



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



Πτυχιακή εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  
ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ABS ΤΑ ΟΠΟΙΑ  
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ  
ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ

*(A STUDY OF COMPRESSION STRENGTH OF  
THERMOPLASTIC ABS SPECIMENTS PREPARED  
WITH COMPRESSION MOULDING METHOD)*

Φοιτητής:  
Κωνσταντίνος-Νικόλαος  
Σπυρόπουλος

Επιβλέπων καθηγητής:  
Κωνσταντίνος Σαββάκης

**Ηράκλειο 2018**



## Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων.....	3
Εισαγωγή.....	5
Abstract.....	7
1. Πολυμερή.....	8
1.1 Χημική Σύνθεση συμπολυμερούς Ακρυλονιτρίλιο- Βουταδιένιο – Στυρένιο (ABS).....	11
1.2 Παραγωγή του συμπολυμερούς Ακρυλονιτρίλιο-Βουταδιένιο–Στυρένιο (ABS).....	12
1.3 Τεχνικές μορφοποίησης πολυμερών [13] .....	14
1.3.1 Χύτευση με συμπίεση και μεταφορά (compression and transfer molding).....	15
1.3.2 Χύτευση με έγχυση (injection molding).....	16
1.3.3 Εξώθηση (Extrusion).....	17
1.3.4 Χύτευση με εμφύσηση (blow molding) .....	18
1.3.5 Χύτευση (casting) .....	19
2. Ιδιότητες ABS.....	20
3. Εμπορικά παράγωγα ABS και εφαρμογές .....	23
3.1 PC/ABS.....	24
3.2 PA/ABS.....	25
3.3 PBT/ ABS.....	25
3.4 ABS-M30, ABS- M30i, ABSplus, ABSi, ABS-ESD7 .....	25
4. Ανακύκλωση υλικών ABS .....	28
4.1 Πρωτογενής Ανακύκλωση .....	28
4.2 Δευτερογενής ανακύκλωση ή μηχανική ανακύκλωση .....	28
4.3 Τριτογενής Ανακύκλωση.....	29
4.4 Ανάκτηση ενέργειας ή τεταρτογενής ανακύκλωση .....	30
Μακρο-διαχωρισμοί .....	32
Μικρο-διαχωρισμοί .....	35
5. Πειραματική Διαδικασία .....	38
5.1 Κατασκευή συνδέσμου .....	38
5.2 Κατασκευή καλουπιού (των δοκιμίων) από αλουμίνιο σε φρέζα CNC. 42	
5.3 Κατασκευή Δοκιμίων.....	44

5.4	Δοκιμή θλίψης.....	52
6.	Αποτελέσματα.....	58
6.1	Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης.....	58
6.1.1	Υπολογισμός μέτρου ελαστικότητας.....	60
6.1.2	Υπολογισμός αντοχής διαρροής θλίψης (Yield compression strength)-αντοχής θλίψης (compression strength) .....	61
6.2	Συζήτηση αποτελεσμάτων .....	61
	Συμπεράσματα .....	65
	Βιβλιογραφία.....	66
	Παράρτημα .....	68

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1-1: Κατάταξη πολυμερών[1] .....	8
Εικόνα 1-2: Ταξινόμηση πολυμερών ανάλογα με την πολυμερική αλυσίδα[2] .	9
Εικόνα 1-3: Ενοφθαλμισμένο συμπολυμερές.....	11
Εικόνα 1-4: Ακρυλονιτρίλιο-Βουταδιένιο-Στυρένιο.....	11
Εικόνα 1-5: Γενικός χημικός τύπος ABS [5]. .....	12
Εικόνα 1-6: Παραγωγή του ABS [3]. .....	13
Εικόνα 1-7: Σχηματικό διάγραμμα ροής των κύριων εργασιών που οδηγούν στην παραγωγή του ABS [8]. .....	14
Εικόνα 1-8: Σχηματικό διάγραμμα συσκευής χύτευσης με συμπίεση.....	16
Εικόνα 1-9: Σχηματικό διάγραμμα συσκευής χύτευσης με μεταφορά. ....	16
Εικόνα 1-10: αναπαράσταση μηχανής χύτευσης με έγχυση. ....	17
Εικόνα 1-11: Σχηματική αναπαράσταση εξώθησης. ....	18
Εικόνα 1-12: Αναπαράσταση χύτευσης με εμφύσηση. ....	18
Εικόνα 3-1: Τιμή ABS σε δολάρια ανά τόνο, σε διάφορες χώρες του κόσμου. ....	23
Εικόνα 3-2: Χρήση ABS και άλλων πολυμερών στην αυτοκινητοβιομηχανία.	24
Εικόνα 3-3: Αρχιτεκτονικά μοντέλα από ABS-M30, από τρισδιάστατη εκτύπωση.....	26
Εικόνα 3-4: Συσκευή σκληρού δίσκου που εκτυπώθηκε 3D με υλικό ABS-ESD7. ....	27
Εικόνα 4-1: Στάδια μηχανικής ανακύκλωσης[6] .....	29
Εικόνα 4-2: Διάγραμμα ροής της χρησιμοποιούμενης διαδικασίας ανακύκλωσης [9]. .....	32
Εικόνα 4-3: Αναπαράσταση μηχανήματος με δίσκους τεμαχισμού[10]. ....	34
Εικόνα 4-4: Αναπαράσταση τεχνικής συσσωμάτωσης του ανακυκλώσιμου υλικού[10]. .....	35
Εικόνα 4-5: Υδροκυκλώνας[10]. .....	36
Εικόνα 5-1: Το υλικό ABS σε μορφή σκόνης.....	38
Εικόνα 5-2: Κύλινδρος χάλυβα για την κατασκευή συνδέσμου της χυτόπρεσας. ....	39
Εικόνα 5-3: ο Τόρνος που χρησιμοποιήθηκε για τη μορφοποίηση του συνδέσμου. ....	39
Εικόνα 5-4: Κοπτικό εργαλείο για τη διαμόρφωση του αρσενικού μέρους του συνδέσμου. ....	40
Εικόνα 5-5: Σύνδεσμος μορφοποιημένος με την εσοχή κατά την διάρκεια της κατασκευής του. ....	40
Εικόνα 5-6: Κοπτικό εσωτερικής τórνευσης .....	40
Εικόνα 5-7: Αρχικά ανοίγεται τρύπα με το μικρότερο τρυπάνι και ακολούθως με τα μεγαλύτερα. ....	41
Εικόνα 5-8:Εσωτερική τórνευση.....	41
Εικόνα 5-9: Η πρέσα που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμίων. ....	42

Εικόνα 5-10: Το κομμάτι αλουμινίου που θα μορφοποιηθεί σε μήτρα για την χύτευση των δοκιμίων.....	43
Εικόνα 5-11: Φρέζα CNC της Haas.....	43
Εικόνα 5-12: έμβολο καλουπιού.....	44
Εικόνα 5-13: Μήτρα καλουπιού.....	44
Εικόνα 5-14: Τοποθετείται η μήτρα με τη σκόνη ABS στην πρέσα. ....	45
Εικόνα 5-15: Τοποθετείται το έμβολο πάνω στη μήτρα. ....	46
Εικόνα 5-16: Συμπίεση του ζεύγους εμβόλου- μήτρας με δύναμη 1ton και θερμοκρασία 200 °C. ....	46
Εικόνα 5-17: Τα δοκίμια όπως βγήκαν από το καλούπι, πριν καθαριστούν...	47
Εικόνα 5-18: Μηδενισμός τεμαχίου στη φρέζα CNC. ....	47
Εικόνα 5-19: CNC φρέζα της Haas. Φαίνεται και ο πίνακας ελέγχου.....	48
Εικόνα 5-20: Τοποθέτηση Magnetic Dial Setter και 3D Taster στην τράπεζα της φρέζας για τον μηδενισμό. ....	49
Εικόνα 5-21: Μηδενισμός της ατράκτου.....	49
Εικόνα 5-22: Μηδενισμός κοπτικού με την χρήση Magnetic Dial Setter.....	50
Εικόνα 5-23: Μηδενισμός κομματιού στον άξονα X,Y. ....	51
Εικόνα 5-24: Εργαλείο αναφοράς για το μηδενισμό του Z άξονα.....	52
Εικόνα 5-25: Τελική μορφή δοκιμίων. ....	52
Εικόνα 5-26: Μηχανή θλίψης.....	53
Εικόνα 5-27: Έναρξη δοκιμής θλίψης. ....	54
Εικόνα 5-28: Ένδειξη μετρήσεων φορτίου και μετατόπισης κατά την έναρξη της δοκιμής θλίψης. ....	54
Εικόνα 5-29: Άποψη των μετρήσεων μετατόπισης- χρόνου, δύναμης- χρόνου, τάσης- χρόνου, που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της φόρτισης. ....	55
Εικόνα 5-30: Παραμόρφωση του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της φόρτισής του, πριν αστοχήσει.....	56
Εικόνα 5-31: Αστοχία δοκιμίου ABS από θλιπτικές τάσεις. ....	56
Εικόνα 5-32: Διαστάσεις δοκιμίου σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D-695 ....	57
Εικόνα 6-1: Τυπικά διαγράμματα φορτίου θλίψης μεταβολής μήκους για ένα δοκίμιο από κάθε ομάδα A,B,Γ όπως και διαγράμματα υπολογισμού της αντίστοιχης κλίσης.....	59
Εικόνα 6-2: Συγκριτικό διάγραμμα F-ΔL για αντιπροσωπευτικά δοκίμια ομάδων A,B,B και ABS-25, ABS-33.....	62
Εικόνα 6-3: Συγκριτικά διαγράμματα υπολογισμού κλίσεων για αντιπροσωπευτικά δοκίμια ομάδων A,B,B και ABS-25, ABS-33.....	62
Εικόνα 6-4: Συγκριτικό διάγραμμα αντοχής διαρροής.....	63
Εικόνα 6-5: Συγκριτικό διάγραμμα αντοχής θλίψης.....	64
Εικόνα 6-6: Συγκριτικό διάγραμμα μέτρων ελαστικότητας.....	64

## Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη αντοχής σε θλίψη δοκιμίων από το θερμοπλαστικό πολυμερές ABS, τα οποία έχουν χυτευθεί με συμπίεση. Το ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο είναι ένα τριπολυμερές που ανήκει στην κατηγορία των θερμοπλαστικών και ονομάζεται σε συντομία ABS. Τα θερμοπλαστικά, όταν η θερμοκρασία τους φτάσει σε μια κατάλληλη περιοχή γίνονται εύκαμπτα και μαλακά, με αποτέλεσμα είναι εύκολα μορφοποιήσιμα, ενώ όταν ψυχρανθούν σκληραίνουν και αυτή η διαδικασία είναι αντιστρεπτή. Οι σημαντικότερες μηχανικές ιδιότητες του ABS είναι η αντοχή στην κρούση και η ανθεκτικότητα. Το ABS χρησιμοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία, σε εξαρτήματα όπως έδρανα, γρανάζια και άλλα, σε σωληνώσεις και δεξαμενές, αγωγούς χημικών, σε περιβλήματα ηλεκτρονικών συσκευών και είναι ιδιαίτερα ελκυστικό υλικό στην τρισδιάστατη εκτύπωση.

Στη χύτευση με συμπίεση το πολυμερές τοποθετείται σε καλούπι που έχει αρσενικό και θηλυκό τμήμα (έμβολο και μήτρα) και το ένα από αυτά τα τμήματα μπορεί να κινηθεί, ώστε να εφαρμοστεί πίεση. Το καλούπι θερμαίνεται ώστε το πλαστικό να γίνει ιξώδες και να λάβει το σχήμα του καλουπιού. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν ABS terluran hi10 σε σκόνη. Το καλούπι παρασκευάστηκε από πλάκα αλουμινίου και μορφοποιήθηκε σε φρέζα CNC της Haas, στο εργαστήριο Κατασκευαστικών Τεχνολογιών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών. Η χύτευση με συμπίεση έγινε σε θερμοπρεσσα, με θερμοκρασία 200°C, στο εργαστήριο Κατασκευαστικών Τεχνολογιών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών. Από κάθε καλούπι προκύπτουν τρία δοκίμια, τα οποία μορφοποιούνται ώστε να έχουν τις διαστάσεις 12,7mm πάχος και 50,7mm μήκος (κατά το πρότυπο ASTM D695). Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές θλίψης ήταν 17.

Για τις δοκιμές θλίψης που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκε η μηχανή εφελκυσμού-θλίψης του εργαστηρίου Τεχνολογίας Υλικών. Το εφαρμοζόμενο φορτίο και η μεταβολή μήκους μετριούνται με αισθητήρες που συνδέονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου το πρόγραμμα LabView καταγράφει τα δεδομένα. Η ταχύτητα δοκιμασίας ήταν 7mm/min.

Τα διαγράμματα φορτίου-Μεταβολής μήκους δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα OriginPro 8. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι τα δοκίμια μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες (Α, Β, Γ) ως προς την αντοχή και την ελαστικότητα τους. Η αντοχή διαρροής θλίψης, η αντοχή θλίψης και το μέτρο ελαστικότητας της ομάδας Β είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων αυτών των δοκιμίων της ομάδας Α. Συγκεκριμένα η  $\sigma_y$  της ομάδας Β είναι μεγαλύτερη κατά 67%, η  $\sigma_{TS}$  52% και το μέτρο ελαστικότητας κατά 44%. Οι τιμές  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{TS}$  και Ε της ομάδας Γ βρίσκονται μεταξύ των άλλων δύο ομάδων, είναι μικρότερες της ομάδας Β και μεγαλύτερες της Α. Οι λόγοι που μπορεί να υπάρχουν αυτές οι διαφορές οφείλονται σε διαφοροποιήσεις κατά την παραγωγή τους και ποικίλουν. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα

που προέκυψαν συγκρίθηκαν με αποτελέσματα αντίστοιχης δοκιμασίας σε δοκίμια που κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο Rapid Prototype χρησιμοποιώντας το 3D printer του εργαστηρίου, από άλλη πτυχιακή εργασία. Από τη σύγκριση αυτή προέκυψε ότι μόνο τα αποτελέσματα τις ομάδας Β είναι συγκρίσιμα.

Συμπερασματικά, η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την παραγωγή των δοκιμίων παρουσιάζει αρκετές αβεβαιότητες, αφού προέκυψαν τρεις ομάδες αποτελεσμάτων και μάλιστα οι δύο από αυτές φανερώνουν σημαντική υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού.



**Abstract**

The purpose of this scientific research is to test the compressive strength of thermoplastic test pieces ABS (acrylonitrile – butadiene – styrenium) which were molded by the compression molding method. ABS has great endurance on impact and great durability, it is used in car industry, on pipes and many more and it's extremely useful material in three- dimensional printing. In the compression molding method the polymer is placed in a mold (template and piston) in which it is heated and then pressure was put on it. The mold was made of aluminium and was molded in a Haas CNC milling machine at the Engineering Technologies Laboratory of the department of Mechanical Engineering. The specimens are in accordance with ASTM D695. The compression tests were carried out in the Materials Technology Laboratory and a tensile – compressive machine was used. Load and change of length using sensors and computer, recorded the data and processed with Labview and Origin Pro 8 respectively. Finally, the results were compared with those produced by the Rapiit Prototype method.

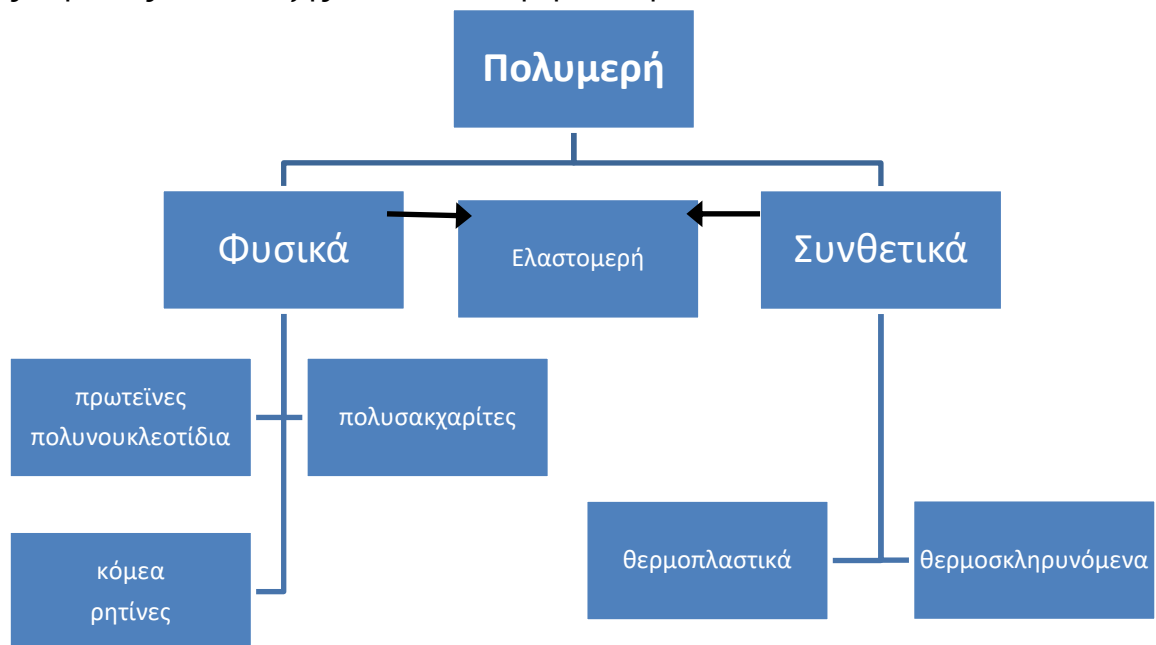
# Μέρος Α

*Το υλικό*

## 1. Πολυμερή

Πολυμερή ονομάζονται οι χημικές ενώσεις με μεγάλα μόρια, τα λεγόμενα μακρομόρια, που σχηματίζονται από τη σύνδεση πολλών όμοιων μικρών μορίων, που λέγονται "μονομερή". Τα πολυμερή προκύπτουν από τη χημική αντίδραση των μονομερών, που ονομάζεται πολυμερισμός. Σε κάθε μόριο, τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς.

Ένας τρόπος κατάταξης των πολυμερών φαίνεται στο Εικόνα 1-1.



Εικόνα 1-1: Κατάταξη πολυμερών[1]

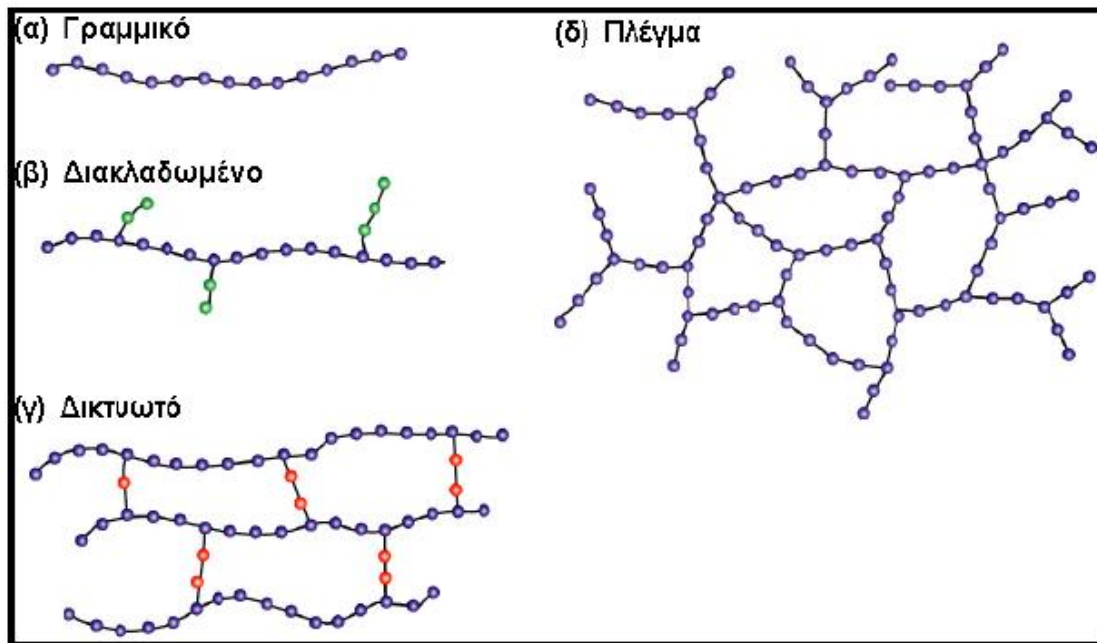
Τα φυσικά πολυμερή έχουν συνήθως πιο πολύπλοκες δομές από τα συνθετικά και δεν θα αναφερθούμε σε αυτά παραπάνω. Τα ελαστομερή μπορεί να είναι τόσο φυσικά όσο και συνθετικά και έτσι κατατάσσονται ως κοινή υποομάδα.

Ένα θερμοπλαστικό πολυμερές γίνεται μαλακό και ευκατέργαστο όταν θερμανθεί πάνω από μια ορισμένη θερμοκρασία και σκληραίνει όταν ψύχεται- οι διαδικασίες αυτές είναι αντιστρεπτές και μπορούν να επαναληφθούν. Μη αντιστρεπτή υποβάθμιση συμβαίνει όταν η θερμοκρασία ενός τήγματος αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να σπάσουν οι πρωτεύοντες ομοιοπολικοί δεσμοί. Τα περισσότερα γραμμικά πολυμερή καθώς και αυτά που έχουν διακλαδωμένες δομές με ευέλικτες αλυσίδες είναι θερμοπλαστικά.

Από την άλλη, τα θερμοκληρυνόμενα πολυμερή μπορούν να μορφοποιηθούν μόνο κατά την πρώτη θέρμανση. Κατά την αρχική θερμική κατεργασία, δημιουργούνται ομοιοπολικοί δεσμοί διασταυρώσεων μεταξύ γειτονικών μοριακών αλυσίδων. Αυτοί οι δεσμοί προσδένουν τις αλυσίδες μεταξύ τους ώστε να αντιστέκονται στις κινήσεις των αλυσίδων σε υψηλές θερμοκρασίες. Μόνο η θέρμανση σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες θα προκαλέσει καταπόνηση αυτών των δεσμών διασταυρώσεων (σταυροδεσμών) και υποβάθμιση του πολυμερούς.

Τα πολυμερή που έχουν τη δυνατότητα να κρυσταλλωθούν ονομάζονται κρυσταλλικά πολυμερή, ενώ αυτά που δεν παρουσιάζουν κρυσταλλικότητα λέγονται άμορφα. Ενώ σε ένα πολυμερές που συνυπάρχουν κρυσταλλικές και άμορφες περιοχές ονομάζεται ημικρυσταλλικό.

Ένα άλλο είδος ταξινόμησης των πολυμερών είναι ανάλογα με την αρχιτεκτονική της πολυμερικής αλυσίδας, όπως φαίνεται στο Εικόνα 1-2.



Εικόνα 1-2: Ταξινόμηση πολυμερών ανάλογα με την πολυμερική αλυσίδα[2]

**Γραμμικό (linear):** Τα μόρια του έχουν τη μορφή απλής αλυσίδας και αναπτύσσονται σε μία διάσταση του χώρου.

**Διακλαδωμένο (branched):** Τα μόρια του έχουν τη μορφή κλάδων δέντρου, αποτελούνται από μία βασική αλυσίδα από την οποία αναπτύσσονται πλευρικές διακλαδώσεις (που δεν ανήκουν στη δομή του μονομερούς) και αναπτύσσονται σε δύο διαστάσεις του χώρου.

**Δικτυωτό ή διασταυρούμενο (crosslinked) ή πλέγμα (network):** Τα μόρια του αποτελούνται από αλυσίδες που συνδέονται μεταξύ τους με διασταυρούμενες συνδέσεις σχηματίζοντας πλέγμα. Αναπτύσσεται στις τρεις διαστάσεις του χώρου.

Ο όρος **πλέγμα** χρησιμοποιείται συνήθως όταν τα άτομα των συνδέσεων είναι όμοια με εκείνα των αλυσίδων.

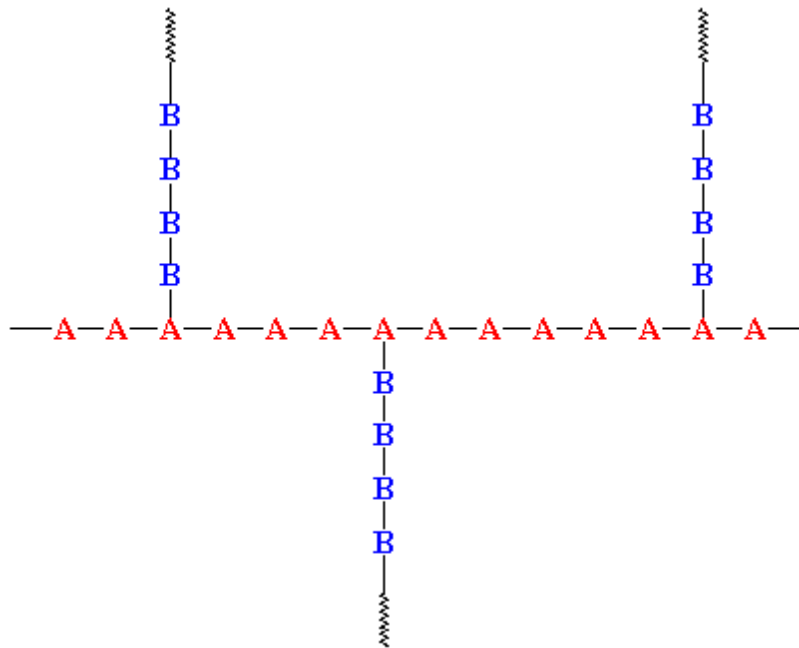
Ανάλογα με την οργάνωση της κύρια αλυσίδας τους τα πολυμερή ταξινομούνται σε:

**Ομοπολυμερή (homopolymers):** Τα μόρια τους αποτελούνται από ένα είδος δομικών μονάδων, π.χ.  $— A — A — A — A — A — A —$

**Συμπολυμερή (copolymers):** Τα μόρια τους αποτελούνται από δύο (συνήθως) ή περισσότερα είδη δομικών μονάδων.

Αν δύο μονομερή A και B πολυμεριστούν μαζί, τότε είναι δυνατές οι ακόλουθες τέσσερις διευθετήσεις στη δομή του προκύπτοντος συμπολυμερούς:

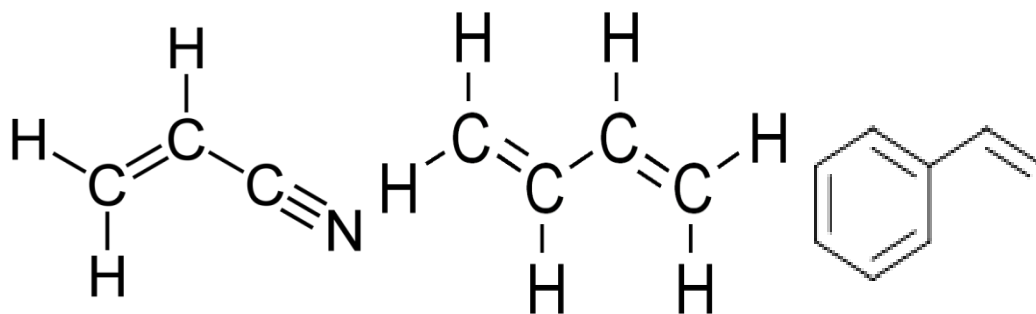
- **Τυπικό ή τυχαίο συμπολυμερές (random copolymer):** Η διάταξη των δομικών μονάδων του είναι τυχαία και τα ομοπολυμερή τμήματα του μικρά, π.χ.  $— A — A — B — A — B — B — A — A — B — B — B — A —$
- **Εναλλασσόμενο συμπολυμερές (alternating copolymer):** Οι δύο δομικές μονάδες ακολουθούν κανονικά εναλλασσόμενη διάταξη, π.χ.  
 $— A — B — A — B — A — B — A — B — A — B —$
- **Αδρομερές συμπολυμερές (block copolymer):** Η διάταξη των δομικών μονάδων αποδίδει μόριο που αποτελείται από “αδρά” ομοπολυμερή τμήματα, π.χ.  $— A — A — A — A — A — A — B — B — B — B — B — B —$
- **Ενοφθαλισμένο συμπολυμερές (graft copolymer):** Η διάταξη των δομικών μονάδων αποδίδει έναν ομοπολυμερή κορμό, από τον οποίο αναπτύσσονται ομοπολυμερή τμήματα από δομικές μονάδες άλλου είδους, π.χ. Εικόνα 1-3.



Εικόνα 1-3: Ενοφθαλμισμένο συμπολυμερές

### 1.1 Χημική Σύνθεση συμπολυμερούς Ακρυλονιτρίλιο-Βουταδιένιο –Στυρένιο (ABS).

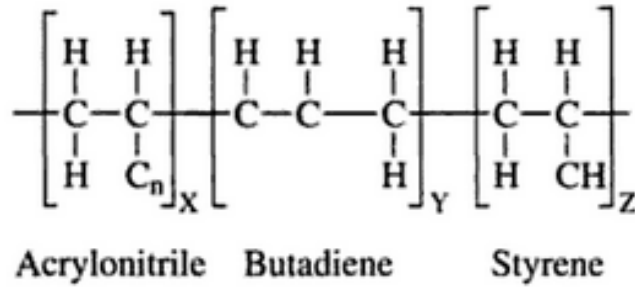
Το ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο είναι ένα τριπολυμερές που ανήκει στην κατηγορία των θερμοπλαστικών και ονομάζεται σε συντομία ABS. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης<sup>1</sup> είναι περίπου 105°C. Επειδή το ABS είναι άμορφο δεν έχει πραγματικό σημείο τήξης. Στο Εικόνα 1-4 φαίνονται οι χημικοί τύποι των μονομερών από τα οποία αποτελείται το ABS, ενώ στο Εικόνα 1-5 ο χημικός τύπος του ABS.



Εικόνα 1-4: Ακρυλονιτρίλιο-Βουταδιένιο-Στυρένιο

Πηγή: <https://el.wikipedia.org>

<sup>1</sup> Με τη θέρμανση άνω της θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης, το άμορφο στερεό πολυμερές μετασχηματίζεται από δύσκαμπτο σε ελαστόμορφο. Την υαλώδη μετάβαση συνοδεύουν και άλλες απότομες αλλαγές φυσικών ιδιοτήτων, π.χ. της ακαμψίας, της θερμοχωρητικότητας και του συντελεστή θερμικής διαστολής.



Εικόνα 1-5: Γενικός χημικός τύπος ABS [5].

Το **ακρυλονιτρίλιο** είναι μια χημική ένωση με τον χημικό τύπο  $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}$ . Αυτό το άχρωμο υγρό συχνά εμφανίζεται ως κίτρινο λόγω των προσμίξεων. Από πλευράς μοριακής δομής, αποτελείται από μια βινυλομάδα συνδεδεμένη με ένα νιτρίλιο.

Το **βουταδιένιο-1,3** ή διβινύλιο είναι μέλος της ομόλογης σειράς των αλκαδιενίων, δηλαδή ένας ακόρεστος, άκυκλος υδρογονάνθρακας με δύο διπλούς δεσμούς. Ο χημικός του τύπος είναι:  $\text{C}_4\text{H}_6$ . Είναι ένα άχρωμο αέριο που χρησιμοποιείται ευρύτατα ως πρώτη ύλη σύνθεσης άλλων οργανικών ενώσεων.

Το **στυρένιο** (ή στυρόλιο ή αιθενυλοβενζόλιο ή βινυλοβενζόλιο ή φαινυλοαιθένιο) ανήκει στην οικογένεια των αρωματικών υδρογονανθράκων. Είναι άχρωμο ελαιώδες υγρό με χαρακτηριστική γλυκιά οσμή, σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις. Αποτελεί μονομερές των πολυστυρολίων και πολλών συμπολυμερών.

Οι αναλογίες των μονομερών μπορούν να κυμαίνονται μεταξύ 15-35% για το ακρυλονιτρίλιο, 5-30% το βουταδιένιο και 40-60% το στυρένιο. Κάθε συστατικό επηρεάζει το σύνολο των ιδιοτήτων στο συμπολυμερές. Το ακρυλονιτρίλιο αρχικά προσφέρει χημική αντοχή και θερμική σταθερότητα. Το βουταδιένιο δίνει αντοχή και ισχύ στην κρούση και ελαστικότητα ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες και το στυρένιο δίνει δυσκαμψία, ικανότητα για μορφοποίηση και μια λεία αδιαπέραστη επιφάνεια[3].

## 1.2 Παραγωγή του συμπολυμερούς Ακρυλονιτρίλιο-Βουταδιένιο-Στυρένιο (ABS).

Το περισσότερο βιομηχανικό ακρυλονιτρίλιο παράγεται με καταλυτική αμμωνιοξειδωση του προπενίου, γνωστή επίσης ως διεργασία σόχιο (Sohio). Στη διεργασία Sohio, το προπένιο, η αμμωνία, και ο αέρας (οξειδωτικό) διέρχονται μέσα από ένα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης.

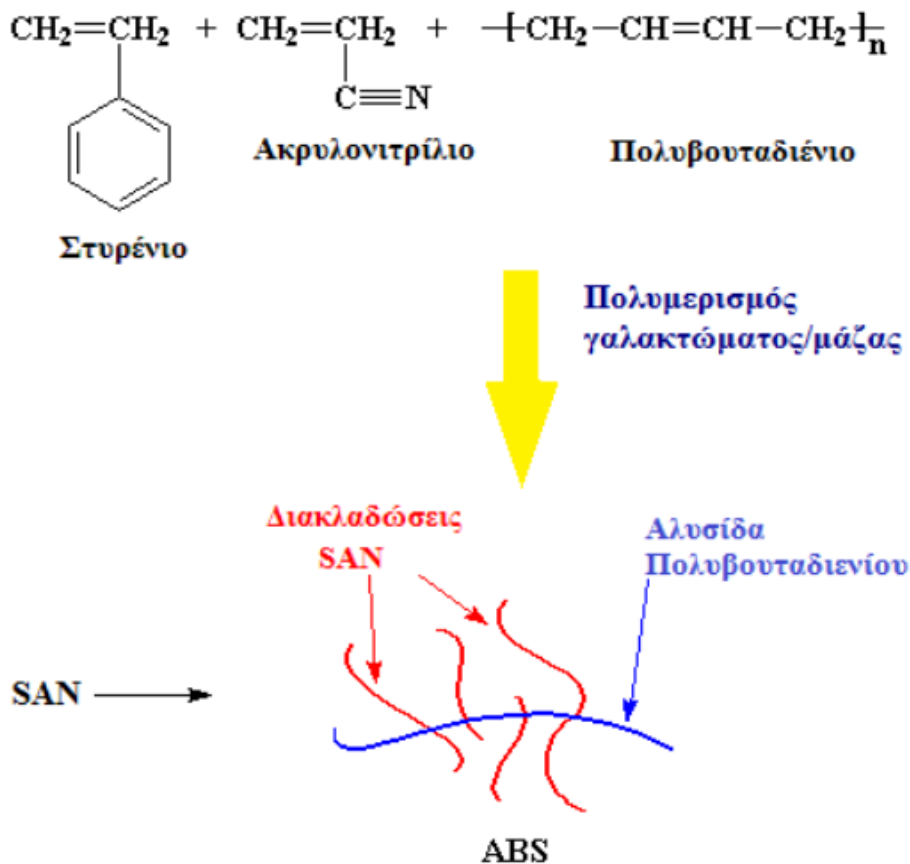
Το βουταδιένιο-1,3 παράγονταν συνήθως ως ένα παραπροϊόν της πυρόλυσης με ατμό κλασμάτων πετρελαίου, δηλαδή αλειφατικών υδρογονανθράκων που θερμαίνονταν σύντομα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Υπάρχουν όμως

πολλοί άλλοι τρόποι παραγωγής του, όπως για παράδειγμα η καταλυτική αφυδρογόνωση βουτανίου.

Η πυρόλυση πετρελαίου ή βενζίνης σχετικά πλούσιας σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες μπορεί να δώσει μίγματα που περιέχουν στυρένιο. Καθαρό στυρένιο παρασκευάζεται με τις ακόλουθες μεθόδους:

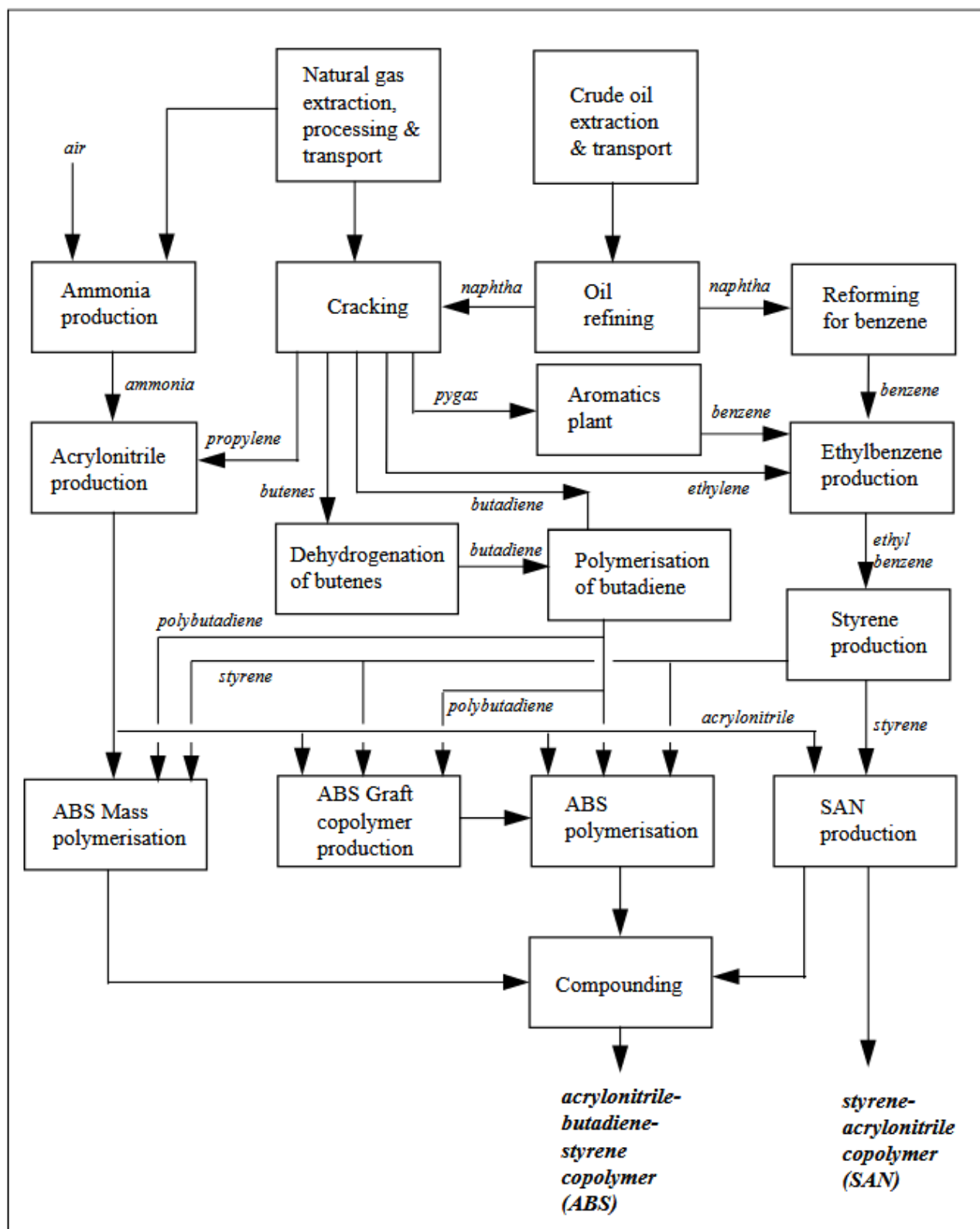
- με καταλυτική αφυδρογόνωση αιθυλοβενζολίου
- από φαινυλαλογονίδιο και βινυλαλογονίδιο
- με βυνιλίωση
- με προσθήκη βενζολίου σε αιθίνιο

Τα συμπολυμέρη ABS αποτελούν ένα διφασικό σύστημα, που περιέχει μικρά σταγονίδια πολυβουταδιενίου διεσπαρμένα στη κύρια μήτρα του SAN<sup>2</sup>. Στην πραγματικότητα εκείνο που συμβαίνει, είναι ότι μικρές ποσότητες στυρενίου και ακρυλονιτριλίου συμπολυμερίζονται και εμβολιάζονται επάνω στα μακρομόρια του πολυβουταδιενίου, όπως φαίνεται και στο Εικόνα 1-6. Η μορφολογία του ABS καθορίζεται κατά κύριο λόγο με in situ διαδικασία παρασκευής πολυμερισμού που μπορεί να είναι είτε μάζας είτε γαλακτώματος. Η τελευταία μέθοδος είναι και ως επί το πλείστον χρησιμοποιούμενη βιομηχανική μέθοδος[3].



Εικόνα 1-6: Παραγωγή του ABS [3].

<sup>2</sup> SAN: Συμπολυμερές στυρενίου/ακρυλονιτριλίου



Εικόνα 1-7: Σχηματικό διάγραμμα ροής των κύριων εργασιών που οδηγούν στην παραγωγή του ABS [8].

### 1.3 Τεχνικές μορφοποίησης πολυμερών [13]

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μορφοποίηση ενός πολυμερούς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: την φύση του υλικού (θερμοπλαστικό ή θερμοσκληρυνόμενο, κρυσταλλικό ή άμορφο), τις φυσικές ιδιότητές του



(θερμοκρασία αποσκλήρυνσης, θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης κλπ.) και την γεωμετρία και το μέγεθος του τελικού προϊόντος.

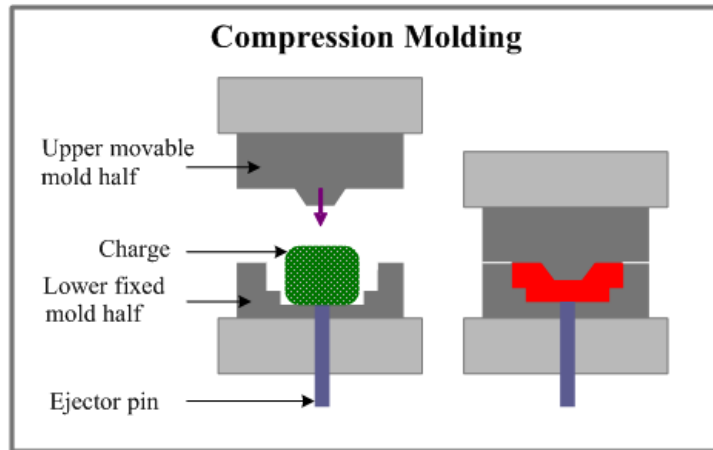
Η κατεργασία θερμοπλαστικών πολυμερών συνήθως επιτυγχάνεται σε δύο στάδια:

- I. Την παρασκευή ενός γραμμικού πολυμερούς (προπολυμερές) με τη μορφή υγρού, που έχει μικρό μοριακό βάρος.
- II. Την σκλήρυνση, κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας το υλικό μετατρέπεται στο τελικό και δύσκαμπτο προϊόν, συνήθως σε καλούπι του επιθυμητού σχήματος. Η σκλήρυνση μπορεί να επιτευχθεί με θέρμανση ή/και προσθήκη καταλυτών και συχνά υπό πίεση. Στην διάρκεια της διαδικασίας συμβαίνουν χημικές και δομικές μεταβολές σε μοριακό επίπεδο (σχηματίζεται μια διακλαδωμένη ή δικτυωμένη δομή).

Η χύτευση σε καλούπι είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τη μορφοποίηση των πλαστικών. Μεταξύ των διαφόρων τεχνικών χύτευσης είναι η συμπίεση, η μεταφορά, η εμφύσηση, η έγχυση και η εξώθηση. Για κάθε μια από αυτές τις τεχνικές μια ποσότητα τεμαχισμένου ή κονιορτοποιημένου πολυμερούς υποχρεώνεται σε υψηλή θερμοκρασία και υπό πίεση, να περάσει από κοιλότητα καλουπιού, να τη γεμίσει και να πάρει το σχήμα της.

### **1.3.1 Χύτευση με συμπίεση και μεταφορά (compression and transfer molding)**

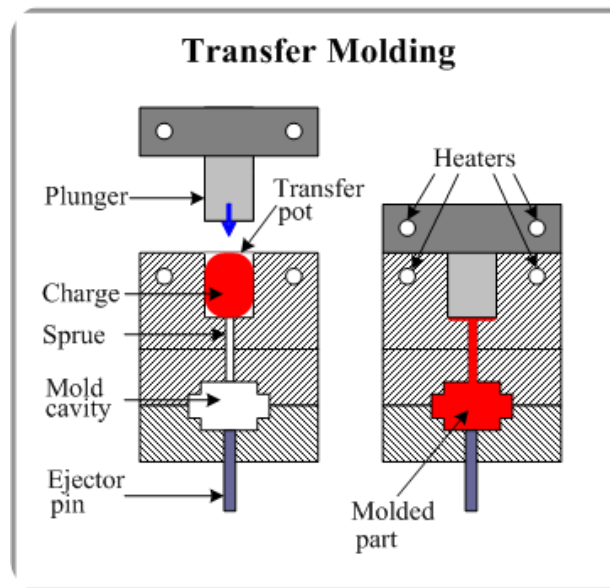
Κατά τη μέθοδο αυτή, οι κατάλληλες ποσότητες πολυμερούς, αναμειγμένου με τα αναγκαία πρόσθετα, τοποθετούνται στη μήτρα και συμπιέζονται από το έμβολο του καλουπιού. Και τα δύο τμήματα του καλουπιού θερμαίνονται, όμως μόνο το ένα μπορεί να μετακινηθεί, Εικόνα 1-8. Το καλούπι κλείνει και εφαρμόζεται θερμότητα και πίεση, τα οποία βοηθούν το πλαστικό να γίνει ιξώδες και να συμμορφωθεί με το σχήμα του καλουπιού. Πριν τη χύτευση, τα ακατέργαστα υλικά μπορούν να αναμειχθούν και να πιεστούν εν ψυχρώ σε ένα δίσκο, που ονομάζεται προφόρμα. Η προθέρμανση της προφόρμας προκαλεί μείωση του χρόνου χύτευσης και της πίεσης, επιμηκύνει το χρόνο ζωής της μήτρας και δημιουργεί ένα πιο ομοιόμορφο τελικό κομμάτι. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται τόσο για θερμοπλαστικά όσο και για θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή. Όμως η χρήση της με τα θερμοπλαστικά είναι πιο χρονοβόρα και δαπανηρή.



Εικόνα 1-8: Σχηματικό διάγραμμα συσκευής χύτευσης με συμπίεση.

ΠΗΓΗ: <http://www.plasticmoulds.net/compression-or-transfer-molding-process.html>

Στη χύτευση με μεταφορά που είναι μια παραλλαγή της χύτευσης με συμπίεση, τα στερεά συστατικά πρώτα τήκονται σε ένα θερμαινόμενο θάλαμο αποτύπωσης.

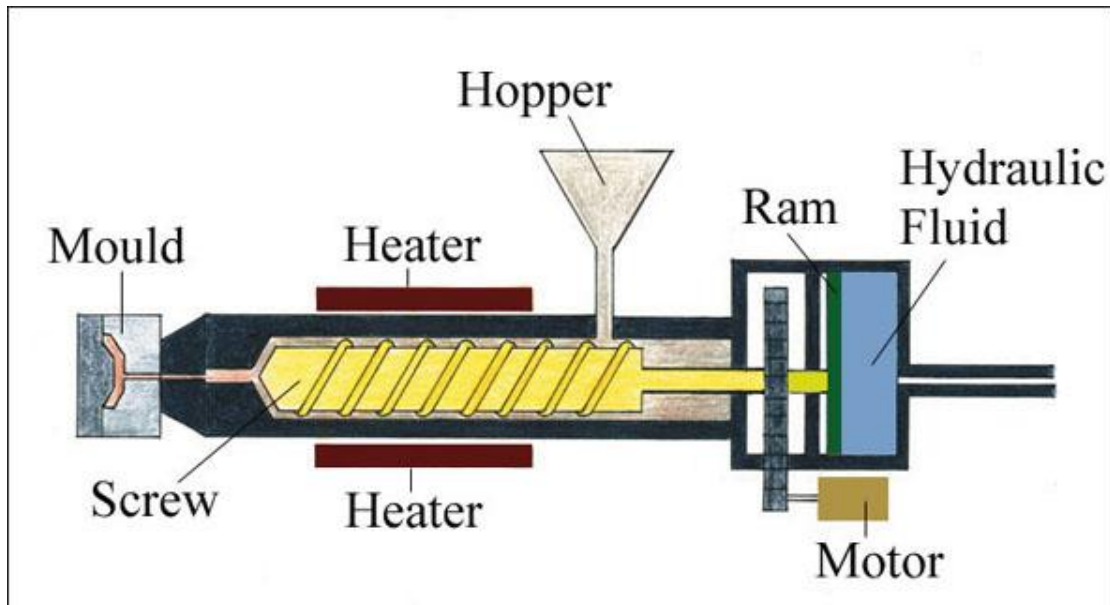


Εικόνα 1-9: Σχηματικό διάγραμμα συσκευής χύτευσης με μεταφορά.

### 1.3.2 Χύτευση με έγχυση (injection molding)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα για την κατεργασία θερμοπλαστικών υλικών. Στην Εικόνα 1-10 φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση της χρησιμοποιούμενης συσκευής. Κοκκοποιημένο ή κονιοποιημένο θερμοπλαστικό τροφοδοτείται από μία χοάνη στη μηχανή χύτευσης με έγχυση. Η μηχανή αποτελείται από ένα κοίλο χαλύβδινο βαρέλι, που περιέχει έναν περιστρεφόμενο κοχλία (ατέρμονα). Ο κοχλίας φέρει το πλαστικό κατά μήκος του βαρελιού στο καλούπι. Οι θερμαντήρες περιβάλλουν το βαρέλι και τήκουν το πλαστικό καθώς αυτός ταξιδεύει κατά μήκος του κυλίνδρου. Μόλις συλλεχθεί αρκετό πλαστικό στο άκρο του κυλίνδρου, το υδραυλικό έμβολο σπρώχνει τον κοχλία προς τα εμπρός, εισάγοντας το

πλαστικό μέσα σε ένα καλούπι. Το καλούπι θερμαίνεται πριν από την έγχυση του υλικού και το πλαστικό εγχέεται γρήγορα για να αποφευχθεί η σκλήρυνσή του προτού γεμίσει το καλούπι. Η πίεση διατηρείται για σύντομο χρονικό διάστημα (χρόνος παραμονής) για να αποφευχθεί η υστέρηση του υλικού κατά τη ρύθμιση (σκλήρυνση). Αυτό αποτρέπει τη συρρίκνωση και τα κοίλα, δίνοντας έτσι ένα προϊόν καλύτερης ποιότητας. Το υλικό αφήνεται να ψυχθεί πριν αφαιρεθεί (εκτοξευθεί) από το καλούπι.



Εικόνα 1-10: αναπαράσταση μηχανής χύτευσης με έγχυση.

ΠΗΓΗ: <http://www.design-technology.org/injectiondrawing.JPG>

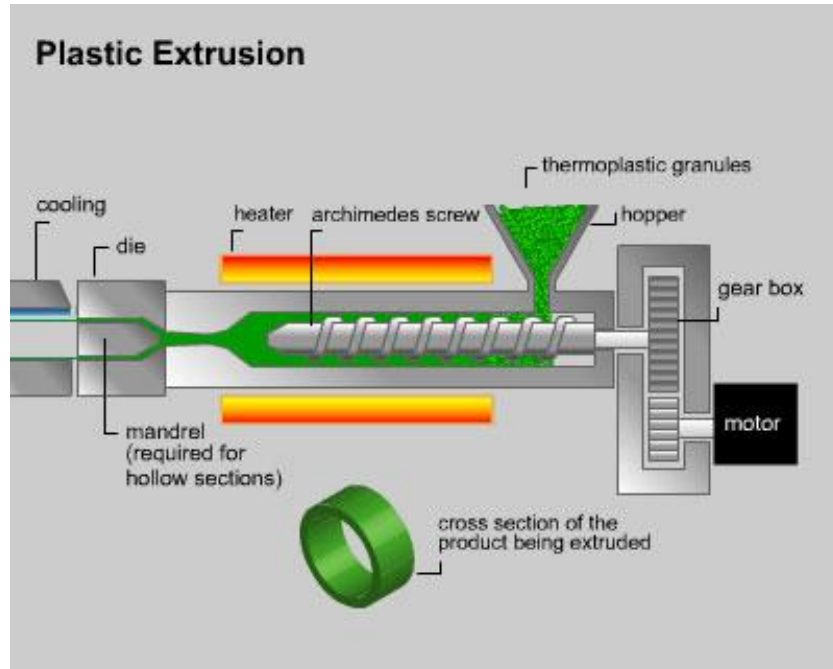
Το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι η ταχύτητα με την οποία μπορούν να παραχθούν τεμάχια. Για τα θερμοπλαστικά, η στερεοποίηση του φορτίου μετά την απομάκρυνση επέρχεται σχεδόν άμεσα, με αποτέλεσμα οι χρόνοι του κύκλου της διαδικασίας να είναι σύντομοι (συνήθως 10 έως 30 sec).

Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θερμοσκληρυνόμενα. Η σκλήρυνση σε αυτή τη περίπτωση πραγματοποιείται καθώς το τεμάχιο βρίσκεται υπό πίεση στο καλούπι. Οι χρόνοι χύτευσης σε αυτή τη περίπτωση είναι πολύ μεγαλύτεροι σε σχέση με τα θερμοπλαστικά. Η διαδικασία αυτή μερικές φορές ονομάζεται χύτευση με έγχυση αντίδρασης (reaction injection molding, RIM).

### 1.3.3 Εξώθηση (Extrusion)

Η διαδικασία της εξώθησης είναι απλά χύτευση έγχυσης ενός παχύρευστου θερμοπλαστικού μέσω μιας μήτρας με ανοιχτό άκρο. Μια μηχανική βίδα ή ξυλοτρύπανο, προωθεί το τεμαχισμένο υλικό μέσω ενός θαλάμου, το οποίο διαδοχικά συμπιέζεται, τήκεται και μορφοποιείται μέσα σε ένα συνεχές φορτίο ιξώδους υγρού. Η εξώθηση πραγματοποιείται καθώς η τηγμένη αυτή μάζα ωθείται μέσω ενός ακροφυσίου μήτρας. Η στερεοποίηση του εξωθημένου

επιμήκους σώματος επιτυγχάνεται με εμφύσηση αέρα ή με ψεκασμό νερού, αμέσως πριν περάσει μέσα από ένα κινητό μεταφορέα. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα προσαρμοσμένη ώστε να παράγει συνεχή επιμήκη τεμάχια με σταθερές γεωμετρίες διατομής, πχ ράβδους, σωλήνες, νήματα.

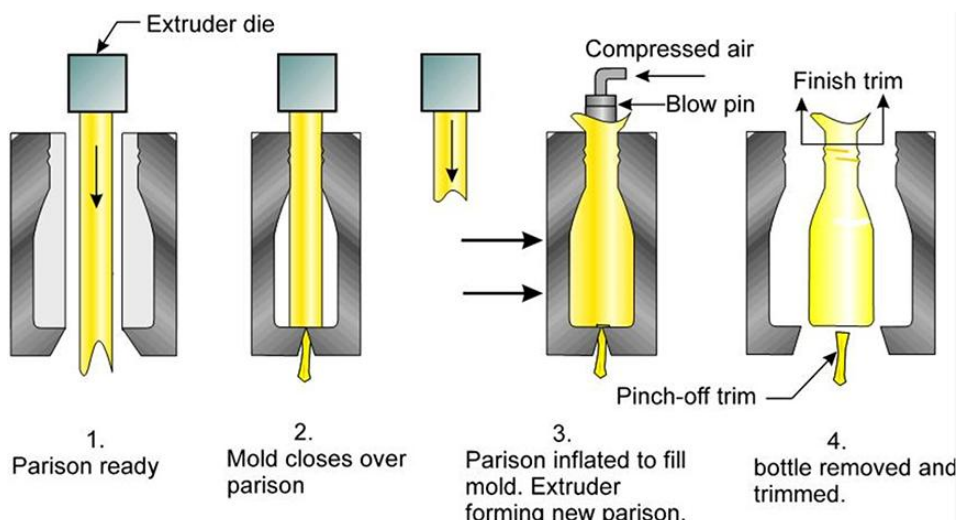


Εικόνα 1-11: Σχηματική αναπαράσταση εξώθησης.

ΠΗΓΗ:<http://www.canon-slade.bolton.sch.uk/microsites/Tech/knowledge%20folder/8%20manufacturing/plastic%20forming%20methods/plastic%20extrusion/extrusion.jpg>

### 1.3.4 Χύτευση με εμφύσηση (blow molding)

Η διαδικασία χύτευσης με εμφύσηση στην κατεργασία των πλαστικών δοχείων είναι παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται στην εμφύσηση των γυάλινων μπουκαλιών, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-12.



Εικόνα 1-12: Αναπαράσταση χύτευσης με εμφύσηση.

ΠΗΓΗ:<http://www.silganplastics.com/portals/0/Images/Extrusion-Blow-Molding.png>

Αρχικά εξωθείται ένα ακατέργαστο κομμάτι πολυμερούς, ή ένα επίμηκες κομμάτι από πολυμερή σωλήνα. Ενώ είναι ακόμα σε ημιτηγμένη κατάσταση (parison), το ακατέργαστο τεμάχιο του πολυμερούς τοποθετείται σε ένα καλούπι δύο τεμαχίων που έχει το επιθυμητό σχήμα του δοχείου. Το κούφιο κομμάτι σχηματίζεται εμφυσώντας αέρα ή ατμό υπό πίεση μέσα στο τεμάχιο, υποχρεώνοντας τα τοιχώματα του σωλήνα να ακολουθήσουν το περίγραμμα του καλουπιού. Φυσικά η θερμοκρασία και το ιξώδες πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά.

### 1.3.5 Χύτευση (casting)

Όπως τα μέταλλα και τα κεραμικά έτσι και τα πολυμερή υλικά μπορούν να χυτευθούν, καθώς ένα τηγμένο πλαστικό υλικό χύνεται σε ένα καλούπι και αφήνεται να στερεοποιηθεί. Μπορούν να χυτευθούν τόσο τα θερμοπλαστικά όσο και τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή. Στα θερμοπλαστικά, η στερεοποίηση γίνεται καθώς ψύχεται από την κατάσταση του τήγματος. Στα θερμοσκληρυνόμενα, η αντίδραση σκλήρυνσης είναι συνέπεια της πραγματικής διαδικασίας πολυμερισμού ή της αντίδρασης σκλήρυνσης, η οποία συνήθως συμβαίνει σε υψηλή θερμοκρασία.

## 2. Ιδιότητες ABS

Οι σημαντικότερες μηχανικές ιδιότητες του ABS είναι η αντοχή στην κρούση και η ανθεκτικότητα [4]. Μπορούν να γίνουν ποικίλες τροποποιήσεις για να βελτιωθεί η αντοχή στην κρούση, η ανθεκτικότητα και η αντοχή στη θερμότητα. Η αντίσταση στην κρούση μπορεί να ενισχυθεί αυξάνοντας τις αναλογίες πολυβουταδιενίου σε σχέση με το στυρόλιο και το ακρυλονιτρίλιο, αν και αυτό προκαλεί αλλαγές σε άλλες ιδιότητες. Η αντίσταση στην πρόσκρουση δεν πέφτει ραγδαία στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η σταθερότητα υπό φορτίο είναι εξαιρετική με περιορισμένα φορτία. Έτσι, αλλάζοντας τις αναλογίες των επιμέρους συστατικών του, το ABS μπορεί να παρασκευαστεί σε διαφορετικές ποιότητες. Δύο βασικές κατηγορίες θα μπορούσαν να είναι ABS για εξώθηση και ABS για χύτευση με έγχυση. Γενικά, το ABS έχει χρήσιμα χαρακτηριστικά σε μια περιοχή θερμοκρασιών από -20 έως 80 ° C.

Οι τελικές ιδιότητες επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από τις συνθήκες υπό τις οποίες το υλικό μεταποιείται στο τελικό προϊόν. Για παράδειγμα, η χύτευση σε υψηλή θερμοκρασία βελτιώνει τη σιλιπνότητα και την αντοχή στη θερμότητα του προϊόντος, ενώ η μεγαλύτερη αντοχή επιτυγχάνεται με χύτευση σε χαμηλή θερμοκρασία. Οι ίνες (συνήθως ίνες από γυαλί) και τα πρόσθετα μπορούν να αναμειχθούν στα σφαιρίδια ρητίνης για να καταστήσουν το τελικό προϊόν ισχυρό και να αυξηθεί η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας έως 80 ° C. Μπορούν επίσης να προστεθούν χρωστικές ουσίες, καθώς το αρχικό χρώμα πρώτης ύλης είναι ημιδιαφανές κρεμ ως λευκό. Τα χαρακτηριστικά γήρανσης των πολυμερών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα σε πολυβουταδιένιο. Είναι φυσιολογικό να συμπεριλαμβάνονται αντιοξειδωτικά στη σύνθεση. Υπάρχουν επίσης διαθέσιμα πρόσθετα τα οποία προστατεύουν από την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία.

Τα πολυμερή ABS είναι ανθεκτικά σε υδατικά οξέα, αλκάλια, πυκνά υδροχλωρικά και φωσφορικά οξέα, αλκοόλες και ζωικά, φυτικά και ορυκτά έλαια αλλά διογκώνονται με αδιάλυτο οξικό οξύ, τετραχλωράνθρακα και αρωματικούς υδρογονάνθρακες και προσβάλλονται από πυκνά θειικά και νιτρικά οξέα. Είναι διαλυτά σε εστέρες, κετόνες, διχλωριούχο αιθυλένιο και ακετόνη.

Παρόλο που τα πλαστικά ABS χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για μηχανικούς σκοπούς, έχουν επίσης ηλεκτρικές ιδιότητες που είναι αρκετά σταθερές σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Αυτές οι ιδιότητες επηρεάζονται ελάχιστα από την θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική υγρασία στο αποδεκτό εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας.

Το ABS είναι εύφλεκτο όταν εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Αρχικά θα λιώσει και έπειτα θα βράσει. Δεδομένου ότι το καθαρό ABS δεν περιέχει αλογόνα, η καύση του δεν παράγει συνήθως οργανικές ρυπογόνες ουσίες και

τα πιο τοξικά προϊόντα της καύσης ή της πυρόλυσης είναι μονοξειδίο του άνθρακα και κυανιούχο υδρογόνο. Το ABS επίσης καταστρέφεται από το φως του ήλιου.

Πίνακας 2-1: Οι ιδιότητες του συμπολυμερούς ABS.

<b>Φυσικές ιδιότητες</b>	
Πυκνότητα	1,04 g/cm <sup>3</sup>
Ροή τήγματος	18-23 g/10 min
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>	
Σκληρότητα, Rockwell R	103-112
Αντοχή σε εφελκυσμό, Απόδοση	42,5-44,8 MPa
Επιμήκυνση κατά τη θραύση	23-25%
Μέτρο κάμψης	2,25-2,28 GPa
Αντοχή σε κάμψη	60,6-73,1 MPa
Δύναμη κρούσης Izod	2,46-2,94 J/cm
<b>Ηλεκτρικές ιδιότητες</b>	
Αντίσταση στο τόξο	120sec
Συγκριτικός δείκτης παρακολούθησης	600V
Υψηλή ανάφλεξη καλωδίων, HWI	15sec
Υψηλή συμπίεση καυσαερίων, HAI	120arcs
Ρυθμός παρακολούθησης τόξου υψηλής τάσης, HVTR	25mm/min
<b>Θερμικές Ιδιότητες</b>	
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας, Αέρας	88-89 °C
Θερμοκρασία εκτροπής στα 1,8 MPa	88-89 °C
Σημείο μαλάκυνσης Vicat	100 °C
Ευφλεκτότητα, UL94	HB

Πηγή: [http://www.teststandard.com/data\\_sheets/ABS\\_Data\\_sheet.pdf](http://www.teststandard.com/data_sheets/ABS_Data_sheet.pdf)

Η αντοχή σε κρούση και η σκληρότητα είναι από τις πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες. Στο ABS η αντοχή σε κρούση δεν μειώνεται ραγδαία στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η σταθερότητα σε περιορισμένο φορτίο είναι εξαιρετική. Όταν συμβαίνει αστοχία σε κρούση η συμπεριφορά του υλικού είναι μάλλον όλκιμη παρά ψαθυρή. Η υγρασία έχει μικρή επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του ABS γεγονός που οδηγεί στην διατήρηση της διαστασιακής σταθερότητας των προϊόντων του. Με σκοπό την ενίσχυση της αντοχής του ABS μπορεί να ενισχυθεί με ίνες γυαλιού. Επίσης είναι εφικτό να παρασκευαστεί κράμα ή μείγμα του ABS με πολυανθρακικές ρητίνες (PC), που δίνει τα μέγιστα ποιοτικά αποτελέσματα και από τα δύο υλικά.

Το ABS μπορεί να προσβληθεί από οξειδωτικούς παράγοντες, ισχυρά οξέα και υπό την επίδραση συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων μπορεί να οδηγηθεί σε διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση. Είναι ανθεκτικό σε αλειφατικούς υδρογονάνθρακες όχι όμως και σε αρωματικούς και χλωριωμένους. Σε περίπτωση που παρασκευαστεί μείγμα ή ενισχυμένο ABS πρέπει να εξεταστεί η συμβατότητα με το υλικό όλων των επιμέρους συστατικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Πίνακας 2-2: Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα του ABS.

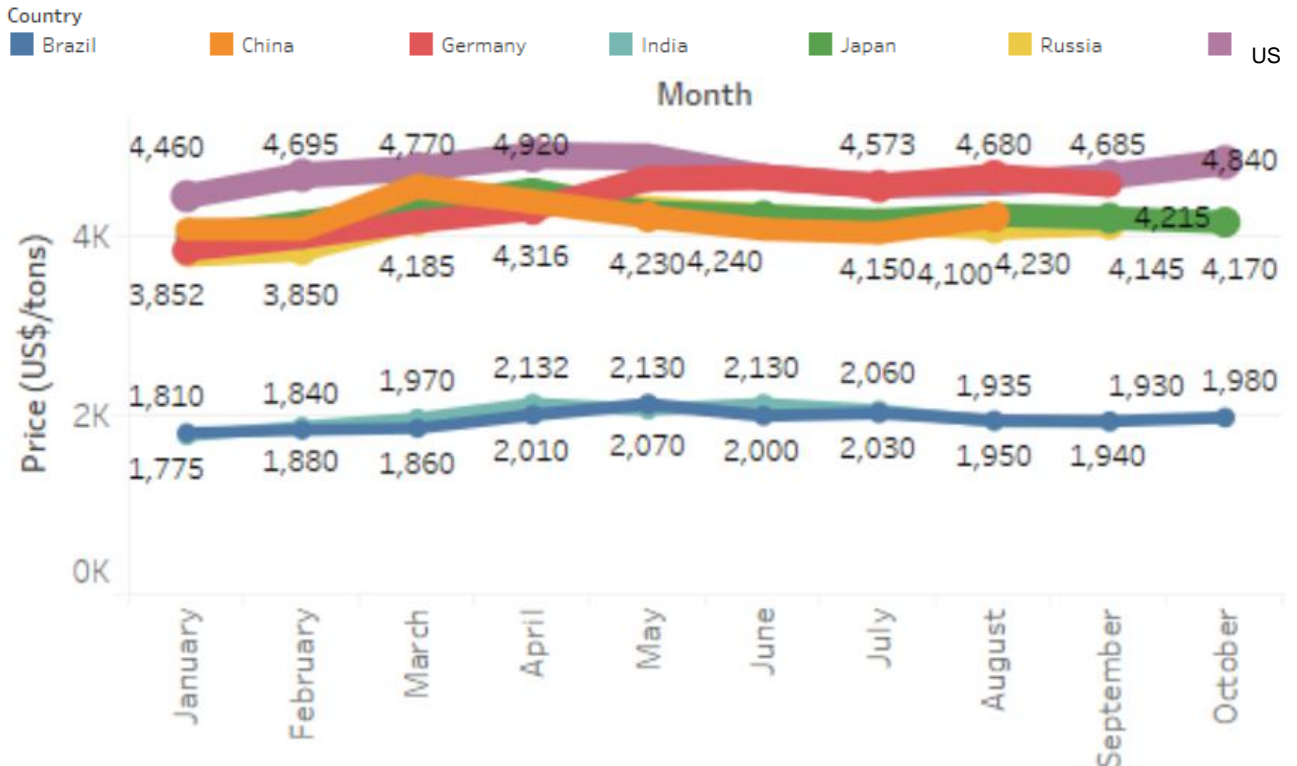
<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ/ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ:</b>
<p>Καλή αντοχή σε κρούση, επίσης παρουσιάζει σκληρότητα και ακαμψία</p> <p>Τα μεταλλικά επιχρίσματα έχουν εξαιρετική πρόσφυση στο ABS</p> <p>Δημιουργείται με συμβατικές θερμοπλαστικές μεθόδους</p> <p>Είναι ελαφρύ πλαστικό</p>	<p>Κακή αντοχή σε διαλύτες</p> <p>Χαμηλή διηλεκτρική αντοχή</p> <p>Υπάρχουν μόνο μικρές επιμηκύνσεις</p> <p>Χαμηλή συνεχής θερμοκρασία λειτουργίας</p>



### 3. Εμπορικά παράγωγα ABS και εφαρμογές

Το ABS χρησιμοποιείται στην παραγωγή επαγγελματικών μηχανημάτων, σε περιβλήματα κάμερας, σε φυσητήρες, έδρανα, γρανάζια, στροφείς αντλιών, δεξαμενές χημικών, απορροφητήρες καπνού, αγωγούς, σωληνώσεις και αγωγούς χημικών.

Το ABS είναι ιδιαίτερα ελκυστικό υλικό στην τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), λόγω ότι είναι σχετικά φθηνό, για παράδειγμα \$4,7 ανά κιλό στη Γερμανία και \$2 ανά κιλό στην Βραζιλία, όπως φαίνονται στην Εικόνα 3-1.



Εικόνα 3-1: Τιμή ABS σε δολάρια ανά τόνο, σε διάφορες χώρες του κόσμου.

ΠΗΓΗ: <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/abs-plastic/>

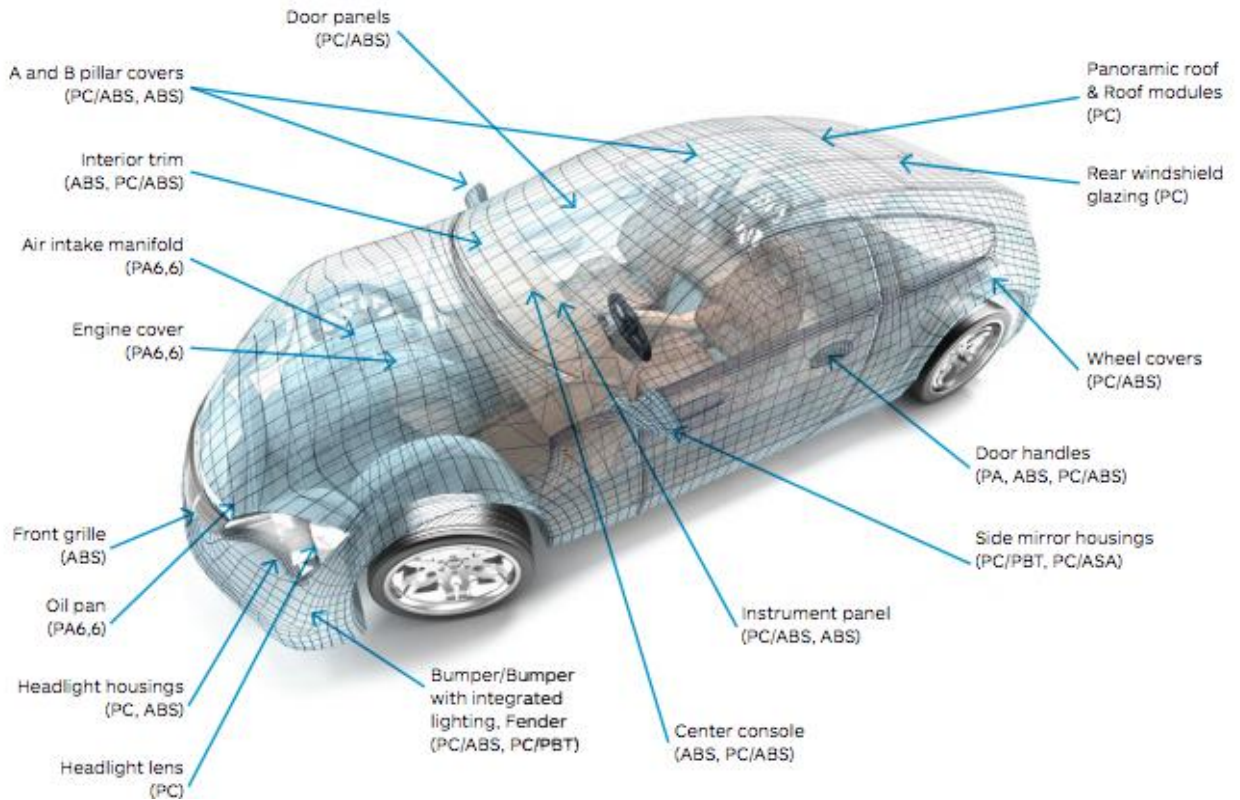
Επίσης είναι εύκολα μορφοποιήσιμο, αλλά και ανθεκτικό ακόμα και σε πιο υψηλές θερμοκρασίες, επίσης επιτρέπει την τροποποίηση των κομματιών μετά την εκτύπωση. Τα οφέλη της χρήσης καλής ποιότητας ABS στην τρισδιάστατη εκτύπωση είναι:

- ✓ Ωραίο και ομαλό φινίρισμα
- ✓ Οι ίνες ABS είναι σκληρές και ανθεκτικές
- ✓ Είναι ελαφρώς εύκαμπτα
- ✓ Ανθεκτικά στη θερμότητα και ευδιάλυτα στην ακετόνη
- ✓ Στερεοποιούνται γρήγορα

Μια άλλη ευρέως διαδεδομένη χρήση του υλικού αυτού είναι σε σωλήνες, οι οποίες δεν είναι ακριβές, είναι ελαφριές και δεν διαβρώνονται. Μπορούν να διατηρούν τις υψηλές θερμοκρασίες του ζεστού νερού και δεν συστέλλονται

από το κρύο νερό σαν της μεταλλικές σωλήνες. Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα χρήσης σωληνώσεων από ABS είναι τα εξής:

- ✓ Ευκολότερη εγκατάσταση και μικρότερο κόστος από τις μεταλλικές
- ✓ Προσφέρουν εξαιρετική ροή λόγω ομαλού εσωτερικού φινιρίσματος
- ✓ Ανθεκτικότητα σε μηχανικές ή χημικές βλάβες
- ✓ Ελαφρύ υλικό που δεν σκουριάζει ή διαβρώνεται
- ✓ Καλή απόδοση ακόμα και σε ασυνήθιστες θερμοκρασίες.



Εικόνα 3-2: Χρήση ABS και άλλων πολυμερών στην αυτοκινητοβιομηχανία.

ΠΗΓΗ: <https://blog.americanchemistry.com/wp-content/uploads/2014/11/Automobile-Light-weighting-solutions.png>

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3-2, το ABS χρησιμοποιείται ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία, κυρίως στην εσωτερική επένδυση, σε ταμπλό, χερούλια, στην μάσκα του αυτοκινήτου κ.α.

### 3.1 PC/ABS

Το PC/ABS είναι άμορφο θερμοπλαστικό κράμα, από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα βιομηχανικά θερμοπλαστικά στη βιομηχανία, με βελτιωμένη δυνατότητα επεξεργασίας, καλά χαρακτηριστικά ροής, αντοχή, ακαμψία και αντίσταση στη θερμότητα. Επίσης το υλικό αυτό δύναται να ενισχυθεί με ίνες γυαλιού ή ορυκτά πληρωτικά για ενίσχυση της αντοχής και της ακαμψίας. Από την έρευνα του Halonen προέκυψε ότι το μέτρο του Young αυξάνεται συστηματικά με την αύξηση της ποσότητας PC στο μείγμα. Η θερμοκρασία θερμικής παραμόρφωσης και η θερμοκρασία μαλάκυνσης Vicat

παρουσιάζουν επίσης σταθερή αύξηση από 0-50% κατά βάρος PC. Διαπιστώθηκε ότι η βέλτιστη ποσότητα σε ABS είναι 30% για πολλές εφαρμογές, καθώς η αντοχή σε κρούση είναι στο υψηλότερο σημείο της, ενώ η αντοχή σε θραύση και το μέτρο του Young είναι ακόμα σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η βέλτιστη κατανομή μεταξύ PC και ABS στο το μίγμα είναι μεταξύ 70 έως 90% κατά βάρος PC ανάλογα με την εφαρμογή, καθώς το 90% κατά βάρος PC αντέχει τις υψηλότερες τάσεις και παραμορφώσεις. Το 10% ABS, ωστόσο, συχνά δεν αυξάνει επαρκώς την επεξεργασιμότητα και τη χημική αντοχή στο μείγμα.

### 3.2 PA/ABS

Το PA/ABS είναι μίγμα ABS με πολυαμίδιο, το οποίο έχει υψηλή αντοχή σε κρούση, καλή ρευστότητα και σταθεροποίηση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτό το μείγμα χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην αυτοκινητοβιομηχανία, σε άβαφα εσωτερικά μέρη αυτοκινήτων, σε κεντρικές κονσόλες, σε εισαγωγές αέρα και καλύμματα τιμονιού. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει είναι η μεγαλύτερη απορρόφηση υγρασίας από το ABS, χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας και διηλεκτρική ισχύ από το πολυαμίδιο. Καθώς και χαμηλότερο μέτρο κάμψης και αντίσταση όγκου από το ABS. Ενώ τα βασικότερα πλεονεκτήματά του είναι η βελτιωμένη χημική αντίσταση, η μεγαλύτερη επιμήκυνση κατά την θραύση και καλύτερη αντοχή σε θραύση κατά την δοκιμή Izod.

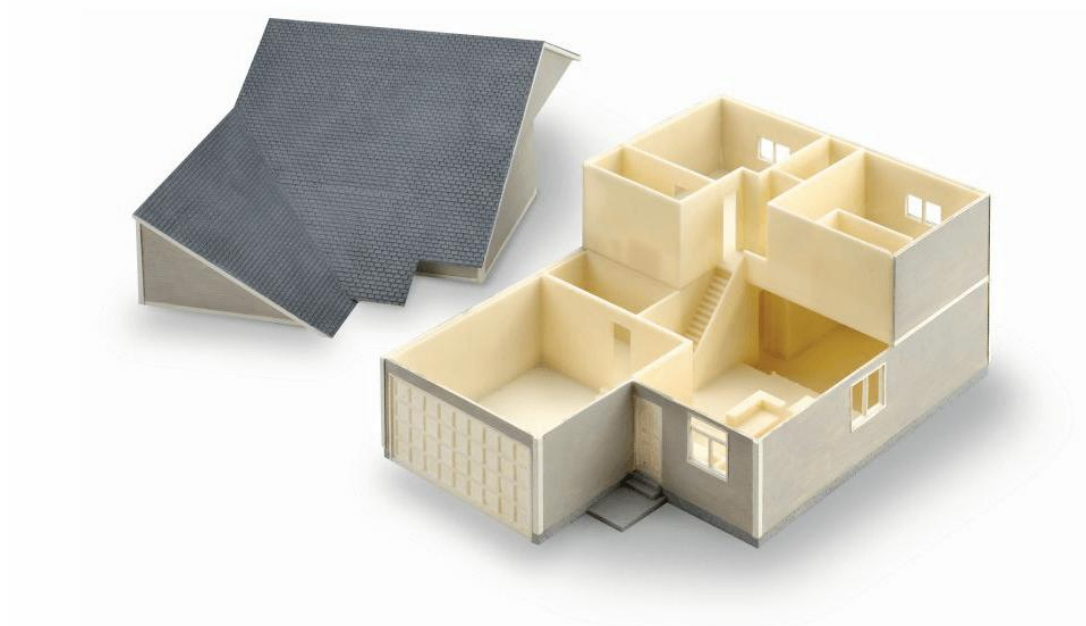
### 3.3 PBT/ ABS

Το πολυμερές τερεφθαλικό βουτυλένιο (PBT) μπορεί να αποτελέσει τροποποιητή κρούσης (impact modifier), όταν αναμειχθεί με ABS εντός ενός περιορισμένου εύρους επεξεργασίας. Η μορφολογία αυτών των μη συμβατών μιγμάτων είναι ασταθής, διεσπαρμένη φάση συσσωματώνεται όταν το τήγμα υποβάλλεται σε συνθήκες χαμηλής διάτμησης, γεγονός που είναι επιβλαβές στις τελικές ιδιότητες του μίγματος. Για αυτό το λόγο προτείνεται από τους Hale et.al. η χρήση GMA ως συμβατοποιητή.

### 3.4 ABS-M30, ABS- M30i, ABSplus, ABSi, ABS-ESD7

Όλα τα παρακάτω υλικά χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Το κάθε ένα από αυτά έχει κάποια ιδιαιτερότητα στα χαρακτηριστικά του και για αυτό χρησιμοποιείται σε άλλου είδους εφαρμογές.

Το ABS-M30 είναι 25 έως 70% ισχυρότερο από το standard ABS, καθιστώντας το ιδανικό για μοντελοποίηση, λειτουργικά πρωτότυπα, εργαλεία κατασκευής και εξαρτήματα τελικής χρήσης. Με σημαντικά ισχυρότερη συγκόλληση στρώσεων από το ABS και μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό, κρούση και κάμψη, τα εξαρτήματα ABS-M30 είναι πιο δυνατά, πιο ομαλά και έχουν καλύτερες λεπτομέρειες.



Εικόνα 3-3: Αρχιτεκτονικά μοντέλα από ABS-M30, από τρισδιάστατη εκτύπωση.

ΠΗΓΗ: <http://www.stratasys.com>

Το ABS-M30i είναι ένα βιοσυμβατό υλικό που μπορεί να αποστειρωθεί με ακτίνες γ. Αυτό το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προϊόντα που έρχονται σε επαφή με το δέρμα, τα τρόφιμα και τα φάρμακα.

Το ABSPLUS είναι ένα πολύ ανθεκτικό υλικό, που διατίθεται σε σειρά χρωμάτων. Το ABSi από την άλλη είναι αδιαφανές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβώς αυτήν την ιδιότητα, στην αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροναυπηγική και την φαρμακοβιομηχανία.

Το ABS-ESD7 εμποδίζει τη συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού σε εξαρτήματα τελικής χρήσης, ηλεκτρονικά προϊόντα, βιομηχανικό εξοπλισμό και εξαρτήματα συναρμολόγησης ηλεκτρονικών.



Εικόνα 3-4: Συσσκευή σκληρού δίσκου που εκτυπώθηκε 3D με υλικό ABS-ESD7.

ΠΗΓΗ: <http://www.stratasys.com>

## 4. Ανακύκλωση υλικών ABS

### 4.1 Πρωτογενής Ανακύκλωση

Είναι η πιο δημοφιλής διαδικασία λόγω της απλότητας και του χαμηλού κόστους της. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται στην επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων στην αρχική δομή τους. Το μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η ύπαρξη ενός ορίου στον αριθμό χρήσεων για κάθε υλικό.

### 4.2 Δευτερογενής ανακύκλωση ή μηχανική ανακύκλωση

Σε αυτή τη διαδικασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τα θερμοπλαστικά πολυμερή, επειδή μπορούν να λειώσουν και να επανεπεξεργασθούν σε τελικά προϊόντα. Η μηχανική ανακύκλωση δεν συνεπάγεται την αλλοίωση του πολυμερούς κατά τη διαδικασία. Αυτή η διαδικασία αντιπροσωπεύεται από μια φυσική μέθοδο, στην οποία τα πλαστικά απόβλητα μορφοποιούνται με κοπή, τεμαχισμό ή πλύση σε κοκκία, νιφάδες ή σφαιρίδια κατάλληλης ποιότητας για την βιομηχανία και στη συνέχεια τήκονται για να φτιάξουν το νέο προϊόν με εξώθηση. Επίσης, το επανεπεξεργασμένο υλικό μπορεί να αναμιχθεί με παρθένο υλικό για να επιτευχθούν ανώτερα αποτελέσματα.

Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου αναφέρονται στην ετερογένεια των στερεών αποβλήτων και στην αλλοίωση των ιδιοτήτων του προϊόντος σε κάθε κύκλο, που συμβαίνει λόγω του χαμηλού μοριακού βάρους της ανακυκλωμένης ρητίνης. Αυτό συμβαίνει επειδή συνιστώνται οι αντιδράσεις σχάσης αλύσου που προκαλούνται από την ύπαρξη νερού και ίχνη όξινων ακαθαρσιών και για να αποφευχθεί η μείωση της εντατικής ξήρανσης μοριακού βάρους, η χρήση των ενώσεων επέκτασης αλυσίδας ή η επανεπεξεργασία με απαέρωση υπό κενό.



Εικόνα 4-1: Στάδια μηχανικής ανακύκλωσης[6]

Ανακεφαλαίωση δευτερογενούς ανακύκλωσης πλαστικών που μπορούν να διαχωρισθούν από τα υπόλοιπα απορρίμματα:

- Συλλογή από καταναλωτές
  - Διαχωρισμός
  - Καθαρισμός
  - Ξαναλειώσιμο
- Μορφοποίηση νέου προϊόντος

Αν δεν μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός, γίνεται ανακύκλωση αναμεμιγμένων πλαστικών και το μίγμα ανακυκλώνεται ως υλικό για «πλαστικό ξύλο» ή υποκατάστατο / γόμωση τσιμέντου

### 4.3 Τριτογενής Ανακύκλωση

Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με τη μηχανική ανακύκλωση. Ως ανακύκλωση χημικών ουσιών ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία τα πολυμερή μετατρέπονται χημικά σε μονομερή ή σε oligομερή (με μερικό αποπολυμερισμένο) μέσω χημικής αντίδρασης, δηλαδή συμβαίνει μια αλλαγή στη χημική δομή του πολυμερούς). Τα προκύπτοντα μονομερή μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε νέους πολυμερισμούς για την αναπαραγωγή του αρχικού ή ενός παρόμοιου πολυμερούς. Αυτή η μέθοδος είναι ικανή να μετατρέπει το πλαστικό υλικό σε μικρότερα μόρια, κατάλληλο

για χρήση ως υλικό τροφοδοσίας. Η τριτογενής ανακύκλωση μπορεί να είναι είτε χημική είτε θερμική.

Κατά την χημική ανακύκλωση συμβαίνει σπάσιμο των πολυμερών (αποπολυμερισμός) σε μονομερή με χημικές αντιδράσεις, κάποιες από τις οποίες μπορεί να είναι: γλυκόλυση, υδρόλυση, μεθανόλυση. Ακολουθεί καθαρισμός των μονομερών και επαναπολυμερισμός. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για πολυμερή που παράγονται από συμπύκνωση.

Η χημική ανακύκλωση δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένη και για αυτό υπάρχουν μόνο λίγες εταιρείες. Η μέθοδος αυτή χρειάζεται μεγάλη επένδυση και πολύ εξειδικευμένο προσωπικό. Αυτή τη στιγμή, πολλές μέθοδοι βρίσκονται υπό διερεύνηση. για παράδειγμα, η μέθοδος αεριοποίησης και πυρόλυσης είναι υπό εκτεταμένες έρευνες για τη δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών. Οι διαδικασίες που έχουν ωριμάσει εμπορικά αυτή τη στιγμή, είναι η γλυκόλυση και η μεθανόλυση. Για παράδειγμα, το PET μπορεί να διασπαστεί με μερικά αντιδραστήρια, όπως το νερό (υδρόλυση), οξέα (οξεόλυση), γλυκόλες (γλυκόλυση) ή αλκοόλες (αλκοόλυση). Ανάλογα με το αντιδραστήριο που χρησιμοποιείται παράγονται διαφορετικά προϊόντα.

Στην περίπτωση της θερμικής ανακύκλωσης ο αποπολυμερισμός γίνεται με πυρόλυση ή καταλυτική πυρόλυση και από αυτή τη διαδικασία μπορούν να ληφθούν και πετροχημικά προϊόντα. Κατά την πυρόλυση γίνεται σπάσιμο των πολυμερικών αλυσίδων προς απλές ουσίες και καύσιμα. Το θετικό είναι ότι δεν χρειάζεται καθαρισμός ή διαλογή της μάζας των πλαστικών και ότι αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται και σε ελαστομερή. Το αρνητικό είναι ότι χρειάζεται πολλή ενέργεια και υψηλές θερμοκρασίες. Οι διεργασίες αυτές μπορούν να συντελεστούν σε δεξαμενές τήξης, υψικαμίνους, κλίβανους εμβολικής ροής, περιστροφικούς κλίβανους, θαλάμους υψηλών θερμοκρασιών και ρευστοστερεές κλίνες, όπου η μεταφορά μάζας και θερμότητας είναι άριστη.

Η υδρογόνωση είναι πυρόλυση παρουσία υδρογόνου σε πιέσεις μεγαλύτερες από 100bar. Η υδρογόνωση μπορεί να είναι καταλυτική με απόδοση 90% ή μη καταλυτική με απόδοση 88% και χωρίς τη δημιουργία διοξινών.

Άλλες μέθοδοι τριτογενούς ανακύκλωσης είναι:

- Αεριοποίηση
- Φωτοαποικοδόμηση
- Υποβάθμιση υπερήχων
- Αποικοδόμηση σε αντιδραστήρα μικροκυμάτων.

#### 4.4 Ανάκτηση ενέργειας ή τεταρτογενής ανακύκλωση

Αυτή η μέθοδος αναφέρεται στην ανάκτηση του ενεργειακού περιεχομένου του πλαστικού. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του όγκου των οργανικών υλικών που περιλαμβάνει και την ανάκτηση ενέργειας, είναι η



αποτέφρωση. Αυτή η μέθοδος είναι μια καλή λύση επειδή παράγει σημαντική ενέργεια από τα πολυμερή, αλλά δεν είναι οικολογικά αποδεκτή εξαιτίας του κινδύνου για την υγεία από τοξικές ουσίες υπό μορφή αερίων, για παράδειγμα διοξίνες (στην περίπτωση βαρέων μετάλλων, πολυμερών που περιέχουν χλώριο, τοξικού άνθρακα και ελεύθερες ρίζες οξυγόνου).

Μεταξύ των παραπάνω τεχνικών ανακύκλωσης, η μόνη αποδεκτή σύμφωνα με τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης είναι η χημική ανακύκλωση, διότι η μέθοδος αυτή οδηγεί στη δημιουργία μονομερών από τα οποία παράγεται το πολυμερές. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις των τεχνικών που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα.

Πίνακας 4-1: Σύνοψη των συζητημένων τεχνικών ανακύκλωσης[6].

Τεχνική	Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις
Μηχανική Ανακύκλωση	Οικονομικά αποδοτική, αποτελεσματική, διαδεδομένη	Υποβάθμιση των ιδιοτήτων των προϊόντων, προεπεξεργασία
Χημική Ανακύκλωση	Λειτουργική για PET, απλή τεχνολογία	Κυρίως περιορίζεται σε πολυμερή συμπίκνωσης
Ανάκτηση Ενέργειας	Παράγει σημαντική ενέργεια από τα πολυμερή	Δεν είναι οικολογικά αποδεκτή

Τί γίνεται με την ενέργεια στις διάφορες κατηγορίες ανακύκλωσης;

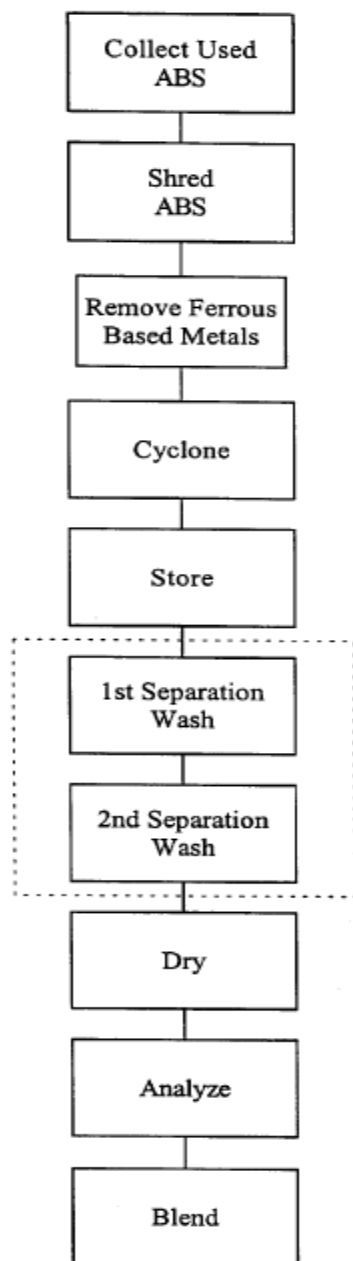
Δευτερογενής ανακύκλωση: μείωση της ενέργειας που χρειάζεται για παρασκευή καινούργιου πολυμερούς

Τριτογενής ανακύκλωση: Χρήση μέρους της ενεργειακού αποθέματος των πολυμερών για την ανάκτηση καθαρού υλικού, χημικών ή καυσίμων

Τεταρτογενής ανακύκλωση: Ανάκτηση όλου του ενεργειακού φορτίου που περιέχουν τα πλαστικά απορρίμματα σαν παράγωγα πετρελαίου

Σύμφωνα με τους Garcia και συνεργάτες, η μηχανική ανακύκλωση του ABS μέσω της επεξεργασίας τήγματος στη χύτευση με έγχυση ήταν μια απλή μέθοδος που δεν επηρέασε τα χαρακτηριστικά επεξεργασίας του υλικού μέχρι τρεις επαναλαμβανόμενους κύκλους εξώθησης. Συνολικά, φαίνεται ότι η ανακύκλωση του ABS μία ή δύο φορές θα βελτιώσει γενικά τις μηχανικές ιδιότητες που χάνονται λόγω της υποβάθμισης κατά την ανακύκλωση, με εξαίρεση τις ιδιότητες πρόσκρουσης. Ωστόσο η απώλεια αντοχής σε κρούση μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη ενός κατάλληλου τροποποιητή κρούσης (impact modifier).

Οι Gonzales et al. κατοχύρωσαν μια πατέντα για την ανακύκλωση πλαστικών ABS, η οποία περιλαμβάνει τα εξής στάδια. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2:



Συγκέντρωση χρησιμοποιημένων πλαστικών από διάφορες πηγές.

Τεμαχισμός χρησιμοποιημένων πλαστικών, για την παραγωγή τεμαχίων πλαστικού.

Διαχωρισμός μετάλλων και ανεπιθύμητων πλαστικών από το ABS με τη βοήθεια του ειδικού τους βάρους.

Ανάλυση της σύνθεσης του διαχωρισμένου υλικού.

Ανάμιξη του διαχωρισμένου υλικού για την παραγωγή ενός επιθυμητού ανακυκλωμένου πλαστικού.

Εικόνα 4-2: Διάγραμμα ροής της χρησιμοποιούμενης διαδικασίας ανακύκλωσης [9].

Άλλες μέθοδοι διαχωρισμού, εκτός από τη διαφορά στην πυκνότητα που αναφέρθηκε παραπάνω, είναι είτε μακρο-διαχωρισμοί, είτε μικρο-διαχωρισμοί, αλλά και μοριακοί διαχωρισμοί.

### Μακρο-διαχωρισμοί

- Χειρωνακτικός

Με οπτική αναγνώριση των ειδών: διαφανές, αδιαφανές ή Με τους κωδικούς.

Είναι δαπανηρή μέθοδος και μη ακριβής.

### **Μηχανικός διαχωρισμός**

- Με βάση την πυκνότητα
- Στο νερό

\*Μερικά πλαστικά επιπλέουν στο νερό. Άλλα όχι.

\*PVC, PS, PET καταβυθίζονται. Οι πολυολεφίνες επιπλέουν.

- Σε υπερκρίσιμα ρευστά (CO<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>)

\*Χαμηλό ιξώδες

\*Μικρή διαλυτότητα

\*Υψηλή τάση ατμών

\*Μη τοξικοί διαλύτες, εύκολη ανάκτηση

- Βαλιστικός (από τις διαφορές του μέτρου ελαστικότητας)

### **Ηλεκτρομαγνητικός**

- Ανίχνευση πολικών ομάδων (π.χ.Cl) με ακτίνες Χ. Πολικά μόρια φθορίζουν όταν δεχτούν ακτίνες Χ (μετατόπιση της συχνότητας του ανακλώμενου φωτός). Μικρή ικανότητα διαχωρισμού σε μίγματα με πολλά συστατικά που μπορεί να περιέχουν Cl.

### **Με φασματοσκοπία NIR (Near Infra Red).**

Το κάθε πολυμερές έχει χαρακτηριστικό φάσμα υπέρυθρου. Με την ανάλυση (on line) του φάσματος μπορεί να γίνει η αναγνώριση των συστατικών και ο διαχωρισμός τους. Μόνο για αργά ρεύματα (ξεχωριστά αντικείμενα). π.χ. για PC και ABS (που έχουν πολύ διαφορετικά φάσματα!)

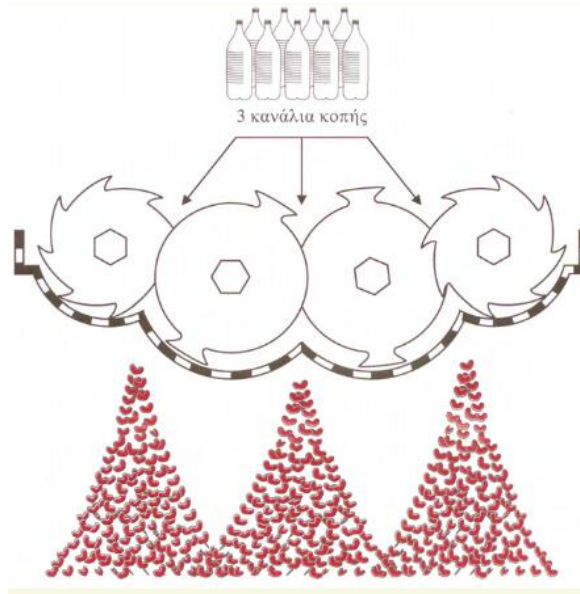
### **Φασματοσκοπία μάζας**

### **Ηλεκτροστατικός διαχωρισμός**

### **Με θέρμανση γύρω από το σημείο υαλώδους μετάπτωσης**

Η μείωση του μεγέθους των προς ανακύκλωση υλικών διευκολύνει τη μεταφορά και την ομοιογένεια της τροφοδοσίας και μειώνει τον όγκο υλικού. Συνήθως περιλαμβάνει τεμαχισμό, κονιορτοποίηση, κοκκοποίηση, σύνθλιψη. Οι τεχνικές τεμαχισμού (shredders) συνήθως περιλαμβάνουν:

Μηχανήματα με δίσκους τεμαχισμού, με 2-4 αντι-στρεφόμενους δίσκους, από όπου προκύπτουν νιφάδες με διάμετρο 50 mm. Εικόνα 4-3.



Εικόνα 4-3: Αναπαράσταση μηχανήματος με δίσκους τεμαχισμού[10].

Κοκκοποιητές (περιδινούμενα μηχανήματα με μαχαίρια). Συνήθως για βιομηχανικό scrap.

Οι **Τεχνικές συσσωμάτωσης (agglomerators/densifiers)** χρησιμοποιούνται για να διευκολυνθεί η μεταφορά / τροφοδοσία. Σε αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιείται τριβή ανάμεσα στα τεμαχίδια ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία και να μαλακώσουν. Χρειάζεται προσοχή ώστε η θερμοκρασία να μη φθάσει τη θερμοκρασία τήξης. Τα πλεονεκτήματα της συσσωμάτωσης είναι:

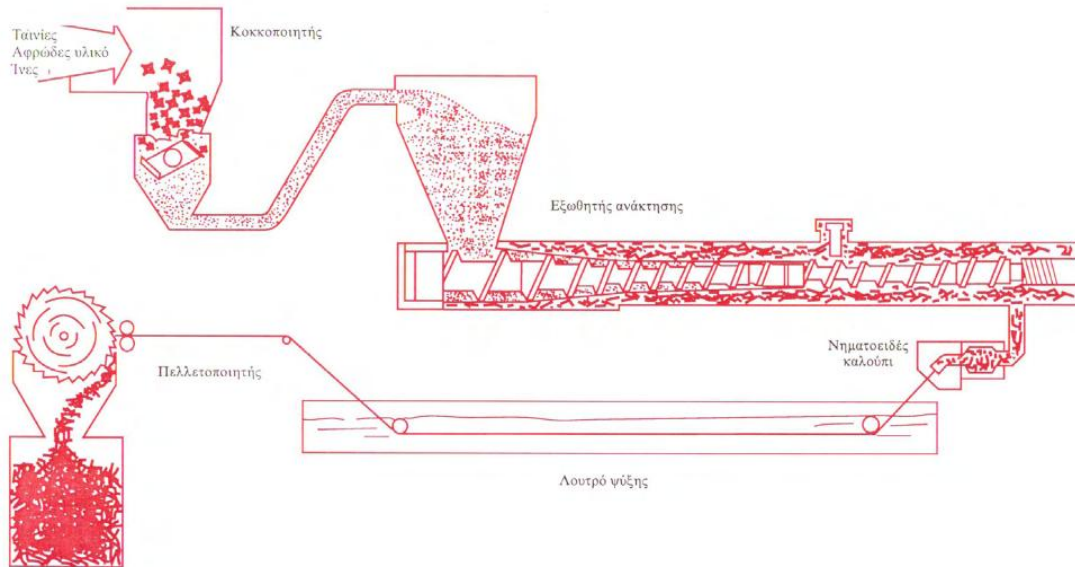
- Η μείωση αποθηκευτικού χώρου
- Η οικονομική μεταφορά μεγάλου όγκου
- Οι ιδιότητες ροής
- Ευκολότερη μέτρηση ροής τροφοδοσίας
- Η απουσία σκόνης

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη συσσωμάτωση είναι:

- Με δίσκους συσσωμάτωσης, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε να μειώνεται το διάκενο μεταξύ τους από το κέντρο προς το την άκρη τους. Και με ελικοειδή εξώθηση από το κέντρο προς την περίμετρο με αυξανόμενη συμπίεση, δημιουργούνται ίνες που κόβονται στη συνέχεια σε πέλλετ.
- Συσσωμάτωση με συμπίεση. Συμπίεση με εξώθηση σε σταθερές πελλέτες μέσα από μήτρες εκβολής. Αυτή είναι μια συνεχής διαδικασία.

- Συσσωμάτωση με ανάδευση. Γίνεται γρήγορη ανάδευση στο υλικό, που δημιουργεί ενέργεια από την τριβή και μαλάκωμα του πλαστικού.

Στο Εικόνα 4-4 φαίνεται μια ολοκληρωμένη διαδικασία κοκκοποίησης του αρχικού υλικού, συσσωμάτωσης με συμπίεση και έπειτα πελλετοποίηση του ανακυκλωμένου υλικού.



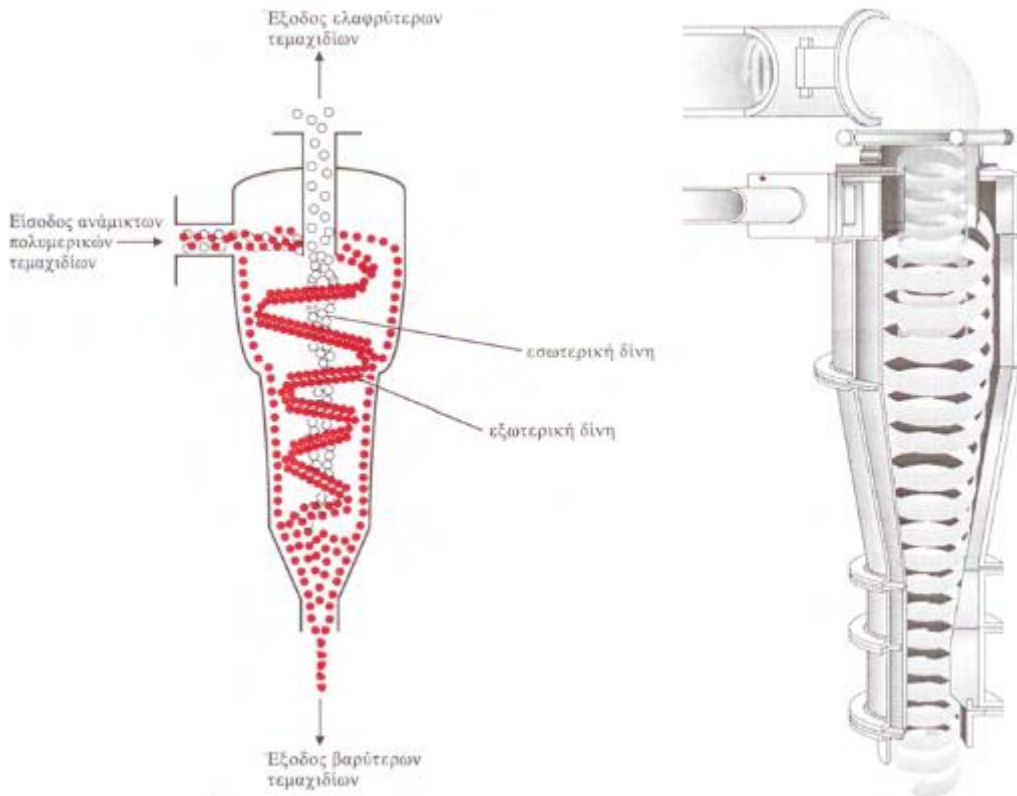
**Εικόνα 4-4: Αναπαράσταση τεχνικής συσσωμάτωσης του ανακυκλώσιμου υλικού[10].**

Η κονιορτοποίηση του υλικού γίνεται για την μετατροπή του σε λεπτή σκόνη (που έχει άριστα χαρακτηριστικά ροής). Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της μορφής του πλαστικού είναι η υψηλή πυκνότητα, η στενή κατανομή μεγεθών και η ομοιογενής σύσταση. Οι **ΤΕΧΝΙΚΕΣ κονιορτοποίησης** είναι:

- Οι Μύλοι κονιορτοποίησης. Μια εύκολη διεργασία, που βασίζεται στη μεγάλη διαφορά σκληρότητας του μετάλλου της μηχανής με αυτή του πλαστικού. Το μειονέκτημα σε αυτή τη διεργασία είναι η παραγωγή θερμότητας που επιβάλλει την ψύξη της διάταξης (κρυογενική).
- Κονιορτοποίηση με δίσκους. Όπου συμβαίνει εξώθηση σε στερεά κατάσταση με διάτμηση (solid state shear extrusion), με χρήση ειδικών εκβολέων διδύμων κοχλιών.
- Σφυρόμυλοι
- Κρυογενική κονιορτοποίηση

### Μικρο-διαχωρισμοί

Γίνονται με βάση διαφορές στην πυκνότητα, με υδροκυκλώνα, καταβύθιση ή με ρεύμα αέρα. Στο Εικόνα 4-5 φαίνεται η αρχή λειτουργίας ενός υδροκυκλώνα, που εκμεταλλεύεται την διαφορά πυκνότητας των υλικών.



Εικόνα 4-5: Υδροκυκλώνας[10].

Μια άλλη μέθοδος μικρο-διαχωρισμού είναι με αφρισμό, ενώ όταν τα υλικά έχουν κοντινές πυκνότητες γίνεται χρήση κατάλληλης επιφανειακά ενεργής ουσίας.

Τέλος, συνήθως μικρο-διαχωρισμός γίνεται μαζί με πλύσιμο (σε ζεστό νερό και σαπούνι).

Ο **μοριακός διαχωρισμός** γίνεται με διάλυση σε επιλεκτικούς διαλύτες, όμως αυτή η μέθοδος είναι πολύ ακριβή γιατί χρειάζεται ανάκτηση του διαλύτη.

Αφού παραχθεί το νέο, ανακυκλωμένο πλαστικό, πρέπει να χαρακτηριστεί ως προς την ποιότητά του. Ο χαρακτηρισμός ποιότητας περιλαμβάνει:

- Μέτρο ελαστικότητας και αντοχή σε εφελκυσμό
- Μέγιστη επιμήκυνση
- Μέτρο κάμψης
- Ανθεκτικότητα σε κρούση (impact strength)
- Μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (HDT)
- Δείκτης ιξώδους (Melt Flow Index)

Εάν διαπιστωθεί ότι το υλικό δεν έχει τις επιθυμητές ιδιότητες τότε κρίνεται σκόπιμο να γίνουν οι εξής ρυθμιστικές ενέργειες:

- ✓ Για αύξηση της ανθεκτικότητας → προσθήκη σωματιδίων ελαστομερών ή ινών)

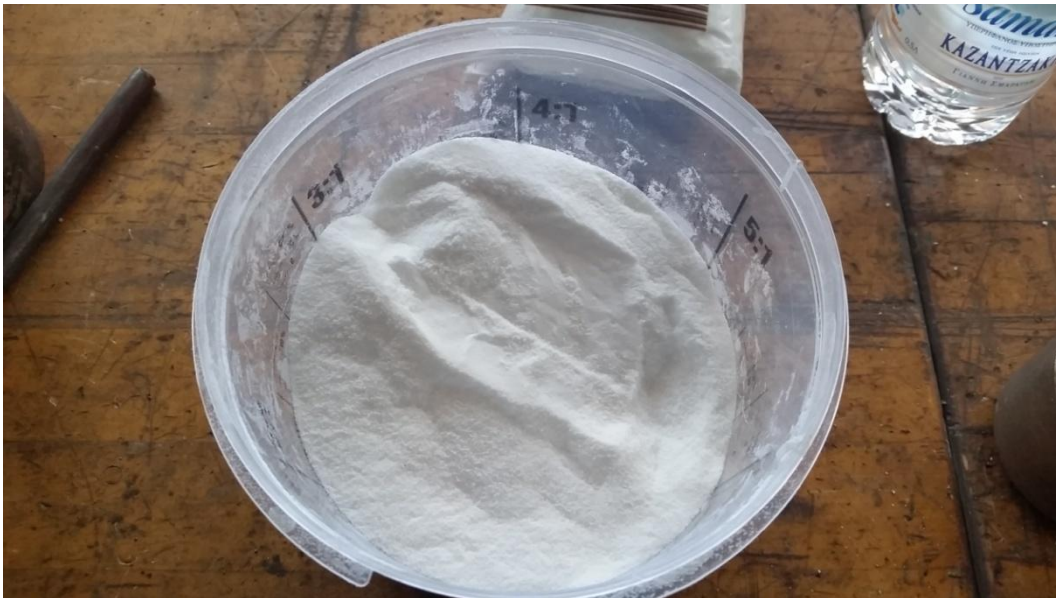
- ✓ Για βελτίωση του ιξώδους → ανάμειξη ίδιων πολυμερών με χαμηλότερο μοριακό βάρος ή προσθήκη πλαστικοποιητή.
- ✓ Για αύξηση της σκληρότητας → προσθήκη πλαστικοποιητή
- ✓ Για την ανάκτηση μοριακού βάρους, γίνεται χημική τροποποίηση (reactive extrusion).

# Μέρος Β

## Μηχανική Αστοχία πολυμερών

### 5. Πειραματική Διαδικασία

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμών είναι Acrylonitrile-Butadiene-Styrene( ABS) terluran hi10 σε σκόνη, Εικόνα 5-1. Και η μέθοδος μορφοποίησης είναι χύτευση με συμπίεση (compression molding). Για τη παρασκευή των δοκιμών απαιτείται η κατασκευή μήτρας (καλούπιού). Η κατασκευή των δοκιμών έγινε στο εργαστήριο Κατασκευαστικών Τεχνολογιών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών. Επίσης κατασκευάστηκε σύνδεσμος ο οποίος κρατά και την επιθυμητή απόσταση και που εφαρμόζει στην πρέσα ώστε να μπορεί να φτάνει στο μέγιστο ύψος της, για να μπορεί να ασκηθεί η κατάλληλη πίεση στο καλούπι.



Εικόνα 5-1: Το υλικό ABS σε μορφή σκόνης.

#### 5.1 Κατασκευή συνδέσμου

Ο σύνδεσμος κατασκευάστηκε σε συμβατικό τόρνο του εργαστηρίου του τμήματος Μηχανολογίας, Εικόνα 5-3, από κοινό χάλυβα διαμέτρου 9 cm ( $\Phi 90$ ) και μήκους 15 cm. Εικόνα 5-2.





Εικόνα 5-2: Κύλινδρος χάλυβα για την κατασκευή συνδέσμου της χυτόπρεσας.



Εικόνα 5-3: ο Τόρνος που χρησιμοποιήθηκε για τη μορφοποίηση του συνδέσμου.

Αφού πρώτα λειάνθηκε ο κύλινδρος, κατασκευάστηκε το αρσενικό τμήμα του συνδέσμου με διάμετρο 79,2 mm και ύψος 7mm, με τη χρήση κοπτικού και τις κατάλληλες ταχύτητες περιστροφής και προώσεως. Το κοπτικό εξωτερικής τόννευσης που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην Εικόνα 5-4 και η διαδικασία μορφοποίησης στην Εικόνα 5-5.



Εικόνα 5-4: Κοπτικό εργαλείο για τη διαμόρφωση του αρσενικού μέρους του συνδέσμου.

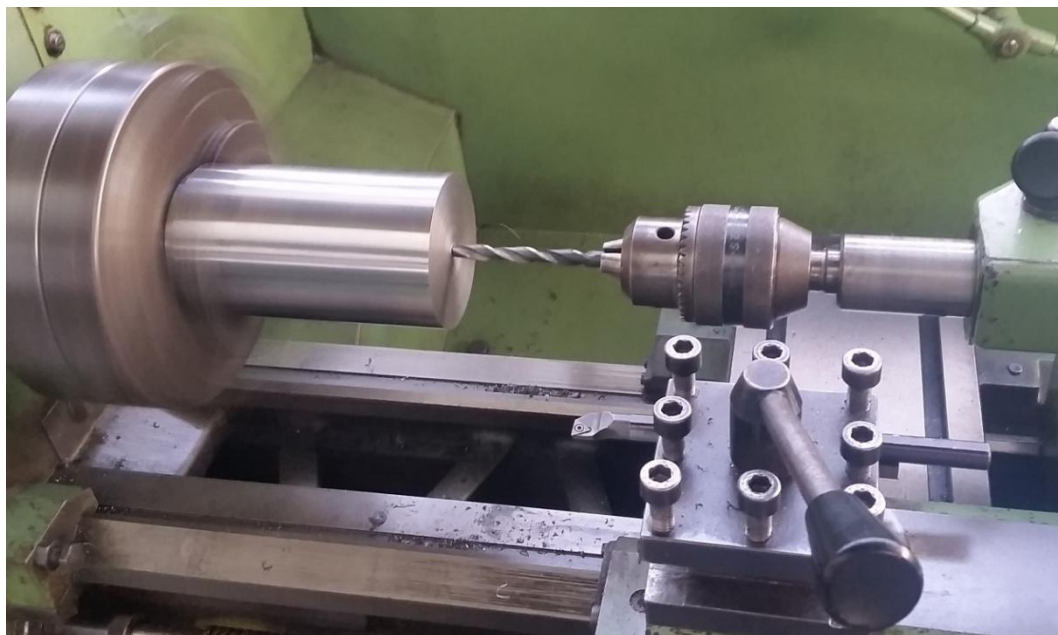


Εικόνα 5-5: Σύνδεσμος μορφοποιημένος με την εσοχή κατά την διάρκεια της κατασκευής του.

Έπειτα κατασκευάστηκε το θυληκό τμήμα με την βοήθεια τριών τρυπανιών διαμέτρου 6mm, 9mm, 20mm, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν διαδοχικά και στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε κοπτικό εσωτερικής τόννευσης, ώστε να επιτευχθεί άνοιγμα διαμέτρου 79,2mm και βάθους 7mm. Το κοπτικό εσωτερικής τόννευσης στην Εικόνα 5-6 ενώ η διαδικασία στις Εικόνα 5-7 και Εικόνα 5-8.



Εικόνα 5-6: Κοπτικό εσωτερικής τόννευσης



Εικόνα 5-7: Αρχικά ανοίγεται τρύπα με το μικρότερο τρυπάνι και ακολούθως με τα μεγαλύτερα.



Εικόνα 5-8:Εσωτερική τórνευση..

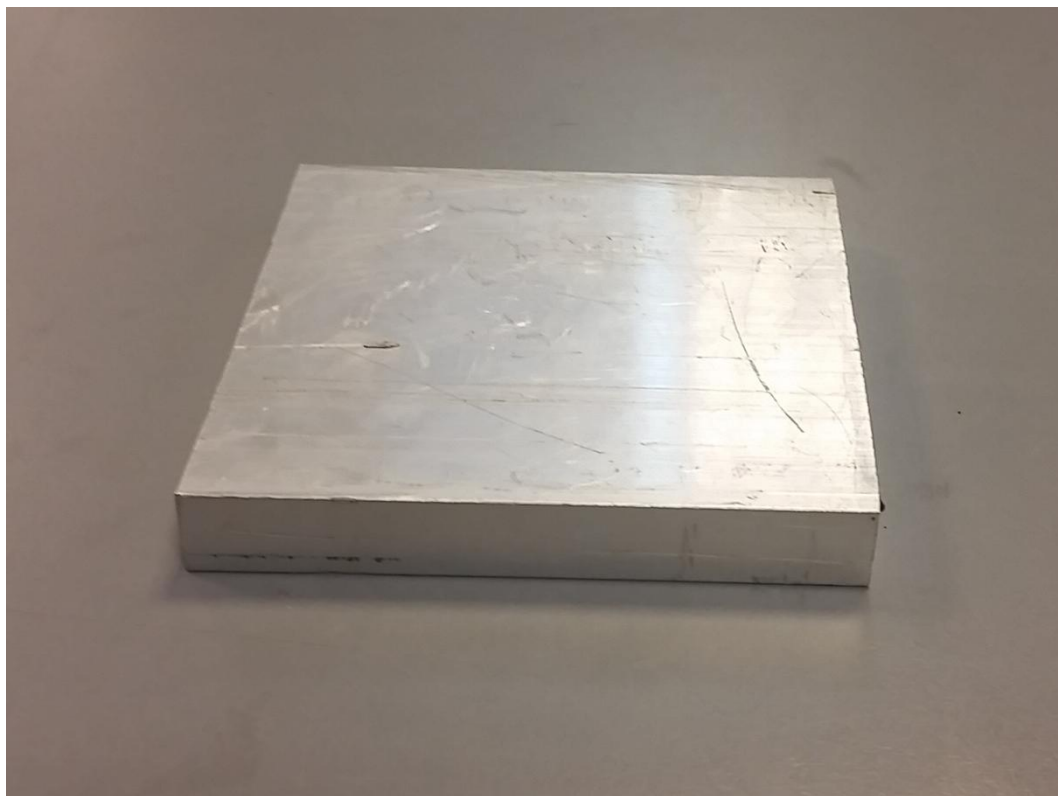
Αφού κατασκευάστηκε ο σύνδεσμος, τοποθετήθηκε στην υδραυλική πρέσα και ελέγχθηκε ο σωστή εφαρμογή του Εικόνα 5-9. Αφού πρώτα καθαρίστηκε και γέμισε με λάδι.



Εικόνα 5-9: Η πρέσα που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμίων.

## 5.2 Κατασκευή καλουπιού (των δοκιμίων) από αλουμίνιο σε φρέζα CNC.

Οι μήτρες των δοκιμίων είναι από αλουμίνιο, αρχικών διαστάσεων 150mm×150mm×20mm. Το κομμάτι του αλουμινίου πριν τη μορφοποίηση του σε μήτρα φαίνεται στην Εικόνα 5-10.



Εικόνα 5-10: Το κομμάτι αλουμινίου που θα μορφοποιηθεί σε μήτρα για την χύτευση των δοκιμίων.

Η μορφοποίηση του καλουπιού έγινε σε φρέζα CNC της Haas, η οποία φαίνεται στην Εικόνα 5-11. Στην CNC φρέζα έγινε μηδενισμός των κοπτικών εργαλείων, έπειτα μηδενισμός του τεμαχίου και τέλος η κοπή του. Η διαδικασία αναφέρεται στο 5.3 Κατασκευή Δοκιμίων.



Εικόνα 5-11: Φρέζα CNC της Haas.

Τα καλοπυπια στην τελική τους μορφή φαίνονται στις Εικόνα 5-12 και Εικόνα 5-13. Η μήτρα (θυλικό) έχει τελικές διαστάσεις εξωτερικά 105,5mm x 100,5mm x 17mm και οι εγκοπές (μήτρα) είναι 12,8mm επί 51mm. Όπως φαίνεται και

στις παρακάτω εικόνες από την μήτρα προκύπτουν τρία δοκίμια κάθε φορά. Το έμβολο (αρσενικό) έχει τελικές διαστάσεις εξωτερικά 120,7mm επί 100,5mm και πάχος 5mm με διαστάσεις εμβόλου 49,8mm επί 11,6mm και ύψους 9,8mm.



Εικόνα 5-12: έμβολο καλουπιού.



Εικόνα 5-13: Μήτρα καλουπιού.

### 5.3 Κατασκευή Δοκιμίων

Όπως είπαμε το υλικό από το οποίο παρασκευάστηκαν τα δοκίμια είναι ABS σε σκόνη και η μέθοδος παρασκευής τους η χύτευση με συμπίεση. Η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Αρχικά συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο η πρέσα και θέτοντας τους διακόπτες στην θέση on ξεκινά η θέρμανση της άνω και κάτω πλάκας. Όπου αφήνεται για περίπου 30 λεπτά ώστε να φθάσουν στην επιθυμητή θερμοκρασία, έπειτα τοποθετείται η μήτρα και αφήνεται πάνω στις πλάκες της πρέσας για περίπου ένα λεπτό, ώστε και αυτή να φθάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Η μήτρα πληρώθηκε συνολικά με 22-23 gr σκόνης ABS (και στα 3 κενά μαζί). Η θερμοκρασία που αναπτύχθηκε στις πλάκες της πρέσας ήταν 400 °F (περίπου 204,4 °C), τοποθετήθηκε το έμβολο και ασκήθηκε πίεση περίπου 1000 kg, με τη χρήση του μοχλού, για 10 min. Σημειώνεται ότι το μέγιστο φορτίο που μπορεί να ασκήσει η πρέσα είναι 23 ton. Η διαδικασία φαίνεται στις Εικόνα 5-14, Εικόνα 5-15 και Εικόνα 5-16.



Εικόνα 5-14: Τοποθετείται η μήτρα με τη σκόνη ABS στην πρέσα.



Εικόνα 5-15: Τοποθετείται το έμβολο πάνω στη μήτρα.



Εικόνα 5-16: Συμπύεση του ζεύγους εμβόλου- μήτρας με δύναμη 1ton και θερμοκρασία 200 °C.

Τα δοκίμια που προέκυψαν καθαρίστηκαν από τα υπολείμματα που δημιουργήθηκαν από το υλικό που διέφυγε από το καλούπι, Εικόνα 5-17 και έπειτα μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους. Υπήρχε απόκλιση από τις προβλεπόμενες του πρότυπου. Ως τελική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε η φρέζα CNC (όπως και για την κατασκευή των καλουπιών), για να επιτευχθούν οι επιθυμητές διαστάσεις σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D695, δηλαδή 12,7mm x 12,7mm x 50,8mm με ακρίβεια  $\pm 0.2\text{mm}$ .





Εικόνα 5-17: Τα δοκίμια όπως βγήκαν από το καλούπι, πριν καθαριστούν.

Για την χρησιμοποίηση της φρέζας CNC απαιτείται ο μηδενισμός της μηχανής, ο μηδενισμός των κοπτικών και ο μηδενισμός του κομματιού. Μηδενισμός κομματιού είναι η εύρεση του σημείου αναφοράς του ,σε σχέση με το σημείο μηδέν της μηχανής, Εικόνα 5-18. Αυτό εισάγεται σε συγκεκριμένο πίνακα (WORK ZERO SET ) και στην ουσία λέει στη μηχανή που επάνω στο τραπέζι βρίσκεται το κομμάτι.



Εικόνα 5-18: Μηδενισμός τεμαχίου στη φρέζα CNC.

Ακολουθώντας την προβλεπόμενη διαδικασία και με την χρήση του πίνακα ελέγχου. Η μηχανή αρχίζει να κινείται πρώτα στον άξονα Z μετά X Y ταυτόχρονα. Μετά από αυτό η μηχανή έχει μηδενίσει και είναι έτοιμη για λειτουργία. Συνέχεια έχει ο μηδενισμός των κοπτικών. Ότι συντεταγμένες χρησιμοποιηθούν για το μηδενισμό κοπτικών θα χρησιμοποιηθούν και για το τεμάχιο.

Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του Magnetic Dial Setter που τοποθετείται στην τράπεζα και του 3D Taster στην άτρακτο της φρέζας, το taster δείχνει την τιμή 30, Εικόνα 5-20. Κατεβαίνει η κεφαλή με την μικρότερη ταχύτητα έως ότου ακουμπήσει το Magnetic Dial Setter Εικόνα 5-21 έτσι μηδενίζεται η άτρακτος και στο 3D Taster επιτυγχάνονται 2 πλήρεις περιστροφές και η ένδειξη είναι στην τιμή 50.



Εικόνα 5-19: CNC φρέζα της Haas. Φαίνεται και ο πίνακας ελέγχου.



Εικόνα 5-20: Τοποθέτηση Magnetic Dial Setter και 3D Taster στην τράπεζα της φρέζας για τον μηδενισμό.



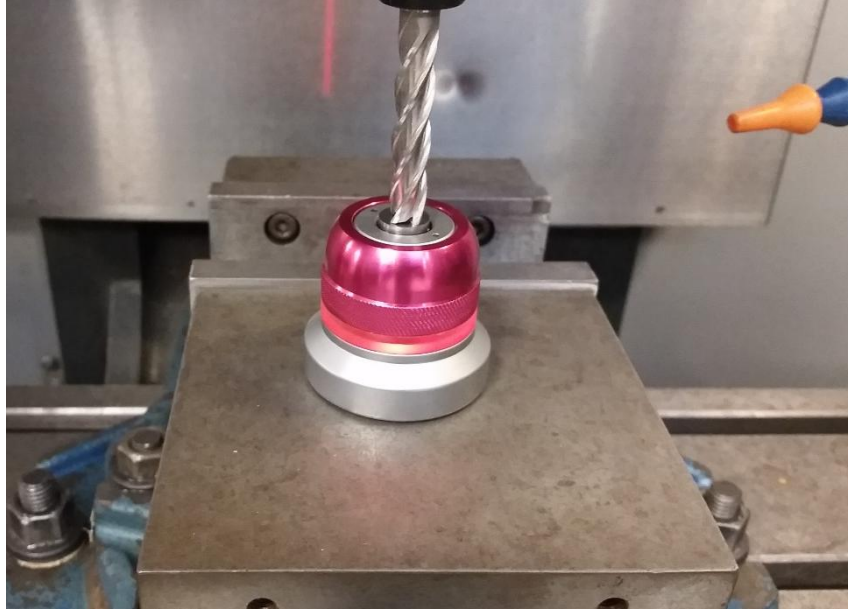
Εικόνα 5-21: Μηδενισμός της ατράκτου

Έπειτα μηδενίζουμε το κάθε κοπτικό ακολουθώντας τα παρακάτω αυτά:

- Καλώ το εργαλείο που θέλω να μηδενίσω

Κατεβάζω και ακουμπώ το κοπτικό στο Magnetic Dial Setter με την μικρότερη ταχύτητα μέχρις ότου φωτίσει

- Εικόνα 5-22.
- Περνώ την τιμή του μήκους στον αντίστοιχο πίνακα offset επιλέγω το κοπτικό στην οθόνη της μηχανής πάω στην στήλη length πατώ tool off set measure και καταχωρήθηκε το μήκος του κοπτικού εργαλείου



Εικόνα 5-22: Μηδενισμός κοπτικού με την χρήση Magnetic Dial Setter.

Τέλος λαμβάνει μέρος ο μηδενισμός του κομματιού. Αφού έχει προσδεθεί στην τράπεζα. Ακολουθούνται τα προβλεπόμενα βήματα κατά τα οποία και τα προηγούμενα εργαλεία μηδενισμού μηδενίζουμε τον κάθε άξονα.



Εικόνα 5-23: Μηδενισμός κομματιού στον άξονα X,Y.

Όταν μηδενίζουμε με εργαλείο κάποιας διαμέτρου τότε το σημείο που ακουμπάει στο κομμάτι δεν είναι το κέντρο του αλλά η ακτίνα, άρα έχουμε μια μετατόπιση του σημείου μηδέν τόση όσο η ακτίνα του εργαλείου. Θα πρέπει λοιπόν η να μετακινήσουμε το εργαλείο (τόσο όσο η ακτίνα του) ή να διορθώσουμε την τιμή που περάστηκε στον πίνακα. Αυτό γίνεται στον άξονα Z η διαδικασία είναι παρόμοια με πριν αλλά πρέπει να λάβουμε υπόψιν την διάμετρο του κοπτικού.



Εικόνα 5-24: Εργαλείο αναφοράς για το μηδενισμό του Z άξονα.

Οι επιθυμητές διαστάσεις είναι **12,7mm πάχος, 12,7mm ύψος και 50,8mm μήκος**. Οι αρχικές διαστάσεις ήταν 14mm ύψος, μήκος και πάχος λίγο μεγαλύτερο από το επιτρεπόμενο σε μερικά κομμάτια.

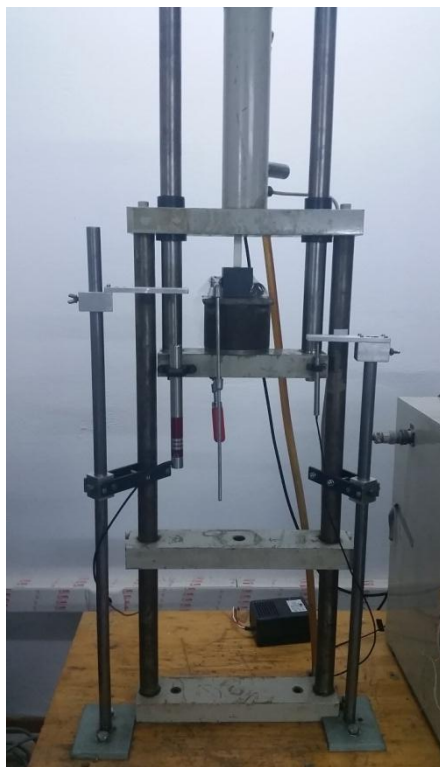
Κατασκευάστηκαν 18 δοκίμια, εκ των οποίων τα 17 ήταν εντός προδιαγραφών (πρότυπο ASTM D695) και η μορφή τους φαίνεται στην Εικόνα 6.28.



Εικόνα 5-25: Τελική μορφή δοκιμίων.

#### 5.4 Δοκιμή θλίψης

Για τις δοκιμές θλίψης που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκε η μηχανή εφελκυσμού-θλίψης του εργαστηρίου Τεχνολογίας Υλικών με κατάλληλη διαμόρφωση της Εικόνα 5-26.



Εικόνα 5-26: Μηχανή θλίψης

Η μηχανή θλίψης αποτελείται από ένα υδραυλικό σύστημα της εταιρίας SchenckTrebel. Το εφαρμοζόμενο φορτίο (Load) μετριέται με τον αισθητήρα φορτίου (loadcell) τύπου GL6-2B με ευαισθησία  $\pm 1$  Kp και ακρίβειας  $\pm 0,5\%$  και η μεταβολή του μήκους με τον αισθητήρα μήκους (extensometeres) τύπου SDP-50C με ακρίβεια  $\pm 0,001$  mm και γραμμικότητα  $0,2R_o$ . Οι δύο αισθητήρες συνδέονται με κατάλληλη κάρτα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την μεταφορά των δεδομένων μέτρησης φορτίου-μεταβολής μήκους. Στον υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα LabView για την καταγραφή των δεδομένων. Η ταχύτητα δοκιμασίας ήταν  $7\text{mm/min}$ .



Εικόνα 5-27: Έναρξη δοκιμής θλίψης.



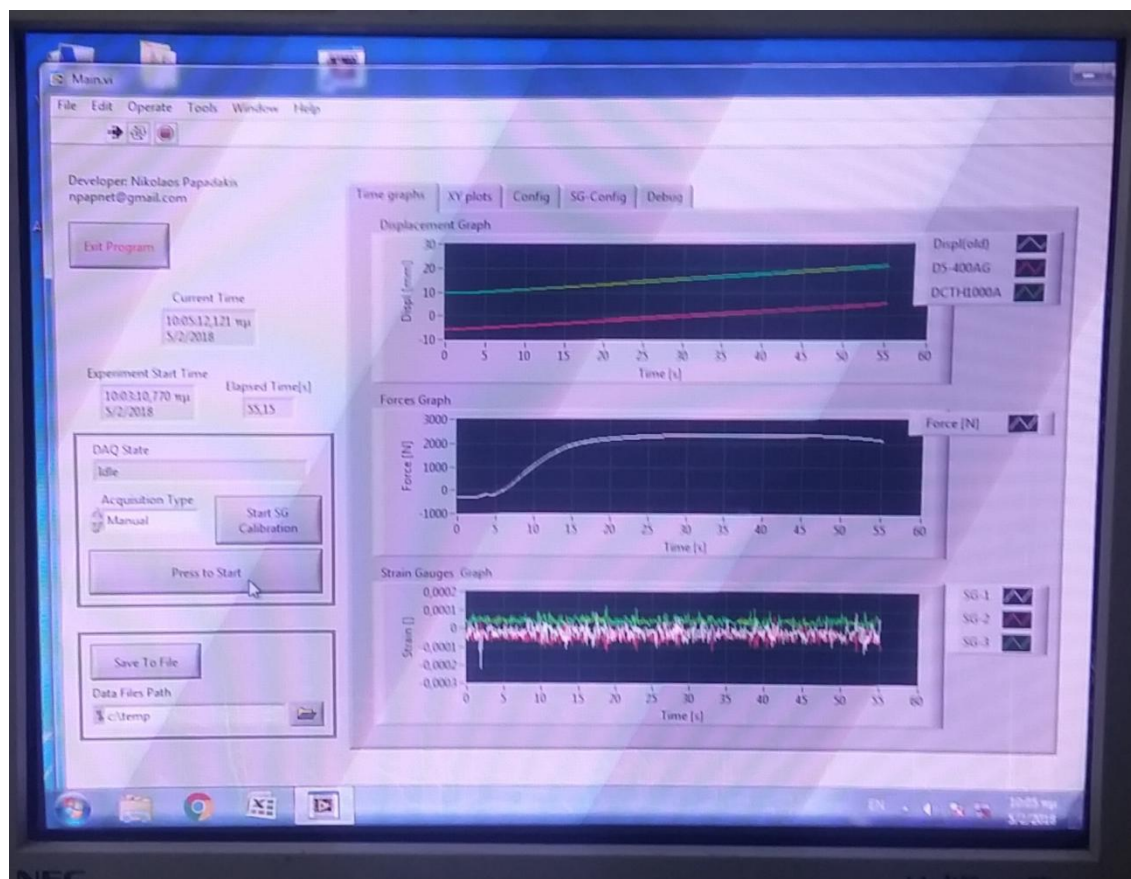
Εικόνα 5-28: Ένδειξη μετρήσεων φορτίου και μετατόπισης κατά την έναρξη της δοκιμής θλίψης.

Κατά την διάρκεια του πειράματος εμφανίζεται η εξέλιξη του στην οθόνη του υπολογιστή σε τρία διαγράμματα από το LabView (Εικόνα 5-29).

Τα αρχεία καταγράφηκαν σε μορφή .txt, τα οποία μεταφέρθηκαν αρχικά σε excel ώστε να γίνει η κατάλληλη πρώτη επεξεργασία των δεδομένων. Στην συνέχεια μεταφέρθηκαν στο πρόγραμμα OriginPro 8 για την δημιουργία των διαγραμμάτων φορτίου- Μεταβολής μήκους. Το φορτίο (Load) μετριέται σε μονάδες Newton, ενώ η μεταβολή μήκους (displacement) σε mm. Η δοκιμασία



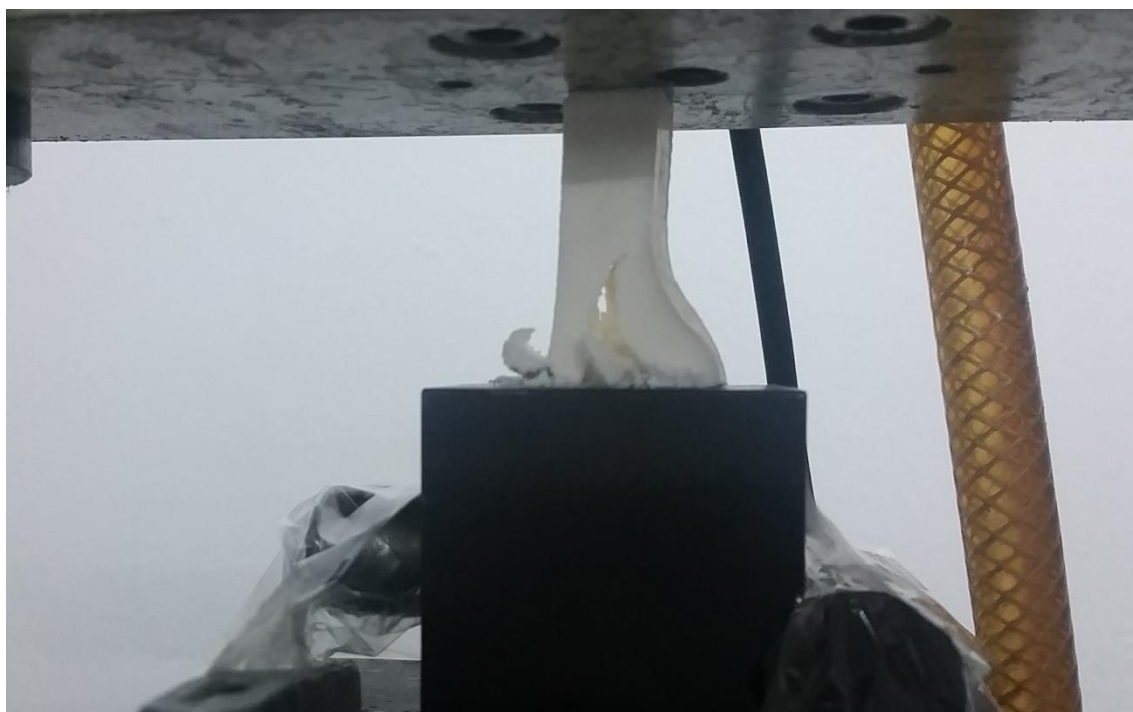
θλίψης έγινε με βάση το πρότυπο ASTM D-695. Τα δοκίμια έχουν την μορφή ορθογώνιου παραλληλογράμμου όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-25 και σύμφωνα με τις διαστάσεις του προτύπου Εικόνα 5-32.



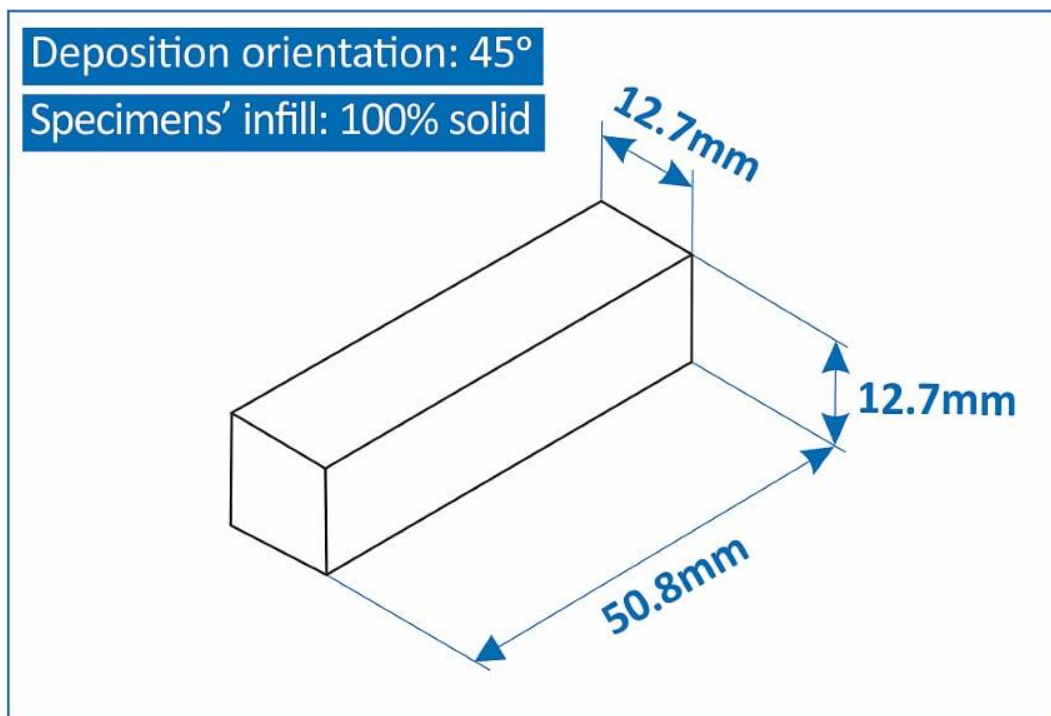
Εικόνα 5-29: Αποψη των μετρήσεων μετατόπισης- χρόνου, δύναμης- χρόνου, τάσης- χρόνου, που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της φόρτισης.



Εικόνα 5-30: Παραμόρφωση του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της φόρτισής του, πριν αστοχήσει.



Εικόνα 5-31: Αστοχία δοκιμίου ABS από θλιπτικές τάσεις.



Εικόνα 5-32: Διαστάσεις δοκιμίου σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D-695

# Μέρος Δ

---

## *Αποτελέσματα-Συζήτηση των αποτελεσμάτων*

### **6. Αποτελέσματα**

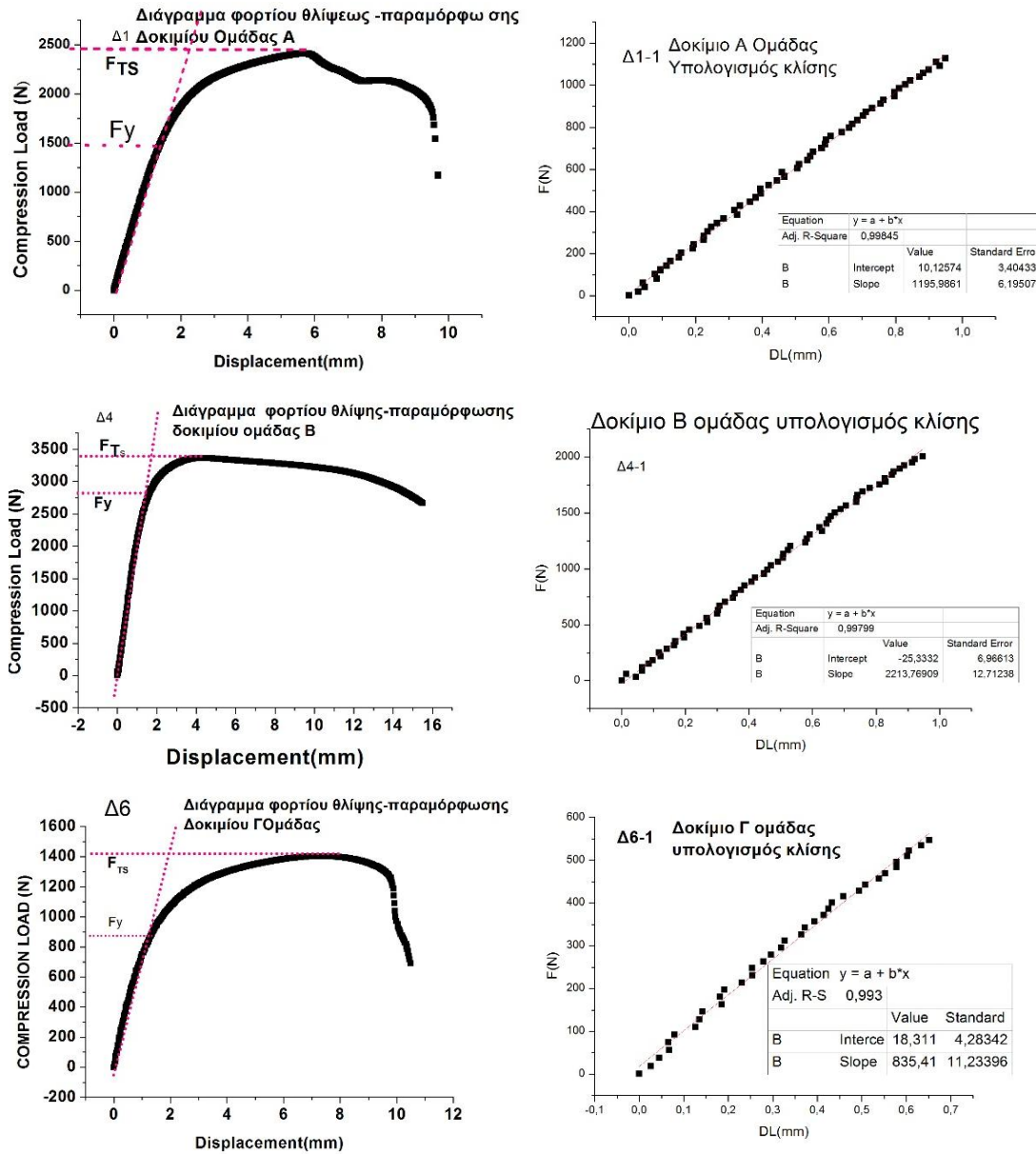
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς σε θλίψη δοκιμίων ABS που κατασκευάστηκαν με την μέθοδο χύτευσης με συμπίεση (compression molding) όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

#### **6.1 Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης**

Όπως προαναφέρθηκε για την δοκιμασία ακολουθήθηκαν οι οδηγίες του προτύπου ASTM D-695. Η ταχύτητα θλίψης που έγιναν οι δοκιμές ήταν 7mm/min.

Έγινε δοκιμασία σε 17 δοκίμια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες (Α,Β,Γ) ως προς την αντοχή και την ελαστικότητα τους.

Στο Εικόνα 6-1 απεικονίζονται διαγράμματα φορτίου θλίψης (compression load)-μεταβολής μήκους (displacement) καθώς και ο υπολογισμός της κλίσης από την ελαστική περιοχή των διαγραμμάτων.



Εικόνα 6-1: Τυπικά διαγράμματα φορτίου θλίψης μεταβολής μήκους για ένα δοκίμιο από κάθε ομάδα Α,Β,Γ όπως και διαγράμματα υπολογισμού της αντίστοιχης κλίσης

Στον Πίνακα 6-1 εμφανίζονται όλα τα αποτελέσματα και οι υπολογιζόμενες παράμετροι,  $\sigma_y$  (αντοχή διαρροής θλίψης),  $\sigma_{TS}$ (αντοχή θλίψης),  $E$  (μέτρο ελαστικότητας).

Πίνακας 6-1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων θλίψης

Αριθμός δοκιμίου	Μήκος L (mm)	πλάτος W (mm)	Πάχος H (mm)	Fy (N)	FTS (N (N/mm)	slope (F/dl)	Αντοχή Διαρροής σ <sub>y</sub> (Mpa)	Αντοχή Εφελκυσμού σ <sub>TS</sub> (Mpa)	Μέτρο Ελαστικότητας (Gra)
Δ1	51,3	13	13	1470	2407	1140	8,7	14,2	0,35
Δ2	51	13,3	12,28	1435	1979	826	8,8	12,1	0,26
Δ3	50,8	13,1	12,9	850	1570	975	5,0	9,3	0,29
Δ4	50,8	13,6	13	2877	3336	2200	16,3	18,9	0,63
Δ5	51	12,9	12,9	840	1563	960	5,0	9,4	0,29
Δ6	51	13	13	850	1400	835	5,0	8,3	0,25
Δ7	50,8	12,7	12,7	1100	1700	933	6,8	10,5	0,29
Δ8	50,8	12,7	12,7	835	1726	1018	5,2	10,7	0,32
Δ9	51,3	12,9	12,9	1320	1805	894	7,9	10,8	0,28
Δ10	51,3	12,9	12,9	1364	1940	954	8,2	11,7	0,29
Δ11	51,3	12,9	13	2799	3381	1206	16,7	20,2	0,37
Δ12	51,3	12,9	12,4	1400	1750	873	8,8	10,9	0,28
Δ13	51,3	12,9	12,4	700	1320	866	4,4	8,3	0,28
Δ14	50,8	12,7	12,6	2578	3100	1812	16,1	19,4	0,58
Δ15	50,8	12,9	13	1744	2400	1340	10,4	14,3	0,41
Δ16	51	13	13,2	2550	3050	1671	14,9	17,8	0,50
Δ17	50,8	13	12,9	2560	3100	1800	15,3	18,5	0,55
MO							8,5	12,1	0,31
<b>ΟΜΑΔΑ Α</b>									
Δ1	51,3	13	13	1470	2407	1140	8,7	14,2	0,35
Δ2	51	13,3	12,28	1435	1979	826	8,8	12,1	0,26
Δ7	50,8	12,7	12,7	1100	1700	933	6,8	10,5	0,29
Δ9	51,3	12,9	12,9	1320	1805	894	7,9	10,8	0,28
Δ10	51,3	12,9	12,9	1364	1940	954	8,2	11,7	0,29
Δ12	51,3	12,9	12,4	1400	1750	873	8,8	10,9	0,28
Δ15	50,8	12,9	13	1744	2400	1340	10,4	14,3	0,41
MO							8,5	12,1	0,31
<b>ΟΜΑΔΑ Β</b>									
Δ16	51	13	13,2	2550	3050	1671	14,9	17,8	0,50
Δ17	50,8	13	12,9	2560	3100	1800	15,3	18,5	0,55
Δ14	50,8	12,7	12,6	2578	3100	1812	16,1	19,4	0,58
Δ11	51,3	12,9	13	2799	3381	1206	16,7	20,2	0,37
Δ4	50,8	13,6	13	2877	3336	2200	16,3	18,9	0,63
MO							15,8	18,9	0,52
<b>ΟΜΑΔΑ Γ</b>									
Δ3	50,8	13,1	12,9	850	1570	975	5,0	9,3	0,29
Δ5	51	12,9	12,9	840	1563	960	5,0	9,4	0,29
Δ6	51	13	13	850	1400	835	5,0	8,3	0,25
Δ8	50,8	12,7	12,7	835	1726	1018	5,2	10,7	0,32
Δ13	51,3	12,9	12,4	700	1320	866	4,4	8,3	0,28
MO							5,1	9,2	0,29

### 6.1.1 Υπολογισμός μέτρου ελαστικότητας

Από το ευθύγραμμο τμήμα του διαγράμματος φορτίου θλίψης-μεταβολή μήκους υπολογίζεται η κλίση (F/ΔL)σε N/mm. Η κλίση στο επιλεγμένο ευθύγραμμο τμήμα υπολογίζεται με το πρόγραμμα OriginPro 8. Σε όλες τις περιπτώσεις ο συντελεστής συσχέτισης της ευθείας γραμμής ήταν  $\geq 0,99$ .

Από την σχέση  $\sigma = E \cdot \varepsilon$  έχουμε:

$$\frac{F}{A_0} = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow E = \frac{F}{\Delta l} \cdot \frac{l_0}{A_0}$$

Όπου E= Μέτρο ελαστικότητας (modulus of elasticity),

$\sigma$ = τάση εφελκυσμού (compression stress),

$F$ =φορτίο (load),

$A_0$ =αρχική διατομή δοκιμίου,

$l_0$ = αρχικό μήκος δοκιμίου,

$\epsilon$ = παραμόρφωση (strain)

$F/\Delta l$ = κλίση

### 6.1.2 Υπολογισμός αντοχής διαρροής θλίψης (Yield compression strength)-αντοχής θλίψης (compression strength)

Η αντοχή διαρροής θλίψης υπολογίζεται από το φορτίο διαρροής διαιρούμενο με τη διατομή του δοκιμίου. Η αντοχή θλίψης υπολογίζεται από το μέγιστο φορτίο θλίψης διαιρούμενο με τη διατομή θλίψης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1

## 6.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων

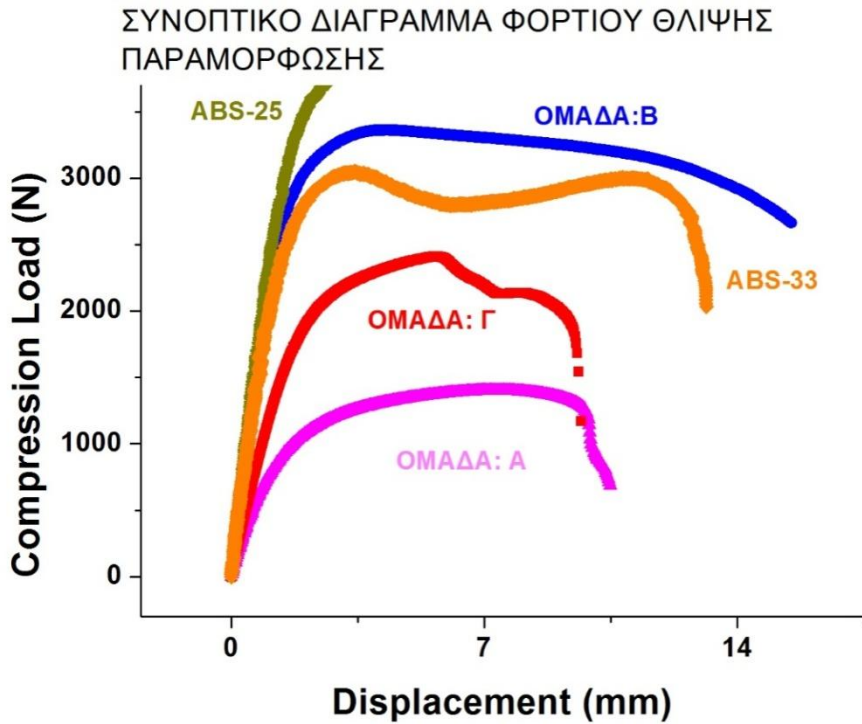
Στο Παράρτημα 1 απεικονίζονται τα διαγράμματα φορτίου θλίψης -μεταβολή μήκους και των 17 δοκιμίων. Όπως προαναφέρθηκε τα αποτελέσματα των 17 δοκιμίων δείχνουν μια ομαδοποίηση των δοκιμίων σε τρεις ομάδες Α, Β και Γ.

Η αντοχή διαρροής θλίψης, η αντοχή θλίψης και το μέτρο ελαστικότητας της ομάδας Β είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων αυτών των δοκιμίων της ομάδας Α. Συγκεκριμένα η  $\sigma_y$  της ομάδας Β είναι μεγαλύτερη κατά 67%, η  $\sigma_{TS}$  52% και το μέτρο ελαστικότητας κατά 44%. Οι τιμές  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{TS}$  και Ε της ομάδας Γ βρίσκονται μεταξύ των άλλων δύο ομάδων, είναι μικρότερες της ομάδας Β και μεγαλύτερες της Α.

Αυτό μας οδηγεί στη σκέψη ότι κάποια σημαντική διαφοροποίηση έχει συμβεί στη μακροσκοπική δομή των δοκιμίων κατά την παραγωγή τους. Οι παράμετροι που μπορεί να διαφοροποιήθηκαν είναι η ανομοιόμορφη θέρμανση του καλουπιού, δηλαδή των υλικών κατά την συμπίεση, ανομοιόμορφη εφαρμογή πίεσης, πλημμελής σχεδιασμός του καλουπιού συμπίεσης. Οι παράμετροι αυτοί δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστούν κατά την διάρκεια της πρώτης εφαρμογής της μεθόδου με αξιοποίηση της παλαιάς μηχανής συμπίεσης του εργαστηρίου.

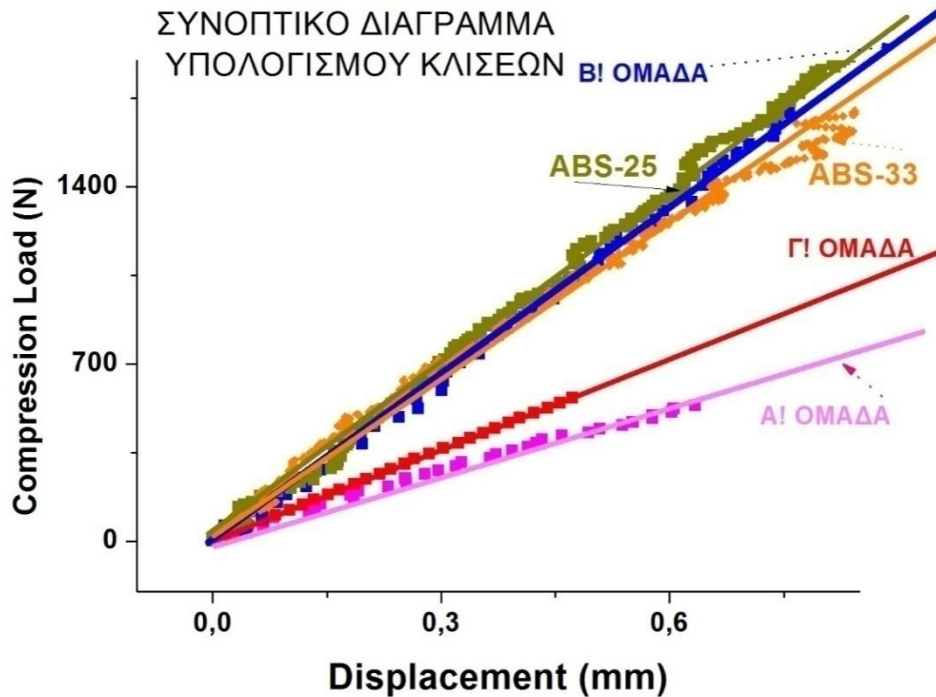
Για να δούμε πως τα αποτελέσματα μας συγκρίνονται με αποτελέσματα αντίστοιχης δοκιμασίας σε δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο Rapid Prototype χρησιμοποιώντας το 3D printer του εργαστηρίου, ανατρέξαμε στα αποτελέσματα της πτυχιακής εργασίας του κου. Λειτουργάκη που έχει πραγματοποιηθεί στο εργαστήριο. Στην πτυχιακή αυτή έγινε δοκιμασία θλίψης σε δοκίμια ABS τα οποία τυπώθηκαν με την παραπάνω μέθοδο σε γωνία 25° και 33°.

Στο Εικόνα 6-2 απεικονίζονται τα διαγράμματα φορτίου θλίψης-μεταβολής μήκους και τα δοκίμια ομάδων Α,Β,Γ και ABS-25, ABS-33.



Εικόνα 6-2: Συγκριτικό διάγραμμα F-ΔL για αντιπροσωπευτικά δοκίμια ομάδων Α,Β,Β και ABS-25, ABS-33.

Επίσης στο Εικόνα 6-3 απεικονίζονται οι κλίσεις.



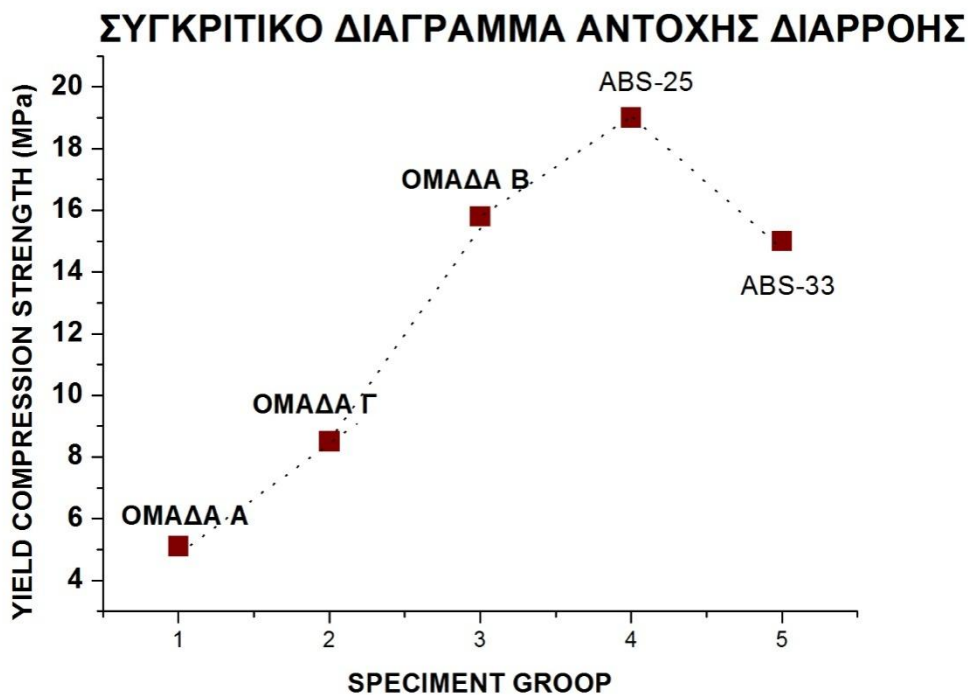
Εικόνα 6-3: Συγκριτικά διαγράμματα υπολογισμού κλίσεων για αντιπροσωπευτικά δοκίμια ομάδων Α,Β,Β και ABS-25, ABS-33.



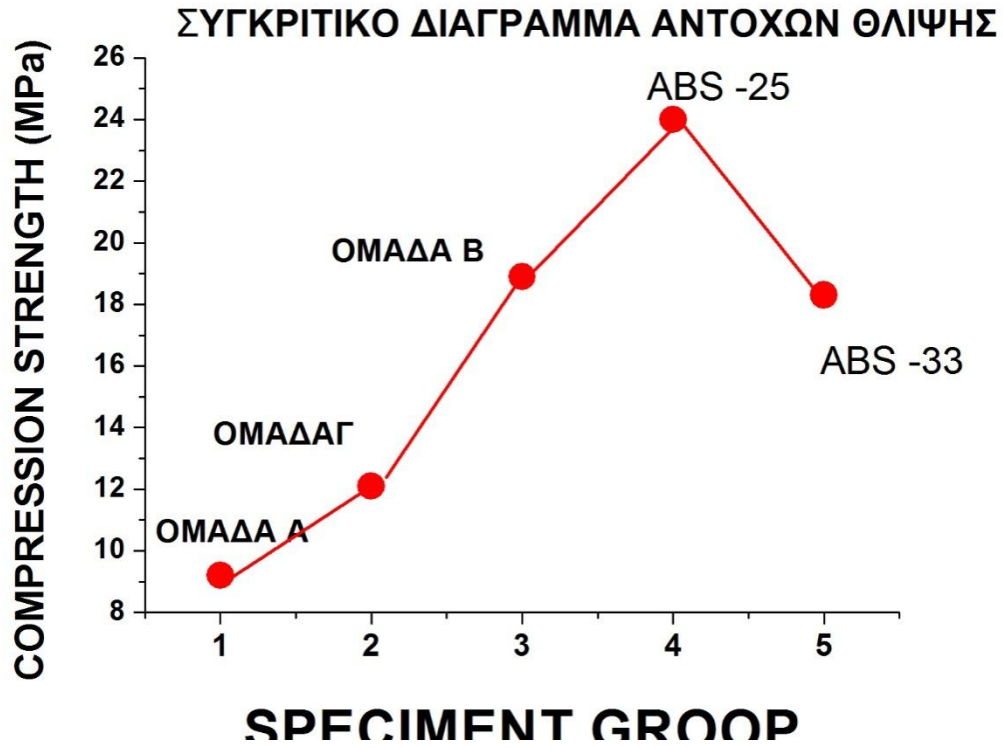
Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων της πτυχιακής του κου Λειτουργάκη [15] παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα μόνο με αυτήν της ομάδας Β και μάλιστα οι τιμές των ABS-25 είναι μεγαλύτερες από αυτές της ομάδας Β.

Συγκεκριμένα  $\sigma_{y(ABS-25)}$  είναι μεγαλύτερη κατά 24% από την τιμή  $\sigma_{y(ΟΜΑΔΑ-B)}$ , η  $\sigma_{TS(ABS-25)}$  είναι μεγαλύτερη 26% από την  $\sigma_{TS(ΟΜΑΔΑ-B)}$  και το Ε μέτρο ελαστικότητας είναι μεγαλύτερο κατά 80%. Σε αντίθεση με τις τιμές  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{TS}$  των ABS-33 σχεδόν ταυτίζεται με αυτές της ομάδας Β, ενώ το μέτρο ελαστικότητας των ABS-33 δείχνει να είναι μεγαλύτερο κατά 46% από αυτό της ομάδας Β. αυτή η διαφοροποίηση μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική μακροσκοπική δομή (προσανατολισμός των μακρομορίων στην δομή).

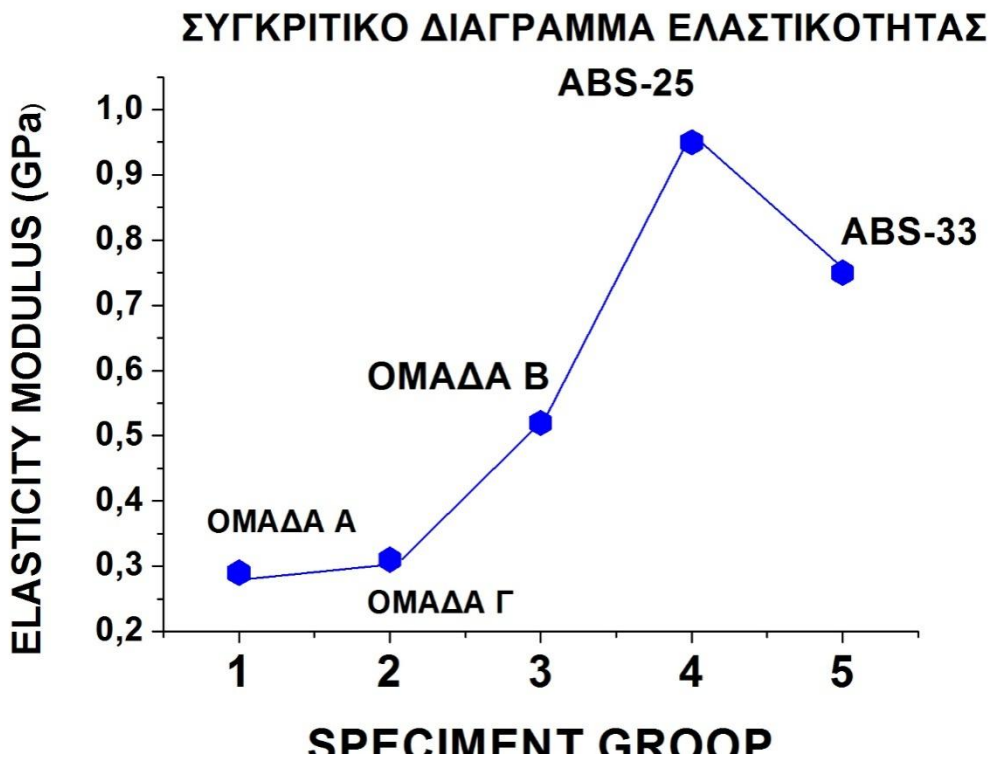
Στις Εικόνα 6-4, Εικόνα 6-5 και Εικόνα 6-6 που ακολουθούν παρουσιάζονται συγκριτικά οι τιμές  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{TS}$  και Ε για όλα τα δοκίμια.



Εικόνα 6-4: Συγκριτικό διάγραμμα αντοχής διαρροής



Εικόνα 6-5: Συγκριτικό διάγραμμα αντοχής θλίψης



Εικόνα 6-6: Συγκριτικό διάγραμμα μέτρων ελαστικότητας

### Συμπεράσματα

- 1 Η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την παραγωγή δοκιμίων παρουσιάζει αρκετές αβεβαιότητες με αποτέλεσμα να υπεισέρχονται αστάθμητοι παράγοντες οι οποίοι διαφοροποιούν την μακροσκοπική δομή των δοκιμίων.
- 2 Ο σχεδιασμός των καλουπιών, ο έλεγχος την ομοιόμορφης θέρμανσης, η εξασφάλιση ομοιομορφίας συμπίεσης καθώς και ο ακριβής χρόνος συμπίεσης θέρμανσης είναι παράμετροι που πρέπει να συζητηθούν.
- 3 Λόγω των παραπάνω αβεβαιοτήτων προέκυψαν τρεις ομάδες αποτελεσμάτων από τις οποίες μόνο η ομάδα Β φαίνεται να είναι συμβατή με αποτελέσματα που παρήχθησαν στο εργαστήριο μας.
- 4 Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των ομάδων Α, Β, Γ δείχνει ότι η δομή των δοκιμίων Α και Γ είναι σημαντικά υποβαθμισμένη και είναι σίγουρο ότι υπάρχουν σημαντικές απώλειες (σφάλματα) στη μακροσκοπική τους δομή.
- 5 Τα αποτελέσματα της ομάδας Β δείχνουν να είναι συμβατή με τα αποτελέσματα των δοκιμίων που παρήχθησαν στο εργαστήριο με την μέθοδο RapidPrototype (3Dprinting)

## Βιβλιογραφία

- [1] Παναγιώτου, Κ., **Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών**, 3<sup>η</sup> Έκδοση(2006), Εκδόσεις Πήγασος 2000.
- [2]  
[http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/A1\\_Polimeri\\_Genika.pdf](http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/A1_Polimeri_Genika.pdf)
- [3] ΜΑΡΙΟΣ ΓΑΒΡΙΗΛ, Πολυμερικά Πολυμίγματα Συμπολυμερών Πολυστυρενίου: Παραγωγή, Χαρακτηρισμός και Μελέτη Εφαρμογών τους, Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα 2013.
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile\\_butadiene\\_styrene](https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene)
- [5] Philip A. Schweitzer, **Mechanical and Corrosion-Resistant Properties of Plastics and Elastomers**, CRC Press, USA 2000
- [6] M.E. Grigore, **Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers**, *Recycling* 2017, vol. 2(4), 24
- [7] María de Gracia Trujillo García, Manfred Schlatter, Francisco Mata Cabrera, José Tejero Manzanares, Issam Hanafi, **Recycling of Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Using Injection Moulding Machine**, *Procedia Technology* Volume 22, 2016, Pages 399-406.
- [8] Eco-profiles of the European Plastics Industry, Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer (ABS), A report by I Boustead for PlasticsEurope, Data last calculated March 2005.
- [9] Gonzales J.E., Krejchi M.T., Mafoti R.M., Odstreil K.W., Hoelscher F.E., Kendall E.W., Lee Y.M., Cloud F.B., **ABS RECYCLING PROCESS**, United States Patent, 1999.
- [10]  
[http://users.isc.tuc.gr/~gotsis/Alexandros\\_D\\_Gotsis/Other/Entries/2010/1/2\\_Recycling\\_in\\_Chania\\_files/recycling\\_1.pdf](http://users.isc.tuc.gr/~gotsis/Alexandros_D_Gotsis/Other/Entries/2010/1/2_Recycling_in_Chania_files/recycling_1.pdf)
- [11] Mikko Halonen, **A Study About PC/ABS Blends**, Aalto University, mechanical engineering, 2016.
- [12] W.Hale, H.Keskkula, D.R.Paul, Compatibilization of PBT/ABS blends by methyl methacrylate-**glycidyl methacrylate-ethyl acrylate terpolymers**, *Polymer*, Vol. 40 (2), 1999, Pp 365-377.
- [13] William D. Callister, Jr. **Επιστήμη και τεχνολογία των υλικών**, 5η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008.
- [14] Μάρκος Α.Πετούσης **Σημειώσεις εργαστηρίου Μάθημα CAM 2 και Αντίστροφη Μηχανική**, Σεπτέμβρης 2010

[https://eclass.teicrete.gr/modules/document/file.php/TM155/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/9\\_CNC.pdf](https://eclass.teicrete.gr/modules/document/file.php/TM155/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/9_CNC.pdf)

[15]Λειτουργάκης Γιάννης, **Μελέτη αντοχής σε θλίψη των Μηχανολογικών θερμοπλαστικών ABSκαι ABSplus**, πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Κρήτης-Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Παράρτημα

