



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Έρευνα και μελέτη των κραμάτων
αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των
μηχανικών ιδιοτήτων τους**

Καπετανάκης Μιχάλης (ΑΜ:5406)

Επιβλέπων καθηγητής: Σαββάκης Κωνσταντίνος

Ηράκλειο Εαρινό Εξάμηνο 2014-2015



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

Αφιέρωση

Στην εκπόνηση της πτυχιακής, αυτής εργασίας, συνέβαλε κατά μεγάλο ποσοστό η εμπειρία μου κάνοντας την πρακτική μου άσκηση στο εξωτερικό, στο Λοτζ της Πολωνίας και στο συνεργαζόμενο Πολυτεχνείο. Μέσω του προγράμματος Εράσμους+ και με την οικονομική ενίσχυση και στήριξη του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών, μου δόθηκε η δυνατότητα αυτή και για την είμαι ευγνώμων. Είμαι επίσης ευγνώμων σε κάποια πολύ καθοριστικά πρόσωπα που με βοήθησαν πριν, κατά την διάρκεια και μετά την πρακτική μου. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Łukasz Kaczmarek, αντιπρύτανη του τμήματος Μηχανολογίας στο ίδρυμα για την ευκαιρία που μου έδωσε όταν μου πρότεινε να κάνω την πρακτική μου εκεί όπως επίσης και τους Marek Klich και Mariusz Steglinski με τους οποίους συνεργαζόμουν σε ημερήσια βάση καθώς ήμασταν υπεύθυνοι του πρότζεκτ αυτού. Βέβαια όλα αυτά δεν θα ήταν εφικτά χωρίς την σκληρή δουλειά του γραφείου Διεθνών Σχέσεων του ΤΕΙ μας, συγκεκριμένα στην περίπτωση μου του κ.Gareth Owens και της κυρίας Gloria Vega που ανά πάσα στιγμή ήταν στην διάθεση μας για κάθε απορία όπως επίσης και ο καθηγητής/συντονιστής του προγράμματος Εράσμους του τμήματος μας κ. Κονταξάκης.

Πρόλογος

Η ιδέα για την πτυχιακή αυτή εργασία μου δόθηκε κατά την διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στο Πολυτεχνείο του Λοτζ στην Πολωνία. Κατά την διάρκεια της πρακτικής άσκησης σαν μέλος μιας ερευνητικής ομάδας, που συντάσσονταν από δύο διδακτορικούς και μια προπτυχιακή φοιτήτρια από την Πολωνία όπως επίσης και έναν προπτυχιακό φοιτητή από την Βραζιλία, είχαμε ως στόχο την μελέτη του κράματος αλουμινίου 2024 και τους τρόπους με τους οποίους θα μπορούσαμε να του βελτιώσουμε τις μηχανικές του ιδιότητες χωρίς να επηρεαστούν οι φυσικές.

Σαν ερευνητική ομάδα είχαμε στην διάθεση μας πέρα από το ιδιωτικό μας εργαστήριο στο οποίο κάναμε τις θερμικές κατεργασίες στα δοκίμια μας, εργαστήρια με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας σε μηχανήματα όπως μικροσκόπια για να μελετάμε την επιφάνεια των δοκιμίων, πριν, κατά την διάρκεια και μετά από τις θερμικές κατεργασίες, είτε αυτές ήταν εμφανή σε μεγέθυνση 1000 φορές του πραγματικού (οπτικά-φωτονικά) είτε για εικόνες 500,000 φορές μεγαλύτερες του πραγματικού (SEM), το οποίο μας έλυne τα χέρια όταν οι αλλαγές στην επιφάνεια των δοκιμίων δεν ήταν μεγάλη και εύκολα αντιληπτή.

Πίνακας περιεχομένων

Αφιέρωση	2
Πρόλογος	3
Πίνακας περιεχομένων	4
Πίνακας περιεχομένων σχημάτων	6
Εισαγωγή	9
1. Βασικά χαρακτηριστικά των κραμάτων αλουμινίου.....	11
1.1 Βασική εισαγωγική περίληψη περί του αλουμινίου και των κραμάτων του	11
1.2 Φυσικές ιδιότητες αλουμινίου και κραμάτων	15
1.2.1 Ατομική δομή.....	15
1.2.2 Φυσικές ιδιότητες.....	16
1.2.3 Θερμικές ιδιότητες	19
2. Παραγωγή αλουμινίου – επιπτώσεις στο περιβάλλον	21
2.1 Αναδρομή στην ιστορία του αλουμινίου και της παραγωγής του	21
2.1.1 Η ιστορία της παραγωγής αλουμινίου	21
2.1.2 Η μέθοδος Hall-Heroult	22
2.2 Η βιομηχανία και η παραγωγή αλουμινίου σήμερα	25
2.2.1 Η επιρροή των δύο παγκοσμίων πολέμων στην βιομηχανία αλουμινίου	26
2.2.2 Η βιομηχανία αλουμινίου την μεταπολεμική περίοδο	26
2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής αλουμινίου	27
2.3.1 Η διαδικασία εξόρυξης-επεξεργασίας βωξίτη	28
2.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	29
3. Τύποι κραμάτων αλουμινίου.....	33
3.1 Γενικές πληροφορίες.....	33
3.2 Τύποι κραμάτων και οι κατηγοριοποιήσεις τους	35
3.2.1 Θερμοσκληρυνόμενα κράματα	36
3.2.2 Μη θερμοσκληρυνόμενα κράματα	37
4. Θερμικές κατεργασίες κραμάτων αλουμινίου.....	41
4.1 Γενικές πληροφορίες περί θερμικών κατεργασιών των μετάλλων	41
4.2 Θερμικές κατεργασίες μετάλλων	42
4.2.1 Βαφή	42
4.2.2 Μερική βαφή (Κλιμακωτή βαφή).....	43
4.2.3 Επαναφορά μετά από βαφή.....	43
4.2.4 Ανόπτηση	43
4.3 Θερμικές κατεργασίες αλουμινίου και κραμάτων αλουμινίου	45
4.3.1 Αποτακτική ανόπτηση	45
4.3.2 Ανόπτηση των χυτών κραμάτων αλουμινίου	46
4.3.3 Μέθοδος κατακρήμνισης (precipitation hardening).....	46

4.3.4 Φυσική γήρανση.....	50
4.3.5 Τεχνητή γήρανση	51
5. Ανακύκλωση αλουμινίου.....	52
5.1 Δευτερεύουσα παραγωγή αλουμινίου.....	52
5.2 Ανακύκλωση αλουμινίου στον Ευρωπαϊκό χώρο.....	54
5.2.1 Ανακύκλωση αλουμινίου στην Ελλάδα	57
5.2.2 Διαδικασία ανακύκλωσης αλουμινένιων κουτιών.....	58
5.3 Ανταποδοτική ανακύκλωση	60
5.4 Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.....	62
6. Εφαρμογές – χρήσεις κραμάτων αλουμινίου	64
6.1 Εισαγωγή στις εφαρμογές κραμάτων αλουμινίου	64
6.2 Οι βασικές εφαρμογές αλουμινένιων κραμάτων.....	65
6.2.1 Περιληπτική αναφορά.....	65
6.2.2 Εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου στις μεταφορές	66
6.2.3. Εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου στην δόμηση	71
6.2.3.1. Χαρακτηρίζεται ως φυσικός εταίρος στην οικοδόμηση	74
6.2.3.2 Πλεονεκτήματα εφαρμογών αλουμινίου στην δόμηση.....	74
6.2.4. Εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου στην συσκευασία και αποθήκευση	81
6.2.5 Εφαρμογές κραμάτων αλουμινίου σε άλλους σημαντικούς τομείς....	83
6.2.5.1 Εφαρμογές στην μαγειρική.....	83
6.2.5.2 Εναλλακτικές πηγές ενέργειας – Φωτοβολταικά.....	84
6.2.5.3 Μεταφορά θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας	85
6.2.5.4 Μηχανολογία και συσκευές ακριβείας.....	85
6.2.5.5 Εξοπλισμός για σπίτια, γραφεία, διασκέδαση.....	86
6.2.5.6. Καλλυντικά	86
7. Πειραματικό μέρος εργασίας	87
7.1 Εισαγωγή, λίγα λόγια γύρω από το πείραμα.....	87
7.1.1 Θέμα και στόχοι.....	87
7.1.2 Οι εγκαταστάσεις και τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν.....	88
7.2 Λεπτομερής πειραματική διαδικασία.....	89
7.3 Συμπεράσματα και αλλαγές βάση των πρώτων αποτελεσμάτων	93
7.4 Νέος προμηθευτής, νέα αποτελέσματα.....	97
7.5 Συμπεράσματα	104
8. Βιβλιογραφία	106
8.1 Επιστημονικά άρθρα.....	106
8.2 Online Βιβλιογραφία (ιστοσελίδες).....	107

Πίνακας περιεχομένων σχημάτων

Εικόνα 1 Πρώτη ύλη για την παραγωγή αλουμινίου (Βωξίτης)	11
Εικόνα 2 <<Extruder>> αλουμινίου	12
Εικόνα 3 Βήμα-βήμα η διαδικασία εξώθησης του αλουμινίου	13
Εικόνα 4 Τελική μορφή ύστερα από εξώθηση	13
Εικόνα 5 Η εξέλιξη του διαστημοπλοίου.....	14
Εικόνα 6 Χημική φόρμουλα Al Εικόνα 7 Πυρήνας και στιβάδες Al.....	15
Εικόνα 8 Οξειδωμένο αλουμίνιο	18
Εικόνα 9 Αλουμινένιο εξάρτημα προπέλας πριν και μετά την οξείδωση	18
Εικόνα 10 Καμίνι τήξης αλουμινίου	19
Εικόνα 11 Αναλυτική αναπαράσταση της μεθόδου Hall-Heroult.....	23
Εικόνα 12 Η πρώτη ύλη και η διαδικασία παραγωγής αλουμινίου	24
Εικόνα 13 Πρώτες ύλες για την παραγωγή ενός τόνου αλουμινίου.....	25
Εικόνα 14 Οι δύο κυρίαρχες εταιρίες παραγωγής αλουμινίου στον κόσμο	25
Εικόνα 15 Ρυθμός αξιοποίησης αλουμινίου (αριστερά) και κλιμάκωση της τιμής του την περίοδο 46'-72' (δεξιά).....	27
Εικόνα 16 Το πρόβλημα του Κορινθιακού από την κόκκινη λάσπη του εργοστασίου επεξεργασίας βωξίτη και παραγωγής αλουμινίου της ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ της ΕΛΛΑΔΟΣ.....	28
Εικόνα 17 Λεπτομερείς διαδικασία επεξεργασίας βωξίτη.....	29
Εικόνα 18 Αφίσα της ΕΡΑ.....	30
Εικόνα 19 Ο δίκαιος χαρακτηρισμός αλουμινίου ως <<Πράσινο>> μέταλλο από την παγκόσμια βιομηχανία αλουμινίου	31
Εικόνα 20 Ιδιότητες καθαρού αλουμινίου.....	33
Εικόνα 21 Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης αλουμινίου σε σχέση με άλλα μέταλλα.....	34
Εικόνα 22 Η σχέση πυκνότητας του αλουμινίου σε σύγκριση με άλλα μέταλλα	34
Εικόνα 23 Πίνακας ταξινόμησης των κραμάτων	35
Εικόνα 24 Περιγραφές μέσα στο πλαίσιο.....	38
Εικόνα 25 Θερμική κατεργασία με την μέθοδο υπερβαφής και τεχνητής γήρανσης.....	40
Εικόνα 26 Σχηματική παράσταση των κυριότερων θερμικών κατεργασιών, στις οποίες η περιοχή του γρήγορου μετασχηματισμού είναι γραμμοσκιασμένη:	42
Εικόνα 27 Δεδομένα τεχνητής γήρανσης	47
Εικόνα 28 Βήμα-βήμα η μέθοδος κατακρήμνισης	48
Εικόνα 29 Επίδραση γήρανσης στο όριο διαρροής	50
Εικόνα 30 Επίδραση του ρυθμού ψύξης στο όριο διαρροής	50
Εικόνα 31 Επίδραση χρόνου και θερμοκρασίας γήρανσης στο όριο διαρροής.	51
Εικόνα 32 Βήμα-βήμα η διαδικασία παραγωγής δευτερόχυτου αλουμινίου.....	52
Εικόνα 33 Γράφημα που δείχνει πόσο από το παραγόμενο αλουμίνιο ανακυκλώνεται με το πέρασμα των ετών παγκοσμίως.....	53

Εικόνα 34 Ανακύκλωση αλουμινένιων κουτιών με το πέρας των ετών.....	54
Εικόνα 35 Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται καθαρά ο σημαντικό και ενεργός ρόλος της Ευρώπης όσον αφορά την ανακύκλωση αλουμινίου.....	55
Εικόνα 36 Εγκαταστάσεις ανακύκλωσης αλουμινίου παγκοσμίως.....	56
Εικόνα 37 Σημείο ανακύκλωσης αλουμινένιων κουτιών (και όχι μόνο) σε περιοχή της Ελλάδας	57
Εικόνα 38 Το ανακυκλώσιμο αλουμίνιο στο στάδιο αυτό	59
Εικόνα 39 Τα ενεργειακά οφέλη ανακύκλωσης αλουμινίου	63
Εικόνα 40 Που και πώς χρησιμοποιείται το παραγόμενο αλουμίνιο.....	64
Εικόνα 41 Κομμάτια του σκελετού ενός αυτοκινήτου που παράγονται από αλουμίνιο	66
Εικόνα 42 Πολλά από τα κομμάτια ενός συμβατικού κινητήρα φτιάχνονται από αλουμίνιο	67
Εικόνα 43 Χρήση εξαρτημάτων αλουμινίου στις αυτοκινητοβιομηχανίες.....	68
Εικόνα 44 Τα νέα αστικά λεωφορεία της Scania εξ ολοκλήρου φτιαγμένα από αλουμίνιο	69
Εικόνα 45 Τα υπερσύγχρονα μαγνητικά τρένα υψηλών ταχυτήτων που είναι φτιαγμένα σε πλειοψηφία από αλουμίνιο	70
Εικόνα 46 Μοντέρνα κουφώματα αλουμινίου	71
Εικόνα 47 Μοντέρνα κουφώματα/πετάσματα αλουμινίου	72
Εικόνα 48 Αλουμινένια γέφυρα στο Χέλμοντ της Ολλανδίας	73
Εικόνα 49 Αλουμινένια πάνελ	75
Εικόνα 50 Πάνελ αλουμινίου	76
Εικόνα 51 Πάνελ οροφής και ως μόνωση	77
Εικόνα 52 Δομή αλουμινένιου πάνελ οροφής	79
Εικόνα 53 Οι πιο οικίες μορφές αλουμινένιων συσκευασιών.....	81
Εικόνα 54 Αλουμινένια ταψιά	83
Εικόνα 55 Εργαλεία μαγειρικής από αλουμίνιο που τα βρίσκει ο καθένας στην κουζίνα του.....	84
Εικόνα 56 Φωτοβολταικά πάνελ αλουμινίου	85
Εικόνα 57 Scanning Electron Microscope (SEM)	89
Εικόνα 58 Δείγμα χαραγμένο και έτοιμο για εξέταση κάτω από το μικροσκόπιο	90
Εικόνα 59 Εικόνα από SEM σε x500 μεγέθυνση (Avanti Metals)	91
Εικόνα 60 Αναλυτικά τα στάδια της θερμικής κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκε εξ αρχής.....	92
Εικόνα 61 Μηχανολογικό σχέδιο ράβδων για πειράματα εφελκυσμού και στρέψης.....	93
Εικόνα 62 Η αλλαγή που παρουσιάστηκε κατά μέσο όρο στα εμβαδό πυρήνα-κελύφους των μορίων από 0 λεπτά ως και το τέλος του κύκλου	94
Εικόνα 63 Οι ίδιες μετρήσεις σε μεγαλύτερη μεγέθυνση x1000Οι ίδιες μετρήσεις σε μεγαλύτερη μεγέθυνση x1000	94

Εικόνα 64 Φαίνεται στο γράφημα ότι παρόλο που είναι κράματα από τον ίδιο προμηθευτή και έχουν υποστεί την ίδια θερμική κατεργασία δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τις μηχανικές τους ιδιότητες.	95
Εικόνα 65 Στην επιφάνεια των ίδιων δειγμάτων ύστερα από τα πειράματα εφελκυσμού παρουσιάστηκε το λεγόμενο φαινόμενο <<Κροκοδείλου>> όπου φαίνεται ξεκάθαρα ότι έχει παρουσιαστεί αστοχία του υλικού που επίσης προτρέπει στο ότι η χρήση υψηλότερης ποιότητας δειγμάτων	96
Εικόνα 66 Γράφημα πειράματος εφελκυσμού πριν από θερμικές κατεργασίες (TW Metals)	97
Εικόνα 67 Σε μεγέθυνση x500 φαίνεται η πολύ ομοιόμορφη επιφάνεια στο κρατήρα της ράβδου, χωρίς σημάδια πλαστικής παραμόρφωσης.	98
Εικόνα 68 Η ίδια επιφάνεια σε μικρότερη μεγέθυνση.....	98
Εικόνα 69 Avanti Metals, παρατηρούνται κάποια μεγάλα μόρια αλλά σε γενικές γραμμές φαίνεται πώς υπάρχουν τρύπες και μεταξύ τους τα μόρια έχουν μεγάλη απόσταση πράγμα που να οφείλεται σε χαμηλή πυκνότητα το οποίο ίσως και να εξηγεί τις αστοχίες.	99
Εικόνα 70 TW Metals, παρατηρούνται επίσης κάποιες τρύπες μεν, μικρότερων διατομών δε, φαίνεται επίσης ο μεγαλύτερος αριθμός μορίων και συνάμα μεγαλύτερη πυκνότητα σε ίδια μεγέθυνση, πιο κοντά μεταξύ τους πράγμα που εξηγεί τα νούμερα στο παραπάνω γράφημα εφελκυσμό.....	100
Εικόνα 71 Μεγέθυνση x1000 (κανονικά).....	101
Εικόνα 72 Μεγέθυνση x2500 (μικρότερη περιοχή ανάλυσης)	101
Εικόνα 73 Μεγέθυνση x10000 (μόνο μόριο).....	102
Εικόνα 74 Πριν και μετά τα πρώτα 30 λεπτά της θερμικής κατεργασίας για πυρήνα και κέλυφος	102
Εικόνα 75 Οι ίδιες μετρήσεις από 10 διαφορετικές ράβδους	103

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία έχει κάνει τεράστια βήματα, από την εποχή που μια αποστολή στο φεγγάρι φαινόταν αδύνατη και υπήρχε μόνο σαν σενάριο σε ταινίες επιστημονικής φαντασίας, έχουμε φτάσει σε ένα σημείο όπου ταινίες επιστημονικής φαντασίας απεικονίζουν πράγματα που είτε έχουν ήδη επιτευχθεί είτε πράγματα που δεν είναι πολύ μακριά από το να επιτευχθούν. Αναφέρθηκα σε διαστημικές αποστολές διότι είναι ένα από τα παραδείγματα όπου η εξέλιξη των υλικών και της τεχνολογίας υλικών έχει φέρει καρπούς. Για να σταλεί ένα διαστημόπλοιο στο διάστημα κοστίζει και αυτό το κόστος δεν είναι μικρό.

Το κόστος εξαρτάται από πολλά κριτήρια, αλλά το πιο σημαντικό είναι το βάρος του οχήματος, γιατί ανάλογα με το βάρος θα κριθεί η ποσότητα καυσίμων. Για αυτό στις μέρες μας επικρατεί η ιδεολογία του << όσο πιο ελαφρύ τόσο πιο φτηνό>> και όχι μόνο για διαστημόπλοια, αλλά και σε πιο <<προσγειωμένα>> παραδείγματα όπως το αυτοκίνητο. Κυβερνήσεις σε όλο το κόσμο έχουν βγάλει νόμους και περιορισμούς για τις βιομηχανίες αυτοκινήτων, περιορισμούς ειδικά προς όφελος του περιβάλλοντος, για καυσαέρια, για ανακυκλώσιμα υλικά αλλά και για πολλά άλλα, όλα όμως με την ιδεολογία του << όσο πιο ελαφρύ τόσο πιο φτηνό>> άρα και φιλικό στο περιβάλλον.

Το παράδειγμα της αυτοκινητοβιομηχανίας ίσως να είναι και το πιο σωστό, διότι οι εταιρίες παραγωγής αυτοκινήτων, θέλουν να προσφέρουν στο κοινό ότι ζητήσει, είτε αυτό είναι ταχύτητα είτε αεροδυναμική είτε κάτι άλλο, αλλά εφόσον υπάρχουν οι περιορισμοί από τις κυβερνήσεις να τους κρατάνε περιορισμένους δεν υπάρχουν εύκολοι δρόμοι παρά μόνο της εξέλιξης.

Παλαιότερα, όταν δεν υπήρχαν οι περιορισμοί στις αυτοκινητοβιομηχανίες, αυτές παράγγαζαν βαριά οχήματα, με μεγάλους κινητήρες που παράγγαζαν υπερβολική δύναμη, χωρίς να σκέφτονται τις συνέπειες που είχε αυτό, στο περιβάλλον αλλά και χωρίς να σκέφτονται τις συνέπειες που θα έχει στον άνθρωπο, είτε αυτός είναι πεζός είτε οδηγός. Όταν οι συνέπειες έγιναν αντιληπτές, ήρθαν και οι περιορισμοί. Περιορισμοί που έβαλα σε τάξη της βιομηχανίες αυτοκινήτων καθώς και σε θέση να σκεφτούν πιο οικονομικούς και παράλληλα πιο οικολογικούς τρόπους να πετύχουν τους στόχους τους.

Στις μέρες μας, εταιρίες αυτοκινήτων μεγαθήρια όπως η Ferrari, η Lamborghini, η Porsche, η Pagani και πολλές άλλες φτιάχνουν τα πανάκριβα αυτοκίνητα τους από όσο πιο ελαφριά υλικά είναι δυνατόν. Αυτοκίνητα που παράγουν το αστρονομικό ποσό των έως και 1000 ίππων σήμερα ζυγίζουν έως λιγότερο και από ένα τόνο. Αυτό συμβαίνει και με συμβατικά αυτοκίνητα, αυτοκίνητα που βλέπουμε καθημερινά στους δρόμους, ίσως σε μικρότερο βαθμό αλλά βρίσκονται μέσα στις προδιαγραφές που τους έχουν δώσει. Αυτοκίνητα με μέρη

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

φτιαγμένα από αλουμίνιο, ανθρακόνημα, τιτάνιο, μαγνήσιο αλλά και από κάποια πολυμερή πλαστικά, όλα υλικά που ζυγίζουν πολύ λιγότερο από τα μέταλλα που χρησιμοποιούντουσαν παλαιότερα.

Όπως προαναφέρθηκε, η ιδέα και το θέμα της εργασίας αυτής είναι εμπνευσμένη από το διάστημα που ήμουν στην Πολωνία για την πρακτική μου άσκηση στο συνεργαζόμενο ίδρυμα, κατά την διάρκεια λοιπόν της πρακτικής αυτής είχαμε ως στόχο μαζί με την υπόλοιπη ερευνητική ομάδα, να μελετήσουμε τα κράματα αλουμινίου γενικώς και ιδιαίτερα το κράμα 2024.

Ο στόχος του πρότζεκτ ήταν πέρα από την μελέτη τους και την μελέτη των θερμικών κατεργασιών τους, να βρεθεί μια μέθοδος, μια σειρά θερμικών κατεργασιών και μεθόδων γρήγορης γήρανσης, η οποία θα μετέτρεπε το κράμα μας σε μια μορφή της οποίας οι μηχανικές ιδιότητες θα αυξάνονταν δραματικά χωρίς να επηρεαστούν οι φυσικές ιδιότητες. Ένα κράμα αλουμινίου το οποίο θα ήταν θα ήταν ελαφρύ και παράλληλα ικανό να σηκώσει φορτία που ένα απλό κράμα 2024 δεν θα μπορούσε. Και όλο αυτό στα πλαίσια του << όσο πιο ελαφρύ τόσο πιο φτηνό>>.

1. Βασικά χαρακτηριστικά των κραμάτων αλουμινίου

1.1 Βασική εισαγωγική περίληψη περί του αλουμινίου και των κραμάτων του

Το αλουμίνιο (Al) ή αργίλιο είναι το τρίτο σε ποσότητα χημικό στοιχείο στη Γη, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο και αποτελεί περίπου το 8% κατά βάρος του στερεού φλοιού. Σε αντίθεση με τον χαλκό, τον χρυσό και τον σίδηρο το αλουμίνιο δεν υπάρχει στην φύση σε απλές χημικές ενώσεις εύκολα διασπασίμες, έτσι η απομόνωση του μετάλλου αυτού καθυστέρησε ιδιαίτερα. Το αλουμίνιο προέρχεται από το ορυκτό βωξίτης (Εικόνα 1), που μετά την εξόρυξη του μετατρέπεται σε αλουμίνα και στη συνέχεια με τα ηλεκτρόλυση μετατρέπεται σε μέταλλο αλουμίνιο.



Εικόνα 1 Πρώτη ύλη για την παραγωγή αλουμινίου (Βωξίτης)

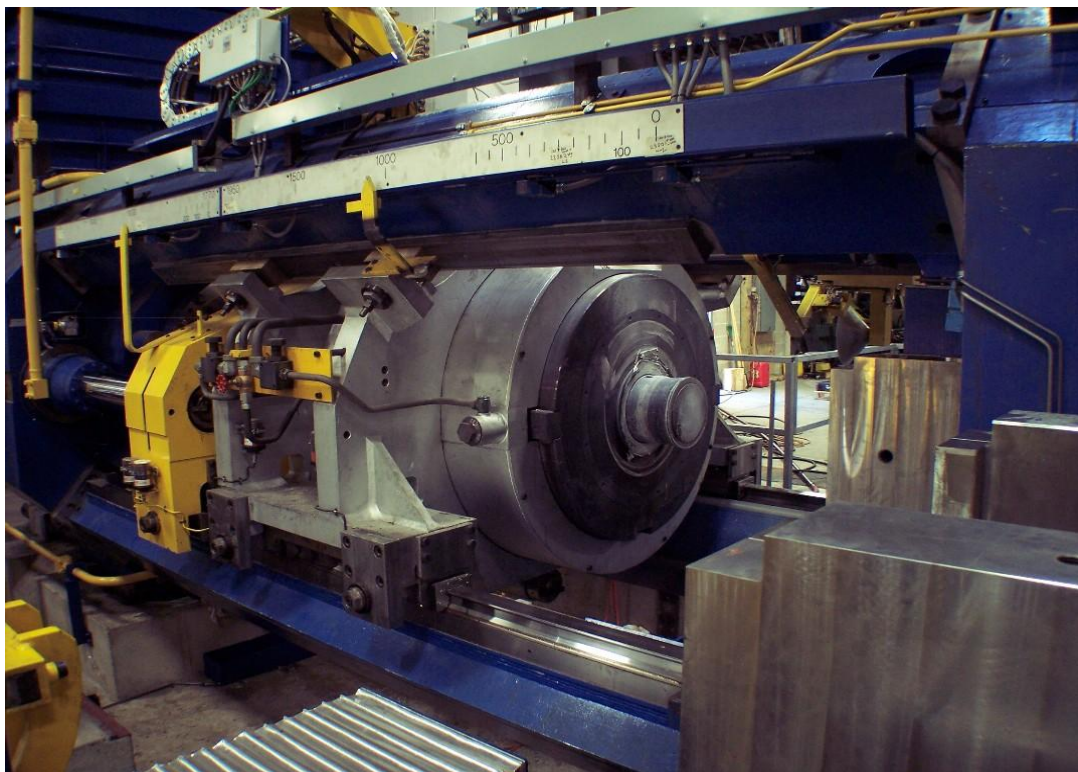
Η σημερινή υψηλή τεχνολογία και οι ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του, εξηγούν το σημερινό ευρύ φάσμα εφαρμογών του. Είναι

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

μετά τον σίδηρο το συχνότερα χρησιμοποιούμενο μέταλλο. Τα κράματα αλουμινίου, είναι κράματα με βασικό υλικό της δομής τους το αλουμίνιο. Άλλα στοιχεία που συναντάμε συχνά μέσα σε κράματα αλουμινίου είναι ο χαλκός, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο, το πυρίτιο, ο κασσίτερος και ο ψευδάργυρος.

Υπάρχουν δύο κατηγοριοποιήσεις των κραμάτων αλουμινίου, χωρίζονται σε κράματα χυτού αλουμινίου και σε κατεργασίας, τα οποία στην συνέχεια υποκατηγοριοποιούνται σε άλλες ομάδες, θερμοσκληρυνόμενα και μη-θερμοσκληρυνόμενα.

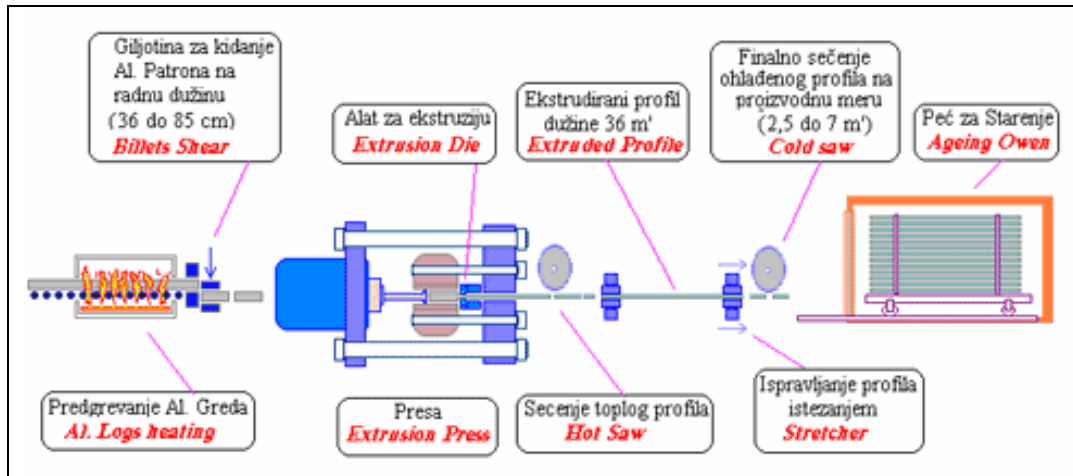
Σχεδόν το 85% του αλουμινίου χρησιμοποιείται για κράματα κατεργασίας, όπως αλουμινένιες πλάκες, λεπτά φύλα αλουμινίου και αντικείμενα που δημιουργούνται με εξώθηση (extrusions). Το χυτό αλουμίνιο, που χρησιμοποιείται για την κατευθείαν παραγωγή τεμαχίων τελικών προϊόντων (χυτόπρεσες). Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιεί μεγαλύτερο ποσοστό προσθηκών από την προηγούμενη με βασικότερο στόχο την ευκολότερη χύτευση της τελικής μορφής. Το πιο σημαντικό κράμα, είναι αυτό που αποτελείται από αλουμίνιο και πυρίτιο, όπου τα υψηλά επίπεδα πυριτίου (4.0–13%) συμβάλουν στα πολύ καλά χαρακτηριστικά του τελικού υλικού.



Εικόνα 2 <<Extruder>> αλουμινίου

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε μηχανολογικές κατασκευές και στην δημιουργία ανταλλακτικών μεγάλης γκάμας, όπου το μικρό βάρος και η αντίσταση στην οξειδωση είναι πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά και απαιτούνται σε μεγάλο βαθμό.



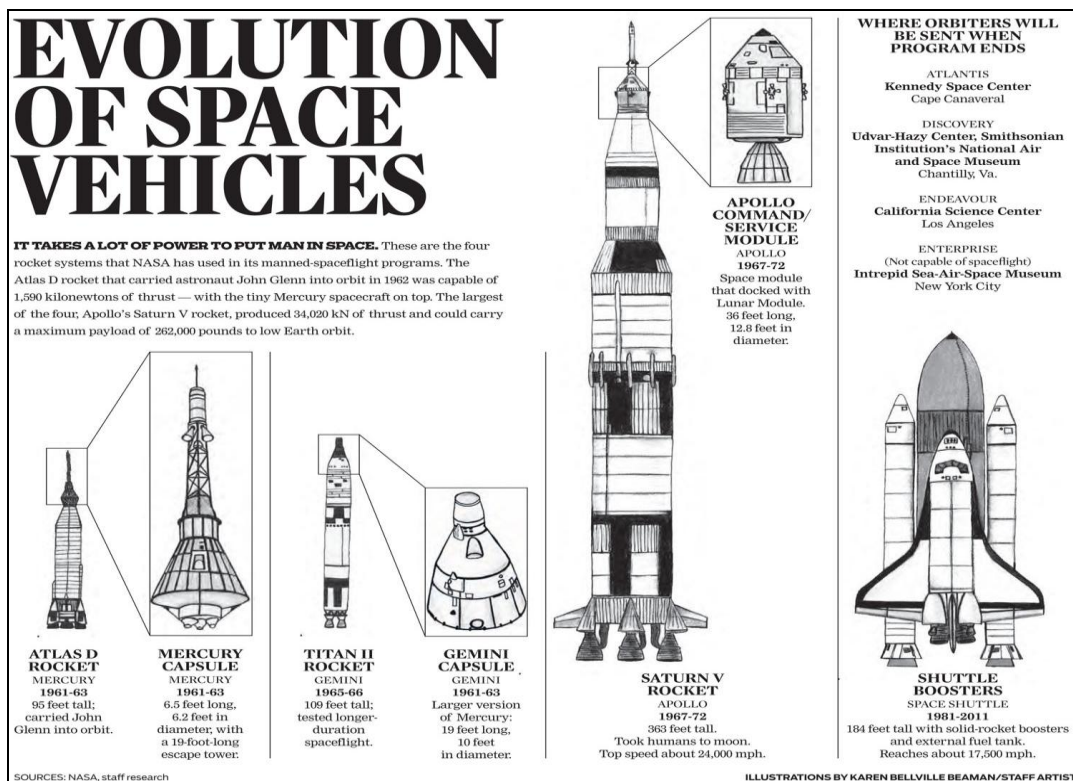
Εικόνα 3 Βήμα-βήμα η διαδικασία εξώθησης του αλουμινίου



Εικόνα 4 Τελική μορφή ύστερα από εξώθηση

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Οι χημικές και φυσικές ιδιότητες του αλουμινίου το καθιστούν μία από τις πλέον χρήσιμες βιομηχανικές πρώτες ύλες, που χάραξαν τον δρόμο για κάποια από τα πιο μεγάλα βήματα της ανθρωπότητας το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, όπως η **κατάκτηση του διαστήματος**



Εικόνα 5 Η εξέλιξη του διαστημοπλοίου

Ο Ιούλιος Βερν και το αλουμίνιο

Το 1865 ο Ιούλιος Βερν ξεσηκώνει θύελλα αντιδράσεων προφητεύοντας την κατάκτηση της Σελήνης. Δεν ήταν όμως μόνο αυτό που επαληθεύτηκε πριν καν συμπληρωθεί ένας αιώνας. Ο δαιμόνιος συγγραφέας είχε μαντέψει ότι η εκτόξευση του διαστημικού οχήματος θα γινόταν από το Ακρωτήριο Κανάβεραλ των ΗΠΑ, και μάλιστα ότι το όχημα αυτό θα ήταν κατασκευασμένο από αλουμίνιο. Στο βιβλίο του «Από τη Γη στη Σελήνη» περιέγραφε: «Αυτό το πολύτιμο μέταλλο έχει τη λευκότητα του ασημιού, την αφθαρσία του χρυσού, λιώνει εύκολα σαν τον χαλκό και είναι ελαφρύ σαν το γυαλί».

Αυτό που ήταν αδύνατο να προβλέψει ο Ιούλιος Βερν ήταν ότι και τα καύσιμα θα περιείχαν στοιχεία αλουμινίου, αλλά και ότι κάποια τμήματα της

στολής των αστροναυτών θα ήταν κατασκευασμένα από το μαγικό υλικό. Και φυσικά θα ήταν ακόμη και για αυτόν αδύνατο να προβλέψει τις εφαρμογές και τη χρήση του στη σημερινή καθημερινή μας ζωή. Αλουμίνιο υπάρχει στα αεροπλάνα, τα αυτοκίνητα, τα κτίρια, τα CD, τα μικροσίπ ακόμη στα καλώδια υψηλής τάσης.

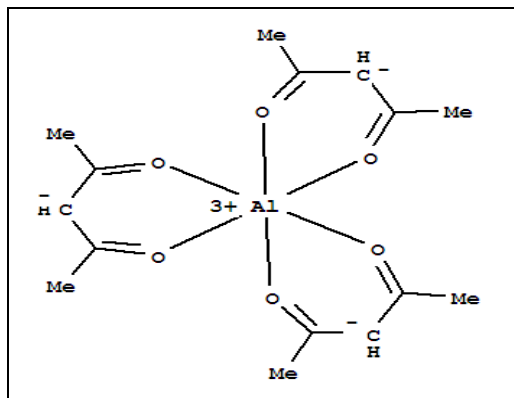
Είναι πραγματικά εντυπωσιακό το γεγονός ότι σε ολόκληρο τον κόσμο χρησιμοποιείται τρεις φορές περισσότερη ποσότητα αλουμινίου απ' ό,τι απ' όλα τα άλλα μέταλλα μαζί, εκτός από τον σίδηρο και τα παράγωγά του.

Εάν αναλογιστεί κανείς ότι από τα 31 εκατομμύρια τόνους που χρησιμοποιούνται τον χρόνο, τα επτά προέρχονται από ανακύκλωση, υπάρχει ακόμη ένα καλός λόγος για να το επιλέξει κάποιος.

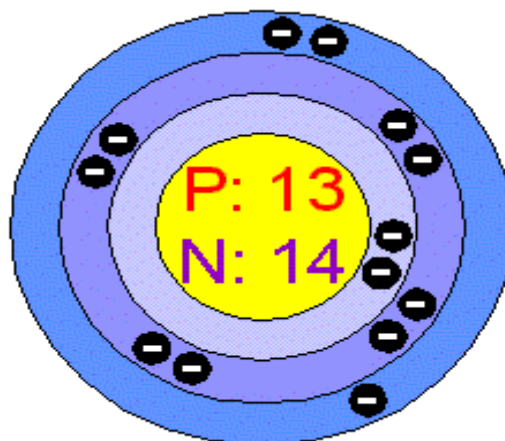
1.2 Φυσικές ιδιότητες αλουμινίου και κραμάτων

1.2.1 Ατομική δομή

Το **στοιχείο** του αλουμινίου συμβολίζεται με το **Al** και έχει ατομικό αριθμό 13. Αυτό σημαίνει ότι ένα άτομο αλουμινίου έχει 13 ηλεκτρόνια, που το καθένα έχει ένα αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και είναι χωρισμένα σε 3 στιβάδες (τροχιές) γύρω από ένα υψηλά συμπυκνωμένο πυρήνα με θετικό φορτίο 13. Τα 3 ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας δίνουν την δυνατότητα στο άτομο να ενωθεί με κάποιο άλλο χημικό στοιχείο (+3).



Εικόνα 6 Χημική φόρμουλα Al



Εικόνα 7 Πυρήνας και στιβάδες Al

1.2.2 Φυσικές ιδιότητες

Όπως όλα τα μέταλλα, το αλουμίνιο αλλά και τα κράματα αλουμινίου έχουν έναν αριθμό φυσικών ιδιοτήτων, τα οποία ίσως να διαφέρουν ανάλογα την σύσταση τους αλλά σε γενικές γραμμές όλα τα κράματα έχουν τις εξής ομοιότητες:

1. Έχουν μικρό ειδικό βάρος
2. Έχουν μηχανική αντοχή μικρότερη του σιδήρου
3. Διαθέτει καλές μηχανικές αντοχές, σε εφελκυσμό κυρίως αλλά επίσης σε θλίψη και διάτμηση
4. Τα κράματα αλουμινίου έχουν δύναμη εφελκυσμού (tensile strength) από 70 έως 700 Mpa. Τα πιο ευρέως γνωστά και που χρησιμοποιούνται πιο συχνά έχουν δύναμη εφελκυσμού μεταξύ 150 και 300 Mpa. Αντιθέτως με τις περισσότερες περιπτώσεις σιδήρου, το αλουμίνιο δεν γίνεται εύθραυστο σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά γίνεται ακόμα πιο δυνατό. Η δύναμη αυτή μειώνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Αν βρεθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 100 βαθμούς Κελσίου, η σύσταση του μετάλλου επηρεάζεται σημαντικά και πρέπει να ληφθεί υπόψη σε περαιτέρω χρήση του
5. Έχει σχετικά μεγάλη γραμμική διαστολή σε σχέση με άλλα μέταλλα
6. Δεν διαβρώνονται
7. Η κατεργασία τους είναι πολύ πιο εύκολη σε σύγκριση με άλλα μέταλλα
8. Το αλουμίνιο σαν μέταλλο είναι εξαιρετικά δραστικό, που συμβάλει στην δημιουργία τόσων κραμάτων
9. Παρουσιάζουν πολύ καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ένας αλουμινένιος αγωγός ζυγίζει το μισό από έναν χάλκινο με την ίδια αγωγιμότητα
10. Το αλουμίνιο και τα κράματα αλουμινίου είναι καλά σε συγκολλήσεις με ποικιλία μεθόδων όπως MIG, TIG και συγκολλήσεις υπό πίεση
11. Το αλουμίνιο δε μαγνητίζεται για αυτό χρησιμοποιείται ευρέως σε ιατρικά μηχανήματα τύπου X-RAY (ακτινολογικό) και δεν είναι τοξικό. Ακόμα και σε περίπτωση πυρκαγιάς δεν καίγεται και δεν απελευθερώνει βλαπτικές ουσίες για τον άνθρωπο ή το περιβάλλον, ιδιότητες που θεωρούνται

πολύ ουσιώδεις για ειδικές εφαρμογές, όπως Τεχνολογία Ηλεκτρονικών και κατασκευές θαλάσσης (πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου).

12. Το αλουμίνιο είναι πολύ καλό αντανακλαστικό υλικό στην περίπτωση φωτεινής δέσμης αλλά επίσης και σε ραδιενεργό ακτινοβολία
13. Είναι υλικό που μειώνει επίσης την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (EMC)
14. Έχει πυκνότητα $2,7\text{g/cm}^3$, σχεδόν το ένα τρίτο σε σύγκριση με αυτή του σιδήρου άρα δεν ανήκει στα βαρέα μέταλλα
15. Τέλος, είναι το πλέον ελατό και όλκιμο μέταλλο σε σχέση με μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην δόμηση.

Είναι υλικό που ανακυκλώνεται 100% χωρίς να χάνει καμιά από τις ιδιότητες του. Μάλιστα στη φάση της ανακύκλωσης απαιτείται μόνο το 5% της ενέργειας που απαιτήθηκε για την παραγωγή του. Και οι κατασκευαστές αλουμινίου στην χώρα μας χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό ελληνικό βωξίτη.

Κράματα που κατά το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελούνται από αλουμίνιο, έχουν παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στην βιομηχανία διαστημικών οχημάτων από την εποχή που αρχίσανε να φτιάχνονται αεροσκάφη με μεταλλικό εξωτερικό. Τα κράματα αλουμινίου-μαγνήσιου έχουν ως χαρακτηριστικό πέρα από το πολύ μικρό βάρος σε σχέση με άλλα κράματα που χρησιμοποιούνται και το γεγονός πως είναι αρκετά λιγότερο εύφλεκτα σε σχέση με κράματα που αποτελούνται κυρίως από μεγάλο ποσοστό μαγνήσιου.

Πάνω στην επιφάνεια των κραμάτων αλουμινίου θα δημιουργηθεί ένα λευκό προστατευτικό στρώμα οξείδωσης, πάχους που δεν υπερβαίνει τα μερικά εκατοστά του μm (1μm ισούται με 1 χιλιοστό του χιλιοστού) εφόσον αφεθεί απροστάτευτο σε ανοιχτό περιβάλλον και σε περίπτωση που αυτό το στρώμα αφαιρεθεί ή καταστραφεί, ένα νέο στρώμα δημιουργείται στην θέση του παλιού αυτόματα (Εικόνα 8-9).



Εικόνα 8 Οξειδωμένο αλουμίνιο



Εικόνα 9 Αλουμινένιο εξάρτημα προπέλας πριν και μετά την οξείδωση

Σε υγρό περιβάλλον, αντιθέτως, θα δημιουργηθεί ένα γαλβανικό στρώμα οξείδωσης, στην περίπτωση ειδικά που τοποθετηθεί σε ηλεκτρική επαφή με

άλλο μέταλλο, πιο ευαίσθητο σε οξείδωση και φθορά από το αλουμίνιο, εφόσον βέβαια υπάρχει ηλεκτρολύτης για να γίνει ανταλλαγή ιόντων μεταξύ των δύο μετάλλων.

1.2.3 Θερμικές ιδιότητες

Λιώσιμο και σημείο βρασμού

Το σημείο βρασμού του αλουμινίου και των κραμάτων του, εξαρτάται καθοριστικά από την <<καθαρότητα>> του υλικού. Την σύσταση του, κατά πόσο δηλαδή αποτελείται από καθαρό αλουμίνιο, κατά πόσο από άλλα στοιχεία και ποια είναι τα στοιχεία αυτά. Μετρήσεις πάνω στο θέμα αυτό έχουν δείξει ότι στην περίπτωση που έχουν υλικό που αποτελείται κατά 99,99% από καθαρό αλουμίνιο δείχνουν μια αξιόπιστη τιμή με πιθανό σφάλμα της τάξης του 1-2 βαθμών Κέλβιν.



Εικόνα 10 Καμίνι τήξης αλουμινίου

Η πιο ακριβής μέτρηση σε υλικό από 99,996% καθαρό αλουμίνιο έδειξε ότι σε θερμοκρασία 933,4 της κλίμακας Κέλβιν (660.25 βαθμούς Κελσίου) οι κόκκοι στη επιφάνεια του υλικού άρχισαν να λιώνουν στα σημεία που

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

ακουμπούσαν άλλους κόκκους. Οπότε αυτή η τιμή, ή η πιο στρογγυλεμένη τιμή των 934 βαθμών Κέλβιν είναι η ευρέως αποδεκτή τιμή ως το σημείο όπου το υλικό ξεκινάει να λιώνει.

Το αλουμίνιο εφόσον απαιτεί τόσο μεγάλη θερμοκρασία για να παρατηρηθεί λιώσιμο σε τόσο μεγάλη κλίμακα μεγέθυνσης, είναι φυσικό να απαιτεί πολύ μεγαλύτερη για να φτάσει σε σημείο βρασμού. Το επίσημο σημείο βρασμού του αλουμινίου είναι οι 4473 βαθμοί Κέλβιν ή αλλιώς 2467 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου.

2. Παραγωγή αλουμινίου – επιπτώσεις στο περιβάλλον

2.1 Αναδρομή στην ιστορία του αλουμινίου και της παραγωγής του

2.1.1 Η ιστορία της παραγωγής αλουμινίου

Σε σχέση με τον προηγούμενο αιώνα που θεωρούνταν σπάνιο και ακριβό, σήμερα το αλουμίνιο έχει φτάσει στο σημείο να θεωρείται το πιο κοινό μέταλλο στην γη, καθώς αποτελεί το 8% του φλοιού της γης. Είναι το τρίτο σε σειρά υλικό σε αφθονία, σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα. Μόνο το οξυγόνο και η άμμος υπάρχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό.

Ήταν μόλις το 1808, όταν ο σερ Χάμφρυ Ντρείβι, ο Βρετανός ηλεκτροχημικός, επιβεβαίωσε την ύπαρξη του αλουμινίου και 17 χρόνια αργότερα ήταν ο Δανός επιστήμονας Όερστεντ που παρήγαγε την πρώτη ράβδο καθαρού αλουμινίου. Το επόμενο βήμα στην <<ανακάλυψη>> του αλουμινίου ήταν να υπολογιστεί το ειδικό βάρος του από τον Γερμανό επιστήμονα Βούλερ το 1845. Εκείνος ήταν που επιβεβαίωσε ένα από τα θεμελιώδη και πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του αλουμινίου, την ελαφρότητά του. Απέδειξε επίσης πως είναι εύπλαστος πως δεν είναι ασταθές όταν βρίσκεται εκτεθειμένο σε αέρα αλλά και ότι μπορεί να λιώσει με φλόγιστρο.

Η έρευνα πάνω στο αλουμίνιο τότε προχώρησε στην Γαλλία. Πειράματα όσον αφορά τις μεθόδους και τις τεχνικές παραγωγής, έδωσαν την δυνατότητα στον Ανρί Σεντ-Κλαίρ Ντεβίλ να παρουσιάσει μια ατόφια ράβδο αλουμινίου στην Έκθεση Παρισιού το 1855. Του κόστισε μια περιουσία να την παράγει, πράγμα που ανέβασε την τιμή του μετάλλου σε επίπεδα πιο υψηλά και από το χρυσό, το ασήμι και την πλατίνα για εκείνη την εποχή.

Ο Ναπολέον ο τρίτος, ενθουσιασμένος με τις δυνατότητες του νέου αυτού υλικού, όσον αφορά την χρήση του για στρατιωτικούς λόγους, ενίσχυσε με την υποστήριξη του τον Ντεβίλ στις προσπάθειες του να βρει μια πιο οικονομική μέθοδο παραγωγής του μετάλλου για να μπορεί εύκολα να παράγει μεγάλες ποσότητες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, ο Ντεβίλ να φτάσει στο σημείο όπου η παραγωγή του αλουμινίου κόστιζε μόνο 25 λίρες ανά

κιλό, αλλά παρόλο τις προσπάθειες τους, δεν ήταν αρκετά φτηνό να βγει στην αγορά.

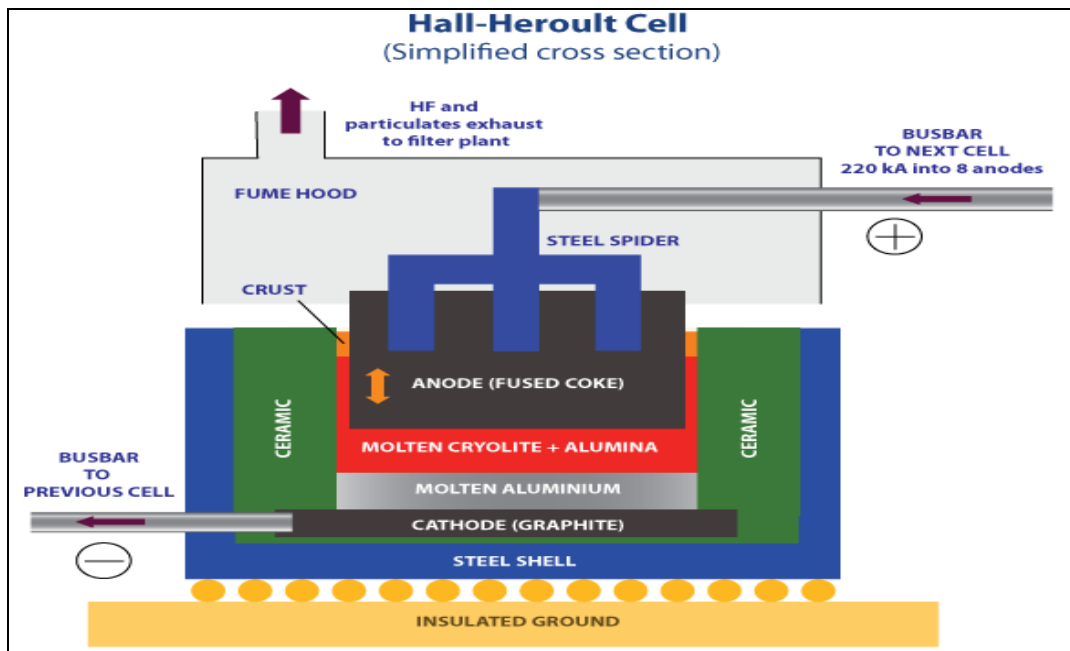
30 χρόνια αργότερα, ορισμένες μεταρρυθμίσεις έγιναν στον τρόπο παραγωγής του αλουμινίου, σε συνεργασία με τον Αμερικανό χημικό Χάμιλτον Κάστνερ, που συνέβαλε στην περαιτέρω πτώση της τιμής παραγωγής σε 12 λίρες ανά κιλό. Παρόλο που το μέταλλο υπήρχε σε αφθονία και οι χρήσεις του ήταν πολλές, η διαφορά στην τιμή του δεν ήταν αρκετή για το καθιστά ως υλικό γενικής χρήσης. Η παραγωγή αλουμινίου εκείνη την εποχή είχε φτάσει τους 15 τόνους ετησίως.

2.1.2 Η μέθοδος Hall-Heroult

Στην συνέχεια, δύο νέοι και άγνωστοι, στον επιστημονικό κύκλο, επιστήμονες, ο Γάλλος Πωλ Λουί Τουσέντ Χερούλ και ο Αμερικανός Μάρτιν Χάλλ, ανέλαβαν την έρευνα και την αναζήτηση μια πιο οικονομικής παραγωγικής μεθόδου αλουμινίου. Δουλεύοντας ξεχωριστά, ο καθένας μη γνωρίζοντας τις κινήσεις του άλλου και έκαστος στην χώρα του.

Το 1886, ύστερα από αλλεπάλληλες αποτυχίες και συνεχή ενθάρρυνση και οι δύο, την ίδια χρονική περίοδο σκέφτηκαν και επινόησαν μια νέα μέθοδο. Οι επιστήμονες που προσπάθησαν πριν τους Χερούλ και Χάλλ να βρουν μια νέα και εναλλακτική μέθοδο παραγωγής αλουμινίου, επιδίωκαν να ανακαλύψουν μια μέθοδο με χημικό χαρακτήρα, σε αντίθεση με τους νέους που είδαν το πρόβλημα από τελείως άλλη γωνία.

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 11 Αναλυτική αναπαράσταση της μεθόδου Hall-Heroult

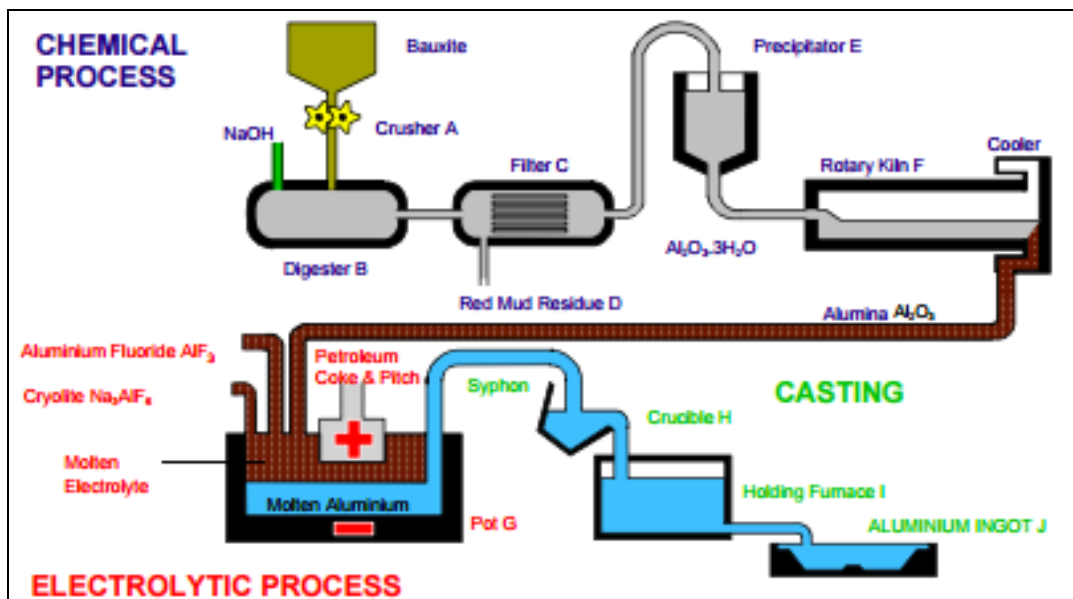
Πίστευαν, λοιπόν, πως η λύση του προβλήματος αυτού βρισκόταν σε μια μέθοδο μέσω ηλεκτρόλυσης. Είχαν την ιδέα, λοιπόν, πως στην περίπτωση που υπήρχε μια ουσία, η οποία ήταν αγωγός του ηλεκτρισμού και στην μέσα στην οποία η αλουμίνα θα διαλυόταν, τότε ένα ηλεκτρικό φορτίο θα είχε την δυνατότητα να διαρρεύσει από μέσα του, θα μας έδινε ως αποτέλεσμα αλουμίνιο σε μορφή μεταλλική. Υπάρχουν κάποιες ουσίες, οι οποίες θα επιτυγχάνανε αυτό αλλά όλες είχαν ως βασικό συστατικό το νερό.

Δυστυχώς, το νερό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, γιατί το αλουμίνιο αντιδράει και παρουσιάζει φθορά όταν σε επαφή με νερό καθώς του δίνεται φορτίο. Τότε ξεκίνησε η αναζήτηση για ένα διάλυμα που να μην βασίζεται στο νερό και να αφαιρεί την αλουμίνα. Και οι δύο ανακάλυψαν πως η λύση βρισκόταν στον λιωμένο κρυόλιθο. Ο κρυόλιθος είναι ένα ημιδιάφανο φθοριούχο διάλυμα νατρίου και αλουμινίου, ουσία που βρίσκεται σε φυσική μορφή μόνο στην Γροιλανδία. Ο περισσότερος κρυόλιθος που χρησιμοποιείται σήμερα για την παραγωγή αλουμινίου είναι απολύτως συνθετικός.

Σε θερμοκρασία 1030 βαθμών Κελσίου, ο λιωμένος πλέον κρυόλιθος αποσπά έως και το 20% της αλουμίνας άμεσα. Ο ηλεκτρολύτης που κρατάει τον κρυόλιθο είναι μια δεξαμενή ενισχυμένη με άνθρακα η οποία, έτσι, λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο. Τα μεγάλα κομμάτια άνθρακα που τοποθετούνται από πάνω λειτουργούν ως άνοδοι ή ως δευτερεύοντα ηλεκτρόδια και ανάμεσα από τα οποία περνάει ένα πολύ ισχυρό ηλεκτρικό

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

φορτίο. Αυτό <<σπάει>> την αλουμίνα σε αλουμίνιο και οξυγόνο, το οποίο οξυγόνο σε συνδυασμό με τον άνθρακα που βρίσκεται στην δεξαμενή, σχηματίζουν ένα μείγμα διοξειδίου του άνθρακα (Εικόνα 2.1). Αυτή ήταν η πρώτη βιομηχανική μέθοδος παραγωγής αλουμινίου από αλουμίνα και είναι αυτή που χρησιμοποιείται και σήμερα στις μοντέρνες βιομηχανίες αλουμινίου.



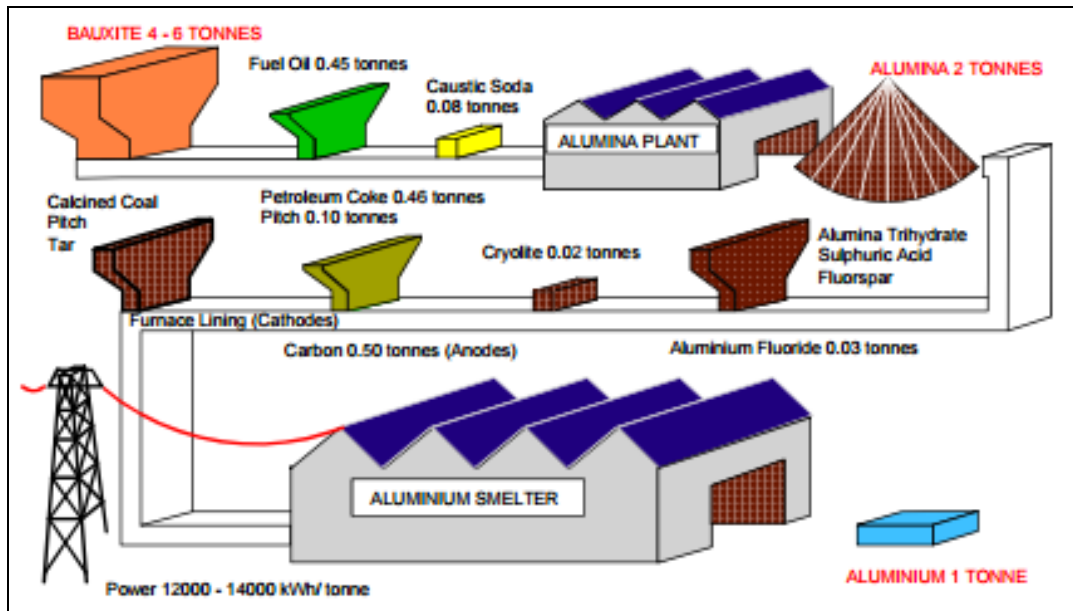
Εικόνα 12 Η πρώτη ύλη και η διαδικασία παραγωγής αλουμινίου

Αυτή η τεράστια αλλαγή στο τομέα παραγωγής αλουμινίου, ήταν ο λόγος που η τιμή του μετάλλου κατρακύλησε από τα 18 δολάρια στην άκρως πιο φιλική τιμή των 4,5 δολαρίων ανά κιλό. Σήμερα η τιμή του αλουμινίου έχει φτάσει μόλις κάτω από αυτήν των 2 δολαρίων ανά κιλό.

Η αλουμίνα, ως πλέον βασικό συστατικό για την παραγωγή αλουμινίου, παράγεται από εντελώς διαφορετικό αρχικό στάδιο σε σχέση με την μέθοδο με ορυκτό βωξίτη. Αυτή η χημική διαδικασία ξεκινάει με την τοποθέτηση σπασμένου βωξίτη μέσα σε ένα καυστικό διάλυμα νατρίου, το οποίο διαλύεται και μας δίνει ένα μείγμα αλουμινίου-νατρίου. (Εικόνα 11)

Μετά από το φιλτράρισμα, οι ακαθαρσίες που μένουν σαν <<κόκκινο χρώμα>> και τα υγρά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδροξειδίου του αλουμινίου. Αυτό, τότε, ξεχωρίζεται από το αρχικό μείγμα και μετατρέπεται σε αλουμίνα, η οποία ύστερα από θέρμανση στους 1000 βαθμούς Κελσίου μοιάζει σαν ζάχαρη. Σχεδόν 4 κιλά βωξίτη απαιτούνται για την παραγωγή 2 κιλών αλουμίνας (Εικόνα 12).

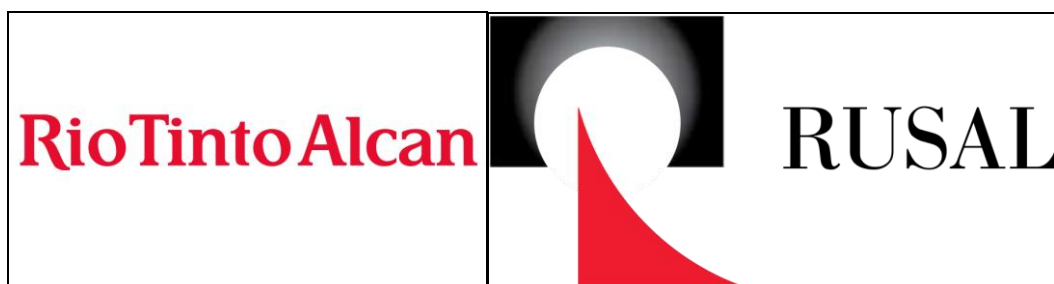
Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 13 Πρώτες ύλες για την παραγωγή ενός τόνου αλουμινίου

2.2 Η βιομηχανία και η παραγωγή αλουμινίου σήμερα

Η βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου είναι μια από τις αρκετά νέες στο κόσμο της βιομηχανίας, μόλις έχει κλείσει τα 100 χρόνια. Αλλά έχει κάνει τεράστια βήματα εξέλιξης για να φτάσει στο σημείο όπου, πάρα πολλές εταιρίες σε πάνω από 35 χώρες στο κόσμο, λιώνουν και παράγουν αλουμίνιο και άλλες τόσες παίρνουν αυτό το αλουμίνιο και παράγουν προϊόντα μεγάλης γκάμας και για ποικίλες χρήσεις.



Εικόνα 14 Οι δύο κυρίαρχες εταιρίες παραγωγής αλουμινίου στον κόσμο

Το πρώτο μισό αιώνα ύπαρξης της, η βιομηχανία αλουμινίου, προσπάθησε να ανταπεξέλθει στον διπλό ρόλο της βελτίωσης και της επέκτασης της παραγωγικής διαδικασίας, με σκοπό την μείωση της τιμής του μετάλλου αλλά ταυτόχρονα να αναδείξει την αξία του αλουμινίου σε πολλές αγορές. Αυτό φάνηκε από την ισχυρή προσέγγιση της βιομηχανίας στο πρωτοεμφανιζόμενο πρόβλημα της μεγάλης κατανάλωσης αλουμινίου, που έφτασε σε σημείο να διπλασιάζεται η ζήτηση του κάθε δέκα χρόνια. Η μεγάλη άνοδος στην ζήτηση αλουμινίου έδωσε ερέθισμα για την γρήγορη ανάπτυξη και επέκταση της παραγωγικότητας των βιομηχανιών αλουμινίου.

2.2.1 Η επιρροή των δύο παγκοσμίων πολέμων στην βιομηχανία αλουμινίου

Ο πρώτος παγκόσμιος πόλεμος είχε δραματική επιρροή στην βιομηχανία αλουμινίου, όσον αφορά την παραγωγή αλλά και την κατανάλωση. Μέσα στο χρονικό διάστημα έξι χρόνων, από το 1914 έως και το 1919, η παγκόσμια παραγωγή αλουμινίου ανέβηκε απότομα από 70,800 τόνους ετησίως σε 132,500 και αυτό ήταν αποδεικτικό στοιχείο της προσαρμοστικότητας της βιομηχανίας αλουμινίου που το έκανε εφικτό να γίνει ένα τέτοιο <<βήμα>>. Αυτό έγινε αισθητό και μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο.

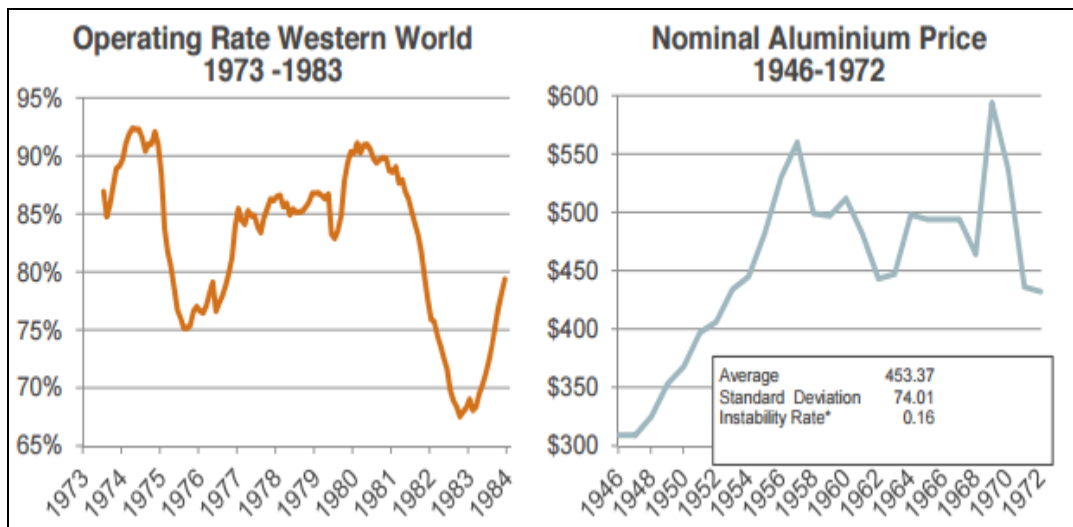
Η παγκόσμια παραγωγή αλουμινίου έφτασε το 1939 τους 704,000 τόνους ετησίως και με αποκορύφωμα το 1943 τους 1,950,000 τόνους, αλλά έκτοτε δεν σημειώθηκαν τέτοιες τιμές ποτέ ξανά. Στο τέλος του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, η δυτική βιομηχανία είχε πραγματοποιήσει σε βαθμό που δεν είχε πραγματοποιηθεί έως τότε μια επέκταση, τριπλασιάζοντας τις εγκαταστάσεις παραγωγής μέσα σε χρονικό διάστημα 4-5 χρόνων. Αγορές έπρεπε καθιερωθούν για να ανταπεξέλθουν με τις συνθήκες αυτές. Η ζήτηση αλουμινίου, αποδείχθηκε ελαστική και οι νέες εγκαταστάσεις, δούλευαν σε 100% πληρότητα σε μόλις λίγα χρόνια.

2.2.2 Η βιομηχανία αλουμινίου την μεταπολεμική περίοδο

Συνεχή έρευνα και παραγωγική ανάπτυξη πήρε μέρος κατά την διάρκεια των δεκαετιών του 50',60',70', η οποία έφερε σαν αποτέλεσμα μια ατελείωτη ποικιλία προϊόντων αλουμινίου.

Χάρη στα βασικά χαρακτηριστικά, την δύναμη, το μικρό βάρος του, την αντοχή του, την ευπλαστικότητα του, την αγωγιμότητα και την φινιρίσμά του

το έκανε άκρως επιθυμητό. Καθώς η παγκόσμια παραγωγή ανέβαινε, χώρες με πρωτογενή υλικά και ειδικά όσες είχαν χαμηλές πηγές ενέργειας, ξεκίνησαν να μπαίνουν στις αγορές με μέταλλα, έτσι ώστε να δώσουν την δυνατότητα σε άλλους να αναπτυχθούν περαιτέρω. Σήμερα μια μεγάλη ποσότητα μετάλλων προωθείται για αυτούς τους σκοπούς.



Εικόνα 15 Ρυθμός αξιοποίησης αλουμινίου (αριστερά) και κλιμάκωση της τιμής του την περίοδο 46'-72' (δεξιά)

2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής αλουμινίου

Όπως προαναφέρθηκε, από το σύνολο των στοιχείων που υπάρχουν στη γη, το αλουμίνιο είναι το τρίτο σε σειρά αφθονίας, στην φυσική του μορφή. Στην μορφή αυτή το αλουμίνιο είναι ένα μαλακό, κόκκινο πέτρωμα, ο βωξίτης. Βασικά συστατικά του βωξίτη είναι ο βοημίτης, ο γιββσίτης και το διάσπορο σε συνδυασμό με άλλες ουσίες όπως τον πηλό, υδροξείδια του σιδήρου και πυρίτιο.



Εικόνα 16 Το πρόβλημα του Κορινθιακού από την κόκκινη λάσπη του εργοστασίου επεξεργασίας βωξίτη και παραγωγής αλουμινίου της ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ της ΕΛΛΑΔΟΣ

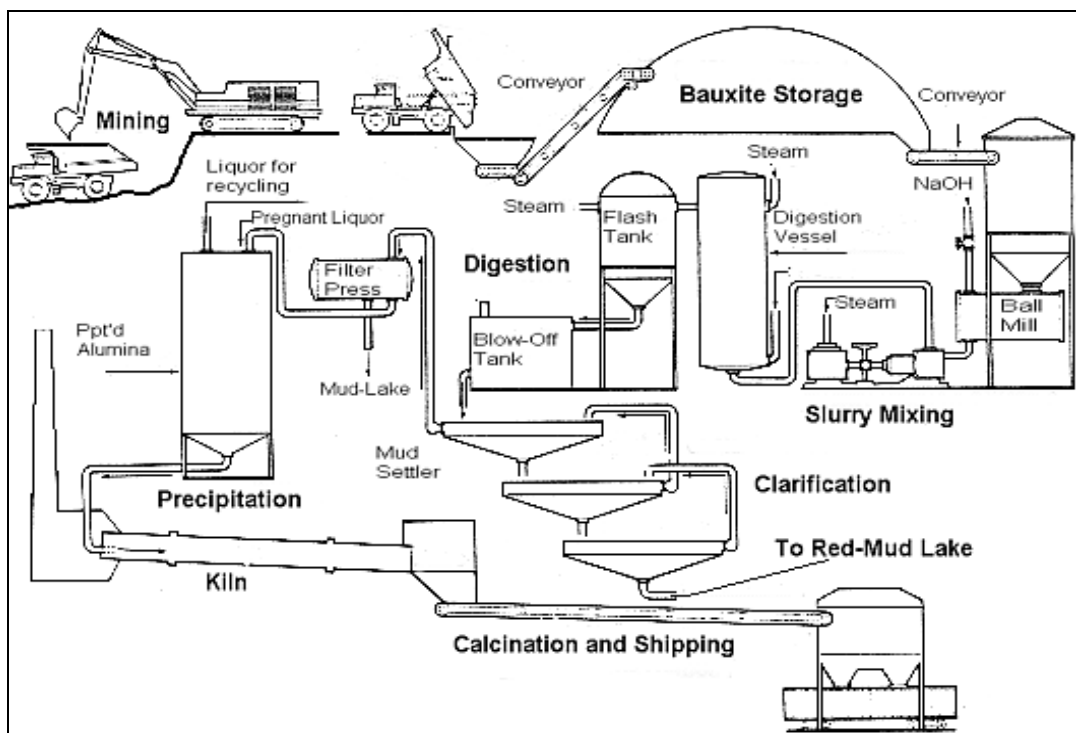
Σε ετήσια βάση, η εξόρυξη βωξίτη ξεπερνάει τους 130 εκατομμύρια τόνους παγκοσμίως και με τα σημερινά δεδομένα, υπολογίζεται ότι υπάρχει απόθεμα για τα επόμενα 400 χρόνια. Την πρωτιά στην εξόρυξη βωξίτη έχουν στην Ασία η Κίνα, η Ινδία και η Ρωσία, στην Κεντρική και Νότια Αμερική χώρες όπως η Βενεζουέλα, η Βραζιλία, η Τζαμάικα, η Γουινέα και το Σουρινάμ, όπως επίσης η Αφρική, η Ισλανδία και η Αυστραλία. Για την ακρίβεια η τελευταία, συμβάλει στο ένα τρίτο της παγκόσμιας ζήτησης.

2.3.1 Η διαδικασία εξόρυξης-επεξεργασίας βωξίτη

Η διαδικασία εξόρυξης βωξίτη ξεκινάει, φυσικά, στα ανοιχτού τύπου ορυχεία βωξίτη. Το ορυκτό τότε μεταφέρεται για λιώσιμο ή σε μονάδες διαχωρισμού όπου τοποθετείται μέσα σε ένα μείγμα καυστικού νάτριου, με σκοπό την αφαίρεση και συλλογή των επιθυμητών μετάλλων σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Στην συνέχεια, έρχεται το στάδιο φιλτραρίσματος και της δευτερεύουσας θέρμανσης του μείγματος στους 1000 βαθμούς Κελσίου όπου έπειτα στο μείγμα προστίθεται ο κρυόλιθος. Μέσω ηλεκτρόλυσης, το υγροποιημένο αλουμίνιο, μπορεί να ξεχωριστεί, να καθαριστεί και να προχωρήσει στον σχηματισμό ράβδων. Σχεδόν ένας τόνος οξειδίου του αλουμινίου παράγεται από 4 τόνους ορυκτού βωξίτη.



Εικόνα 17 Λεπτομερείς διαδικασία επεξεργασίας βωξίτη

2.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Σε γενικές γραμμές, η όλη διαδικασία μεταμορφώσεως του ορυκτού βωξίτη σε αλουμίνιο είναι απίστευτα ενεργοβόρα, απαιτώντας τεράστιες ποσότητες ηλεκτρισμού, νερού και άλλων πόρων για την παραγωγή του (αυτός είναι ο βασικός λόγος που εξ ολοκλήρου για τις ανάγκες βιομηχανιών αλουμινίου δημιουργούνται εργοστάσια παραγωγής ενέργειας).

Αφού το καθαρό ορυκτό αλουμίνιο είναι τόσο σταθερό στην φυσική του μορφή, μια εξωπραγματική ποσότητα ηλεκτρισμού απαιτείται για να φτάσει στην μορφή του τελικού προϊόντος, και όσον αφορά τις ΗΠΑ τουλάχιστον, η μισή ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγική διαδικασία αυτή

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

προέρχεται από το κάρβουνο, μία από τις μεγαλύτερες πηγές μόλυνσης γνωστές στο άνθρωπο.



Εικόνα 18 Αφίσα της EPA

Η EPA (Environmental Protection Agency) μετά από έρευνες, έχει δείξει πως η εκπομπή των υπερφθορανθράκων κατά την διαδικασία παραγωγής του αλουμινίου είναι 9,2 χιλιάδες φορές πιο βλαβερές από το διοξείδιο του άνθρακα όσον αφορά την πλανητική θέρμανση. Όταν σχηματίζονται τα ορυχεία βωξίτη, μεγάλο πλήγμα λαμβάνει το περιβάλλον γύρω, καταστρέφοντας την φυσικό περιβάλλον της περιοχής που έως τότε ήταν πηγή τροφής και κατοικίας για το ζωικό βασίλειο και προκαλώντας διάβρωση του χώματος της περιοχής.

Ό,τι υπολείμματα μείνουν στο τέλος της εξόρυξης χρησιμοποιούνται σαν μέσo να <<μπαζωθει>> το ορυχείο, πράγμα που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις πηγές ύδρευσης της περιοχής. Στα αέρια που εκπέμπονται κατά την όλη διάρκεια επεξεργασίας του βωξίτη συμπεριλαμβάνονται το διοξείδιο του άνθρακα, υπερφθοράνθρακες, φθοριούχο νάτριο, διοξείδιο του θείου, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και μια μεγάλη λίστα άλλων προβληματικών ουσιών.

Οι ουσίες αυτές, βάζουν σε κίνδυνο την ποιότητα του αέρα που εισπνέουμε σε μεγάλο βαθμό, μολύνοντας τον με διάφορα εύφλεκτα υποπροϊόντα από

την επεξεργασία του βωξίτη, σκόνη βωξίτη, ασβεστόλιθο απανθρακωμένο και μη, αλουμίνα και αλάτι.

Σε σύγκριση με την παραγωγή <<παρθένου>> αλουμινίου από ορυκτό βωξίτη, η παραγωγή αλουμινίου μέσω ανακύκλωσης παλιού αλουμινίου (scrap) απαιτεί μόλις το 5% της ενέργειας και εκπέμπει μόλις το 5% των βλαβερών αερίων και ουσιών της αρχικής παραγωγικής διαδικασίας. Απείρως ανακυκλώσιμο, το αλουμίνιο δεν χάνει ίχνος της ακεραιότητάς του, ακόμα και μετά από επαναλαμβανόμενο λιώσιμο. Επίσης, η όλη διαδικασία ανακύκλωσης ολοκληρώνεται σε λιγότερες από 60 μέρες.



Aluminium - The Green Metal

The global Aluminium Industry has an excellent record on the rehabilitation of land after bauxite mining.

Εικόνα 19 Ο δίκαιος χαρακτηρισμός αλουμινίου ως <<Πράσινο>> μέταλλο από την παγκόσμια βιομηχανία αλουμινίου

Για αυτό, δικαίως το αλουμίνιο χαρακτηρίζεται σαν το "πράσινο" μέταλλο γιατί ικανοποιεί ταυτόχρονα τις τεχνολογικές αλλά και οικολογικές απαιτήσεις σαν ένα σύγχρονο υλικό. Το βαρύ περιβαλλοντικό κόστος που επισύρει η ανεξέλεγκτη τεχνολογική ανάπτυξη, με αποκορύφωμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου, απαιτεί λύσεις που να εξασφαλίζουν τη βιωσιμότητα του πλανήτη μας.

Η διεθνής παραγωγή αλουμινίου είναι από τους βασικούς πρωταγωνιστές στην προσπάθεια για την εξεύρεση αειφόρων λύσεων. Πρακτικά αυτό μεταφράζεται σε συνεχή προσπάθεια για:

- μείωση ενέργειας στην αρχική παραγωγική διαδικασία

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

- περιορισμό και έλεγχο εκπομπών ρύπων
- βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος

Η ανακύκλωση του αλουμινίου είναι το σημαντικότερο μέσο για την οικονομία ενέργειας και τη μείωση εκπομπών αερίων που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

3. Τύποι κραμάτων αλουμινίου

3.1 Γενικές πληροφορίες

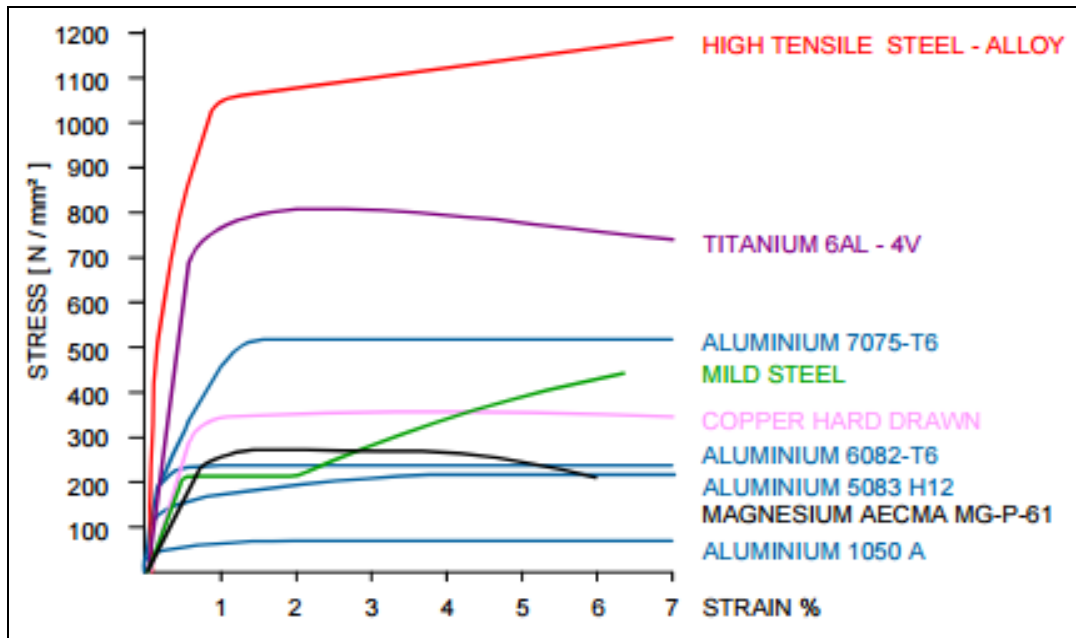
Τα κράματα αλουμινίου σαν υλικά που βασίζονται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από αλουμίνιο, μαζί με το μαγνήσιο και το τιτάνιο, ανήκουν στην κατηγορία των ελαφρών μετάλλων με πυκνότητα 2,7 (Εικόνα 20) όπως προαναφέρθηκε, έναντι του σιδήρου που είναι 7,8 g/cm³ και του χαλκού 8,9 g/cm³. Το αλουμίνιο και τα κράματά του εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση λόγω της αυθόρμητης δημιουργίας επιφανειακού στρώματος Al₂O₃ που είναι λεπτό και αδιαπέραστο από το οξυγόνο, προστατεύοντας έτσι το υλικό από περαιτέρω οξείδωση και διάβρωση.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ		
	Στοιχεία	Μον. μέτρ.
Ατομικό βάρος	26,98	
Πυκνότητα (20 °C)	2,6898	gr/cm ³
Σημείο Τήξη	660,2	°C
Γραμμική διαστολή (0-100 °C)	23,5x10 ⁻⁶	(m/m)/°C
Ηλεκτρική Αντίσταση (20 °C)	2,69	μΩcm
Μέτρο Ελαστικότητας (E)	68,3	GPa
Μέτρο Στρέψης (G)	25,5	GPa
Συντελεστής Poisson	0,34	

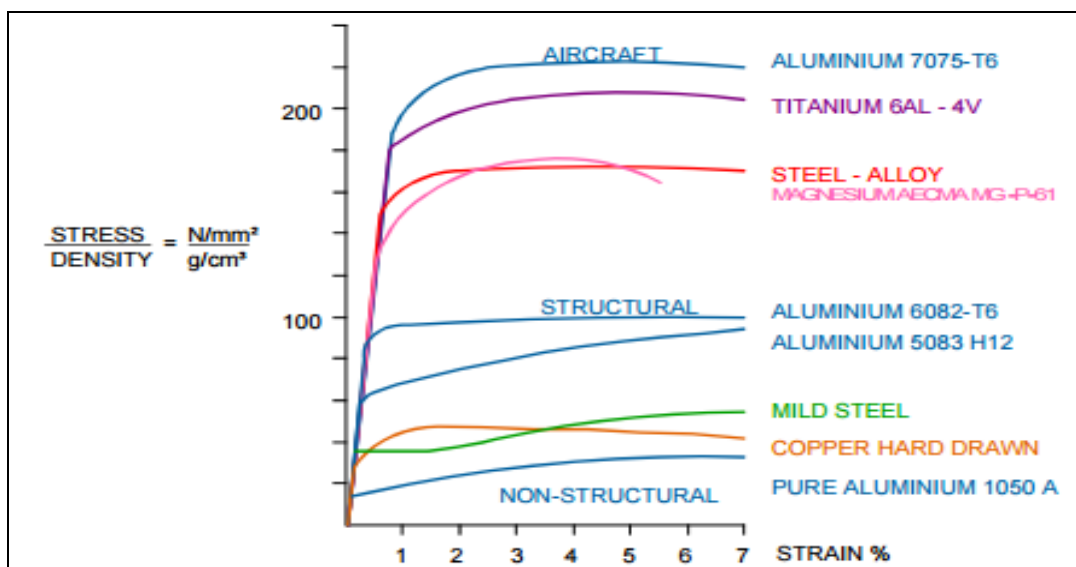
Εικόνα 20 Ιδιότητες καθαρού αλουμινίου

Κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (κ.ε.) και λιώνει στους 661°C. Επιπλέον, λόγω της μεγάλης μηχανικής αντοχής, που επιδεικνύει ως προς το βάρος του, καθίσταται βασικό δομικό στοιχείο σε κατασκευές, που απαιτείται υψηλή αντοχή και χαμηλό βάρος, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία και κυρίως στην αεροναυπηγική.

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 21 Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης αλουμινίου σε σχέση με άλλα μέταλλα



Εικόνα 22 Η σχέση πυκνότητας του αλουμινίου σε σύγκριση με άλλα μέταλλα

Τα διάφορα κράματα αλουμινίου διακρίνονται σε χυτά και διαμόρφωσης και τυποποιούνται σύμφωνα με την A.A. (Aluminium Association). Η

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

τυποποίηση των κραμάτων γίνεται σύμφωνα με την κύρια πρόσμειξη τόσο στα χυτά, όσο και στα κράματα διαμόρφωσης. Οι διάφορες σειρές των κραμάτων αλουμινίου διαμόρφωσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 23). (Τα υπόλοιπα τρία ψηφία, πλην του πρώτου, της τετραψήφιας ονομασίας των κραμάτων Al δηλώνουν την ειδική κατηγορία και τα όρια των περιεκτικοτήτων της κύριας πρόσμειξης). Η κωδικοποίηση των χυτών κραμάτων Al είναι αντίστοιχη αυτής των κραμάτων διαμόρφωσης.

Σειρά	Κύρια πρόσμειξη	θερμική κατεργασία	Χρήσεις
1000	Καθαρό αλουμίνιο > 99,00%	ΟΧΙ	Κατασκευή καλοριφέρ, εξαρτημάτων χημικών βιομηχανιών, βιομηχανιών τροφίμων και οικοδομικές εφαρμογές.
2000	Χαλκός (Cu)	ΝΑΙ	Δομικά εξαρτήματα αεροναυπηγικής και οχημάτων.
3000	Μαγγάνιο (Mn)	ΟΧΙ	Ίδια η χρήση με τη σειρά 1000, αλλά με περισσότερες απαιτήσεις σε μηχανική αντοχή.
4000	Πυρίτιο (Si)	ΟΧΙ	Σύρμα συγκολλήσεων, σκελετοί μικρών σκαφών θαλάσσης.
5000	Μαγνήσιο (Mg)	ΟΧΙ	Σε οικοδομικές εφαρμογές, στην κατασκευή σωλήνων και λεβήτων. Επίσης σε εφαρμογές θαλάσσης.
6000	Μαγνήσιο και πυρίτιο (Mg,Si)	ΝΑΙ	Σε σασί αυτοκινήτων και αεροσκαφών. Επίσης σε οικοδομικές εφαρμογές.
7000	Ψευδάργυρος (Zn)	ΝΑΙ	Στην αεροναυπηγική, στην κατασκευή όπλων, βαλβίδων, σε σιδηροδρομικά εξαρτήματα, σε αθλητικά είδη.

Εικόνα 23 Πίνακας ταξινόμησης των κραμάτων

3.2 Τύποι κραμάτων και οι κατηγοριοποιήσεις τους

Το αλουμίνιο και τα κράματά του - είτε πρωτόχυτο είτε δευτερόχυτο - διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες : Αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για μηχανική πλαστική διαμόρφωση (παραγωγή προϊόντων έλασης, διέλασης, ολκής, κλπ). Αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για χρήση σε χυτήρια (παραγωγή χυτών αντικειμένων).

Κράματα για μηχανική πλαστική διαμόρφωση Το αλουμίνιο και τα κράματά του που προορίζονται για μηχανική πλαστική διαμόρφωση (έλαση, διέλαση,

ολκή, σφυρηλασία κλπ) προσδιορίζονται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 573 και προσδιορίζονται από τη χημική τους σύσταση βάσει ενός διεθνώς αποδεκτού συστήματος που χρησιμοποιεί τέσσερις αριθμούς. Το πρώτο από τα τέσσερα ψηφία δείχνει την ομάδα κράματος σύμφωνα με το, σε μεγαλύτερη αναλογία ευρισκόμενο, κραματοποιό στοιχείο. Τα κράματα για μηχανική επεξεργασία χωρίζονται σε: θερμοσκληρυνόμενα μη θερμοσκληρυνόμενα.

3.2.1 Θερμοσκληρυνόμενα κράματα

Τα κράματα αυτά αποκτούν τις μηχανικές αντοχές μετά από θερμική επεξεργασία.

Σειρά 2000: Κράματα αλουμινίου που έχουν ως κύρια πρόσμειξη τον χαλκό. Τα κράματα της σειράς αυτής αποκτούν μηχανικές αντοχές υψηλότερες από αυτές του μέσου χάλυβα. Χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις κατασκευών με απαίτηση υψηλές μηχανικές αντοχές. Κάτω από ειδικές συνθήκες παρουσιάζουν μια αυξημένη ευαισθησία στην ατμοσφαιρική διάβρωση, γι αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα προστασίας. Τα κράματα της σειράς αυτής μπορούν να συγκολληθούν με ειδικές τεχνικές, μόνον όπως η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροναυπηγική, βιομηχανία όπλων κλπ. **Χαρακτηριστικά κράματα 2017, 2024.**

Σειρά 6000: Κράματα αλουμινίου με κύρια πρόσμειξη το πυρίτιο και το μαγνήσιο. Αποτελούν τα κράματα που κατά βάση χρησιμοποιούνται στην διέλαση για την παραγωγή προφίλ. Η ομάδα αυτή χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην κατηγορία των κραμάτων που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο και πυρίτιο και που σε συνδυασμό με το μαγγάνιο, χρώμιο και ψευδάργυρο εξασφαλίζουν υψηλές μηχανικές ιδιότητες. Χαρακτηριστικά κράματα: 6005, 6061, 6082.

Η άλλη κατηγορία αποτελείται από κράματα που περιέχουν μικρότερες ποσότητες μαγνησίου και πυριτίου και προσφέρουν μεγάλες ταχύτητες διέλασης, αλλά χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες. Παρουσιάζουν καλή διακοσμητική συμπεριφορά και έτσι χρησιμοποιούνται ευρέως στις αρχιτεκτονικές και διακοσμητικές εφαρμογές, σε σασί αυτοκινήτων και αεροσκαφών. Επίσης σε οικοδομικές εφαρμογές. **Χαρακτηριστικά κράματα: 6060,6063.**

Σειρά 7000: κράματα αλουμινίου με κύρια πρόσμειξη τον ψευδάργυρο. 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, στην κατασκευή όπλων, βαλβίδων, σε σιδηροδρομικά εξαρτήματα και σε αθλητικά είδη.

3.2.2 Μη θερμοσκληρυνόμενα κράματα

Τα κράματα αυτά αποκτούν τις μηχανικές αντοχές τους ανάλογα με το βαθμό της μηχανικής κατεργασίας που υφίστανται.

Σειρά 1000: Καθαρό αλουμίνιο με 99,00% ελάχιστη καθαρότητα. Το καθαρό αλουμίνιο υποδιαιρείται σε κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αλουμίνιο, χαρακτηρίζεται από μαλακή του υφή, την ευπλαστότητα του, την υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και την μικρή του δομική αξία, έχοντας στην μορφή αυτή μόνο 1,5% άλλων ουσιών, κυρίως σίδηρο και πυρίτιο.

Αυτό το μικρό ποσοστό επηρεάζει τις ιδιότητες του μετάλλου έτσι ώστε όταν ανοίγεται σε φύλα να έχει ικανοποιητική αντοχή. Στην μορφή αυτή είναι ιδανικό για τις βιομηχανίες χημικών και τροφίμων. Οι μηχανικές αντοχές είναι σχετικά χαμηλές.

Σειρά 3000: Κράματα αλουμινίου που έχουν ως κύρια πρόσμειξη το μαγγάνιο. Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς αυτής είναι: η εύκολη μορφοποίηση, η καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση, η ευκολία συγκόλλησης με τις συνήθεις μεθόδους. Η χρήσεις του κράματος αυτού είναι σε μεγάλο βαθμό ίδιες με της σειράς 1000, αλλά με περισσότερες απαιτήσεις σε μηχανική αντοχή. **Χαρακτηριστικά κράματα** το 3003 και 3004.

Σειρά 4000: Κράματα αλουμινίου που έχουν ως κύρια πρόσμειξη πυρίτιο. 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. Οι πιο συχνές περιπτώσεις χρήσεις του κράματος αυτού είναι για την κατασκευή συρμάτων συγκολλήσεων και για την κατασκευή σκελετών μικρών σκαφών θαλάσσης.

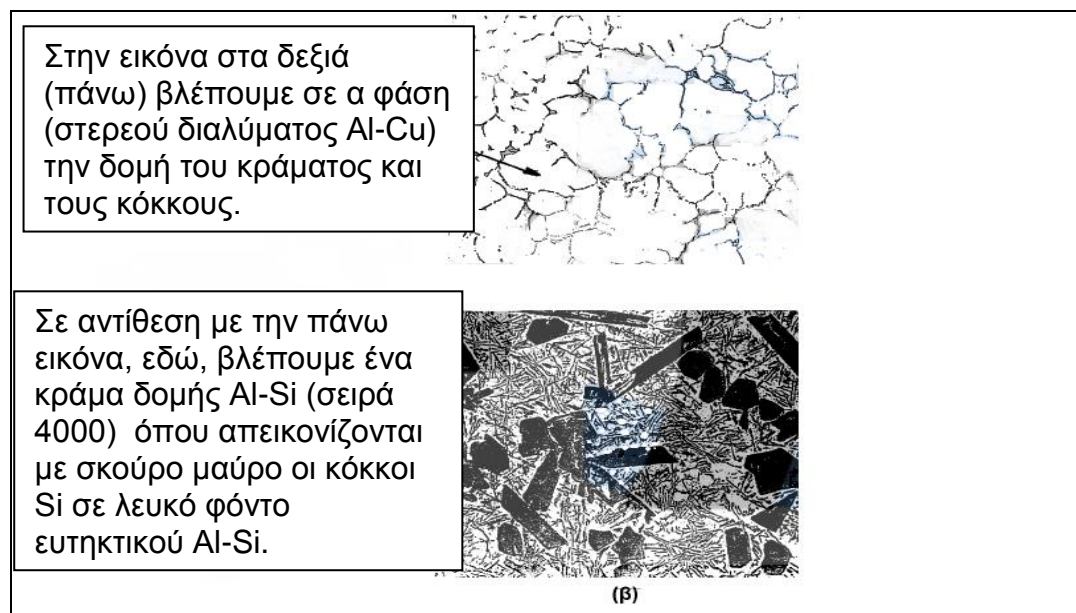
Σειρά 5000: Κράματα αλουμινίου που έχουν ως κύρια πρόσμειξη το μαγνήσιο. Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων αυτών είναι: πολύ καλή συγκολλητικότητα, πολύ καλή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες (κρυογενικά συστήματα), πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά στο

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

θαλάσσιο περιβάλλον, μέσες μηχανικές αντοχές. Χρησιμοποιείται ευρέως στη ναυπηγική, στη χημική βιομηχανία, στις οικοδομές, στα μεταφορικά μέσα, κλπ.

Για τους λόγους αυτούς το αναφερόμενο κράμα χρησιμοποιείται ευρέως σε οικοδομικές εφαρμογές, στην κατασκευή σωλήνων και λεβήτων όπως επίσης και σε εφαρμογές θαλάσσης. **Χαρακτηριστικά κράματα:** 5005, 5052, 5754, 5083, 5086, 5182.

Στο σχήμα που δίνετε παρακάτω, φαίνονται οι δομές δύο ευρύτατα χρησιμοποιούμενων κραμάτων Al. Από τα παραπάνω κράματα αλουμινίου διαμόρφωσης (αλλά και στην περίπτωση των χυτών) διακρίνουμε τα κράματα που επιδέχονται και τα κράματα που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Τα κράματα που επιδέχονται θερμική κατεργασία σκλήρυνσης αποκτούν σημαντική σκληρότητα και αντοχή και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων.



Εικόνα 24 Περιγραφές μέσα στο πλαίσιο

Τα κράματα χύτευσης κωδικοποιούνται αντίστοιχα με τα κράματα διαμόρφωσης (το πρώτο γράμμα της σειράς είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις). Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή χυτών εξαρτημάτων π.χ. αντλιών, εμβόλων, βαλβίδων, ζαντών αυτοκινήτων και λοιπών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική.

Οι βασικές θερμικές κατεργασίες στα κράματα αλουμινίου επισημαίνονται με το γράμμα T που ακολουθεί τον κωδικό αριθμό του κράματος. Οι διάφοροι τύποι θερμικών κατεργασιών στα κράματα αλουμινίου συμβολίζονται ως εξής:

1. T1 : Ψύξη από τη θερμοκρασία θερμής διαμόρφωσης και φυσική γήρανση
2. T2 : Ψύξη από τη θερμοκρασία θερμής διαμόρφωσης, κατεργασία εν ψυχρώ και ακολούθως φυσική γήρανση
3. T3 : Διαλυτοποίηση, υπερβαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση
4. T4 : Διαλυτοποίηση, υπερβαφή και φυσική γήρανση
5. T5 : Ψύξη από τη θερμοκρασία θερμής διαμόρφωσης και τεχνητή γήρανση
6. T6 : Διαλυτοποίηση, υπερβαφή και τεχνητή γήρανση

Στην επόμενη παράγραφο ακολουθεί μία εφαρμογή θερμικής κατεργασίας σκλήρυνσης (στη σειρά 2000). Με την ίδια μεθοδολογία πραγματοποιείται η σκλήρυνση και στις υπόλοιπες σειρές.

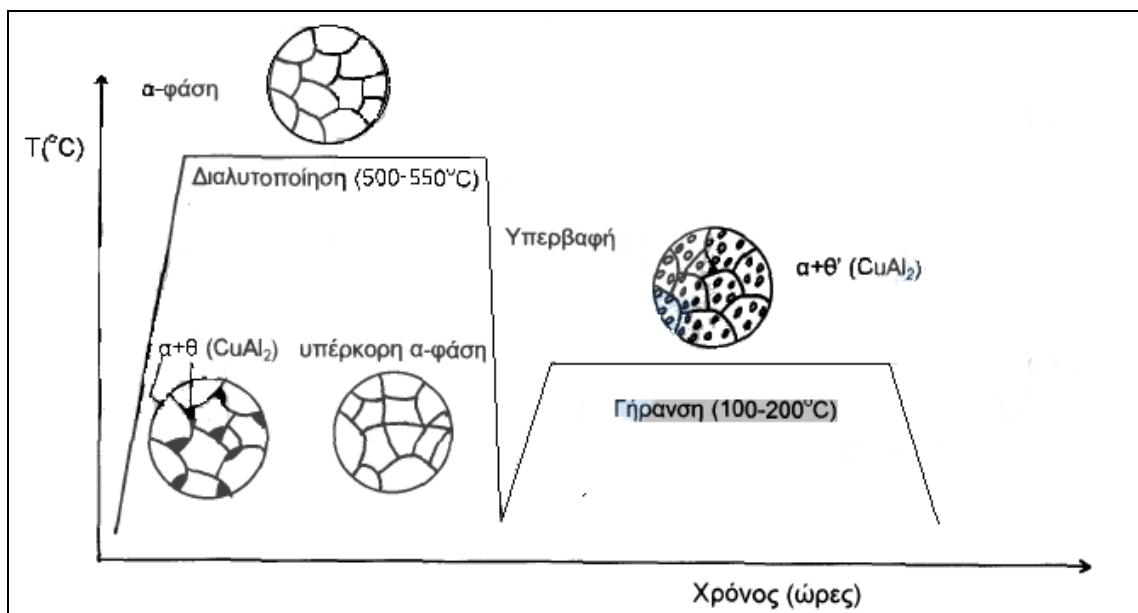
Ντουραλουμίνιο είναι κράμα Al- 4% Cu που ανήκει στη σειρά κραμάτων αλουμινίου διαμόρφωσης 2000 (π.χ. 2024). Η κατεργασία σκλήρυνσης που πραγματοποιείται σε ένα τέτοιο κράμα (όπως και στα υπόλοιπα 45 κράματα αλουμινίου: 6000 και 7000) ονομάζεται σκλήρυνση με κατακρήμνιση λόγω γήρανσης. Η συγκεκριμένη θερμική κατεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια :

1. **Διαλυτοποίηση.** Η αρχική δομή τέτοιων κραμάτων αποτελείται από δύο φάσεις: κόκκους της α- φάσης και χονδρά σωματίδια της θ-φάσης (CuAl_2). Διαλυτοποίηση καλείται η θέρμανση σε θερμοκρασία 500-550°C, που πραγματοποιείται, προκειμένου να διαλυθεί πλήρως ο χαλκός στη α-φάση και έτσι να δημιουργηθεί μονοφασικό κράμα α-φάσης.
2. **Υπερβαφή.** Μετά τη διαλυτοποίηση ακολουθεί απότομη ψύξη, η οποία σκοπό έχει να διατηρήσει την α-φάση και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η δομή αυτή είναι υπέρκορη σε χαλκό.
3. **Γήρανση.** Είναι η παραμονή του κράματος για μεγάλο χρονικό διάστημα (100-500 ώρες) είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (φυσική γήρανση), είτε σε κάποια χαμηλή σχετικά θερμοκρασία, 100-200°C (τεχνητή γήρανση). Σκοπός της γήρανσης είναι η δημιουργία μίας μεταβατικής φάσης θ' (η οποία είναι πρόδρομος της θ) σε πολύ λεπτό διαμερισμό μέσα στην α-φάση. Τα λεπτά σωματίδια της θ'-

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

φάσης (διαμέτρου μόλις μερικά angstrom ή το πολύ nm), διασκορπίζονται ομογενώς μέσα στην α -φάση μέσω μιας διεργασίας που ονομάζεται κατακρήμνιση και απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να επιτευχθεί. Η λεπτή αυτή διασπορά της θ' -φάσης οδηγεί σε κατακόρυφη αύξηση της μηχανικής αντοχής του υλικού.

Η θερμική κατεργασία της σκλήρυνσης με κατακρήμνιση απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 25) Η σκληρότητα του ντουραλουμινίου, έπειτα από σκλήρυνση, μπορεί να φθάσει και τα 500 HV, σκληρότητα πολύ υψηλή για κράμα αλουμινίου. Η διαδικασία αυτή είναι παρόμοια και για τα άλλα κράματα Al που επιδέχονται σκλήρυνση με κάποιες αλλαγές στις θερμοκρασίες (σειρές 6000,7000). Η κατεργασία της σκλήρυνσης με υπερβαφή και γήρανση είναι παρόμοια (ως προς το θερμικό μέρος) με την κατεργασία βαφής και επαναφοράς.



Εικόνα 25 Θερμική κατεργασία με την μέθοδο υπερβαφής και τεχνητής γήρανσης

4. Θερμικές κατεργασίες κραμάτων αλουμινίου

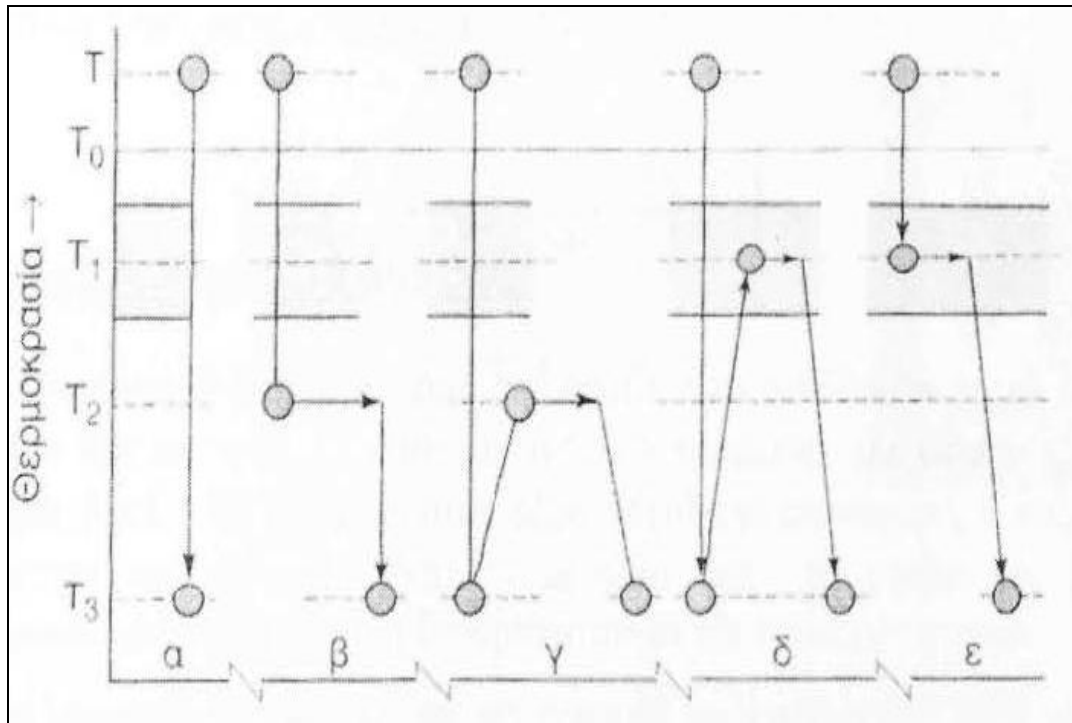
4.1 Γενικές πληροφορίες περί θερμικών κατεργασιών των μετάλλων

Τα περισσότερα μεταλλικά προϊόντα υφίστανται σε κάποιο από τα στάδια της παραγωγής τους θερμικές κατεργασίες, οι οποίες άλλοτε συνοδεύονται από πλαστική παραμόρφωση και άλλοτε όχι. Οι θερμικές εργασίες εκτελούνται προκειμένου το μεταλλικό υλικό να αποκτήσει συγκεκριμένες ιδιότητες. Το αποτέλεσμα μιας θερμικής κατεργασίας καθορίζεται από δύο σημαντικές παραμέτρους :

1. Τον **χρόνο** παραμονής σε συγκεκριμένη θερμοκρασία
2. Την **ταχύτητα διέλευσης** από την αρχική στην τελική θερμοκρασία

Οι κυριότερες θερμικές κατεργασίες των μεταλλικών υλικών είναι η βαφή, η κλιμακωτή βαφή, η επαναφορά μετά από βαφή και η ισοθερμοκρασιακή ανόπτηση (Εικόνα 26). Στα κράματα αλουμινίου οι κυριότερες θερμικές κατεργασίες είναι η σκλήρυνση με κατακρήμνιση και η ανόπτηση. Θεωρούμε ένα κράμα δεδομένης σύστασης, το οποίο παρουσιάζει ένα σημείο αντιστρεπτού μετασχηματισμού με αλλαγή φάσεων στην θερμοκρασία T_0 .

Ξεκινώντας από την αρχική κατάσταση , για όλα τα πειράματα, το μέταλλο φέρεται σε μία θερμοκρασία $T > T_0$, για αρκετό χρόνο, ώστε να είναι δυνατό να αποκατασταθεί η σταθερή κατάσταση στην θερμοκρασία T , η θερμοκρασία T_i αντιστοιχεί στην μέγιστη ταχύτητα μετασχηματισμού , όπου η ταχύτητα του μετασχηματισμού γίνεται πρακτικά μηδέν.



Εικόνα 26 Σχηματική παράσταση των κυριότερων θερμικών κατεργασιών, στις οποίες η περιοχή του γρήγορου μετασχηματισμού είναι γραμμοσκιασμένη:

- (α) βαφή,
- (β) κλιμακωτή βαφή ,
- (γ) επαναφορά μετά από βαφή ,
- (δ) και (ε) ισοθερμοκρασιακή ανόπτηση.

4.2 Θερμικές κατεργασίες μετάλλων

4.2.1 Βαφή

Κατά την βαφή, το κράμα που βρίσκεται, αρχικά, στην κατάσταση ισορροπίας σε θερμοκρασία T , αποψύχεται ταχύτατα σε θερμοκρασία T_3 . Κατά την διέλευση του από την γραμμοσκιασμένη περιοχή, δεν έχει τον χρόνο να υποστεί τον αντίστοιχο αντίστροφο μετασχηματισμό. Η θερμική διαδικασία της βαφής επιτρέπει στο μέταλλο ή στο κράμα να διατηρήσει την

αρχική δομή ισορροπίας, (που είχε στην υψηλή θερμοκρασία T) και στην χαμηλότερη θερμοκρασία T_3 , αλλά σε μετασταθή κατάσταση.

Η βαφή πραγματοποιείται με την ταχεία εμβάπτιση του μετάλλου ή του κράματος υψηλής θερμοκρασίας T , σε μέσο βαφής ή λουτρό βαφής, χαμηλής θερμοκρασίας T_3 . Ως μέσα βαφής συνήθως χρησιμοποιούνται ο αέρας, το νερό, το λάδι, τήγματα αλάτων, κτλ.

4.2.2 Μερική βαφή (Κλιμακωτή βαφή)

Κατά την μερική ή κλιμακωτή βαφή, το μέταλλο ή το κράμα από την θερμοκρασία T δεν αποψύχεται κατευθείαν σε θερμοκρασία T_3 , αλλά σε πρώτο στάδιο φέρεται σε ενδιάμεση θερμοκρασία T_2 , η οποία είναι κατώτερη της θερμοκρασίας T_1 , στην οποία πραγματοποιείτε ο αντιστρεπτός μετασχηματισμός. Στην θερμοκρασία αυτή το μέταλλο παραμένει για κάποιο σύντομο χρονικό διάστημα και εν συνεχεία αποψύχεται στην τελική θερμοκρασία T_3 .

Κάτω από αυτές τις συνθήκες δίνεται στο κράμα η δυνατότητα, τον χρόνο, να έχει μια μερική εξέλιξη προς την κατάσταση ισορροπίας, χωρίς όμως ο μετασχηματισμός αυτός να ολοκληρώνεται.

4.2.3 Επαναφορά μετά από βαφή

Η επαναφορά μετά από βαφή συνιστάται στην αναθέρμανση του υλικού μέχρι την θερμοκρασία T_2 , όπου το μέταλλο παραμένει για κάποιο χρονικό διάστημα. Ακολουθεί απόψυξη στον αέρα. Μετά την επαναφορά, η αυξημένη σκληρότητα που είχε αποκτήσει το μέταλλο από το στάδιο της βαφής ελαττώνεται, ενώ αυξάνονται η δυσθραυστότητα και η ολκιμότητα του. Οι τιμές των παραμέτρων της επαναφοράς επιλέγονται έτσι ώστε να είναι συμβατές και αξιοποιήσιμες οι τιμές της δυσθραυστότητας και της ολκιμότητας.

4.2.4 Ανόπτηση

Η ανόπτηση είναι μία θερμική κατεργασία που εφαρμόζεται στα θερμικώς κατεργάσιμα κράματα άλλα και στα μη θερμικώς κατεργάσιμα,

έχοντας σκοπό την μείωση των παραμενουσών τάσεων που δημιουργούνται κατά την ψυχρή κατεργασία ή την χύτευση. Εκτός όμως από την μείωση των τάσεων η ανόπτηση μεταβάλει και τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Η ανόπτηση γίνεται σε θερμοκρασίες της τάξης του 1/3 και του 1/2 του σημείου τήξης του κράματος ή του μετάλλου. Πιο συγκεκριμένα η ανόπτηση στο αλουμίνιο γίνεται σε θερμοκρασίες από 300°C έως 450°C.

Ο χρόνος καθώς και η θερμοκρασία της ανόπτησης παίζουν σπουδαίο ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 27) φαίνεται η επίδραση του χρόνου αλλά και της θερμοκρασίας ανόπτησης σε δύο κράματα αλουμινίου. Είναι εμφανές ότι στην θερμοκρασία στην οποία γίνεται η ανόπτηση επιδρά σημαντικά στο όριο διαρροής, εν αντιθέσει με τον χρόνο, ο οποίος έχει μικρότερη επίδραση. Επίσης συνδυάζοντας τις κατάλληλες θερμοκρασίες με τον κατάλληλο χρόνο, μπορούμε να πάρουμε κράματα με μηχανικές ιδιότητες ενδιάμεσες του ψυχρά διαμορφωμένου υλικού και του πλήρως ανοπτημένου.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ανόπτησης με διάφορες συνέπειες, αυτές κατηγοριοποιούνται στις εξής:

1. **Ολική ανόπτηση:** Όπου εφαρμόζεται σε θερμικώς και μη θερμικώς κατεργάσιμα κράματα και δίνει προϊόντα τα οποία έχουν την μέγιστη κατεργασιμότητα και ολκιμότητα. Επίσης το υλικό μετά την ανόπτηση είναι ανακρυσταλλωμένο. Οι θερμοκρασίες στις οποίες συνήθως εφαρμόζεται αυτή η κατεργασία στα κράματα αλουμινίου κυμαίνονται από τους 3450 έως τους 4150 Κελσίου για το χρονικό διάστημα των 2-3 ωρών. Στα θερμικώς κατεργάσιμα κράματα αλουμινίου, οι φάσεις που δημιουργούνται μετά από την ολική ανόπτηση κατακρημνίζονται και έτσι σταθεροποιούνται, έχοντας σαν αποτέλεσμα να αποφεύγεται η φυσική γήρανση.
2. **Μερική ανόπτηση:** Όπου εφαρμόζεται σε ψυχρά κατεργασμένα, μη θερμικώς κατεργάσιμα κράματα αλουμινίου. Σκοπό έχει να παράγει προϊόντα με μηχανικές ιδιότητες ενδιάμεσες από εκείνες του υλικού που έχει ενδοτραχυνθεί στον μέγιστο βαθμό (H18) και του υλικού που έχει υποστεί ολική ανόπτηση.

4.3 Θερμικές κατεργασίες αλουμινίου και κραμάτων αλουμινίου

Οι θερμικές κατεργασίες του αλουμινίου έχουν σκοπό είτε να αυξήσουν την μηχανική αντοχή (τεχνητή γήρανση), είτε και να ελαττώσουν την μηχανική αντοχή (ανόπτηση), ώστε να διευκολυνθεί η μορφοποίηση. Για να είναι αποτελεσματική μια θερμική κατεργασία, σχεδιάζεται έτσι, ώστε να μετασχηματίσει τη δομή που δημιουργείται από τα κραματοποιά στοιχεία, (π.χ. χαλκός, μαγνήσιο, πυρίτιο, ψευδάργυρος) τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους προς σχηματισμό διμεταλλικών ενώσεων.

Τα θερμοσκληρυνόμενα κράματα που δεν έχουν υποστεί διεργασίες θερμοσκλήρυνσης (π.χ. τεχνητή γήρανση), μπορούν να ανοπτηθούν με θέρμανση στους $360 \pm 10^{\circ}\text{C}$ για μια ώρα και κατόπιν ψύξη με αέρα. Η αργή ψύξη δεν είναι αποτελεσματική, εντούτοις η γρήγορη ψύξη μπορεί να οδηγήσει σε μερική σκλήρυνση λόγω γήρανσης.

Σε πολλές περιπτώσεις η ανόπτηση είναι αποτελεσματική για κράματα που έχουν υποστεί θερμοσκλήρυνση, αλλά για την ολοκλήρωση της ανόπτησης πρέπει να θερμανθούν σε $400 - 425^{\circ}\text{C}$ για μια ώρα. Σ' αυτή την περίπτωση, ο ρυθμός ψύξης πρέπει να είναι περίπου 15°C ανά ώρα, μέχρι τους 300°C . Κάτω απ' αυτή τη θερμοκρασία ο ρυθμός ψύξης δεν παίζει ρόλο.

4.3.1 Αποτακτική ανόπτηση

Η αποτακτική ανόπτηση εφαρμόζεται στα θερμικώς κατεργάσιμα, διαμορφωμένα κράματα αλουμινίου, με σκοπό την απαλλαγή του υλικού από τις μηχανικές τάσεις που εφαρμόστηκαν, κατά την διάρκεια της ενδοτράχυνσης. Η αποτακτική ανόπτηση γίνεται σε θερμοκρασίες μέχρι των 345°C . Κατά την αποτακτική ανόπτηση το υλικό ενδέχεται να υποστεί μερική ή και ολική ανακρυστάλλωση.

4.3.2 Ανόπτηση των χυτών κραμάτων αλουμινίου

Η ανόπτηση αυτή γίνεται σε θερμοκρασίες από 315° C έως 345° C, με σκοπό την απαλλαγή των χυτών από τις παραμένουσες τάσεις. Επίσης η ανόπτηση αυτή, προσδίδει στα χυτά μεγάλη διαστασιακή σταθερότητα σε βαθμιαίες θερμάνσεις.

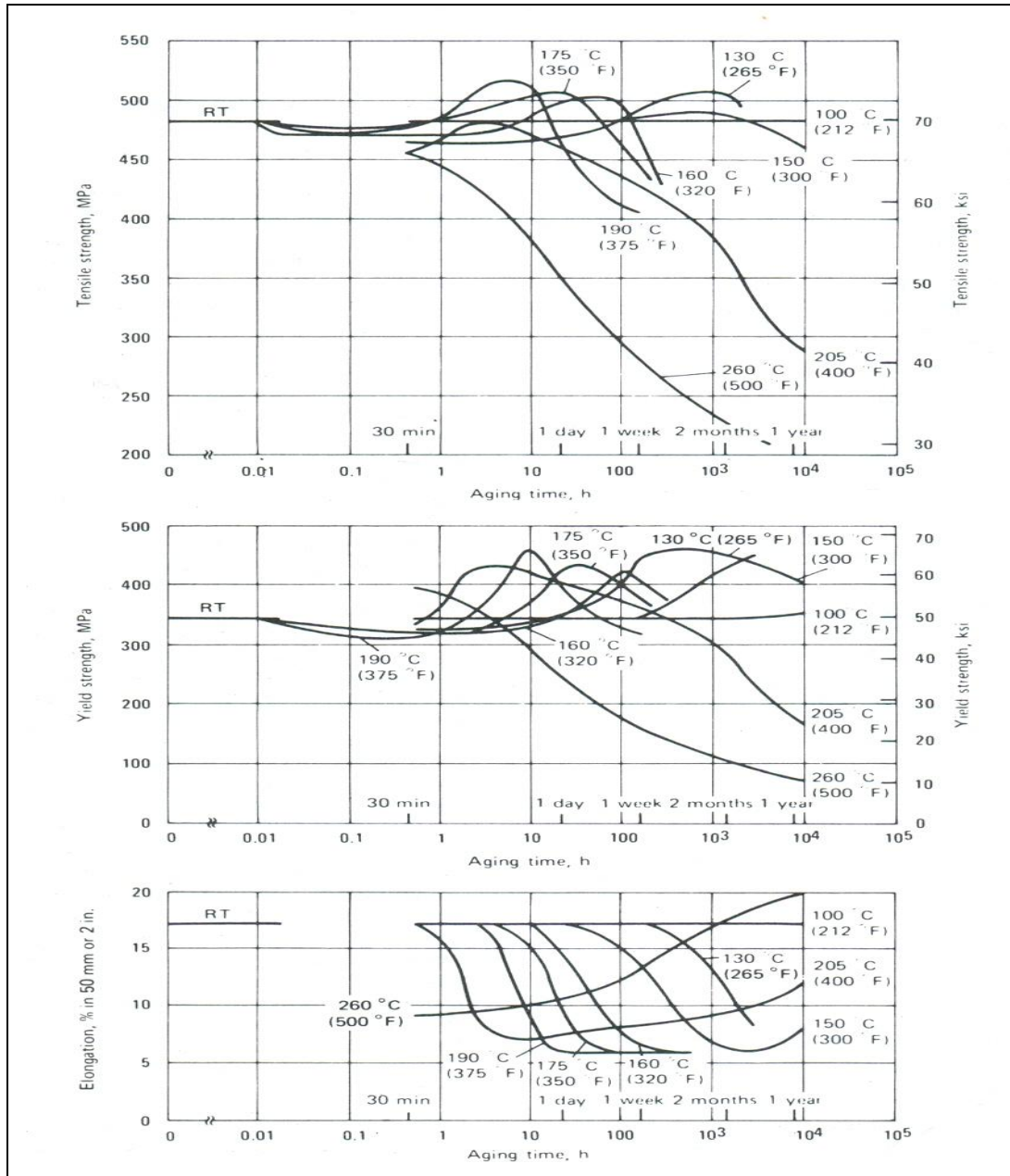
4.3.3 Μέθοδος κατακρήμνισης (precipitation hardening)

Η σκλήρυνση με κατακρήμνιση είναι μία διαδικασία στην οποία δημιουργούμε μία λεπτομερή διασπορά των σωματιδίων δεύτερης φάσης (κατακρημνίσματα), εντός του μητρικού υλικού. Τα κατακρημνίσματα αυτά δρουν ανασταλτικά ως προς την κίνηση των διαταραχών με αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητας του υλικού (Εικόνα 28). Πιο συγκεκριμένα οι διαταραχές αναγκάζονται να τμήσουν τα κατακρημνίσματα ή να τα παρακάμψουν, οπότε η κίνηση των διαταραχών μέσα στο υλικό να παρεμποδίζεται. Η σκλήρυνση με κατακρήμνιση πραγματοποιείται σε τρία στάδια τα οποία είναι:

1. **Ομογενοποίηση**: Θέρμανση πάνω από την καμπύλη στερεάς διαλυτότητας (495°C) για τη διάλυση της φάσης θ και το σχηματισμό ομογενούς στερεού διαλύματος Al-Cu (φάση α).
2. **Βαφή**: Απότομη ψύξη στη θερμοκρασία δωματίου. Λόγω της απουσίας διαχύσεως το στερεό διάλυμα της φάσεως α παραμένει ως έχει με τη διαφορά ότι είναι υπέρκορο στη θερμοκρασία δωματίου.
3. **Γήρανση**: Τεχνητή γήρανση μέσω θέρμανσης σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες. Η ενεργοποίηση της διαχύσεως σε συνδυασμό με τη μεγάλη κινούσα δύναμη προκαλεί την καθίζηση της φάσεως θ.

Η διαδικασία αυτή βρίσκεται σε εφαρμογή στα θερμικώς κατεργάσιμα κράματα αλουμινίου. Αντίθετα, στα μη θερμικώς κατεργάσιμα κράματα, η θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με κατακρήμνιση, έχει ελάχιστη έως μηδενική επίδραση στις μηχανικές τους ιδιότητες. Η διαδικασία αυτή αναλύεται περαιτέρω στην συνέχεια. Τα δεδομένα από καμπύλες τεχνητής γήρανσης δίδονται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 27).

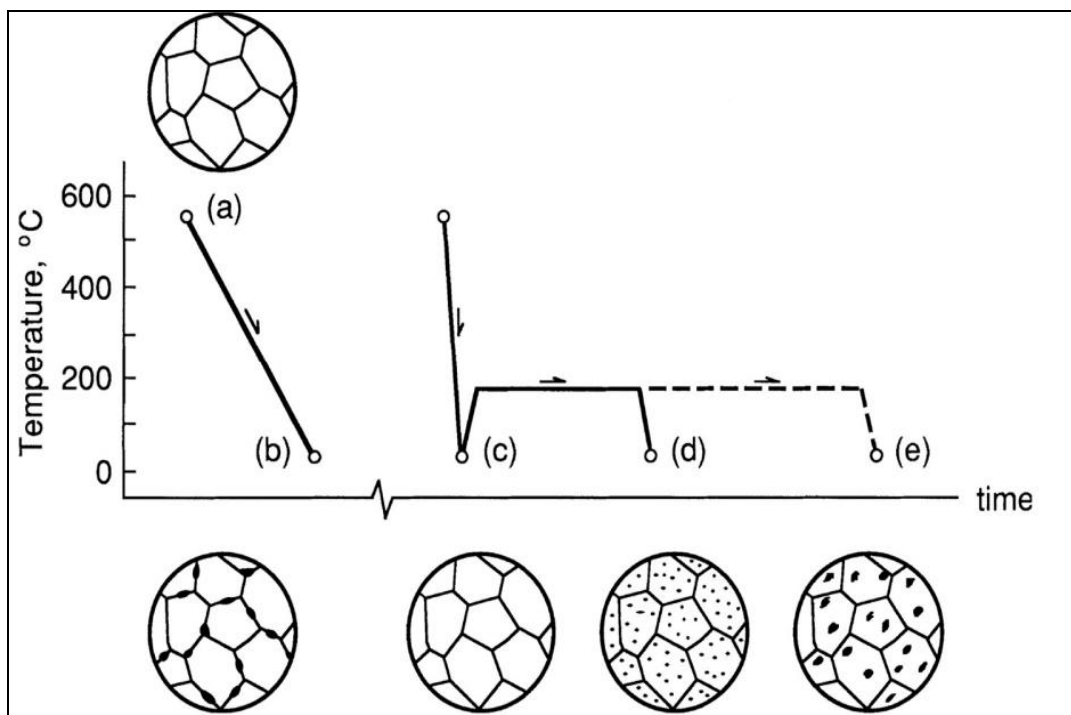
Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 27 Δεδομένα τεχνητής γήρανσης

Πιο αναλυτικά περι κατακρήμνισης

Το πρώτο στάδιο της είναι η **ομογενοποίηση**. Στην ομογενοποίηση έχουμε θέρμανση του υλικού κοντά στην θερμοκρασία της solidus. Με την θέρμανση αυτή προσπαθούμε να πετύχουμε την διάλυση των κραματικών στοιχείων στην μητρική φάση του αλουμινίου. Έτσι δημιουργείται ένα υπέρκορεσμένο, σε κραματικά στοιχεία, στερεό διάλυμα. Η θερμοκρασία ομογενοποίησης είναι σημαντικός παράγοντας, καθώς σχετίζεται άμεσα με τον ρυθμό διάχυσης των κραματικών στοιχείων. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο περισσότερα κραματικά στοιχεία διαχέονται στο στερεό διάλυμα, με αποτέλεσμα το στερεό διάλυμα να γίνεται πιο ομογενές.



Εικόνα 28 Βήμα-βήμα η μέθοδος κατακρήμνισης

Έτσι επιτυγχάνουμε καλύτερα αποτελέσματα στα επόμενα στάδια της θερμικής κατεργασίας. Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στην ομογενοποίηση είναι ο χρόνος. Ο χρόνος πρέπει να είναι αρκετός ώστε να γίνει πλήρης διάχυση όλων των κραματικών στοιχείων σε όλη την μάζα του μητρικού υλικού, και να δημιουργηθεί ένα ομογενές στερεό διάλυμα. Το δεύτερο στάδιο είναι η **βαφή**.

Σκοπός της βαφής είναι η διατήρηση του υπέρκορου στερεού διαλύματος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται με την ταχεία ψύξη του κράματος σε κάποιο ψυκτικό μέσο. (νερό, αέρας, λάδι). Κάθε ψυκτικό μέσο

έχει διαφορετικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, οπότε και προσφέρει το καθένα και διαφορετικό ρυθμό ψύξης. Η ψύξη κατά την βαφή γίνεται με συναγωγή θερμότητας. Ο ρυθμός ψύξης δίνεται από την παρακάτω σχέση, η οποία είναι γνωστή και σαν «νόμος ψύξης του Newton», $q = hA(T_w - T_\infty)$.

Ο ρυθμός ψύξης επιδρά στις μηχανικές ιδιότητες καθώς και στην αντοχή των κραμάτων στην διάβρωση. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο πιο αργός είναι ο ρυθμός ψύξης, τα διαλυτοποιημένα κραματικά στοιχεία προλαβαίνουν να διαχυθούν, με αποτέλεσμα να μειωθεί ο αριθμός των διαλυτοποιημένων κραματικών στοιχείων που θα δώσουν στην συνέχεια κατακρημνίσματα. Αντίθετα όσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός ψύξης, τα διαλυτοποιημένα κραματικά στοιχεία δε διαχέονται, οπότε μεγαλώνει ο αριθμός των κατακρημνισμάτων, και συνεπώς οι μηχανικές ιδιότητες.

Έχει παρατηρηθεί ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός ψύξης, τόσο αυξάνεται το όριο διαρροής σε κράματα τα οποία είναι ευαίσθητα στις αλλαγές του ρυθμού ψύξης. Τέτοια κράματα είναι της σειράς 7XXX. Αντιθέτως για κράματα τα οποία δεν είναι ευαίσθητα στις αλλαγές του ρυθμού ψύξης, όπως η σειρά 2XXX και η σειράς 6XXX, η αύξηση του ρυθμού ψύξης, δεν έχει σημαντική επίδραση στο όριο διαρροής. Αυτό επιβεβαιώνεται από το παρακάτω διάγραμμα.

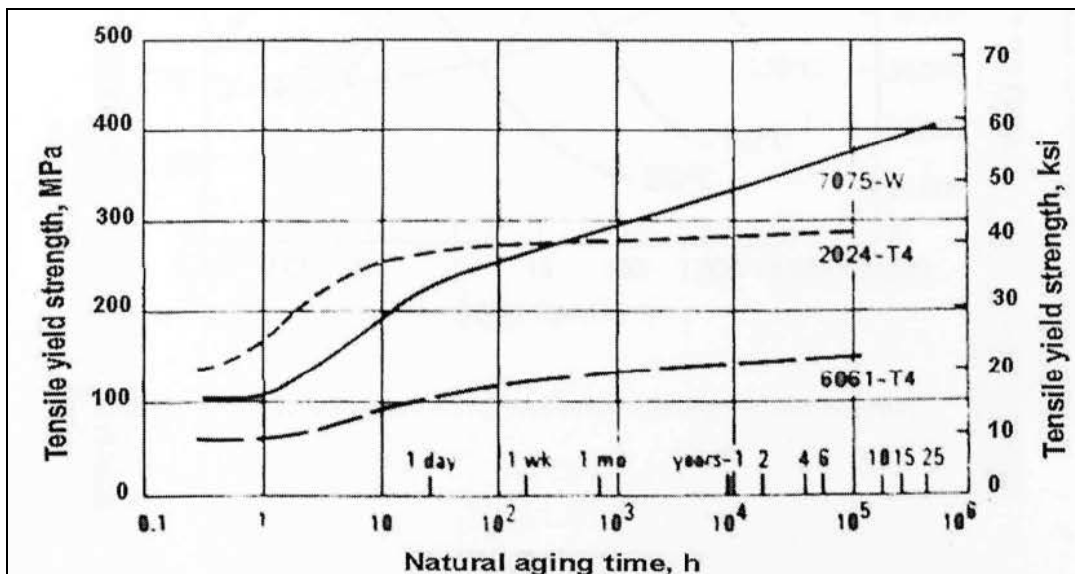
Το τρίτο στάδιο είναι η **γήρανση**. Η γήρανση είναι η διαδικασία με την οποία δημιουργείται μια ομοιόμορφη διασπορά κατακρημνισμάτων από το υπέρκορο στερεό διάλυμα. Επειδή το υπέρκορο στερεό διάλυμα δεν βρίσκεται σε ισορροπία, κατά την διάρκεια της γήρανσης μεταπίπτει σε πιο σταθερή μορφή, με ταυτόχρονο σχηματισμό κατακρημνισμάτων. Στο αρχικό στάδιο της γήρανσης δημιουργούνται οι ζώνες G.P.(Guinier-Preston). Οι ζώνες αυτές αποτελούνται από άτομα διαλυμένων κραματικών στοιχείων (πχ Cu, Mg, Zn), που έχουν συσσωματωθεί. στην συνέχεια οι ζώνες G.P. αυξάνουν σε μέγεθος και δημιουργούν τα κατακρημνίσματα. Η γήρανση είναι δύο ειδών:

1. φυσική
2. τεχνητή

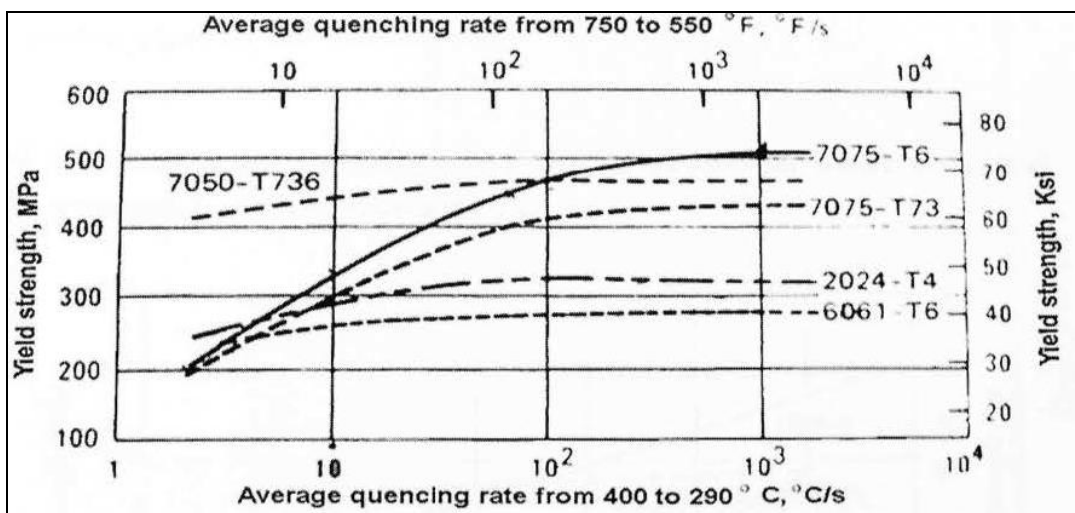
Η **φυσική γήρανση** πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, εν αντιθέσει με την τεχνητή, η οποία πραγματοποιείται σε υψηλότερη θερμοκρασία. (120° C - 200° C).

4.3.4 Φυσική γήρανση

Κράματα τα οποία έχουν υποστεί ομογενοποίηση και βαφή και στην συνέχεια αφεθούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος παθαίνουν φυσική γήρανση. Τέτοια κράματα είναι της σειράς 6XXX, με μεγάλο ποσοστό κραμάτωσης, της σειράς 7XXX που περιέχουν χαλκό και, όλα τα κράματα της σειράς 2XXX. Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 29-30), φαίνεται πώς επιδρά ο χρόνος φυσικής γήρανσης στο όριο διαρροής.



Εικόνα 29 Επίδραση γήρανσης στο όριο διαρροής

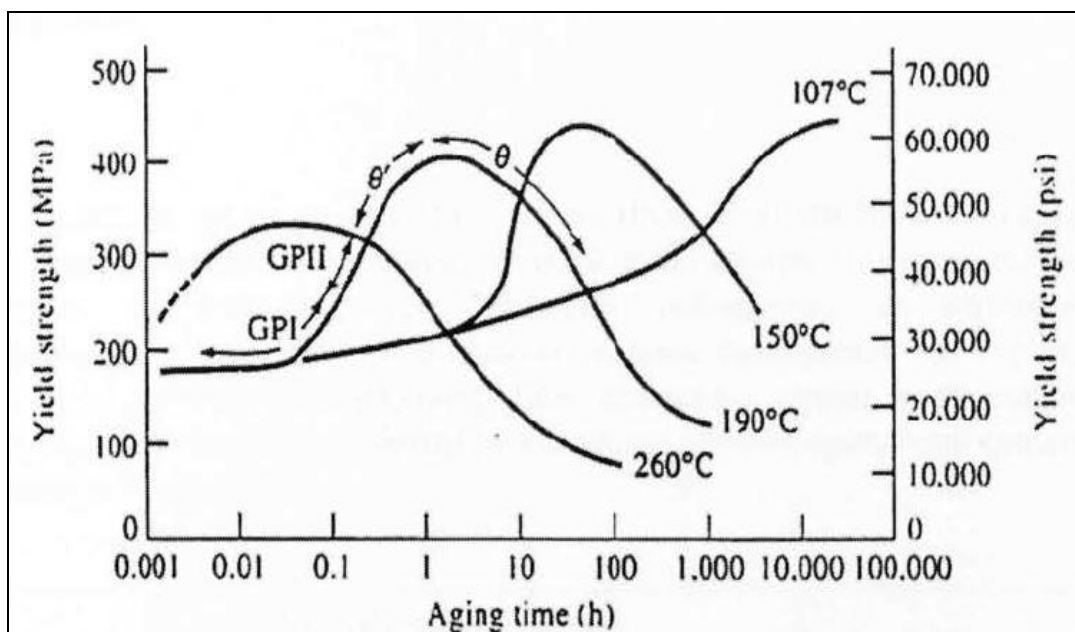


Εικόνα 30 Επίδραση του ρυθμού ψύξης στο όριο διαρροής

Όπως φαίνεται από τα διάγραμμα, το κράμα της σειράς 2XXX, σε διάστημα μερικών ημερών φτάνει σε σταθερή κατάσταση, δηλαδή δεν υπάρχει μεταβολή στο όριο διαρροής. Αντίθετα με το κράμα της σειράς 6XXX και της σειράς 7XXX που σε μεγαλύτερο βαθμό εμφανίζουν σημαντικές μεταβολές στις μηχανικές ιδιότητες με την πάροδο του χρόνου, για αρκετά χρόνια.

4.3.5 Τεχνητή γήρανση

Οι δύο παράγοντες που επιδρούν την τεχνητή γήρανση είναι η θερμοκρασία και ο χρόνος. Έχει παρατηρηθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της γήρανσης, οι μηχανικές ιδιότητες μειώνονται, και όσο μικρότερος είναι ο χρόνος της γήρανσης οι μηχανικές ιδιότητες βελτιώνονται. Παρακάτω φαίνεται η επίδραση του χρόνου και της θερμοκρασίας γήρανσης, στο όριο διαρροής σε ένα κράμα αλουμινίου και χαλκού

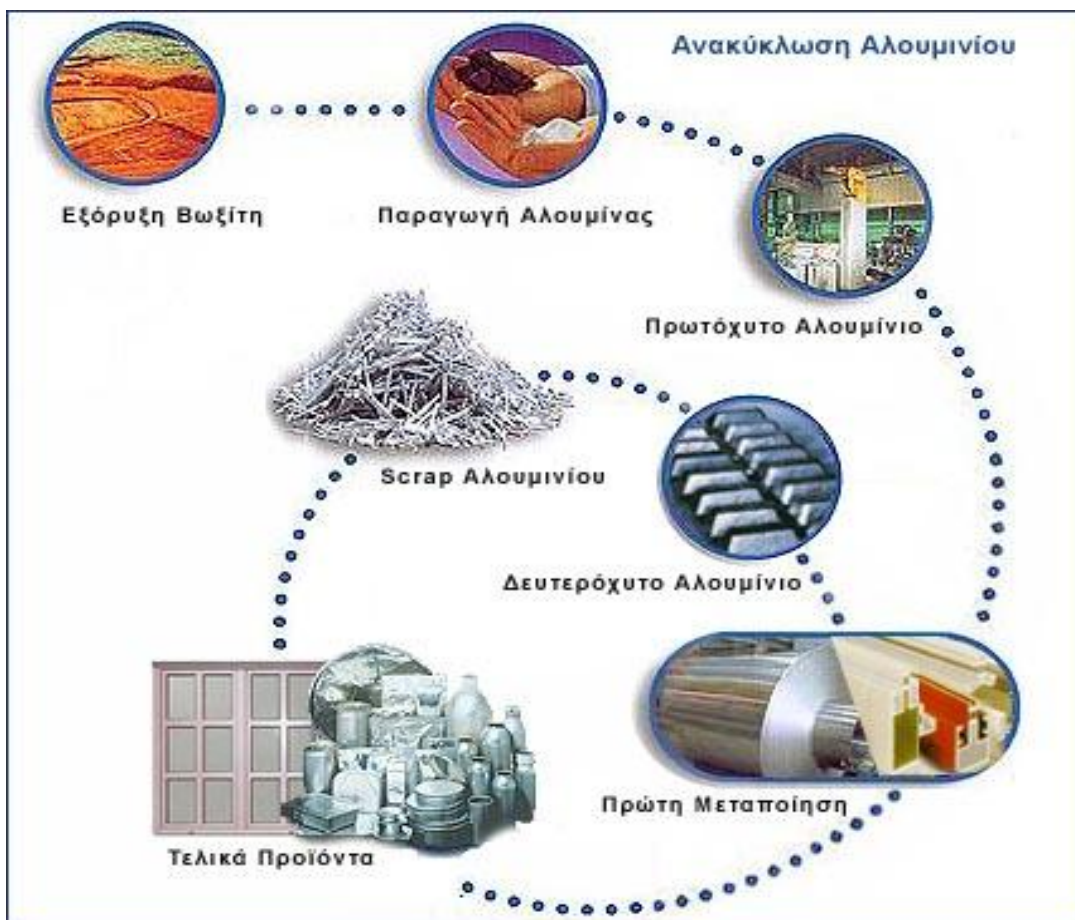


Εικόνα 31 Επίδραση χρόνου και θερμοκρασίας γήρανσης στο όριο διαρροής.

5. Ανακύκλωση αλουμινίου

5.1 Δευτερεύουσα παραγωγή αλουμινίου

Το αλουμίνιο έχει σαν μοναδικό χαρακτηριστικό, το χαμηλό κόστος ανακύκλωσης. Το μέταλλο αυτό, ύστερα από κάποια επεξεργασία ή κατεργασία του παράγεται ένα είδος υποπροϊόντος, το λεγόμενο σκράπ, το οποίο δεν έχει πλέον για όποιον το χρησιμοποιούσε καμία απολύτως αξία. Στην μορφή, λοιπόν αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία δευτερεύουσας παραγωγής αλουμινίου, που σε σύγκριση με την αρχική μέθοδο παραγωγής αλουμινίου, απαιτεί μόλις το 5% της ενέργειας για να παραχθεί η ίδια ποσότητα αλουμινίου.

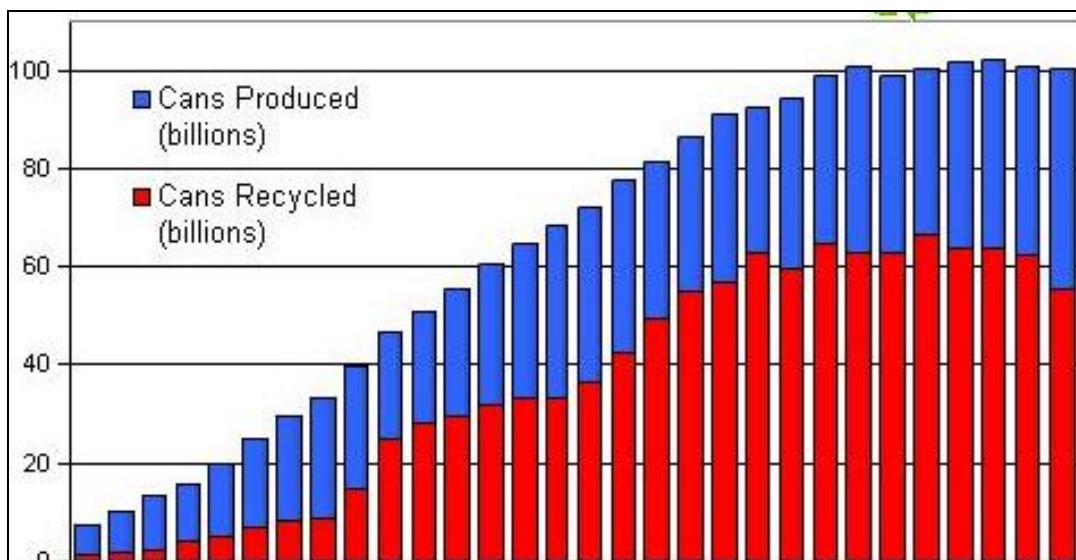


Εικόνα 32 Βήμα-βήμα η διαδικασία παραγωγής δευτερόχυτου αλουμινίου

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Επίσης όλα τα προϊόντα του αλουμινίου μετά το τέλος της χρήσης τους θεωρούνται σκράπ. Τα προϊόντα με το μεγαλύτερο βαθμό ανακύκλωσης είναι αυτά που προορίζονται για την αυτοκινητοβιομηχανία, τη δόμηση και τη συσκευασία αναψυκτικών. Εκτός από την ιδιαίτερα μεγάλη διάρκεια ζωής που έχουν τα προϊόντα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, μετά το τέλος της ζωής τους μπορούν είτε να επαναχρησιμοποιηθούν είτε να ανακυκλωθούν, χωρίς να χάσουν κανένα από τα ιδιαίτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι, το αλουμίνιο, αντί να συμβάλλει στην δημιουργία απορριμμάτων, μπορεί να επαναχυτευθεί και να παραχθούν και πάλι νέα προϊόντα για τις κατασκευές.

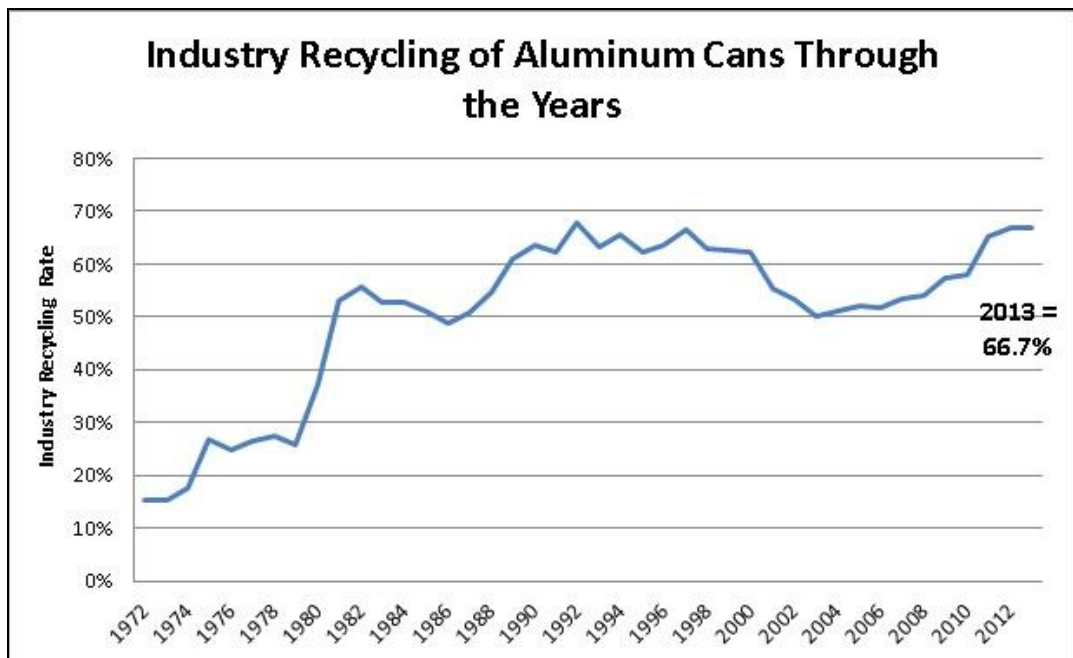
Γενικά, το αλουμίνιο ανακυκλώνεται σε μεγαλύτερο ποσοστό από όλα τα άλλα υλικά. Με την κατάλληλη υποδομή είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν όλα τα προϊόντα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και υπάρχουν πολλοί λόγοι που συντελούν σ' αυτό. Πρώτον, υπάρχει διαθέσιμη σχετικά μεγάλη ποσότητα σκράπ αλουμινίου. Δεύτερον, η υψηλή τιμή του σκράπ συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του κόστους κατεδάφισης. Τέλος, υπάρχει η απαιτούμενη τεχνογνωσία για την συλλογή και αξιοποίηση του σκράπ, που συνεχώς αναπτύσσεται.



Εικόνα 33 Γράφημα που δείχνει πόσο από το παραγόμενο αλουμίνιο ανακυκλώνεται με το πέρασμα των ετών παγκοσμίως.

Σήμερα, το 40% περίπου του αλουμινίου που χρησιμοποιείται διεθνώς προέρχεται από ανακύκλωση. Εν τούτοις, αυτό δεν δίνει την πραγματική εικόνα του βαθμού ανακύκλωσης που μπορεί να επιτευχθεί, καθώς η

φυσική αντοχή των στοιχείων από αλουμίνιο που είναι ενσωματωμένα στα κτίρια, καθιστούν το υλικό μη διαθέσιμο για ανακύκλωση για πολλά χρόνια από την στιγμή της τοποθέτησής του.



Εικόνα 34 Ανακύκλωση αλουμινένιων κουτιών με το πέρασμα των ετών

Έχει υπάρξει μια πολύ υγιή βιομηχανία δευτερεύουσας παραγωγής αλουμινίου, μέσω ανακύκλωσης του σκράπ για πολλά χρόνια και καθώς οι μέθοδοι ανακύκλωσης και αξιοποίησης του βελτιώνονται, τόσο αυξάνεται η χρήση και η χρησιμότητά του. Την πρωτιά στο τομέα αυτό και δίνοντας παράδειγμα προς μίμηση έχουν οι Ηνωμένες Πολιτείες. Στις ΗΠΑ, για κάθε ένα εκατομμύριο τόνους αλουμινένιων κουτιών από αναψυκτικά και μπίρες, πάνω από το 50% τους παράγεται από ανακυκλωμένο αλουμίνιο (σκράπ). Η Ευρώπη, ακολουθώντας το δρόμο που χάραξαν οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, δημιουργεί ακόμα και σήμερα εργοστάσια ανακύκλωσης αλουμινένιων κουτιών τέτοιου είδους.

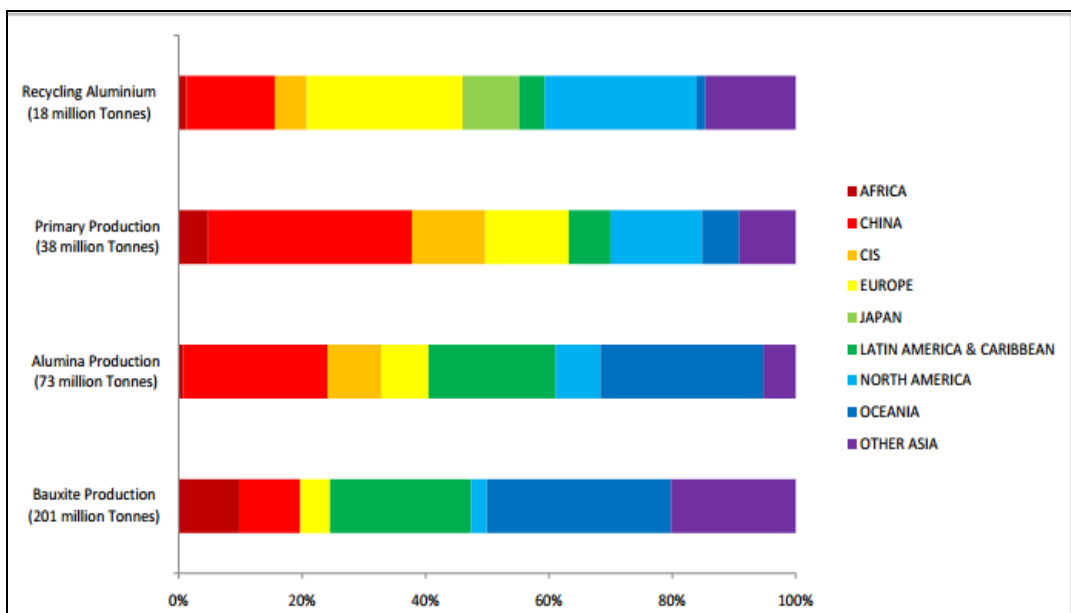
5.2 Ανακύκλωση αλουμινίου στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η ανακύκλωση σαν εφαρμοσμένη βιομηχανική μέθοδος παραγωγής αλουμινίου, έχει ιστορία ζωής στην Ευρώπη από το 1920 περίπου. Το σκράπ που προκύπτει κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας στα εργοστάσια παραγωγής, ανακυκλώνεται αμέσως εντός του

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

εργοστασίου. Από την άλλη, οι κάθε είδους κατασκευές και προϊόντα αλουμινίου μπορούν να ανακυκλωθούν μετά το τέλος της χρήσης τους.

Αυτό βέβαια προϋποθέτει την περισυλλογή, τον κραματικό διαχωρισμό και την ανακύκλωσή τους. Εκτεταμένα δίκτυα περισυλλογής, διαχωρισμού, προεπεξεργασίας και εμπορίας, λειτουργούν ήδη σε όλο τον κόσμο. Σε Ευρωπαϊκή κλίμακα, το αλουμίνιο που χρησιμοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι από εκείνα με τον υψηλότερο βαθμό ανακύκλωσης. Ακολουθεί το αλουμίνιο από δομικές εφαρμογές, ενώ τρίτο σε βαθμό ανακύκλωσης είναι το αλουμίνιο από τα κουτιά μπίρας και αναψυκτικών.



Εικόνα 35 Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται καθαρά ο σημαντικό και ενεργός ρόλος της Ευρώπης όσον αφορά την ανακύκλωση αλουμινίου

Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνικές ανακύκλωσης, προσαρμοσμένες στις διάφορες μορφές ανακυκλώσιμου αλουμινίου, π.χ. άλλη για άβαφο και χονδρού πάχους αλουμίνιο, άλλη για φύλων αλουμινίου, άλλη για βαμμένο αλουμίνιο.

Σήμερα ανακυκλώνεται το περίπου 85 % του αλουμινίου που χρησιμοποιείται στην οικοδομική δραστηριότητα. Το ανακυκλωμένο αλουμίνιο εμφανίζει σταδιακή ποιοτική πτώση, επειδή σε κάθε κύκλο ανακύκλωσης του προστίθενται ξένες ουσίες, εξαιτίας της δυσκολίας διαχωρισμού του χρησιμοποιημένου αλουμινίου από αυτές. Γίνεται

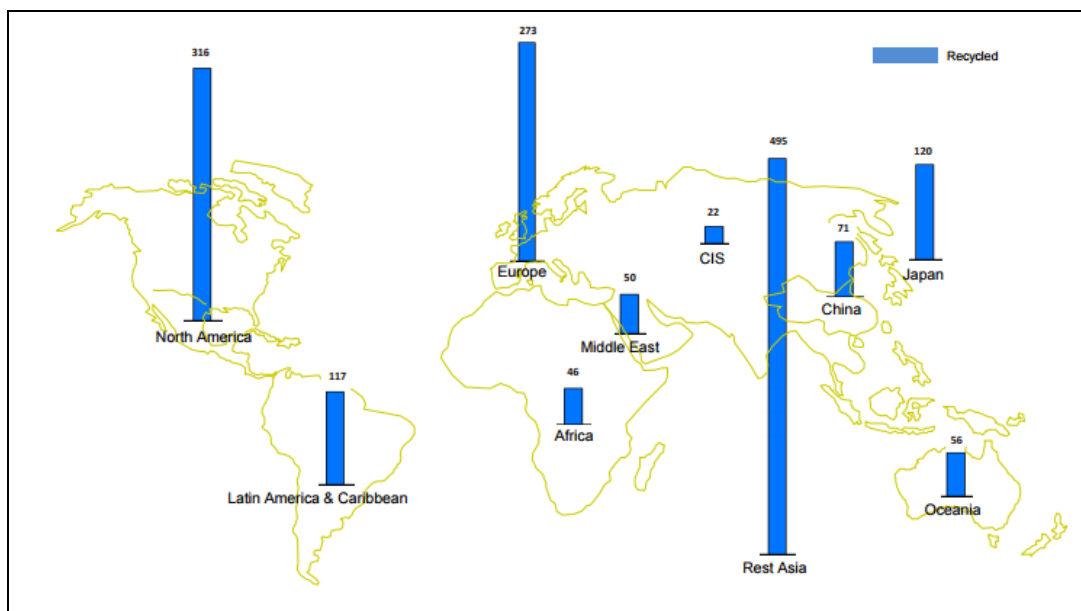
Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

προσπάθεια βελτίωσης των τεχνολογιών καθαρισμού ή εφαρμογής μεθόδων ανακύκλωσης κλειστού βρόγχου.

Κατά την παραγωγή κάθε κιλού αλουμινίου απελευθερώνονται 16 kg CO₂, σημαντικές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου και φθόριο ιδιαίτερα υψηλής τοξικότητας, παρόλη την προσπάθεια συγκέντρωσης και ανακύκλωσής του.

Σημαντικά επιβλαβής επίπτωση της παραγωγής αλουμινίου είναι η αποβολή στο περιβάλλον της «κόκκινης λάσπης». Πρόκειται για τα υπολείμματα της κατεργασίας αλουμίνιας με χρήση καυστικής σόδας, που περιέχουν οξείδια σιδήρου (αίτια κόκκινου χρώματος) και τιτανίου, πυριτικές ενώσεις και βαρέα μέταλλα, μεταξύ άλλων υδράργυρο και αρσενικό. Είναι ισχυρά αλκαλικά και διαβρωτικά κυρίως για το δέρμα και προκαλούν εγκαύματα.

Εκτός αυτού, τα βαρέα μέταλλα της λάσπης μολύνουν τα νερά, διεισδύουν στο έδαφος και από εκεί στην τροφική αλυσίδα. Παρόλο που επιβάλλεται η συγκέντρωση και ο ασφαλής ενταφιασμός της «κόκκινης λάσπης», το 2010 παρουσιάστηκε οξύτατο πρόβλημα στην Ουγγαρία αλλά και στον Κορινθιακό κόλπο.



Εικόνα 36 Εγκαταστάσεις ανακύκλωσης αλουμινίου παγκοσμίως

Η χρήση του αλουμινίου στις οικοδομές είναι ακίνδυνη. Επίφοβη για πρόκληση καρκίνου είναι η εισπνοή σκόνης αλουμινίου, με επιτρεπόμενη

τιμή σκόνης αλουμινίου, σύμφωνα με τον κατάλογο MAK των γερμανικών κανονισμών, τα 6 mg/m³ αέρα.

5.2.1 Ανακύκλωση αλουμινίου στην Ελλάδα

Η ελληνική βιομηχανία εκμεταλλεόμενη πλήρως τις μοναδικές αυτές ιδιότητες του αλουμινίου για ανακύκλωση και πραγματοποιώντας τις κατάλληλες επενδύσεις έχει την δυνατότητα για ανακύκλωση του συνόλου σχεδόν του σκράπ των χρησιμοποιημένων προϊόντων αλουμινίου στην χώρα μας και την ανάκτηση πρώτης ύλης μετάλλου άριστης ποιότητας με πολλαπλά οφέλη, τόσο περιβαλλοντικά και ενεργειακά όσο και οικονομικά.



Εικόνα 37 Σημείο ανακύκλωσης αλουμινένιων κουτιών (και όχι μόνο) σε περιοχή της Ελλάδας

Έτσι σήμερα στην χώρα μας, το σκράπ της παραγωγής σε όλες τις βαθμίδες της μεταποίησης ανακυκλώνεται σε απόλυτο βαθμό. Επιπλέον και τα προϊόντα αλουμινίου μετά το τέλος της ζωής τους ανακυκλώνονται, όπως

για παράδειγμα τα κουτιά για μπίρες και αναψυκτικά, όπου υπολογίζεται ότι το ποσοστό ανακύκλωσης ξεπερνά το 35%.

Η Ελληνική Ένωση Αλουμινίου, που πρώτη ξεκίνησε προγράμματα ανακύκλωσης κουτιών αλουμινίου το 1986, συνέβαλε στο να ευαισθητοποιηθεί το κοινό πάνω στο θέμα. Σήμερα την προσπάθεια αυτή την συνεχίζει το Κέντρο Ανακύκλωσης Κουτιών Αλουμινίου (ΚΑΝΑΛ) που αγοράζει μεταχειρισμένα κουτιά αλουμινίου και λειτουργεί ως χώρος επικοινωνίας όπου οργανισμοί, κοινωνικές ομάδες, σχολεία, επιχειρήσεις και ιδιώτες μπορούν να ενημερώνονται για τη διαδικασία της ανακύκλωσης ώστε να συμμετέχουν σε αυτήν ενεργά και αποδοτικά.

Τέλος με την εφαρμογή του Νόμου 2939/01 η ανακύκλωση αλουμινένιων κουτιών μπίρας και αναψυκτικών εντάσσεται στις δραστηριότητες των συστημάτων συλλογικής εναλλακτικής διαχείρισης συσκευασιών.

5.2.2 Διαδικασία ανακύκλωσης αλουμινένιων κουτιών

Για την ολοκλήρωση της ανακύκλωσης αλουμινένιων κουτιών από αναψυκτικά και μπίρες υπάρχουν κάποια βήματα τα οποία ακολουθούν οι βιομηχανίες δευτερεύουσας παραγωγής αλουμινίου. Για να δημιουργηθεί ένα νέο αλουμινένιο προϊόν από το ήδη χρησιμοποιημένο αλουμίνιο, τα εξής βήματα πρέπει να γίνουν:

1. Τα αλουμινένια κουτάκια, αρχικά, αφαιρούνται και ξεχωρίζονται από τα υπόλοιπα απορρίμματα που τυχόν είχαν αναμειχθεί μαζί κατά την περισυλλογή τους. Αυτή η διαδικασία για να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιείται ένα μηχάνημα παραγωγής ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου, τα οποία στην συνέχεια θα τεμαχιστούν σε μικρά κομμάτια ίδιου μεγέθους και σχήματος που τα καθιστά εύκολα στην περισυλλογή.
2. Στην συνέχεια, τα κομμάτια αυτά, καθαρίζονται χημικά και μηχανικά και στην συνέχεια μαζεύονται και μετατρέπονται σε κύβους για να αποφευχθεί τυχόν εμφάνιση οξειδωσης πριν και κατά την διάρκεια του λιωσίματος, εφόσον θα εκτεθούν σε οξυγόνο.



Εικόνα 38 Το ανακυκλώσιμο αλουμίνιο στο στάδιο αυτό

3. Οι κύβιοι τότε τοποθετούνται σε ένα φούρνο για να θερμανθούν και στην συνέχεια να λιώσουν σε θερμοκρασία του ύψους των 700°C ($\pm 100^{\circ}\text{C}$) και να παραχθεί λιωμένο αλουμίνιο.
4. Αφού αφαιρεθούν τυχόν ακαθαρσίες, το εναπομείναν υδρογόνο εξαερώνεται. Αυτό γίνεται στις περισσότερες των περιπτώσεων με την προσθήκη χλωρίου ή αερίου αζώτου. Συνήθως, χρησιμοποιούνται κάψουλες εξαχλωρεθανίου, ως πηγές χλωρίου. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και υπερχλωρικό αμμώνιο, καθώς όταν θερμαίνεται παράγει χλώριο, άζωτο και οξυγόνο.
5. Κάποια δείγματα τότε παίρνονται για σπεκτροσκοπική ανάλυση. Ανάλογα από το επιθυμητό τελικό προϊόν προστίθενται κάποια στοιχεία για την αλλαγή της σύστασης του μείγματος σε αυτή του επιθυμητού κράματος. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι σε συνδυασμό είτε μόνα τους, στοιχεία όπως, πολύ υψηλής ποιότητας καθαρό αλουμίνιο, χαλκός, ψευδάργυρος, μαγγάνιο, πυρίτιο και μαγνήσιο. Τα δημοφιλέστερα παραγόμενα κράματα αλουμινίου είναι τα εξής: 6061, 7075, 1100, 6063 και το 2024.

6. Όταν και μόνο πραγματοποιηθούν τα παραπάνω βήματα, τότε το λιωμένο μείγμα αλουμινίου και άλλων στοιχείων αφαιρείται από τον φούρνο και επαναλαμβάνεται η όλη διαδικασία για την διαδικασία παραγωγής της επόμενης παρτίδας. Αναλόγως το τελικό μείγμα και το κράμα που δημιουργήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών μορφών. Για σχήματα όπως ράβδους, κυλινδρικών κορμών, μεγάλων πλακών για την δημιουργία αλουμινένιων φύλων ή την ατμοποίηση του σε σκόνη και την μεταφορά του σε άλλα εργοστάσια για περαιτέρω επεξεργασία.

5.3 Ανταποδοτική ανακύκλωση

Η μεγάλη επιτυχία της Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης στηρίζεται στην εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων ανακύκλωσης που επιτυγχάνουν υψηλή συμμετοχή των πολιτών. Η ανταποδοτική ανακύκλωση αξιοποιεί τη διεθνή εμπειρία, σύμφωνα με την οποία, όταν ένα σύστημα ανακύκλωσης συσκευασιών βασίζεται μόνο στην εθελοντική συμμετοχή των δημοτών στη διαδικασία της ανακύκλωσης και στην περιβαλλοντική συνείδηση αυτών, οι ποσοτικοί στόχοι ανακύκλωσης που μπορούν να επιτευχθούν έχουν ένα όριο που δεν μπορεί να ξεπεραστεί, όσο και εάν επεκταθεί ένα σύστημα ανακύκλωσης συσκευασιών.

Ως συμπέρασμα, η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να επιτευχθούν και να διατηρηθούν υψηλά επίπεδα συμμετοχής στη διαδικασία της ανακύκλωσης, είναι η παροχή κινήτρων για τις επιστρεφόμενες συσκευασίες.

Έτσι, οι δημότες, οι καταναλωτές ανταμείβονται άμεσα από τη διαδικασία της ανακύκλωσης, ικανοποιώντας τόσο τις ανάγκες τους όσο και τις ευαισθησίες τους. Παράλληλα, μέσω της παροχής κινήτρων για την επιστροφή των μετά τη χρήση συσκευασιών, οι καταναλωτές κατανοούν πολύ εύκολα και σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα, ότι οι άδειες συσκευασίες δεν είναι σκουπίδια, αλλά υλικά που έχουν αξία. Για το λόγο αυτό, οι δημότες δεν απορρίπτουν τις συσκευασίες στα σκουπίδια, αλλά τις προωθούν για ανακύκλωση.

Η ανταποδοτική ανακύκλωση στηρίζει τη μέθοδο εναλλακτικής διαχείρισης που εφαρμόζει, στη χρήση των Κέντρων Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης, όπου με την αξιοποίηση εξοπλισμού υψηλής τεχνολογίας, πραγματοποιούνται αυτόματα οι εργασίες συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης των συσκευασιών, ενώ παράλληλα παρέχεται στους καταναλωτές ανταποδοτικό κίνητρο για κάθε επιστρεφόμενη συσκευασία. Το κίνητρο αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για δωρεάν αγορές σε

συμβεβλημένα καταστήματα είτε να δωριθεί υπέρ της ενίσχυσης κοινωνικών σκοπών.

Σημειώνεται, ότι σε κάθε Κέντρο Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης πραγματοποιούνται αυτόματα όλες οι αναγκαίες εργασίες συλλογής, διαλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης των υλικών συσκευασίας. Ειδικότερα, με αξιοποίηση των τεχνικών δυνατοτήτων του εξοπλισμού υψηλής τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, πραγματοποιούνται αυτόματα, μεταξύ άλλων, οι ακόλουθες εργασίες:

1. **Παραλαβή** των άδειων συσκευασιών, σε ειδική χοάνη υποδοχής και με υψηλή ταχύτητα παραλαβής(έως 40 συσκευασίες ανά λεπτό).
2. **Αναγνώριση** και **διαχωρισμός** των συσκευασιών ανά υλικό, όπου με χρήση ειδικών αισθητήρων αναγνωρίζονται και διαχωρίζονται οι συσκευασίες.
3. **Αναγνώριση** της συγκεκριμένης συσκευασίας, με χρήση barcode scanner.
4. **Συμπίεση** ή **τεμαχισμός** της συσκευασίας, με ειδικά μηχανικά μέσα, επιτυγχάνοντας μείωση όγκου έως 90%.
5. **Συλλογή** των επιστρεφόμενων συσκευασιών σε ειδικό ενσωματωμένο κλειστό αποθηκευτικό χώρο.

5.4 Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη

Τα χρησιμοποιημένα αλουμινένια κουτιά από αναψυκτικά, μπίρες κ.α. δεν είναι άχρηστα. Αντίθετα, με την ανακύκλωσή τους προσφέρουν χρήματα σε σας που τα μαζεύετε και τα δίνετε στους χώρους που έχουν δημιουργηθεί για το σκοπό αυτό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται:

1. η **εξοικονόμηση** ενέργειας:
Με την ανακύκλωση του αλουμινίου έχουμε μεγάλο οικονομικό όφελος, αφού εξοικονομείται το 95% της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή του από πρώτες ύλες
2. ο **περιορισμός της σπατάλης** πρώτων υλών:
Με την ανακύκλωση κουτιών αλουμινίου επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση πρώτων υλών στα κυριότερα στάδια παραγωγής αλουμινίου.
3. η **προστασία** του περιβάλλοντος:
Σαν αποτέλεσμα των δύο παραπάνω.

Η προσπάθεια, σε διεθνή επίπεδο, που καταβάλλεται προς την κατεύθυνση αυτή, αποδεικνύεται και με το "κλείσιμο" ορυχείων βωξίτη, ενώ πολλές μονάδες ηλεκτρόλυσης (πάνω από 60% παγκοσμίως) τροφοδοτούνται με ενέργεια από υδροηλεκτρικά έργα (καθαρότερη ενέργεια, χωρίς εκπομπές καυσαερίων).

Η επαναφορά του τοπίου των σκαμμένων ορυχείων είναι καθιερωμένη και τα Ηνωμένα Έθνη έχουν βραβεύσει την αναδάσωση παλαιών ορυχείων μεγάλης εταιρίας στην Αυστραλία. Η προσπάθεια για οικονομικότερη διεργασία ηλεκτρολύσεως έχει ήδη διεθνώς αποδώσει, επιτυγχάνοντας μείωση ενέργειας 30% σε σχέση με εκείνη που χρειαζόταν προ 30ετίας.

Καταβάλλεται προσπάθεια μέσω ενημέρωσης για να επικρατήσει ο όρος χρησιμοποίηση αλουμινίου αντί για κατανάλωση αλουμινίου, ώστε το κοινό να εξοικειωθεί με τις έννοιες περισυλλογής και διαχωρισμού και ανακύκλωσης. Η διατήρηση της αξίας του μετάλλου, παράλληλα με την επ' άπειρον δυνατότητα ανακύκλωσης του αλουμινίου, αποτελούν εξαιρετικά ελκυστικά χαρακτηριστικά που ενισχύουν το προφίλ οικολογίας του αλουμινίου. Υπογραμμίζεται η δεδομένη σήμερα διατήρηση της ίδιας ποιότητας μετάλλου μετά την ανακύκλωσή του.

ΑΝΑΛΥΚΛΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ



- Με την ανακύκλωση του αλουμινίου έχουμε μεγάλο οικονομικό όφελος, αφού εξοικονομείται το 95% της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή του από πρώτες ύλες. Ταυτόχρονα, η ανακύκλωση ενός τόνου αλουμινίου οδηγεί στην εξοικονόμηση :
 - 4 τόνων βωξίτη
 - 500 κιλών σόδας
 - 100 κιλών ασβεστόλιθου
 - 700 κιλών πετρελαίου
 - 25 κιλών κρυσολίτη
 - 35 κιλών φθοριούχου αλουμινίου

Εικόνα 39 Τα ενεργειακά οφέλη ανακύκλωσης αλουμινίου

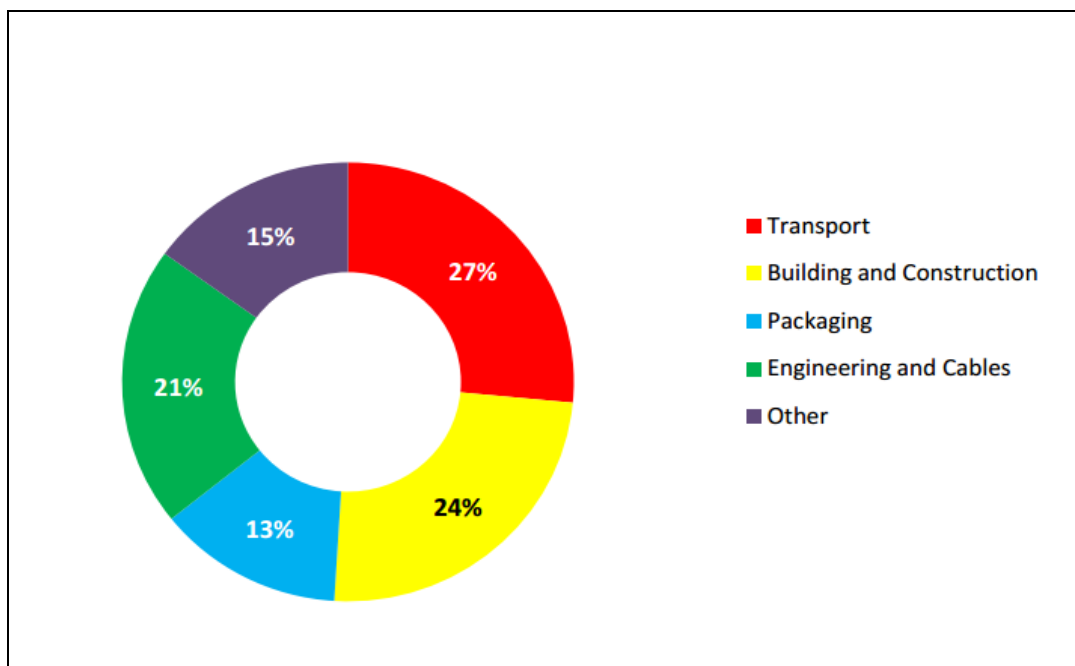
Αλλά και η παραγωγή προϊόντων από αλουμίνιο, έχει σε πολλές περιπτώσεις σημαντική οικολογική επίπτωση, όπως στην Αυτοκινητοβιομηχανία. Έτσι, για κάθε 100 κιλά που μειώνεται το βάρος ενός αυτοκινήτου μεσαίου κυβισμού λόγω χρήσης αλουμινίου αντί χάλυβα, προκύπτει μείωση εκπομπής καυσαερίων ποσότητας 2 τόνων για όλη τη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου, ενώ στον ίδιο χρόνο η αναμενόμενη οικονομία καυσίμου είναι 900 λίτρα βενζίνης (ελαφρότητα κατασκευής).

Η διάρκεια ζωής των κατασκευών από αλουμίνιο είναι σημαντικά μεγαλύτερη εκείνων από χάλυβα, για λόγους αντοχής στη διάβρωση, ενώ το κόστος συντήρησής τους είναι από ελάχιστο έως αμελητέο. Η τεχνολογία των κραμάτων σε συνδυασμό με την ευκολία υποβιβασμού του πάχους με την έλαση, δίνει νέα διάσταση σε δυνατότητα οικονομίας μετάλλου στις κατασκευές (σκληρότερα κράματα - χαμηλότερο πάχος).

6. Εφαρμογές – χρήσεις κραμάτων αλουμινίου

6.1 Εισαγωγή στις εφαρμογές κραμάτων αλουμινίου

Το αλουμίνιο και τα κράματα αλουμινίου είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιημένα μη-σιδηρούχα μέταλλα στην σύγχρονη βιομηχανία. Η παγκόσμια παραγωγή αλουμινίου είχε φτάσει το 2005 τους 31,9 εκατομμύρια τόνους ετησίως, που ξεπερνάει την ετήσια παραγωγή όλων των άλλων μετάλλων εκτός του σιδήρου, με ετήσια παραγωγή το αστρονομικό ποσό των 837,5 εκατομμυρίων τόνων. Μέχρι το 2012 είχε προβλεφθεί να φτάσει η παραγωγή αλουμινίου τους 42-45 τόνους ετησίως λόγω της αύξησης παραγωγής στην Κίνα.



Εικόνα 40 Που και πώς χρησιμοποιείται το παραγόμενο αλουμίνιο

Το αλουμίνιο, στην αρχική του μορφή και σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία, σχεδόν πάντα χρησιμοποιείται για την δημιουργία κραμάτων, το οποίο έχει ως συνέπεια την βελτίωση των μηχανικών του ιδιοτήτων, ειδικά όταν κατεργάζεται θερμικά. Για παράδειγμα, τα κοινά φύλλα αλουμινίου και τα

αλουμινένια κουτάκια αναψυκτικών είναι πάντα φτιαγμένα από κράμα με ποσότητα αλουμινίου που κυμαίνεται μεταξύ του 92-99%.

Οι βασικές προσμείξεις που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία κραμάτων είναι ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο και το πυρίτιο. Το ποσοστό τους στο τελικό κράμα εξαρτάται από την ποσότητα παραγωγής αλλά σπάνια ξεπερνάνε το 0,001-8% της σύστασης του τελικού κράματος.

6.2 Οι βασικές εφαρμογές αλουμινένιων κραμάτων

6.2.1 Περιληπτική αναφορά

Οι τομείς στους οποίους χρησιμοποιούνται τα κράματα αλουμινίου είναι απεριόριστοι, μερικές από τις βασικές εφαρμογές τους είναι οι εξής:

- 1. Μεταφορές:** Αυτοκινητοβιομηχανία, φορτηγά, βιομηχανία αεροσκαφών (σε μορφή φύλων, ράβδων και χυτού)
- 2. Αποθήκευση:** Κουτάκια αναψυκτικών, αλουμινόχαρτο, συσκευασίες ποικίλων διατομών
- 3. Δόμηση:** Παράθυρα, πόρτες ,οικιακές-ηλεκτρικές καλωδιώσεις και μονώσεις
- 4. Αντικείμενα οικιακής χρήσης**
- 5. Πυλώνες φωτισμού, κατάρτια για ιστιοφόρα πλοία**
- 6. Περιβλήματα ηλεκτρικών οικιακών και μη συσκευών:**
Τηλεοράσεις, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, ψηφιακές κάμερες
- 7. Καλώδια παροχής ρεύματος**
- 8. Παραγωγή μαγνητών**
- 9. CD, καλωδιώσεις σπιτιών (κράμα από 99,99% Al)**
- 10. Ψύχτρες υπολογιστών (για CPU)**
- 11. LED φωτισμός (κάποια εξαρτήματα είναι από αλουμίνιο)**
- 12. Μπογιές, παραγωγή καύσιμα για πυραύλους και θερμότητα**
Τοποθετούνται κράματα σε μορφή σκόνης
- 13. Παραγωγή αέριου υδρογόνου**
- 14. Συσκευασίες αποθήκευσης τροφίμων:**
Λόγω της αντίστασης τους στην διάβρωση
- 15. Αεροσκάφη:**
Μεγάλο ποσοστό του σώματος ενός αεροσκάφους φτιάχνεται από το συνδυασμό αλουμινίου και μαγνησίου
- 16. Σιδηροδρομικές ράγες**

- 17. **Μαγειρικά σκεύη:** Ταψιά, μαχαιροπήρουνα, δοχεία μαγειρικής
- 18. **Νομίσματα:** Χώρες όπως η Γαλλία, η Ιταλία, η Πολωνία και η Φινλανδία έκοβαν νομίσματα από αλουμίνιο
- 19. **Μουσικά όργανα:** Κάποια από τα εξαρτήματα για την κατασκευή μουσικών οργάνων είναι φτιαγμένα από αλουμίνιο (π.χ. ηλεκτρική κιθάρα, ντραμς)
- 20. **Εφαρμογές στην σύγχρονη ιατρική:** Αναφερόμενος στα προσθετικά μέρη του σώματος, που ίσως να χάθηκαν σε κάποιο ατύχημα και να χρειάστηκε να τοποθετηθεί τεχνητό μέρος
- 21. **Άλλες εφαρμογές**

6.2.2 Εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου στις μεταφορές

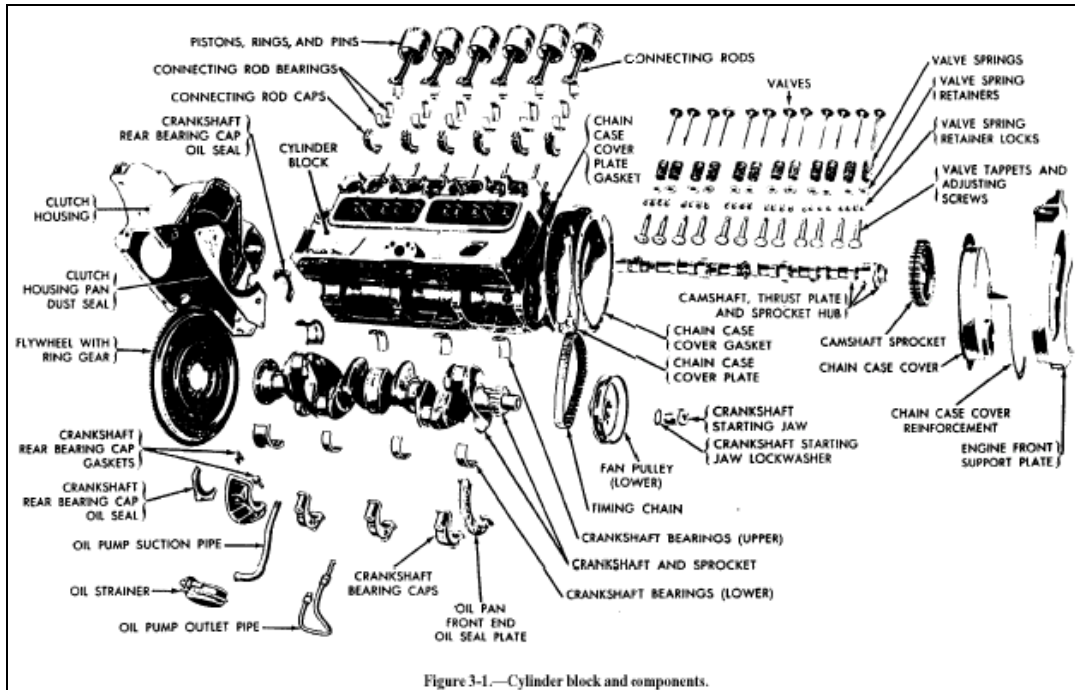
Σήμερα, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται ευρέως σε αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, τρένα, μετρό, πλοία, αεροσκάφη και τα ποδήλατα. Ο μοναδικός συνδυασμός πλεονεκτημάτων όπως η πολύ μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος, η αντοχή στη διάβρωση, η εξαιρετική δυνατότητα ανακύκλωσης, η βελτιωμένη ασφάλεια και η ευελιξία σχεδιασμού καθιστούν το αλουμίνιο ένα ιδανικό υλικό για την κατασκευή μεταφορικών μέσων λόγω της εξοικονόμησης καυσίμων που επιτυγχάνεται.



Εικόνα 41 Κομμάτια του σκελετού ενός αυτοκινήτου που παράγονται από αλουμίνιο

Η αυτοκινητοβιομηχανία χαρακτηρίζεται από μια ανοδική πορεία ως προς τις χρήσεις αλουμινίου. Ο λόγος για αυτό είναι ξεκάθαρος: το αλουμίνιο είναι ένα υλικό που ικανοποιεί τις ανάγκες των σημερινών και μελλοντικών σχεδιαστών και κατασκευαστών.

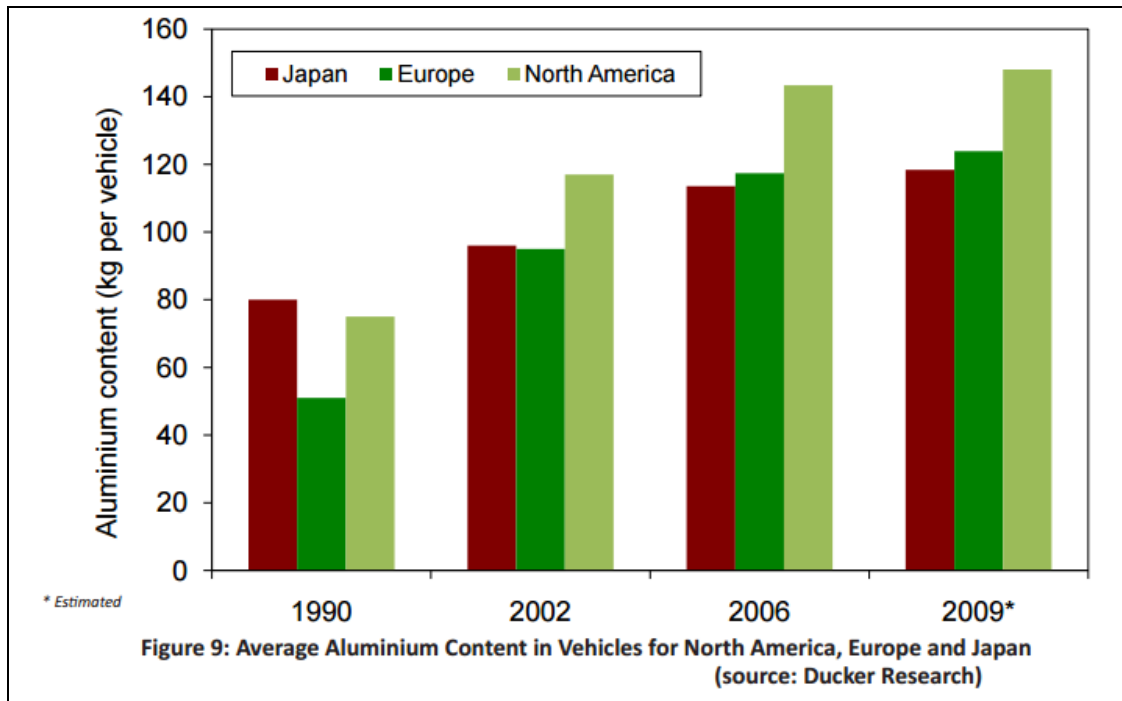
Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 42 Πολλά από τα κομμάτια ενός συμβατικού κινητήρα φτιάχνονται από αλουμίνιο

Η αυτοκινητοβιομηχανία δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στην προσεκτική επιλογή των ελαφρών υλικών και στο βέλτιστο σχεδιασμό εξαρτημάτων (Εικόνα 41-43). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειώσεις στην κατανάλωση των καυσίμων και στις εκπομπές αερίων, που έχουν γίνει υποχρεωτικές και αύξηση στην ασφάλεια των επιβατών. Αυτό σημαίνει μαζική αύξηση στην χρήση αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία. Ένα λαμπρό παράδειγμα της χρήσης του αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι το A2 της AUDI. Η AUDI χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό από χυτά, φύλλα και προφίλ αλουμινίου για την κατασκευή του A2.

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 43 Χρήση εξαρτημάτων αλουμινίου στις αυτοκινητοβιομηχανίες

Η αυτοκινητοβιομηχανία κάνει όλο και περισσότερο χρήση του αλουμινίου αντικαθιστώντας με αυτό βαριά κομμάτια του αυτοκινήτου. Ένα κιλό αλουμινίου μπορεί να αντικαταστήσει δύο κιλά συμβατικών υλικών, συμβάλλοντας στην μείωση του βάρους του οχήματος και επομένως στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του οχήματος κάθε κιλό αλουμινίου που έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του, μειώνει κατά 20 κιλά το CO₂.

Η ανάπτυξη τεχνολογιών για την παραγωγή ελαφρών εξαρτημάτων και για την συνδεσμολογία τους είναι το κλειδί για την χρήση του αλουμινίου στον κλάδο των μέσων μαζικής μεταφοράς. Στους δρόμους της Ευρώπης κυκλοφορούν πλέον λεωφορεία από αλουμίνιο (Εικόνα 44). Το μεγάλο πλεονέκτημα ενός αστικού λεωφορείου από αλουμίνιο είναι το βάρος του: είναι κατά 600 κιλά ελαφρύτερο από το παραδοσιακό λεωφορείο. Αυτή η μείωση στο βάρος επιτρέπει την μεταφορά περισσότερων επιβατών και μειώνει δραστικά τα κόστη.



Εικόνα 44 Τα νέα αστικά λεωφορεία της Scania εξ ολοκλήρου φτιαγμένα από αλουμίνιο

Η ελληνική βιομηχανία αλουμινίου είναι προμηθευτής των πλέον αναγνωρισμένων διεθνώς αυτοκινητοβιομηχανιών, ενώ στην Ελλάδα οι εφαρμογές αλουμινίου στον κλάδο είναι περιορισμένες λόγω μη ύπαρξης αντίστοιχης βιομηχανίας.

Από την άλλη μεριά, το αλουμίνιο μπορεί να είναι ένα υλικό το οποίο ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες χρησιμοποιούν πλέον αρκετά στα αυτοκίνητά τους, με τις Αμερικάνικες να κάνουν δειλά-δειλά τα πρώτα βήματα σε αυτό το θαυμαστό υλικό, αλλά η Ασιατική αυτοκινητοβιομηχανία είναι πιο διστακτική. Ο λόγος για τους Ιάπωνες και τους Κορεάτες, οι οποίοι δεν έχουν τόσο εμπιστοσύνη στο υλικό αυτό. Και ο λόγος βρίσκεται στο κόστος. Όχι μόνο σε αυτό των φύλλων αλουμινίου, σε σχέση με τον χάλυβα, αλλά και σε αυτό της παραγωγής.

Για να κατασκευάσει μια εταιρία αλουμινένια μέρη ενός αυτοκινήτου, απαιτούνται εκτεταμένες αναβαθμίσεις στα υπάρχοντα εργοστάσια, αλλαγή προμηθευτών και άλλους υλικοτεχνικούς και οικονομικούς εφιάλτες, με τους Ιάπωνες να μην θέλουν να μπλέξουν με αυτούς. Σύμφωνα με μια έκθεση του Reuters όμως, οι Ασιάτες κατασκευαστές θα αναγκαστούν να κάνουν στροφή στη χρήση του αλουμινίου μέσα στα επόμενα δύο με τρία χρόνια.

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 45 Τα υπερσύγχρονα μαγνητικά τρένα υψηλών ταχυτήτων που είναι φτιαγμένα σε πλειοψηφία από αλουμίνιο

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση του είναι αρκετά, με το μεγαλύτερο να είναι το μειωμένο βάρος, το οποίο μειώνει και τη κατανάλωση καυσίμου, αλλά όπως είναι φυσικό, υπάρχουν και μειονεκτήματα, όπως λόγω χάρη η αύξηση του κόστους επισκευής ενός αλουμινένιου αυτοκινήτου.

6.2.3. Εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου στην δόμηση

Την δεκαετία του 1950 άρχισε το αλουμίνιο να χρησιμοποιείται σαν υλικό φέροντα οργανισμού, έργων πολιτικού μηχανικού στη Ευρώπη. Η έλλειψη όμως προδιαγραφών και κανονισμών κατασκευής, ήταν ανασταλτικός παράγοντας για την ευρεία χρησιμοποίησή του. Από το τέλος της δεκαετίας του 1970 κάθε ευρωπαϊκή χώρα ξεκίνησε να συντάσσει εθνικούς κανονισμούς για τον σχεδιασμό φερουσών κατασκευών αλουμινίου. Το αλουμίνιο κατάφερε μέσα σε μικρό χρόνο ζωής, σε σχέση με άλλα υλικά, να κατακτήσει την αγορά και να χαρακτηρίζεται ως το 'υλικό των θαυμάτων' στην δόμηση. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η σημαντικότητα του υλικού γίνεται παρακάτω μία καταγραφή μερικών μόνο από τις πιο σημαντικές του ιδιότητες.



Εικόνα 46 Μοντέρνα κουφώματα αλουμινίου

Η πιο γνωστή και ευρέως διαδεδομένη χρήση του είναι η παραγωγή κουφωμάτων και πετασμάτων (Εικόνες 46-47), όπου τα χαρακτηριστικά του αλουμινίου δίνουν απεριόριστη δυνατότητα εφαρμογών, διαστάσεων και μορφολογίας. Τα στοιχεία είναι ελαφρά και δεν καταπονούν με φορτία την

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

οικοδομή, χωρίς να στερούνται αντοχής και αποκτούν άψογο φινίρισμα. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα κουφώματα αλουμινίου, σε συνδυασμό και με την χρήση κατάλληλων υαλοπινάκων έχουν μεγάλη συμβολή στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια.



Εικόνα 47 Μοντέρνα κουφώματα/πετάσματα αλουμινίου

Σημαντικός είναι και ο ρόλος του αλουμινίου στην δόμηση, δεδομένου ότι οι ιδιαίτερες δυνατότητες του το καθιστούν εναλλακτική επιλογή έναντι στον χάλυβα, δίδοντας κατασκευές ανθεκτικές στην διάβρωση από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και με χαμηλό κόστος συντήρησης. Ένα παράδειγμα δίδεται στην παρακάτω φωτογραφία όπου η γέφυρα στο κέντρο της πόλης Helmond είναι κατασκευασμένη εξ' ολοκλήρου από αλουμίνιο, με πλάτος 10 μ, δύο λωρίδες κυκλοφορίας και ποδηλατόδρομο



Εικόνα 48 Αλουμινένια γέφυρα στο Χέλμοντ της Ολλανδίας

Το αλουμίνιο είναι το υλικό που μπορεί να ανταποκριθεί σε κάθε αρχιτεκτονική ιδέα και απαίτηση από πλευράς μηχανικών αντοχών, ηχομόνωσης και θερμομόνωσης προσφέροντας λειτουργικότητα και αισθητική. Με την ανοδίωση ή την βαφή του, ικανοποιούνται οι όποιες διακοσμητικές απαιτήσεις και αυξάνεται η αντοχή του στις καιρικές συνθήκες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον είναι ένα υλικό που δεν είναι τοξικό, ανακυκλώνεται πλήρως με 95% εξοικονόμηση ενέργειας και απαιτεί το ελάχιστο κόστος συντήρησης.

Οι χρήσεις του αλουμινίου σε μια οικοδομή όπως:

- Αρχιτεκτονικά συστήματα για πόρτες και παράθυρα
- Συστήματα υαλοπετασμάτων
- Συστήματα σκίασης, ρολά και περσίδες
- Γκαραζόπορτες
- Κάγκελα
- Εξωτερικές επικαλύψεις κτιρίων
- Εξαρτήματα
- Αίθρια
- Ψευδοροφές, δάπεδα

δίνουν λύσεις τόσο σε κατασκευές μοντέρνων κτηρίων όσο και σε περιπτώσεις ανακαίνισης ή συντήρησης παλαιών κτηρίων με ιστορική και αρχιτεκτονική αξία. Θεωρείται πραγματικά πολύτιμο υλικό στην κατασκευή μοντέρνων κτιρίων, αφού δίνει λύσεις σε δύσκολα κατασκευαστικά και αισθητικά προβλήματα, αλλά και σε ανακαινίσεις ή συντηρήσεις παλαιών κτιρίων με ιστορική και αρχιτεκτονική αξία.

Συχνά, οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται από αλουμίνιο λόγω του μικρού του βάρους και του χαμηλού κόστους, παρότι δεν έχει και τόσο καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι γνώριζαν και χρησιμοποιούσαν μία κρυσταλλική ένωση του αργιλίου, τη στυπτηρία. Πολύ αργότερα, το 1854, ο Χένρυ Σεν Κλερ Ντεβίλ επινοεί την πρώτη εμπορική μέθοδο κατεργασίας αργιλίου. Αρχικά το κόστος του ήταν υψηλότερο από αυτό του χρυσού και του λευκόχρυσου!

6.2.3.1. Χαρακτηρίζεται ως φυσικός εταίρος στην οικοδόμηση

Ο κλάδος του αλουμινίου με:

- Έμφαση σε έρευνα και ανάπτυξη, καινοτομία, αυτοματισμούς και σύγχρονη τεχνολογία.
- Διεθνώς πιστοποιημένα και αναγνωρισμένα προϊόντα (π.χ. συστήματα κουφωμάτων αλουμινίου, επιφανειακή επεξεργασία με παγκόσμια σήματα ποιότητας, κλπ.).
- Συνεργασία με αρχιτεκτονικά γραφεία και τεχνικές εταιρείες για μεγάλα κατασκευαστικά έργα εντός και εκτός Ελλάδας.
- Κλαδικές πρωτοβουλίες για πιστοποίηση, ποιότητα, σήμανση CE, κλπ.

έχει καταστήσει το αλουμίνιο πρώτη προτίμηση στις επιλογές του Έλληνα καταναλωτή (75% - 80% επιλέγουν αλουμίνιο για κούφωμα) δίνοντας σύγχρονες οικιστικές λύσεις (αίθρια, υαλοπετάσματα, κλπ.).

6.2.3.2 Πλεονεκτήματα εφαρμογών αλουμινίου στην δόμηση

Η σχέση της αντοχής προς το βάρος

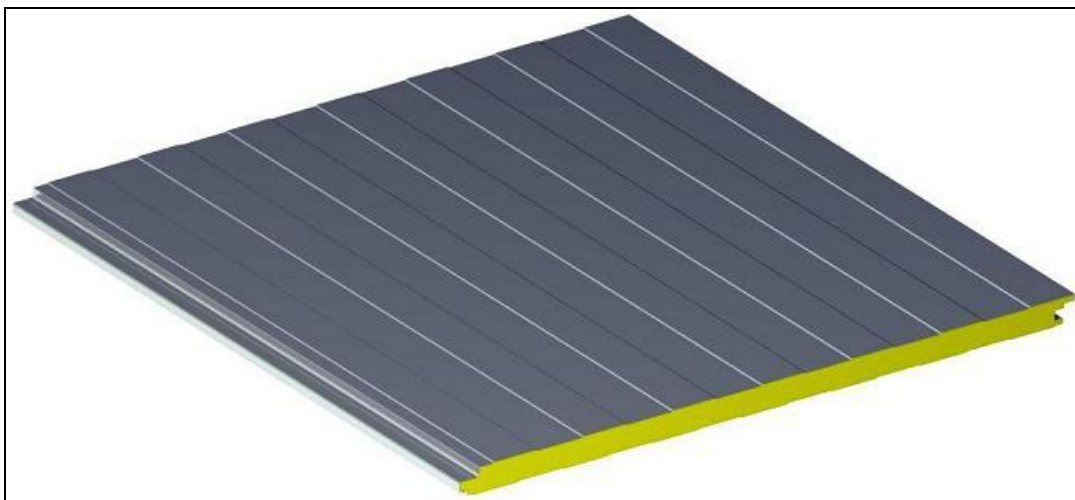
Η μεγάλη τιμή του λόγου της αντοχής του αλουμινίου ως προς το βάρος του, είναι ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης του στην βιομηχανία κατασκευών. Η πυκνότητα του αλουμινίου είναι 2,7 που σημαίνει τρεις φορές μικρότερη της πυκνότητας του χάλυβα. Με την κατάλληλη κραματοποίησή του, μπορούν να επιτευχθούν τα επιθυμητά

όρια των μηχανικών χαρακτηριστικών που απαιτεί η κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Τα στοιχεία αλουμινίου συγκριτικά, προσφέρουν μεγάλη αντοχή και ακαμψία, καθιστώντας τα ιδιαίτερα κατάλληλα για εφαρμογές, όπως πλαίσια πορτών και παραθύρων. Η ακαμψία του υλικού εξασφαλίζει ότι ενώ είναι λεπτά, τα πλαίσια του αλουμινίου παραμένουν σταθερά κάτω από κανονικές καταπονήσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στα υψηλά κτίρια, όπου απαιτείται σταθερότητα των προσόψεων, των υαλοπετασμάτων και των παραθύρων.

Οι προσόψεις αλουμινίου έχουν μια συνεχώς αυξανόμενη χρήση για την κάλυψη κτιρίων. Αυτού του είδους οι προσόψεις βελτιώνουν την εμφάνιση των κτιρίων και αυξάνουν την αντοχή τους. Η μεγάλη αντοχή του αλουμινίου σε σχέση με το βάρος του, είναι μια από τις ιδιότητες που το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές επικάλυψης. Επιπλέον, το μικρό βάρος του υλικού, επιτρέπει την εύκολη επεξεργασία του στο εργοτάξιο, μειώνοντας έτσι το κόστος μεταφοράς των τελικών προϊόντων.

Τα πάνελ που κατασκευάζονται από φύλλα αλουμινίου με ειδικό βάρος 2 ως 3 Kg/m² μπορούν να μεταφερθούν με τα χέρια (Εικόνα 49-50), αποφεύγοντας την χρήση βαριών ανυψωτικών μηχανημάτων. Τα πάνελ αλουμινίου, εκτός από το πλεονέκτημα του μικρού βάρους, προσφέρουν αντοχές ίδιες με αυτές που προσφέρουν άλλα εναλλακτικά υλικά.



Εικόνα 49 Αλουμινένια πάνελ

Η υψηλή αντοχή και το μικρό βάρος έχουν σαν αποτέλεσμα την μικρότερη καταπόνηση των σημείων στήριξης. Έτσι, οι διαστάσεις του φέροντος

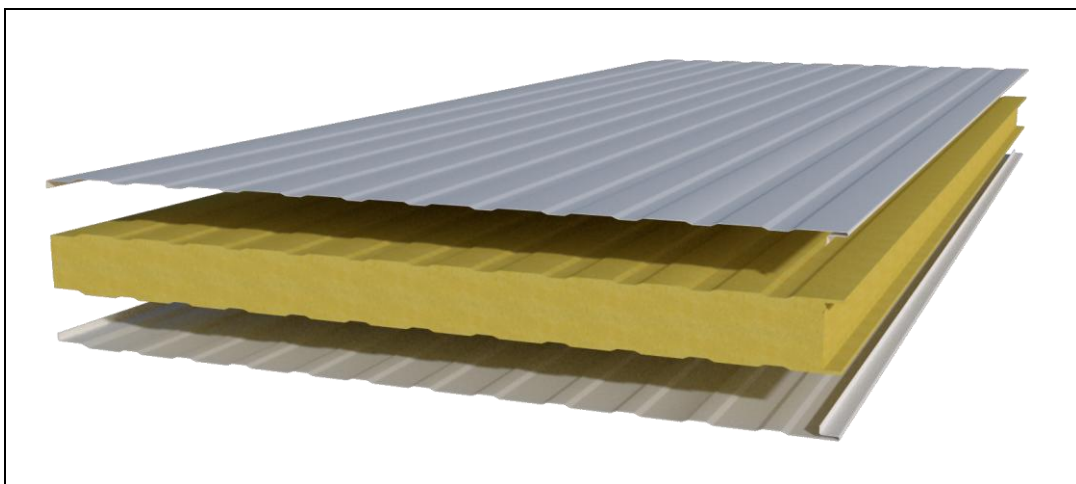
σκελετού μπορούν να μειωθούν. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις προσόψεων σε υψηλά κτίρια.

Η ασφάλεια

Το αλουμίνιο ικανοποιεί τις απαιτήσεις των αρχιτεκτόνων για ένα δυνατό και ασφαλές υλικό. Για παράδειγμα, το αλουμίνιο σαν μέταλλο, δεν καίγεται και ως εκ τούτου, στους κανονισμούς πυραντοχής, κατατάσσεται σαν άκαυστο υλικό. Τα κράματα αλουμινίου τήκονται στους 650 °C περίπου (μια θερμοκρασία που επιτυγχάνεται μετά από μεγάλη διάρκεια παραμονής σε φωτιά). Αυτή όμως η συμπεριφορά, θεωρείται από τους ειδικούς σαν πλεονέκτημα.

Οι οροφές βιομηχανικών κτιρίων και οι εξωτερικές επικαλύψεις, όλο και περισσότερο κατασκευάζονται από πάνελ λεπτών φύλλων αλουμινίου, που μπορούν να σχεδιασθούν έτσι ώστε να τήκονται κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης πυρκαγιάς.

Με τον τρόπο αυτό, ανοίγει το κτίριο επιτρέποντας την διαφυγή του καπνού και της θερμότητας, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των θερμοκρασιών στο φέροντα σκελετό, ενώ παράλληλα διευκολύνεται η κατάσβεση της πυρκαγιάς. Σαν αποτέλεσμα, ο φέρον σκελετός του κτιρίου μπορεί να σωθεί, αποφεύγοντας την ανάγκη για ανακατασκευή του κτιρίου από την αρχή ή την πλήρη κατεδάφισή του. Παράλληλα, στην πυρκαγιά, τα πάνελ αλουμινίου δεν εκπέμπουν επικίνδυνα αέρια καύσης



Εικόνα 50 Πάνελ αλουμινίου

Όταν απαιτείται μεγάλη ασφάλεια, σχεδιάζονται ειδικά πλαίσια από αλουμίνιο για παράθυρα και πόρτες που εξασφαλίζουν προστασία σε περιπτώσεις εκρήξεων, πυροβολισμών ή διαρρήξεων. Στις περιπτώσεις αυτές, ενώ το βάρος των τζαμιών είναι πολύ μεγάλο, το συνολικό βάρος της κατασκευής παραμένει σε χαμηλά επίπεδα εξ αιτίας της χρήσης πλαισίων από αλουμίνιο και έτσι διευκολύνεται η λειτουργικότητά

Η αντοχή

Τα προϊόντα αλουμινίου έχουν απεριόριστη διάρκεια ζωής. Γύρω μας συναντάμε πολλές αποδείξεις της ανθεκτικότητας του μετάλλου. Τέτοια γνωστά παραδείγματα είναι: τα φύλλα αλουμινίου που τοποθετήθηκαν πριν εκατό και πλέον χρόνια στην εκκλησία Σαν Τζιοατζίνο στη Ρώμη, τα στοιχεία αλουμινίου που τοποθετήθηκαν στο Εμπάιρ Στέιτ στην Νέα Υόρκη το 1935 (είναι το πρώτο κτίριο όπου χρησιμοποιήθηκε ανοδιωμένο αλουμίνιο), ή το άγαλμα του Έρωτα που για ένα αιώνα βρίσκεται στο μέσον της πλατείας Piccadilly Circus του Λονδίνου. Όλα τα παραπάνω παραδείγματα βρίσκονται σε θαυμάσια κατάσταση σήμερα.



Εικόνα 51 Πάνελ οροφής και ως μόνωση

Το αλουμίνιο δεν απορροφά υγρασία, δεν διογκώνεται, δεν συρρικνώνεται, δεν ρηγματώνεται, δεν υφίσταται γήρανση όπως συμβαίνει με τα οργανικά υλικά και δεν απαιτεί προστασία από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες. Επιπλέον, τα κράματα αλουμινίου (που περιέχουν μαγνήσιο, μαγγάνιο και πυρίτιο) συνδυάζουν την υψηλή μηχανική αντοχή με την αποτελεσματική αντοχή σε καιρικές ή ατμοσφαιρικές επιδράσεις, τόσο σε βιομηχανικό όσο και θαλάσσιο περιβάλλον. Σαν αποτέλεσμα, τα προϊόντα αλουμινίου στην κατασκευαστική βιομηχανία έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και δεν απαιτούν συντήρηση πέραν ενός απλού καθαρισμού για αισθητικούς κυρίως λόγους.

Κάτω υπό δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, ιδιαίτερα σε βιομηχανικές περιοχές, η αντοχή του αλουμινίου στη διάβρωση είναι μια ιδιότητα ιδιαίτερα σημαντική. Αυτή η ιδιότητα εξασφαλίζει επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής σε εφαρμογές όπου τα διάφορα στοιχεία δεν είναι εύκολο να ελεγχθούν μετά την ολοκλήρωση του κτιρίου. Η φυσική αντοχή του αλουμινίου σε διάβρωση, επιτυγχάνεται με την γρήγορη δημιουργία στην επιφάνειά του ενός μόνιμου και σταθερού στρώματος φυσικού οξειδίου του αλουμινίου, επιτυγχάνοντας την αδρανοποίηση του υλικού.

Ακόμη και αν ξυθεί, το οξύδιο ξαναδημιουργείται αμέσως. Τα λεπτά φύλλα αλουμινίου χρησιμοποιούνται επίσης για την προστασία άλλων οικοδομικών υλικών, όπως για παράδειγμα στα θερμομονωτικά πάνελ. Καθώς το αλουμίνιο δεν απορροφά υγρασία, η επικόλληση φύλων αλουμινίου στα μονωτικά υλικά τα προστατεύει από την διείσδυση της υγρασίας. Τα λεπτά σε πάχος και ελαφριά σε βάρος φύλλα αλουμινίου ή πάνελ, χρησιμοποιούνται επίσης στις στέγες και στους τοίχους βιομηχανικών κτιρίων.

Το αλουμίνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ανοδιωμένο είτε βαμμένο. Το αποτέλεσμα είναι μια ελκυστική επιφάνεια που μπορεί εύκολα να καθαρισθεί με ζεστό νερό και με ουδέτερα απορρυπαντικά.

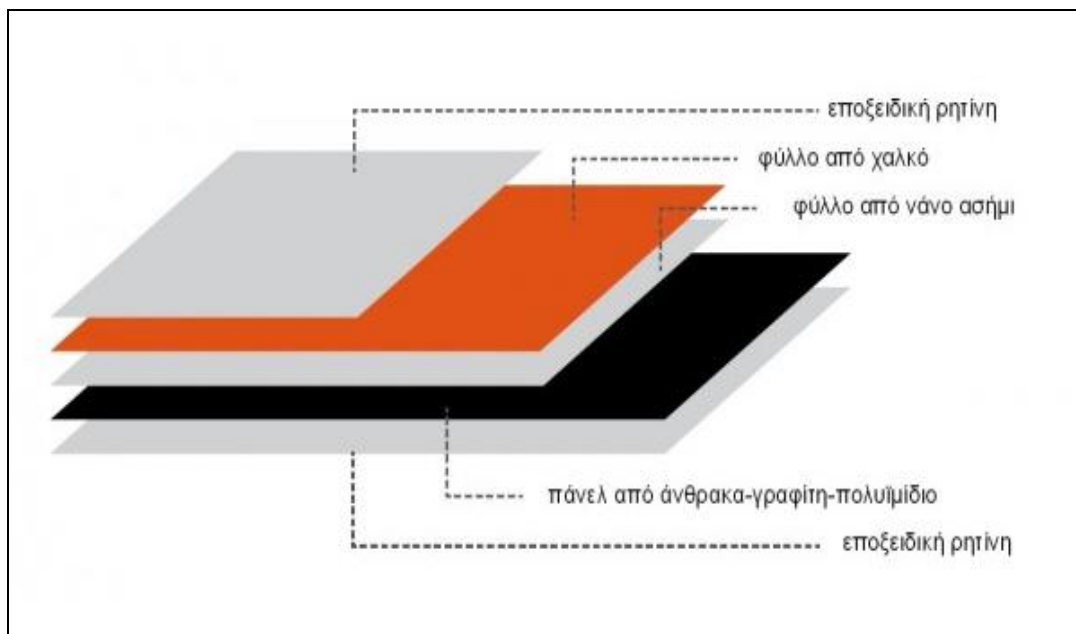
Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά

Τα προϊόντα αλουμινίου συμβάλλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας, την ποιότητα και την ασφάλεια των κτιρίων, όταν χρησιμοποιούνται υπό μορφή φύλλων πάνω σε θερμομονωτικά υλικά. Όπως όλα τα μέταλλα, το αλουμίνιο θερμαίνεται εύκολα. Παρ' όλα αυτά, σε εφαρμογές όπως τα πλαίσια παραθύρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά σχεδιασμένα προφίλ που εξασφαλίζουν υψηλή απόδοση σε θερμομόνωση.

Για παράδειγμα, τα θερμομονωτικά προφίλ των σύγχρονων παραθύρων αλουμινίου κατασκευάζονται από τρία κομμάτια: από ένα εσωτερικό και ένα εξωτερικό προφίλ αλουμινίου, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται ένα υλικό με υψηλή αντοχή, μεγάλη σταθερότητα στον χρόνο και υψηλό συντελεστή θερμομόνωσης. Αυτό το ενδιάμεσο υλικό (πολυαμίδιο) ελαχιστοποιεί την μεταφορά θερμότητας που θα συνέβαινε εξαιτίας του μεγάλου συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αλουμινίου, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες θερμότητας και την εμφάνιση συμπυκνωμάτων των υδρατμών.

Αεροστεγάνωση, υδατοστεγάνωση

Είναι πλέον πολύ μακριά η περίοδος (δεκαετία '80) που τα κουφώματα αλουμινίου ήταν "αεροκουρτίνες" παρά πόρτες ή παράθυρα. Παρ' όλα αυτά, αν εξετάσει κανείς τις κατασκευές κουφωμάτων με εκείνα τα συστήματα, σε πολλές περιπτώσεις θα διαπιστώσει ότι ενώ οι σχεδιαστές είχαν προβλέψει την προσαρμογή στεγανοποιητικών υλικών (λάστιχα, βουρτσάκια κλπ), αυτά δεν υπάρχουν. Εξ άλλου θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι σε κάθε κούφωμα αλουμινίου υπάρχουν υλικά (λάστιχα, βουρτσάκια, ράουλα) που χρειάζονται συντήρηση και από καιρό σε καιρό αντικατάσταση.



Εικόνα 52 Δομή αλουμινένιου πάνελ οροφής

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Τα σημερινά συστήματα κουφωμάτων αλουμινίου έχουν βελτιωθεί πάρα πολύ στον τομέα της αεροστεγάνωσης και υδατοστεγάνωσης. Προβλέπουν περιμετρικά λάστιχα και βουρτσάκια, συγκολλημένα στις γωνίες, προβλέπουν νεροχύτες απορροής των νερών, δίνουν τεχνικές οδηγίες και συμβουλεύουν τους κατασκευαστές για τον σωστό τρόπο συναρμολόγησης και τοποθέτησης στην οικοδομή. Η πλειοψηφία δε των κατασκευαστών έχει βελτιωθεί πάρα πολύ στον τομέα αυτόν, δίνοντας την δέουσα προσοχή και επιμέλεια, ενώ συνεχώς διοργανώνονται από διάφορους κλαδικούς φορείς ειδικά επιμορφωτικά σεμινάρια.

Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επιλογή του κατάλληλου συστήματος για κάθε άνοιγμα κουφώματος. Για παράδειγμα, ένα "ελαφρύ" σύστημα έχει μεγαλύτερους περιορισμούς ως προς το άνοιγμα που μπορεί να τοποθετηθεί από ένα "βαρύ" σύστημα.

6.2.4. Εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου στην συσκευασία και αποθήκευση

Το αλουμίνιο παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην συσκευασία, συμβάλλοντας στην ποιοτική διατήρηση των τροφίμων, μειώνοντας τον όγκο των απορριμμάτων, παρέχοντας συγχρόνως ευκολία χρήσης στον καταναλωτή. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του μετάλλου το καθιστούν ιδανικό υλικό για συσκευασία με πλήθος εφαρμογών. Το αλουμίνιο είναι αδιαπέραστο από μικροοργανισμούς και φως, διατηρώντας έτσι την φρεσκάδα των προϊόντων που συσκευάζονται, έχει μεγάλη αντοχή στην διάβρωση, ενώ για την πλειονότητα των προϊόντων που συσκευάζονται είναι χημικά ουδέτερο και δεν είναι τοξικό.



Εικόνα 53 Οι πιο οικίες μορφές αλουμινένιων συσκευασιών

Η ευκολία κατεργασίας του και η δυνατότητα του να διατίθεται σε διάφορα πάχη, επιτρέπουν την χρήση του σε πλήθος συσκευασιών. Το χαμηλό ειδικό του βάρος βοηθάει στην εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων κατά την μεταφορά. Λόγω της υψηλής θερμικής του αγωγιμότητας απαιτείται ελάχιστη ενέργεια για την ψύξη και θέρμανση των συσκευασμένων προϊόντων. Το αλουμίνιο είναι πλήρως ανακυκλώσιμο χωρίς υποβάθμιση των ιδιοτήτων του και με την ανακύκλωση του εξοικονομείται το 95% της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή πρωτόχυτου μετάλλου.

Το αλουμίνιο που χρησιμοποιείται στην συσκευασία προέρχεται από την βιομηχανία της έλασης που παράγει πλατέα προϊόντα σε διάφορα πάχη για διάφορες χρήσεις. Οι παρακάτω τομείς χρησιμοποιούν αλουμίνιο για συσκευασία των προϊόντων τους:

1. **Τρόφιμα** : προϊόντα γάλακτος, γλυκά, καφές, τσάι, παιδικές τροφές κ.α.
2. **Ποτά** : μπύρα, αναψυκτικά, χυμοί, γάλατα κ.α.
3. **Είδη καπνού**: τσιγάρα, πούρα αλλά και τα υλικά από τα οποία φτιάχνονται (Φύλα, καπνός κ.α.)
4. **Ζωοτροφές**: για οικιακά και μη ζώα
5. **Φαρμακευτικά προϊόντα**: αλοιφές, ταμπλέτες, ιατρικά είδη κ.α.
6. **Καλλυντικά**: Γενικής χρήσης όπως οδοντόπαστες, υγρά σαπούνια, είδη σωματική υγιεινής
7. **Βιομηχανικά αγαθά**: κόλλες, μελάνια, χημικά καθαριστικά κ.α.

6.2.5 Εφαρμογές κραμάτων αλουμινίου σε άλλους σημαντικούς τομείς

6.2.5.1 Εφαρμογές στην μαγειρική

Το αλουμινόχαρτο και τα σκεύη μιας χρήσεως είναι ιδανική λύση για το ζέσταμα ή και το ελαφρύ μαγείρεμα. Ακόμη μπορούμε να διατηρήσουμε το φαγητό ζεστό σε θερμοθάλαμο, κρύο στο ψυγείο, να συσκευάσουμε το φαγητό για μεταφορά χωρίς να κινδυνέψει να μολυνθεί ή να αλλοιωθεί.



Εικόνα 54 Αλουμινένια ταψιά

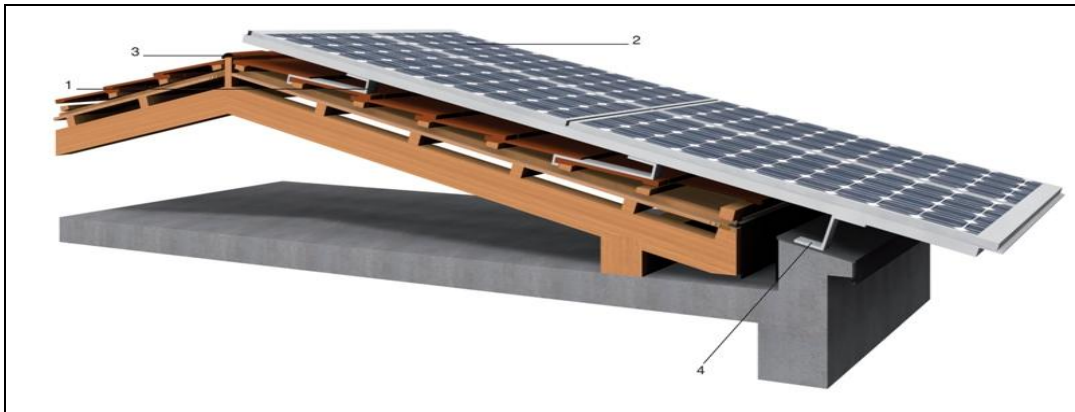
Η πρόσφατη μελέτη που εκπονήθηκε στη Γερμανία για την ασφάλεια που παρέχει το αλουμινόχαρτο σε σχέση με την υγιεινή των τροφίμων και τις εφαρμογές τόσο σε συμβατικό όσο και σε φούρνο μικροκυμάτων είναι αποκαλυπτική. Ανάμεσα στις 200 μερίδες που ζεστάθηκαν σε φούρνο μικροκυμάτων δεν παρατηρήθηκε καμία αλλοίωση. Σε σύγκριση μάλιστα με τα πλαστικά ταψάκια που δοκιμάστηκαν στους ίδιους φούρνους διαπιστώθηκε ότι το περιεχόμενο στα αλουμινένια σκεύη ζεστάθηκε πιο αργά αλλά περισσότερο ομοιόμορφα.



Εικόνα 55 Εργαλεία μαγειρικής από αλουμίνιο που τα βρίσκει ο καθένας στην κουζίνα του

6.2.5.2 Εναλλακτικές πηγές ενέργειας – Φωτοβολταικά

Τα τελευταία χρόνια με την έξαρση της χρήσης φωτοβολταϊκών πλαισίων για παραγωγή και κατανάλωση καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας το αλουμίνιο άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως ως βάση στήριξης. Το αλουμίνιο με τις μοναδικές του ιδιότητες επιτρέπει τον σχεδιασμό αξιόπιστων λύσεων για την στήριξη φωτοβολταϊκών σε κατοικίες, βιομηχανικά κτίρια και την ύπαιθρο.



Εικόνα 56 Φωτοβολταικά πάνελ αλουμινίου

6.2.5.3 Μεταφορά θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας

Η χρήση του αλουμινίου σε ηλεκτρικές και θερμικές εφαρμογές οφείλεται στις καλές ηλεκτρικές και θερμικές αγωγιμότητες των κραμάτων κυρίως 1xxx (για ηλεκτρική) και 3xxx, 5xxx και 6xxx σειρά (για θερμική), αλλά και πάλι το μικρό του βάρος, την αναλογία αντοχή προς βάρος που έχει αλλά και το ότι είναι ανθεκτικό στη διάβρωση. Οι περισσότερες εναέριες ηλεκτρικές γραμμές υψηλής τάσης και πολλές υπόγειες γραμμές είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο και σήμερα είναι ο πιο οικονομικός τρόπος για τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας.

Εφαρμογές: εναέρια καλώδια και εξαρτήματα, περιελίξεις, πτερύγια ψύξης, εναλλάκτες θερμότητας, κεραίες, συμπυκνωτές.

6.2.5.4 Μηχανολογία και συσκευές ακριβείας

Η ευκολία στην μορφοποίηση και η χαμηλή πυκνότητα του, προσφέρουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα με την χρήση του αλουμινίου στις μηχανολογικές εφαρμογές όπως, μπλοκ κυλίνδρων και κεφαλών, έμβολα, τροχαλίες, τροχούς, οπτικός εξοπλισμός, κυλίνδρους πεπιεσμένου αέρα, εργαλεία μέτρησης.

6.2.5.5 Εξοπλισμός για σπίτια, γραφεία, διασκέδαση

Η μοντέρνα εμφάνιση του σχεδιασμού του αλουμινίου, οι μηχανικές ιδιότητες, η υψηλή θερμική αγωγιμότητα, η υψηλή ανακλαστικότητα είναι κάποιες από τις ιδιότητες του μετάλλου που η κάθε μια ξεχωριστά αλλά και όλες μαζί καθιστούν το αλουμίνιο ένα χρηστικό υλικό για καθημερινή χρήση.

Εφαρμογές: Έπιπλα, σκεύη και διακοσμητικά, εξοπλισμός κάμπινγκ, άγκιστρα αναρρίχησης, κατσαρόλες, τηγάνια, μαχαιροπήρουνα, φωτιστικά, κορνίζες ή λαβές για ντουλάπια, κοσμήματα κ.α..

6.2.5.6. Καλλυντικά

Το υλικό χρησιμοποιείται για πούδρες βαφής και ως χρωστική για διαφορετικά χρώματα και πλαστικά, ενώ επίσης οι κόκκοι του αλουμινίου χρησιμοποιούνται για αποξείδωση του χάλυβα, ως καταλύτης για την χημική βιομηχανία και σε άλλα ειδικά προϊόντα .

7. Πειραματικό μέρος εργασίας

7.1 Εισαγωγή, λίγα λόγια γύρω από το πείραμα

Όπως προαναφέρθηκε, το θέμα αυτής της πτυχιακής εργασίας προέρχεται από το θέμα της πρακτικής μου άσκησης. Το σχέδιο στο οποίο συμμετείχαμε σαν ομάδα έρευνας του Πολυτεχνείου του Λότζ της Πολωνίας ήταν μονάχα ένα μικρό κομμάτι ενός πολύ μεγαλύτερου σχεδίου.

Αυτό, λοιπόν, το σχέδιο χρηματοδοτείται από την κυβέρνηση της Πολωνίας, της Αυστρίας και της Τσεχίας και με την συνεργασία πολλών πανεπιστημίων των χωρών αυτών, ανάμεσά τους το Πολυτεχνείο του Λότζ, το Πολυτεχνείο του Βρότσλαβ και της Βαρσοβίας, έχουν ως σκοπό την δημιουργία ενός πρωτοποριακού ελαφρού οχήματος για να σταλεί εκτός της τροχιάς της γης. Το κομμάτι που ανατέθηκε στο Πολυτεχνείο του Λότζ και στην ερευνητική μας ομάδα ήταν να εφεύρουν ένα κράμα αλουμινίου το οποίο να συνδυάζει το μικρό βάρος του αλουμινίου με την σκληρότητα και την ανθεκτικότητα του σιδήρου.

7.1.1 Θέμα και στόχοι

Το θέμα, λοιπόν, της πρακτικής μου άσκησης ήταν η έρευνα και η μελέτη του κράματος αλουμινίου 2024 και των μεθόδων ενίσχυσης των μηχανικών του ιδιοτήτων. Πιο αναλυτικά, σαν ερευνητική ομάδα θέλαμε να δούμε αν μπορούσαμε, μέσω πειραματισμού με διάφορες θερμικές κατεργασίες, να πετύχουμε αύξηση της επιμήκυνσης και του ορίου διαρροής του κράματος επηρεάζοντας την δομή και την αναλογία μεταξύ πυρήνα-κέλυφους των μορίων.

Οι μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου έχουν την δυνατότητα για περαιτέρω βελτίωση, μέσω πειραματισμού με διάφορες θερμικές κατεργασίες. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί η διασπορά των φάσεων ενδυνάμωσης/σκληρότητας σε συνεχή μέσο α. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ορίου διαρροής και της σκληρότητας των εξεταζόμενων κραμάτων. Παρόλα αυτά, δίνεται όλο και περισσότερη προσοχή και έμφαση σε διάφορα άρθρα στις θερμικές κατεργασίες οι οποίες περιλαμβάνουν 2 αλλά και ως 3 στάδια γήρανσης με ποικίλες θερμοκρασίες και χρονικά διαστήματα.

Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν για την παραγωγή φάσεων ενδυνάμωσης/σκλήρυνσης με μια πολύπλοκη μορφολογικά δομή πυρήνα-κελύφους των μορίων. Μια παλαιότερη έρευνα πάνω στο όριο διαρροής έχει δείξει πως η παρουσία των μορίων της μορφής πυρήνα-κελύφους στα κράματα αλουμινίου, ως συνεχές μέσο α, είναι η αιτία της ταυτόχρονης αύξησης της επιμήκυνσης και της τάσης στο σπάσιμο. Καθώς το πώς δημιουργούνται τα μόρια τέτοιου τύπου (πυρήνα-κελύφους) έχει συζητηθεί σε παλαιότερα άρθρα, το πώς επιτυγχάνεται η ενδυνάμωση των κραμάτων αλουμινίου ταυτόχρονα με την αύξηση της επιμήκυνσης στο σπάσιμο δεν έχει συζητηθεί αρκετά.

Για αυτό, το παρόν πλάνο του σχεδίου έχει ως βασικό στόχο την έρευνα των θεωρητικών θεμελίων της ενδυνάμωσης του κράματος αλουμινίου 2024 λαμβάνοντας υπ' όψιν την αυξημένη επιμήκυνση στο σημείο σπασίματος ως αποτέλεσμα μετατοπίσεων που αλληλεπιδρούν με τον διασκορπισμό των μορίων αυτών σε ένα συνεχές μέσο α. Το προβλεπόμενο τελικό αποτέλεσμα του σχεδίου θα είναι η δημιουργία μίας φόρμουλας η οποία θα συντάσσεται από ένα θεωρητικό πλαίσιο λαμβάνοντας υπ' όψιν την επιρροή του κρυσταλλογραφικού πλέγματος στο εσωτερικό του μορίου που εμποδίζει τις μετατοπίσεις.

7.1.2 Οι εγκαταστάσεις και τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν

Το βασικό και κύριο σκέλος του πειράματος πήρε μέρος στις εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου του Λότζ, στο τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης του τμήματος Μηχανολογίας του ιδρύματος. Όντας νεόδητο, το τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης του τμήματος αυτού και δίνοντας μεγάλη προσοχή και χρηματοδότηση στον τομέα έρευνας στα πλαίσια της Τεχνολογίας Υλικών, είναι εξοπλισμένο με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας, όσον αφορά εργαστηριακό εξοπλισμό όπως μικροσκοπία, μεγάλη γκάμα βαθμίδων μεγέθυνσης, όπως την εγκατάσταση ενός μικροσκοπίου SEM (Scanning Electron Microscope) (Εικόνα 57), εργαστήρια ανάλυσης και επεξεργασίας μεταλλικών επιφανειών όπως και πολλά άλλα.



Εικόνα 57 Scanning Electron Microscope (SEM)

Η ομάδα μας, όμως, χρησιμοποιούσε ένα βασικό εργαστήριο για τις θερμικές κατεργασίες και για επιφανειακές κατεργασίες των δειγμάτων που θα εξετάζαμε από διάφορους προμηθευτές. Επίσης, κάναμε μεγάλη και συχνή χρήση του SEM μικροσκοπίου για ανάλυση (όπως EBSD) των κραμάτων που δημιουργούσαμε μέσω των θερμικών κατεργασιών. Για να εξετάσουμε όμως τις αντοχές των δειγμάτων μας σε διαφορετικά στάδια κατεργασίας (πριν, κατά την διάρκεια αλλά και μετά από τεχνική γήρανση) χρησιμοποιούσαμε το μηχανουργικό εργαστήριο για πειράματα εφελκυσμού και στρέψης. Χρησιμοποιούσαμε επίσης και τις αίθουσες συνεδριάσεων για τις διάφορες συναντήσεις για να εξετάσουμε την πορεία του πειράματος.

7.2 Λεπτομερής πειραματική διαδικασία

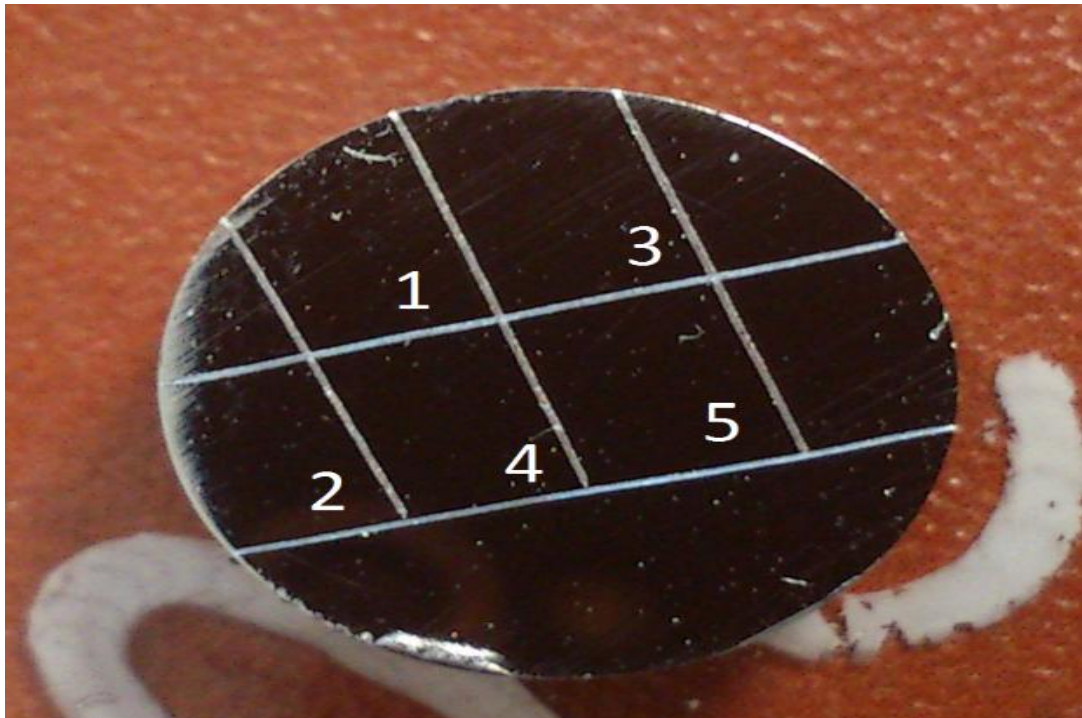
Για την επίτευξη του στόχου που μας είχε ανατεθεί και για να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα έγιναν πολλές αλλαγές κατά την διεκπεραίωση της πειραματικής φάσης. Το αρχικό μας σχέδιο ήταν το εξής.

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Το πρώτο βήμα ήταν να βρούμε δείγματα κραμάτων αλουμινίου 2024 για να προχωρήσουμε στις θερμικές κατεργασίες, ως πρώτο προμηθευτή δειγμάτων είχαμε την εταιρία Avanti, η οποία μας προμήθευσε με ένα κράμα αλουμινίου 2024 χαμηλής ποιότητας, πράγμα που σε τέτοιο στάδιο δεν μας ενδιέφερε ακόμα.

Έχοντας λοιπόν δείγματα, ξεκινήσαμε να σχεδιάζουμε την πειραματική διαδικασία. Σε πρώτη φάση, κόψαμε τα δείγματα σε ιδανική διατομή για την εύκολη χρήση τους και χωρίς να τα κατεργαστούμε θερμικώς τα τοποθετήσαμε κάτω από το μικροσκόπιο για να εξετάσουμε επιφανειακώς. Αυτό θα γινόταν στην συνέχεια για κάθε κομμάτι κατά την διάρκεια και μετά από τις θερμικές κατεργασίες, οπότε εφόσον θέλαμε να παρατηρήσουμε τις τυχόν αλλαγές στην συμπεριφορά της δομής των μορίων, η μεγέθυνση που θα χρησιμοποιούσαμε θα ήταν πολύ μεγάλη.

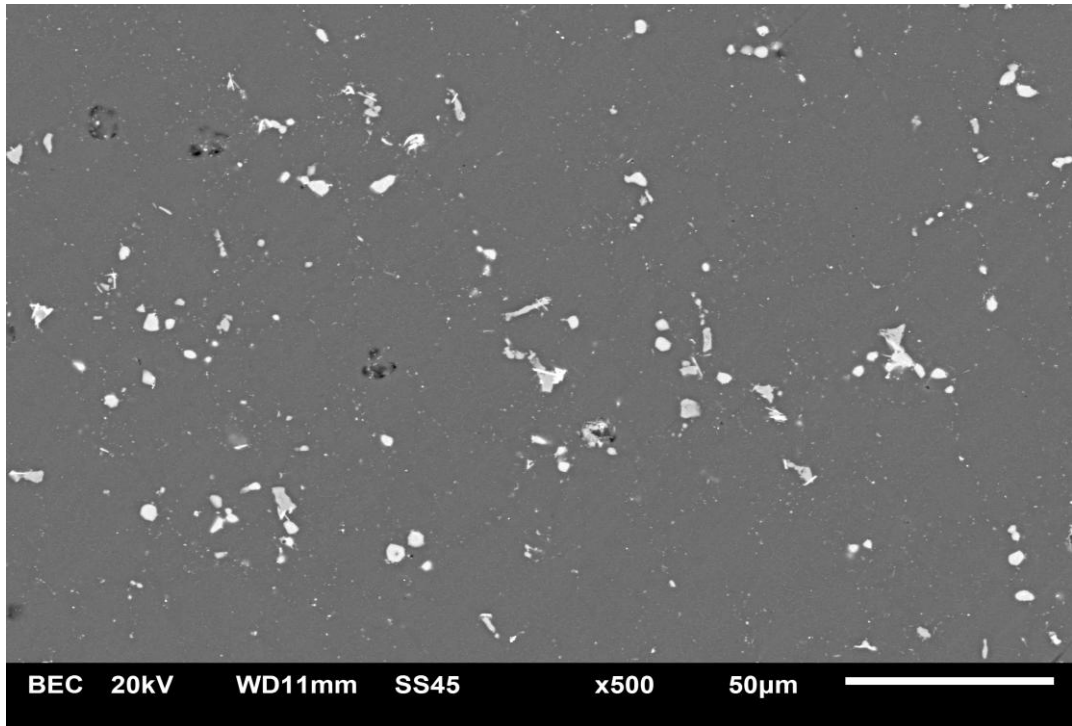
Για να μπορούμε λοιπόν να συγκρίνουμε κατά προσέγγιση τις ίδιες περιοχές στην επιφάνεια των δειγμάτων κάθε φορά, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 58) χαραζαμε τα δείγματα και εξετάζαμε συγκεκριμένες περιοχές.



Εικόνα 58 Δείγμα χαραγμένο και έτοιμο για εξέταση κάτω από το μικροσκόπιο

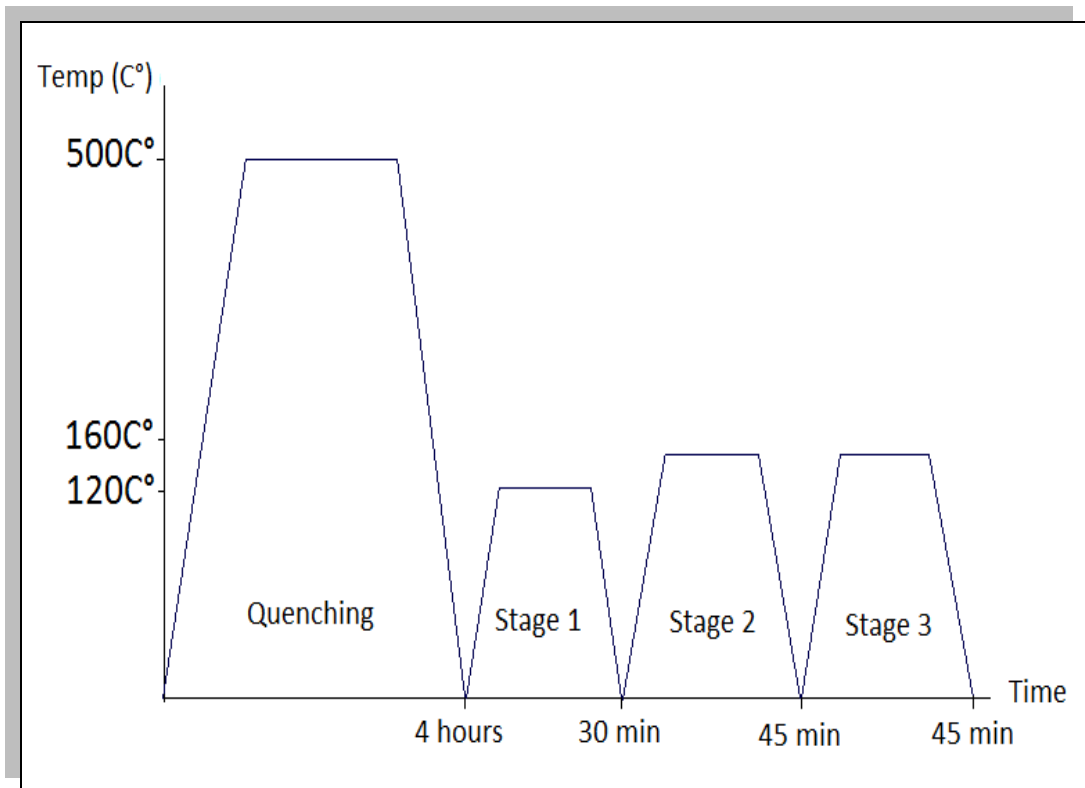
Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Σε κάθε πειραματική διαδικασία χρησιμοποιούσαμε 3 δείγματα και για κάθε δείγμα, για να έχουμε μεγαλύτερη αξιοπιστία οι μετρήσεις μας, εξετάζαμε πέντε συγκεκριμένες περιοχές, αρχικά σε μεγέθυνση 500 φορές του πραγματικού (Εικόνα 59).



Εικόνα 59 Εικόνα από SEM σε x500 μεγέθυνση (Avanti Metals)

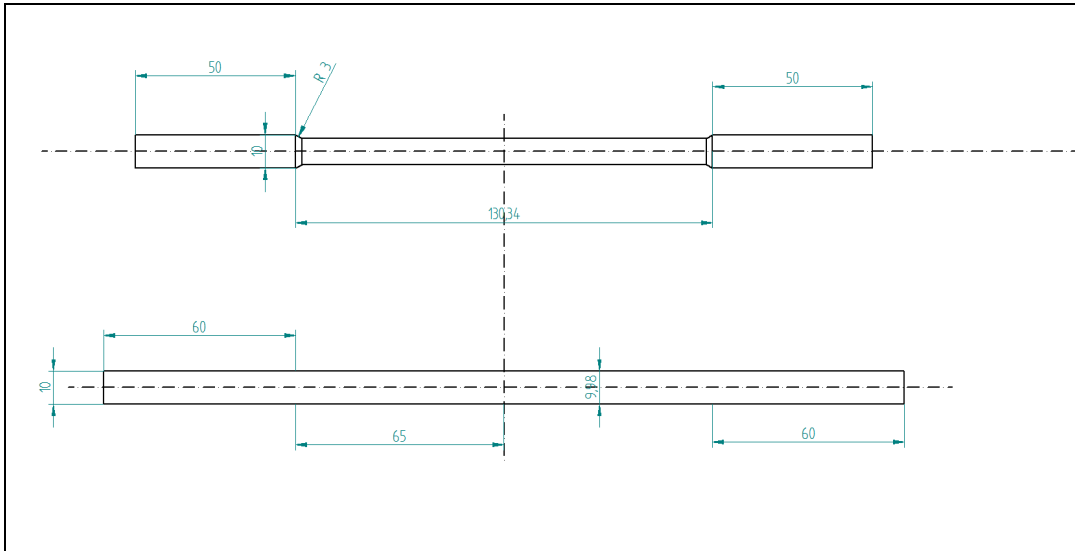
Στην συνέχεια, εφόσον είχαμε τις πρώτες εικόνες και μια ιδέα για το πώς είναι η δομή του κράματος, προχωρήσαμε στην φάση της θερμικής κατεργασίας. Σε γενικές γραμμές και βασίζοντας σε παλαιότερες έρευνες, θέλαμε να πειραματιστούμε με θερμικές κατεργασίες τριών σταδίων όπως φαίνεται στην παρακάτω αναπαράσταση (Εικόνα 60)



Εικόνα 60 Αναλυτικά τα στάδια της θερμικής κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκε εξ αρχής.

Εξ αρχής, η όλη πειραματική διαδικασία διαρκούσε 6 ώρες, 4 ώρες για το αρχικό στάδιο της τεχνητής γήρανσης, όπου τα δείγματα βρισκόντουσαν μέσα σε φούρνο σε θερμοκρασία 500C°. Στην συνέχεια, υφίστανται απότομη ψύξη σε νερό με πάγο για να πέσουν σε θερμοκρασία δωματίου, έπειτα περνούσαν στο πρώτο στάδιο γήρανσης. Τα επόμενα τρία στάδια γινόντουσαν σε μια γυάλα με θερμανσμένο λάδι σιλικόνης, που ανάλογα το στάδιο βρισκόταν σε 120C° (πρώτο στάδιο) και 160C° (δεύτερο και τρίτο στάδιο) για χρονικά διαστήματα μισής ώρας και 45 λεπτών αντίστοιχα.

Να σημειωθεί πώς και για τα πειράματα που είχαν να κάνουν με εφελκυσμό και στρέψη, η ίδια διαδικασία θερμικής κατεργασίας ακολουθήθηκε αλλά για μεγαλύτερα δείγματα σε σχήμα ράβδων (Εικόνα 61).

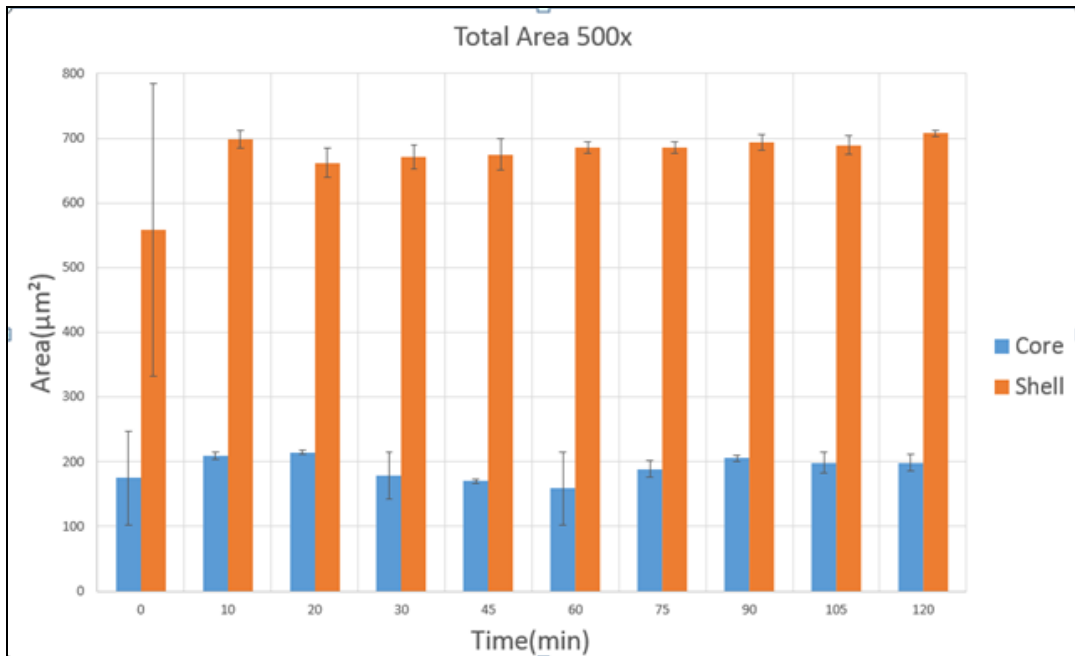


Εικόνα 61 Μηχανολογικό σχέδιο ράβδων για πειράματα εφελκυσμού και στρέψης

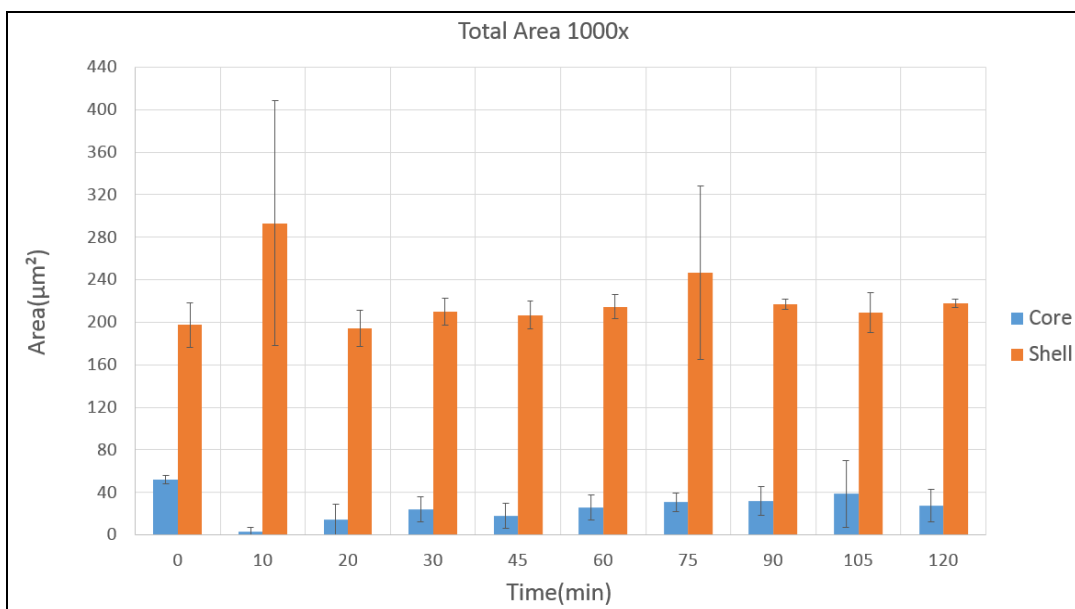
7.3 Συμπεράσματα και αλλαγές βάση των πρώτων αποτελεσμάτων

Ύστερα από πολλούς πλήρη κύκλους πειραμάτων συμπεριλαμβανοντας όλα τα βήματα της τεχνητής γήρανσης και αναλύοντας τις εικόνες και τα νούμερα των μετρήσεων από τα πειράματα εφελκυσμού καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα. Έχοντας τις μετρήσεις για το πώς είναι η δομή πυρήνα-κελύφους των μορίων στις συγκεκριμένες περιοχές που εξετάζουμε, πριν την τεχνητή γήρανση, σε όλα τα στάδια κατά την διάρκεια και ύστερα από το πέρας της δώρης διαδικασίας, βλέπουμε στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 62-63) ότι παρόλο που στα πρώτα χρονικά διαστήματα εμφανίζεται μια αλλαγή στην δομή τους, στην συνέχεια δεν παρατηρείτε να γίνεται κάτι αξιοσημείωτο.

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

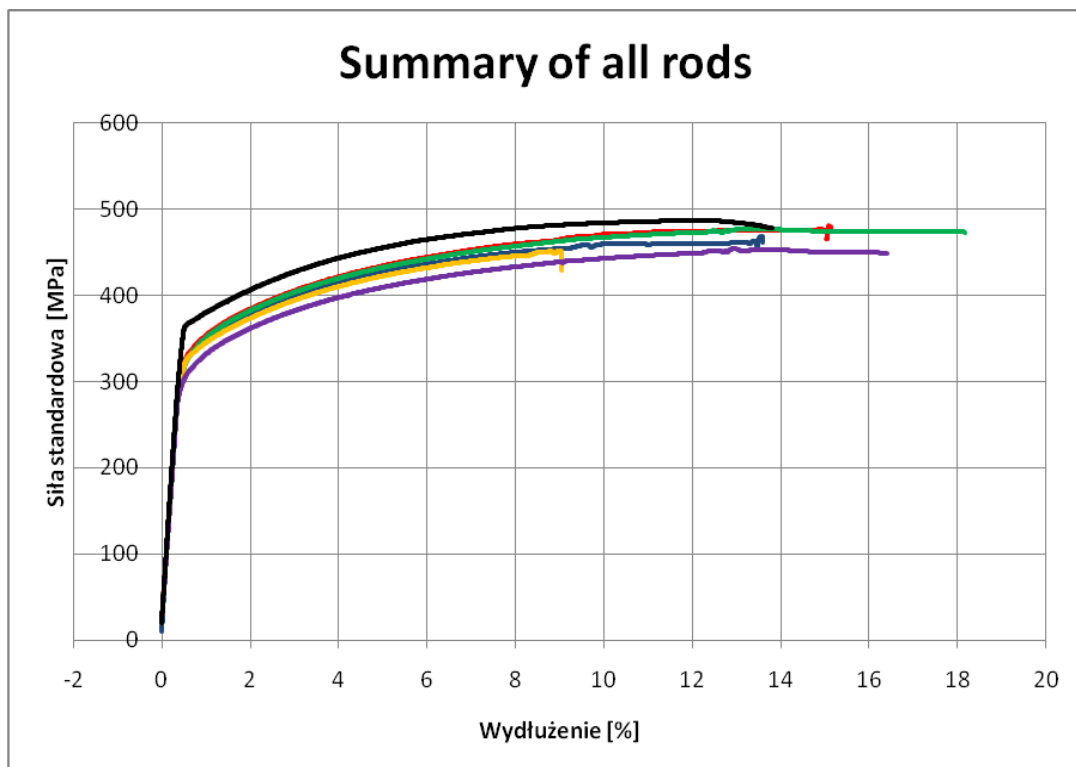


Εικόνα 62 Η αλλαγή που παρουσιάστηκε κατά μέσο όρο στα εμβαδό πυρήνα-κελύφους των μορίων από 0 λεπτά ως και το τέλος του κύκλου



Εικόνα 63 Οι ίδιες μετρήσεις σε μεγαλύτερη μεγέθυνση x1000Οι ίδιες μετρήσεις σε μεγαλύτερη μεγέθυνση x1000

Επίσης τα πειράματα εφελκυσμού μας έδειξαν πως, σε εκείνο το χρονικό διάστημα θα έπρεπε να λάβουμε υπ' όψιν την χαμηλή ποιότητα του δείγματος. Διότι με τις μετρήσεις που δίνονται παρακάτω (Εικόνα 64) (από τα πειράματα εφελκυσμού) που δείχνουν αστοχίες του υλικού και ενώ χρησιμοποιούσαμε πολλές ράβδους για να έχουμε αξιόπιστα αποτελεσματα, τα όρια διαρροής και τα χρονικά σημεία που σπάγανε ποικίλαν, σε περιπτώσεις είχαν έως και 50% διαφορά μεταξύ τους. Αυτό, σε συνδιασμό με τις εικόνες πήραμε στο μικροσκόπιο και τα νούμερα που μας δώσανε, φαίνεται πως θα ήταν καλύτερο να αναζητήσουμε πιο καλό προμηθευτή δειγμάτων.



Εικόνα 64 Φαίνεται στο γράφημα ότι παρόλο που είναι κράματα από τον ίδιο προμηθευτή και έχουν υποστεί την ίδια θερμική κατεργασία δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τις μηχανικές τους ιδιότητες.

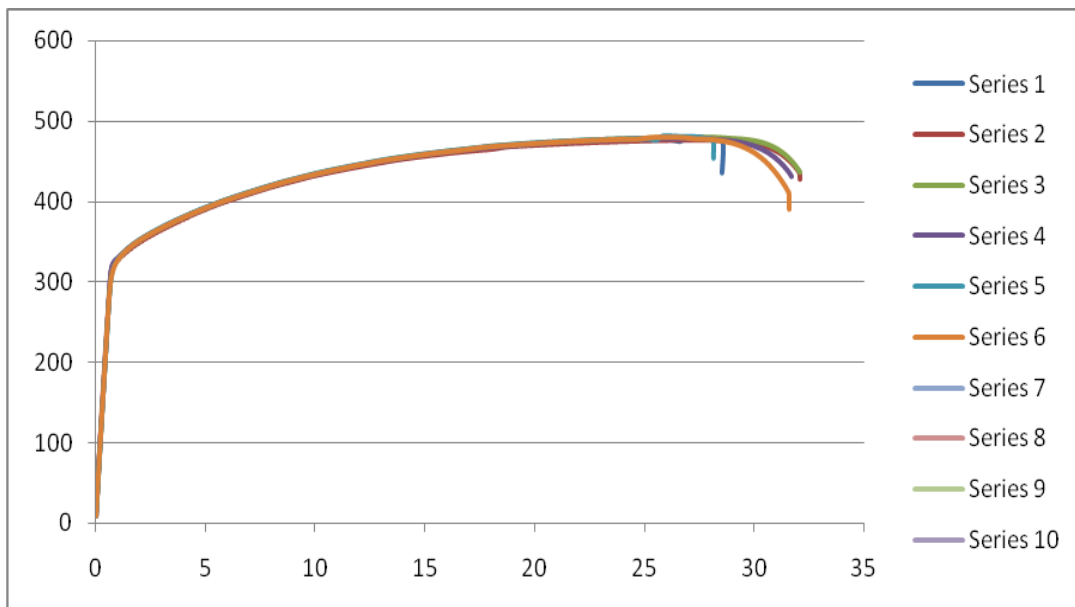


Εικόνα 65 Στην επιφάνεια των ίδιων δειγμάτων ύστερα από τα πειράματα εφελκυσμού παρουσιάστηκε το λεγόμενο φαινόμενο <<Κροκοδείλου>> όπου φαίνεται ξεκάθαρα ότι έχει παρουσιαστεί αστοχία του υλικού που επίσης προτρέπει στο ότι η χρήση υψηλότερης ποιότητας δειγμάτων

7.4 Νέος προμηθευτής, νέα αποτελέσματα

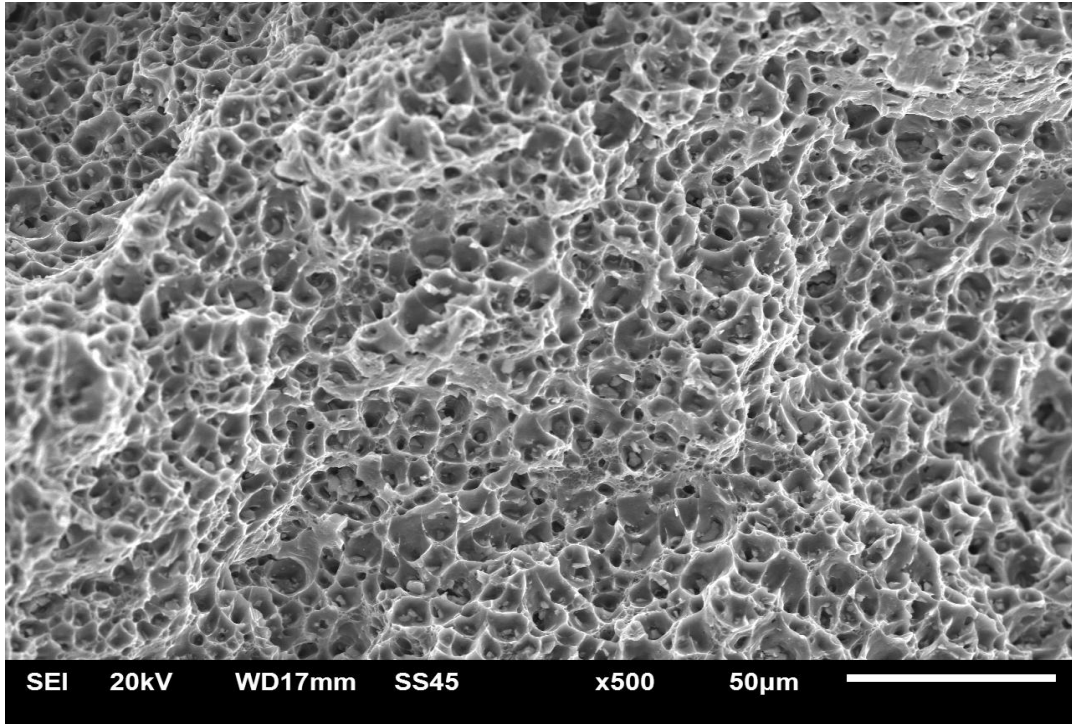
Στην συνέχεια της πορείας του πειράματος, όλα τα βήματα έγιναν με κράματα αλουμινίου 2024 πολύ υψηλής ποιότητας από την μια Αμερικάνικη εταιρία που λέγεται TW Metals. Πριν πάρουμε μεγάλη ποσότητα δειγμάτων, η εταιρία μας έδινε την δυνατότητα να δοκιμάσουμε το προϊόν τους για να ελέγξουμε την αξιοπιστία και την φερεγγυότητα τους, σημάδι πολύ καλό.

Έχοντας αυτή την ευκολία, μόνο και μόνο για να δούμε αν τα νούμερα του κατασκευαστή ήταν σωστά και για να μην γίνει κάτι παρόμοιο με την περίπτωση του προηγούμενου κράματος χαμηλής ποιότητας, το χρησιμοποιήσαμε για πειράματα εφελκυσμού, να ελέγξουμε τις μηχανικές του ιδιότητες προτού το κατεργαστούμε θερμικώς. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα αποτελέσματα (Εικόνα 66) αυτών και φαίνεται ξεκάθαρα κάτι που δεν φαινόταν την προηγούμενη φορά, μια ομοιομορφία.

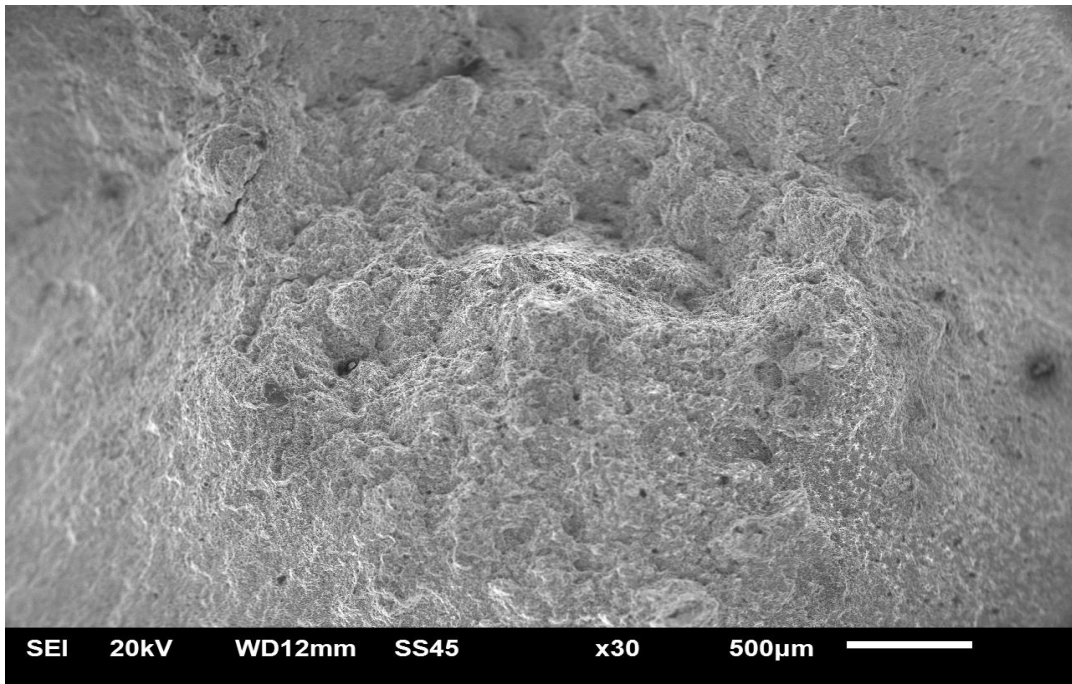


Εικόνα 66 Γράφημα πειράματος εφελκυσμού πριν από θερμικές κατεργασίες (TW Metals)

Και στην συνέχεια αφού είχαμε τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για πειράματα εφελκυσμού κάναμε μια απαραίτητη ανάλυση των σπασμένων επιφανειών και των ρωγμών που δημιουργήθηκαν, στις ράβδους που εξετάστηκαν, στο SEM μικροσκόπιο (Εικόνες 67-68).



Εικόνα 67 Σε μεγέθυνση x500 φαίνεται η πολύ ομοιόμορφη επιφάνεια στο κρατήρα της ράβδου, χωρίς σημάδια πλαστικής παραμόρφωσης.



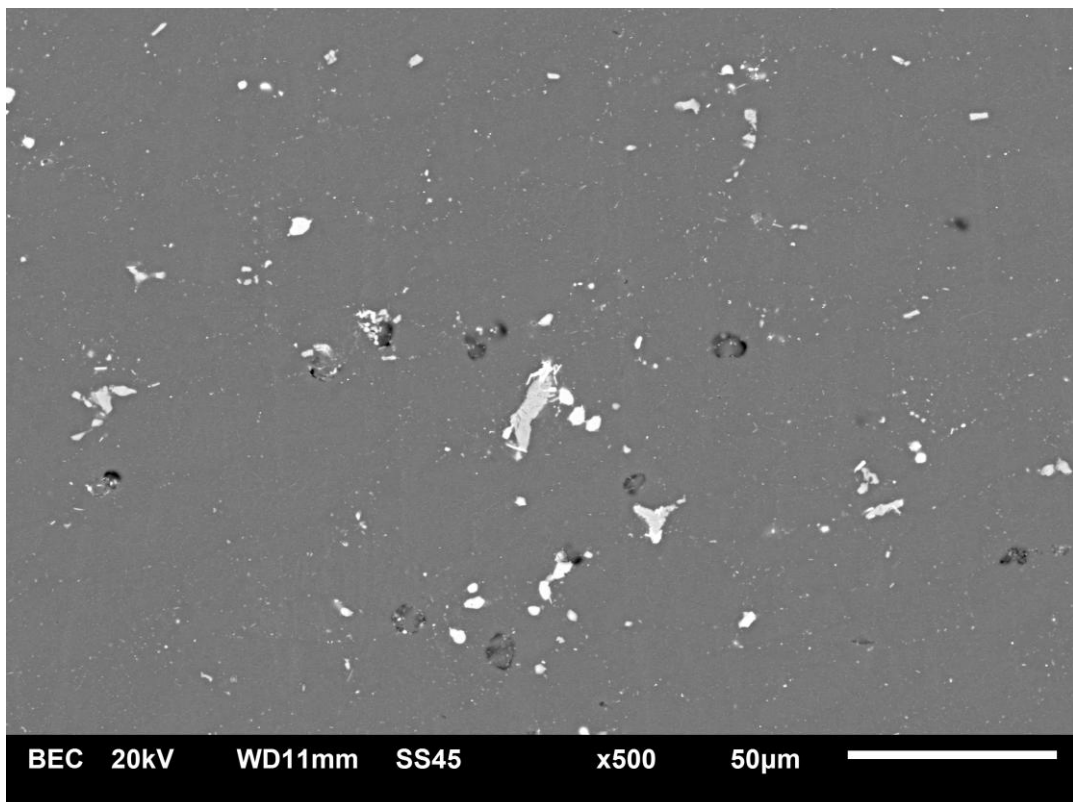
Εικόνα 68 Η ίδια επιφάνεια σε μικρότερη μεγέθυνση

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

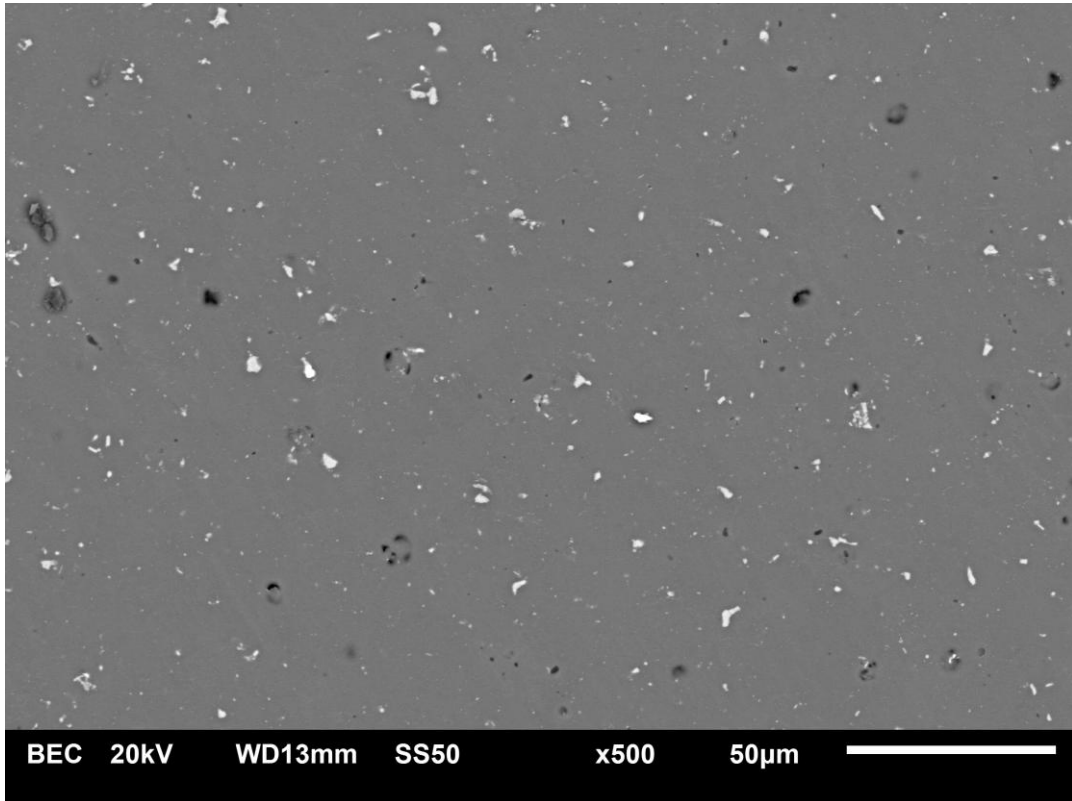
Εφόσον είδαμε ότι δεν είναι υψηλής ποιότητας μόνο στα χαρτιά αλλά και στην πράξη, παραγγείλαμε μεγαλύτερη ποσότητα για περαιτέρω πειράματα.

Έχοντας το καινούργιο υλικό και χωρίς την αμφιβολία του αν η ποιότητα του υλικού έχει επιρροή στα αποτελέσματα μας προχωρήσαμε να επαναλάβουμε τα ίδια πειράματα και πάλι.

Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 69-70) συγκρίνονται δείγματα από τους δύο προμηθευτές όσον αφορά την ποσότητα των μορίων στις επιφάνειες τους αλλά και στο μέγεθος τους. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι το κράμα του δεύτερου προμηθευτή έχει μεγαλύτερο αριθμό μορίων (της μορφής πυρήνα-κελύφους) του κατά μέσω όρο, τα οποία βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους από ότι του πρώτου και σε κάποιες περιπτώσεις και μεγαλύτερα σε μέγεθος.



Εικόνα 69 Avanti Metals, παρατηρούνται κάποια μεγάλα μόρια αλλά σε γενικές γραμμές φαίνεται πως υπάρχουν τρύπες και μεταξύ τους τα μόρια έχουν μεγάλη απόσταση πράγμα που να οφείλεται σε χαμηλή πυκνότητα το οποίο ίσως και να εξηγεί τις αστοχίες.



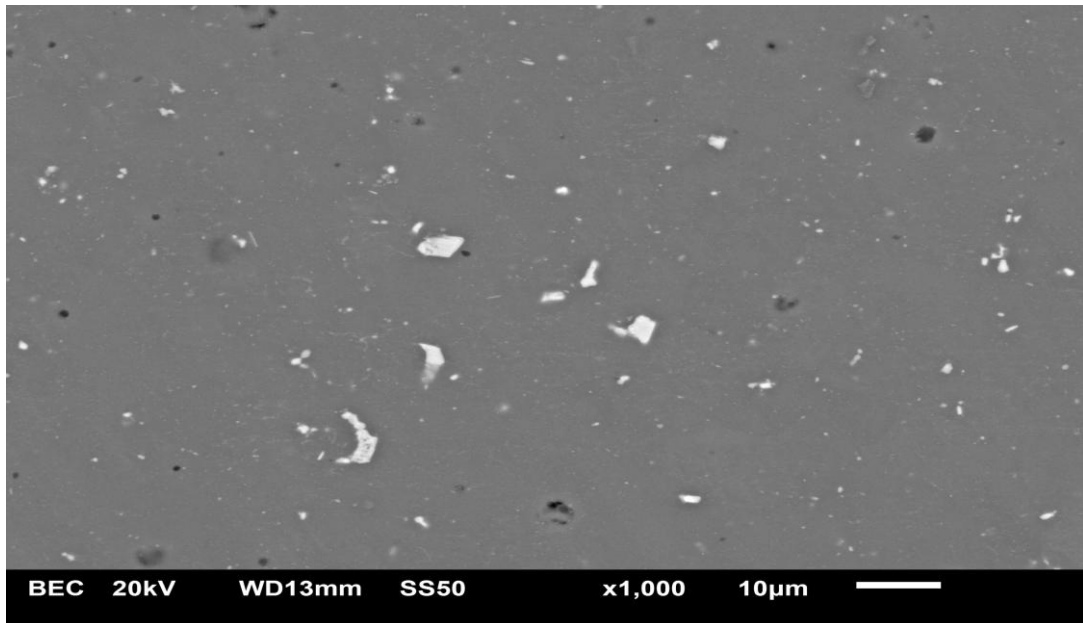
Εικόνα 70 TW Metals, παρατηρούνται επίσης κάποιες τρύπες μεν, μικρότερων διατομών δε, φαίνεται επίσης ο μεγαλύτερος αριθμός μορίων και συνάμα μεγαλύτερη πυκνότητα σε ίδια μεγέθυνση, πιο κοντά μεταξύ τους πράγμα που εξηγεί τα νούμερα στο παραπάνω γράφημα εφελκυσμό

Ανακεφαλαιώνοντας, έχοντας αλλάξει προμηθευτή, γνωρίζοντας ότι το υλικό που χρησιμοποιήσαμε ήταν αξιόπιστο και εφόσον είδαμε ότι οι μεγαλύτερες αλλαγές γίνονται κατά την διάρκεια του πρώτου σταδίου τεχνητής γήρανσης, θεωρήσαμε ότι πρέπει να συγκεντρώσουμε την προσοχή μας εκεί για αποτελέσματα. Για να είμαστε όμως σίγουροι για το ότι αυτό που μας δείχνουν τα νούμερα είναι όντως μετατόπιση της δομής πυρήνα-κέλυφους και όχι αστοχία του προγράμματος, αλλάξαμε την εξής παράμετρο.

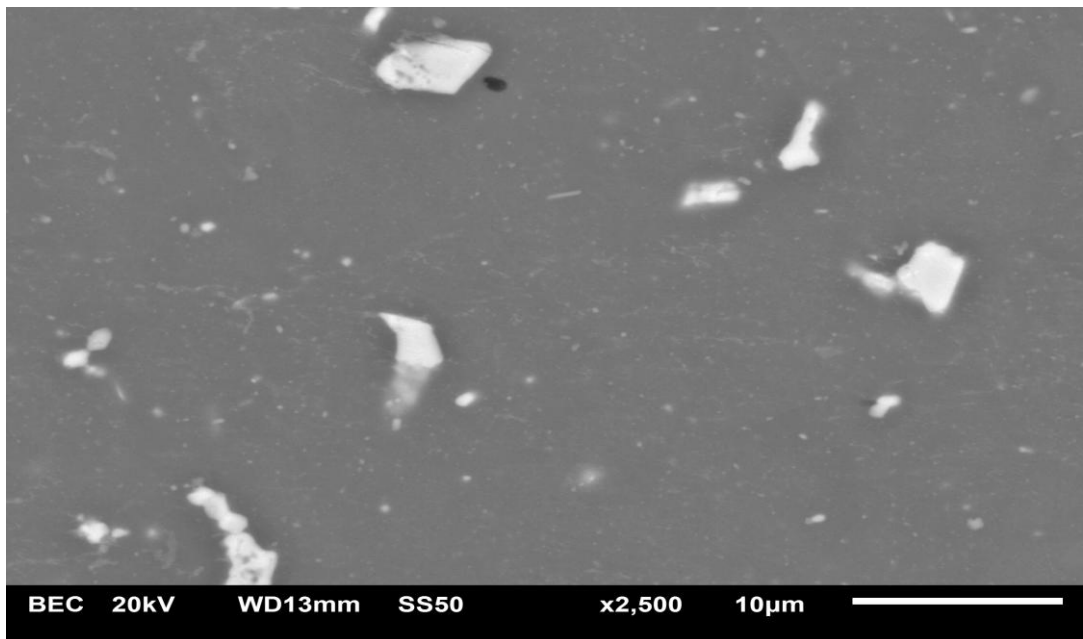
Βλέποντας παραπάνω, σε κάθε περίπτωση εξετάζαμε κάποιες τυχαίες περιοχές πάνω στην επιφάνεια των δειγμάτων για τυχόν αλλαγές. Τώρα εστιάζουμε στην περιοχή αλλά και σε συγκεκριμένα μόρια της κάθε

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

περιοχής σε πολύ μεγαλύτερες μεγεθύνσεις, δίνονται παραδείγματα στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 71-73).

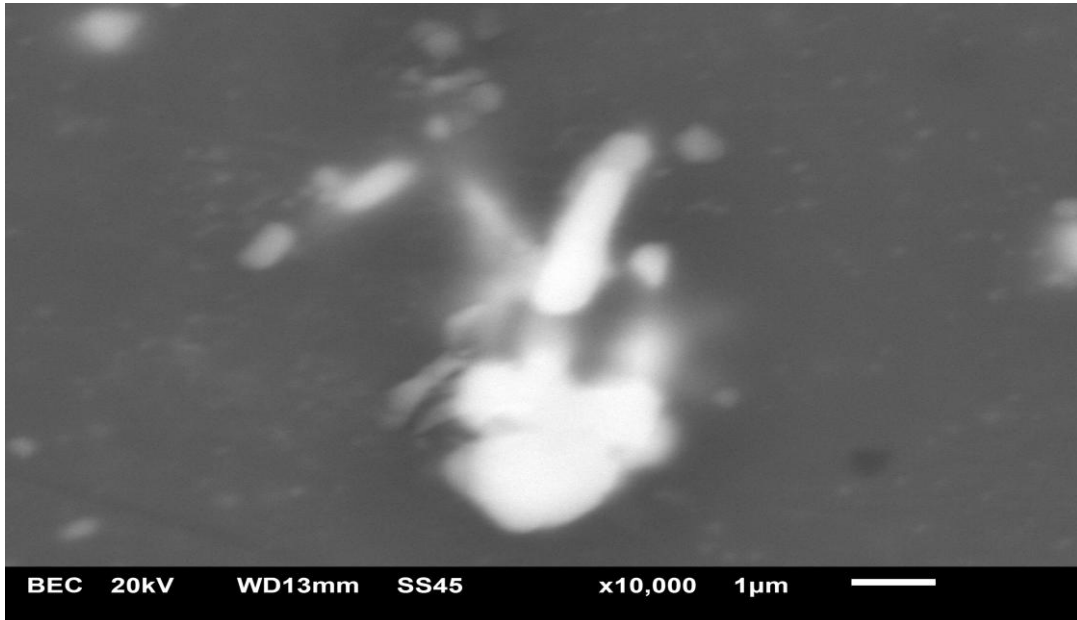


Εικόνα 71 Μεγέθυνση x1000 (κανονικά)



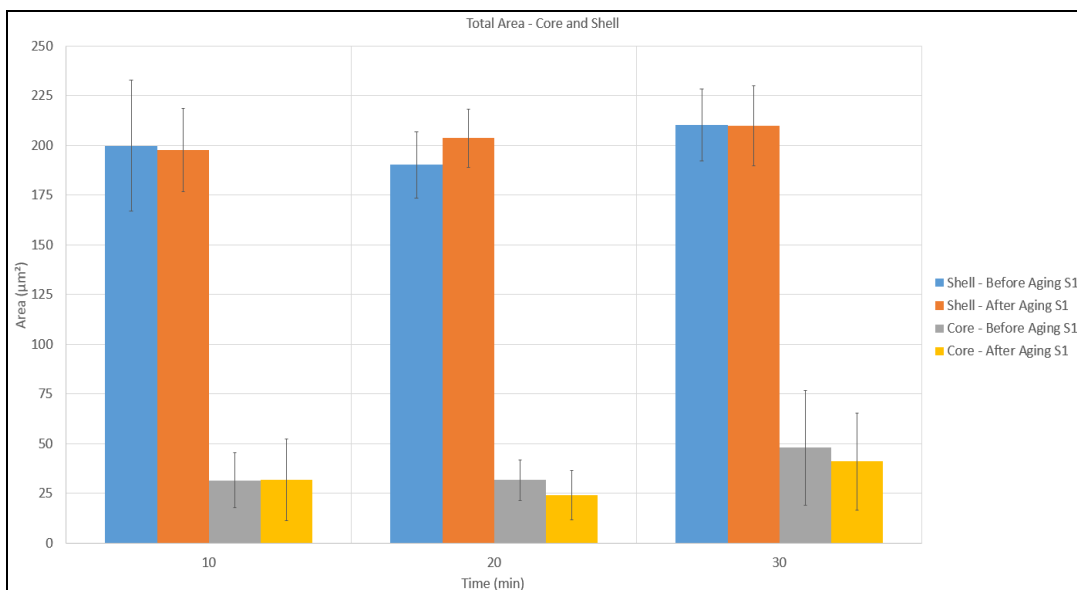
Εικόνα 72 Μεγέθυνση x2500 (μικρότερη περιοχή ανάλυσης)

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους



Εικόνα 73 Μεγέθυνση x10000 (μόνο μόριο)

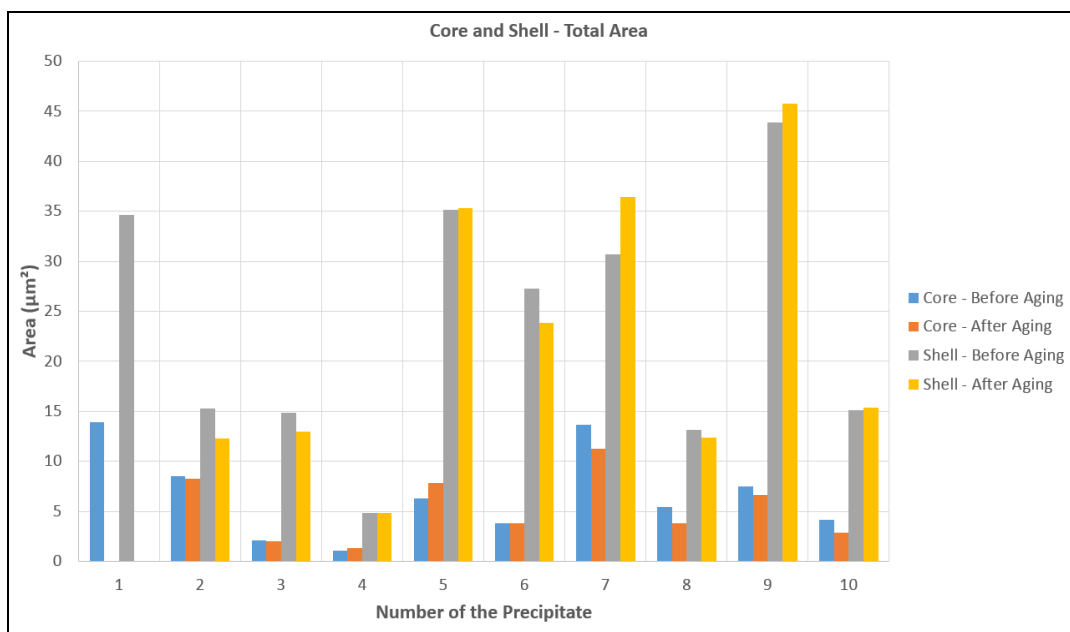
Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται, με βάση τις φωτογραφίες από το μικροσκόπιο, πως το νέο υλικό ή καλύτερα τα μόρια του αντέδρασαν στα πρώτα τριάντα λεπτά της θερμικής κατεργασίας. Πάντα όσον αφορά την δομή μεταξύ πυρήνα και κελύφους των μορίων (Εικόνα 74).



Εικόνα 74 Πριν και μετά τα πρώτα 30 λεπτά της θερμικής κατεργασίας για πυρήνα και κέλυφος

Έρευνα και μελέτη κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Η όλη διαδικασία έγινε ξανά με την διαφορά ότι έγινε σε 10 διαφορετικές ράβδους, σε αντίθεση με τα προηγούμενα που ήταν τρεις ράβδους ανά κύκλο πειραμάτων, για μεγαλύτερο φάσμα αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 75).



Εικόνα 75 Οι ίδιες μετρήσεις από 10 διαφορετικές ράβδους

7.5 Συμπεράσματα

Κατά την διάρκεια, της εξαμήνης πρακτικής μου πάνω στο θέμα αυτό, δεν είχα την δυνατότητα να δω το πείραμα να ολοκληρωθεί. Αυτό οφείλεται κυρίως σε κάποια από τα προβλήματα που συναντήσαμε. Αρχικά, θεωρήσαμε πως η ποιότητα του υλικού δεν ήταν κάτι το οποίο έπρεπε να έχουμε υπ' όψιν στο πρώτο στάδιο των πειραμάτων, εφόσον θέλαμε απλά να δούμε αποτελέσματα χωρίς να έχουμε μέτρο σύγκρισης. Θεωρητικά την στιγμή που πήραμε το νέο υλικό βρισκόμασταν στο μηδέν, διότι αποφασίσαμε ότι τα αποτελέσματα των πρώτων πειραμάτων δεν ήταν αξιόπιστα για να θεωρηθούν σαν βάση για την συνέχεια.

Εφόσον λοιπόν, αποφασίστηκε ότι πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν σαν σοβαρό παράγοντα την ποιότητα της πρώτης ύλης, για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα, παραγγείλαμε από αξιόπιστο προμηθευτή. Γνωρίζοντας αυτό και γνωρίζοντας επίσης ότι υπάρχει μια προθεσμία για την διεκπεραίωση του πειράματος, δεν θέλαμε να κάνουμε το ίδιο λάθος, παίρνοντας πρώτη ύλη από απλά καλύτερο προμηθευτή, για αυτό πήραμε από ότι καλύτερο μπορούσαμε να βρούμε, στα πλαίσια του οικονομικού προϋπολογισμού.

Η καλύτερη μας επιλογή, για σίγουρα υψηλή ποιότητα ήταν η Αμερικάνικη TW Metals. Έχοντας παραλάβει τα δοκιμαστικά δείγματα και βλέποντας ότι δεν υπήρχε αμφιβολία περί ποιότητας, βάλαμε την παραγγελία μας. Δυστυχώς, δεν υπολογίσαμε το χρονικό διάστημα μεταξύ της παραγγελίας και της παραλαβής του υλικού, που στην περίπτωση αυτή ήταν σχεδόν ένας μήνας. Χρονικό διάστημα που αν είχαμε πρώτη ύλη θα προχωρούσαμε σημαντικά στην ολοκλήρωση του πειράματος και στην δημιουργία μιας αξιόπιστης βάσης για την συνέχεια.

Όταν λοιπόν το πολυπόθητο μας υλικό είχε έρθει και ήμασταν έτοιμοι να προχωρήσουμε με την πειραματική διαδικασία, συναντήσαμε ακόμα ένα εμπόδιο. Για το λόγο ότι το τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης είναι καινούργιο και αρκετά προηγμένο, πολλοί καθηγητές και μεταπτυχιακοί φοιτητές θέλουν την χρήση των εργαστηρίων και των μηχανημάτων που είχαμε στην χρήση μας. Πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν λίστες αναμονής, οι οποίες ανανεώνονται κάθε εβδομάδα και γίνεται κυριολεκτικά μάχη για τις κενές θέσεις. Γεγονός που δεν γινόταν να παρακαμφθεί, παρόλο που δουλεύαμε κατευθείαν για τον Αντιπρύτανη, όλες οι ερευνητικές ομάδες είχανε ίσα δικαιώματα και πρόσβαση.

Όσον αφορά το πείραμά μας, στο σημείο στο οποίο είχαμε φτάσει κατά την παρουσία μου ήταν σημείο αρκετά μακριά από την ολοκλήρωση του. Τα συμπεράσματα που είχαμε βγάλει ήταν τα εξής. Αρχικά ότι, η ποιότητα του υλικού είναι πολύ σημαντική για να υπάρχει μια στιβαρή βάση για μέτρο σύγκρισης. Πως το κράμα αλουμινίου 2024, μέσω της μεθόδου θερμικής κατεργασίας με 3 στάδια, παρουσιάζει αλλαγές στην δομή του και ειδικά στο πρώτο σκέλος του πειράματος. Μπορεί δηλαδή να γίνει πιο σκληρό, αλλά δεν είχαμε αποδείξει πως μπορεί να φτάσει σε σημείο να ταυτίζονται οι μηχανικές του ιδιότητες με αυτές του σιδήρου, όσον αφορά την ανθεκτικότητά και στιβαρότητά του.

8. Βιβλιογραφία

8.1 Επιστημονικά άρθρα

1. **Highly monodisperse core–shell particles created by solid-state reactions** V. Radmilovic, C. Ophus, E. A. Marquis, M. D. Rossell, A. Tolley, A. Gautam, M. Asta and U. Dahmen
2. **Fatigue Behaviour of Aluminum Alloy at Elevated Temperature** by: Farhad B. Bahaideen, Ahmed M. Saleem, Khaleed Hussain M.T (Corresponding Author), Zaidi Mohd. RIPIN, Zainal arifin ahmad, Zahurin Samad, Nur Azam Badarulzaman
3. **Heat treatment and welding effects on mechanical properties and microstructure evolution of 2024 and 7075 aluminium alloys** by: Hakem Maamar, R. Rabah Otmani, T. Fahssi, N. Debbache, D. Allou
4. **Analysis of aluminium based alloys by calorimetry: quantitative analysis of reactions and reaction kinetics.** By: M. J. Starink
5. **Aberration-Corrected Electron Microscopy of Li-Rich Precipitates in Al-Li-Sc-Zr Alloys – Some Initial Results from the TEAM 0.5 Microscope** by: U. Dahmen, M.D. Rossell, R. Erni and V. Radmilovic
6. **Influence of heat treatment on the fatigue behaviour of two aluminium alloys 2024 and 2024 plated** by: A. May, M.A Belouchrani, S Taharboucht, A Boudras
7. **Aluminium Alloys – A Century of Age Hardening** by: I.J. Polmear
8. **Effect of double-phase segregations formed due to two-stage aging on the strength properties of alloy pn-en 2024** by: L. Kaczmarek, M. Steglinski, H. Radziszewska, L. Kolodziejczyk, J. Sawicki, W. Szymański, R. Atraszkiewicz, and J. Swiniarski
9. **Atomic Structure of Core-Shell Precipitates in Al-Li-Sc-Zr Alloys Studied by Analytical and Aberration-Corrected TEM/STEM** by: M.D. Rossell, R. Erni, A. Tolley, E. Marquis, V. Radmilovic, and U. Dahmen
10. **Atomic structure of pre-Guinier-Preston and Guinier-Preston-Bagaryatsky zones in Al-alloys** by: Torsten E M Staab, Benedikt Klobes, Iris Kohlbach, Bjorn Korff, Matz Haaks, Esther Dudzik and Karl Maier
11. **Chemistry and structure of core/double-shell nanoscale precipitates in Al–6.5Li–0.07Sc–0.02Yb (at.%)** by: Christian

- Monachon a,b, Matthew E. Krug a, David N. Seidman a,c, David C. Dunand
12. **Core-shell structures and precipitation kinetics of Al₃(Sc, Zr) L₂ intermetallic phases in Al-rich alloy** by: V. Radmilovic, A. Tolley, Z. Lee, and U. Dahmen
 13. **Evolution of solute clustering in Al–Cu–Mg alloys during secondary ageing** by: R.K.W. Marceau, G. Sha, R.N. Lumley, S.P. Ringer
 14. **Optimization of the heat treatment and tribological properties of 2024 and 7075 aluminium alloys** by: Ł. Kaczmarek, M. Stegliński, J. Sawicki, J. Swiniarski, D. Batory, K. Kyzioł, Ł. Kołodziejczyk, W. Szymanski, P. Zawadzki, D. Kottfer
 15. **Optimization of the heat and mechanical treatment of the Al–Zn–Mg–Li alloy** by: M. Stegliński, Ł. Kaczmarek, J. Świniarski, W. Stachurski, J. Sawicki
 16. **Strength and fracture of aluminum alloys** by: T. Kobayashi
 17. **The growth behaviour of microstructurally small fatigue cracks in metals** by: K. Tokaji and T. Ogawa
 18. **In-situ fatigue crack growth testing of Al7075-t651 under scanning electron microscopy** by: W. Zhang¹ and Y. Liu.
 19. **Metallurgical factors affecting fracture toughness of aluminum alloys** by: G. T. Hahn And A. R. Rosenfield
 20. **Fracture mechanics and surface studies of fatigue crack growth in an aluminum alloy chemistry** by: R. P. Wei, P. S. Pao, R. G. Hart, T. W. Weir, And G. W. Simmons
 21. **Experimental determination of dynamic crack initiation and propagation fracture toughness in thin aluminum sheets** by: D.M. Owen, S. Zhuang, A.J. Rosakis And G. Ravichandran
 22. **Near threshold fatigue crack growth in 7075-t651 aluminum alloy** by: J.B. Jordon, J.C. Newman, Jr., Y. Xue, M.F. Horstemeyer

8.2 Online Βιβλιογραφία (ιστοσελίδες)

1. <http://www.sciencedirect.com>
2. <https://scholar.google.pl/>
3. <http://www.european-aluminium.eu>
4. <http://www.sapagroup.com>
5. <https://en.wikipedia.org>
6. <http://www.matweb.com>
7. <http://www.azom.com>
8. <http://www.cramal.gr/el/>

9. <http://www.ethnos.gr>
10. <http://www.autoblog.gr>
11. <http://thalassinos.com.gr>
12. <http://www.usesof.net/>
13. <http://www.aluminiumleader.com/>
14. <http://www.explainthatstuff.com/>
15. <http://www.novelis.com/>
16. <http://www.esm.psu.edu/>