

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΠΥΣΜΟΥ ΣΕ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ»



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΒΒΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο και σκοπός της πτυχιακής μου εργασίας είναι να μελετήσουμε το φαινόμενο του ερπυσμού σε πολυμερή υλικά. Το φαινόμενο του ερπυσμού είναι η παραμόρφωση των υλικών, σε τάσεις παραμόρφωσης χαμηλότερες από την αντοχή παραμόρφωσης του υλικού όταν αυτό βρίσκεται στην περιοχή υψηλών θερμοκρασιών. όπου δεν οφείλεται μόνο στα φορτία, αλλά και της θερμοκρασίας και του χρόνου επιβολής των φορτίων. Η παραμόρφωση των υλικών είναι συνάρτηση της τάσης $\epsilon=f(\sigma)$, για $\sigma > \sigma_y$ (αντοχή παραμόρφωσης), και δεν επηρεάζεται πρακτικά από το χρόνο επιβολής της τάσης και τη θερμοκρασία. Όταν το υλικό ευρεθεί στην περιοχή υψηλών θερμοκρασιών η παραμόρφωση είναι συνάρτηση της τάσης της θερμοκρασίας και του χρόνου επιβολής της τάσης. $\epsilon=f(\sigma, T, t)$. Το φαινόμενο του ερπυσμού μπορεί να εμφανιστεί σε κατάλληλες συνθήκες σε όλες τις κατηγορίες των υλικών (μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή, σύνθετα πολυμερή).

Η μελέτη ερπυσμού έγινε στο εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών. Η συσκευή μέτρησης ερπυσμού κατασκευάστηκε στον χώρο του εργαστηρίου και είναι ην πρώτη φορά που χρησιμοποιείται.

Με τη καθοδήγηση του προσωπικού του εργαστηρίου κάναμε στην αρχή έλεγχο και βαθμονόμηση της συσκευής και στη συνέχεια μελετήσαμε δοκίμια από υλικά PMMA (Plexiglas εμπορικής χρήσης, και ABS που τυπώθηκε στο εργαστήριο Ρομποτικής-CAM του Τμήματος Μηχανολογίας).

Ευχαριστώ πολύ τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Σαββάκη που μου ανέθεσε την πτυχιακή εργασία με αυτό το ενδιαφέρον θέμα και τον Τεχνικό του Εργαστηρίου κ Ι. Στεφανάκη για την συνεχή βοήθεια του. Επίσης ευχαριστώ και τους γονείς μου για την συμπαράσταση και υποστήριξη στην φοιτητική μου πορεία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</u>	5
Μηχανισμός ερπυσμού στα υλικά	5
1.1 Μέταλλα.....	6
1.2 Κεραμικά.....	9
1.3 Πολυμερή.....	11
1.4 Σύνθετα υλικά	15
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</u>	19
Μαθηματικά μοντέλα που εφαρμόζονται-Εκτίμηση της διάρκειας ζωής υλικού.....	19
2.1 Μέθοδος Sherby-Dorn.....	19
2.2 Μέθοδος Larson-Miller.....	21
2.3 Μέθοδος Manson-Haferd.....	22
2.4 Παράμετροι χρόνος-θερμοκρασία και εκτίμηση χρόνου ζωής.....	23
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</u>	25
Περιγραφή της συσκευής μετρήσεων και πειραματικό μέρος.....	25
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</u>	28
4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	28
4.2 Καταγραφή αποτελεσμάτων.....	32
4.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	36
4.4 Συμπεράσματα.....	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Καμπύλη ερπυσμού.....	6
1.2 παράδειγμα αντοχής υλικών σε ερπυσμό.....	7
1.3 Αναρρίχηση της ατέλειας σε άλλο επίπεδο ολίσθησης με διάχυση των ατόμων.....	8
1.4 Ερπυσμός με ολίσθηση και αναρρίχηση των εξαρμώσεων.....	9
1.5 Μηχανισμός παραμόρφωσης συναρτήσει της τάσης και της θερμοκρασίας.....	10
1.6 Μεταβολή σχήματος κόκκων.....	10
1.7 Καμπύλη ερπυσμού πολυμερών για σταθερή τάση.....	13

1.8 Ερπυσμός και συμπεριφορά ανάκτησης.....	13
1.9 Μηχανικό μοντέλο τεσσάρων στοιχείων.....	14
1.10 Μορφή καμπύλων ερπυσμού για σταθερή τάση και αυξανόμενη θερμοκρασία.....	15
1.11 Στοιβάδα (lamina) σύνθετου υλικού.....	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Παραμόρφωση ερπυσμού συναρτήσει του θ_r	19
2.2 Γραφική απεικόνιση του λογάριθμου του χρόνου ρήξης.....	20
2.3 Γραφική παράσταση για την μέθοδο Larson-Miller.....	21
2.4 Διάγραμμα λογάριθμου του χρόνου ρήξης.....	22
2.5 Συσχέτιση δεδομένων ερπυσμού-ρήξης, για το κράμα S-590.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Φωτογραφίες της συσκευής ερπυσμού.....	25
3.2 Διαγραμματική απεικόνιση αρχής λειτουργίας της συσκευής ερπυσμού.....	26
3.3 Διάγραμμα βαθμονόμησης της συσκευής ως προς το επαγόμενο φορτίο.....	26
3.4 Διασύνδεση (interface) μηχανσιόμετρου-βολτόμετρου.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Αποτελέσματα πειράματος Ερπυσμού PMMA στους 70 °C.....	30
4.2 Αποτελέσματα πειράματος Ερπυσμού PMMA στους 70 °C	30
4.3 Αποτελέσματα πειραμάτων Ερπυσμού PMMA στους 85°C.....	31
4.4 Μονομερή από τον συμπολυμερισμό των οποίων προκύπτει το ABS.....	33
4.5 Κόκκοι ABS.....	34
4.6 Αποτελέσματα πειραμάτων ερπυσμού στους 75 °C	35
4.7 Αποτελέσματα πειραμάτων ερπυσμού στους 75 °C.....	35
4.8 Διάγραμμα για τον υπολογισμό των παραμέτρων P_{SD} και P_{LM}	37

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν ένα υλικό βρεθεί ή εκτεθεί σε υψηλές γι' αυτό θερμοκρασίες μπορεί να εμφανίσει πλαστική παραμόρφωση σε μηχανικές τάσεις σημαντικά μικρότερες από την αντοχή παραμόρφωσής του. Ως ερπυσμός ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο σε στερεό σώμα στο οποίο ασκείται μια σταθερή δύναμη εκδηλώνεται αργή και συνεχής παραμόρφωση παρότι η τάση η οποία το καταπονεί είναι μικρότερη από το όριο διαρροής του υλικού. Το φαινόμενο εκδηλώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και όταν ασκούνται μηχανικές καταπονήσεις για παρατεταμένο χρόνο. Στον ερπυσμό η παραμόρφωση δίνεται σε συνάρτηση με τον χρόνο επιβολής της τάσης και τη θερμοκρασία, $\epsilon=f(t,\sigma T)$. Η περιοχή θερμοκρασιών ερπυσμού για τα μέταλλα και τα κεραμικά συναρτάται με τη απόλυτη θερμοκρασία τήξης τους ενώ για τα πολυμερή με τη θερμοκρασία υάλου.

Ο ερπυσμός είναι σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το μηχανολογικό σχεδιασμό και επιλογή των υλικών για μια εφαρμογή όταν αναμένεται να έχουμε έκθεση των υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες όπως στις τουρμπίνες των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας, στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, στις μηχανές των αεροπλάνων και των διαστημοπλοίων αλλά και σε πολλές άλλες απλούστερες εφαρμογές. Το φαινόμενο του ερπυσμού αναφέρεται επίσης στην αυτοκινητοβιομηχανία αφού και εκεί έχουμε να κάνουμε με τριβές και υψηλές θερμοκρασίες στην επιλογή υλικών της κατασκευής του κινητήρα. Στην κατασκευή αεροσκαφών είναι επίσης σημαντικό να καταπολεμηθούν οι τριβές εξωτερικά του αεροσκάφους, οι οποίες δημιουργούν υψηλές θερμοκρασίας.

Οι εναλλάκτες θερμότητας, στροβιλοκινητήρες(τουρμπίνες) κτλ λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Παρότι σε χαμηλές θερμοκρασίες και με εφαρμογή χαμηλών τάσεων, δεν υπόκεινται σε μόνιμη παραμόρφωση, σε υψηλότερες θερμοκρασίες και με τις ίδιες τάσεις η παραμόρφωση θα ήταν μόνιμη.

Στην εργασία αυτή μελετήσαμε την συμπεριφορά των πολυμερών υλικών στον ερπυσμό. Οι μετρήσεις έγιναν με χρήση της συσκευής μέτρησης ερπυσμού με εφελκυσμό που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών.

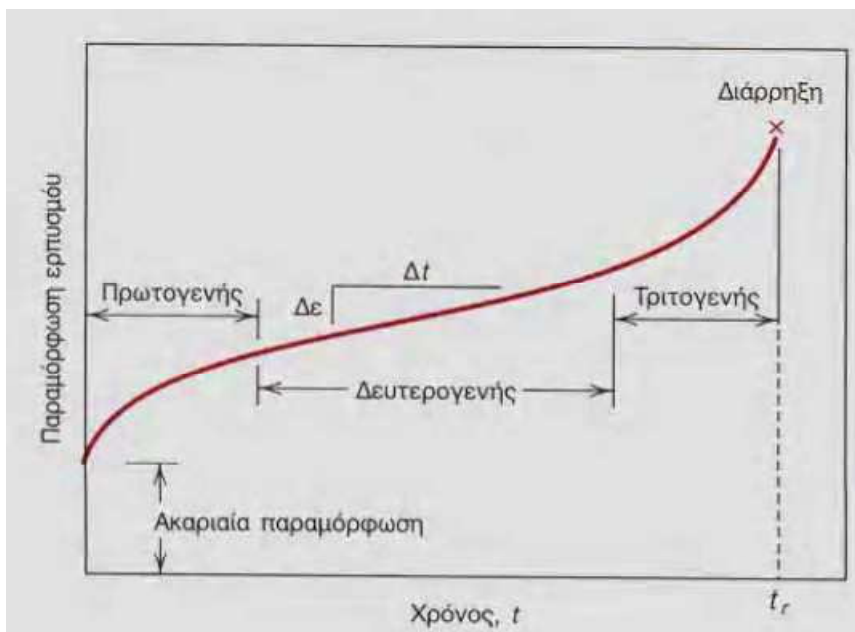
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΠΥΣΜΟΥ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται γενικά η διαδικασία του ερπυσμού συναρτήσει του χρόνου και της παραμόρφωσης του ερπυσμού.

Αρχικά με την επιβολή του φορτίου παρατηρούμε την παραμόρφωση του μετάλλου αμέσως και είναι ελαστική.

Η διαδικασία του ερπυσμού συμβαίνει σε τρία στάδια:



Σχήμα 1.1 Καμπύλη ερπυσμού

- Πρωτογενής ή μεταβατικός ερπυσμός

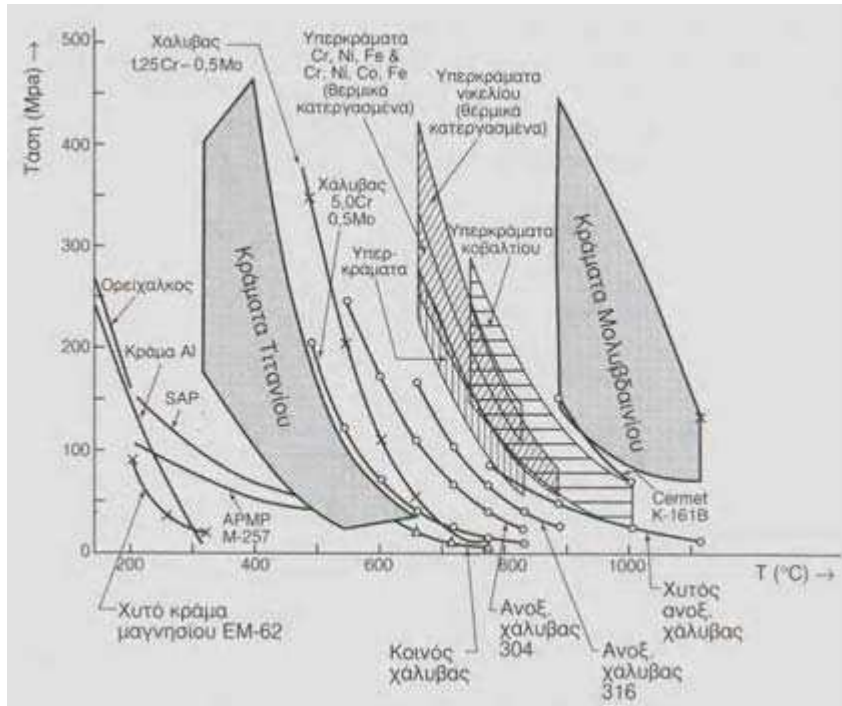
Παρατηρείται συνεχής μείωση του ρυθμού παραμόρφωσης του υλικού (ταχύτητα ερπυσμού) με το χρόνο.

- Δευτερογενής ερπυσμός

Αντιστοιχεί στο δεύτερο στάδιο παραμόρφωσης ερπυσμού και ονομάζεται δευτερεύων ή σταθερής κατάστασης ερπυσμός (secondary or steady state creep). Το στάδιο αυτό έχει τη μεγαλύτερη χρονική διάρκεια κατά την εξέλιξη του φαινομένου, ενώ η ταχύτητα ερπυσμού $\dot{\epsilon}_{II}$ παραμένει σταθερή. Η σταθερότητα της $\dot{\epsilon}_{II}$ αποδίδεται στην ισορροπία μεταξύ των δύο ανταγωνιστικών διεργασιών οι οποίες αναπτύσσονται στο υλικό: της σκλήρυνσης πλαστικής παραμόρφωσης και της αποκατάστασης της δομής λόγω ανόπτησης.

• Τριτογενής ερπυσμός

Στο τελευταίο αυτό στάδιο η ταχύτητα ερπυσμού αυξάνεται απότομα και τελικά επέρχεται η αστοχία του υλικού, η οποία συνήθως ονομάζεται θραύση. Αύξηση της ταχύτητας ερπυσμού αποδίδεται σε απότομη μείωση της ενεργούς διατομής του υλικού με αποτέλεσμα η πραγματική τάση η οποία εφαρμόζεται τυπικά στο υλικό να αυξάνεται σημαντικά. Η θραύση του υλικού συχνά λέγεται ρήξη ή κατάρρευση.



Σχήμα 1.2: Εδώ απεικονίζονται παράδειγμα αντοχής υλικών σε ερπυσμό, συμπεριφοράς των υλικών σε αύξηση της θερμοκρασίας (T σε °C) συναρτήσεως της τάσης (MPa).

1.1 Μέταλλα

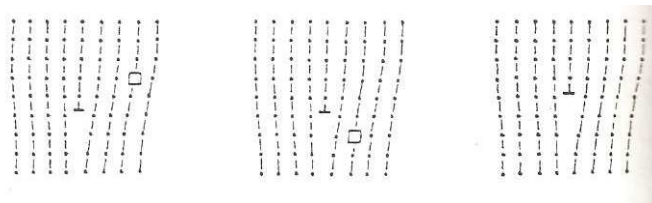
Γενικά τα χημικά στοιχεία διακρίνονται σε μέταλλα(περίπου 70) και αμέταλλα(περίπου 30). Αυτή η διάκριση οφείλεται στη διαφοροποίηση των ανωτέρω στοιχείων από άποψη χημικών και φυσικών ιδιοτήτων. Ο ηλεκτροθετικός χαρακτήρας των στοιχείων είναι αυξημένος στις πρώτες στήλες (Ομάδες) και στις τελευταίες σειρές (Περίοδοι) του περιοδικού πίνακα των Στοιχείων.

Ο ερπυσμός στα μέταλλα λαμβάνει χώρα με τον μηχανισμό **ερπυσμός εξαρμώσεων**. Αυτός ο μηχανισμός ερμηνεύει κυρίως τη συμπεριφορά των μετάλλων σε συνθήκες ερπυσμού. Είναι γνωστό ότι η πλαστική παραμόρφωση των μετάλλων είναι αποτέλεσμα μετακίνησης των εξαρμώσεων. Μια εξάρμωση για να μετακινηθεί με ολίσθηση στο ευνοϊκό γι' αυτήν επίπεδο ολίσθησης, πρέπει η τάση διάτμησης που την ωθεί να έχει τέτοιο μέγεθος ώστε αφ' ενός μεν να υπερνικά την εσωτερική αντίσταση του κρυσταλλικού

πλέγματος αφ' ετέρου «τα εμπόδια» τα οποία συναντά στην μετακίνηση. Τα εμπόδια αυτά μπορεί να είναι: διαλυμένα ετεροάτομα, σωματίδια από καθίζηση ή διασπορά, άλλες εξαρμώσεις.

Θεωρούμε ότι μια εξάρμωση κατά την μετακίνηση συναντά ένα «εμπόδιο». Εφ' όσον η τάση η οποία εφαρμόζεται στο υλικό δεν έχει «ικανό μέγεθος» να υπερνικήσει την αντίσταση του εμποδίου, η κίνηση της εξάρμωσης σταματά με συνέπεια να μην υπάρχει συνέχεια στην πλαστική παραμόρφωση. Αυτό όμως δεν συμβαίνει στη πραγματικότητα γιατί (υπό την ταυτόχρονη) επίδραση της θερμοκρασίας έχουμε σταδιακή «απελευθέρωση» της κίνησης της εξάρμωσης.

Στο παρακάτω σχήμα θα ερμηνεύσουμε πως γίνεται αυτή η διεργασία στη δομή του υλικού.



Σχήμα 1.3 Αναρρίχηση της ατέλειας σε άλλο επίπεδο ολίσθησης με διάχυση των ατόμων.

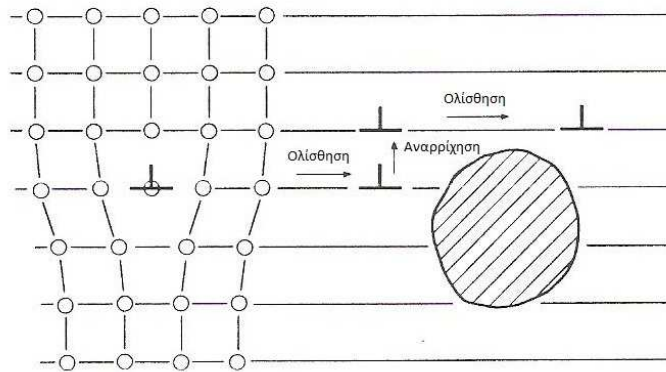
Η δύναμη ολίσθησης η οποία επιδρά στην εξάρμωση ανά μονάδα μήκους είναι $F_1 = \tau \times b$.

Ενώ η αντίσταση του «εμποδίου» είναι F_0 . Από τη δράση των δύο αυτών δυνάμεων προκύπτει η συνιστώσα $F_2 = \tau \times b \times \varepsilon \varphi \theta$, η οποία τείνει να ολισθήσει την εξάρμωση έξω από το επίπεδο ολίσθησης της.

Όμως η ολίσθηση της εξάρμωσης σε διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση του αρχικού επιπέδου ολίσθησης δεν είναι εφικτή με την επίδραση μόνο της συνιστώσας δύναμης F_2 , γιατί τα μισά άτομα της εξάρμωσης βρίσκονται κάτω από το επίπεδο ολίσθησης. Αυτή η ολίσθηση γίνεται εφικτή με την συνεργεία της διάχυσης. Τα άτομα της εξάρμωσης τα οποία βρίσκονται κάτω από το αρχικό επίπεδο ολίσθησης μεταφέρονται με διάχυση λόγω διαφοράς συγκέντρωσης προς τη διεύθυνση της F_2 με αποτέλεσμα η εξάρμωση να αναρριχείται (climb) τελικά σε νέο επίπεδο ολίσθησης αποφεύγοντας το «εμπόδιο».

Στη συνέχεια η εξάρμωση μετακινείται μέχρι το πλησιέστερο «εμπόδιο» οπότε η διαδικασία αποφυγής του «εμποδίου» επαναλαμβάνεται. Έτσι εξηγείται και η σταδιακή συνεχής φύση του ερπυσμού.

Ο μηχανισμός του ερπυσμού με ολίσθηση (glide) και αναρρίχηση (climb) των εξαρμώσεων δίνεται συνοπτικά στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.4 Ερπυσμός με ολίσθηση και αναρρίχηση των εξαρμώσεων.

Ο ρόλος της αυτοδιάχυσης των ατόμων με συντελεστή διάχυσης $D = D_0 \times e^{\left(-\frac{E_D}{RT}\right)}$, εξηγεί την εξάρτηση της ταχύτητας ερπυσμού $\dot{\epsilon}_{II}$ από την θερμοκρασία με βάση την σχέση

$$\dot{\epsilon}_{II} = K_3 \times \sigma^n \times \exp\left(-\frac{E_c}{RT}\right)$$

Η αύξηση της ταχύτητας ερπυσμού με την αύξηση της εφαρμοζόμενης τάσης αποδίδεται στην αύξηση της επαγόμενης δύναμης αναρρίχησης F_2 , η οποία επιδρά στην εξάρμωση. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τάση σ τόσο μεγαλύτερη θα είναι η F_2 και αντίστοιχα περισσότερες εξαρμώσεις θα αναρριχώνται και θα ολισθαίνουν ανά μονάδα χρόνου.

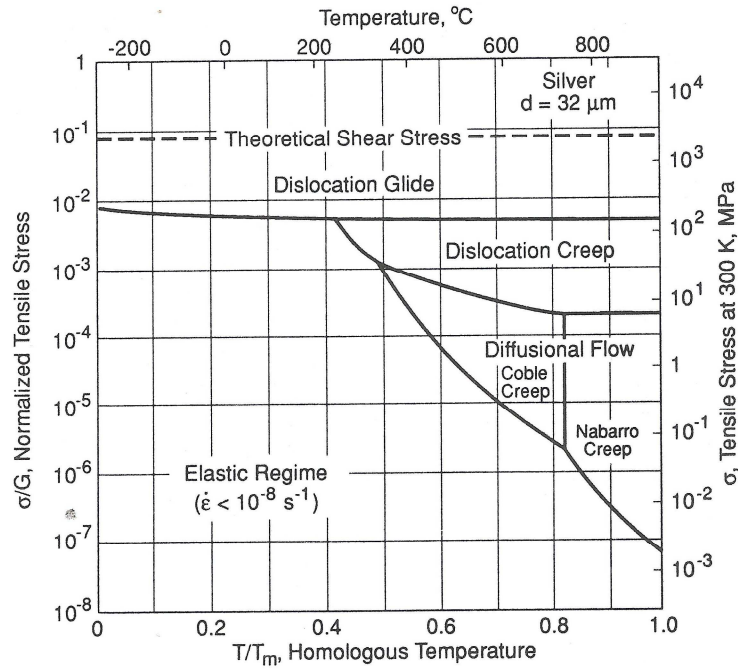
Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης.

Μηχανισμός παραμόρφωσης

Για ένα συγκεκριμένο υλικό, μπορεί να χαραχθεί ένα διάγραμμα μηχανισμού παραμόρφωσης όπου ο μηχανισμός παραμόρφωσης ερπυσμού είναι ο κυρίαρχος για κάθε δεδομένο συνδυασμό της τάσης και της θερμοκρασίας. Ένα παράδειγμα για ένα καθαρό μέταλλο φαίνεται στο διάγραμμα 1.5. Εκτός από το μηχανισμό ερπυσμού που συμβαίνει σ' αυτό το κρυσταλλικό υλικό όπου έχουμε μόνιμη μη αντιστρεπτή παραμόρφωση, εμφανίζεται και η περιοχή ελαστικής παραμόρφωσης. Ένα θεωρητικό όριο σχετικά με την αντοχή παραμόρφωσης αντιστοιχεί στην θεωρητική διατμητική αντοχή,

$$\tau_b \approx \frac{G}{10}, \text{ όπου } G \text{ το μέτρο στρέψης ή διάτμησης. Το όριο αυτό μπορεί να οφείλεται στην}$$

διάτμηση των επιπέδων των κρυστάλλων ακόμη κι αν δεν εμφανίζεται κίνηση των εξαρμώσεων.

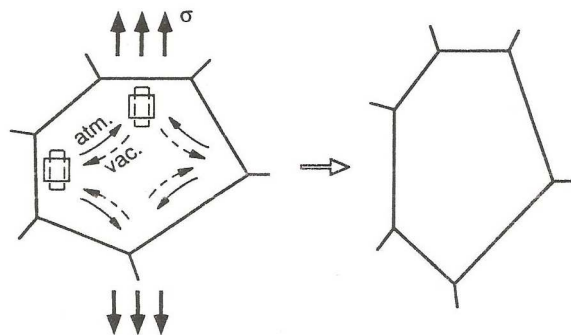


Σχήμα 1.5 Μηχανισμός παραμόρφωσης συναρτήσει της τάσης και της θερμοκρασίας.

1.2 Κεραμικά υλικά

Κεραμικό υλικό είναι κάθε ανόργανο μη μεταλλικό υλικό. Ο μηχανισμός ερπυσμού που εμφανίζεται στα κεραμικά υλικά είναι ο **ερπυσμός διάχυσης**. Αυτός ο μηχανισμός λαμβάνει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες $T \gg 0.5T_m$ και μηχανικές τάσεις χαμηλότερες από το πιο κρίσιμο μέγεθος το οποίο ευνοεί την ολίσθηση των εξαρμώσεων. Η παραμόρφωση είναι αποτέλεσμα της διάχυσης ατόμων-κενών θέσεων μέσα στους κρυσταλλικούς κόκκους.

Η ροή κενών θέσεων προς τη μια κατεύθυνση είναι ισοδύναμη με τη ροή των ατόμων προς την αντίθετη κατεύθυνση με αποτέλεσμα να προκαλείται μια μακροσκοπική αλλαγή του σχήματος των κρυσταλλικών κόκκων (σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6 Μεταβολή σχήματος κόκκων ως αποτέλεσμα διάχυσης κενών θέσεων-ατόμων σε αντίθετες κατευθύνσεις. Η αλλαγή των διαστάσεων του κρυσταλλικού κόκκου αντιστοιχεί στη παραμόρφωση ερπυσμού.

Η αλλαγή του σχήματος επιτρέπει στην εφαρμοζόμενη τάση να παράγει έργο με συνέπεια να ελαττώνεται η συνολική ενέργεια του συστήματος.

Αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα ερπυσμού διάχυσης είναι ανάλογη της τάσης σ η οποία δρα ως κινούσα δύναμη του φαινομένου, του συντελεστή διάχυσης D και αντιστρόφως ανάλογη του d^2 (μέση διάμετρος του κρυσταλλικού κόκκου).

$$\varepsilon_{II} = \frac{A \times s}{d^2} \times \exp\left(-\frac{E_D}{RT}\right)$$

Όπου A : σταθερά του υλικού, E_D : ενέργεια ενεργοποίησης της διάχυσης.

Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες όταν η διάχυση στη κρυσταλλική μάζα του κόκκου είναι αργή το φαινόμενο ερπυσμού εκδηλώνεται με διάχυση κατά μήκος των ορίων των κόκκων στα πολυκρυσταλλικά υλικά ή στην επιφάνεια των μονοκρυστάλλων. Η ταχύτητα ερπυσμού στη περίπτωση αυτή εξαρτάται από την **επιφάνεια** των ορίων των κόκκων και αυξάνεται αυξανόμενης της επιφάνειας.

Κατά την εξέλιξη του ερπυσμού με διάχυση έχουμε σημαντικές μεταβολές στο σχήμα των κρυσταλλικών κόκκων. Λόγω των μεταβολών αυτών ευνοείται ο σχηματισμός εσωτερικών κενών ή μικρορωγμών μεταξύ των κόκκων. Για να παρεμποδιστεί ο σχηματισμός εσωτερικών κενών ή μικρορωγμών απαιτείται πρόσθετη μεταφορά μάζας του υλικού στα όρια των κόκκων του. Αυτό επιτυγχάνεται με ολίσθηση των ορίων των κόκκων (grain boundary sliding).

Για να μην σχηματιστούν κενά στη δομή του υλικού πρέπει η ταχύτητα ερπυσμού διάχυσης να εξισορροπείται από την ταχύτητα ερπυσμού ολίσθησης των ορίων των κόκκων.

Ο ερπυσμός διάχυσης παρατηρείται κυρίως στα κεραμικά παρά στα μέταλλα γιατί η ολίσθηση των εξαρμώσεων στα κεραμικά είναι δυσκολότερη απ' ό,τι στα μέταλλα.

Ένα παράδειγμα ερπυσμού κεραμικού υλικού το οποίο χαρακτηρίζεται και ως κρυσταλλικό κεραμικό, είναι το σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα περιέχει πάστα τσιμέντου που έχει συνδυαστεί χημικά με νερό στην αντίδραση ενυδάτωσης που σκληραίνει το σκυρόδεμα. Επίσης υπάρχει άνυδρη πάστα, που μετατρέπεται σιγά-σιγά με την αντίδραση ενυδάτωσης, καθώς περνά ο χρόνος.

1.3 Πολυμερή υλικά

Αν και τα πολυμερή αποτελούσαν συστατικό της ζωής του ανθρώπου από την αρχή της ιστορίας του, η επιστημονική προσέγγιση της δομής τους καθώς και η συνθετική παραγωγή τους αποτελούν επιτεύγματα του 20ού αιώνα. Τα πολυμερή υλικά διακρίνονται

σε φυσικά και σύνθετα πολυμερή. Τα φυσικά πολυμερή απαντώνται στη φύση (ξύλο, βαμβάκι) ενώ τα σύνθετα πολυμερή παράγονται από τον άνθρωπο. Ορίζουμε τα πολυμερή ως φυσικές ή τεχνητά παρασκευασμένες ύλες, αποτελούμενες από μόρια μεγάλων διαστάσεων (μεγάλου μοριακού βάρους), τα μακρομόρια. Τα πολυμερή συνδυάζουν πλήθος πλεονεκτημάτων όπως το ότι μπορούν να μορφοποιηθούν εύκολα και να δώσουν προϊόντα πολύπλοκης γεωμετρίας. Διαθέτουν συστατικά όπου μπορούν να αντικαταστήσουν το γυαλί, είναι χαμηλά σε πυκνότητα και έχουν χαμηλό κόστος.

Τα πολυμερή υλικά εκθέτουν την συμπεριφορά τους που εξαρτάται από το χρόνο. Η τάση και η παραμόρφωση που προκαλούνται όταν εφαρμόζεται το φορτίο είναι συνάρτηση του χρόνου. Στην πιο γενική του μορφή γραφικά μπορεί να θεωρηθεί σαν μια τρισδιάστατη επιφάνεια.

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά των πολυμερών είναι τα παρακάτω:

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

Τα πολυμερή έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα και γι' αυτό βρίσκουν εφαρμογή ως θερμομονωτικά.

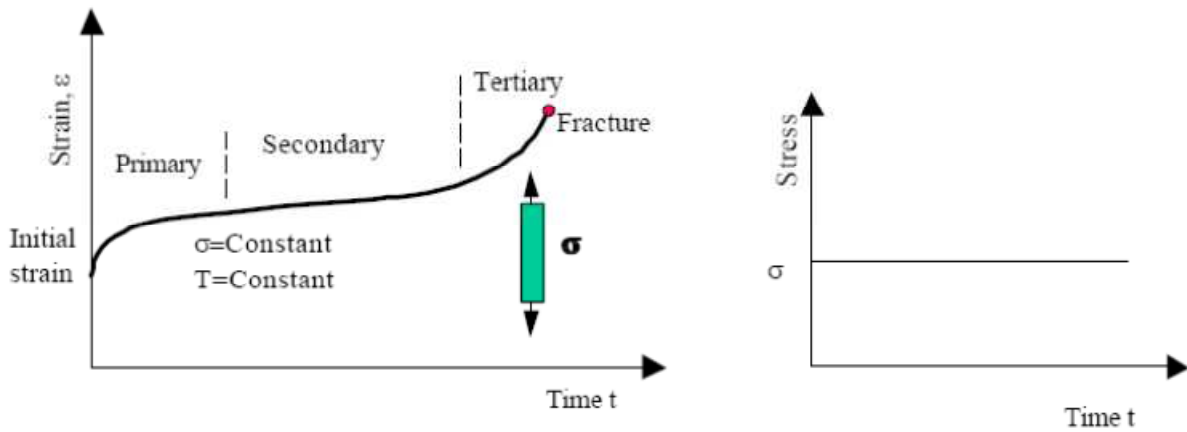
Για να έχει πρακτική χρήση ένα αντικείμενο ή εξάρτημα το οποίο παράγεται από πολυμερές υλικό πρέπει να διατηρεί τις διαστάσεις του όταν δέχεται μικρές μηχανικές καταπονήσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Η σταθερότητα των διαστάσεων των πολυμερών υλικών αποτελεί σημαντικό κριτήριο κατά τον σχεδιασμό και την επιλογή τους για εφαρμογές.

Όταν ένα πλαστικό υλικό υποβάλλεται σε σταθερό φορτίο, παραμορφώνεται συνεχώς.

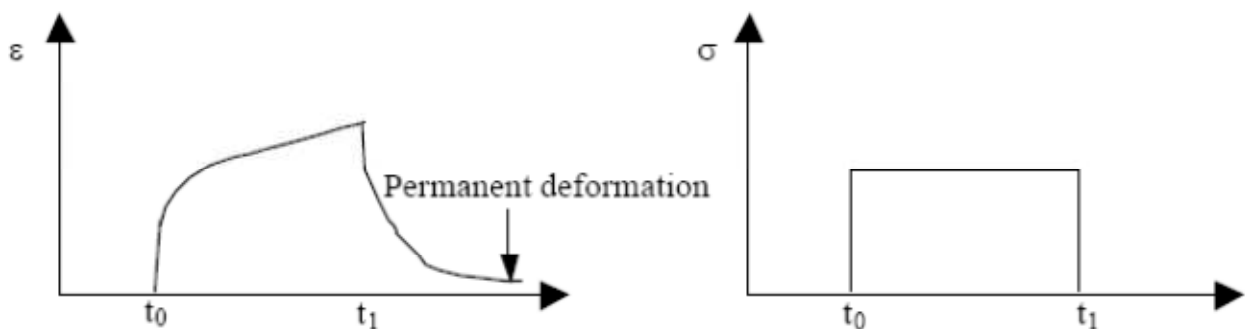
Ένα θερμοπλαστικό πολυμερές μπορεί να εμφανίσει ερπυσμό σε $T > T_g$. Το σημείο υάλου των περισσοτέρων πολυμερών είναι χαμηλότερο της θερμοκρασίας δωματίου. Συνεπώς τα πολυμερή κατά τη χρήση τους συνήθως βρίσκονται στη περιοχή «υψηλών θερμοκρασιών».

Η καμπύλη ερπυσμού των πολυμερών είναι όμοια με αυτή των μετάλλων (σχήμα 1.7)



Σχήμα 1.7 Καμπύλη ερπυσμού πολυμερών για σταθερή τάση

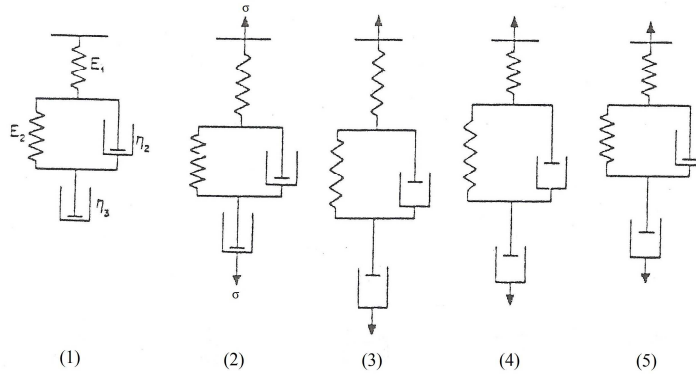
Με την εφαρμογή μικρής τάσης σε χρόνο $t=0$ παρατηρείται μια αρχική παραμόρφωση. Το μέγεθος της εξαρτάται από τη δυσκαμψία ή το μέτρο ελαστικότητας του υλικού. Μετά την άμεση ανταπόκριση του υλικού ακολουθεί η περίοδος πρωτεύοντος ερπυσμού. Η ταχύτητα ερπυσμού βαίνει μειούμενη κατά μήκος της παραμόρφωσης του πρωτεύοντος ερπυσμού προς μια σταθερή τιμή η οποία διατηρείται, και αποτελεί τη περίοδο δευτερεύοντος ερπυσμού. Όταν η τάση απομακρυνθεί, το υλικό ανακτά άμεσα την αρχική ελαστική παραμόρφωση. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σταδιακή αργή ανάκτηση των διαστάσεων η οποία δεν ολοκληρώνεται ποτέ. Στο υλικό παραμένει μια μόνιμη παραμόρφωση η οποία αντιστοιχεί στην ιξώδη ροή (μη αναστρέψιμη διαδικασία) η οποία αναπτύχθηκε στο υλικό.



Σχήμα 1.8 Ερπυσμός και συμπεριφορά ανάκτησης που συνδυάζει ελαστική, σταθερή-κατάσταση ερπυσμού, και στοιχεία μεταβατικού ερπυσμού.

Η συμπεριφορά των πολυμερών κατά τον ερπυσμό μπορεί να προσομοιωθεί με ένα ισοδύναμο μηχανικό μοντέλο.

Οι μεταβολές παραμόρφωσης α και α' , αντιστοιχούν στην ελαστική απόκριση του υλικού και έτσι προσομοιώνονται με ένα ελατήριο. Οι μεταβολές β και β' , αντιστοιχούν στην ιξωδοελαστική απόκριση του υλικού και προσομοιώνονται με το μοντέλο Voigt-Kelvin. Και τέλος οι μεταβολές γ και γ' αντιστοιχούν στην ιξώδη ροή του υλικού και προσομοιώνονται μ' ένα ιξώδες στοιχείο. Συνεπώς η συνολική συμπεριφορά περιγράφεται μηχανικά μ' ένα μοντέλο τεσσάρων στοιχείων. Η συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί ως εξής:



Σχήμα 1.9 Μηχανικό μοντέλο τεσσάρων στοιχείων για την ερμηνεία της συμπεριφοράς ερπυσμού των πολυμερών.

1. Το σύστημα ηρεμεί στη βασική του κατάσταση. Η τάση σ εφαρμόζεται στο ελατήριο E_1 και το ιξώδες στοιχείο η_3 . Επίσης κατανέμεται στα στοιχεία E_2 και η_2 αλλά κατά τρόπο εξαρτώμενο από το χρόνο.
2. Αντιστοιχεί στο χρόνο $t=0$. Το ελατήριο E_1 παραμορφώνεται σύμφωνα με το νόμο του Hooke $\alpha = \frac{\sigma}{E_1}$.
3. Η παραμόρφωση συνεχίζεται στα στοιχεία E_2 και η_2 (ιξωδοελαστική συμπεριφορά). Η ταχύτητα ερπυσμού μειώνεται μέχρι μια σταθερή τιμή. Η παραμόρφωση είναι χρονικά εξαρτώμενη και περιγράφεται με τη σχέση:

$$\varepsilon(t) = \left(\frac{\sigma}{E_2}\right) \times \left\{1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_R}\right)\right\}$$

Όπου τ_R : ο χρόνος υστέρησης του συστήματος ο οποίος είναι ένα μέτρο του χρόνου που απαιτείται ώστε τα E_2 και η_2 να αποκτήσουν το 0,632 της ολικής τους παραμόρφωσης.

Όταν το ελατήριο E_2 εκταθεί πλήρως, ο ερπυσμός συνεχίζεται με την ιξώδη κίνηση του στοιχείου η_3 . Η ιξώδης ροή συνεχίζεται μέχρι την απομάκρυνση της τάσης ή την τη ρήξη του υλικού.

4-5. Με την απομάκρυνση της τάσης αρχίζει η διαδικασία ανάκτησης των διαστάσεων του υλικού μέχρι του σημείου που στο υλικό παραμένει μόνιμη παραμόρφωση λόγω ιξώδους ροής.

$$\dot{\gamma} = \frac{\sigma \times t}{3 \times n_3}$$

Από την παραπάνω σχέση έχουμε: $n_3 = \frac{\sigma}{3 \times \dot{\epsilon}_{II}}$ (ϵ_{II} = ταχύτητα ερπυσμού)

Επειδή η Νευτώνεια-ιξώδης ροή είναι ένα είδος ερπυσμού διάχυσης η ταχύτητα της θα δίνεται από τη σχέση:

$$3\epsilon_{II} = D \times \exp\left(-\frac{E_D}{RT}\right)$$

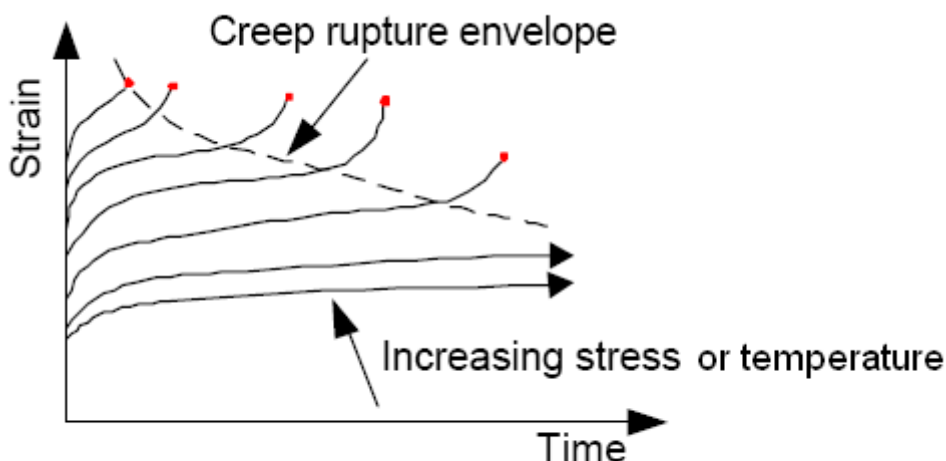
Όπου E_D : η ενέργεια ενεργοποίησης της ροής.

Με επίλυση των παραπάνω τύπων έχουμε: $n_3 = \frac{3}{D} \times \exp\left(-\frac{E_D}{RT}\right)$.

Με την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η ταχύτητα ερπυσμού αυξάνεται εκθετικά με τη θερμοκρασία και είναι ανάλογη της τάσης εφελκυσμού(θλίψης) σ . Η σχέση αυτή μας επιτρέπει έχοντας δεδομένα για τις σταθερές D , E_D υπολογίσουμε το συνδυασμό θερμοκρασίας- τάσης ο οποίος απαιτείται για τη μορφοποίηση των πολυμερών.

Με την αύξηση του ιξώδους, μειώνεται σημαντικά η ταχύτητα ερπυσμού. Αυτό επιτυγχάνεται με προσθήκη πρόσθετων ουσιών στη μάζα των πολυμερών. Είναι γνωστό ότι η παραμόρφωση των πολυμερών είναι αποτέλεσμα αφ' ενός της επαναδιάταξης των μακρομορίων και αφ' ετέρου της σχετικής διολίσθησης των μακρομορίων. Η προσθήκη ουσιών δυσχεραίνει τις διεργασίες αυτές.

Η αύξηση της θερμοκρασίας με σταθερή την τάση ή αύξηση της τάσης με σταθερή τη θερμοκρασία επηρεάζει τη μορφή των καμπύλων ερπυσμού όπως δείχνεται στο σχήμα 1.10



Σχήμα 1.10 Μορφή καμπύλων ερπυσμού για σταθερή τάση και αυξανόμενη θερμοκρασία ή με σταθερή θερμοκρασία και αυξανόμενη τάση.

Μια τυποποιημένη μέθοδος για τον χαρακτηρισμό ερπυσμού είναι η ASTM D2990. Σε αυτή τη διαδικασία δοκιμής μετρούνται οι αλλαγές των διαστάσεων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια συνεχούς στατικού φορτίου. Το μέγεθος της μόνιμης παραμόρφωσης εξαρτάται για μεγάλο χρονικό διάστημα, από το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης και της θερμοκρασίας.

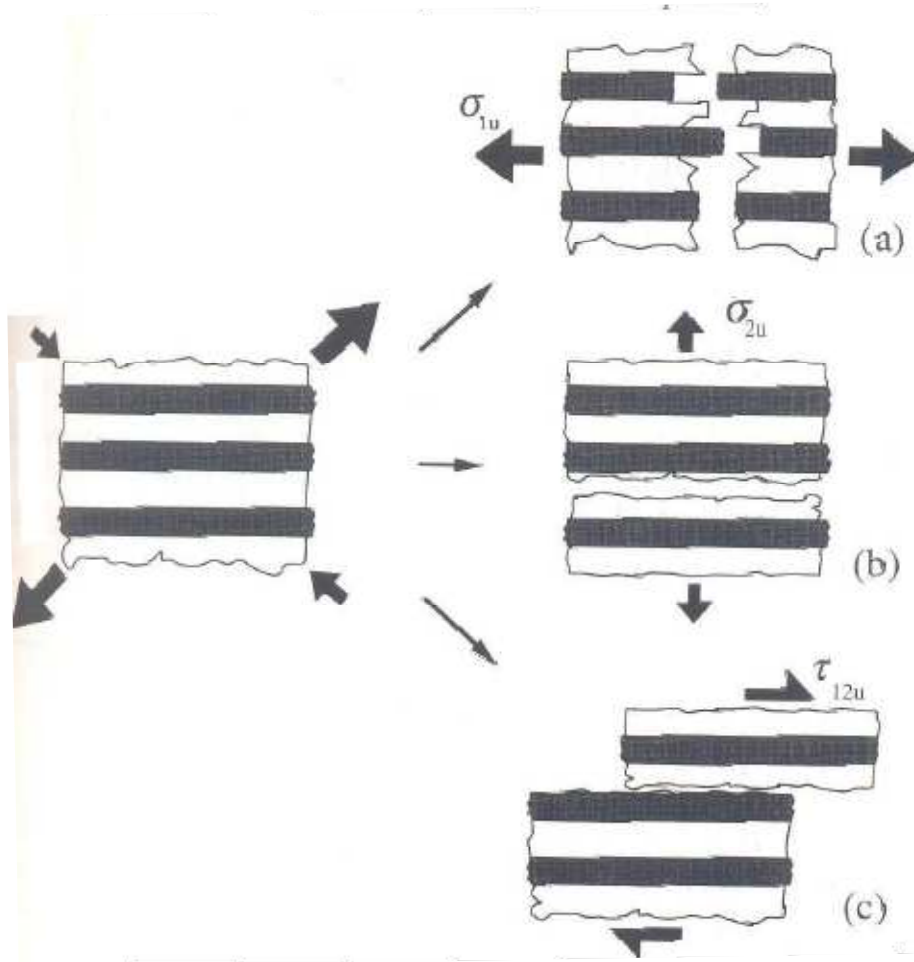
1.4 Σύνθετα υλικά

Ως **σύνθετα υλικά** ορίζονται αυτά που μακροσκοπικά αποτελούνται από δύο ή περισσότερα χημικά ευδιάκριτα συστατικά μέρη που έχουν μια συγκεκριμένη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ τους.

Το ένα από τα συστατικά μέρη, χαρακτηρίζεται ως **συστατικό ενίσχυσης** και προσφέρει στο σύνθετο υλικό καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Το δεύτερο συστατικό ονομάζεται **μήτρα**, είναι χαμηλής πυκνότητας και η συμμετοχή του στο σύνθετο εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της ενίσχυσης.

Τα σύνθετα υλικά έχουν και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα ερπυσμού (high creep level), η μικρή αντίσταση σε μηχανική φθορά, η ιδιαίτερη και πολλές φορές ευαίσθητη συμπεριφορά σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος (θαλάσσιο περιβάλλον, υψηλές θερμοκρασίες, χημικό περιβάλλον, κλπ) καθώς και το υψηλό αρχικό τους κόστος, βαθμιαία αντιμετωπίζονται πιο αποτελεσματικά μέσω της συνεχούς τεχνολογικής ανάπτυξης στην παραγωγή νέων και καλύτερων ινών, ρητινών και εξέλιξης των μεθόδων παραγωγής.

Τα προβλήματα ερπυσμού εντοπίζονται κυρίως στα σύνθετα πολυμερή υλικά με θερμοπλαστική μήτρα. Στα υλικά αυτά τα υλικά ενίσχυσης που μπορεί να είναι ίνες γυαλιού, ίνες άνθρακα, ίνες αραμιδίου, ή διάσπαρτα σωματίδια δεν εμφανίζουν ερπυσμό στις θερμοκρασίες που μπορεί και επιτρέπεται να εκτεθεί ένα υλικό της κατηγορίας αυτής. Συνεπώς το πρόβλημα εντοπίζεται στη συμπεριφορά της μήτρας σε σχέση με τον προσανατολισμό των ινών ενίσχυσης και τον προσανατολισμό της εφαρμοζόμενης τάσης.



Σχήμα 1.11 Στοιβάδα (lamina) σύνθετου υλικού όπου οι ίνες ενίσχυσης είναι παράλληλες προς μια κατεύθυνση.

Όταν ένα τέτοιο σύνθετο υλικό δέχεται παράλληλη προς τις ίνες ενίσχυσης και βρίσκεται στην περιοχή ερπυσμού θα υπάρξει παραμόρφωση της θερμοπλαστικής μήτρας αλλά η αστοχία του θα καθορίζεται από την αντοχή των ινών που είναι οι κύριοι φορείς παραμόρφωσης, παρά το γεγονός ότι η θερμοπλαστική μήτρα θα υποστεί σημαντική υποβάθμιση δομική αλλά και αντοχής (Σχήμα 1.9 a)

Όταν το υλικό δέχεται τάση κάθετα προς την κατεύθυνση των ινών η αντοχή και διάρκεια ζωής θα καθορισθεί από τη συμπεριφορά της θερμοπλαστικής μήτρας που είναι ο κύριος φορέας της αντοχής του υλικού. Δηλαδή στο υλικό αυτό παρότι σύνθετο η ενίσχυση θα παίξει ασήμαντο ρόλο. (Σχήμα 1.9 b)

Όταν το υλικό δέχεται διατμητικές τάσεις (Σχήμα 1.9 c) η συμπεριφορά σε ερπυσμό θα καθορίζεται και πάλι από την συμπεριφορά κυρίως της θερμοπλαστικής μήτρας όπως στη περίπτωση a.

Στα σύνθετα υλικά με ίνες ενίσχυσης προς διάφορες κατευθύνσεις από αυτή του σχήματος 1.9 η ακριβής επίδραση του ερπυσμού στην αντοχή του υλικού καθώς και τη ρήξη αστοχία είναι εξαιρετικά και πέραν των επιδιώξεων της πτυχιακής μου εργασίας.

Στα σύνθετα υλικά με θερμοπλαστική μήτρα με διάσπαρτα σωματίδια η αντοχή σε ερπυσμό βελτιώνεται επειδή παρεμποδίζεται η διολίσθηση των μακρομορίων του θερμοπλαστικού από την παρουσία των σωματιδίων. Είναι γνωστό ότι η παραμόρφωση των θερμοπλαστικών πολυμερών οφείλεται στην διολίσθηση των μακρομορίων.

Στα σύνθετα υλικά με μήτρα θερμοσκληραινόμενη ρητίνη ή αύξηση της θερμοκρασίας ισχυροποιεί το υλικό μέχρι τη θερμοκρασία διάσπασης της ρητίνης όποτε και υποβαθμίζεται η αντοχή του υλικού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΥΛΙΚΟΥ

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα μαθηματικά μοντέλα και μεθόδους που εφαρμόζονται στην διαδικασία του ερπυσμού.

2.1 Μέθοδος Sherby-Dorn

Η εξίσωση Arrhenius είναι η βάση της μεθόδου Sherby-Dorn. Μια βασική υπόθεση είναι ότι η ενέργεια ενεργοποίησης του ερπυσμού είναι σταθερή. Ο συντελεστής A είναι συνάρτηση της τάσης : $A=A(\sigma)$.

$$d\varepsilon = A \times (\sigma) \times e^{\left(\frac{-Q}{RT}\right)} dt$$

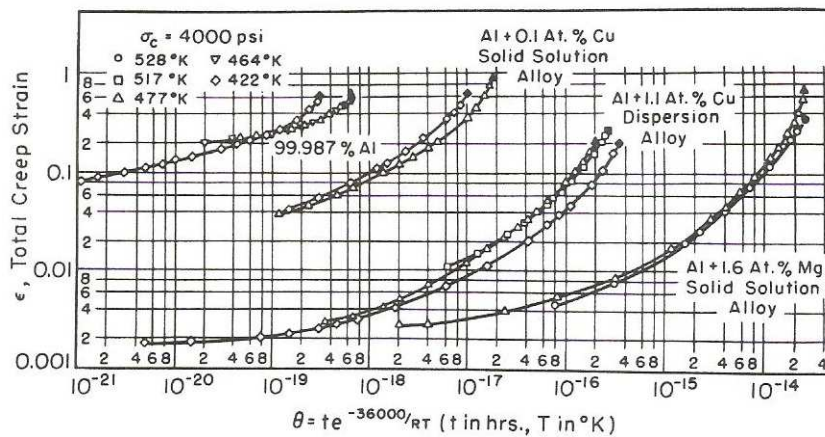
Μετά από μαθηματική επεξεργασία προκύπτει η σχέση

$$\varepsilon_{SC} = A(\sigma) \times t \times e^{\left(\frac{-Q}{RT}\right)}$$

Αυτή η εξίσωση υποδηλώνει ότι η παραμόρφωση ερπυσμού, για μια δεδομένη τάση, είναι μια μοναδική καμπύλη αν σχεδιαστεί σε σχέση με την ποσότητα.

$$\theta = t \times e^{\left(\frac{-Q}{RT}\right)}$$

η οποία ονομάζεται θερμοκρασία-χρόνος αντιστάθμισης. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται δεδομένα εφαρμογής της παραπάνω σχέσης για τα κράματα αλουμινίου.



Σχήμα 2.1 Παραμόρφωση ερπυσμού συναρτήσεϊ του θ , για αλουμίνια σε $\sigma=27,6$ MPa σε διάφορες θερμοκρασίες

Για να ορίσουμε επίσημα την παράμετρο S-D, χρησιμοποιούμε μια λογική ως εξής: Η τάση ερπυσμού σε ρήξη παρατηρείται ότι είναι αρκετά σταθερή για μια δεδομένη τιμή

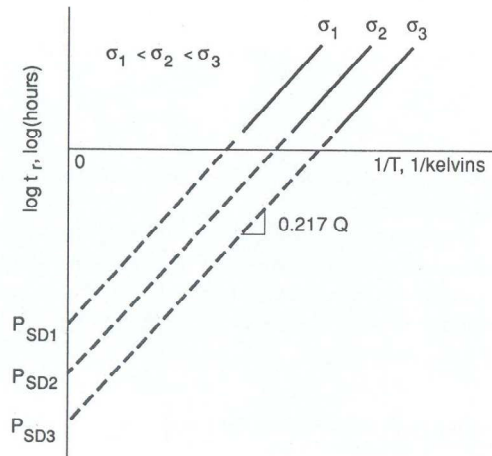
θερμοκρασίας-αντιστάθμισης χρόνου σε ρήξη, θ_r , όπως φαίνεται από τα δεδομένα των υλικών του σχήματος 2.1. Ως εκ τούτου η θ_r εξαρτάται μόνο από τη τάση. Τώρα παίρνουμε τους λογάριθμους με βάση το 10 από τις δύο πλευρές της παραπάνω εξίσωσης, σημειώνοντας ότι σε $\theta = \theta_r$, ο χρόνος είναι $t = t_r$, ο χρόνος ρήξης.

$$P_{SD} = \log \theta_r = \log t_r - 0.217 \times Q \left(\frac{1}{T} \right)$$

Όπου P_{SD} είναι η παράμετρος S-D και οι παράμετροι $\log_{10} \epsilon$ και $R=2\text{cal}/(\text{Kmol})$ υπολογίζονται, t_r είναι ο χρόνος ρήξης του υλικού.

• **Γραφικός υπολογισμός της παραμέτρου P_{SD}**

Οι τιμές της ενέργειας ενεργοποίησης Q και της παραμέτρου P_{SD} υπολογίζονται από διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται ο λογάριθμος του χρόνου ρήξης $\log t_r$ ως προς το αντίστροφο της θερμοκρασίας $1/T$ όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Γραφική απεικόνιση του λογάριθμου του χρόνου ρήξης $\log t_r$ ως προς το αντίστροφο της θερμοκρασίας πραγματοποίησης της δοκιμασίας ερπυσμού ($1/T$) για μια σταθερή τάση σ . Η προεκβολή της γραμμής ορίζει στον άξονα $\log t_r$ της τιμή P_{SD} . Από της κλίση της γραμμής υπολογίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης Q .

• **Υπολογισμός διάρκειας ζωής υλικού σε ερπυσμό**

Βήμα 1^ο : Γίνονται δοκιμασίες ερπυσμού στο υλικό τουλάχιστον δύο σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σταθερή τάση. Από την καμπύλη ερπυσμού υπολογίζεται ο χρόνος ρήξης t_r για κάθε θερμοκρασία.

Βήμα 2^ο : Δημιουργείται διάγραμμα θερμοκρασίας ($1/T$) $-\log t_r$

Βήμα 3^ο : Από το διάγραμμα σύμφωνα με το σχήμα 2.2 υπολογίζονται η ενέργεια ενεργοποίησης Q και η παράμετρος P_{SD} .

Βήμα 4^ο : Από τη σχέση $P_{SD} = \log \theta_r = \log t_r - 0.217 \times Q \left(\frac{1}{T} \right)$ υπολογίζεται ο χρόνος

ρήξης δηλαδή η διάρκεια ζωής του υλικού για τη ζητούμενη θερμοκρασία. Επίσης μπορεί να υπολογίσουμε για ζητούμενη διάρκεια ζωής τη θερμοκρασία στην οποία πρέπει να εκτεθεί το υλικό.

2.2 Μέθοδος Larson-Miller(L-M)

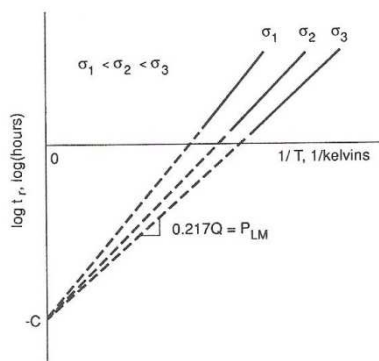
Η παράμετρος χρόνος-θερμοκρασία των Larson-Miller είναι μια ανάλογη προσέγγιση των Sherby και Dorn, αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικές υποθέσεις και επομένως διαφορετικές εξισώσεις. Η παράμετρος L-M μπορεί να προκύψει από τη σχέση $\theta = t \times e^{\frac{-Q}{RT}}$ αντικαθιστώντας το $\theta = \theta_r$ και $t = t_r$ για τον χρόνο ρήξης. Παίρνοντας τους λογαρίθμους με βάση το δέκα και στις δύο πλευρές μετά από μαθηματική επεξεργασία καταλήγουμε στη σχέση:

$$P_{LM} = 0.217 \times Q = T \times (\log t_r + C)$$

Όπου P_{LM} η παράμετρος Larson-Miller και $C = -\log \theta_r$ και T η θερμοκρασία σε Βαθμούς Kelvin(K) για το T και t_r (χρόνος ρήξης) σε h(ώρες).

Από πειράματα ερπυσμού σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σταθερή τάση σ προσδιορίζεται ο χρόνος ρήξης του υλικού για κάθε θερμοκρασία και στη συνέχεια απεικονίζεται σε διάγραμμα ο λογάριθμος του χρόνου ρήξης $\log t_r$ ως προς το αντίστροφο της θερμοκρασίας ($1/T$). Από την προεκβολή της γραμμής υπολογίζεται η σταθερά C και από την κλίση υπολογίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης Q και παράμετρος P_{LM} Larson - Miller (Σχήμα 2.3)

ρήξης. Οι τιμές της σταθεράς C για την ρήξη των κοινών μετάλλων και άλλων μηχανολογικών μεταλλικών υλικών είναι συνήθως κοντά στο 20, γι' αυτό αυτή η τιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια εκτίμηση πιο συγκεκριμένα, εάν οι πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες.



Σχήμα 2.3 Γραφική παράσταση για την μέθοδο Larson-Miller, με το $-C$ να είναι το σημείο τομής των ευθειών διαφορετικής κλίσης.

• Υπολογισμός διάρκειας ζωής σε ερπυσμό με τη μέθοδο **Larson –Miller**

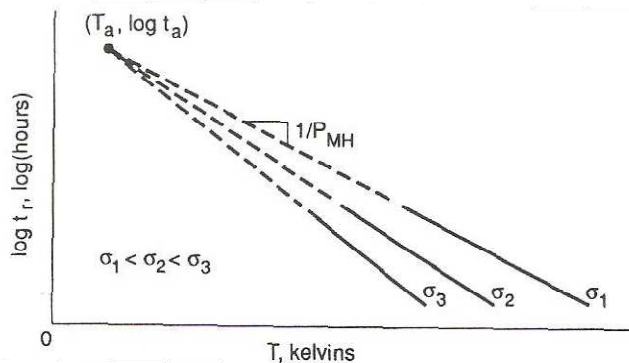
Ακολουθούνται τα βήματα 1-3 της μεθόδου Sherby-Dorn . Στο βήμα 4 ο υπολογισμός γίνεται με εφαρμογή της σχέσης $P_{LM} = 0.217 \times Q = T (\log t_r + C)$

2.3 Μέθοδος Manson-Haferd (M-H)

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην εμπειρική παρατήρηση ότι η περιοχή του $\log t_r$ ως προς τη θερμοκρασία T , και όχι ως προς το αντίστροφο της $1/T$, συχνά αποτελούν ευθείες γραμμές για σταθερή τάση. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι η ομάδα ευθειών γραμμών για πειράματα ερπυσμού σε διάφορες τάσεις συγκλίνουν σ' ένα σημείο $(T_a, \log t_a)$ όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5. Οι συντεταγμένες του σημείου σύγκλισης T_a και $\log t_a$, θεωρούνται σταθερές των υλικών. Για κάθε δεδομένη τάση, η παράμετρος $M-H$ δίνεται με το αντίστροφο της κλίσης της γραμμής.

$$P_{MH} = (T - T_a) / (\log t_r - \log t_a)$$

Τιμές T_a , $\log t_a$ για τα υλικά υπάρχουν διαθέσιμα στη βιβλιογραφία.



Σχήμα 2.4 Διάγραμμα λογαρίθμου του χρόνου ρήξης (σε ώρες) $\log t_r$ συναρτήσεως της θερμοκρασίας (Kelvin) για το υπολογισμό της παραμέτρου P_{M-H}

• Υπολογισμός διάρκειας ζωής σε ερπυσμό με τη μέθοδο **Manson-Haferd**

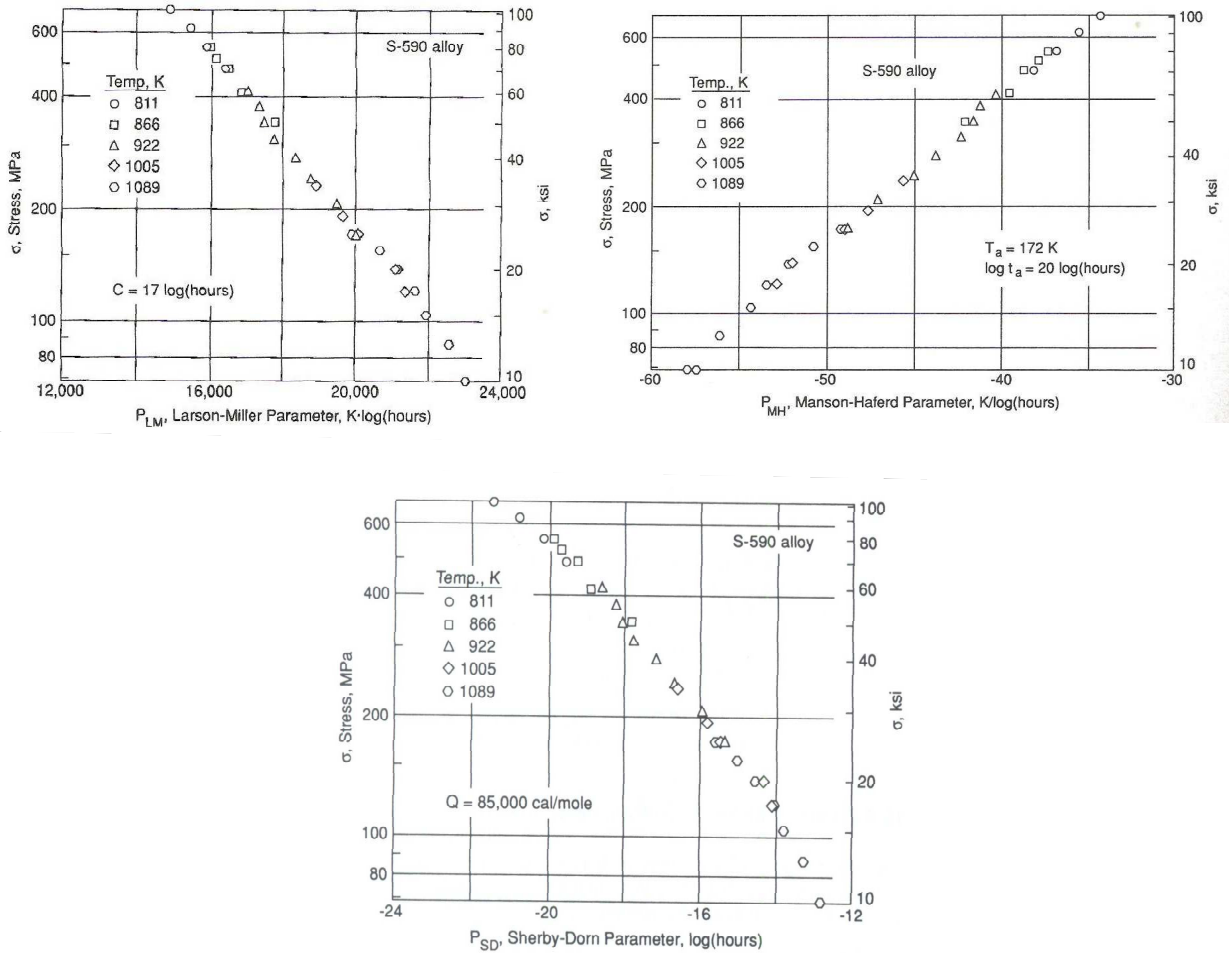
Βήμα 1° : Γίνονται δοκιμασίες ερπυσμού στο υλικό τουλάχιστον δύο σε διαφορετικές θερμοκρασίες και δύο διαφορετικές σταθερές τάσεις για κάθε θερμοκρασία. Από τις καμπύλες ερπυσμού υπολογίζεται ο χρόνος ρήξης t_r για κάθε θερμοκρασία και τάση.

Βήμα 2° : Δημιουργείται διάγραμμα θερμοκρασίας ($1/T$) – $\log t_r$ όπως αυτό του σχήματος 2.4

Βήμα 3° : Από το διάγραμμα του σχήματος 2.5 υπολογίζονται οι συντεταγμένες t_a T_a του σημείου σύγκλισης των γραμμών του σχήματος

Βήμα 4^ο : Από τη σχέση $P_{MH}=(T-T_a)/(\log t_r-\log t_a)$ υπολογίζεται ο χρόνος ρήξης δηλαδή η διάρκεια ζωής του υλικού για τη ζητούμενη θερμοκρασία. Επίσης μπορεί να υπολογίσουμε για ζητούμενη διάρκεια ζωής τη θερμοκρασία στην οποία πρέπει να εκτεθεί το υλικό.

Στο σχήμα 2.5 δίδονται δεδομένα συσχέτισης τάσης- συντελεστών P_{S-D} P_{L-M} P_{H-M}



Σχήμα 2.5 Συσχέτιση δεδομένων ερπυσμού-ρήξης, για το κράμα S-590.

- (α) Με την μέθοδο Larson-Miller (β) Με τη μέθοδο Sherby-Dorn
- (γ) Με τη μέθοδο **Manson-Haferd**

2.4 Παράμετροι χρόνος-θερμοκρασία και εκτίμηση χρόνου ζωής.

Η παραμόρφωση ερπυσμού μπορεί να προχωρήσει στο σημείο της ρήξης του υλικού λόγω ανάπτυξης των μικρορωγμών, ή άλλη ζημιά που απορρέει από την έντονη εφαρμογή μηχανικών τάσεων. Για παράδειγμα στα κρυσταλλικά υλικά, κενά μπορεί να εμφανιστούν κατά μήκος των ορίων των κόκκων ή σε άλλα σημεία εντοπισμένης συγκεντρωμένης τάσεων, όπως είναι τα τα σωματίδια καθίζησης, με μια διαδικασία που λέγεται σπηλαίωση ερπυσμού. Ωστόσο εάν η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή σε όγκιμα και σχετικά καθαρά

μέταλλα, μπορεί να συμβεί η διαδικασία της δυναμικής ανακρυστάλλωσης, κατά την οποία αυτά τα κενά που δημιουργούνται επισκευάζονται καλύπτονται συνεχώς καθώς προχωρεί η παραμόρφωση. Οι μεγάλες παραμορφώσεις δημιουργούν που οδηγεί στη ρήξη του υλικού. Ρήξη λόγω ερπυσμού όλκιμων πολυμερών είναι αποτέλεσμα μεγάλων παραμορφώσεων που προηγούνται οπότε και σχηματίζεται λαιμός.

Στον μηχανολογικό σχεδιασμό όπου ο ερπυσμός πρέπει να εξετασθεί, δεν πρέπει να υπάρχει ούτε υπερβολική παραμόρφωση ούτε ρήξη, εντός του επιθυμητού χρόνου ζωής του υλικού, η οποία συνήθως είναι πιθανόν να είναι μακρά, ίσως 20 ή περισσότερα χρόνια. Για να εκτιμήσουμε την συμπεριφορά ερπυσμού σε χαμηλά επίπεδα τάσεων και θερμοκρασιών θα απαιτούνταν μεγάλος χρόνος πειράματος για να εξελιχθεί η μακροχρόνια διαδικασία ερπυσμού. Αυτό θα έκανε το πείραμα δοκιμασίας σε ερπυσμό πρακτικά ανέφικτο. Η επιτυχής προσέγγιση είναι να χρησιμοποιήσουμε δεδομένα από τις σχετικά σύντομες δοκιμές, σε θερμοκρασίες ή τάσεις πολύ υψηλότερες από τη θερμοκρασία ή τάση λειτουργίας που μας ενδιαφέρει, και με προεκβολή των αποτελεσμάτων των σύντομων πειραμάτων να εκτιμήσουμε την συμπεριφορά και τη διάρκεια ζωής του υλικού για τις πραγματικές συνθήκες τάσης και θερμοκρασίας του υλικού. Η προεκβολή των αποτελεσμάτων και η εκτίμηση του χρόνου ζωής των υλικών γίνεται με τις μεθόδους (α) Larson-Miller (β) Sherby-Dorn (γ) Manson-Haferd που αναπτύξαμε παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Περιγραφή της συσκευής μετρήσεων

Η συσκευή μέτρησης του ερπυσμού σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Τεχνολογίας υλικών στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας του φοιτητή της Μηχανολογίας. Η συσκευή αυτή φαίνεται στο σχήμα.....



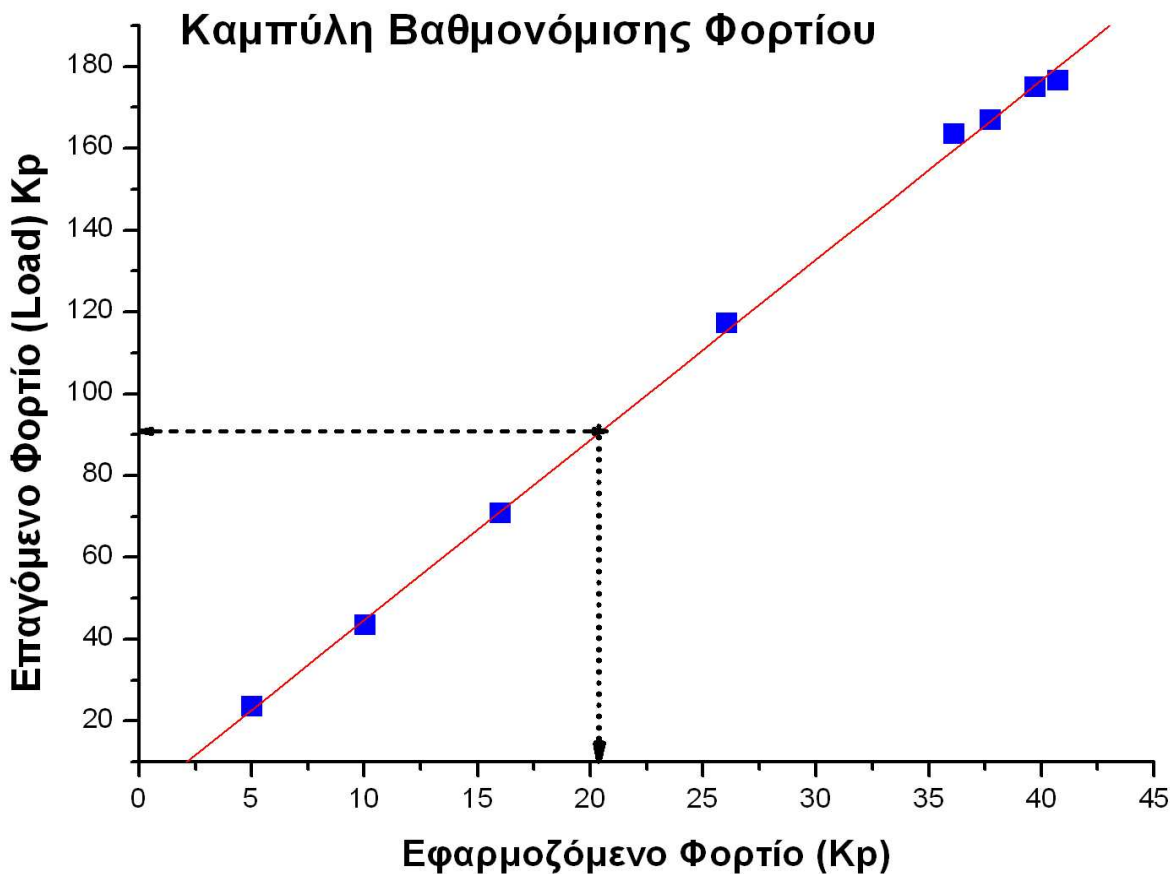
Σχήμα 3.1. Φωτογραφίες της συσκευής ερπυσμού

Η αρχή λειτουργία της συσκευής είναι να εφαρμόζεται ένα φορτίο κατά το δυνατόν μικρό και μέσα από ένα σύστημα τροχαλιών να μεταφέρεται φορτίο πολλαπλάσιο στο δοκίμιο μας. (Σχήμα 4.2)



Σχήμα 3.2 Διαγραμματική απεικόνιση αρχής λειτουργίας της συσκευής ερπυσμού που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών.

Λόγω των πιθανών τριβών που πιθανόν να υπεισέρχονται στην μεταφορά φορτίων ,ήταν απαραίτητο να γίνει βαθμονόμηση της συσκευής χρησιμοποιώντας κατάλληλο ψηφιακό δυναμόμετρο. Συνεπώς ήταν απαραίτητη η βαθμονόμηση της συσκευής. Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης απεικονίζονται στο διάγραμμα του σχήματος 3.3.



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα βαθμονόμησης της συσκευής ως προς το επαγόμενο φορτίο.



Σχήμα 3.4 Διασύνδεση (interface) μηκυσιόμετρου-βολτόμετρου με υπολογιστή για την καταγραφή του μήκους συναρτήσει του χρόνου.

Η μεταβολή του μήκους του δοκιμίου γίνεται με την βοήθεια του ψηφιακού μηκυσιόμετρου με ακρίβεια (\pm) 0,01mm.. Η ηλεκτρονική έξοδος του μηκυσιόμετρου η οποία είναι σε mvolts συνδέεται με βολτόμετρο το οποίο έχει έξοδο RS 232 η οποία συνδέεται με Η/Υ.

Συνεπώς η έξοδος του μηκυσιομέτρου μεταφέρεται σε Η/Υ δια μέσου του βολτομέτρου. Με χρήση του προγράμματος lab view γίνεται καταγραφή της εξόδου του μηκυσιομέτρου συναρτήσει του χρόνου. Παράλληλα με κατάλληλη αντιστοίχιση η καταγραφή σε mill volts αντιστοιχίζεται σε mm συναρτήσει του χρόνου . Η διασύνδεση (interface) του συστήματος μέτρησης μεταβολής του μήκους συναρτήσει του χρόνου από επιστημονικό συνεργάτη του εργαστηρίου .

Για την θέρμανση του υλικού χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη αντίσταση ενθυλακωμένη σε ταινία σιλικόνης συνδεδεμένη με θερμοστάτη. Παρατηρήθηκε ότι αυτή η επιλογή δεν ήταν η ενδεδειγμένη για τι είχαμε μεγάλη δυσκολία να ρυθμίσουμε με ακρίβεια την θερμοκρασία γύρω από το δοκίμιο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήσαμε θερμόμετρο θερμοηλεκτρικού ζεύγους που τον αισθητήρα προσκολλούσαμε πάνω στο δοκίμιο και παρεμβαίναμε καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος στο θερμοστάτη ώστε να επιτύχουμε ένα εύρος ρύθμισης ± 3 °C. προτείνεται να σχεδιαστεί κατάλληλος φούρνος με ποιο ευαίσθητο θερμοστάτη για περισσότερη ευκολία και ακρίβεια της δοκιμασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σκοπός της εργασίας μας ήταν να δοκιμάσουμε για πρώτη φορά τη λειτουργία της συσκευής ερπυσμού η οποία όπως προαναφέραμε σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Τεχνολογίας υλικών στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήσαμε δύο υλικά (α) (Plexiglas-PMMA (β) Δοκίμια του συμπολυμερούς ABS.

4.1 Καταγραφή αποτελεσμάτων Plexiglas.

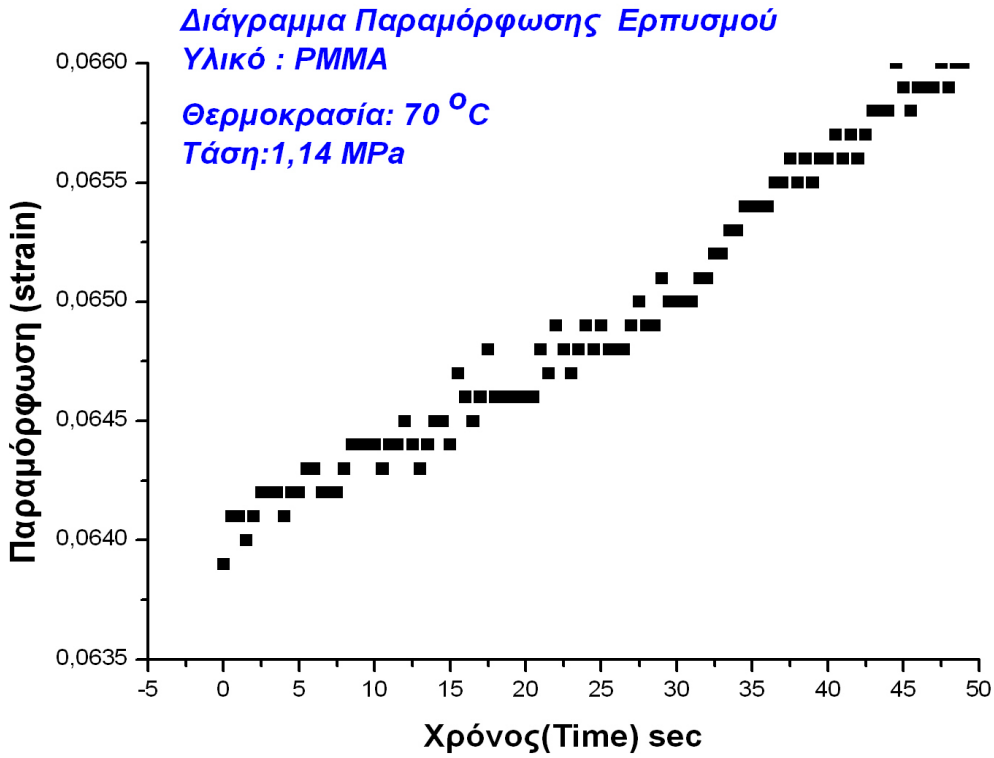
Το πρώτο ακρυλικό οξύ δημιουργήθηκε το 1843. Το μεθακρυλικό οξύ, που προέρχεται από το ακρυλικό οξύ, διαμορφώθηκε το 1865. Η αντίδραση μεταξύ μεθακρυλικού οξέος και μεθανόλης έχει ως αποτέλεσμα τον μεθακρυλικό μεθυλεστέρα. Οι Γερμανοί χημικοί Fittig και Paul ανακάλυψαν το 1877 την διαδικασία πολυμερισμού η οποία μετατρέπει το μεθακρυλικό μεθύλιο σε πολυμεθακρυλικό μεθύλιο. Το 1933 ο Γερμανός χημικός Otto Röhm ανακάλυψε και κατοχύρωσε το εμπορικό όνομα PLEXIGLAS. Το 1936 η πρώτη εμπορικά βιώσιμα παραγωγή ακρυλικού γυαλιού ασφαλείας ξεκίνησε. Κατά την του δεύτερου Παγκοσμίου πολέμου το ακρυλικό γυαλί χρησιμοποιήθηκε για τα περισκόπια των υποβρυχίων, τα παρμπρίζ, τα στέγαστρα, τους πυργίσκους και τα όπλα των αεροπλάνων. Το υλικό PMMA έχει πωληθεί κάτω από μια ποικιλία εμπορικών και κοινών ονομάτων. Συνήθως λέγεται ακρυλικό γυαλί αν και χημικά δεν έχει καμία σχέση με το γυαλί. Μερικές φορές λέγεται απλά ακρυλικό, παρότι η λέξη ακρυλικό μπορεί να παραπέμπει σε άλλα πολυμερή ή συμπολυμερή που περιέχουν πολυακρυλονιτρίλια. Άλλες αξιοσημείωτες εμπορικές ονομασίες είναι:

- Lucite
- Plexiglas
- Optix (Plaskolite)
- Perspex
- Altuglas (Arkema)

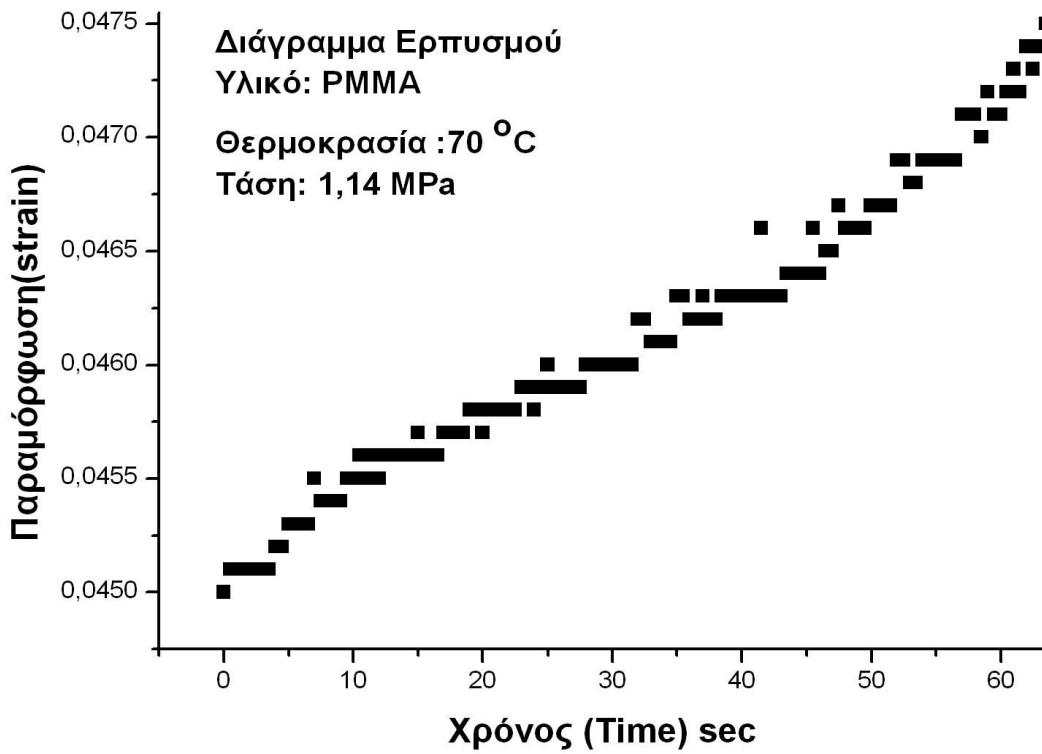
Η θερμοκρασία μετάπτωσης (υάλου) T_g άτακτης μορφής PMMA είναι στους 105 °C. Οι τιμές του T_g εμπορικών βαθμών του PMMA κυμαίνονται από 85 έως 165 °C (185 έως 329 °F). Το φάσμα των τιμών είναι τόσο ευρύ, λόγω του τεράστιου αριθμού των εμπορικών συνθέσεων που είναι συμπολυμερή με συμονομερή εκτός του μεθακρυλικού μεθυλίου. Το PMMA είναι έτσι ένα οργανικό γυαλί σε θερμοκρασία δωματίου. Δηλαδή είναι κάτω του σημείου υάλου T_g . Η διαμόρφωση της θερμοκρασίας ξεκινά από τη θερμοκρασία

μετάπτωσης και αρχίζει να αυξάνεται από εκεί. Όλες οι κοινές διαδικασίες διαμόρφωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, συμπεριλαμβανομένου χύτευσης με έγχυση, χύτευση με συμπίεση και εξώθηση. Τα υψηλής ποιότητας φύλλα PMMA παράγονται με χύτευση των κυττάρων, αλλά στην προκειμένη περίπτωση τα βήματα πολυμερισμός και χύτευση συμβαίνουν ταυτόχρονα. Η αντοχή του υλικού είναι υψηλότερη απ' ό,τι οι βαθμοί χύτευσης, λόγω του υψηλού μοριακού του βάρους. Το καουτσούκ σκλήρυνσης έχει χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την αντοχή του PMMA στην ψαθυρή του συμπεριφορά έναντι εφαρμοζόμενων φορτίων. Το PMMA είναι ένα σκληρό και ελαφρύ υλικό. Έχει πυκνότητα που κυμαίνεται από 1,17 έως 1,20 g/cm³, η οποία είναι λιγότερο από το μισό του γυαλιού. Έχει επίσης καλή αντοχή σε κρούση, τόσο υψηλότερη όσο το πολυστυρένιο και το γυαλί. Ωστόσο, η αντοχή του PMMA σε κρούση εξακολουθεί να είναι χαμηλότερη από το πολυανθρακικό και ορισμένα μηχανολογικά πολυμερή. Το PMMA αναφλέγεται στους 460 °C (860°F) και καίγεται, σχηματίζοντας διοξείδιο του άνθρακα, νερό, μονοξείδιο του άνθρακα και χαμηλού μοριακού βάρους ενώσεις, όπως η φορμαλδεΐδη.

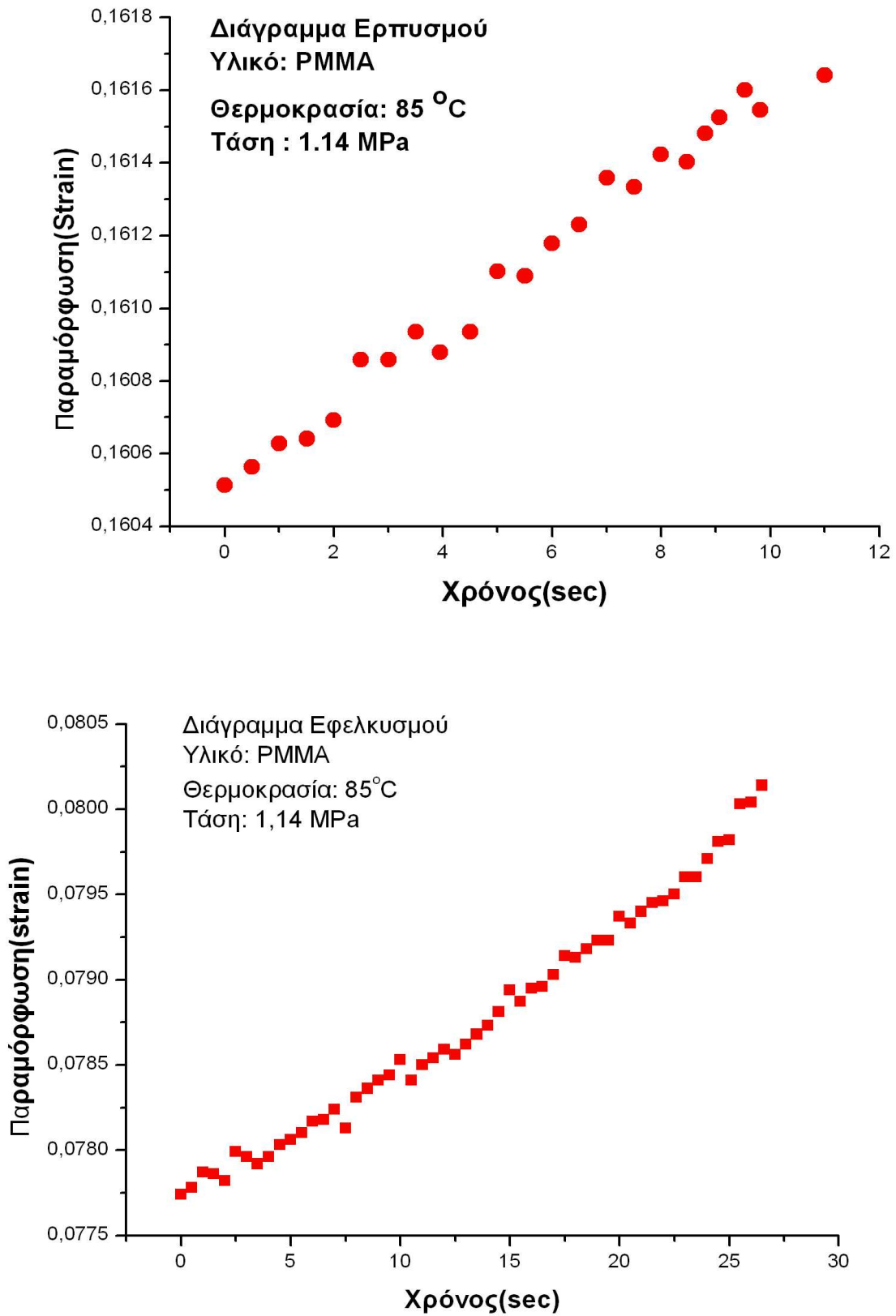
Tensile strength	55 - 80 MN/m²
Tensile Modulus	2-3 GN/m²
Elongation at Break	<10 %
Flexural Strength	100 - 150 MN/m²
Notched Impact Strength	< 3 kJ/m²
Specific Heat	1.25 - 1.7 kJ/kg/°C
Glass Transition Temperature	100 °C
Heat Deflection Temperature	<100 °C
Coefficient of Thermal Expansion	5 - 10 x 10⁻⁵ / °C
Long Term Service Temperature	<100 °C
Specific Gravity	1.0 to 1.2
Mould Shrinkage	0.001 - 0.005 m/m
Water Absorption	0.1 - 0.5 % (50% rh)
Transparency	Transparent



Σχήμα 4.1 Αποτελέσματα πειράματος Ερπυσμού PMMA στους 70 °C και τάση 1,14 MPa



Σχήμα 4.2 Αποτελέσματα πειράματος Ερπυσμού PMMA στους 70 °C και τάση 1,14 MPa



Σχήμα 4.3 Αποτελέσματα πειραμάτων Ερπυσμού PMMA στους 85°C και τάση 1,14 MPa

4.2 Καταγραφή αποτελεσμάτων ABS

Το υλικό ABS προέρχεται από το ακρυλονιτρίλιο, βουταδιένιο και το στυρένιο. Το ακρυλονιτρίλιο είναι ένα συνθετικό μονομερές που παράγεται από προπυλένιο και αμμωνία. Το βουταδιένιο είναι ένα πετρελαιοειδές υδρογονάνθρακας που προέρχεται από το κλάσμα C₄ της πυρόλυσης. Το μονομερές στυρένιο αποτελείται από αφυδρογόνωση του αιθυλικού βενζολίου-ένα υδρογονάνθρακα που παράγονται από την αντίδραση του αιθυλενίου και του βενζολίου.

Το πλεονέκτημα του ABS είναι ότι αυτό το υλικό συνδυάζει τη δύναμη και την ακαμψία των πολυμερών ακρυλονιτρίλιου και στυρενίου με την ανθεκτικότητα του πολυβουταδιένιου με το καουτσούκ.

Οι πιο σημαντικές ιδιότητες του ABS είναι η αντοχή στην κρούση και η σκληρότητα. Μια ποικιλία από τροποποιήσεις μπορούν να γίνουν για να βελτιωθεί η αντοχή στην κρούση, σκληρότητα και η αντοχή στη θερμότητα. Η αντοχή στην κρούση μπορεί να ενισχυθεί με την αύξηση των ποσοστών του πολυβουταδιένιο σε σχέση με το στυρένιο και το ακρυλονιτρίλιο, αν και αυτό προκαλεί αλλαγές και σε άλλες ιδιότητες. Για να έχουμε αντοχή σε κρούση, δεν πέφτει γρήγορα, το υλικό, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Σταθερότητα υπό φορτίο είναι εξαιρετική με περιορισμένα φορτία. Έτσι αλλάζοντας τις αναλογίες των συστατικών του ABS μπορεί να παρασκευαστεί σε διάφορες ποιότητες. Δύο μεγάλες κατηγορίες ABS θα μπορούσε να είναι ABS για την εξώθηση και ABS για χύτευση με έγχυση, με υψηλή και χαμηλή αντοχή στην κρούση. Γενικά το ABS θα έχει χρήσιμα χαρακτηριστικά σ' ένα εύρος θερμοκρασιών από -20 έως 80 °C (-4 έως 176°F).

Οι τελικές ιδιότητες θα επηρεαστούν σε κάποιο βαθμό από τις συνθήκες υπό τις οποίες το υλικό υποβάλλεται σε επεξεργασία προς το τελικό προϊόν. Για παράδειγμα, χύτευση σε υψηλή θερμοκρασία βελτιώνει την γυαλάδα και την αντίσταση θερμότητας του προϊόντος, ενώ υψηλότερη αντοχή στην κρούση και η δύναμη λαμβάνονται με χύτευση σε χαμηλή θερμοκρασία. Οι ίνες(συνήθως ίνες γυαλιού) και τα πρόσθετα μπορούν να αναμειχθούν στα σφαιρίδια ρητίνης για να καταστήσει το τελικό προϊόν ισχυρό και να αυξήσει το εύρος λειτουργίας σε τόσο υψηλό όπως 80 °C(176°F).

Χρωστικές ουσίες μπορούν επίσης να προστεθούν, όπως το αρχικό χρώμα της πρώτης ύλης είναι διαφανές ελεφαντόδοντο λευκό.

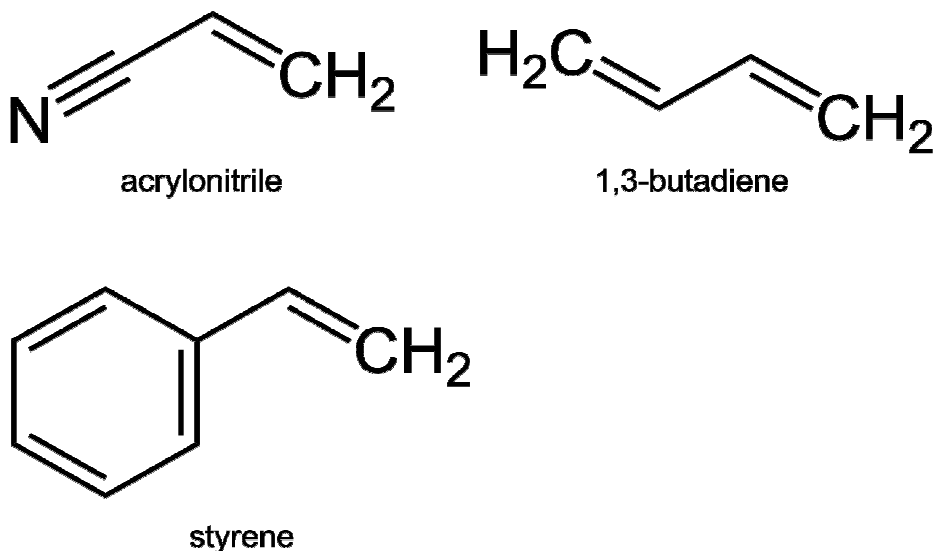
Τα χαρακτηριστικά γήρανσης των πολυμερών, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την σύσταση πολυβουταδιένιου, και είναι φυσικό να περιλαμβάνεται αντιοξειδωτικό στη

σύνθεση του. Άλλοι παράγοντες περιλαμβάνουν την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, για την οποία τα πρόσθετα είναι επίσης διαθέσιμα για την προστασία.

Ακόμα κι αν πλαστικά ABS χρησιμοποιούνται για μηχανικούς σκοπούς, έχουν επίσης ηλεκτρικές ιδιότητες που είναι αρκετά σταθερές σε ένα ευρύ φάσμα των συχνοτήτων. Αυτές οι ιδιότητες ελάχιστα επηρεάζονται από τη θερμοκρασία και υγρασία της ατμόσφαιρας, στο αποδεκτό εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας του.

Τα πολυμερή ABS είναι ανθεκτικά σε υδατικά οξέα, αλκάλια, πυκνού υδροχλωρικού και φωσφορικού οξέος, αλκοόλες και ζωικά, φυτικά και ορυκτέλαια, αλλά είναι διογκωμένα από παγόμορφο οξικό οξύ, τετραχλωράνθρακα και αρωματικούς υδρογονάνθρακες και έχουν προσβληθεί από θειικό και νιτρικό οξύ. Είναι διαλυτό σε εστέρες, κετόνες, αιθυλενοδιχλωρίδιο και ακετόνη.

Ενώ το κόστος παραγωγής του ABS είναι περίπου διπλάσιο απ' αυτό της πολυστερίνης, θεωρείται ανώτερο για την σκληρότητα, γυαλάδα, και ηλεκτρικές ιδιότητες μόνωσης. Το ABS είναι εύφλεκτο όταν εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως μια φωτιά από ξύλα. Θα λιώσει μετά από ζέση, σε όποιο σημείο οι ατμοί εισέβαλαν έντονα, σε ζεστές φλόγες. Από το καθαρό ABS δεν περιλαμβάνονται αλογόνα, η καύση του συνήθως δεν παράγει κανένα οργανικό ρύπο και τα πιο τοξικά προϊόντα της καύσης ή πυρόλυσης του είναι το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδροκυάνιο.



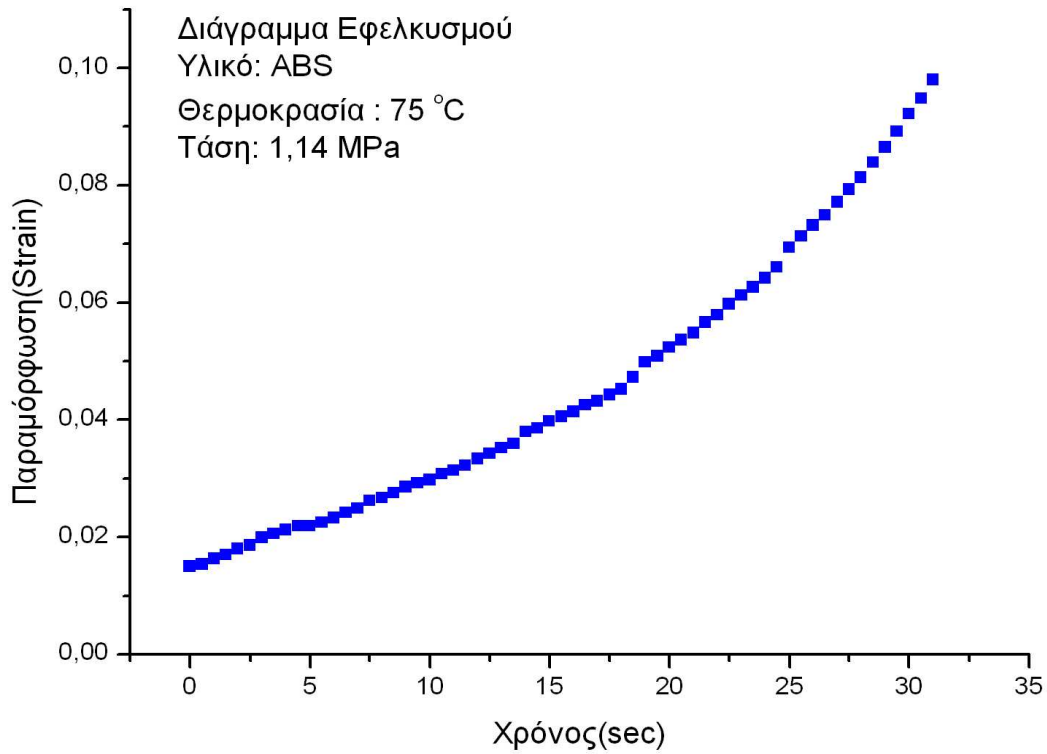
Σχήμα 4.4 Μονομερή από τον συμπολυμερισμό των οποίων προκύπτει το ABS



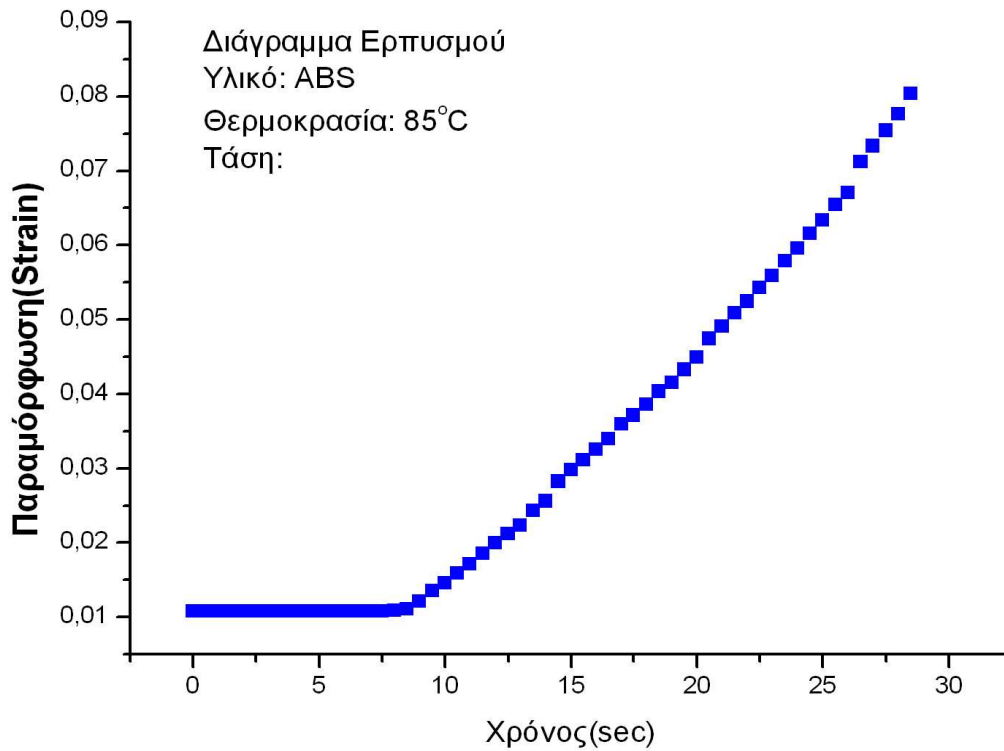
Σχήμα 4.5 Κόκκοι ABS

Βασικές ιδιότητες ABS

- Μέγιστη θερμοκρασία: 176°F 80°C
- Ελάχιστη θερμοκρασία: -4°F -20°C
- Αποστείρωση σε αυτόκαυστο: Όχι
- Σημείο τήξης: 221°F 105°C
- Αντοχή σε εφελκυσμό: 4,300 psi
- Σκληρότητα: R110
- Αντοχή σε υπεριώδη ακτινοβολία: Κακή
- Διαφανές
- Άκαμπτο
- Ειδική βαρύτητα: 1.04



Σχήμα 4.6 Αποτελέσματα πειραμάτων ερπυσμού στους 75 °C και τάση 1,02 MPa



Σχήμα 4.7 Αποτελέσματα πειραμάτων ερπυσμού στους 75 °C και τάση 1,02 MPa

4.3 Συζήτηση των αποτελεσμάτων

Πρωταρχικός σκοπός της εργασίας που έκανα στο εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών ήταν να γίνει έλεγχος λειτουργίας της συσκευής και να πάρω τα πρώτα αποτελέσματα.

Για τον σκοπό αυτό έγιναν τουλάχιστον 10 δοκιμασίες για κάθε υλικό και κάθε θερμοκρασία. Σε κάθε δοκιμασία εντοπίζαμε τα προβλήματα που προέκυπταν και βελτιώναμε την τεχνική που ακολουθούσαμε.

Στα σχήματα 4.1, 4.2, 4.3 φαίνονται επιτυχείς καταγραφές της παραμόρφωσης εφελκυσμού συναρτήσει του χρόνου. Απ' τα διαγράμματα αυτά που τυπικές καμπύλες ερπυσμού υπολογίσαμε το χρόνο ρήξης του υλικό για δεδομένη θερμοκρασία του πειράματος και την τάση που επιβάλλεται. Η καταγραφή του συστήματός μας δίνει τη μεταβολή του μήκους του δοκιμίου συναρτήσει του χρόνου σε sec.

Η μεταβολή του μήκους (mm) διαιρείται με το αρχικό μήκος του δοκιμίου που ήταν σε όλες τις περιπτώσεις 78mm.

Έτσι προέκυψαν οι τιμές που απεικονίζονται στον άξονα Ψ(παραμόρφωση-strain).

Η τάση που εφαρμόζεται σταθερά στο δοκίμιο καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος υπολογίστηκε από το διάγραμμα βαθμονόμησης του σχήματος 3.3. Το φορτίο που εφαρμόσαμε ήταν 21kP αλλά σύμφωνα με το διάγραμμα βαθμονόμησης στο δοκίμιο επιβαλλόταν φορτίο 89kP. Το φορτίο αυτό διαιρέθηκε με τη διατομή του δοκιμίου και έτσι προέκυψε τάση 1,14MPa.

Οι θερμοκρασίες που έγιναν οι δοκιμασίες του PMMA(Plexiglas) ήταν 70°C και 85°C.

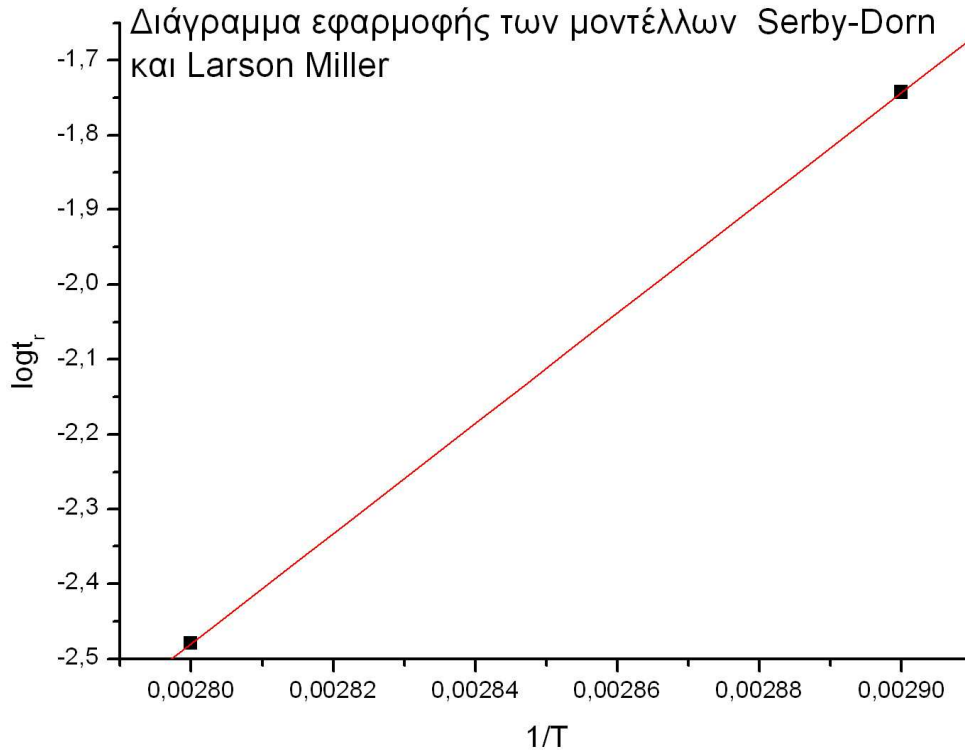
Οι θερμοκρασίες αυτές έπρεπε να είναι μεγαλύτερες από το σημείο υάλου του PMMA. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως σημείο υάλου 100°C γενικά.

Επιχειρώντας να κάνουμε δοκιμασίες σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100°C παρατηρήσαμε ότι το πείραμα εξελισσόταν τόσο γρήγορα που η καταγραφή ήταν αδύνατη. Διερευνώντας το θέμα βρήκα ότι το σημείο υάλου του PMMA μπορεί να ποικίλει από 40-108°C ανάλογα με την στερεοχημική δομή των μακρομορίων. Έτσι είδαμε ότι έπρεπε να επιλέξουμε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Με το σκεπτικό αυτό επιλέξαμε τις θερμοκρασίες 70 και 85°C.

Ένας από τους σκοπούς που κάναμε το πείραμα ερπυσμού είναι να υπολογίσουμε τη διάρκεια ζωής του υλικού.

Για τον σκοπό αυτό εφαρμόσαμε τα μοντέλα Sherby-Dorn και Larson-Miller.

Για τον σκοπό αυτό κατασκευάσαμε διάγραμμα ανάλογο του σχήματος 2.2 το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.8 Διάγραμμα (1/T)-log t_r(hours) για τον υπολογισμό των παραμέτρων P_{SD} και P_{LM} για τις μεθόδους Sherby-Dorn και Larson-Miller αντίστοιχα.

Για την εφαρμογή της μεθόδου Sherby-Dorn από το διάγραμμα πήραμε τη παράμετρο P_{SD}=-13,778 και την κλίση=7370.

Εφαρμόζοντας τη σχέση υπολογισμού του μοντέλου:

$$P_{SD} = \log t_r - (\text{κλίση}) \times \left(\frac{1}{T} \right)$$

Για τρεις θερμοκρασίες που είχαν ενδιαφέρον ήταν:

- 50°C → 323°K
- 40 °C → 313 °K
- 30 °C → 303 °K

Καταλήξαμε στα παρακάτω αποτελέσματα:

- 50°C : Διάρκεια ζωής 65 h
- 40 °C : Διάρκεια ζωής 351 h
- 30 °C : Διάρκεια ζωής 1995 h

Οι υπολογισμοί μας επιβεβαιώνουν ότι το T_g του υλικού είναι χαμηλό ίσως χαμηλότερο των 40 °C, ενώ η τήξη 1,14MPa υπό την οποία έγιναν τα πειράματα, όπου επηρεάζει σημαντικά το υλικό.

Σε χαμηλότερη τάση η διάρκεια ζωής θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη.

Το υλικό που χρησιμοποιήσα προορίζεται για κατασκευή διακοσμητικών εσωτερικών χώρων, δηλαδή προορίζονται για εφαρμογές που οι συνθήκες δεν μπορεί να είναι τόσο δραστικές.

Επίσης έγιναν δοκιμασίες και σε υλικό ABS που απεικονίζονται στα σχήματα 4.5 και 4.6 που δείχνουν σημαντική επαναληψιμότητα.

Επίσης η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας από τους 75 στους 85°C δε φαίνεται να επηρεάζει το χρόνο ρήξης του υλικού.

Αυτό αποδίδεται στην ασάφεια ρύθμισης της θερμοκρασίας αλλά στην διαφορετική συμπεριφορά της δομής του υλικού.

4.4 Συμπεράσματα

1. Η χρησιμοποίηση της συσκευής ερπυσμού που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών, μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα εφόσον χρησιμοποιηθεί ένα πιο αξιόπιστο σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας.
2. Η εφαρμογή των μοντέλων Sherby-Dorn και Larson-Miller μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της διάρκειας ζωής ενός υλικού όταν αυτό βρίσκεται στην περιοχή υψηλών θερμοκρασιών.
3. Απόκτησα σημαντική εμπειρία στη χρήση μετρητικών συστημάτων.
4. Να γίνουν πειράματα σε υλικά που να είναι με ακρίβεια γνωστό το T_g . Το εργαστήριο δεν διαθέτει σύστημα διαφορικής θερμιδομετρίας(Differential Scanning Calometer) DSC για τον προσδιορισμό του T_g πολυμερών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/YLIKA/SHMEIWSEIS/METALA/KRAMATAw.pdf>
2. http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf
3. Σημειώσεις Εργαστηρίου τεχνολογίας υλικών ΤΕΙ –Κρήτης Κ. Σαββάκη:
 - Ερπυσμός στα μέταλλα, πολυμερή, κεραμικά, σύνθετα.
4. http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/B1_Keramika_1.pdf
5. Asby .F.M and Jones R.H.D “ Engineering Materials” Pergamon press
6. Dowling E.N “Mechanical behavior of Materials. Engineering methods for deformation fracture and fatigue” Prentice hall international editions
7. Courtney Tomas “Mechanical behavior of Materials” Mac Graw Hill international Editions
8. Hull.D and Clyne.W.T “ An introduction to composites materials”
Cambridge Solid State science series
9. Askeland R.D “The Science and Engineering of Materials” S.I Edition