ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΤΡΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ

ΘΩΜΑΣ Κ. ΦΛΩΡΟΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Θ. Δέρβος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Αύγουστος 2014

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΤΡΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ

ΘΩΜΑΣ Κ. ΦΛΩΡΟΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Θ. Δέρβος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26η Αυγούστου 2014.

....	....	....
Κων. Δέρβος	Παν. Βασιλείου	Ηρ. Αβραμόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π	Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Αύγουστος 2014

....
Θωμάς Κ. Φλώρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην διπλωματική αυτή μελετήθηκε η διηλεκτρική συμπεριφορά του σύνθετου υλικού, που κατασκευάστηκε με την προσθήκη πορώδους κονίας Al2O3, σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Στόχος μας ήταν να εξετάσουμε την επίδραση της αφύγρανσης της πορώδους αλουμίνας με δύο διαφορετικούς τρόπους, στα διηλεκτρικά μεγέθη.

Κατασκευαστήκαν δοκίμια τα οποία στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε διηλεκτρικές μετρήσεις στις χαμηλές, βιομηχανικές συχνότητες (20 Hz-1Mz). Από τις μετρήσεις προέκυψε για κάθε δοκίμιο η διηλεκτρική του σταθερά κ*, με το πραγματικό και φανταστικό της μέρος, και η εφαπτομένη απωλειών tanδ.

Από τις παραπάνω μετρήσεις επιβεβαιώσαμε πως η προσθήκη 1% αλουμίνας οδηγεί την διηλεκτρική σταθερά να μειώνεται. Επίσης είδαμε το πώς η μείωση της υγρασίας που είχε εγκλωβιστεί στο πορώδες υλικό οδήγησε σε μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς. Επίσης παρατηρήσαμε κάποια μικρή διαφορά μεταξύ των δύο διαφορετικών μεθόδων αφύγρανσης καθώς και κάποιους επιπλέον, σημαντικούς παράγοντες που επηρέαζαν τη διηλεκτρική συμπεριφορά των δοκιμίων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Διηλεκτρικά υλικά, Σύνθετα υλικά, Αλουμίνα, Τριοξείδιο του αλουμινίου, Al_2O_3, Πορώδης αλουμίνα, Εποξειδική ρητίνη, αφύγρανση, υγρασία, διηλεκτρική σταθερά, εφαπτομένη απωλειών

ABSTRACT

Through this thesis, we studied the dielectric behavior of a composite material we manufactured, with the addition of porous aluminium oxide powder, Al2O3 , in an epoxy resin matrix. Our goal was to investigate the effect on the dielectric behavior, of dehumidification or the porous aluminium, before we add it to the resin, with two different ways.

We manufactured samples, that were later submitted for the appropriate measurements in low, industrial frequencies (20Hz-1Mz). From the measurements of each specimen we conluded it’s dielectric constant κ*, και it’s loss tangent, tanδ.

From the measurements, it was concluded that the addition of 1% of aluminium leads to a decrease of the dielectric constant. Moreover we noticed how the decrease of humidity that had been trapped in the porous material lead to the differentiation of the dielectric constant. Furthermore we noticed a slight variation among the two methods of dehumidification, and some additional, important factors that affected the behavior of the samples.

KEYWORDS

Dielectric materials, Composite materials, Alumina, Aluminum oxide, Al_2O_3, Porous Alumina, Epoxy resin, dehumidification, humidity, dielectric constant, loss tangent

Ευχαριστίες

Τις θερμότερές μου ευχαριστίες προς τον κύριο Κωνσταντίνο Δέρβο, αξιότιμο καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, που με υποστήριξε και με καθοδήγησε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

Ευχαριστώ επίσης το ίδιο θερμά, τον υποψήφιο διδάκτορα κύριο Γεώργιο Παπαλάμπρη, η συμβολή του οποίου ήταν καθοριστικότατη στην επιτυχή διεξαγωγή και ολοκλήρωση του παρόντος έργου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

1.1 Βασικά διηλεκτρικά μεγέθη

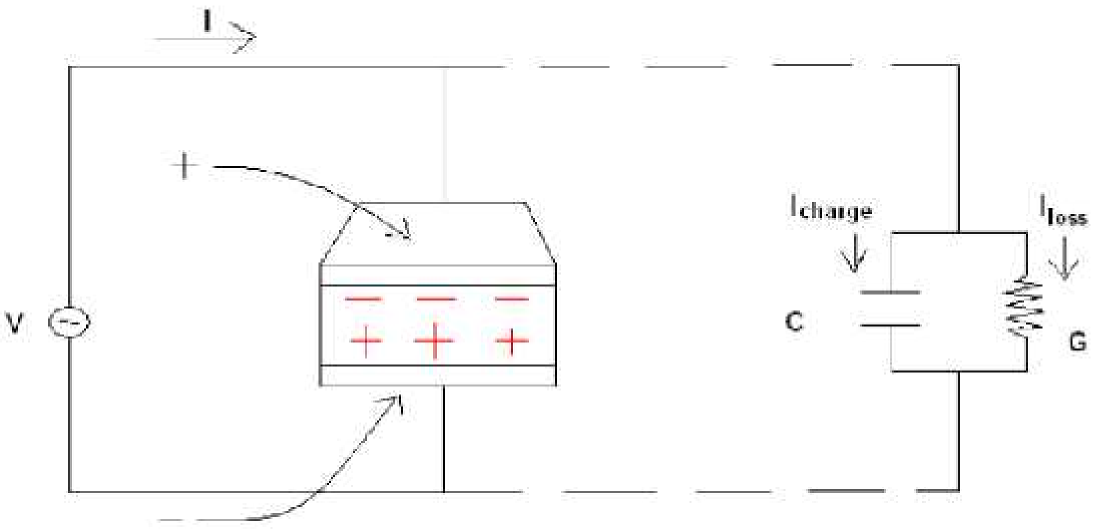
1.1.1 Διηλεκτρική σταθερά

Τα διηλεκτρικά υλικά αποτελούν μια από τις τρεις μεγάλες κατηγορίες υλικών ως προς τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες. Τα ηλεκτρόνια των ατόμων τους είναι ισχυρά δεσμευμένα σε αυτά το οποίο σημαίνει πως στη φυσική τους κατάσταση δεν έχουν ελεύθερα κινούμενα ηλεκτρόνια. Παρ’ ότι δεν επιτρέπουν την ελεύθερη διέλευση του ηλεκτρικού φορτίου από τη μάζα τους, στην πράξη, πάντα κάποια ηλεκτρόνια το διαπερνούν, οπότε ένα διηλεκτρικό δεν ταυτίζεται με έναν ιδανικό μονωτή. Τοποθετώντας ένα τέτοιο υλικό ανάμεσα στους οπλισμούς ενός πυκνωτή παρατηρούμε πως αποθηκεύεται περισσότερη ενέργεια συγκρινόμενη με την περίπτωση όπου υπάρχει αέρας. Γενικότερα ένα διηλεκτρικό υλικό έχει την ικανότητα να αποθηκεύει ενέργεια κατά την επιβολή εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Σε έναν πυκνωτή με διηλεκτρικό, κάποια από τα φορτία των ηλεκτρονίων τα οποία θα συνέβαλαν στη διαμόρφωση της όλης πεδιακής έντασης κατά το μήκος των οπλισμών εξουδετερώνονται. Η χωρητικότητα πλέον σχετίζεται με την διηλεκτρική σταθερά του υλικού κατά αυτή την σχέση:

$$C = Co * \varepsilon_r'$$

όπου ε_r' η διηλεκτρική σταθερά, C η χωρητικότητα με την παρουσία του υλικού, και Co η χωρητικότητα χωρίς την προσθήκη υλικού.



Όταν εφαρμοστεί μια εναλλασσόμενη ημιτονοειδής τάση στα άκρα του πυκνωτή, το συνολικά παρατηρούμενο ρεύμα θα προέρχεται από το ρεύμα φόρτισης, I_{charge} , και το ρεύμα απωλειών, I_{loss}, που σχετίζεται με τη διηλεκτρική σταθερά. Οι απώλειες στο υλικό προσδιορίζονται από ένα ισοδύναμο κύκλωμα με αγωγιμότητα G η οποία συνδέεται παράλληλα με πυκνωτή C. Το ρεύμα πλέον συνολικά είναι:

$$I = I_{charge} + I_{loss} = V\cdot(j\cdot\omega\cdot C + G) = V\cdot\left(j\cdot\omega\cdot C_0\cdot\varepsilon_r' + G\right) \Rightarrow$$

$$I = V\cdot\left(j\cdot\omega\cdot C_0\cdot\varepsilon_r' + \omega\cdot C_0\cdot\varepsilon_r''\right) = V\cdot j\cdot\omega\cdot C_0\cdot\left(\varepsilon_r' - j\cdot\varepsilon_r''\right) = V(j\cdot\omega\cdot C_0)\cdot\varepsilon_r$$

όπου $G = \omega\cdot C_0\cdot\varepsilon_r'' \Leftrightarrow \varepsilon_r'' = \dfrac{G}{\omega\cdot C_0}$ και $\varepsilon_r^* = \varepsilon_r' - j\cdot\varepsilon_r''$

Στο πραγματικό μέρος της μιγαδικής διηλεκτρικής σταθερά οφείλεται η αποθήκευση φορτίου, και στο φανταστικό οι απώλειες φορτίου.

1.1.2 Σχετική μιγαδική διηλεκτρική σταθερά

Το μέγεθος αυτό περιγράφει την αλληλεπίδραση των υλικών με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, και ισούται με τη μιγαδική επιτρεπτότητα του υλικού, δια τη μιγαδική επιτρεπτότητα του κενού. Ισχύει λοιπόν ο τύπος:

$$\varepsilon_r^* = \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon_o} = \left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon_o}\right) - j\cdot\left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon_o}\right) = \varepsilon_r' - j\cdot\varepsilon_r''.$$

Το πραγματικό μέρος είναι μια ένδειξη για το πόση ενέργεια αποθηκεύεται στο υλικό αυτό από το επιβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Για τα περισσότερα στερεά και υγρά διηλεκτρικά έχει τιμή από 1 ως 10 ενώ στο κενό έχει τιμή 1. Η μιγαδική συνιστώσα που ονομάζεται και συντελεστής απωλειών, αποτελεί μία ένδειξη του πόσο χαλαρό αναμένεται ότι θα αποδειχθεί ένα υλικό ως προς το εξωτερικά επιβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Είναι πάντα θετική ποσότητα και πρακτικά πολύ μικρότερη από την πραγματική συνιστώσα. Τελικά ο συντελεστής απωλειών παίρνει υπόψη του και τα χαρακτηριστικά των διηλεκτρικών απωλειών και της αγωγιμότητας.

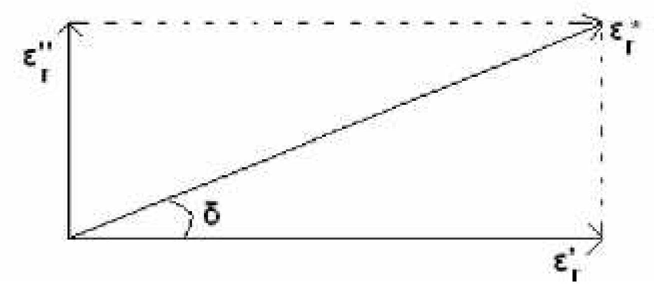
1.1.3 Εφαπτομένη απωλειών

Όταν η μιγαδική διηλεκτρική σταθερά σχεδιασθεί σε διανυσματική μορφή, τότε η πραγματική και η φανταστική συνιστώσα εμφανίζουν διαφορά φάσης 90 μοίρες. Η ανυσματική συνιστώσα σχηματίζει γωνία δ με τον πραγματικό άξονα. Τα αναμενόμενα επίπεδα "χαλάρωσης" για το κάθε υλικό προκύπτουν από την αναλογία της απολεσθείσας ενέργειας προς την αποθηκευόμενη ενέργεια. Ισχύει λοιπόν για την εφδ που αναφέρεται ως εφαπτομένη απωλειών πως:

εφδ= απολεσθείσα ενέργεια / αποθηκευόμενη ενέργεια, ανά κύκλο συχνότητας

$εφδ=\varepsilon_r''/\varepsilon_r'$

Ακολουθεί η σχέση σχηματικά:



1.2 Ηλεκτρικές και διηλεκτρικές ιδιότητες ηλεκτρομονωτικών υλικών

Οι βασικές ιδιότητες των ηλεκτρομονωτικών υλικών είναι:

α. Μιγαδική επιτρεπτότητα. Αποτελείται από τη διηλεκτρική σταθερά και τις ηλεκτρικές απώλειες του υλικού που συναντούνται στην tanδ. Και η διηλεκτρική σταθερά και οι απώλειες αλλάζουν αναλόγως τη συχνότητα.

β. Ειδική αντίσταση όγκου και επιφάνειας

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή αυτών των ιδιοτήτων είναι

α. η συχνότητα

β. η θερμοκρασία

γ. η πίεση

δ. η δομή του υλικού

ε. η κατεύθυνση του υλικού (ανισοτροπικά υλικά).

1.2.1 Ειδική αγωγιμότητα όγκου (σ) και ειδική επιφανειακή αγωγιμότητα (σ_ε)

Ισχύει πως $\sigma << \sigma_\varepsilon$. Και οι δύο αυτές αγωγιμότητες εμφανίζονται σε στερεά σώματα. Ειδικότερα, η ειδική αντίσταση όγκου είναι μεγάλη για τους μονωτές και μικρή για τα διηλεκτρικά. Η ειδική επιφανειακή αγωγιμότητα επηρεάζεται έντονα από την υγρασία του περιβάλλοντος και την ρύπανση στην επιφάνεια του σώματος. Εξαιτίας της δημιουργείται το ρεύμα ερπυσμού, με τιμή σχετικά ασταθή. Επειδή όμως οι φορείς του προτιμούν να ακολουθούν ορισμένους αγώγιμους δρόμους διαρροής στην επιφάνεια ή ρωγμές του σώματος, η κατανομή της πυκνότητας του ρεύματος αυτού δεν είναι ομοιόμορφη.

1.2.2 Απορρόφηση ενέργειας

Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως όταν ένα μονωτικό υλικό βρίσκεται σε Η.Π., απορροφά ενέργεια, που ακόμη κι αν είναι λίγη σηματοδοτεί μια απώλεια ενέργειας που κυρίως μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα πρέπει να είναι δυνατόταν να αποβάλλεται στο περιβάλλον γρήγορα, αλλιώς η θερμοκρασία του υλικού θα αυξηθεί, γεγονός που ίσως προξενήσει βλάβες η δυσλειτουργία στις ηλεκτροτεχνικές διατάξεις που το περιέχουν.

Έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

a. Συνεχές ρεύμα: εδώ έχουμε ρεύμα διαρροής στο μονωτικό υλικό και θέρμανση οφείλεται στο φαινόμενο Joyle

b. Εναλλασσόμενο ρεύμα: εδώ έχουμε επιπλέον απορρόφηση ενέργειας λόγω των περιοδικών πολώσεων και αποπολώσεων του υλικού.

Η απώλεια ενέργειας ανά μονάδα όγκου και ανά περίοδο είναι η εξής:

$$W = \pi \cdot E_m^{2} \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \tan\delta$$

Η tanδ εκφράζει τη συμπεριφορά του υλικού για δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας κλπ. Η Em είναι η μέγιστη τιμή πεδιακής έντασης τους Η.Π.

Η γωνία δ φανερώνει τη χρονική διαφορά με την οποία το υλικό παρακολουθεί τη μεταβολή του πεδίου σε έναν πυκνωτή, συγκρινόμενο με την περίπτωση όπου αντί για διηλεκτρικό είχαμε κενό. Όταν το διηλεκτρικό μέσο είναι ένα μονωτικό υλικό, η τιμή της tanδ είναι ίση με την ενέργεια που απορροφάται από πεδίο, προς την ενέργεια που αποθηκεύεται και ανακτάται από τους οπλισμούς του πυκνωτή σε κάθε περίοδο.

1.2.3 Επιθυμητές ιδιότητες μονωτικών υλικών

Στο εναλλασσόμενο πεδίο χρειαζόμαστε υλικά με μικρό ε_r και tanδ (στις συχνότητες που μας ενδιαφέρουν), ενώ στο συνεχές με μικρή τιμή για σ και σ_ε . Το μέγεθος που έχει σημασία στην επιλογή υλικών για εφαρμογές σε διατάξεις υψηλών τάσεων, είναι η διηλεκτρική αντοχή. Η οποία είναι ίση με τη μέγιστη πεδιακή ένταση που μπορεί να εφαρμοστεί στο υλικό χωρίς αυτό να χάσει τις μονωτικές του ιδιότητες. Φυσικά μεγάλη σημασία για την επιλογή του υλικού για την εφαρμογή που μας ενδιαφέρει, έχει το κόστος, η θερμική αντοχή, και οι ηλεκτρκές τους ιδιότητες.

Ιδιότητες που έχουν μεγάλη σημασία σε συγκεκριμένες εφαρμογές είναι: η μηχανική αντοχή, η υγροσκοπικότητα, η αντοχή στις ακτινοβολίες, η πυκνότητα, η αντοχή στη θέρμανση, σε βιολογικές επιδράσεις από μικροοργανισμούς και έντομα, η θερμική αγωγιμότητα, η χημική σταθερότητα. Αρκετές από αυτές μεταβάλλονται και με βάση παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η συχνότητα του πεδίου.

Ειδικότερα η συχνότητα μεταβάλλει σημαντικά τα μεγέθη ε_r και tanδ . Η υγρασία επηρεάζει προς το χειρότερο τις ιδιότητες των μονωτικών υλικών μιας και λόγω της υγροσκοπικότητας τα υλικά έχουν την τάση να αποφφορούν υγρασία από το περιβάλλον. Η θερμική αγωγιμότητα που ορίζεται ως η δυνατότητα απαγωγής της θερμότητας που παράγεται στο υλικό λόγω των ηλεκτρικών απωλειών, είναι σχεδόν σταθερή για τα περισσότερα μονωτικά υλικά για θερμοκρασίες 20-100 βαθμών C.

Ανάλογα την συγκεκριμένη χρήση, έχουμε και τις προτιμήσεις. Για παράδειγμα στους πυκνωτές προτιμάται διηλεκτρικό από τέτοιο μονωτικό υλικό, ώστε να αποκτούν μεγάλη χωρητικότητα και να μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλο φορτίο στους οπλισμούς. Για τις ηλεκτρικές μονώσεις υψηλών τάσεων, σημασία δίνεται στην μεγάλη διηλεκτιρκή αντοχή έτσι ώστε να αποφεύγεται η ηλεκτρική διάσπαση. Τέλος, σε συνεχές ρεύμα ή χαμηλή συχνότητα, για την αποφυγή μεγάλων απωλειών πρέπει το υλικό να έχει μεγάλη ειδική αντίσταση. Ομοίως, στις υψίσυχνες εφαρμογές το υλικό πρέπει να έχει μικρή διηλεκτιρκή σταθερά.

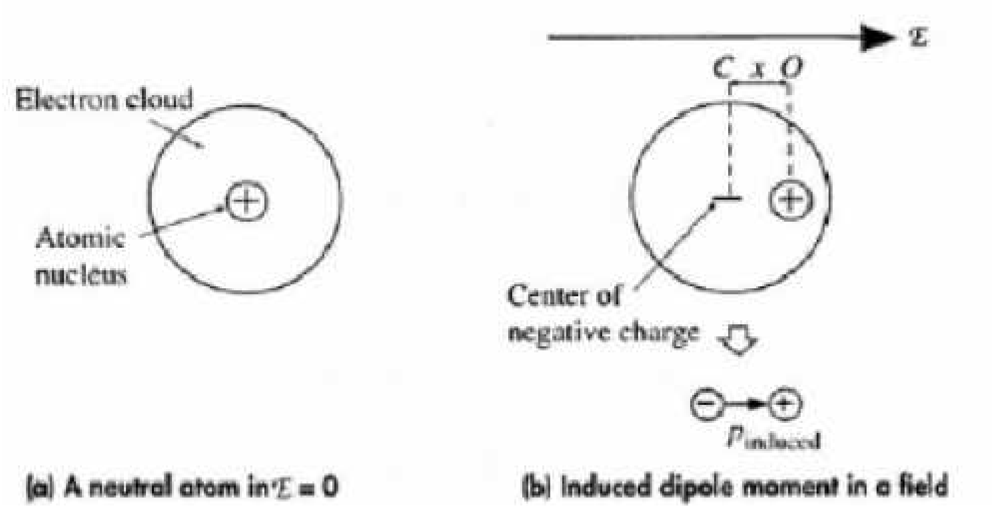
1.2.4 Μηχανισμοί πόλωσης

Η διηλεκτρική σταθερά ενός υλικού διαμορφώνεται από την επίδραση ενδεχομένως αρκετών διηλεκτρικών μηχανισμών. Στα διηλεκτρικά υλικά παρατηρούμε μια χωρική κατανομή ηλεκτρικών φορτίων, που στην ύπαρξη εξωτερικού Η.Π. μπορεί να αλλάξει. Για να παραμείνει το συνολικό φορτίο σταθερό, τα φορτία αυτά πολώνονται και προσανατολίζονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, ώστε να υπάρξει αντιστάθμιση των θετικών και αρνητικών φορτίων.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί πόλωσης ακολουθούμενοι από ένα σχήμα ο καθένας είναι:

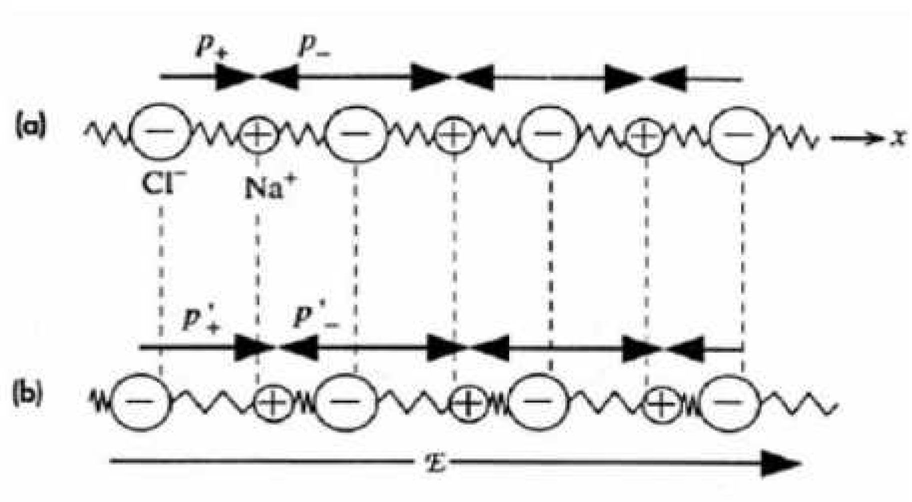
Α. Ηλεκτρονική πόλωση

Αφορά κάθε άτομο ή μόλιο του υλικού καθώς τα κέντρα μάζας του νέφους ηλεκτρονίων ων ατόμων θα μετατοπιστούν από το Η.Π. σχηματίζοντας δίπολα. Η θερμοκρασία δεν επηρεάζει, το φαινόμενο αυτό γίνεται πολύ γρήγορα και μπορεί να παρατηρηθεί έως τις οπτικές συχνότητες.



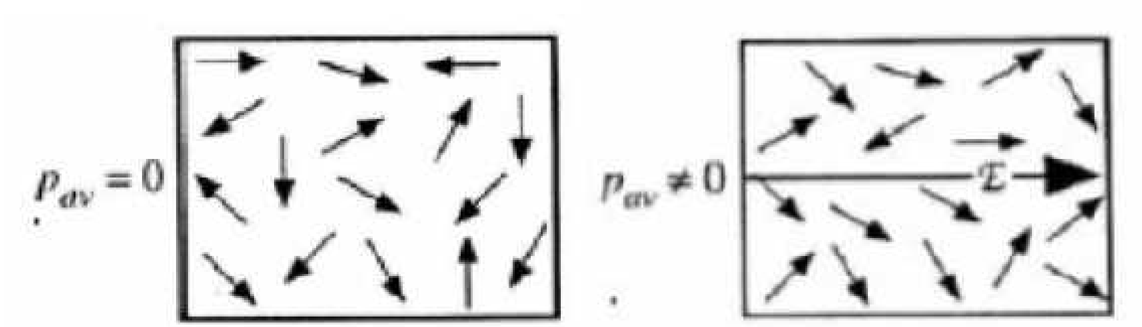
Β. Ιοντική πόλωση

Αφορά υλικά τα μόρια των οποίων φτιάχνουν ιόντα που δεν διαχωρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες ή ασθενή Η.Π. Εδώ εκτός από την ηλεκτρονική πόλωση έχουμε και ελαστικές μετατοπίσεις των ιόντων δημιουργώντας έτσι επιπλέον δίπολα. Και σε αυτή την περίπτωση η θερμοκρασία δεν επηρεάζει και το φαινόμενο αυτό λειτουργεί έως τις υπέρυθρες συχνότητες.



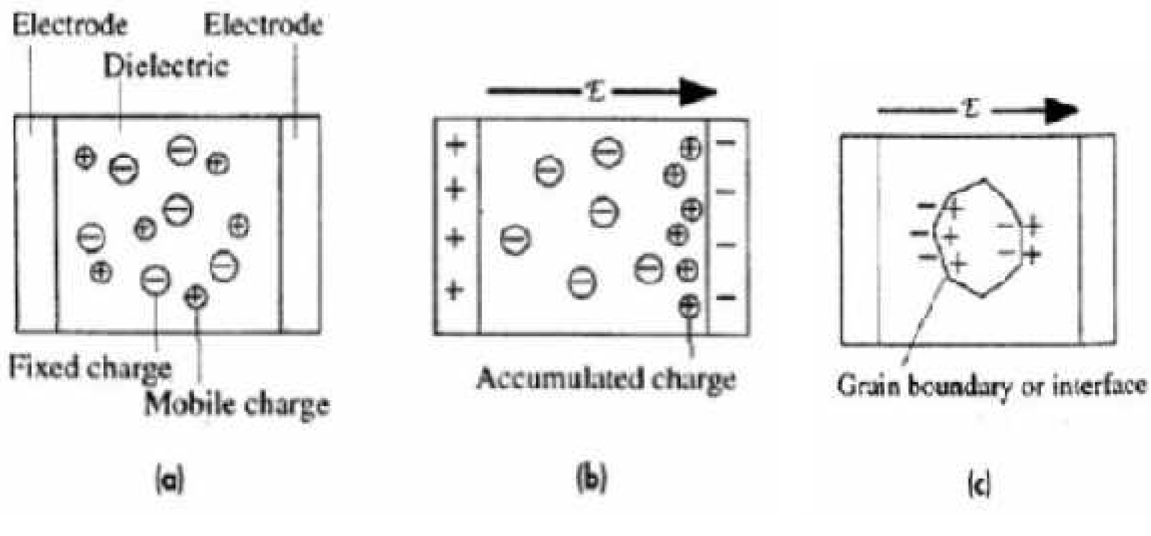
Γ. Διπολική πόλωση ή πόλωση προσανατολισμού

Αφορά υλικά που περιέχουν μόρια με μόνιμες διπολικές ροπές, με τους προσανατολισμούς στατιστικά ομοιόμορφα κατανεμημένους λόγως της δράσης της θερμικής ενέργειας. Χωρίς την εφαρμογή εξωτερικού πεδίου η συνολική πόλωση είναι μηδέν. Με εφαρμογή, τα δίπολα προσανατολίζονται μερικώς, και άρα προκύπτει γραμμική εξάρτηση του P με το E του Η.Π.. Ο μηχανισμός αυτός επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αντιστρόφως ανάλογα, είναι αρκετά γρήγορος και μπορεί να ακολουθήσει σε συχνότητες της τάξης των 10^11 – 10^12 Hz.



Δ. Διεπιφανειακή πόλωση

Την συναντάμε κυρίως σε μονωτικά υλικά που αποτελούνται από διαφορετικά διηλεκτρικά υλικά. Όταν έχουμε "κακό" συνδυασμό τέτοιων υλικών μέσα σε ένα Η.Π., παρατηρείται απόθεση κινούμενων θετικών και αρνητικών φορτίων στις διεπιφάνειες των υλικών, δημιουργώντας έτσι κάποια είδη διπόλων. Πρόκειται για αργό φαινόμενο που γίνεται αντιληπτό στο φάσμα των συχνοτήτων ισχύος. Κάτι άλλο που μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία πόλωσης είναι η μεταφορά φορτίων από στάθμη σε στάθμη. Συναντάμε την πόλωση αυτή συνήθως στις εφαρμογές ισχύος των μονωτικών υλικών, εξαρτάται επίσης έντονα από τη θερμοκρασία και εξελίσσεται αργά.



Η διηλεκτρική πόλωση προκύπτει από τη σχετική μετατόπιση θετικών και αρνητικών φορτίων σε ένα υλικό. Φυσικά το Η.Π. δεν μπορεί να αναγκάσει τα φορτία να ξεφύγουν από τα αρχικά άτομα και από το υλικό. Στην περίπτωση αυτή θα είχαμε ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Παρατηρούμε πως υπάρχει μια χαρακτηριστική συχνότητα συντονισμού, και μια συχνότητα χαλάρωσης, για κάθε ένα διηλεκτρικό μηχανισμό πόλωσης. Στον συντονισμό αυξάνεται απότομα η διηλεκτρική σταθερά σε συγκεκριμένη συχνότητα, ενώ στη χαλάρωση μειώνεται σταδιακά η διηλεκτρική σταθερά με την αύξηση της συχνότητας. Παρατηρούμε επίσης πως ενώ ο συντελεστής απωλειών αυξάνεται σε κάθε κρίσιμη συχνότητα, καθώς η συχνότητα αυξάνεται οι πιο αργοί διηλεκτρικοί μηχανισμοί πόλωσης σταματούν. Παραμένουν μόνο οι πιο ταχείς, συμβάλλοντας στα φαινόμενα αποθήκευσης ενέργειας. Τα φαινόμενα χαλάρωσης αναπτύσσονται κατά την πόλωση προσανατολισμού και τη διεπιφανειακή πόλωση, ενώ τα φαινόμενα συντονισμού συνήθως με την ατομική πόλωση.

1.3 Διηλεκτρικές Μετρήσεις

1.3.1 Διηλεκτρικό σε παράλληλες πλάκες

Έχουμε ήδη αναφέρει πως η εισαγωγή ενός διηλεκτρικού υλικού οδηγεί σε αύξηση της χωρητικότητας ενός ζεύγους παράλληλων φορτισμένων πλακών. Συγκεκριμένα η χωρητικότητα πολλαπλασιάζεται με τη σχετική διηλεκτρική σταθερά. Επίσης γνωρίζουμε πως η χωρητικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του Η.Π. μεταξύ των πλακών, και πως η παρουσία διηλεκτρικού μειώνει το ενεργό Η.Π.

Ισχύουν λοιπόν οι τύποι:

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_o \cdot A}{d},$$

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot A}{d}$$

Για ένα ζεύγος παράλληλων φορτισμένων πλακών έχουμε επίσης:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{V}{d} \quad , \quad E_{effective} = E - E_{polarization} = \frac{\sigma}{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_o}$$

με σ να είναι η επιφανειακή πυκνότητα φορτίου.

Αν τοποθετήσουμε ένα διηλεκτρικό ανάμεσά τους η πόλωση θα παράξει ένα Η.Π. αντίθετης φοράς από αυτό που δημιουργείται από τις φορτισμένες πλάκες. Αναφορικά με τις απώλειες στο διηλεκτρικό, έχουμε τις ωμικές απώλειες και τις διηλεκτρικές απώλειες.

Ωμικες απώλειες

Η ολική αντίσταση είναι :

$$R_{total} = \frac{R_V \cdot R_S}{R_V + R_S}$$

Όπου Rs η επιφανειακή αντίσταση και Rv η αντίσταση όγκου, οι οποίες είναι διαφορετικές. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του μονωτήρα αυξάνονται και οι ωμικές απώλειες.

Διηλεκτρικές απώλειες

Τα στοιχειώδη τμήματα του διηλεκτρικού που αλλάζουν πολικότητα προκαλούν τις διηλεκτρικές απώλειες. Η αλλαγή αυτή γίνεται εξαιτίας της αλλαγής της φοράς του πεδίου σε κάθε περίοδο, η οποία και προκαλεί ταλαντώσεις που εξαιτίας της τριβής παράγουν θερμότητα.

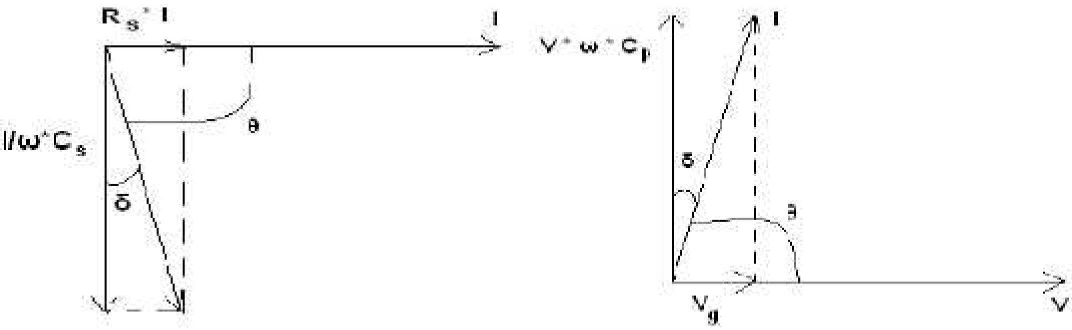
Με tanδ ένα μέτρο των διηλεκτρικών απωλειών και εξαρτώμενο από τη συχνότητα, η τιμή των απωλειών είναι:

$$P = V_{rms}^{\ 2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot \tan\delta$$

1.3.2 Σύγκριση σειριακού με παράλληλο ισοδύναμο κύκλωμα

Το χρησιμοποιούμενο ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα για την προσομοίωση ενός πυκνωτή παραλλήλων πλακών μπορεί να αποτελείται από μια αντίσταση και μια χωρητικότητα συνδεδεμένες είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Συνήθως χρησιμοποιούμε το παράλληλο ισοδύναμο κύκλωμα, αλλά ενδεχωμένος να θέλουμε να αναπαριστούμε ένα πυκνωτή σε μια δεδομένη συχνότητα λειτουργίας, με μια χωρητικότητα σε σειρά με μια αντίσταση.

Τα διανυσματικά διαγράμματα ρευμάτων και τάσεων για τα δύο ισοδύναμα κυκλώματα είναι:



Για να καταλήξουμε στις αναλυτικές εξισώσεις που συνδέουν τα μεγέθη του σειριακού ισοδύναμου κυκλώματος με τη μιγαδική διηλεκτρική σταθερά και την εφαπτομένη απωλειών που προκύπτουν από το παράλληλο ισοδύναμο κύκλωμα, έχουμε τις εξής σχέσεις:

Σχέση μεταξύ σειριακών και παράλληλων μεγεθών:

$$\tan\delta = \omega \cdot R_S \cdot C_S = \frac{1}{\omega \cdot C_P \cdot R_P}, \quad \tan\delta = \cot\theta = \frac{X_P}{R_P} = \frac{G}{\omega \cdot C_P} = \frac{1}{\omega \cdot C_P \cdot R_P} = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$$

Αντικαθιστούμε και βρίσκουμε τη σχέση μεταξύ παράλληλης χωριτικότητας και σειρακών μεγεθών:

$$C_P = \frac{C_S}{1+\tan\delta^2} \Rightarrow C_P = \frac{1}{1+\omega^2 \cdot R_S^2 \cdot C_S^2}$$

Επίσης έχουμε:

$$\frac{R_P}{R_S} = \frac{1+\tan\delta^2}{\tan\delta^2} = 1 + \frac{1}{\tan\delta^2}$$

Έτσι τελικά προκύπτουν για το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της διηλεκτρικής σταθεράς :

$$\varepsilon_r' = \frac{C_P}{C_O} \Rightarrow \varepsilon_r' = \frac{C_S}{C_O \cdot \left(1+\omega^2 \cdot R_S^2 \cdot C_S^2\right)}, \quad \varepsilon_r'' = \omega \cdot R_S \cdot C_S \cdot \varepsilon_r' = \frac{\omega \cdot R_S \cdot C_S^2}{C_O \cdot \left(1+\omega^2 \cdot R_S^2 \cdot C_S^2\right)}$$

Στην πράξη δεν πρέπει το αποτέλεσμα για το υλικό που εξετάζεται να εξαρτάται από τη μορφή του ισοδύναμου κυκλώματος που χρησιμοποιείται.

1.3.3 Διηλεκτρική φασματοσκοπία

Με τη διηλεκτρική φασματοσκοπία μπορούμε να καταγράψουμε τη μεταβολή των διηλεκτρικών ιδιοτήτων ενός υλικού σε σχέση με τη θερμοκρασία και τη συχνότητα. Το αποτέλεσμα δείχνει την ικανότητα μόνωσης του υλικού, αφού λάβουμε υπόψη μας τα τυχόντα φαινόμενα χαλάρωσης στις λειτουργικές συνθήκες χαλάρωσης των εξεταζόμενων υλικών. Και αυτό διότι τα φαινόμενα αυτά αλλάζουν τη διηλεκτρική συμπεριφορά του υλικού και του επιτρέπουν να αποθηκεύει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ γνωστών ηλεκτρικών ποσοτήτων είναι η βάση των μεθόδων μέτρησης της διηλεκτρικής φασματοσκοπίας. Τα διανύσματα της μακροσκοπικής πόλωσης P και της έντασης E του ηλεκτρικού πεδίου έχουν την ίδια κατεύθυνση και ισχύει η σχέση: $P=\chi - \varepsilon_0 E$, χ η ηλεκτρική επιδεκτικότητα του υλικού. Το χ είναι καθαρός αριθμός, για το κενό είναι ίσο με 0 και απεικονίζει όλα τα είδη πόλωσης. Το ε_0 είναι η διηλεκτρική σταθερά του κενού και ισούται με 8.85419*10^-12 As/Vm. Η εξίσωση μας δείχνει πως η πόλωση θα αλλάξει η θα μηδενιστεί αν το πεδίο αλλάξει η μηδενιστεί. Σε κάθε διηλεκτρικό κάθε μείωση του E θα καταλήξει σε σταδιακή αποπόλωση ή χαλάρωση. Έτσι οι διηλεκτρικές ιδιότητες αλλάζουν ανάλογα το χρόνο και τη συχνότητα, και όπως ήδη έχουμε αναφέρει και ανάλογα τη θερμοκρασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΟΛΥΜΕΡΗ. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ, ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗ ΡΗΤΙΝΗ

2.1 Πολυμερή

Ο όρος πλαστικά, ρητίνες και πολυμερή συνήθως θεωρούνται συνώνυμα, αλλά υπάρχουν διαφορές. Πολυμερή είναι οι οργανικές ενώσεις των οποίων τα μόρια αποτελούνται επαναλαμβανόμενα με μικρότερα τμήματα, τα μονομερή , που ενωνόμενα μεταξύ τους σχηματίζουν τις πολυμερικές αλυσίδες. Πολυμερές θεωρείται ένα καθαρό υλικό, χωρίς προσμίξεις, που αποτελείται μόνο από μακριές αλυσίδες, ενώ αν προστίθενται και άλλες ουσίες χρησιμοποιείται ο όρος πλαστικά ή ρητίνες.

Τα μονομερή συγκρατούνται από ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι και προσδιορίζουν τη θερμική και χημική σταθερότητα του υλικού. Οι πολυμερικές αλυσίδες συνδέονται μεταξύ τους με ασθενείς διαμοριακές δυνάμεις τύπου Van der Waals ή δεσμούς υδρογόνου. Για τις φυσικές ιδιότητες του πολυμερούς όπως η ελαστικότητα η διαλυτότητα είναι υπεύθυνες οι ασθενείς αυτές αλληλεπιδράσεις.

Σημαντικά χαρακτηριστικά των πολυμερών είναι πως αποτελούνται κυρίως από C και H, έχουν χαμηλά σημεία τήξης και τα πιο πολλά δεν είναι αγωγοί θερμότητας και ηλεκτρισμού. Έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα και γι’ αυτό βρίσκουν εφαρμογή ως θερμομονωτικά και χρησιμοποιούνται και ως μονωτές ηλεκτρισμού. Αυτό συμβαίνει διότι οι ομοιοπολικοί δεσμοί των πολυμερών δεν επιτρέπουν ελεύθερο ηλεκτρικό φορτίο. Έχουν επίσης μεγάλη αντοχή σε χημική προσβολή. Τέλος έχουν χαμηλή πυκνότητα μιας τα H και C έχουν μικρά ατομικά βάρη.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι ταξινόμησης των πολυμερών. Ένας τρόπος είναι ανάλογα με το πόσες δομικές μονάδες αποτελούνται. Άλλος είναι αν διαχέονται εύκολα ή δύσκολα σε διάλυμα. Αναφορικά με τη θερμομηχανικής συμπεριφοράς τα πολυμερή ταξινομούνται σε θερμοπλαστικά, θερμοσκληρυνόμενα (όπως η εποξειδική ρητίνη) , ελαστομερή.

2.2. Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή

Είναι εκείνα τα πολυμερή που στην τελευταία φάση επεξεργασίας τους, με θερμότητα αποκτούν διασταυρούμενες συνδέσεις προς σχηματισμό πλέγματος. Τα μόρια

,δηλαδή συνδέονται σταθερά με κύριους δεσμούς μεταξύ τους. Έτσι επιτυγχάνεται τέτοια συνοχή στο πλέγμα ώστε δεν μπορεί πλέον το πολυμερές να μεταβεί στην πλαστική κατάσταση. Πρόκειται για μη αναστρέψιμη διαδικασία. Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι πως είναι πολύ σκληρά, είναι άτηκτα, είναι ανθεκτικά στην θερμότητα, δεν μορφοποιούνται με πλαστικότητα, διαποτίζονται μόνο πολύ λίγο από διαλύτες και είναι αδιάλυτα.

Τα πλεονεκτήματα αυτά καθώς και άλλα χαρακτηριστικά όπως το μικρό βάρος, η καλή μόνωση και το σχετικά χαμηλό κόστος, τα κάνουν ιδανικά υλικά για τεχνικές εφαρμογές.

2.3 Ρητίνες

Τα πολυμερή ανάλογα με την μορφή στην οποία διατίθενται, κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Μία κατηγορία είναι οι συνθετικές ρητίνες.

Οι συνθετικές ρητίνες είναι χαμηλού μοριακού βάρους ενδιάμεσα προϊόντα ή πρώτες ύλες από μακρομοριακές ενώσεις που ευρίσκονται στην υγρή κατάσταση ή είναι διαλυτά ή τηκόμενα στερεά και που λαμβάνουν την απαιτούμενη αντοχή για τις συγκεκριμένες εφαρμογές μόνο κατόπιν της κατάλληλης επεξεργασίας τους. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

1. Βασικές Ύλες για επιχρίσματα, βερνίκια, και κόλλες, ως διαλύματα και γαλακτωμάτα.
2. Τεχνητές Ρητίνες ως συνδετικά μέσα για ξύλινα αντικείμενα, δέρματα, τεχνητό λίθο και ενδιάμεσα προϊόντα για την κυρίως επεξεργασία των πολυμερών, ενώ συνήθως μαζί με τα πρόσθετα επεξεργάζονται προς μια «μάζα μορφώσεως», δηλαδή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή των τελικών εμπορικών προϊόντων του πολυμερούς με μορφοποίηση υπό θέρμανση και πίεση. Οι τεχνητές ρητίνες αποτελούνται από μία μεγάλη συλλογή πολυμερών:

1. Σκληρυνόμενες τεχνητές ρητίνες : θερμοσκληρυνόμενες, μονομερείς ρητίνες χυτεύσεως
2. Ρητίνες για μέσα διαποτίσεως, κόλλες, βερνίκια και άλλα παρόμοια : θερμοπλαστικές, ρητίνες σκληρυνόμενες ως πλέγμα.

2.4. Εποξειδικές ρητίνες.

2.4.1 Χαρακτηριστικά

Οι εποξειδικές ρητίνες ανήκουν στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία του οξιρανικού δακτυλίου. Ανάλογα με τον αριθμό των δακτυλίων που βρίσκονται παρόντες στο μόριο, οι εποξειδικές ρητίνες χωρίζονται σε διδραστικές ή πολυδραστικές. Ο οξιρανικός δακτύλιος αντιδρά με ένα ευρύ φάσμα οργανικών ενώσεων. Για την ένωση δύο μορίων στα άκρα των οποίων υπάρχει η συγκεκριμένη ομάδα, απαιτείται ένα τρίτο μόριο που ουσιαστικά χρησιμοποιείται ως συνδετικός κρίκος, έτσι ώστε να ξεκινήσει η αντίδραση που οδηγεί στο σχηματισμό ενός τρισδιάστατου δικτύου. Το τρίτο αυτό μόριο ονομάζεται σκληρυντής και συνήθως είναι κάποιος διδραστικός ανυδρίτης ή αμίνη. Ενίοτε, χρησιμοποιούνται και άλλες χημικές ουσίες που ονομάζονται εκκινητές, για να ξεκινήσει ομαλότερα η διαδικασία της αντίδρασης. Οι εποξειδικές ρητίνες που κυκλοφορούν στο εμπόριο αποτελούνται συνήθως από μίγματα μακρομορίων που φέρουν στα άκρα τους τον οξιρανικό δακτύλιο, περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους και συνοδεύονται από συστήματα σκληρυντών και εκκινητών.

Οι εποξειδικές ρητίνες μπορεί να στερεές ή ρευστές. Οι στερεές είναι άκαμπτα και άμορφα στερεά που μοιάζουν με γυαλί. Βασικό χαρακτηριστικό της αντίδρασης πολυμερισμού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας που πραγματοποιείται στο μίγμα της ρητίνης με τα διάφορα πρόσθετα. Με την έκλυση θερμότητας η αντίδραση πολυμερισμού χαρακτηρίζεται εξώθερμη. Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες παρέχουν σκληρή και αμετάβλητη αντίσταση τριβής και πολύ καλή χημική αντίσταση. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των στερεών εποξειδικών ρητινών σε σχέση τις υγρές ρητίνες είναι το άριστο κολλώδες, η εύκολη επεξεργασία τους και η μηχανική αντοχή, η υψηλή χημική αντίσταση

<u>Κύρια πλεονεκτήματα:</u>

1. Η επεξεργασία των ρητινών είναι εύκολη και γρήγορη για θερμοκρασίες από 50C μέχρι 1500C και εξαρτάται από την εκλογή του πρόσθετου.

2. Χαμηλή υδροσκοπικότητα, καλή διαστατική σταθερότητα και ικανοποιητική αντοχή στην επίδραση ύδατος, οξέων, βάσεων και πολλών οργανικών διαλυτών. Είναι υγρά με

χαμηλό ιξώδες, όπως και τα μίγματά τους με πρόσθετα (πλαστικοποιητές, σκληρυντές), με αποτέλεσμα την εύκολη κατεργασία τους.

3. Πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση.

4. Υψηλές μηχανικές ιδιότητες που μπορεί να οφείλονται στη μικρή συστολή τους, έτσι μειώνεται η παρουσία τάσεων.

5. Υψηλή δύναμη συγκόλλησης.

6. Μικρή συστολή κατά τον πολυμερισμό και κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους. Αυτή η μικρή συστολή είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τις εποξειδικές ρητίνες.

7. Καλή χημική αντίσταση που εξαρτάται από το πρόσθετο που χρησιμοποιείται. Συνολικά οι εποξειδικές ρητίνες έχουν πολύ υψηλή αντίσταση στα καυστικά και καλή μέχρι άριστη στα οξέα.

Κύρια μειονεκτήματα:

1. Το μέσο έως υψηλό κόστος

2. Η δυσχέρεια απομάκρυνσής τους από τα καλούπια κατεργασίας

3. Η σχετικά μικρή θερμική αντοχή (αποσύνθεση στους 200o C)

4. Είναι απαραίτητη η ακριβής ανάμειξή κατά βάρος των συστατικών Α και Β γιατί είναι αντιδρώντα, αλλιώς θα προκύψει κάτι θα έχει με κατώτερες από τις προβλεπόμενες ιδιότητες.

2.4.2 Παραγωγή και σκλήρυνση

Οι συνηθέστερες εποξειδικές ρητίνες παράγονται από την αντίδραση επιχλωρυδρίνης και διφαινόλης Α, όπου παράγονται διγλυκιδυλαιθέρες της διφαινόλης Α. Οι εποξειδικές ρητίνες τελικά μετατρέπονται σε θερμοσκληρυμένο προϊόν με την προσθήκη ενός «σκληρυντή» και μπορούν να πολυμερισθούν από ένα ευρύ φάσμα σκληρυντών. Η επιλογή του κατάλληλου σκληρυντή εξαρτάται από τις τεχνικές εφαρμογής, τον απαιτούμενο «χρόνο ζωής σε δοχείο» (pot life), τις συνθήκες σκλήρυνσης και τις επιδιωκόμενες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Στην πράξη τα διάφορα συστήματα εποξειδικής ρητίνης – μέσων σκλήρυνσης τροποποιούνται συνήθως με διάφορα πρόσθετα, τα οποία μπορεί να είναι αδρανή ή δραστικά, δηλαδή να αντιδρούν με την εποξυ-ομάδα.

Υπάρχει μια μεγάλη ομάδα εταιρειών που αγοράζει πρώτες ύλες από τους κυρίως παραγωγούς και κατόπιν συνθέτουν (αναμιγνύουν, τροποποιούν) εποξειδικά συστήματα από αυτές τις πρώτες ύλες. Οι εταιρείες αυτές είναι γνωστές σαν «formulators” και μπορούν με χιλιάδες τρόπους να τροποποιήσουν τα εποξειδικά: με την προσθήκη ορυκτών πληρωτικών (π.χ. τάλκης, οξείδιο πυριτίου, σκόνη αλουμινίου, ανθρακικό ασβέστιο, καολίνης, μίκα, μπεντονίτης, πυριτικό αλουμίνιο, πυριτικό μαγνήσιο κλπ), με τη προσθήκη πλαστικοποιητών (plasticizers) για τη βελτίωση της ευκαμψίας του υλικού και την αύξησης του συγκολλητικού δεσμού, μειωτών ιξώδους - αραιωτικών (diluents, extenders), επιταχυντών, βελτιωτικών πρόσφυσης κλπ. Οι τροποποιήσεις αυτές μπορούν να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν την εκτέλεση του έργου. Ευρύτερη εφαρμογή έχουν τα αραιωτικά και τα πληρωτικά υλικά. Τα αραιωτικά υλικά, που μπορεί να είναι δραστικά ή αδρανή, ενώ μειώνουν το ιξώδες πολλών εμπορικών εποξειδικών ρητινών με πολύ μεγάλο ιξώδες. Τυπικό παράδειγμα δραστικού αραιωτικού αποτελεί ο φθαλικός διβουτυλεστέρας .

Τα πληρωτικά υλικά έχουν ως κύριο σκοπό να αυξήσουν το βάρος και τον όγκο του τελικού προϊόντος και μ’ αυτό τον τρόπο να μειωθεί το κόστος. Συνήθως γίνεται διάκριση σε αγώγιμα και μη αγώγιμα πληρωτικά ανάλογα αν αυξάνουν ή όχι την ηλεκτρική αγωγιμότητα της ρητίνης.

Οι εποξειδικές ρητίνες δεν είναι εύκαμπτα υλικά και ακόμα και με την προσθήκη μεγάλων συγκεντρώσεων πλαστικοποιητή δεν αποκτούν ιδιότητες που να προσεγγίζουν ιδιότητες συνηθισμένων ελαστομερών. Ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο προστίθενται οι πλαστικοποιητές, είναι η ελάττωση του έμφυτου εύθραυστου των εποξειδικών ρητινών. Το αποτέλεσμα της προσθήκης του πλαστικοποιητή είναι η αύξηση της δυνατότητας παραμόρφωσης και γι’ αυτόν τον λόγο πολλά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν 3.5. Εφαρμογές εποξειδικών ρητινών: χρώματα και επικαλυπτικά, συγκολλητικά, βιομηχανικά εργαλεία παραγωγής και σύνθετα υλικά, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα, ναυτιλιακές εφαρμογές, καθώς και αεροδιαστημικές εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΟ ΠΡΟΣΜΙΞΗΣ, ΤΡΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ AL2O3

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το τριοξείδιο του αλουμινίου, AL2O3 , ή αλλιώς «αλουμίνα» όπως αποκαλείται, είναι το πιο συχνά εμφανιζόμενο από τα οξείδια του αργιλίου. Είναι από τα πιο συμφέροντα και ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά στην οικογένεια των κεραμικών. Έχει διάφορες εφαρμογές και αναλόγως την εφαρμογή μπορεί να είναι σε ένυδρη ή άνυδρη μορφή. Η άνυδρη προκύπτει από το ψήσιμο της ένυδρης ώστε να αφαιρεθεί η ποσότητα νερού.

Κάποια βασικά της χαρακτηριστικά της είναι τα ακόλουθα:

- Μεγάλη σκληρότητα και υψηλή αντοχή
- Αντοχή στις εκδορές
- Υψηλό σημείο τήξης
- Μεγάλη διηλεκτρική αντοχή
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- Μεγάλη αντοχή σε συμπίεση
- Υψηλή ηλεκτρική αντίσταση ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες
- Χημική σταθερότητα σε μεγάλο αριθμό χημικών ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες
- Αντοχή στις απότομες μεταβολές θερμοκρασίας

Κρυσταλλική δομή: Οι διάφοροι τύποι αλουμίνας έχουν μερικώς άτακτη κρυσταλλική δομή, αλλά όλοι βασίζονται σε μια συμπαγή δομή οξυγόνου με πληθώρα ατόμων αργιλίου τοποθετημένα σε θέσεις γύρω από αυτό. Καθώς πλησιάζουμε σε ισορροπία η δομή γίνεται όλο και πιο οργανωμένη. Μια αρχική θεώρηση της δομής της αλουμίνας θα μπορούσε να τοποθετήσει κάθε ιόν Al^{3+} έτσι ώστε να έχει έξι πλησιέστερα γειτονικά ιόντα O^{2} και κάθε ιόν O^{2} έτσι ώστε να έχει τέσσερα Al^{3+} κατανεμημένα στις τέσσερις κορυφές του τριγωνικού πρίσματος. Ένα πιο αξιόπιστο πρότυπο δομής επιτυγχάνεται θεωρώντας τις μονάδες Al_2O_3 σαν τρία ιόντα οξυγόνου που σχηματίζουν ένα ισοσκελές τρίγωνο με τα ιόντα του αργιλίου πάνω και κάτω από το κέντρο του τριγώνου. Μία από αυτές τις ομάδες τοποθετείται σε κάθε κορυφή του κύβου ενώ μία άλλη τοποθετείται στο κέντρο του κύβου, δίνοντας τους δύο μοριακούς τύπους.

3.2 Προέλευση και παρασκευή

Προέρχεται από το βωξίτη και τα αργιλοπυριτικά πετρώματα. Ο βωξίτης είναι το κύριο ορυκτό , από την επεξεργασία του οποίου εξάγεται η αλουμίνα, συνήθως όμως πρόκειται για μείγμα διαφόρων ορυκτών, με βασικότερα τον γυψίτη, τον βοημίτη και τον διάσπορο. Οι τύποι αυτοί αντιπροσωπεύουν διάφορα στάδια ενυδάτωσης.

Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή της αλουμίνας διαφέρουν ανάλογα με την πρώτη ύλη που διατίθεται, τις σχετικές τεχνικές των χημικών διαδικασιών και των πηγών ενέργειας κάθε χώρας. Μερικά παραδείγματα είναι οι παρακάτω διαδικασίες:

3.2.1 Διεργασία Bayer

Η διεργασία αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη για παραγωγή φθηνής αλουμίνας από βωξίτη. Τέσσερις τόνοι βωξίτη απαιτούνται για την παραγωγή δύο τόνων αλουμίνας. Εργοστάσια παραγωγής συναντώνται κοντά σε ορυχεία βωξίτη για οικονομικούς λόγους. Το κόστος της παραγωγής εξαρτάται από το βαθμό καθαρότητας και την κοκκομετρική διαβάθμιση που απαιτεί ο καταναλωτής. Αποτελείται από πέντε στάδια: προετοιμασία της πρώτης ύλης, πέψη, καθαρισμός, καταβύθιση, πύρωση

Από το διάλυμα αργιλικού νατρίου μετά από συμπύκνωση μέχρι κορεσμού και διαδικασία γήρανσης σχηματίζεται λεπτόκοκκος γυψίτης. Με συνεχή έλεγχο των συνθηκών γήρανσης: θερμοκρασία, ανάδευση και χρόνο κατά τη διάρκεια της καθίζησης, επιτυγχάνουμε την οικονομικότερη παραγωγή καθώς και έλεγχο στο μέγεθος των κόκκων, την υφή και την καθαρότητα του γυψίτη. Στη συνέχεια με υδρόλυση δημιουργείται ένα παχύρευστο ίζημα $Al(OH)3$ και ακολουθεί πύρωση. Η τελική πύρωση γίνεται σε θερμοκρασίες πάνω από τους $1200^{O}C$ για την μετατροπή του γυψίτη σε κεραμική αλουμίνα. Κατά το στάδιο της πέψης απομακρύνονται προσμίξεις όπως ο σίδηρος, το πυρίτιο και το τιτάνιο, οι μεγαλύτερες ποσότητες των οποίων απορρίπτονται ως ερυθρά ιλύς. Το ποσοστό καθαρότητας της αλουμίνας που μπορεί να επιτευχθεί με τη μέθοδο αυτή αγγίζει το 90%.

3.2.2 Πυρο-γενετική διαδικασία

Στη μέθοδο αυτή, που αποτελεί παραλλαγή της προηγούμενης μεθόδου, γίνεται κατεργασία του βωξίτη στους 1200^{o}C πριν από την αντίδρασή του με λεπτόκοκκο Na_2CO_3. Έτσι το ορυκτό μετατρέπεται σε μια σειρά αλάτων νατρίου και εκλύεται CO_2. Το αργιλικό και το πυριτικό νάτριο απομακρύνονται με νερό και από την υδρόλυση του σιδηρικού νατρίου δημιουργείται ίζημα, γνωστό ως ερυθρά ιλύς. Ακολούθως το διάλυμα κατεργάζεται όπως στη διαδικασία Bayer και λαμβάνουμε την αλουμίνα.

Η διεργασία αυτή έχει κατά ένα μεγάλο ποσοστό αντικατασταθεί από τη μέθοδο Bayer λόγω της υψηλής ενεργειακής απαίτησης καθώς και της υψηλής τιμής των αντιδραστηρίων.

3.2.3 Μέθοδος Peniakoff

Με τη μέθοδο αυτή, η οποία είναι και αυτή παραλλαγή της μεθόδου Bayer, λαμβάνουμε αλουμίνα μικρότερης καθαρότητας αλλά με τη χρήση μιας εξώθερμης αντίδρασης επιτυγχάνουμε μείωση του ενεργειακού κόστους. Η μέθοδος περιλαμβάνει κατεργασία του βωξίτη, αλλά στη συνέχεια αναμειγνύεται με Na_2SO_4 και θερμαίνεται στους 900-1000^{o}C όπου λαμβάνει χώρα μία εξώθερμη αντίδραση και εκλύεται SO_2 και CO_2 καθώς και άλατα νατρίου για περαιτέρω κατεργασία όπως σε όλες τις μεθόδους.

3.2.4 Μέθοδος αργίλων

Στη μέθοδο αυτή ο καολινίτης θερμαίνεται στους 500^{o}C, μετασχηματίζεται σε μετακαολινίτη και ακολουθεί κατεργασία του με HCl ή H_2SO_4 και τελικά λαμβάνουμε την αλουμίνα στο διάλυμα. Στη συνέχεια με συμπύκνωση και κατεργασία του υγρού παραλαμβάνουμε την αλουμίνα. Αν και παράγονται δύο μόρια πυριτίας ανά μόριο αλουμίνας ως παραπροϊόν, η άργιλος και τα οξέα είναι σχετικά φθηνά.

3.3 Τύποι Al_2O_3 και ιδιότητες

Το οξείδιο του αλουμινίου παρουσιάζεται σε διάφορες φάσεις (α, β, γ, χ, δ, κ.α), ανάλογα με τη θερμική επεξεργασία στην οποία υποβάλλουμε το υδροξείδιο του αλουμινίου. Η πιο σταθερή θερμοδυναμικά φάση είναι η α- Al_2O_3. Ακολουθεί ανάλυση των τριών βασικότερων φάσεων της αλουμίνας.

3.3.1 α- Αλουμίνα

Η καθαρή αλουμίνα (α- αλουμίνα) έχει εξαγωνική δομή, με 2 άτομα Al και 6 άτομα O ανά μοναδιαία κυψελίδα. Είναι η πιο σταθερή θερμοδυναμικά φάση. Το εξαγωνικό δομικό κελί είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο για την περιγραφή της α-αλουμίνας, παρόλο που ο κρύσταλλος είναι στην πραγματικότητα ρομβοεδρικός. Η δομή του κρυστάλλου περιγράφεται συνήθως να έχει ανιόντα O^{2-} σε σχεδόν εξαγωνική συμπαγή διάταξη με κατιόντα Al^{3+} να καταλαμβάνουν τα δύο τρίτα των διακένων του οκταέδρου. Ο βασικός σχηματισμός της α-αλουμίνας. Μεγάλοι λευκοί κύκλοι: συμπαγές υπόστρωμα ανιόντων, μαύροι κύκλοι: κατιόντα που καταλαμβάνουν τα δύο τρίτα των διακένων του οκταέδρου, μικροί λευκοί κύκλοι: κενά.

3.3.2 β-Αλουμίνα

Η β-αλουμίνα προκύπτει από την αντίδραση του Al_2O_3 με Na_2CO_3 γύρω στους 1100^oC και αντιπροσωπεύει τις επιδράσεις που μπορεί να έχουν οι προσμείξεις κατιόντων στη βασική εξαγωνική δομή της αλουμίνας.

Παλαιότερα επικρατούσε η άποψη ότι τα υλικά β-αλουμίνας είναι απλώς μεταβολές στη δομή της α-αλουμίνας μέσω μιας ποικιλίας θερμοκρασιακών μετασχηματισμών. Με τον καιρό και μετά από σειρές πειραμάτων έγινε φανερό ότι ο όρος β-αλουμίνα αναφέρεται σε μια σειρά δυαδικών οξειδίων. Ο ιδανικός τύπος που καθορίζει τη β-αλουμίνα είναι $M_2O.11Al_2O_3$ και το μέλος που υπάρχει συχνότερα στη θέση Μ είναι το νάτριο. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αντί για Na^{+} λίθιο, άργυρος, κάλιο κ.τ.λ. και να προκύψουν έτσι οι υπόλοιπες συνθέσεις.

Η δομή της β-αλουμίνας είναι βασικά εξαγωνική P63/mmc. Κάθε μοναδιαία κυψελίδα έχει κάθετα στον άξονα c δύο κατοπτρικά επίπεδα των ιόντων O^{2-} και M^{n+} που διαχωρίζονται από ένα «συγκρότημα επιπέδων» όπως του σπινέλιου. Αξίζει να αναφέρουμε ότι δεν υπάρχει ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ των στρωμάτων αυτών. Η ανάμειξη στερεού ανθρακικού νατρίου και α-αλουμίνας και η έψηση του μείγματος στους 1100^{o}C συνιστούν έναν τυποποιημένο τρόπο παρασκευής της β-αλουμίνας με νάτριο, η οποία αποτελεί τον πρόδρομο για την παρασκευή άλλων τύπων β-αλουμίνας με εναλλαγή ιόντος. Οι νέες μέθοδοι περιλαμβάνουν επίσης και οργανικές διεργασίες.

3.3.3 γ-Αλουμίνα

Η γ-αλουμίνα σχηματίζεται πριν από τον α-τύπο κατά την πύρωση του γυψίτη. Το όνομα γ- αλουμίνα δίνεται για να προσδιορίσει έναν αριθμό φάσεων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια αποσύνθεσης του ζελατινώδους $Al(OH)_3$ και του βοημίτη, AlO(OH). Κατά την πυροσυσσωμάτωση έχουμε μετατροπή φάσεων από γ σε α, σχηματίζεται μια μικροδομή που αποτελείται από α-κόκκους, μεγέθους της τάξης του μm, με ένα μεγάλο αριθμό αλληλοσυνδεδεμένων πόρων. Αυτό δείχνει ότι η πυροσυσσωμάτωση με μεγάλη ταχύτητα της λεπτής γ-αλουμίνας δεν οδηγεί πάντοτε σε βελτιώσεις των προϊόντων αλουμίνας με τη διαδικασία αυτή.

Ικανοποιητικά κρυσταλλωμένα δείγματα γ-Al_2O_3 μπορεί να επιτευχθούν με την προσθήκη διαλύματος NH_3 σε διάλυμα $Al(NO)_3$ και ανάδευση, διήθηση του ιζήματος, έκπλυση, ξήρανση στους 80^{o}C και θέρμανση στους 915^{o}C για μία ώρα.

Ο μετασχηματισμός πάντως από γ σε α αλουμίνα συνεχίζει να παρουσιάζει ενδιαφέρον, γιατί πολλοί έχουν την άποψη ότι το γ-Al_2O_3 είναι ένας ατελής σπινέλιος στον οποίο τα πρωτόνια παίζουν σταθεροποιητικό ρόλο, και τα ενδιάμεσα προϊόντα με πολύ κοντινές δομές εμφανίζουν την τεχνολογικά ενδιαφέρουσα αντίδραση, όπου ο καολινίτης μετατρέπεται σε μουλίτη.

3.3.4 Εμπορικοί τύποι αλουμίνας

Άνυδρη Αλουμίνα

Εάν η θερμοκρασία έκθεσης του υδροξειδίου του αλουμινίου ξεπεράσει το όριο των 1100 ^{O}C, τότε περνά από όλα τα παραπάνω στάδια μετατροπών και έχουμε παραγωγή α-Αλουμίνας, η οποία εμπορικά πραγματοποιείται σε επιμήκεις περιστροφικούς κλιβάνους.

Μεταλλοποιητές (metalisers) συχνά χρησιμοποιούνται ως καταλύτες στην αντίδραση για την μείωση της θερμοκρασίας. Οι πιο κοινοί μεταλλοποιητές που χρησιμοποιούνται είναι φθοριούχα άλατα.

Η πιο βασική ουσία που μειώνει την καθαρότητα της αλουμίνας είναι το οξείδιο του νατρίου. Διάφορες βαθμίδες καθαρότητας επιτυγχάνονται με διαφοροποιήσεις στο μέγεθος των κρυστάλλων, μορφολογικές και χημικές συστάσεις. Τα προϊόντα άνυδρης αλουμίνας χρησιμοποιούνται ποικιλοτρόπως σε κεραμικές και πυρίμαχες εφαρμογές.

Χυτή Αλουμίνα

Χυτή ή μεταλλουργική αλουμίνα είναι το όνομα που δόθηκε στο οξείδιο του αλουμινίου που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του μετάλλου αλουμινίου. Παλαιότερα παρασκευαζόταν από υδροξείδιο του αλουμινίου με τη χρήση περιστρεφόμενων καμίνων αλλά σήμερα παράγεται σε ειδικούς ρευστοποιητές με την επεξεργασία της διαπύρωσης. Στη διαδικασία αυτή το υδροξείδιο του αλουμινίου τροφοδοτείται σε ένα ρεύμα ζεστού αέρα αντίθετης κατεύθυνσης που παράγεται από φλεγόμενο καύσιμο υγρό ή αέριο. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την απομάκρυνση του νερού χημικά και έτσι λαμβάνουμε την άνυδρη αλουμίνα, σε εύρος θερμοκρασιών 180^{O}C-600^{O}C. Περαιτέρω έκθεση του υλικού σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1000^{O}C οδηγεί σε πιο σταθερές α-δομές.

Ενεργή Αλουμίνα

Ο όρος αυτός αποδίδεται σε σχετικά υψηλής καθαρότητας και μικρού μεγέθους κρυστάλλους (<1μm) αλουμίνα, η οποία πυροσυσσωματώνεται σε πλήρως πυκνό σώμα σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες από τη low ή medium soda αλουμίνα. Οι κονίες αυτές μεταφέρονται σε μύλο που σπάει τα συσσωματώματα που προκύπτουν από την ξήρανση.

Χρησιμοποιείται όπου χρειάζεται υψηλή μηχανική αντοχή, θερμική και χημική σταθερότητα.

Αλουμίνα χαμηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό νάτριο

Πολλές εφαρμογές, συγκεκριμένα στην ηλεκτρολογία/ηλεκτρονική, απαιτούν χαμηλή περιεκτικότητα ανθρακικού νατρίου στην αλουμίνα. Έτσι ως low soda ορίζεται η αλουμίνα με περιεκτικότητα μικρότερη από 0,1% κ. β. σε ανθρακικό νάτριο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους συμπεριλαμβανομένης της χρήσης διάφορων οξέων και χλωρίου.

Tabular Αλουμίνα

Αυτή είναι α-Αλουμίνα η οποία είναι είτε τηγμένη και έχει υποστεί πυρασσυσωμάτωση, είτε έχει υποστεί επανακρυσταλλοποίηση, και ονομάζεται έτσι επειδή περιέχει μορφολογικά πολλά επίπεδα σχηματισμένων κρυστάλλων κορουνδίου. Παράγεται με την συμπίεση άνυδρης αλουμίνας σε καλούπια και στη συνέχεια με θέρμανσή της σε θερμοκρασία 1700 ^{o}C -1850^{o}C σε αξονικούς κλιβάνους. Μετά τη θέρμανση, η χυτή αλουμίνα εξάγεται από τα καλούπια και μπορεί με θραύση, κοσκίνισμα ή άλεσμα της να παράγουμε διάφορα μεγέθη κόκκων.

Καθώς το υλικό έχει πυροσυσσωματωθεί χάνει σε μεγάλο βαθμό την πορώδη υφή του και αποκτά υψηλή πυκνότητα, χαμηλή διαπερατότητα, καλή χημική αδράνεια, γίνεται ιδιαίτερα δύστηκτο και έτσι είναι κατάλληλο για πυρίμαχες εφαρμογές.

Υψηλής καθαρότητας Αλουμίνα

Αυτού του τύπου η αλουμίνα πρέπει να έχει 99,99% καθαρότητα και κατασκευάζεται με διάφορες διαδικασίες, είτε ξεκινώντας από τη μέθοδο Bayer και στη συνέχεια με διαδοχικές διαδικασίες καθαρισμού είτε διαμέσου χλωρίωσης για την επίτευξη του απαραίτητου βαθμού καθαρότητας. Ακόμα υψηλότερες καθαρότητες παράγονται από τη θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες, θειικού άλατος αλουμινίου αμμωνίου ($AlNH_4(SO_4)_2$ ή από το μέταλλο αλουμίνιο. Στην πρώτη περίπτωση ο βαθμός καθαρότητας επιτυγχάνεται με διαδοχικές επανακρυσταλλώσεις. Ιδιαίτερα μεγάλος βαθμός καθαρότητας, στη δεύτερη περίπτωση, μπορεί να γίνει αντιδρώντας το μέταλλο με μια αλκοόλη και στη συνέχεια καθαρίζοντας το αλκοξείδιο του αλουμινίου με απόσταξη, υδρόλυση και θέρμανση.

Τηγμένη Αλουμίνα

Φτιάχνεται σε φούρνους ηλεκτρικών τόξων, με το ρεύμα να διαρρέει κατακόρυφα ηλεκτρόδια άνθρακα. Η παραγόμενη θερμότητα λιώνει την αλουμίνα. Ο φούρνος περιλαμβάνει κελί από χάλυβα το οποίο ψύχεται από νερό. Η fused αλουμίνα έχει ελάχιστα πορώδη υφή, υψηλή πυκνότητα, χαμηλή διαπερατότητα και ακόμα πιο υψηλό σημείο τήξης. Σαν αποτέλεσμα αυτών των χαρακτηριστικών χρησιμοποιείται στην κατασκευή λειαντικών και πυρίμαχων.

3.4 Εφαρμογές Αλουμίνας

Από την ανωτέρω ανάπτυξη των ιδιοτήτων και των μορφών της αλουμίνας, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, σε διάφορους τομείς. Από μία ετήσια παραγωγή 60 εκατομμυρίων τόνων, το 90% χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μετάλλου αλουμινίου. Από τις υπόλοιπες ποσότητες κατασκευάζονται διάφορα προϊόντα, που κατανέμονται ως εξής: πυρίμαχα υλικά (50%), στιλβωτικά (20%), πυρότουβλα και μπουζί (15%), κεραμικά με χρήση στην ηλεκτρονική (10%). Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες εφαρμογές της αλουμίνας σε μία προσπάθεια κατηγοριοποίησης τους.

3.4.1 Εφαρμογές σχετιζόμενες με την σκληρότητα

Η υψηλή σκληρότητα της αλουμίνας και ιδιαίτερα στην κρυσταλλική της μορφή (κορούνδιο) οδήγησε σε εφαρμογές ως βοηθητικά εργαλεία κοπής μετάλλων. Συναντάται συχνά σαν υλικό εξαρτημάτων αλεστικών μηχανών, όπως επίσης χρησιμοποιείται σαν μέρος του μύλου του τόρνου (Milling Media) σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθών ανάλογα με την εφαρμογή που απαιτείται. Το οξειδίου του αλουμινίου σε μορφή κονίας χρησιμεύει σε λειαντικές εφαρμογές σαν γυαλιστικό, στιλβωτικό κ.α.

Με τη μορφή λεπτών σωματίων συνδεδεμένων με πυριτικό γυαλί, είναι η βάση για τα μπουζί των μηχανών εσωτερικής καύσης, για πυρότουβλα και για δοχεία που λιώνουν τήξης μετάλλων. Λόγω της υψηλής σκληρότητας η αλουμίνα εμφανίζει μεγάλη αντίσταση σε εκδορές/ γδαρσίματα και γενικότερα μηχανική φθορά και διάβρωση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές όπως π.χ. εσωτερική επένδυση σε σωληνώσεις και σκεύη/ δοχεία, σφράγισμα ασφαλείας σε αντλίες και στρόφιγγες, στεγανωτικούς δακτυλίους κ.α. Κεραμικά πολυκρυσταλλικής αλουμίνας χρησιμοποιούνται αντί γυαλιού σαν προστατευτικό επίστρωμα σε λάμπες φθορισμού (fluorescent light lamps) και ηλεκτρονικές συσκευές. Λεπτό στρώμα Al_2O_3 παράγεται ηλεκτροχημικά πάνω στο αλουμίνιο για να προστατεύει το μεταλλικό υπόστρωμα από διάβρωση.

3.4.2 Εφαρμογές σχετιζόμενες με την θερμική αντοχή

Η μεγάλη ελεύθερη ενέργεια (free energy) που περικλείει στη δομή της, καθιστά την αλουμίνα χημικά σταθερή. Για τους λόγους αυτούς βρίσκει χρήση ως συστατικό σε περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας και ακραίων γενικότερα συνθηκών. Υλικά που υποβάλλονται σε τέτοιες ακραίες συνθήκες είναι οι πυρίμαχες ύλες και τα κεραμικά γενικά και πιο ειδικά οι σωλήνες σκαφιδίων των φούρνων, οι σωλήνες εργαστηριακών οργάνων και οι λαβίδες δειγμάτων, βασικά μέρη οργάνων για θερμικές δοκιμές καθώς επίσης συχνή είναι η χρήση της και σε αισθητήρες θερμοκρασίας.

3.4.3 Εφαρμογές σχετιζόμενες με μονωτικές, διηλεκτρικές ιδιότητες

Η υψηλή ειδική αντίσταση και διηλεκτρική αντοχή (dielectric strength) δίνουν στην αλουμίνα ιδιότητες εξαίρετου ηλεκτρικού μονωτή ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που οδηγεί σε χρήση της αλουμίνας στην ηλεκτρονική ως υπόστρωμα σε transistors, ως υλικό διασύνδεσης και (σε εφαρμογές μικρότερων απαιτήσεων) ως αντιστάτη σε μπουζί τροχοφόρων και σαν μονωτήρα υψηλού δυναμικού.

Τέλος η υψηλή διηλεκτρική σταθερά σε συνδυασμό με τις μικρές διηλεκτρικές απώλειες, συγκεκριμένα στις υψηλές συχνότητες, οδηγούν στη χρήση της αλουμίνας ως συστατικό σε μικροκυματικές συσκευές (Microwave Components), όπως π.χ. κυματοδηγούς. Χάρη στις εξαιρετικές της ιδιότητες ακόμα και σε υψηλές συχνότητες χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτείται από το υλικό υψηλή ανθεκτικότητα ακόμα και σε καταστάσεις ηλεκτρικής διάσπασης (dielectric breakdown).

3.4.4 Χημικές εφαρμογές

Στη χημική βιομηχανία κατασκευάζονται χημικά καθαριστικά για το νερό, όπως θειικό άλας αλουμινίου (aluminium sulphate), πολυχλωριούχο αλουμίνιο και αργιλικό νάτριο, όπως επίσης και συγκεκριμένα χημικά καθαριστικά CD/DVD με καλύτερα αποτελέσματα από την ισοπροπυλική αλκοόλη. Η αλουμίνα είναι ακόμα ένα από τα πιο αποτελεσματικά προσροφητικά (adsorbents) που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των ιόντων φθορίου από το νερό.

Μεγάλο ποσοστό επίσης χρησιμοποιείται στην παρασκευή ζεολίθων (zeolites), πιγμέντων τιτανίας για επιστρώματα και επιβραδυντών πυρκαγιάς. Μικρότερο ποσοστό χρησιμοποιείται στην παρασκευή φαρμάκων, οδοντόκρεμας, όπως επίσης και στην χρωματογραφία, στην οποία απαντάται σε τρείς τύπους, τους λεγόμενους Brockmann types, με διαφορετικό pH, ουδέτερο, αλκαλικό (9,5 pH) και όξινο (4,5 pH σε διάλυμα νερού). Η αλουμίνα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με χρώμιο, μαγγάνιο και κοβάλτιο για τη δημιουργία ροζ χρώματος.

3.4.5 Εφαρμογές στη Βιοιατρική

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αλουμίνα υψηλής καθαρότητας χρησιμοποιείται στην ορθοπεδική, σε εμφυτεύματα, και πιο συγκεκριμένα σε εγχειρήσεις αντικατάστασης ισχίου. Χρησιμοποιείται ακόμα και στην οδοντιατρική, ως πρόσμιξη σε ρητίνη.

3.4.6 Διάφορες άλλες εφαρμογές

Τέλος αλουμίνα χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μηχανισμούς ρολογιών, σε βαλλις τικές θωρακίσεις, στα ρουμπίνια κοσμημάτων, που είναι υψηλής ποιότητας κρύσταλλοι Al_2O_3 που περιέχουν μικρή ποσότητα οξειδίου του χρωμίου με αποτέλεσμα τον κόκκινο χρωματισμό. Κατά αντιστοιχία έχουμε γαλάζιο χρώμα προσθέτοντας άτομα τιτανίου. Νιφάδες οξειδίου του αλουμινίου χρησιμοποιούνται από τις αυτοκινητοβιομηχανίες και τις βιομηχανίες καλλυντικών στις βαφές για να προκαλούν διακοσμητικά εφέ μέσω της ανάκλασης. Επίσης εμφανίζεται σε σωλήνες laser αερίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.1 Κατασκευή των δοκιμίων

4.1.1 Πρώτες ύλες

Εποξειδική ρητίνη

Χρησιμοποιήσαμε ως μήτρα του σύνθετου υλικού που κατασκευάσαμε την εποξειδική ρητίνη Epoxol 2847 (εταιρεία Neotex). Η ρητίνη αυτή κατασκευάζεται με πρόσμιξη δύο συστατικών μερών, και δύο σε υγρή μορφή.

Συστατικό Α: Καθαρή ρητίνη.

Συστατικό Β: Σκληρυντής που αναμυγνειόμενο με το συστατικό 1, προκαλεί πλήρη στερεοποίηση του συστήματος.

Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία, τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ρητίνης αυτής είναι:

Μορφή μείγματος:	διαφανές, ελαφρά πορτοκαλί
Δοσολογια κατά βάρος:	100 A : 58 B
Πυκνότητα:	1.09 g/ cm^3
Χρόνος σκλήρυνσης στους 25° C :	3 ώρες περίπου
Χρόνος πλήρους σκλήρυνσης:	7 ημέρες
Αντοχή σε κάμψη (DIN 53452):	80 N/mm^2
Αντοχή σε εφελκυσμό (DIN 53452):	38 N/mm^2
Αντοχή σε θλίψη (DIN 53452):	82 N/mm^2

Υλικό πρόσμιξης

Ως ενισχυτικό-πληρωτικό μέσο χρησιμοποιήθηκε το τριοξείδιο του αλουμινίου, με μορφή πορώδης πούδρας, της εταιρείας MERCK με κωδικό 10109. Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά του υλικού αυτού, σύμφωνα με τα δεδομένα της εταιρείας.

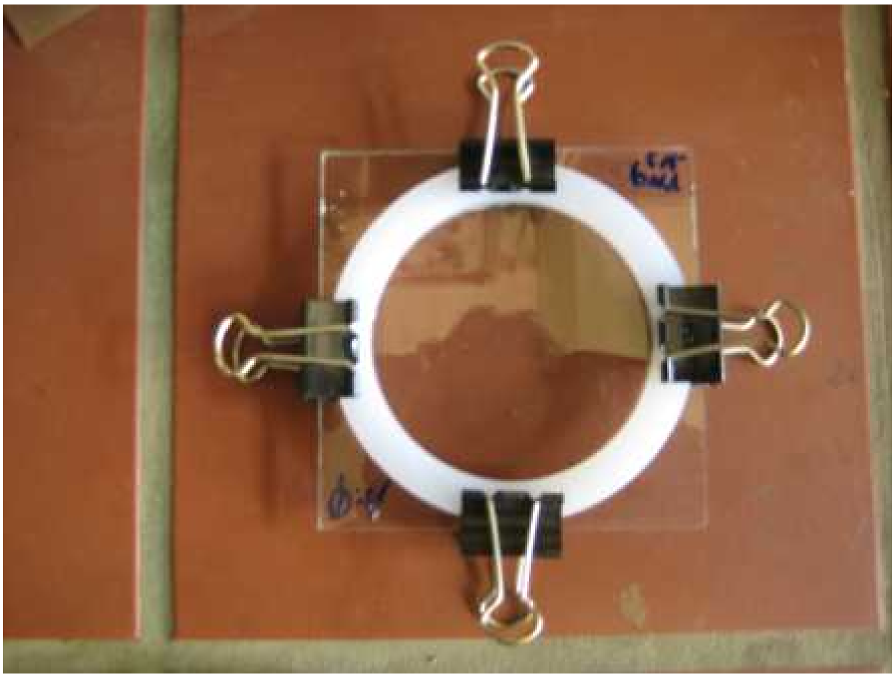
Μοριακή μάζα:	101,96
Μέγεθος κόκκων:	63-200 μm
CAS number:	1344-28-1
Περιεκτικότητα σε νερό:	0,2% max
pH:	6,8 – 7,8
Βαθμός ενεργότητας:	1

4.1.2 Κατασκευή των καλουπιών

Πρώτο βήμα στην παραγωγή των δοκιμίων ήταν η αναζήτηση κατάλληλων καλουπιών. Χρειαζόμασταν κυλινδρικά καλούπια με όσο το δυνατόν πιο λεία επιφάνεια στο εσωτερικό, εσωτερική διάμετρο 5,5 εκατοστά, ύψος 3 χιλιοστά και εντελώς επίπεδες πλευρές. Αρχικά εξετάσαμε το ενδεχόμενο να υπάρχουν ήδη αντικείμενα με τέτοιες προδιαγραφές, που θα μπορούσαμε εμείς να αξιοποιήσουμε ως καλούπια. Μετά από αναζήτηση όμως δεν ανακαλύψαμε έτοιμα τέτοια υλικά, άρα προσανατολιστήκαμε στην κατασκευή τους.

Πλέον είχαμε δύο επιλογές. Η πρώτη ήταν να χρησιμοποιήσουμε μεταλλικούς κυλίνδρους που ανακαλύψαμε πως υπήρχαν, οι οποίοι όμως είχαν εσωτερική ακτίνα πολύ λιγότερη από αυτή που επιθυμούσαμε. Έπρεπε λοιπόν να κάνουμε χρήση τόρνου σε μηχανουργείο, και πράγματι, το πρώτο καλούπι ήταν έτοιμο. Όμως, η διαδικασία αυτή ήταν αρκετή χρονοβόρα και απαιτητική, οπότε καταφύγαμε στην δεύτερη επιλογή. Δημιουργήσαμε καλούπια από PWC, με τις συγκεκριμένες προδιαγραφές, με την αξιοποίηση εξωτερικού συνεργάτη. Φυσικά υπήρχαν διαφορές από καλούπι σε καλούπια αλλά ήταν πολύ μικρές, και εν πάση περιπτώσει, η μικρές αυτές αποκλίσεις ήταν ανεκτές για το πείραμα που επιθυμήσουμε να κάνουμε. Κατασκευάσαμε 15 καλούπια, διπλάσιος σχεδόν αριθμός από τις ανάγκες μας, ώστε να καλύψουμε και το ενδεχόμενο επέκτασης του πειράματος. Ακολουθεί εικόνα ενός τέτοιου καλουπιού:

Αποφασίσαμε να τοποθετήσουμε κάθε κύλινδρο σε τετράγωνο κομμάτι γυαλιού διαστάσεων 6,5 cm, και να χρησιμοποιήσουμε μεταλλικούς συνδετήρες στις τέσσερις πλευρές του γυαλιού, για πλήρη «πρόσδεση» των κυλίνδρων στο γυαλί, και στεγανοποίηση της κάτω πλευράς εντελώς. Ακολουθεί εικόνα:



4.1.3 Πειραματικός προσδιορισμός αναγκαιότητας ύπαρξης στρώματος υλικού ανάμεσα στο καλούπι και το γυαλί, και τη ρητίνη

Πριν ξεκινήσουμε την κατασκευή των δοκιμίων, έπρεπε να σιγουρευτούμε πως μετά τη στερεοποίηση του μείγματος, θα είναι δυνατόν α) να βγάζουμε τα δοκίμια, και β) να τα βγάζουμε όσο το δυνατόν πιο άθικτα. Στις 6/11/2014 κάναμε το ακόλουθο πείραμα. Κατασκευάσαμε 4 δοκίμια με τις εξής προδιαγραφές:

Δοκίμιο Α: γυαλί και κυλινδρικό καλούπι μόνο, χωρίς άλλο υλικό, και μετά ρητίνη
Δοκίμιο Β: γυαλί και κυλινδρικό καλούπι, με 2 στρώσεις PVA από πάνω, και μετά ρητίνη
Δοκίμιο Γ: γυαλί και κυλινδρικό καλούπι, με 4 στρώσεις PVA από πάνω, και μετά ρητίνη
Δοκίμιο Δ: γυαλί και κυλινδρικό καλούπι, με βαζελίνη από πάνω, και μετά ρητίνη

Η ρητίνης ήταν σκέτη. Θέλαμε συνολικά 40 gr και για τα 4 δοκίμια, 10 gr ανά δοκίμιο, άρα επειδή η αναλογία των δύο συστατικών της είναι 100 A : 58 B, οι τελικές ποσότητες για A και B ήταν:

A : X1= 40*100/158 = 25,32 gr , ή, 6,33 gr ανά δοκίμιο

B : X2=40*58/158 = 14,68 gr , ή, 3,67 gr ανά δοκίμιο

Έπρεπε να περιμένουμε λίγες μέρες ώστε να στερεοποιηθεί πλήρως το PVA. Μια βδομάδα μετά, στις 18/6/2014, κάναμε την εξαγωγή των δοκιμίων και διαπιστώσαμε πως η ύπαρξη του PVA άφηνε μικρά κομμάτια κολλημένα πάνω στην στερεοποιημένη ρητίνη, ενώ η βαζελίνη άφηνε στην επιφάνεια της ρητίνης υπολείμματα που ενδεχομένως να επηρέαζαν τις μετρήσεις. Αποδείχτηκε πως μόνο το γυαλί και το κυλινδρικό καλούπι, ήταν αρκετό. Δεν χρειαζόταν κάποιο επιπλέον υλικό για να εξαχθεί η στερεοποιημένη ρητίνη από τα δοκίμια που θα κατασκευάζαμε.

4.2 Πειραματική κατασκευή των δοκιμίων

Κατασκευάσαμε 4 είδη διαφορετικών δοκιμίων, 2 δοκίμια ανά φάση. Συνολικά 8 δοκίμια.

Φάση Α : Δύο δοκίμια με ρητίνη, και πρόσμιξη 1% Al_2O_3, του οποίου η αφύγρανση είχε γίνει σε ειδικό θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας.

Φάση Β : Δύο δοκίμια με ρητίνη, και πρόσμιξη 1% Al_2O_3, του οποίου η αφύγρανση είχε γίνει εν κενώ.

Φάση Γ : Δύο δοκίμια με ρητίνη, και πρόσμιξη 1% Al_2O_3, χωρίς αφύγρανση.

Φάση Δ : Δύο δοκίμια μόνο με ρητίνη, χωρίς Al_2O_3.

Ποσότητες

Επιλέξαμε για κάθε δυάδα δοκιμίων να κατασκευάσουμε 25 γραμμάρια ρητίνης. Αυτό σημαίνει πως χρειαζόμασταν Χ1 = 25*100/158=15,82 gr ποσότητα Α, και Χ2=25*58/158=9,18 gr ποσότητας Β. Τέλος, αναφορικά με το Al_2O_3, εφόσον χρειαζόμασταν ποσοστό 1%, είχαμε για κάθε δυάδα δοκιμίων Υ1=25*0,01=0,25 gr Al_2O_3.

Διαδικασία παρασκευής των δοκιμίων με πρόσμιξη Al_2O_3

Βήμα 1: Τοποθετούσαμε με προσοχή υλικό Α σε γυάλινο δοχείο, το οποίο ήταν τοποθετημένο πάνω στη ζυγαριά ακριβείας, με προσοχή ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό βάρος που υπολογίστηκε παραπάνω.

Βήμα 2: Προσθέταμε την απαραίτητα ποσότητα Al_2O_3 , ξανά προσεκτικά, ώστε να έχουμε το ακριβές απαραίτητο βάρος.

Βήμα 3: Αναδεύαμε με ένα λεπτό μεταλλικό εργαλείο για 1-2 λεπτά

Βήμα 4: Τοποθετούσαμε το γυάλινο δοχείο με το μείγμα στο λουτρό υπερήχων για 5 λεπτά.

Βήμα 5: Προσθέταμε με το γυάλινο δοχείο πάνω στη ζυγαριά, την απαραίτητη ποσότητα από το υλικό Β.

Βήμα 6: Αναδεύαμε ξανά με λεπτό μεταλλικό εργαλείο για 1-2 λεπτά

Βήμα 7: Τοποθετούσαμε ξανά το δοχείο στο λουτρό υπερήχων για 1 λεπτό.

Βήμα 8: Έγχυση του μείγματος στα ειδικά κατασκευασμένα καλούπια

Βήμα 9: Κάλυψη των δοκιμίων με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εκτίθενται στον ήλιο, και φύλαξη τους για 7 ημέρες, ώστε να επέλθει η πλήρης στερεοποίηση.

Διαδικασία παρασκευής των δύο δοκιμίων χωρίς Al_2O_3

Βήμα 1: Τοποθετούσαμε με προσοχή υλικό Α σε γυάλινο δοχείο, το οποίο ήταν τοποθετημένο πάνω στη ζυγαριά ακριβείας, με προσοχή ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό βάρος που υπολογίστηκε παραπάνω.

Βήμα 2: Προσθέταμε με το γυάλινο δοχείο πάνω στη ζυγαριά, την απαραίτητη ποσότητα από το υλικό Β.

Βήμα 3: Αναδεύαμε με λεπτό μεταλλικό εργαλείο για 1-2 λεπτά

Βήμα 4: Τοποθετούσαμε το γυάλινο δοχείο με το μείγμα στο λουτρό υπερήχων για 3 λεπτό.

Βήμα 5: Έγχυση του μείγματος στα ειδικά κατασκευασμένα καλούπια

Βήμα 6: Κάλυψη των δοκιμίων με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εκτίθενται στον ήλιο, και φύλαξη τους για 7 ημέρες, ώστε να επέλθει η πλήρης στερεοποίηση.

Η προηγούμενες δύο διαδικασίες έγιναν στις 18/7/2014.

Για την αφύγρανση του Al_2O_3 για τη φάση Α το τοποθετήσαμε από 17/7/2014 ως 18/7/2014 σε θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας στους 80 C για συνολικά 17,5 ώρες.

Για την αφύγρανση του Al_2O_3 για τη φάση Β το τοποθετήσαμε από 17/7/2014 ως 18/7/2014 στο απαραίτητο μηχάνημα ώστε να βρεθεί εν κενώ, για συνολικά 21 ώρες.

Ύστερα από 10 ημέρες, προσεκτικά, έγινε η εξαγωγή τους, με τα δοκίμια να είναι πλήρως στερεοποιημένα. Κατά την διαδικασία εξαγωγής υπήρχαν μικροί μικροτραυματισμοί σε κάποια δοκίμια γιατί παρατηρήθηκε πως ενώ τα δοκίμια με την απλή ρητίνη βγήκαν από τα καλούπια και το γυαλί σχετικά εύκολα, στα υπόλοιπα με το Al_2O_3 η διαδικασία ήταν πολύ πιο δύσκολη.

4.3 Όργανα μετρήσεων, κατασκευής των δοκιμίων, και παράμετροι

4.3.1 Όργανα μετρήσεων και κατασκευής των δοκιμίων

Λουτρό υπερήχων Elma Transsonic T460: Χρησιμοποιήσαμε το λουτρό υπερήχων για καλύτερη ανάδευση του σύνθετου υλικού και ομοιόμορφη κατανομή του Al_2O_3 στον όγκο του. Αποτελείται από μια μεταλλική λεκάνη, η οποία θα πρέπει να περιέχει τέτοια ποσότητα νερού όσο τα δύο τρίτα της χωρητικότητάς της ώστε η ανάδευση να γίνει σωστά. Θα πρέπει επίσης όλη ποσότητα του σύνθετου υλικού μέσα από το γυάλινο δοχείο, να είναι βυθισμένη στο νερό. Σε αυτό το μηχάνημα μπορείς επίσης να μεταβάλεις τη θερμοκρασία ή και το χρόνο λειτουργίας.

Ζυγός ακριβείας Ohaus Galaxy 110 : Ο ζυγός ακριβείας ήταν κεφαλαιώδους σημασία για την κατασκευή των δοκιμίων. Ο συγκεκριμένος έχει ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων, υπεραρκετή για τις δικές μας ανάγκες, και μέγιστη μέτρηση τα 110 γραμμάρια. Τον χρησιμοποιήσαμε για να ζυγίσουμε την ποσότητα Al_2O_3 που τοποθετήσαμε τα δοκίμια, με τη βοήθεια φυσικά ενός κομματιού αλουμινόχαρτο στο οποίο τοποθετούσαμε το πορώδες υλικό.

Σύστημα κενού

Η αλουμίνα για δύο από τα δοκίμια τοποθετήθηκε σε σύστημα κενού για αφύγρανση. Το συγκεκριμένο σύστημα κενού αποτελείται από δύο αντλίες νερού που συνδέονται σε ένα θάλαμο. Η πρώτη είναι διβάθμια περιστροφική αντλία και χρησιμεύει για υποστήριξη της πρώτης, που είναι τύπου διάχυσης. Δύο αισθητήρες μέτρησης πίεσης συνδέονται σε διάφορα σημεία του συστήματος. Ακολουξεί εικόνα:

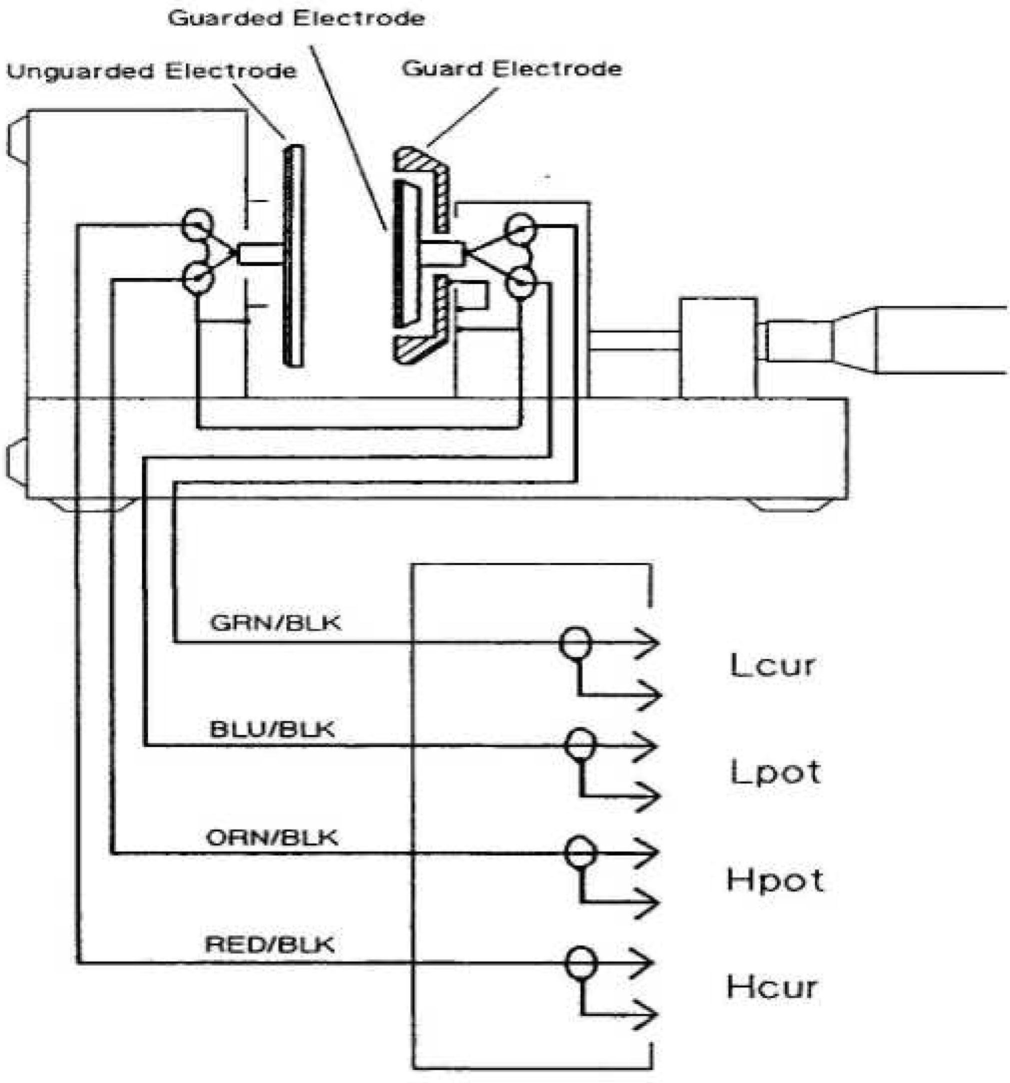
Θάλαμος δοκιμών ελεγχόμενης θερμοκρασίας WEISS KW64

Χρησιμοποιήθηκε ώστε να γίνει η αφύγρανση δύο δοκιμίων μέσω της θερμότητας. Αποτελείται από ένα θάλαμο και ένα σύστημα ελέγχου μέσω του οποίου ρυθμίζεται η θερμοκρασία του θαλάμου. Η θερμοκρασία μπορεί να ρυθμιστεί από -5 C έως και 130 C. Μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε ή για να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία σταθερή είτε για να πραγματοποιήσουμε μια ορισμένη καμπύλη μεταβολής θερμοκρασίας που επιθυμούμε. Χειριζόμαστε τη διάταξη μέσω του μηχανισμού ελέγχου που βρίσκεται στην μπροστινή της επιφάνεια.

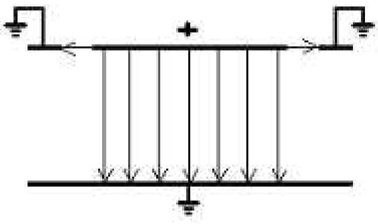
Γέφυρα μέτρησης LCR χαμηλών συχνοτήτων HP 4283A Pprecision LCR Meter : Το μηχάνημα αυτό είναι μια αυτομάτων ισορροπούμενη γενικής χρήσης γέφυρα μέτρησης LCR και είναι κατάλληλο για τον έλεγχο των εξαρτημάτων σε μια γραμμή παραγωγής, τον έλεγχο ποιότητας παραγωγής καθώς και για ερευνητική χρήση. Χρησιμοποιείται για μετρήσεις παραμέτρων του ισοδύναμου LCR διατάξεων ημιαγωγών και κυκλώματος υλικών σε ένα μεγάλο φάσμα μεταβλητών συχνοτήτων (10 Hz-1MHz) και για σήματα

5mV – 40V. Παρέχει μετρήσεις χωρητικότητας και συντελεστής απωλειών με βασική ακρίβεια 0,0005% στο συντελεστή απωλειών, 0,05% στη χωρητικότητα και ανάλυση έξι δεκαδικών σε όλες τις συχνότητες δοκιμής. Το μηχάνημα αυτό συνδέεται επίσης και με ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου με κατάλληλο λογισμικό μπορούμε να χαρακτηρίζουμε πλήρως νέα υλικά.

Κελί διηλεκτρικών μετρήσεων στερεών υλικών HP 1641B Dielectric Test Fixture: Πρόκειται για μια δοκιμαστική διάταξη που συνδέεται με τη γέφυρα LCR για τη μέτρηση διηλεκτρικών υλικών και καλύπτει συχνότητες έως και 15MHz. Επίσης, με χρήση του βερνιέρου μετρήσαμε το πάχος των δοκιμίων μας. Μια βασική του διάταξη είναι οι δύο στρογγυλές μεταλλικές πλάκες που σχηματίζουν πυκνωτή, ενώ υπάρχει δυνατότητα για ηλεκτρόδια και με μικρή πλάκα καθώς και ηλεκτρόδια για δείγματα με εξάχνωση λεπτού μεταλλικού στρώματος. Συνοδεύεται από τετραπολικά καλώδια που αντισταθμίζουν τις θερμοκρασιακές μεταβολές στα άκρα τους για μερμοκρασίες 0-55 C, ενώ το κελί είναι εξοπλισμένο με ένα τετραπολικό ομοαξινό καλώδια, ηλετρόδια προστασίας και ένα μικρότερο, το οποίο και μπορεί να μετρά την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων με ακρίβεια εκατοστού του χιλιοστού.



Σε κάθε είδος ηλεκτροδίων, το κάτω ηλεκτρόδιο (unguarded electrode) είναι εικονικά γειωμένο μέσω του ακροδέκτη Lp, και στο πάνω ηλεκτρόδιο (guarded electrode) υπάρχει ένας εξωτερικός δακτύλιος που επίσης γειώνεται (guard electrode). Έτσι έχουμε σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στις πλάκες, γιατί οι δυναμικές γραμμές που ξεκινούν από την περιφέρεια του προστατευμένου ηλεκτροδίου καταλήγουν στο γειωμένο δακτύλιο, όχι μέσω καμπύλης διαδρομής.



Χρησιμοποιήθηκαν τα μεγάλα ηλεκτρόδια που αντιστοιχούσαν και στη διάμετρο των δοκιμίων μας. Ακολουθεί εικόνα:

4.3.2 Διαδικασία και παράμετροι μετρήσεων

Μετρήσεις στη γέφυρα χαμηλών συχνοτήτων

Αρχικά τοποθετούσαμε το δοκίμιο στο κελί και με τον βερνιέρο καταγράφαμε το πάχος του. Ύστερα χρησιμοποιούσαμε τον ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να πάρουμε μετρήσεις για τα μεγέθη Cp και G. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήσαμε ήταν:

1. Κλίμακα συχνοτήτων: Λογαριθμική
2. Μεγέθη προς μέτρηση: Cp - G
3. Εύρος συχνοτήτων: 20Hz-10MHz
4. Bias : 0 , (συνεχή συνιστώσα εφαρμοζόμενης τάσης)
5. Χρόνος μεταξύ μετρήσεων: 1 s
6. Πλάτος εναλλασσόμενου σήματος: 2000 mV
7. Integration factor: short

Όταν ολοκληρώνονταν οι μετρήσεις για ένα δοκίμιο, το αφαιρούσαμε, και με τη βοήθεια του βερνιέρου βάζαμε έτσι τα ηλεκτρόδια ώστε να έχουν ακριβώς την ίδια απόσταση με το πάχος του δοκιμίου. Ύστερα μετρούσαμε τη χωρητικότητα του αέρα, Cpo . Τελικό στάδιο ήταν η αποθήκευση των δεδομένων σε ένα αρχείο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

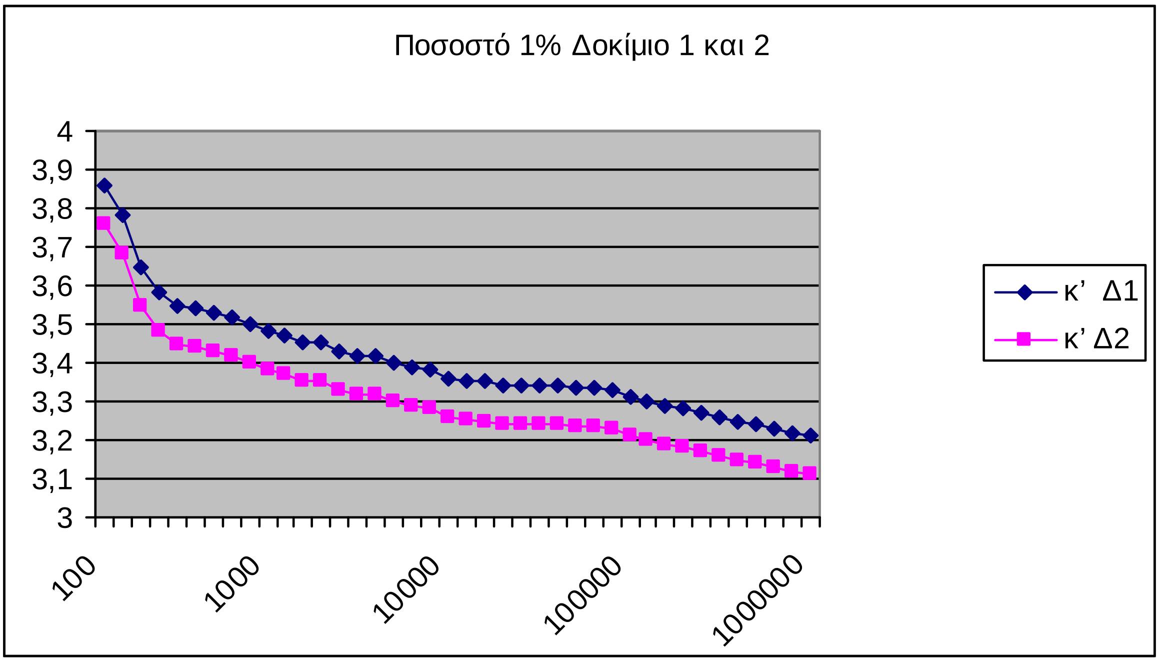
5.1 Αρχικές παρατηρήσεις

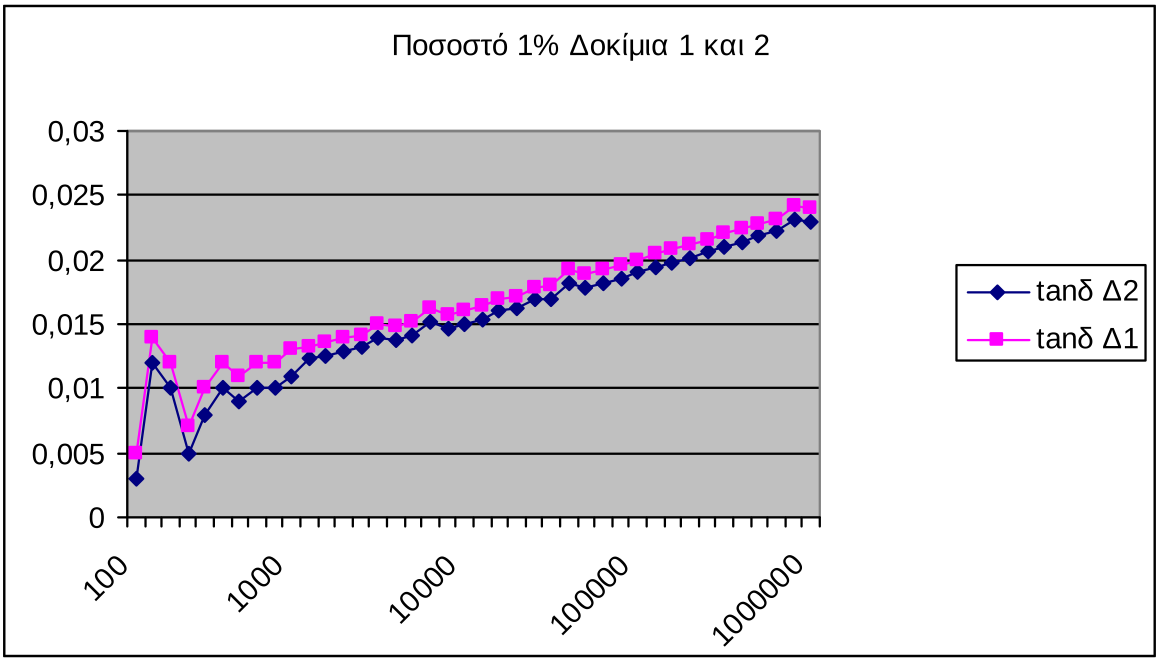
Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως και τα 8 δοκίμια κατασκευαστήκανε την ίδια μέρα, στις 18/7/2014, εξαχθήκανε από τα κυλινδρικά καλούπια ομοίως την ίδια μέρα, στις 25/7/2014, και μετρηθήκανε ομοίως την ίδια μέρα, στις 27/7/2014. Οι εξωτερικές συνθήκες κατασκευής των δοκιμίων παίζει σημαντικό ρόλο, οπότε έγινε ιδιαίτερη μνεία η κατασκευή και μέτρηση να γίνει την ίδια μέρα και για τα 8, ώστε να μην έχουμε διαφοροποιήσεις για λόγους άλλους από τους εξεταζόμενους.

5.2 Μετρήσεις και συμπεράσματα στη γέγυρα χαμηλών συχνοτήτων

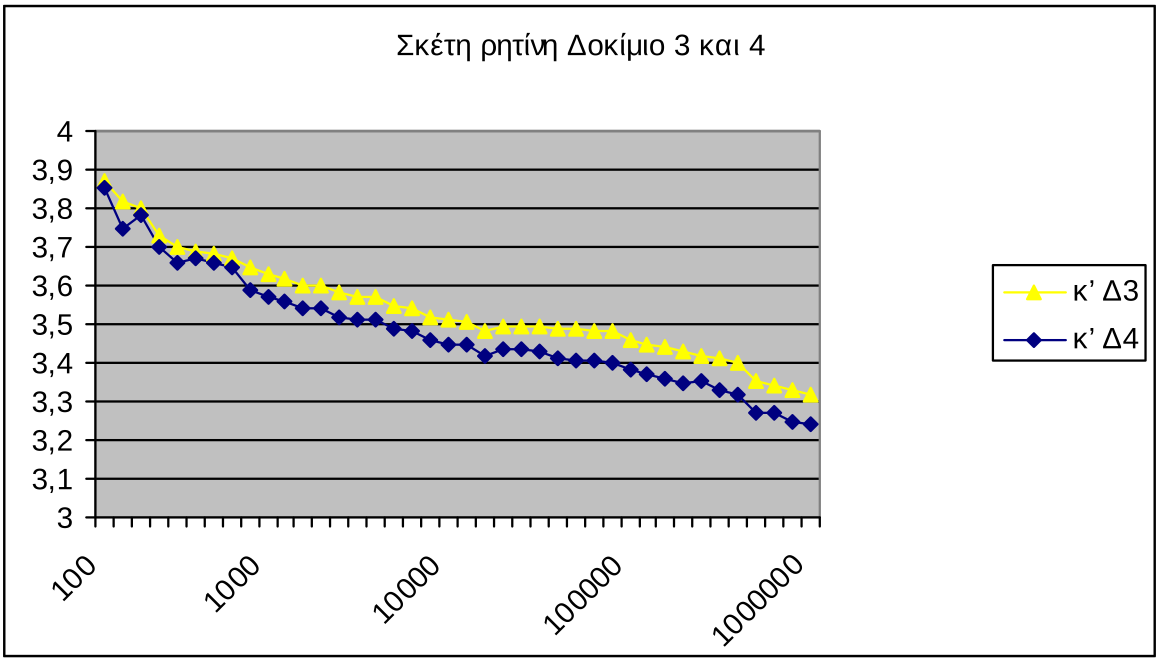
5.2.1 Μετρήσεις

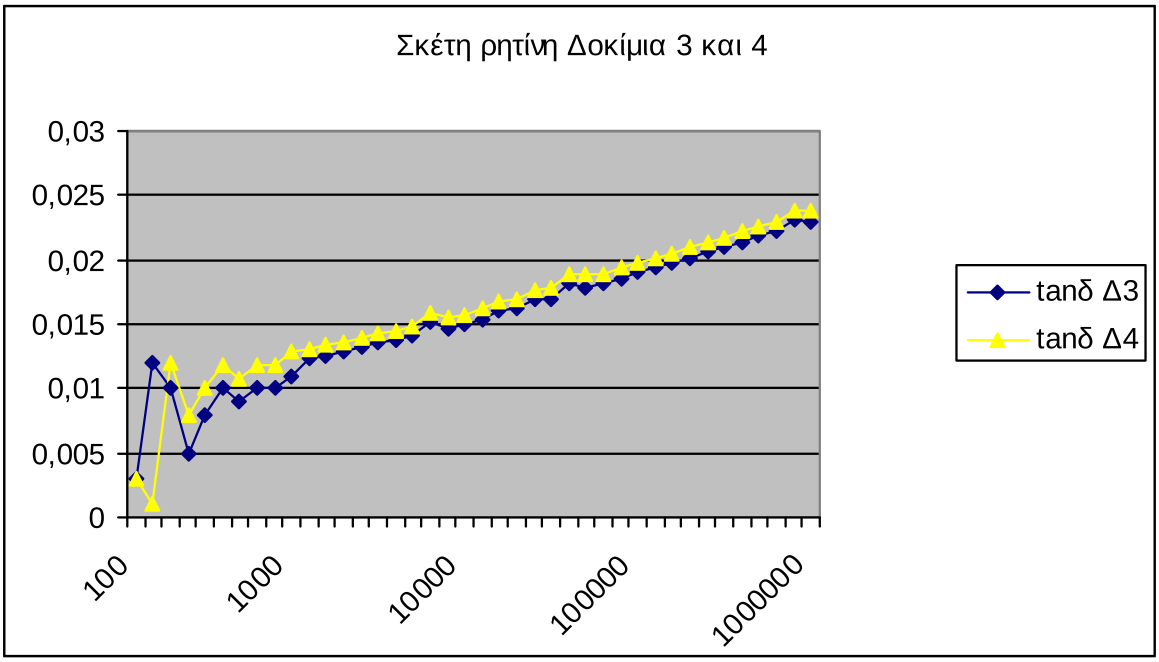
Αρχικά παραθέτουμε τα γραφήματα για τα δύο δοκίμια με ρητίνη και 1% πρόσμιξη σκέτης αλουμίνας, χωρίς αφύγρανση, έστω Δ1 και Δ2. με την διηλεκτρική σταθερά και την εφαπτομένη απωλειών.



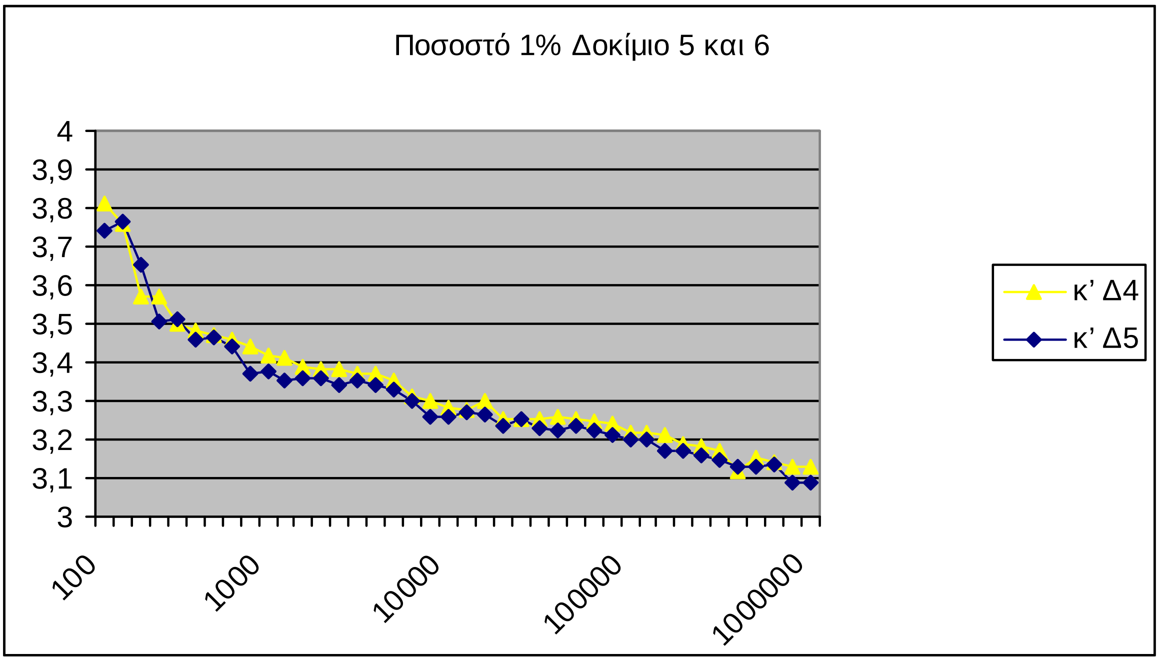


Ύστερα έχουμε τα δοκίμια μόνο με ρητίνη, έστω Δ2 και Δ3. Ομοίως προκύπτουν τα εξής διαγράμματα. Με τη διαδικασία των μετρήσεων προέκυψαν οι εξής γραφικές παραστάσεις, για το κ’ και την tanδ.

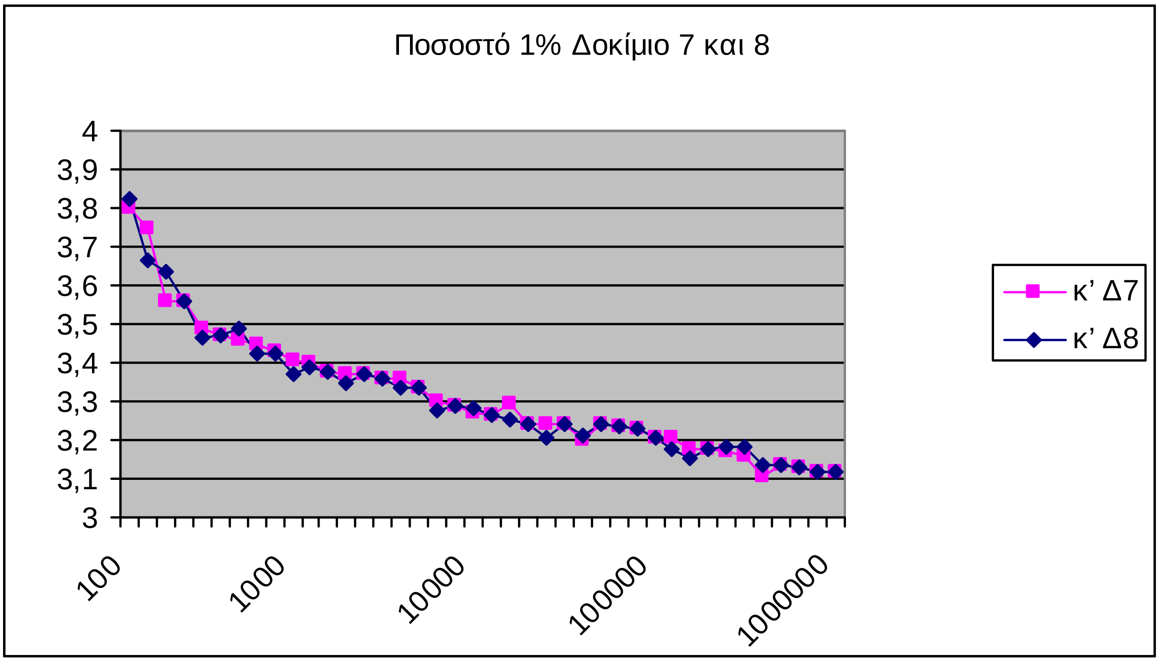




Τα αποτελέσματα για τα δοκίμια με 1% Al2O3 που όμως είχε αφυγρανθεί στο θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας παρουσιάζονται παρακάτω. Έστω Δ5 και Δ6.



Τέλος ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις για τα δοκίμια με 1% Al2O3 που είχε αφυγρανθεί εν κενώ.



5.2.2 Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω μετρήσεις επιβεβαιώνουμε αρχικά πως η προσθήκη 1% αλουμίνας οδηγεί την διηλεκτρική σταθερά να μειώνεται. Επίσης βλέπουμε πως η υγρασία που μπορεί να έχει εγκλωβιστεί εσωτερικά των κόκκων οδηγεί σε μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς, μιας και παρατηρήσαμε πως με την αφύγρανση είτε εν κενώ είτε μέσω θέρμανσης, η τιμής της έπεσε. Παρατηρήσαμε μια μικρή μεταξύ των δύο μεθόδων αφύγρανσης.

Κάτι που παρατηρήθηκε και έπαιξε ρόλο στις μετρήσεις, είναι πως αναπόφευκτα στα δοκίμια εγκλωβίστηκαν κάποιες λίγες φυσαλίδες αέρα. Επίσης, είναι σημαντικό να τονίσουμε πως κατά τη διαδικασία της κατασκευής των δοκιμίων παρατηρήσαμε πως η πυκνότητα της αλούμινας στη ρητίνη δεν ήταν εντελώς ομοιόμορφη παρά την έντονη ανάδευση. Στην κάτω πλευρά του δοκιμίου παρατηρήσαμε περισσότερους κόκκους αλούμινας. Αυτό εξηγείται καθώς δεν έχουν όλοι οι κόκκοι του πορώδους υλικού τον ίδιο αριθμό και το ίδιο είδος των πόρων. Αναλόγως λοιπόν τα χαρακτηριστικά των πόρων κάποιοι βυθίζονται στον πάτο του δοκιμίου, δημιουργώντας εκεί μεγαλύτερη συγκέντρωση κόκκων, κάτι το οποίο σίγουρα επηρέασε τις μετρήσεις μας. Ενδεχομένως σε ένα μεταγενέστερο στάδιο θα είχε ενδιαφέρον να ερευνήσουμε πως μεταβάλλεται η διηλεκτρική σταθερά αναλόγως την ύπαρξη ή όχι μιας τέτοιας στρώσης σε δοκίμια προς μέτρηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κ. Θ. Δέρβος, ‘‘Μονωτικά υλικά υψηλών τάσεων’’, Αθήνα, 2011J. Daintith,
2. Ι. Α. Μέργος, ‘‘Διηλεκτρικά Υλικά και Περιβάλλον’’, Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2007
3. Γ. Τρακάκης, ‘‘Μηχανικές Ιδιότητες Νανοσύνθετων Υλικών’’, Μεταπτυχιακή Εργασία ειδίκευσης, Πάτρα, 2010.
4. Γ.Χ. Ψαρράς, ‘‘Μελέτη ηλεκτρικών ιδιοτήτων του σύνθετου υβριδικού συστήματος εποξειδικής ρητίνης-αραμιδικών ινών-κόκκων μετάλλου’’, Διδακτορική διατριβή.
5. Μ. Δ. Αθανασοπούλου, ‘‘Διηλεκτρικές ιδιότητες σύνθετων υλικών’’, Διδακτορική διατριβή Αθήνα, ΕΜΠ, 2012
6. R. C. Johnson (Ed.), Antenna Engineering Handbook, Third Edition, McGraw-Hill, New York, USA, 1993.
7. K. K. Chawla, ‘‘Composite materials. Science and engineering’’, Springer, 1987.
8. Γ. Παπανικολάου, Δ. Μουζάκης, ‘‘ Σύνθετα Υλικά’’, Κλειδάριθμος, 2007.
9. ‘‘Biographical Encyclopedia of Scientists’’ CRC Press, 1994.
10. Κ.Θ. Δέρβος, Π. Βασιλείου, ‘‘Εισαγωγή στα υλικά’’, Σημειώσεις 2ου εξαμήνου ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα 2012
11. E. B. Scrossati, ‘‘Application of Electroactive Polymers’’, Chapman and Hall, London, 1993
12. M. L. Minus, S. Kumar, “Carbon Fibers , Kirk- Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology” , John Wiley & sons, Abstract
13. K. K. Chawla, “Composite Materials, Science Engineering, Second Edition”, USA 1998.
14. K.D. Ziegel, H.K. Frensdorff and A.W. Fogiel, J. Appl. Pol. Science, 1967.
15. A.M. Alper, “High Temperature Oxides”, Academic Press, 1970.
16. Ν.Γ. Τσούβαλης, ‘‘Μηχανική Συνθέτων Υλικών’’, Σημειώσεις Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών», Αθήνα 1998
17. L.L. Hench, J.K. West, “Chemical Processing of Advanced Materials”, Wiley, 1992.
18. P. Auerkari, ‘‘Mechanical and physical properties of engineering alumina ceramics”, VTT Manufacturing Technologies, 1996.
19. Ε. Θήριος, “Ανάπτυξη μεθόδων παραγωγής υψηλής έντασης μικροκυματικών

Παλμών με τεχνικές χρονικής συμπίεσης», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2005

20. Π. Βασιλείου, Α. Ανδρεόπουλος, “Υλικά: ξύλο, κεραμικά, πολυμερή, μέταλλα”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2004.