



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΜΕ ΤΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ (Design with polymers)



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή: Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τμήμα: Μηχανολόγων Μηχανικών  
Επιβλέπων Καθηγητής: Σαββάκης Κώστας  
Σπουδαστής: Βρυσανάκης Κών/νος

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο ΤΕΙ ηρακλείου, σχολής τεχνολογικών εφαρμογών και τμήμα μηχανολόγων μηχανικών. Ο στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη ως προς τον σχεδιασμό με πλαστικά. Με λίγα λόγια θα ασχοληθούμε με τις κατηγορίες των πλαστικών, τις ιδιότητές τους, αρχές σχεδιασμού, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τη δομή τους και τέλος τον τρόπο σύνδεσής τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Κώστα Σαββάκη για την συμβολή του στην επιτυχημένη ολοκλήρωση της εργασίας. Τον ευχαριστώ επίσης για τον υλικό που μου προσέφερε, τις συμβουλές του καθώς και τις ώρες που αφιέρωσε για μένα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την συμπαράστασή τους.

# Πίνακας περιεχομένων

.....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
Πίνακας περιεχομένων .....	3
Πίνακας περιεχομένων σχημάτων: .....	6
Πίνακας περιεχομένων πινάκων:.....	11
Εισαγωγή: .....	12
1) Κυριότερες κατηγορίες των πλαστικών: .....	13
1.1) Θερμοπλαστικά:.....	14
1.2) Θερμοσκληραινόμενα: .....	15
1.3) Κρυσταλλικά, Άμορφα και Υγρο-κρυσταλλικά: .....	16
1.4) Συμπολυμερή:.....	17
1.5) Μείγματα (Κράματα):.....	18
1.6) Ελαστομερή: .....	19
1.7) Πρόσθετα, Ενισχυτικά και Πληρωτικά:.....	20
2) Φυσικές ιδιότητες των πλαστικών: .....	21
2.1) Πυκνότητα: .....	21
2.2) Ειδικό βάρος: .....	21
2.3) Απορροφητικότητα νερού - υγρασίας: .....	21
2.4) Συρρίκνωση καλουπιού: .....	21
2.5) Διαφάνεια / αδιαφάνεια: .....	22
2.6) Ελαστικότητα:.....	23
2.7) Πλαστικότητα: .....	23
2.8) Ολκιμότητα:.....	24
2.9) Σκληρότητα: .....	24
2.10) Ευθραυστότητα:.....	25
2.11) Ευαισθησία εγκοπής:.....	25
2.12) Ολισθηρότητα: .....	26
2.13) Ομοιογένεια:.....	26
2.14) Ανομοιογένεια: .....	27
2.15) Ισοτροπία – Ανισοτροπία:.....	27
2.16) Σπουδαιότητα ελαστικότητας, ομοιογένειας και ισοτροπίας: .....	27
3) Μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών:.....	28
3.1) Τάση:.....	28
3.1.1) Ορθές τάσεις:.....	28
3.1.2) Διαμητικές τάσεις: .....	29

3.2)	Εφελκυσμός: .....	29
3.3)	Μέτρο ελαστικότητας: .....	30
3.4)	Κάμψη: .....	31
3.5)	Ερπυσμός: .....	31
3.6)	Αντοχή σε κρούση:.....	32
4)	Θερμικές ιδιότητες των πλαστικών: .....	32
4.1)	Σημείο τήξης:.....	32
4.2)	Σημείο υάλου: .....	33
4.3)	Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής: .....	34
4.4)	Θερμική αγωγιμότητα:.....	34
4.5)	Γήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες: .....	34
4.6)	Ευφλεκτότητα: .....	34
4.7)	Επίδραση της θερμοκρασίας στις μηχανικές ιδιότητες: .....	35
5)	Ηλεκτρικές ιδιότητες των πλαστικών: .....	36
5.1)	Αγωγιμότητα σε στερεά: .....	36
5.2)	Εδική αντίσταση όγκου: .....	37
5.3)	Ειδική αντίσταση επιφάνειας:.....	37
5.4)	Διηλεκτρική δύναμη:.....	38
5.5)	Διηλεκτρική σταθερά: .....	38
5.6)	Συντελεστής μετατροπής: .....	39
5.7)	Αντίσταση τόξου:.....	39
5.8)	Συγκριτικός δείκτης ανίχνευσης: .....	40
6)	Βασικές αρχές σχεδιασμού:.....	40
6.1)	Σταθερότητα διαστάσεων:.....	40
6.1.1)	Συρρίκνωση καλουπιού: .....	40
6.1.2)	Θερμική διαστολή:.....	41
6.1.3)	Απορροφητικότητα υγρασίας: .....	41
6.2)	Δευτερεύουσες επιπτώσεις:.....	43
6.3)	Συρρίκνωση: .....	43
6.3.1)	Ισοτροπική και ανισοτροπική συρρίκνωση: .....	44
6.4)	Πάχος τοιχωμάτων:.....	45
6.5)	Στρέβλωση:.....	49
6.5.1)	Επιρροή των απλήρωτων και πληρωμένων υλικών:.....	49
6.5.2)	Επιρροή της ψύξης: .....	50
6.5.3)	Επιρροή του πάχους των τοιχωμάτων: .....	50
6.5.4)	Επιρροή της ασύμμετρης γεωμετρίας:.....	51
6.6)	Ραβδώσεις και προφίλ δομής: .....	51

6.6.1	Στερεές πλάκες συγκριτικά με πλάκες με ραβδώσεις ως προς το βάρος και την ακαμψία: .....	51
6.7)	Υποστηρίγματα ενίσχυσης ή υποστηρικτικές ραβδώσεις: .....	54
6.8)	Εξέχων Όγκος:.....	55
6.9)	Οπές: .....	58
6.9.1)	Τυφλές οπές:.....	58
6.9.2)	Διαμπερείς οπές:.....	58
6.10)	Ακτίνα και γωνία:.....	60
6.11)	Ανοχές:.....	65
6.12)	Πυρηνόληψη: .....	66
6.13)	Εγκοπές: .....	66
7)	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα πλαστικά: .....	69
7.1)	Παράγοντες που επηρεάζουν την περιβαλλοντική αντοχή:.....	69
7.1.1)	Επίπεδο τάσεων: .....	69
7.1.2)	Θερμοκρασία:.....	69
7.1.3)	Έκθεση:.....	70
7.2)	Χημική συμβατότητα: .....	70
7.2.1)	Αντίδραση: .....	70
7.2.2)	Διάλυση:.....	70
7.2.3)	Πλαστικοποίηση:.....	70
7.2.4)	Ρηγμάτωση περιβαλλοντικών τάσεων:.....	70
7.3)	Αντίσταση στις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών: .....	75
8)	Ανάλυση δομής:.....	77
8.1)	Εισαγωγή: .....	77
8.2)	Καθορισμός δομής:.....	78
8.2.1)	Φορτία: .....	78
8.2.2)	Συνθήκες στήριξης: .....	80
8.2.3)	Απλοποίηση και υποθέσεις:.....	82
8.3)	Συντελεστές ασφαλείας:.....	82
8.3.1)	Θεωρία αστοχίας:.....	83
8.3.2)	Τάσεις κάμψης δοκών:.....	84
8.3.3)	Διατμητικές τάσεις στρέψης: .....	85
8.3.4)	Διατμητικές τάσεις, ευθεία διάτμηση: .....	87
8.4)	Δοχεία πίεσης: .....	89
8.5)	Πίεση – Προσαρμογή:.....	91
8.6)	Δύναμη σπειρώματος: .....	93
8.7)	Σωληνωτοί κοχλίες:.....	95
8.8)	Κρουστικά φορτία:.....	97

8.9) Θερμικές τάσεις:.....	99
9) Σύνδεση πλαστικών τμημάτων κατασκευής: .....	103
9.1) Γενικοί τύποι συστημάτων συναρμολόγησης: .....	103
9.1.1) Συστήματα συναρμολόγησης χύτευσης:.....	104
9.1.1.1) Κουμπωτή συναρμολόγηση:.....	104
9.1.1.2) Χυτευτά σπειρώματα: .....	108
9.1.1.3) Πίεση – εφαρμογή:.....	109
9.1.2) Συστήματα χημικής σύνδεσης:.....	110
9.1.2.1) Συγκόλληση με διαλύτες: .....	110
9.1.2.2) Ένωση με κολλητικές ουσίες: .....	112
9.1.3) Μέθοδοι θερμικής συγκόλλησης: .....	113
9.1.3.2) Συγκόλληση τριβής: .....	117
9.1.3.3) Περιστροφική συγκόλληση:.....	118
9.1.3.4) Συγκόλληση ραδιοσυχνοτήτων (RF):.....	119
9.1.3.5) Ηλεκτρομαγνητική ή επαγωγική συγκόλληση: .....	119
9.1.4) Συναρμολόγηση με συνδέσμους:.....	123
9.1.4.1) Βιδωτή συναρμολόγηση: .....	123
9.1.4.2) Ένθετα μεταλλικών σπειρωμάτων: .....	123
9.1.4.3) Κοχλίες δημιουργίας σπειρωμάτων: .....	125
9.1.4.4) Πριτσινωτή συναρμολόγηση: .....	126
9.1.4.5) Έλασμα μεταλλικού περικοχλίου: .....	127
9.1.4.6) Πλαστικοί σύνδεσμοι ειδικότητας: .....	128
Abstract:.....	128
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: .....	129

### Πίνακας περιεχομένων σχημάτων:

Εικόνα 1: Στάδια παραγωγής ενός εξαρτήματος/προϊόντος.....	8
Εικόνα 1.1: Είδη των πλαστικών.....	9
Εικόνα 1.1.1: Οι μοριακές αλυσίδες των θερμοπλαστικών.....	10
Εικόνα 1.2.1: Οι μοριακές αλυσίδες των θερμοσκληρυνόμενων πλαστικών.....	11
Εικόνα 1.3.1: Δεσμοί των πολυμερικών αλυσίδων.....	13
Εικόνα 1.4.1: Επαναλαμβανόμενες μονάδες των συμπολυμερών.....	14
Εικόνα 1.5.1: Γνωστά αντικείμενα τα οποία αποτελούνται από πλαστικά κράματα.....	15

Εικόνα 1.6.1: Διαφορά ανάμεσα στα θερμοπλαστικά ελαστομερή και στα θερμοκλυρηγόμενα ελαστομερή.....	16
Εικόνα 2.4.1: Συρρίκνωση του εξαρτήματος.....	18
Εικόνα 2.5.1: Διαφάνεια ενός υλικού από ίνες υάλου.....	18
Εικόνα 2.6.1: Ελαστικότητα ενός υλικού.....	19
Εικόνα 2.7.1: Πλαστικότητα ενός υλικού.....	19
Εικόνα 2.8.1: Ολκιμότητα ενός υλικού σε διάφορα στάδια δοκιμής.....	20
Εικόνα 2.9.1: Περιοχή κάτω από την καμπύλη τάσης/παραμόρφωσης.....	21
Εικόνα 2.10.1: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης των εύθραυστών υλικών.....	21
Εικόνα 2.11.1: Δημιουργία εγκοπής από μια ήδη υπάρχουσα ρωγμή.....	22
Εικόνα 2.13.1: Ομοιογένεια ενός υλικού.....	23
Εικόνα 3.1.1.1: Δρθές τάσεις που αναπτύσσονται.....	24
Εικόνα 3.1.2.1: Διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται.....	25
Εικόνα 3.2.1: Εφελκυσμός της ράβδου.....	26
Εικόνα 3.3.1: Μέτρο ελαστικότητας.....	27
Εικόνα 3.4.1: Κάμψη ενός υλικού.....	27
Εικόνα 3.5.1: Διάγραμμα ερπυσμού ενός υλικού.....	28
Εικόνα 4.1.1: Συσκευή που δείχνει το σημείο χαλάρωσης.....	29
Εικόνα 4.2.1: Διάγραμμα με το σημείο υάλου.....	30
Εικόνα 4.7.1: Επίδραση της θερμοκρασίας ή του ποσοστού παραμόρφωσης στις καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης.....	31
Εικόνα 4.7.2: Επίδραση της θερμοκρασίας στη επιμήκυνση.....	31
Εικόνα 4.7.3: Συμπεριφορά των άμορφων και κρυσταλλικών ρητινών όταν επιδρά υψηλή θερμοκρασία.....	32
Εικόνα 5.1.1: Ελεύθερα ηλεκτρόνια στη μεταλλική δομή.....	33
Εικόνα 5.2.1: Έλεγχει όπου χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της αντίστασης διαμέσου του όγκου ενός υλικού.....	33
Εικόνα 5.3.1: Έλεγχος της ειδικής αντίστασης επιφάνειας.....	34
Εικόνα 5.4.1: Τυπικός έλεγχος για τον υπολογισμό της διηλεκτρικής δύναμης.....	34
Εικόνα 5.7.1: Έλεγχος αντίστασης τόξου.....	36
Εικόνα 6.1.3.1: Ποσοστό της απορροφητικότητας της υγρασίας σε διάφορα πολυμερή.....	38

Εικόνα 6.3.1:	Διεύθυνση ροής και μέγεθος της συρρίκνωσης.....	40
Εικόνα 6.4.1:	Διάγραμμα με τις καμπύλες ροής κάποιων υλικών.....	41
Εικόνα 6.4.2:	Βαθμιαία μετάβαση.....	42
Εικόνα 6.4.3:	Κενά που μπορούν να παρουσιαστούν λόγο μεγάλου πάχους τοιχωμάτων....	43
Εικόνα 6.4.4:	Σημάδια βύθισης που μπορούν να παρουσιαστούν λόγο μεγάλου πάχους τοιχωμάτων.....	43
Εικόνα 6.4.5:	Επιρροή των ραβδώσεων στη διεύθυνση ροής.....	44
Εικόνα 6.4.6:	Ομοιομορφία στα τοιχώματα.....	44
Εικόνα 6.5.1:	Στρέβλωση μεταξύ υλικού ενισχυμένων ινών και μη ενισχυμένου υλικού.....	45
Εικόνα 6.5.2.1:	Στρέβλωση δύο εξαρτημάτων λόγο ψύξης.....	46
Εικόνα 6.5.3.1:	Επιρροή του πάχους των τοιχωμάτων στη στρέβλωση.....	46
Εικόνα 6.5.4.1:	Στρέβλωση λόγο ασύμμετρης γεωμετρίας.....	47
Εικόνα 6.6.1.1:	Διαστάσεις των ραβδώσεων.....	48
Εικόνα 6.6.1.2:	Τρόποι τοποθέτησης των ραβδώσεων.....	49
Εικόνα 6.6.1.3:	Αυλακώσεις.....	49
Εικόνα 6.6.1.4:	Στρεπτική ακαμψία και αντίσταση σε στρεπτικές τάσεις με βάση τον τρόπο τοποθέτησης των ραβδώσεων.....	50
Εικόνα 6.7.1:	Υποστηρίγματα και κάποιες σχεδιαστικές τους αρχές.....	50
Εικόνα 6.7.2:	Τρόπος υπολογισμού των υποστηριγμάτων.....	51
Εικόνα 6.8.1:	Τρόπος τοποθέτησης του εξέχων όγκου.....	52
Εικόνα 6.8.2:	Σωστός σχεδιασμός των εξέχων όγκων.....	53
Εικόνα 6.8.3:	Αποστάσεις των εξέχων όγκων.....	53
Εικόνα 6.9.1:	Τυφλές οπές.....	54
Εικόνα 6.9.2:	Διαμπερείς οπές.....	54
Εικόνα 6.9.3:	Αποστάσεις των οπών.....	55
Εικόνα 6.9.4:	Σχεδιασμός των τυφλών οπών.....	55
Εικόνα 6.10.1:	Καμπυλότητα στο σχεδιασμό.....	56
Εικόνα 6.10.2:	Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με καμπυλότητα σε αξονικά φορτία.....	57
Εικόνα 6.10.3:	Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με καμπυλότητα σε καμπικά φορτία.....	57



Εικόνα 6.10.4: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με οπή στο κέντρο σε ακτινικά φορτία.....	58
Εικόνα 6.10.5: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με οπή στο κέντρο σε καμπτικά φορτία.....	58
Εικόνα 6.10.6: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με καμπτικά φορτία.....	59
Εικόνα 6.10.7: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με στρεπτικά φορτία.....	59
Εικόνα 6.10.8: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με αυλάκι σε καμπτικά φορτία.....	60
Εικόνα 6.10.9: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με αυλάκι σε στρεπτικά φορτία.....	60
Εικόνα 6.10.10: Αποτέλεσμα της διαφοράς ψύξης στο εξωτερικό και εσωτερικό της γωνίας....	61
Εικόνα 6.12.1: Δύο κατασκευές όπου η Β κοστίζει 60% λιγότερο από την Α.....	62
Εικόνα 6.13.1: Εγκοπές οι οποίες μειώνουν το αρχικό κόστος και επίσης διατηρούν το κόστος κατά τη διάρκεια της παραγωγής.....	63
Εικόνα 6.13.2: Παράδειγμα ολισθαίνων εξωλκέων.....	63
Εικόνα 6.13.3: Διαχωριστικές γραμμές.....	64
Εικόνα 6.13.4: Διάγραμμα γωνιών κλίσης.....	65
Εικόνα 7.3.1: Τρόπος έκθεσης σε εξωτερικό χώρο.....	72
Εικόνα 7.3.2: Ερμάριο έκθεσης.....	72
Εικόνα 7.3.3: Ερμάριο έκθεσης.....	73
Εικόνα 8.2.1: Παράδειγμα άμεσου εφαρμοζόμενου φορτίου.....	74
Εικόνα 8.2.2: Συνηθισμένα παραδείγματα.....	75
Εικόνα 8.2.2.1: Ελεύθερη στήριξη.....	76
Εικόνα 8.2.2.2: Καθοδηγούμενη στήριξη.....	76
Εικόνα 8.2.2.3: Κύλιση.....	77
Εικόνα 8.2.2.4: Άρθρωση.....	77
Εικόνα 8.2.2.5: Πάκτωση.....	77
Εικόνα 8.3.1.1: Ισότητες ανάλογα με το σχήμα του εξαρτήματος.....	79
Εικόνα 8.3.1.2: Ισότητες μέγιστων τάσεων και αποκλίσεων για δοκούς.....	80
Εικόνα 8.3.3.1: Άξονας που υποβάλλεται σε ροπή.....	82
Εικόνα 8.3.3.2: Πολικές στιγμές αδράνειας.....	83
Εικόνα 8.3.4.1: Συναρμολόγηση με σφικτήρα.....	84
Εικόνα 8.3.4.2: Συναρμολόγηση με πασσάλους.....	85

Εικόνα 8.4.1:	Δοχείο πίεσης με λεπτό τοίχωμα.....	86
Εικόνα 8.4.2:	Δοχείο πίεσης με πυκνό τοίχωμα.....	86
Εικόνα 8.5.1:	Δύο τυπικές καταστάσεις τάσεων στεφάνης.....	88
Εικόνα 8.6.1:	Κοχλίες με τις δυνάμεις που ασκούνται.....	89
Εικόνα 8.6.2:	Αυτοκοχλιούμενοι κοχλίες.....	91
Εικόνα 8.7.1:	Σχεδιασμός σωληνωτών κοχλιών.....	93
Εικόνα 8.7.2:	Σωληνωτός κοχλίας.....	93
Εικόνα 8.8.1:	Μέθοδος υπολογισμού κρουστικής τάσης και κρουστικής απόκλισης στη περίπτωση πτώσης μιας μάζας.....	94
Εικόνα 8.9.1:	Εξισώσεις θερμικής διαστολής για διάφορες συνθήκες.....	97
Εικόνα 8.9.2:	Τυπικές συναρμολογήσεις όπου η θερμική διαστολή μπορεί να είναι πρόβλημα.....	98
Εικόνα 9.1.1.1.1:	Σχεδιασμός κουμπώματος για δοκό ορθογώνιας διατομής.....	102
Εικόνα 9.1.1.1.2:	Τρόπος κατεργασίας για κουμπωτά δάκτυλα.....	103
Εικόνα 9.1.1.1.3:	Εναλλακτικοί τρόποι κουμπώματος.....	104
Εικόνα 9.1.1.2.1:	Πλαστικά χυτευτά σπειρώματα.....	105
Εικόνα 9.1.1.3.1:	Εναλλακτικός σχεδιασμός πίεσης – εφαρμογής για μεταλλικό πείρο σε πλαστική πλήμνη.....	106
Εικόνα 9.1.2.1.1:	Συγκόλληση με διαλύτες.....	107
Εικόνα 9.1.2.1.2:	Συγκόλληση με διαλύτες.....	107
Εικόνα 9.1.2.2.1:	Τυπική σχεδιασμοί ένωσης.....	109
Εικόνα 9.1.3.1.1:	Εξοπλισμός υπερηχητικής μεθόδου συγκόλλησης.....	110
Εικόνα 9.1.3.1.2:	Ένωση για άμορφα υλικά.....	111
Εικόνα 9.1.3.1.3:	Ένωση για άμορφα υλικά.....	112
Εικόνα 9.1.3.1.4:	Εφαρμογές της υπερηχητικής μεθόδου.....	113
Εικόνα 9.1.3.2.1:	Τυπικές ενώσεις με συγκόλληση τριβής.....	114
Εικόνα 9.1.3.3.1:	Περιστροφική συγκόλληση.....	114
Εικόνα 9.1.3.4.1:	Συγκόλληση με ραδιοσυχνότητες.....	115
Εικόνα 9.1.3.5.1:	Διαδικασία της ηλεκτρομαγνητικής ή επαγωγικής συγκόλλησης.....	116
Εικόνα 9.1.3.5.2:	Πέντε βασικοί σχεδιασμοί ένωσης επαγωγικής συγκόλλησης.....	118
Εικόνα 9.1.4.1.1:	Φτωχοί σχεδιασμοί και οι λύσεις τους.....	119

Εικόνα 9.1.4.2.1:	Τύποι ενθέτων με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.....	120
Εικόνα 9.1.4.3.1:	Τυπικοί κοχλίες για πλαστικά.....	122
Εικόνα 9.1.4.4.1:	Πριτσίνια.....	123
Εικόνα 9.1.4.5.1:	Τυπική κάλυψη εξέχων όγκου.....	123
Εικόνα 9.1.4.5.2:	Τυπική συναρμολόγηση πίεσης περικοχλίου.....	124
Εικόνα 9.1.4.6.1:	Πλαστικοί σύνδεσμοι ειδικότητας.....	124

### Πίνακας περιεχομένων πινάκων:

Πίνακας 1.3.1:	Παραδείγματα των κρυσταλλικών και άμορφων θερμοπλαστικών.....	16
Πίνακας 1.3.2:	Γενικεύονται οι σχετικές ιδιότητες των πολυμερών.....	17
Πίνακας 1.7.1:	Πλαστικά πληρωτικά, ενισχυτικές ίνες και προσθετικά.....	20
Πίνακας 5.5.1:	Διηλεκτρικές σταθερές για διάφορα θερμοπλαστικά σε θερμοκρασία δωματίου.....	38
Πίνακας 5.6.1:	Συντελεστές μετατροπής για διάφορα θερμοπλαστικά σε θερμοκρασία δωματίου.....	39
Πίνακας 6.1.1.1:	Μέγιστες και ελάχιστες τιμές συρρίκνωσης για διάφορα θερμοπλαστικά.....	41
Πίνακας 6.1.3.1:	Εξηγούνται τα πολυμερή που αναγράφονται στην εικόνα 6.1.3.1.....	43
Πίνακας 6.11.1:	Σημαντικά χαρακτηριστικά των τάξεων των ανοχών.....	41
Πίνακας 6.11.2:	Παρέχεται μια περίληψη των παραγόντων οι οποίοι έχουν σημαντικό ρόλο στη καθιέρωση της ακρίβειας των διαστάσεων.....	66
Πίνακας 7.2.4.1:	Αντίσταση σε χημικά συνηθισμένων θερμοπλαστικών υλικών.....	75
Πίνακας 8.3.1:	Σχεδιασμός αντοχής για προπαρασκευαστικό σχεδιασμό εξαρτήματος.....	82
Πίνακας 8.9.1:	Τιμές συντελεστών γραμμικής θερμικής διαστολής για διάφορα υλικά.....	99

## Εισαγωγή:

Η βάση για κάθε επιτυχημένη ανάπτυξη ενός προϊόντος είναι η σωστή επιλογή του υλικού, η διαδικασία παραγωγής, και ο σχεδιασμός του υλικού ο οποίος συνδυάζεται με την ανταπόκριση στις απαιτήσεις εφαρμογής του προϊόντος. Ο σχεδιασμός ενός προϊόντος από πλαστικό απαιτεί τη γνώση των ιδιοτήτων των υλικών. Σημαντικό ρόλο παίζει η γεωμετρία του εξαρτήματος σε σχέση με τη φόρτιση που δέχεται, ο ρυθμός φόρτισης, οι επιπτώσεις του χρόνου φόρτισης και η επίπτωση της θερμοκρασίας. Απλές τεχνικές για την αξιόπιστη απόδοση του σχεδιασμού ενός υλικού είναι η πρόβλεψη της δυσκαμψίας του υλικού, η αντοχή του υλικού σε φόρτιση και κρούση, ο ερπυσμός/χαλάρωση τάσης και η κόπωση. Τα πλαστικά σήμερα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με υψηλές μηχανικές επιδόσεις. Επειδή η αγορά είναι ανταγωνιστική οι εταιρίες δεν μπορούν να αντέξουν οικονομικά τον υπέρ σχεδιασμό διότι αυξάνει το κόστος και συχνά έχει και αβέβαιο αποτέλεσμα σε σχέση με το επιδιωκόμενο. Ο σχεδιασμός ενός πλαστικού προϊόντος πρέπει να είναι ο συνδυασμός των απαιτήσεων χρήσεις του υλικού με το χαμηλότερο κόστος. Στο σχεδιασμό περιλαμβάνεται η δημιουργία γεωμετριών καθώς και η εκτέλεση μηχανικών αναλύσεων ώστε να προβλεφτεί η απόδοση του υλικού. Ο χαρακτηρισμός του υλικού παρέχει σχεδιαστικές προδιαγραφές και η διαδικασία επιλογής απαιτεί γνώσεις κατεργασίας και σχεδιασμού.

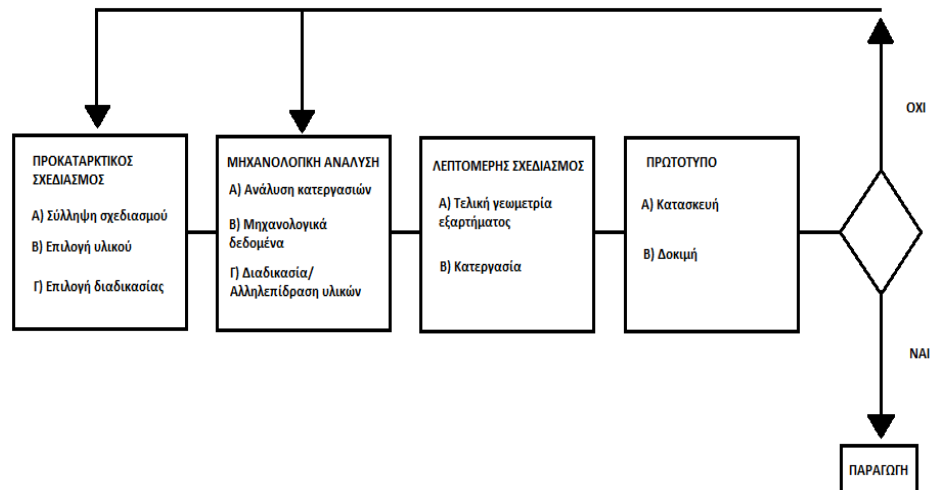
Σε γενικές γραμμές η πρόκληση του σχεδιασμού με πλαστικά είναι στην κατανόηση όχι μόνο των σχεδιαστικών τεχνικών αλλά και των κατεργασιών, καθώς και την συμπεριφορά των υλικών. Τα θερμοπλαστικά επιδεικνύουν πολύπλοκες συμπεριφορές όταν υποβάλλονται σε μηχανικά φορτία. Τα φύλλα προδιαγραφών παρέχονται αρκετά απλοποιημένα και είτε αγνοούνται σκόπιμα είτε ακόμα και αν χρησιμοποιηθούν είναι πιθανότατα παραπλανητικά. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία απαιτήσεων για την επίδοση του υλικού. Μερικές από αυτές είναι η αναφλεξιμότητα, η διαφάνεια, η ισορροπία στην υπεριώδη ακτινοβολία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η υγρασία και η χημική συμβατότητα. Όλες αυτές χαρακτηρίζονται ως απόλυτες αρχές, ενώ οι μηχανικές απαιτήσεις όπως σκληρότητα, δύναμη, αντοχή σε κρούση και αντοχή στη θερμοκρασία δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως απόλυτες αρχές, όμως όλα αυτά μαζί συμβάλλουν στην διαδικασία επιλογής του υλικού. Για να δημιουργηθεί ένα εξάρτημα πρέπει να υπάρξει ο κατάλληλος συνδυασμός αυτών των δύο αρχών (απόλυτες, μη απόλυτες). Για παράδειγμα ένα εξάρτημα μπορεί να ζητηθεί να έχει κάποια σκληρότητα, για να γίνει αυτό πρέπει να συνδυαστούν κατάλληλα η γεωμετρία του εξαρτήματος με την σκληρότητα του υλικού. Η διαδικασία σχεδιασμού για την επίδοση ενός θερμοπλαστικού μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες:

- A) εξαρτώμενη από τον χρόνο
- B) ανεξάρτητη από τον χρόνο

Για την δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιούνται ελαστικά υλικά διότι είναι εύκολο να προβλεφτεί η μετατόπισή τους υπό την ασκούμενη δύναμη κάποιου φορτίου. Η πρώτη κατηγορία έχει σημαντικό ρόλο σε τριών ειδών φόρτισης:

- A) μονοτονική φόρτιση σε δεδομένη τάση μέχρι την αστοχία
- B) συνεχόμενη φόρτιση για συγκεκριμένη χρονική περίοδο
- Γ) περιοδική φόρτιση

Παρακάτω απεικονίζονται τα στάδια για την παραγωγή ενός εξαρτήματος/προϊόντος.

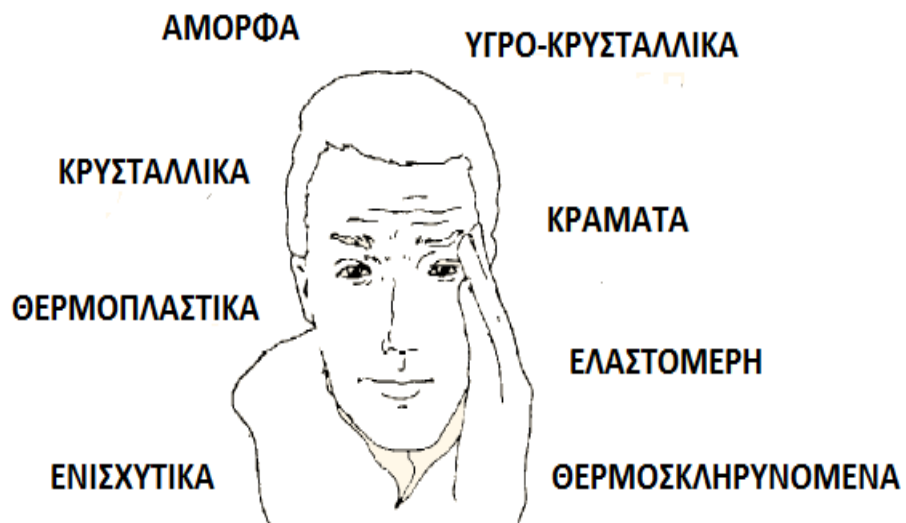


Εικόνα 1: Στάδια για την παραγωγή ενός εξαρτήματος/προϊόντος

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι βασικές αρχές σχεδιασμού με χρήση πλαστικών και αναλύονται όλα αυτά τα οποία ειπώθηκαν παραπάνω.

### 1) Κυριότερες κατηγορίες των πλαστικών:

Η ταξινόμηση των πλαστικών μπορεί να είναι εκτεταμένη και αρκετές φορές να μπερδεύει, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1.1: Είδη των πλαστικών

Στην ουσία όμως χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- A) θερμοπλαστικά
- B) θερμοσκληραινόμενα

Λόγο των εκτεταμένων κατηγοριών των θερμοπλαστικών και θερμοσκληραινόμενα, τα πολυμερή μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη δομή τους. Όπως παραδείγματος χάρη κρυσταλλικά, άμορφα και υγρο-κρυσταλλικά. Άλλες ταξινομήσεις πλαστικών είναι τα

συμπολυμερή, κράματα πολυμερών και τα ελαστομερή. Τέλος πρόσθετα, ενισχυτικά και πληρωτικά έχουν σημαντικό ρόλο στην τροποποίηση των ιδιοτήτων του υλικού.

### 1.1) Θερμοπλαστικά:

Τα θερμοπλαστικά είναι ρητίνες οι οποίες μαλακώνουν όταν θερμαίνονται και σκληραίνουν όταν ψύχονται. Τα περισσότερα θερμοπλαστικά είναι διαλυτά σε συγκεκριμένους διαλύτες και υπάρχει περίπτωση να καούν σε ορισμένο βαθμό. Οι θερμοκρασίες χαλαρώματος των ρητινών ποικίλουν ανάλογα με το τύπο και τη τάξη του πολυμερούς. Λόγο της ευαισθησίας που έχουν στη θερμότητα πρέπει να υπάρχει μεγάλη προσοχή ώστε να αποφευχθούν τυχόν υποβάθμισης, αποσύνθεσης ή καύση του υλικού. Το νάιλον, το ακρυλικό, η ακετάλη, το πολυστυρένιο, το πολυβινυλόχο χλώριο, το πολυαιθυλένιο και η κυτταρίνη οξικού άλατος είναι κάποια παραδείγματα των πολλών άκαμπτων θερμοπλαστικών ρητινών που είναι διαθέσιμα αυτή τη στιγμή. Επίσης σε αυτή την ομάδα ανήκουν υψηλής ελαστικότητας και ευκαμψίας ρητίνες, τα γνωστά και ως θερμοπλαστικά ελαστομερή (TPES).

Τις περισσότερες μοριακές αλυσίδες των θερμοπλαστικών μπορεί κάποιος να τις σκεφτεί σαν ένα ανεξάρτητο συνδυασμό από κορδόνια, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



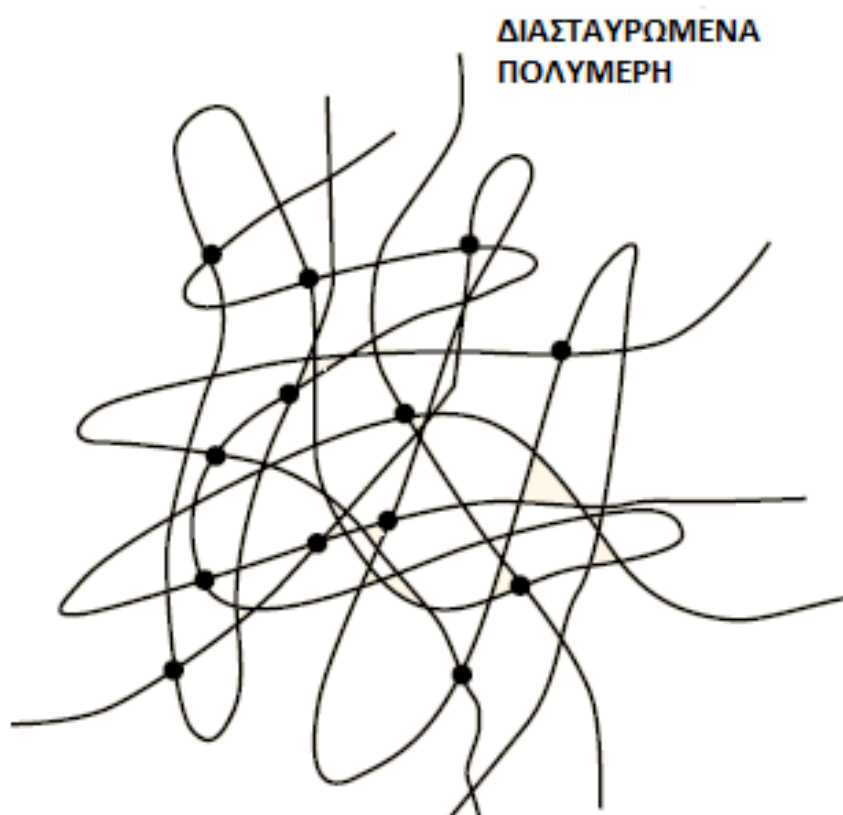
Εικόνα 1.1.1: Μοριακές αλυσίδες των θερμοπλαστικών

Όταν θερμανθούν, οι αλυσίδες ατομικά γλιστράνε με αποτέλεσμα τη ροή του πλαστικού. Όταν ψύχονται, οι αλυσίδες ατόμων και μορίων κρατούνται σταθερές. Εάν θερμανθούν μεταγενέστερα τότε πάλι οι αλυσίδες γλιστράνε. Υπάρχει περιορισμός στο πόσες φορές μπορεί

ένα θερμοπλαστικό να θερμανθεί και να ψυχθεί προτού η εμφάνιση και οι μηχανικές ιδιότητές του επηρεαστούν.

## 1.2) Θερμοσκληραινόμενα:

Τα θερμοσκληραινόμενα είναι πλαστικά τα οποία μπορούν να υποστούν χημικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας τους ώστε να γίνουν αδιάλυτα και άτηκτα μόνιμα. Η φαινόλη, το αμινοξύ, η εποξική και οι ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες είναι τυπικά θερμοσκληραινόμενα πλαστικά. Τα φυσικά και σύνθετα καουτσούκ όπως το λατέξ, το νιτρίλιο, το πολυουρεθάνιο, η σιλικόνη, το βουτυλικό και το νεοπρένιο, τα οποία επιτυγχάνουν τις ιδιότητες μέσω μιας διαδικασίας γνωστή και ως βουλκανισμός είναι επίσης θερμοσκληραινόμενα πολυμερή. Οι δομή των θερμοσκληραινόμενων πλαστικών είναι επίσης αλυσιδωτή και αρκετά όμοια με τα θερμοπλαστικά. Η μόνη διαφορά τους είναι ότι οι μοριακές αλυσίδες διασταυρώνονται μεταξύ τους όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1.2.1: Μοριακές αλυσίδες των θερμοσκληραινόμενων πλαστικών

Όταν τα θερμοσκληραινόμενα είναι θεραπευμένα ή έχουν σκληρυνθεί τότε σχηματίζονται διασταυρώσεις με τις γειτονικές μοριακές αλυσίδες με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός σύνθετου συστήματος. Αυτές οι διασταυρώσεις εμποδίζουν τις αλυσίδες να γλιστρήσουν καθώς και τη ροή του πλαστικού όταν προστεθεί θερμότητα. Εάν προστεθεί υπερβολική θερμότητα στην θερμοσκληραινόμενη ρητίνη αφού έχουν δημιουργηθεί οι διασταυρώσεις, τότε το πολυμερές δε λιώνει αλλά υποβαθμίζεται. Αυτή η συμπεριφορά είναι κάπως παρόμοια με αυτή του αυγού όταν ψήνεται. Η παραπάνω θερμοκρασία δε λιώνει το αυγό απλά το καίει.

### 1.3) Κρυσταλλικά, Άμορφα και Υγρο-κρυσταλλικά:

Σε μερικά θερμοπλαστικά, η χημική τους δομή επιτρέπει στις πολυμερικές αλυσίδες να αναπτύσσονται και να δημιουργούν δεσμούς μεταξύ τους με οργανωμένο τρόπο.

Το αποτέλεσμα των οργανωμένων περιοχών δείχνει τη συμπεριφορά των κρυστάλλων. Τα πλαστικά τα οποία έχουν τέτοιες περιοχές ονομάζονται κρυσταλλικά, ενώ τα πλαστικά τα οποία δεν έχουν τέτοιες περιοχές ονομάζονται άμορφα. Όλα τα κρυσταλλικά πλαστικά έχουν άμορφες περιοχές ανάμεσα και ενώνουν τις κρυσταλλικές περιοχές. Γι' αυτό το λόγο, τα κρυσταλλικά πλαστικά συχνά χαρακτηρίζονται και ως ιμη-κρυσταλλικά. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται κάποια κοινά παραδείγματα των κρυσταλλικών και άμορφων θερμοπλαστικών:

Τυπικά κρυσταλλικά και άμορφα πολυμερή	
Τυπικά κρυσταλλικά	Τυπικά άμορφα
Θερμοπλαστικές ρητίνες	Θερμοπλαστικές ρητίνες
Ακετάλη	Πολυστυρένιο
Νάιλον	Ακρυλονιτρίλιο-βουταδένιο-στυρένιο (ABS)
Πολυαιθυλένιο	Στυρένιο-ακρυλονιτρίλιο (SAN)
Πολυπροπυλένιο	Πολυκαρβονίδιο
Πολυεστέρας	Πολυβινυλικό χλώριο (PVC)

Πίνακας 1.3.1: Κοινά παραδείγματα των κρυσταλλικών και άμορφων θερμοπλαστικών

Τα υγρο-κρυσταλλικά πολυμερή είναι καλύτερο να θεωρηθούν σαν μια ξεχωριστή και μοναδική κατηγορία πλαστικών. Τα μόρια είναι σκληρά και δομημένα σαν ράβδους τα οποία οργανώνονται σε μεγάλες παράλληλες σειρές ή σε περιοχές οι οποίες έχουν είτε υγρή είτε στερεή κατάσταση. Αυτές οι μεγάλες οργανωμένες περιοχές παρέχουν υγρο-κρυσταλλικά πολυμερή με μοναδικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τα κρυσταλλικά και άμορφα πολυμερή. Πολλές από τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες διαφέρουν ανάλογα με τα πλαστικά και μπορούν να αποδουθούν στην δομή τους. Γενικότερα η τάξη που παρουσιάζουν τα κρυσταλλικά και υγρο-κρυσταλλικά θερμοπλαστικά τα καθιστούν σκληρότερα, δυνατότερα αλλά λιγότερα ανθεκτικά σε κρούση, σε σχέση με τα άμορφα. Τα κρυσταλλικά και υγρο-κρυσταλλικά υλικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον ερπυσμό, στη θερμότητα και στα χημικά. Όμως τα κρυσταλλικά υλικά απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες τήξης και τείνουν να συστέλλονται και να σκεβρώνουν περισσότερο από τα άμορφα πολυμερή. Τα άμορφα πολυμερή μαλακώνουν σταδιακά και συνεχώς όταν θερμανθούν, ενώ στη κατεργασία χύτευσης δεν ρέουν τόσο εύκολα όσο τα λιωμένα κρυσταλλικά πολυμερή. Τα υγρο-κρυσταλλικά πολυμερή έχουν την υψηλή θερμοκρασία τήξης των κρυσταλλικών πλαστικών αλλά μαλακώνουν σταδιακά και συνεχώς όπως τα άμορφα πολυμερή. Έχουν το χαμηλότερο ιξώδες, τη χαμηλότερη στρέβλωση και συρρίκνωση ως προς τα άλλα θερμοπλαστικά. Στον παρακάτω πίνακα γενικεύονται οι σχετικές ιδιότητες των πολυμερών:

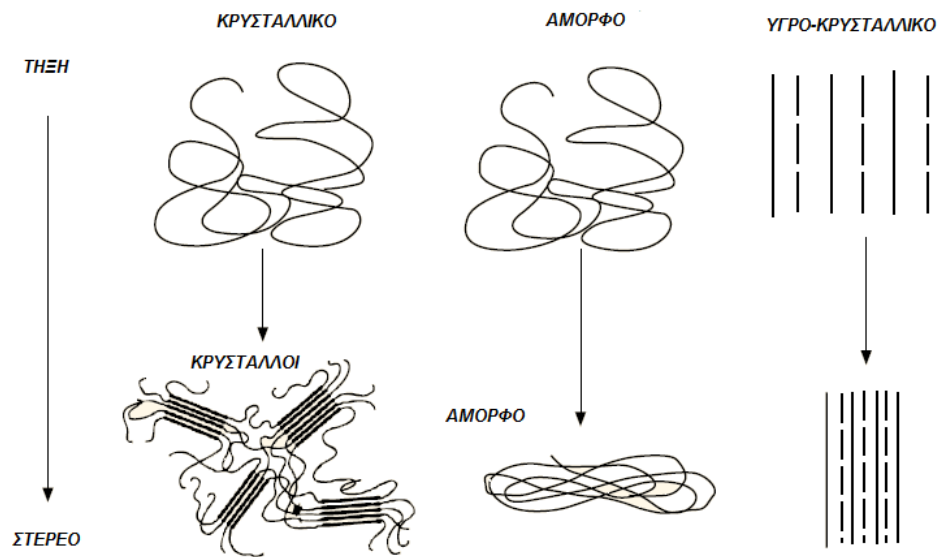
Ιδιότητες	Γενικές ιδιότητες των πολυμερών		
	Κρυσταλλικά	Άμορφα	Μερικώς - κρυσταλλικά
Ειδικό βάρος	Υψηλό	Χαμηλό	Υψηλό
Αντοχή εφελκυσμού	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή
Ελαστικότητα μορίων	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή
Ολκιμότητα, Παραμόρφωση	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή
Αντίσταση	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή



ερπυσμού			
Μέγιστη θερμοκρασία	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή
Συρρίκνωση, Στρέβλωση	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Ροή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή
Χημική αντοχή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή

Πίνακας 1.3.2: Γενίκευση ιδιοτήτων των πολυμερών

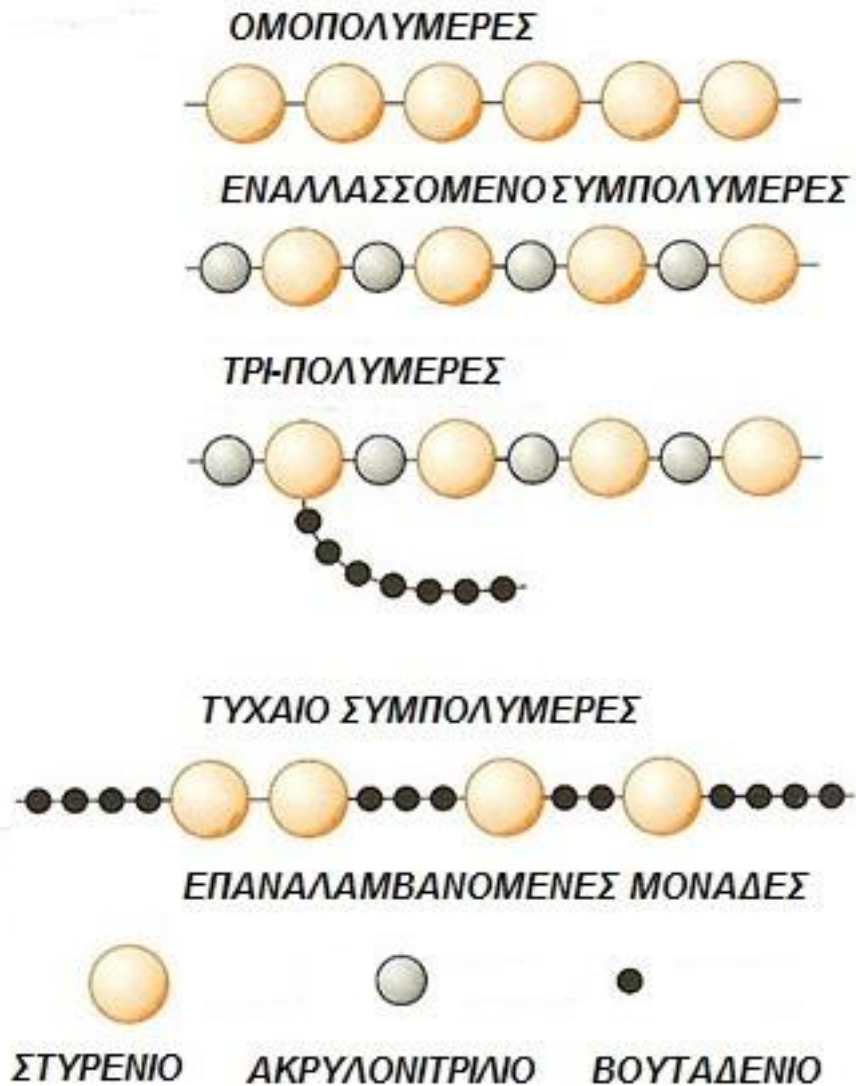
Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι δεσμοί των πολυμερικών αλυσίδων όπως αναφερθήκαν παραπάνω.



Εικόνα 1.3.1: Δεσμοί των πολυμερικών αλυσίδων

#### 1.4) Συμπολυμερή:

Τα συμπολυμερή είναι τα πολυμερή τα οποία αποτελούνται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά είδη επαναλαμβανόμενων μονάδων. Τα τρι-πολυμερή είναι συμπολυμερή με τρία διαφορετικά είδη επαναλαμβανόμενων μονάδων. Όταν μια οικογένεια πολυμερών περιλαμβάνει συμπολυμερή όπως ακεταλική ρητίνη, ο όρος ομο-πολυμερή αντιστοιχεί στα πολυμερή με ένα τύπο επαναλαμβανόμενης μονάδας. Τα συμπολυμερή μπορούν να έχουν διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες των ομο-πολυμερών. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται όλα όσα αναφέρθηκαν σχετικά με τα συμπολυμερή:



Εικόνα 1.4.1: Επαναλαμβανόμενες μονάδες των συμπολυμερών.

### 1.5) Μείγματα (Κράματα):

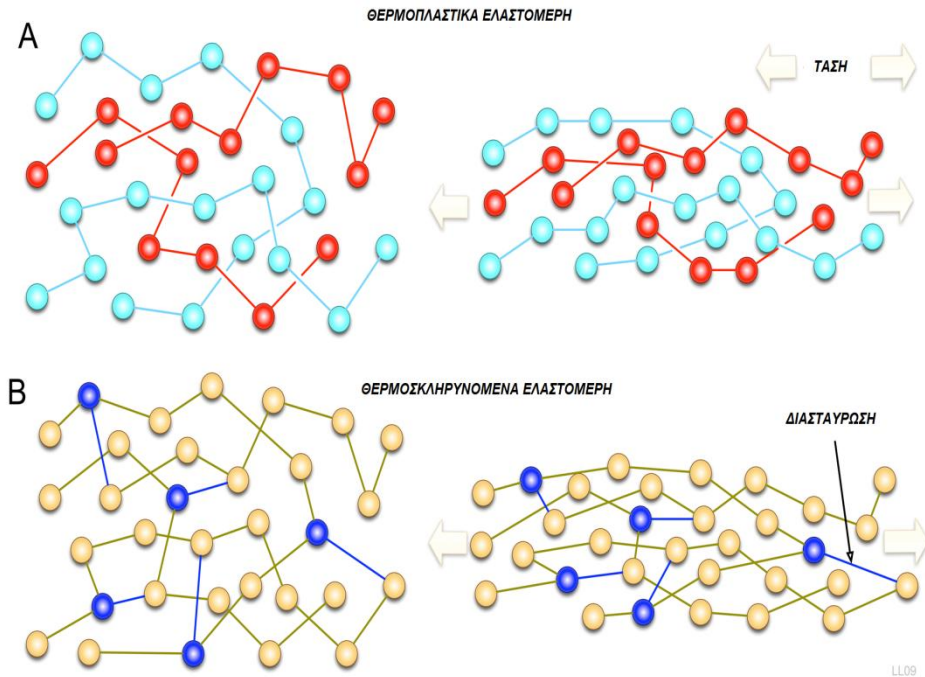
Η μίξη είναι ένας άλλος τρόπος δημιουργίας παραλλαγών στα πλαστικά. Δεν υπάρχει ακριβής προσδιορισμός των πλαστικών κραμάτων, όμως γενικότερα είναι αποδεκτό ότι τα κράματα είναι συνδυασμοί πολυμερών τα οποία είναι μηχανικά αναμειγμένα. Μπορεί να βασίζονται σε χημικούς δεσμούς, όμως συχνά έχουν ειδική ικανότητα στο να συνδέονται με διαφορετικά πολυμερή για να βελτιώσουν την απόδοσή τους, παραδείγματος χάριν χημική αντίσταση, μείωση κόστους ή βελτίωση της κατεργασιμότητάς τους. Γενικότερα οι ιδιότητες των πλαστικών κραμάτων κυμαίνονται σε αυτές του αρχικού πολυμερές, όμως μερικά κράματα είναι ικανά να πετύχουν έναν συνεργατικό συνδυασμό, ο οποίος είναι καλύτερος από τις ιδιότητες και των δύο συστατικών ξεχωριστά. Στη παρακάτω απεικονίζονται κάποια γνωστά αντικείμενα τα οποία αποτελούνται από πλαστικά κράματα:



Εικόνα 1.5.1: Γνωστά αντικείμενα τα οποία αποτελούνται από πλαστικά κράματα

#### 1.6) Ελαστομερή:

Τα θερμοπλαστικά ελαστομερή είναι εύκαμπτα υλικά τα οποία μπορούν να τεντωθούν επανειλημμένα τουλάχιστον δύο φορές το αρχικό τους μήκος σε θερμοκρασία δωματίου και μπορούν να επιστρέψουν στο αρχικό τους μήκος όταν αφεθεί η τάση. Τα θερμοσκληραινόμενα ελαστικά υλικά είναι διαθέσιμα αρκετό καιρό τώρα, όμως σήμερα πολλές οικογένειες των θερμοπλαστικών ελαστομερών αρχίζουν και τα αντικαθιστούν. Επιπλέον, τα θερμοπλαστικά ελαστομερή χρησιμοποιούνται ευρέως για την τροποποίηση των ιδιοτήτων των άκαμπτων θερμοπλαστικών, όπου βελτιώνουν συνήθως την αντοχή σε κρούση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διαφορά ανάμεσα στα θερμοπλαστικά ελαστομερή και στα θερμοσκληραινόμενα ελαστομερή.



Εικόνα 1.6.1: Διαφορά ανάμεσα στα θερμοπλαστικά ελαστομερή και στα θερμοσκληραινόμενα ελαστομερή

### 1.7) Πρόσθετα, Ενισχυτικά και Πληρωτικά:

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών μπορούν να τροποποιηθούν με την προσθήκη μιας ευρύτερης ποικιλίας πληρωτικών, ινών και άλλων χημικών ενώσεων. Γενικότερα οι μηχανικές ιδιότητες αυξάνονται σημαντικά με τη προσθήκη ενισχυτικών ινών. Τα μοριακά πληρωτικά συνήθως αυξάνουν τον συντελεστή και βελτιώνουν την ευκαμψία. Επιβραδυντικά αναφλεξιμότητας, θερμικοί και UV σταθεροποιητές και αναστολείς οξειδωσης είναι άλλα συνηθισμένα προσθετικά. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες μπορούν να επηρεαστούν από πολλά προσθετικά, ειδικότερα από εκείνα που είναι αγωγίμα. Όταν οι μηχανικές ιδιότητες είναι βελτιωμένες, τότε η ρητίνη ονομάζεται ενισχυμένη ρητίνη. Όταν το προσθετικό δεν βελτιώνει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού, η ρητίνη συνήθως ονομάζεται πληρωτική ρητίνη. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται κάποια κοινά πλαστικά πληρωτικά, ενισχυτικές ίνες και προσθετικά:

<b>Κοινά πληρωτικά, ενισχυμένες ίνες και προσθετικά των πλαστικών</b>		
<b>Πληρωτικά</b>	<b>Ενισχυμένες ίνες</b>	<b>Προσθετικά</b>
Γυάλινες σφαίρες	Ίνες υάλου	Σταθεροποιητές UV
Μαύρος άνθρακας	Ίνες άνθρακα	Πλαστικοποιητές
Μεταλλικά κονιάματα	Ίνες αραμιδίου	Λιπαντική ουσία
Άμμος πυριτίου	Γιούτα	Βαφή
Ξύλο σε μορφή σκόνης	Ίνες νάυλον	Επιβραδυντικά αναφλεξιμότητας
Κεραμικά κονιάματα	Πολυεστερικές ίνες	Αντιοξειδωτικά
Νιφάδες μαρμαρυγίας		Αντιστατικό
Μολυβδαίνιο		Συντηρητικά

δυσουλφίδιο		Βοηθητικά κατεργασίας
		Μυκητοκτόνα
		Κατασταλτικά καπνού
		Παράγοντες αφρισμού
		Τροποποιητές ιξώδους
		Τροποποιητές κρούσης

Πίνακας 1.7.1: Τυπικά πληρωτικά, ενισχυτικές ίνες και προσθετικά των πλαστικών

## 2) Φυσικές ιδιότητες των πλαστικών:

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν οι φυσικές ιδιότητες των πλαστικών. Αυτά τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω είναι: η πυκνότητα, το ειδικό βάρος, η απορροφητικότητα νερού, η συρρίκνωση καλουπιού, η διαφάνεια, η ελαστικότητα, η πλαστικότητα, η ολκιμότητα, η σκληρότητα, η ευθραυστότητα, η ευαισθησία εγκοπής, η ολισθηρότητα, η ομοιογένεια, η ετερογένεια ή ανομοιογένεια, η ιστροπία και τέλος η ανισοτροπία. Επίσης θα επισημανθεί η σημασία της ελαστικότητας, της ομοιογένειας και της ιστροπίας.

### 2.1) Πυκνότητα:

Η πυκνότητα του κάθε υλικού είναι το μέτρο της μάζας ανά μονάδα όγκου. Συνήθως εκφράζεται ως λίβρες ανά κυβική ίντσα (lbs/in<sup>3</sup>) ή γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό (g/cm<sup>3</sup>). Η πυκνότητα κάθε πλαστικής ρητίνης πρέπει να υπολογίζεται με βάση τη σχέση ανάμεσα στο βάρος και τον όγκο του υλικού σε κάθε μέρος.

$$\text{Πυκνότητα} = \text{μάζα} / \text{όγκο (lbs/in}^3\text{)}$$

### 2.2) Ειδικό βάρος:

Το ειδικό βάρος είναι ο λόγος της μάζας ενός δεδομένου όγκου ενός υλικού σε σχέση με τη μάζα του ίδιου όγκου νερού, όπου και τα δύο μετρούνται στους 23°C. Ουσιαστικά το ειδικό βάρος είναι η πυκνότητα του υλικού διαιρεμένη με την πυκνότητα του νερού. Όπως και στη πυκνότητα, το ειδικό βάρος χρησιμοποιείται ευρέως στον υπολογισμό κόστους τμήματος, στον υπολογισμό του βάρους και στον έλεγχο της ποιότητας.

$$\text{Ειδικό βάρος} = \text{πυκνότητα του υλικού} / \text{πυκνότητα του νερού}$$

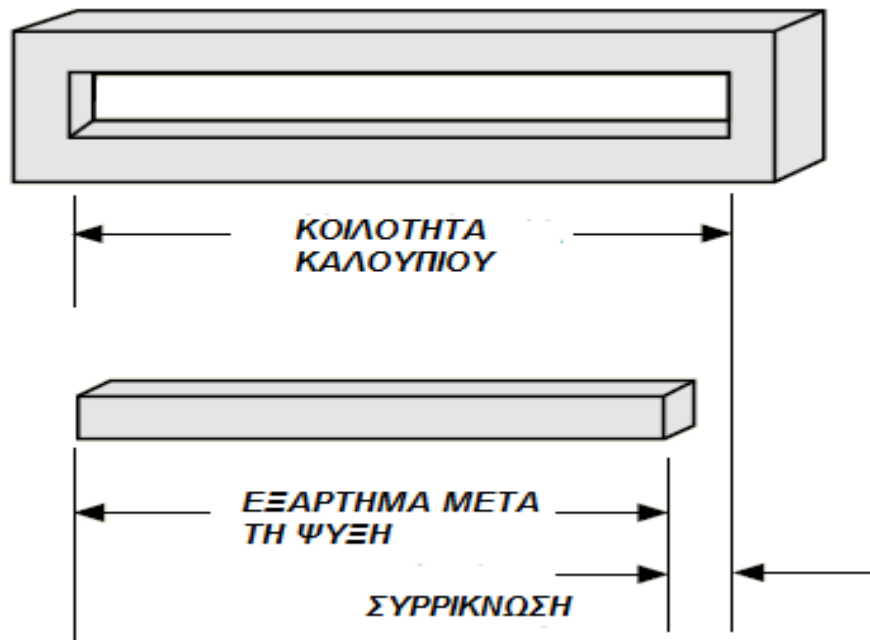
### 2.3) Απορροφητικότητα νερού - υγρασίας:

Η απορροφητικότητα νερού - υγρασίας είναι η ποσοστιαία αύξηση του βάρους του υλικού λόγω απορρόφησης νερού - υγρασίας. Τα δείγματα προς έλεγχο πρώτα ξηραίνονται για 24 ώρες και έπειτα ξηραίνονται πριν και μετά τη βύθιση στο νερό με θερμοκρασία 23°C. Η απορροφητικότητα νερού - υγρασίας είναι πολύ σημαντική από τη στιγμή που επηρεάζει τις μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες, όπως επίσης και τις διαστάσεις του εξαρτήματος. Τα πλαστικά με πολύ χαμηλό ποσοστό απορροφητικότητας τείνουν να είναι ποιο σταθερά.

### 2.4) Συρρίκνωση καλουπιού:

Η συρρίκνωση καλουπιού είναι ο λόγος για την προβλεπόμενη μείωση των διαστάσεων του πλαστικού καθώς στερεοποιείται στο καλούπι και ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου. Ο κατασκευαστής πρέπει να γνωρίζει τη σημασία της σωστής διαστασιολόγησης του καλουπιού ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα κατά τη συρρίκνωση. Για ένα υλικό η συρρίκνωση ποικίλει ανάλογα με το σχεδιασμό και τη χύτευση. Παραδείγματος χάριν ο υπολογισμός του πάχους των τοιχωμάτων, η διεύθυνση της ροής και οι συνθήκες χύτευσης γνώση αυτής της διαδικασίας είναι αρκετά σημαντική για τον σχεδιασμό, όχι μόνο για καινούργιους σχεδιασμούς αλλά και για την συγκεκριμένη χρήση του εξαρτήματος. Γενικότερα, τα άμορφα και υγρο-κρυσταλλικά θερμοπλαστικά έχουν λιγότερη συρρίκνωση σε σχέση με τα κρυσταλλικά θερμοπλαστικά. Όπως

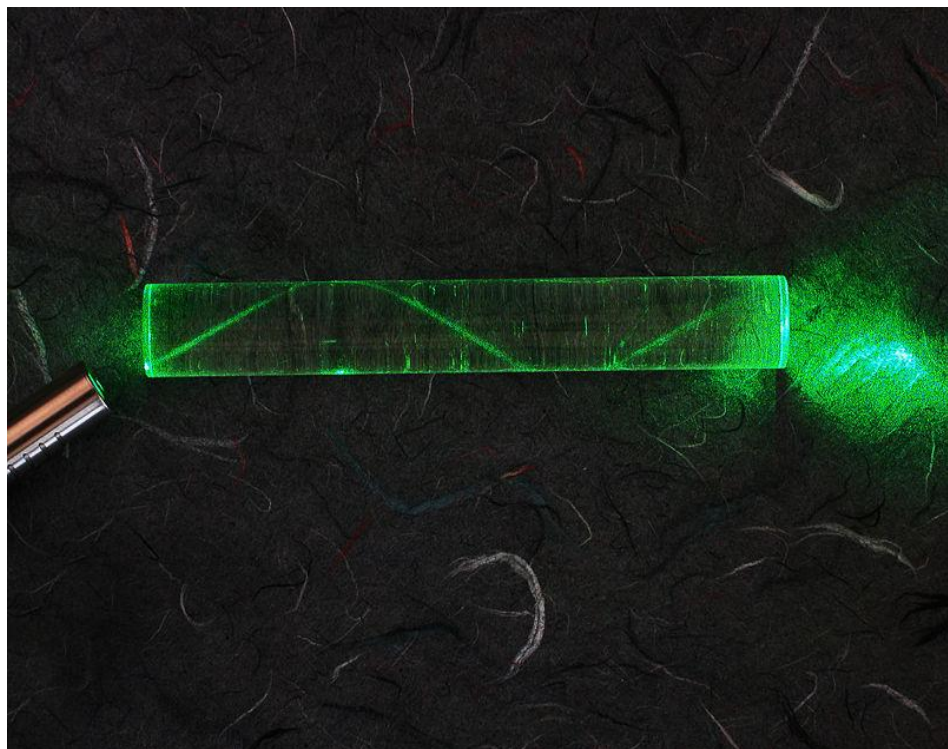
επίσης το ενισχυμένο γυαλί και τα πληρωτικά έχουν μικρότερη συρρίκνωση. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα παράδειγμα συρρίκνωσης ενός εξαρτήματος:



Εικόνα 2.4.1: Απεικόνιση της συρρίκνωσης ενός εξαρτήματος

## 2.5) Διαφάνεια / αδιαφάνεια:

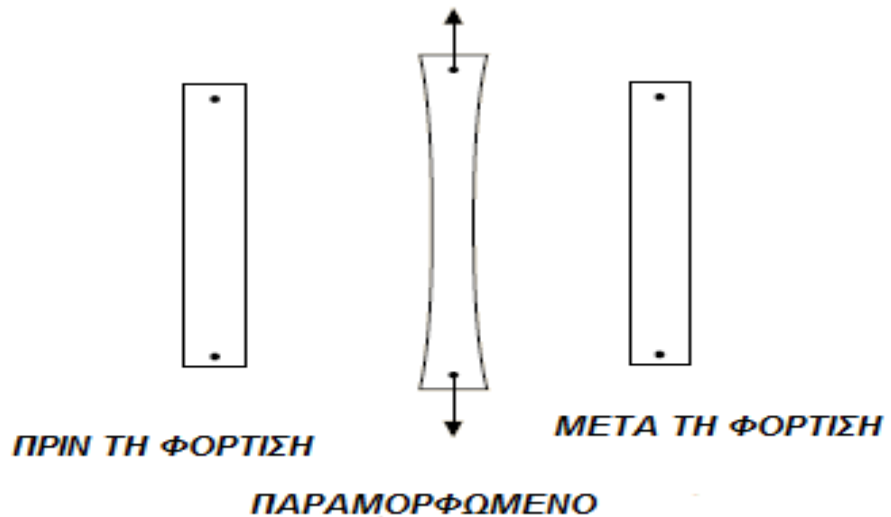
Η διαφάνεια / αδιαφάνεια είναι σημαντική όταν πρέπει να ληφθεί υπόψη η μετάδοση φωτός. Αυτές οι ιδιότητες συνήθως μετρώνται ως σκοτεινή και φωτεινή μετάδοση. Η σκοτεινότητα μετράται ως το ποσοστό του μεταδιδόμενου φωτός μέσω ενός πειραματικού δείγματος. Η φωτεινότητα μετράται ως η αναλογία του μεταδιδόμενου φωτός ως προς το αρχικό φως. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διαφάνεια ενός υλικού από ίνες υάλου:



Εικόνα 2.5.1: Διαφάνεια ενός υλικού από ίνες υάλου

## 2.6) Ελαστικότητα:

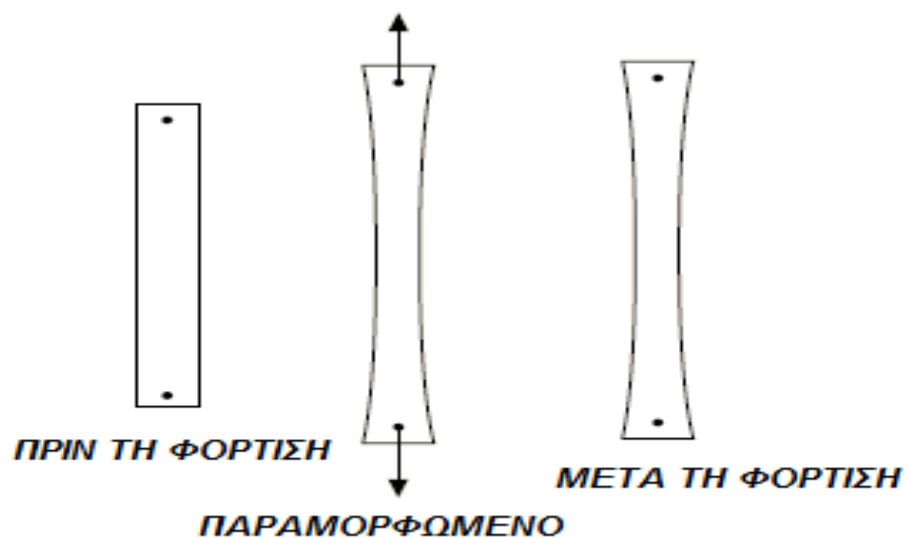
Η ελαστικότητα είναι η ικανότητα του υλικού να επιστρέφει στο αρχικό του μέγεθος και σχήμα αφού έχει υποστεί παραμόρφωση. Τα περισσότερα πλαστικά υλικά έχουν περιορισμένη ελαστικότητα. Το καουτσούκ και τα θερμοπλαστικά ελαστομερή έχουν άριστη ελαστικότητα. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η ελαστικότητα ενός υλικού:



Εικόνα 2.6.1: Ελαστικότητα ενός υλικού

## 2.7) Πλαστικότητα:

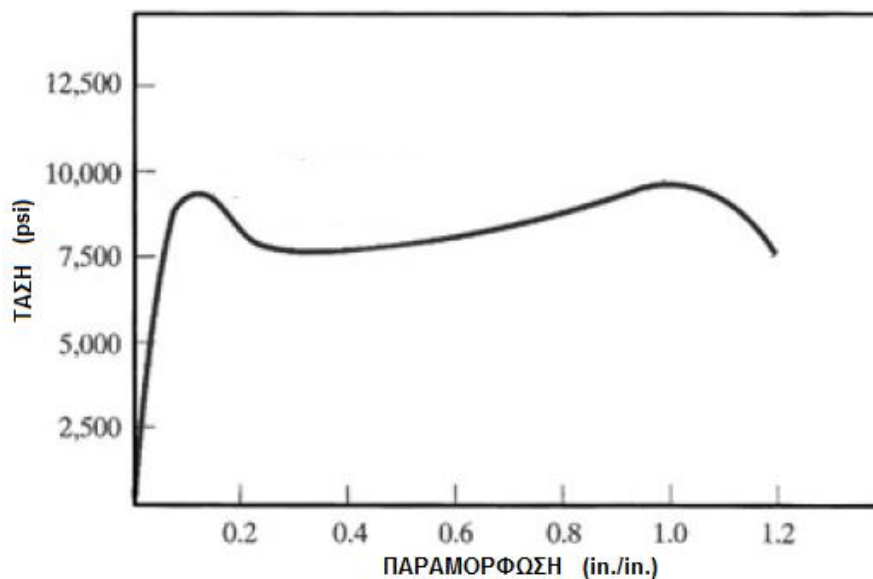
Η πλαστικότητα είναι το αντίθετο της ελαστικότητας. Ένα υλικό το οποίο τείνει να παραμείνει στο σχήμα ή τις διαστάσεις του εφόσον έχει υποστεί παραμόρφωση. Τα πλαστικά υλικά παρουσιάζουν πλαστικότητα όταν λόγω υψηλής τάσης ξεπεράσουν το όριο διαρροής τους. Όταν τα θερμοπλαστικά θερμανθούν τότε έχουν σχεδόν τέλεια πλαστικότητα. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η πλαστικότητα ενός υλικού:



Εικόνα 2.7.1: Πλαστικότητας ενός πλαστικού υλικού

## 2.8) Ολκιμότητα:

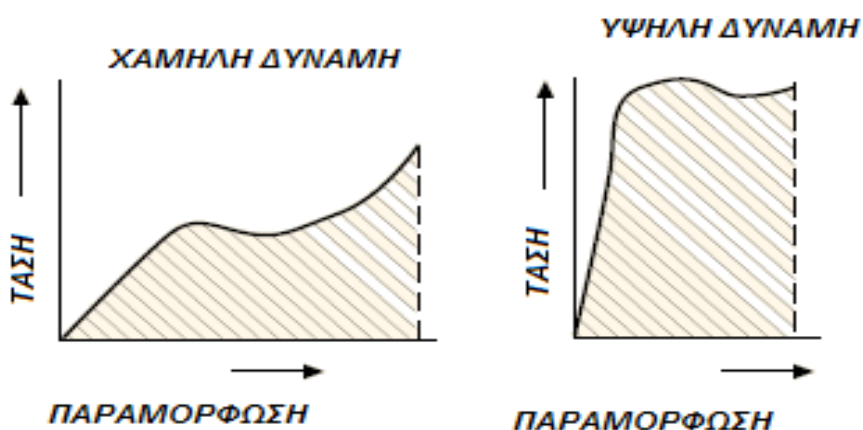
Ολκιμότητα είναι η ικανότητα του υλικού να υφίσταται διάφορες παραμορφώσεις ή μορφοποιήσεις χωρίς να καταστρέψει την ακεραιότητά του. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η ολκιμότητα ενός υλικού:



Εικόνα 2.8.1: Ολκιμότητα ενός υλικού

## 2.9) Σκληρότητα:

Η σκληρότητα του υλικού αναφέρεται στην ικανότητα του να απορροφά μηχανική ενέργεια χωρίς να σπάει. Ένα σκληρό υλικό μπορεί να απορροφά μηχανική ενέργεια είτε με ελαστική είτε με πλαστική παραμόρφωση. Γενικότερα, οι ρητίνες υψηλής αντοχής έχουν άριστη σκληρότητα, όμως και οι χαμηλής ή μέτριας αντοχής ρητίνες έχουν αξιοσημείωτη σκληρότητα αν το υλικό έχει υψηλή σκληρότητα. Η σκληρότητα μετράται συχνά από τη περιοχή που είναι κάτω από την καμπύλη τάσης / παραμόρφωσης της ρητίνης όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:

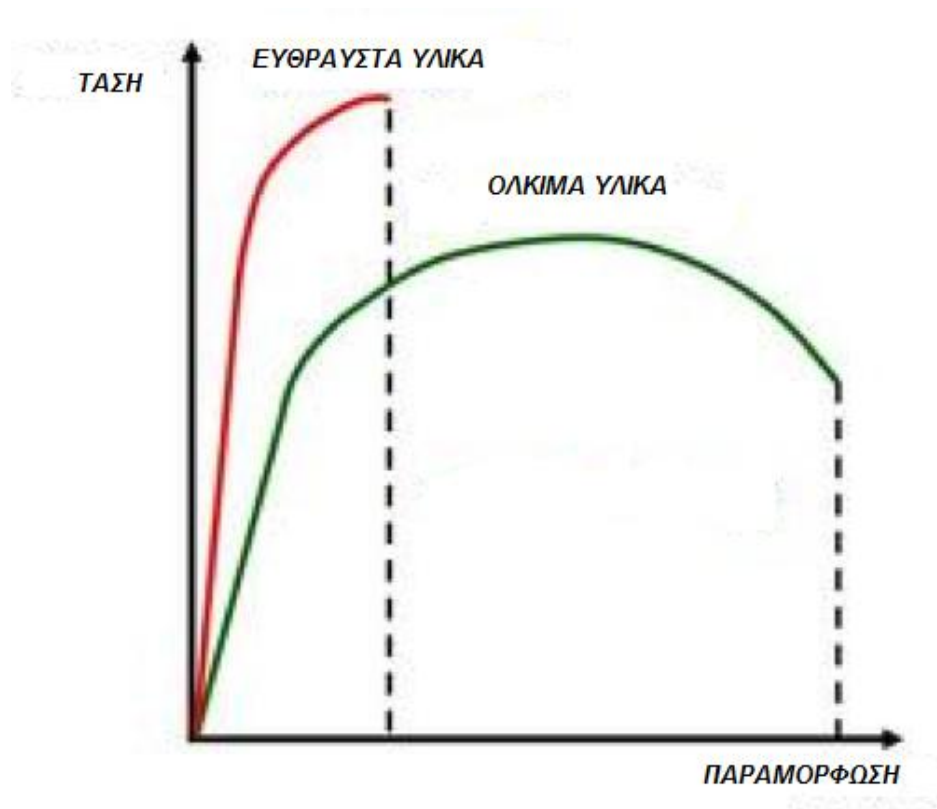


Εικόνα 2.9.1: Περιοχή κάτω από την καμπύλη τάσης/παραμόρφωσης



## 2.10) Ευθραυστότητα:

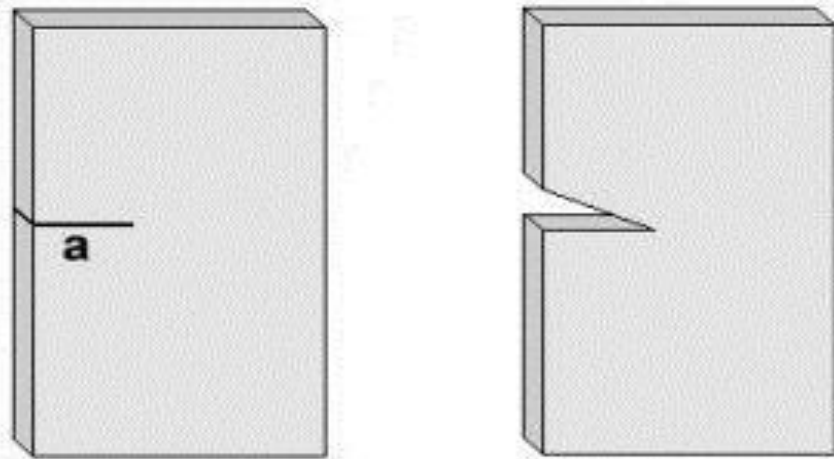
Ευθραυστότητα είναι η έλλειψη σκληρότητας. Τα πλαστικά υλικά τα οποία είναι εύθραυστα, συχνά έχουν χαμηλή αντοχή στη κρούση και υψηλή ακαμψία. Ουσιαστικά τα εύθραυστα υλικά σπάνε χωρίς να υποστούν σημαντική παραμόρφωση. Αυτά τα υλικά απορροφούν ελάχιστη ενέργεια ακόμα και εκείνα που είναι υψηλής αντοχής. Περισσότερο εύθραυστα είναι τα υλικά από κεραμικά, γυαλί και κάποια πολυμερή όπως το πολυστυρένιο. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης και δείχνει τη διαφορά ανάμεσα στα εύθραυστα υλικά σε σχέση με τα όλκιμα υλικά:



Εικόνα 2.10.1: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης των εύθραυστων υλικών

## 2.11) Ευαισθησία εγκοπής:

Η ευαισθησία εγκοπής δεν πρέπει με τίποτα να ταυτιστεί με την ευθραυστότητα. Η ευαισθησία εγκοπής είναι το πόσο εύκολα διαδίδεται μια ρωγμή διαμέσου του υλικού από μια ήδη υπάρχουσα. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται η δημιουργία εγκοπής από μια ήδη υπάρχουσα ρωγμή.



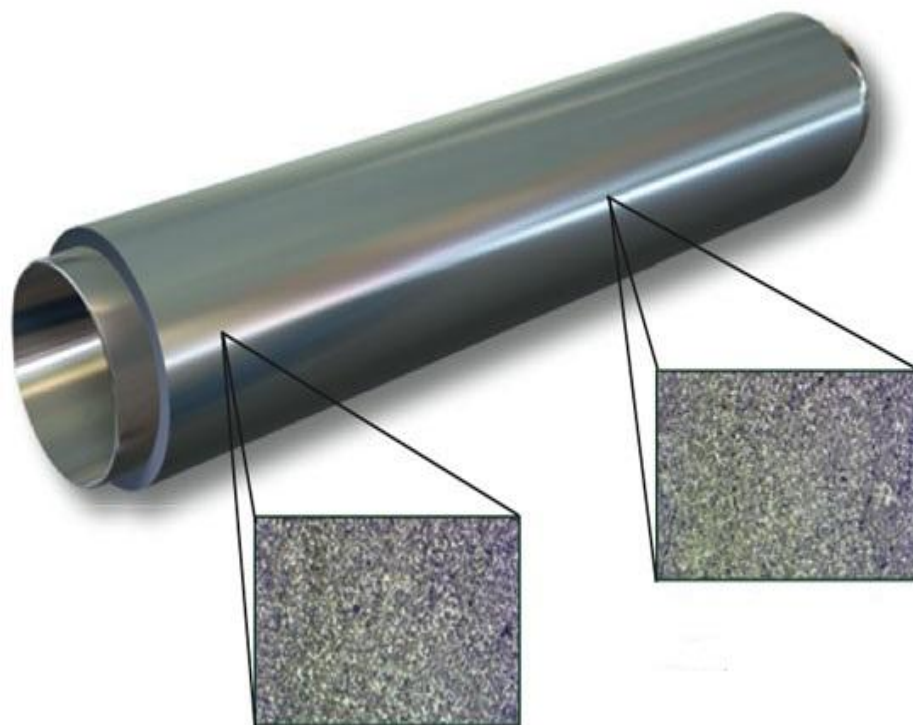
Εικόνα 2.11.1: Δημιουργία εγκοπής από μια ήδη υπάρχουσα ρωγμή

### 2.12) Ολισθηρότητα:

Η ολισθηρότητα αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του υλικού κάτω από ορισμένη κίνηση. Τα πλαστικά με καλή ολισθηρότητα τείνουν να έχουν χαμηλό συντελεστή τριβής με άλλα υλικά ή ακόμα και με τον εαυτό τους και δεν έχουν φθορές από τριβές.

### 2.13) Ομοιογένεια:

Ο όρος ομοιογένεια σημαίνει ομοιομορφία. Όταν κανείς προχωρά από σημείο σε σημείο σε ομοιογενή υλικά, η σύνθεσή τους παραμένει σταθερή. Επιπλέον το μικρότερο δείγμα ενός ομοιογενούς υλικού έχει τις ίδιες φυσικές ιδιότητες με εκείνες του ολόκληρου. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η ομοιογένεια ενός υλικού.



Εικόνα 2.13.1: Απεικόνιση ομοιογένειας ενός υλικού

#### 2.14) Ανομοιογένεια:

Ανομοιογένεια σημαίνει μεταβολή της σύστασης ή της κατανομής της υλης στη δομή του υλικού ή μεταβολή της μακροσκοπικής δομής. Η σύνθεση του υλικού ποικίλη από σημείο σε σημείο ενός ανομοιογενούς υλικού. Όμως αρκετές φορές, περισσότερο για σχεδιαστικούς λόγους, πολλά ανομοιογενή υλικά αντιμετωπίζονται σαν ομοιογενή. Αυτό γίνεται διότι ένα λογικό δείγμα υλικού κομμένο από ένα οποιοδήποτε σημείο έχει τις ίδιες φυσικές ιδιότητες με εκείνες του υλικού.

#### 2.15) Ισοτροπία – Ανισοτροπία:

Ισοτροπικό αποκαλείται ένα υλικό όπου οι φυσικές του ιδιότητες σε οποιοδήποτε σημείο είναι ίδιες. Ενώ ανισοτροπικό υλικό είναι ακριβώς το αντίθετο. Οι φυσικές ιδιότητες ενός ανισοτροπικού υλικού βασίζονται ανάλογα με τη διεύθυνση όπου μελετώνται. Η ποικιλία ενός ανισοτροπικού υλικού βασίζεται στο ποσό της συμμετρίας που υπάρχει στο υλικό. Παραδείγματος χάριν, τα χυτά μέταλλα και πλαστικά τείνουν να είναι ισοτροπικά. Ενώ τα μέταλλα που προέρχονται από έλαση, τα πλαστικά υλικά που προέρχονται από συμπίεση, όπως και τα σύνθετα υλικά όπου οι ενισχυμένες ίνες είναι προσεκτικά προσανατολισμένες στις διευθύνσεις όπου εφαρμόζεται φορτίο και περιβάλλονται από πλαστική μήτρα, είναι ανισοτροπικά.

#### 2.16) Σπουδαιότητα ελαστικότητας, ομοιογένειας και ισοτροπίας:

Στις τυπικές αναλύσεις δομών όπου γίνονται κατά το σχεδιασμό εξαρτημάτων, ένας μηχανικός χρησιμοποιεί δύο ανεξάρτητες σταθερές για να περιγράψει τη μηχανική ανταπόκριση του υλικού. Τον συντελεστή του Young και το λόγο Poisson. Όμως μόνο τα ελαστικά και ισοτροπικά υλικά τα οποία αντιδρούν γραμμικά στο φορτίο μπορούν να αναλυθούν με αυτές τις δύο σταθερές. Επιπλέον οι σχεδιαστές χρησιμοποιούν τις ίδιες αρχές αυτών των σταθερών οπουδήποτε στη δομή. Αυτή η μέθοδος είναι σωστή μόνο εάν το υλικό είναι ομοιογενές. Επίσης σε τυπικές αναλύσεις δομών, οι μηχανικοί υποθέτουν ότι το υλικό είναι γραμμικά ελαστικό, ομοιογενές και ισοτροπικό, το οποίο είναι λογικό για πολλές αναλύσεις και πάντα μια καλή αρχή. Όμως μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά λάθη εάν για παράδειγμα το υλικό είναι

ανισότροπο. Λόγο της αβεβαιότητας των ιδιοτήτων των υλικών, όπως και των τρόπων εφαρμογής των απλών μεθόδων ανάλυσης παρέχονται δικαιολογητικά για την εκτεταμένη δοκιμή του εξαρτήματος προτού τη πιστοποίηση.

### 3) Μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών:

Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών είναι αρκετά κρίσιμες αφού με βάση αυτών των ιδιοτήτων γίνεται και η επιλογή του υλικού ανάλογα τη κάθε χρήση του, όπως παραδείγματος χάριν αντοχή εφελκυσμού, επιμήκυνση και η αντοχή στη κρούση. Σε πρακτικές εφαρμογές τα υλικά σπάνια, αν όχι και ποτέ, υποβάλλονται σε παραμόρφωση χωρίς την παρουσία άλλων δυσμενών παραγόντων όπως το περιβάλλον και η θερμοκρασία. Αυτό συμβαίνει διότι τα υλικά δοκιμάζονται σε εργαστήρια υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών θα αναλυθούν και θα επεξηγηθούν παρακάτω.

#### 3.1) Τάση:

Η τάση είναι μια φυσική ποσότητα που εκφράζει τις εσωτερικές δυνάμεις που ασκούνται στο υλικό λόγω εξωτερικών δυνάμεων και χωρίζονται σε δύο είδη τάσεων: ορθές τάσεις όπου συμβολίζονται με ( $\sigma$ ) και διατμητικές τάσεις όπου συμβολίζονται με ( $\tau$ ).

##### 3.1.1) Ορθές τάσεις:

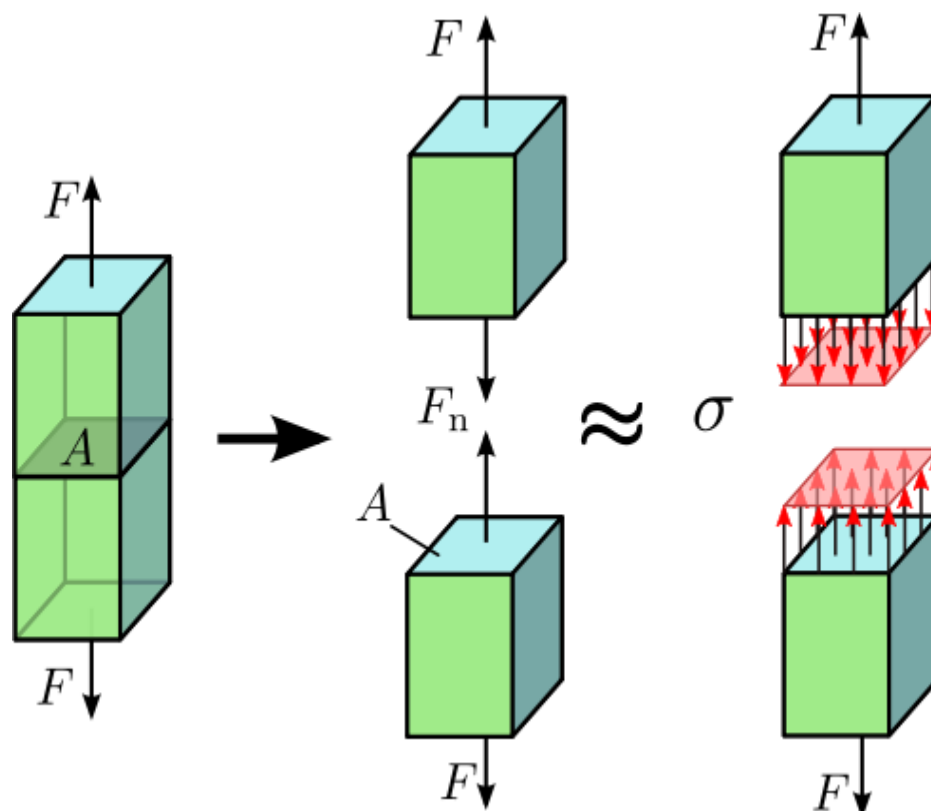
Οι ορθές τάσεις είναι ο λόγος της κάθετης δύναμης που εφαρμόζεται προς την διατομή όπου εφαρμόζεται και εκφράζεται σε Newton ανά τετραγωνικά μέτρα ( $m^2$ ) ή σε Pascal ( $Pa=Nt/m^2$ )

$$\sigma = F/A$$

όπου:

F= κάθετη δύναμη

A= διατομή



Εικόνα 3.1.1.1: Απεικόνιση των ορθών τάσεων που αναπτύσσονται

### 3.1.2) Διατμητικές τάσεις:

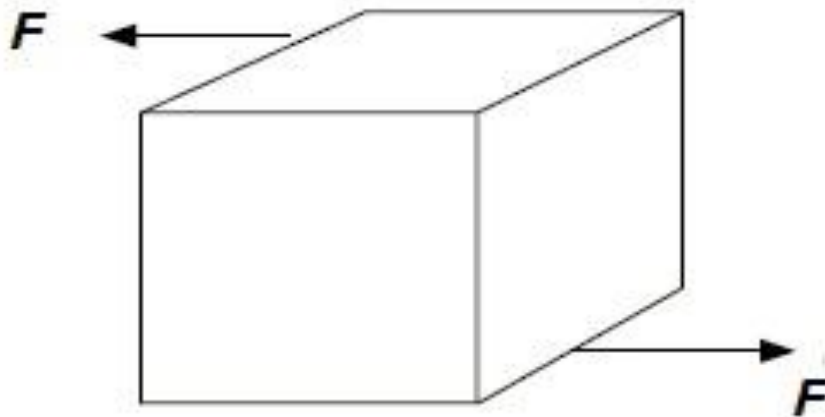
Διατμητική τάση ορίζεται ως ο λόγος της παράλληλης ή εφαπτομενικής δύναμης που ασκείται σε μια επιφάνεια προς τη διατομή της επιφάνειας αυτής και εκφράζεται σε Newton ανά τετραγωνικά μέτρα ( $m^2$ ) ή σε Pascal ( $Pa=Nt/m^2$ ).

$$\tau = F/A$$

όπου:

$F$ = παράλληλη ή εφαπτομενική δύναμη

$A$ = διατομή επιφάνειας



Εικόνα 3.1.2.1: Απεικόνιση των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται

### 3.2) Εφελκυσμός:

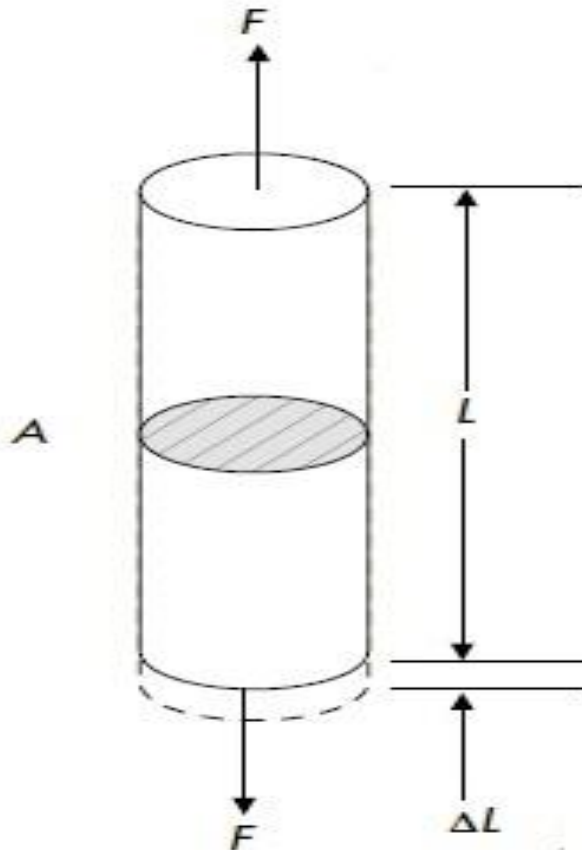
Υποθέτοντας ότι μια ράβδος υποβάλλεται σε εξωτερικές δυνάμεις, τότε η ράβδος αλλάζει μήκος. Ο υπολογισμός του εφελκυσμού που έχει υποστεί το υλικό γίνεται από τον τύπο:

$$\epsilon = \Delta L/L$$

όπου:

$\Delta L$ = τελικό μήκος

$L$ = αρχικό μήκος



Εικόνα 3.2.1: Απεικόνιση του εφελκυσμού μιας ράβδου

### 3.3) Μέτρο ελαστικότητας:

Τα περισσότερα υλικά συμπεριλαμβανόμενων και των μεταλλικών και των πλαστικών παρουσιάζουν παραμόρφωση που είναι ανάλογη του ασκούμενου φορτίου και υπολογίζεται από το τύπο:

$$E = (F/A) / (\Delta L/L) = F \cdot L / A \cdot \Delta L$$

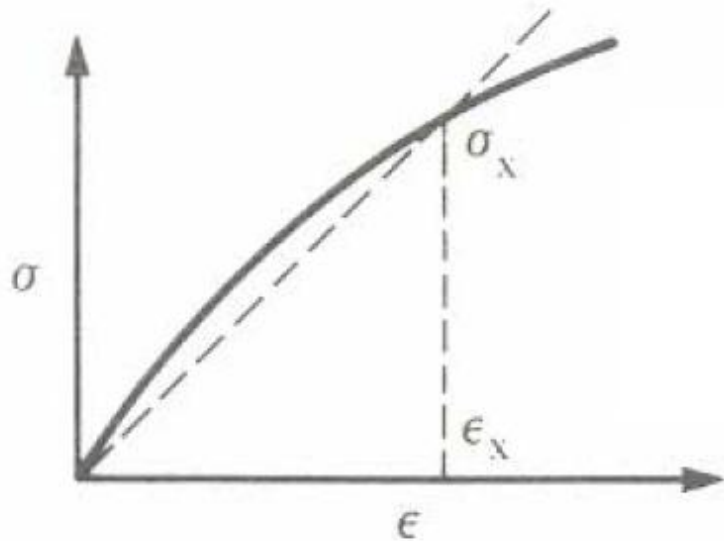
Όπου:

F= ασκούμενη δύναμη

A= διατομή επιφάνειας

$\Delta L$ = τελικό μήκος

L= αρχικό μήκος



Εικόνα 3.3.1: Απεικόνιση μέτρου ελαστικότητας

#### 3.4) Κάμψη:

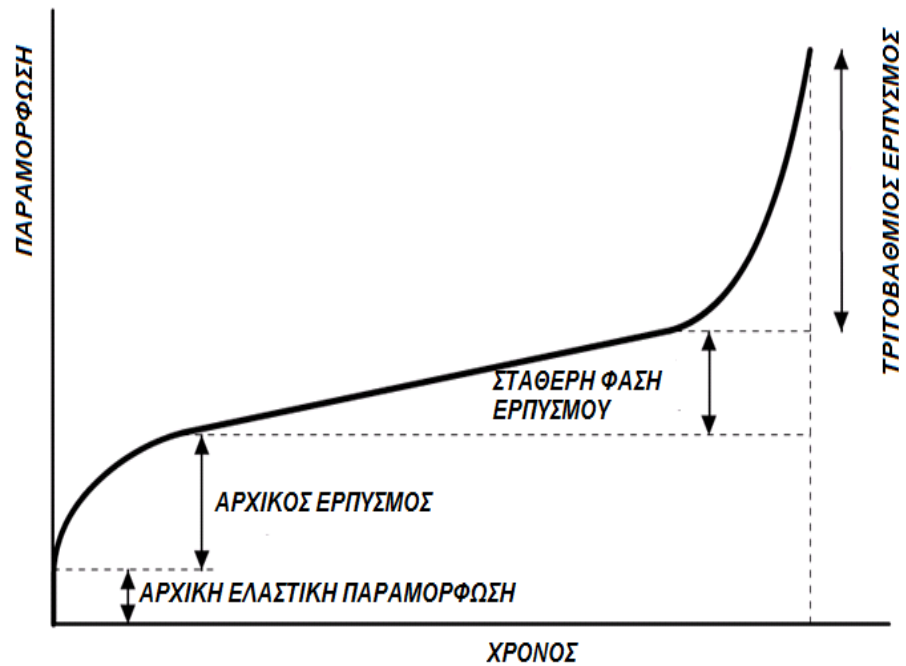
Κάμψη ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία λόγω εγκάρσεων δυνάμεων εμφανίζεται καμπτική ροπή. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η κάμψη ενός υλικού.



Εικόνα 3.4.1: Κάμψη ενός υλικού

#### 3.5) Ερπυσμός:

Ερπυσμός ονομάζεται το φαινόμενο που δημιουργείται όταν ασκείται σε ένα σώμα σταθερή δύναμη και το αναγκάζει σε αργή και συνεχή παραμόρφωση παρότι η τάση η οποία ασκείται είναι μικρότερη από το όριο διαρροής του υλικού. Ο ερπυσμός εκδηλώνεται σε ψηλές θερμοκρασίες συνήθως πάνω από 0,3 της θερμοκρασίας τήξης του υλικού και όταν ασκούνται μηχανικές καταπονήσεις για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα διάγραμμα ερπυσμού ενός υλικού.



Εικόνα 3.5.1: Διάγραμμα ερπυσμού ενός υλικού

### 3.6) Αντοχή σε κρούση:

Κρούση ονομάζεται η συνάντηση δύο σωμάτων με βίαιο ή απότομο τρόπο ή η άσκηση μεγάλων δυνάμεων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Η μέτρηση της αντοχής στη κρούση γίνεται με κρουσίμετρα, τα οποία είναι ειδικά όργανα για καταπόνηση σε κρουστική κάμψη.

## 4) Θερμικές ιδιότητες των πλαστικών:

Για να επιλεγθούν υλικά τα οποία διατηρούν αποδεκτές μηχανικές ιδιότητες και σταθερές διαστάσεις σε εφαρμογές, πρέπει να ληφθεί υπόψη το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται το προϊόν. Παρακάτω θα αναλυθούν μερικές βασικές θερμικές ιδιότητες των θερμοπλαστικών υλικών.

### 4.1) Σημείο τήξης:

Τα θερμοπλαστικά υλικά παρουσιάζουν μια ποιό υγρή μορφή όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει. Ενώ τα κρυσταλλικά υλικά έχουν ξεκάθαρο σημείο τήξης, τα άμορφα και τα υγρο-κρυσταλλικά θερμοπλαστικά μαλακώνουν και αποκτούν μια ποιό υγρή μορφή μετά απο κάποια θερμοκρασία. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι καθορισμού του σημείου τήξης των πλαστικών όπως παραδείγματος χάριν το σημείο χαλάρωσης *vicat*, όπου παίρνει τη θερμοκρασία στην οποία το δείγμα διαπερνάται σε βάθος 1mm από μία βελόνα με επίπεδη άκρη με διατομή 1mm<sup>2</sup>. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η συσκευή που δείχνει το σημείο χαλάρωσης:

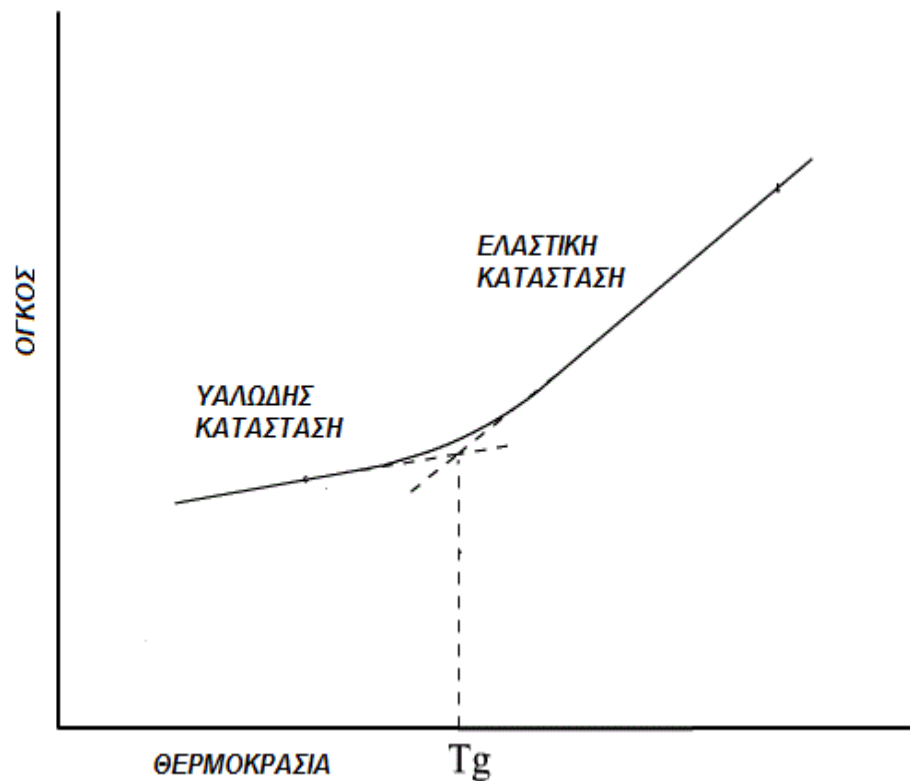




Εικόνα 4.1.1: Συσκευή που δείχνει το σημείο χαλάρωσης

#### 4.2) Σημείο υάλου:

Στο σημείο υάλου ( $T_g$ ) το υλικό υφίσταται σημαντική αλλαγή ιδιοτήτων. Γενικότερα χαμηλότερα του σημείου υάλου το υλικό είναι σκληρό, υαλώδες και εύθραυστο ενώ μετά το σημείο υάλου το υλικό είναι περισσότερο εύπλαστο. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα διάγραμμα με το σημείο υάλου:



Εικόνα 4.2.1: Διάγραμμα με το σημείο υάλου

#### 4.3) Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής:

Όπως και τα μεταλλικά υλικά έτσι και τα θερμοπλαστικά διαστέλλονται όταν θερμανθούν και συστέλλονται όταν ψυχθούν. Γενικότερα σε μια μεταβολή της θερμοκρασίας τα πλαστικά υλικά αλλάζουν διαστάσεις πολύ περισσότερο από ότι τα μεταλλικά. Ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής ( CLTE: coefficient linear thermal expansion ) είναι ο λόγος της αλλαγής της γραμμικής διαστολής ως προς την αρχική διάσταση του υλικού. Πρέπει να σημειωθεί ότι πολλά θερμοπλαστικά, ιδιαίτερα αυτά με ενίσχυση υάλου ή οι υγροκρυσταλλικές ρητίνες μπορεί να έχουν διαφορετικό συντελεστή για τη ροή χύτευσης και εγκάρσιας ροής. Από τη στιγμή που ο συντελεστής των πλαστικών διαφέρει ανάλογα με τη θερμοκρασία η έκταση της μεταβλητότητας πρέπει να είναι γνωστή.

#### 4.4) Θερμική αγωγιμότητα:

Η θερμική αγωγιμότητα είναι ο ρυθμός με τον οποίο ένα υλικό άγει θερμική ενέργεια κατά το μήκος του, ή διαμέσου του πάχους του. Αυτός είναι ένας σημαντικός παράγοντας από τη στιγμή που τα πλαστικά συχνά χρησιμοποιούνται ως θερμικοί μονωτές σε διάφορες εφαρμογές.

#### 4.5) Γήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες:

Η γήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες περιλαμβάνει τοποθέτηση ενός μεγάλου αριθμού δειγμάτων σε συγκεκριμένη θερμοκρασία για κάποιο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια τα δείγματα συλλέγονται και δοκιμάζονται σε κανονικές συνθήκες σε οποιαδήποτε φυσική, μηχανική, θερμική ή ηλεκτρική ιδιότητα. Τα αποτελέσματα από τη γήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται και ως μέτρο της θερμικής σταθερότητας της ρητίνης και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό.

#### 4.6) Ευφλεκτότητα:

Σε πολλές εφαρμογές πλαστικών οι συνέπειες της έκθεσης του υλικού σε φλόγα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Αυτό δεν είναι μόνο σημαντικό για τις ηλεκτρικές εφαρμογές αλλά για κάθε

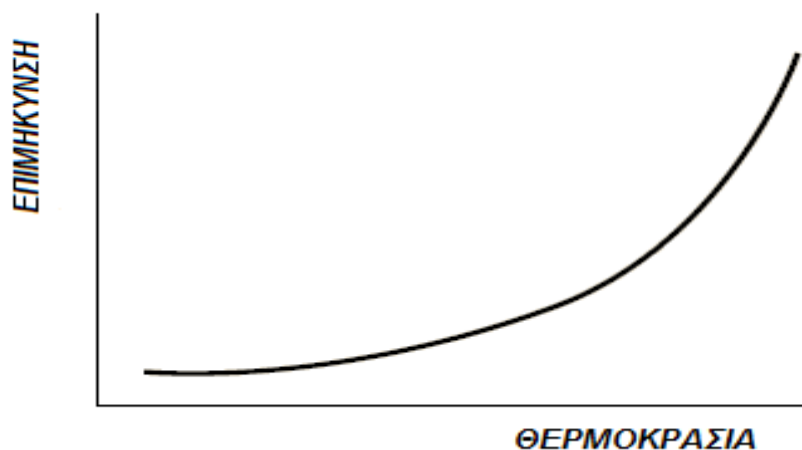
εφαρμογή όπου το πλαστικό έχει σημαντικό ποσοστό εκτεθειμένης περιοχής. Ένα παράδειγμα είναι οι πλαστικοί πίνακες που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό της καμπίνας των αεροσκαφών.

#### 4.7) Επίδραση της θερμοκρασίας στις μηχανικές ιδιότητες:

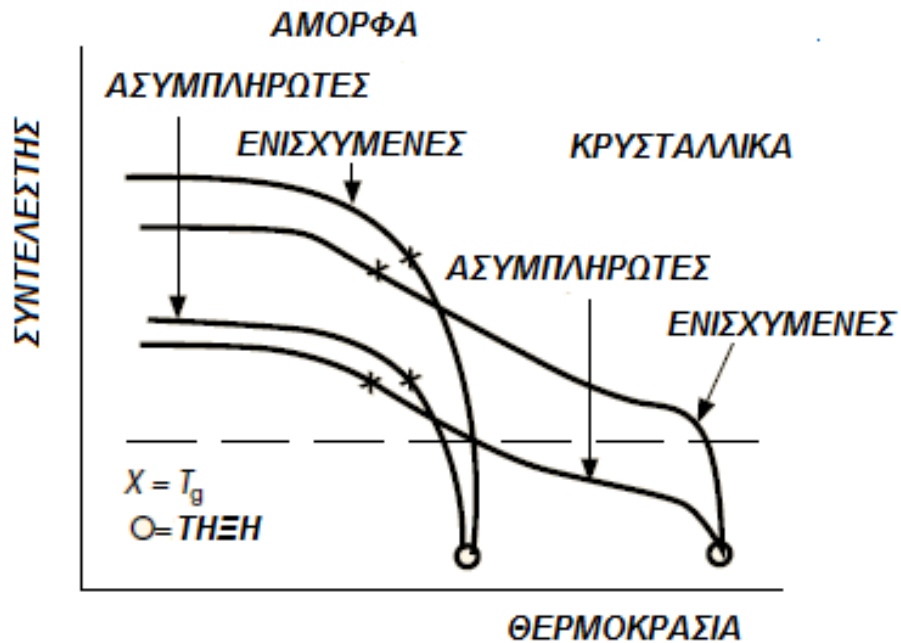
Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό συμπεριφοράς των υλικών που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν χρησιμοποιούνται πλαστικά είναι η αντίστροφη σχέση μεταξύ του ποσοστού παραμόρφωσης και της θερμοκρασίας. Πολύ υψηλό ποσοστό παραμόρφωσης και πολύ χαμηλή θερμοκρασία παράγουν παρόμοιες αντιδράσεις υλικών. Αντιστρόφως, επιδράσεις σε πολύ χαμηλό ποσοστό παραμόρφωσης ο ερπυσμός, παρουσιάζονται πιο γρήγορα σε δοκιμές με υψηλές θερμοκρασίες. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται οι συμπεριφορές των υλικών όταν επιδρά θερμοκρασία στις μηχανικές ιδιότητες:



Εικόνα 4.7.1: Η επίδραση της θερμοκρασίας ή του ποσοστού παραμόρφωσης στις καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης



Εικόνα 4.7.2: Η επίδραση της θερμοκρασίας στη επιμήκυνση



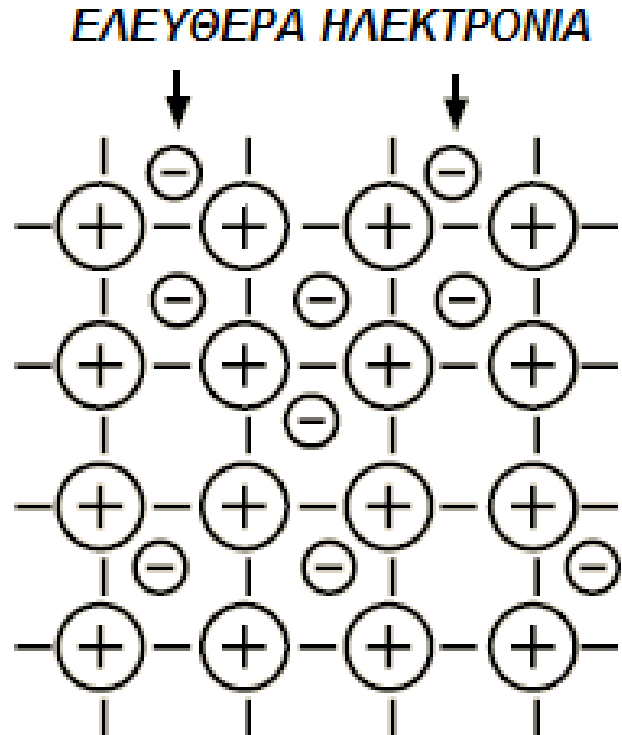
Εικόνα 4.7.3: Συμπεριφορά των άμορφων και κρυσταλλικών ρητινών όταν επιδρά υψηλή θερμοκρασία

## 5) Ηλεκτρικές ιδιότητες των πλαστικών:

Τα πλαστικά υλικά χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές. Ο συνδυασμός των μηχανικών και ηλεκτρολογικών ιδιοτήτων παρέχει μια ιδανική επιλογή για οτιδήποτε, από μικρά ηλεκτρικά εξαρτήματα μέχρι πού μεγάλους ηλεκτρικούς εξοπλισμούς. Η πιο αξιοσημείωτη ηλεκτρική ιδιότητα των πλαστικών υλικών είναι η καλή τους μόνωση. Όμως τα πλαστικά υλικά έχουν και άλλες ιδιότητες που θα αναλυθούν παρακάτω.

### 5.1) Αγωγιμότητα σε στερεά:

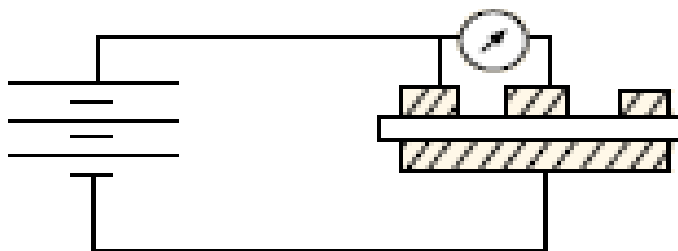
Τα στερεά υλικά ποικίλουν σε ηλεκτρική αγωγιμότητα, ανάλογα τη διαθεσιμότητα και κινητικότητα των φορτισμένων σωματιδίων εντός του υλικού. Τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί κυρίως λόγω της δομής των ατόμων του υλικού, τα οποία έχουν χαλαρό κράτημα ιδιαίτερα τα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα την εύκολη κίνησή τους. Αυτά τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι ο λόγος που τα μεταλλικά υλικά είναι αγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος υλικά όπως γυαλί, πορσελάνη και πλαστικά, τα εξωτερικά ηλεκτρόνια είναι σφικτά δεμένα με τα άτομα ή τα μόρια. Αυτά τα υλικά δε μπορούν εύκολα να άγουν ηλεκτρικό ρεύμα αλλά είναι μονωτές. Άλλα υλικά όπως η σιλικόνη και το γερμάνιο, είναι και μονωτές και αγωγοί. Αυτό γίνεται διότι σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι μονωτές και σε υψηλές θερμοκρασίες είναι αγωγοί. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στη μεταλλική δομή:



Εικόνα 5.1.1: Ελεύθερα ηλεκτρόνια στη μεταλλική δομή

### 5.2) Ειδική αντίσταση όγκου:

Ένα σταθερό μέτρο αγωγιμότητας είναι η ηλεκτρική αντίσταση ενός υλικού όταν διαρρέεται από συνεχές ρεύμα. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα από τα πολλά τεστ όπου χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της αντίστασης διαμέσου του όγκου ενός υλικού. Αυτό το τεστ είναι γνωστό και ως ειδική αντίσταση όγκου.

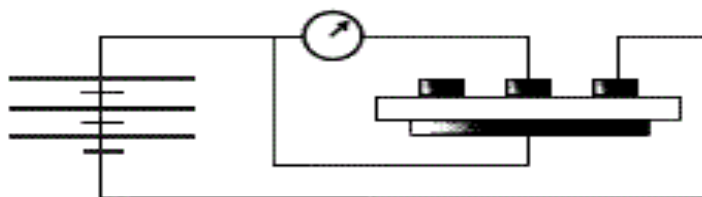


Εικόνα 5.2.1: Έλεγχος για τη μέτρηση της αντίστασης διαμέσου του όγκου ενός υλικού

### 5.3) Ειδική αντίσταση επιφάνειας:

Αυτό το τεστ μετρά την ικανότητα του ρεύματος να ρέει στην επιφάνεια του υλικού. Σε αντίθεση με το τεστ της ειδικής αντίστασης όγκου τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στην ίδια πλευρά του δείγματος. Ενώ η ειδική αντίσταση όγκου είναι μια ιδιότητα του υλικού, η ειδική αντίσταση επιφάνειας είναι ουσιαστικά ένα μέτρο της ευαισθησίας του υλικού στην επιφανειακή ρύπανση, ιδιαίτερα της υγρασίας. Τα δεδομένα συνήθως παρουσιάζουν μεγάλα σφάλματα, γι'αυτό το λόγο

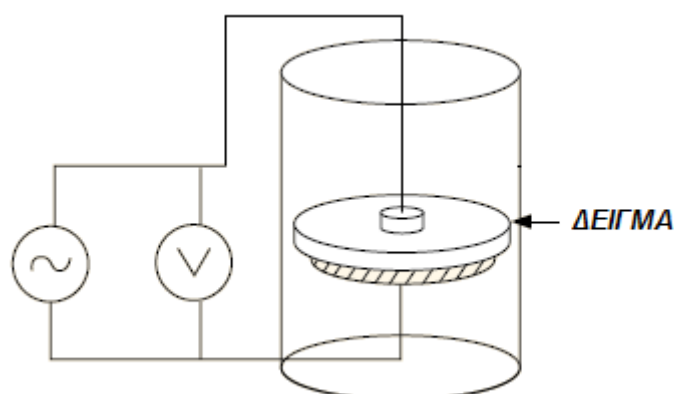
πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλους συντελεστές ασφαλείας. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το τεστ της ειδικής αντίστασης επιφάνειας:



Εικόνα 5.3.1: Έλεγχος της ειδικής αντίστασης επιφάνειας

#### 5.4) Διηλεκτρική δύναμη:

Όταν ένας μονωτής υποβάλλεται σε αυξανόμενη υψηλή τάση, τελικά καταρρέει και επιτρέπει στο ρεύμα να περάσει. Η τάση λίγο πριν τη κατάρρευση του μονωτή διαιρεμένη με το πάχος του υλικού ονομάζεται διηλεκτρική δύναμη και μετράται σε volts/mm. Γενικότερα μετράται τοποθετώντας ηλεκτρόδια και στις δύο πλευρές του δείγματος και αυξάνοντας τη τάση με σταθερό ρυθμό. Κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα του τεστ είναι η θερμοκρασία, το πάχος, ο ρυθμός αύξησης της τάσης και η διάρκεια του τεστ. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα τυπικό τεστ για τον υπολογισμό της διηλεκτρικής δύναμης:



Εικόνα 5.4.1: Ένας τυπικός έλεγχος για τον υπολογισμό της διηλεκτρικής δύναμης

#### 5.5) Διηλεκτρική σταθερά:

Όταν ένα ηλεκτρικό πεδίο επιβάλλεται διαμέσου ενός μονωτή, τα μόρια γίνονται πολωμένα. Η ευκολία με την οποία ένα υλικό μπορεί να πολωθεί μετράται από μια σταθερά υλικού που ονομάζεται διηλεκτρική σταθερά. Η τιμή της σταθεράς αυτής ποικίλει ανάλογα με την θερμοκρασία, το επίπεδο υγρασίας, τη συχνότητα και το πάχος. Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι διηλεκτρικές σταθερές για διάφορα θερμοπλαστικά σε θερμοκρασία δωματίου.

Θερμοπλαστικά υλικά	Διηλεκτρική σταθερά
Ακετάλη	3.7 - 3.9
Ακρυλικό	2.1 - 3.9
Ακρυλονιτρίλιο-βουταδένιο-στυρένιο (ABS)	2.9 - 3.4
Νάυλον	3.1 - 8.3

Πολυκραβονίδιο	2.9 - -3.8
Πολυεστέρας	3.0 - 4.5
Πολυπροπυλένιο	2.3 – 2.9
Πολυσουλφόνη	2.7 – 3.8
Τροποποιημένος αιθέρας πολυφαινυλενίου (PPE)	24 – 3.1
Σουλφίδιο πολυφαινουλενίου	2.9 – 4.5
Υγρο-κρυσταλλικά πολυμερή	3.7 - 10

Πίνακας 5.5.1: Διηλεκτρικές σταθερές για διάφορα θερμοπλαστικά σε θερμοκρασία δωματίου

### 5.6) Συντελεστής μετατροπής:

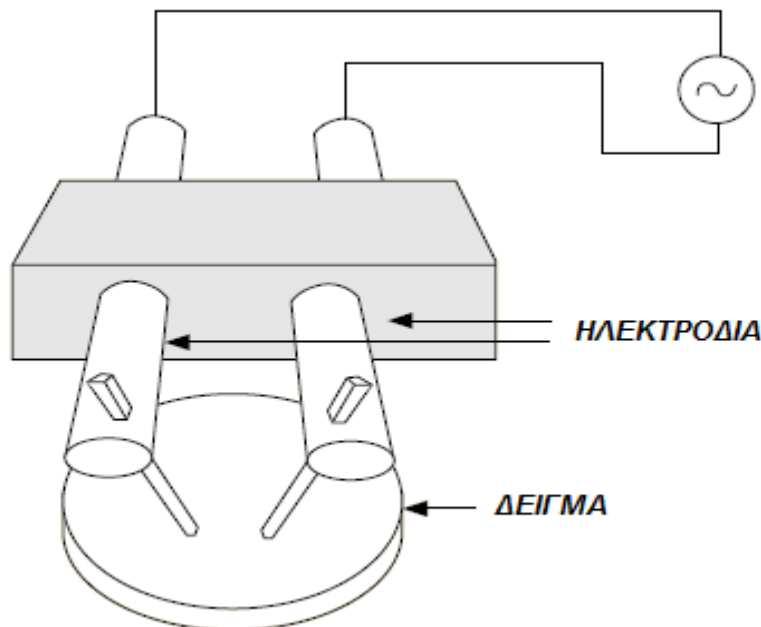
Ο συντελεστής μετατροπής μπορεί να μετρηθεί μαζί με τη διηλεκτρική σταθερά στην ίδια συσκευή. Αν η αντίστροφη πόλωση συμβεί ακαριαία με εναλλασσόμενο ρεύμα η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα και αυτό οφείλεται στην ακαριαία αλλαγή στη πόλωση. Ο συντελεστής μετατροπής είναι ο λόγος της ενέργειας που έχει μετατραπεί σε θερμότητα προς αυτήν που μεταδόθηκε και συνήθως μετράται σε 1MHz ( $10^6$  κύκλους/δευτερόλεπτο). Ένας χαμηλός συντελεστής μετατροπής είναι σημαντικός όταν τα πλαστικά χρησιμοποιούνται σαν μονωτές σε υψηλής συχνότητας εφαρμογές όπως ραντάρ και εξοπλισμούς μικροκυμάτων. Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι συντελεστές μετατροπής για διάφορα θερμοπλαστικά σε θερμοκρασία δωματίου.

Θερμοπλαστικά υλικά	Συντελεστής μετατροπής
Ακετάλη	0.001 – 0.007
Ακρυλικό	0.001 – 0.060
Ακρυλονιτρίλιο-βουταδένιο-στυρένιο (ABS)	0.006 – 0.021
Νάυλον	0.006 – 0.190
Πολυκραβονίδιο	0.0006 – 0.026
Πολυεστέρας	0.0012 – 0.022
Πολυπροπυλένιο	0.003 – 0.014
Πολυσουλφόνη	0.0008- 0.009
Τροποποιημένος αιθέρας πολυφαινυλενίου (PPE)	0.0002 – 0.005
Σουλφίδιο πολυφαινουλενίου	0.001 – 0.002
Υγρο-κρυσταλλικά πολυμερή	0.010 – 0.060

Πίνακας 5.6.1: Συντελεστές μετατροπής για διάφορα θερμοπλαστικά σε θερμοκρασία δωματίου

### 5.7) Αντίσταση τόξου:

Αν ένα ηλεκτρικό τόξο επιβληθεί σε μια επιφάνεια ενός μονωτικού υλικού μπορεί να αναπτύξει ένα αγώγιμο μονοπάτι. Το τεστ της αντίστασης τόξου μετρά το χρόνο σε δευτερόλεπτα για να συμβεί. Αυτό το τεστ αναπτύχθηκε για θερμοσκληραινόμενα, από τη στιγμή όπου ένα αγώγιμο μονοπάτι μπορεί να σχηματιστεί από την αποσύνθεση προϊόντων παραγόμενα από αυτού του είδους τη περιορισμένη θερμότητα. Ένα υλικό με υψηλό αποτέλεσμα έχει πλεονέκτημα σε ηλεκτρικές εφαρμογές όπου υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας τόξου. Κάποια παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι οι διακόπτες, συσκευές υψηλής τάσης και εξαρτήματα ανάφλεξης αυτοκινήτων. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα τεστ αντίστασης τόξου.



Εικόνα 5.7.1: Έλεγχος αντίστασης τόξου

#### 5.8) Συγκριτικός δείκτης ανίχνευσης:

Αυτό είναι ένα τεστ παρόμοιο με αυτό της αντίστασης τόξου μόνο που ένας ηλεκτρολύτης τοποθετείται στην επιφάνεια. Ο συγκριτικός δείκτης ανίχνευσης για τα υλικά είναι η τιμή της τάσης που απαιτείται για να δημιουργηθεί ένα αγωγίμο μονοπάτι ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Αυτό το τεστ είναι χρήσιμο από τη στιγμή που μετρά την αντίσταση του τόξου σε μια μολυσμένη επιφάνεια, όπου συναντάται συχνά σε ηλεκτρικούς και ηλεκτρονικούς εξοπλισμούς.

### 6) Βασικές αρχές σχεδιασμού:

Η διαδικασία για την ανάπτυξη θερμοπλαστικών εξαρτημάτων απαιτεί πλήρη κατανόηση των τυπικών ιδιοτήτων των υλικών σε διάφορες συνθήκες. Τα θερμοπλαστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη δομή των μορίων τους, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο. Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι βασικές αρχές του σχεδιασμού.

#### 6.1) Σταθερότητα διαστάσεων:

Ένα σημαντικό κομμάτι στο σχεδιασμό είναι η συρρίκνωση καλουπιού, η θερμική διαστολή και η απορροφητικότητα νερού, τα οποία αφορούν ένα εξάρτημα και κατά τη διάρκεια της χύτευσης αλλά και στις δευτερεύουσες επιπτώσεις μετά τη χύτευση.

##### 6.1.1) Συρρίκνωση καλουπιού:

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 παράγραφο 2.4, η συρρίκνωση του καλουπιού είναι η διαφορά ανάμεσα στις διαστάσεις της κοιλότητας του καλουπιού με τις αντίστοιχες διαστάσεις του εξαρτήματος. Λόγο του ότι δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός της συρρίκνωσης χρησιμοποιείται ένας πίνακας με μέγιστες και ελάχιστες τιμές για διάφορα θερμοπλαστικά. Κατά τη διάρκεια της χύτευσης το λιωμένο πολυμερές εγχέεται στο καλούπι. Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας οι διαστάσεις του λιωμένου πολυμερές είναι ίδιες με αυτές του καλουπιού. Κατά τη διάρκεια της ψύξης όμως το πολυμερές αρχίζει και συρρικνώνεται. Η διαδικασία της συρρίκνωσης συνεχίζεται και αφότου το εξάρτημα έχει αφαιρεθεί από το καλούπι. Για να διαπιστωθεί η συρρίκνωση θα πρέπει να μετρηθεί το εξάρτημα πολύ μετά την αφαίρεσή του



από το καλούπι. Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές συρρίκνωσης για διάφορα θερμοπλαστικά:

Πολυμερή	Συρρίκνωση mm/mm
Ακρilonυτρίλιο Βουταδένιο Στυρένιο (ABS)	0.004-0.006
Ακετάλη	0.015-0.025
Ακρυλικό	0.003-0.006
Υψηλής πυκνότητας πολυαιθιλένιο (HDPE)	0.020-0.030
Χαμηλής πυκνότητας πολυαιθιλένιο (LDPE)	0.015-0.030
Νάιλον	0.010-0.020
Πολυκαρβονίδιο (PC)	0.006-0.008
Πολυπροπυλένιο (PP)	0.012-0.020
Πολυστυρένιο (PS)	0.005-0.007
Στυρένιο- ακριλονιτρίλιο (SAN)	0.004-0.006

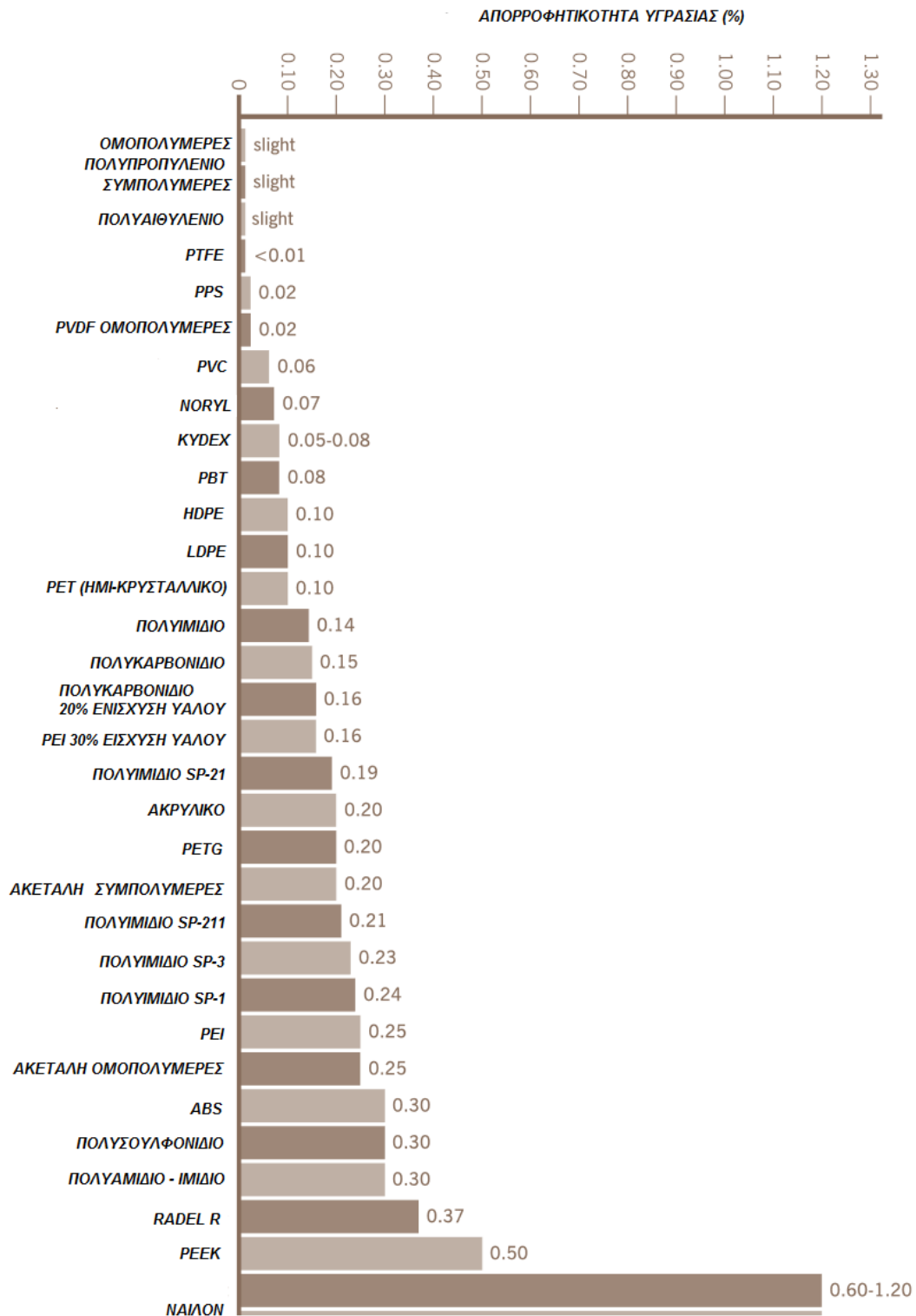
Πίνακας 6.1.1.1: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές συρρίκνωσης για διάφορα θερμοπλαστικά

#### 6.1.2) Θερμική διαστολή:

Μια σημαντική προϋπόθεση για τις διαστάσεις ενός εξαρτήματος είναι η θερμοκρασία στην οποία εκτίθεται. Τα θερμοπλαστικά έχουν σχετικά υψηλή θερμική διαστολή ( $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ) σε σχέση με τα μέταλλα ( $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ). Η θερμική διαστολή δεν μπορεί να αγνοηθεί για μεγάλα εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται σε υψηλές θερμοκρασίες.

#### 6.1.3) Απορροφητικότητα υγρασίας:

Κάποια εξαρτήματα παρουσιάζουν αλλαγές στις διαστάσεις τους μετά τη χύτευση λόγω απορροφητικότητας υγρασίας. Η απορροφητικότητα της υγρασίας είναι μια εξαρτώμενη από το χρόνο, αναστρέψιμη διαδικασία η οποία συνεχίζεται έως ότου επιτευχθεί ισορροπία. Η ισορροπία εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος και τα πάχη των τοιχωμάτων του καλουπιού. Μια αλλαγή στην υγρασία έχει ως αποτέλεσμα την διαφορετικότητα στις διαστάσεις του προϊόντος. Γι'αυτό το λόγο πρέπει να προβλεφτούν διαφορετικές συνθήκες υγρασίας κατά τη διάρκεια της χρήσης του προϊόντος. Εκτός από την αλλαγή των διαστάσεων, η υγρασία επηρεάζει και κάποιες σημαντικές ιδιότητες όπως το μέτρο ελαστικότητας, το όριο διαρροής και τη σκληρότητα η οποία μειώνεται με την αυξημένη απορροφητικότητα υγρασίας ενώ η ανθεκτικότητα αυξάνεται. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το ποσοστό της απορροφητικότητας της υγρασίας σε διάφορα πολυμερή:



Εικόνα 6.1.3.1: Ποσοστό απορροφητικότητας της υγρασίας σε διάφορα πολυμερή

Στο παρακάτω πίνακα εξηγούνται τα πολυμερή που αναγράφονται στην παραπάνω εικόνα:

PTFE	Πολυτετραφθοριούχο αιθυλένιο
PPS	Σουλφύδιο πολυπροπυλαίνιου
PVDF	Πολυβινυλιδενιούχο φθόριο
PVC	Πολυβινυλιούχο φθόριο
NORYL	Οξειδίο πολυφαινόλης και πολυστυρένιο
KYDEX	Ακρυλο-πολυβινυλιούχο χλώριο
PBT	Τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο
HDPE	Πολυαιθιλένιο υψηλής πυκνότητας
LDPE	Πολυαιθιλένιο χαμηλής πυκνότητας
PET	Τερεφθαλικό πολυαιθιλένιο
PEI	Πολυαιθυλενιμίνη
PETG	Τροποποιημένο τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο
ABS	Ακρυλονιτρίλιο – Βουταδένιο - Στυρένιο
RADEL R	Σουλφύδιο πολυφαινόλης
PEEK	Πολυαιθέρας – Αιθέρας - Κετόνη

Πίνακας 6.1.3.1: Εξηγούνται τα πολυμερή που αναγράφονται στην παραπάνω εικόνα

### 6.2) Δευτερεύουσες επιπτώσεις:

Αν τα εξαρτήματα θερμανθούν μετά τη χύτευση, μπορεί να παρέλθει προσωρινή ή ακόμα και μόνιμη αλλαγή στις διαστάσεις. Το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται ένα υλικό έχει εξίσου επιπτώσεις στη σταθερότητα των διαστάσεων του εξαρτήματος.

### 6.3) Συρρίκνωση:

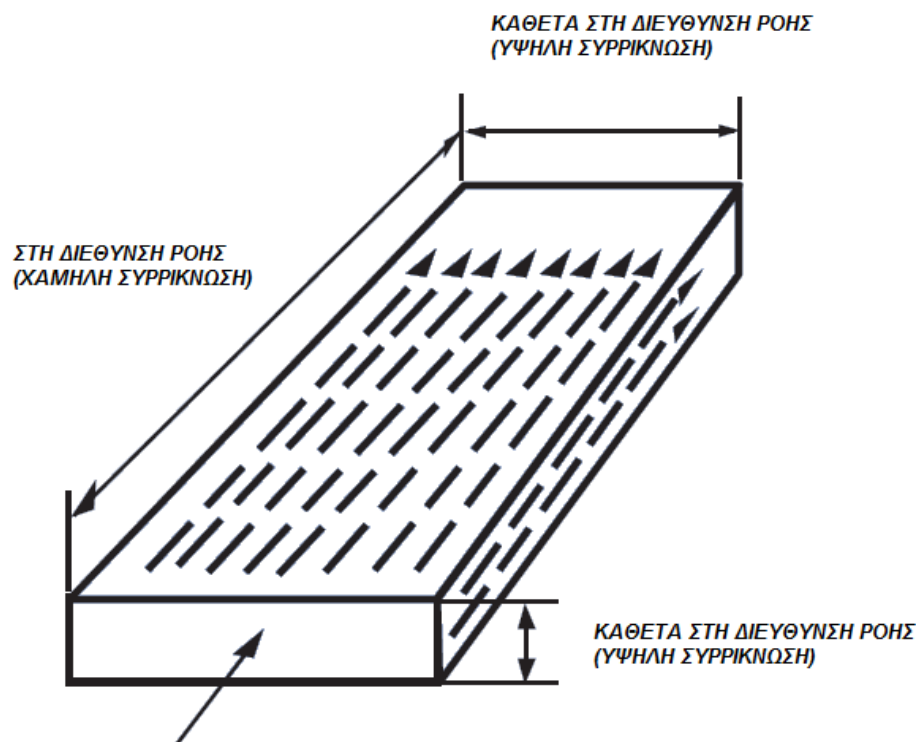
Η συρρίκνωση είναι έμφυτη στη διαδικασία χύτευσης καλουπιού. Η συρρίκνωση συμβαίνει λόγω του ότι η πυκνότητα των πολυμερών ποικίλει από τη θερμοκρασία της διαδικασίας στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η συρρίκνωση των πλαστικών μερών μπορεί να φτάσει το 20% του όγκου όταν μετράται στη θερμοκρασία της διαδικασίας και στη θερμοκρασία τη περιβάλλοντος. Τα ημι-κρυσταλλικά υλικά είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στη θερμική συρρίκνωση, ενώ τα άμορφα υλικά έχουν λιγότερη. Όταν τα κρυσταλλικά υλικά ψύχονται κάτω από τη θερμοκρασία ύαλου, τα μόρια οργανώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας κρυσταλλίτες. Από την άλλη μεριά, η μικροδομή των άμορφων υλικών δεν αλλάζει με την αλλαγή της φάσης. Αυτή η διαφορά οδηγεί τα ημι-κρυσταλλικά υλικά στο να έχουν μεγάλες διαφορές σε συγκεκριμένο όγκο στην κατάσταση επεξεργασίας. Κατά τη διαδικασία της χύτευσης, η μεταβολή της συρρίκνωσης των εξαρτημάτων δημιουργεί εσωτερικές τάσεις. Εάν οι τάσεις είναι υψηλές ώστε να υπερισχύσουν την ακεραιότητα της δομής, τότε το εξάρτημα θα διαστρεβλωθεί κατά την αφαίρεσή του από το καλούπι ή θα σπάσει. Ανεπανόρθωτη ογκομετρική συστολή οδηγεί είτε σε σημάδια βύθισης είτε σε δημιουργία κενών στο εσωτερικό του εξαρτήματος. Όλο αυτό μπορεί να αποφευχθεί ή να εξαλειφθεί με την κάλυψη της κοιλότητας ή τρύπας μετά το γέμισμα. Ο έλεγχος της συρρίκνωσης των εξαρτημάτων είναι αρκετά σημαντικός σε εφαρμογές όπου απαιτείται μικρή ανοχή.

Υπερβολική συρρίκνωση μπορεί να παρουσιαστεί από τους παρακάτω παράγοντες:

- Χαμηλής ισχύος πίεση συγκράτησης
- Μικρός χρόνος ψύξης
- Υψηλή θερμοκρασία τήξης
- Υψηλή θερμοκρασία

### 6.3.1) Ισοτροπική και ανισοτροπική συρρίκνωση:

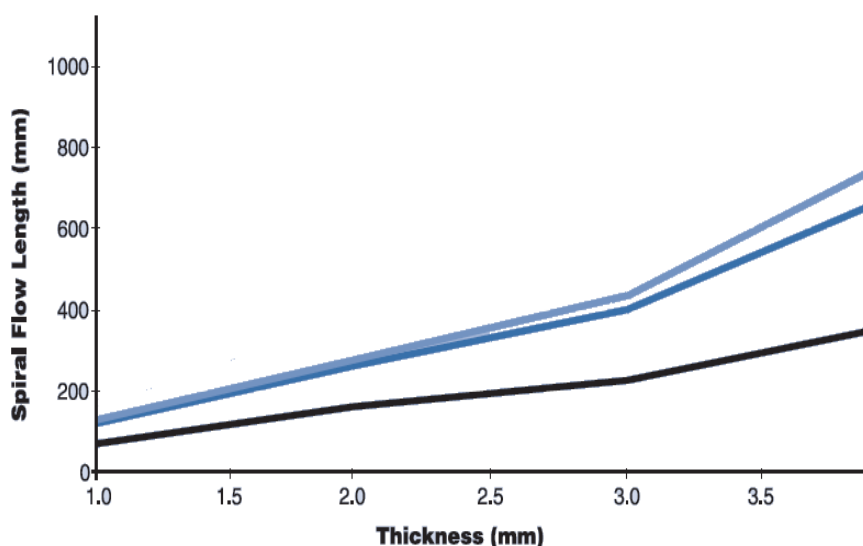
Στα απλήρωτα άμορφα και στα ενισχυμένα θερμοπλαστικά η συρρίκνωση είναι κυρίως ισοτροπική. Η συρρίκνωση στη διεύθυνση ροής είναι περίπου ίση με τη συρρίκνωση διαμέσου της ροής. Ενώ οι ενισχυμένες ίνες υάλου παρουσιάζουν ανισότροπες ιδιότητες. Λόγο του προσανατολισμού των ινών στη διεύθυνση της ροής τήξης, η τιμή της συρρίκνωσης κατά τη διεύθυνση ροής είναι μικρότερη από αυτής που είναι διαμέσου της κατεύθυνσης ροής. Η υπόθεση ότι ένα υλικό έχει ισοτροπικές ιδιότητες είναι συχνά ένα καλό σημείο εκκίνησης, εάν όμως η ανισοτροπία αγνοηθεί τελείως τότε θα προκύψουν σημαντικά σφάλματα στο σχεδιασμό των θερμοπλαστικών εξαρτημάτων. Οι σχεδιαστές πρέπει να είναι ενήμεροι πως αν ο βαθμός ανισοτροπίας αυξηθεί, τότε αυξάνεται και ο αριθμός του συντελεστή που χρειάζεται για τη περιγραφή του υλικού. Επομένως ειδικά για υλικά ενισχυμένου υάλου, η χρήση μιας απλής τεχνικής ανάλυσης έχει περιορισμένη τιμή και συχνά απαιτούνται ποιο εκτεταμένοι μέθοδοι FEA (Περιορισμένο στοιχείο ανάλυσης – Finite Element Analysis) για την ανάλυση ανισοτροπικών υλικών. Σε ανισοτροπική συρρίκνωση μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο ο προσανατολισμός των ινών αλλά και των μορίων. Ένα απλήρωτο φορμαρισμένο εξάρτημα το οποίο αποτελείται από υψηλά επίπεδα προσανατολισμού των μορίων λόγω υψηλών διατμητικών τάσεων, μπορεί να παρουσιάσει ανισοτροπική συρρίκνωση γιατί οι ευθυγραμμισμένες αλυσίδες συρρικνώνονται περισσότερο κατά τη δόρα του προσανατολισμού. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διεύθυνση ροής και το μέγεθος της συρρίκνωσης:



Εικόνα 6.3.1: Διεύθυνση ροής και το μέγεθος της συρρίκνωσης

#### 6.4) Πάχος τοιχωμάτων:

Όπως τα μέταλλα έχουν ένα ευρύ φάσμα πάχους τοιχωμάτων βασιζόμενο στην μέθοδο επεξεργασίας τους, έτσι έχουν και τα πλαστικά. Τυπικά για χυτευμένα εξαρτήματα, το πάχος τοιχωμάτων ανέρχεται περίπου από 0.5 mm έως 4 mm ( 0.20 – 0.16 in). Ανάλογα με το σχεδιασμό και το μέγεθος των εξαρτημάτων, είτε είναι λεπτά είτε είναι παχιά μπορούν να χυτευτούν. Παρατηρώντας της λειτουργικές ανάγκες, είναι επιθυμητή η διατήρηση του πάχους των τοιχωμάτων όσο το δυνατόν ποιο λεπτό και ομοιόμορφο. Με αυτό το τρόπο ομοίως το υλικό χύτευσης και η προσδοκώμενη συρρίκνωση κατά τη διάρκεια της χύτευσης μπορούν να διατηρηθούν στη καλύτερη κατάσταση. Επίσης εσωτερικές τάσεις μπορούν να ελαττωθούν. Το πάχος των τοιχωμάτων θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ώστε να μειωθεί ο κύκλος χύτευσης, να αποκτηθεί χαμηλό βάρος εξαρτήματος και να βελτιστοποιηθεί η χρήση του υλικού. Το ελάχιστο πάχος των τοιχωμάτων το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη χύτευση βασίζεται στις δομικές απαιτήσεις, στο μέγεθος και τη γεωμετρία της χύτευσης και στη συμπεριφορά ροής του υλικού. Ο σχεδιαστής μπορεί αρχικά να προσφύγει στις καμπύλες ροής οι οποίες δίνουν ένα σχετικό μέγεθος του μέγιστου επιτευχθού μήκους ροής για δεδομένο πάχος τοιχωμάτων και πίεσης έγχυσης. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το διάγραμμα με τις καμπύλες ροής κάποιων υλικών:



Εικόνα 6.4.1: Διάγραμμα με τις καμπύλες ροής κάποιων υλικών

Εάν τα εξαρτήματα εκτίθενται σε σημαντικά φορτία, τότε θα πρέπει να αναλυθούν για τάσεις και αποκλίσεις. Εάν η υπολογισμένη τάση ή η τιμή απόκλισης δεν είναι αποδεκτά, τότε ένα εύρος επιλογών τρόπου επίλυσης μπορεί να υπάρξει συμπεριλαμβάνοντας τα ακόλουθα:

- Αύξηση πάχους τοιχώματος
- Χρήση εναλλακτικού υλικού με υψηλότερη αντοχή
- Ενσωμάτωση ραβδώσεων ή περιγραμμάτων στο σχεδιασμό ώστε να αυξηθεί ο τμηματικός συντελεστής

Άλλες πτυχές που ίσως χρειαστεί να εξεταστούν είναι:

- Μόνωση χαρακτηριστικών:

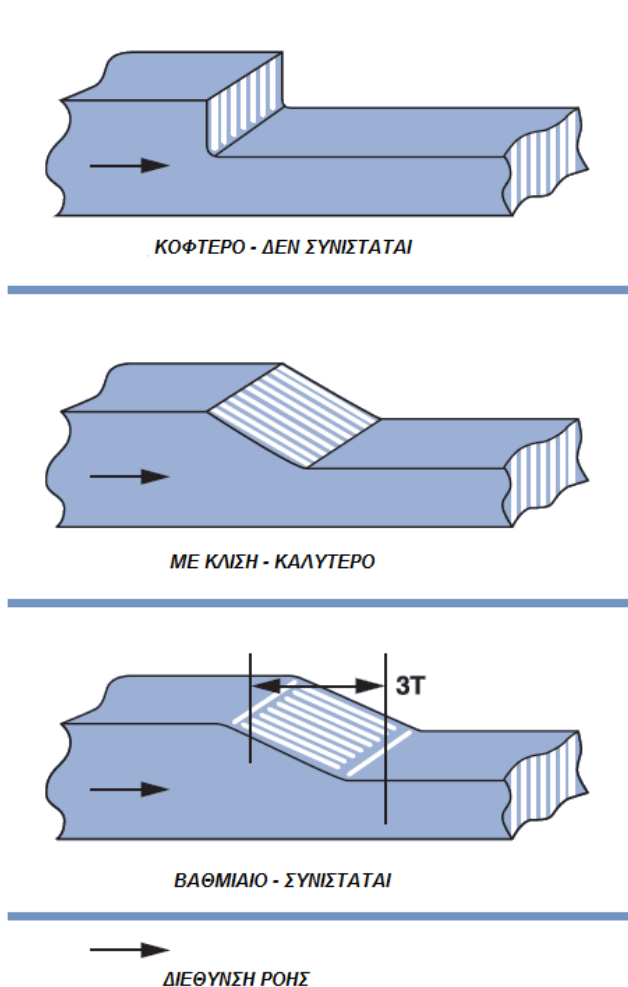
Γενικότερα η ικανότητα μόνωσης (είτε για ηλεκτρική είτε για θερμική ενέργεια) σχετίζεται με το πάχος του πολυμερούς.

- Χαρακτηριστικά κρούσης:

Η αντίσταση της κρούσης σχετίζεται άμεσα με την ικανότητα του εξαρτήματος να απορροφά μηχανική ενέργεια χωρίς θραύση. Αυτό στη συνέχεια σχετίζεται με το σχεδιασμό του εξαρτήματος και τις ιδιότητες του πολυμερούς. Η αύξηση των τοιχωμάτων γενικότερα βοηθάει στην αντίσταση κρούσης αλλά ένα υπερβολικά παχύ ( ή σκληρό) τμήμα μπορεί να δημιουργήσει αποκλίσεις στο σχεδιασμό και να διανέμει κρουστικά φορτία, με αποτέλεσμα την αύξηση των τάσεων σε μη αποδεκτά επίπεδα.

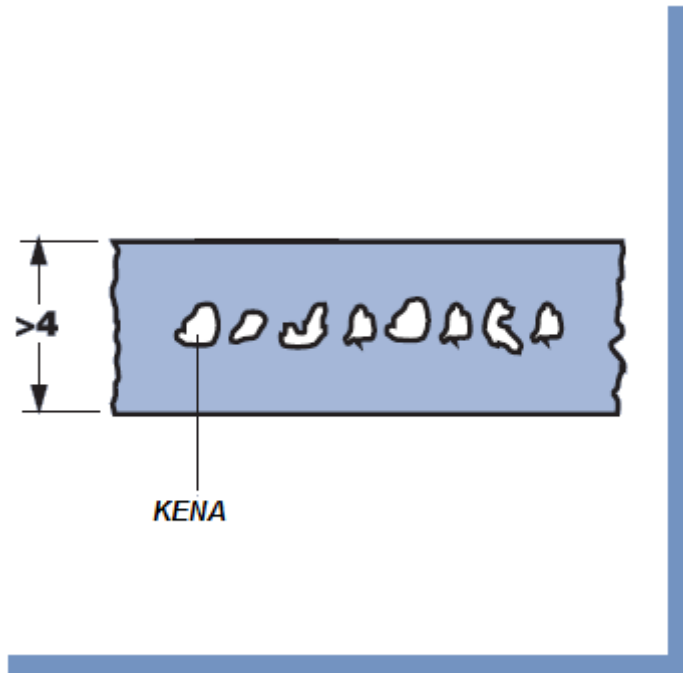
- Υψηλός έγκριση:

Όταν το σχέδιο ενός εξαρτήματος πρέπει να πληρεί κάποιες απαιτήσεις για αναφλεξιμότητα, αντίσταση στη θερμότητα, ηλεκτρικές ιδιότητες κτλ, τότε ίσως είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί με πιο παχιά τμήματα από αυτά που θα χρειαζόντουσαν απλά για να πληρεί τις μηχανικές απαιτήσεις. Εκεί όπου ένα ευρύ φάσμα παχών τοιχωμάτων είναι αναπόφευκτο για λόγους σχεδιασμού, εκεί θα πρέπει να γίνεται βαθμιαία μετάβαση (3 έως 1) όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα:

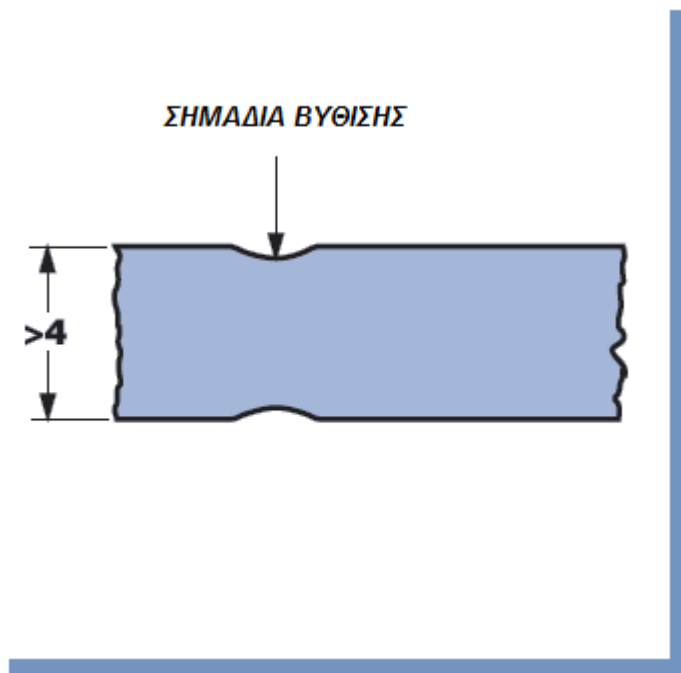


Εικόνα 6.4.2: Βαθμιαία μετάβαση

Γενικότερα, το μέγιστο πάχος τοιχωμάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4 mm (0,16 in). Παχύτερα τοιχώματα αυξάνουν τη κατανάλωση του υλικού, επιμηκύνουν τον χρονικό κύκλο αρκετά, δημιουργούν υψηλές εσωτερικές τάσεις, σημάδια βύθισης και κενά. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται τα σημάδια βύθισης και τα κενά που μπορούν να παρουσιαστούν λόγω μεγάλου πάχους τοιχωμάτων:



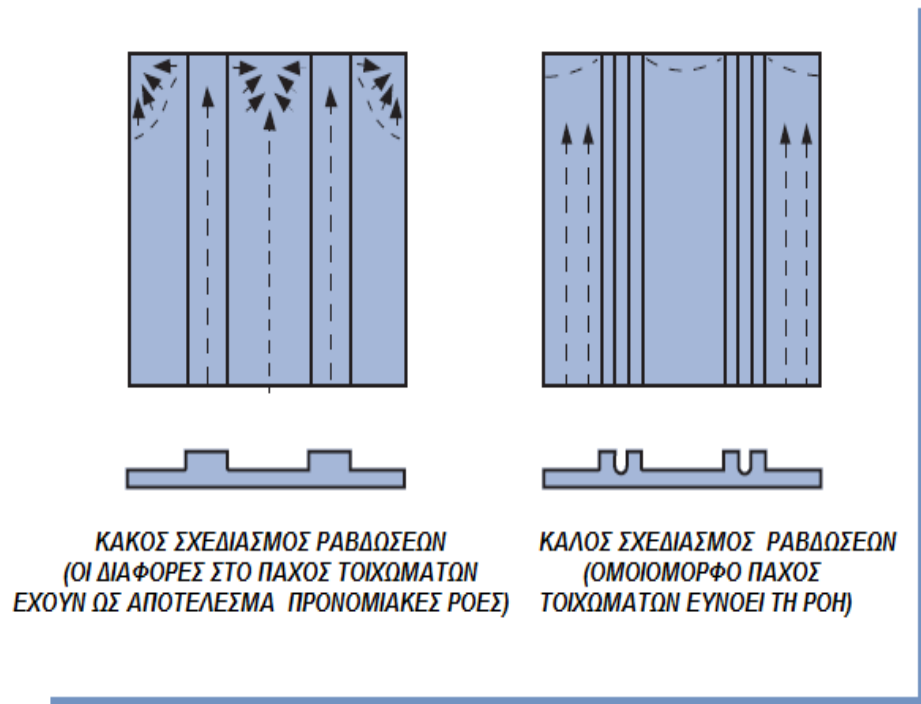
Εικόνα 6.4.3: Κενά που μπορούν να παρουσιαστούν λόγω μεγάλου πάχους τοιχωμάτων



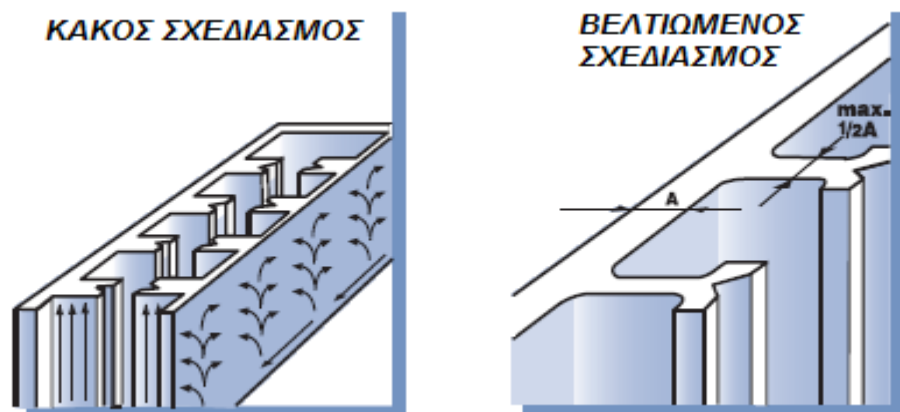
Εικόνα 6.4.4: Σημάδια βύθισης που μπορούν να παρουσιαστούν λόγω μεγάλου πάχους τοιχωμάτων

Για να αποφευχθεί η επίδραση που είναι γνωστή ως " race tracking " πρέπει να υπάρχει προσοχή διότι η τήξη κατά προτίμηση ρέει γρηγορότερα κατά μήκος των παχύτερων τμημάτων. Αυτό μπορεί να έχει και ως αποτέλεσμα την παγίδευση του αέρα και τη δημιουργία ρωγμών όπου εμφανίζονται στην επιφάνεια. Τροποποιώντας ή ενσωματώνοντας ραβδώσεις στο σχεδιασμό μπορεί να βελτιώσει τα παχύτερα τμήματα.

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η επιρροή των ραβδώσεων στη διεύθυνση ροής:



Εικόνα 6.4.5: Η επιρροή των ραβδώσεων στη διεύθυνση ροής



Εικόνα 6.4.6: Η ομοιομορφία στα τοιχώματα

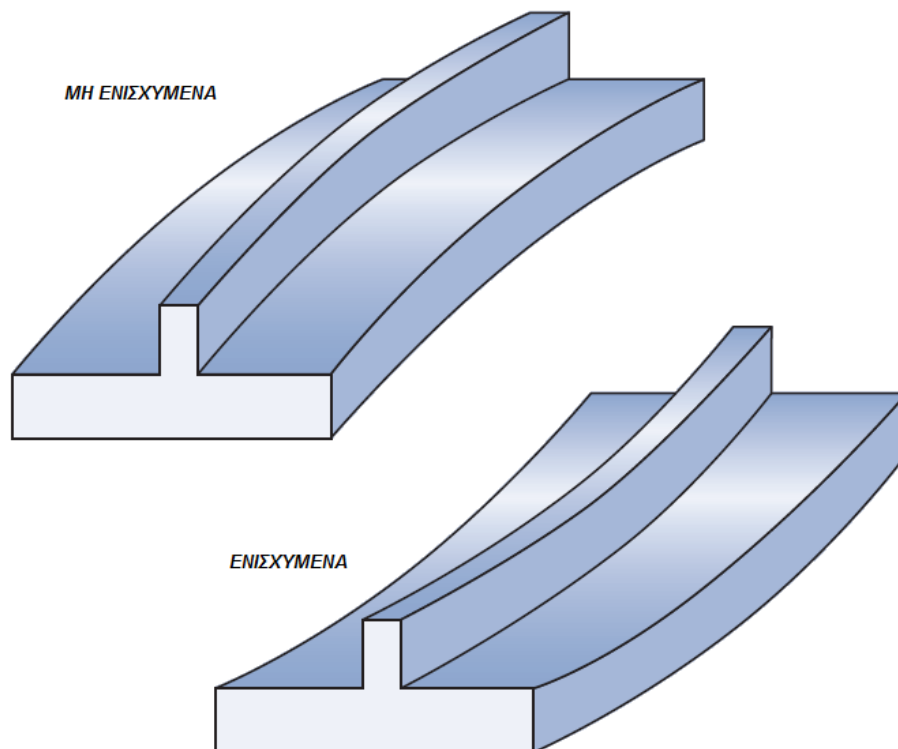


### 6.5) Στρέβλωση:

Εάν η συρρίκνωση διαμέσου του υλικού είναι ομοιόμορφη, το υλικό χύτευσης δεν θα παραμορφωθεί ή στρέβλωθεί, απλώς γίνεται μικρότερη. Η στρέβλωση μπορεί να θεωρηθεί ως μια παραμόρφωση όπου οι επιφάνειες του χυτευμένου υλικού δεν ακολουθεί το σχήμα του σχεδιασμού. Η στρέβλωση των εξαρτημάτων συμβαίνει λόγω διαφορετικής συρρίκνωσης του υλικού που προέρχεται από χύτευση με υπολειπόμενες τάσεις. Μεταβολές στη συρρίκνωση προέρχεται από τα μόρια, τον προσανατολισμό των ινών, την αλλαγή της θερμοκρασίας κατά τη χύτευση, από μεταβλητά στοιβάγματα και διαφορετικά επίπεδα πίεσης κατά τη στερέωση του υλικού. Λόγο των αριθμών των παραγόντων που παρουσιάζονται, είναι αρκετά πολύπλοκη η δημιουργία ομοιόμορφης συρρίκνωσης. Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

#### 6.5.1) Επιρροή των απλήρωτων και πληρωμένων υλικών:

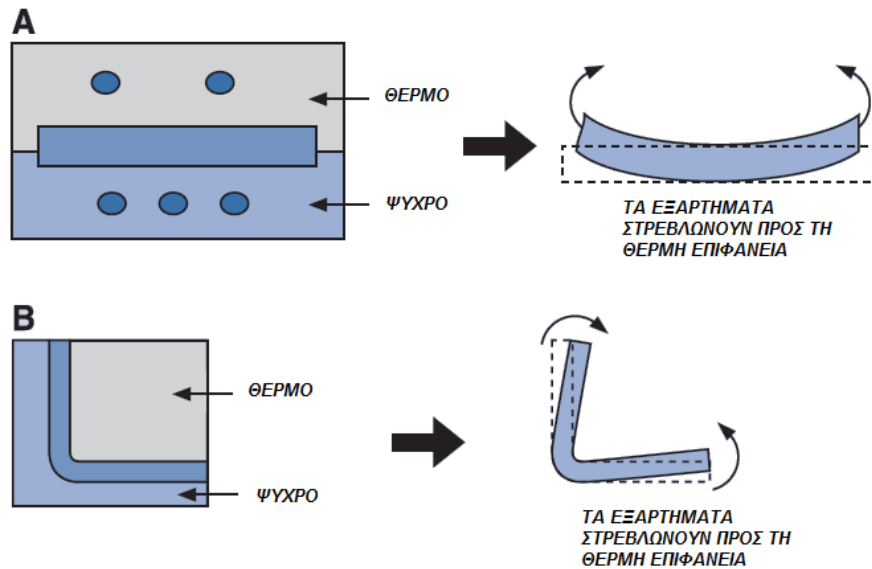
Σε θερμοπλαστικά με ενισχυμένες ίνες, εμποδίζεται η συρρίκνωση λόγω μικρότερης θερμικής συστολής των ενισχυμένων ινών. Γι'αυτό το λόγο τα υλικά με ενισχυμένες ίνες συρρικνώνονται λιγότερο κατά μήκος της διεύθυνσης στην οποία οι ίνες στοιχίζονται (συνήθως η διεύθυνση ροής), σε σχέση με τη συρρίκνωση της εγκάρσιας διεύθυνσης. Ομοίως, τα μόρια των πληρωμένων θερμοπλαστικών συρρικνώνονται λιγότερο από τα απλήρωτα αλλά επιδεικνύουν ιστροπική συμπεριφορά. Για μη ενισχυμένα υλικά η στρέβλωση γενικότερα επηρεάζεται από το πάχος των τοιχωμάτων και τη θερμοκρασία χύτευσης. Εάν το πάχος των τοιχωμάτων και η θερμοκρασία χύτευσης δεν είναι τα βέλτιστα, τότε θα υπάρξει στρέβλωση. Για τα υλικά ενισχυμένων υάλων είναι τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά λόγω του προσανατολισμού των ινών. Εάν ένα μη ενισχυμένο υλικό συγκριθεί με ένα υλικό ενισχυμένων ινών με ίδιο σχεδιασμό, τότε είναι πιθανό να δημιουργηθεί αντίθετη στρέβλωση στο ίδιο εξάρτημα. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η στρέβλωση μεταξύ υλικού ενισχυμένων ινών και μη ενισχυμένου υλικού:



Εικόνα 6.5.1: Στρέβλωση μεταξύ υλικού ενισχυμένων ινών και μη ενισχυμένου υλικού

6.5.2) Επιρροή της ψύξης:

Η μη ομοιόμορφη ψύξη του εξαρτήματος όπως και η ασύμμετρη ψύξη διαμέσου του πάχους του εξαρτήματος, μπορούν να επιφέρουν διαφορετική συρρίκνωση. Τα υλικά ψύχονται και συρρικνώνονται αντιφατικά από τα τοιχώματα προς το κέντρο, δημιουργώντας στρέβλωση κατά την αφαίρεση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η στρέβλωση δύο εξαρτημάτων λόγο ψύξης:



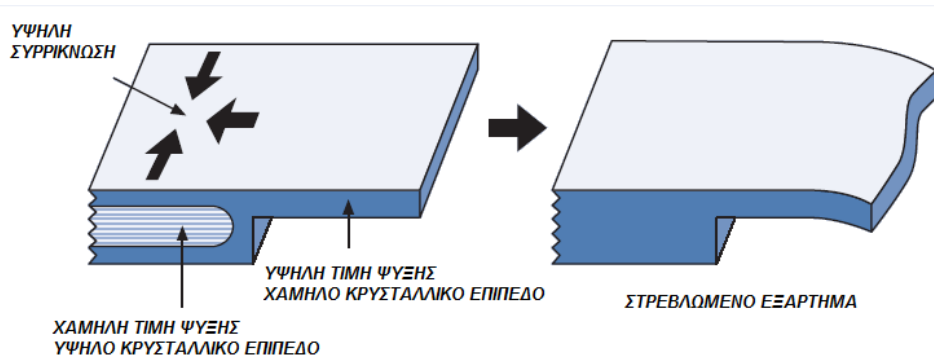
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ ΛΟΓΟ:

- A. ΜΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΨΥΞΗ
- B. ΑΣΥΜΜΕΤΡΗ ΨΥΞΗ

Εικόνα 6.5.2.1: Στρέβλωση δύο εξαρτημάτων λόγο ψύξης

6.5.3) Επιρροή του πάχους των τοιχωμάτων:

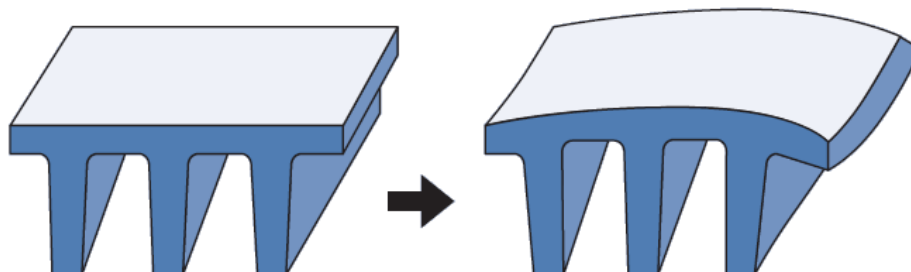
Η συρρίκνωση αυξάνεται καθώς αυξάνεται και το πάχος των τοιχωμάτων. Διαφορετική συρρίκνωση λόγω μη ομοιομορφίας των παχών των τοιχωμάτων είναι ο κυριότερος λόγος στρέβλωσης μη ενισχυμένων θερμοπλαστικών υλικών. Ειδικότερα, οι τιμές ψύξης και τα κρυσταλλικά επίπεδα αυξάνονται εντός των τοιχωμάτων του εξαρτήματος ανάλογα με το πάχος των τοιχωμάτων. Μεγαλύτερη ογκομετρική συρρίκνωση λόγω υψηλών κρυσταλλικών επιπέδων στις αργές περιοχές ψύξης οδηγούν σε διαφορετική συρρίκνωση και στρέβλωση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η επιρροή του πάχους των τοιχωμάτων στη στρέβλωση:



Εικόνα 6.5.3.1: Επιρροή του πάχους των τοιχωμάτων στη στρέβλωση

#### 6.5.4) Επιρροή της ασύμμετρης γεωμετρίας:

Γεωμετρική ασυμμετρία (παραδείγματος χάριν μια επίπεδη πλάκα με αυξημένο αριθμό ραβδώσεων ευθυγραμμισμένα σε μια κατεύθυνση ή στην μια πλευρά του εξαρτήματος), θα παρουσιάσουν μη ομοιόμορφη ψύξη και διαφορετική συρρίκνωση όπου οδηγεί σε στρέβλωση. Η φτωχή ψύξη των τοιχωμάτων στην πλευρά με τις ραβδώσεις δημιουργεί ποιά αργή ψύξη του υλικού σε αυτή τη μεριά, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε στρέβλωση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η στρέβλωση λόγω ασύμμετρης γεωμετρίας:



Εικόνα 6.5.4.1: Στρέβλωση λόγω ασύμμετρης γεωμετρίας

#### 6.6) Ραβδώσεις και προφίλ δομής:

Εάν χρειάζεται βελτίωση η ικανότητα μεταφοράς φορτίων ή η ακαμψία μιας πλαστικής δομής, τότε είναι απαραίτητη είτε η αύξηση των τμηματικών ιδιοτήτων της δομής είτε η αλλαγή του υλικού. Αλλάζοντας το υλικό ή ένα βαθμό του υλικού (παραδείγματος χάριν αύξηση των ινών υάλου), μπορεί να είναι επαρκής κάποιες φορές αλλά δεν είναι ούτε πρακτικό ούτε οικονομικό. Αυξάνοντας τις τμηματικές ιδιότητες, δηλαδή τη στιγμή της αδράνειας, είναι συχνά η προτιμότερη επιλογή. Εάν το φορτίο απαιτεί τμήματα στη δομή του εξαρτήματος μεγαλύτερα από 4mm (0.16 in), η ενίσχυση του πάχους με μέσα όπως ραβδώσεις ή τμήματα σε σχήμα κουτιού είναι συνετό ώστε να αποκτηθεί η απαιτούμενη δύναμη σε αποδεκτό πάχος τοιχωμάτων.

6.6.1 Στερεές πλάκες συγκριτικά με πλάκες με ραβδώσεις ως προς το βάρος και την ακαμψία:

Παρόλο που οι ραβδώσεις προσφέρουν δομικά πλεονεκτήματα, μπορούν να αυξήσουν τη στρέβλωση και να δημιουργήσουν προβλήματα εμφάνισης. Γι'αυτό το λόγο πρέπει να ακολουθηθούν συγκεκριμένες οδηγίες:

- Το πάχος της ράβδωσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μισό πάχος του τοιχώματος

1. ΠΑΧΟΣ ΒΑΣΗΣ
2. ΥΨΟΣ
3. ΑΚΤΙΝΑ ΓΩΝΙΑΣ
4. ΓΩΝΙΑ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ
5. ΑΠΟΣΤΑΣΗ

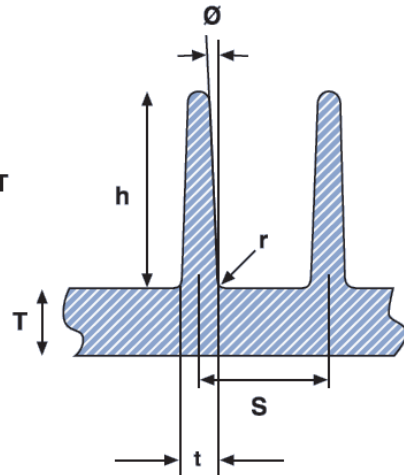
$$t \leq 0.5 T$$

$$h \leq 3T$$

$$r \geq 0.25-0.5T$$

$$\theta \geq 0.5^\circ$$

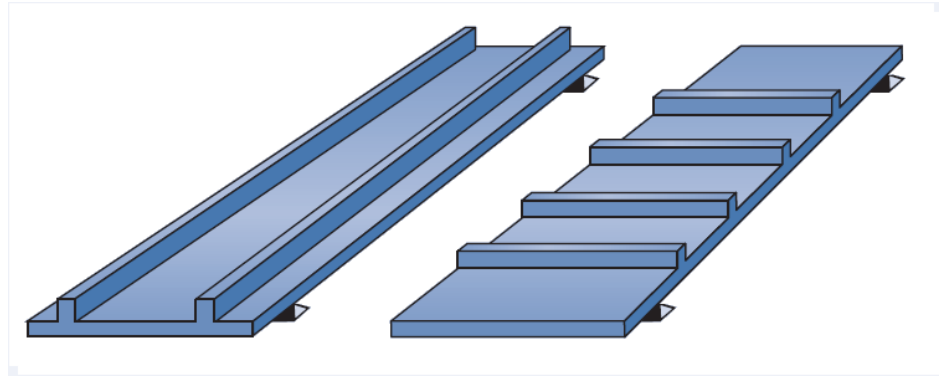
$$S \geq 2T$$



Εικόνα 6.6.1.1: Διαστάσεις των ραβδώσεων

- Σε περιοχές όπου η δομή είναι ποιό σημαντική από την εμφάνιση ή σε υλικά με χαμηλή συρρίκνωση, τότε ραβδώσεις παχύτερες από το μισό πάχος τοιχώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Όμως αυτό θα προκαλέσει σημάδια βύθισης στην επιφάνεια του τοιχώματος απέναντι από τις ραβδώσεις. Επιπλέον παχιές ραβδώσεις μπορούν να ενεργήσουν σαν καθοδηγητές ροής δημιουργώντας προνομιακές ροές κατά την έγχυση.
- Το μέγιστο ύψος ραβδώσεων δε πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 3 φορές το ονομαστικό πάχος των τοιχωμάτων καθώς βαθιές ραβδώσεις γεμίζουν δυσκολότερα και ίσως κολλήσουν κατά την αφαίρεση του εξαρτήματος.
- Στη τομή της βάσης της ράβδωσης και της επιφάνειας τοιχώματος μια ακτίνα περίπου 25 με 50% του ονομαστικού τοιχώματος πρέπει να συμπεριληφθεί. Η μικρότερη τιμή είναι 0.4 mm. Αυτή η ακτίνα θα εξαλείψει μια πιθανή συγκέντρωση τάσεων και θα βελτίωση τη ροή και τα χαρακτηριστικά ψύξης γύρω από τη ράβδωση. Μεγαλύτερη ακτίνα θα έχει ως αποτέλεσμα οριακή βελτίωση και αύξηση του κινδύνου εμφάνισης σημαδιών βύθισης στην απέναντι μεριά του τοιχώματος.

Παράλληλες ραβδώσεις θα πρέπει να τοποθετούνται σε μια ελάχιστη απόσταση περίπου διπλάσια του ονομαστικού πάχους του τοιχώματος. Αυτό αποτρέπει προβλήματα ψύξης και τη χρήση λεπτών λεπίδων στη χύτευση. Οι ραβδώσεις κατά προτίμηση σχεδιάζονται παράλληλα στη ροή τήξης καθώς η ροή διαμέσου των ραβδώσεων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διακλαδισμένης ροής που οδηγεί σε παγίδευση αερίων. Επίσης οι ραβδώσεις θα πρέπει να είναι προσανατολισμένες κατά μήκος του άξονα κάμψης έτσι ώστε να παρέχουν μέγιστη ακαμψία. Βλέποντας την παρακάτω εικόνα όπου μία μακριά, λεπτή πλάκα απλά υποστηρίζεται στα άκρα. Αν οι ραβδώσεις τοποθετηθούν στην κατεύθυνση του μήκους, τότε η πλάκα είναι σημαντικά σκληρυμένη. Αντιθέτως εάν οι ραβδώσεις τοποθετηθούν κατά μήκος του πλάτους της πλάκας τότε δεν υπάρχει βελτίωση.

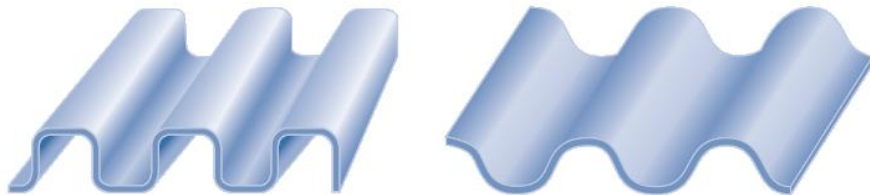


Εικόνα 6.6.1.2: Τρόποι τοποθέτησης των ραβδώσεων

Οι ραβδώσεις συνήθως τοποθετούνται για:

- Αύξηση της ακαμψίας ή της δύναμης μεγάλων επίπεδων επιφανειών
- Αύξηση στρεπτικής αντοχής των ανοιχτών τμημάτων

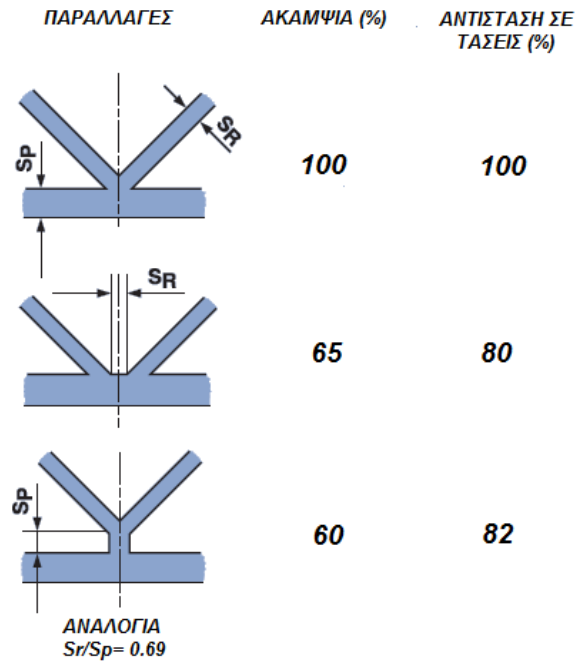
Προσθέτοντας αυλακώσεις ή νεύρα στο σχεδιασμό, μπορούν να σκληρύνουν επίπεδες επιφάνειες κατά τη διεύθυνση των αυλακώσεων ή των νεύρων.



Εικόνα 6.6.1.3: Αυλακώσεις

Είναι πολύ αποτελεσματικά και δεν προσθέτουν μεγάλα ποσά επιπλέον υλικού, ούτε επιμηκύνουν το χρόνο ψύξης. Η επιπλέον ακαμψία είναι αποτέλεσμα αύξησης της μέσης απόστασης του υλικού από τους ουδέτερους άξονες του εξαρτήματος. Οι ραβδώσεις και τα τμήματα σε σχήμα κουτιού αυξάνουν την ακαμψία και βελτιώνουν τη δυνατότητα αντοχής φορτίου της χύτευσης. Αυτοί οι μέθοδοι ενίσχυσης επιτρέπουν μια μείωση στο πάχος των τοιχωμάτων όμως έχουν την ίδια δύναμη με αυτά με μεγαλύτερο πάχος τοιχωμάτων. Τα αποτελέσματα επιδεικνύουν ότι η χρήση διαγώνιων ραβδώσεων έχουν τη καλύτερη επίδραση στην στρεπτική ακαμψία του τμήματος.

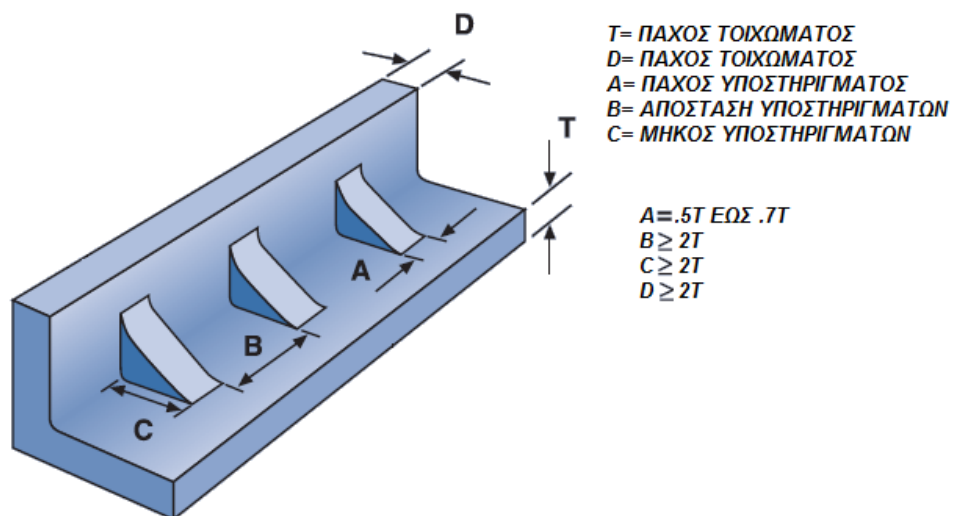
Ανάλογα με τις απαιτήσεις του εξαρτήματος η αποδοχή πιθανών σημασιών βύθισης στις τομές των ραβδώσεων και στη πλάγια όψη (προφίλ) των τοιχωμάτων χρειάζεται ειδική μελέτη. Για μέγιστη απόδοση και λειτουργικότητα οι ουδέτερες γραμμές των ραβδώσεων και του προφίλ των τοιχωμάτων θα πρέπει να ενώνονται στο ίδιο σημείο. Τυχόν αποκλίσεις από τους κανόνες έχουν ως αποτέλεσμα αδύναμη γεωμετρία. Εάν λόγω αισθητικών απαιτήσεων οι διαγώνιες ραβδώσεις μετατοπισθούν ελαφρώς χωριστά, τότε η ακαμψία μειώνεται περίπου 35%. Εάν μια μικρή-κοντή κάθετη ράβδωση προστεθεί στο σχεδιασμό τότε η στρεπτική ακαμψία μειώνεται επιπλέον 5%. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται η στρεπτική ακαμψία και η αντίσταση σε στρεπτικές τάσεις με βάση τον τρόπο τοποθέτησης των ραβδώσεων:



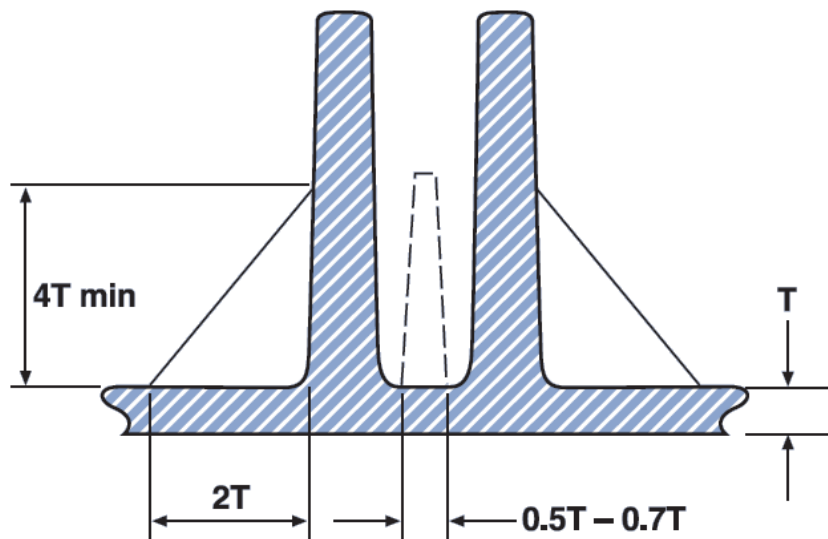
Εικόνα 6.6.1.4: Στρεπτική ακαμψία και η αντίσταση σε στρεπτικές τάσεις με βάση τον τρόπο τοποθέτησης των ραβδώσεων

### 6.7) Υποστηρίγματα ενίσχυσης ή υποστηρικτικές ραβδώσεις:

Τα υποστηρίγματα ενίσχυσης μπορούν να θεωρηθούν ως υποσύνολο των ραβδώσεων και οι σχεδιαστικές αρχές που ισχύουν για τις ραβδώσεις, ισχύουν επίσης και τα υποστηρίγματα. Τα υποστηρίγματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση γωνιών, πλευρικών τοιχωμάτων και εξέχων όγκων. Το ύψος των υποστηριγμάτων μπορεί να είναι μέχρι και το 95% του ύψους των εξέχων όγκων ή των ραβδώσεων. Το μήκος της βάσης των υποστηριγμάτων είναι συνήθως διπλάσιο από το ονομαστικό πάχος των τοιχωμάτων. Αυτές οι αξίες βελτιστοποιούν την αποτελεσματικότητα των υποστηριγμάτων και την ευκολία στη χύτευση και εξαγωγή του εξαρτήματος. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα υποστηρίγματα και κάποιες σχεδιαστικές τους αρχές:



Εικόνα 6.7.1: Υποστηρίγματα και κάποιες σχεδιαστικές τους αρχές



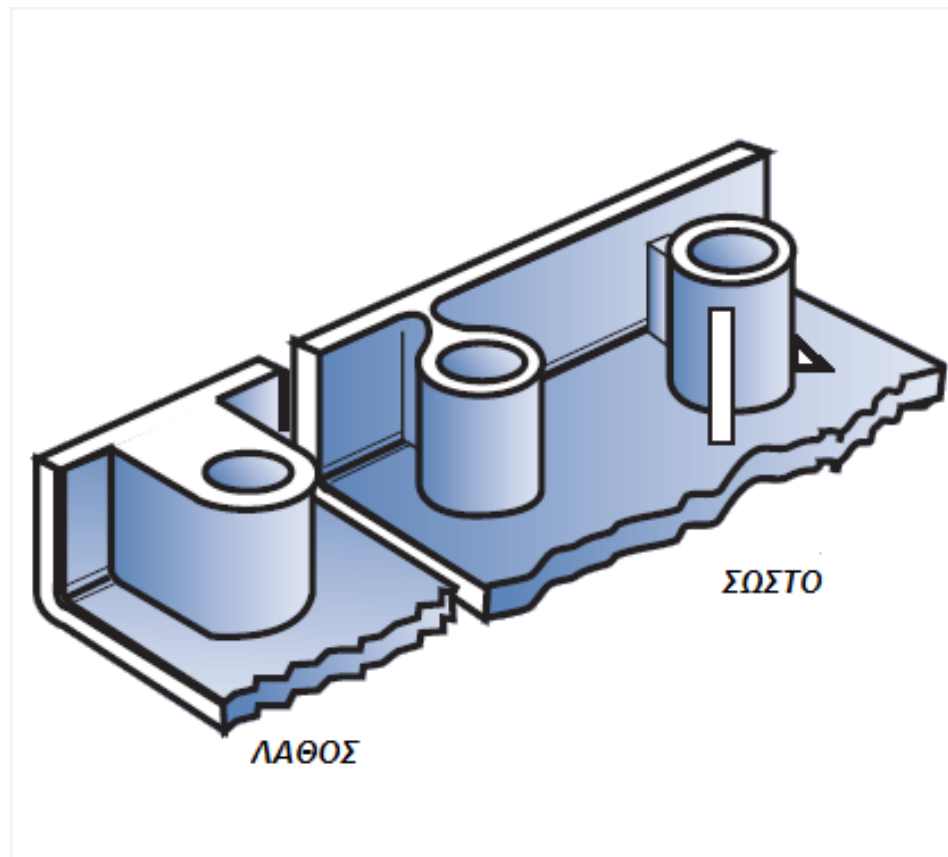
Εικόνα 6.7.2: Τρόπος υπολογισμού των υποστηριγμάτων

### 6.8) Εξέχων Όγκος:

Ο εξέχων όγκος συχνά εξυπηρετεί ως σημεία δεσίματος ή στερέωσης και ως εκ τούτου για καλό σχεδιασμό ένας συμβιβασμός πρέπει να γίνει ώστε να επιτευχθεί μια καλή εμφάνιση και επαρκής δύναμη στο εξάρτημα. Πυκνά τμήματα θα πρέπει να αποφεύγονται ώστε να ελαχιστοποιούνται τυχόν αισθητικά προβλήματα όπως σημάδια βύθισης. Παρακάτω αναγράφονται κάποιες γενικές συστάσεις:

- Το ονομαστικό πάχος του εξέχων όγκου πρέπει να είναι μικρότερο του 75% του ονομαστικού πάχους των τοιχωμάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι πάνω από το 50% υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης σημαδιών βύθισης. Επίσης μεγαλύτερα πάχη τοιχωμάτων για αύξηση της δύναμης θα αυξήσει τις τάσεις κατά τη χύτευση και θα έχει ως αποτέλεσμα να εμφανιστούν σημάδια βύθισης.
- Μια ελάχιστη ακτίνα περίπου 25% του ονομαστικού πάχους των τοιχωμάτων ή 4 mm στη βάση του εξέχων όγκου είναι επιθυμητή ώστε να μειωθούν οι τάσεις.
- Αύξηση του μήκους του πυρήνα ώστε να διαπεράσει το ονομαστικό τμήμα τοιχώματος μπορεί να μειώσει το κίνδυνο εμφάνισης σημαδιών βύθισης.

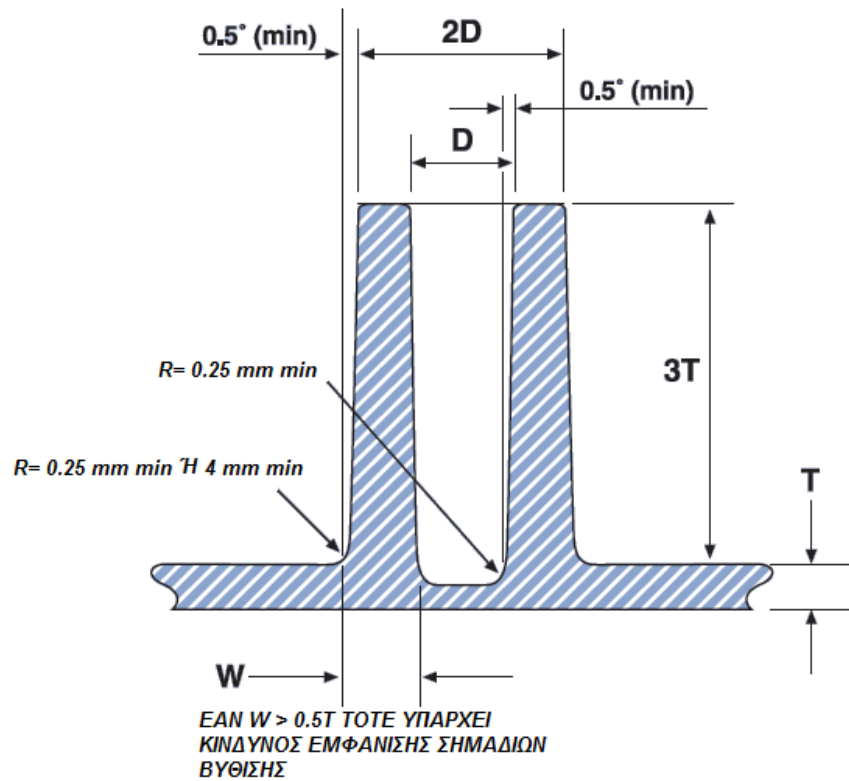
Επιπλέον δύναμη μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση υποστηριγμάτων ή με τη προσκόλληση του εξέχων όγκου στα πλάγια τοιχώματα. Ο εξέχων όγκος πρέπει να τοποθετηθεί το λιγότερο 3mm (12 in) από το εξωτερικό τοίχωμα ώστε να αποφευχθούν τυχόν σημάδια βύθισης. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο τρόπος τοποθέτησης του εξέχων όγκου:



Εικόνα 6.8.1: Τρόπος τοποθέτησης του εξέχων όγκου

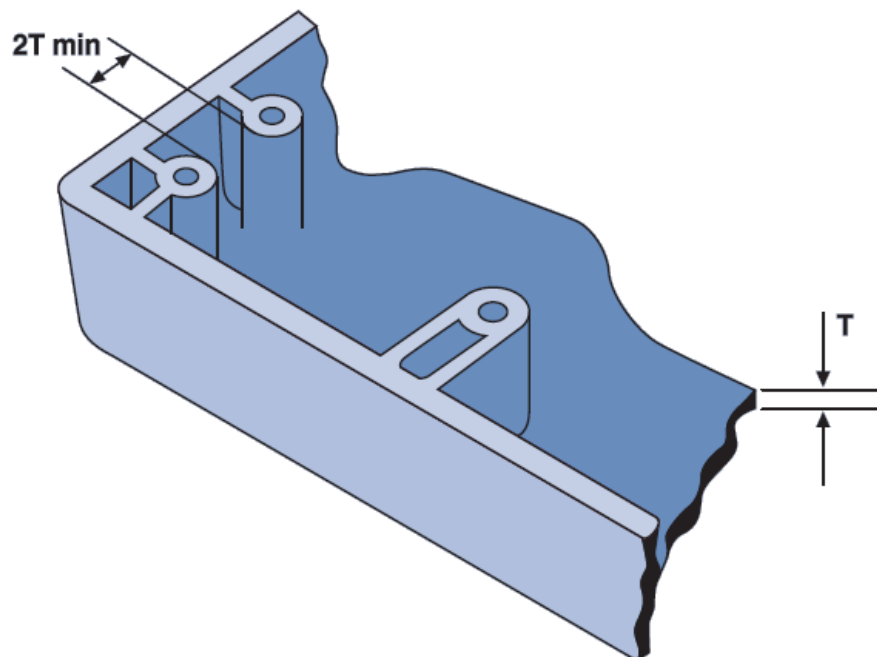
Μια ελάχιστη απόσταση η οποία είναι διπλάσια του ονομαστικού πάχους τοιχώματος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του κενού ανάμεσα στους εξέχων όγκους. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο σωστός σχεδιασμός των εξέχων όγκων:





Εικόνα 6.8.2: Σωστός σχεδιασμός των εξέχων όγκων

Εάν τοποθετηθούν πιο κοντά τότε θα δημιουργηθούν περιοχές οι οποίες ψύχονται δύσκολα με αποτέλεσμα να επηρεαστεί έτσι η ποιότητα και η παραγωγικότητα. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι αποστάσεις των εξέχων όγκων:



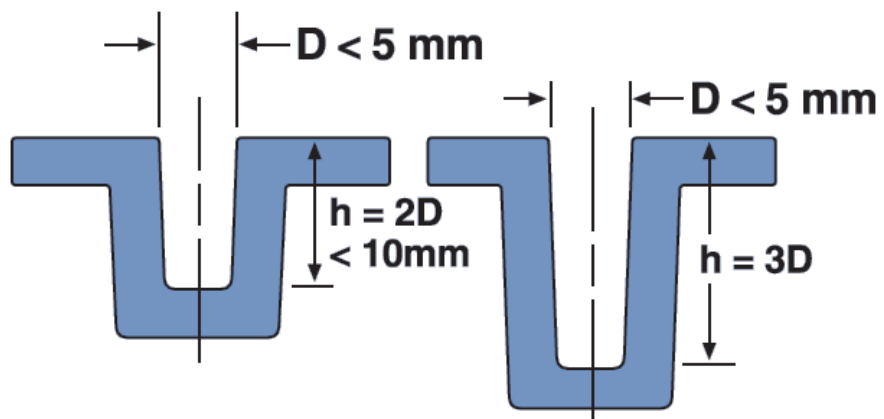
Εικόνα 6.8.3: Αποστάσεις των εξέχων όγκων

## 6.9) Οπές:

Οι οπές μπορούν εύκολα να παραχθούν σε χυτευμένα εξαρτήματα μέσο πυρήνα καρφιού. Οι διαμπερείς οπές είναι ποιά εύκολες να δημιουργηθούν σε σχέση με τις τυφλές οπές.

### 6.9.1) Τυφλές οπές:

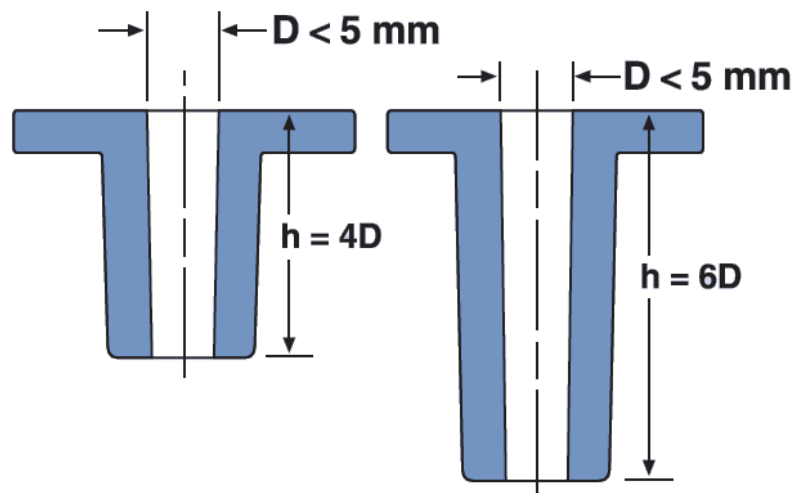
Τυφλή οπή είναι η οπή η οποία είναι σε συγκεκριμένο βάθος χωρίς όμως να διαπεράσει το υλικό. Ένας γενικός κανόνας για το βάθος της τυφλής οπής είναι ότι δε πρέπει να υπερβαίνει 3 φορές τη διάμετρο της οπής. Για διαμέτρους οι οποίες είναι μικρότερες από 5mm η αναλογία μειώνεται σε 2 φορές τη διάμετρο της οπής. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι τυφλές οπές:



Εικόνα 6.9.1: Τυφλές οπές

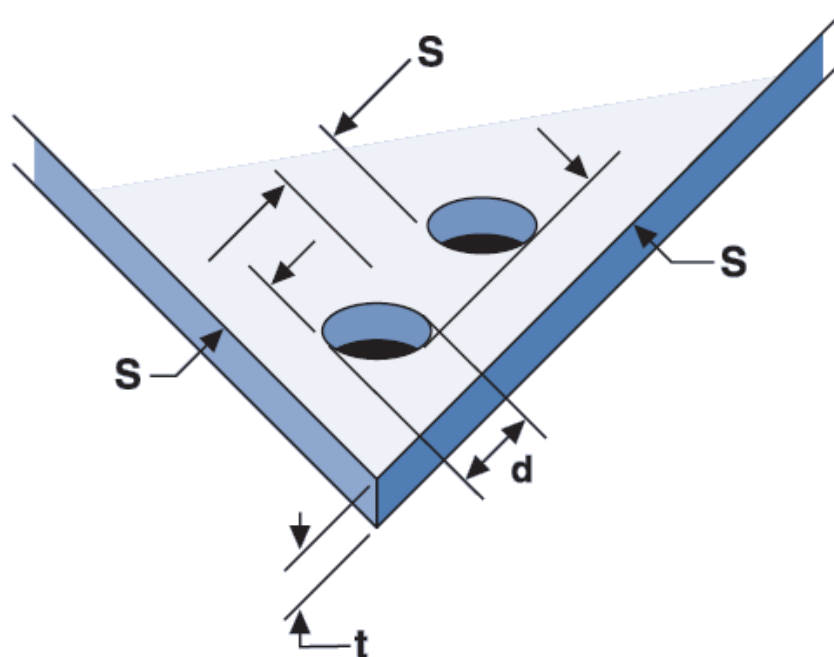
### 6.9.2) Διαμπερείς οπές:

Διαμπερείς οπές είναι η οπή η οποία διαπερνά όλο το πάχος του υλικού. Για τέτοιου είδους οπές το μήκος του πυρήνα μπορεί να είναι διπλάσιο από εκείνο της τυφλής οπής. Σε περιπτώσεις όπου ένας ποιά μακρύς πυρήνας απαιτείται, τότε απαιτείται επίσης και προσεκτικό σχεδιαστικό εργαλείο ώστε να διασφαλιστεί η ισορροπία της πίεσης. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι διαμπερείς οπές:



Εικόνα 6.9.2: Διαμπερείς οπές

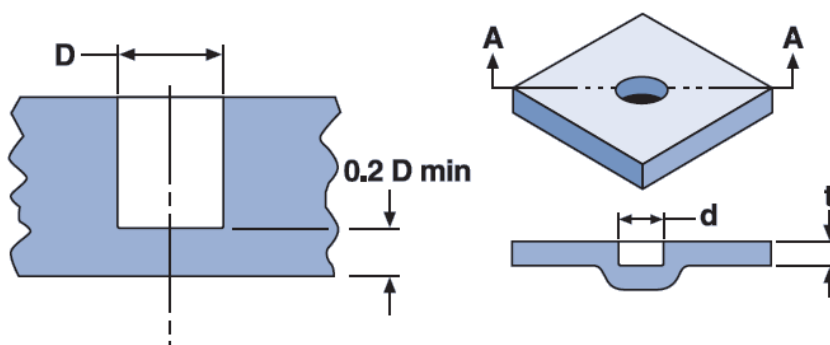
Η απόσταση μεταξύ δύο οπών ή μιας οπής από την άκρη ενός εξαρτήματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο φορές το πάχος του εξαρτήματος ή δύο φορές τη διάμετρο της οπής, οποιαδήποτε είναι μεγαλύτερη. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι αποστάσεις των οπών:



$$S = 2t \text{ or } 2d$$

Εικόνα 6.9.3: Αποστάσεις των οπών

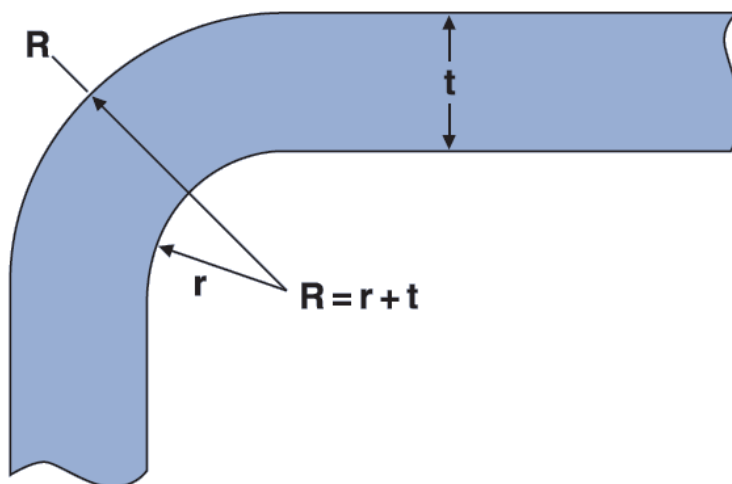
Για τυφλές οπές το πάχος του πυθμένα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 20% της διαμέτρου της οπής ώστε να εξαιρεφτούν τυχόν επιφανειακές ατέλειες στην αντίθετη επιφάνεια. Ένας καλός σχεδιασμός είναι να εξασφαλιστεί ότι το πάχος του τοιχώματος παραμένει ομοιόμορφο και ότι δεν υπάρχουν τυχόν κοφτερές γωνίες όπου μπορούν να συγκεντρωθούν τάσεις. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο σχεδιασμός των τυφλών οπών:



Εικόνα 6.9.4: Σχεδιασμός των τυφλών οπών

### 6.10) Ακτίνα και γωνία:

Στο σχεδιασμό χυτών εξαρτημάτων θα πρέπει να αποφεύγονται κοφτερές γωνίες. Γενικότερα ακτίνες θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση τάσεων. Η καμπυλότητα θα πρέπει να είναι μεταξύ 25 και 60% του ονομαστικού πάχους του τοιχώματος. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η καμπυλότητα στο σχεδιασμό:



Εικόνα 6.10.1: Καμπυλότητα στο σχεδιασμό

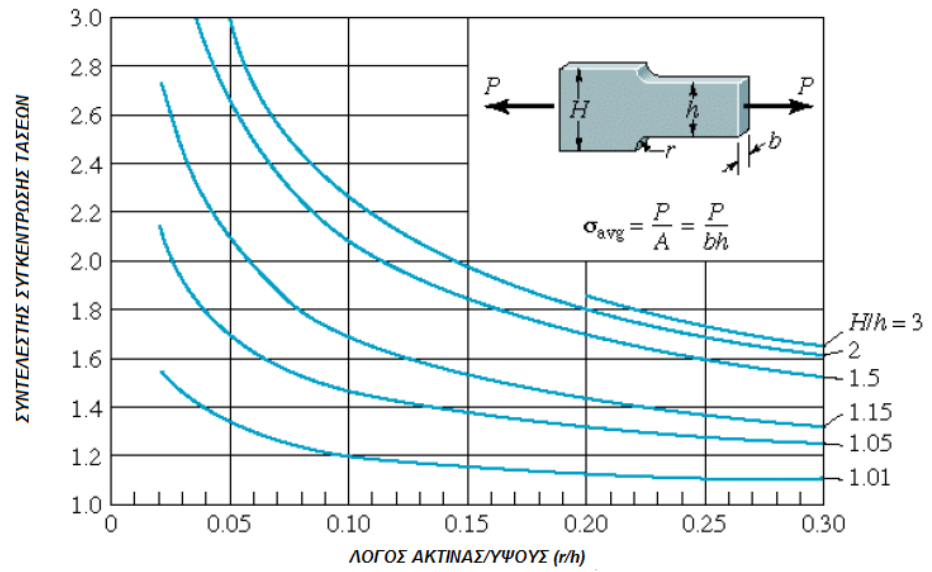
Κοφτερές και εσωτερικές γωνίες παρουσιάζουν:

- Υψηλή συγκέντρωση τάσεων
- Φτωχά χαρακτηριστικά ροής
- Μειωμένες μηχανικές ιδιότητες
- Υψηλή φθορά
- Επιφανειακά προβλήματα

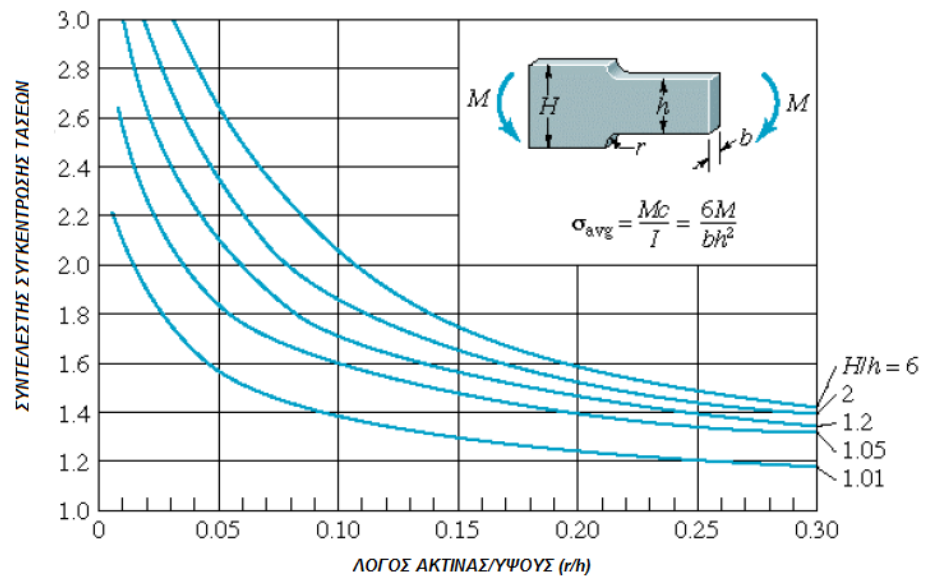
Η δημιουργία καμπυλότητας προσφέρει:

- Ομοιόμορφη ψύξη
- Μικρότερη στρέβλωση
- Ευκολότερο γέμισμα
- Χαμηλή συγκέντρωση τάσεων
- Μικρότερη ευαισθησία στη χάραξη

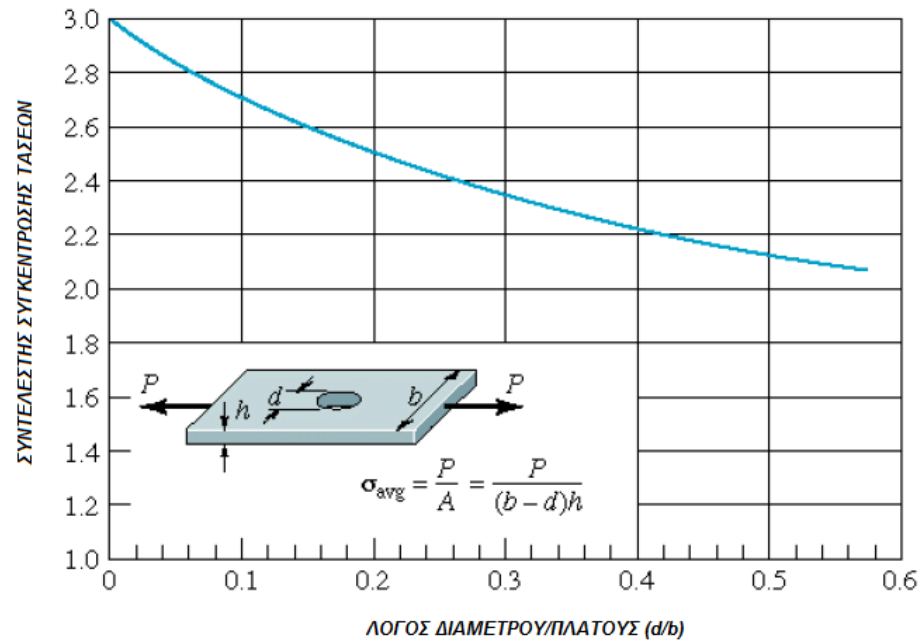
Οι εξωτερικές γωνίες με ακτίνα θα πρέπει να είναι ίσες με τις εσωτερικές ακτίνες όπως και με το πάχος του τοιχώματος καθώς έτσι διατηρείται η ομοιομορφία του πάχους των τοιχωμάτων και μειώνεται η συγκέντρωση τάσεων. Για εξαρτήματα με εσωτερική ακτίνα όπου είναι ίση με το μισό του ονομαστικού πάχους τοιχώματος ένας συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων 1,5 είναι μια λογική υπόθεση. Για μικρότερες ακτίνες παραδείγματος χάριν 10% του ονομαστικού πάχους τοιχώματος, αυτός ο συντελεστής θα αυξηθεί στο 3. Για κρίσιμες εφαρμογές θα πρέπει ο σχεδιαστής να συμβουλευθεί ένα πίνακα συντελεστών τάσεων. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται οι συντελεστές των τάσεων ανάλογα το μορφή του εξαρτήματος:



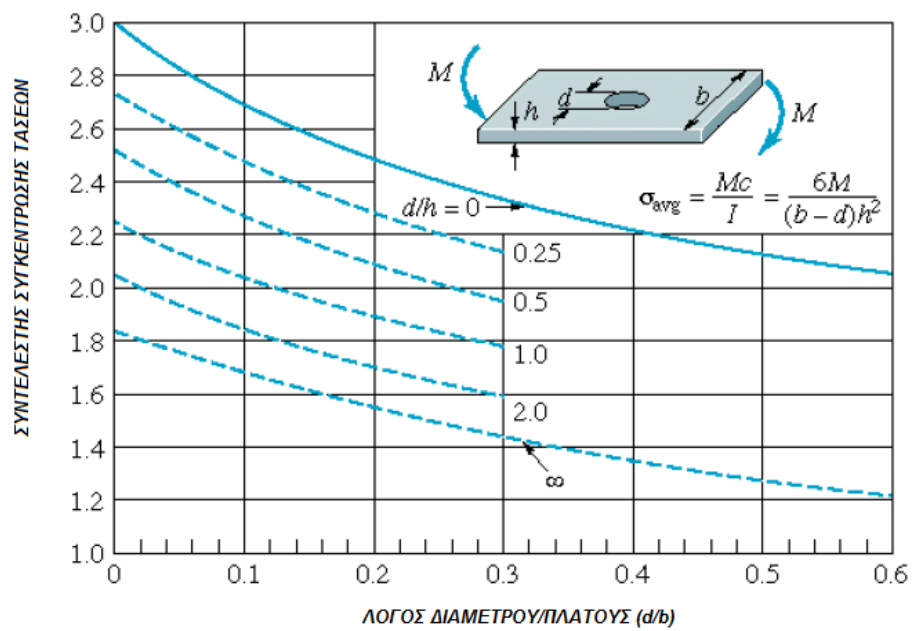
Εικόνα 6.10.2: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με καμπυλότητα σε αξονικά φορτία



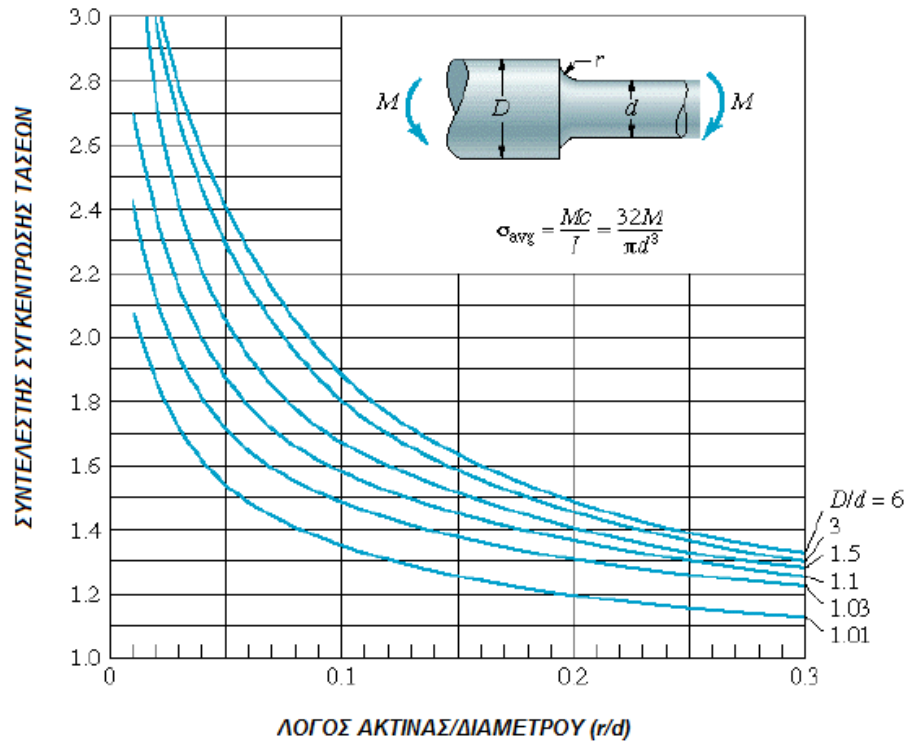
Εικόνα 6.10.3: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με καμπυλότητα σε καμπικά φορτία



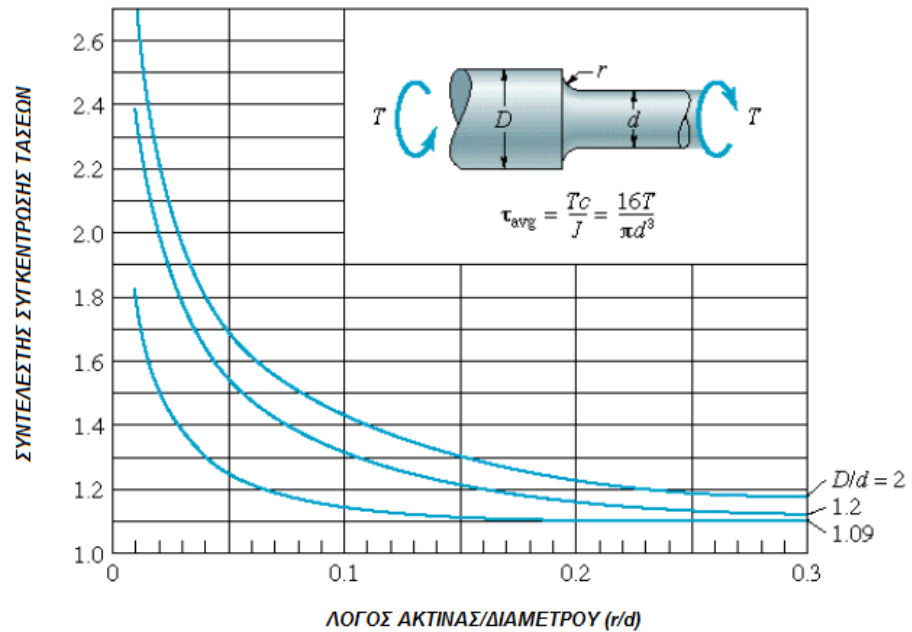
Εικόνα 6.10.4: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με οπή στο κέντρο σε ακτινικά φορτία



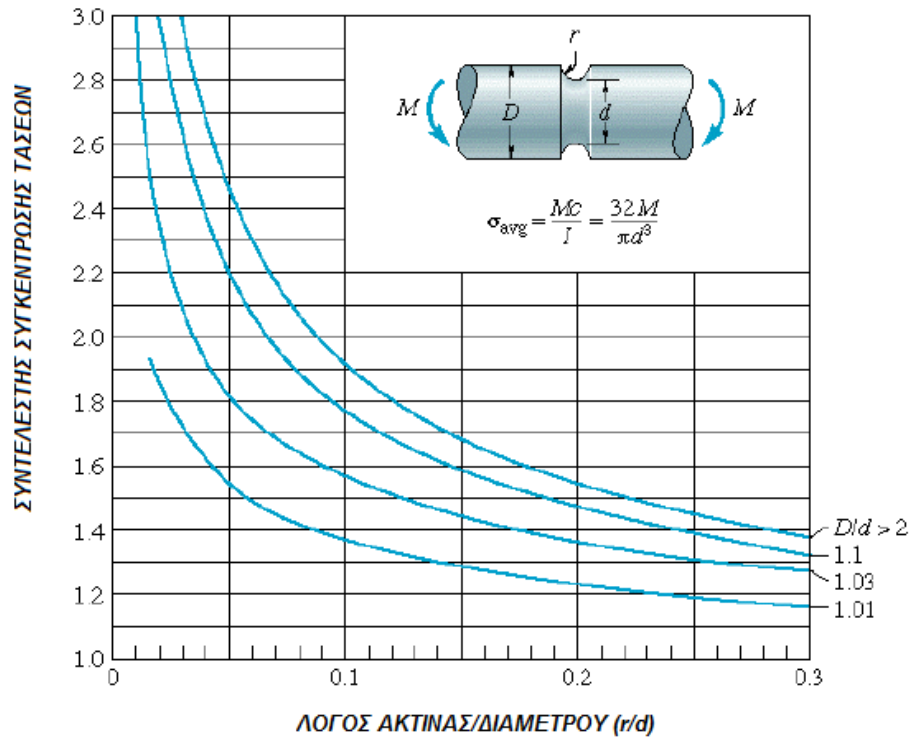
Εικόνα 6.10.5: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ορθογώνια πλάκα με οπή στο κέντρο σε καμπτικά φορτία



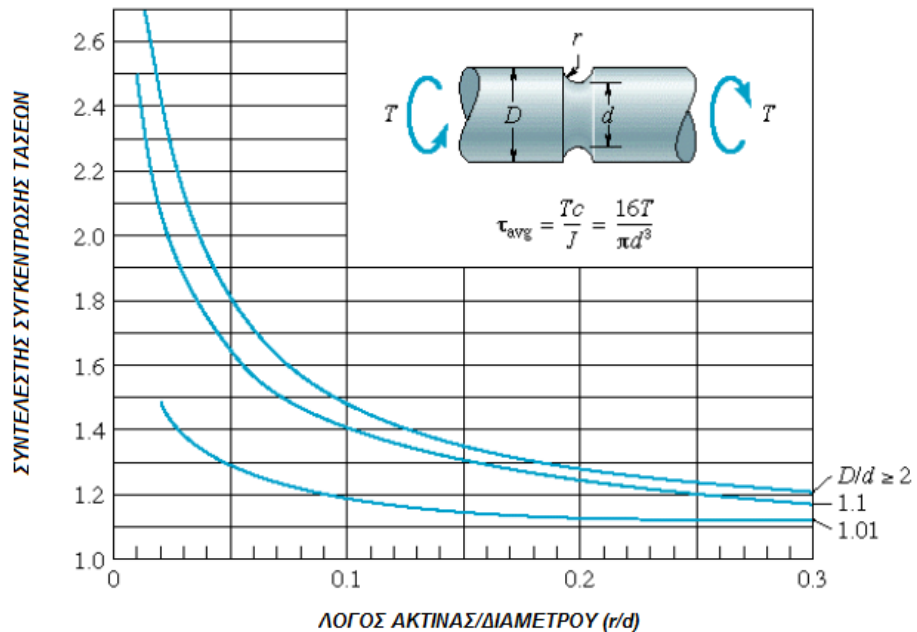
Εικόνα 6.10.6: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με καμπτικά φορτία



Εικόνα 6.10.7: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με στρεπτικά φορτία



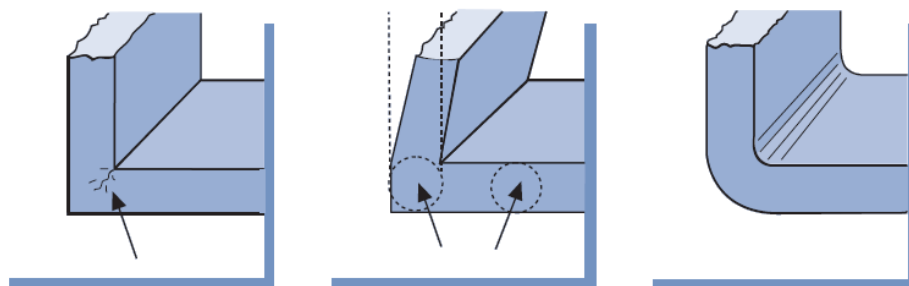
Εικόνα 6.10.8: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με αυλάκι σε καμπτικά φορτία



Εικόνα 6.10.9: Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε ράβδο με αυλάκι σε στρεπτικά φορτία

Επιπλέον από την μεριά της χύτευσης, είναι σημαντικό να αποφευχθούν κοφτερές εσωτερικές γωνίες. Λόγο της διαφοράς του λόγου επιφάνειας / όγκου ενός πολυμερούς στο εσωτερικό και εξωτερικό της γωνίας, η ψύξη είναι καλύτερη στην εξωτερική μεριά με αποτέλεσμα το υλικό να παρουσιάζει στο εσωτερικό περισσότερη συρρίκνωση και η γωνία να παρεκκλίνει. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το αποτέλεσμα της διαφοράς ψύξης στο εξωτερικό και εσωτερικό της γωνίας:





Εικόνα 6.10.10: Στη παραπάνω εικόνα απεικονίζεται το αποτέλεσμα της διαφοράς ψύξης στο εξωτερικό και εσωτερικό της γωνίας

### 6.11) Ανοχές:

Το να καθιερώνονται οι σωστές ανοχές με σεβασμό στις λειτουργίες του προϊόντος είναι σημαντικό ως προς την οικονομία. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να γνωρίζει ότι οι διαστάσεις με μικρές ανοχές έχουν μεγάλη επιρροή στα κόστη και του προϊόντος αλλά και του καλουπιού. Ακόμα και η παραμικρή υπερκαθορισμένη ανοχή μπορεί επίσης να επηρεάσει το κόστος των εργαλείων, οι συνθήκες της χύτευσης και ο χρόνος της διαδικασίας. Συνιστάται να υποδεικνύονται μόνο κρίσιμες διαστάσεις με ανοχές στο σχέδιο. Ανάλογα με την εφαρμογή, ένα τμήμα με τρεις τάξεις ανοχών μπορεί να είναι:

- Κανονική: δείκτης τιμών 100
- Ακριβής: τεχνική χύτευση, δείκτης τιμών 170
- Υπερακριβής: ακριβής χύτευση, δείκτης τιμών 300

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα ποιά σημαντικά χαρακτηριστικά των τάξεων των ανοχών:

Κανονική	Ακριβής	Υπερακριβής
Τεχνικές δημιουργίας εργαλείων	Ακριβείς διαστάσεις κοιλότητας καλουπιών	Καλούπια υψηλής ακρίβειας
Πολλαπλές κοιλότητες καλουπιών	Περιστασιακές πολλαπλές κοιλότητες καλουπιών	Μόνο μονής κοιλότητας καλούπια
Συνθήκες προσαρμοσμένες για κατασκευές χαμηλού κόστους	Κρίσιμες συνθήκες χύτευσης	Συνθήκες χύτευσης προσεκτικά ελεγχόμενες
Επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων ή αποκομμάτων	Περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων ή αποκομμάτων	Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων ή αποκομμάτων
Τυχαίος έλεγχος	Έλεγχος στατιστικής ποιότητας	Στατιστικός έλεγχος διαδικασίας

Πίνακας 6.11.1: Σημαντικά χαρακτηριστικά των τάξεων των ανοχών

Ο σχεδιασμός καλουπιού, οι διαστάσεις της κοιλότητας του καλουπιού, η μορφή του προϊόντος, οι συνθήκες χύτευσης και οι μηχανικές ιδιότητες καθορίζουν τις ανοχές που μπορούν να ληφθούν. Στο παρακάτω πίνακα παρέχεται μια περίληψη των παραγόντων οι οποίοι έχουν σημαντικό ρόλο στη καθιέρωση της ακρίβειας των διαστάσεων:

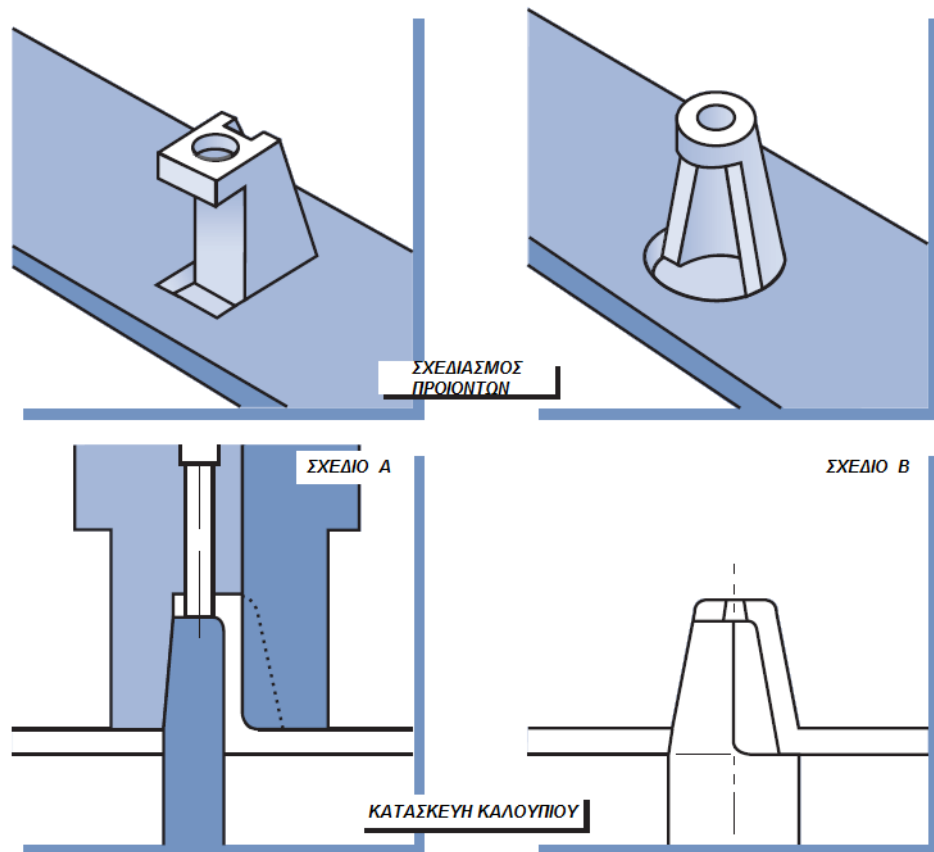
Σχεδιασμός εξαρτήματος	Ιδιότητες υλικού	Επεξεργασία	Σχεδιασμός καλουπιού
Χρήση προϊόντος	Συρρίκνωση	Ικανότητα μηχανής	Ανοχές κοιλότητας καλουπιού
Πάχος τοιχωμάτων	Σταθερότητα διαστάσεων	Πίεση/ταχύτητα έγχυσης	Αριθμός κοιλοτήτων
Γωνία κλίσης	Ιξώδες	Κράτησης	Σύστημα runner

		πίεσης/χρόνου	
Συμμετρία	Ενισχυτικά	Θερμοκρασία τήξης και καλουπιού	Σύστημα εκτίναξης
Τελείωμα επιφάνειας		Δύναμη στερέωσης	Σύστημα ψύξης
Διαστάσεις		Δυνατότητα αναπαραγωγής	Σχέδιο

Πίνακας 6.11.2: Περίληψη των παραγόντων οι οποίοι έχουν σημαντικό ρόλο στη καθιέρωση της ακρίβειας των διαστάσεων

### 6.12) Πυρηνόληψη:

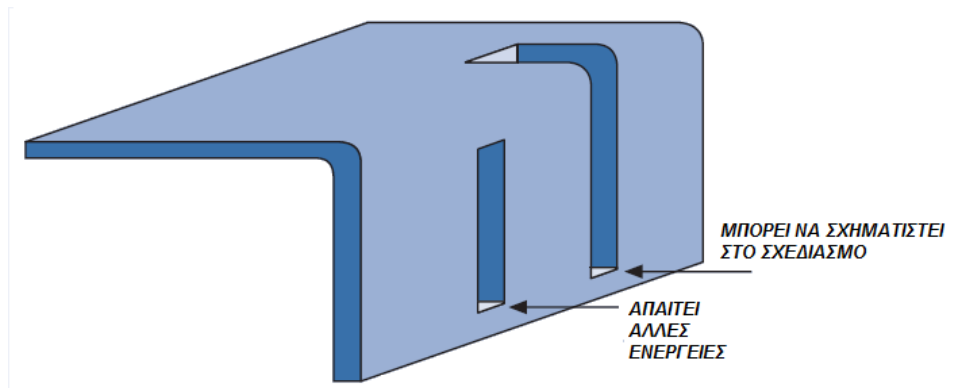
Η πυρηνόληψη αναφέρεται στην εξάλειψη των πλαστικών υλικών σε υπερδιαστασιολογημένες περιοχές, προσθέτοντας χάλυβα στο εργαλείο χύτευσης το οποίο συχνά έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανοιγμάτων στο κομμάτι. Για απλότητα και οικονομικούς λόγους, πυρήνες θα πρέπει ιδανικά να τοποθετηθούν παράλληλα στη γραμμή σχεδίασης. Πυρήνες σε άλλες κατεύθυνσης απαιτούν τη χρήση κάποιων παράπλευρων ενεργειών (χρήση έκκεντρων ή υδραυλικών κυλίνδρων) και επιπλέον αυξάνουν το κόστος των εργαλείων. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται δύο κατασκευές όπου η Β κοστίζει 60% λιγότερο από την Α:



Εικόνα 6.12.1: Δύο κατασκευές όπου η Β κοστίζει 60% λιγότερο από την Α

### 6.13) Εγκοπές:

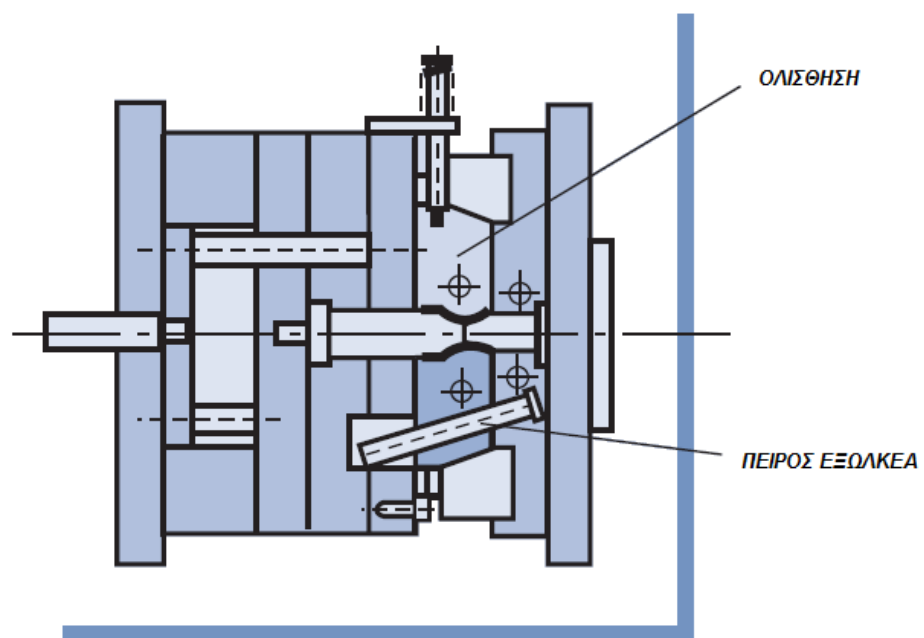
Οι εγκοπές θα πρέπει να αποφεύγονται. Ιδανικά, το εργαλείο θα πρέπει να δημιουργήσει την εγκοπή στην κατεύθυνση παράλληλα στη κίνηση της πλάκας στερέωσης του μηχανήματος. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποιες εγκοπές οι οποίες μειώνουν το αρχικό κόστος και επίσης διατηρούν το κόστος κατά τη διάρκεια της παραγωγής:



Εικόνα 6.13.1: Εγκοπές οι οποίες μειώνουν το αρχικό κόστος και επίσης διατηρούν το κόστος κατά τη διάρκεια της παραγωγής

Για μερικά πολύπλοκα εξαρτήματα η ιδανική κατάσταση μπορεί να μην υπάρχει και μηχανική κίνηση κάποιου είδους ίσως χρειαστεί. Μια περιγραφή πιθανών κινήσεων είναι ακόλουθα:

- Εκτροπή: Ανάλογα με το υλικό και το ποσό των εγκοπών ίσως είναι πιθανό να εκτραπεί το εξάρτημα από το καλούπι.
- Ένθετα: Η χρήση μετακινούμενων ενθέτων τα οποία αποβάλλονται με το εξάρτημα είναι μια επιλογή, κυρίως για πρωτότυπες κατεργασίες. Τα μειονεκτήματα είναι ότι τα ένθετα πρέπει να αποβάλλονται από το κομμάτι και να ξανατοποθετούνται στο καλούπι και πιθανότατα να παρατείνουν το χρόνο της κατεργασίας.
- Εξωλκείας: Εξωλκείς ή υδραυλικοί / πνευματικοί κύλινδροι βγάζουν το εξάρτημα από το καλούπι. Αυτό αυξάνει τη πολυπλοκότητα του καλουπιού κάνοντάς το ποιο ακριβό και επίσης απαιτείται ένα μέσο ελέγχου για να τα λειτουργήσει κατά τη διάρκεια του κύκλου χύτευσης. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα παράδειγμα ολισθαίων εξωλκείων:

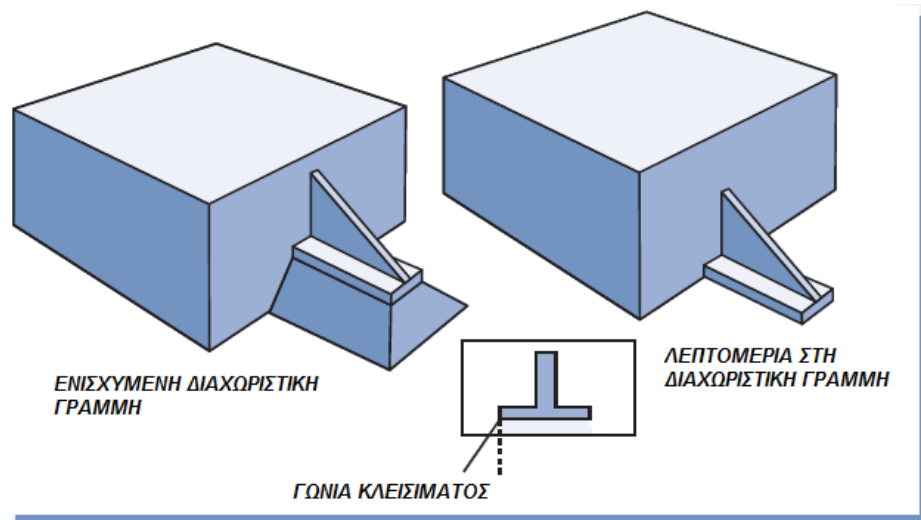


Εικόνα 6.13.2: Παράδειγμα ολισθαίων εξωλκείων

- Ολίσθηση: Μέσο γωνιακών πείρων και ράβδων όπου είναι τοποθετημένοι στο καλούπι, ίσως είναι πιθανό να μετακινηθεί το εξάρτημα του καλουπιού δημιουργώντας εγκοπές

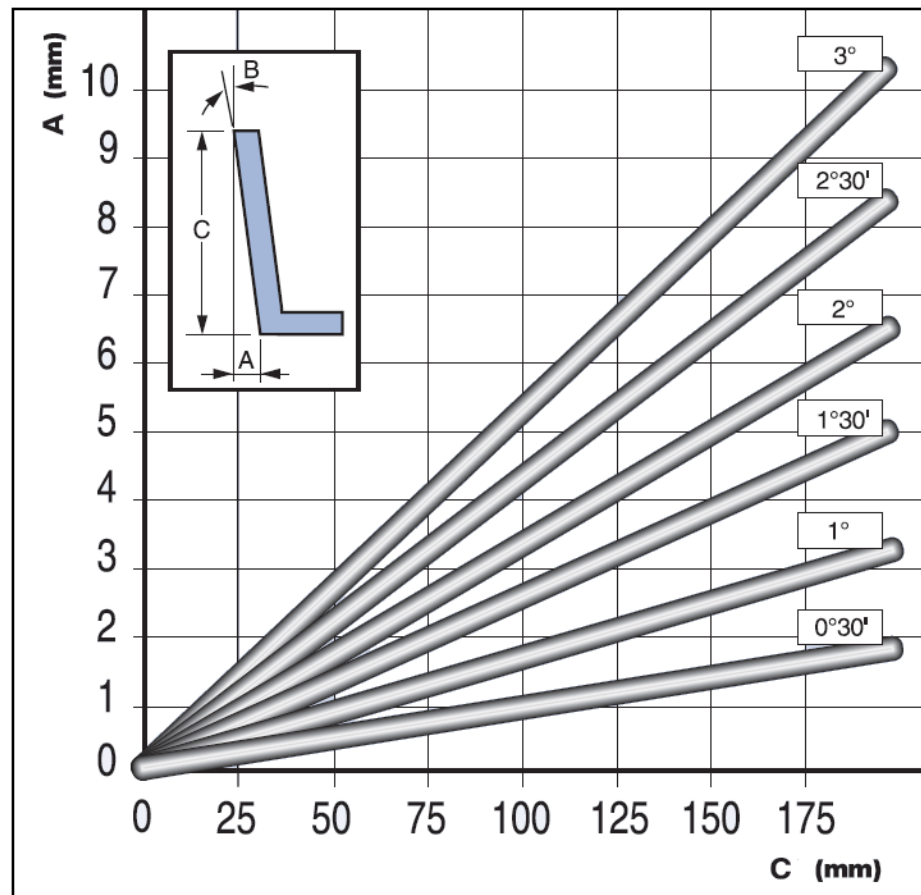
στη κατεύθυνση του γωνιακού πείρου κατά της διαδικασίας ανοίγματος του καλουπιού. Αυτό στη συνέχεια επιτρέπει την εξαγωγή του εξαρτήματος.

- Ενισχυμένη διαχωριστική γραμμή: Με την επανατοποθέτηση της διαχωριστικής γραμμής είναι πιθανό να εξαλειφθούν τα χαρακτηριστικά των εγκοπών. Παρόλο που αυτό προσθέτει στη πολυπλοκότητα του εργαλείου, είναι η πιο συνιστώμενη λύση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται στις διαχωριστικές γραμμές:



Εικόνα 6.13.3: Διαχωριστικές γραμμές

- Γωνία κλίσης: Τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων τα οποία προσαρμόζονται στη επιφάνεια του καλουπιού, κάθετα στη διαχωριστική γραμμή απαιτούν μια κωνικότητα ή μια γωνία κλίσης ώστε να επιτραπεί η κατάλληλη εξαγωγή. Αυτή η γωνία κλίσης επιτρέπει στο εξάρτημα να απελευθερωθεί με το άνοιγμα του καλουπιού. Καθώς τα θερμοπλαστικά συρρικνώνονται κατά τη ψύξη τους εφαρμόζουν στους πυρήνες προκαλώντας δυσκολία κατά την εξαγωγή τους εάν δεν υπάρχουν στο σχεδιασμό γωνίες κλίσης. Εάν δοθεί προσοχή στον αριθμό των γωνιακών κλίσεων και στο κλείσιμο, τότε είναι πιθανό να εξαλειφθούν οι επιπλέον ενέργειες και επίσης εξοικονομεί εργαλεία και κόστη συντήρησης. Για άμορφες επιφάνειες, γενικά  $0,5^\circ$  είναι η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει η γωνία κλίσης ανά πλευρά. Υπάρχουν εξαιρέσεις όπου μικρότερη τιμή μπορεί να είναι αποδεκτή. Οι εξαιρέσεις μπορούν να επιτευχθούν βερνικιώνοντας ή χρησιμοποιώντας ειδικές κατεργασίες στην επιφάνεια. Για κατασκευασμένα πλευρικά τοιχώματα χρησιμοποιώντας επιπλέον γωνία κλίσης  $0,4^\circ$  ανά  $0,1$  mm βάθους κατασκευής. Τυπικά συνιστάται γωνία κλίσης από  $1$  έως  $3^\circ$ . Όσο αυξάνεται η γωνία κλίσης τόσο η εξαγωγή γίνεται ευκολότερη αλλά αυξάνει τον κίνδυνο ότι κάποια τμήματα μπορεί να γίνουν ποιά βαριά. Συνιστάται η διατήρηση χαρακτηριστικών στην διαχωριστική γραμμή απαιτούνται  $7^\circ$  για κλείσιμο. Οι ελάχιστες μοίρες για το κλείσιμο είναι  $5^\circ$ . Σύριμο κατά το κλείσιμο θα προκαλέσει φθορές με τη πάροδο του χρόνου. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα διάγραμμα γωνιών κλίσης:



Εικόνα 6.13.4: Διάγραμμα γωνιών κλίσης

## 7) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα πλαστικά:

Καθώς καθορίζεται ένα υλικό για χρήση σε μια εφαρμογή, ο μηχανικός σχεδιασμού πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη του το περιβάλλον. Ενώ η σκουριά και η διάβρωση μπορούν να πλήξουν τα μέταλλα, ρηγάτωση, αποχρωματισμός, υποβάθμιση έως και απώλεια ιδιοτήτων, τήξη ή διάλυση μπορούν να επηρεάσουν τα θερμοπλαστικά στη παρουσία χημικών ουσιών, πηγών ενέργειας ή ακτινοβολίας. Ένας σημαντικός παράγοντας εκτίμησης του περιβάλλοντος όπου μερικές φορές παραβλέπεται είναι η κατεργασία, η συναρμολόγηση, το φινιρίσμα και οι λειτουργίες καθαρισμού στις οποίες το προϊόν ίσως εκτεθεί ακόμα και πριν φτάσει στην τελική του χρήση.

### 7.1) Παράγοντες που επηρεάζουν την περιβαλλοντική αντοχή:

#### 7.1.1) Επίπεδο τάσεων:

Το επίπεδο των τάσεων είναι ένας σημαντικός παράγοντας επηρεασμού της απόδοσης του εξαρτήματος. Γενικότερα καθώς το επίπεδο των τάσεων αυξάνεται, η αντίσταση σε συγκεκριμένο περιβάλλον μειώνεται. Εκτός των προφανών φορτίων, τάσεις μπορούν να προκύψουν από τη χύτευση, τη διαμόρφωση και τη λειτουργία της συναρμολόγησης.

#### 7.1.2) Θερμοκρασία:

Γενικότερα, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, τότε ο καταστρεπτικός παράγοντας (εάν υπάρχει) σε μια ρητίνη είναι μεγαλύτερος. Η θερμοκρασία συχνά καθορίζει το εάν ένα πλαστικό θα αντέξει σε συγκεκριμένο περιβάλλον.

### 7.1.3) Έκθεση:

Η συμβατότητα των πλαστικών υλικών σε συγκεκριμένο περιβάλλον συχνά καθορίζεται από το ακριβές ποσό έκθεσης που υπάρχει. Κάποιοι παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν είναι:

- Πραγματικός χρόνος έκθεσης σε δυσμενές περιβάλλον
- Συγκέντρωση δυσμενών ουσιών
- Κατάσταση ουσιών (στερεό, υγρό, αέριο)
- Επίπεδο ραδιενέργειας και έντασης
- Προστατευτικά φράγματα (επένδυση ή χρώμα), ολοκληρωμένο "μαύρο" χρώμα.

Δεδομένα σχετικά με την ανταπόκριση των θερμοπλαστικών ως προς τη τάση και τη θερμοκρασία είναι συνήθως διαθέσιμα. Γενικότερα διαθέσιμα δεδομένα για το περιβάλλον περιλαμβάνουν αντίσταση σε διάφορες χημικές ουσίες και καιρικές πληροφορίες, ιδιαίτερα σταθερότητα υπεριώδους ακτινοβολίας. Επίσης το νερό θεωρείται απλά ως ένα άλλο χημικό. Όμως για πολλά πολυμερή, η αντίσταση στο νερό έχει ξεχωριστεί, ειδική μεταχείριση.

### 7.2) Χημική συμβατότητα:

Ένας λόγος για την ευρύ αποδοχή των θερμοπλαστικών είναι η σχετική συμβατότητα με το περικλείων περιβάλλον, ιδιαίτερα στην υγρασία σε σχέση με τα μέταλλα. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος ότι πολλά πλαστικά είναι υγροσκοπικά και ως εκ τούτου απορροφούν νερά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αλλαγές στις διαστάσεις και στις ιδιότητες. Όμως, ο μηχανισμός των χημικών επιδράσεων στα πλαστικά είναι πολύπλοκος, κάνοντας τη εκτίμηση συμβατότητας δύσκολη. Το ίδιο χημικό μπορεί να αντιδράσει διαφορετικά με πλαστικά της ίδιας οικογενείας ή ακόμα και με διαφορετικά μείγματα της ίδιας βάσης ρητινών. Αντιστρόφως ένα δεδομένο μείγμα ρητίνης ίσως συμπεριφερθεί διαφορετικά σε χημικά τα οποία θεωρούνται όμοια. Επιπλέον υπάρχει ένα εύρος μηχανισμών με τους οποίους μπορεί να συμβεί μια χημική επίδραση σε ένα πλαστικό.

#### 7.2.1) Αντίδραση:

Το χημικό μπορεί να επιδράσει στην πολυμερική αλυσίδα απευθείας παρουσιάζοντας προοδευτική μείωση του μοριακού βάρους του πολυμερούς. Αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες είναι μια απόδειξη αντίδρασης.

#### 7.2.2) Διάλυση:

Τα περισσότερα θερμοπλαστικά είναι διαλυτά σε μερικά χημικά. Όμως πλαστικά με υψηλό μοριακό βάρος διαλύονται πολύ αργά. Για αυτό το λόγο, η διαδικασία διάλυσης συνήθως εμφανίζεται όμοια με τη χημική αντίδραση. Γενικότερα, παρουσιάζονται αλλαγές στο βάρος και στις διαστάσεις καθώς και διόγκωση και απώλεια ιδιοτήτων.

#### 7.2.3) Πλαστικοποίηση:

Εάν ένα χημικό αναμιχθεί με ένα πολυμερές, τότε αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την υπάρξει απορροφητικότητα και πλαστικοποίησης. Αποδείξεις πλαστικοποίησης ενός πλαστικού είναι η μείωση της δύναμης, της σκληρότητας, αντίσταση ερπυσμού και αύξηση αντίστασης κρούσης. Το πλαστικό τείνει να φουσκώνει και να στρεβλώνει λόγω της χαλάρωσης των χυτευμένων τάσεων.

#### 7.2.4) Ρηγμάτωση περιβαλλοντικών τάσεων:

Ένα πλαστικό χωρίς εσωτερικές τάσεις ίσως δεν επηρεαστεί από την έκθεση σε χημικά. Όμως το ίδιο χημικό μπορεί να προκαλέσει καταστροφικές αποτυχίες όταν το υλικό έχει τάσεις. Ο μηχανισμός καλείται ρηγμάτωση περιβαλλοντικών τάσεων. Δεδομένα χημικής συμβατότητας γενικότερα βρίσκονται κάπως παρόμοια με τη γήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες όπου αναλύθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο. Ο τρόπος αυτός είναι: πρότυπες μπάρες ελέγχου τοποθετούνται σε χημικά και αποθηκεύονται σε επιθυμητή θερμοκρασία για κάποιο χρονικό διάστημα.

Οι μπάρες ελέγχου μετά απομακρύνονται από την έκθεση στο περιβάλλον, καθαρίζονται και δοκιμάζονται για οποιαδήποτε ιδιότητα χρειάζεται, συνήθως αντοχή εφελκυσμού, μέτρο κάμψης, αλλαγές διαστάσεων, βάρους και αποχρωματισμού. Στον πίνακα 9 αναγράφεται η αντίσταση σε χημικά συνηθισμένων θερμοπλαστικών υλικών. Αυτά είναι μόνο γενικές οδηγίες. Ο μηχανικός σχεδιασμού πρέπει να συμβουλευτεί δεδομένα μάρκετινγκ, αποτελέσματα ελέγχων και τον προμηθευτή των υλικών για ακριβής πληροφορίες. Ακόμα και αν οι πληροφορίες δείχνουν ότι το υλικό είναι αρκετά συμβατό, πρέπει να γίνει και ένας έλεγχος για τη χρήση που χρειάζεται.

Ενώ αυτή η μέθοδος είναι εύκολη, μπορεί να είναι και παραπλανητική από τη στιγμή όπου η ανταπόκριση των δειγμάτων σε χημικό περιβάλλον μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικό. Γενικότερα δεν είναι εύκολο να ανιχνευτούν οι συντελεστές που προκαλούν ρηγμάτωση περιβαλλοντικών τάσεων. Κάποιες διαδικασίες ελέγχου εκθέτουν ένα δείγμα σε χημικά στη παρουσία είτε υπό σταθερές τάσεις ή σταθερή παραμόρφωση κατά το μήκος του δείγματος. Τα δείγματα μπορεί τότε να εξεταστούν για τάση ή παραμόρφωση. Όμως αυτοί οι έλεγχοι είναι ποιοδύσκολοι και ακριβοί να γίνουν. Επομένως τέτοια δεδομένα για ρητίνες σε συγκεκριμένα χημικά είναι συχνά μη-διαθέσιμα. Τέλος οι παραπάνω έλεγχοι μπορεί να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη χημική συμβατότητα των πλαστικών, αλλά δεν έχουν μεγάλη αξία για την καθιέρωση των ιδιοτήτων του πλαστικού για σχεδιαστικούς λόγους.

Ο μόνος έλεγχος που παρέχει αυτή τη πληροφορία είναι ο έλεγχος ερπυσμού σε κατάλληλες θερμοκρασίες, σε χημικό περιβάλλον. Αυτός ο έλεγχος είναι δύσκολος και ακριβώς και γίνεται σπάνια. Ο μηχανικός σχεδιασμού θα πρέπει να είναι προετοιμασμένος για τον έλεγχο ερπυσμού στο ακριβές περιβάλλον έκθεσης ώστε να εξακριβωθεί η καταλληλότητα του πλαστικού σε αυτό το περιβάλλον. Επιπλέον είναι πλεονέκτημα για το σχεδιαστεί να επιλέξει διαφορετικά πλαστικά ή εξαρτήματα ίδιου πλαστικού για αξιολόγηση στο περιβάλλον έκθεσης. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται η αντίσταση σε χημικά συνηθισμένων θερμοπλαστικών υλικών:

ABS = Ακρυλονιτρίλιο – Βουταδένιο – Στυρένιο

CAB = Βαρόμετρο χημικής δραστηριότητας

CPVC = Χλωριωμένες πολυβινυλοχλωρίδιο

ECTFE = Αιθυλένιο χλωροτριφθοροαιθυλενίου

HDPE = Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας

PEEK = Πολυαιθερικές αιθεροκετόνες

PET = Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο

PPS = Σουλφίδιο πολυφαινουλενίου

PVC = Πολυβινυλιούχο χλώριο

PVDF = Φθοριούχο πολυβινυλιδένιο

PTFE = Πολυτετραφθοροαιθυλένιο

UHMW = Πολυαιθυλένιο υπέρ υψηλού μοριακού βάρους

A= καμιά επίθεση, πιθανή μικρή απορροφητικότητα, ασήμαντη επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες.

B= μικρή επίθεση μέσο απορροφητικότητας, λίγη διόγκωση και μικρή μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων.

C= μέτρια επίθεση αξιοσημείωτης απορροφητικότητας, το υλικό έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής.

D= το υλικό θα αποσυνθεθεί ή θα διαλυθεί

Aq= υδατικό διάλυμα

Conc= συμπυκνωμένο υδατικό διάλυμα

Sat= διαποτισμένο υδατικό διάλυμα

\* = μη διαθέσιμα δεδομένα

Όπου το υδατικό διάλυμα δείχνει τη συγκέντρωση (%) αναλόγος το βάρος που δίνεται

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΗ ΛΙΣΤΑ ΥΛΙΚΩΝ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ %	ABS	ΑΚΕΤΑΛΗ	ΑΚΡΥΛΙΚΟ	CAB	CPVC	ECTFE	FLUOROSINT	HDPE	ΝΑΪΛΟΝ ΤΥΠΟΥ 6/6	PEEK	PET	ΠΟΛΥΑΝΘΡΑΚΙΚΟ	ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ	ΠΟΛΥΣΟΥΛΦΟΝΙΚΟ	PPS	PVC ΤΥΠΟΥ 1	PVC ΤΥΠΟΥ 2	PVDF	PTFE	TECATOR/TORLON	UHMW
ΟΞΙΚΗ ΑΛΔΕΙΝΗ (Aq)	40	D	A	D	*	D	*	A	C	B	A	A	*	C	*	A	D	D	D	A	A	A
ΟΞΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	*	B	B	C	A	A	A	*	C	A	B	D	*	A	A	A	A	B	A	A	A
ΑΚΕΤΟΝΗ		D	B	D	*	D	A	A	A	A	B	B	C	A	B	A	D	D	D	A	*	*
ΑΛΚΟΟΛΕΣ, ΔΛΕΙΦΑΤΙΚΑ		*	A	D	*	*	A	A	*	B	A	A	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΑΡΓΙΛΙΟ (Aq)	10	*	*	*	A	A	*	A	B	*	A	A	A	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΘΕΙΙΚΟ ΑΡΓΙΛΙΟ (Aq)	10	*	*	*	A	A	A	A	A	*	A	*	A	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΑΜΜΩΝΙΑ		*	*	*	*	A	A	A	A	C	A	A	*	A	*	*	A	A	D	A	*	*
ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΜΜΩΝΙΟ (Aq)	10	*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A	D	A	*	A	A	A	A	A	*	*
ΧΡΩΡΙΟΥΧΟ ΑΜΜΩΝΙΟ (Aq)	10	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΟΞΙΚΟΣ ΑΜΥΛΕΣΤΗΡΑΣ		D	*	D	*	*	*	A	D	A	A	*	*	D	*	A	D	D	B	A	A	A
ΑΝΙΛΙΝΗ		*	A	D	*	D	A	A	A	C	A	A	*	C	*	A	D	D	C	A	A	A
ΤΡΙΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΑΝΤΙΜΟΝΙΟ(Aq)	10	*	*	A	*	A	A	A	A	C	A	*	*	A	*	*	A	A	*	A	*	*
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΒΑΡΙΟ (Aq)	10	*	*	A	*	A	A	A	A	A	A	*	*	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΘΕΙΙΚΟ ΒΑΡΙΟ (Aq)	10	*	*	*	*	A	A	A	A	*	A	*	*	A	*	*	A	A	*	A	*	*
ΒΕΝΖΟΛΙΟ		D	A	D	D	D	A	A	D	A	A	A	D	D	D	A	D	D	C	A	*	*
ΒΕΝΖΟΛΟΣΟΥΛΦΟΝΙΚΟ ΟΞΥ	10	*	*	*	*	*	A	A	A	D	A	*	*	*	*	A	*	*	B	A	C	C
ΛΕΥΚΑΝΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ	10	C	*	*	*	A	A	A	B	C	A	*	*	B	*	A	A	A	A	A	A	A
ΒΟΡΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	*
ΤΡΙΦΘΟΡΙΟΥΧΟ ΒΟΡΙΟ		*	*	*	*	A	*	A	A	D	*	*	*	A	*	*	A	A	A	*	*	*
ΒΡΩΜΙΟ (Aq)	30	*	*	*	*	D	A	*	D	D	B	*	*	D	*	A	A	D	A	*	A	A
ΒΟΥΤΑΝΟΛΗ		*	*	*	*	A	*	A	A	B	A	B	*	*	C	A	A	D	*	A	A	A
ΒΟΥΤΥΡΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	20	*	*	C	*	*	*	A	D	B	A	*	*	D	*	A	*	*	A	A	*	*
ΒΟΥΤΥΡΙΚΟ ΟΞΥ	CO/INC	D	*	D	*	*	*	A	D	C	A	*	*	D	*	A	A	D	A	A	*	*
ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΕΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟ		*	*	*	C	*	A	A	A	D	A	A	C	A	*	A	A	A	A	A	*	*
ΚΑΜΦΟΡΑ		*	*	*	*	*	*	A	*	A	A	*	*	*	*	A	*	*	*	A	*	*
ΤΕΤΡΑΧΛΩΡΑΝΘΡΑΚΑ		D	A	*	C	C	A	A	D	A	A	A	*	D	A	A	C	D	A	A	A	A
ΕΝΥΔΡΗ ΧΛΩΡΑΛΗ		*	*	*	*	A	*	A	D	D	A	*	*	D	*	*	A	A	A	A	*	*
ΧΛΩΡΙΟ (Aq)	10	*	*	*	*	A	*	A	C	D	A	*	*	B	D	*	A	A	B	A	*	*
ΧΛΩΡΟΦΟΡΜΙΟ		D	*	*	D	D	A	A	C	D	A	D	D	D	D	A	D	D	B	A	A	A
ΧΛΩΡΟΣΟΥΛΦΟΝΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	*	*	D	*	*	A	A	D	D	A	*	*	C	*	D	C	C	D	A	*	*
ΣΤΥΠΗΤΗΡΙΑ ΧΡΩΜΙΟΥ (Aq)	10	*	*	*	*	*	*	A	*	A	A	*	*	*	*	*	A	A	A	A	*	*
ΧΡΩΜΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	*	*	D	A	A	A	A	A	C	A	A	C	A	D	B	A	D	B	A	A	A
ΚΙΤΡΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	B	*	C	B	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	*	*
ΚΡΕΟΖΩΤΟ		*	*	*	*	*	*	A	*	A	A	*	*	*	*	*	*	*	A	A	*	*



ΜΗΛΟΝΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	CO/NC	*	*	*	*	*	*	A	*	*	A	*	*	*	A	*	*	*	*	A	*	A	
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟ (Αq)	6	*	B	A	*	A	A	A	A	C	A	*	*	A	*	*	A	A	A	A	A	*	B
ΟΞΙΚΟ ΜΕΘΥΛΕΣΤΕΡΑ		*	B	*	D	*	*	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	A	A	*	A	
ΜΕΘΥΛΟ-ΑΙΘΥΛΟ ΚΕΤΟΝΗ		D	B	D	D	D	A	A	D	A	A	A	D	D	D	A	D	D	D	A	A	A	
ΜΕΘΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ		*	C	*	D	D	A	A	D	C	A	D	D	D	D	A	D	D	A	A	*	A	
ΓΑΛΛΑ		B	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΟ		*	A	*	*	A	A	A	B	A	A	*	C	C	*	A	A	A	A	A	A	A	
ΝΑΦΘΑΛΙΝΗ		D	*	*	*	D	A	A	B	A	A	A	*	B	*	A	D	D	C	A	*	A	
ΘΕΙΙΚΟ ΝΙΚΕΛΙΟ (Αq)	10	*	*	A	*	A	A	A	A	A	A	*	A	A	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΝΙΤΡΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	0.1	B	D	A	D	A	A	A	A	C	A	*	A	A	A	*	A	A	A	A	*	A	
ΝΙΤΡΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	10	*	D	*	*	A	A	A	*	D	A	C	*	*	A	A	A	A	B	A	*	B	
ΕΛΑΙΚΟ ΟΞΥ		*	C	*	A	*	A	A	A	A	A	*	C	B	A	A	A	A	A	A	*	A	
ΟΞΑΛΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	10	*	C	A	*	A	A	A	A	C	A	*	*	A	A	A	A	A	C	A	*	A	
ΟΖΟΝ		*	C	*	B	A	A	A	D	C	A	A	D	C	A	*	A	A	B	A	*	A	
ΠΑΡΑΦΙΝΗ		*	A	*	*	*	A	A		A	A	A	*	*	*	A	A		A	A	A	A	
ΥΠΕΡΧΛΩΡΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	10	*	C	*	*	A	A	A	B	D	A	A	*	C	*	*	A	A	A	A	*	A	
ΒΕΝΖΙΝΗ		*	A	*	*	*	A	A	A	A	A	A	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A	
ΦΑΙΝΟΛΗ (Αq)	75	*	D	*	*	*	A	A	*	D	D	C	*	*	*	*	*	*	C	A	*	A	
ΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	0.3	*	*	A	A	A	A	A	A	*	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
ΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	3	*	C	*	*	A	A	A	*	*	A	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	A	
ΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	10	*	C	*	*	A	A	A	*	D	A	B	*	*	A	A	A	A	A	A	A	A	
ΦΘΑΛΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	SAT	*	*	*	*	*	*	A	*	B	A	*	*	*	*	*	*	*	B	A	*	*	
ΟΞΙΝΟ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΚΑΛΙΟ (Αq)	60	*	*	*	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΚΑΛΙΟ (Αq)	90	A	*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	*	A	A	A	A	A	*	*	
ΣΙΔΗΡΟΚΥΑΝΙΟΥΧΟ ΚΑΛΙΟ (Αq)	30	*	*	A	*	A	A	A	*	A	A	*	*	*	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΠΡΟΠΑΝΙΟ		*	*	*	A	A	A	A	D	A	B	A	*	C	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΣΑΛΙΚΥΛΙΚΟ ΟΞΥ		*	*	*	*	*	A	A	*	A	A	A	*	*	*	*	*	*	A	A	*	A	
ΡΕΥΣΤΗ ΣΙΛΙΚΟΝΗ		D	*	*	*	*	A	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A	
ΑΣΗΜΕΝΙΟ ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΛΑΣ		*	A	*	A	A	A	A	A	A	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΣΑΠΟΥΝΙ		B	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΟΞΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ (Αq)	60	*	*	A	A	A	A	A	A	B	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΔΙΤΤΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΛΑΣ ΝΑΤΡΙΟΥ (Αq)	50	*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	*	A	A	A	A	A	A	A	
ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΕΣ ΝΑΤΡΙΟ 15%		*	C	A	*	*	A	A	A	D	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	
ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΛΑΣ ΝΑΤΡΙΟΥ (Αq)	50	*	A	A	*	A	A	A	A	A	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A	
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΚΑΣΣΙΤΕΡΟ (Αq)	10	*	*	*	*	*	*	A	A	C	A	*	*	A	*	A	*	*	A	A	*	*	
ΣΤΕΑΡΙΚΟ ΟΞΥ		*	*	*	*	A	A	A	A	A	A	*	*	A	*	*	A	A	A	A	*	A	
ΣΤΥΡΕΝΙΟ (ΜΟΝΟΜΕΡΕΣ)		*	*	*	D	*	A	A	*	A	A	C	*	*	*	A	*	*	A	A	*	*	
ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ	100	D	B	A	C	A	A	A	A	B	A	B	*	A	*	A	A	A	B	A	A	A	
ΘΕΙΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	2	B	D	D	*	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	
ΘΕΙΙΚΟ ΟΞΥ (Αq)	5	*	D	*	*	*	A	A	*	D	A	A	*	*	A	A	A	A	B	A	A	A	

ΚΡΕΣΟΛΗ		*	*	*	*	A	A	A	D	D	A	*	*	D	*	*	A	C	A	A	*	*
ΚΥΚΛΟΞΑΝΟΛΗ		*	*	*	*	D	A	A	D	B	A	A	*	D	*	A	D	D	A	A	A	A
ΚΥΚΛΟΞΑΝΟΝΗ		*	*	*	D	D	A	A	D	A	A	A	*	D	D	*	D	D	A	A	A	A
ΑΠΟΛΥΜΑΝΤΙΚΑ, ΟΡΓΑΝΙΚΑ		*	*	*	*	A	A	A	*	A	A	A	*	*	*	A	A	A	*	A	*	A
ΔΙΒΟΥΤΑΛΟ-ΦΘΑΛΙΚΟ ΕΣΤΕΡΑ		*	*	*	*	*	*	A	*	A	A	*	*	*	*	*	*	*	D	A	A	A
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ		*	*	A	*	*	A	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	*	A	A	A
ΔΙΟΞΙΝΕΣ		*	A	*	*	*	A	A	*	A	A	A	*	*	*	*	*	*	*	A	A	A
ΒΡΩΣΙΜΑ ΕΛΑΙΑ		*	A	*	*	*	*	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A
ΑΙΘΕΡΑΣ		*	A	*	*	*	*	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	*	A	A	A
ΟΞΙΚΟ ΑΙΘΥΛΕΣΤΕΡΑ		D	*	D	*	*	A	A	C	A	A	*	D	A	*	A	D	D	D	A	A	A
ΔΙΧΛΩΡΙΔΙΟ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ		D	*	*	*	D	A	A	D	B	A	A	*	D	*	A	D	D	A	A	A	*
ΓΛΥΚΟΛΗ (Aq)	96	*	*	A	D	A	A	A	A	B	A	*	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ΣΙΔΗΡΟΥΧΟ ΧΛΩΡΙΔΙΟ (Aq)	10	*	*	A	*	A	A	A	*	C	A	*	*	*	*	A	A	A	A	A	*	*
ΦΘΟΡΙΟ		*	*	*	*	A	A	C	C	D	D	*	*	C	*	*	A	A	A	C	*	C
ΦΘΟΡΙΟΠΥΡΙΤΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	*	*	*	A	*	A	*	A	D	*	*	*	A	*	A	*	*	A	*	*	A
ΦΡΕΟΝ 12		*	*	*	B	A	A	A	A	A	A	A	A	*	B	A	A	*	A	*	*	*
ΦΟΡΜΑΛΔΕΥΔΗ (Aq)	40	*	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	C	A	A	A	A	B	A	A	A	A
ΜΥΡΜΗΚΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	3	*	D	D	*	A	A	A	*	B	B	B	A	*	*	A	A	A	A	A	D	A
ΧΥΜΟΙ	COINC	A	*	*	*	A	A	A	A	B	A	A	C	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΓΛΥΚΕΡΙΝΗ		A	*	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ΕΠΤΑΝΟΛΗ		*	A	*	*	*	A	A	*	A	A	A	C	*	A	A	A	A	A	A	A	A
ΥΔΡΟΒΡΩΜΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	A	*	*	*	*	A	A	*	D	D	*	*	C	A	A	A	A	A	*	A	A
ΥΔΡΟΧΛΩΡΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	0.4	*	*	A	B	A	A	A	A	*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	*	A	A
ΥΔΡΟΦΘΟΡΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	4	*	D	C	C	*	A	A	B	C	D	B	B	A	B	D	A	A	A	*	A	A
ΥΔΡΟΓΟΝΩΜΕΝΟ ΦΥΤΙΚΟ ΕΛΑΙΟ		*	*	*	*	*	*	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A
ΥΠΕΡΟΞΕΙΔΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (Aq)	0.5	*	*	*	A	*	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	*	A
ΥΠΕΡΟΞΕΙΔΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (Aq)	1	*	*	*	*	*	A	A	*	*	A	A	A	*	A	A	*	*	B	A	*	A
ΥΠΕΡΟΞΕΙΔΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (Aq)	3	*	D	*	*	*	A	A	*	D	A	A	A	*	A	A	*	*	B	A	*	A
ΣΟΥΛΦΙΔΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (Aq)	SAT	*	C	A	A	A	A	A	A	B	A	C	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A
ΥΔΡΟΚΙΝΟΝΗ		*	*	*	B	*	A	A	A	B	A	*	*	A	*	*	A	A	A	A	*	*
ΙΩΔΙΟ (ΣΕ ΑΛΚΟΟΛ)		*	*	*	*	*	A	A	D	D	A	*	*	B	*	*	*	*	B	A	*	A
ΙΩΔΟ (Aq)	3	*	*	*	*	*	A	A	D	D	A	*	*	B	*	*	*	*	A	A	*	A
ΙΣΟΠΡΟΠΥΛΙΚΗ ΑΛΚΟΟΛΗ		C	A	*	C	*	A	A	A	B	A	A	*	A	*	A	*	*	A	A	*	A
ΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	10	*	B	*	A	*	A	A	A	C	A	A	A	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ (Aq)	90	*	*	*	*	*	A	A	*	*	A	*	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A
ΟΞΙΚΟΣ ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Aq)	10	*	*	*	*	A	A	A	A	B	A	*	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A
ΛΙΝΕΛΑΙΟ		*	A	*	*	A	A	A	D	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A	A
ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ		*	A	*	*	A	*	A	C	A	A	A	B	C	*	A	A	A	A	A	A	A
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Aq)	10	*	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΜΗΛΕΙΝΙΚΟ ΟΞΥ	COINC	*	*	*	*	*	A	A	A	A	*	A	*	*	A	*	*	A	A	A	*	*

ΘΕΙΩΔΕΣ ΟΞΥ (Αq)	10	*	C	A	*	A	A	A	A	D	A	C	*	A	*	*	A	A	*	A	*	A
ΖΩΙΚΟ ΛΙΠΟΣ		*	*	*	*	*	*	A	A	A	A	*	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A
ΠΙΣΣΑ		*	*	*	*	*	A	A	*	B	A	*	*	*	*	A	*	*	A	A	A	*
ΤΟΛΟΥΙΝΗ		D	A	*	D	D	*	A	D	A	A	A	D	D	D	A	D	D	B	A	A	B
ΕΛΑΙΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ		*	*	D	*	*	A	A	*	A	A	*	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A
ΤΡΙΧΛΩΡΟΑΙΘΥΛΕΝΙΟ		*	B	*	D	D	A	A	D	B	A	B	*	D	D	A	D	D	A	A	A	B
ΤΡΙΑΙΑΝΟΛΑΜΙΝΗ		*	*	*	*	*	A	A	A	A	A	B	*	A	*	A	A	A	A	A	D	A
ΤΕΡΕΒΙΝΟΙΝΗ		D	A	*	*	A	A	A	D	A	A	*	D	D	B	A	A	C	A	A	A	A
ΤΡΙΝΑΤΡΙΟ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (Αq)	95	*	*	A	*	A	A	A	A	*	A	A	*	A	*	A	A	A	*	A	*	*
ΟΥΡΙΑ		*	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	*	A
ΒΑΖΕΛΙΝΗ		B	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	A
ΦΥΤΙΚΟ ΕΛΑΙΟ		C	A	*	*	*	A	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	A	A	A	A
ΞΙΔΙ		A	B	*	*	A	A	A	A	C	A	A	*	A	*	A	A	A	A	A	A	A
ΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ		*	*	*	*	*	*	A	*	A	A	*	*	*	*	A	*	*	A	A	*	*
ΝΕΡΟ		A	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ΚΕΡΙ (ΛΙΩΜΕΝΟ)		C	A	*	*	*	A	A	*	A	A	A	*	*	*	A	*	*	*	A	A	A
ΟΡΥΚΤΟ ΝΕΦΤΙ		*	A	*	*	A	A	A	*	A	A	*	*	*	*	A	*	*	A	A	*	A
ΚΡΑΣΙΑ & ΟΙΝΟΠΝΕΥΜΑΤΩΔΟΙ		B	*	*	*	A	A	A	*	B	A	A	A	*	*	A	A	A	A	A	A	A
ΟΡΘΟΞΥΛΟΛΙΟ		D	*	D	D	D	A	A	D	D	A	A	*	D	D	A	D	D	A	A	A	B
ΞΥΛΕΝΟΛΙΟ		*	*	*	*	A	*	A	*	D	A	*	*	*	*	*	*	*	*	A	A	*
ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟ (Αq)	10	*	*	A	A	A	*	A	A	C	A	*	C	A	A	A	A	A	A	*	A	

Πίνακας 7.2.4.1: Αντίσταση σε χημικά συνηθισμένων θερμοπλαστικών υλικών

### 7.3) Αντίσταση στις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών:

Πολλές εφαρμογές για πλαστικά απαιτούν το υλικό να αντέχει την έκθεση στον ήλιο, UV. Όλα τα πλαστικά υλικά επηρεάζονται από τις υπεριώδης ακτινοβολίες και υποβαθμίζονται σε κάποιο βαθμό. Η υποβάθμιση συνήθως παρατηρείται μέσο ξεθωριάσματος, απολέπισης και ευθραυστότητας του πλαστικού υλικού. Δεδομένοι έλεγχοι για υπεριώδη ακτινοβολία συνήθως αποκτώνται μέσο ακριβής έκθεσης σε εξωτερικούς χώρους ή σε ειδικά ερμάρια ελέγχου. Η έκθεση σε εξωτερικό χώρο μπορεί να είναι τόσο απλή όσο τοποθετώντας το δείγμα σε μια επιφάνεια σε κατάλληλη γωνία ή τόσο πολύπλοκη όσο τοποθετώντας καθρέπτες και εξοπλισμό ανίχνευσης ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να επιταχυνθεί η επίδραση της έκθεσης. Τα ερμάρια ελέγχου χρησιμοποιούνται για να επιταχύνουν τη διαδικασία. Γενικότερα, χρησιμοποιούν υψηλής εντάσεως ξένον ή λάμπες τόξου άνθρακα ώστε να παράγουν υψηλά επίπεδα έκθεσης υπεριώδους ακτινοβολίας σε σχετικά μικρό χρονικά διάστημα. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο εξωτερικός τρόπος έκθεσης των πολυμερών:

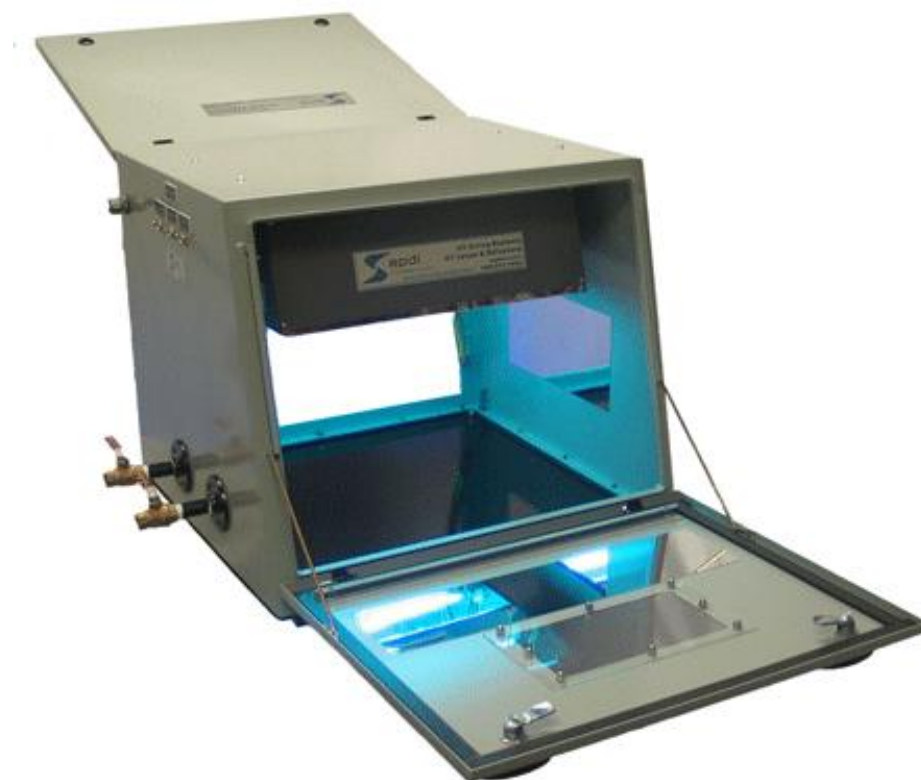


Εικόνα 7.3.1: Τρόπος έκθεσης σε εξωτερικό χώρο

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται κάποια ερμάρια έκθεσης σε υπεριώδης ακτινοβολία:



Εικόνα 7.3.2: Ερμάριο έκθεσης



Εικόνα 7.3.3: Ερμάριο έκθεσης

## 8) Ανάλυση δομής:

### 8.1) Εισαγωγή:

Στο σχεδιασμό ή στην ανάλυση οποιουδήποτε μηχανολογικού εξαρτήματος, είναι επιθυμητή μια συστηματική προσέγγιση. Συχνά το προϊόν δεν λαμβάνει σημαντικά φορτία και δεν έχει σημαντικά όρια απόκλισης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η κρίση του μηχανικού σχεδιασμού είναι συνήθως αυτό που χρειάζεται. Αυτό είναι αλήθεια ειδικότερα σε μικρά φορτία πλαστικών εξαρτημάτων στα οποία οι απαιτήσεις επεξεργασίας απαιτούν το ελάχιστο πάχος τοιχωμάτων, το οποίο είναι περισσότερο από αρκετό για τη λειτουργία του εξαρτήματος. Ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις, οι μηχανικοί οι οποίοι είναι αρχάριοι στο σχεδιασμό πλαστικών συχνά αμελούν τις επιδράσεις των τάσεων που προκαλούνται από την συνδεσμολογία, το χειρισμό, την μεταφορά-αποστολή, την επεξεργασία, τις μεταβολές της θερμοκρασίας και άλλες περιβαλλοντικές αλλαγές.

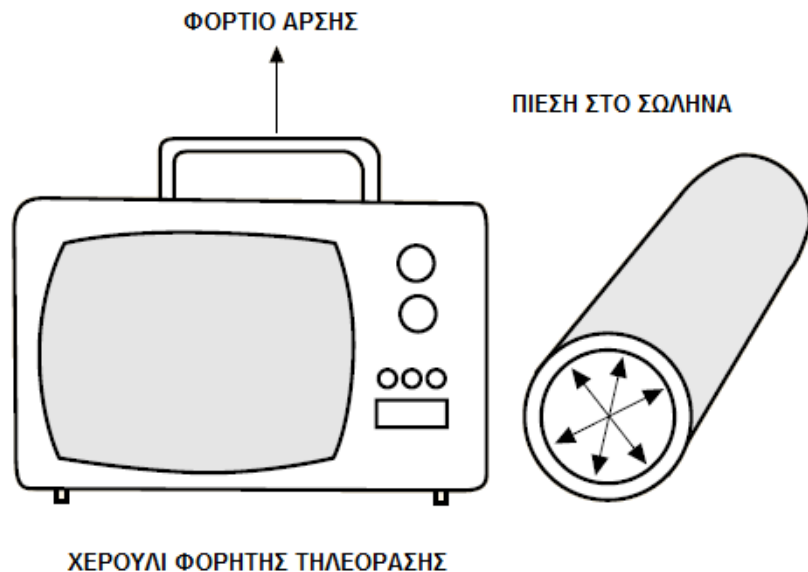
Παρακάτω παρουσιάζονται απλές τεχνικές ανάλυσης οι οποίες βοηθούν τον μηχανικό σχεδιασμού στην ανάπτυξη νέων εξαρτημάτων που θα διαχειρίζονται το προβλεπόμενο φορτίο κρατώντας την τάση και την απόκλιση σε επιτρεπτά όρια. Αυτές οι τεχνικές είναι επίσης χρήσιμες στη βελτίωση προϊόντων, μείωση του κόστους και στην ανάλυση αστοχίας ήδη υπαρχόντων προϊόντων. Επίσης παρακάτω παρουσιάζονται εξισώσεις κλασικών τάσεων και αποκλίσεων πλαστικών εξαρτημάτων. Καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα του εξαρτήματος ή όταν απαιτείται ακριβές αποτέλεσμα τότε ποιό ακριβείς κλασικοί μέθοδοι ή απαιτείται κάποια ανάλυση αυτοματοποιημένου πεπερασμένου στοιχείου.

## 8.2) Καθορισμός δομής:

### 8.2.1) Φορτία:

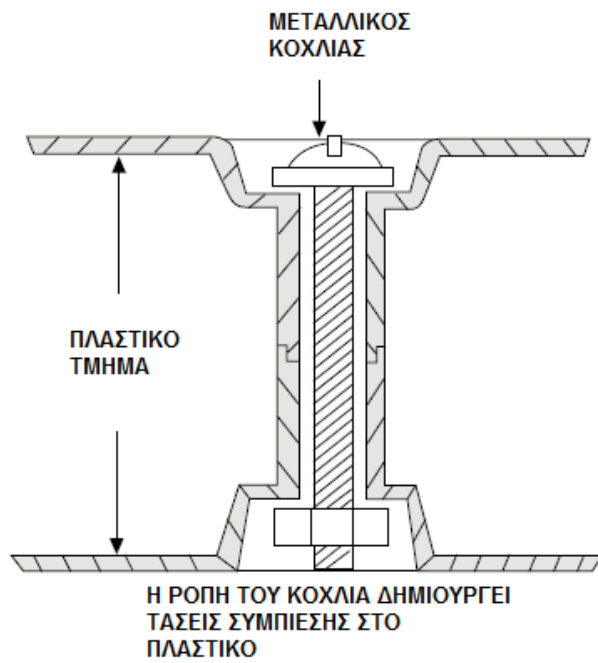
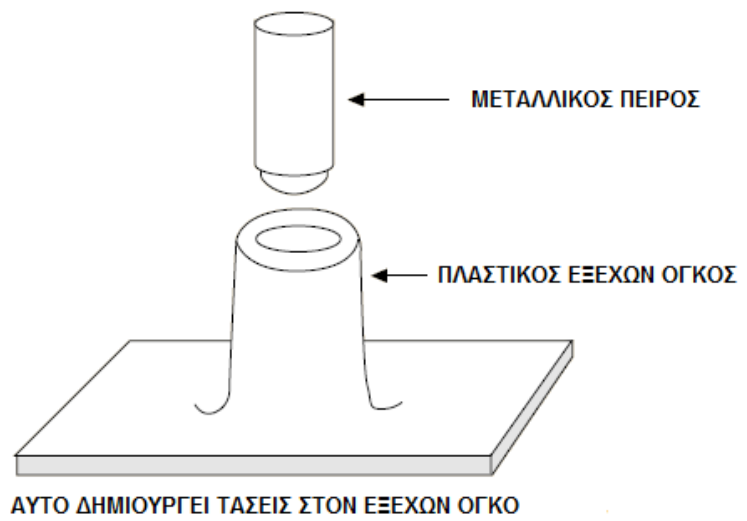
Το πρώτο βήμα στην ανάλυση ενός εξαρτήματος είναι ο καθορισμός των φορτίων στα οποία το εξάρτημα υπόκειται. Αυτά τα φορτία κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Άμεσα εφαρμοζόμενα φορτία: Αυτά τα φορτία είναι εύκολο να κατανοηθούν, διότι είναι τα φορτία που εφαρμόζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του εξαρτήματος ή συγκεντρώνονται σε ένα σημείο, όριο ή κατανεμημένα σε μια περιοχή. Το μέγεθος και η διεύθυνση τέτοιων φορτίων είναι γνωστά ή καθορίζονται εύκολα. Σε μεγαλύτερα πλαστικά εξαρτήματα, το βάρος του ίδιου του εξαρτήματος είναι ένα σημαντικό φορτίο. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα παράδειγμα άμεσου εφαρμοζόμενου φορτίου:



Εικόνα 8.2.1: Παράδειγμα άμεσου εφαρμοζόμενου φορτίου

- Φορτία επαγόμενα από τάση: Συχνά, ένα εξάρτημα φορτίζεται όταν αυτό υπόκειται σε καθορισμένη απόκλιση. Το πραγματικό φορτίο είναι αποτέλεσμα αντίδρασης της δομής του εξαρτήματος σε εφαρμοζόμενες εντάσεις. Αντίθετα με τα άμεσα εφαρμοζόμενα φορτία, τα φορτία που επάγονται από τάση βασίζονται στο συντελεστή ελαστικότητας. Πολλές θερμικές τάσεις καθώς και τάσεις συναρμολόγησης είναι αποτέλεσμα των φορτίων επαγόμενων από τάσεις. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται δύο συνηθισμένα παραδείγματα:

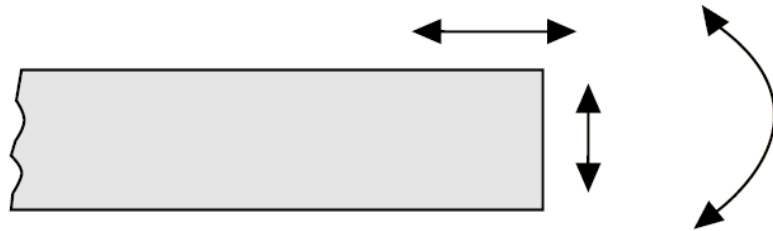


Εικόνα 8.2.2: Συνηθισμένα παραδείγματα

### 8.2.2) Συνθήκες στήριξης:

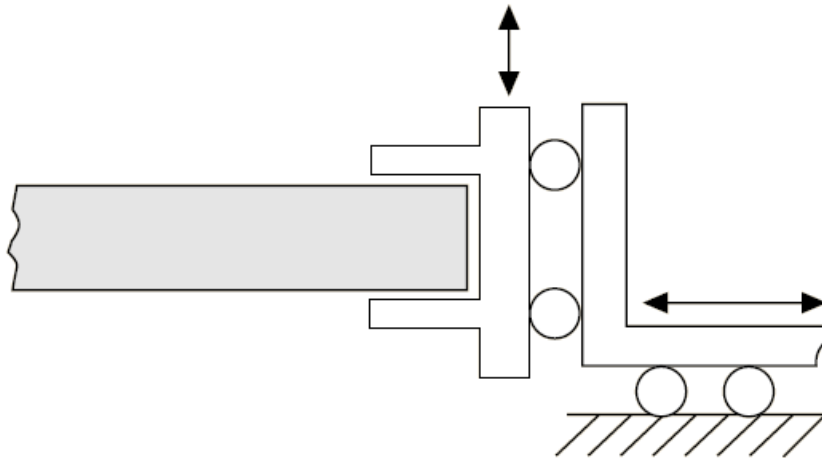
Όταν ένα φορτίο εφαρμόζεται σε ένα εξάρτημα, για να μπορέσει το εξάρτημα να παραμείνει ισορροπημένο πρέπει να υπάρχουν ίσες δυνάμεις που επιδρούν στην αντίθετη κατεύθυνση. Αυτές οι δυνάμεις ισορροπίας είναι οι αντιδράσεις στήριξης. Για σκοπούς ανάλυσης δομής, πρέπει να οριστούν διάφορες συνθήκες στήριξης. Παρακάτω αναγράφονται οι αντιδράσεις στήριξης:

- Ελεύθερη (αστήρικτη): Αυτή είναι η συνθήκη στήριξης στην οποία η άκρη του κομματιού είναι τελείως ελεύθερη να μετακινείται ή να περιστρέφεται σε οποιαδήποτε διεύθυνση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η ελεύθερη στήριξη:



Εικόνα 8.2.2.1: Ελεύθερη στήριξη

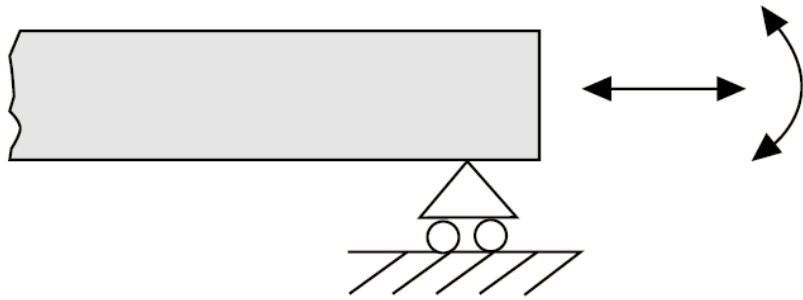
- Καθοδηγούμενη: Αυτή η συνθήκη είναι όμοια με την ελεύθερη μόνο που η άκρη δεν μπορεί να περιστραφεί. Στη παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η καθοδηγούμενη στήριξη:



Εικόνα 8.2.2.2: Καθοδηγούμενη στήριξη

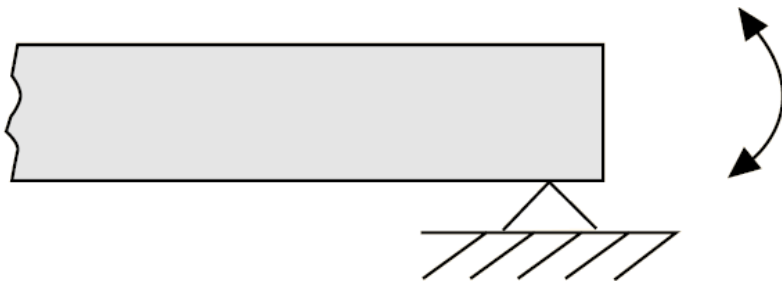
- Κύλιση: Σε αυτή τη συνθήκη οι εγκάρσιες μετατόπισης σε μια κατεύθυνση είναι περιορισμένες. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η κύλιση:





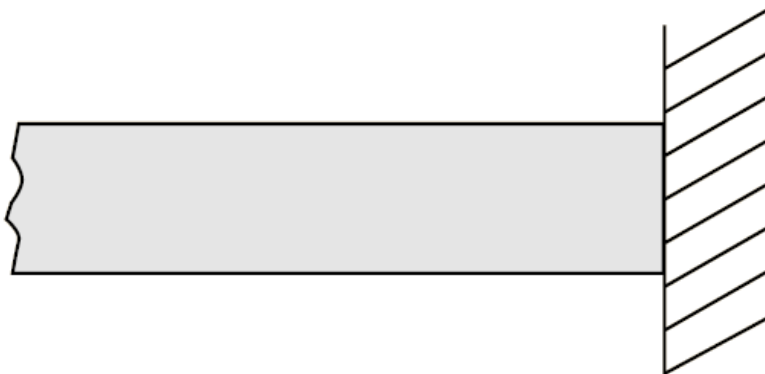
Εικόνα 8.2.2.3: Κύλιση

- Άρθρωση: Αυτή η συνθήκη είναι παρόμοια με την κύλιση με τη διαφορά ότι επιτρέπεται μόνο η περιστροφή. Στη παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η άρθρωση:



Εικόνα 8.2.2.4: Άρθρωση

- Πάκτωση: Αυτή είναι μια συνθήκη όπου αποτρέπει εγκάρσια μετακίνηση αλλά και περιστροφή. Η συνθήκη αυτή μπορεί να θεωρηθεί σαν το άκρο του κομματιού να είναι σταθερά ενσωματωμένο σε ένα τοίχο. Πρακτικά, ειδικά με τα πλαστικά εξαρτήματα αυτή η συνθήκη σπάνια γίνεται σε αυτή τη μορφή. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η πάκτωση:



Εικόνα 8.2.2.5: Πάκτωση

Οι ποιά συχνές συνθήκες στήριξης είναι η ελεύθερη, η κύλιση και η άρθρωση.

### 8.2.3) Απλοποίηση και υποθέσεις:

Παρακάτω αναγράφονται κάποιες απλοποιήσεις και μερικές υποθέσεις:

- Το εξάρτημα που υπόκειται σε φορτία μπορεί να σπάσει σε μία ή περισσότερες απλές δομές, δοκούς, πλάκες κτλ για ανάλυση.
- Το υλικό το οποίο αναλύεται μπορεί να θεωρηθεί σαν γραμμικό ελαστικό, ομοιογενές και ισотροπικό. Παρόλο που δεν είναι πάντα αλήθεια για πλαστικά υλικά, αυτή η υπόθεση είναι θεμελιώδης για τις ισότητες που ακολουθούν.
- Οι ισότητες υποθέτουν πως το φορτίο είναι είτε συγκεντρωμένο είτε διανεμημένο στατικό φορτίο, όπου εφαρμόζεται βαθμωτά για λίγη χρονική περίοδο και μετά αφαιρείται. Όμως, ερπυσμός, χαλάρωση ή φορτία κούρασης μπορούν να αναλυθούν χρησιμοποιώντας τις ίδιες ισότητες.
- Το εξάρτημα που αναλύεται δεν έχει υπολειπόμενες τάσεις.
- Οι ισότητες εφαρμόζονται σε περιοχές οι οποίες είναι απομακρυσμένες και από το σημείο εφαρμογής του φορτίου και από οποιαδήποτε πλάτη, οπή ή άλλη ξαφνική αλλαγή στις διαστάσεις της δομής.
- Οι ισότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλάτες, οπές ή άλλες ξαφνικές αλλαγές στις διαστάσεις εφόσον χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συντελεστές συγκέντρωσης τάσεων.

### 8.3) Συντελεστές ασφαλείας:

Δεν υπάρχουν κανόνες για τον ορισμό συντελεστών ασφαλείας για πλαστικά υλικά. Όμως, ο ποιο σημαντικός παράγοντας είναι οι συνέπειες μιας αστοχίας. Για παράδειγμα, μια μικρή απόκλιση σε ένα εξωτερικό τοίχωμα ή μια ρωγμή σε έναν από τους 6 εξέχον όγκους μπορεί να είναι μικρής σημασίας, αλλά η αστοχία σε μια πίεση ή σε μια βαλβίδα νερού μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες όσο αφορά την ασφάλεια αλλά και το προϊόν. Πρώτου την εξαγωγή ενός προϊόντος στην αγορά θα πρέπει να δοκιμαστεί στις πιο ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα, ένα μέγιστο φορτίο θα πρέπει να εφαρμοστεί σε μέγιστη θερμοκρασία και με την παρουσία κάποιου χημικού που ίσως είναι αναμενόμενο κατά τη χρήση.

Επιπλέον, τα φορτία, οι θερμοκρασίες και τα χημικά στα οποία εκτίθεται ένα προϊόν πριν τη χρήση του δεν πρέπει να αγνοηθούν. Κρουστικά φορτία θα πρέπει να εφαρμοστούν στις χαμηλότερες προσδοκώμενες θερμοκρασίες, συμπεριλαμβανομένου της μεταφοράς και της θερμοκρασίας συναρμολόγησης. Οι επιδράσεις των παραλλαγών του πλήθους των ρητινών και συνθηκών χύτευσης πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη. Πολλές αστοχίες στον έλεγχο των εξαρτημάτων προς παραγωγή μπορούν συχνά να διορθωθούν με επιλεκτική χρήση αυξημένου πάχους τοιχωμάτων, ραβδώσεων, υποστηριγμάτων ή εξάλειψη της συγκέντρωσης των τάσεων. Μια αλλαγή υλικού σε άλλο βαθμό της ίδιας ρητίνης ή σε διαφορετικό πλαστικό με κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες μπορούν επίσης να λύση το πρόβλημα.

Μηχανικοί χωρίς εμπειρία στο σχεδιασμό πλαστικών προϊόντων ζητάνε για ένα σχεδιασμό ενίσχυσης κατά τη διάρκεια της αρχικής φάσης σχεδιασμού. Μια ανασκόπηση των δεδομένων των προϊόντων και συζητήσεις με έμπειρους μηχανικούς δείχνουν ότι τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα είναι κατάλληλα για χρήση στις ισότητες που παρουσιάζονται παρακάτω μόνο στη φάση προπαρασκευαστικού σχεδιασμού, όπου γενικά οι διαστάσεις των προϊόντων αξιολογούνται. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται ο σχεδιασμός αντοχής για προπαρασκευαστικό σχεδιασμό εξαρτήματος:

	Αστοχία μη κρίσιμη	Αστοχία κρίσιμη
Διακοπτόμενη φόρτιση	25-50%	10-25%
Συνεχόμενη φόρτιση	10-25%	5-10%

Πίνακας 8.3.1: Σχεδιασμός αντοχής για προπαρασκευαστικό σχεδιασμό εξαρτήματος

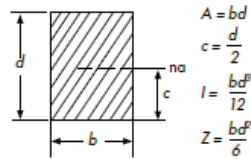
8.3.1) Θεωρία αστοχίας:

Η θεωρία αστοχίας είναι η επιστήμη, που προβλέπει τη κατάσταση προβλέπει τη κατάσταση στην οποία στερεά υλικά αστοχούν κάτω από εξωτερικά φορτία. Η αστοχία ενός υλικού συνήθως κατατάσσεται σε εύθραυστη αστοχία ή όλκιμη αστοχία. Ανάλογα με τις συνθήκες παραδείγματος χάριν θερμοκρασία, κατάσταση τάσεων, φορτία, τα περισσότερα υλικά μπορούν να αστοχήσουν. Υπάρχουν δύο τύποι αστοχίας υλικών:

- Μικροσκοπική αστοχία: Θεωρείται η έναρξη και η διάδοση των ρωγμών
- Μακροσκοπική αστοχία: Ορίζεται από την άποψη της δυνατότητας μεταφοράς φορτίων ή χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας.

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι ισότητες ανάλογα με το σχήμα του εξαρτήματος:

**ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΓΡΑΜΜΟ**



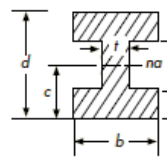
$$A = bd$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$Z = \frac{bd^2}{6}$$

**ΔΟΚΟΣ - I**



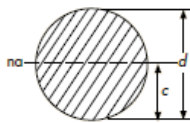
$$A = bd - h(b - t)$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3 - h^3(b - t)}{12}$$

$$Z = \frac{bd^3 - h^3(b - t)}{6d}$$

**ΚΥΚΛΟΣ**



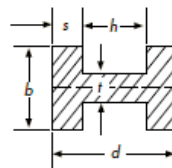
$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

**ΔΟΚΟΣ - H**



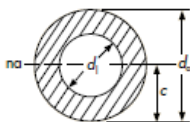
$$A = bd - h(b - t)$$

$$c = \frac{b}{2}$$

$$I = \frac{2sb^3 + hf^3}{12}$$

$$Z = \frac{2sb^3 + hf^3}{6b}$$

**ΣΩΛΗΝΑΣ**



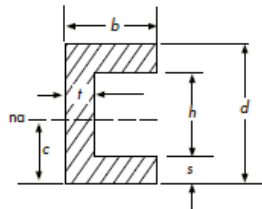
$$A = \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4}$$

$$c = \frac{d_o}{2}$$

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64}$$

$$Z = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32d_o}$$

**ΔΟΚΟΣ - C**



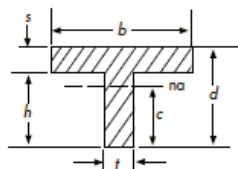
$$A = bd - h(b - t)$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3 - h^3(b - t)}{12}$$

$$Z = \frac{bd^3 - h^3(b - t)}{6d}$$

**ΔΟΚΟΣ - T**



$$A = bs + ht$$

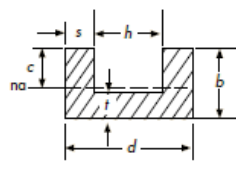
$$c = d - \frac{d^2 + s^2(b - t)}{2(bs + ht)}$$

$$Z = \frac{I}{c}$$

$$Z' = \frac{I}{(d - c)}$$

$$I = \frac{tc^3 + b(d - c)^3 - (b - t)(d - c - s)^3}{3}$$

**ΔΟΚΟΣ - U**



$$A = bd - h(b - t)$$

$$c = b - \frac{2b^2s + hf^2}{2A}$$

$$I = \frac{2b^2s + hf^2}{3} - A(b - c)^2$$

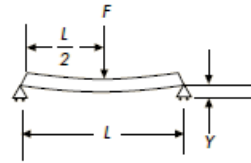
$$Z = \frac{I}{c}$$

$$Z' = \frac{I}{(b - c)}$$

Εικόνα 8.3.1.1: Ισότητες ανάλογα με το σχήμα του εξαρτήματος

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι ισότητες μέγιστων τάσεων και αποκλίσεων για δοκούς:

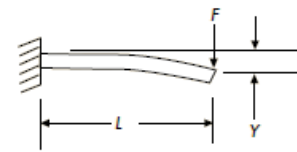
**ΔΟΚΟΣ ΣΕ ΣΤΗΡΙΞΗ ΚΥΛΙΣΗΣ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ**



ΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ  $\sigma = \frac{FL}{4Z}$

ΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ  $Y = \frac{FL^3}{48EI}$

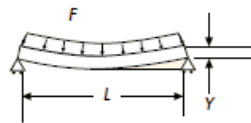
**ΔΟΚΟΣ ΣΕ ΜΙΑ ΑΚΡΗ ΠΑΚΤΩΜΕΝΗ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΑΚΡΗ**



ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ  $\sigma = \frac{FL}{Z}$

ΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ  $Y = \frac{FL^3}{3EI}$

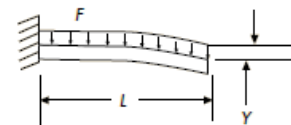
**ΔΟΚΟΣ ΣΕ ΣΤΗΡΙΞΗ ΚΥΛΙΣΗΣ ΜΕ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ**



ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ  $\sigma = \frac{FL}{8Z}$

ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ  $Y = \frac{5FL^3}{384EI}$

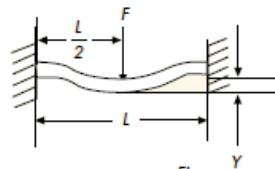
**ΔΟΚΟΣ ΣΕ ΜΙΑ ΑΚΡΗ ΠΑΚΤΩΜΕΝΗ ΜΕ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ**



ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ  $\sigma = \frac{FL}{2Z}$

ΣΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΑΚΡΗ  $Y = \frac{FL^3}{8EI}$

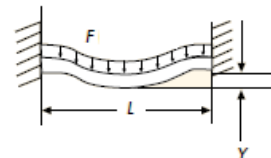
**ΠΑΚΤΩΜΕΝΗ ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ**



ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ  $\sigma = \frac{FL}{8Z}$

ΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ  $Y = \frac{FL^3}{192EI}$

**ΠΑΚΤΩΜΕΝΗ ΔΟΚΟΣ ΜΕ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ**



ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ  $\sigma = \frac{FL}{12Z}$

ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ  $Y = \frac{FL^3}{384EI}$

Εικόνα 8.3.1.2: Ισότητες μέγιστων τάσεων και αποκλίσεων για δοκούς

8.3.2) Τάσεις κάμψης δοκών:

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, σε κάμψη απλών δοκών ισχύουν οι παρακάτω υποθέσεις:

- Η δοκός είναι αρχικά ίσια, χωρίς τάσεις και συμμετρική
- Το αναλογικό όριο δεν εκτείνεται
- Ο συντελεστής young για υλικά είναι ίδιος και σε εφελκυσμό και σε συμπίεση
- Όλες οι αποκλίσεις είναι μικρές

Οι μέγιστη τάση συμβαίνει στην επιφάνεια της δοκού, πολύ μακριά από την ουδέτερη επιφάνεια και δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma = M \cdot C / I = M / Z$$

Όπου:

$M$  = στιγμή κάμψης

$c$  = Απόσταση από τον ουδέτερο άξονα της εξωτερικής επιφάνειας όπου συμβαίνει η μέγιστη τάση

$I$  = στιγμή αδράνειας

$Z$  = συντελεστής τμήματος

Κάποια δεδομένα όπως  $I$ ,  $C$ ,  $Z$ ,  $A$  φαίνονται στην εικόνα 83, ενώ οι ισότητες μέγιστης τάσης και απόκλισης για κάποιους δοκούς φαίνονται στην εικόνα 84.

8.3.3) Διατμητικές τάσεις στρέψης:

Ένας άξονας που υποβάλλεται σε ροπή, γενικός θεωρείται ότι αστοχεί όταν υπερβεί η δύναμη του υλικού σε διάτμηση. Η μέγιστη δύναμη εντάσεως σε ένα άξονα σε κάμψη δίνεται από τον τύπο:

$$\tau = T \cdot C / J$$

Όπου:

$T$  = εφαρμοζόμενη ροπή

$c$  = απόσταση από το κέντρο του άξονα στην θέση όπου εφαρμόζεται η μέγιστη τάση

$J$  = πολική στιγμή αδράνειας

Η γωνιακή περιστροφή του άξονα λόγο ροπής δίνεται από τον τύπο:

$$\theta = T \cdot L / G \cdot J$$

Όπου:

$L$  = το μήκος του άξονα

$G$  = συντελεστής διάτμησης

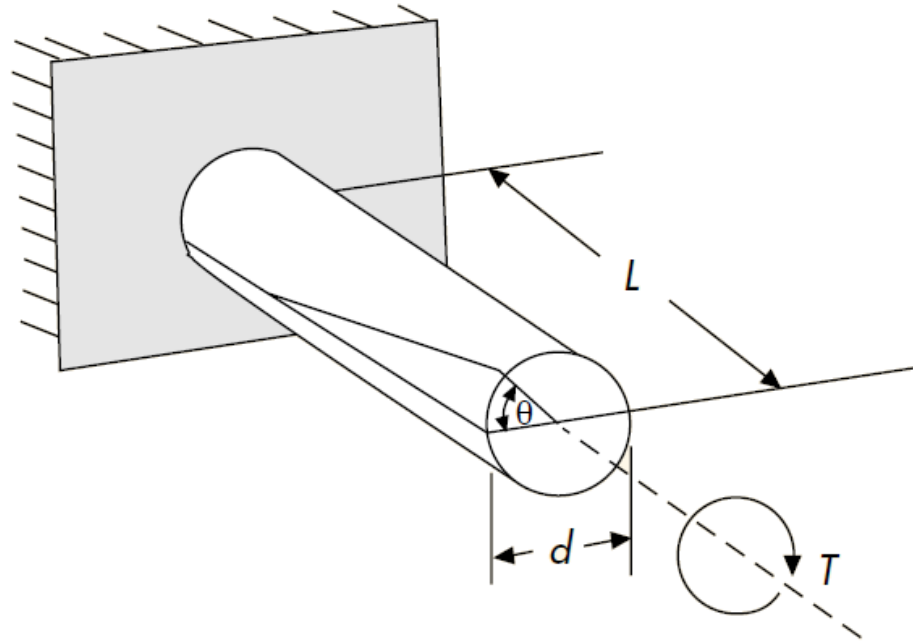
$$= E / 2 \cdot (1 + \nu)$$

Όπου:

$E$  = συντελεστής young

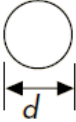
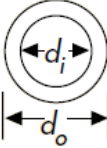
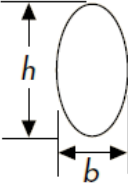
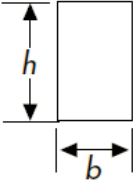
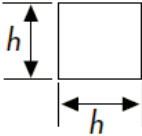
$\nu$  = λόγος Poisson

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας άξονας που υποβάλλεται σε ροπή:



Εικόνα 8.3.3.1: Άξονας που υποβάλλεται σε ροπή

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι πολικές στιγμές αδράνειας:

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΠΟΛΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ $J$	ΘΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ $C$
	$\frac{\pi d^4}{32}$	$\frac{d}{2}$
	$\frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32}$	$\frac{d_o}{2}$
	$\frac{\pi b^3 h}{32}$	$\frac{b}{2}$
	$\frac{bh(b^2 + h^2)}{12}$	$\frac{b}{2}$
	$\frac{h^4}{6}$	$\frac{h}{2}$

Εικόνα 8.3.3.2: Πολικές στιγμές αδράνειας

#### 8.3.4) Διατμητικές τάσεις, ευθεία διάτμηση:

Υπάρχουν πολλές περιστάσεις όπου μπορεί να συμβεί ευθεία διάτμηση σε πλαστικά εξαρτήματα. Ο τύπος που δίνει την ευθεία διάτμηση είναι:

$$T = F/A$$

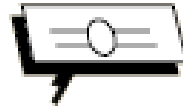
Όπου:

F = η δύναμη που εφαρμόζεται

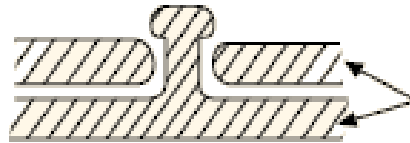
A = η επιφάνεια του εξαρτήματος

Σε καταστάσεις όπου υπάρχει ευθεία διάτμηση είναι κατάλληλη η χρήση δεδομένων διάτμησης δύναμης. Όμως από τη στιγμή που το φορτίο δε μεταφέρεται μόνο μέσω διάτμησης αλλά περιέχει επίσης καμπτικές και συμπιεστές συνιστώσες οι οποίες βασίζονται κυρίως στις γεωμετρίες, η ακριβής δύναμη ποικίλει. Γι' αυτό το λόγο είναι επιθυμητή η αύξηση των συντελεστών ασφαλείας σε καταστάσεις ευθείας διάτμησης. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η συναρμολόγηση με πασσάλους και με σφικτήρα στα οποία ένα φορτίο μπορεί να εφαρμοστεί σε ευθεία διάτμηση:

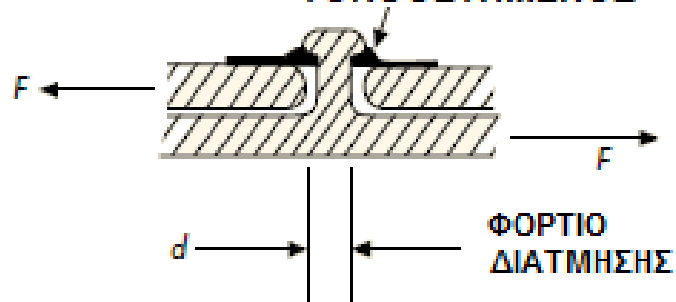
## ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΣΦΥΚΤΗΡΑ



ΚΟΜΜΑΤΙΑ  
ΠΡΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ



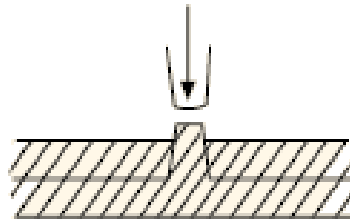
ΣΦΥΚΤΗΡΑΣ  
ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟΣ



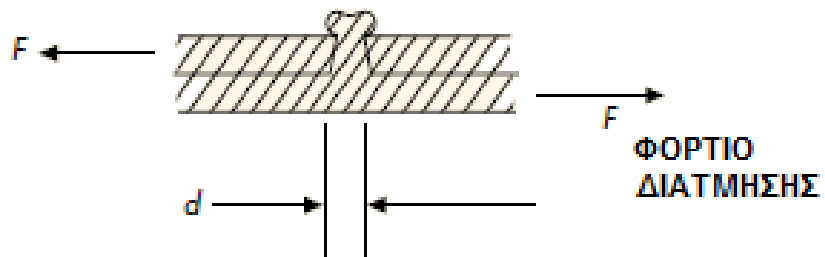
Εικόνα 8.3.4.1: Συναρμολόγηση με σφικτήρα



## ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ



## ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ



## ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

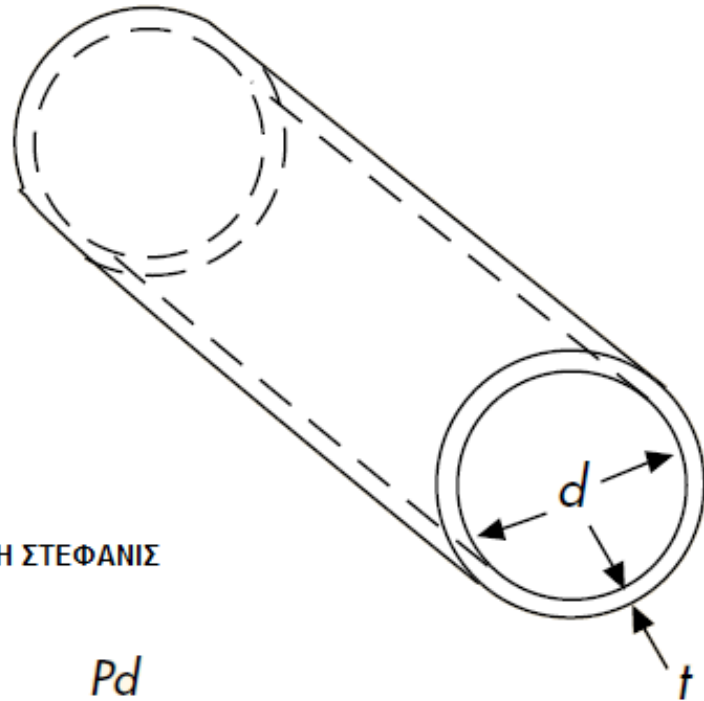
$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Εικόνα 8.3.4.2: Συναρμολόγηση με πασσάλους

### 8.4) Δοχεία πίεσης:

Οι πιο συχνές εφαρμογές πλαστικών δοχείων πίεσης είναι ένας σωλήνας με εσωτερική πίεση. Στην επιλογή του πάχους τοιχώματος του σωλήνα, είναι κατάλληλη η ισότητα τάσεων για λεπτότοιχο σωλήνα. Αυτή η ισότητα είναι ακριβής για  $t < d/10$ , καθώς το πάχος τοιχώματος αυξάνεται, τότε αυξάνονται και τα σφάλματα. Μετά την εφαρμογή της ισότητας λεπτού τοιχώματος, η ισότητα πυκνού τοιχώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει το σχεδιασμό. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα δοχείο πίεσης με λεπτό τοίχωμα:

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ, P



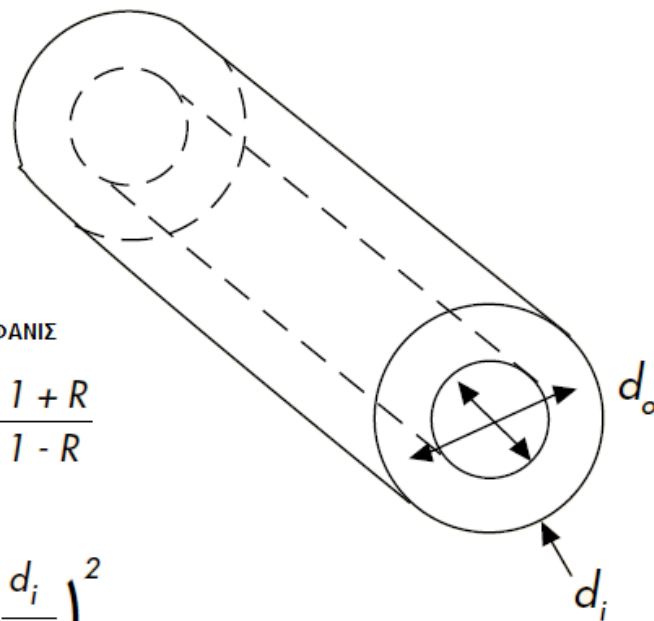
ΤΑΣΗ ΣΤΕΦΑΝΙΣ

$$\sigma = \frac{Pd}{2t}$$

Εικόνα 8.4.1: Δοχείο πίεσης με λεπτό τοίχωμα

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα δοχείο πίεσης με πυκνό τοίχωμα:

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ, P



ΤΑΣΗ ΣΤΕΦΑΝΙΣ

$$\sigma = P \frac{1 + R}{1 - R}$$

οπου:

$$R = \left( \frac{d_i}{d_o} \right)^2$$

Εικόνα 8.4.2: Δοχείο πίεσης με πυκνό τοίχωμα

### 8.5) Πίεση – Προσαρμογή:

Παρόλο που η χρήση τέτοιων μεθόδων συναρμολόγησης μπορεί να είναι επικίνδυνη με θερμοπλαστικά εξαρτήματα, το χαμηλό τους κόστος συναρμολόγησης, η ταχύτητα, και η ευκολία τους συχνά είναι λόγος για να χρησιμοποιηθούν. Μια συνηθισμένη χρήση είναι με πλαστική πλήμνη ή πλαστικό εξέχων όγκο που δέχονται είτε πλαστικό είτε μεταλλικό άξονα ή πείρο. Η διαδικασία αυτή τείνει να επεκτείνει τη πλήμνη, δημιουργώντας εφελκυσμό ή τάσεις. Εάν η παρέμβαση είναι πολύ μεγάλη, τότε αναπτύσσεται πολύ υψηλή τάση και ένταση. Τα πλαστικά εξαρτήματα είτε:

- Αστοχεί άμεσος δημιουργώντας ρωγμή παράλληλη στον άξονα της πλήμνης ανακουφίζοντας τη τάση.
- Αντέχει στη συναρμολόγηση αλλά υπάρχει μόνιμη αστοχία όταν το εξάρτημα χρησιμοποιείται για ποικίλους λόγους σχετικά με υψηλά επαγόμενα επίπεδα τάσεων.
- Υφίσταται επαρκείς χαλάρωση τάσεων ώστε να μειωθεί η τάση σε χαμηλότερο επίπεδο όπου μπορεί να υποστηριχθεί.

Οι ισότητες τάσεων στεφάνης για δύο τυπικές καταστάσεις απεικονίζονται στη παρακάτω εικόνα. Ο επιτρεπτός σχεδιασμός τάσεων βασίζεται στη συγκεκριμένη πλαστική ρητίνη, θερμοκρασία και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μια απλούστερη αλλά λιγότερο ακριβής μέθοδος αξιολόγησης της μεθόδου αυτής είναι να θεωρηθεί ότι ο άξονας δεν θα παραμορφωθεί όταν πιεστή σε μια πλήμνη. Αυτό είναι ακριβές όταν ένας μεταλλικός άξονας χρησιμοποιηθεί σε πλαστική πλήμνη. Η ένταση που αναπτύσσεται στη στεφάνη της πλήμνης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\varepsilon = i/d_i$$

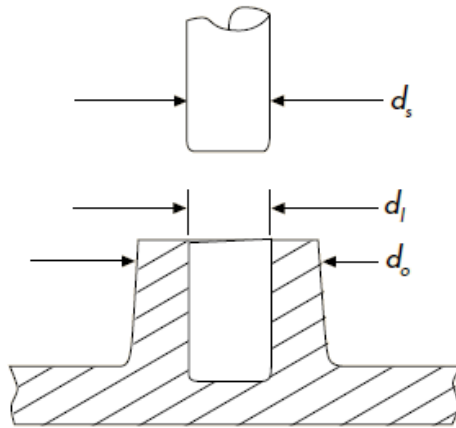
Όπου:

$i = d_s - d_i$  = διαμετρική παρέμβαση

$d_i$  = πάχος υποδοχής

$d_s$  = πάχος όγκου πίεσης

Η τάση στη στεφάνη τότε μπορεί να αποκτηθεί πολλαπλασιάζοντας με τον κατάλληλο συντελεστή. Για υψηλή ένταση, ο διατέμνων συντελεστής δίνει την αρχική τάση. Όμως, για μεγαλύτερες τάσεις, ο φαινομενικός συντελεστής ή ο συντελεστής ερπυσμού θα πρέπει να χρησιμοποιείται. Το κυρίως σημείο είναι ότι η μέγιστη ένταση ή τάση πρέπει να είναι κάτω από την τιμή που παράγει ερπυσμό στο υλικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια γραμμή συγκόλλησης παρουσιάζεται στη πλήμνη, όπου μπορεί σημαντικά να επιδράσει τη δύναμη ερπυσμού των περισσότερων πλαστικών υλικών. Μια επιπλέον συχνή επιπλοκή με αυτή τη μέθοδο είναι ότι οι στρογγυλές πλήμνες ή εξέχων όγκοι είναι συχνά δύσκολο να χυτευτούν. Υπάρχει μια τάση να γίνονται οι πλήμνες ελαφρός ελλειπτικές στη διατομή, αυξάνοντας τις τάσεις στο εξάρτημα. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να δοκιμαστεί αυτή η μέθοδος σε αληθινές συνθήκες λειτουργίας ώστε να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία του προϊόντος. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται δύο τυπικές καταστάσεις τάσεων στεφάνης:



#### ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

$$\Gamma = \frac{1 + \left(\frac{d_s}{d_o}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_s}{d_o}\right)^2}$$

$E_p$  = ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ:

$\nu_p$  = ΛΟΓΟΣ POISSON ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ

$\sigma_a$  = ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ

$i = d_s - d_l$  = ΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ

$i_a$  = ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ :

#### ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α

Ο ΑΞΟΝΑΣ ΚΑΙ Η ΠΛΗΜΝΗ ΕΙΝΑΙ ΑΠΟ ΙΔΙΟ Ή ΠΑΡΟΜΟΙΟ ΥΛΙΚΟ. Η ΤΑΣΗ ΣΤΕΦΑΝΙΣ (i) ΔΙΝΕΤΑΙ:

$$\sigma = \frac{i}{d_s} E_p \frac{\Gamma}{\Gamma + 1}$$

Η ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΕΙΝΑΙ:

$$i_a = d_s \frac{\sigma_a}{E_p} \frac{\Gamma + 1}{\Gamma}$$

#### ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β

Ο ΑΞΟΝΑΣ ΕΙΝΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΣ, Η ΠΛΗΜΝΗ ΕΙΝΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ. Η ΤΑΣΗ ΣΤΕΦΑΝΙΣ (i) ΔΙΝΕΤΑΙ:

$$\sigma = \frac{i}{d_s} E_p \frac{\Gamma}{\Gamma + \nu_p}$$

Η ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΠΑΡΑΜΒΑΣΗ ΕΙΝΑΙ

$$i_a = d_s \frac{\sigma_a}{E_p} \frac{\Gamma + \nu_p}{\Gamma}$$

Εικόνα 8.5.1: Δύο τυπικές καταστάσεις τάσεων στεφάνης

### 8.6) Δύναμη σπειρώματος:

Όταν τα σπειρώματα είναι είτε χυτευτά είτε αυτοκοχλιούμενα σε ένα πλαστικό εξάρτημα, η ροπή συναρμολόγησης πρέπει να ελέγχεται ώστε να αποτραπούν υπερβολικές διατμητικές τάσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα γυμνά σπειρώματα και περιορισμό της τάσης της στεφάνης, όπου μπορεί να οδηγήσει σε αστοχίες εφελκυσμού. Παρόλο που ο μηχανισμός ανάλυσης τάσεων για σπειρώματα είναι εύκολα διαθέσιμος, οι ισότητες είναι περίπλοκες και λίγοι επιλέγουν να τις χρησιμοποιήσουν. Η σχέση ανάμεσα στη ροπή του κοχλία και τη παραγόμενη αξονική δύναμη είναι:

$$T = 4/3 * (\mu * d * F)$$

Όπου:

$\mu$  = δυναμικός συντελεστής τριβής σε ολισθηρές επιφάνειες

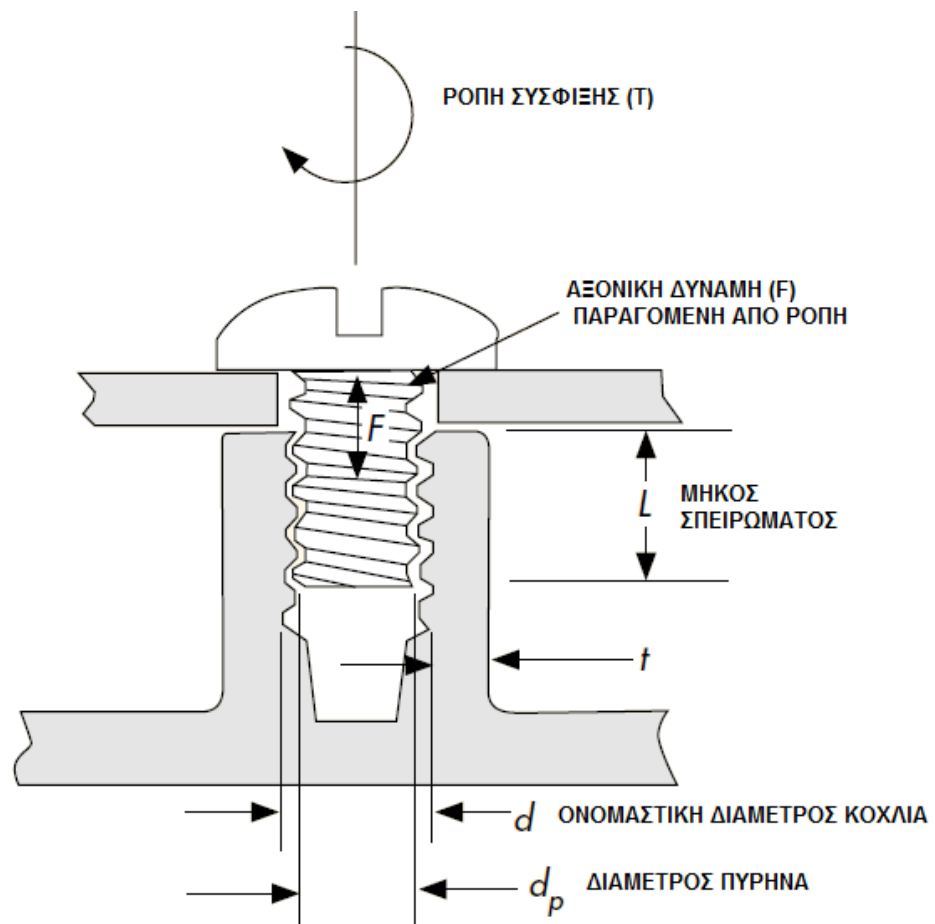
Η επιφάνεια του σπειρώματος (A) είναι:

$$A = 1/2 * (\pi * d * L)$$

Για αυτό το λόγο η διατμητική τάση του σπειρώματος είναι:

$$\tau = F/A = 2F/(\pi * d * L)$$

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας κοχλίας με τις δυνάμεις που ασκούνται:



Εικόνα 8.6.1: Κοχλίας με τις δυνάμεις που ασκούνται

Για δεδομένα ενοποιημένα σπειρώματα 60°, η ακτινική συνιστώσα της δύναμης είναι περίπου 60% της αρχικής δύναμης. Αυτή η δύναμη διανέμεται στον κύλινδρο σύμπλεξης του κοχλία, παράγοντας μια εσωτερική πίεση στον εξέχων όγκο, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$P = 0.6 \cdot F / (\pi \cdot d \cdot L)$$

Έπειτα αυτή η πίεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απλού λεπτού τοιχώματος ισότητας τάσης:

$$\sigma = P \cdot (d + 2t) / 2t$$

Ένα βασικό πρόβλημα με τις ισότητες ροπής – δύναμης του κοχλία είναι ότι ο συντελεστής τριβής διαφέρει σημαντικά σε υλικά και επιφάνειες. Επιπλέον τα περισσότερα δεδομένα για τον συντελεστή τριβής παράγονται από υψηλής ταχύτητας και χαμηλού φορτίου συνθήκες παρά από χαμηλής ταχύτητας ταχύτητας και υψηλού φορτίου που εμπλέκονται στο σπείρωμα. Επίσης, αυτές οι ισότητες είναι επαρκής. Για λόγους αρχικού σχεδιασμού, αξίζει τον κόπο να επιλεγεί μια μέση τιμή για τον συντελεστή τριβής. Μια τιμή 0.15 είναι προτεινόμενη. Όταν χρησιμοποιείται αυτή η τιμή οι προηγούμενες ισότητες μπορούν να απλοποιηθούν ως εξής:

- Η σχέση ανάμεσα στη ροπή-δύναμη είναι:

$$T = 0.2F \quad \text{ή} \quad F = 5T/d$$

- Η ισότητα διατμητικής τάσης είναι:

$$t = 2F / \pi \cdot d \cdot L = 10T / \pi \cdot d^2 \cdot L \quad \text{ή} \quad (10T/d) / \pi \cdot d \cdot L$$

- Η παραγόμενη πίεση στο εσωτερικό του εξέχων όγκου είναι:

$$P = 0.2F / d \cdot L = T / d^2 \cdot L$$

- Η τάση στεφάνης που παράγεται στον εξέχων όγκου είναι:

$$\sigma = 0.2F / L \cdot t = T / d \cdot L \cdot t$$

Υποθέτοντας ότι  $d + 2t = 2d$

Τέλος οι παρακάτω παρατηρήσεις σχετικά με τα σπειρώματα θα πρέπει να κατανοηθούν:

- Η τιμή της ροπής βασίζεται στο συντελεστή τριβής των εξαρτημάτων και διαφέρει σημαντικά. Η χρήση οποιαδήποτε συμβατής λίπανσης που μειώνει τη τριβή αυξάνει τις διατμητικές τάσεις καθώς και τις τάσεις τις στεφάνης εάν η ροπή παραμένει ίδια. Για το λόγο αυτό η επιτρεπόμενη ροπή πρέπει να μειωθεί κατά την παρουσία λίπανσης.
- Υψηλή ροπή συναρμολόγησης με στόχο την παρεμπόδιση δονήσεων χαλάρωσης είναι συχνά μη- αποτελεσματικό από τη στιγμή που ο ερπυσμός στα πλαστικά υλικά μειώνει την αποτελεσματική ροπή συναρμολόγησης ακόμα και αν ο σύνδεσμος δε περιστρέφεται. Κοχλίες ανθεκτική στη δόνηση, ροδέλες ασφάλειας, παξιμάδια ασφάλειας και κολλητικές ουσίες ασφάλειας κοχλία είναι ειδικά σχεδιασμένα για θερμοπλαστικά και είναι μια καλή εναλλακτική στην περίπτωση όπου η χαλάρωση αποτελεί πρόβλημα.
- Οι αυτοκοχλιούμενοι κοχλίες απαιτούν επιπλέον ροπή ώστε να κόψουν ή να σχηματίσουν το σπείρωμα. Αυτή η ροπή πρέπει να προστεθεί σε μια ασφαλή επιτρεπόμενη ροπή συναρμολόγησης. Ο κατάλληλος σχεδιασμός της οπής για αυτοκοχλιούμενους κοχλίες βασίζεται στο υλικό και το σχεδιασμό του κοχλία. Για αυτό

το λόγο οι σχεδιαστές πρέπει να συμβουλευτούν τους κατασκευαστές ή διάφορα εγχειρίδια. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποιες αυτοκοχλιούμενοι κοχλίες:



Εικόνα 8.6.2: Αυτοκοχλιούμενοι κοχλίες

### 8.7) Σωληνωτοί κοχλίες:

Οι σωληνωτοί κοχλίες συνήθως χρησιμοποιούνται σε πλαστικές υδραυλικές εγκαταστάσεις και πνευματικές συσκευές. Ο σωστός σχεδιασμός πλαστικών σωληνωτών κοχλίων απαιτεί μόνο συναρμολόγηση με το χέρι ώστε να υπάρχει μια καλή σφράγιση, ειδικά εάν χρησιμοποιηθεί συμβατή στεγανωτική ταινία ή μείγμα. Η συναρμολόγηση ενός κώνικου αρσενικού σωληνωτού κοχλία μέσα σε συμβατό θηλυκό σπειρώμα σε ένα πλαστικό εξάρτημα είναι ανάλογο με το να οδηγηθεί ένας κώνος σε μια στρογγυλή οπή. Μερικές φορές η χρήση ευθείου σπειρώματος και η χρήση o-ring μπορεί να καλύψει την ανάγκη χρήσης σωληνωτού κοχλία. Όταν πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι σωληνωτοί κοχλίες, ο έλεγχος της ροπής είναι σημαντικός. Οι παρακάτω γενικές συστάσεις θα πρέπει να ακολουθηθούν όποτε είναι δυνατό:

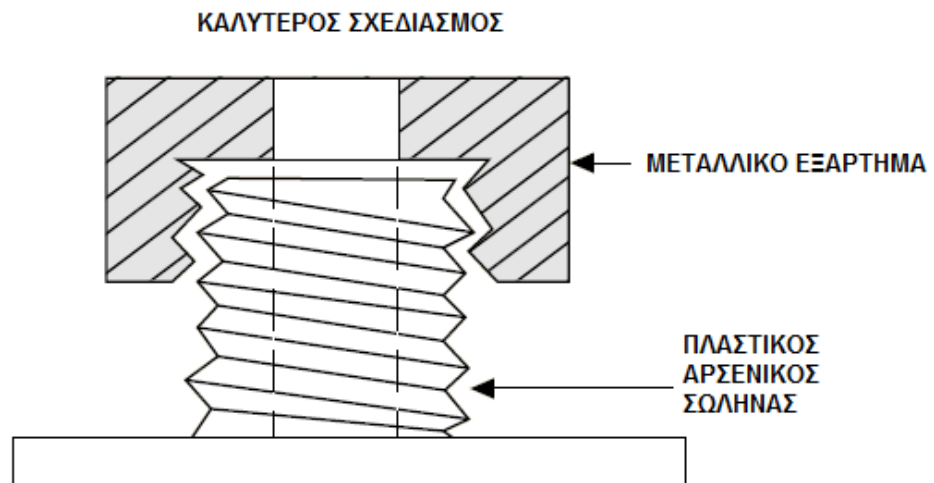
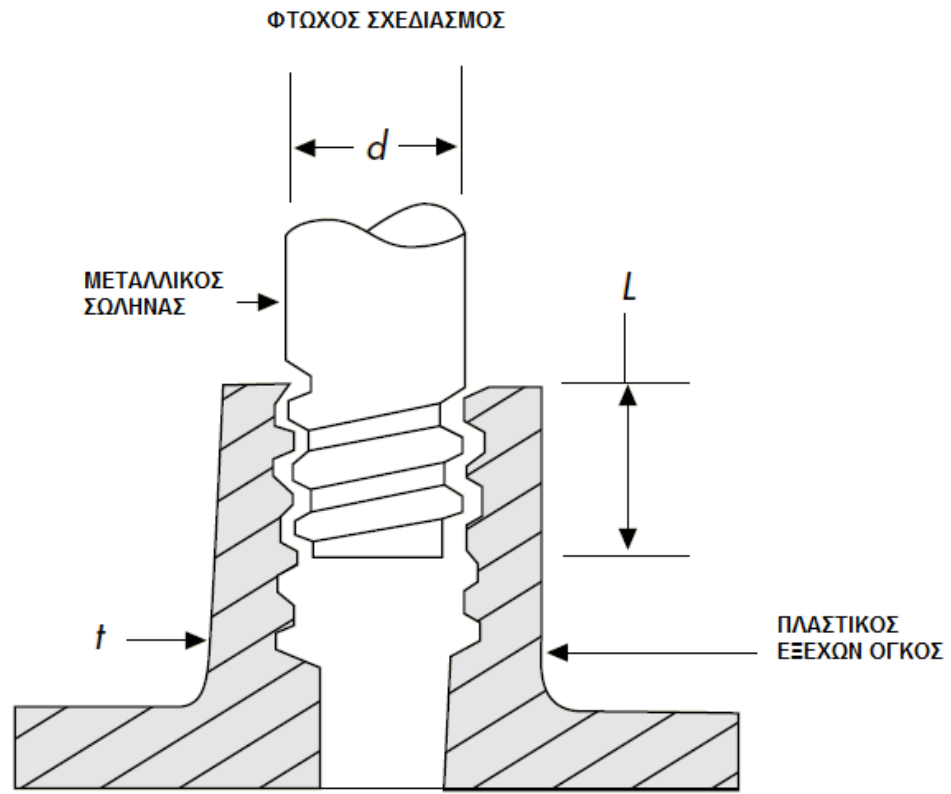
- Όταν ζευγαρώνει ένα μέταλλο με ένα πλαστικό χρησιμοποιώντας σωληνωτούς κοχλίες, πρέπει το πλαστικό μέρος να γίνει το αρσενικό διότι το πλαστικό συμπιέζεται.
- Όταν η ροπή μπορεί να ελεγχθεί κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης ενός θηλυκού πλαστικού σωληνωτού κοχλία χρειάζεται μόνο σφίξιμο με το χέρι.
- Όταν η ροπή δεν μπορεί να ελεγχθεί, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια εξωτερική ή χυτευτή δακτύλιος
- Ποτέ δε πρέπει να σχεδιαστούν επίπεδα σε πλαστικά εξαρτήματα με σπειρώματα σαν τρόπο συναρμολόγησης. Αυτό μόνο ενθαρρύνει το σφίξιμο. Εάν χρειαστεί, μπορούν να προσθέσουν "φτερά" ή κατασκευασμένες επιφάνειες για βελτιωμένη λαβή.

Παρακάτω αναγράφεται η ισότητα που δίνει τις παραγόμενες τάσεις σε πλαστικό εξέχων όγκο με εσωτερικό σωληνωτό κοχλία:

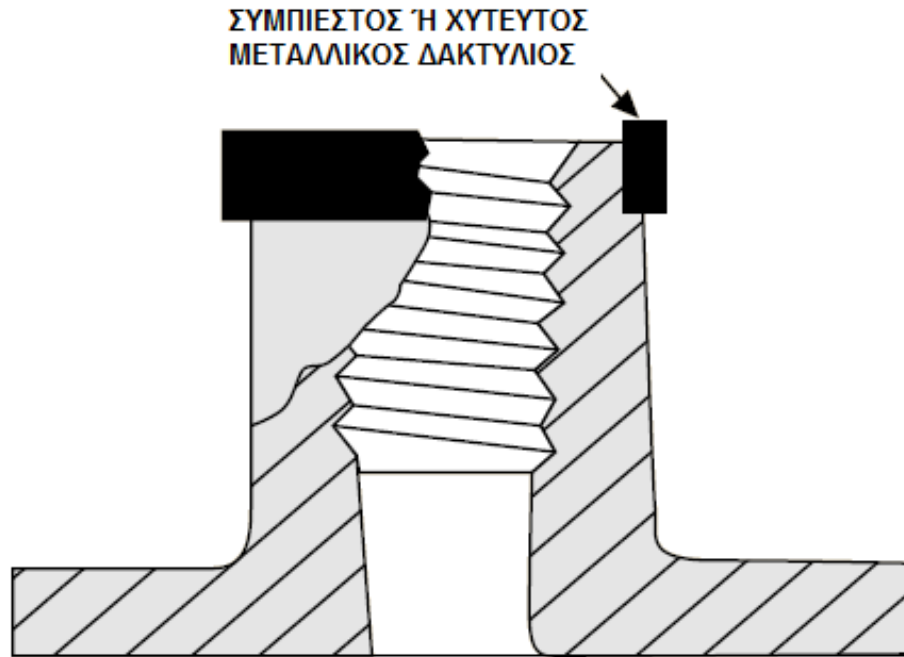
$$\sigma = 3 \cdot T / t \cdot d \cdot L$$

Όπως και με τις ισότητες σπειρωμάτων στη προηγούμενη παράγραφο, απαιτούνται συγκεκριμένες γεωμετρικές σχέσης και συντελεστή τριβής 0.15. Προφανώς, η ροπή πρέπει να μειωθεί εάν χρησιμοποιηθεί λίπανση κατά τη συναρμολόγηση. Όσον αφορά τη συναρμολόγηση

όλων των σπειρωμάτων, γίνονται μακροπρόθεσμοι έλεγχοι κάτω από ακραίες πίεσης, θερμοκρασίες και διαδικασίες εγκατάστασης ώστε να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο σχεδιασμός σωληνωτών κοχλιών:







Εικόνα 8.7.1: Σχεδιασμός σωληνωτών κοχλιών

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας σωληνωτός κοχλίας:

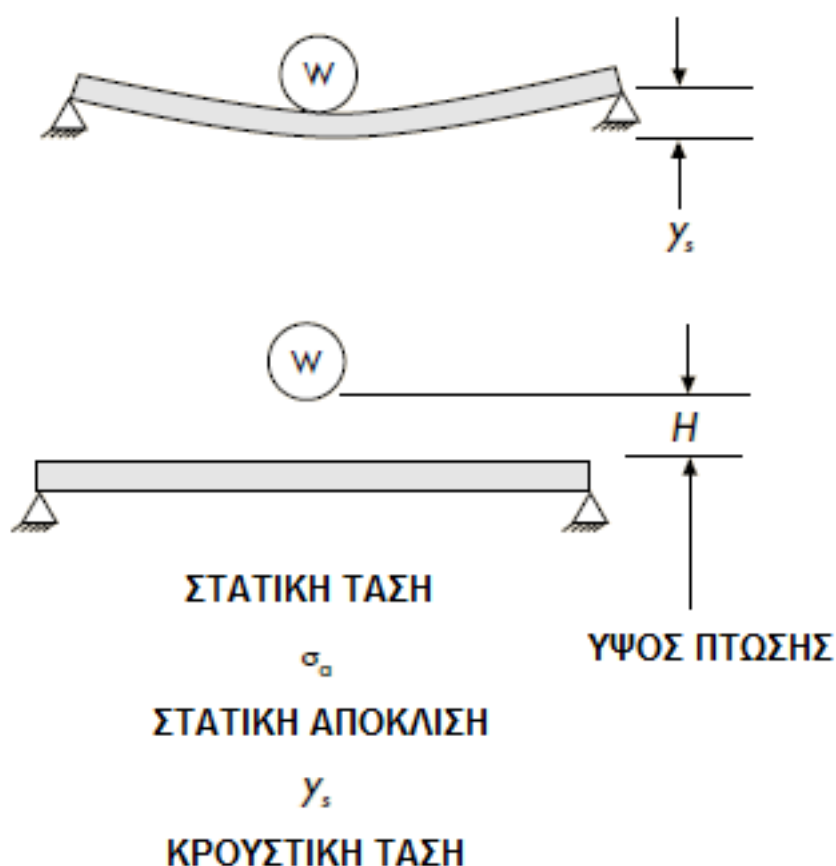


Εικόνα 8.7.2: Σωληνωτός κοχλίας

### 8.8) Κρουστικά φορτία:

Μια από τις υποθέσεις που έγινε στην αρχή αυτού του κεφαλαίου είναι ότι τα φορτία εφαρμόζονται σταδιακά. Στη πραγματικότητα όμως τα φορτία συχνά εφαρμόζονται απότομα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της τάσης και της έντασης. Όμως λόγω της ελαστικότητας των περισσότερων θερμοπλαστικών υλικών, υπάρχει πλήρης επαναφορά της αρχικής τους κατάσταση και η υπόθεση είναι έγκυρη. Επομένως, η σταθερή κατάσταση τάσης και απόκλισης των πλαστικών εξαρτημάτων είναι για πρακτικούς λόγους πανομοιότυπος με αυτό της σταδιακής φόρτισης εξαρτημάτων. Όμως όταν τα κρουστικά φορτία γίνονται σφοδρά,

έχουν ως αποτέλεσμα την κρουστική αστοχία. Πολλά υψηλής κρούσης υλικά μπορούν να αντέξουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις ή εντάσεις κατά τη διάρκεια της κρούσης χωρίς μόνιμες παραμορφώσεις ή αστοχίες που προσδοκούνται από το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης σε συγκεκριμένα φορτία. Επομένως η υπολογιζόμενη τάση κρούσης σε επιτυχημένα εξαρτήματα, συχνά εμφανίζονται ασυνήθιστα υψηλά. Για πολλά από αυτά τα υλικά τα χαρακτηριστικά τάσης-έντασης είναι πολύ διαφορετικά κάτω από ραγδαίες συνθήκες φόρτισης σε σχέση με τις αργές και σταθερές συνθήκες φόρτισης που επικρατούν στο φυσιολογικό τρόπο εξέτασης πλαστικών δειγμάτων. Αυτό εν μέρη ευθύνεται για την καταδράση μεγάλης ποσότητας μηχανικής ενέργειας όταν υπόκεινται σε κρούση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μια μέθοδος υπολογισμού κρουστικής τάσης και κρουστικής απόκλισης στη περίπτωση πτώσης μιας μάζας. (Έχει ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι όταν το ύψος πτώσης είναι μηδενικό, η τάση και η απόκλιση διπλασιάζονται) :



$$\sigma_s = \sigma_s \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{y_s}} \right)$$

$$y_i = y_s \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{y_s}} \right)$$

Εικόνα 8.8.1: Μέθοδος υπολογισμού κρουστικής τάσης και κρουστικής απόκλισης στη περίπτωση πτώσης μιας μάζας

### 8.9) Θερμικές τάσεις:

Όταν υλικά με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής είναι βιδωμένα, πριτσινωμένα, συνδεδεμένα, συμπιεσμένα, συγκολλημένα ή δεμένα με οποιαδήποτε μέθοδο που αποτρέπει σχετική κινητικότητα μεταξύ των εξαρτημάτων, υπάρχει πιθανότητα θερμικής τάσης. Η τυπική περίπτωση όπου αναπτύσσονται προβλήματα περιλαμβάνει τη σύνδεση μη-ενισχυμένων θερμοπλαστικών εξαρτημάτων με υλικά όπως μέταλλα, γυαλί ή κεραμικά, τα οποία γενικότερα έχουν πολύ χαμηλότερο συντελεστή θερμικής διαστολής. Η βασική σχέση για την θερμική διαστολή ενός εξαρτήματος είναι:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

Όπου:

$\Delta L$  = αλλαγή στο μήκος

$\alpha$  = συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής

$L$  = γραμμική διάσταση υπό μελέτη

$\Delta T$  = διαφορά θερμοκρασίας

Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται τιμές συντελεστών γραμμικής θερμικής διαστολής για διάφορα υλικά:

Υλικά	in/in/°F (10 <sup>-5</sup> )	cm/cm/°C (10 <sup>-5</sup> )
Υγρός κρύσταλλος (GR)	0,3	0,6
Γυαλί	0,4	0,7
Χάλυβας	0,6	1,1
Τσιμέντο	0,8	1,4
Χαλκός	0,9	1,6
Μπρούντζος	1,0	1,8
Ορείχαλκος	1,0	1,8
Αλουμίνιο	1,2	2,2
Πολυκαρβονίδιο (GR)	1,2	2,2
Νάιλον (GR)	1,3	2,3
Πολυεστέρας TP (GR)	1,4	2,5
Μαγνήσιο	1,4	2,5
Ψευδάργυρος	1,7	3,1
ABS (GR)	1,7	3,1
Πολυπροπυλένιο (GR)	1,8	3,2
Εποξικό (GR)	2,0	3,6
Θειούχο πολυφαινυλένιο	2,0	3,6
Ακετάλη (GR)	2,2	4,0
Εποξικό	3,0	5,4
Πολυκαρβονίδιο	3,6	6,5
Ακρυλικό	3,8	6,8
ABS	4,0	7,2
Νάιλον	4,5	8,1
Ακετάλη	4,8	8,5
Πολυπροπυλένιο	4,8	8,6
Πολυεστέρας TP	6,9	12,4
Πολυαιθυλένιο	7,2	13,0

Πίνακας 8.9.1: Τιμές συντελεστών γραμμικής θερμικής διαστολής για διάφορα υλικά

Εάν το εξάρτημα είναι περιορισμένο, έτσι ώστε να μη μπορεί να συσταλεί ή διαστελλεί η επαγόμενη τάση από θερμοκρασία είναι:

$$E_T = \Delta L/L = \alpha \cdot \Delta T$$

Η τάση τότε μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ένταση με το συντελεστή εφελκυσμού ενός υλικού σε δεδομένη θερμοκρασία. Όμως μια τυπική κατάσταση συμβαίνει όταν ένα πλαστικό εξάρτημα είναι τοποθετημένο σε μεταλλικά εξαρτήματα. Ενώ και τα δύο υλικά διαστέλλονται λόγω της αλλαγής στη θερμοκρασία, το πλαστικό συνήθως εφαρμόζει ασήμαντο φορτίο στο μεταλλικό εξάρτημα, ενώ στο πλαστικό παράγεται σημαντική τάση από το μεταλλικό εξάρτημα. Σε αυτή τη περίπτωση η προσεγγιστική θερμική τάση  $\sigma_T$  στο πλαστικό είναι:

$$\sigma_T = (\alpha_m - \alpha_p) \cdot E_p \cdot \Delta T$$

Όπου:

$\alpha_m$  = συντελεστής θερμικής διαστολής του μετάλλου

$\alpha_p$  = συντελεστής θερμικής διαστολής του πλαστικού

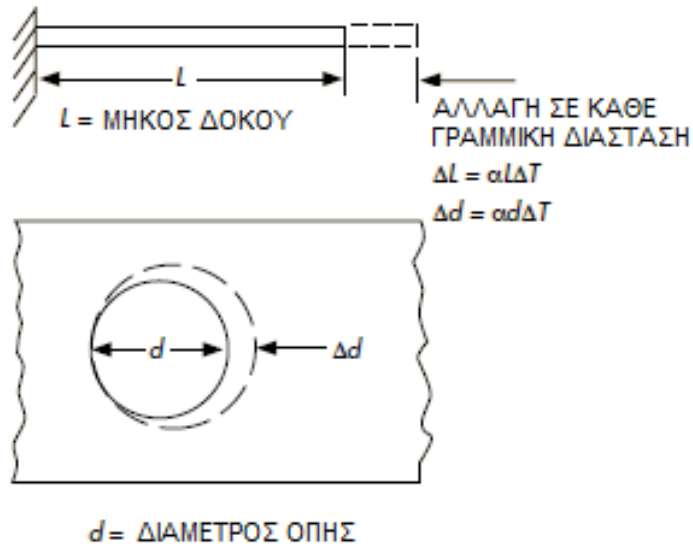
$E_p$  = συντελεστής εφελκυσμού του πλαστικού στη θερμοκρασία που ζητείται

Πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, τα περισσότερα πλαστικά διαστέλλονται περισσότερο από τα μέταλλα. Αυτό παράγει συμπιεστικά φορτία στο πλαστικό εξάρτημα, το οποίο συχνά οδηγεί σε κάμψη. Αντιθέτως, καθώς η θερμοκρασία πέφτει, το πλαστικό εξάρτημα συρρικνώνεται περισσότερο από το μεταλλικό εξάρτημα και αναπτύσσεται υψηλός εφελκυσμός. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε θραύση από εφελκυσμό του πλαστικού εξαρτήματος. Σε πολλές συναρμολογήσεις, η εκκαθάριση γύρω από τους συνδέσμους, η αστοχία ή η υποχώρηση κολλητικών ουσιών, η στρέβλωση ή ο ερπυσμός τείνουν να απελευθερώσουν θερμικές τάσεις. Ένας καλός σχεδιασμός επιτρέπει τέτοιες αλλαγές στις θερμοκρασίες, ειδικότερα σε μεγάλα εξαρτήματα τα οποία μπορούν να υποστούν ευρείς εναλλαγές θερμοκρασίας. Η σχετική κίνηση  $\Delta L_{rel}$ , ανάμεσα σε δύο σημεία σύνδεσης πλαστικού και μεταλλικού εξαρτήματος στα οποία η κίνηση επιτρέπεται είναι:

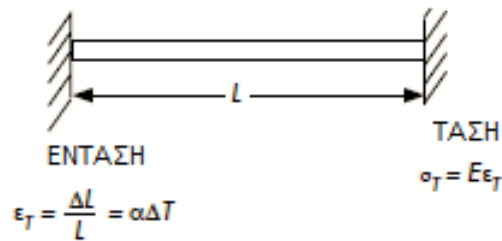
$$\Delta L_{rel} = (\alpha_p - \alpha_m) \cdot L \cdot \Delta T$$

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι εξισώσεις θερμικής διαστολής για διάφορες συνθήκες:

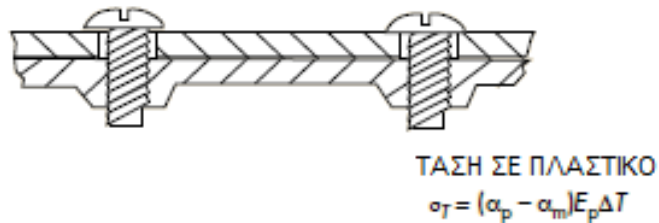
### ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ



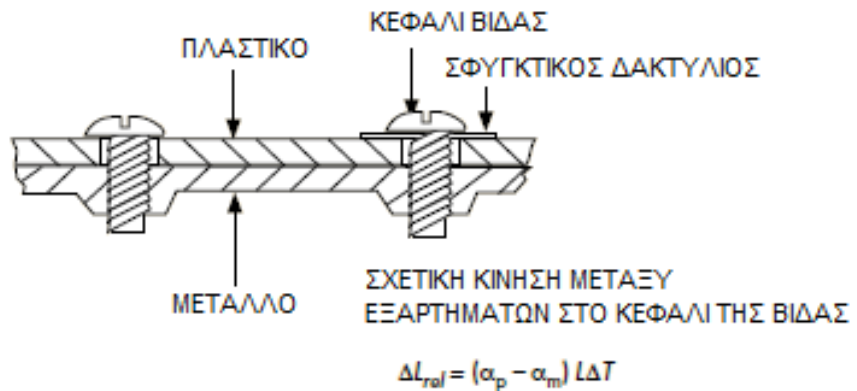
### ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ



### ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΟ

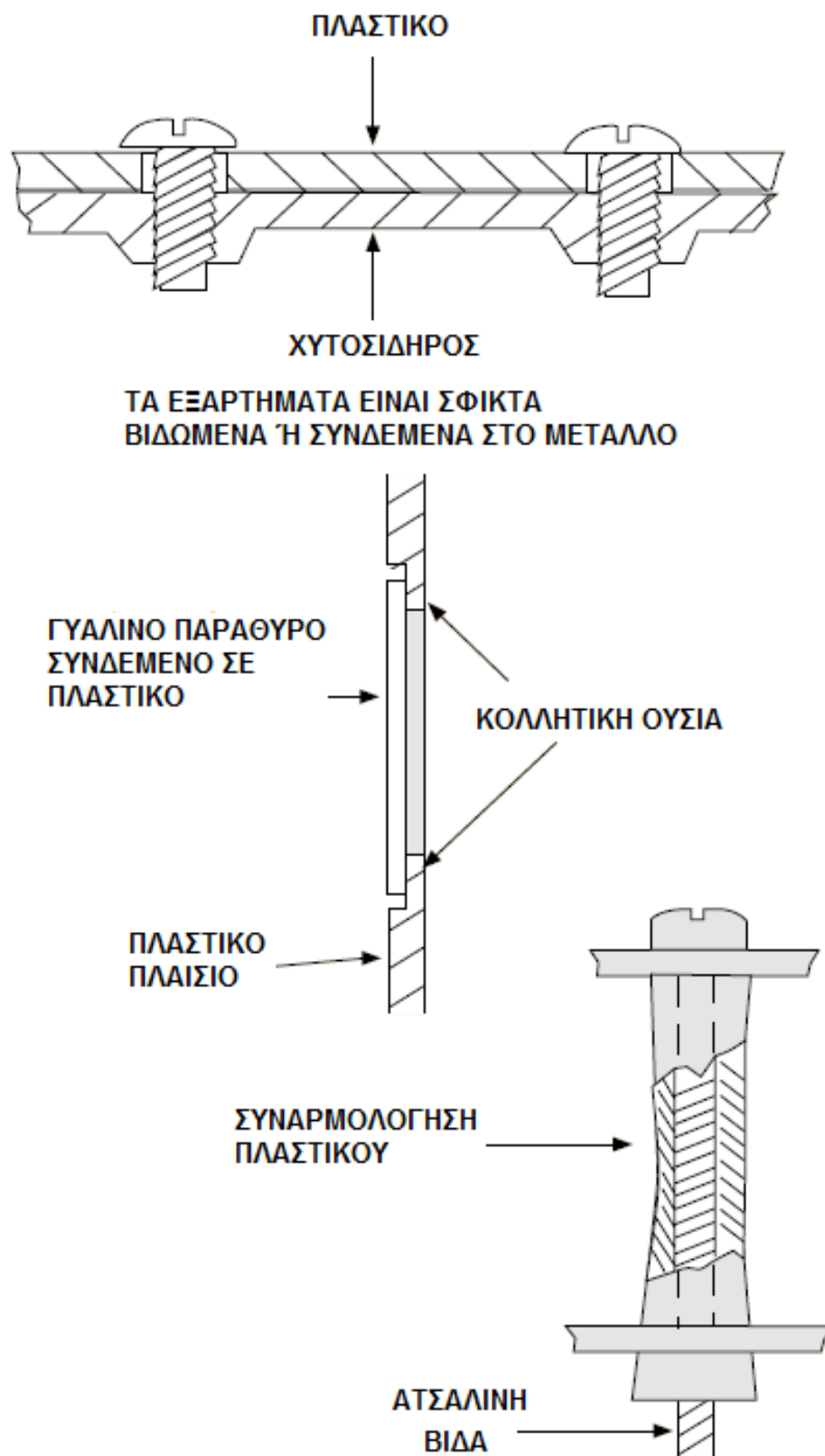


### ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ



Εικόνα 8.9.1: Εξισώσεις θερμικής διαστολής για διάφορες συνθήκες

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τυπικές συναρμολογήσεις όπου η θερμική διαστολή μπορεί να είναι πρόβλημα:



Εικόνα 8.9.2: Τυπικές συναρμολογήσεις όπου η θερμική διαστολή μπορεί να είναι πρόβλημα

## 9) Σύνδεση πλαστικών τμημάτων κατασκευής:

Ένας από τους στόχους στη παραγωγή πλαστικών είναι να εξαλληφθεί όσον το δυνατό περισσότερο η συναρμολόγηση μέσω συνδυασμού εξαρτημάτων και κατασκευή όσο το δυνατόν περισσότερων λειτουργιών στο σχεδιασμό. Όμως, οι περισσότερες εφαρμογές για πλαστικά απαιτούν κάποια συναρμολόγηση και πολλές μεθόδους όπου αναλύονται στις παρακάτω κατηγορίες:

### 9.1) Γενικοί τύποι συστημάτων συναρμολόγησης:

1. Συστήματα συναρμολόγησης χύτευσης: αυτή η μέθοδος είναι γενικότερα μια οικονομική μέθοδος συναρμολόγησης από τη στιγμή όπου δε χρειάζονται επιπλέον σύνδεσμοι, κολλητικές ουσίες, διαλυτικά ή ειδικό εξοπλισμό. Κάποια παραδείγματα είναι κουμπώματα, πίεσης – εφαρμογής και χυτευτού σπειρώματος. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι η συναρμολόγηση είναι γρήγορη, οικονομική και δεν απαιτεί επιπλέον εξαρτήματα ή ουσίες. Επίσης ελαχιστοποιούν αποτελεσματικά τις αλλαγές ακατάλληλης συναρμολόγησης αφού τα κατάλληλα ταιριάσματα μπορούν να συντονιστούν στη σχεδίαση. Ενώ τα βασικά μειονεκτήματα είναι ότι η σχεδίαση μπορεί να είναι πολύπλοκη, ακριβή και κάποιες μέθοδοι ίσως να μην είναι η κατάλληλη για εξαρτήματα που χρειάζονται απο-συναρμολόγηση.
2. Συστήματα χημικής σύνδεσης: αυτή η μέθοδος δεν απαιτεί επιπλέον συνδέσμους αλλά απαιτεί τη χρήση χημικών ουσιών, αναπόσπαστων εξαρτημάτων και συνήθως εξοπλισμό ασφαλείας. Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται διαλυτικά μέσα και κολλητικές ουσίες ώστε να δημιουργήσουν μια ένωση είτε όμοιων είτε ανόμοιων υλικών, και είναι κατάλληλη για εφαρμογές όπου απαιτείται στεγάνωση (υγρά, αέρια) και όπου η χρήση συνδέσμων θα προκαλούσε πρόβλημα. Επιπλέον, τέτοιες μέθοδοι ένωσης συνήθως δεν δημιουργούν τάσεις συναρμολόγησης. Τα μειονεκτήματα τέτοιων συστημάτων είναι ότι οι κολλητικές ουσίες ή τα αναπόσπαστα εξαρτήματα μπορεί να είναι τοξικά και επικίνδυνα, και θα πρέπει να είναι κατάλληλα αντιστοιχισμένα στο βαθμό του πλαστικού ή άλλων προς ένωση υλικών. Επίσης, η προετοιμασία και ο χρόνος θεραπείας απαιτούν χρόνο ανάλογα με το σύστημα που χρησιμοποιείται.
3. Μέθοδοι θερμικής συγκόλλησης: Οι μέθοδοι θερμικής συγκόλλησης γενικότερα δεν απαιτούν χημικά ενωτικά υλικά, αλλά απαιτούν τη χρήση ειδικευμένου εξοπλισμού. Με το σωστό εξοπλισμό η συναρμολόγηση είναι γρήγορη, οικονομική και γενικότερα θεωρείται ασφαλέστερη από τη χημική μέθοδο. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η υπερηχητική συγκόλληση. Άλλες μέθοδοι θερμικής συγκόλλησης είναι η χρήση ηλεκτρικού ματιού, περιστροφής, δονήσεων, επαγωγής και συγκόλληση ραδιοσυχνότητας. Αυτοί οι μέθοδοι βασίζονται στη διεπαφή ή τη γραμμή σύνδεσης μεταξύ δύο λιωμένων εξαρτημάτων ώστε να δημιουργηθεί η συγκόλληση μεταξύ τους. Αυτοί οι θερμικοί μέθοδοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για πασσάλους, σφυρηλασία και με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούν θερμική παραμόρφωση στη συναρμολόγηση εξαρτημάτων. Ένας περιορισμός αυτών των μεθόδων είναι ότι τα υλικά που συγκολλούνται πρέπει να είναι συμβατά και να έχουν όμοιες θερμοκρασίες τήξης.
4. Συναρμολόγηση με συνδέσμους: οι περισσότεροι μηχανικοί σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται με τα μέταλλα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με πλαστικά. Επιπλέον, ένα πλήθος συνδέσμων σχεδιάζεται συγκεκριμένα για χρήση με συγκεκριμένους τύπους θερμοπλαστικών. Ο απαραίτητος εξοπλισμός εκτείνεται από απλά εργαλεία χειρός έως περίπλοκα αυτοματοποιημένα μηχανήματα. Κάποιοι τυπικοί μέθοδοι είναι η συναρμολόγηση με βίδωνα, με κοχλίες, πριτσίνια, ένθετα με σπείρωμα, με συνδετήρα ελατηρίων και οποιαδήποτε άλλη μηχανική συσκευή που ενώνει εξαρτήματα μεταξύ τους. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτών των μηχανικών συνδέσμων είναι ότι είναι άμεσα διαθέσιμοι, εύκολοι στη χρήση, δεν απαιτούν πολύπλοκη κατεργασία ή ειδική προετοιμασία και τα περισσότερα επιτρέπουν την απλή, μη-καταστρεπτική αποσυναρμολόγηση. Τα μειονεκτήματα είναι ότι επιπλέον εξαρτήματα

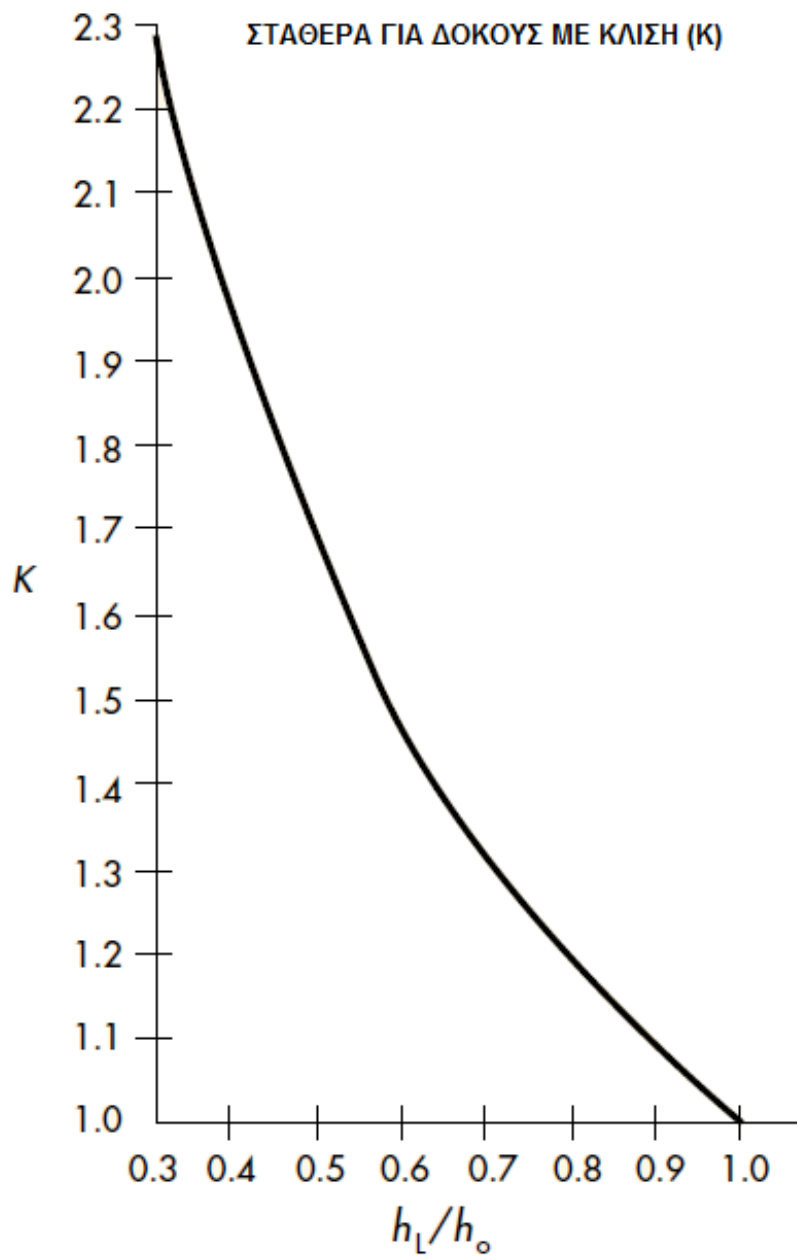
πρέπει να αποθηκεύονται και πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να μην υπάρχει υπερβολική πίεση μεταξύ των εξαρτημάτων. Πολλές συναρμολογήσεις πλαστικών χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό των μεθόδων. Το ποιο αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι η υπερηχητική έγχυση, που χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση εσωτερικών σπειρωμάτων τα οποία συμπλέκουν μηχανικό κοχλία. Άλλα παραδείγματα είναι η χρήση ελαστομερών κολλητικών ουσιών ώστε να δημιουργηθεί στεγάνωση αέρος σε μια βιδωτή συναρμολόγηση και διαλυτικά μέσα όπου χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν ή να δυναμώσουν ένα κούμπωμα.

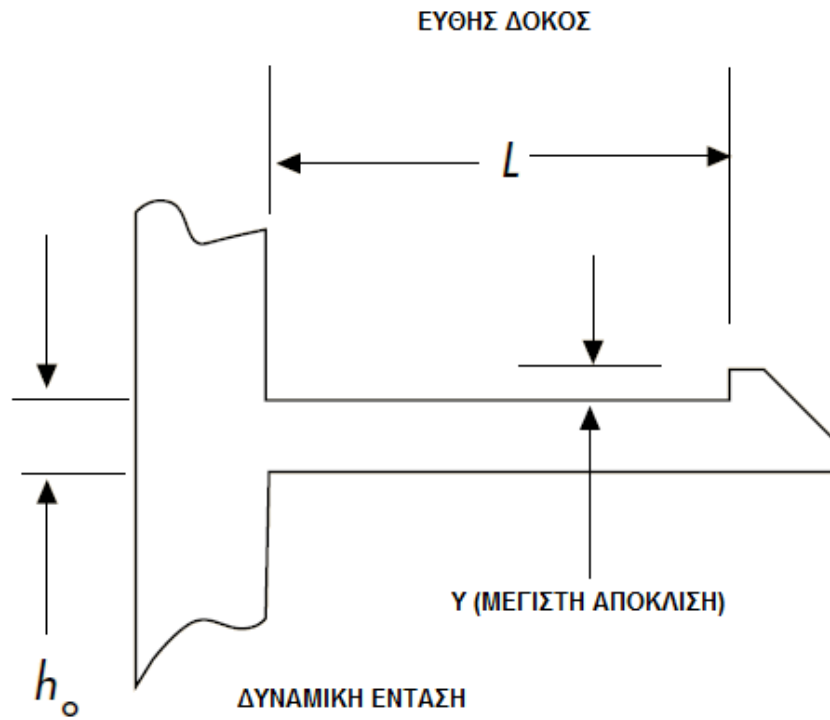
#### 9.1.1) Συστήματα συναρμολόγησης χύτευσης:

##### 9.1.1.1) Κουμπωτή συναρμολόγηση:

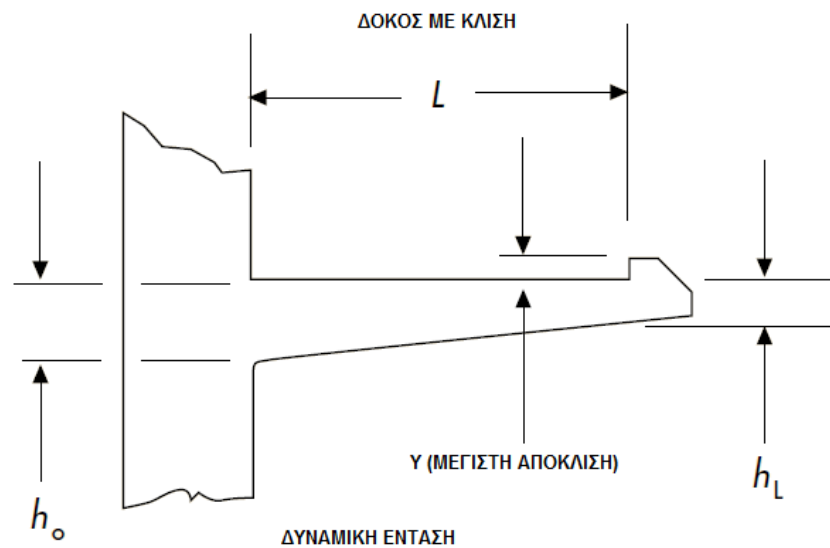
Για παραγωγή υψηλών όγκων, η κουμπωτή συναρμολόγηση παρέχει οικονομική και γρήγορη συναρμολόγηση. Σε πολλές παραγωγές, όπως ενός οικονομικού οικιακού εξοπλισμού ή συσκευές χειρός η κουμπωτή συναρμολόγηση είναι σχεδιασμένη για μια μόνο συναρμολόγηση χωρίς την ικανότητα απο-συναρμολόγησης με μη-καταστρεπτικούς μεθόδους. Όπου η συντήρηση είναι προσδοκούμενη υπάρχει τρόπος απο-συναρμολόγησης με χρήση ενός εργαλείου. Άλλοι κουμπωτοί σχεδιασμού όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται στα καλύμματα των μπαταριών στα ραδιόφωνα και στις αριθμομηχανές, είναι με τέτοιο τρόπο σχεδιασμένες ώστε να επιτυγχάνεται η εύκολη συναρμολόγηση και απο-συναρμολόγηση για αρκετές φορές. Σε όλους τους κουμπωτούς σχεδιασμούς, κάποιο τμήμα του χυτευτού εξαρτήματος πρέπει να κάμπτεται σαν ελατήριο και να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση ώστε να υπάρχει συναρμολόγηση μεταξύ δύο ή περισσότερων εξαρτημάτων. Το βασικό στον επιτυχημένο σχεδιασμό κουμπώματος είναι να υπάρχει επαρκής δύναμη συγκράτησης χωρίς υπέρβαση της κόπωσης ή του ελαστικού περιορισμού του υλικού. Χρησιμοποιώντας τις ισότητες δοκών, μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη τάση κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης. Όσο δε ξεπερνάτε το όριο διαρροής ενός υλικού τόσο εκείνο είναι ικανό να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Όμως για συγκεκριμένους σχεδιασμούς δεν υπάρχει αρκετή δύναμη συγκράτησης λόγω χαμηλών δυνάμεων ή μικρών αποκλίσεων. Με πολλά πλαστικά υλικά, η υπολογισμένη τάση κάμψης μπορεί να περάσει το όριο διαρροής εάν η συναρμολόγηση συμβεί ακαριαία. Ουσιαστικά η κάμψη στιγμιαία περνά τη μέγιστη απόκλιση ή ένταση και το υλικό δεν ανταποκρίνεται καθώς η τάση διαρροής έχει υπερβεί σημαντικά. Επιπλέον, ένας συνηθισμένος τρόπος αξιολόγησης του κουμπώματος είναι υπολογίζοντας την ένταση παρά την τάση και συγκρίνοντας την τιμή με το επιτρεπτό όριο δυναμικής έντασης εάν υπάρχει για συγκεκριμένα υλικά. Στο σχεδιασμό δε πρέπει να υπάρχουν κοφτερές γωνίες ή δομικές ασυνέχειες οι οποίες μπορούν να αυξήσουν την τάση. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο σχεδιασμός κουμπώματος για δοκό ορθογώνιας διατομής:







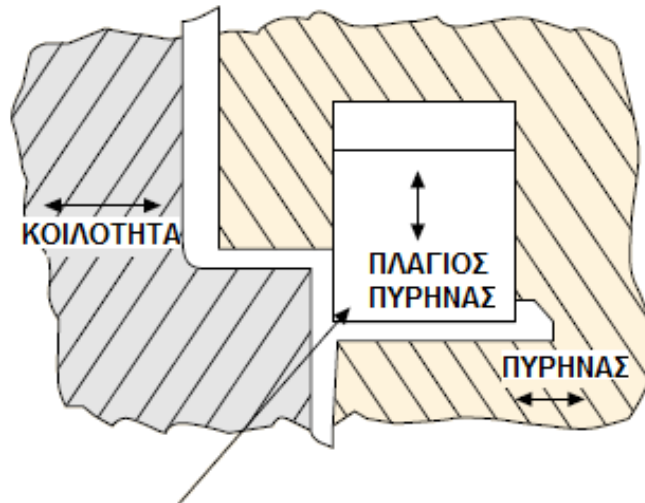
$$\varepsilon = \frac{3Yh_o}{2L^2}$$



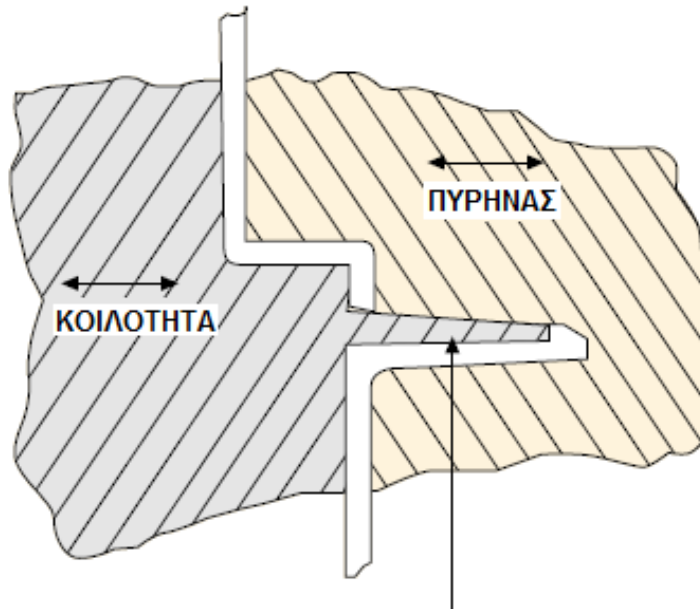
$$\varepsilon = \frac{3Yh_o}{2L^2K}$$

Εικόνα 9.1.1.1.1: Σχεδιασμός κουμπώματος για δοκό ορθογώνιας διατομής

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας τρόπος κατεργασίας για κουμπωτά δάκτυλα:



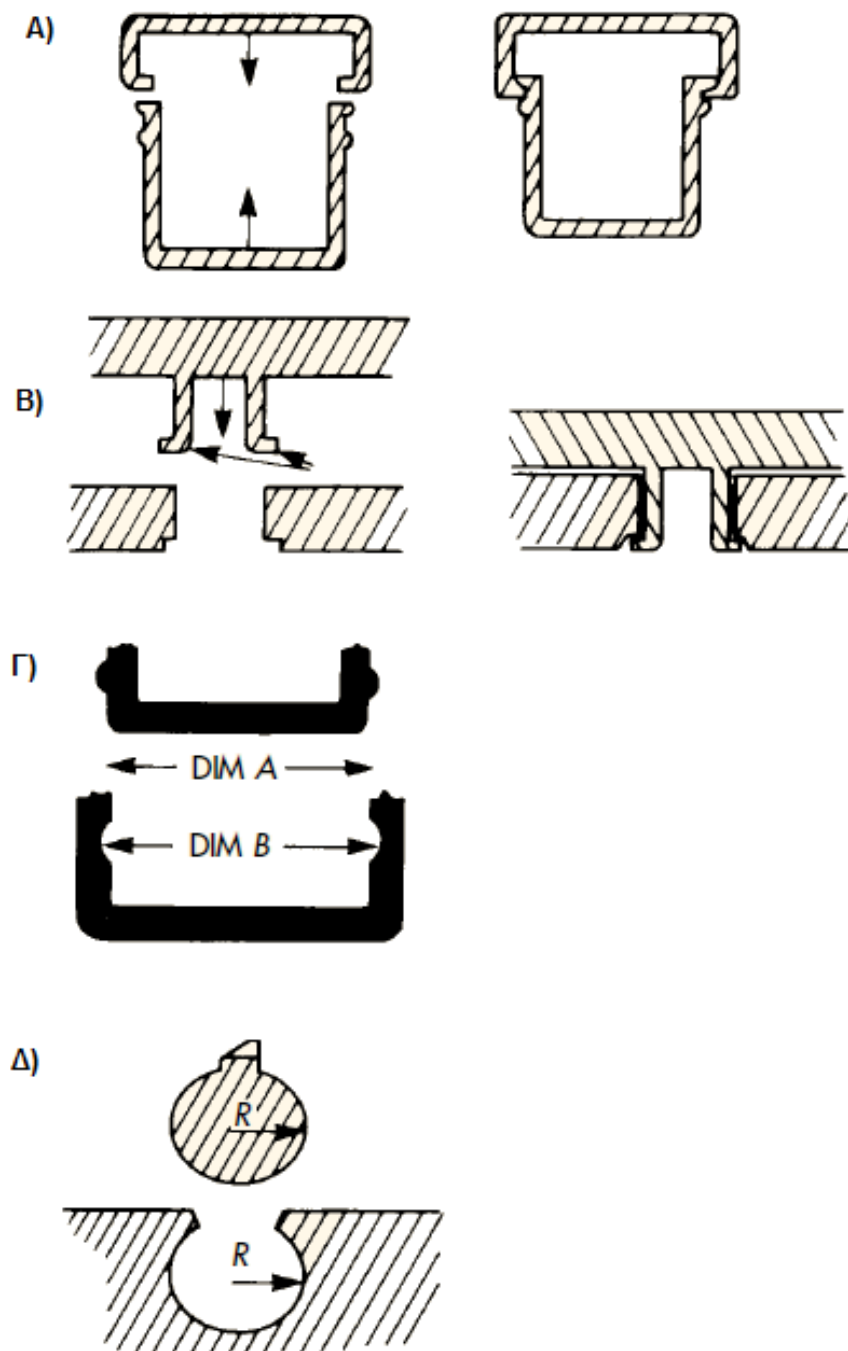
**Ο ΠΛΑΓΙΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ ΜΕΤΑΚΙΝΕΙΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ ΓΙΑ ΝΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΕΙ ΤΟ ΥΠΟΣΚΑΜΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΕΙΤΑΙ ΕΠΑΝΩ ΓΙΑ ΝΑ ΕΠΙΤΡΕΨΕΙ ΣΤΟ ΚΑΛΟΥΠΙ ΝΑ ΑΝΟΙΞΕΙ**



**ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΖΕΥΓΑΡΩΜΑ ΜΕ ΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΝΤΑΣ ΥΠΟΣΚΑΜΑ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΛΑΓΙΟΥ ΠΥΡΗΝΑ. ΟΜΩΣ ΑΦΗΝΕΙ ΜΙΚΡΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ Ή ΑΝΟΙΓΜΑ ΣΤΟ ΧΥΤΕΥΜΕΝΟ ΕΞΑΡΤΗΜΑ**

Εικόνα 9.1.1.1.2: Τρόπος κατεργασίας για κουμπωτά δάκτυλα

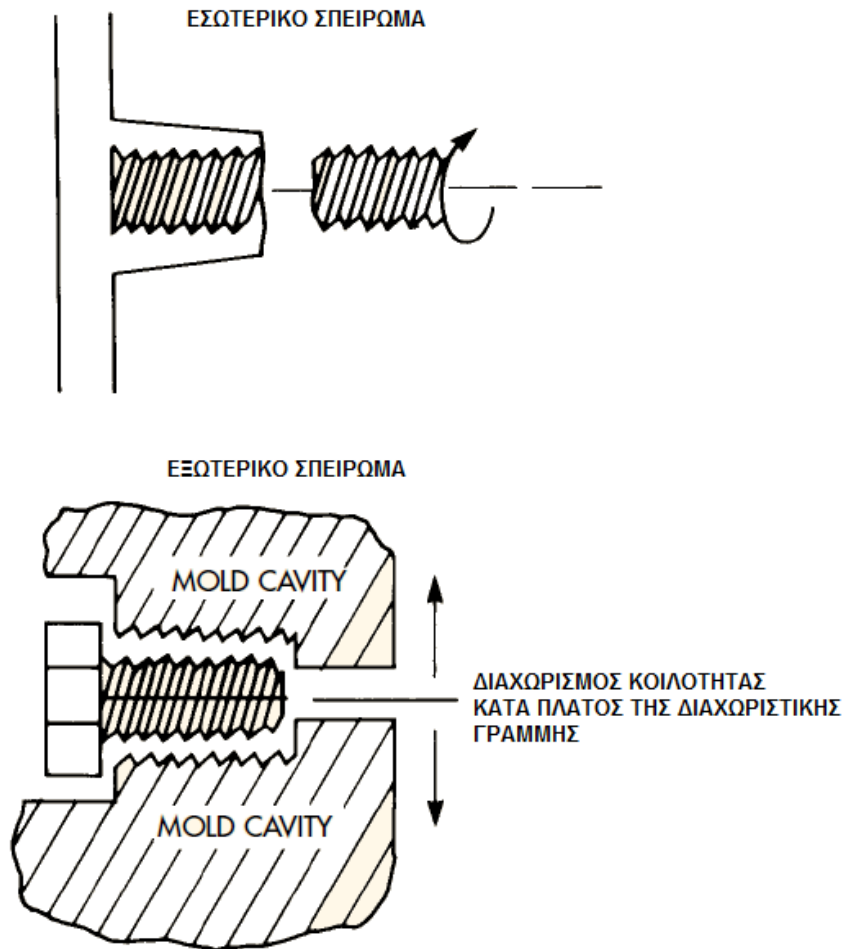
Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποιοι εναλλακτικοί τρόποι κουμπώματος:



Εικόνα 9.1.1.1.3: Εναλλακτικοί τρόποι κουμπώματος

#### 9.1.1.2) Χυτευτά σπειρώματα:

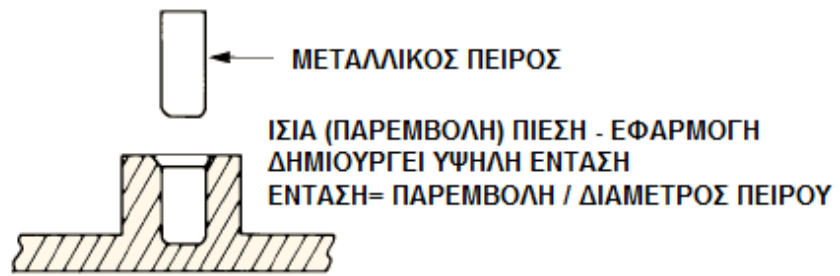
Σε αυτό το τύπο συναρμολόγησης, το ζευγάρι αρσενικού και θηλυκού σπειρώματος σχηματίζεται στα εξαρτήματα προς συναρμολόγηση. Τα εσωτερικά σπειρώματα συνήθως απαιτούν κάποιο τρόπο ξεβιδώματος ή ένα μηχανισμό κατάρρευσης το οποίο περιπλέκει τη κατεργασία. Πολλά εξωτερικά σπειρώματα μπορούν να σχηματιστούν με το διαχωρισμό τους κατά πλάτος της διαχωριστικής γραμμής. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές για χυτευμένα σπειρώματα είναι σε κιβώτια ή δοχεία, σε καπάκια ή καλύμματα, σε πλαστικά εργαλεία ή υλικά και εφαρμογές μεταχείρισης υγρών. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται τα πλαστικά χυτευτά σπειρώματα:



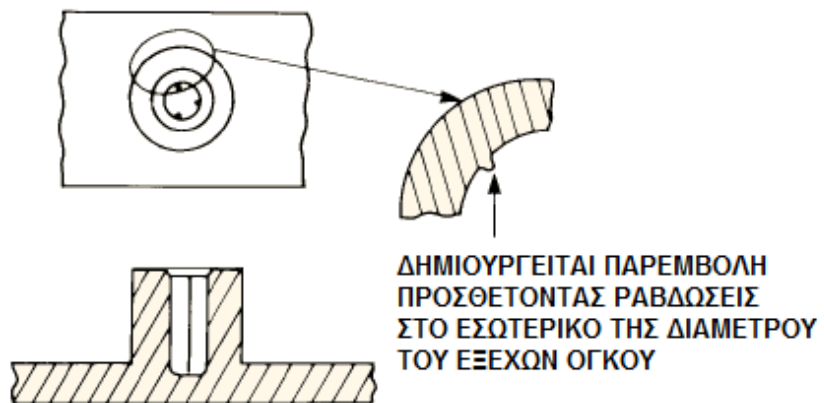
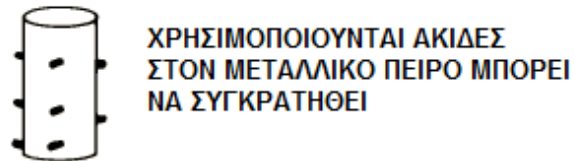
Εικόνα 9.1.1.2.1: Πλαστικά χυτευτά σπειρώματα

### 9.1.1.3) Πίεση – εφαρμογή:

Σε αυτή τη συναρμολόγηση τα εξαρτήματα ενός υλικού συναρμολογούνται σε ένα πλαστικό κομμάτι χρησιμοποιώντας ταιριαστές παρεμβολές. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της συναρμολόγησης είναι ότι η κατεργασία είναι σχετικά απλή, όμως αυτή η μέθοδος μπορεί να δημιουργήσει πολύ υψηλές τάσεις στο πλαστικό εξάρτημα. Οι συνέπειες αυτής της τάσης βασίζονται σε πολλούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία κατά την διάρκεια και μετά τη συναρμολόγηση, ο συντελεστής αποτελέσματος και δύναμης των υλικών προς συναρμολόγηση, τον τύπο της τάσης, το περιβάλλον χρήσης και πιθανότατα το πιο σημαντικό είναι ο τύπος του υλικού που χρησιμοποιείται. Μερικά υλικά παρουσιάζουν ερπυσμό ή χαλάρωση ενώ άλλα σπάνε ή ραγίζουν εάν η ένταση είναι πολύ υψηλή. Εκτός της πολύ ελαφριάς πίεσης – εφαρμογής, αυτού του είδους η συναρμολόγηση μπορεί να είναι αρκετά ριψοκίνδυνη λόγω των τάσεων στους εξέχων όγκους. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας εναλλακτικός σχεδιασμός πίεσης – εφαρμογής για μεταλλικό πείρο σε πλαστική πλήμνη:



**ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΙΕΣΗΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΧΑΜΗΛΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**



Εικόνα 9.1.1.3.1: Εναλλακτικός σχεδιασμός πίεσης – εφαρμογής για μεταλλικό πείρο σε πλαστική πλήμνη

9.1.2) Συστήματα χημικής σύνδεσης:

9.1.2.1) Συγκόλληση με διαλύτες:

Αυτή είναι μια γρήγορη και οικονομική μέθοδος ένωσης όμοιων τύπων πλαστικού. Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας μια ουσία, συνήθως υγρούς διαλύτες, ώστε να λυώσουν τις επιφάνειες των περιοχών ένωσης και να δημιουργήσουν μια ένωση μετά την εξάτμιση του διαλύτη. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι οικονομική και απαιτεί είτε ελάχιστη είτε καθόλου

προετοιμασία των εξαρτημάτων ή ειδικό εξοπλισμό. Φυσικά η ένωση με διαλύτες είναι περιορισμένη στα υλικά που είναι συμβατά και λιώνουν στους ίδιους διαλύτες ή συνδυασμό διαλυτών. Η χημική αντίσταση πολλών πλαστικών ρητινών ειδικότερα των κρυσταλλικών ρητινών περιορίζουν την εφαρμογή αυτή της μεθόδου. Ο βασικός περιορισμός της συγκόλλησης με διαλύτες σε εφαρμογές που είναι έτσι και αλλιώς κατάλληλες είναι η απαίτηση για προφυλάξεις στην μεταχείριση των διαλυτών. Πρέπει να τηρηθούν αυστηροί κανονισμοί σχετικά με την προστασία των εργαζομένων, τον εξαερισμό και την ανάκτηση του διαλύτη. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η συγκόλληση με διαλύτες:



Εικόνα 9.1.2.1.1: Συγκόλληση με διαλύτες

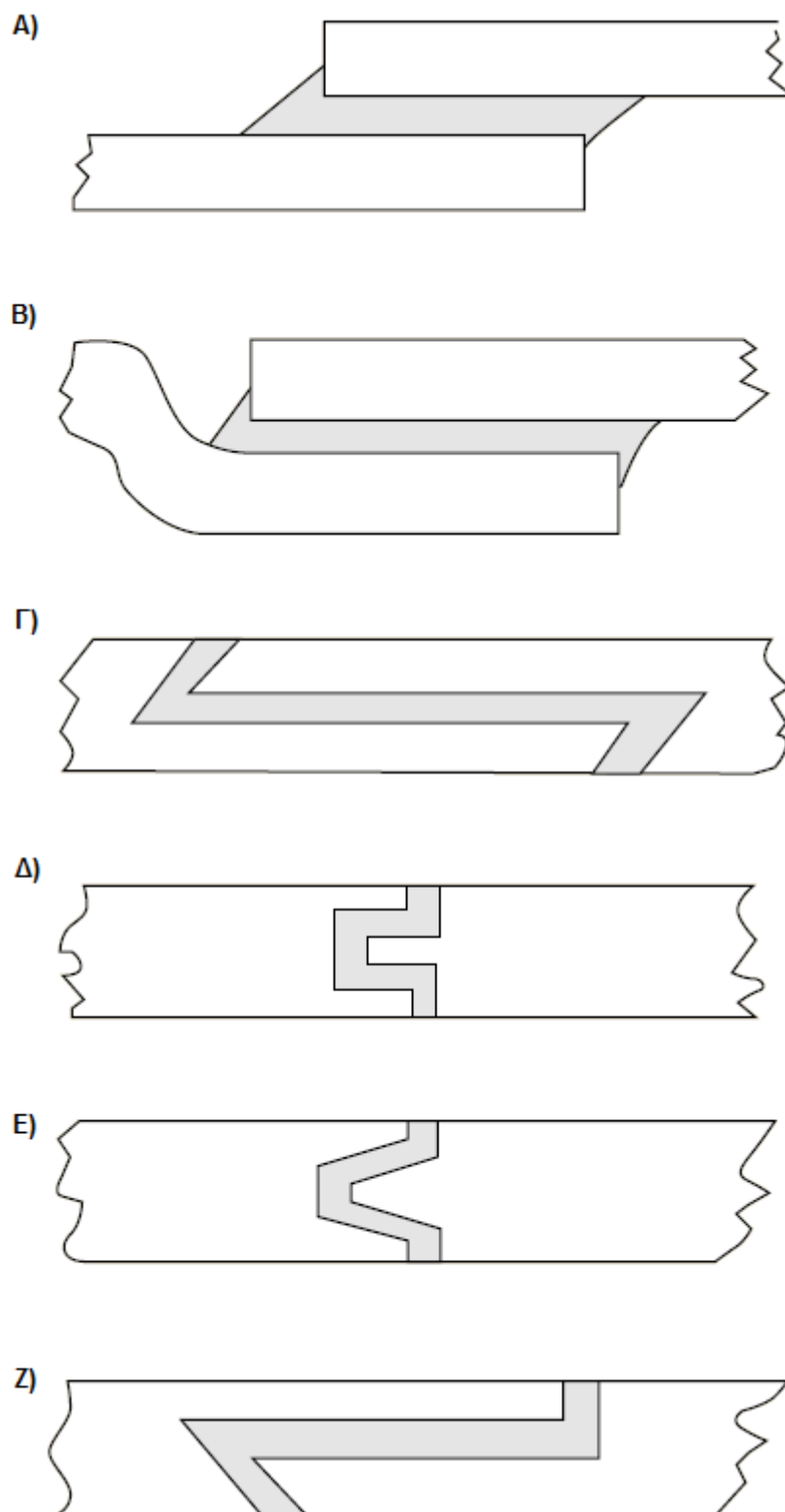


#### Εικόνα 9.1.2.1.2: Συγκόλληση με διαλύτες

##### 9.1.2.2) Ένωση με κολλητικές ουσίες:

Αυτή η μέθοδος διαφέρει από εκείνη της συγκόλλησης με διαλύτες στο ότι μία Τρίτη επιφάνεια, η οποία έχει κατάλληλη κολλητική ουσία και στα δυο εξαρτήματα μπαίνει ανάμεσα στα δύο εξαρτήματα. Η Τρίτη επιφάνεια που ονομάζεται κολλητική ουσία είναι ικανή να ενώσει πλαστικά με άλλα πλαστικά, μέταλλα, λάστιχο, κεραμικά, γυαλί, ξύλο ή οποιαδήποτε άλλη επιφάνεια. Οι κολλητικές ουσίες που χρησιμοποιούνται συχνά σε θερμοπλαστικά είναι εποξικά, ακρυλικά, πολυουρεθάνες, φαινολικά, λάστιχα, πολυεστέρες, βινύλιο και πολλά άλλα ανάλογα με το πλαστικό που χρησιμοποιείται. Λόγο της ραγδαίας κόλλησης σε πολλά υλικά, το κυανοακρυλικό είναι πολύ δημοφιλές σε συναρμολογήσεις πλαστικών. Συγκεκριμένες συστάσεις κολλητικών ουσιών μπορούν να αποκτηθούν και για τα πλαστικά αλλά και για τις κολλητικές ουσίες από τους προμηθευτές. Όμως ο σχεδιαστής πρέπει να δοκιμάσει την απόδοση της ένωσης σε πραγματικές συνθήκες χρήσης. Πολλά κολλητικά συστήματα χρησιμοποιούν διαλύτες όπου λυώνουν μερικώς την πλαστική επιφάνεια και βελτιώνουν την κόλληση. Είναι σημαντικό να ελέγχεται η συμβατότητα από τη στιγμή όπου μερικές κολλητικές ουσίες μπορούν να επιτεθούν σε συγκεκριμένα πλαστικά και να οδηγήσουν σε αστοχία. Τα κύρια μειονεκτήματα της ένωσης με κολλητικές ουσίες είναι ότι είναι γενικά αργή, απαιτεί περισσότερη ώρα σύσφιξης, συχνά απαιτεί περισσότερα αναπόσπαστα εξαρτήματα και μερικές φορές ειδικούς φούρνους ή συνθήκες θεραπείας. Επιπλέον, η προετοιμασία της επιφάνειας είναι σημαντική από τη στιγμή όπου οποιαδήποτε μόλυνση όπως γράσο, λάδι, κενά ή ακόμα και αποτυπώματα μπορούν να χαλάσουν την ένωση. Επίσης η επιφάνεια πρέπει να έχει τραχυνθεί μηχανικά ή να είναι χημικά χαραγμένη ώστε να επιτρέψει στη κολλητική ουσία σφικτό πιάσιμο. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποιοι τυπικοί σχεδιασμοί ένωσης:





Εικόνα 9.1.2.2.1: Τυπική σχεδιασμοί ένωσης

### 9.1.3) Μέθοδοι θερμικής συγκόλλησης:

#### 9.1.3.1) Υπερηχητική συγκόλληση:

Η υπερηχητική συγκόλληση είναι μια οικονομική μέθοδος για ένωση μικρού έως μεσαίου μεγέθους εξαρτημάτων με εξαρτήματα ίδιου ή παρόμοιου πλαστικού υλικού. Αυτή η τεχνική είναι

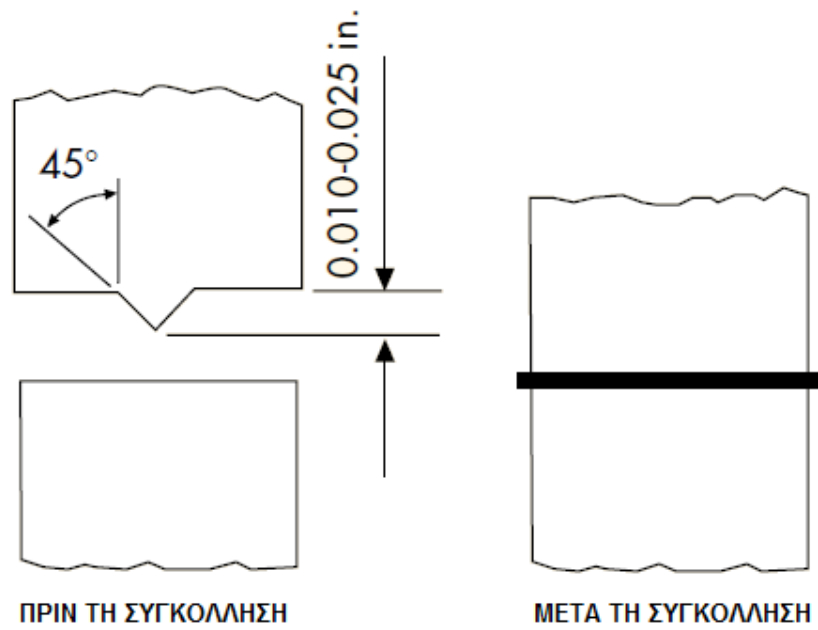
πολύ γρήγορη και μπορεί να γίνει πλήρως αυτοματοποιημένη. Η συγκόλληση πετυχαίνεται όταν υψηλής συχνότητας (20 – 40 kHz) παλμικής ενέργειας που γίνεται απευθείας στη διεπαφή μεταξύ των δύο εξαρτημάτων. Αυτό προκαλεί διέγερση των μορίων με αποτέλεσμα το πλαστικό να λιώνει. Η πίεση παραμένει μεταξύ των δύο εξαρτημάτων και μετά το τέλος των παλμών, και η λιωμένη ρητίνη στερεοποιείται αμέσως. Ολόκληρη η διαδικασία συγκόλλησης συνήθως διαρκεί λιγότερο από 2 δευτερόλεπτα και έχει υψηλή αντοχή, όπου μερικές φορές πλησιάζει την αντοχή του ίδιου του υλικού. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας εξοπλισμός υπερηχητικής μεθόδου συγκόλλησης:



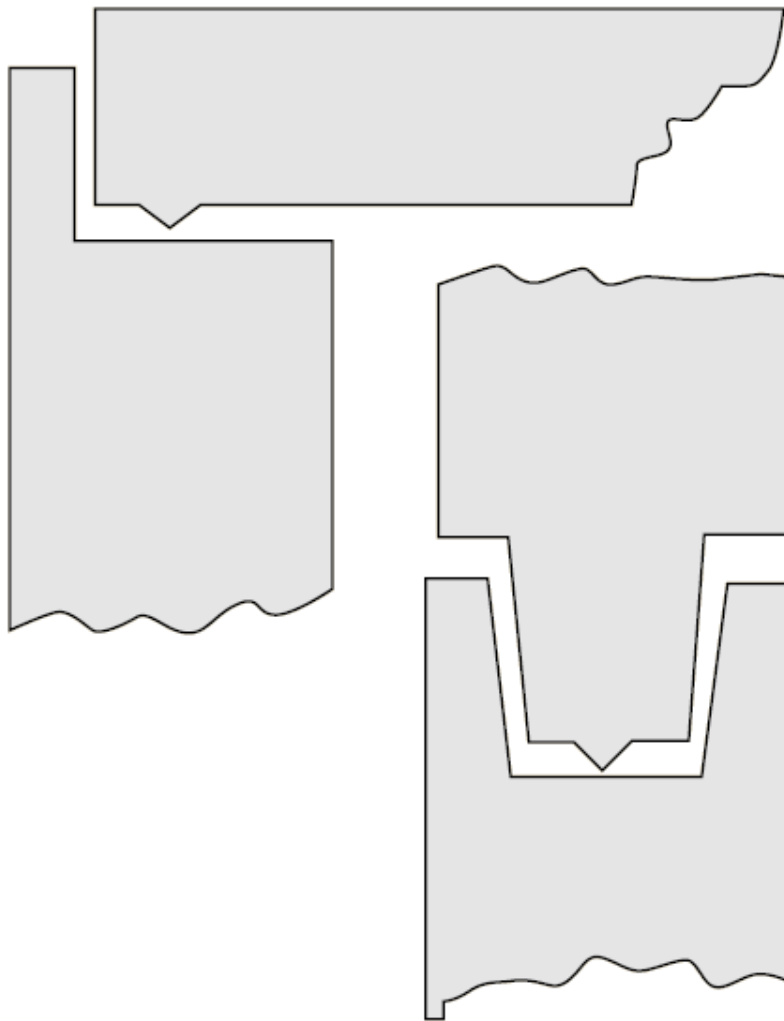
Εικόνα 9.1.3.1.1: Εξοπλισμός υπερηχητικής μεθόδου συγκόλλησης

Η αρχή που περιλαμβάνει η υπερηχητική ένωση είναι να συγκεντρώσει την ενέργεια σε μια αρχική μικρή περιοχή επαφής, δημιουργώντας ακαριαία τήξη και ροή τήξης η οποία προχωρεί κατά μήκος της ένωσης καθώς τα εξαρτήματα πιέζονται μεταξύ τους. Η βάση του πλαστικού εξαρτήματος κρατείται σκληρά σε ειδική βάση. Το πάνω μέρος είναι κατάλληλα ευθυγραμμισμένο με τη βάση, συνήθως με το σχεδιασμό της ένωσης. Η τήξη ξεκινά στην αρχική μικρή περιοχή, και η ροή τήξης συνεχίζεται κατά μήκος του κάθετου τοίχου καθώς τα εξαρτήματα συμπύσσονται μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι μια συνεχής, στεγανή ένωση, τις οποίας η αντοχή συχνά φτάνει εκείνη του εξαρτήματος που έχει ενωθεί. Αυτός ο σχεδιασμός ένωσης είναι προτιμότερος με υγρο-κρυσταλλικά πολυμερή και με κρυσταλλικά υλικά όπως νάιλον, ακετάλη, θερμοπλαστικούς πολυεστέρες και σε οποιοδήποτε υλικό απαιτείται υψηλή αντοχή και ερμητική στεγάνωση.

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η απλή κατεύθυνση της άκρης/ενέργειας όπου λειτουργεί και για άμορφα υλικά:



Εικόνα 9.1.3.1.2: Ένωση για άμορφα υλικά



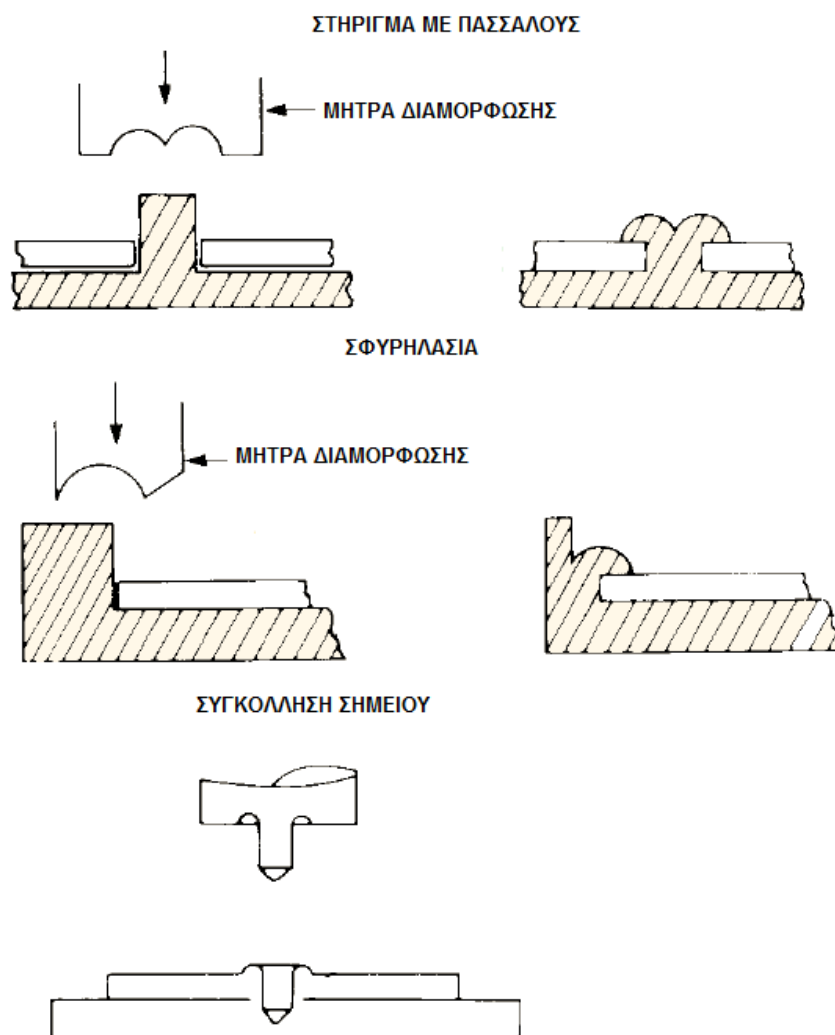
Εικόνα 9.1.3.1.3: Ένωση για άμορφα υλικά

Οι ακριβείς διαστάσεις ποικίλουν ανάλογα με τη χρήση του υλικού, τον διαθέσιμο εξοπλισμό και τις απαιτήσεις του εξαρτήματος. Τόσο οι κατασκευαστές των πλαστικών ρητινών όσο και του υπερηχητικού εξοπλισμού παρέχουν σχεδιαστική βοήθεια με τον εξοπλισμό, τα αναπόσπαστα εξαρτήματα, το κλάξο, τη διαμόρφωση των εξαρτημάτων, το σχεδιασμό της ένωσης, τον χρόνο κύκλου και την προστασία των εργαζομένων, τα οποία πρέπει να συμβουλευτούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού.

Με υγροσκοπικά υλικά, είναι καλύτερο να συγκολλούνται τα εξαρτήματα μετά τη χύτευση, από τη στιγμή όπου η απορροφητικότητα της υγρασίας μπορεί να οδηγήσει σε αδύναμους δεσμούς. Σε μερικές περιπτώσεις τα εξαρτήματα ίσως χρειαστούν στέγνωμα προτού τη συγκόλληση. Παρόλο που η υπερηχητική μέθοδος παρέχει σχεδόν ιδανική συγκόλληση, παρακάτω αναγράφονται κάποια μειονεκτήματα:

- Ο έλεγχος ποιότητας και σχεδιασμού των εξαρτημάτων όπως και η συντήρηση και ρύθμιση του εξοπλισμού είναι σημαντικά για την δημιουργία υψηλής αντοχής συγκόλλησης.
- Ο εξοπλισμός της υπερηχητικής μεθόδου είναι ακριβός και μπορεί να γίνει μη οικονομικός για μεγάλα εξαρτήματα λόγω της δύναμης που απαιτείται.
- Τα εξαρτήματα προς ένωση πρέπει να είναι φτιαγμένα από το ίδιο ή παρόμοιο υλικό και υπάρχουν περιορισμοί με πληρωμένες και ενισχυμένες τάξης.

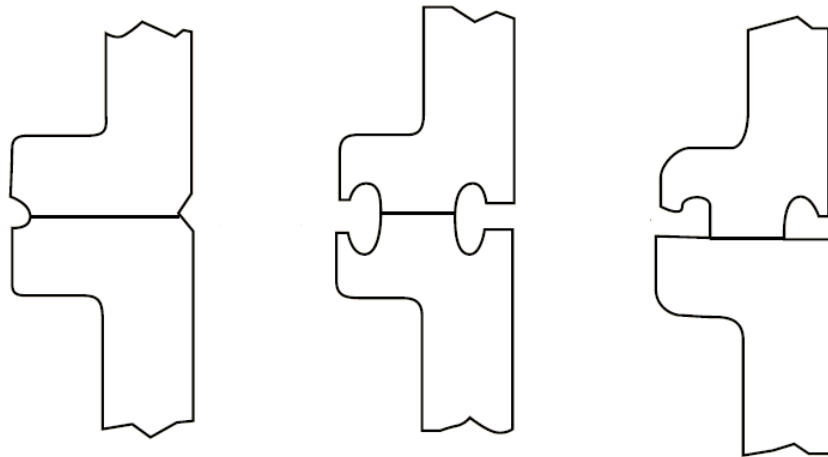
Πρέπει να σημειωθεί ότι οι συχνότητες λειτουργίας της υπερηχητικής συγκόλλησης, 20 – 40 kHz, είναι παραπάνω από ότι μπορεί να πιάσει η ανθρώπινη ακοή. Όμως μερικές φορές ένας διαπεραστικός ήχος παράγεται όταν ένα τμήμα ενός εξαρτήματος δονείται σε χαμηλές συχνότητες. Αυτός είναι ο λόγος που ίσως χρειαστεί να τοποθετηθούν προστατευτικά ακοής. Σπάνια υπάρχει θόρυβος όταν η συγκόλληση γίνεται στα 40 kHz. Τέλος, ο υπερηχητικός εξοπλισμός μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για πασσάλους, σφυρηλασία και συγκόλληση σημείου όπως απεικονίζονται και στη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 9.1.3.1.4: Εφαρμογές της υπερηχητικής μεθόδου

#### 9.1.3.2) Συγκόλληση τριβής:

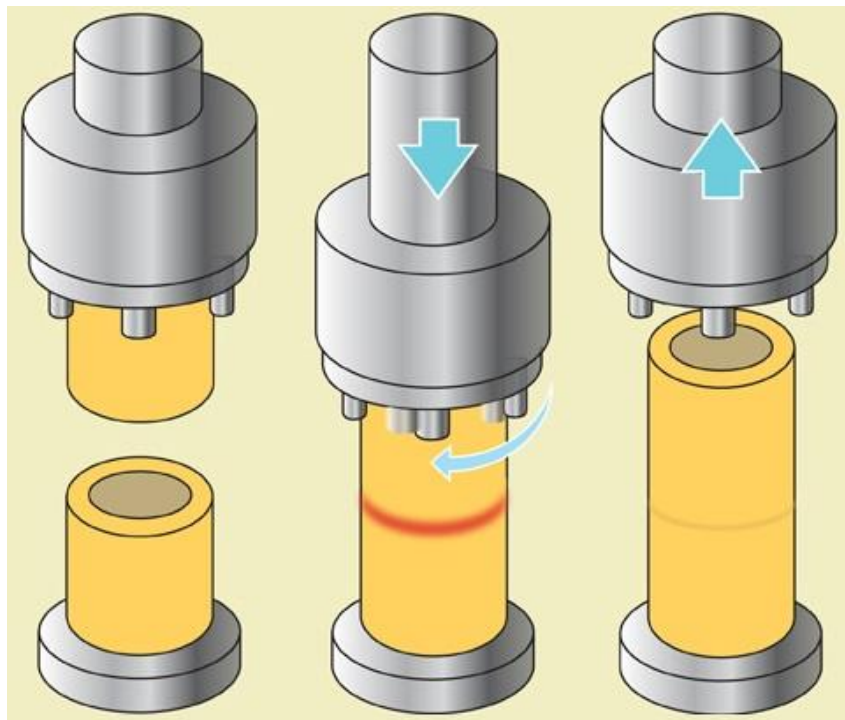
Στη συγκόλληση τριβής, δύο εξαρτήματα τρίβονται μεταξύ τους παράγοντας θερμότητα τριβής, οι οποίες έχει ως αποτέλεσμα το λιώσιμο των επιφανειών των δύο εξαρτημάτων. Η κίνηση είναι της μορφής υψηλού εύρους, χαμηλής συχνότητας, παλινδρομικής κίνησης. Όταν η τριβή σταματά το υλικό ψύχεται και γίνεται μόνιμα συγκολλημένο. Οι τυπικές συχνότητες είναι 120 και 240 Hz και το εύρος μεταξύ 0,10 και 0,20 in γραμμικής μετατόπισης. Η συγκόλληση παράγει υψηλής αντοχής ενώσεις και είναι κατάλληλες σε μεγάλα εξαρτήματα και ακανόνιστες επιφάνειες ένωσης. Η υγρασία στα υγροσκοπικά υλικά όπως το νάιλον συνήθως δεν έχει δυσμενείς επιδράσεις στη συγκόλληση όπως και με την υπερηχητική μέθοδο. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τυπικές ενώσεις με συγκόλληση τριβής:



Εικόνα 9.1.3.2.1: Τυπικές ενώσεις με συγκόλληση τριβής

### 9.1.3.3) Περιστροφική συγκόλληση:

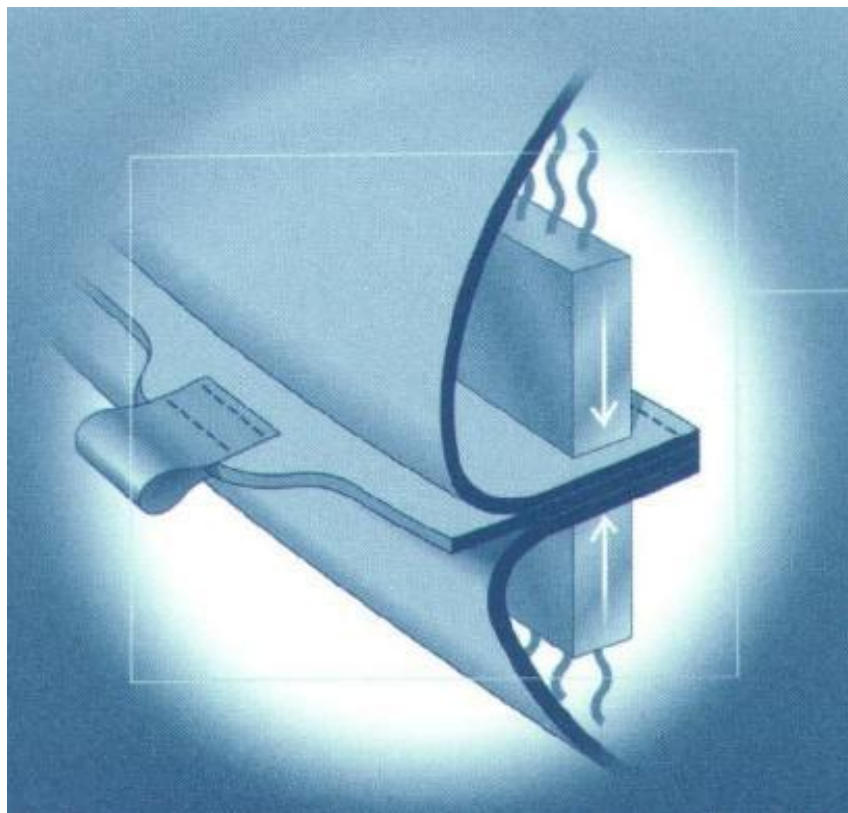
Η περιστροφική συγκόλληση είναι μια γρήγορη και οικονομική μέθοδος για ένωση υλικών με κυκλικές επιφάνειες ένωσης. Όπως και στη συγκόλληση τριβής, παράγεται θερμότητα τριβής όπου δημιουργεί λιώσιμο και μετά συγκόλληση. Ενώ το ένα εξάρτημα είναι πακτωμένο, το περιστρεφόμενο εξάρτημα έρχεται σε επαφή με αυτό με συγκεκριμένη πίεση παράγοντας θερμότητας τριβής. Μετά το λιώσιμο η περιστροφή σταματά ενώ η πίεση διατηρείται ώστε να δημιουργηθεί η συγκόλληση όταν η επιφάνεια στερεοποιηθεί. Ολόκληρη η διαδικασία συνήθως διαρκεί λιγότερο από 3 δευτερόλεπτα και μπορεί εύκολα να αυτοματοποιηθεί. Σε σύγκριση με την υπερηχητική και συγκόλληση τριβής, ο εξοπλισμός είναι πολύ απλός, μερικές φορές μόνο ένα κατάλληλα εξοπλισμένο δράπανο για χαμηλές παραγωγές. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η περιστροφική συγκόλληση:



Εικόνα 9.1.3.3.1: Περιστροφική συγκόλληση

#### 9.1.3.4) Συγκόλληση ραδιοσυχνοτήτων (RF):

Αυτή η μέθοδος συχνά ονομάζεται θερμική στεγάνωση, χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εύκαμπτες θερμοπλαστικές μεμβράνες και φύλλα όπως βινύλιο (πλαστικοποιημένο PVC) και πολυουρεθάνη. Όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξαρτήματα έγχυσης-καλουπιού ποιό συχνά με το να ενώνονται με εύκαμπτες μεμβράνες. Με αυτή τη διαδικασία η συγκόλληση συμβαίνει λόγω της θερμοκρασίας που επάγεται από την εφαρμογή δυνατών ραδιοσυχνοτήτων στην επιλεγμένη περιοχή ένωσης. Το πεδίο των ραδιοσυχνοτήτων συνήθως εφαρμόζεται από μια ειδικά διαμορφωμένη μεταλλική μήτρα στο σχήμα της επιθυμητής ένωσης, η οποία επίσης εφαρμόζει την απαιτούμενη πίεση για να ολοκληρωθεί η συγκόλληση. Όμως μερικά πλαστικά είναι διαφανής σε ραδιοσυχνότητες και δε μπορούν να συγκολληθούν με αυτή τη μέθοδο. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η συγκόλληση με ραδιοσυχνότητες:



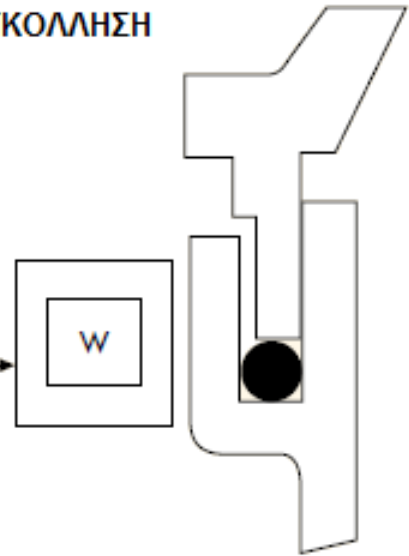
Εικόνα 9.1.3.4.1: Συγκόλληση με ραδιοσυχνότητες

#### 9.1.3.5: Ηλεκτρομαγνητική ή επαγωγική συγκόλληση:

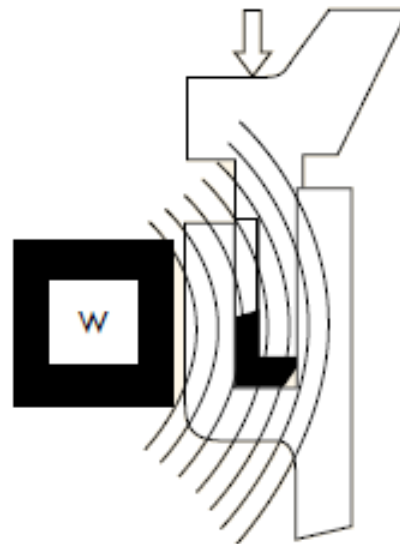
Η ηλεκτρομαγνητική ή επαγωγική συγκόλληση χρησιμοποιεί την αρχή τη επαγωγικής θερμότητας ώστε να παράξει θερμοκρασίες τήξης σε θερμοπλαστικά υλικά. Χρησιμοποιείται ένα μαγνητικό πεδίο ραδιοσυχνοτήτων ώστε να διεγείρει μαγνητικά ευαίσθητα μόρια, είτε μεταλλικά είτε κεραμικά σε θερμοκρασίες τήξης. Τα μόρια μπορούν να συσσωματωθούν σε περιβλήματα, προμορφώματα, ίνες, κορδέλες, κολλητικές ουσίες, μεμβράνες ή χυτευτά εξαρτήματα. Η ποιό συνηθισμένη ηλεκτρομαγνητική συγκόλληση περιλαμβάνει ένα επιπλέον εξάρτημα στην επιφάνεια ένωσης. Το επιπλέον εξάρτημα είναι ένα προμόρφωμα που περιλαμβάνει τα μαγνητικά ενεργοποιημένα μόρια και είναι σχεδιασμένο να παρέχει ειδικό όγκο υλικού στην ένωση κατά τη διαδικασία της τήξης. Το προμόρφωμα τοποθετείται στην επιφάνεια ένωσης και εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η ηλεκτρομαγνητική επαγόμενη θερμότητα οδηγείται από τα μόρια διαμέσου του προμορφώματος στο εξάρτημα ένωσης καθώς αυτά πιέζονται μεταξύ τους. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διαδικασία της ηλεκτρομαγνητικής ή επαγωγικής συγκόλλησης:

**ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΥΓΚΟΛΗΣΗ**

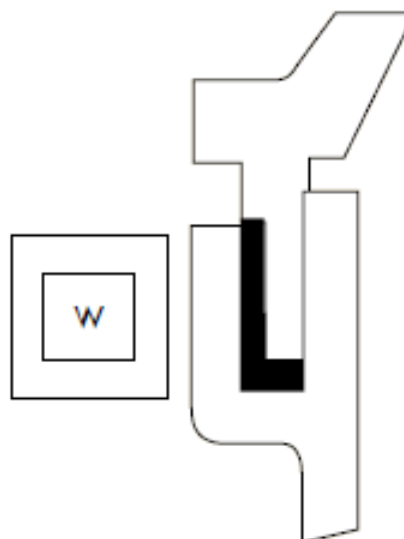
**ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ  
ΣΠΕΙΡΩΜΑ** →



**ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΗΣΗΣ**



**ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΛΗΣΗ**



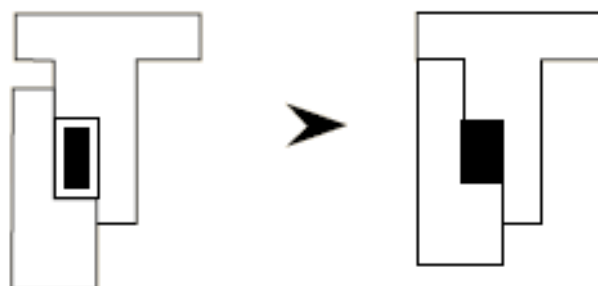
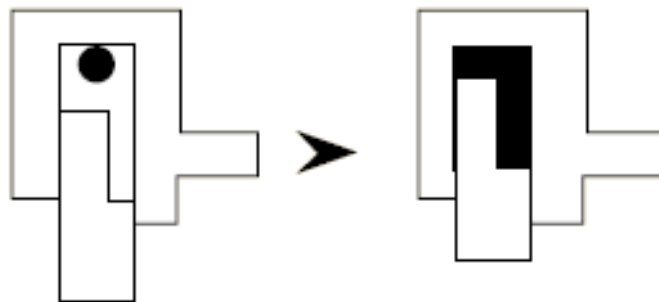
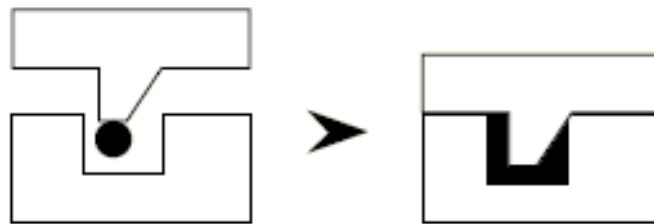
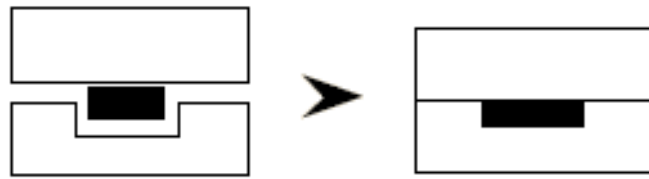
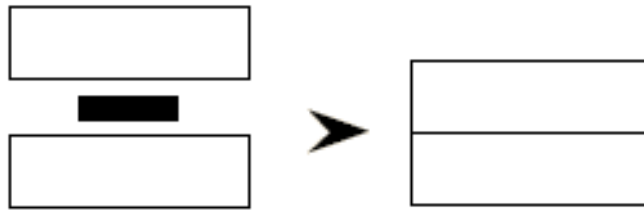


#### Εικόνα 9.1.3.5.1: Ηλεκτρομαγνητική ή επαγωγική συγκόλλησης

Ένας κατάλληλος σχεδιασμός ένωσης είναι σημαντικός για την επιτυχία της συγκόλλησης. Από τη στιγμή όπου το υλικό προμορφώματος τοποθετείται στην επιφάνεια ένωσης λιώνει όταν ενεργοποιηθεί και ρέει μέσα σε κενά και ακανόνιστες επιφάνειες ώστε να δημιουργήσει μια αξιόπιστη συγκόλληση. Για καλύτερα αποτελέσματα η ροή του λιωμένου υλικού θα πρέπει να περιοριστεί και να εκτεθεί σε εσωτερική πίεση ενάντια της στηριζόμενης επιφάνειας συγκόλλησης. Ενώ το επιπλέον μαγνητικό προμόρφωμα προσθέτει κόστος στη τιμή του κομματιού, αυτή η αύξηση συχνά αντισταθμίζεται με τη μείωση του ποσοστού απόρριψης και κερδίζει σε αξιοπιστία στη συγκόλληση. Η επαγωγική συγκόλληση μπορεί να παράξει δομικές ερμητικές συγκολλήσεις στα περισσότερα θερμοπλαστικά υλικά και γενικότερα μπορεί να αυτοματοποιηθεί για μεγάλου όγκου παραγωγές με ευρύ πλάτος ένωσης μεγέθους, διαμόρφωσης, ανοχές και την ικανότητα ένωσης μερικών ανόμοιων υλικών. Όμως ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν πρέπει να υπάρχει μεταλλικό εξάρτημα κοντά στη γραμμή συγκόλλησης κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται πέντε βασικοί σχεδιασμοί ένωσης επαγωγικής συγκόλλησης:

ΠΡΙΝ

ΜΕΤΑ

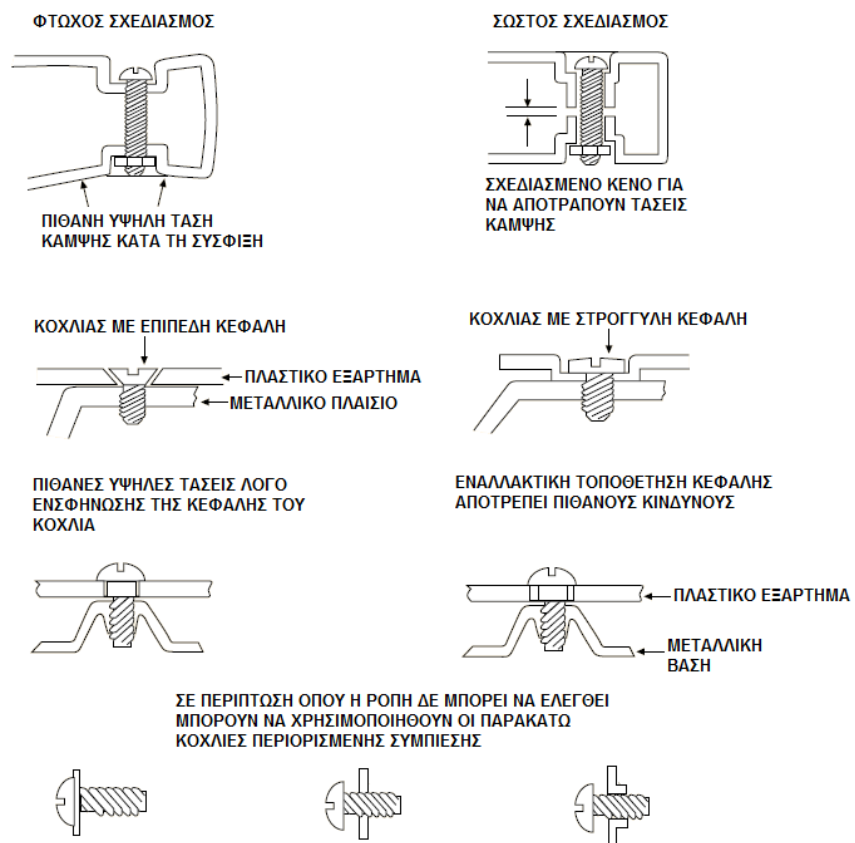


Εικόνα 9.1.3.5.2: Πέντε βασικοί σχεδιασμοί ένωσης επαγωγικής συγκόλλησης

9.1.4) Συναρμολόγηση με συνδέσμους:

9.1.4.1) Βιδωτή συναρμολόγηση:

Γενικοί σύνδεσμοι όπως κοχλίες, βίδες, περικόχλια και άλλα ειδικά σχεδιασμένα προϊόντα χρησιμοποιούνται συχνά σε πλαστικά εξαρτήματα. Από τη στιγμή όπου αυτά τα σπειρώματα είναι συνήθως φτιαγμένα από ασάλι, ορείχαλκο ή άλλου είδους υψηλής αντοχής μέταλλου, το πλαστικό εξάρτημα προς συναρμολόγηση μπορεί να πιεστεί παραπάνω πριν αυτοί οι σύνδεσμοι σπάσουν. Για αυτό το λόγο, ένας καλός σχεδιασμός προστάζει τη λήψη προφυλάξεων ώστε να αποτραπούν περεταίρω τάσεις κατά τη συναρμολόγηση. Η ποιά προφανής μέθοδος για να αποτραπεί η υψηλή τάση συναρμολόγησης είναι να ελεγχθεί προσεκτικά το σφίξιμο των συνδέσμων. Αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι καλή για χειριστές σε γραμμές παραγωγής αλλά για καταναλωτές αυτή η μέθοδος παρουσιάζει μια δυσκολία στον έλεγχο. Ακόμα και όταν η ροπή μπορεί να ελεγχθεί, μερικές φορές ένας φτωχός σχεδιασμός βιδωτής συναρμολόγησης έχει μια μη πρακτική χαμηλή ροπή συναρμολόγησης. Σε αυτή τη περίπτωση απαιτούνται αλλαγές στο σχεδιασμό. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποιοι φτωχοί σχεδιασμοί και οι λύσεις τους:



Εικόνα 9.1.4.1.1: Φτωχοί σχεδιασμοί και οι λύσεις τους

9.1.4.2: Ένθετα μεταλλικών σπειρωμάτων:

Τα μεταλλικά σπειρώματα παραμένουν μόνιμα εγκαταστημένα στο πλαστικό εξάρτημα. Αυτά τα ένθετα έχουν πολλούς τύπους και μεγέθη και επιτρέπουν διάφορους τρόπους εγκατάστασης. Τα ένθετα συνήθως εγκαθίστανται σε χυτευτούς εξέχων όγκους στους οποίους η εσωτερική διάμετρος είναι ειδικά σχεδιασμένη για το συγκεκριμένο ένθετο που θα χρησιμοποιηθεί. Κάποια ένθετα απλά πιέζονται στον εξέχων όγκο ενώ άλλα τοποθετούνται με μεθόδους που δημιουργούν ανθεκτικότερες και με χαμηλές τάσεις τοποθέτησης. Επίσης τα ένθετα μεταλλικών

σπειρωμάτων δεν χρειάζονται παξιμάδι, επιτρέποντας έτσι τη συναρμολόγηση με πρόσβαση μόνο από τη μια μεριά του προϊόντος. Επιπλέον σε θηλυκά σπειρώματα, τα ένθετα παρέχουν σπειρωτά αρσενικά στηρίγματα, τοποθέτηση πείρων και λίπανση. Για καταλληλότητα, διαστάσεις εξέχων όγκων και διαδικασίες εγκατάστασης είναι επιθυμητή η ανάγνωση των συστάσεων των κατασκευαστών. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποιοι τύποι ενθέτων με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους:

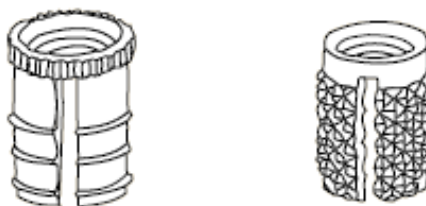
**ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ : ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ**

**ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ : ΥΨΗΛΕΣ ΕΠΑΓΩΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕΤΡΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ**



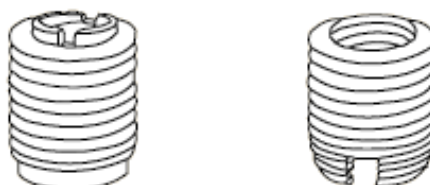
**ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ : ΔΕ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

**ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ : ΧΑΜΗΛΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗ ΕΠΑΓΩΜΕΝΗ ΤΑΣΗ**



**ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ : ΕΓΚΑΘΙΣΤΑΤΑΙ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ**

**ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ : ΑΡΓΟ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ**



Εικόνα 9.1.4.2.1: Τύποι ενθέτων με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους

Ένας πολύ δημοφιλής και προτιμότερος τύπος ένθετου για θερμοπλαστικά υλικά είναι η υπερηχητική εγκατάσταση. Αυτός ο τύπος ένθετου εγκαθίσταται με τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την υπερηχητική συγκόλληση. Το αποτέλεσμα της τοποθέτησης είναι μια ανθεκτική και σχετικά χωρίς τάσεις ένωση σε σχέση με πολλά άλλα είδη ενθέτων διότι το

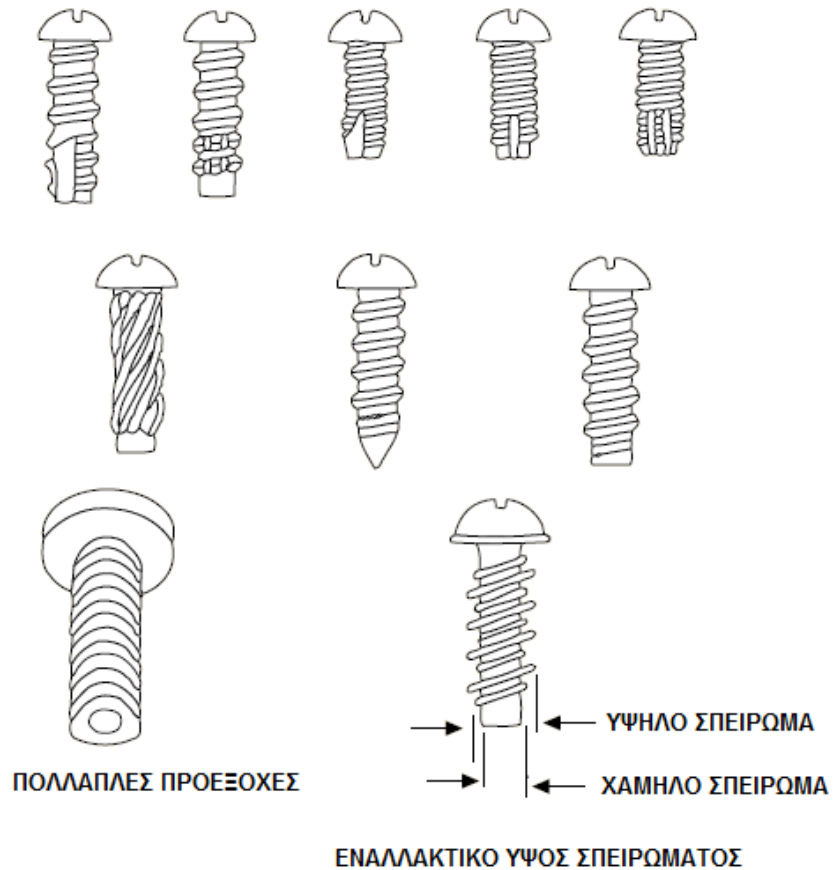
πλαστικό λιώνει περιμετρικά κατά την εγκατάσταση. Η τοποθέτηση είναι γρήγορη, οικονομική και συχνά γίνεται από τον χειριστή στη μηχανή χύτευσης.

#### 9.1.4.3) Κοχλίες δημιουργίας σπειρωμάτων:

Κοχλίες που δημιουργούν το δικό τους σπείρωμα χρησιμοποιούνται ευρέως με θερμοπλαστικά εξαρτήματα. Είναι οικονομικά και δεν απαιτούν έξτρα λειτουργίες ή ειδικούς πυρήνες ξεβιδώματος από τη στιγμή όπου το σπείρωμα διαμορφώνεται από τον κοχλία κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης. Αυτοί οι κοχλίες ουσιαστικά μετατοπίζουν υλικό και για αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθούν με προσοχή από τη στιγμή όπου μπορεί να αναπτυχθούν υψηλές τάσεις σε υλικά υψηλού συντελεστή σχέσης δύναμης – αποτελέσματος και χαμηλού ερπυσμού υλικά. Μερικοί σχεδιασμοί κοχλιών δημιουργούν το σπείρωμα μέσω ενός συνδυασμού διαμόρφωσης και κοψίματος. Δύο πρόσφατοι σχεδιασμοί που είναι πολύ δημοφιλείς λόγω της άριστης δύναμης συγκράτησης και χαμηλών επιπέδων τάσεων είναι κοχλίες που δεν είναι στρογγυλοί αλλά έχουν πολλαπλές προεξοχές και βιδώνουν με εναλλακτικά ύψη σπειρώματος. Με όλους αυτούς του κοχλίες πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω:

- Η διάμετρος της οπής του πλαστικού εξαρτήματος πρέπει να είναι κατάλληλη διαστασιολογημένες για τον κοχλία και το βαθμό του πλαστικού υλικού. Μια υποδιαστασιολογημένη οπή μπορεί να δημιουργήσει τάσεις στον εξέχων όγκο και τελικά θραύση.
- Τα τοιχώματα του εξέχων όγκου πρέπει να είναι ικανά να αντισταθούν στις τάσεις που δημιουργούνται από το κοχλία. Σαν γενικό κανόνα, η εξωτερική διάμετρος του εξέχων όγκου πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της κύριας διαμέτρου του κοχλία.
- Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τέτοιου είδους κοχλία σε θερμοπλαστικά ενισχυμένου υάλου άλλων πολύ υψηλών συντελεστών θερμοπλαστικών.
- Πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία υψηλών τάσεων συναρμολόγησης. Πρέπει να γίνονται ελέγχει ροπής στη γραμμή παραγωγής.

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τυπικοί κοχλίες για πλαστικά:



Εικόνα 9.1.4.3.1: Τυπικοί κοχλίες για πλαστικά

#### 9.1.4.4) Πριτσινωτή συναρμολόγηση:

Για γρήγορες και μόνιμες συναρμολογήσεις, μεταλλικά πριτσίνια χρησιμοποιούνται συχνά. Επίσης συχνά επιλέγονται και πριτσίνια από αλουμίνιο. Οι βασικές εκτιμήσεις στη χρήση πριτσινιών είναι:

- Η χρήση πριτσινιών με μεγάλες κεφαλές ώστε να μοιράζεται το φορτίο
- Το πριτσίνωμα να γίνει έναντι ενός μεταλλικού εξαρτήματος της συναρμολόγησης ή έναντι μιας κατάλληλου μεγέθους μεταλλικής ροδέλας εάν τα δύο εξαρτήματα προς ένωση είναι πλαστικά.

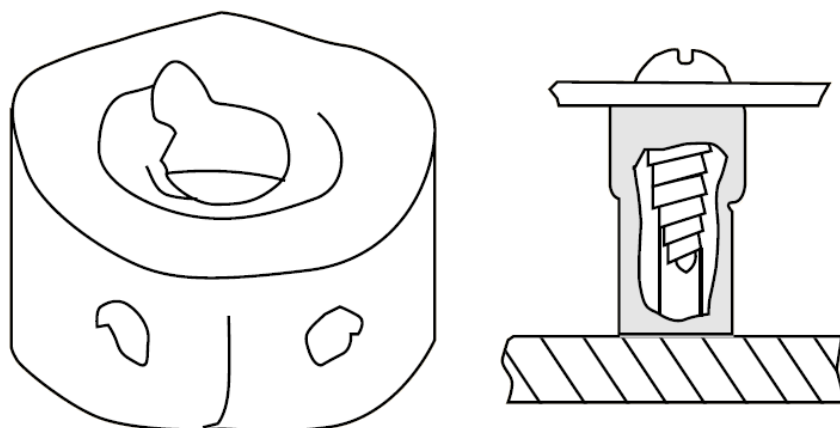
Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποια πριτσίνια:



Εικόνα 9.1.4.4.1: Πριτσίνια

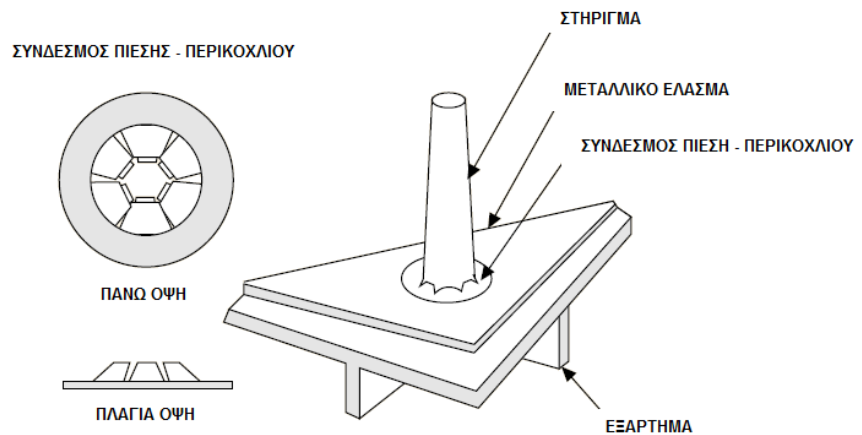
#### 9.1.4.5) Έλασμα μεταλλικού περικοχλίου:

Μια ευρύς ποικιλία σφραγισμένων συνδέσμων μεταλλικών ελασμάτων είναι διαθέσιμα ώστε να παρέχουν ελαφρά σπειρώματα ή πιεστή συναρμολόγηση σε θερμοπλαστικά εξαρτήματα. Επιπλέον παρέχουν μερικός μεταλλικό σπείρωμα συνήθως για κοχλίες δημιουργίας σπειρωμάτων και επίσης τείνουν να ενισχύουν τον εξέχων όγκο ενάντια σε δυνάμεις διαστολής. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μία τυπική κάλυψη εξέχων όγκου:



Εικόνα 9.1.4.5.1: Τυπική κάλυψη εξέχων όγκου

Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μια τυπική συναρμολόγηση πίεσης περικοχλίου:



Εικόνα 9.1.4.5.2: Τυπική συναρμολόγηση πίεσης περικοχλίου

#### 9.1.4.6) Πλαστικοί σύνδεσμοι ειδικότητας:

Υπάρχουν πολλά είδη πλαστικών συνδέσμων, οι οποίοι είναι ικανοποιητικοί για πολλές ελαφριές συναρμολογήσεις πλαστικών. Είναι ειδικά χρήσιμοι για την προσάρτηση εξωτερικών αντικειμένων για εμφάνιση όπως προσόψεις όπου μεταλλικοί σύνδεσμοι θα ήταν μη ικανοποιητικοί. Εκτός των πλαστικών κοχλιών και πριτσινιών, μια ευρύ ποικιλία κουμπωτών πλαστικών συνδέσμων είναι διαθέσιμη. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται κάποιοι πλαστικοί σύνδεσμοι ειδικότητας:



Εικόνα 9.1.4.6.1: Πλαστικοί σύνδεσμοι ειδικότητας

### Abstract:

Every successful development of any product depends on the suitable selection of the material, the process and the proper design which requires the knowledge of the basic material behavior and the right way of using and processing them. This technical document is all about the fundamentals of plastic design. The five first chapters refer to the basic knowledge of plastic materials such as their categories which are thermoplastics, thermosetting, fillers, elastomers,



liquid crystalline, crystalline, amorphous, alloys and reinforcements, and their properties (physical, mechanical, electrical and thermal). Thereafter there is an analyzation of the basic design guidelines, the environmental consequences of plastics, structure analysis and in the final chapter the assembly methods. All those subjects are described along with technical figures, diagrams, tables and equations which give a clear illustration of the subject.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- [Designing with plastic the fundamentals Ticona](#)
- [Design guide DSM guide](#)
- [Design guides for plastics, Clive Maier, Econology Ltd](#)
- [http://www.polymerplastics.com/transparents\\_overview.shtml](http://www.polymerplastics.com/transparents_overview.shtml)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Brittleness>
- [Queens university Mechanical engineering](#)
- [Stress concentration chapter 6](#)
- [Stress table factors pdf](#)
- <https://www.google.gr>
- <http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/anistrupy.htm>
- <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article490>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Stress\\_%28mechanics%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Stress_%28mechanics%29)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Shear\\_stress](http://en.wikipedia.org/wiki/Shear_stress)
- <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%81%CF%80%CF%85%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82>
- <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%81%CE%BF%CF%8D%CF%83%CE%B7>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Vicat\\_softening\\_point](http://en.wikipedia.org/wiki/Vicat_softening_point)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Vicat.jpg>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Glass\\_transition#Transition\\_temperature\\_Tg](http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_transition#Transition_temperature_Tg)
- <https://www.google.gr/search?q=Glass+Transition+Temperature&source>
- <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%8C%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7>
- [http://www.google.gr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.matweb.com%2Freference%2Fimages%2Fsurface\\_resistivity](http://www.google.gr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.matweb.com%2Freference%2Fimages%2Fsurface_resistivity)
- <http://plastics.ides.com/generics/40/polyphenylene-ether-ppe>
- [https://www.google.gr/search?q=mold+shrinkage&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=Y8WJU8rgAcGa0AWIyIDwCA&ved=0CAYQ\\_AUoAQ&biw=1280&bih=913#q=mold+shrinkage+TABLE&tbm=isch](https://www.google.gr/search?q=mold+shrinkage&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=Y8WJU8rgAcGa0AWIyIDwCA&ved=0CAYQ_AUoAQ&biw=1280&bih=913#q=mold+shrinkage+TABLE&tbm=isch)
- <http://www.curbellplastics.com/technical-resources/pdf/water-absorption-plastics.pdf>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Noryl>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Kydex>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyimide>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluoroethylene>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Polybutylene\\_terephthalate](http://en.wikipedia.org/wiki/Polybutylene_terephthalate)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylenimine>
- [http://www.polymerplastics.com/transparents\\_petg.shtml](http://www.polymerplastics.com/transparents_petg.shtml)
- [http://www.solvayplastics.com/sites/solvayplastics/EN/specialty\\_polymers/SulfonePolymers/Pages/Radel.aspx](http://www.solvayplastics.com/sites/solvayplastics/EN/specialty_polymers/SulfonePolymers/Pages/Radel.aspx)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Blind\\_hole](http://en.wikipedia.org/wiki/Blind_hole)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Through\\_hole](http://en.wikipedia.org/wiki/Through_hole)
- <http://www.ux.uis.no/~hirpa/KdB/ME/stressconc.pdf>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Undercut\\_\(manufacturing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Undercut_(manufacturing))

- [http://www.plasticsintl.com/plastics\\_chemical\\_resistence\\_chart.html](http://www.plasticsintl.com/plastics_chemical_resistence_chart.html)
- [UV Weathering and Related Test Methods pdf \(cabot creating what matters\)](#)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Material\\_failure\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Material_failure_theory)
- <http://www.tangram.co.uk/Design%20Guides%20for%20Plastics.PDF>
- [https://www.google.gr/search?q=spin+welding+plastic&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=6CzrU62pEYPmyQO\\_noKICw&sqj=2&ved=0CAYQ\\_AUoAQ&biw=1280&bih=880](https://www.google.gr/search?q=spin+welding+plastic&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=6CzrU62pEYPmyQO_noKICw&sqj=2&ved=0CAYQ_AUoAQ&biw=1280&bih=880)
- [http://www.google.gr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2F3.bp.blogspot.com%2F-tJCtE3G85Dg%2FT5zMbKP9Wbl%2FAAAAAAAAAAHU%2FE61qY2p0ISA%2Fs1600%2FSealskindeckseam.JPG&imgrefurl=http%3A%2F%2Fcanadiankayak.blogspot.com%2F2012%2F04%2Fskin-welding.html&h=391&w=410&tbnid=9K2\\_d\\_tpeMQ1M%3A&zoom=1&docid=DovYjnw\\_bqaUCuM&ei=MzDrU5i1C8fmyQPfM\\_YHgCw&tbm=isch&ved=0CEUQMyghMCE&iact=rc&uact=3&dur=208&page=2&start=22&ndsp=25](http://www.google.gr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2F3.bp.blogspot.com%2F-tJCtE3G85Dg%2FT5zMbKP9Wbl%2FAAAAAAAAAAHU%2FE61qY2p0ISA%2Fs1600%2FSealskindeckseam.JPG&imgrefurl=http%3A%2F%2Fcanadiankayak.blogspot.com%2F2012%2F04%2Fskin-welding.html&h=391&w=410&tbnid=9K2_d_tpeMQ1M%3A&zoom=1&docid=DovYjnw_bqaUCuM&ei=MzDrU5i1C8fmyQPfM_YHgCw&tbm=isch&ved=0CEUQMyghMCE&iact=rc&uact=3&dur=208&page=2&start=22&ndsp=25)
- [http://www.google.gr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fsupersprings.biz%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2FRivets.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fsupersprings.biz%2FRivets&h=400&w=400&tbnid=pXsaArEylhUtXM%3A&zoom=1&docid=9PkRmNqpIJQeXM&ei=Oh\\_uU8j5G\\_PU4QTGq4DIAw&tbm=isch&ved=0CCQQMygGMAY&iact=rc&uact=3&dur=215&page=1&start=0&ndsp=22](http://www.google.gr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fsupersprings.biz%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2FRivets.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fsupersprings.biz%2FRivets&h=400&w=400&tbnid=pXsaArEylhUtXM%3A&zoom=1&docid=9PkRmNqpIJQeXM&ei=Oh_uU8j5G_PU4QTGq4DIAw&tbm=isch&ved=0CCQQMygGMAY&iact=rc&uact=3&dur=215&page=1&start=0&ndsp=22)