα, το Pollopas για UF πρεσσαριστές μάζες, Μείοpas, Resorai , Ultrapas για MF προϊόντα.

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

Table 1.1 Mechanical properties of polymers						
Polymer	Tensile strength (MPa)	Flexural modulus/ (modulus of elasticity) (GPa)	Elongation at break (%)	Strain at yield (%)	Notched Izod impact strength (kJ/m)	Surface hardness
Carbon/hydrogen-containing polymers						
Low-density polyethylene (LDPE)	10	0.25	400	19	1.064	SD 48
High-density polyethylene (HDPE)	32	1.25	150	15	0.15	SD 68
Crosslinked polyethylene (PE)	18	0.5	350	N/Y	1.064	SD 58
Polypropylene (PP)	26	2	80	N/Y	0.05	RR 85
Ethylene-propylene	26	0.6	500	N/Y	0.15	RR 75
Polymethyl pentene	28	1.5	15	6	0.04	RR 70
Styrene-butadiene	28	1.6	50	N/Y	0.08	SD 75
Styrene-ethylene-butylene-styrene	6	0.02	800	N/Y	1.064	SA 45
High-impact polystyrene (PS)	42	2.1	2.5	1.8	0.1	RM 30
PS, general purpose	34	3	1.6			RM 80
Oxygen-containing polymers						
Epoxies, general purpose	600	80	1.3	N/A	0.5	RM 113
Acetal (polyoxymethylene)	50	27	20	8	0.10	RM 109
Polyesters (bisphenol), polyester laminate (glass filled)	280	16	1,5	N/A	1.064	RM 125
Polyester (electrical grade)	40	9	2	N/A	0.4	RM 125
Polybutylene phthalate	52	2.1	250	4	0.06	RM 70
Polyethylene terephthalate (PET)	55	2.3	300	3.5	0,02	RM 30
Polyether ether ketone (PEEK)	92	3.7	50	4.3	0,083	RM 99
Diallylphthalate	82	11.3	0.9	N/A	0.37	RM 112
Diallyl phthalate	70	10.6	0.9	N/A	0.41	RM 112
Alkyd resin glass fibre, reinforced	72	8.6	0.8	N/A	0.24	RM 125
Polyarylates	68	2.2	50	8.8	0.29	RR 125
Polycarbonate (PC)	50	2.1	200	3.5	0.05	RM 70
Polyphenylene oxide	65	2.5	60	4.5	0.16	RR 119
Phenol-formaldehyde	45	6.5	1.2	N/A	0.024	RM 114
Styrene-maleic anhydride	52	3	1.8	2	0.03	RL 105
Cellulose acetate	30	1.7	60	4	0.26	RR 71
Cellulose propionate	35	1.76	60	4	0.13	RR 94
Cellulose acetate butyrate acrylics	70	2.9	2.5	N/A	0.02	RM 92
Ethylene vinyl acetate	17	0.02	750	N/A	1.064	SA 85

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

Nitrogen-containing polymers						
Polyamide (PA) 6	40	1	60	4.5	0.25	SD 75
PA 4,6	100	1	30	11	0.1	SD 85
PA 11	52	0.9	320	20	0.05	RR 105
PA 6,9	50	1.4	15	10	0.06	SD 78
PA 12	50	1.4	200	6	0.06	RR 105
PA 6,6	59	1.2	60	4.5	0.11	RR 90
PA 6, 12	51	1.4	300	7	0.04	RR 105
Nylon/acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) alloy	47	2.14	270	6	0.85	RR 99
PA-imide	185	4.58	12	8	0.13	RM 109
Polyimide	72	2.45	8	4	0.08	RM 100
Polyetherimide	105	3.3	60	8	0.1	RM 109
Polyurethane (PU) thermoplastic elastomer	24	0.003	700	N/Y	1.064	SA 70
Ether ester amide elastomer	57	10	0.6	N/A	0.02	RM 115
Urea formaldehyde						
Styrene acrylonitrile	72	3.6	2.4	3.5	0.02	RM 80
ABS	34	2.1	6	2	0.18	RR 96
Acrylate-styrene-acrylonitrile	35	2,5	10	3.3	0.1	RR 106
Fluorine-containing polymers						
Polytetrafluoroethylene	25	0.70	400	70	0.16	RM 69
Poyvinylfluoride	40	1.4	150	30	0.18	SD 80
Polyvinylidene fluoride	100	5.5	6	N/A	0.12	SD 90
Perfluoroalkoxyethylene	29	0.7	300	85	1.064	SD 60
Ethylene tetrafluoro ethylene	28	1.4	150	15	1.064	RR 50
Ethylene chlorotrifluoro ethylene	30	1.7	200	5	1.064	RR 93
Fluorinated ethylene propylene	14	0.6	150	6	1.064	RR 45
Chlorine-containing polymers						
Chlorinated poly(vinyl chloride) PVC	58	3.1	30	5	0.06	SA 70
Unplasticised PVC (UPVC)	51	3	60	3.5	0.08	RR 110
Plasticised PVC	14-20	0.007-0.03	280-95	N/Y	1.05+	SA 85
Sulfur-containing polymers						
Polyphenylene sulfide	91	13.8	0.6	N/A	0.6	RR121
Polysulfone	70	2.65	80	5.5	0.07	RM69
Polyethersulfone	84	2.6	60	6.6	0.084	RM 85
Silicon-containing polymers						
Silicones	28	3.5	2	N/A	0.02	RM 80
<p>*These are typical room-temperature values of Notched Izod impact strength. A material that does not break in the Izod test is given a value of 1.06 + kJ/m; the + indicates that it has a higher impact energy than the test can generate. N/A = if material is brittle and does not exhibit yield point N/Y = if material is ductile and does not exhibit yield point RM = Rockwell M 123 hardness (hard) RR = Rockwell R 112 hardness SA 65 = Shore A 65 hardness (soft) SD 75 = Shore D75 hardness</p>						

Table 1.3 Identification of polymers with outstanding tensile strength and flexural modulus

Polymer	Tensile strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)	Elongation at break (%)	Strain at yield (%)	Notched Izod (kJ/m)	Excellent or good performance in the following	Poor performance in the following
Epoxies, general purpose	600	80	13	Not applicable (N/A)	0.5	Tensile strength, flexural modulus, detergent resistance, resistance to gamma radiation, heat distortion temperature (HDT), wear properties, low resin shrinkage during cure	Poor surface finish, high cost, elongation at break and volume resistivity
Polycesters (bisphenol polyester laminate) glass filled	280	16	1.5	N/A	1.06 +	Impact strength and cheap when compared with epoxies	Heat resistance, solvent resistance, elongational at break
Polyester, sheet moulding compound	70	11	2.5	N/A	0.8	High flexural modulus, heat distortion temperature (HDT), resistance to UV and gamma irradiation, toughness	More expensive than polyesters. Dielectric constant, dielectric strength, flame spread, hydrolytic stability, elongation stability, HDT
PA 4,6	100	1	30	11	0.1	Reasonable HDT, good chemical resistance	Moisture absorption
Polyvinylidene fluoride (20% carbon fibre-reinforced)	100	5.5	6	N/A	0.12	Tensile strength, flexural modulus, HDT, detergent resistance, hydrolytic stability	Elongation at break, expensive, gamma irradiation resistance, dielectric properties, surface finish, toughness

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

Polyetherimide	105	3.3	60	8	0.10	Tensile strength, cost, oxygen index, detergent resistance, gamma irradiation and UV resistance	Stress cracking with chlorinated solvents, notched impact strength, high cost, tracking, resistance, flexural modulus, toughness
Polyphenylene sulfide (glass fibre-reinforced)	91	13.8	0.6	N/A	0.031	Flexural strength, flexural modulus	Electrical properties, notched Izod
Diallyl iso-phthalate (long glass fibre-reinforced)	82	11.3	0.9	N/A	0.37	Tensile strength, flexural modulus, notched Izod, detergent resistance, HDT, tracking resistance, UV radiation	Volume resistance, dielectric strength, dissipation factor, flammability, hydrolytic stability, high cost, elongation at break
Diallyl phthalate	70	10.6	0.9		0.41	Tensile strength, flexural modulus, notched Izod, detergent resistance, HDT, tracking resistance, UV radiation	Volume resistance, dielectric strength, dissipation factor, flammability, hydrolytic stability, high cost, elongation at break
Polysulfone	70	2.65	80	5.5	0.07	High temperature performance, electrical properties, hydrolytic resistance, tensile strength, dimensional stability	Surface finish
Polyacrylates	68	2.2	50	15	1.06 +	Impact strength, heat resistance and UV resistance	Stress cracking with hydrocarbons, needs 350 °C processing temperature.

Source: Author's own files

Table 1.5 Identification of polymers with outstanding elongation at break

Polymer	Tensile strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)	Elongation at break (%)	Strain at yield (%)	Notched Izod (kJ/m)	Excellent or very good performance	Poor performance
Low-density polyethylene	10	0.25	400	19	1.06 +	Elongation at break, chemical resistance, electrical properties, cost, toughness	Tensile strength, stiffness, flammable, UV resistance, environmental stress cracking
Styrene-ethylene-butylene-styrene	6	0.02	800	No yield (NY)	1.06 +	Elongation at break, low-temperature properties, electrical properties, toughness	Abrasion resistance, tensile strength, flame spread, flexural modulus
Polyethylene terephthalate	55	2.3	300	3.5	0.02	Elongation at break, stiffness, detergent resistance, electrical properties, elongation at break	Limited hydrolysis resistance, high mould shrinkage
Ethylene-vinyl acetate (2.5% vinyl acetate)	17	0.02	750	NY	1.06 +	Elongation at break, cost, strain at yield, toughness	Tensile strength, chemical resistance, dissipation factor, flammability, heat distortion temperature, flexural modulus
Polyurethane (thermo-plastic elastomer)	24	0.003	700	NY	1.06 +	Elongation at break, low temperature characteristics, detergent resistance, fatigue index, strain at yield, toughness	Tensile strength, flexural modulus

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

Polyamide 12	50	1.4	200	6	0.06	Elongation at break, low water absorption, toughness, dielectric strength	High cost, strength and heat resistance
Polyamide 6,12	51	1.4	300	7	0.04	Low water absorption, detergent resistance, elongation at break,	Low heat distortion temperature, dissipation factor, flammability, flexural modulus
Polyamide 11	52	0.9	320	20	0.05	Elongation at break, impact strength, heat resistance, fatigue index, toughness	Cost, impact strength
Polyamide 6,9	50	1.4	-	-	-	-	-
Source: Author's own files							

Όνομα (IUPAC)	Χημικός τύπος	Κοινό όνομα
πολυ(μεθυλένιο)	$-(CH_2CH_2)_n-$	πολυαιθυλένιο
πολυ(προπυλένιο)	$-(\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-CH_2)_n-$	πολυπροπυλένιο
πολυ(1,1 διμεθυλοαιθυλένιο)	$-(\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-CH_2)_n-$	πολυισοβουτυλένιο
πολυ(1-μεθυλο-1 βουτένιο)	$-(\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=CHCH_2CH_2)_n-$	πολυισοπρένιο
πολυ(1-βουτένιο)	$-(CH=CHCH_2CH_2)_n-$	πολυβουταδιένιο
πολυ(1-φαινυλοαιθυλένιο)	$-(\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-CH_2)_n-$	πολυστυρόλιο ή πολυστυρένιο
πολυ(1-κυανοαιθυλένιο)	$-(\underset{\text{CN}}{\text{CH}}-CH_2)_n-$	πολυακρυλονιτρίλιο
πολυ(1-υδροξυαιθυλένιο)	$-(\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-CH_2)_n-$	πολυ(βινυλική αλκοόλη)
πολυ(1-χλωροαιθυλένιο)	$-(\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-CH_2)_n-$	πολυ(βινυλο χλωρίδιο) (PVC)
πολυ(1-ακετοξυαιθυλένιο)	$-(\underset{\text{OOCCH}_3}{\text{CH}}-CH_2)_n-$	πολυ(οξικός βινυλεστέρας)
πολυ(1,1 διφθοροαιθυλένιο)	$-(\underset{\text{F}}{\overset{\text{F}}{\text{C}}}-CH_2)_n-$	πολυ(βινυλιδενο φθορίδιο)

POLYMERS FOR MACHINE ELEMENTS CONSTRUCTION

πολυ(1-(μεθοξυκαρβονυλο) αιθυλένιο)	$\text{---}(\text{CH}-\text{CH}_2)_n\text{---}$ $\begin{array}{c} \\ \text{COOCH}_3 \end{array}$	πολυ(ακρυλικός μεθυλεστέρας)
πολυ(1-(μεθοξυκαρβονυλο)-1 μεθυλοαιθυλένιο)	$\text{---}(\text{C}-\text{CH}_2)_n\text{---}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{COOCH}_3 \end{array}$	πολυ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας) (Plexiglas)
πολυ(οξομεθυλένιο)	$\text{---}(\text{OCH}_2)_n\text{---}$	πολυφορμαλδεΐδη
πολυ(οξοαιθυλένιο)	$\text{---}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{---}$	πολυαιθυλενοξείδιο
πολυ(οξοφαινυλένιο)	$\text{---}(\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4)_n\text{---}$	πολυφαινυλενοξείδιο
πολυ(οξοαιθυλενο οξοτερεφθαλοΐλιο)	$\text{---}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO})_n\text{---}$	πολυ (τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας)
πολυ(ιμινο εξαμεθυλενο ιμινο αδιποΐλιο)	$\text{---}(\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CO})_n\text{---}$	πολυ(εξαμεθυλενο-αδιπαμίδιο)
πολυ(διφθορομεθυλένιο)	$\text{---}(\text{C}-\text{C})_n\text{---}$ $\begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} \\ & \\ \text{---} & \text{---} \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array}$	πολυ(τετραφθορο αιθυλένιο) (Teflon)
πολυ((2-προπυλο-1,3-διοξάνιο-4,6-δίουλο)-μεθυλένιο)	$\text{---}(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2-\text{CH}_2)_n\text{---}$ $\begin{array}{c} \text{C}_3\text{H}_7 \\ \end{array}$	πολυ(βινυλο βουτυράλη)

Παναγιώτου Κ. Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών, Εκδόσεις Πήγασος 2000, Θεσσαλονίκη, 1996.