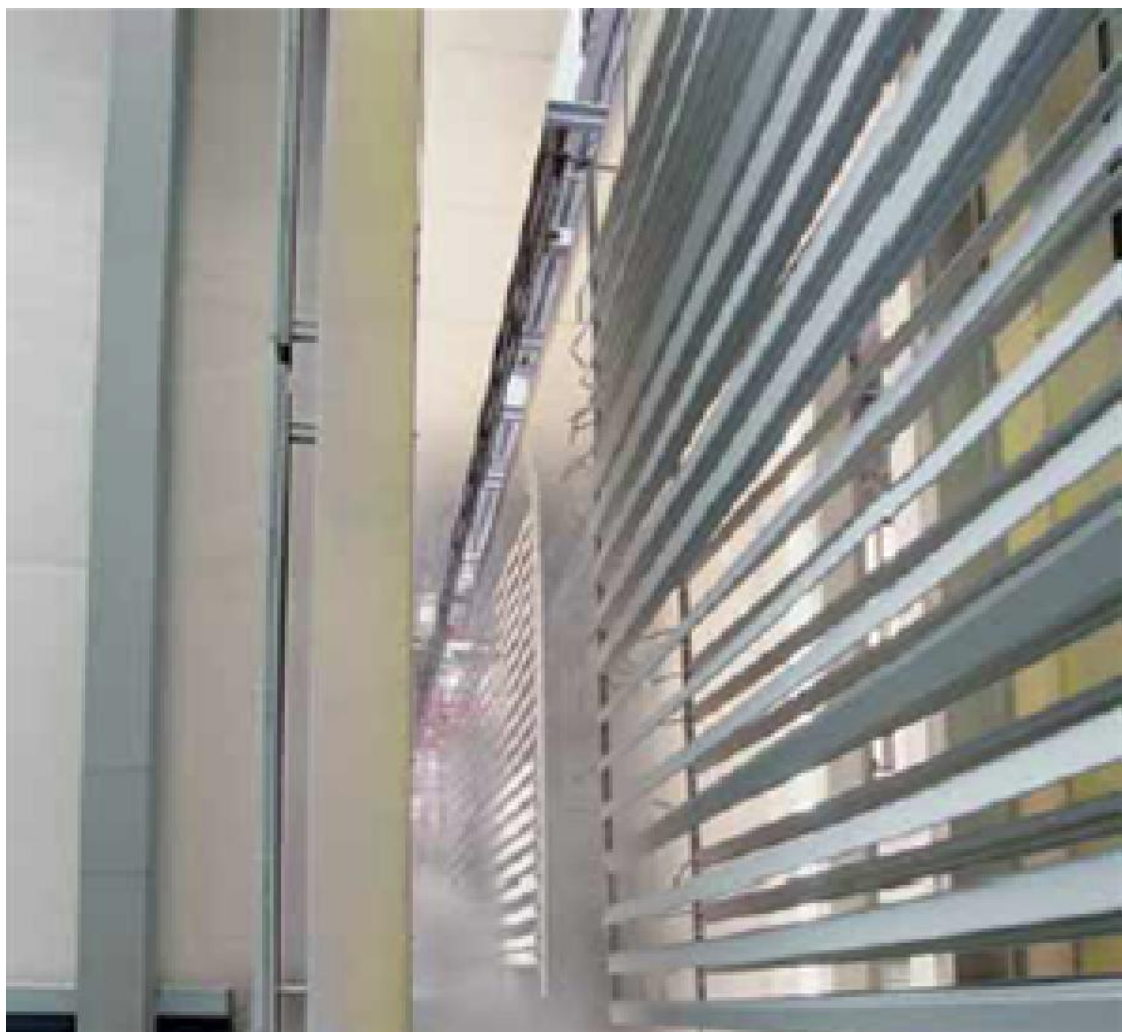


***ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ,  
ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ  
ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ  
ΒΑΦΗ.***



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Γενικά
- 1.2 Ιστορική αναδρομή ανακάλυψης του αλουμινίου

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ - ΚΡΑΜΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

- 2.1 Γενικά στοιχεία για το αλουμίνιο
- 2.2 Ιδιότητες του μετάλλου
- 2.3 Παραγωγή Αλουμινίου  
*Κύκλωμα Bayer*
- 2.4 Μορφοποίηση Αλουμινίου
- 2.5 Το αλουμίνιο και τα κράματα του
- 2.6 Κωδικοποίηση Κατεργασιών Αλουμινίου

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

- 3.1 Γενικά
  - Ομοιόμορφη προσβολή -Γαλβανική διάβρωση*
  - Διάβρωση κοιλοτήτων (Crevice corrosion)*
  - μικρό-διάβρωση (Pitting)*
  - Περικρυσταλλική διάβρωση (Intergranular corrosion) Νηματοιειδής διάβρωση (Filiform corrosion) Διάβρωση απολέπισης (exfoliation corrosion ) Σειρά Ηλεκτροθετικότητας Μετάλλων και Κραμάτων σε σχέση με καθαρό αλουμίνιο*
- 3.2 **Νηματοιειδής διάβρωση**

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

- 4.1 Γενικά
- 4.2 Θερμικές κατεργασίες κραμάτων αλουμινίου
- 4.3 Μηχανισμοί θερμικών κατεργασιών κραμάτων αλουμινίου
- 4.4 Στάδια θερμικών κατεργασιών

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΒΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΟΔΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΒΑΦΗ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**

- 6.1 Γενικά
- 6.2 Τεχνολογία Ηλεκτροστατικής Βαφής
- 6.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτροστατική βαφής αλουμινίου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΑΝΟΔΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**

- 7.1 Γενικά
- 7.2 Τεχνολογία ανοδίωσης
- 7.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά της ανοδίωσης αλουμινίου

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**Επιστημονικά Άρθρα και Δημοσιεύσεις σε διεθνείς ισότοπους.**

**A.D. Yfantis, "DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF CORROSION RESISTANT LAYERS OF CONDUCTING POLYMERS ON ALUMINIUM ALLOYS" PhD Thesis, BTU - Cottbus ,(2000)**

**D.G. Altenpohl, ALUMINUM: TECHNOLOGY, APPLICATIONS AND ENVIRONMENT, A PROFILE OF A MODERN METAL, The Aluminum Association Inc and TMS, Washington ,(1997)**

**Λ.Κοπορός, Η ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙ, Το Αλουμίνιο, (Τεύχος Ιουλίου 2001)**





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, θα παρουσιάσω τις ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του. Αρχικά , θα αναφερθώ στις τεχνικές κατεργασίες των μετάλλων γενικά και θα συνεχίσω με μια ιστορική αναδρομή από την ανακάλυψη του αλουμινίου ως σήμερα. Στην συνέχεια, θα ασχοληθώ με τα κράματα του αλουμινίου και τις ιδιότητες του, όπως για παράδειγμα το χαμηλό ειδικό βάρος του και με την παραγωγή του μετάλλου, ειδικότερα στο κύκλωμα Bayer. Παρακάτω , θα μιλήσω για τη διάβρωση του αλουμινίου και για τα είδη της , ενώ στο επόμενο κεφάλαιο, θα παρουσιάσω τις θερμικές κατεργασίες του αλουμινίου και των κραμάτων του. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην ηλεκτροστατική βαφή και την ανοδίωση του αλουμινίου. Και στα δυο τελευταία κεφάλαια θα γίνει μια ανάλυση ειδικότερη αυτών των δυο.**







# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

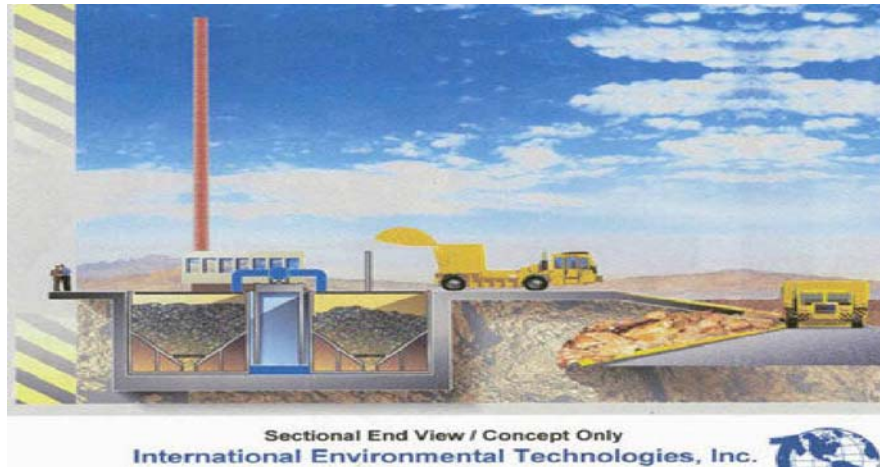
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Για να λειτουργήσει η βιομηχανική κοινωνία στην οποία ζούμε καταναλώνει καθημερινά τεράστιες ποσότητες ενέργειας με τη μορφή του ηλεκτρισμού, των καυσίμων και του ορυκτού πλούτου, ο οποίος περιλαμβάνει μέταλλα όπως ο χαλκός, ο σίδηρος, το αλουμίνιο. Τα μέταλλα σπάνια βρίσκονται στη φύση σε ελεύθερη κατάσταση, δηλαδή έτοιμα να χρησιμοποιηθούν. Συνήθως απαντώνται σε μεταλλεύματα από την επεξεργασία των οποίων παίρνουμε το χρήσιμο κάθε φορά συστατικό. Όλα τα αποθέματα ορυκτών είναι εξαντλήσιμα μέχρι κάποιο βαθμό και για το λόγο αυτό πρέπει να είναι πάντα συνετή η εκμετάλλευση και η χρησιμοποίησή τους.

Τα μέταλλα λαμβάνονται από τα μεταλλεύματα μέσω των μεταλλουργικών διεργασιών. Αυτό σημαίνει συγκέντρωση του πολύτιμου μετάλλου από τον ακατέργαστο βράχο, ενώ στη συνέχεια το υλικό υφίσταται χημική και συχνά θερμική κατεργασία, προκειμένου να εξαχθεί το καθαρό μέταλλο. Σπάνια χρησιμοποιούνται τα μέταλλα στην καθαρή τους κατάσταση. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούμε κράματα των μετάλλων, δηλαδή μίγματα με άλλα στοιχεία. Για τα κράματα θα μιλήσουμε στη συνέχεια.

Κάθε μέρα στη Γη, εκατομμύρια τόνοι διαφορετικών πρώτων υλών μεταφέρονται στα εργοστάσια,



όπου μετατρέπονται με διάφορες διεργασίες σε τελικά προϊόντα (**σχήμα**) , έτοιμα να φτάσουν στο εμπόριο και να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές. Αυτή η δραστηριότητα του μετασχηματισμού των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα απασχολεί τις βιομηχανίες και είναι ένα θεμελιακό στοιχείο της οικονομίας του καιρού μας. Η φύση, το κεφάλαιο και η εργασία, που χαρακτηρίζονται ως συντελεστές της παραγωγής, μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους κατά διαφορετικές αναλογίες, με την έννοια ότι η διαθέσιμη ποσότητα του ενός από τα στοιχεία αυτά δεν αποτελούν όριο για τη χρησιμοποίηση των άλλων. Ανάλογα με την υπεροχή του ενός συντελεστή σε σχέση με τους άλλους, έχουμε τις διάφορες μορφές παραγωγικής δραστηριότητας. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε την πρωτογενή δραστηριότητα, όπως η γεωργία, η κτηνοτροφία, το κυνήγι, η εξόρυξη των μεταλλευμάτων, τη δευτερογενή δραστηριότητα, όπως η βιομηχανία, που ασχολείται με την μεταποίηση των αγαθών που προσφέρει η πρωτογενής παραγωγή και τον τριτογενή τομέα που περιλαμβάνει δραστηριότητες, όπως το εμπόριο, οι μεταφορές, το χρηματιστήριο, η διοίκηση .

Στη φύση δεν βρίσκονται σχεδόν ποτέ καθαρά μέταλλα. Αντιθέτως, τα μέταλλα συνήθως απαντώνται σε πολύπλοκες ενώσεις με άλλα στοιχεία. Οι ενώσεις αυτές, ή τα ορυκτά τους αποτελούν την τεράστια ποικιλία των μεταλλευμάτων που βρίσκονται στο υπέδαφος. Ο στόχος της εξόρυξης είναι να συλλέγουν αυτά τα μεταλλεύματα. Για να πάρουμε το μέταλλο από το μέταλλευμα, πρέπει το μέταλλευμα να διαχωριστεί από τα σύνδρομα ορυκτά, δηλαδή να γίνει ο καθαρισμός του μεταλλεύματος. Το πρώτο βήμα είναι ο θρυμματισμός του ορυκτού και ο εμπλουτισμός του με τη βοήθεια διαφόρων

διεργασιών. Στη συνέχεια, για να εξαχθούν τα μέταλλα από τα ορυκτά χρησιμοποιούνται τεχνικές εξαγωγής, από τις οποίες οι πιο συνηθισμένες περιλαμβάνουν τη χρησιμοποίηση θερμότητας (μεταλλουργικές κατεργασίες). Κατά την πυρομεταλλουργία, τα μεταλλεύματα υφίστανται μια διαδικασία έψησης κατά την οποία γίνονται διάφορες χημικές αντιδράσεις. Με τη θέρμανση κάποιες ουσίες οξειδώνονται και απομακρύνονται, ενώ το χρήσιμο υλικό τήκεται. Το τηγμένο μέταλλο μπορεί να υποστεί περαιτέρω καθαρισμό με ειδικές μεθόδους, ενώ η σχηματιζόμενη σκουριά που περιέχει τα άχρηστα υλικά οδηγείται προς απόθεση ή χρησιμοποιείται, εφ' όσον διαθέτει κάποιες προδιαγραφές, σε ειδικές εφαρμογές.

Αφού ένα μέταλλο καθαριστεί είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί. Τα καθαρά μέταλλα είναι κατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση, επειδή είναι πολύ εύθραυστα ή τους λείπουν ειδικές ιδιότητες, όπως η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό τα μέταλλα συνδυάζονται με κατάλληλες ποσότητες άλλων υλικών και σχηματίζουν κράματα. Η προσθήκη των επιπλέον ουσιών στα βασικά μέταλλα μεταβάλλει τις ιδιότητες τους κατά τρόπο που μπορεί να προβλεφθεί. Έτσι, τα μέταλλα μπορούν να σκληρυνθούν, να γίνουν πιο ανθεκτικά στη διάβρωση ή πιο εύκολα στην κατεργασία. Η παρασκευή κραμάτων είναι ένας από τους πιο σημαντικούς κλάδους της μεταλλουργίας

Οι βασικές τεχνικές κατεργασίας μετάλλων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες.

- I. **Η χύτευση**, όταν το τηγμένο μέταλλο χύνεται ή εμψύσεται μέσα σ' ένα καλούπι. (**σχήμα**)



Όταν το μέταλλο

στερεοποιηθεί, το καλούπι απομακρύνεται, αφήνοντας το χυτό αντικείμενο, το οποίο έχει αποκτήσει το επιθυμητό σχήμα. Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι χύτευσης που διαφέρουν ανάλογα με το αν το καλούπι μπορεί να χρησιμοποιηθεί

επανελημμένα ή μόνο μια φορά. Οι μέθοδοι αυτές είναι η χύτευση με άμμο, η χύτευση της επένδυσης, η χύτευση υπό πίεση, η συνεχής, η φυγόκεντρος, η χύτευση με συμπίεση, η κατευθυνόμενη χύτευση και η χύτευση μονοκρυστάλλων, κάθε μια από τις οποίες παρουσιάζει ειδικά χαρακτηριστικά.

**II. Με μηχανικά μέσα** όπου το στερεό μέταλλο εξαναγκάζεται να πάρει ένα επιθυμητό σχήμα. Ο απλούστερος τρόπος μορφοποίησης μορφοποίησης ενός μετάλλου είναι να χτυπηθεί με ένα σφυρί. Περισσότερο πολύπλοκες μέθοδοι αυτού του είδους περιλαμβάνουν σύνθλιψη μεταλλικών τεμαχίων με μήτρες, συμπίεση φύλλων μετάλλου ανάμεσα σε κυλίνδρους για να γίνουν λεπτότερα και τράβηγμα ή πέρασμα με πίεση μέσα από μικρές τρύπες, για κατασκευή συρμάτων ή σωληνώσεων. Τα μέταλλα μπορούν να κατεργαστούν όταν είναι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή μπορούν να θερμανθούν για να γίνουν πιο εύπλαστα, οπότε είναι και πιο εύκολη η κατεργασία τους.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή της ανακάλυψης του αλουμινίου

Ας αρχίσουμε την ιστορική αναδρομή μας από την εποχή που το αλουμίνιο ανακαλύφθηκε ως μέταλλο μέχρι και τη σημερινή εποχή που αποτελεί υλικό συνυφασμένο με την καθημερινότητα μας.

Το 1761 προτάθηκε για πρώτη φορά στην ιστορία το όνομα "alume" από τον de Morveau, ως η βάση του "alum", δηλαδή του μετάλλου που δεν υπήρχε ακόμα στην καθαρή του μορφή. Αργότερα, το 1807, ο Sir Humphrey Davy πρότεινε το όνομα "aluminium" για το μέταλλο, ενώ λίγο αργότερα συμφώνησε με τον όρο "aluminum", όνομα που ακόμα χρησιμοποιείται για το αλουμίνιο στην Βόρεια Αμερική.

Λίγο αργότερα ο όρος "**aluminium**" (αλουμίνιο) καθιερώθηκε έτσι ώστε να μην διαφέρει το όνομα του νέου μετάλλου από τα άλλα καθιερωμένα ονόματα των φυσικών στοιχείων που έχουν κατάληξη σε "-ium". Η διεθνής λοιπόν χημική ονομασία του νέου μετάλλου είναι "αλουμίνιο" μέχρι και τις μέρες μας. Το ίδιο ίσχυσε και στις ΗΠΑ μέχρι το 1925, όταν η Αμερικανική Εταιρεία Χημείας αποφάσισε να αλλάξει το όνομα ξανά σε "aluminum". Έτσι ακόμα και σήμερα οι Αμερικάνοι χρησιμοποιούν αυτή την ονομασία, σε αντίθεση με τον υπόλοιπο κόσμο.

Ας επιστρέψουμε όμως στην ιστορική μας αναδρομή. Ο Hans Christian Oersted ήταν ο πρώτος επιστήμονας, που κατόρθωσε να παράγει καθαρό αλουμίνιο το 1825, χρησιμοποιώντας το χλωρίδιο του αλουμινίου ( $AlCl_3$ ) και αμάλγαμα ποτάσας (ανθρακικό ή καυστικό κάλιο), δηλαδή ένα κράμα ποτάσας και ψευδαργύρου. Ο Oersted ανεβάζοντας τη θερμοκρασία του μίγματος, σε κατάσταση χαμηλής πίεσης πέτυχε την απομάκρυνση του ψευδαργύρου, ενώ το εναπομείναν υλικό ήταν το αλουμίνιο. Με την διαδικασία αυτή γεννήθηκε το μέταλλο που άλλαξε την ιστορία της επιστήμης και της τεχνολογίας και έστειλε τον άνθρωπο στο φεγγάρι, δίνοντας του παράλληλα τη δυνατότητα να κατασκευάσει αντικείμενα με μεγάλη αντοχή.

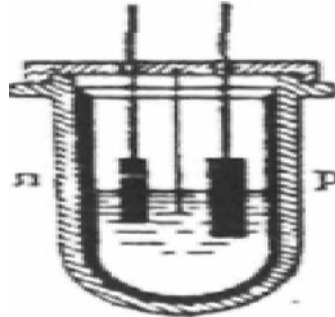
Η ανακάλυψη του αλουμινίου δημιούργησε ένα "πολύτιμο" μέταλλο, αφού ήταν πολύ δύσκολη και ακριβή η παραγωγή του. Ας δούμε με μια γρήγορη ματιά πώς εξελίχθηκε η παραγωγή του μετάλλου αυτού από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα:

- **1808** :Ο **Βρετανός Davy** ανακαλύπτει την ύπαρξη του νέου μετάλλου.
- **1821** :Ο **P.Berthier** ανακαλύπτει κοντά στο χωριό Les Baux στη Γαλλία μια σκληρή και κοκκινωπή ουσία που περιέχει 52% περίπου αλουμίνιο και την ονομάζει βωξίτη.
- **1825** :Ο Δανός **Hans Christian Oersted** παράγει μια μικρή ποσότητα αλουμινίου χρησιμοποιώντας διάλυμα ποτάσας.
- **1827** :Ο Γερμανός **Friedrich Wohler** ανακοινώνει την ανακάλυψή του για την παραγωγή αλουμινίου μέσω της αντίδρασης ποτάσας με άνυδρο χλωρίδιο του αλουμινίου.
- **1845** :Ο **Wohler** ανακαλύπτει και καταγράφει την πυκνότητα του αλουμινίου και άρα και μια από τις βασικές του ιδιότητες, την ελαφρότητα.
- **1854** :Ο **Henri Saite-Claire Deville** βελτιώνει τη μέθοδο του Wohler και παράγει βιομηχανικά αλουμίνιο για πρώτη φορά στην ιστορία. Η τιμή του μετάλλου ξεπερνά αυτή του χρυσού και της πλατίνας.
- **1855** : Μια ράβδος αλουμινίου εκτίθεται στην Διεθνή Έκθεση των Παρισίων μαζί με άλλα πολύτιμα μέταλλα.
- **1886** : Δυο νέοι και άγνωστοι μέχρι τότε επιστήμονες, ο Γάλλος **Paul Louis Toussaint Heroult** και ο Αμερικανός **Charles Martin Hall**, εφευρίσκουν την μέθοδο παραγωγής αλουμινίου μέσω της ηλεκτρόλυσης διαλύματος αλουμίνης. Οι δυο επιστήμονες εργάστηκαν ξεχωριστά, χωρίς να ξέρουν ο ένας την εργασία του άλλου.
- **1888**: Οι πρώτες εταιρείες παραγωγής αλουμινίου γεννήθηκαν στη Γαλλία, την Ελβετία και τις ΗΠΑ.



Η πρώτη εγκατάσταση βιομηχανικής παραγωγής αλουμινίου(Πίτσμπουργκ ΗΠΑ).

- **1889** :Ο Αυστριακός Friedrich Bayer, γιος του ιδρυτή της περίφημης εταιρείας χημικών ουσιών, εφευρίσκει τη μέθοδο παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων αλουμίνας από τον βωξίτη.



Ηλεκτρολυτική κυψέλη

- **1900** : Η ετήσια παραγωγή του αλουμινίου σπάει κάθε ρεκόρ, φτάνοντας τους 8 τόνους σε ετήσια βάση.

Οι πρώτες χρήσεις του αλουμινίου σε βιομηχανικές εφαρμογές ξεκίνησαν τις ακόλουθες χρονιές:

- **1908**: όταν πραγματοποιήθηκε η παραγωγή καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης.
- **1910**: με την παραγωγή καλωδίων για χρήση σε υπόγειες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες ήταν μονωμένες με μολύβι και χαρτί και χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στην Βοστώνη.
- **1912**: με την παραγωγή κουπαστών εσωτερικών χώρων από αλουμίνιο στο επιβατικό πλοίο AQUITANA.
- **1917**: με την παραγωγή καλωδίου για μετασχηματιστές ηλεκτρικής ενέργειας και το
- **1920**: με την παραγωγή μηχανικών μερών για μηχανές.

Η πρώτη μονάδα για την παραγωγή του πρωτόχυτου αλουμινίου σε βιομηχανικές ποσότητες δημιουργήθηκε στον Καναδά (από την εταιρεία Northern Aluminium Company, που αργότερα έγινε η Alcan). Η μονάδα αυτή παρήγαγε έναν τόνο αλουμινίου την ημέρα από το έτος 1901,

Η πρώτη μεγάλη βιομηχανική μονάδα  
παραγωγής αλουμινίου που  
δημιουργήθηκε από  
την ALCAN το 1925



όταν ξεκίνησε την λειτουργία της. Η πατρίδα της πρώτης αυτής μονάδας ήταν το Shawinigan Falls Quibec, κοντά στον ποταμό Saint Maurice, ιδανική τοποθεσία για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το 1925, καθώς η ζήτηση για αλουμίνιο αυξανόταν, η Alcan αύξησε την παραγωγή της κατασκευάζοντας νέα μονάδα παραγωγής αλουμινίου και ηλεκτρικής ενέργειας στην πόλη Arvida της ίδιας Καναδικής πολιτείας. Η ιστορία της Alcan ήταν παράλληλη με την ιστορία παραγωγής πρωτόχυτου αλουμινίου στις ΗΠΑ από την Alcoa και αργότερα από άλλες Ευρωπαϊκές εταιρείες. Η άνοδος της κατανάλωσης του αλουμινίου σήμανε, όπως ήταν επόμενο, τη μείωση της κατανάλωσης χαλκού σε πολλές και σημαντικές εφαρμογές.





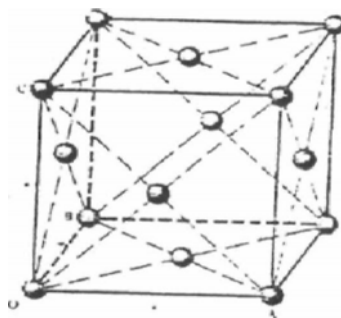
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ - ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

#### 2.1 Γενικά στοιχεία για το αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι χημικό στοιχείο που ανήκει στην τρίτη ομάδα του Περιοδικού Συστήματος. Ο ατομικός αριθμός του είναι 13, το σύμβολο του Al, το ατομικό του βάρος 26,97 και το ειδικό βάρος του, δηλαδή η πυκνότητά του είναι ίση με 2,7. Το **σημείο τήξης** του είναι περίπου **659,7°C** και το **σημείο ζέσεως 2057°C**.

Η κατανομή των ηλεκτρονίων στις διάφορες στοιβάδες είναι η ακόλουθη: **1s-2s-2p-3s-3p**. Το αλουμίνιο κρυσταλλώνεται στο εδροκεντρωμένο κυβικό σύστημα και η ατομική του ακτίνα είναι 2,856Å (όπου 1Å ισοδυναμεί με  $10^{-8}$  cm). Η σταθερά του πλέγματος είναι 4,05 Å. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η δομή του αλουμινίου. Στην εδροκεντρωμένη κυβική δομή (**σχήμα 1**), οι πυκνές διευθύνσεις σε άτομα είναι οι διαγώνιες του κύβου, δηλαδή οι διευθύνσεις. Πάνω σ' αυτές τα άτομα εφάπτονται μεταξύ τους.



(σχήμα 1)

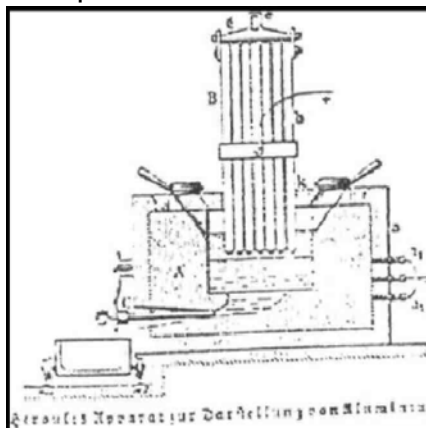
Γενικά, σαν χημικό στοιχείο το αργίλιο είναι το τρίτο σε περιεκτικότητα στο γήινο φλοιό (σε ποσοστό 7,5%), μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Παρά την φανερή αφθονία του όμως, η ανακάλυψη του καθυστέρησε σημαντικά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τη μεγάλη χημική του συνάφεια με άλλα στοιχεία. Το αλουμίνιο υπάρχει σχεδόν παντού στη φύση, αλλά «κλειδωμένο» σε

διάφορες χημικές ενώσεις με μεγάλη χημική ευστάθεια. Συναντιέται σε ενώσεις όπως ο φθορίτης και ο λεπιδόλιθος. Βρίσκεται στους βωξίτες ως υδροξείδιο του αργιλίου, στους αστρίους με τη μορφή του πυριτικού αργιλίου, ενώ ακόμα απαντάται στους μαρμαρυγίες, στο κορούνδιο (ως οξείδιο  $Al_2O_3$ ), στον άργιλο και στον κρυόλιθο (ως φθοριούχο αργίλιο.  $AlF_3 \cdot 3NaF$ ).

Η χρήση, ωστόσο, αρκετών από τις χημικές του ενώσεις είναι ιστορικά αποδεδειγμένη για την Αίγυπτο και την Βαβυλώνα.

Η σπουδαιότερη ένωση του αλουμινίου είναι το οξείδιο του αλουμινίου ή αλουμίνα, όχι μόνο γιατί αποτελεί μια από τις βάσεις για την παραγωγή αυτού του μετάλλου, αλλά και γιατί η ίδια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές, όπως σε τεχνητούς πολύτιμους λίθους, λειαντικά και αλλού. Είναι αρκετά ανθεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες και βρίσκει χρήση στην κατασκευή κλιβάνων και χωνευτηρίων. Άλλες σημαντικές ενώσεις είναι το χλωριούχο αλουμίνιο, που είναι πολύ υγροσκοπικό και σε υγρή ατμόσφαιρα εκλύει ατμούς υδροχλωρίου, το θειικό αλουμίνιο, που βρίσκει εφαρμογή στη βυρσοδεψία, τη βαφική, τη βιομηχανία χάρτου και το φθοριούχο αλουμίνιο, που είναι ο γνωστός κρυόλιθος.

Το πιο αποφασιστικό βήμα, όπως είδαμε για την ανακάλυψη του αλουμινίου έγινε το 1886, με την ταυτόχρονη ανακάλυψη σε Αμερική και Γαλλία της ηλεκτρολυτικής μεθόδου κτήσης του μετάλλου από το οξείδιο του αλουμινίου. Ο Αμερικανός Hall και ο Γάλλος Heroult χάραξαν το δρόμο, που μετέτρεψε σε λεωφόρο ο Γερμανός **Bayer** το 1888, επινοώντας μια λογικά οικονομική μέθοδο παραγωγής αλουμίνας από τον βωξίτη, οπότε σε μια νύχτα η τιμή του μετάλλου έπεσε από τα 18\$ στα 4,5\$. Στο σημείο αυτό ξεκίνησε η βιομηχανική ιστορία του αλουμινίου.



Διάταξη ηλεκτρόλυσης Heroult Λεξικό Meyer-Έκδοση

1905

## 2.2 Ιδιότητες του μετάλλου

Το αλουμίνιο είναι μέταλλο λευκό-αργυρόχρωμο, ελαφρύ και ευκατέργαστο. Παρουσιάζει μεγάλη χημική δραστικότητα και καλή αντίσταση στη διάβρωση, γιατί καλύπτεται γρήγορα από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου που προστατεύει την επιφάνεια από αλλοιώσεις. Σε καθαρή κατάσταση φέρεται σε εύκαμπτες πλάκες ή σε λεπτή σκόνη, που όταν καίγονται σε ατμόσφαιρα οξυγόνου παράγουν έντονο φως (λυχνία αλουμινίου). Το αλουμίνιο δεν προσβάλλεται από το νιτρικό οξύ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ το υδροχλωρικό οξύ και το υδροφθορικό αντιδρούν έντονα αν έρθουν σ' επαφή με αυτό. Είναι καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού, γιατί έχει το 62% της αγωγιμότητας του χαλκού με μικρότερο ειδικό βάρος απ' αυτόν και χαμηλότερο κόστος. Με μαζικό αριθμό 27, διαθέτει 6 ραδιενεργά ισότοπα, από τα οποία μόνο το ένα είναι ευσταθές και βρίσκεται σε κάποιους μετεωρίτες, στους οποίους παράγεται από την κοσμική ακτινοβολία, ενώ χάρη στο μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού του χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ραδιενέργειας ως πρότυπο και σε έρευνες της διάβρωσης των κραμάτων.

Συνοπτικά οι σπουδαιότερες ιδιότητες του είναι:

- > Το **χαμηλό ειδικό του βάρος**, το οποίο είναι μόλις το 1/3 του ειδικού βάρους του σιδήρου.
- > Το αλουμίνιο διαμορφώνεται, ελάσσεται, εξελάσσεται, διελάσσεται, συγκολλάτε και συνεπώς αποτελεί ιδανικό μέταλλο κατασκευών. Το μέτρο ελαστικότητας του (ίσο με 70.000 MPa) είναι τρεις φορές χαμηλότερο από εκείνο του σιδήρου. Σε δεδομένη κατάσταση φόρτισης, μια κατασκευή από αλουμίνιο παρουσιάζει **3 φορές μεγαλύτερη ελαστική επιμήκυνση** από μια σιδερένια κατασκευή.
- > Το ίδιο το αλουμίνιο, αλλά και τα περισσότερα από τα κράματα του είναι ανθεκτικά σε πολλές μορφές διάβρωσης. Λόγω της μεγάλης χημικής συνάφειας με το οξυγόνο, η **φυσική επιφάνεια του μετάλλου είναι μονίμως καλυμμένη με στρώμα οξειδίου του αργιλίου, που αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό εμπόδιο εξάπλωσης της διάβρωσης**. Αυτή η ιδιότητα, το κάνει ιδιαίτερα δημοφιλές στη δόμηση, όπως επίσης στον κατασκευαστικό κλάδο, στη ναυπηγική, στη διαστημική τεχνολογία,

αλλά και γενικότερα στη βιομηχανία κατασκευής μεταφορικών μέσων (αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα)

- ◆ Το μειωμένο έως μηδενικό

κόστος συντήρησης σε συνδυασμό πάντα με το χαμηλό ειδικό βάρος επηρεάζουν θετικά την επιλογή ίου αλουμινίου για πληθώρα εφαρμογών.



- ◆ Το αλουμίνιο είναι **πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού.**

- ◆ Δεν μαγνητίζεται και δεν καίγεται, ιδιότητες που θεωρούνται πολύ σημαντικές για ειδικές εφαρμογές, όπως στην τεχνολογία ηλεκτρονικών και σε θαλάσσιες κατασκευές (για παράδειγμα σε πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου).

- ◆ Το αλουμίνιο δεν είναι τοξικό, είναι αδιαπέραστο για διάφορα περιβάλλοντα μέσα, γεγονός που το καθιερώνει σαν βασική πρώτη ύλη για τις συσκευασίες γενικά, αλλά και για τις εύκαμπτες συσκευασίες τροφίμων.



Τέλος, παρουσιάζει **υψηλή ανακλαστικότητα. πολύ καλή**

**θερμική αγωγιμότητα (σχεδόν διπλάσια του σιδήρου)** ιδιότητες πολύ χρήσιμες στη δομική, στις μονώσεις, τη βιομηχανία παραγωγή θερμικών ενναλακτών.



Εναλλάκτης αλουμινίου  
ελληνικής κατασκευής

Βλέπουμε λοιπόν ότι το αλουμίνιο είναι ελατό και όλκιμο. Είναι άριστος αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού και παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση. Επειδή μπορεί να γίνει ανθεκτικό σαν το χάλυβα, έχοντας μόνο το ένα τρίτο του βάρους του, είναι αναντικατάστατο για την κατασκευή της ατράκτου των αεροσκαφών και για ουρανοξύστες εν

λόγω της ευλυγισίας του, χρησιμοποιείται σε ελάσματα. Ακόμα, είναι το περισσότερο ανακυκλώσιμο απ' όλα τα μέταλλα.



Το αλουμίνιο, όπως ο σίδηρος και πολλά άλλα μέταλλα, είναι στην καθαρή του μορφή σχετικά μαλακό. Επίσης οφείλει τις πολλαπλές χρήσεις του στις διάφορες ιδιότητες που αποκτά όταν σχηματίζει κράματα με διάφορα χημικά στοιχεία. Ο χαλκός το κάνει ανθεκτικότερο, ενώ το βόριο αυξάνει την ηλεκτροαγωγιμότητά του και το μαγνήσιο το κάνει αντιδιαβρωτικό.

Ένα ανθεκτικό και ελαφρύ κράμα του αλουμινίου, το ντουραλουμίνιο, δημιουργείται με πρόσμιξη μικρής ποσότητας χαλκού, μαγνησίου και μαγγανίου. Στη διάρκεια του χρόνου, κατασκευάστηκαν ακόμα ελαφρότερα και ανθεκτικότερα κράματα και σήμερα αυτά αποτελούν αναντικατάστατο υλικό των αεροσκαφών.

## 2.3 Παραγωγή Αλουμινίου

Η βιομηχανική παραγωγή του αλουμινίου που στηρίχθηκε στην **ηλεκτρόλυση της αλουμίνας ( $Al_2O_3$ )**, άρχισε το 1866 στην Γαλλία και στις ΗΠΑ. Τριάντα χρόνια αργότερα χρηματοδοτήθηκε έρευνα για το αλουμίνιο ώστε να βελτιωθούν οι τεχνικές καθαρισμού και να μειωθεί το κόστος παραγωγής του. Αν και το κόστος μειώθηκε μέχρι το 1859 από 253 σε 37 δολάρια το κιλό, το αλουμίνιο συνέχισε να είναι ένα σπάνιο μέταλλο, λόγω της αδυναμίας για παραγωγή του σε μεγάλη κλίμακα.

Το 1886 έγινε το αποφασιστικό βήμα στην παραγωγή του αλουμινίου με μια διαδικασία που λέγεται ηλεκτρόλυση, δηλαδή μια μέθοδο διαχωρισμού χημικών στοιχείων με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε ένα διάλυμα. Η ηλεκτρόλυση βασίζεται στο ότι ορισμένες χημικές ενώσεις

ιοντίζονται όταν διαλύονται σε ορισμένα είδη υγρών. Ένα συνηθισμένο άτομο δεν έχει ηλεκτρικό φορτίο γιατί τα θετικά και τα αρνητικά του φορτία εξουδετερώνονται αμοιβαία. Όταν διαλύεται όμως μια ένωση σε κάποιο διαλύτη, μερικά από τα άτομα της αποκτούν ή χάνουν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, δηλαδή το αρνητικό τους φορτίο κι έτσι ανατρέπεται η ισορροπία και το κάθε ένα από αυτά τα άτομα έχει πλέον ένα ηλεκτρικό φορτίο και αποτελεί ιόν.

Η κατάσταση αυτή είναι δυνατό να παρουσιαστεί όταν διαλύεται μια ουσία σ' ένα υγρό. Το οξειδίο του αργιλίου (αλουμινίου), για παράδειγμα, που λέγεται αλουμίνα αποτελείται από δύο άτομα αργιλίου και τρία άτομα οξυγόνου και συμβολίζεται με τον τύπο  $Al_2O_3$ . Όταν διαλύεται στον κρυστάλλο ένα ορισμένο ποσοστό μορίων του οξειδίου του αλουμινίου διασπάται σε άτομα αργιλίου και άτομα οξυγόνου. Τα άτομα του οξυγόνου αποκτούν επιπλέον ηλεκτρόνια, ενώ τα άτομα του αργιλίου χάνουν μερικά από τα δικά τους. Συνεπώς, το διάλυμα του κρυστάλλου περιλαμβάνει σε διάλυση ένα μεγάλο αριθμό μορίων  $Al_2O_3$ , ένα μικρό αριθμό θετικά φορτισμένων ατόμων αργιλίου και ένα μικρό αριθμό αρνητικά φορτισμένων ατόμων οξυγόνου.

Η ηλεκτρόλυση εκμεταλλεύεται την κατάσταση αυτή για να διαχωρίζει χημικές ουσίες. Μέσα στο ηλεκτραγωγό διάλυμα βυθίζονται δύο ράβδοι από άνθρακα (ηλεκτρόδια) και συνδέονται με μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, ώστε το ένα ηλεκτρόδιο να έχει θετικό φορτίο και το άλλο αρνητικό. Τα θετικά ιόντα του αργιλίου κινούνται προς τον αρνητικό πόλο και τα αρνητικά ιόντα του οξυγόνου συγκεντρώνονται στο θετικό πόλο.

Οι πρώτοι πειραματιστές διέλυσαν αλουμίνα σε κρυστάλλο και κατόπιν διοχέτευσαν ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο διάλυμα, με αποτέλεσμα να σχηματιστούν αφ' ενός μικροί κόκκοι αλουμινίου, ενώ τα άτομα του οξυγόνου ενώθηκαν με τον άνθρακα του άλλου ηλεκτροδίου και σχημάτισαν φυσαλίδες αέριου διοξειδίου του άνθρακα. Σήμερα χρησιμοποιούνται ισχυρά ηλεκτρικά κυκλώματα από υδροηλεκτρικά φράγματα, τεράστιες χαλύβδινες δεξαμενές και γιγαντιαίοι κλίβανοι. Ο βωξίτης (ένυδρο οξειδίο του αλουμινίου με πυρίτιο και οξειδίο του σιδήρου), είναι η κύρια πηγή πρώτης ύλης για την παραγωγή αυτού του μετάλλου. Αν και έχουν βρεθεί μικρές ποσότητες βωξίτη στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη, η κύρια πηγή είναι οι χώρες που βρίσκονται κοντά στον Ισημερινό. Οι μεταλλουργίες παίρνουν το αλουμίνιο από το βωξίτη, ο

οποίος είναι το ένυδρο οξειδίο ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \eta\text{H}_2\text{O}$ ), με μεταβαλλόμενα ποσοστά οξειδίου του σιδήρου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), οξειδίου του πυριπίου ( $\text{SiO}_2$ ) και ίχνη άλλων ενώσεων, για παράδειγμα διοξειδίου του τιτανίου .

Με μεθόδους διαχωρισμού του μετάλλου, όπως η Μπάγιερ (Bayer-1884, που είναι η πιο γνωστή και διαδεδομένη), η Πέντερσεν, η Χολ και Χάγκλουντ παίρνουμε από το βωξίτη την αλουμίνα της οποίας η διάσπαση οδηγεί σε καθαρό αλουμίνιο.

Η αλουμίνα (εμπειρική ονομασία του οξειδίου του αλουμινίου) μπορεί να είναι ένυδρη ή άνυδρη, ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας της. Η ένυδρη αλουμίνα χρησιμοποιείται σε πλήθος εφαρμογών στη χημική βιομηχανία, ενώ η άνυδρη προκύπτει από την ένυδρη με ψήσιμο σε υψηλή θερμοκρασία για την αφαίρεση των περιεχομένων ποσοτήτων νερού και αποτελεί τη βασική πρώτη ύλη για τη παραγωγή πρωτόχυτου αλουμινίου. Η εξάπλωση των εφαρμογών αλουμινίου έχει ως συνέπεια την απορρόφηση ολοένα και μεγαλύτερων ποσοτήτων άνυδρης αλουμίνας (περισσότερο από 80% της παγκόσμιας παραγωγής αλουμίνας αντιστοιχεί στη λεγόμενη μεταλλουργική αλουμίνα που χρησιμοποιείται στην παραγωγή πρωτόχυτου αλουμινίου).



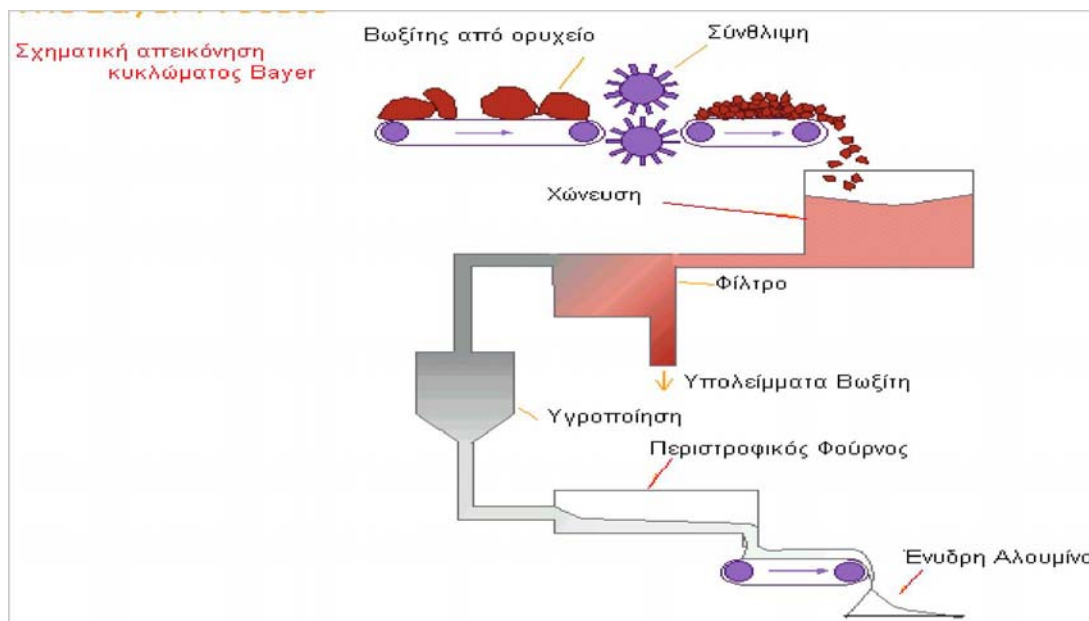
Η αλουμίνα αφού τηχθεί και αναμιχθεί με κρυόλιθο, εισάγεται σε μια δεξαμενή από σίδηρο (**σχήμα 3**) που έχει μεγάλη χωρητικότητα και επένδυση από πλίνθους άνθρακα. Σ' αυτή βυθίζονται ράβδοι από καθαρό άνθρακα και γίνεται η ηλεκτρόλυση, κατά την οποία ο αρνητικός πόλος της γεννήτριας συνδέεται με τους πλίνθους και ο θετικός με τις ράβδους. Το ηλεκτρικό ρεύμα, λόγω του φαινομένου Τζάουλ διατηρεί τηγμένο τον κρυόλιθο και στον



πτυθμένα της δεξαμενής (αρνητικός πόλος) συσσωρεύεται το αλουμίνιο, σε ρευστή κατάσταση, το οποίο έχει καθαρότητα 99% περίπου. Το αλουμίνιο ρέει από ένα άνοιγμα στη βάση της δεξαμενής και η διεργασία συνεχίζεται με την προσθήκη και τήξη νέας ποσότητας αλουμίνιας. Ο κρυόλιθος δεν καταναλώνεται, αλλά δρα σαν καταλύτης, ενώ το οξυγόνο που απελευθερώνεται από την αλουμίνα αντιδρά με τον άνθρακα των ράβδων και δίνει μονοξειδίο του άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα (ανυδρίτη ανθρακικού οξέος), φθείροντας τις ράβδους. Η τάση του χρησιμοποιούμενου ρεύματος είναι 5V και η ένταση περίπου 100.000A. Καταναλώνοντας 18.000KWH (κιλοβατώρες) παράγεται ένας τόνος αλουμινίου από δύο τόνους αλουμίνιας και 100 κιλά κρυόλιθου. Αυτό δείχνει ότι οι βιομηχανίες αλουμινίου είναι πολύ ηλεκτροβόρες. (Μπορούμε διαφορετικά να πούμε ότι για την παραγωγή 1 τόνου αλουμίνιας απαιτούνται: 2,2 τόνοι βωξίτη-3,5 κιλά καυστική σόδα-230 κιλά πετρέλαιο και 6 τόνοι νερό).

### Κύκλωμα Bayer

Το κύκλωμα Bayer λειτουργεί ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα. Αφού ο βωξίτης θραύεται και αλέθεται σε πολύ λεπτή κοκκομετρία, αναμιγνύεται με διάλυμα καυστικής σόδας. Το μίγμα που προκύπτει θερμαίνεται με τη βοήθεια ατμού σε θερμοκρασία 250°C και με τον τρόπο αυτό η αλουμίνα διαλυτοποιείται παράγοντας ένα σύμπλοκο με την καυστική σόδα. Τα υπόλοιπα αδρανή κατάλοιπα του βωξίτη (τα οποία παραμένουν αδιάλυτα), διαχωρίζονται με καθίζηση και απορρίπτονται. Το διάλυμα της ένωσης της αλουμίνιας με τη σόδα (αργιλικό νάτριο), αφού αραιωθεί και ψυχθεί με νερό, διαχωρίζεται στα επιμέρους συστατικά του, δηλαδή σε ένα αραιό διάλυμα σόδας (που μπορεί να συμπυκνωθεί με εξάτμιση και να χρησιμοποιηθεί ξανά για την επεξεργασία νέων ποσοτήτων βωξίτη) και στην ένυδρη αλουμίνα, η οποία με τη μορφή μικρών λευκών κόκκων, συγκρατείται σε ειδικά φίλτρα. Στη συνέχεια, η αλουμίνα πυρώνεται σε φούρνους σε θερμοκρασία 1300°C για να αφαιρεθεί η υγρασία και το κρυσταλλικό της νερό και η άνυδρη αλουμίνα που προκύπτει χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου .



Η παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας είναι περίπου 36 εκατομμύρια τόνοι και τα πιο μεγάλα ποσοστά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αλουμινίου, ενώ κάποιες μικρές ποσότητες για παραγωγή λειαντικών, φαρμάκων και μονωτικών υλών (το 90% της παραγωγής αλουμίνας χρησιμοποιείται για παραγωγή αλουμινίου και το υπόλοιπο στη χημική βιομηχανία πυριμάχων). Από την ηλεκτρόλυση της άνυδρης αλουμίνας παράγεται το πρωτόχυτο αλουμίνιο, ενώ το δευτερόχυτο αλουμίνιο ανακτάται με την ανακύκλωση μεταχειρισμένων προϊόντων και απορριμμάτων από αλουμίνιο.

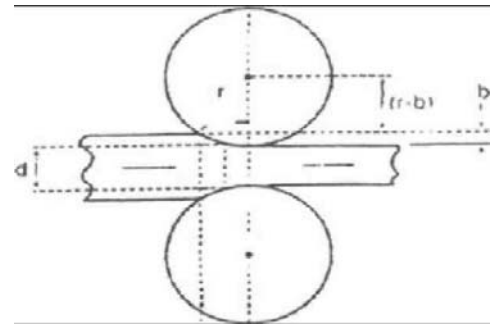
## 2.4 Μορφοποίηση αλουμινίου

Η έλλειψη εγχώριας αυτοκινητοβιομηχανίας και ανεπτυγμένων κλάδων μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών κατασκευών στη χώρα μας, έχει περιορίσει τη βιομηχανία πρώτης μορφοποίησης αλουμινίου σε δύο βασικούς τομείς:

- α) την **έλαση** και
- β) την **διέλαση**

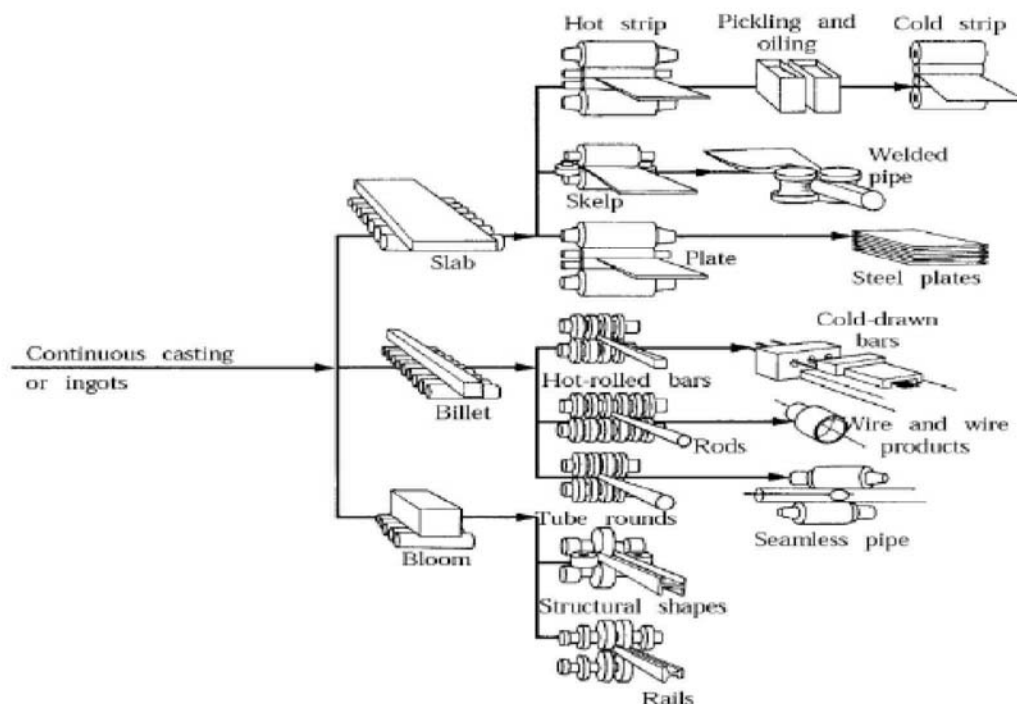
## A) Έλαση

Η έλαση είναι η διεργασία μορφοποίησης των μετάλλων με πλαστική παραμόρφωση ανάμεσα σε δύο αντίθετα περιστρεφόμενους κυλίνδρους (σχήμα 1), οι οποίοι παρασύρουν το υλικό με τη βοήθεια της δύναμης της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ των επιφανειών που έρχονται σε επαφή κατά την κίνηση. Ανάλογα με το άνοιγμα μεταξύ των κυλίνδρων επιτυγχάνουμε και την επιθυμητή παραμόρφωση. Η μείωση που παρατηρείται στο πάχος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους. Η μηχανή που κάνει την έλαση καλείται έλαστρο και σε βιομηχανική κλίμακα μπορούμε να συναντήσουμε γραμμές έλασης με διάφορους τύπους ελάστρων που σχηματίζουν συστοιχίες.



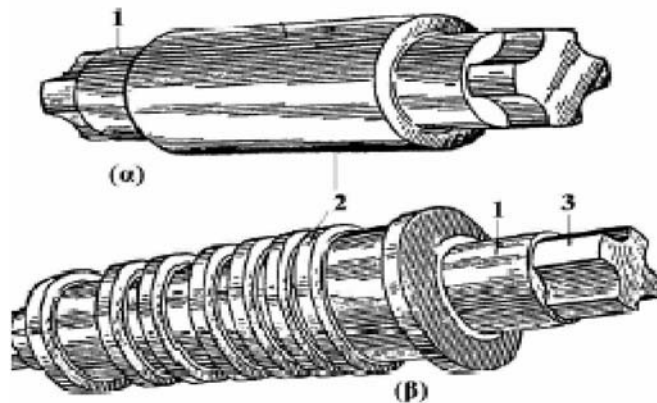
**σχήμα 1**

Τα προϊόντα της έλασης μπορεί να είναι υπό μορφή **κορμών (blooms)**, **πλάκας (slabs)** ή **πρίσματος (billets)**, ενώ μπορούν να επιτευχθούν οι επιθυμητές σε κάθε περίπτωση διατομές ή να παραχθούν ελάσματα διαφόρων τύπων (σχήμα 2).



**Σχ. 2 Προϊόντα έλασης**

Τα κυλινδρικά τύμπανα ονομάζονται και ράουλα τα οποία τροποποιούν την γεωμετρική μορφή τους ώστε να αποδώσουν το κατάλληλο σχήμα του τελικού προϊόντος(σχήμα 3).



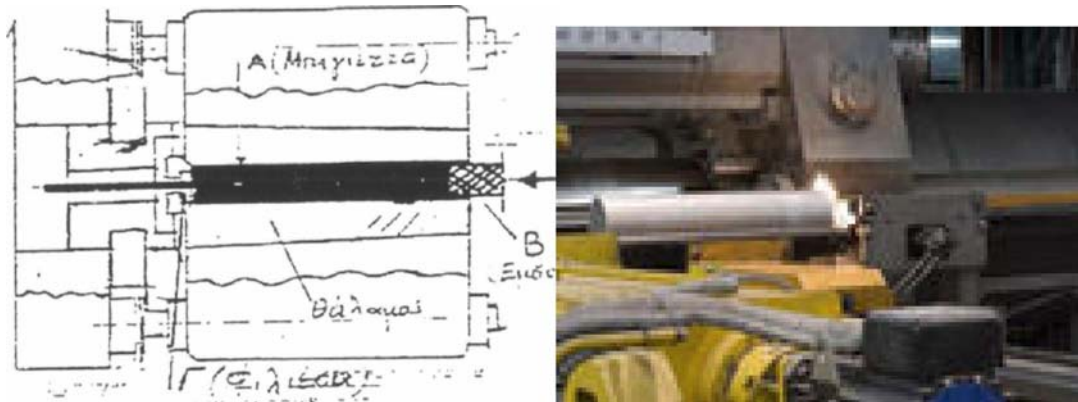
Τύποι ραούλων: (α) Κοντό ράουλο, (β) ράουλο μορφής  
1: Αξονας έδρασης, 2: Κύριο σώμα ραούλου, 3: Ακρο σύνδεσης

Η έλαση μπορεί να διακριθεί σε θερμή και ψυχρή. Με τη θερμή έλαση μετατρέπονται οι πλάκες του χυτηρίου σε ρολά και για την πραγματοποίηση της οι πλάκες προθερμαίνονται σε θερμοκρασία κοντά στο σημείο τήξεως, για να μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας. Η ψυχρή έλαση, από την άλλη πλευρά γίνεται σε ψυχρά έλαστρα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και μ' αυτή πραγματοποιείται η ελάττωση του πάχους των κατεργαζόμενων ρολών του αλουμινίου.

### **B) Διέλαση**

Η διέλαση είναι μια απλή τεχνική διαμόρφωσης. Κατά τη διεργασία αυτή μια μπιγιέτα τοποθετείται σε ειδικό θάλαμο και εξωθείται να περάσει μέσα από μια ειδικά διαμορφωμένη μήτρα (φιλιέρα) με τη βοήθεια εμβόλου. Η μήτρα έχει ορισμένη διατομή που συμπίπτει με τη μορφή της διατομής που θέλουμε να παραγάγουμε, δηλαδή με τη διατομή που θέλουμε να έχει το προφίλ μας. Με τη διεργασία αυτή, η αρχική μπιγιέτα μετατρέπεται σε ράβδο με την επιθυμητή διατομή. Το μέταλλο θα πρέπει να έχει την κατάλληλη θερμοκρασία και επειδή η μέθοδος εκμεταλλεύεται τις ρεολογικές ιδιότητες του υλικού, μπορούμε από μια αρχική μπιγιέτα μικρού μήκους να πάρουμε μια ράβδο μεγάλου μήκους, με τη διατομή που θέλουμε και σε ένα μόνο στάδιο, ενώ με άλλες διεργασίες θα χρειαζόνταν περισσότερα .

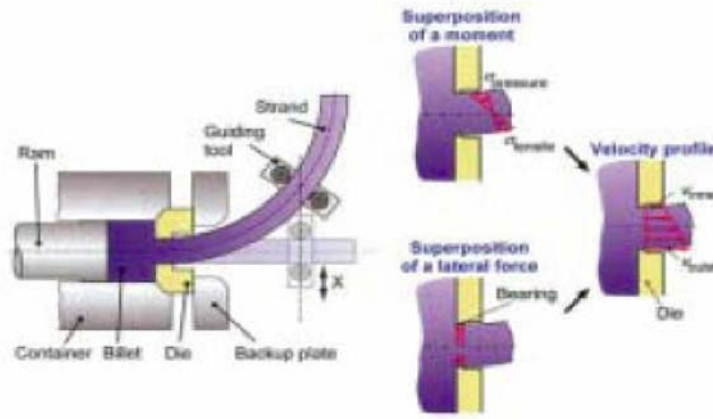
Η μορφοποίηση των ράβδων λαμβάνει χώρα σε ειδικές πρέσες(σχήμα). Η διέλαση απαιτεί ισχυρές πιέσεις, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η λίπανση των θαλάμων για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.



Συνήθως η διέλαση πραγματοποιείται εν θερμώ, όμως μπορεί να γίνει και εν ψυχρώ διέλαση, η οποία αναφέρεται σαν εξέλαση. Σ' αυτή ένα τεμάχιο μετάλλου συνθλίβεται με τη βοήθεια εμβόλου μέσα σε ειδικό θάλαμο. Το έμβολο έχει μικρότερη διάμετρο από αυτή του θαλάμου και έτσι το υλικό ρέει ανάμεσα στα τοιχώματα θαλάμου και εμβόλου. Με τον τρόπο αυτό το υλικό πιέζεται έτσι ώστε να ακολουθήσει περιφερειακά τη συγκεκριμένη μορφή ενός καλουπιού. Στην προηγούμενη εικόνα το μέταλλο επιμηκύνεται αντίθετα με τη φορά μετατόπισης του εμβόλου.

Η διέλαση εφαρμόζεται σε μαλακά μέταλλα, όπως μόλυβδο, κασσίτερο αλλά επεκτάθηκε με τον καιρό και σε διάφορα μέταλλα και κράματα, ανάμεσα στα οποία είναι το αλουμίνιο και τα κράματα του με Cu,Mg,Si. Το αλουμίνιο έχει πολύ καλή ικανότητα διαμόρφωσης ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Πρέπει πάντως να δίνεται μεγάλη προσοχή στην επιλογή της θερμοκρασίας έλασης, ώστε αυτή να μην ξεπερνά κάποιο ανώτατο όριο, λόγω του χαμηλού σημείου τήξεως του αλουμινίου και των κραμάτων του. Συνήθως η διέλαση πραγματοποιείται εν θερμώ, όμως μπορεί να γίνει και εν ψυχρώ διέλαση, η οποία αναφέρεται σαν εξέλαση. Σ' αυτή ένα τεμάχιο μετάλλου συνθλίβεται με τη βοήθεια εμβόλου μέσα σε ειδικό θάλαμο. Το έμβολο έχει μικρότερη διάμετρο από αυτή του θαλάμου και έτσι το υλικό ρέει ανάμεσα στα τοιχώματα θαλάμου και εμβόλου. Με τον τρόπο αυτό το υλικό πιέζεται έτσι ώστε να ακολουθήσει περιφερειακά τη συγκεκριμένη μορφή ενός καλουπιού. Στην εικόνα που ακολουθεί το μέταλλο επιμηκύνεται αντίθετα με τη φορά μετατόπισης του εμβόλου.

Σχηματική παράσταση  
της διαδικασίας  
κουρμπάρισματος με  
διέλαση



Η διέλαση εφαρμόζεται σε μαλακά μέταλλα, όπως μόλυβδο, κασίτερο αλλά επεκτάθηκε με τον καιρό και σε διάφορα μέταλλα και κράματα, ανάμεσα στα οποία είναι το αλουμίνιο και τα κράματα του με Cu, Mg, Si. Το αλουμίνιο έχει πολύ καλή ικανότητα διαμόρφωσης ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Πρέπει πάντως να δίνεται μεγάλη προσοχή στην επιλογή της θερμοκρασίας έλασης, ώστε αυτή να μην ξεπερνά κάποιο ανώτατο όριο, λόγω του χαμηλού σημείου τήξεως του αλουμινίου και των κραμάτων του. Η ακριβής χημική σύσταση καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των κραμάτων αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στη διέλαση, προσδιορίζονται από τα πρότυπα EN ή ΕΛΟΤΕΝ. Τα συνήθως χρησιμοποιούμενα κράματα για την παραγωγή επιμηκών προϊόντων αλουμινίου είναι τα 6060, 6061, 6063 και 6082 των οποίων η ακριβής χημική σύνθεση περιγράφεται σε διάφορα πρότυπα. Τα κράματα αυτά διελάσσονται εύκολα και μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία, επιδέχονται επιφανειακή κατεργασία (ανοδίωση, ηλεκτροστατική βαφή), έχουν καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά, αντέχουν σε μηχανικές καταπονήσεις και ηλεκτροσυγκολλούνται καλά.

Η βασική χημική σύνθεση των κραμάτων αυτών είναι:

<b>ΚΡΑΜΑΤΑ ΔΙΕΛΑΣΕΩΝ</b>				
<b>Κράματα</b>	<b>Si</b>	<b>Mg%</b>	<b>Fe</b>	
6060	0.30	0.35-	0.10-	
6061	0.40	0.35-	0.70	
6063	0.20	0.45-	0.35	

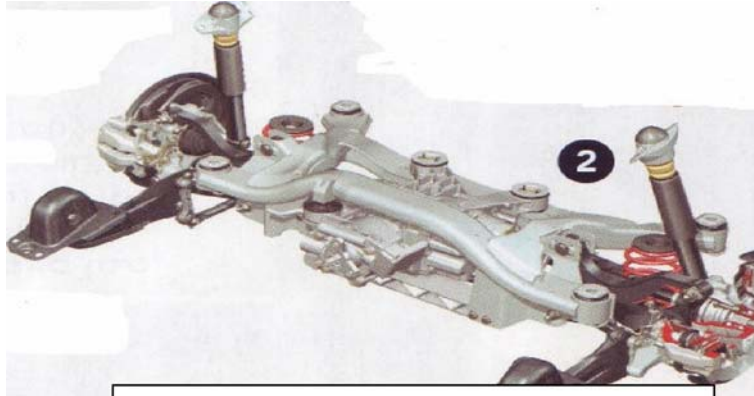
Η σημαντικότητα της έλασης και διέλασης στη μεταποίηση του αλουμινίου είναι τόσο σημαντική όπως παρουσιάζονται από τα επίσημα στοιχεία της Ελληνικής Ένωσης Αλουμινίου.

<b>ΠΡΩΤΗ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b>						<b>ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ</b>			
<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ 2000 (τόνοι)</b>						<b>(ΤΟΝΝΟΙ)</b>			
	<b>ΕΛΑΣΗ</b>	<b>ΔΙΕΛΑΣΗ</b>	<b>ΚΑΛΩΔΙΑ</b>	<b>ΧΥΤΗΡΙΑ</b>	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	2000	1999	00/99	
<b>1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ</b>	<b>137.000</b>	<b>130.000</b>	<b>12.000</b>	<b>7.000</b>	<b>286.000</b>	<b>286.000</b>	<b>256.000</b>	<b>12%</b>	<b>1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ</b>
	47,9%	45,5%	4,2%	2,4%	100%				
<b>2. ΠΩΛΗΣΕΙΣ</b>	<b>135.000</b>	<b>123.000</b>	<b>12.000</b>	<b>7.000</b>	<b>277.000</b>	<b>277.000</b>	<b>256.000</b>	<b>8%</b>	<b>2. ΠΩΛΗΣΕΙΣ</b>
ΕΓΧΩΡΙΑ ΑΓΟΡΑ:	37.500	75.500	8.000	5.000	126.000	126.000	115.500	9%	ΕΓΧΩΡΙΑ ΑΓΟΡΑ:
ΕΞΑΓΩΓΕΣ:	97.500	47.500	4.000	2.000	151.000	151.000	140.500	7%	ΕΞΑΓΩΓΕΣ:
<b>3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΓΧΩΡΙΑ ΑΓΟΡΑ</b>						<b>3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΓΧΩΡΙΑ ΑΓΟΡΑ</b>			
ΟΙΚΟΔΟΜΕΣ:	7.500	65.700		2.500	75.700	75.700	64.200	18%	ΟΙΚΟΔΟΜΕΣ:
ΟΙΚΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛ.:	1.300	4.500		1.000	6.800	6.800	6.700	1%	ΟΙΚΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛ.:
ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ:	300	800		200	1.300	1.300	1.900	-32%	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ:
ΜΗΧ. & ΗΛΕΚ. ΕΦΑΡΜ.:	400	2.000	8.000	500	10.900	10.900	9.400	16%	ΜΗΧ. & ΗΛΕΚ. ΕΦΑΡΜ.:
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ:	26.200				26.200	26.200	27.300	-4%	ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ:
ΆΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ:	1.800	2.500		800	5.100	5.100	6.000	-15%	ΆΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ:
<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>	<b>37.500</b>	<b>75.500</b>	<b>8.000</b>	<b>5.000</b>	<b>126.000</b>	<b>126.000</b>	<b>115.500</b>		<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>
<b>4. ΧΩΡΕΣ ΕΞΑΓΩΓΩΝ</b>						<b>4. ΧΩΡΕΣ ΕΞΑΓΩΓΩΝ</b>			
ΕΥΡΩΠΑ ΚΗ ΕΝΩΣΗ:	50.300	28.900	2.000	700	81.900	81.900	75.800	8%	ΕΥΡΩΠΑ ΚΗ ΕΝΩΣΗ:
ΛΟΙΠΗ ΕΥΡΩΠΗ:	5.000	1.100	1.000	300	7.400	7.400	9.300	-20%	ΛΟΙΠΗ ΕΥΡΩΠΗ:
ΠΑΡΕΥΣ. & ΒΑΛΚΑΝΙΑ:	7.100	12.300	300	500	20.200	20.200	15.800	28%	ΠΑΡΕΥΣ. & ΒΑΛΚΑΝΙΑ:
Μ. ΑΝΑΤΟΛΗ:	5.800	1.200	200	300	7.500	7.500	8.000	-6%	Μ. ΑΝΑΤΟΛΗ:
ΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ:	29.300	4.000	500	200	34.000	34.000	31.600	8%	ΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ:
<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>	<b>97.500</b>	<b>47.500</b>	<b>4.000</b>	<b>2.000</b>	<b>151.000</b>	<b>151.000</b>	<b>140.500</b>		<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>

## 2.5 Το αλουμίνιο και τα κράματα του

Επειδή το αλουμίνιο είναι μέταλλο πολύ μαλακό και δεν αντέχει ακόμα και σε μικρές καταπονήσεις χρησιμοποιείται συνήθως υπό μορφή κράματος με άλλα στοιχεία, που βρίσκονται σε διάφορες αναλογίες και τα οποία του δίνουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αυτά ονομάζονται ελαφρά κράματα του αλουμινίου και αν υπάρχει μεγάλο ποσοστό μαγνησίου καλούνται υπέρ-ελαφρά. Χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη ελαφρότητα, το χαμηλό σημείο τήξης, η ευκολία επεξεργασίας τους και η κατά κανόνα υψηλή αντοχή

στη διάβρωση και στις μηχανικές καταπονήσεις. Τα κράματα του αλουμινίου γενικά χρησιμοποιούνται στους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας και της αεροναυπηγικής. Ο σκοπός της δημιουργίας κραμάτων είναι η **βελτίωση των μηχανικών, αντιδιαβρωτικών και τριβολογικών** ιδιοτήτων του αλουμινίου.



Συνδεσμος αυτοκινήτου από κράματα αλουμινίου για βελτίωση στρεπτικής ακαμψίας

Το εμπορικά καθαρό αλουμίνιο είναι το πρωτογενές αλουμίνιο, το οποίο αποτελεί προϊόν ηλεκτρολύσεως με καθαρότητα σε αλουμίνιο πάνω από 99%. Κύριες μικροπροσμίξεις σιδήρου (Fe) και πυριτίου (Si) μπορούν να ευρισκονται σ' αυτό σε περιορισμένο φυσικά βαθμό. Το πρωτογενές αλουμίνιο παράγεται με την ηλεκτρόλυση της αλουμίνας (οξείδιο του αλουμινίου-άσπρη σκόνη σαν ζάχαρη). Η αλουμίνα προέρχεται όπως είδαμε από μηχανική-χημική επεξεργασία του ορυκτού βωξίτη που βρίσκεται σε μεγάλα κοιτάσματα στη φύση. Σε αντιδιαστολή με αυτό, το δευτερογενές αλουμίνιο είναι το αλουμίνιο που προέρχεται από διαδικασία ανακύκλωσης.

Τα κράματα του αλουμινίου παράγονται με προσθήκες διαφόρων στοιχείων σε αλουμίνιο εμπορικής καθαρότητας, ή σε ανακυκλωμένο μέταλλο ορισμένης καθαρότητας. Τα πιο σημαντικά στοιχεία που μπορούν να προστεθούν είναι το μαγγάνιο (Mn), το πυρίτιο (Si), το μαγνήσιο (Mg), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn).

Οι κύριοι λόγοι για τη παραγωγή των κραμάτων είναι η μεταβολή των ιδιοτήτων του καθαρού μετάλλου, όπως:

- ◆ η αύξηση της σκληρότητας,
- ◆ η αντιδιαβρωτική συμπεριφορά,
- ◆ η συγκολλησιμότητα, καθώς και πολλές άλλες.



Για την παραγωγή των κραμάτων αλουμινίου η γενική διαδικασία που ακολουθείται είναι :

I. η τήξη,

II. η κραματοποίηση και

III. η χύτευση.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των τυπικών βιομηχανικών κραμάτων αλουμινίου είναι:

1. Ο Χαλκός (Cu)
2. Το Μαγγάνιο (Mn)
3. Το Πυρίτιο (Si )
4. Το Μαγνήσιο (Mg )
5. Ο Ψευδάργυρος (Zn)
6. Ο Σίδηρος (Fe)

Το παραγόμενο διεθνώς αλουμίνιο, χωρίζεται σε 2 μεγάλες κατηγορίες:

**A.** Το αλουμίνιο κατεργασίας (wrought) που με έλαση ή διέλαση ή και άλλη μηχανική κατεργασία οδηγεί στα τελικά προϊόντα και στο οποίο ο κύριος ρόλος των προσθηκών είναι η ενίσχυση της σκληρότητας (αντοχής σε θραύση).

**B.** Το χυτό αλουμίνιο (cast), που χρησιμοποιείται για την κατευθείαν παραγωγή τεμαχίων τελικών προϊόντων (χυτόπρεσες). Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιεί μεγαλύτερο ποσοστό προσθηκών από την προηγούμενη με βασικότερο στόχο την ευκολότερη χύτευση της τελικής μορφής.

Τα κράματα αλουμινίου που αφορούν στο αλουμίνιο κατεργασίας τυποποιούνται διεθνώς, ανάλογα με τα βασικά στοιχεία κραματοποίησης, στις παρακάτω σειρές:

**Σειρά 1000: Καθαρό αλουμίνιο με 99,00% ελάχιστη καθαρότητα.**  
Το καθαρό αλουμίνιο υποδιαιρείται σε κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αλουμίνιο. Το καθαρό αλουμίνιο χαρακτηρίζεται από την

υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και την εύκολη μορφοποίηση. Οι μηχανικές αντοχές είναι σχετικά χαμηλές.

**Σειρά 2000: κράματα αλουμινίου – χαλκού.**

Τα κράματα της σειράς αυτής αποκτούν μηχανικές αντοχές υψηλότερες από αυτές του μέσου χάλυβα. Χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις κατασκευών με απαίτηση υψηλές μηχανικές αντοχές.

**Σειρά 3000: κράματα αλουμινίου – μαγγανίου.**

Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς αυτής είναι: η εύκολη μορφοποίηση, η καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση, η ευκολία συγκόλλησης με τις συνήθεις μεθόδους. Χαρακτηριστικά κράματα το 3003 και 3004.

**Σειρά 4000: κράματα αλουμινίου – πυριτίου.**

Η παρουσία του πυριτίου ελαττώνει το σημείο τήξης των κραμάτων της κατηγορίας αυτής. Το γεγονός αυτό, καθιστά αυτά τα κράματα κατάλληλα για χρήση ως ηλεκτρόδια πλήρωσης σε εργασίες συγκόλλησης κομματιών αλουμινίου.

**Σειρά 5000: κράματα αλουμινίου – μαγνησίου.**

Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων αυτών είναι: πολύ καλή συγκολλητικότητα, πολύ καλή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες (κρυογενικά συστήματα), πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά στο θαλάσσιο περιβάλλον, μέσες μηχανικές αντοχές. Χρησιμοποιείται ευρέως στη ναυπηγική, στη χημική βιομηχανία, στις οικοδομές, στα μεταφορικά μέσα, κλπ. Χαρακτηριστικά κράματα: 5005, 5052, 5754, 5083, 5086, 5182.

**Σειρά 6000: κράματα αλουμινίου - πυριτίου – μαγνησίου.**

Αποτελούν τα κράματα που κατά βάση χρησιμοποιούνται στην διέλαση για την παραγωγή προφίλ. Χαρακτηριστικά κράματα: 6005, 6061, 6082, 6060, 6063.

**Σειρά 7000: κράματα αλουμινίου – ψευδαργύρου.**

Ο ψευδάργυρος με το μαγνήσιο είναι τα κύρια κραματοποιά στοιχεία. Τα κράματα αυτά επιτυγχάνουν τις υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροναυπηγική και αεροδιαστημική βιομηχανία.

**Σειρά 8000: Διάφορα κράματα αλουμινίου.**

(λιθίου , σιδηρούχα κ.α.).

Τα κράματα αλουμινίου χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες :

- I. Τα **εργοσκληρυνόμενα**, στα οποία η βελτίωση της μηχανικής αντοχής επιτυγχάνεται με μηχανικές κατεργασίες (π.χ. ψυχρή έλαση) και
- II. τα **θερμοσκληρυνόμενα**, όπου η σκληρότητα βελτιώνεται με τη βοήθεια θερμικών κατεργασιών (γήρανση - κατακρήμνιση μεταλλουργικών φάσεων).

Ακολουθούν πίνακες με αναλύσεις των σημαντικότερων κραμάτων που παράγουν οι διάφορες εταιρείες αλουμινίου, με τις ονοματολογίες και κάποιες χρήσεις τους.

Κράμα EN		Si	Fe	Mn	Mg	Co	Ti	Zn	Διφορά	Al
1050 A	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	max.	0.25	0,40	0.05	0,0	0.05	0.05	0.07	0.03*	99.50
1100		SH-								
	min.	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-
	max.	0.95	-	0.05	-	0.20	-	0.10	0.15	99.00
1200		Sr+F								
	mi a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	max.	1.00	-	0.05	-	0.05	0,05	0.10	0.15	99.00
3003	min.	-	-	1.00	-	0.05	-	-	-	-
	max.	0.60	0.70	1.50	-	0.20	-	0.10	0.15	Υπόλοιπο
3105	min.	-	-	0,30	0.2	-	-	-	-	-
	max.	0.60	0.70	0.80	0.8	0,30	0.10	0.40	0.15	Υπόλοιπο
3005	min.	-	-	1.00	0.2	-	-	-	-	-
	max.	0.60	0.70	1.50	0.6	0,30	0.10	0.25	0.15	Υπόλοιπο
3104	min.	-	-	0.80	0.8	0.05	-	-	-	-
	max.	0.60	0.80	1.40	1,3	0.25	0.10	0.25	0.15	Υπόλοιπο
3004	min.	-	-	1.00	0.8	-	-	-	-	-
	max.	0,30	0.70	1.50	1,3	0.25	-	0.25	0.15	Υπόλοιπο
4006	min.	0,80	0,50	-	-	-	-	-	-	-
	max.	1.20	0.80	0.05	0.0	0.10	-	0.05	0.15	Υπόλοιπο
5005	min.	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-
	max.	0,30	0.70	0.20	1.1	0.20	-	0.25	0.15	Υπόλοιπο
5052	min.	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-
	max.	0.25	0.40	0.10	2.8	0.10	-	0.10	0.15	Υπόλοιπο
					0	0,35				0

Όσον αφορά τα κράματα και τις χαρακτηριστικές ιδιότητες τους έχουμε:

ΚΡΑΜΑΤΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ-ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ	
Χαλκός (Cu)	Βελτίωση κατεργασιμότητας-μηχανικής αντοχής.
Σίδηρος (Fe)	Βελτίωση σκληρότητας-αντοχής, μείωση θερμής ρωγμάτωσης κατά την χύτευση.
Μαγγάνιο (Mn)	Κράμα περισσότερο όλκιμο και μαζί με σίδηρο έχουμε βελτίωση χυτευσιμότητας.
Πυρίτιο (Si )	Αντοχή σε διάβρωση -βελτίωση χυτευσιμότητας.
Μαγνήσιο (Mg )	Αύξηση μηχανικής αντοχής και αντιδιαβρωτικής ικανότητας ποσοστό 6% επέρχεται σκλήρυνση.
Ψευδάργυρος (Zn)	Μείωση χυτευσιμότητας.

Τα κράματα του αλουμινίου είναι τα **κράματα χύτευσης** και τα **κράματα διαμόρφωσης**.

### A. ΧΥΤΕΥΣΗΣ

Κύριες μέθοδοι χύτευσης είναι η χύτευση υπό πίεση, με άμμο, η φυγόκεντρος χύτευση, η συνεχής χύτευση και η χύτευση με μόνιμο καλούπι. Τα σπουδαιότερα χυτά κράματα

είναι τα κράματα αλουμινίου-χαλκού, αλουμινίου-πυριτίου-χαλκού, αλουμινίου-πυριτίου, αλουμινίου-μαγνησίου, αλουμινίου-υδραργύρου, αλουμινίου-κασσιτέρου.



Σύμφωνα με την Aluminium Association (A.A.) για τα κράματα χύτευσης ο πρώτος αριθμός υποδηλώνει το κύριο στοιχείο προσθήκης και οι δυο επόμενοι την κατηγορία του εκάστοτε κράματος. Ακολουθεί τελεία και ο επόμενος αριθμός αναφέρεται στην μορφολογία του προϊόντος της χύτευσης. Το (0) δείχνει ότι πρόκειται για χυτό και το (1) ότι πρόκειται για πλίνθωμα. Όλες οι κατηγορίες φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΣΘΗΚΗ
1XX.X	Αλουμίνιο ελάχιστης καθαρότητας 99.00%
2XX.X	Χαλκός
3XX.X	Πυρίτιο και χαλκός ή μαγνήσιο
4XX.X	Πυρίτιο
5XX.X	Μαγνήσιο
6XX.X	Μη χρησιμοποιούμενη σειρά
7XX.X	Ψευδάργυρος
8XX.X	Κασσίτερος
9XX.X	Άλλα στοιχεία

Σύμφωνα με τα νέα εναρμονισμένα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN, τα κράματα αλουμινίου που προορίζονται για χρήση σε χυτήρια ή για την παραγωγή χυτών αντικειμένων, συμβολίζονται με πέντε αριθμητικά ψηφία. Το πρώτο ψηφίο προσδιορίζει την ομάδα των κραμάτων βάσει του κυριοτέρου κραματοποιού στοιχείου. Το πέμπτο ψηφίο είναι πάντα 0. Του πενταψηφίου αυτού αριθμού προηγείται συμβολισμός που δείχνει την χρήση του κράματος.

ΚΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ ΧΥΤΗΡΙΑ			
	Τύπος κράματος	Κραματοποιό στοιχείο	Συμβολισμοί:
EN AB-	1XXX0	Κανένα (min 99,00% Al)	EN: Ευρωπαϊκό πρότυπο A: Αλουμίνιο B: Χελώνα C: Κράμα για χυτά M: Μητρικό κράμα
	2XXX0	Cu	
	4XXX0	Si	
EN AC-	5XXX0	Mg	
	7XXX0	Zn	
	8XXX0	Sn	
EN AM-	9XXX0	Μητρικά κράματα	

## B. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Τα διαμορφωμένα κράματα του αλουμινίου, που χρησιμοποιούνται σε μεταφορικά μέσα (αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα), στις οικιακές συσκευές, σε ηλεκτρικούς αγωγούς και αλλού, διαμορφώνονται είτε με επανάτηξη και δεύτερη χύτευση του υλικού, είτε με επιφανειακή

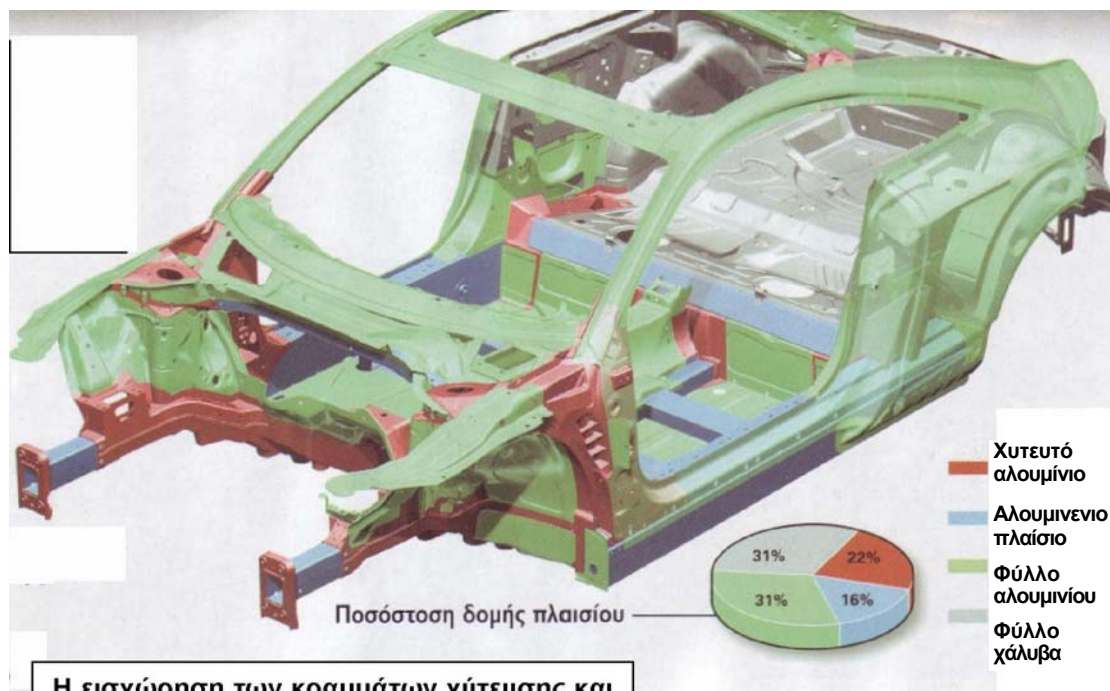


εκλέπτυνση του υλικού ή με προθέρμανση και ομογενοποίηση ή με θερμή ή ψυχρή έλαση. Για τα κράματα διαμόρφωσης ο πρώτος αριθμός αφορά στο κύριο στοιχείο προσθήκης, ο δεύτερος τις τροποποιήσεις των ορίων των περιεκτικότητων των ακαθαρσιών και οι δύο τελευταίοι αριθμοί χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της κατηγορίας του κράματος της

οικείας ομάδας, ενώ στην περίπτωση της ομάδας 1XXX φανερώνει το ποσοστό για περιεκτικότητα αλουμινίου μεγαλύτερη από 99,00%.

Σύμφωνα με τα νέα εναρμονισμένα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN τα διαμορφωμένα κράματα του αλουμινίου συμβολίζονται ως εξής

ΚΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ					
	Κωδικός κράματος.	Κύριο κραματοποίο στοιχείο.	Σκλήρυνση με μηχανική επεξεργασία.	Σκλήρυνση με θερμική επεξεργασία.	
ENAW-	1XXX	Κανένα (min.99.00% Al)	X		Μη θερμοσκληρυνόμενα
	3XXX	Mn	X		
	4XXX	Si	X		
	5XXX	Mg	X		
	2XXX	Cu	(X)	Xs	θερμοσκληρυνόμενα
	6XXX	Mg+Si	(X)	X	
	7XXX	Zn	(X)	X	
	8XXX	Άλλο	(X)	X	



Η εισχώρηση των κραμάτων χύτευσης και διαμόρφωσης στην σύγχρονη αυτοκιν/νία προς όφελος της ακαμψίας.

## 2.6 Κωδικοποίηση Κατεργασιών Αλουμινίου

Σύμφωνα με την ελληνική ένωση αλουμινίου η κωδικοποίηση των κραμάτων αλουμινίου ανάλογα με τις κατεργασίες που έχουν υποστεί παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες: Γενικά

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
F	Προϊόν όπως παρήχθη, χωρίς μηχανική ή θερμική κατεργασία.
O	Ανόπτηση.
H	Ενδοτράχυνση, μόνο για τα κράματα διαμόρφωσης.

Για την ενδοτράχυνση έχουμε:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ 2	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
		Μόνο ενδοτράχυνση (το X αναφέρεται
H1X	(X)	στο βαθμό ενδοτράχυνσης)
	<i>H11</i>	Κράμα ελάχιστης σκληρότητας
	<i>H12</i>	Κράμα σκληρυμένο κατά 25%
	<i>H14</i>	Κράμα σκληρυμένο κατά 50%
	<i>H16</i>	Κράμα σκληρυμένο κατά 75%
	<i>H18</i>	Κράμα σκληρυμένο κατά 100%
	<i>H19</i>	Υπέρσκληρο κράμα
H2X		Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από ανόπτηση αποκατάστασης
		Υποδηλώνοντας το βαθμό
	<i>H2 1 έως 8</i>	σκλήρυνσης μετά την ανόπτηση.
H3X		Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από θερμική κατεργασία σε χαμηλή θερμοκρασία
		υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης
	<i>H3 1 έως 8</i>	πριν από τη σταθεροποίηση.

Για την θερμική κατεργασία σκλήρυνσης (T) με γήρανση έχουμε

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
T1	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και φυσική γήρανση.
T2	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, μηχανική κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση.
T3	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση.
T4	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και φυσική γήρανση.
T5	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος.
T6	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος.
T7	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, θερμική κατεργασία σταθεροποίησης.
T8	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και τεχνητή γήρανση.
T9	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, τεχνητή γήρανση και κατεργασία εν ψυχρώ.
T10	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, κατεργασία εν ψυχρώ και τεχνητή γήρανση.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

#### 3.1 Γενικά

Το αλουμίνιο δεν σκουριάζει, αλλά έχοντας μεγάλη χημική συνάφεια προς το Οξυγόνο, ενώνεται άμεσα με αυτό στο ελεύθερο περιβάλλον παράγοντας στρώμα τριοξειδίου του αλουμινίου στην ελεύθερη επιφάνεια του μετάλλου. Το στρώμα αυτό, πάχους ελαχίστου (μεταξύ 50 και 100 Angstrom) είναι φυσικοχημικά ανθεκτικό σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριότητας περιβάλλοντος.

Η αντοχή του επιφανειακού στρώματος οξειδίου, είναι πολύ καλή για περιβάλλον με pH μεταξύ 4 και 8, δηλαδή στο μέσο όξινο περιβάλλον, όπου και η ανθεκτικότητα στη διάβρωση του μετάλλου είναι πολύ καλή. Κάτω από pH 4 και πάνω από 8, η μεν όξινη αντίδραση οδηγεί σε  $Al_3^+$  ιόντα, ενώ η αλκαλική σχηματίζει  $AlO_2^-$ . Το υγρό περιβάλλον θεωρείται εξαιρετικά υποβοηθητικό για τη λειτουργία της χημείας της διάβρωσης. Οι γενικές χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε διάβρωση παρουσία υγρασίας, είναι:



Οι συνηθέστεροι τύποι διάβρωσης του αλουμινίου, είναι :

#### A. Ομοιόμορφη προσβολή

Συνήθης μορφή διάβρωσης, όπου όλη η επιφάνεια του μετάλλου προσβάλλεται στον ίδιο βαθμό, π.χ. από χλωριόντα. Είναι δυνατόν να αποφευχθεί με διάφορες μεθόδους, από τις οποίες οι πιο σημαντικές είναι:

- ♦ **Ανοδίωση**
- ♦ **Χρωμάτωση**
- ♦ **Καθοδική προστασία** (π.χ. ανόδιο ψευδαργύρου).

### **B. Γαλβανική διάβρωση**

Αυτή η μορφή προσβολής συμβαίνει όταν 2 αγωγοί διαφορετικής χημικής σύνθεσης (και σε απόσταση μεταξύ τους στον πίνακα ηλεκτροθετικότητας) ενώνονται ευρισκόμενοι μέσα σε αγωγίμο υγρό φορέα. Είναι από τις πιο δραστικές μορφές διάβρωσης, διότι επικεντρώνεται πάνω στο λιγότερο "ευγενές" μέταλλο από τα δύο σε επαφή, στην περιοχή και μόνο της διεπαφής των μετάλλων (**σχήμα**). Η κόλληση 2 κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο **brazing** (ή και άλλο τύπο συγκόλλησης) παρέχει έδαφος για ανάπτυξη γαλβανικής διάβρωσης. Όταν το αλουμίνιο είναι σε επαφή με χαλκό, μπρούτζο ή σίδηρο σε υγρό περιβάλλον, συμβαίνει γαλβανική διάβρωση σε διάφορους βαθμούς.



### **Γ. Διάβρωση κοιλοτήτων (Crevice corrosion)**

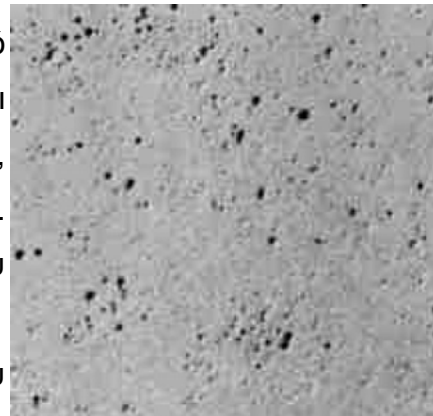
Έντονη τοπική διάβρωση, κυμαινόμενη από μικρές κοιλοότητες έως σημαντική έκταση (**σχήμα**). Οι αιτίες δημιουργίας αυτής της διάβρωσης είναι πολλαπλές, με κυρίαρχη τη δημιουργία οξέων μέσα σε κοιλοότητες (ίσως και τυπικής γεωμετρίας της αλουμινοκατασκευής), που όμως δεν αερίζονται, ενώ παράλληλα συσσωρεύουν και αρκετή βρωμιά. Το περιβάλλον υγρασίας θεωρείται και εδώ απαραίτητο για την ανάπτυξη και διάδοση της διάβρωσης.



#### Δ. Μικρο-διάβρωση (Pitting)

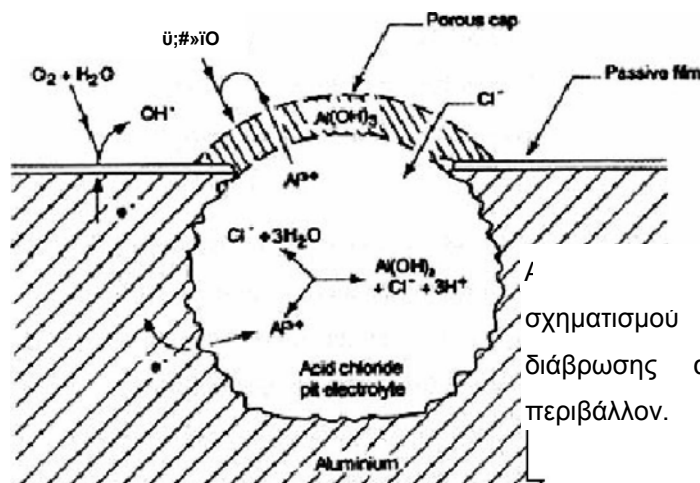
Η μικρο-διάβρωση είναι μία μορφή εντοπισμένης διάβρωσης, που εμφανίζεται σαν νέφος πολλών μικρών σκουρόχρωμων στιγμάτων στην επιφάνεια. Τα στιγμάτα αυτά έχουν μικρές εσοχές, γεμάτες με οξείδια. Τα τοιχώματα των εσοχών ( σε μεγέθυνση μικροσκοπίου ) φαίνονται να έχουν ανώμαλη επιφάνεια. Μερικές φορές η μικρο-διάβρωση (pitting) οδηγεί σε μορφές διάβρωσης κοιλοτήτων (crevice corrosion).

Η υγρασία ή η συνεχής επαφή με επιθετικό υγρό περιβάλλον (NaCl) καθώς και κάποιοι μικροτραυματισμοί της επιφάνειας, καταλήγουν στη μικρο-διάβρωση.



Υπενθυμίζεται ότι η ελεύθερη επιφάνεια του αλουμινίου προστατεύεται γενικά σε ικανοποιητικό βαθμό από την ανάπτυξη του λεπτού στρώματος οξειδίου του αλουμινίου. Η

παθητική αυτή προστασία λειτουργεί καλά σε περιβάλλον pH μεταξύ 4 και 8. Εάν για κάποιους λόγους, σε κάποια σημεία της επιφάνειας, ο βαθμός προστασίας είναι μικρότερος από την υπόλοιπη επιφάνεια, τότε επιθετικά ιόντα (π.χ. χλωριόντα) προσβάλλουν αυτά τα σημεία δημιουργώντας τις μικρές εσοχές. Στα τοιχώματα των εσοχών το μέταλλο αποσυντίθεται γρήγορα, προκαλώντας νέα εισροή χλωριόντων στην εσοχή. Έτσι, παρουσιάζεται υψηλή συγκέντρωση χλωριδίων αλουμινίου, με παράλληλη αύξηση ιόντων υδρογόνου λόγω υδρολύσεως. Το pitting είναι ίσως η συνηθέστερη μορφή οξείδωσης αλουμινίου.



σηματισμού και διάδοσης σημειακής διάβρωσης αλουμινίου σε θαλάσσιο περιβάλλον.

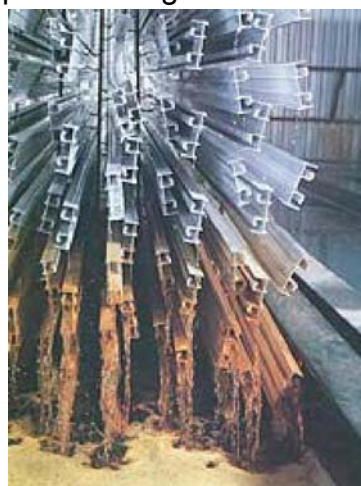
**Ε. Περικρυσταλλική διάβρωση (Intergranular corrosion)** Συμβαίνει στα όρια των κόκκων του μετάλλου και οφείλεται στην ηλεκτροχημική προσβολή σωματιδίων κατακρημνίσεων (precipitations) στα όρια των κόκκων. Τα σωματίδια αυτά (χημικές ενώσεις αλουμινίου με μέταλλα) μπορεί να συμπεριφέρονται είτε ανοδικά ως προς τους τριγύρω κόκκους μετάλλου, είτε καθοδικά. Στην περίπτωση της ανοδικής συμπεριφοράς, όπως π.χ. με κατακρήμνιση  $Mg_5Al_8$ , ακολουθεί γρήγορη προσβολή της ανοδικής κατακρήμνισης, ενώ με πτώση  $CuAl_2$  (καθοδικό ως προς περιβάλλοντα χώρο) έχουμε διάβρωση στους γειτονικούς κόκκους. Το πόσο ευαίσθητο είναι ένα κράμα αλουμινίου σε περικρυσταλλική διάβρωση, εξαρτάται από την ποιότητα της κρυσταλλικής δομής του, που με τη σειρά της διαμορφώνεται από τη μεταλλουργική και θερμική ιστορία του μετάλλου. Κατάλληλες διεργασίες προστατεύουν το μέταλλο σε αυτού του είδους τη διάβρωση, που πλήττει συνήθως κράματα Al - Mg - Cu.

**ΣΤ. Νηματοειδής διάβρωση (Filiform corrosion)**

Έχει τριχοειδή μορφή και εμφανίζεται είτε κάτω από το πολύ λεπτό στρώμα οξειδίου παθητικής επιφανειακής αυτοπροστασίας, είτε κάτω από στρώμα επιφανειακής βαφής. Κυριότερα αίτια είναι η επιθετικότητα του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την ελλιπή προστασία (π.χ. χρωμάτωσης - προεπεξεργασίας). Η ζημία είναι κυρίως αισθητική (π.χ. στην περίπτωση μεγάλων επιφανειών εξωτερικών επικαλύψεων).

**Ζ. Διάβρωση απολέπισης (exfoliation corrosion)**

Συμβαίνει συνήθως στα θερμοσκληρυνόμενα κράματα Al - Mg - Cu και Al-Mg-Cu. Αναπτύσσεται κατά μήκος των ορίων των κόκκων (μπορεί να θεωρηθεί είδος περικρυσταλλικής διάβρωσης) σε κάποιο μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια του μετάλλου, προκαλώντας αποκόλληση - απολέπιση φυλλιδίων μετάλλου. Συνδέεται άμεσα με "κατευθυντικότητα" της κοκκομετρίας του κράματος. Όταν εφαρμόζονται διεργασίες



παραγωγής που οδηγούν σε ιστροπικό μέταλλο, τότε ο κίνδυνος ανάπτυξης exfoliation corrosion απομακρύνεται σημαντικά .

Το όριο κόπωσης του μετάλλου είναι δυνατόν να παρουσιάσει σημαντική πτώση με φαινόμενα διαβρώσεως, γεγονός που πρέπει να προϋπολογίζεται για την περίπτωση κυκλικών (επαναλαμβανομένων) φορτίσεων σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα.

**Σειρά Ηλεκτροθετικότητας Μετάλλων και Κραμάτων σε σχέση με καθαρό αλουμίνιο.**

Μέταλλο ή Κράμα	mV
Χρυσός	(+) 1000
Ανοξειδωτο Ατσάλι 18/8	(+) 850
Υδράργυρος	(+) 750
Ασήμι	(+) 700 to (+) 800
Χαλκός	(+) 550
Μπρούντζος	(+) 500
Νικέλιο (7075 T6)	(+) 480
Κασσίτερος	(+) 300
Μόλυβδος	(+) 150 to (+) 180
Al-Cu-Mg (2024 T6)	(+) 100
Σίδηρος	(+) 100
Χυτό AlSi 12	(+) 30 to (+) 60
Κάδμιο	0 to (+) 20
Al-Mg (3003)	(+) 10 to (+) 20
Al-Mg-Si 1 (6082)	0 to (+) 10
Αλουμίνιο 99,5%	0
Al-Mg-Mn (3004)	(-) 10 to 0
Al-Zn-Mg-Cu	(-) 20 to (-) 10
Al-Mg (5754)	(-) 30 to (-) 20
Al-Zn(7072)	-150
Ψευδάργυρος	-300
Μαγνήσιο	-850

### 3.2 Νηματοειδής διάβρωση

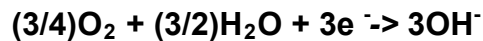
Η νηματοειδής διάβρωση (filiform corrosion - FFC) απαντάται κυρίως στα κράματα αλουμινίου (και σε άλλα κράματα), στα οποία έχει εφαρμοστεί κάποιο οργανικό επίστρωμα και συνίσταται στην ανάπτυξη λεπτών (0,05-3 mm), επιμηκών και μη τεμνόμενων γραμμών (νημάτων). Οι γραμμές αρχίζουν να αναπτύσσονται από ελαττωματικά σημεία της επικάλυψης, οδηγούν στην απώλεια πρόσφυσης επιστρώματος -μετάλλου, και ως εκ τούτου στην καταστροφή του οργανικού φιλμ. Το βάθος διείσδυσης της νηματοειδούς διάβρωσης στο μέταλλο είναι πολύ μικρό (5-15μm), γι' αυτό δεν προκαλεί από μόνη της, σημαντική μεταβολή στις μηχανικές ιδιότητες.

Το εν λόγω είδος διάβρωσης παρουσιάζεται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το οργανικό επίστρωμα έχει πάχος μικρότερο από 100μm και σε περιβάλλοντα με αυξημένη υγρασία (70-95%), σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 °C και 40°C. Σε περιβάλλοντα κορεσμένα σε υγρασία είναι πιο πιθανή η εμφάνιση φουσκαλών (blisters). Κρίσιμες παράμετροι για την έναρξη και την πρόοδο της νηματοειδούς διάβρωσης είναι εκτός της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας, η διαπερατότητα του οργανικού επιστρώματος, η παρουσία και η συγκέντρωση διαβρωτικών συστατικών, η σύσταση του αλουμινίου καθώς και οι συνθήκες της μηχανικής κατεργασίας, που προηγήθηκε .

Ο μηχανισμός στηρίζεται στην διάβρωση με διαφορικό αερισμό και σε μια πρώτη προσέγγιση οι αντιδράσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα, περιλαμβάνουν, αρχικά, την οξειδωση του αλουμινίου στα σημεία, που εκτίθεται στο περιβάλλον (ελαττώματα), προς  $Al_2O_3$  ή και  $Al(OH)_3$ , με παράλληλη παραγωγή κατιόντων υδρογόνου.

- $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$
- $Al^{3+} + (3/2)H_2O \rightarrow (1/2)Al_2O_3 + 3H^{+}$
- $Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^{+}$

Στην περιοχή του ελαττώματος, δημιουργείται μια πολύ στενή εσοχή μεταξύ μεταλλικού υποστρώματος και επιστρώματος, όπου και συνεχίζεται η παραγωγή  $Al^{3+}$ ,  $H^{+}$ . Η αναγωγή του οξυγόνου γίνεται στην περιοχή όπου η διέλευση του οξυγόνου είναι ευκολότερη.



Με τον τρόπο αυτό και καθότι οι δυο αντιδράσεις πραγματοποιούνται σε διαφορετικές περιοχές διακρίνονται δυο περιοχές (κεφαλή-head-και ουρά-tail-στην αναπτυσσόμενη γραμμή (νήμα). Στην κεφαλή το pH είναι πολύ χαμηλό, λόγω των αντιδράσεων παραγωγής  $\text{H}^+$ , ενώ η συγκέντρωση οξυγόνου είναι χαμηλή, εξαιτίας της δυσκολίας προσέγγισης. Στην ουρά το pH είναι υψηλότερο, λόγω παραγωγής  $\text{OH}^-$  και η συγκέντρωση  $\text{O}_2$  είναι επίσης υψηλότερη. Με τη διαφορά στο pH και στην συγκέντρωση  $\text{O}_2$  αναπτύσσεται μια διαφορά δυναμικού μεταξύ κεφαλής και ουράς και ως εκ τούτου ένα γαλβανικό στοιχείο συγκέντρωσης, εξαιτίας του οποίου διαβρώνεται ανοδικά η κεφαλή (διάβρωση του αλουμινίου).

Η σύσταση των προϊόντων που παράγονται κατά την διάβρωση δεν είναι ακόμη πλήρως αποσαφηνισμένη. Στα προϊόντα αυτά περιέχεται και χλώριο υπό την μορφή  $\text{Al}(\text{OH})\text{Cl}_2$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

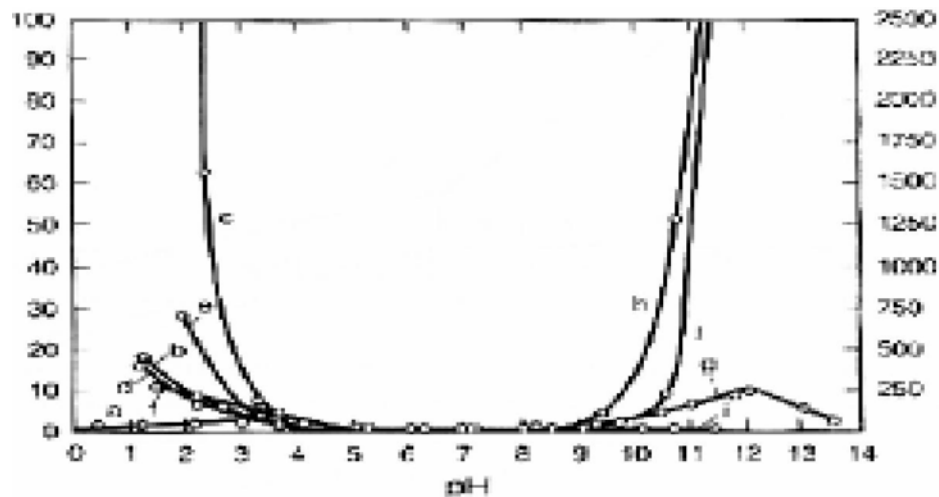
### Αντιμετώπιση Νηματοειδής Διάβρωσης

Η νηματοειδής διάβρωση είναι από τα βασικότερα προβλήματα, που εμφανίζονται στην περίπτωση των κραμάτων αλουμινίου, τα οποία έχουν υποστεί ηλεκτροστατική βαφή με κόνεις πολυμερών. Δεδομένου του γεγονότος ότι παράγεται σημαντική ποσότητα  $\text{H}^+$ , το pH μειώνεται σε σημαντικό βαθμό και σε αυτό το όξινο περιβάλλον το χρώμιο διαλύεται ως  $\text{Cr}^{2+}$ . Ως εκ τούτου η χρωμικοποίηση δεν αποτελεί επαρκή προστασία. Η συμβατική πρακτική που ακολουθείται για την αντιμετώπιση της νηματοειδούς διάβρωσης συνίσταται στην χρησιμοποίηση κατάλληλων πιγμέντων (μολυβδαινικά, φωσφορικά κ.ά.) στο οργανικό επίστρωμα, τα οποία να παθητικοποιούν την επιφάνεια του αλουμινίου στις δεδομένες συνθήκες χαμηλού pH. Πολύ σημαντικό παράγοντα αποτελεί στην έκταση της νηματοειδούς διάβρωσης αποτελεί και το είδος του κράματος του αλουμινίου.



Σημαντική, φαίνεται να είναι η επίδραση της μηχανικής προεργασίας των κραμάτων στην έκταση της νηματοειδούς διάβρωσης. Πιο συγκεκριμένα, η λείανση κραμάτων αλουμινίου πριν από την χρωμικοποίηση και την ηλεκτροστατική βαφή, αποτρέπει την εμφάνιση νηματοειδούς διάβρωσης σε ορισμένους τύπους κραμάτων. Οι συμβατικές τεχνικές για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορούν να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων :

- ◆ **Αμμοβολή με σφαιρίδια από ανοξείδωτο χάλυβα ή οξείδιο του αργιλίου**
- ◆ **Λείανση με σμυριδοταινία**
- ◆ **Λείανση με ηλεκτροκίνητη περιστροφική βούρτσα**
- ◆ **Λείανση σε αλκαλικό διάλυμα, κ.τ.λ.**



Επίδραση του είδους του διαβρωτικού περιβάλλοντος στο εύρος της παθητικής περιοχής κραμάτων αλουμινίου, (a) Οξεϊκό οξύ, (b) Υδροχλωρικό οξύ, (c) Υδροφθορικό οξύ, (d) Νιτρικό οξύ, (e) Φωσφορικό οξύ, (f) Θειικό οξύ, (g) Υδροξείδιο του αμμωνίου, (h) Ανθρακικό κάλιο, (i) Θειούχο κάλιο, (j) Υδροξείδιο του καλίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

#### 4.1 Γενικά

Η **θερμική κατεργασία** είναι μια διαδικασία ελεγχόμενης θέρμανσης και ψύξης με σκοπό να μεταβληθούν οι φυσικές και οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών, χωρίς μεταβολή του σχήματος του προϊόντος. Μερικές φορές μπορεί να γίνεται απρόσεκτα (ακούσια) εξαιτίας των διαδικασιών μορφοποίησης, που είτε θερμαίνουν ή ψύχουν το μέταλλο, όπως η συγκόλληση και η διαμόρφωση.

Η θερμική κατεργασία είναι συχνά συνδεδεμένη με την αύξηση της αντοχής του υλικού, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για να μεταβάλλει ορισμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, όπως η βελτίωση της κατεργασιμότητας, της μορφοποίησης ή η αποκατάσταση της ολκιμότητας μετά από μια διεργασία ψυχρής διαμόρφωσης. Έτσι βλέπουμε ότι πρόκειται για μια πολύτιμη κατεργασία που όχι βοηθά άλλες διεργασίες, αλλά μπορεί επίσης να βελτιώσει την ποιότητα του.

Οι παράμετροι που πρέπει σε κάθε περίπτωση να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη είναι ο χρόνος που παραμένει το υλικό, δηλαδή το μέταλλο, σε ορισμένη θερμοκρασία και η ταχύτητα μετάβασης από την αρχική στην τελική θερμοκρασία.

Οι σημαντικότερες θερμικές κατεργασίες είναι:

- α) η βαφή,**
- β) η κλιμακωτή βαφή,**
- γ) η επαναφορά μετά τη βαφή και**
- δ) η ισοθερμοκρασιακή ανόπτηση.**

**Α. Η βαφή** αναφέρεται στην ταχεία ψύξη του μετάλλου ή συνηθέστερα του κράματος. Με αυτή διατηρείται η δομή ισορροπίας που υπήρχε στη δεδομένη υψηλή θερμοκρασία, αλλά σε μετασταθή κατάσταση. Η βαφή γίνεται με την ταχεία εμβάπτιση του αντικειμένου σε κατάλληλο μέσο (όπως είναι το νερό, το λάδι, διαλύματα αλάτων, υγρό άζωτο ή ακόμη και ο αέρας) που αφαιρεί τη θερμότητα του. Στην περίπτωση της βαφής των χαλύβων, αυτοί παρουσιάζουν μετά τη βαφή μικρότερη ολκιμότητα και αυξημένη σκληρότητα. Στη συνέχεια φαίνονται διάφορες τιμές δραστηριότητας διαφόρων ψυκτικών μέσων χαλύβων κάτω από διάφορες συνθήκες.

ΜΕΣΟ ΒΑΦΗΣ	ΣΕ ΗΡΕΜΙΑ	ΜΕΤΡΙΑ ΑΝΑΔΕΥΣΗ	ΙΣΧΥΡΗ ΑΝΑΔΕΥΣΗ	ΙΣΧΥΡΟΤΑΤΗ ΑΝΑΔΕΥΣΗ
ΑΕΡΑΣ	0,02	-	-	-
ΛΑΔΙ	0,80	0,40	0,80	1,80
ΝΕΡΟ	1,00	1,30	2,00	4,00
ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΑΛΑΤΟΣ	2,00	-	-	5,00
ΙΔΑΝΙΚΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΜΕΣΟ	-	-	-	-

**Β. Η μερική ή κλιμακωτή βαφή** πραγματοποιείται με τον εξής τρόπο. Από την αρχική υψηλή θερμοκρασία, το κράμα φέρεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία, η οποία βρίσκεται πιο κάτω από εκείνη στην οποία πραγματοποιείται ο αντιστρεπτός μετασχηματισμός και στη συνέχεια το υλικό μεταβαίνει στην τελική θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να δίνεται στο κράμα ο χρόνος να κινηθεί προς την κατάσταση ισορροπίας.

**Γ. Η επαναφορά μετά από τη βαφή** πραγματοποιείται με αναθέρμανση του υλικού μέχρι κάποια κατάλληλη θερμοκρασία, στην οποία αυτό παραμένει για ορισμένο χρόνο, ενώ στο τέλος αυτού του χρονικού διαστήματος το κράμα αφήνεται να ψυχθεί στον αέρα. Σκοπός της κατεργασίας είναι να επανέλθουν όσο είναι δυνατόν οι ιδιότητες του υλικού στην αρχική κατάσταση.

**Δ. Η ανόπτηση** είναι διεργασία που γίνεται για να προσεγγίσει το μέταλλο την κατάσταση ισορροπίας του, σε φυσικοχημικό επίπεδο ή επίπεδο δομής. Η **ισοθερμοκρασιακή ανόπτηση** γίνεται με αναθέρμανση του υλικού για ορισμένο χρονικό διάστημα, ώστε να λάβει χώρα ο μετασχηματισμός και στη συνέχεια με απόψυξη του. Με αυτή τη διεργασία τα μέταλλα επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και μπορεί να παρατηρηθεί μείωση των σημειακών ατελειών του υλικού, αμοιβαία εξουδετέρωση των διαταραχών αντίθετου πρόσημου, επαναδιάταξη των διαταραχών, μείωση της επιφάνειας των κόκκων .

## 4.2 Θερμικές κατεργασίες κραμάτων αλουμινίου

Ο όρος «**θερμική κατεργασία**» αναφέρεται όπως είδαμε σε διεργασίες θέρμανσης και ψύξης που εφαρμόζονται για να μεταβάλλουν τη μεταλλουργική δομή, την κατάσταση των παραμένων τάσεων ή τις μηχανικές ιδιότητες του μεταλλικού υλικού. Στα κράματα του αλουμινίου, συχνά, με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται τεχνικές αύξησης της αντοχής και της σκληρότητας με κατακρήμνιση στα χυτά ή τα διαμορφωμένα κράματα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως «θερμικώς επεξεργάσιμα», σε αντιδιαστολή με εκείνα που δεν βελτιώνουν την αντοχή τους με θέρμανση ή ψύξη.

Ένα φαινόμενο που παρατηρείται συχνά είναι εκείνο κατά το οποίο μια θερμική κατεργασία αυξάνει την τιμή μιας ορισμένης ιδιότητας του υλικού εις βάρος κάποιας άλλης ιδιότητας. Ένα παράδειγμα είναι η θέρμανση που εφαρμόζεται για να μειώσει την αντοχή (σκληρότητα) και να αυξήσει την ολκιμότητα.

Οι χρόνοι των θερμικών κατεργασιών σύμφωνα με την aluminum Association για το αλουμίνιο και τα κράματα του δίνονται σε ειδικούς πίνακες, σαν κι αυτούς που εικονίζονται παρακάτω.

Παρατηρείται ότι ανάλογα με τη θερμοκρασία τα κραματικά στοιχεία ενός συγκεκριμένου κράματος διαλυτοποιούνται περισσότερο ή λιγότερο μέσα στη μητρική φάση. Έτσι σε υψηλές θερμοκρασίες από 495° έως 565°C, τα διάφορα κραματικά στοιχεία διαλυτοποιούνται στη μητρική φάση του αλουμινίου και σχηματίζουν στερεά διαλύματα. Με την απότομη ψύξη του

υλικού το στερεό διάλυμα διατηρεί κατά κάποιο τρόπο τη μορφή του και στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αφού όμως δεν είναι σε ισορροπία μεταπίπτει σε θερμοδυναμικά πιο σταθερές καταστάσεις, αυξάνοντας παράλληλα και τον αριθμό των κατακρημνισμάτων τα οποία σχηματίζουν ζώνες που είναι ευρύτερα γνωστές σαν ζώνες G.P. ή Guinier-Preston, από τα ονόματα των ερευνητών A.Guinier και G.D.Preston που τις πρώτο-παρατήρησαν.

Αυτό είναι ένα πρώτο παράδειγμα της δομής που απαντάται σε πολλά υπέρκορα στερεά διαλύματα κατά την πορεία τους προς τη σταθερή κατάσταση ισορροπίας. Τα άτομα του διαλυμένου σε περίσσεια συστατικού δεν απομονώνονται αμέσως για να σχηματίσουν μια καλά κρυσταλλοποιημένη δεύτερη φάση, αλλά συγκεντρώνονται σε μικρές περιοχές της τάξεως μερικών δεκάδων Angstrom και φυλακίζονται στον κρύσταλλο. Αυτές οι περιοχές στις οποίες το στερεό διάλυμα γίνεται ετερογενές και η αλλαγή αυτή συνοδεύεται από μικρές ή μεγαλύτερες παραμορφώσεις στην κρυσταλλική μήτρα καλούνται ζώνες G.P (Guinier-Preston Zones). Ένα παράδειγμα είναι και οι ζώνες AlCu που έχουν τη μορφή νιφάδων.

### **4.3 Μηχανισμοί θερμικών κατεργασιών κραμάτων αλουμινίου**

#### **◆ Ανόπτηση**

Για τα κράματα που μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία και για τα υπόλοιπα, η διεργασία αυτή μπορεί να αφαιρέσει τα αποτελέσματα της ψυχρής κατεργασίας με τη θέρμανση σε όρια κυμαινόμενα μεταξύ 300°C (για διακοπτόμενη διεργασία) και 450 °C (για συνεχή διεργασία). Ο χρόνος για να μαλακώσει το υλικό μπορεί να ποικίλλει από μερικές ώρες για χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι μερικά λεπτά ή και δευτερόλεπτα για υψηλές θερμοκρασίες. Με την κατάλληλη επιλογή του χρόνου και της θερμοκρασίας, οι μηχανικές ιδιότητες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, μεταξύ εκείνων που παρουσιάζει το «εν ψυχρώ» κατεργασμένο μέταλλο, μέχρι εκείνες του πλήρως ανοπτημένου .

◆ Μερική Ανόπτηση (Partial Annealing)

Δίνει υλικά με μηχανικές ιδιότητες ενδιάμεσες μεταξύ εκείνων που προκύπτουν από ψυχρή κατεργασία και εκείνων που χαρακτηρίζουν την πλήρως ανοπτημένη – επαναφερμένη κατάσταση. Η μερική ανόπτηση αναφέρεται επίσης ως ανόπτηση αποκατάστασης και συμβολίζεται με H2. Οι θερμοκρασίες δεν προκαλούν εκτεταμένη ανακρυστάλλωση, αλλά μαλάκωμα του υλικού από την ανακούφιση των τάσεων, αλλαγές στην πυκνότητα των διαταραχών, αναδιάταξη των διαταραχών, μέχρι και μερική ανακρυστάλλωση.

◆ Πλήρης Ανόπτηση (Full annealing)

Η μαλακότερη, περισσότερο όλκιμη και περισσότερο κατεργάσιμη κατάσταση για τα θερμικώς επεξεργάσιμα και όχι κράματα προκύπτει με την πλήρη ανόπτηση (που συμβολίζεται με το γράμμα O). Συνήθως το μέταλλο ανακρυσταλλώνεται με τη διεργασία αυτή, η οποία συμβάλλει και στην διαμόρφωση κατακρημνισμάτων, στην απομάκρυνση των μηχανικών τάσεων και στην ανακρυστάλλωση του υλικού .

◆ Ανόπτηση για την ανακούφιση των τάσεων

Για διαμορφωμένα κράματα που μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία η ανόπτηση μπορεί ν' απομακρύνει τις συνέπειες της σκλήρυνσης (μέσω τάσεων) με ενδοτράχυνση (strain hardening). Οι θερμοκρασίες είναι γύρω στους 345°C (650°F), που αντιστοιχεί στο 1/2 έως 1/3 της θερμοκρασίας τήξης του κράματος κι έχουν σαν αποτέλεσμα την επαναφορά του υλικού, μερική ή πλήρη ανακρυστάλλωση .

## 4.4 Στάδια θερμικών κατεργασιών

I. Το **πρώτο στάδιο** μιας θερμικής κατεργασίας είναι η **ομογενοποίηση**, η οποία γίνεται με θέρμανση σε θερμοκρασίες λίγο πιο κάτω από το σημείο τήξης του μετάλλου και κατά τη διάρκεια της πραγματοποιείται η διαλυτοποίηση και η διάχυση των κραματικών στοιχείων μέσα στο υλικό. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι η κατάλληλη για να έχουμε επαρκή διαλυτοποίηση χωρίς να δημιουργούνται όμως ρωγμές (cracks) στο υλικό .

II. Το **δεύτερο στάδιο** είναι η **βαφή** που συμβάλλει στη διατήρηση της δομής που απέκτησε το υλικό με την ομογενοποίηση. Το προς



μελέτη μέταλλο ψύχεται με τη βοήθεια κάποιου ψυκτικού μέσου, όπως το νερό, το λάδι ή ο αέρας και διατηρεί τη δομή που απέκτησε στην υψηλή θερμοκρασία της προηγούμενης κατεργασίας στη νέα θερμοκρασία που έρχεται, δηλαδή στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

(σχήμα αριστερά)

III. Το **τρίτο στάδιο** είναι η **τεχνητή γήρανση** που αποβλέπει στη δημιουργία κατακρημνισμάτων και στην απομάκρυνση των μηχανικών τάσεων που έχουν παραμείνει στο υλικό. Η γήρανση είναι μια διαδικασία που επιφέρει αλλαγή στις φυσικές ιδιότητες ορισμένων μετάλλων και η οποία συμβαίνει με την παραμονή σε ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες μετά από ψυχρές διαδικασίες ή διεργασίες θέρμανσης. Συχνά αναφέρεται και σαν γήρανση που προσδίδει σκληρότητα. Η φυσική γήρανση είναι η αυθόρμητη γήρανση ενός υπερκορεσμένου στερεού διαλύματος σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ η τεχνητή γήρανση είναι η διεργασία που πραγματοποιείται σε θερμοκρασία

μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία δωματίου, (η οποία κυμαίνεται μεταξύ μερικών εκατοντάδων βαθμών Κελσίου), όπου το υλικό υφίσταται εσωτερικές



αλλαγές με τεχνητό τρόπο(σχήμα) .

Η γήρανση παρατηρείται σε διάφορα είδη μετάλλων καθώς και σε κράματα, όπως τα κράματα αλουμινίου. Αν αφήσουμε το κράμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάποιο χρονικό διάστημα δημιουργούνται κατακρημνίσματα τα οποία κατ' επέκταση οδηγούν σε βελτίωση της συμπεριφοράς του υλικού (αύξηση της σκληρότητας).

Με τη γήρανση μπορεί να μεταβάλλεται το μέγεθος των κόκκων και να επηρεάζονται με τον τρόπο αυτό οι ιδιότητες που μας ενδιαφέρουν και οι

οποίες προσδιορίζουν τον τρόπο που τα υλικά αντιδρούν σε εξωτερικές επιδράσεις και καταπονήσεις.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΒΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΟΔΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα υλικά που η χρήση του γνωρίζει μεγάλη εξάπλωση στο χώρο των κατασκευών κτιρίων , αλλά και στο αντικείμενο της στέγασης και της σκίασης. Πρόκειται για ένα μέταλλο που χαρακτηρίζεται από σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία μπορούμε να αξιοποιήσουμε, αφού πρώτα υποστεί ορισμένες επεξεργασίες που θα το καταστήσουν κατάλληλο για τις επιθυμητές αρχιτεκτονικές εφαρμογές και χρήσεις. Η ανοδίωση και η ηλεκτροστατική βαφή αποτελούν δυο από τις πιο καθοριστικές επεξεργασίες του αλουμινίου.

Το αλουμίνιο δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες αρχιτεκτονικές εφαρμογές εάν πρώτα δεν υποστεί κάποια επιφανειακή επεξεργασία , με την οποία θα επιτευχτεί η βελτίωση της αντιδιαβρωτικής του συμπεριφοράς. Επιπλέον, θα αποκτήσει την επιθυμητή εμφάνιση και το χρωματισμό που χρειάζεται για την εξυπηρέτηση των διακοσμητικών απαιτήσεων των αρχιτεκτονικών εφαρμογών και κατασκευών. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη αυτής της επιφανειακής επεξεργασίας του αλουμινίου είναι η ανοδίωση και η ηλεκτροστατική βαφή.

#### ΑΝΟΔΙΩΣΗ

Με τη μέθοδο της ανοδίωσης επιτυγχάνεται ο μετασχηματισμός της επιφάνειας του αλουμινίου και η τεχνητή δημιουργία ενός στρώματος οξειδίου δηλαδή σκουριάς. Αυτό το στρώμα σκουριάς είναι πάρα πολύ συνεκτικό και σκληρό, καθώς η διαδικασία γίνεται σε απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες , και επειδή είναι ήδη οξείδιο, όταν εκτίθεται στην ατμόσφαιρα δεν διαβρώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προστατεύεται το μέταλλο από κάθε διαδικασία διάβρωσης. Το λεγόμενο “ανοδικό επίστρωμα” είναι διαφανές και η δομή του φέρει πόρους, γεγονός που καθιστά εφικτό τον χρωματισμό του μετάλλου, αφού οι διάφορες χρωστικές ύλες μπορούν να διεισδύσουν στους πόρους και να ενσωματωθούν στο μέταλλο, επιτυγχάνοντας τον χρωματισμό του.

Με την ανοδίωση επιτυγχάνεται η πάρα πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά του αλουμινίου , στο βαθμό βέβαια που τηρηθούν όλοι οι κανόνες παραγωγικής διαδικασίας , εφαρμογής και χρήσεις. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο , η επιφάνεια του αλουμινίου αποκτά μεταλλική εμφάνιση. Αξίζει , πάντως, να σημειωθεί ότι η ανοδίωση δεν εξασφαλίζει μεγάλη ποικιλία χρωμάτων , αντίθετα θα λέγαμε ότι υπάρχει περιορισμός στα χρώματα. Η ανοδίωση ως επιφανειακή επεξεργασία του αλουμινίου , εφαρμόζεται πάνω από 60 χρόνια. Όπως επισημαίνουν πολλοί ειδικοί στο

χώρο της επεξεργασίας του αλουμινίου, στο διάστημα αυτό δόθηκε η ευκαιρία να εντοπιστούν τα προβλήματα που εμφανίζονταν στη πράξη και με τις κατάλληλες τεχνικές να επαλειφθούν. Σήμερα, θεωρείται ότι η τεχνολογία της ανοδίωσης έχει μελετηθεί με μια μεγάλη πληρότητα και γνωρίζουμε τη συμπεριφορά της στο χρόνο.

## ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΒΑΦΗ

Με την ηλεκτροστατική βαφή, η επιφάνεια του αλουμινίου προστίθεται και επικαλύπτεται με ένα στρώμα πολυεστερικής βαφής. Κρίσιμοι παράγοντες σε αυτή τη μέθοδο είναι η κατάλληλη προεργασία της επιφάνειας, η σύσταση της πολυεστερικής βαφής και οι συνθήκες εφαρμογής της μεθόδου.

Η ηλεκτροστατική βαφή προσφέρει μια πάρα πολύ καλή αντιδιαβρωτική προστασία στο αλουμίνιο, στο βαθμό βέβαια που τηρηθούν όλες οι συνθήκες παραγωγικής διαδικασίας, εφαρμογής και χρήσης. σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτροστατικής βαφής είναι η δυνατότητα απεριόριστης επιλογής χρωμάτων.

Πάντως πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη συμπεριφορά ενός προφίλ αλουμινίου που φέρει ηλεκτροστατική βαφή το γεγονός ότι η βαφή είναι ένα στρώμα διαφορετικής σύστασης και υφής από το αλουμίνιο. Τα δυο υλικά παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στις μηχανικές καταπονήσεις και τις καιρικές συνθήκες και επομένως υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας αποκολλήσεων.

Σε αντίθεση με την ανοδίωση που μετράει ήδη έξι δεκαετίες χρήσης, η ηλεκτροστατική βαφή είναι μια νέα, σχετικά, μέθοδος που εφαρμόζεται στο αλουμίνιο. Αυτό που χρειάζεται περαιτέρω μελέτη και έρευνα είναι η συμπεριφορά του συστήματος βαφή-μέταλλο αλουμίνιο μέσα στο χρόνο.

## ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ

Μια λεπτομέρεια που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των προφίλ του οποιουδήποτε αλουμινίου που πρόκειται να υποστεί ανοδίωση ή βαφή, είναι η διαφορετική επίδραση των δυο μεθόδων στις τελικές διαστάσεις του προϊόντος.

Το επίστρωμα ανοδίωσης έχει πάχος που κυμαίνεται από 10-25 μικρά. Επειδή έχει την ιδιότητα να εισχωρεί στο μέταλλο, πρακτικά δεν αλλάζει τις τελικές διαστάσεις της επιφάνειας. Αντίθετα, το επίστρωμα της ηλεκτροστατικής βαφής έχει πάχος που υπερβαίνει τα 60 μικρά και σε μερικές περιπτώσεις ακόμα και τα 120 μικρά. Αυτό το επίστρωμα έχει την ιδιότητα να προστίθεται στην επιφάνεια του μετάλλου, αυξάνοντας τις διαστάσεις του αλουμινίου. Πάντως, και οι δυο μέθοδοι συνιστούνται ανεπιφύλακτα από τους ειδικούς για την επιφανειακή επεξεργασία του αλουμινίου που προορίζεται για αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Επίσης, αξίζει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την συναρμολόγηση και το χειρισμό των ανοδιωμένων ή βαμμένων προφίλ αλουμινίου, και να ακολουθούνται όλοι οι προβλεπόμενοι κανόνες, όπως για

παράδειγμα είναι η χρήση πάντα των ανοξειδωτων βιδών κατά την συναρμολόγηση ή την τοποθέτηση.

## ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ

Η τελική εμφάνιση των ανοδιωμένων προϊόντων αλουμινίου μπορεί να είναι άχρωμη (φυσικό χρώμα) ή έγχρωμη. Οι βασικοί χρωματισμοί που έχουν επικρατήσει διεθνώς είναι οι αποχρώσεις του καφέ.

Η τελική εμφάνιση των προϊόντων εξαρτάται, καταρχήν, από το κράμα, το οποίο πρέπει να είναι καθορισμένο και ο προμηθευτής οφείλει να πιστοποιεί ότι το υλικό ανταποκρίνεται στις αντίστοιχες προδιαγραφές και ότι είναι κατάλληλο να υποστεί την ανοδίωση. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος επιφανειακής επεξεργασίας πριν την ανοδίωση, που αναλόγως μπορεί να δώσει τελική εμφάνιση είτε γυαλιστερή είτε ματ, αλλά και μετά την ανοδίωση. Τέλος, όπως σημειώθηκε και πιο πάνω, σημασία και ρόλο παίζει και ο χειρισμός κατά τη συσκευασία, την αποθήκευση, τη μεταφορά και τη παράδοση στον πελάτη.

Η τελική ποιότητα της ηλεκτροστατικής βαφής αλουμινίου εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες και η εκτίμηση της απαιτεί μια σειρά ελέγχων και δοκιμών. Δυο από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την τελική ποιότητα είναι η εμφάνιση και το χρώμα. Στις σημαντικές επιφάνειες δεν πρέπει να υπάρχουν χαραγές που φτάνουν μέχρι το μέταλλο. Οι βαμμένες επιφάνειες εξεταζόμενες υπό γωνία 600 και από απόσταση 3 μέτρων, περίπου, δεν πρέπει να εμφανίζουν καμία σημαντική ανωμαλία όπως ραβδώσεις, εγκλήσεις ξένων υλών, κρατήρες, στίγματα, εκδορές κλπ και το στρώμα βαφής πρέπει να παρουσιάζει ομοιομορφία χρώματος.

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της ηλεκτροστατικής βαφής είναι η απεριόριστη ποικιλία των χρωμάτων που προσφέρει. Αυτός είναι άλλωστε και ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επέδρασε στο να χρησιμοποιείτε ευρέως σήμερα. Τα χρώματα κωδικοποιούνται βάσει ενός συγκεκριμένου συστήματος, που ονομάζεται RAL.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΒΑΦΗ

### 6.1 Γενικά

Η ηλεκτροστατική βαφή αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για το αλουμίνιο ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται για αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Με την ηλεκτροστατική βαφή βελτιώνεται η αντιδιαβρωτική συμπεριφορά του αλουμινίου καθώς και επιτυγχάνεται καλύτερη εμφάνιση στις αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Η καλή και πιστοποιημένη ποιότητα της τεχνικής αυτής σε σχέση με προγενέστερες τεχνικές όπως η ανοδίωση αποτελεί 'αιχμή' του δόρατος για το αλουμίνιο προσθέτοντας αξία και διαφοροποιώντας τα από άλλα προϊόντα με προγενέστερες επεξεργασίες.



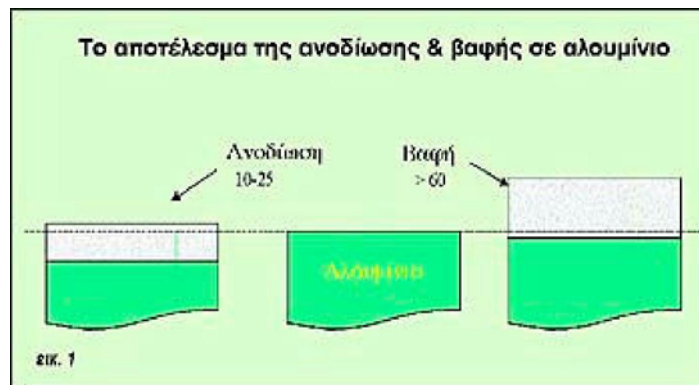
Μερικά χαρακτηριστικά της ηλεκτροστατικής βαφής είναι :

- Η **αντιδιαβρωτική προστασία** είναι **πολύ ικανοποιητική** εφόσον τηρηθούν όλες η συνθήκες παραγωγικής διαδικασίας ,εφαρμογής και χρήσης.
- Προσφέρει **απεριόριστη ποικιλία χρωμάτων**
- Η βαφή **αποτελεί ένα στρώμα το οποίο είναι διαφορετικής σύστασης και υφής από το αλουμίνιο.** Αυτό είναι σημαντικό γιατί και τα δύο υλικά παρουσιάζουν **διαφορετικές συμπεριφορές τόσο στις μηχανικές καταπονήσεις όσο και στις καιρικές συνθήκες, με κίνδυνο έτσι την εμφάνιση αποκολλήσεων.**

Με την **ηλεκτροστατική βαφή**, προστίθεται και επικαλύπτεται η επιφάνεια του αλουμινίου με ένα στρώμα πολυεστερικής βαφής. Η κατάλληλη προεργασία της επιφάνειας, η σύσταση της πολυεστερικής βαφής και οι συνθήκες εφαρμογής, εξασφαλίζουν την προστασία της επιφάνειας του αλουμινίου από την διάβρωση.

Η ηλεκτροστατική βαφή είναι μια νέα σχετικά μέθοδος η οποία εξελίσσεται ιδιαίτερα στον τομέα της συμπεριφοράς του συστήματος βαφή-μέταλλο αλουμίνιο στο χρόνο.

Μια λεπτομέρεια που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ότι το επίστρωμα της ηλεκτροστατικής βαφής που το πάχος του είναι μεγαλύτερο από 60 μικρά

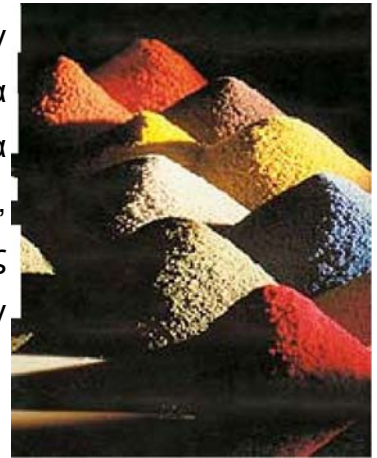


και σε μερικές περιπτώσεις φτάνει και 120 μικρά προστίθεται στην επιφάνεια του μετάλλου και επιδρά στις διαστάσεις.(σχήμα) Ενώ το ανοδικό επίστρωμα (ανοδίσωση), που το πάχος του κυμαίνεται από 10-25

μικρά, εισχωρεί στο μέταλλο και πρακτικά δεν αλλάζει τις τελικές διαστάσεις της επιφάνειας.

## 6.2 Η τεχνολογία της ηλεκτροστατικής βαφής

Ηλεκτροστατική βαφή είναι η επικάλυψη του αλουμινίου με ειδικές εποξειδικές, εποξύ-πολυεστερικές ή με πολυεστερικές ρητίνες, με σκοπό αφενός την προστασία από την διάβρωση, αφετέρου δε την επίτευξη του επιθυμητού χρωματισμού και εμφάνισης. Για την βαφή των προφίλ αλουμινίου που προορίζονται για αρχιτεκτονικές εφαρμογές (πόρτες, παράθυρα, υαλοπετάσματα κλπ), χρησιμοποιούνται οι πολυεστερικές πούδρες. Οι πούδρες αυτές χαρακτηρίζονται από την μεγάλη αντοχή στις εξωτερικές συνθήκες (σχήμα).



Τα βασικά στάδια για την ηλεκτροστατική βαφή αλουμινίου είναι :

- Καθαρισμός επιφάνειας

Τα προς βαφή τεμάχια αλουμινίου εισάγονται σε μπάνια που περιέχουν τα κατάλληλα χημικά μέσα όπου επιτυγχάνεται ο καθαρισμός της επιφάνειας τους από ξένα σωματίδια, λίπη ή άλλες ξένες ουσίες, καθώς και η ενεργοποίηση της επιφάνειας.(σχήμα)



Καθαρισμός επιφάνειας σε γραμμή παραγωγής προφίλ αλουμινίων της γερμανικής εταιρίας Schuco ltd

- Υπόστρωμα (χρωμάτωση):

Στην περίπτωση της βαφής αλουμινίου, απαιτούμε την καλή συνεργασία δύο διαφορετικών υλικών, της χρωστικής ύλης (πούδρα) (σχήμα 1) και του μετάλλου (αλουμίνιο)(σχήμα 2).



Η φύση και οι χημικές ιδιότητες των δύο υλικών δεν επιτρέπουν την άμεση και αποτελεσματική πρόσφυση. Για το λόγο αυτό απαιτείται η δημιουργία ενός κατάλληλου υποστρώματος που θα επιτρέψει την καλή συγκόλληση των δύο υλικών. Για την δημιουργία του υποστρώματος εφαρμόζεται, κυρίως, η διαδικασία της χρωμάτωσης που θεωρείται ως η πλέον πρόσφορη και ενδεδειγμένη μέθοδος από τεχνική και οικονομική άποψη. Η χρωμάτωση προσφέρει χημική αδράνεια στην επιφάνεια του μετάλλου, καλή πρόσφυση και ικανότητα της χρωστικής ύλης να παρακολουθεί ικανοποιητικά τις παραμορφώσεις του μετάλλου. Επίσης, σε μικρότερη κλίμακα, χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι για την δημιουργία του κατάλληλου υποστρώματος, όπως η ανοδίωση (3-8 μικρά, χωρίς σφράγισμα των πόρων).

- **Βαφή :**

Το επόμενο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας είναι η εφαρμογή της πούδρας βαφής στα τεμάχια αλουμινίου. Η χρωστική ύλη, σε μορφή πούδρας, φορτίζεται με ηλεκτροστατικό φορτίο (70-100 volts) και εκτοξεύεται με πεπιεσμένο αέρα από τα πιστόλια βαφής, πάνω στα κομμάτια αλουμινίου, που είναι γειωμένα, και επικαλύπτει την επιφάνειά τους (σχήμα 3).

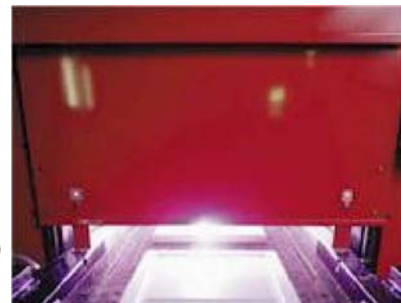




Η διαφορά ηλεκτροστατικού δυναμικού έχει σαν αποτέλεσμα τη συγκράτηση των κόκκων της χρωστικής ύλης πάνω στην επιφάνεια του αλουμινίου . Η τελική πρόσφυση της χρωστικής ουσίας επιτυγχάνεται σ' ένα επόμενο στάδιο με τον πολυμερισμό της σε κατάλληλους φούρνους(σχήμα 4). Σε πολύπλοκα προφίλ, το πάχος της βαφής δεν είναι παντού το ίδιο. Λόγω των νόμων της φυσικής, οι κόκκοι της πούδρας που είναι φορτισμένοι με ηλεκτροστατικό φορτίο - συναντούν δυσκολία να εισέλθουν σε εσοχές. Η προσπάθεια να εξασφαλισθεί επαρκές επίστρωμα βαφής στα δύσκολα αυτά σημεία, ιδιαίτερα όταν αυτά είναι ορατά στην κατασκευή (οδηγοί, κάσες κλπ), φορτώνει τις εύκολες επιφάνειες του προφίλ με, πολλές φορές υπερβολικά, μεγάλο πάχος βαφής.

- **Πολυμερισμός:**

Μετά την εφαρμογή της χρωστικής ύλης, τα τεμάχια αλουμινίου οδηγούνται σε ειδικούς φούρνους όπου σε θερμοκρασία (180-220 °C) και χρόνο που ορίζονται από τον παραγωγό της πούδρας, γίνεται ο πολυμερισμός της ρητίνης και επομένως η δημιουργία προστατευτικού, σταθερού επιστρώματος βαφής(σχήμα).



## 6.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτροστατικής Βαφής αλουμινίου

Η τελική ποιότητα της ηλεκτροστατικής βαφής αλουμινίου εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες και η εκτίμησή της απαιτεί μια σειρά ελέγχων και δοκιμών . Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τελική ποιότητα είναι:

**Εγκαταστάσεις:** Η εφαρμογή της ηλεκτροστατικής βαφής απαιτεί συγκεκριμένες εγκαταστάσεις, εξοπλισμό και αυστηρή τήρηση και έλεγχο όλων των συνθηκών παραγωγικής διαδικασίας. Τα στάδια του καθαρισμού των προς βαφή επιφανειών αλουμινίου, η δημιουργία του κατάλληλου και σωστού υποστρώματος (χρωμάτωση κλπ), η βαφή και ο πολυμερισμός, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για το τελικό αποτέλεσμα. Πολλά από τα προβλήματα που εμφανίζονται στην πράξη, οφείλονται στην αντίληψη ότι η βαφή είναι εύκολη δουλειά, σκεπτάζει τα πάντα και μπορεί να γίνει οπουδήποτε.



**Πρώτες ύλες-υλικά :** Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την επίτευξη καλής ποιότητας βαφής είναι ο τύπος και η ποιότητα της χρησιμοποιούμενης πούδρας. Θεωρείται απαραίτητη η χρήση χρωστικών υλών που έχουν την έγκριση της ευρωπαϊκής ένωσης. Η ποιότητα της βαφής διαπιστώνεται από μια σειρά οπτικών και εργαστηριακών ελέγχων και δοκιμών. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές τα βαμμένα προϊόντα αλουμινίου πρέπει να ικανοποιούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:



**I. Εμφάνιση:** Δεν πρέπει στις σημαντικές επιφάνειες να υπάρχουν χαραγές που φθάνουν μέχρι το μέταλλο. Οι βαμμένες επιφάνειες εξεταζόμενες



υπό γωνία 600 και από απόσταση 3 μέτρων, περίπου, δεν πρέπει να εμφανίζουν καμία σημαντική ανωμαλία όπως: ραβδώσεις, φλύκταινες, φλοιός πορτοκαλιού, εγκλείσεις ξένων υλών, κρατήρες, στίγματα, εκδορές κλπ. Το στρώμα βαφής πρέπει να παρουσιάζει ομοιομορφία χρώματος και καλή καλυπτική ικανότητα όταν παρατηρείται από απόσταση τουλάχιστον 5 μέτρων προκειμένου περί εξωτερικών επιφανειών και τουλάχιστον 3 μέτρων προκειμένου περί εσωτερικών.

## II. Χρώμα:



Η απεριόριστη ποικιλία χρωμάτων που προσφέρει η ηλεκτροστατική βαφή είναι ένας από τους παράγοντες που επέδρασε στην ευρεία χρήση της σήμερα.



Παράλληλα όμως, αυτή η μεγάλη ποικιλία χρωμάτων δημιουργεί πολλές φορές προβλήματα στην επικοινωνία μεταξύ πελάτη και βαφέα. Τα χρώματα κωδικοποιούνται βάσει του συστήματος **RAL**

Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω χρώματα με τους αντίστοιχους κωδικούς:

ΧΡΩΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ
ΛΕΥΚΟ	RAL 9010
ΜΑΥΡΟ	RAL 9005
ΚΑΦΕ	RAL 8014
ΚΟΚΚΙΝΟ	RAL 3005
ΚΙΤΡΙΝΟ	RAL 1021
ΜΠΛΕ	RAL 5010
ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	RAL 2002

Οι αποχρώσεις κάθε βασικού χρώματος έχουν ξεχωριστό αριθμό RAL. (πχ. υπάρχει λευκό RAL 9010 αλλά και λευκό RAL 9016). Μερικές φορές, δημιουργείται η αίσθηση διαφορετικής απόχρωσης, λόγω της διαφορετικής στιλπνότητας. Οι χρωστικές ύλες (πούδρες) ανάλογα με την σύστασή τους, μπορεί να έχουν διαφορετική τελική στιλπνότητα (λαμπρότητα). Η στιλπνότητα μετράται σε μονάδες και διακρίνομε τρεις κατηγορίες :

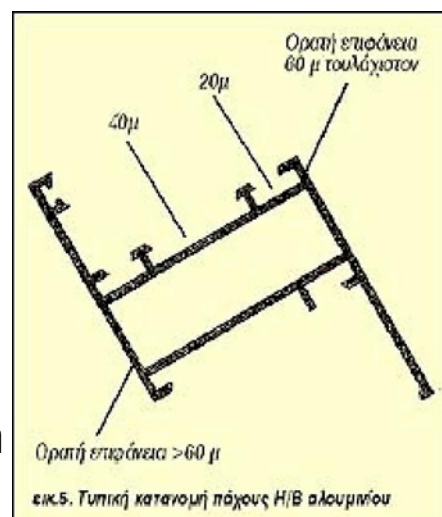
**Κατηγορία 1 (Ματ): 0 - 30** μονάδες

**Κατηγορία 2 (Ημιγυαλιστερό): 31 - 70** μονάδες

**Κατηγορία 3 (Γυαλιστερό): 71 - 100** μονάδες

**III. Πάχος βαφής:** Η βαφή πρέπει να έχει το κατάλληλο πάχος ώστε σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα ποιοτικά χαρακτηριστικά να εξασφαλίζει την προστασία του μετάλλου και την καλή εμφάνιση του τελικού προϊόντος. Το πάχος της βαφής, στις επιφάνειες που είναι συνεχώς ορατές, πρέπει να είναι τουλάχιστον 60 μm (μικρά), η μέτρησή του δε, γίνεται με ειδικά όργανα (εικ. 5).

Πάντως, επιφάνειες με πάχος βαφής κάτω από 50 μικρά (που θεωρείται κρίσιμο πάχος) φαίνονται αμέσως, από ένα σχετικά έμπειρο γυμνό μάτι, ως πλημμελώς βαμμένες.



**IV. Μηχανικές αντοχές:** Οι μηχανικές αντοχές αφορούν τις ιδιότητες της πρόσφυσης, της σκληρότητας (αντοχή σε γδαρσίματα) και της ελαστικότητας (αντοχή σε κοίλανση, κάμψη, κρούση) των επιστρωμάτων ηλεκτροστατικής βαφής αλουμινίου. Οι ιδιότητες αυτές εξασφαλίζονται με την καλή προετοιμασία της επιφάνειας του αλουμινίου (καθαρισμός και υπόστρωμα) την ποιότητα της πούδρας και τις συνθήκες πολυμερισμού. Για την εκτίμηση του επιπέδου της ποιότητας χρησιμοποιούνται τόσο ειδικές εργαστηριακές δοκιμές όσο και απλές πρακτικές δοκιμές. Μια εύκολη και χαρακτηριστική μέθοδος για τον έλεγχο των μηχανικών αντοχών της βαφής από τους αλουμινοκατασκευαστές, είναι η συμπεριφορά του συστήματος βαφή-μέταλλο, κατά την μηχανουργική κατεργασία. Το επίστρωμα βαφής δεν πρέπει να παρουσιάζει θραύση ή αποκόλληση, όταν υφίσταται πριόνισμα, τρύπημα ή φρεζάρισμα με καλά, βέβαια, εργαλεία.

**V. Αντοχή στη διάβρωση:**

Ειδικές δοκιμές χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αντοχής των βαμμένων προϊόντων αλουμινίου σε διάβρωση όπως: η δοκιμή αλατονέφωσης (διάρκεια 1000 ώρες), δοκιμή MACHU (σύντομη δοκιμή, 48 ώρες), κλπ.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΑΝΟΔΙΩΣΗ

### 7.1 Γενικά

Η ανοδίωση είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία, κατά την οποία το υπόστρωμα του αλουμινίου (για παράδειγμα το προφίλ) εμβαπτίζεται σε ένα υδατικό διάλυμα ηλεκτρολυτών ρυθμιζόμενης οξύτητας. Μια ηλεκτροχημική αντίδραση σημειώνεται στην επιφάνεια επαφής αλουμινίου – διαλύματος ηλεκτρολυτών, η οποία οδηγεί στον σχηματισμό μιας ορισμένης επιφάνειας αντοχής οξειδίου αργιλίου. Η διαδικασία θειικού οξέος DC είναι η πιο συχνή διαδικασία ανοδίωσης για αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Κατά τη διαδικασία η δομή πορου της επιφάνειας οξειδίου του αργιλίου πρέπει να είναι κλειστή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια άχρωμη, διαφανή μεμβράνη οξειδίου που προστατεύει μακροχρόνια την όψη του μετάλλου. Συμπεριλαμβάνοντας ενώσεις μετάλλων στους πόρους πριν από τη σφράγιση, η άχρωμη επίστρωση οξειδίου μπορεί να χρωματιστεί (ανοικτό, παλ, μέτριο ή σκούρο μπρονζέ και μαύρο). Κατά τη διαδικασία SANDALOR, η χρήση οργανικών χρωμάτων μπορεί να διευρύνει το φάσμα των διατεθειμένων χρωμάτων, προκειμένου να συμπεριληφθούν και αποχρώσεις του κίτρινου, καφέ, κόκκινου και μπλε.



Μερικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ανοδίωσης είναι:

- Το στρώμα ανοδίωσης δημιουργείται από το ίδιο το μέταλλο, είναι πλήρως ενσωματωμένο σ' αυτό και έτσι δεν υπάρχουν προβλήματα πρόσφυσης.
- Η αντιδιαβρωτική συμπεριφορά της ανοδίωσης είναι πάρα πολύ καλή, εφ' όσον τηρηθούν όλοι οι κανόνες παραγωγικής διαδικασίας, εφαρμογής και χρήσης.
- Τα ανοδιωμένα προϊόντα αλουμινίου έχουν μεταλλική εμφάνιση.
- Υπάρχει περιορισμός χρωμάτων.

Η ανοδίωση, ως επιφανειακή επεξεργασία του αλουμινίου, εφαρμόζεται πάνω από 60 χρόνια. Στο διάστημα αυτό είχαμε την ευκαιρία να δούμε τα προβλήματα που εμφανίζονταν στην πράξη και με τις κατάλληλες τεχνικές να εξαλειφθούν. Σήμερα, μετά από 60 χρόνια, θεωρείται ότι κατέχουμε πλήρως

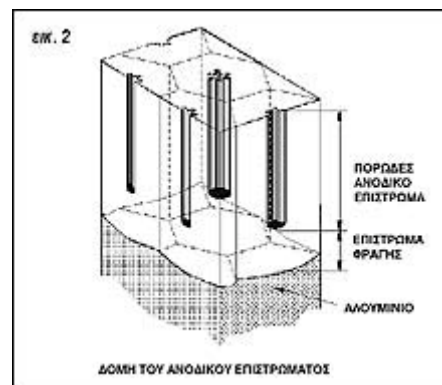
την τεχνολογία της ανοδίωσης και γνωρίζουμε την συμπεριφορά της στο χρόνο.

## 7.2 Η τεχνολογία της ανοδίωσης

Τα βασικά στάδια της δημιουργίας ανοδικού επιστρώματος είναι: η προεργασία, η ανοδίωση, ο χρωματισμός (αν απαιτείται) και το σφράγισμα.

**Προεργασία:** Οι επιφάνειες που πρόκειται να ανοδιωθούν υποβάλλονται, συνήθως, σε μηχανικές ή και σε χημικές επεξεργασίες λείανσης με κατάλληλα λειαντικά μέσα ή χημικά αντιδραστήρια. Σκοπός αυτής της επεξεργασίας είναι να δώσει στην επιφάνεια εμφάνιση γυαλιστερή ή ματ. Στην συνέχεια, τα τεμάχια αλουμινίου υφίστανται επεξεργασία απολάδωσης / προσβολής (σόδα) και εξουδετέρωσης (νιτρικό οξύ).

**Ανοδίωση:** Η διαδικασία γίνεται με ηλεκτρόλυση (διοχέτευση συνεχούς ρεύματος), σε μπάνιο θεικού οξέος, κάτω από αυστηρές συνθήκες ελέγχου των συγκεντρώσεων των χημικών συστατικών, της θερμοκρασίας, της πυκνότητας του ρεύματος κτλ. Αποτέλεσμα της ηλεκτρόλυσης είναι η -με απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο- οξείδωση της επιφάνειας του αλουμινίου. Το ανοδικό επίστρωμα είναι διαφανές (σαν γυαλί). Επίσης, το ανοδικό επίστρωμα δεν είναι συνεχές και παρουσιάζει πόρους (**εικ.2**).

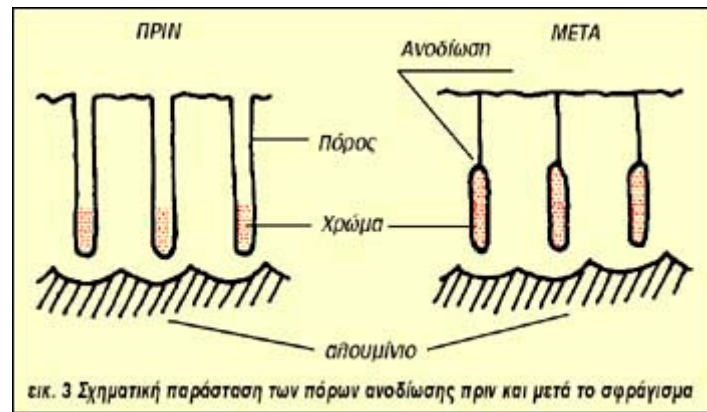


**Χρωματισμός:** Το έγχρωμο ανοδιωμένο αλουμίνιο επιτυγχάνεται με την εναπόθεση έγχρωμων στοιχείων στους πόρους του ανοδικού επιστρώματος (ηλεκτρολυτικός χρωματισμός) και γίνεται μετά την φάση της ανοδίωσης και πριν τη φάση του σφραγίσματος. Τα πλέον διαδεδομένα χρώματα ανοδίωσης είναι οι αποχρώσεις του καφέ. Αυτό επιτυγχάνεται με την εμβάπτιση των τεμαχίων σε μπάνιο που περιέχει άλατα κασσιτέρου (Sn). Ανάλογα με το χρόνο παραμονής τους στο μπάνιο, επιτυγχάνονται οι διάφορες αποχρώσεις του καφέ. Επίσης και άλλα χημικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία άλλων αποχρώσεων (χρυσό κλπ).

**Σφράγισμα:** Το σφράγισμα των πόρων αποτελεί μία από τις βασικότερες διεργασίες προκειμένου να εξασφαλισθεί η σωστή προστασία του αλουμινίου. Όπως αναφέρθηκε πριν, το ανοδικό επίστρωμα παρουσιάζει πόρους. Στα σημεία των πόρων, το πάχος της ανοδίωσης είναι πολύ μικρό (2-3 μικρά), και η προστασία στα σημεία αυτά είναι ασθενής. Με την διαδικασία του σφραγίσματος ενυδατώνεται το οξείδιο του αλουμινίου και με τη επερχόμενη διόγκωσή του κλείνουν (σφραγίζονται) οι πόροι. Επιπλέον, στην περίπτωση



που έχει προηγηθεί η διαδικασία του ηλεκτρολυτικού χρωματισμού, οι χρωστικές ύλες εγκλωβίζονται μέσα στους πόρους και εξασφαλίζεται έτσι η σταθερότητα του χρώματος στον χρόνο. Οι χρωστικές ουσίες είναι ορατές γιατί, όπως ήδη αναφέρθηκε, το ανοδικό επίστρωμα είναι διαφανές σαν γυαλί (εικ. 3).



Το σφράγισμα των πόρων επιτυγχάνεται με δύο τρόπους :

- **Ζεστό σφράγισμα**, γίνεται με την εμβάπτιση των τεμαχίων αλουμινίου σε απιονισμένο νερό 96°C, τουλάχιστον και για χρόνο 2 min για κάθε μικρό ανοδίωσης.
- **Κρύο σφράγισμα**, γίνεται με την εμβάπτιση σε μπάνιο θερμοκρασίας 25-30 °C που περιέχει άλατα φθοριούχου νικελίου κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες συγκεντρώσεων των συστατικών, pH, θερμοκρασίας κτλ. Η ολοκλήρωση του σφραγίσματος επιτυγχάνεται με την παραμονή των τεμαχίων σε μπάνιο θειικού νικελίου 60 °C και για χρόνο 0,8 □ 1,2 min για κάθε μικρό ανοδίωσης.

## 7.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά της ανοδίωσης Αλουμινίου

**Εμφάνιση:** Η τελική εμφάνιση των ανοδιωμένων προϊόντων αλουμινίου μπορεί να είναι άχρωμη (φυσικό χρώμα) ή έγχρωμη. Οι βασικοί χρωματισμοί που έχουν επικρατήσει διεθνώς είναι οι αποχρώσεις του καφέ.

Η τελική εμφάνιση των προϊόντων εξαρτάται :

- Από το κράμα. Αυτό πρέπει να είναι καθορισμένο και ο προμηθευτής οφείλει να πιστοποιεί ότι το υλικό ανταποκρίνεται στις αντίστοιχες προδιαγραφές και ότι είναι κατάλληλο να υποστεί την ανοδίωση.
- Από τον τρόπο επιφανειακής επεξεργασίας πριν την ανοδίωση. Έτσι η τελική εμφάνιση μπορεί να είναι γυαλιστερή ή ματ.
- Από την επιφανειακή επεξεργασία μετά την ανοδίωση, όπως π.χ. τον χρωματισμό ή τις συνθήκες σφραγίσματος.
- Από τον τρόπο χειρισμού κατά την συσκευασία, αποθήκευση μεταφορά και παράδοση στον πελάτη.

## Κωδικοποίηση των αποχρώσεων της ανοδίσωσης

ΕΜΦΑΝΙΣΗ	Κωδ. EURAS	Κωδ. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ
ΑΧΡΩΜΟ	C-0	ΦΥΣΙΚΟ
ΜΠΡΟΝΖΕ	C-31	2001
ΑΝΟΙΚΤΟ	C-32	2003
ΚΑΦΕ	C-33	2005
ΣΚΟΥΡΟ ΚΑΦΕ	C-34	2007
ΜΑΥΡΟ	C-35	2009

**Πάχος ανοδίσωσης:** Το πάχος ανοδίσωσης αντιστοιχεί στο πάχος σε μικρά ( $\mu\text{m}$  = χιλιοστά χιλιοστομέτρου) του επιστρώματος του οξειδίου του αλουμινίου της σημαντικής επιφάνειας. Ανάλογα με την χρήση και το περιβάλλον που θα τοποθετηθεί η κατασκευή, επιβάλλεται και το ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος ανοδίσωσης. Έτσι επιβάλλεται:

- εσωτερικοί χώροι: ελάχιστο πάχος ανοδίσωσης 10  $\mu\text{m}$  (μικρά)
- εξωτερικοί χώροι σε κοινό αστικό περιβάλλον: ελάχιστο πάχος ανοδίσωσης 15  $\mu\text{m}$  (μικρά)
- εξωτερικοί χώροι σε διαβρωτικό περιβάλλον (θαλάσσιο, βιομηχανικό): ελάχιστο πάχος ανοδίσωσης 20  $\mu\text{m}$  (μικρά)

**Σφράγισμα ανοδίσωσης:** Η ποιότητα του σφραγίσματος είναι από τα πλέον βασικά χαρακτηριστικά ποιότητας των ανοδικών επιστρωμάτων. Σ' ένα μη ή κακά σφραγισμένο ανοδικό επίστρωμα, οι ρύποι της ατμόσφαιρας θα επιτεθούν και θα προσβάλλουν τα σημεία των πόρων όπου το επίστρωμα είναι μόλις λίγων μικρών. Είναι εύκολα κατανοητό ότι ένα κακά σφραγισμένο ανοδικό επίστρωμα, ακόμη και πολλών μικρών πάχους, είναι αναποτελεσματικό ώστε να προστατεύσει το αλουμίνιο από οξειδωση. Επιπλέον, στα έγχρωμα ανοδικά επιστρώματα, με το σφράγισμα εγκλωβίζονται οι χρωστικές ουσίες στο εσωτερικό των πόρων και έτσι εξασφαλίζεται μακροχρόνια σταθερότητα χρωματισμού.

Τόσο το πάχος όσο και το σφράγισμα της ανοδίσωσης, ελέγχονται σήμερα με ειδικές μεθόδους και συσκευές.