



Α.Τ.Ε.Ι ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ
ΠΕΡΙΕΚΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΑ**

ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

ΠΑΠΑΣΤΕΡΓΙΑΔΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ
ΠΕΡΙΕΚΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ**

ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Θεσσαλονίκης (ΑΤΕΙ), Τμήμα Τεχνολογίας
Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη ΤΘ 141.

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των
απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος
Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία Παρουσίασης : 29/10/2011

Εισηγητής : **ΠΑΠΑΣΤΕΡΓΙΑΔΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα καθηγητή εφαρμογών κύριο Παπαστεργιάδη Ευθύμιο για την πολύτιμη συνεργασία και υπομονή που έδειξε κατά την διάρκεια της εργασίας μας, αλλά και στα μέλη του τμήματος κυρία Καπετάνου Άννα και τον κύριο Τέλλο Ευάγγελο του τμήματός μας.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της δημιουργίας και εξέλιξη της διάβρωσης του αλουμινίου που χρησιμοποιείτε ως περιέκτης στη συσκευασία των αναψυκτικών. Ειδικότερα μελετάτε ο αριθμός των εσοχών που δημιουργούνται όπως η μορφή και το βάθος που παρουσιάζουν αυτές σε σχέση με το χρόνο εξέλιξης του φαινομένου της διάβρωσης. Η μελέτη αυτή των εσοχών σε συνδυασμό με τη μελέτη της απώλειας βάρους του περιέκτη οδηγεί στην εκτίμηση του σταδίου κατά το οποίο οι εσοχές εξελίσσονται περισσότερο σε βάθος με αποτέλεσμα ο περιέκτης να μπορεί να εμφανίσει απώλεια του περιεχομένου τροφίμου.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της εργασίας είναι η μελέτη της χρονικής εξέλιξης της διάβρωσης αλουμινένιων περιεκτών (Al) με τη μορφή εσοχών σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα παραμονής σε σαγχαροδιάλυμα 9% w/v και κιτρικό οξύ 1‰ w/v ως διαβρωτικό περιβάλλον. Χρησιμοποιήθηκε αλουμινένιος περιέκτης τύπου Al 1100 (99,9% αλουμίνιο). Το διαβρωτικό περιβάλλον επέδρασε στο αλουμινένιο περιέκτη σε διαστήματα 3, 6, 12, 18 και 24 ωρών σε συνθήκες επιταχυνόμενης διάβρωσης. Η απώλεια βάρους των εξεταζόμενων δοκιμίων αυξάνει με την παραμονή του ελάσματος του αλουμινίου στο διαβρωτικό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό θεωρείται αναμενόμενο καθώς ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο χρόνος. Η τιμή pH του διαβρωτικού περιβάλλοντος αυξάνει σταδιακά στα διαφορετικά επίπεδα ωρών παραμονής του αλουμινένιου περιέκτη προς λιγότερο όξινη περιοχή. Επίσης γνωρίζουμε ότι η διάβρωση του αλουμινίου(Al) σε διαβρωτικό περιβάλλον που προσομοιάζει αυτό των αναψυκτικών είναι περικρυσταλλική διάβρωση με εσοχές.

Με το οπτικό μικροσκόπιο το είδος της διάβρωσης που υφίσταται ο περιέκτης είναι τοπική διάβρωση με εσοχές. Ο αριθμός και το μέγεθος των εσοχών φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον. Εξετάζοντας την επί τοις % διαβρωμένη επιφάνεια και μέση πμή απώλειας βάρους, μέχρι τις 18 ώρες η αναλογία μεταξύ του ποσοστού και απώλεια βάρους σημαίνει ότι οι εσοχές αναπτύσσονται ομοιόμορφα επιφανειακά. Στις 24 ώρες επειδή αυξάνει η μέση πμή απώλειας βάρους, ενώ η διαβρωμένη επιφάνεια παραμένει περίπου σταθερή, εκτιμούμε ότι οι εσοχές εξελίσσονται σε βάθος, παρόλο που δεν ήταν εφικτός ο πειραματικός προσδιορισμός των εσοχών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	2
2.1 Περιέκτες.....	2
2.1.1 Αλουμίνιο.....	3
2.1.2 Γενικά.....	3
2.1.3 Παραγωγή.....	5
2.1.4 Ιδιότητες.....	6
2.1.5 Χρήσεις.....	7
2.1.6 Πλεονεκτήματα του αλουμινίου ως υλικό συσκευασίας.....	8
2.1.7 Μειονεκτήματα του αλουμινίου ως υλικό συσκευασίας.....	8
2.1.8 Προϊόντα συσκευασίας από αλουμίνιο.....	9
2.1.9 Κονσέρβες αλουμινίου.....	9
2.1.10 Ελάσματα αλουμινίου.....	10
2.2 Τεχνικές αξιολόγησης των εσοχών.....	11
2.3 Διάβρωση.....	14
2.3.1 Διαβρωτικό περιβάλλον.....	15
2.3.2 Διαβρωτικοί παράγοντες.....	15
2.3.3 Διάβρωση αλουμινίου.....	16
2.3.4 Γενική διάβρωση.....	17
2.3.5 Είδη διάβρωσης.....	18
2.3.6 Έλεγχος της διάβρωσης.....	19
2.4 Αναψυκτικά.....	20
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	21
3.1 Υλικά και μέθοδοι.....	21
3.2 Διατάξεις και συσκευές.....	21
3.2.1 Διάταξη επιταχυνόμενης διάβρωσης του μεταλλικού υλικού.....	21

3.3 Συσκευές εξέτασης των διαβρωμένων δοκιμίων	23
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	23
4.1 Προετοιμασία δοκιμίου.....	23
4.2 Στάδια πειράματος.....	24
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	24
5.1 Απώλεια βάρους δοκιμίων και τιμής pH διαβρωμένου περιβάλλοντος.....	25
5.2 Εξέταση της επιφάνειας των διαβρωμένων περιεκτών χρησιμοποιώντας οπτικό μικροσκόπιο.....	30
5.2.1 Οπτικό μικροσκόπιο.....	30
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	36
7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	37
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα των περισσότερων τροφίμων υποβαθμίζεται κατά την αποθήκευση τους σε συνάρτηση με τον χρόνο αποθήκευσης. Ισχύει, πάντοτε, μια πεπερασμένη χρονική διάρκεια αποθήκευσης μετά το πέρας της οποίας η ποιότητα του τροφίμου γίνεται απορριπτέα. Μπορούν να γίνουν υπολογισμοί ώστε να αξιολογηθεί εάν ένας συγκεκριμένος περιέκτης παρέχει την απαραίτητη προστασία που απαιτείται ώστε να διασφαλίσει την επιθυμητή διάρκεια ζωής του περιεχομένου τροφίμου. (Ραφαηλίδης, 2005).

Στην βιομηχανία τροφίμων η συσκευασία είναι αυτή που καθορίζει την πορεία ενός νέου προϊόντος, ανανεώνει το αγοραστικό ενδιαφέρον και αποτελεί ένα από τα βασικότερα σημεία όπου επικεντρώνεται ο διαρκής εντεινόμενος ανταγωνισμός μεταξύ των επιχειρήσεων. Ως μείζων παράγοντας επιτυχούς προβολής του προϊόντος, η συσκευασία με την συνδρομή της τεχνολογίας εξελίσσεται ραγδαία σε επίπεδο υλικών και χρήσεων, αποτελώντας συγχρόνως το πιο πρόσφορο εργαλείο μάρκετινγκ των εταιρειών. (Αντζυ Μαρίνου, Τρόφιμα και Ποτά 2007 Οκτ.).

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το αλουμίνιο ως υλικό συσκευασίας τροφίμων είναι πάρα πολλά. Επιπλέον το αλουμίνιο προβάλλει ικανοποιητική αντίσταση στην ατμοσφαιρική διάβρωση. (Μπλούκας 2004).

Τα είδη της διάβρωσης που παρατηρούνται κυρίως στις κονσέρβες αλουμινίου είναι η διάβρωση με εσοχές και η περικρυσταλλική διάβρωση. (Παπαστεργιάδης, 1996).

Αλουμινένια κουτιά, κατάλληλα καλυμμένα εσωτερικά για προστασία απέναντι στη διάβρωση, είναι πολύ ικανοποιητικά για τη συσκευασία αναψυκτικών, μπίρας, κρεατοσκευασμάτων και θαλασσινών. (Ν.Γ.Καρακασίδης, Κυπιοποιία).

Τα αναψυκτικά εμφανίσθηκαν κατά το 17^ο αιώνα ως μίγμα νερού και χυμού λεμονιών στο οποίο είχε προστεθεί μέλι ως γλυκαντική ουσία. Σήμερα, τα αναψυκτικά καταλαμβάνουν ένα σημαντικό ποσοστό των υγρών που καταναλώνονται από τον άνθρωπο με αυξητικές τάσεις κάθε χρόνο. (Αρβανιτογιάννης, 2007).

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση της έντασης και της έκτασης της διάβρωσης αλουμινένιου περιέκτη σε διαβρωτικό περιβάλλον σακχαροδιαλύματος 9 % w/v και κιτρικού οξέος 1‰ w/v, με την μορφή εσοχών, τόσο σε πλάτος, όσο και σε βάθος.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Περιέκτες

Οι πρώτοι περιέκτες που κατασκεύασε ο άνθρωπος πριν από 8000 χρόνια περίπου, ήταν τα αγγεία. Αργότερα κατασκεύασε μεταλλικούς περιέκτες από μόλυβδο χρυσό και άργυρο. Την ίδια εποχή χρησιμοποίησε το ξύλο και το δέρμα ζώων, ενώ πολύ αργότερα διάφορα υλικά ύφανσης. Το γυαλί άρχισε να χρησιμοποιείται μετά το 4000 π.χ. όπως και το χαρτί. (Μπλούκας, 2004).

Στην αρχή του 19^{ου} αιώνα κατασκευάστηκαν ερμητικά κλειστές κονσέρβες από λευκοσίδηρο για τη συσκευασία τροφίμων ικανών να συντηρηθούν σε συνθήκες περιβάλλοντος. (Μπλούκας, 2004).

Στο Β΄ παγκόσμιο πόλεμο ανακαλύφθηκαν τα πλαστικά και σημειώθηκε αλματώδης αύξηση στη χρησιμοποίησή τους ως υλικά συσκευασίας.

Τελευταία εξέλιξη στη συσκευασία τροφίμων αποτελούν οι πολύφυλλες μεμβράνες (laminates) και οι μεμβράνες συνεξώθησης (co extruded films). Στις πολύφυλλες μεμβράνες εύκαμπτα υλικά συσκευασίας, όπως οι πλαστικές μεμβράνες, το χαρτί και το φύλλο αλουμινίου, με διαφορετικές ιδιότητες το καθένα, συνδυάζονται και συγκολλούνται μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν ένα νέο υλικό που εξασφαλίζει τις πλέον επιθυμητές ιδιότητες για τη συσκευασία ενός συγκεκριμένου προϊόντος με το χαμηλότερο δυνατό κόστος (Μπλούκας, 2004).

Τα υλικά τα οποία κυρίως χρησιμοποιούνται σήμερα στη κατασκευή περιεκτών, είναι τα πλαστικά , τα μέταλλα, το γυαλί και τα κεραμικά, το χαρτί και το χαρτόνι.

Η ποιότητα των περισσότερων τροφίμων υποβαθμίζεται κατά την αποθήκευση τους σε συνάρτηση με τον χρόνο αποθήκευσης. Ισχύει, πάντοτε, μια πεπερασμένη χρονική διάρκεια αποθήκευσης μετά το πέρας της οποίας η ποιότητα του τροφίμου γίνεται απορριπτέα. Μπορούν να γίνουν υπολογισμοί ώστε να αξιολογηθεί εάν ένας συγκεκριμένος περιέκτης παρέχει την απαραίτητη προστασία που απαιτείται ώστε να διασφαλίσει την επιθυμητή διάρκεια ζωής του περιεχομένου τροφίμου.(Ραφαηλίδης, 2005).

Μοντέρνα ή παραδοσιακή, καινοτόμα ή λειτουργική η συσκευασία στη βιομηχανία τροφίμων είναι εκείνη που <<καθορίζει>> την πορεία ενός νέου προϊόντος, ανανεώνει το αγοραστικό ενδιαφέρον και αποτελεί ένα από τα βασικότερα σημεία όπου επικεντρώνονται ο διαρκής εντεινόμενος ανταγωνισμός μεταξύ των επιχειρήσεων. Ως μείζων παράγοντας επιτυχούς

προβολής του προϊόντος, η συσκευασία με την συνδρομή της τεχνολογίας εξελίσσεται ραγδαία σε επίπεδο υλικών και χρήσεων, αποτελώντας συγχρόνως το πιο πρόσφορο εργαλείο μάρκετινγκ των εταιρειών.(Άντζυ Μαρίνου, Τρόφιμα και Ποτά 2007 Οκτ.).

2.1.1 Αλουμίνιο

Στους αλουμινένιους περιέκτες ανήκουν, οι κονσέρβες αλουμινίου , οι φόρμες ζαχαροπλαστικής , τα σωληνάρια αλουμινίου, το οικιακό αλουμινόχαρτο κλπ.

2.1.2 Γενικά

Το αργίλιο που είναι περισσότερο γνωστό με το κοινό του όνομα αλουμίνιο, θεωρείται το μέταλλο του αιώνα μας ενώ παράλληλα είναι το δεύτερο πιο αγωγίμο υλικό μετά το χαλκό. Το αργίλιο είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 13 και ατομικό βάρος 26,98154. Το σύμβολό του είναι Al. Είναι ένα υλικό μεγάλης σημασίας για την παγκόσμια οικονομία, καθώς χρησιμοποιείται ευρύτατα στην βιομηχανία και στην οικοδομή.

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα για τον κλάδο της συσκευασίας λόγω της ευκολίας μορφοποίησης και εκτύπωσής του, του μικρού βάρους του, της αντοχής του στην ατμοσφαιρική διάβρωση, αλλά και του χαμηλού κόστους του και της δυνατότητας ανακύκλωσής του. Δεν είναι τοξικό, είναι αδιαπέραστο από υγρά και αέρια και εξασφαλίζει την υγιεινή των τροφίμων. Είναι ελαφρύ υλικό, ιδιότητα σημαντική για τη μεταφορά και χρησιμοποιείται στην αγορά αναψυκτικών και μπίρας (Άντζυ Μαρίνου, Τρόφιμα και Ποτά 2007 Οκτ).

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται στην κατασκευή μεταλλικών κουτιών υπό μορφή δύο βασικών τύπων κραμάτων:

Το κράμα 3004, το οποίο χρησιμοποιείται για τα σώματα των κουτιών και περιέχει μαγγάνιο και σε σχετικά χαμηλή ποσότητα μαγνήσιο.

Το κράμα 5182, το οποίο είναι μαλακότερο και περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα μαγνησίου από το 3004.

Στο πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται οι κυριότεροι τύποι κραμάτων Al, η σύστασή τους και η συνήθης χρήση τους.

Πίνακας 1. Κράματα Al

Τύπος κράματος	Συνήθης χρήση	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
1050	Φύλλα και	0,25	0,4	0,05	0,05	-	-	0,03	-
1100	εύκαμπτοι	1,0	0,20	-	-	-	0,10	-	-
3003	σωλήνες	0,6	0,7	0,7	1,5	-	-	0,1	-
3004	Καπάκια και κυτία	0,30	0,7	0,25	1,5	1,3	-	0,25	-
5050	για αναψυκτικά	0,40	0,7	0,2	0,1	1,8	0,10	0,25	-
5182	Αναψυκτικά με	0,20	0,35	0,15	0,5	5,0	0,10	0,25	0,10
8079	εύκολο άνοιγμα	0,30	1,3	0,05	-	-	-	0,10	-

Υπάρχουν δυο βασικοί παράγοντες που περιορίζουν τη χρησιμοποίηση του αλουμινίου στην κατασκευή κουτιών: Το κόστος κατασκευής του, το οποίο οφείλεται στην μεγάλη ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή του και η αδυναμία του να συγκολληθεί με κασιτεροκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση.

Το τελευταίο μειονέκτημα είναι και ο λόγος για τον οποίο τα αλουμινένια κουτιά είναι δύο-τεμαχίων. Η αρχή της παραγωγής των κουτιών δύο-τεμαχίων στηρίζεται στο πρεσάρισμα και εξέλαση του κορμού τους από φύλλο κράματος αλουμινίου. (Αρβανιτογιάννης & Μποσνέα, 2001).

Αλουμινένια κουτιά, κατάλληλα καλυμμένα εσωτερικά για προστασία απέναντι στη διάβρωση, είναι πολύ ικανοποιητικά για τη συσκευασία αναψυκτικών, μπίρας, κρεατοσκευασμάτων και θαλασσινών. (Ν.Γ.Καρακασίδης, Κυπιοποιία).

Το αλουμίνιο που χρησιμοποιείται για τη κατασκευή περιεκτών είναι κράμα Al 99 με άλλα στοιχεία όπως Cu, Si, Mn, Mg, Zn κλπ. Τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν τις ιδιότητες του καθαρού Al και προστίθενται για να αυξήσουν τη μηχανική του αντοχή και να βελτιώσουν την ικανότητα μορφοποίησης του.

Αναφορικά με τη επίδραση τους στη συμπεριφορά του Al στη διάβρωση τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν ως εξής:

Ο χαλκός ελαττώνει την αντίσταση στη διάβρωση. Το μαγγάνιο αυξάνει ελαφρά την αντίσταση στη διάβρωση. Το μαγνήσιο βελτιώνει κατά πολύ την αντοχή στη διάβρωση. Ο ψευδάργυρος εμφανίζει μικρή επίδραση. Το πυρίτιο ελαττώνει ελαφρά τη αντοχή στη διάβρωση. Το χρώμιο αυξάνει την αντοχή

στη διάβρωση. Ο σίδηρος ελαττώνει κατά πολύ την αντοχή στη διάβρωση. (Ραφαηλίδης, 2005).

2.1.3 Παραγωγή

Το αλουμίνιο, αν και είναι το τρίτο πιο διαδεδομένο στοιχείο στη φύση, βρίσκεται σε εκμεταλλεύσιμες ποσότητες μόνο στο ορυκτό βωξίτης με τη μορφή $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, από όπου απομονώνεται με ηλεκτρόλυση τήγματος με αυξημένο κόστος παραγωγής.

Το μέταλλευμα του βωξίτη είναι μίγμα οξειδίων αλουμινίου (60%), σιδήρου (25%), πυριτίου (3%), τιτανίου (3%) και άλλων προσμίξεων.

Κατά την παραγωγή του αλουμινίου ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Πρώτα ο βωξίτης εξορύσσεται από το κοίτασμα (συνήθως επιφανειακό). Στη συνέχεια πλένεται, θρυμματίζεται αλέθεται σε σκόνη, αναμιγνύεται σε διάλυμα καυστικής σόδας και θερμαίνεται, οπότε τα αδιάλυτα συστατικά (κυρίως οξείδια του σιδήρου και του πυριτίου) διαχωρίζονται με καθίζηση. Το διάλυμα που παραμένει ψύχεται και αραιώνεται σε μεγάλες δεξαμενές. Σε αυτές διαχωρίζεται η αλουμίνα (Al_2O_3) υπό μορφή κρυστάλλων και στη συνέχεια πυρώνεται στους $1100\text{ }^{\circ}C$ έτσι ώστε να απομακρυνθεί το νερό, οπότε μετατρέπεται σε λευκή σκόνη.

Ακολουθεί η ηλεκτρόλυση. Με τη διαδικασία αυτή παραλαμβάνεται το αλουμίνιο (Al) από την αλουμίνα (Al_2O_3). Το οξείδιο του αργιλίου διαλύεται σε τήγμα κρυσολίθου (Na_3AlF_6) το οποίο βρίσκεται σε ηλεκτρολυτικό κελί στη θερμοκρασία των $950\text{ }^{\circ}C$, με άνοδο ένα ηλεκτρόδιο άνθρακα και κάθοδο την επένδυση του κελιού από άνθρακα. Στη συνέχεια διαβιβάζεται μέσα από αυτό συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης αλλά εξαιρετικά υψηλής έντασης. Με τη διαβίβαση του ισχυρού ρεύματος η αλουμίνα διασπάται σε οξυγόνο, το οποίο σταδιακά καίει τα ηλεκτρόδια του άνθρακα σχηματίζοντας διοξείδιο του άνθρακα που απομακρύνεται και σε αλουμίνιο το οποίο είναι σε ρευστή κατάσταση.

Το καθαρό αλουμίνιο δεν έχει τις απαραίτητες ιδιότητες, προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για συγκεκριμένες εφαρμογές. Για το λόγο αυτό στο ρευστό αλουμίνιο που το λαμβάνουμε με την ηλεκτρόλυση προσθέτουμε διάφορα μέταλλα, όπως το μαγγάνιο και κυρίως το μαγνήσιο, ώστε να παράγουμε κράματα αλουμινίου, κατάλληλα για τις διάφορες εφαρμογές του αλουμινίου. Τέτοια κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούμε στην κατασκευή κονσερβών για τρόφιμα και αυτό γιατί διευκολύνουν τη μορφοποίηση της

κονσέρβας και βελτιώνουν τη μηχανική της αντοχή και την αντίστασή της στη διάβρωση. (Μπλούκας, 2004).

Παρά το γεγονός ότι το αλουμίνιο απαντά ευρύτατα στη φύση, λόγω της χημικής σταθερότητας των οξειδίων του, έχει πολύ υψηλές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια για να παραχθεί, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά το κόστος των προϊόντων του.

Ένα τυπικό εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου καταναλώνει ρεύμα όσο μια μικρή πόλη. Ενδεχόμενη διακοπή ρεύματος για παραπάνω από 4 ώρες σημαίνει στερεοποίηση των τηγμάτων στα λουτρά και συνεπώς, καταστροφή τους. Γι' αυτό το λόγο, τα περισσότερα εργοστάσια είτε παράγουν επιτόπου την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν, είτε συνδέονται με παραπάνω από μία πηγές ενέργειας.

2.1.4 Ιδιότητες

Οι ιδιότητες που κάνουν το αλουμίνιο τόσο σημαντικό για την βιομηχανία είναι το χαμηλό του βάρος, η υψηλή αντοχή του σε μηχανικές καταπονήσεις και η εξαιρετική αντοχή του στη διάβρωση, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο της παθητικοποίησης.

Το αλουμίνιο έχει εξαιρετικές θερμικές ιδιότητες. Η λεία και γυαλιστερή επιφάνειά του αντανακλά περίπου το 90% της θερμότητας που προσπίπτει σε αυτή με ακτινοβολία. Χάριν της ιδιότητας αυτής αποφεύγεται η ανύψωση της θερμοκρασίας του συσκευασμένου τροφίμου που οφείλεται σε σύντομες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Έτσι η συσκευασία του αλουμινίου προστατεύει τα προϊόντα σοκολατοποιίας από μεταβολές της θερμοκρασίας. Επίσης χάριν της καλής θερμικής αγωγιμότητας το αλουμίνιο επιτρέπει την ταχεία μεταφορά της θερμότητας από ή προς το συσκευασμένο προϊόν, όπως στην περίπτωση της κατάψυξης και της επαναθέρμανσης των τροφίμων. (Μπλούκας, 2004).

Το καθαρό αλουμίνιο είναι μαλακό και εύκαμπτο υλικό και χαρακτηρίζεται για την πολύ μικρή του αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις. Η αντοχή του αλουμινίου μπορεί να ενισχυθεί με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων μαγνησίου, το οποίο όμως επηρεάζει αρνητικά την αντίσταση στη διάβρωση. Έτσι το κράμα μαγνησίου-αλουμινίου έχει μικρότερη αντοχή στη διάβρωση από το λευκοσίδηρο του ίδιου πάχους. Κράμα αλουμινίου που περιέχει μαγνήσιο σε ποσοστό μέχρι και 5% παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή στη διάβρωση και ακαμψία και χρησιμοποιείται στην κατασκευή καλυμμάτων για κονσέρβες αεριούχων ποτών. (Μπλούκας, 2004).

Το αλουμίνιο έχει χαμηλό σημείο τήξης ($685\text{ }^{\circ}\text{C}$), μικρό ειδικό βάρος ($d=2,72\text{ g/cm}^3$), ομοεδρικά κεντρωμένο κυβικό πλέγμα ($\alpha=4.041\text{ \AA}$) και δεν παρουσιάζει αλλοτροπική μορφή. Επίσης πέρα από την καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και την ανακλαστική ιδιότητα της θερμότητας και του φωτός, μπορεί να υποστεί εξέλαση και να μορφοποιηθεί σε φύλλο μικρού πάχους. Με την προσθήκη σιδήρου, χαλκού και άλλων κραματικών στοιχείων βελτιώνονται κατά πολύ οι μηχανικές του ιδιότητες. Παρόλο βέβαια που η μηχανική αντοχή του αλουμινίου είναι σχετικά μικρή ($90\text{-}135\text{ N/mm}^2$) και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κατασκευαστικό υλικό, αυτή βελτιώνεται στα κράματά του και με δεδομένη την εύκολη κραματοποίησή του, χρησιμοποιείται με τη μορφή κραμάτων σαν κατασκευαστικό υλικό. Επίσης το αλουμίνιο κατεργάζεται εύκολα με χύτευση και με αφαίρεση υλικού. Στην ηλεκτροχημική σειρά των χημικών στοιχείων το αλουμίνιο βρίσκεται σε υψηλή θέση με ηλεκτροδιακό (πρότυπο) δυναμικό, κατά Nerst $E_0 = (A/A^{3+}) = 1.69\text{ Volts}$ (ως προς ημιστοιχείο υδρογόνου). (Παπαστεργιάδης, 1996).

2.1.5 Χρήσεις

Η μεγάλη και ευρεία χρησιμοποίηση του αλουμινίου που περιλαμβάνει την κατασκευή αεροσκαφών και πλοίων μέχρι τη συσκευασία των τροφίμων οφείλεται, κύρια, στις φυσικοχημικές του ιδιότητες.

Τα κράματα αλουμινίου με 2,5-6,3% Κ. χαλκό ονομάζονται ντουραλουμίνια. Περιέχουν συνήθως ως πρόσθετα κραματικά στοιχεία, μαγνήσιο και σπανιότερα μαγγάνιο και πυρίτιο. Παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες οφείλονται στη σκλήρυνσή τους με δημιουργία κατακρημνισμάτων και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροναυπηγική, λόγω του χαμηλού τους βάρους και της εξαιρετικής τους αντοχής. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται, στην αεροναυπηγική και σε άλλες εφαρμογές όπου το χαμηλό βάρος και οι καλές μηχανικές ιδιότητες σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι ζητούμενα, κράματα αλουμινίου-λίθου. Άλλα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη βιομηχανία αθλητικών ειδών και στη ναυπηγική.

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή των κουτιών για ποτά, του αλουμινόχαρτου και άλλων εργαλείων της κουζίνας.

Το οξειδίο του αργιλίου, ή αλουμίνα, βρίσκεται στη φύση με τη μορφή του ρουμπινιού, του ζαφειριού και του κορούνδιου. Το κορούνδιο έχει σκληρότητα στην κλίμακα Mohs ίση με 9. Αυτό σημαίνει ότι είναι ένα από τα σκληρότερα υλικά στη φύση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η συνθετική αλουμίνα ως λειαντικό. Τα οξειδία του αργιλίου χρησιμοποιούνται επίσης στην υαλουργία και την κατασκευή λείζερ. Κρύσταλλοι ρουμπινιού χρησιμοποιούνται επίσης ως αισθητήρες πίεσης για υψηλές πιέσεις. Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται συχνά από αλουμίνιο, καθώς έχει μικρότερο βάρος και κόστος από το χαλκό (αν και όχι τόσο καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα).

Η στυπτηρία, μία κρυσταλλική ένωση του αργιλίου με το χημικό τύπο $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24 H_2O$ χρησιμοποιείται ακόμα ως στυπτικό, καθώς επίσης και στη βαφική.

2.1.6 Πλεονεκτήματα του αλουμινίου ως υλικό συσκευασίας

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το αλουμίνιο ως υλικό συσκευασίας τροφίμων είναι πάρα πολλά και συνοψίζονται ως εξής:

- Είναι ελαφρύ υλικό.
- Προβάλλει ικανοποιητική αντίσταση στην ατμοσφαιρική διάβρωση.
- Δεν είναι διαπερατό στην υγρασία, τα αέρια, τις λιπαρές ουσίες και το φως.
- Δεν μεταβάλλει τη γεύση του συσκευασμένου προϊόντος ούτε μεταδίδει σε αυτό ανεπιθύμητες οσμές.
- Είναι μαλακό και εύκαμπτο υλικό και μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί και να λάβει το επιθυμητό σχήμα.
- Έχει λεία και ελκυστική επιφάνεια και διακοσμείται εύκολα.
- Έχει πολύ καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα.
- Ανακυκλώνεται εύκολα. Το ανακυκλωμένο αλουμίνιο εξοικονομεί μέχρι και το 95% σε ενέργεια σε σχέση με την πρωταρχική διαδικασία παραγωγής του. (Μπλούκας, 2004).

2.1.7 Μειονεκτήματα του αλουμινίου ως υλικό συσκευασίας

Όπως κάθε υλικό συσκευασίας έτσι και το αλουμίνιο παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα του αλουμινίου ως υλικό συσκευασίας είναι:

- Έχει υψηλό κόστος.
- Έχει μειωμένη αντοχή και μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με το λευκοσίδηρο.
- Δημιουργεί προβλήματα λεύκανσης σε ορισμένα προϊόντα
- Δεν μπορεί να συγκολληθεί ούτε να ηλεκτροσυγκολληθεί και για το λόγο αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή κονσερβών τριών τεμαχίων παρά μόνο στη κατασκευή κονσερβών δύο τεμαχίων.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συσκευασία προϊόντων τα οποία θερμαίνονται σε φούρνους μικροκυμάτων, επειδή αντανακλά τα μικροκύματα και δεν επιτρέπει τη διείσδυσή τους στο συσκευασμένο προϊόν.

2.1.8 Προϊόντα συσκευασίας από αλουμίνιο

Τα προϊόντα συσκευασίας από αλουμίνιο διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν τα μέσα συσκευασίας (περιέκτες) που κατασκευάζονται αποκλειστικά από αλουμίνιο ή το αλουμίνιο αποτελεί το κυριότερο υλικό κατασκευής του περιέκτη. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι κονσέρβες αλουμινίου, οι φόρμες ζαχαροπλαστικής, τα σωληνάρια αλουμινίου, το οικιακό αλουμινόχαρτο και άλλα. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν προϊόντα στα οποία το αλουμίνιο αποτελεί συμπλήρωμα της κύριας συσκευασίας. Παράδειγμα αποτελούν τα καπάκια των φιαλών, το κάλυμμα στα κύπελλα γιαουρτιού και φιαλών γάλατος, το φύλλο αλουμινίου στη συσκευασία σοκολάτας και τσίχλας και το αλουμίνιο στις πολύφυλλες και μεταλλιζέ μεμβράνες και άλλα.(Μπλούκας, 2004).

Το αλουμίνιο θεωρείται γενικά ότι είναι ασφαλές για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό συσκευασίας. Όμως υπάρχουν κάποιες υποψίες ότι υπερβολική λήψη αλουμινίου από τον άνθρωπο μπορεί να οδηγήσει σε παράνοια. (Ραφαηλίδης, 2005).

Με βάση τις προδιαγραφές του Κώδικα Τροφίμων <<τα αντικείμενα από αλουμίνιο που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από καθαρό αλουμίνιο (αργίλιο)>>.

2.1.9 Κονσέρβες αλουμινίου

Οι κονσέρβες (κουτιά) αλουμινίου αποτελούν το κυρίαρχο υλικό συσκευασίας για την μπίρα και τα αναψυκτικά εξαιτίας των σημαντικών πλεονεκτημάτων

που έχουν. Είναι πολύ ελαφριές. Μια κονσέρβα (κουτί) αλουμινίου με καπάκι τύπου <<209>> ζυγίζει 18 g, ενώ η κονσέρβα λευκοσιδήρου της ίδιας χωρητικότητας ζυγίζει 36,5 g και η αντίστοιχη γυάλινη φιάλη 185 g. Επίσης, εξασφαλίζουν στο προϊόν πλήρη προστασία από παράγοντες του περιβάλλοντος, ανοίγουν εύκολα και παγώνουν πολύ γρήγορα, είναι άθραυστες και ανακυκλώνονται εύκολα. (Μπλούκας, 2004)

2.1.10 Ελάσματα αλουμινίου

Το αλουμίνιο αποτελεί το μοναδικό μέταλλο το οποίο χρησιμοποιείται στην περιτύλιξη και συσκευασία τροφίμων υπό μορφή λεπτού φύλλου, γνωστό ως φύλλο αλουμινίου (aluminum foil).

Το φύλλο αλουμινίου ως υλικό συσκευασίας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, τα σπουδαιότερα από τα οποία είναι τα εξής:

- Έχει πολύ ελκυστική εμφάνιση.
- Είναι άοσμο και άγευστο.
- Μπορεί να διπλωθεί σε μόνιμη θέση.
- Αντανακλά τη θερμότητα που προσπίπτει στην επιφάνειά του με ακριβολογία.
- Είναι αδιαπέραστο στην υγρασία και τα αέρια, εφόσον έχει ορισμένο πάχος.
- Είναι αδιαπέραστο στις πτητικές ουσίες, το φως και τους μικροοργανισμούς.
- Διαθέτει πολύ καλή επιφάνεια για διακόσμηση.
- Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και δεν έχει ανάγκη επικάλυψης με βερνίκι.
- Μπορεί να συνδυαστεί με το χαρτί και τα πλαστικά στο σχηματισμό πολύφυλλων μεμβρανών.
- Έχουν αξία ακόμη και τα απορρίμματά του, επειδή ανακυκλώνονται.

Βασικό μειονέκτημα που έχει το φύλλο αλουμινίου ως υλικό συσκευασίας είναι η αδυναμία των συσκευασμένων τροφίμων να θερμανθούν σε φούρνους μικροκυμάτων.

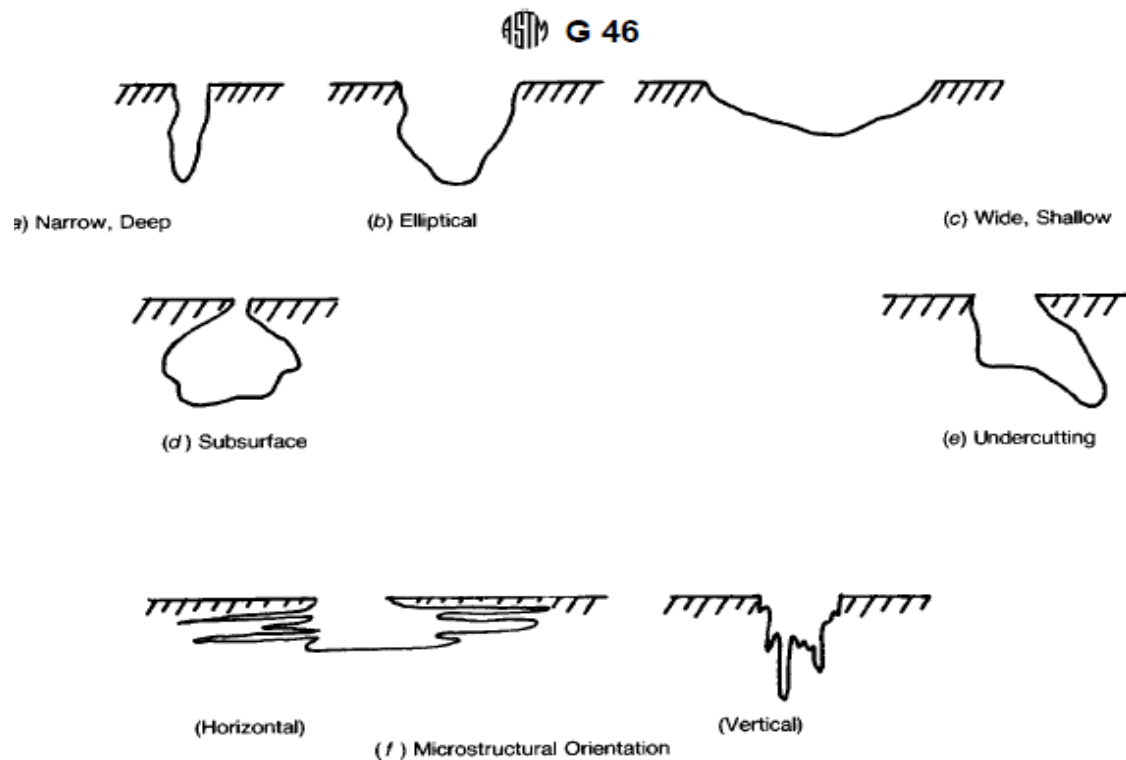
Τα φύλλα αλουμινίου, το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά τα 0.152 mm, αποτελούνται κατά κανόνα από αλουμίνιο με καθαρότητα μεγαλύτερη από 99,4%, καθώς και από μικρές προσμίξεις μετάλλων τα οποία προσθέτονται προκειμένου να βελτιώσουν διάφορες ιδιότητες του αλουμινίου, όπως την αντοχή, την ελαστικότητα κ.ά. Τα πολύ λεπτά φύλλα αλουμινίου

παρουσιάζουν μικροσκοπικές οπές σε μέγεθος μύτης καρφίτσας, οι οποίες επιτρέπουν την περιορισμένη διάχυση αερίων και υδρατμών. Όταν το πάχος των φύλλων αλουμινίου ξεπερνά τα 0.03 mm, τότε δεν υπάρχουν μικροσκοπικές οπές. Τα φύλλα αυτά είναι αδιαπέραστα στους υδρατμούς, τα αέρια, τις λιπαρές ουσίες, το φως και στους διάφορους μικροοργανισμούς.

Τα φύλλα αλουμινίου πάχους μέχρι 0.009 mm χρησιμοποιούνται στη συσκευασία βουτύρου και μαργαρίνης και στην περιτύλιξη ζαχαρωδών προϊόντων διαφόρων τυριών και άλλων προϊόντων. Το κοινό αλουμινόχαρτο, που χρησιμοποιείται στη περιτύλιξη διαφόρων προϊόντων έχει πάχος περίπου 0.02 mm. Φύλλα αλουμινίου πάχους 0.05 mm χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πωμάτων για γυάλινες φιάλες. Με φύλλα αλουμινίου, πάχους μέχρι 0.12 mm, κατασκευάζονται φόρμες αλουμινίου. Τα φύλλα αλουμινίου με πάχος μεγαλύτερο από 0.015 mm, επειδή θεωρούνται πρακτικά αδιαπέραστα στο φως, την υγρασία και τα αέρια, χρησιμοποιούνται μαζί με το χαρτί και τα εύκαμπτα πλαστικά υλικά στην κατασκευή των πολύφυλλων μεμβρανών (laminates). (Μπλούκας, 2004).

2.2 Τεχνικές αξιολόγησης των εσοχών

Οι εσοχές που δημιουργούνται στην μεταλλική επιφάνεια κατά την διάβρωσή της μελετώνται και αξιολογούνται εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές ανάλογα με το συνδυασμό μετάλλου και διαβρωτικού περιβάλλοντος. Ο σημαντικότερος παράγοντας για την μελέτη των εσοχών είναι το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος καθώς επηρεάζει το είδος των προϊόντων διάβρωσης, αν επικάθονται ή όχι στη μεταλλική επιφάνεια, αν απομακρύνονται εύκολα από αυτή, καθώς και αν αυτά είναι διαλυτά ή όχι στο διαβρωτικό περιβάλλον. Αν τα προϊόντα της διάβρωσης δεν απομακρύνονται από την επιφάνεια τότε οι πληροφορίες που προκύπτουν από την παρατήρηση των εσοχών θα είναι εσφαλμένες καθώς θα περιόριζαν τόσο την επιφάνεια της εσοχής, όσο και την μορφή της και το βάθος της εσοχής που είναι σημαντικός παράγοντας για το χρόνο ζωής των περιεκτών. Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται διάφοροι τύποι εσοχών που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάβρωση και που εξαρτώνται από τον συνδυασμό μετάλλου και διαβρωτικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 1. Διακυμάνσεις της μορφής εμφάνισης των εσοχών

Για τους παραπάνω λόγους αναπτύχθηκαν και εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές μελέτες της μορφής των εσοχών και οι οποίες είναι:

- Μακροσκοπική εξέταση:

Η εξέταση της διαβρωμένης μεταλλικής επιφάνεια είναι συνήθως ευεργετική και αυτό γίνεται κάτω από συνηθισμένο φως, με ή χωρίς τη χρήση χαμηλής ισχύος μεγεθυντικό φακό, για να προσδιοριστεί η έκταση της διάβρωσης και της εμφανής θέσης των εσοχών. Πολλές φορές είναι προτιμότερο να φωτογραφηθεί η διαβρωμένη επιφάνεια σε αυτό το σημείο ώστε να μπορεί να συγκριθεί με την καθαρή επιφάνεια μετά την αφαίρεση των προϊόντων διάβρωσης.

- Με ακτινοβολίες:

Όπως οι ακτίνες χ , η ένταση των οποίων εξαρτάται από το πάχος του υλικού. Με την τεχνική αυτή ανιχνεύονται ατέλειες πολύ μικρής κλίμακας, όπως ρωγμές. Η παρατήρηση της επιφάνειας με την τεχνική αυτή πριν και

μετά την διάβρωση δίνει σημαντικές πληροφορίες για την εξέλιξη του φαινομένου.

- Με ηλεκτρομαγνητική εξέταση:




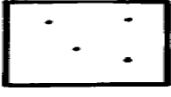





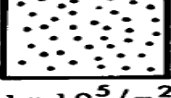


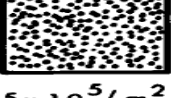


Με την τεχνική αυτή η ένταση του ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ελαττωμάτων.

- Με επαγωγή

Η επαγωγή του μαγνητικού πεδίου σε σιδηρομαγνητικά υλικά είναι μια άλλη προσέγγιση που χρησιμοποιείται. Ασυνέχειες που είναι εγκάρσια προς την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου προκαλούν πεδίο διαρροής πάνω από την επιφάνεια του τμήματος. Σιδηρομαγνητικά σωματίδια τοποθετούνται στην επιφάνεια για την ανίχνευση της διαρροής πεδίου και για να σκιαγραφήσει το μέγεθος και το σχήμα των ασυνεχειών. Μόνο μικρές ατέλειες μπορούν να ανιχνευθούν με αυτή τη μέθοδο.

- Με την χρήση υπερήχων:

Στην τεχνική αυτή οι παλμοί της ηχητικής ενέργειας μεταδίδονται πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Η ανακλώμενη ηχώ μετατρέπεται σε ηλεκτρικά σήματα που μπορεί να φανερώσει τη θέση των ρωγμών ή των εσοχών. Η μέθοδος αυτή έχει καλή ευαισθησία και παρέχει άμεση πληροφόρηση σχετικά με το μέγεθος και τη θέση των εσοχών. Στα στοιχεία που αξιολογούνται εφαρμόζονται όλες αυτές οι τεχνικές, είναι το βάθος της κάθε εσοχής ή ο μέσος όρος των 10 πιο βαθύτερων εσοχών. Αυτή η μέτρηση είναι ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας όταν το μέταλλο χρησιμοποιείται ως περιέκτης ενός αερίου ή ενός υγρού, καθώς βαθιές εσοχές μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια του περιεχομένου. Εκτός από το βάθος σημαντικός παράγοντας είναι ο αριθμός των εσοχών ανά μονάδα επιφάνειας(πυκνότητα εσοχών), και το μέγεθός τους σε ό,τι αφορά το εμβαδό της επιφάνειάς τους. Όλες αυτές οι παράμετροι αξιολόγησης των εσοχών φανερώνουν την πορεία και τον ρυθμό διάβρωσης του μετάλλου ως απώλεια υλικού. Στο σχήμα 2 δίνεται ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων που βαθμιαία οδηγεί σε πιο έντονο φαινόμενο διάβρωσης του μετάλλου.

	<u>A</u> <u>DENSITY</u>	<u>B</u> <u>SIZE</u>	<u>C</u> <u>DEPTH</u>
1	 $2.5 \times 10^3 / m^2$	 0.5 mm^2	 0.4 mm
2	 $1 \times 10^4 / m^2$	 2.0 mm^2	 0.8 mm
3	 $5 \times 10^4 / m^2$	 8.0 mm^2	 1.6 mm
4	 $1 \times 10^5 / m^2$	 12.5 mm^2	 3.2 mm
5	 $5 \times 10^5 / m^2$	 24.5 mm^2	 6.4 mm

Σχήμα 2. Διαγράμματα αξιολόγηση εσοχών.

2.3 Διάβρωση

Διάβρωση καλείται κάθε αυθόρμητη ή και εκβιασμένη, ηλεκτροχημική, χημική, ή κατ' επέκταση μηχανική αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και των κραμάτων, που οδηγεί σε απώλεια υλικού.

Σύμφωνα με το 2^ο Θερμοδυναμικό Νόμο, όλα τα μέταλλα και κράματα ανεξάρτητα από το αν είναι ευγενή ή παθητικά, εμφανίζουν στην επιφάνειά τους το φαινόμενο της διάβρωσης. Η ταχύτητα εξάπλωσης της διάβρωσης, η ένταση, η έκταση αλλά και ο χρόνος εμφάνισης των αποτελεσμάτων της ποικίλουν σημαντικά και εξαρτώνται από τη φύση του μετάλλου ή του κράματος (δομή, σύσταση, θέση στην ηλεκτροχημική σειρά), το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος και τέλος από τους διαβρωτικούς παράγοντες που δρουν μέσα σ' αυτό.

2.3.1 Διαβρωτικό περιβάλλον

Το διαβρωτικό περιβάλλον διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες όπως:

- Ατμοσφαιρικός αέρας: Ο ατμοσφαιρικός αέρας διακρίνεται ανάλογα με τη σύστασή του σε αγροτικό, αστικό, θαλάσσιο και βιομηχανικό. Η διαβρωτική του δράση κατά κύριο λόγο οφείλεται στο οξυγόνο και στην υγρασία που περιέχει ενώ αυτή του η δράση αυξάνεται με την παρουσία ρυπαντικών ουσιών (οξειδία του θείου, αζώτου, άνθρακα κλπ.) ή άλλων προσμίξεων (π.χ. κολλοειδή NaCl).
- Νερό: Το νερό όπως και ο ατμοσφαιρικός αέρας διακρίνεται ανάλογα με τη σύσταση του σε γλυκό, αποσταγμένο, θαλασσινό και μεταλλικό νερό. Όλα τα είδη νερού, ακόμη και το αποσταγμένο, αποτελούν διαβρωτικό περιβάλλον, ενώ αυξημένες διαβρωτικές ικανότητες έχει το θαλασσινό νερό. Η διαβρωτική δράση του νερού εξαρτάται από το διαλυμένο οξυγόνο, τα διαλυμένα ή αιωρούμενα σ' αυτό σωματίδια, τη θερμοκρασία και από τους μικροοργανισμούς που περιέχονται σ' αυτό.
- Χημικό περιβάλλον: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλες οι χημικές ουσίες χωρίς καμία εξαίρεση, η διαβρωτική δράση των οποίων εξαρτάται από τη χημική τους συγγένεια με τα μέταλλα που έρχονται σε επαφή, από τη θερμοκρασία και πίεση τους κλπ. Γενικά η διαβρωτική ικανότητα των ανόργανων χημικών ουσιών είναι μεγαλύτερη από εκείνη των οργανικών χημικών ουσιών.

2.3.2 Διαβρωτικοί παράγοντες

Η συμπεριφορά του διαβρωτικού περιβάλλοντος στο φαινόμενο της διάβρωσης επηρεάζεται από την παρουσία και το μέγεθος διάφορων διαβρωτικών παραγόντων όπως:

- Οξυγόνο-Οξειδωτικό μέσο: Η επίδραση της προσθήκης οξειδωτικού μέσου ή της παρουσίας οξυγόνου στην ταχύτητα διάβρωσης είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο και εξαρτάται τόσο από το μέταλλο που διαβρώνεται όσο και από το διαβρωτικό περιβάλλον. Η ταχύτητα της διάβρωσης μπορεί να αυξάνει με την προσθήκη του οξειδωτικού, το οξειδωτικό μπορεί να μην επιδρά στην ταχύτητα της διάβρωσης ή μπορεί να παρατηρηθεί μια πολύ σύνθετη συμπεριφορά.
- Θερμοκρασία : Γενικά ισχύει ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η ταχύτητα όλων των χημικών αντιδράσεων, κατ' επέκταση και των δράσεων κατά το φαινόμενο της διάβρωσης. Παράλληλα η

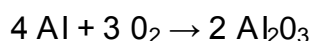
θερμοκρασία αποτελεί παράμετρο καθορισμού, του ηλεκτροχημικού δυναμικού στο γαλβανικό στοιχείο, της αγωγιμότητας του διαβρωτικού περιβάλλοντος, της ειδικής αγωγιμότητας των επιφανειακών επιστρωμάτων, του ιξώδους, παραγόντων που καθορίζουν τη διάχυση μέσα στο διάλυμα.

Συγκέντρωση διαβρωτικού συστατικού: Η επίδραση αυτή εξαρτάται από το είδος του διαβρωτικού συστατικού του περιβάλλοντος και από τον τρόπο διάβρωσης του μετάλλου. Αν δηλαδή το υπό διάβρωση μέταλλο παθητικοποιείται ή όχι στο συγκεκριμένο διαβρωτικό περιβάλλον. Πολλά υλικά που βρίσκονται σε παθητική κατάσταση παρουσιάζουν αμελητέα αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης κατά την αύξηση συγκέντρωσης του διαβρωτικού συστατικού.

- pH: Το pH του διαβρωτικού περιβάλλοντος επηρεάζει την ταχύτητα της διάβρωσης ανάλογα με τη διαλυτότητα του μετάλλου αλλά και των προϊόντων της διάβρωσης σε όξινα ή αλκαλικά διαλύματα. Γενικά ακραίες τιμές pH και διαβρωτικό περιβάλλον προκαλούν αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης μετάλλων, τα οποία βρίσκονται στην ηλεκτροχημική σειρά πάνω από το υδρογόνο. Για τα ευγενή αλλά και για μέταλλα τα οποία βρίσκονται κάτω από το υδρογόνο στην ηλεκτροχημική σειρά η ταχύτητα διάβρωσης θεωρείται ανεξάρτητη από τη μεταβολή του pH.
- Αγωγιμότητα: Η αύξηση της αγωγιμότητας του διαβρωτικού περιβάλλοντος έχει σαν συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης του μετάλλου.

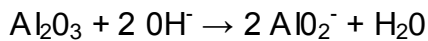
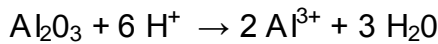
2.3.3 Διάβρωση αλουμινίου

Το αλουμίνιο αν βρεθεί σε διαβρωτικές συνθήκες, υφίσταται μια συνολική διάβρωση σε όλη την επιφάνειά του, η οποία σταματά ή επιβραδύνεται εξαιτίας του σχηματισμού ενός στρώματος οξειδίου



Η μεταλλική στιλπνότητά του χάνεται με την ανάπτυξη του στρώματος του προϊόντος της διάβρωσης. Αυτό δε το ίδιο το στρώμα λειτουργεί πολλές φορές προστατευτικά για το υπόλοιπο μέταλλο.

Το στρώμα αυτό είναι εξαιρετικά λεπτό, αλλά καθιστά το αλουμίνιο τελείως αδρανές στην περιοχή pH μεταξύ 4.0 και 9.0. Σε τιμές pH μικρότερες από 4.0 ή μεγαλύτερες από 9.0 το οξείδιο του αλουμινίου διασπάται σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Κατά συνέπεια, στις περιοχές αυτές pH το οξείδιο του αλουμινίου δεν προβάλλει καμία προστασία στο αλουμίνιο από τη διάβρωση. Οπωσδήποτε, δεν υπάρχει κανένα τρόφιμο με pH μεγαλύτερο από 8.0. Όμως, διάφορα διαλύματα καθαρισμού είναι δυνατόν να έχουν pH μεγαλύτερο από 9.0. Συνεπώς, τα μέσα αυτά καθαρισμού δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό εξοπλισμού ή μέσων συσκευασίας από αλουμίνιο που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα. (Μπλούκας, 2004).

Απουσία οξυγόνου, όπως στην περίπτωση της συσκευασίας τροφίμων υπό κενό, το οξείδιο του αλουμινίου προοδευτικά απομακρύνεται. Στην περίπτωση αυτή η επιφάνεια του αλουμινίου που ελευθερώνεται παρουσιάζει μειωμένη αντίσταση στη διάβρωση. Μειωμένη αντίσταση στη διάβρωση παρουσιάζει επίσης το αλουμίνιο παρουσία οξαλικών αλάτων τα οποία βρίσκονται στο σπανάκι και σε άλλα τρόφιμα, ενώ τα χλωριούχα άλατα ασκούν έντονη εσωτερική διάβρωση.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η συσκευασία αλουμινίου παρουσιάζει προβλήματα σε ορισμένα προϊόντα και αλκοολούχα ποτά. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με το βερνίκωμα του περιέκτη, όπως στην περίπτωση των κονσερβών λευκοσιδήρου.

2.3.4 Γενική διάβρωση

Γενικά η συμπεριφορά στη διάβρωση των κραμάτων αλουμινίου εξαρτάται από τρεις παράγοντες: 1) τη σταθερότητα του λεπτού στρώματος του οξειδίου, 2) το περιβάλλον και 3) τα κραματικά στοιχεία. Οι τρεις αυτοί παράγοντες δεν είναι ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλο.

Το λεπτό στρώμα οξειδίου είναι σταθερό σε τιμές pH μεταξύ 4.5 και 8.5, αλλά επηρεάζεται από την παρουσία διαφόρων ανιόντων και κατιόντων όπως επίσης και H^+ και OH^- , και έτσι το αλουμίνιο μπορεί να διαβρωθεί σε ουδέτερα διαλύματα.

Τα κράματα αλουμινίου έχουν καλή αντοχή στη διάβρωση στις παρακάτω συνθήκες περιβάλλοντος: ατμόσφαιρα, φρέσκο νερό, θαλασσινό νερό, χώμα, τις περισσότερες τροφές και πολλά χημικά.

Είναι σαφές ότι όσο καθαρότερο είναι το αλουμίνιο τόσο μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση έχει. Πάντως διάφορα στοιχεία εισάγονται σαν κραματικά

χωρίς να μειώνουν την αντοχή στη διάβρωση και μερικές φορές την βελτιώνουν. Τα στοιχεία που έχουν μικρή ή μηδενική επίδραση είναι: Sb, Bi, Pb, Si, Ti, Zn. Αυτά δε που επηρεάζουν αρνητικά την αντοχή στη διάβρωση είναι: Cu, Fe, Ni. Η αρνητική επίδραση εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής του στοιχείου στο κράμα, τη μεταλλουργική κατάσταση του κράματος και από το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται το υλικό.

2.3.5 Είδη διάβρωσης

Η διάβρωση ανάλογα με τη μορφή εμφάνισής της και τα αποτελέσματά της διακρίνεται σε διάφορα είδη. Μερικές φορές η διάβρωση συναντάται με μια μορφή αποκλειστικά, αλλά συνήθως εμφανίζεται με παραπάνω από μια μορφές ταυτόχρονα.

- Διάβρωση με οπές
- Περικρυσταλλική διάβρωση
- Διάβρωση λόγω επιβολής τάσεων
- Διάβρωση με αποφλοίωση
- Διάβρωση με ρωγμές ή εσοχές

Η διάβρωση με οπές είναι η πιο κοινή μορφή διάβρωσης στα προϊόντα αλουμινίου. Οι οπές δημιουργούνται σε τοπικές ασυνέχειες του λεπτού φιλμ οξειδίου, που εκτίθεται στην ατμόσφαιρα, σε φρέσκο ή θαλασσινό νερό ή και σε άλλους ουδέτερους ηλεκτρολύτες. Το οξείδιο σε έντονα αλκαλικές ή οξειδωτικές συνθήκες είναι ασταθές, έτσι οι οπές αρχίζουν να δημιουργούνται σε ένα εύρος pH από 4,5 έως 9.0. Οι οπές μπορεί να είναι μικρές και συγκεντρωμένες ή να ποικίλουν σε μέγεθος και να είναι ευρέως εξαπλωμένες, κάτι που εξαρτάται από τη σύνθεση του κράματος, τη ποιότητα του φιλμ του οξειδίου και τη φύση του διαβρωτικού.

Η αντίσταση του αλουμινίου στη διάβρωση κυρίως εξαρτάται από την καθαρότητά του. Όσο πιο καθαρό, τόσο πιο ανθεκτικό. Η παρουσία άλλων κραματικών στοιχείων εκτός από Mn, Mg και Zn, αυξάνει την επιδεκτικότητα σε διάβρωση με οπές. Ο χαλκός και ο σίδηρος έχουν τη μεγαλύτερη αρνητική επίπτωση στην αντοχή στη διάβρωση. Τα επικαλυμμένα με Al (alcad) κράματα έχουν την μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση, καθώς η οποιαδήποτε δειξήση σταματά από την ανοδικότερη επικάλυψη.

Η περικρυσταλλική διάβρωση είναι το είδος της διάβρωσης κατά το οποίο το φαινόμενο της διάβρωσης εξελίσσεται στα όρια των κρυστάλλων του μεταλλικού πλέγματος. Η περικρυσταλλική διάβρωση μπορεί να προκληθεί από την ύπαρξη προσμίξεων ή ακαθαρσιών στα όρια των κρυστάλλων, από

τον εμπλουτισμό με ένα από τα στοιχεία του κράματος ή με την εξάντληση (μείωση) ενός από τα στοιχεία αυτά στην περιοχή των ορίων των κρυστάλλων. (Παπαστεργιάδης, 1996).

Όσον αφορά τη διάβρωση με ρωγμές είναι μία έντονη τοπική διάβρωση που συμβαίνει συχνά στη μεταλλική επιφάνεια που είναι εκτεθειμένη στο διαβρωτικό περιβάλλον με τη μορφή ρηγματώσεων ή εσοχών. Ο τύπος αυτός της προσβολής συνήθως υποβοηθείται από την ύπαρξη πάνω στη μεταλλική επιφάνεια μικρών ποσοτήτων διαβρωτικού περιβάλλοντος. Η διάβρωση με εσοχές εξαρτάται και από την επικάλυψη πάνω στη μεταλλική επιφάνεια, άμμου, σκόνης, προϊόντων διάβρωσης ή άλλων στερεών ουσιών, η ύπαρξη των οποίων ευνοεί γενικά την ανάπτυξη αυτού του είδους τη διάβρωση.

2.3.6 Έλεγχος της διάβρωσης

Ο σκοπός του ελέγχου διάβρωσης είναι:

- Να επιτρέψουν την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του υλικού κατά τη διάρκεια ζωής του.
- Να καθορίσουν τις ιδιότητες του υλικού όπως η αντοχή σε περικρυσταλλική διάβρωση και σε κατάρρευση με διάβρωση λόγω επιβολής τάσεων.
- Να διευκρινίσουν την προέλευση των αντιδράσεων διάβρωσης.

Συχνά επιταχύνουμε τη διάβρωση ώστε να εξάγουμε συμπεράσματα για τη διάρκεια ζωής εξαρτημάτων. Διάφοροι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να εξετάσουν και να ελέγξουν τη συμπεριφορά διάβρωσης ενός υλικού. Αυτές οι μέθοδοι διαφέρουν ουσιαστικά στο διαβρωτικό περιβάλλον που χρησιμοποιούν. Τα διαβρωτικά μέσα που διαλύουν το στρώμα οξειδίων, όπως τα ισχυρά οξέα και αλκάλια, επιτρέπουν μόνο πολύ περιορισμένα συμπεράσματα. Ο καταλληλότερος έλεγχος δοκιμής διάβρωσης τείνει να είναι έλεγχος με περιβάλλον κοντά σε ουδέτερο pH (μεταξύ 4.5 και 8.5). Τέτοια test δύσκολα διαλύουν το οξείδιο του αλουμινίου, έτσι μπορούν να αναπτυχθούν διάβρωση με οπές και άλλες τοπικές μορφές διάβρωσης. Σε αυτό το λιγότερο επιθετικό περιβάλλον αναδεικνύεται η επίδραση του στρώματος των οξειδίων. Αυτό που επηρεάζει σημαντικά είναι εάν οι πόροι στο στρώμα των οξειδίων θεραπεύονται ή όχι. Αν όχι, το μέταλλο πρέπει να προστατευτεί με τεχνική ενίσχυση του στρώματος των οξειδίων.

2.4 Αναψυκτικά

Τα αναψυκτικά εμφανίσθηκαν κατά το 17^ο αιώνα ως μίγμα νερού και χυμού λεμονιών στο οποίο είχε προστεθεί μέλι ως γλυκαντική ουσία. Ο τίτλος του πατέρα της βιομηχανίας αναψυκτικών έχει αποδοθεί στον Joseph Priestley λόγω της ανακάλυψης μιας συσκευής για την προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα στο νερό στα 1772. Ο όρος αναψυκτικά αφορά όλα τα μη αλκοολούχα ποτά αλλά συνήθως ο καφές, το τσάι και τα γαλακτοκομικά προϊόντα εξαιρούνται. Σήμερα, τα αναψυκτικά καταλαμβάνουν ένα σημαντικό ποσοστό των υγρών που καταναλώνονται από τον άνθρωπο με αυξητικές τάσεις κάθε χρόνο. (Αρβανιτογιάννης, 2007).

Τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιεί η βιομηχανία αναψυκτικών είναι:

- Νερό.
- Διοξείδιο του άνθρακα.
- Ζάχαρη ή άλλες γλυκαντικές ουσίες.
- Αρωματικές ουσίες.
- Συντηρητικά.
- Ρυθμιστές οξύτητας

Το 90% του όγκου του ποτού είναι νερό. Είναι απαραίτητο το νερό που χρησιμοποιείται να είναι κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση. Στα περισσότερα ποτά η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που προστίθεται είναι περίπου 1,5-4 φορές πολλαπλάσια του όγκου του υγρού. Η διαδικασία της προσθήκης του διοξειδίου του άνθρακα επιτυγχάνεται με την άμεση επαφή του υγρού με το αέριο CO₂, ψύξη του υγρού εφόσον η διαλυτότητα του CO₂ στο νερό αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας και τέλος με την εφαρμογή επιπλέον πίεσης, διοχετεύεται μεγαλύτερη ποσότητα CO₂ στο διάλυμα. Στην πράξη, το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να προστεθεί σε ολόκληρο το μίγμα ή μόνο στο νερό που χρησιμοποιείται και αργότερα το ανθρακούχο πλέον νερό να αναμειχθεί με το υπόλοιπο υγρό. Οι δυο τεχνικές έχουν παρόμοια αποτελέσματα.

Η ζάχαρη είναι κύριο συστατικό στα περισσότερα αναψυκτικά. Η βιομηχανία αναψυκτικών χρησιμοποιεί τόσο τη ζάχαρη που προέρχεται από τεύτλα όσο και τη ζάχαρη που προέρχεται από τα ζαχαροκάλαμα. Οι γλυκαντικές ουσίες χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα της ζάχαρης για να μειώσουν το επίπεδο της στα αναψυκτικά χωρίς ταυτόχρονα να επηρεαστεί η γλυκύτητα του προϊόντος. Οι αρωματικές ουσίες χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της γεύσης και του αρώματος των αναψυκτικών. Τα αρωματικά υλικά μπορούν να είναι φυσικά ή συνθετικά παρασκευασμένα. Ορισμένα ανθρακούχα ποτά, ειδικά εκείνα με χαμηλό pH, μπορούν να συντηρηθούν ικανοποιητικά χωρίς

συντηρητικά. Σε άλλα αναψυκτικά όμως, όπως εκείνα που περιέχουν φρούτα, η χρήση χημικών συντηρητικών, όπως το βενζοϊκό ή το σορβικό οξύ κρίνεται απαραίτητη. Οι ρυθμιστές οξύτητας αποτελούν σημαντικά συστατικά του τελικού προϊόντος. Το πιο συνηθισμένο από αυτά είναι το κιτρικό οξύ, το οποίο μπορεί να παραληφθεί είτε στην άνυδρη μορφή είτε με ένα μόριο νερού. Το φωσφορικό οξύ χρησιμοποιείται στα αναψυκτικά τύπου κόλα ενώ τα μηλικό, γαλακτικό, τρυγικό και οξικό οξύ είναι πιο σπάνια στη χρήση τους.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

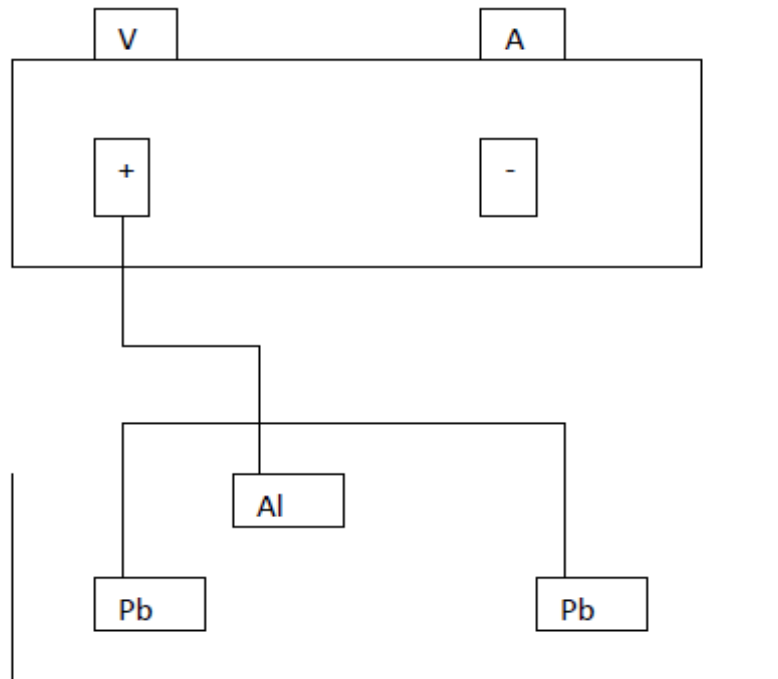
3.1 Υλικά και μέθοδοι

- Έλασμα αλουμινίου καθαρότητας 99,9% w/w
- Ζάχαρη εμπορίου
- Κιτρικό οξύ εμπορίου

3.2 Διατάξεις και συσκευές

3.2.1 Διάταξη επιταχυνόμενης διάβρωσης του μεταλλικού υλικού.

Τη διάταξη επιταχυνόμενης διάβρωσης τη χρησιμοποιούμε για να πετύχουμε τη διάβρωση σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα. Η διάταξη που χρησιμοποιείται για την επιταχυνόμενη διάβρωση των δοκιμών παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα και περιλαμβάνει



Σχήμα 1. Διάταξη επιταχυνόμενης διάβρωσης

- 1) Τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος σταθερής έντασης 30 mA/cm^2 . Στο τροφοδοτικό υπάρχει συνδεδεμένο ένα βολτάμετρο, ένα αμπερόμετρο ακριβείας και δύο διακόπτες, ένας για τη ρύθμιση της έντασης του ρεύματος και ένας για την λειτουργία ή τη διακοπή του ηλεκτρικού κυκλώματος.
- 2) Κελί διάβρωσης, το οποίο περιλαμβάνει το λουτρό ηλεκτρόλυσης και τα ηλεκτρόδια (άνοδο, κάθοδο).
- 3) Λουτρό ηλεκτρόλυσης, το οποίο αποτελείται από σακχαροδιάλυμα με τις ανάλογες περιεκτικότητες κιτρικού οξέος (κάνει το λουτρό αγώγιμο). Από το λουτρό ηλεκτρόλυσης απομακρύνθηκε το διαλυμένο οξυγόνο και η διάβρωση έγινε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- 4) Ηλεκτρόδια: υπάρχουν το δοκίμιο του μετάλλου το οποίο αποτελεί την άνοδο και δύο αδρανή ηλεκτρόδια μόλυβδου που αποτελούν την κάθοδο μεταξύ των οποίων τοποθετείται το προς οξειδωση δοκίμιο. Η επιφάνεια των καθοδικών ηλεκτροδίων είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την επιφάνεια των ανοδικών δοκιμίων για να εξασφαλιστεί ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των ηλεκτροδίων και ομοιόμορφος σχηματισμός του οξειδίου στην επιφάνεια αλουμινίου.

3.3 Συσκευές εξέτασης των διαβρωμένων δοκιμίων

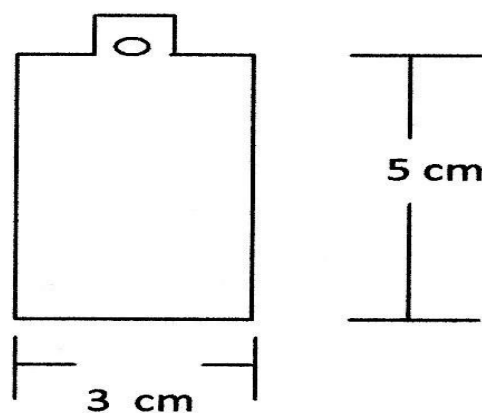
- Οπτικό μικροσκόπιο της εταιρείας Zeiss, model Axion Stor, με προσαρμοσμένη φωτογραφική μηχανή.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της χρονικής εξέλιξης περιεκτών κατασκευασμένων από αλουμίνιο στη διάβρωση και δημιουργία εσοχών σε περιέκτες που προορίζονται για την συσκευασία αναψυκτικών, σε υλικό κράματος Al1100 (καθαρότητας 99,9% w/w Al) σε ζαχαροδιάλυμα 9% w/v παρουσία κιτρικού οξέως 1% w/v το οποίο διάλυμα αποτελεί τυπικό διάλυμα αναψυκτικών στη βιομηχανία τροφίμων. Ο όγκος του διαβρωτικού περιβάλλοντος για κάθε μέτρηση είναι 1000ml, το χρονικό διάστημα παραμονής των δοκιμίων στο διαβρωτικό περιβάλλον είναι 3, 6, 12, 18 και 24 ώρες και χρήση 6 δοκιμίων στην κάθε ώρα αντίστοιχα.

4.1 Προετοιμασία δοκιμίου

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήσαμε στο πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας έχουν συνολική επιφάνεια 30 cm², με διεύθυνση κοπής παράλληλη προς τη διεύθυνση εξέλασής του ελάσματος. Στο σχήμα δίνεται η μορφή και οι διαστάσεις των αλουμινένιων δοκιμίων, τα οποία χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροχημική μελέτη της διάβρωσης.



Σχήμα 4. Δοκίμιο για την μελέτη της διάβρωσης.

1. Κοπή του αλουμινίου σε δοκίμια με διαστάσεις 5cm που είναι το ύψος και 3cm που είναι το πλάτος.
2. Καθαρισμός των αλουμινένιων δοκιμίων αρχικά με απιονισμένο νερό και εν συνεχεία με ακετόνη, για να απομακρυνθούν τα υπολείμματα κατεργασίας του μετάλλου.
3. Ζυγίζουμε κάθε φορά ένα αλουμινένιο δοκίμιο και καταγράφουμε το αρχικό του βάρος.
4. Μονώνουμε με ταινία Teflon προσεκτικά το δοκίμιο, λίγο πριν το εμβαπτίσουμε στο λουτρό ηλεκτρόλυσης.

4.2 Στάδια πειράματος

1. Έναρξη της ανοδικής οξειδωσης του δοκιμίου, διατηρώντας σταθερή την ένταση του ρεύματος 1 mA/cm^2 , σ' όλη την διάρκεια της οξειδωσης (Spathis et al., 1995) .
2. Μετράμε την αρχική τιμή pH του διαλύματος και καταγράφουμε την μέτρηση.
3. Καταγράφουμε το βάρος του δοκιμίου που επρόκειτο να διαβρωθεί.
4. Τοποθετούμε στο λουτρό ηλεκτρόλυσης το διάλυμα και μετά το μονωμένο δοκίμιο.
5. Θέτουμε σε λειτουργία την συσκευή διάταξης της ανοδικής οξειδωσης για 3, 6, 12, 18, 24 ώρες αντίστοιχα.
6. Μετά από τις 3, 6, 12, 18, και 24 ώρες βγάζουμε από το λουτρό ηλεκτρόλυσης το διαβρωμένο δοκίμιο, το ξεπλένουμε με άφθονο απιονισμένο νερό το σκουπίζουμε καλά και το τοποθετούμε στον ξηραντήρα για μια μέρα.
7. Μετράμε την τελική τιμή pH του διαλύματος και καταγράφουμε την μέτρηση.
8. Παίρνουμε και το τελικό βάρος του διαβρωμένου δοκιμίου.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έξι φορές για κάθε ώρα (3, 6, 12, 18 και 24 ώρες).

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Απώλεια βάρους δοκιμίων και τιμής pH διαβρωμένου περιβάλλοντος

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία σε ότι αφορά την απώλεια βάρους των εξεταζόμενων δοκιμίων αλλά και της μεταβολής της τιμής pH του διαλύματος για την διαφορετική διάρκεια διάβρωσής τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (2, 3, 4, 5, 6 και 7) που ακολουθούν:

Πίνακας 2. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων απώλειας βάρους και τιμής pH για χρόνο διάβρωσης 3 ωρών.

3 ΩΡΕΣ					
Αριθμός Δοκιμίων	Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος	Διαφορά Βάρους	Εμβαδό cm ²	g/cm ²
1	1,346	1,3107	0,0353	31,2	0,0011
2	1,3390	1,3024	0,0365	31,00	0,0012
3	1,4220	1,3890	0,033	32,26	0,0010
4	1,4150	1,3914	0,0236	33,00	0,0007
5	1,3257	1,2869	0,0388	30,41	0,0013
6	1,3672	1,3296	0,0376	31,62	0,0024

Πίνακας 3. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων απώλειας βάρους και τιμής pH για χρόνο διάβρωσης 3 ωρών.

6 ΩΡΕΣ					
Αριθμός Δοκιμίων	Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος	Διαφορά Βάρους	Εμβαδό cm ²	g/cm ²
1	1,4429	1,3769	0,066	33,66	0,0032
2	1,4504	1,3919	0,059	33,14	0,0013
3	1,3775	1,3158	0,059	31,62	0,0029
4	1,3464	1,2787	0,068	29,89	0,0025
5	1,3864	1,3174	0,069	31,00	0,0027
6	1,3316	1,2607	0,071	30,24	0,0027

Πίνακας 4. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων απώλειας βάρους και τιμής pH για χρόνο διάβρωσης 3 ωρών.

12 ΩΡΕΣ					
Αριθμός Δοκιμίων	Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος	Διαφορά Βάρους	Εμβαδό cm ²	g/cm ²
1	1,3782	1,2332	0,145	36,6	0,0040
2	1,3618	1,2440	0,118	31,62	0,0037
3	1,3699	1,2428	0,127	31,62	0,0040
4	1,3520	1,2204	0,132	30,6	0,0043
5	1,4028	1,2247	0,178	31,62	0,0056
6	1,3320	1,2001	0,132	31,00	0,0043

Πίνακας 5. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων απώλειας βάρους και τιμής pH για χρόνο διάβρωσης 3 ωρών.

18 ΩΡΕΣ					
Αριθμός Δοκιμίων	Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος	Διαφορά Βάρους	Εμβαδό cm ²	g/cm ²
1	1,3360	1,1163	0,2327	32,24	0,0072
2	1,1454	1,3668	0,2214	30,60	0,0073
3	1,3870	1,1570	0,230	32,86	0,0060
4	1,4353	1,1959	0,2394	32,984	0,0073
5	1,3342	1,1028	0,2314	30,60	0,0076
6	1,3294	1,2138	0,1156	29,58	0,0039

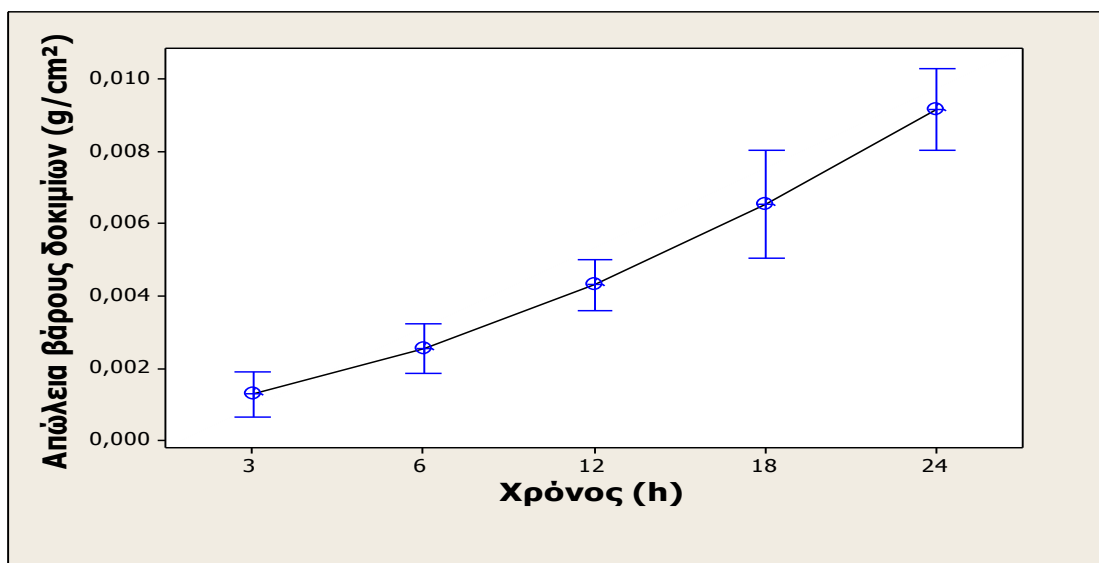
Πίνακας 6. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων απώλειας βάρους και τιμής pH για χρόνο διάβρωσης 3 ωρών.

24 ΩΡΕΣ					
Αριθμός Δοκιμίων	Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος	Διαφορά Βάρους	Εμβαδό cm ²	g/cm ²
1	1,4948	1,2213	0,2735	35,36	0,0078
2	1,3542	1,1028	0,2514	27,84	0,0090
3	1,3480	1,0093	0,3387	31,01	0,0109
4	1,3385	1,0477	0,2908	31,00	0,0094
5	1,3540	1,0875	0,2665	31,62	0,0084
6	1,3775	1,0721	0,3054	32,05	0,0095

Πίνακας 7. Απώλεια βάρους δοκιμίων (g/cm^2).

Διαβρ.Περιβ. Ζάχαρη 9% W/V C4H6O6 1‰ W/V	Ώρες				
Αριθμός Δοκιμίων	3	6	12	18	24
1	0,0011	0,0032	0,0040	0,0072	0,0078
2	0,0012	0,0013	0,0037	0,0073	0,0090
3	0,0010	0,0029	0,0040	0,0060	0,0109
4	0,0007	0,0025	0,0043	0,0073	0,0094
5	0,0013	0,0027	0,0056	0,0076	0,0084
6	0,0024	0,0027	0,0043	0,0039	0,0095
M.O	0,0013	0,0025	0,0043	0,0066	0,0092

Από τους πίνακες αυτούς προκύπτει το διάγραμμα της απώλειας βάρους σε σχέση με την διάρκεια της διάβρωσης (Σχήμα 5).



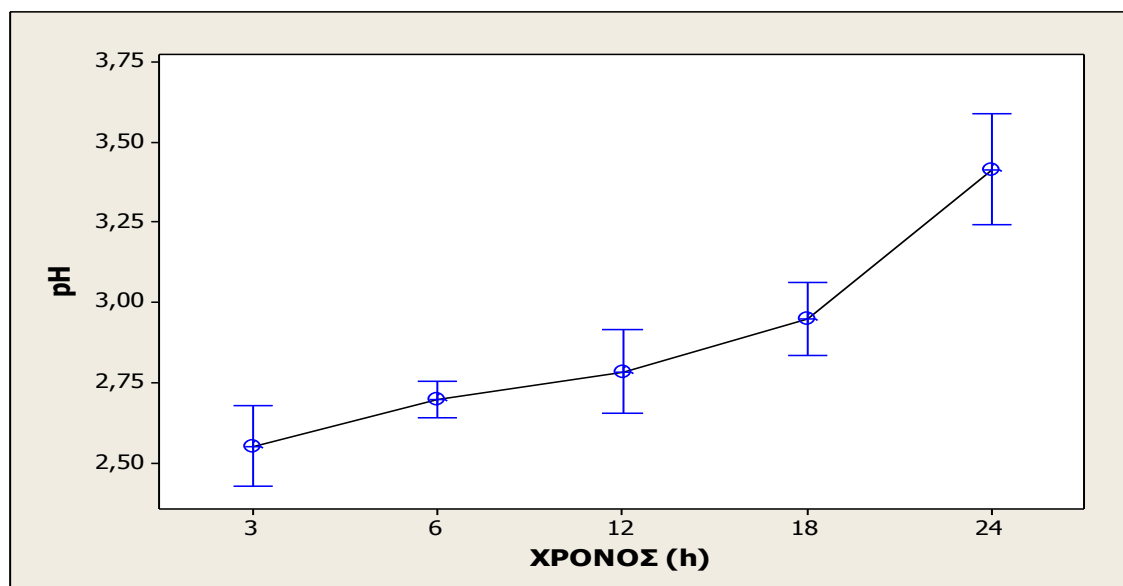
Σχήμα 5. Απώλεια βάρους δοκιμίων σε σχέση με την διάρκεια του χρόνου διάβρωσης.

Από τον στατιστικό έλεγχο που έγινε στο Minitab Project Report (Σχήμα 5) προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά απώλειας βάρους σε σχέση με τη διάρκεια της διάβρωσης. Η απώλεια βάρους των εξεταζόμενων δοκιμών αυξάνει με την παραμονή του ελάσματος του αλουμινίου στο διαβρωτικό περιβάλλον, το γεγονός αυτό θεωρείται αναμενόμενο καθώς ένας σημαντικός παράγοντας της διάβρωσης είναι ο χρόνος. Είναι γνωστό ότι από προηγούμενες μελέτες (πτυχιακή Κατσαρής) ότι η διάβρωση του αλουμινίου είναι περικρυσταλλική με εσοχές. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εξεταστεί η επιφάνεια του διαβρωμένου μετάλλου με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου έτσι ώστε να ελεγχθεί, τόσο το μέγεθος των εσοχών, όσο και ο αριθμός τους και γενικά η μορφή εξέλιξής τους, αν οι εσοχές που αρχικά δημιουργούνται εξελίσσονται επιφανειακά ή σε βάθος. Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση (πτυχιακή Κατσαρής) είναι γνωστό ότι η διάβρωση του Al σε διαβρωτικό περιβάλλον που προσομοιάζει αυτό των αναψυκτικών είναι περικρυσταλλική διάβρωση με εσοχές. Εκείνο που πρέπει να διευκρινιστεί είναι αν η απώλεια βάρους του υλικού προέρχεται από την επιφάνεια ή βαθύτερα στρώματα του μετάλλου.

Πίνακας 8. Μεταβολές της τιμής pH των δοκιμών σε σχέση με το χρόνο παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον.

ΔΙΑΒ..ΠΕΡ.	pH									
	3		6		12		18		24	
ZAXAPH 9% W/V KITP.OEY 1% W/V	APX	TEΛ	APX	TEΛ	APX	TEΛ	APX	TEΛ	APX	TEΛ
1	2,46	2,70	2,63	3,00	2,41	2,99	2,45	3,56	2,70	4,38
2	2,53	2,56	2,57	3,40	2,35	2,99	2,56	3,06	2,41	3,82
3	2,33	2,48	2,66	3,25	2,33	2,93	2,53	2,95	2,57	4,25
4	2,28	2,56	2,61	3,24	2,49	3,09	2,45	3,06	2,60	4,59
5	2,61	2,72	2,58	3,64	2,34	3,04	2,39	2,84	2,45	4,39
6	2,61	2,77	2,57	3,13	2,38	3,06	2,46	3,09	2,49	4,30

Από τον (πίνακα 8) προκύπτει το διάγραμμα της μεταβολής της τιμής pH σε σχέση με την διάρκεια της διάβρωσης.



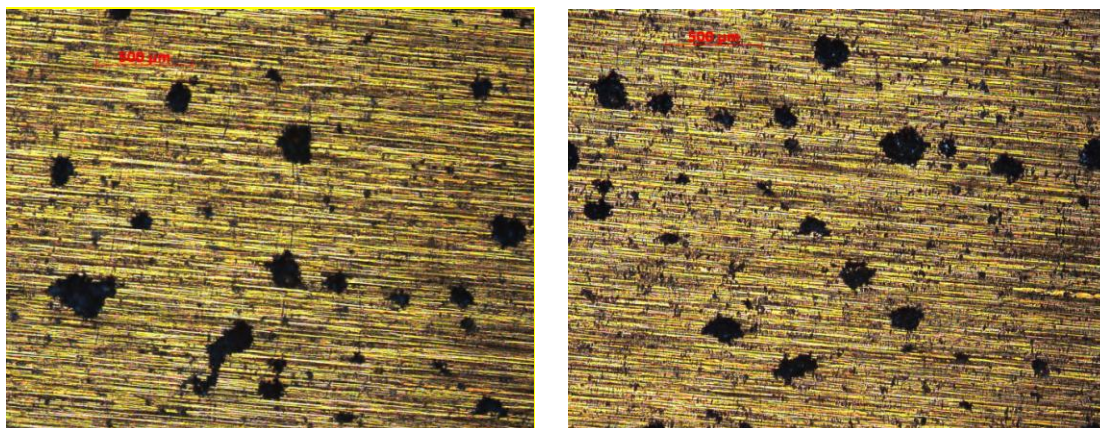
Σχήμα 6. Μεταβολές του pH των δοκιμών σε σχέση με το χρόνο παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον.

Υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, με την αύξηση του χρόνου αυξάνει η τιμή pH προς μεγαλύτερες τιμές δηλαδή γίνεται λιγότερο όξινο και αυτό ερμηνεύεται, καθώς το μέταλλο που διαβρώνεται υδρολύεται σε προϊόντα που εξουδετερώνουν την οξύτητα του διαβρωμένου περιβάλλοντος. Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής, τόσο το pH αυξάνεται και το διαβρωτικό περιβάλλον γίνεται λιγότερο όξινο.

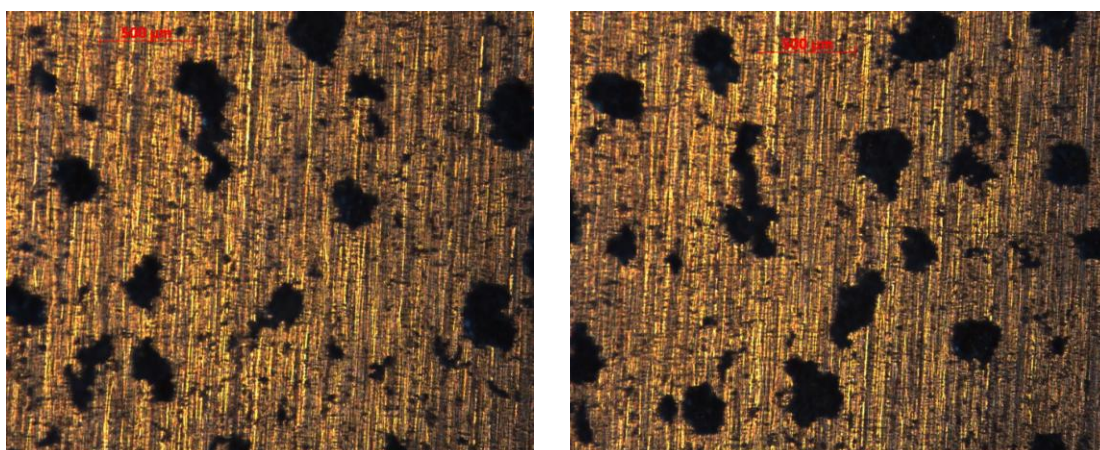
5.2 Εξέταση της επιφάνειας των διαβρωμένων περιεκτών χρησιμοποιώντας οπτικό μικροσκόπιο.

5.2.1 Οπτικό μικροσκόπιο

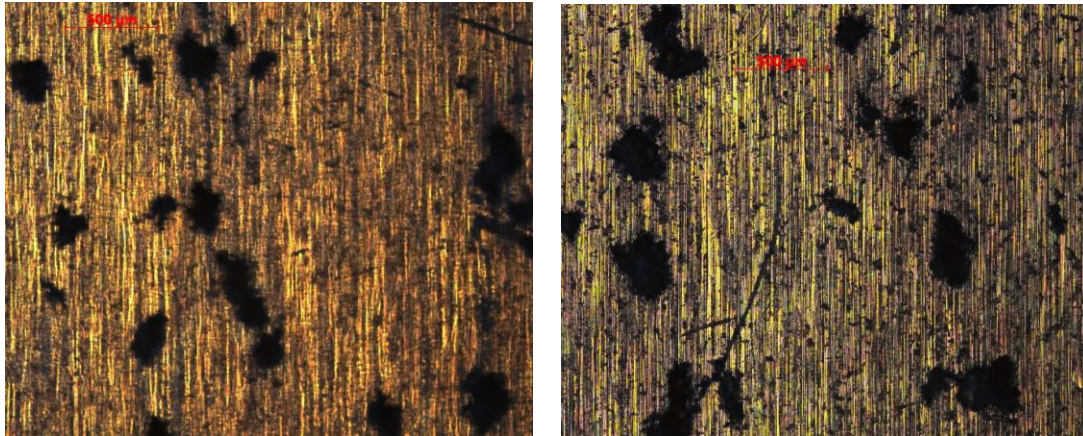
Για την διερεύνηση της εξέλιξης της μορφής των εσοχών πραγματοποιείται εξέταση της επιφάνειας των διαβρωμένων περιεκτών με τη βοήθεια του οπτικού μικροσκοπίου. Η εικόνα της διαβρωμένης επιφάνειας στους διαφορετικούς χρόνους παραμονής παρουσιάζονται στα σχήματα (7, 8, 9, 10 και 11).



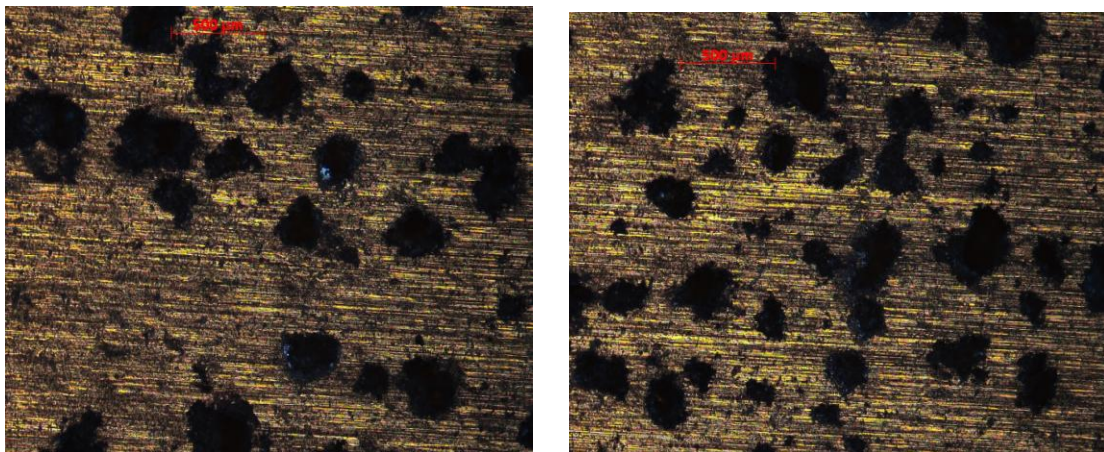
Σχήμα 7. Επιφάνεια διαβρωμένου περιέκτη ΑΙ σε διαβρωτικό περιβάλλον σε διάλυμα ζάχαρης 9% w/v και κιτρικού οξέος 1 ‰ w/v, για χρονικό διάστημα παραμονής 3 ωρών, όπως αυτή παρουσιάζεται στο οπτικό μικροσκόπιο.



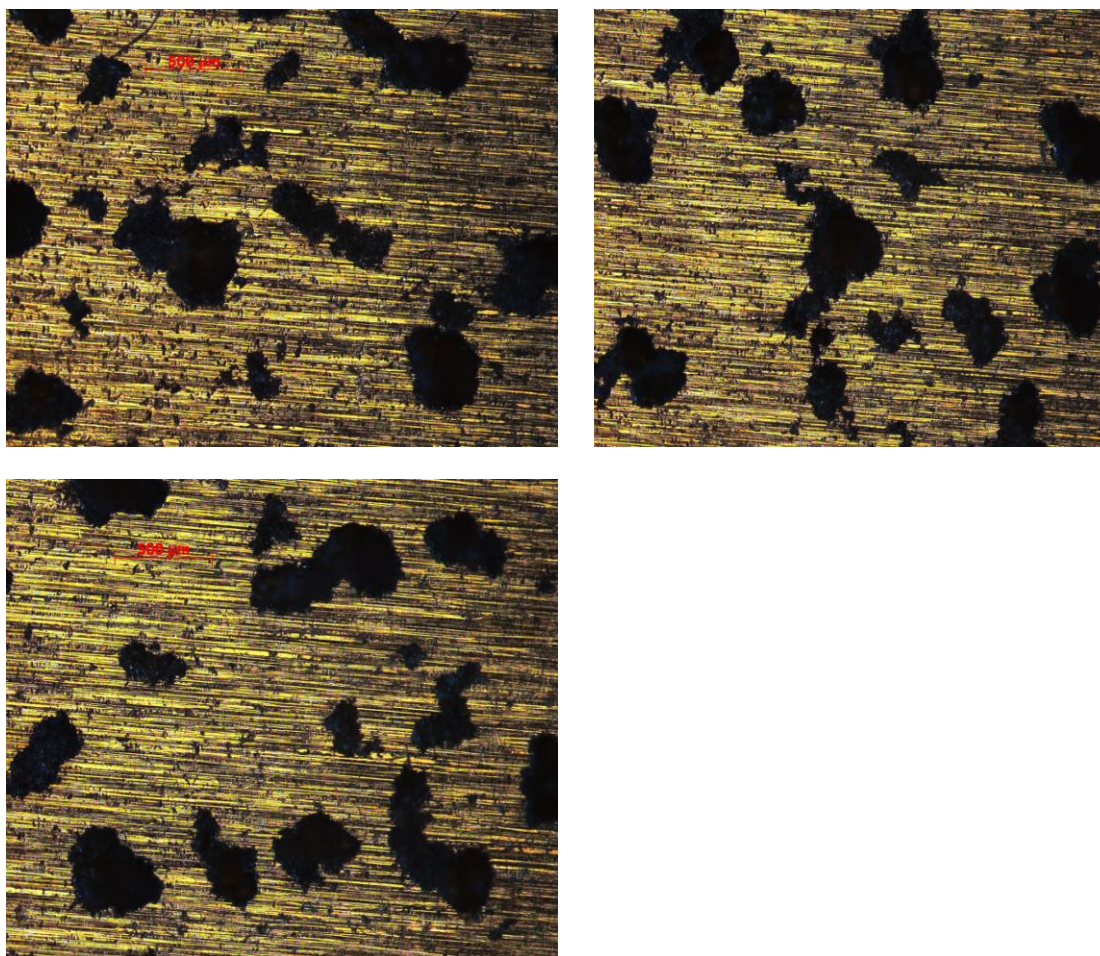
Σχήμα 8. Επιφάνεια διαβρωμένου περιέκτη ΑΙ σε διαβρωτικό περιβάλλον σε διάλυμα ζάχαρης 9% w/v και κιτρικού οξέος 1 ‰ w/v, για χρονικό διάστημα παραμονής 6 ωρών, όπως αυτή παρουσιάζεται στο οπτικό μικροσκόπιο.



Σχήμα 9. Επιφάνεια διαβρωμένου περιέκτη ΑΙ σε διαβρωτικό περιβάλλον σε διάλυμα ζάχαρης 9% w/v και κιτρικού οξέος 1 ‰ w/v, για χρονικό διάστημα παραμονής 12 ωρών, όπως αυτή παρουσιάζεται στο οπτικό μικροσκόπιο.



Σχήμα 10. Επιφάνεια διαβρωμένου περιέκτη ΑΙ σε διαβρωτικό περιβάλλον σε διάλυμα ζάχαρης 9% w/v και κιτρικού οξέος 1 ‰ w/v, για χρονικό διάστημα παραμονής 18 ωρών, όπως αυτή παρουσιάζεται στο οπτικό μικροσκόπιο.



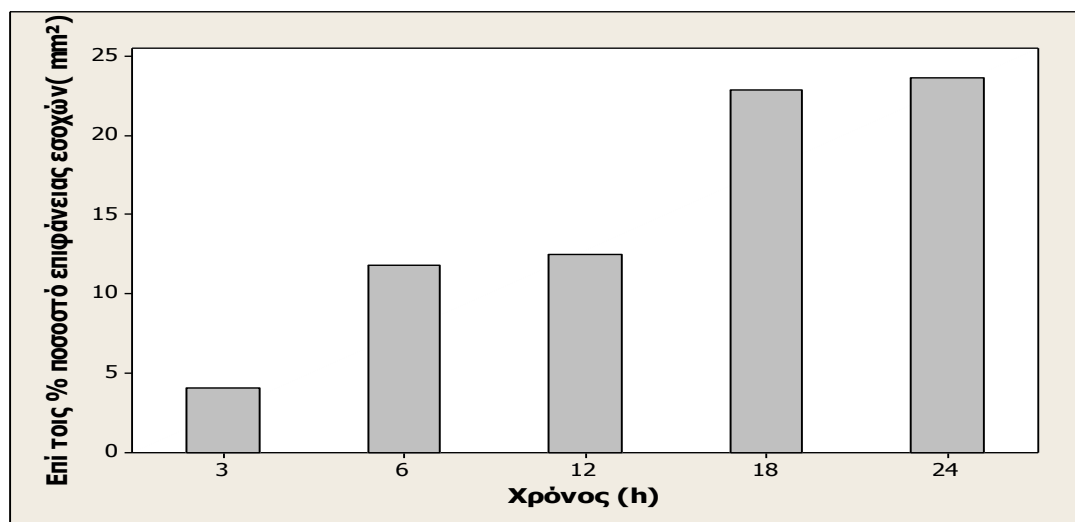
Σχήμα 11. Επιφάνεια διαβρωμένου περιέκτη ΑΙ σε διαβρωτικό περιβάλλον σε διάλυμα ζάχαρης 9% w/v και κιτρικού οξέος 1 ‰ w/v, για χρονικό διάστημα παραμονής 24 ωρών όπως αυτή παρουσιάζεται στο οπτικό μικροσκόπιο.

Αρχικά για όλες τις συνθήκες διάβρωσης φαίνεται ότι το είδος της διάβρωσης που υφίσταται ο περιέκτης είναι τοπική διάβρωση με εσοχές. Ο αριθμός και το μέγεθος των εσοχών φαίνεται να διαφοροποιείται σε σχέση με το χρόνο παραμονής των δοκιμίων στο διαβρωτικό περιβάλλον. Εξετάζοντας τις αντιπροσωπευτικότερες εικόνες για κάθε συνθήκη του πειράματος προς τον αριθμό και το εμβαδόν επιφάνειας των εσοχών, προκύπτει ο πίνακας (9) που ακολουθεί:

Πίνακας 9. Μορφή εσοχών στην επιφάνεια που διαβρώνεται σε σχέση με το χρόνο.

Χρόνος διάβρωσης (h)	3	6	12	18	24
Εμβαδό εξεταζόμενης επιφάνειας (mm ²)	2,099	5,468	6,541	9,411	5,718
Συνολικό εμβαδό εσοχών (mm ²)	0,085	0,640	0,819	2,146	1,350
Αριθμός εσοχών	22	33	39	36	31
% ποσοστό εσοχών (επιφάνεια εσοχών)	4,1	11,8	12,5	22,8	23,6
Μέση τιμή εμβαδού εσοχών (mm ²)	0,0039	0,0194	0,0210	0,0592	0,0642
Μέση τιμή απώλεια βάρους (g/cm ²)	0,0013	0,0025	0,0043	0,0066	0,00120
Επιφάνεια μέγιστης εσοχής (mm ²)	0,0145	0,069	0,129	0,177	0,183

Από τον(πίνακα 9) προκύπτει το διάγραμμα επί τοις % διαβρωμένης επιφάνειας (εσοχών) σε σχέση με το χρόνο παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον.



Σχήμα 12. Μορφή εσοχών στην επιφάνεια που διαβρώνεται σε σχέση με το χρόνο.

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό της διαβρωμένης επιφάνειας των εσοχών δεν εξελίσσεται αναλογικά με το χρόνο. Αυτό που προκύπτει είναι ότι μέχρι τις 18 ώρες στο διαβρωτικό περιβάλλον με μία εξαίρεση στις 6 ώρες, είναι ότι το μέγεθος (η επιφάνεια) των εσοχών αυξάνει με την αύξηση του χρόνου. Η απώλεια βάρους παρουσιάζει μία αναλογία με αυτή του ποσοστού της επιφάνειας των εσοχών μέχρι τις 18 ώρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον. Αυτό μπορεί να αξιολογηθεί ως εξέλιξη των εσοχών, όχι σε βάθος αλλά κυρίως σε πλάτος. Από τις 18 έως τις 24 ώρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον, τόσο το επί τοις % ποσοστό επιφάνειας των εσοχών όσο και από την μέση τιμή της επιφάνειας των εσοχών και με τις μετρήσεις της απώλειας βάρους, προκύπτει ότι η επιφάνεια των εσοχών μεταβάλλεται ελάχιστα, παρόλο που από τις μετρήσεις απώλειας βάρους έχουμε σημαντική μεταβολή. Αυτό σημαίνει ότι οι εσοχές εξελίσσονται κυρίως σε βάθος. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω έρευνες των δοκιμίων σε μεγαλύτερους χρόνους παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον ώστε να διαπιστωθεί η περαιτέρω εξέλιξη της διάβρωσης των εσοχών σε βάθος.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το είδος της διάβρωσης του δοκιμίου που προκαλεί το διαβρωτικό περιβάλλον σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα παραμονής είναι η διάβρωση με εσοχές.
- Το είδος της διάβρωσης του δοκιμίου που προκαλεί το διαβρωτικό περιβάλλον σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα παραμονής, είναι τοπική και όχι ομοιόμορφα με την μορφή εσοχών οι οποίες χρονικά εξελίσσονται τόσο σε βάθος όσο και σε πλάτος.
- Το είδος της διάβρωσης του μετάλλου είναι χαρακτηριστική περίπτωση περικρυσταλλικής διάβρωσης ανεξαρτήτως διαφορετικά χρονικά διαστήματα παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον.
- Η απώλεια βάρους των εξεταζόμενων δοκιμίων αυξάνεται με την παραμονή του ελάσματος του αλουμινίου στο διαβρωτικό περιβάλλον, το γεγονός αυτό θεωρείται αναμενόμενο καθώς ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο χρόνος.
- Το pH μετακινείται σε λιγότερο όξινες περιοχές καθώς το μέταλλο που διαβρώνεται υδρολύεται περιορίζοντας έτσι την οξύτητα του περιβάλλοντος.
- Εξετάζοντας την επί τοις % διαβρωμένη επιφάνεια και μέση τιμή απώλειας βάρους, μέχρι τις 18 ώρες η αναλογία μέτρησης του ποσοστού και απώλεια βάρους που σημαίνει ότι οι εσοχές αναπτύσσονται ομοιόμορφα επιφανειακά. Στις 24 ώρες επειδή αυξάνει η μέση τιμή απώλειας βάρους, ενώ η διαβρωμένη επιφάνεια παραμένει περίπου σταθερή, εκτιμούμε ότι οι εσοχές εξελίσσονται σε βάθος, σημαίνει ότι πειραματικά δεν μπορούμε να μετρήσουμε το βάθος της εσοχής.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

1. Εξέταση των ελασμάτων αλουμινίου σε περαιτέρω χρονικά διαστήματα παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον πέραν των 24 ωρών, ώστε να διαπιστωθεί αν η διαβρωτικότητα των εσοχών εξελίσσεται σε βάθος.
2. Εξέταση των ελασμάτων σε διαφορετικές συγκεντρώσεις κιτρικού οξέος.
3. Χρησιμοποίηση και άλλων οργανικών οξέων π.χ. τρυγικό, οξαλικό, μυρμηγκικό, οξαλικό κλπ.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αρβανιτογιάννης Ι. και Μποσνέα Λ., (2001) Στοιχεία τεχνολογίας, μεταποίησης & συσκευασίας τροφίμων, pp 183-186. University studio press, Θεσσαλονίκη.
- Αρβανιτογιάννης Ι. Σάνδρου Δ. και Κούρτης Λ. (2007) Ασφάλεια τροφίμων. Εφαρμογή της ανάλυσης επικινδυνότητας και κρίσιμων σημείων ελέγχου (HACCP) στις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών, pp 332-338. University studio press, Θεσσαλονίκη.
- Δερμοσόνογλου Δημήτριος (1998). Μελέτη των φυσικών και χημικών παραμέτρων υγιεινολογικού ελέγχου επιφανειακών και πηγαίων υδάτων. Διδακτορική Διατριβή. Τυπογραφία Δεδούση. Θεσσαλονίκη. Σελ. 30 – 40.
- Μπλούκας Ι. (2004) Συσκευασία Τροφίμων, pp 163-167, 195,196,209. Εκδόσεις ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΛΗ. Αθήνα.
- Παπαστεργιάδης Ε. (1996) Μελέτη της αντοχής στη διάβρωση ανοδικά οξειδωμένων σε διάφορες συνθήκες ελασμάτων αλουμινίου, pp 16,54 Διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ. Σχολή Θετικών Επιστημών Τμήμα Χημείας.
- Ραφαηλίδης Σ. (2005) Υλικά συσκευασίας τροφίμων, pp 21,46,52. Σημειώσεις από τις παραδόσεις στο μάθημα της Συσκευασίας Τροφίμων. Α.Α.Τ.Ε.Ι.Θ. τμήμα τεχνολογίας τροφίμων.

ΞΕΝΗ

- ASTM G 46-94, Standard Guide For Examination and Evaluation of Pitting Corrosion.
- Zaki A.,Anwar Ul-Hamid.,Abdul-Aleem B.J., (2000) . The corrosion behavior of scandium Al 5052 in neutral sodium chloride solution, CORROSION SCIENCE,43, (2001) 1227-1243.