

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧ/ΤΟΝ
ΜΗΧ/ΚΟΝ Τ.Ε.
783
Μ/Χ



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΑΦΡΩΝ
ΚΡΑΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

ΚΕΡΑΜΙΔΑ Σ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ Δ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ



ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Σκοπός

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας αποτελεί τόσο η ανάλυση των ελαφρών κραμάτων όσο και η κατανόηση των ιδιοτήτων τους, έτσι ώστε να γίνει εύκολα κατανοητό ο τρόπος και μέθοδοι χρησιμοποίησής τους στις μηχανολογικές εφαρμογές.

Τα ελαφρά κράματα και οι εφαρμογές τους, τα οποία θα αναλυθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι κατά σειρά τα κράματα αλουμινίου, τα κράματα τιτανίου και τα κράματα μαγνησίου. Τα κράματα αυτά παρουσιάζουν ευρεία χρήση λόγω του μειωμένου βάρους τους σε συνδυασμό με τις σημαντικές μηχανικές ιδιότητες τους.

Αξίζει επιπλέον να τονισθεί η μεγάλη σε αριθμό ποικιλία κραμάτων που σχηματίζουν τα μέταλλα αυτά και από την άλλη τον τρόπο με τον οποίο διαφοροποιούνται τόσο οι ιδιότητές τους όσο και οι εφαρμογές τους ανάλογα με το ποσοστό του εκάστοτε μετάλλου που προστίθενται σε αυτά.

Το εύρος χρήσης αυτών είναι ευρύ και παρουσιάζει τεράστιο βιομηχανικό ενδιαφέρον.

Επιπροσθέτως, θα γίνει αναφορά στην επιρροή τους λόγω διάβρωσης, καθώς αποτελεί το σημαντικότερο φυσικό παράγοντα που είναι σε θέση να απασχολήσει τις μηχανολογικές εφαρμογές που απαρτίζονται από ελαφρά κράματα.

Οι σημαντικότεροι τομείς, στους οποίους συναντάται η χρήση των μετάλλων αυτών είναι η οικοδόμηση κτηρίων, η διαστημική τεχνολογία, αεροναυπηγική, η βιομηχανία κατασκευής μεταφορικών μέσων (αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα) σε εμπορευματοκιβώτια, συσκευασίες, ηλεκτρική βιομηχανία, μαγειρική, ιατρική, αυτοκινητοβιομηχανία κ.α.

Purpose

Purpose of the thesis is both an analysis of light alloys and the understanding of their properties, so that it becomes easily understandable manner and methods of their use in engineering applications.

Light alloys and their applications, which will be analyzed in this thesis are series aluminum alloys, titanium alloys and magnesium alloys. Such alloys are widely used because of their reduced weight combined with outstanding mechanical properties.

It is worth to note also the great variety in number forming alloys of these metals and the other way in which differ both their properties and applications depending on the proportion of the respective metal added thereto.

The versatility of these is broad and presents huge industrial interest.

Additionally, reference will be made to influence the corrosion, and is the most important physical agent that is able to employ the mechanical composed of light alloys.

The main areas in which occurs the use of these metals is to build buildings, space technology, aerospace, construction industry vehicles (cars, trains, aircrafts) in containers, packaging, electrical industry, culinary, medical , automotive etc.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά Περί Ελαφρών Μετάλλων.....	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Ανάλυση Εφαρμογών Ελαφρών Μετάλλων.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αλουμινίου (Al).....	19
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Ιστορική Αναδρομή Αλουμινίου.....	20
2.3 Εξέλιξη Παραγωγής Αλουμινίου.....	21
2.4 Μεταλλουργία και Παραγωγή Αλουμινίου.....	22
2.4.1 Παραγωγή Αλουμίνιας.....	23
2.4.2 Παραγωγή Αλουμινίου.....	23
2.5 Ιδιότητες Αλουμινίου.....	25
2.6 Κράματα Αλουμινίου.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μαγνήσιο.....	29
3.1 Εισαγωγή.....	29
3.2 Προέλευση.....	30
3.3 Μεταλλουργία.....	30
3.4 Ιδιότητες Μαγνησίου.....	31
3.5 Κυριότερα Κράματα Μαγνησίου.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τιτάνιο.....	33
4.1 Εισαγωγή.....	33
4.2 Ιστορία του Τιτανίου.....	34
4.3 Χαρακτηριστικά & ιδιότητες του τιτανίου.....	36
4.4 Μέταλλο τιτανίου – Τα κράματα και οι ενώσεις του.....	38
4.4.1 Βασικές πτυχές της μεταλλουργίας του τιτανίου.....	38
4.4.2 Στοιχεία Κραμάτωσης.....	38
4.4.3 Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Διαβρωτικά Στοιχεία Ελαφρών Μετάλλων.....	44

5.1	Γενικά Περί Διάβρωσης	44
5.2	Διάβρωση Αλουμινίου	45
5.3	Διάβρωση Τιτανίου.....	46
5.4	Διάβρωση Μαγνησίου	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Χρήσεις Ελαφρών Μετάλλων.....		50
6.1	Εισαγωγή	50
6.2	Εφαρμογές Αλουμινίου.....	50
6.2.1	Εισαγωγή.....	50
6.2.2	Παραδείγματα Εφαρμογών Αλουμινίου	51
6.3	Εφαρμογές Μαγνησίου.....	59
6.3.1	Εισαγωγή.....	59
6.3.2	Παραδείγματα Εφαρμογών Μαγνησίου	60
6.4	Εφαρμογές Τιτανίου	65
6.4.1	Εισαγωγή.....	65
6.4.2	Παραδείγματα Εφαρμογών Τιτανίου.....	66
Βιβλιογραφία		77

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1 Περιοδικό σύστημα στοιχείων.....	10
Εικόνα 1.2 Τιτάνιο-Παράδειγμα εφαρμογής τιτανίου	14
Εικόνα 1.3 Αλουμίνιο-Παράδειγμα εφαρμογής αλουμινίου.....	15
Εικόνα 1.4 Ασβέστιο-Παράδειγμα εφαρμογής ασβεστίου	15
Εικόνα 1.5 Λίθιο-Παράδειγμα εφαρμογής λιθίου.....	15
Εικόνα 1.6 Στρόντιο-Παράδειγμα εφαρμογής στροντίου	16
Εικόνα 1.7 Βάριο-Παράδειγμα εφαρμογής βαρίου.....	16
Εικόνα 1.8 Μαγνήσιο-Παράδειγμα εφαρμογής μαγνησίου.....	16
Εικόνα 1.9 Νάτριο-Παράδειγμα εφαρμογής νατρίου	17
Εικόνα 1.10 Καίσιιο-Παράδειγμα εφαρμογής καισίου.....	17
Εικόνα 1.11 Βηρύλλιο-Παράδειγμα εφαρμογής βηρυλλίου.....	17
Εικόνα 1.12 Κάλιο-Παράδειγμα εφαρμογής καλίου	18
Εικόνα 1.13 Ρουβίδιο-Παράδειγμα εφαρμογής ρουβιδίου	18
Εικόνα 2.1 Πλάκα αλουμινίου	19
Εικόνα 2.2 Κρυσταλλική δομή αλουμινίου	20
Εικόνα 2.3 Κύκλος παραγωγής αλουμινίου.....	23
Εικόνα 2.4 Λεκάνη παραγωγής αλουμίνιας.....	24
Εικόνα 2.5 Εργοστάσιο μαζικής παραγωγής αλουμινίου	25
Εικόνα 3.1 Μετάλλευμα Καρναλίτη	30
Εικόνα 3.2 Παράδειγμα εφαρμογής μαγνησίου (Ελαιολεκάνη-καρτερ)	31
Εικόνα 4.1 Ορυκτό Τιτανίου.....	34
Εικόνα 5.1 Καμπύλες πόλωσης για το κράμα τιτανίου Ti-6Al-4V	47
Εικόνα 5.2 Καμπύλες πόλωσης για το καθαρό εμπορικό τιτάνιο.....	48
Εικόνα 6.1 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία	51
Εικόνα 6.2 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία	52
Εικόνα 6.3 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στις οικοδομικές κατασκευές.....	54
Εικόνα 6.4 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου σε οικιακά αγαθά	55

Εικόνα 6.5 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην αεροναυπηγική.....	56
Εικόνα 6.6 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στη συσκευασία προϊόντων	58
Εικόνα 6.7 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην ηλεκτροβιομηχανία .	59
Εικόνα 6.8 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αυτοκινητοβιομηχανία	61
Εικόνα 6.9 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αυτοκινητοβιομηχανία	61
Εικόνα 6.10 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αεροναυπηγική.....	62
Εικόνα 6.11 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αεροναυπηγική.....	62
Εικόνα 6.12 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου για την κατασκευή ηλεκτρικών συσκευών.....	63
Εικόνα 6.13 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου για την κατασκευή ηλεκτρικών συσκευών.....	63
Εικόνα 6.14 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου ως ελεύθερο στοιχείο.....	65
Εικόνα 6.15 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου ως ελεύθερο στοιχείο.....	65
Εικόνα 6.16 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αυτοκινητοβιομηχανία	67
Εικόνα 6.17 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αυτοκινητοβιομηχανία	67
Εικόνα 6.18 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αυτοκινητοβιομηχανία	68
Εικόνα 6.19 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αεροναυπηγική.....	69
Εικόνα 6.20 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αεροναυπηγική.....	70
Εικόνα 6.21 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην ιατρική.....	73
Εικόνα 6.22 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης	74
Εικόνα 6.23 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην ναυπηγική.....	75
Εικόνα 6.24 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου	75
Εικόνα 6.25 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου	76
Εικόνα 6.26 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου	76

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά ελαφρών μετάλλων	10
Πίνακας 1.2 Εφαρμογές ελαφρών μετάλλων	14
Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου	27
Πίνακας 4.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά Τιτανίου	36
Πίνακας 4.2 Φυσικές ιδιότητες τιτανίου	37
Πίνακας 4.3 Ταξινόμηση κραμάτων τιτανίου κατά ASTM B265	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά Περί Ελαφρών Μετάλλων

1.1 Εισαγωγή

Με τον όρο ελαφρά μέταλλα καλούνται γενικά όλα τα μέταλλα, τα οποία έχουν μικρή πυκνότητα. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για μέταλλα, τα οποία βρίσκονται ευρύτατα διαδεδομένα στη φύση, καθώς αποτελούν περί το 20-25% της συνολικής μάζας αυτής. Εξαιτίας όμως, της υψηλής χημικής δραστηριότητας, η οποία τα χαρακτηρίζει ως υλικά, ο εντοπισμός τους παρατηρείται μονάχα σε αρκετά ισχυρές χημικές ενώσεις.

Στην κατηγορία των ελαφρών μετάλλων υπάγονται τα μέταλλα κατά κύριο λόγο που βρίσκονται στην πρώτη και δεύτερη ομάδα του περιοδικού πίνακα, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, δηλαδή στα αλκάλια και στις αλκαλικές γαίες, ενώ σε αυτά συμπεριλαμβάνονται το αργίλιο (αλουμίνιο) και το τιτάνιο, τα οποία ανήκουν στην 13^η και 4^η ομάδα του περιοδικού πίνακα αντιστοίχως.

Όνομασία Στοιχείου	Συμβολισμός	Ατομικός Αριθμός	Πυκνότητα στους 20-25°C (kg/m ³)
Λίθιο	Li	3	534
Βηρύλλιο	Be	4	1847.7
Νάτριο	Na	11	968.4
Μαγνήσιο	Mg	12	1739
Αλουμίνιο	Al	13	2698.9
Κάλιο	K	19	862
Ασβέστιο	Ca	20	1540
Τιτάνιο	Ti	22	4505
Ρουβίδιο	Rb	37	1532
Στρόντιο	Sr	38	2630
Καίσιο	Cs	55	1900
Βάριο	Ba	56	3760

Πίνακας 1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά ελαφρών μετάλλων

Πιο αναλυτικά τα στοιχεία που αποτελούν την κατηγορία των ελαφρών μετάλλων απεικονίζονται στον άνωθεν πίνακα 1.1 κατά αύξουσα σειρά ατομικού αριθμού, στον οποίο παρατίθενται, εκτός από τον ατομικό αριθμό, η τιμή της πυκνότητας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (20-25^oC) του εκάστοτε στοιχείου.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																														
1	H	μετάλλα																He																														
2	Li	Be	αμέταλλα										B	C	N	O	F	Ne																														
3	Na	Mg	ευγενή αέρια										Al	Si	P	S	Cl	Ar																														
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																														
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																														
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																														
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub																																				
λανθανίδες	<table border="1"> <tr> <td>La</td><td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Ac</td><td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																		
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																		
ακτινίδες																																																

Εικόνα 1.1Περιοδικό σύστημα στοιχείων

Η μεταλλουργία και κατεργασία των ελαφρών μετάλλων ξεκίνησε τον 19^ο αιώνα. Οι κυριότερες μέθοδοι παραγωγής των μετάλλων αυτών είναι μέσω της ηλεκτρόλυσης τηγμένων αλάτων αυτών, η μεταλλοθερμία και η ηλεκτροθερμία. Τα ελαφρά μέταλλα χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη παραγωγή ελαφρών κραμάτων, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι τα κράματα του αργιλίου, του μαγνησίου, του τιτανίου, του βηρυλλίου και του λιθίου.

Από την άλλη μεριά τα μέταλλα και τα κράματά τους, των οποίων η τιμή της πυκνότητάς τους είναι μεγαλύτερη του Νικελίου(Ni) ονομάζονται βαρέα μέταλλα. Πιο συγκεκριμένα στη κατηγορία αυτή υπάγονται τα μέταλλα, τα οποία έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από 5000 kg/m³. Σε αυτά ανήκουν κυρίως ορισμένα από τα μέταλλα που βρίσκονται στα στοιχεία μετάπτωσης του περιοδικού πίνακα, καθώς επίσης στις λανθανίδες, στις ακτινίδες και ορισμένα μεταλλοειδή.

1.2 Ανάλυση Εφαρμογών Ελαφρών Μετάλλων

Οι εφαρμογές των ελαφρών μετάλλων, τα οποία αναφέρθησαν προηγουμένως, είναι πολύπλευρες και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα της εν γένει βιομηχανικής παραγωγής και όχι μόνο. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικά οι κυριότερες από τις εφαρμογές, όπου συναντάται η χρήση των μετάλλων αυτών. Στις ακόλουθες εικόνες απεικονίζονται τα μέταλλα αυτά στην πρωταρχική τους δομή, δηλαδή πριν την παραγωγή προϊόντων, και παράλληλα μερικές χαρακτηριστικές εφαρμογές των κραμάτων αυτών στη βιομηχανία και όχι μόνο.

Όνομασία Στοιχείου	Εφαρμογές
Λίθιο (Li)	<ul style="list-style-type: none"> • Πυρηνική τεχνολογία • Παραγωγή ειδικών γυαλιών και κεραμικών προϊόντων • Παραγωγή μπαταριών • Συστήματα κλιματισμού και ξήρανσης • Παραγωγή λιπαντικών
Βηρύλλιο (Bi)	<ul style="list-style-type: none"> • Δομικό υλικό κατασκευής πυραύλων, διαστημοπλοίων, υψηλής ταχύτητας αεροσκαφών • Πυρηνικούς αντιδραστήρες ως ανακλαστήρας • Ως κράμα χαλκού στη παραγωγή ελατηρίων, ηλεκτρικών επαφών, ηλεκτροδίων συγκόλλησης και μη-σπινθηρογόνων εργαλείων

<p>Νάτριο (Na)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ως αναγωγικό μέσο για παραγωγή πυριτίου και βορίου • Χρήσεις στην οργανική χημεία ως συστατικό χημικών ενώσεων: <ul style="list-style-type: none"> ➤ αζίδιο (NaN_3) ➤ αμίδιο νατρίου (NaNH_2) ➤ διττανθρακικό νάτριο (σόδα) (NaHCO_3) ➤ υπερβορικό νάτριο (NaBO_2) ➤ θειικό νάτριο (Na_2SO_4) ➤ θειούχο νάτριο (Na_2S) ➤ νιτρικό νάτριο (NaNO_3) ➤ ιωδιούχο νάτριο (NaI) ➤ χλωριούχο νάτριο (μαγειρικό αλάτι) (NaCl) ➤ υδροξείδιο του νατρίου (NaOH)
<p>Μαγνήσιο (Mg)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Αυτοκινητοβιομηχανία • Ηλεκτρικές συσκευές • Αεροδιαστημική τεχνολογία • Ως κράμα αλουμινίου για κατασκευή μεταλλικών κουτιών
<p>Αλουμίνιο (Al)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Αυτοκινητοβιομηχανία • Αεροδιαστημική • Σκεύη και είδη μαγειρικής • Ηλεκτροβιομηχανία • Οικοδομικές κατασκευές • Εμπορευματοκιβώτια • Αεροναυπηγική • Ναυπηγική • Πληθώρα άλλων προϊόντων

<p>Κάλιο (K)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ως αυτούσιο μέταλλο έχει ελάχιστες βιομηχανικές χρήσεις • Ως ανιχνευτές σε μελέτες καιρού, θρεπτικών ουσιών • Λιπάσματα • Φαρμακευτικά σκευάσματα για θεραπεία της υποκαλιαιμίας
<p>Ασβέστιο (Ca)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ως αναγωγικό μέσο για εκχύλιση άλλων μετάλλων (ζιρκόνιο, ουράνιο, θόριο) • Ως συστατικό κραμάτων για την παραγωγή κραμάτων δαφύρων μετάλλων (αλουμίνιο, χαλκός, βηρύλλιο, μόλυβδο, μαγνήσιο) • Κατασκευή σκυροδέματος και άλλων κονιαμάτων για οικοδόμηση • Για παραγωγή τυριού (ιόντα ασβεστίου επηρεάζουν τη δραστηριότητα της ρενίνης και συντελούν πύξη του γάλακτος)
<p>Τιτάνιο (Ti)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Αεροδιαστημική • Αυτοκινητοβιομηχανία • Ιατρική • Κοσμηματοποιία • Χημική βιομηχανία • Ναυπηγική • Αρχιτεκτονική και οικοδόμηση κτιρίων • Πληθώρα βιομηχανικών προϊόντων
<p>Ρουβίδιο (Rb)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Συστατικό φωτοκύτταρων σε ειδικά γυαλιά
<p>Στρόντιο (Sr)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγή έγχρωμων τηλεοράσεων • Φεριστικούς μαγνήτες

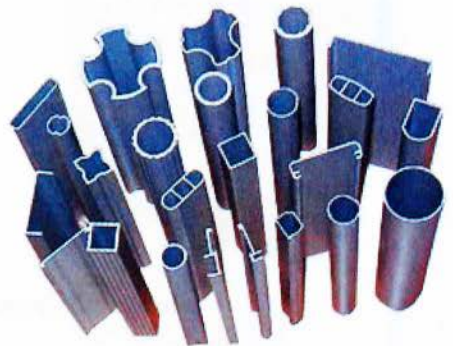
Καίσιο (Cs)	<ul style="list-style-type: none"> • Φωτοηλεκτρικά κύτταρα • Ηλεκτρικά μικροσκόπια • Ατομικά ρολόγια • Ρευστά γεώτρησης (μυρμηκικό καίσιο) • Ιατρικές εφαρμογές, βιομηχανικούς μετρητές, εφαρμογές υδρολογίας (Καίσιο -137) • Άλατα Καισίου για παραγωγή ιαματικών υδάτων, ιατρική, φαρμακευτική αισθητική, κεραμευτική (πυριτικό καίσιο)
Βάριο (Ba)	<ul style="list-style-type: none"> • Ιατρική: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Εξέταση στομάχου- βαριούχο γεύμα ➤ Εξέταση εντέρου- βαριούχος υποκλυσμός

Πίνακας 1.2 Εφαρμογές ελαφρών μετάλλων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η ανάλυση θα εστιαστεί στη διερεύνηση των ιδιοτήτων και των εφαρμογών των ελαφρών μετάλλων και πιο συγκεκριμένα στο αργίλιο ή αλουμίνιο (Al), στο μαγνήσιο (Mg) και στο τιτάνιο (Ti) κατά σειρά και τα κράματα αυτών.



Εικόνα 1.2 Τιτάνιο-Παράδειγμα εφαρμογής τιτανίου



Εικόνα 1.3 Αλουμίνιο-Παράδειγμα εφαρμογής αλουμινίου



Εικόνα 1.4 Ασβέστιο-Παράδειγμα εφαρμογής ασβεστίου

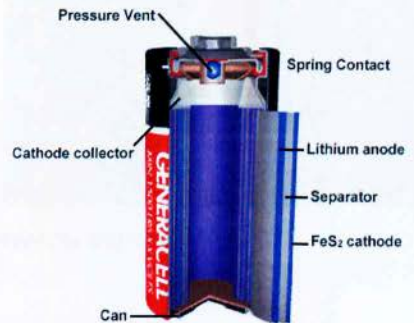
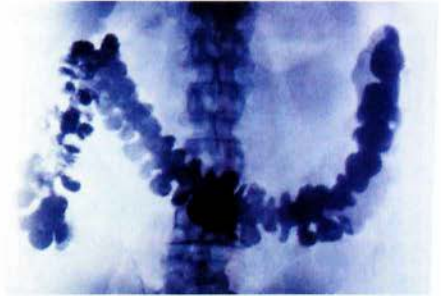


Figure 1

Εικόνα 1.5 Λίθιο-Παράδειγμα εφαρμογής λιθίου



Εικόνα 1.6 Στρόντιο-Παράδειγμα εφαρμογής στρόντιου



Εικόνα 1.7 Βάριο-Παράδειγμα εφαρμογής βαρίου



Εικόνα 1.8 Μαγνήσιο-Παράδειγμα εφαρμογής μαγνησίου



Εικόνα 1.9 Νάτριο-Παράδειγμα εφαρμογής νατρίου



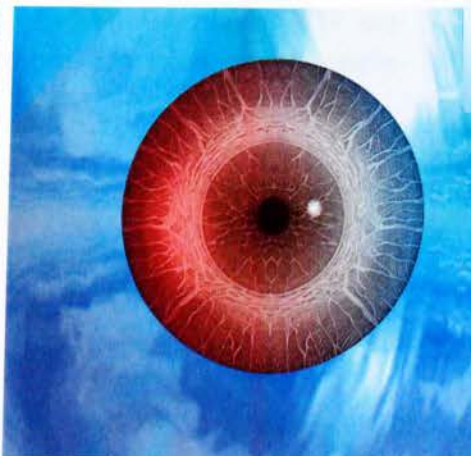
Εικόνα 1.10 Καίσιο-Παράδειγμα εφαρμογής καΐσιου



Εικόνα 1.11 Βηρύλλιο-Παράδειγμα εφαρμογής βηρυλλίου



Εικόνα 1.12 Κάλιο-Παράδειγμα εφαρμογής καλίου

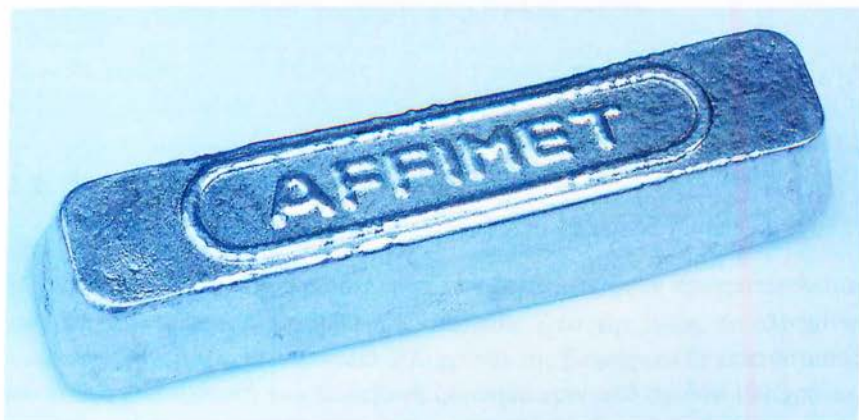


Εικόνα 1.13 Ρουβίδιο-Παράδειγμα εφαρμογής ρουβιδίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αλουμινίου (Al)

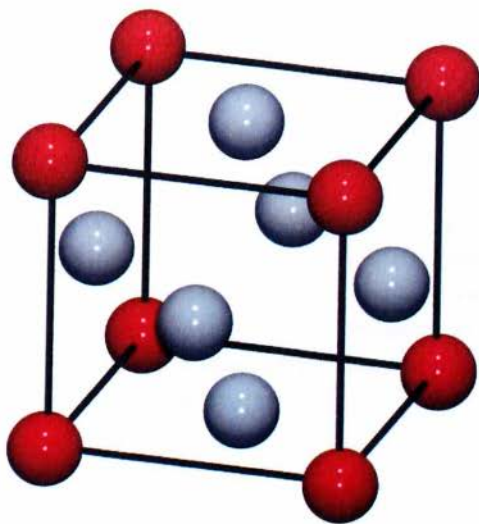
2.1 Εισαγωγή

Το αλουμίνιο ή αργίλιο (Al), του οποίου μια χαρακτηριστική ράβδος απεικονίζεται ακολούθως, πρόκειται όσο αφορά τη ποσότητά του για το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της Γης και συνολικά το τρίτο κατά σειρά πιο άφθονο χημικό στοιχείο στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο και βρίσκεται σε πάνω από 270 διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου αυτού είναι ο βωξίτης. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το αλουμίνιο ανήκει στην ομάδα IIIA του περιοδικού συστήματος και πιο συγκεκριμένα στην 3^η περίοδο και 13^η ομάδα ενώ ο ατομικός του αριθμός είναι 13.



Εικόνα 2.1 Πλάκα αλουμινίου

Το αλουμίνιο κρυσταλλώνεται στο εδροκεντρωμένο κυβικό σύστημα, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα. Η ατομική του ακτίνα είναι 2.856 \AA , η σταθερά πλέγματος 4.05 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) και η πυκνότητά του είναι ίση με 2.7 g/cm^3 . Το σημείο τήξης του είναι περί τους 659.7°C και το σημείο ζέσεως αυτού 2519°C . Στην εδροκεντρωμένη κυβική δομή οι πυκνές διευθύνσεις σε άτομα είναι οι διαγώνιες του κύβου, δηλαδή οι διευθύνσεις $\langle 110 \rangle$.



Εικόνα 2.2 Κρυσταλλική δομή αλουμινίου

2.2 Ιστορική Αναδρομή Αλουμινίου

Η χρησιμοποίηση και η εκμετάλλευση των μεταλλευμάτων πραγματοποιείται από τον άνθρωπο από το 5000 π.Χ. περίπου. Από την άλλη, το αλουμίνιο ανακαλύφθηκε μόλις τα τελευταία 200 χρόνια της βιομηχανικής επανάστασης και ενώ η βιομηχανική του παραγωγή ξεκίνησε πριν από σχεδόν 100 χρόνια, ύστερα της ανακάλυψης και της ευρείας χρήσης του ηλεκτρισμού. Η ονομασία του αλουμινίου προέρχεται από το Λατινικό *alumen* (-*minis*) που αναφέρεται στο θειικό άλας καλίου – αργιλίου (στυπτήρια).

Σε αντίθεση με τον χαλκό, τον χρυσό και τον σίδηρο, το αλουμίνιο δεν υπάρχει αυτοφύες ή σε απλές χημικές ενώσεις εύκολα διασπασίμες, γι' αυτό και η απομόνωση αυτού και επομένως και η παραγωγή του καθυστέρησε ιδιαίτερα.

Αν και το αλουμίνιο δεν έγινε γνωστό παρά μόνο στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε στην αρχαιότητα με την μορφή της αργίλου ως πρώτη ύλη για την κατασκευή αγγείων και με τη μορφή αλάτων που περιέχουν αλουμίνιο για βαφές και φαρμακευτικά παρασκευάσματα. Οι αρχαίοι Κινέζοι, οι Αιγύπτιοι, οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι, χρησιμοποίησαν το αλουμίνιο στις φυσικές του ενώσεις χωρίς κατά πάσα πιθανότητα να έχουν πλήρη γνώση της ύπαρξης ενός μετάλλου που έδινε τις ειδικές αυτές ιδιότητες στις

δημιουργίες τους. Στον Μεσαίωνα οι επιστήμονες – αλχημιστές της εποχής, υποπτεύθηκαν την ύπαρξη ενός μετάλλου στη κοινή και τότε φτηνή άργιλο, που θα τους έδινε την πολυπόθητη λύση δημιουργίας χρυσού με την μετάλλαξή του.

Ο Hans Christian Oersted ήταν ο πρώτος επιστήμονας που παρήγαγε καθαρό αλουμίνιο το 1825 με την χρήση χλωριούχου αργιλίου (AlCl_3) και μίγμα υδροξειδίου του καλίου (ποτάσας) με ψευδάργυρο. Ο Oersted ανεβάζοντας την θερμοκρασία του μίγματος, σε κατάσταση χαμηλής πίεσης πέτυχε την απομάκρυνση του ψευδαργύρου, το εναπομένον δε υλικό ήταν το αλουμίνιο. Έτσι γεννήθηκε το μέταλλο που άλλαξε την ιστορία και χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε έκφανση της μηχανολογίας και εν τέλει οδήγησε στην ανάπτυξη της αεροδιαστημικής τεχνολογίας.

2.3 Εξέλιξη Παραγωγής Αλουμινίου

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ιστορία του αλουμινίου ως υλικό κατασκευής πολλών προϊόντων αλλά και η γενικότερη χρήση αυτού έχει σύντομη σχετικά ιστορία, καθώς μόλις στις αρχές του 19^{ου} αιώνα χρονολογείται η απαρχή της εκμετάλλευσης του μετάλλου αυτού. Η εξέλιξη παραγωγής του αλουμινίου από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα συνοπτικά έχει ως εξής:

1808: Ο Βρετανός Davy ανακαλύπτει την ύπαρξη του μετάλλου.

1821: Ο P. Berthier ανακαλύπτει κοντά στο χωριό Les Baux στην Γαλλία μια σκληρή κοκκινωπή ουσία που περιέχει 52% αλουμίνιο και την ονομάζει Βωξίτη.

1825: Ο Δανός Hans Christian Oersted παράγει μια μικρή ποσότητα αλουμινίου χρησιμοποιώντας διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (ποτάσας).

1827: Ο Γερμανός Friedrich Wohler ανακοινώνει την ανακάλυψη του για την παραγωγή αλουμινίου μέσω της αντίδρασης ποτάσας με άνυδρο χλωρίδιο του αλουμινίου.

1845: Ο Woehler ανακάλυψε και κατέγραψε την πυκνότητα του αλουμινίου και μία από τις βασικές του ιδιότητες, την ελαφρότητα.

1854: Ο Γάλλος Henri Saite – Claire Deville βελτιώνει την μέθοδο του Wohler και παράγει βιομηχανικά αλουμίνιο, για πρώτη φορά στην ιστορία. Η τιμή του μετάλλου ξεπερνά αυτή του χρυσού και της πλατίνας.

1855: Μια ράβδος αλουμινίου εκτίθεται στην Διεθνή Έκθεση των Παρισίων μαζί με άλλα πολύτιμα μέταλλα.

1886: Δύο νέοι και άγνωστοι επιστήμονες, ο Γάλλος Paul Louis Toussaint Heroult και ο Αμερικάνος Charles Martin Hall, εφευρίσκουν την μέθοδο παραγωγής αλουμινίου μέσω της ηλεκτρόλυσης διαλύματος αλουμίνας. Οι δυο τους δούλευαν χωριστά χωρίς να γνωρίζει ο ένας για την έρευνα του άλλου.

1888: Οι πρώτες εταιρίες παραγωγής αλουμινίου γεννήθηκαν στην Γαλλία, την Ελβετία και τις ΗΠΑ.

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

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

2.4 Μεταλλουργία και Παραγωγή Αλουμινίου

Η παραγωγή του αλουμινίου περιλαμβάνει σήμερα δύο κύριες φάσεις. Αρχικά την χημική επεξεργασία του μεταλλεύματος για να παραγωγή της αλουμίνας και δεύτερον την ηλεκτρολυτική αναγωγή της αλουμίνας σε λουτρό λυόμενων αλάτων για την τελική παραγωγή του καθαρού αλουμινίου. Συνοπτικά ο κύκλος παραγωγής ενός προϊόντος, του οποίου το υλικό κατασκευής είναι το αλουμίνιο απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα. Ακολούθως θα πραγματοποιηθεί μια πιο ενδελεχής ανάλυση και περιγραφή των σταδίων παραγωγής του αλουμινίου.



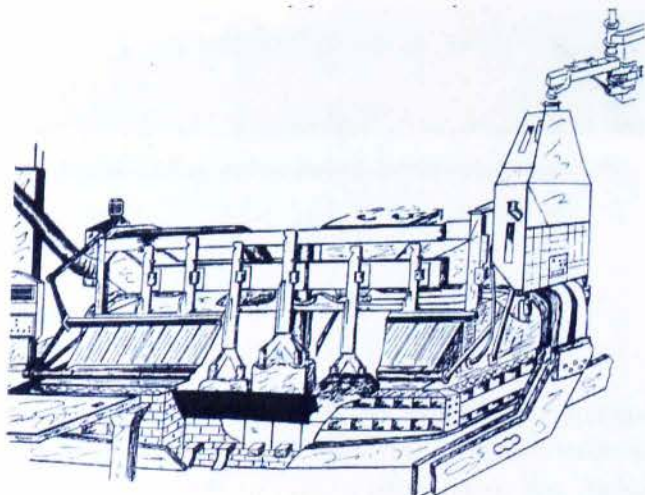
Εικόνα 2.3 Κύκλος παραγωγής αλουμινίου

2.4.1 Παραγωγή Αλουμίνας

Για να παρασκευηθεί της αλουμίνας απαιτείται ο κατακερματισμός του μεταλλεύματος και η επακόλουθη ξήρανση αυτού σε κατάλληλα διαμορφωμένους φούρνους και υπό θερμοκρασία, η οποία κυμαίνεται μεταξύ των 150 και 200°C. Στη συνέχεια το ξηρό πλέον υλικό προσβάλλεται με σόδα υπό πίεση, μέσα σε ερμητικά κλειστούς χαλύβδινους κλιβάνους, οι οποίοι θερμαίνονται με ατμό, και κατά αυτόν τον τρόπο μετατρέπεται εν τέλει σε αλουμίνα, η οποία ωστόσο περιέχει, σε σχετικά μικρή αναλογία, διάφορες ξένες προσμίξεις και σόδα. Πιο συγκεκριμένα, οι ξένες προσμίξεις, επειδή είναι αδιάλυτα στοιχεία, σχηματίζουν τις λεγόμενες «κόκκινες σκουριές» και αποβάλλονται με φιλτράρισμα, ενώ από την άλλη μεριά η σόδα διαχωρίζεται μέσω υδρόλυσης. Προτού πραγματοποιηθεί η μεταφορά της αλουμίνας σε ηλεκτρικούς φούρνους για την παραγωγή καθαρού αλουμινίου, θεωρείται ως απαραίτητη η απομάκρυνση εξ' αυτού ολόκληρης της ποσότητας του νερού που έχει προστεθεί στους διαχωριστήρες και ακολούθως την αβεστοποίηση αυτής μέσα σε κεκλιμένους περιστροφικούς φούρνους μήκους 80m.

2.4.2 Παραγωγή Αλουμινίου

Το αλουμίνιο παράγεται με ηλεκτρόλυση της αλουμίνας μέσα σε λουτρό λυόμενου κρυολίθου σε θερμοκρασία 1000°C. Ένα χαρακτηριστικό λουτρό ή λεκάνη ηλεκτρόλυσης απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα. Η χρήση κρυολίθου πραγματοποιείται για τη μείωση του σημείου τήξης της αλουμίνας από τους 2000° στους 1000°C. Η ηλεκτρόλυση πραγματοποιείται με τη σειρά της σε χαλύβδινους φούρνους τετραγωνικής διατομής, οι οποίοι φέρουν επένδυση από άνθρακα. Ακολουθώς, η διαλυμένη, μέσα σε λυόμενο κρυόλιθο, αλουμίνα σε θερμοκρασία περί των 950°C διαχωρίζεται, υπό την επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος σε αλουμίνιο και οξυγόνο. Το αλουμίνιο, ως μέταλλο εναποτίθεται στην κάθοδο ενώ το οξυγόνο στην άνοδο την οποία και καίει συγχρόνως. Η φόρτωση του λουτρού με αλουμίνα λαμβάνει χώρα πολλές φορές την ημέρα και σε αραιότερα διαστήματα με κρυόλιθο. Η τιμή της έντασης του ρεύματος κυμαίνεται μεταξύ των 10^4 και 10^5 A, ενώ η αντίστοιχη τιμή της τάσης μεταξύ των 5 και 7 V. Η λήψη του αλουμινίου γίνεται με αναρρόφηση δια μέσου ενός σωλήνα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με μια δεξαμενή συγκέντρωσης. Στη συνέχεια το αλουμίνιο χυτεύεται είτε σε σωλήνες τραπεζοειδούς μορφής, είτε σε πλάκες είτε ακόμη σε άλλες περιπτώσεις σε ράβδους στρογγυλής διατομής. Ενδεικτικά για την παραγωγή ενός τόνου αλουμινίου απαιτείται ηλεκτρική ισχύς 16000 KWh, ποσότητας 2 tn αλουμίνας και 0,5 tn ηλεκτροδίων.



Εικόνα 2.4 Λεκάνη παραγωγής αλουμίνας

Το ληφθέν αλουμίνιο μέσω αυτής της μεθόδου χαρακτηρίζεται με καθαρότητα της τάξεως του 99,5% και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται για τις συνήθεις βιομηχανικές εργασίες. Επιπροσθέτως για κατασκευές, κατά τις οποίες απαιτείται η καθαρότητα του αλουμινίου να είναι της τάξεως του 99,99%, τότε κρίνεται ως απαραίτητο το ραφινάρισμα αυτού, ενώ η συγκεκριμένη μέθοδος

καλείται ως μέθοδος των διαφορετικών στρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στη μέθοδο αυτή το λυόμενο αλουμίνιο, το οποίο ελήφθη μέσω της προηγούμενης μεθόδου εισάγεται στον πυθμένα μέσω μιας οπής. Ταυτόχρονα η διέλευση του ρεύματος μεταφέρει το λυόμενο αλουμίνιο από τον πυθμένα που αποτελεί την άνοδο, στην κάθοδο (τρίτο στρώμα) απ' όπου αντλείται, καθαρό πλέον κάθε δύο ή τρεις ημέρες. Αξίζει να τονισθεί ότι η διάφορα από τον προηγούμενο φούρνο έγκειται στο γεγονός ότι το τελικό προϊόν (καθαρό αλουμίνιο) βρίσκεται στην επιφάνεια και όχι στον πυθμένα λόγω διαφοράς του ειδικού βάρους.



Εικόνα 2.5 Εργοστάσιο μαζικής παραγωγής αλουμινίου

2.5 Ιδιότητες Αλουμινίου

Το αλουμίνιο είναι μετά τον χάλυβα, το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα βιομηχανικά μέταλλο. Αυτό οφείλεται στις πολύ καλές φυσικές και χημικές ιδιότητες που έχει και το χαμηλό ειδικό βάρος του. Ακόμη λόγω της υψηλής θερμικής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η οποία το χαρακτηρίζει ως υλικό, είναι σε θέση να υποκαταστήσει σε ορισμένες εφαρμογές το χαλκό, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι μονάχα ο άργυρος, ο χαλκός και ο χρυσός έχουν υψηλότερη. Τέτοιοι χαρακτηριστικοί τομείς είναι η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και η κατασκευή ηλεκτρολογικού υλικού. Το αλουμίνιο έχει ειδικό βάρος 2,7 και σημείο τήξης στους 658°C.

Ακόμη, όταν έρθει σε επαφή με διαβρωτικά υλικά (ποτάσα, σόδα κ.λπ.) δημιουργεί σημάδια , των οποίων το μέγεθος είναι δυσανάλογο της καθαρότητας αυτού, δηλαδή όσο καθαρότερο είναι το αλουμίνιο τόσο μικρότερες είναι και οι διαστάσεις των σημαδιών οξείδωσης. Για το λόγο αυτό στις χημικές βιομηχανίες και στις βιομηχανίες τροφίμων χρησιμοποιούμε κατά προτίμηση αλουμίνιο με καθαρότητα που κυμαίνεται μεταξύ του 99,5 και 99,99%. Επιπροσθέτως, το αλουμίνιο, όπως όλα σχεδόν τα μέταλλα, στην περίπτωση κατά την οποία έρθει σε επαφή με άλλα μέταλλα δημιουργεί σε συνδυασμό με την υπάρχουσα υγρασία, ηλεκτρόλυση, η οποία το διαβρώνει σε βάθος και το καθιστά ακατάλληλο. Τα μέταλλα, τα οποία με την επαφή τους με το αλουμίνιο, δημιουργούν ηλεκτρόλυση είναι η πλατίνα, ο χρυσός, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο άργυρος, ο χαλκός, ο ορείχαλκος, το νικέλιο, ο κασσίτερος και ο μόλυβδος. Από την άλλη μεριά, ο σίδηρος και ο χάλυβας το επηρεάζουν ελάχιστα ενώ το κάδμιο, ο ψευδάργυρος και το μαγνήσιο δεν έχουν καμιά επίδραση. Όταν δεν μπορούμε να αποφύγουμε την επαφή του με τα μέταλλα που το διαβρώνουν τότε το επαλείφουμε με ένα στρώμα μονωτικού βερνικιού.

2.6 Κράματα Αλουμινίου

Το αλουμίνιο διατίθεται σε μεγάλη ποικιλία κραμάτων. Η επιλογή του κατάλληλου κράματος γίνεται ανάλογα με την χρήση του τελικού προϊόντος και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις, καθώς και από την μέθοδο της παραγωγικής επεξεργασίας. Η δυνατότητα που έχει το αλουμίνιο, να επιτυγχάνει διαφορετικές ιδιότητες προκειμένου να καλύψει τις ειδικές απαιτήσεις κάθε προϊόντος, οφείλεται στο γεγονός της εύκολης δημιουργίας κραμάτων του. Με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων χημικών στοιχείων (π.χ. χαλκός, μαγνήσιο, πυρίτιο, μαγγάνιο, ψευδάργυρος, κλπ), μπορούμε να επιτύχουμε πρώτη ύλη αλουμινίου με τις επιθυμητές και κατάλληλες ιδιότητες για κάθε τύπο προϊόντος, και άμεσα την αντοχή του κράματος στην διάβρωση.

Στον παρακάτω πίνακα δίδονται τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των τυπικών βιομηχανικών κραμάτων αλουμινίου.

Κράματα αλουμινίου	Χαρακτηριστικά – Ιδιότητες
--------------------	----------------------------

Χαλκός (Cu)	Βελτίωση κατεργασίας - μηχανικής αντοχής
Σίδηρος (Fe)	Βελτίωση σκληρότητας - αντοχής, μείωση θερμικής ρηγμάτωσης κατά την χύτευση
Μαγγάνιο (Mn)	Κράμα περισσότερο όλκιμο και μαζί με σίδηρο έχουμε βελτίωση ικανότητας χύτευσης
Πυρίτιο (Si)	Αντοχή σε διαβρωση - βελτίωση χύτευσης
Μαγνήσιο (Mg)	Αύξηση μηχανικής αντοχής και αντιδιαβρωτικής ικανότητας, σε ποσοστό 6% επέρχεται σκλήρυνση
Ψευδάργυρος (Zn)	Μείωση ικανότητας χύτευσης

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου

Το παραγόμενο διεθνώς αλουμίνιο, χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- I. Το **κατεργάσιμο αλουμίνιο (wrought)** που έχει υποστεί έλαση η διέλαση η και άλλη μηχανική κατεργασία οδηγεί σε τελικά προϊόντα. Ο κύριος ρόλος των προσθηκών είναι η ενίσχυση της σκληρότητας (αντοχής σε θραύση).
- II. Το **χυτό αλουμίνιο (cast)**, που χρησιμοποιείται για την κατευθείαν παραγωγή τεμαχίων τελικών προϊόντων (χυτόπρεσες). Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιεί μεγαλύτερο ποσοστό προσθηκών από την προηγούμενη με βασικότερο στόχο την ευκολότερη χύτευση της τελικής μορφής.

Τα κράματα αλουμινίου που αφορούν στο κατεργασμένο αλουμίνιο (wrought aluminium) τυποποιούνται διεθνώς, ανάλογα με τα βασικά στοιχεία κραματοποίησης, στις παρακάτω σειρές.

Σειρά 1000: Κράματα με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο πάνω από 99%. Χαρακτηρίζεται από την υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και εύκολη μορφοποίηση. Οι μηχανικές αντοχές είναι σχετικά χαμηλές.

Σειρά 2000: Κράματα αλουμινίου – χαλκού. Έχουν αυξημένη τη μηχανική

αντοχή (σκληρότητα) και για αυτό προτιμάται στις κατασκευές. Η ευαισθησία όμως των κραμάτων αυτών στη διάβρωση είναι σημαντική και γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προστασία, όταν χρησιμοποιείται σε επιθετικό περιβάλλον.

Σειρά 3000: Κράματα αλουμινίου – μαγγανίου. Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς αυτής είναι η εύκολη μορφοποίηση, η καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση, η ευκολία συγκόλλησης.

Σειρά 4000: Κράματα αλουμινίου – πυριτίου. Η παρουσία του πυριτίου ελαττώνει το σημείο τήξης των κραμάτων της κατηγορίας αυτής. Το γεγονός αυτό, καθιστά τα κράματα αυτά κατάλληλα για χρήση ως ηλεκτρόδια πλήρωσης σε εργασίες συγκόλλησης κομματιών αλουμινίου.

Σειρά 5000: Κράματα αλουμινίου – μαγνησίου. Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων αυτών είναι η πολύ καλή συγκολλησιμότητα, η καλή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες, η πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά σε θαλάσσιο περιβάλλον και οι μέσες μηχανικές αντοχές.

Σειρά 6000: Κράματα αλουμινίου – μαγνησίου – πυριτίου. Αποτελούν κράματα που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στη διέλαση προφίλ αλουμινίου. Τα κράματα χυτεύσεως θεωρούνται ότι αντέχουν σε διαβρωτικό περιβάλλον.

Σειρά 7000: Κράματα αλουμινίου – ψευδαργύρου – μαγνησίου. Ο ψευδάργυρος και το μαγνήσιο είναι τα κύρια κραματοποιά στοιχεία. Τα κράματα αυτά επιτυγχάνουν τις μεγαλύτερες μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου.

Σειρά 8000: Διάφορα κράματα αλουμινίου (λιθίου, σιδηρούχα κ.ά.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μαγνήσιο

3.1 Εισαγωγή

Το Μαγνήσιο είναι το χημικό στοιχείο, το οποίο όσον αφορά την ποσότητά του είναι το έβδομο κατά μάζα και το όγδοο κατά μοριακή συγκέντρωση πιο άφθονο στο φλοιό της Γης. Η υψηλή διαθεσιμότητά του έγκειται στα μεγάλα αποθέματα μαγνησίτη, δολομίτη και των άλλων ορυκτών και μεταλλικών νερών από τα οποία είναι δυνατή η παραγωγή του. Ωστόσο παρόλο του γεγονότος ότι ποσότητα μαγνησίου βρέθηκε σε περισσότερα από 60 ορυκτά, μονάχα ο δολομίτης, ο μαγνησίτης, ο βρουσίτης, ο καρναλλίτης, ο τάλκης και ο ολιβίνης έχουν εμπορική σημασία.

Όσον αφορά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες, το Μαγνήσιο βρίσκεται στην δεύτερη ομάδα του περιοδικού συστήματος (IIA), δηλαδή ανήκει στις αλκαλικές γαίες, και ταυτόχρονα στην 3^η περίοδο αυτού καθιστώντας έτσι στην ομάδα των στερεών στοιχείων (s). Ο ατομικός αριθμός αυτού ισούται με 12, ενώ το σημείο τήξης είναι στους 650 °C, το σημείο βρασμού αντιστοίχως στους 1091 °C και η πυκνότητά του ισούται με 1739 kg/m³.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι, το μαγνήσιο ως ελεύθερο στοιχείο δεν βρίσκεται στη Γη, επειδή είναι πολύ δραστικό όταν παράγεται, αν και όταν εκτίθεται στην ατμόσφαιρα επικαλύπτεται με ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του (MgO) που προστατεύει το εσωτερικό του από την παρά πέρα οξείδωση και γενικά περιορίζει κάπως τη δραστηότητά του. Με την έκθεσή του ωστόσο σε καθαρό οξυγόνο (O₂) αναφλέγεται εκπέμποντας χαρακτηριστικό έντονο φως, καθιστώντας το ένα χρήσιμο συστατικό για φωτοβολίδες και πυροτεχνήματα. Το μέταλλο πλέον παράγεται κυρίως με ηλεκτρόλυση αλάτων του, τα οποία παραλαμβάνονται από τη θαλάσσια άλμη και από το δολομίτη. Η κύρια εμπορική χρήση του είναι να σχηματίζει κράματα με το αλουμίνιο (Al), και για αυτό το λόγο μάλιστα συχνά ονομάζονται «μαγνάλια» ή «μαγνήλια» (magnalium ή magnelium). Επειδή το μαγνήσιο έχει μικρότερη πυκνότητα από το αλουμίνιο (Al) τα κράματα αυτά είναι προικισμένα με σχετικά μεγάλη ελαφρότητα και αντοχή.

Στην όψη είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο. Επιπροσθέτως αποτελεί εξαιρετικά σημαντικό αντιδραστήριο για τη συνθετική Οργανική Χημεία, γιατί αποτελεί τη βάση των οργανομαγνησιακών ενώσεων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη πληθώρα συνθετικών εφαρμογών.

3.2 Προέλευση

Η βιομηχανία του μαγνησίου είναι προγενέστερη από αυτή του αλουμινίου. Συγκεκριμένα το 1808 ο Βρετανός Humphrey παρασκεύασε ένα κράμα μαγνησίου με ηλεκτρολυτική μέθοδο. Πολύ αργότερα το 1857 ο Γάλλος Deville κατόρθωσε μετά από πολύχρονες έρευνες να το απομονώσει σε καθαρή μορφή εξάγοντας το από χλωριούχες ενώσεις. Η σύγχρονη βιομηχανική μέθοδος εξαγωγής του μαγνησίου επινοήθηκε από δύο Γερμανούς επιστήμονες στα 1885 οι οποίοι το απομόνωσαν από το κυριότερο μέταλλευμα του που είναι ο καρναλίτης.



Εικόνα 3.1 Μέταλλευμα Καρναλίτη

3.3 Μεταλλουργία

Το μαγνήσιο δεν βρίσκεται στην φύση σε καθαρή μορφή αλλά εξάγεται από μεταλλεύματα Δολομίτη και Καρναλίτη. Τα μεταλλεύματα αυτά τήκονται στους 750°C περίπου και διαχωρίζονται με ηλεκτρόλυση. Το μαγνήσιο επειδή είναι ελαφρότερο επιπλέει και συλλέγεται ενώ οι χλωριούχες ενώσεις εναποτίθενται στο θετικό ηλεκτρόδιο. Στη συνέχεια εξευγενίζεται και παρουσιάζει καθαρότητα 99,5%.



Εικόνα 3.2 Παράδειγμα εφαρμογής μαγνησίου (Ελαιολεκάνη-καρτερ)

3.4 Ιδιότητες Μαγνησίου

Το μαγνήσιο είναι ένα μέταλλο στιλπνό, όπως ο άργιλος, ελαφρώς ελατό και όλκιμο. Δεν οξειδώνεται στον ξηρό αέρα αλλά θαμπώνει και καλύπτεται από ένα προστατευτικό σώμα οξειδίου στον αέρα με υγρασία. Το ειδικό βάρος του είναι 1,74, και σημείο τήξης στους 650°C.

Η ιδιότητά του να ενώνεται χημικά με το οξυγόνο περισσότερο από κάθε άλλο μέταλλο, το κάνει να είναι ένα πολύ ενεργητικό αποξειδωτικό στοιχείο. Θερμαινόμενο σε θερμοκρασία τήξης αναφλέγεται παράγοντας ένα εκτυφλωτικό φως και μια πολύ σημαντική έκλυση θερμότητας (3000°C). Αντίθετα από ότι συμβαίνει με το αλουμίνιο, το μαγνήσιο δεν προσβάλλεται από τη σόδα και την ποτάσσα.

3.5 Κυριότερα Κράματα Μαγνησίου

Τα κράματα μαγνησίου είναι εξαιρετικά χρήσιμα σε ποικίλες εφαρμογές κυρίως λόγω της δυνατότητας, τα οποία τα χαρακτηρίζει για την παραγωγή και τη δημιουργία κατασκευών και προϊόντων τόσο μειωμένου βάρους αλλά ταυτοχρόνως ικανοποιητικής αντοχής εξαιτίας του υψηλού λόγου αντοχής προς το βάρος, τα οποία χαρακτηρίζει.

Ωστόσο εξαιτίας της τάσης των κραμάτων του μαγνησίου ως προς την οξείδωση, την ευφλεκτότητα και του ερπυσμού τους λόγω υψηλών

θερμοκρασιών, η κατανάλωση αυτών εν αντιθέσει με τα κράματα του αλουμινίου είναι 50 φορές μικρότερη, από στατιστικά στοιχεία για το 2013. Για αυτό το λόγο παρατηρείται μια συνεχής προσπάθεια ως προς την έρευνα και την ανάπτυξη νέων κραμάτων.

Πιο συγκεκριμένα με την προσθήκη σκανδίου και γαδολινίου επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής του μαγνησίου ως προς τον ερπυσμό λόγω καταπόνησης υπό υψηλά θερμικά φορτία. Ακόμη με την προσθήκη μικρής ποσότητας ασβεστίου είναι δυνατή η μείωση της αναφλεξιμότητας αυτού. Η παρουσία σιδήρου, νικελίου, χαλκού και κοβαλτίου είναι σε θέση να αύξηση τις εστίες διάβρωσης του μαγνησίου, κυρίως εξαιτίας αφενός της χαμηλής διαλυτότητάς τους (μετά από κάποιο ποσοστό τα στοιχεία αυτά συμπεριφέρονται ως διμεταλλικές ενώσεις) και αφετέρου της τάσης τους να δρουν ως καθοδικά στοιχεία, τα οποία μειώνουν την ποσότητα του νερού, προκαλώντας κατά αυτόν τον τρόπο τη μείωση του μαγνησίου. Έτσι μειώνοντας το ποσοστό των στοιχείων αυτών στην εκάστοτε ένωση επιφέρει να βελτιώσει τα αντιδιαβρωτικά στοιχεία του κράματος. Αυτό είναι σε θέση να επιτευχθεί με την προσθήκη επαρκούς ποσότητας μαγγανίου (Mn), το οποίο είναι σε θέση να υπερνικήσει τα διαβρωτικά στοιχεία του σιδήρου.

Τα συνηθέστερα κράματα μαγνησίου, τα οποία συναντώνται είναι τα εξής:

- Κράματα Μαγνησίου-Αλουμινίου-Ψευδαργύρου (Mg-Al-Zn). Οι προσθήκη αλουμινίου (Al) και ψευδαργύρου (Zn) στο μαγνήσιο οδηγούν στη σκλήρυνση του κράματος (με κατακρήμνιση).
- Κράματα Μαγνησίου- ζirkονίου-θορίου (Mg-Zr-Th). Η προσθήκη ζirkονίου (Zr) βοηθά στη μείωση του μεγέθους των κόκκων, ενώ η προσθήκη θορίου (Th), καθώς και σπανίων γαιών (Ce, La), αυξάνει την αντοχή του υλικού σε ερπυσμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τιτάνιο

4.1 Εισαγωγή

Το χημικό στοιχείο τιτάνιο (titanium) είναι ένα αρκετά ανθεκτικό, αργυρόλευκο, όλκιμο μέταλλο μικρής πυκνότητας, το οποίο ανήκει στην κατηγορία των ελαφρών μετάλλων. Ο ατομικός αριθμός του είναι 22 και η σχετική ατομική μάζα αυτού 47,867. Το χημικό του σύμβολο είναι "Ti" και ανήκει στην ομάδα IVA του περιοδικού συστήματος, στην 4^η περίοδο και στην 1^η κύρια σειρά των στοιχείων μετάπτωσης. Επίσης η θερμοκρασία τήξης έχει τιμή 1668°C και η θερμοκρασία βρασμού 3287 C.

Όσον αφορά στη διαθεσιμότητά του και στην ευχέρεια παραγωγής του, το τιτάνιο είναι το 9^ο πιο άφθονο στοιχείο και αποτελεί περίπου το 0,6% w/w του στερεού φλοιού της Γης. Επιπροσθέτως είναι σε θέση να βρεθεί σχεδόν σε όλα τα έμβια όντα, τα πετρώματα, τα υδατικά συστήματα και τα εδάφη. Αφθονότερα από το Ti είναι κατά φθίνουσα σειρά τα χημικά στοιχεία οξυγόνο, πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρος, ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο

Εμφανίζεται στη φύση πάντα ενωμένο και στα ορυκτά του υπάρχει συνήθως οξυγόνο αλλά και διαφόρων ειδών μέταλλα, όπως αλκαλιμέταλλα, μέταλλα αλκαλικών γαιών, σίδηρος, μαγγάνιο, χαλκός, πυρίτιο κ.ά. Τα κυριότερα ορυκτά από τα οποία και εξάγεται είναι το ρουτίλιο (TiO₂) και ο ιλμενίτης (Fe⁺⁺TiO₃) που είναι πολύ διασπαρμένα σε όλη τη Γη. Επίσης εξάγεται και από το λευκόξενο. Επιπλέον, σκουριά (scrap) υψηλής περιεκτικότητας σε TiO₂ (75% έως 85%) παράγεται από τον ιλμενίτη στον Καναδά, τη Νορβηγία και τη Δημοκρατία της Νοτίου Αφρικής. Από τα άλλα ορυκτά του τιτανίου λίγα έχουν βιομηχανικό ενδιαφέρον και τα κυριότερα είναι ο μπρουκίτης και ο ανατάσης και τα δύο με την ίδια χημική σύσταση, οξείδιο του τιτανίου (IV), TiO₂, αλλά διαφορετικά συστήματα κρυστάλλωσης, ο περοβσκίτης, CaTiO₃, ο τιτανίτης, CaTiSiO₅ κ.ά. Οι κυριότερες χώρες παραγωγής ιλμενίτη από ορυχεία είναι η Αυστραλία, η Νότια Αφρική, η Κίνα, ο Καναδάς. Ρουτίλιο από ορυχεία εξορύσσεται κυρίως στην Αυστραλία, στη Νότια Αφρική, στη Σιέρα Λεόνε και στην Ουκρανία. Σπογγώδες τιτάνιο παρήγαγαν κυρίως η Κίνα, η Ιαπωνία, η Ρωσία και το Καζακστάν, ενώ λευκή χρωστική παράγουν κυρίως οι Η.Π.Α. και η Κίνα.



Εικόνα 4.1 Ορυκτό Τιτανίου

4.2 Ιστορία του Τιτανίου

Το τιτάνιο ανακαλύφθηκε σαν κράμα μετάλλου από τον William Gregor, έναν ερασιτέχνη γεωλόγο, στην Κορνούαλλη, στην Αγγλία το 1791. Ο Gregor παρατήρησε την παρουσία ενός νέου στοιχείου μέσα στον ιλμενίτη, όταν ανακάλυψε μαύρη άμμο στην κοντινή κοινότητα του Μάνακαν, η οποία ελκυόταν από μαγνήτη. Η ανάλυση της άμμου καθόρισε την παρουσία δύο ισχυρών οξειδίων, του οξειδίου του σιδήρου (που εξηγεί την έλξη στον μαγνήτη) και ένα ποσοστό 45,45% που αποτελούνταν από ένα άσπρο μεταλλικό οξείδιο, το οποίο δεν μπορούσε να προσδιορισθεί. Ο Gregor, αντιλαμβανόμενος ότι το μη αναγνωρισμένο οξείδιο, περιείχε ένα μέταλλο που δεν ταίριαζε με τις ιδιότητες οποιουδήποτε άλλου γνωστού στοιχείου μέχρι τότε, εξέθεσε τα συμπεράσματά του στην << Βασιλική Γεωλογική κοινότητα >> της Κορνούαλλης και στο γερμανικό επιστημονικό περιοδικό Annalen Grell.

Περίπου την ίδια χρονική περίοδο, ο Franz Jozeph Muller, παρήγαγε μια παρόμοια ουσία, την οποία επίσης δεν μπορούσε να προσδιορίσει. Το οξείδιο (TiO_2) ανακαλύφθηκε πάλι, ανεξάρτητα το 1795 από τον γερμανό φαρμακοποιό Martin Heinrich Klaproth, σαν ορυκτό στην Ουγγαρία. Ο Klaproth διαπίστωσε ότι περιείλαβε ένα νέο στοιχείο και το ονόμασε τιτάνιο από τους μυθικούς Τιτάνες, τους γιους τη θεάς Γης. Αφού πληροφορήθηκε για την προηγούμενη ανακάλυψη του Gregor, έλαβε ένα δείγμα από το Μάνακαν

και επιβεβαίωσε ότι περιείχε τιτάνιο.

Οι διαδικασίες που απαιτούνται για να εξαχθεί το τιτάνιο από τα διάφορα μεταλλεύματά του είναι οι επίπονες και δαπανηρές, δεν είναι δυνατόν να αναχθεί με τον κοινό τρόπο, δηλαδή με θέρμανση παρουσία άνθρακα επειδή αυτός παράγει καρβίδιο του τιτανίου. Καθαρό μεταλλικό τιτάνιο (καθαρότητας 99,9%) παράχθηκε αρχικά το 1910 από τον Matthew A.Hunter, μέσω της θέρμανσης τετραχλωρίδιου του τιτανίου ($TiCl_4$) με νάτριο (N) μέσα σε ένα χαλύβδινο δοχείο πίεσεως στους 700-800°C. Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε μέθοδος Hunter. Το μέταλλο τιτανίου δεν χρησιμοποιείται εκτός εργαστηρίου μέχρι το 1946, έτος κατά το οποίο ο William Justin Kroll απέδειξε ότι θα μπορούσε να παραχθεί εμπορικά με την αναγωγή του τετραχλωριδίου του τιτανίου ($TiCl_4$) με μαγνήσιο (Mg). Η μέθοδος αυτή με τη σειρά της μετονομάστηκε σε μέθοδο Kroll.

Αν και η έρευνα συνεχίζεται για να βρεθούν αποδοτικότερες και λιγότερο δαπανηρές διαδικασίες η διαδικασία Kroll χρησιμοποιείται ακόμα για την εμπορική παραγωγή του τιτανίου.

Τιτάνιο πολύ υψηλής καθαρότητας παράχθηκε σε μικρές ποσότητες όταν οι Anton Eduard van Arkel and Jan Hendrik de Boer ανακάλυψαν την ιωδική μέθοδο το 1925. η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την αντίδραση με ιώδιο και τη μετατροπή των σχηματιζόμενων ατμών πάνω από ένα πυρακτωμένο νημάτιο σε καθαρό μέταλλο.

Τις δεκαετίες του '50 και '60, η Σοβιετική Ένωση καινοτόμησε χρησιμοποιώντας το τιτάνιο στις στρατιωτικές και στις υποβρύχιες εφαρμογές, ως τμήμα προγραμμάτων σχετικών με τον ψυχρό πόλεμο. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1950, το τιτάνιο άρχισε να χρησιμοποιείται εκτενώς για στρατιωτικούς λόγους και κυρίως σε εφαρμογές αεροναυπηγικής, ιδιαίτερα σε υψηλής απόδοσης αεριοθούμενα, αρχίζοντας από τα αεροσκάφη όπως το F100 Super Sabre and Lockheed A-12.

Στις ΗΠΑ, το Υπουργείο Άμυνας αντιλήφθηκε από νωρίς τη στρατηγική σημασία αυτού του μετάλλου και υποστήριξε τις πρόωρες προσπάθειες για την εμπορευματοποίηση του. Κατά τη διάρκεια της περιόδου του ψυχρού πολέμου, το τιτάνιο θεωρήθηκε στρατηγικό υλικό από την Αμερικανική κυβέρνηση, και ένα μεγάλο απόθεμα σπογγοειδούς τιτανίου διατηρήθηκε από το Κέντρο Εθνικών Αμυντικών Αποθεμάτων, το οποίο μειώθηκε τελικά το 2005.

Σήμερα, ο μεγαλύτερος παραγωγός σε παγκόσμιο επίπεδο, η ρώσικη εταιρία VSMPO – Avisma, υπολογίζεται ότι κατέχει περίπου το 29% του μεριδίου της παγκόσμιας αγοράς.

Το 2006, το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α. βράβευσε με 5,7 εκατομμύρια δολάρια μια κοινοπραξία δύο επιχειρήσεων για να αναπτύξουν μια νέα

διαδικασία για την παραγωγής μεταλλικής σκόνης τιτανίου. Κάτω από θερμότητα και πίεση, η σκόνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ισχυρά και ελαφριά στοιχεία, και χρησιμοποιείται σε μεγάλη γκάμα εφαρμογών, από επενδύσεις τεθωρακισμένων μέχρι αεροδιαστημικά εξαρτήματα, μέσα μεταφοράς και χημικές βιομηχανίες επεξεργασίας.

Συνοψίζοντας, το τιτάνιο μπορεί να θεωρηθεί σχετικά νέο υλικό για την εφαρμοσμένη μηχανική. Ανακαλύφθηκε πολύ αργότερα από τα υπόλοιπα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα μέταλλα, ενώ η εμπορική του εφαρμογή αρχίζει προς το τέλος της δεκαετίας του 1940.

4.3 Χαρακτηριστικά & ιδιότητες του τιτανίου

Το τιτάνιο είναι ένα γυαλιστερό μέταλλο, με χρώμα άσπρο-αργυροειδές. Στον περιοδικό πίνακα συμβολίζεται με Ti και έχει ατομικό αριθμό 22. Είναι ελαφρύ και ταυτοχρόνως ισχυρό μέταλλο με χαμηλή πυκνότητα, διαθέτοντας εξαιρετική σχέση δύναμης έναντι του βάρους του. Το τιτάνιο σε καθαρή μορφή παρουσιάζει πολύ καλή ολκιμότητα.

Όνομα, σύμβολο, ατομικός αριθμός	Τιτάνιο, Ti, 22
Χημική σειρά	Μεταβατικό μέταλλο
Ομάδα, περίοδος, τμήμα	4, 4, d
Εμφάνιση	Άσπρο – αργυρό χρώμα
Ατομικό βάρος	47,867 gmol ⁻¹
Διάταξη ηλεκτρονίων	[Ar] 3d ² 4s ²
Ηλεκτρόνια ανά κυψελίδα	2, 8, 10, 2

Πίνακας 4.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά Τιτανίου

Οι εμπορικές κατηγορίες του τιτανίου, οι οποίες έχουν καθαρότητα σε ποσοστό 99,2 %, παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή (για Grade 1-4) από 345 έως 540 MPa σε σύγκριση με την αντοχή ενός κοινού χάλυβα, η αντοχή του οποίου κυμαίνεται στα 210 MPa.

Ορισμένα κράματα τιτανίου παρουσιάζουν αντοχή που ξεπερνά 1000 MPa. Επίσης, το τιτάνιο είναι 60% βαρύτερο από το αλουμίνιο, αλλά δύο φορές πιο ισχυρό απ' το σύνηθες χρησιμοποιούμενο κράμα αλουμινίου 6061-T6. Παρόλα

αυτά, το τιτάνιο χάνει την αντοχή του όταν θερμανθεί πάνω από τους 430 °C.

Φυσικές ιδιότητες Τιτανίου	
Φάση	Στερεό
Πυκνότητα	4.506 g•cm ⁻³
Πίεση υγρού σε m.p.	4.11 g•cm ⁻³
Σημείο τήξης	1941 K (1668°C, 3034°F)
Σημείο βρασμού	3560 K (3287°C, 5949°C)
Θερμότητα τήξης	14.15 kJ•mol ⁻¹
Θερμότητα εξάτμισης	425 kJ•mol ⁻¹
Θερμοχωρητικότητα	(25o C) 25.060 J•mol ⁻¹ •K ⁻¹
Μαγνητική ικανότητα	Παραμαγνητικό
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	(20 O C) 0.420 μΩ · m
Θερμική αγωγιμότητα	(300K) 21.9W•m ⁻¹ •K ⁻¹
Θερμική διαστολή	(25 ° C) 8,6 μm · m ⁻¹ · K ⁻¹
Ταχύτητα ήχου	(r.t.) 5090m•s ⁻¹
Μέτρο ελαστικότητας	116 GPa
Μέτρο διάτμησης	44 GPa
Λόγος Poisson	0,32
Σκληρότητα κατά Mohs	6.0
Σκληρότητα κατά Vickers	970 MPa
Σκληρότητα κατά Brinell	716 MPa

Πίνακας 4.2 Φυσικές ιδιότητες τιτανίου

Τέλος, ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του τιτανίου είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα 21.9 W•m⁻¹•K⁻¹ σε σύγκριση με την θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα που είναι περίπου 80 W•m⁻¹•K⁻¹. Η ιδιότητα αυτή αποτελεί βασική αιτία για τη δυσκολία μηχανουργικής κατεργασίας του τιτανίου καθιστώντας το τιτάνιο ως ένα εξαιρετικά δυσκολοκατέργαστο υλικό.

Το τιτάνιο συναντάται σε δύο κρυσταλλικές δομές: την εξαγωνική μέγιστης πυκνότητας (α-Ti) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και την χωροκεντρομένη κυβικού πλέγματος δομή (β-Ti), η οποία σχηματίζεται περίπου στη

θερμοκρασία των 890 °C και είναι σταθερή μέχρι και την θερμοκρασία τήξης. Τέλος, στη φύση το τιτάνιο συναντιέται ως μίγμα πέντε σταθερών ισοτόπων του, τα οποία είναι: 46Ti (7,95%), 47Ti (7,75%), 48Ti (73,45%), 49Ti (5,51%), 50Ti (5,34%). Είναι επίσης γνωστός και ένας σημαντικός αριθμός τεχνητών ραδιοϊσοτόπων του.

4.4 Μέταλλο τιτανίου – Τα κράματα και οι ενώσεις του

4.4.1 Βασικές πτυχές της μεταλλουργίας του τιτανίου

Η ποικιλομορφία της μικροδομής των κραμάτων του τιτανίου είναι αποτέλεσμα του αλλοτροπικού φαινομένου. Το τιτάνιο υποβάλλεται σε έναν αλλοτροπικό μετασχηματισμό στους 882°C. Κάτω από αυτήν την θερμοκρασία, παρουσιάζει εξαγωνική μέγιστης πυκνότητας κρυσταλλική δομή (hcp) γνωστή ως φάση α, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες έχει κυβική χωροκεντρομένη δομή (bcc), γνωστή ως φάση β. Η τελευταία παραμένει σταθερή μέχρι και το σημείο τήξης στους 1670°C. Δεδομένου ότι το τιτάνιο είναι ένα μέταλλο μετάπτωσης, με μια μη συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα ηλεκτρονίων, μπορεί να σχηματίσει στερεά διαλύματα με διάφορα στοιχεία και ως εκ τούτου, η θερμοκρασία ισορροπίας των φάσεων α & β μπορεί να τροποποιηθεί.

4.4.2 Στοιχεία Κραμάτωσης

Τα στοιχεία κραμάτωσης του τιτανίου κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες:

Στους α-σταθεροποιητές, στους β-σταθεροποιητές και στα ουδέτερα. Ενώ στοιχεία που αναφέρονται ως α-σταθεροποιητές οδηγούν σε μια αύξηση της θερμοκρασίας αλλοτροπικού μετασχηματισμού, τα στοιχεία που κατατάσσονται στους β-σταθεροποιητές προκαλούν μείωση της θερμοκρασίας μετασχηματισμού. Όταν ένας ευηκτικός μετασχηματισμός πραγματοποιείται, αυτός ο β-σταθεροποιητής ονομάζεται ευηκτικός β-σταθεροποιητής, διαφορετικά, καλείται ισόμορφος β-σταθεροποιητής. Εάν δεν παρατηρηθεί καμία σημαντική αλλαγή στην θερμοκρασία αλλοτροπικού μετασχηματισμού, το στοιχείο κραμάτωσης ορίζεται ως ουδέτερο στοιχείο.

Κατά συνέπεια, είναι δυνατό τα κράματα του τιτανίου να έχουν μια τεράστια ποικιλομορφία στις συνθέσεις. Μεταξύ των στοιχείων α-σταθεροποιητών είναι τα μέταλλα των ομάδων IIIA & IVA (Al & Ga) και τα στοιχεία C, N και O.

Αντίθετα, τα στοιχεία β-σταθεροποιητών περιλαμβάνουν τα στοιχεία μετάβασης (V, Ta, Nb, Mo, Mg, Cu, Cr και Fe) και τα ευγενή μέταλλα.

Προσθήκη στοιχείων α και β-σταθεροποιητών στο τιτάνιο εμφανίζουν περιοχές στο αντίστοιχο διάγραμμα φάσεων ισορροπίας, όπου οι φάσεις α και β μπορούν να συνυπάρξουν. Τα κράματα τιτανίου παρουσιάζουν ποικίλες ιδιότητες, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τη χημική σύνθεση και τη μεταλλουργική κατεργασία. Σύμφωνα με τη φύση της μικροδομής τους, τα κράματα του τιτανίου μπορούν να διακριθούν σε α κράματα, β κράματα και α + β κράματα.

Τα άλφα κράματα (α) του τιτανίου διαμορφώνονται ειδικά από το καθαρό, εμπορικό τιτάνιο, ενώ κράματα που σχηματίζονται με στοιχεία α-σταθεροποιητών και τα οποία παρουσιάζουν μόνο τη φάση α, εμφανίζονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέτοια κράματα παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση στον ερπυσμό και έτσι είναι κατάλληλα για εφαρμογές σε υψηλές θερμοκρασίες. Δεδομένου ότι καμία ασταθής φάση δεν παραμένει μετά την ψύξη από υψηλή θερμοκρασία, καμία σημαντική τροποποίηση, από την άποψη της μικροδομής και των μηχανικών ιδιοτήτων, δεν είναι δυνατή χρησιμοποιώντας θερμικές επεξεργασίες σε κράματα αυτού του τύπου. Όσον αφορά τις μηχανικές και μεταλλουργικές ιδιότητες, τα κράματα α παρουσιάζουν ένα λογικό επίπεδο μηχανικής αντοχής, υψηλούς συντελεστές ελαστικότητας, αντοχή στη θραύση και χαμηλή ικανότητα σφουρηλάτησης, γεγονός που οφείλεται στη κρυσταλλική δομή hcp.

Τα βήτα κράματα (β) του τιτανίου λαμβάνονται όταν ένα υψηλό ποσοστό στοιχείων των β-σταθεροποιητών προστίθενται στο τιτάνιο, τα οποία μειώνουν τη θερμοκρασία του αλλοτροπικού μετασχηματισμού του τιτανίου. Εάν το ποσοστό των β-σταθεροποιητών είναι αρκετά υψηλό για να μειώσει τη θερμοκρασία έναρξης του μαρτενιτικού μετασχηματισμού (MS), σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από τη θερμοκρασία δωματίου, ο σχηματισμός πυρήνα και η αύξηση της φάσης α θα είναι πολύ περιορισμένη, και ως εκ τούτου, η μετασταθής φάση β διατηρείται στη θερμοκρασία δωματίου με την επίδραση γρήγορης ψύξης. Αυτός ο τύπος κράματος τιτανίου μπορεί να υποστεί θερμική επεξεργασία βελτιώνοντας τις μηχανικές του ιδιότητες. Σε μερικές περιπτώσεις, ανάλογα με τις παραμέτρους σύνθεσης και θερμικής επεξεργασίας, η καθίζηση της φάσης ω είναι πιθανή. Εντούτοις, η φάση ω μπορεί να προκαλέσει θραύση του κράματος τιτανίου και, γενικά πρέπει να αποφεύγεται.

Τέλος, τα κράματα α + β περιλαμβάνουν στοιχεία κραμάτωσης με αρκετούς α και β σταθεροποιητές για να επεκτείνουν τον τομέα α + β μέχρι τη θερμοκρασία δωματίου. Ο συνδυασμός των φάσεων α και β επιτρέπει να ληφθεί μια βέλτιστη και ισορροπημένη κατάσταση ιδιοτήτων. Τα

χαρακτηριστικά και των δύο φάσεων α και β μπορούν να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις με την εφαρμογή των κατάλληλων θερμικών και θερμομηχανικών επεξεργασιών. Μια σημαντική ανομοιογένεια όσο αφορά τις μικροδομές μπορεί να προκύψει όταν συγκρίνονται με τα κράματα τύπου α . Το κράμα Ti-6Al-4V είναι ένα κράμα τύπου $\alpha + \beta$. Λόγω της μεγάλης του διαθεσιμότητας, την πολύ καλή κατεργασιμότητα και άριστη μηχανική του συμπεριφορά στις χαμηλές θερμοκρασίες, είναι το πιο κοινό και διαδεδομένο κράμα τιτανίου.

Όπως και στην περίπτωση του σιδήρου (χάλυβες), ο αλλοτροπικός μετασχηματισμός είναι ο κύριος λόγος για την τεράστια ποικιλία στις μικροδομές των κραμάτων του τιτανίου. Οι μικροδομές των κραμάτων του τιτανίου χαρακτηρίζονται από σταθερές και ασταθείς φάσεις. Γενικά, για περιορισμένη περιεκτικότητα σε β -σταθεροποιητές και ανάλογα με τις συνθήκες ψύξης, τα κράματα του τιτανίου παρουσιάζουν μόνο τις φάσεις α και β . Εντούτοις, εάν η θερμοδυναμική ισορροπία δεν επιτευχθεί, οι ασταθής φάσεις μπορεί να διατηρηθούν και στη θερμοκρασία δωματίου, κυρίως, μαρτενσιτικές και φάσεις τύπου ω . Επίσης, όπως έχει αναφερθεί από διάφορους επιστήμονες, κράματα τιτανίου με στοιχεία β -σταθεροποιητών όπως τα Mo, Nb, Ta και V, μπορούν να διαμορφώσουν δύο τύπους μαρτενσιτικών δομών. Εάν η περιεκτικότητα σε β -σταθεροποιητές θεωρείται χαμηλή, η ταχεία ψύξη οδηγεί στο σχηματισμό δομής του εξαγωνικού μαρτενσίτη, που ονομάζεται α' . Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν η περιεκτικότητα είναι υψηλή, ο μαρτενσίτης α' υφίσταται μια παραμόρφωση, χάνει τη συμμετρία του και αντικαθίσταται από τον ορθορομβικό μαρτενσίτη, που συμβολίζεται με α'' .

Όταν τα κράματα του τιτανίου με στοιχεία β -σταθεροποιητών υποβάλλονται σε ταχεία ψύξη από υψηλή θερμοκρασία, η φάση β μπορεί να μετασχηματιστεί είτε σε μαρτενσιτικές δομές είτε τελικά στη μεταβατική φάση ω .

Η καθίζηση της φάσης ω εμφανίζεται σε περιορισμένο εύρος των στοιχείων κραμάτωσης και μπορεί να προκύψει κατά τη διάρκεια της ψύξης από υψηλή θερμοκρασία (β φάση), θερμικά προσδιοριζόμενη έτσι φάση ω . Εντούτοις, η φάση ω μπορεί επίσης να διαμορφωθεί μετά από γήρανση μιας ταχείας ψύξεως δομής, σε μεσαίες θερμοκρασίες, με συνέπεια την δημιουργία ισόθερμης φάσης ω .

4.4.3 Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων

Η μηχανική συμπεριφορά των κραμάτων του τιτανίου συσχετίζεται άμεσα με τη σύνθεση τους και κυρίως, με την θερμομηχανική επεξεργασία. Στον

παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα κυριότερα κράματα τιτανίου καθώς και η χρήση αυτών και στον επόμενο πίνακα αναγράφεται η χημική σύσταση και η μηχανική αντοχή κάθε κράματος.

Κατηγορία	Χαρακτηριστικά
Βαθμός 1	Ανόθευτο τιτάνιο. Κύρια χρήση σε εναλλάκτες θερμότητας, αεροσκάφη, σε συστήματα αφαλάτωσης και θαλάσσια τμήματα, ανόδους λευκόχρυσου. Παρουσιάζει υψηλή σχηματιστικότητα.
Βαθμός 2	Ανόθευτο τιτάνιο. Χρήση σε τμήματα αεροσκαφών, μηχανές αεροσκαφών, θαλάσσια εξαρτήματα, σε χημικές βιομηχανίες, σε εναλλάκτες θερμότητας, σε συμπυκνωτές. Καλός συνδυασμός της δύναμης, της σχηματιστικότητας, ολκιμότητας και συγκολλησιμότητας.
Βαθμός 3	Ανόθευτο τιτάνιο. Χρήση στη χημική βιομηχανία, σε εξαρτήματα για θαλάσσιες κατασκευές, σε σκελετούς και εξαρτήματα κινητήρων αεροσκαφών που απαιτούν αντοχή, έχουν καλή συγκολλησιμότητα και αντοχή στη διάβρωση.
Βαθμός 4	Η υψηλότερη αντοχή καθαρού τιτανίου: Χρήση στη χημική βιομηχανία, σε εξαρτήματα για θαλάσσιες κατασκευές, σε σκελετούς και εξαρτήματα κινητήρων αεροσκαφών, σε χειρουργικά εμφυτεύματα, σε υψηλής ταχύτητας ανεμιστήρες, αεροσυμπιεστές. Χρησιμοποιείται σε υδραυλικές σωληνώσεις. Παρουσιάζει καλή ελατότητα και αντοχή στη διάβρωση σε συνδυασμό με υψηλή αντοχή.
Βαθμός 5	Κράμα τιτανίου με 6% αλουμίνιο, 4% βανάδιο. Δημοφιλής άλφα-βήτα, μέσης αντοχής. Κύριες χρήσεις σε σκελετούς και των εξαρτήματα κινητήρων αεριοστρόβιλων, σε εξοπλισμό πυρίμαχων και δοχεία πίεσης όπως περιβλήματα πυραυλοκινητήρων. Χρησιμοποιείται επίσης για χειρουργικές συσκευές και εμφυτεύματα.
Βαθμός 6	-
Βαθμός 7	Κράμα τιτανίου με περιεκτικότητα σε παλλάδιο από 0,12% έως 0,25%. Παρουσιάζει μεσαία αντοχή και ανώτερη αντίσταση στη διάβρωση.

Βαθμός 9	Άλφα-Βήτα κράμα τιτανίου που περιέχει βανάδιο σε ποσοστό 3% έως και 2,5%. Υψηλή αντοχή και αντίσταση στη διάβρωση. Χρήση στην αεροδιαστημική, σε εφαρμογές πετροχημικών, υδραυλικές σωληνώσεις και όργανα μέτρησης, τον αθλητισμό, σε υποθαλάσσιες εφαρμογές, και δοχεία πίεσης. Συνήθως χρησιμοποιείται σε ψυχρή κατεργασία με ανόπτηση και επαναφορά.
Βαθμός 11	Κράμα τιτανίου με παλλάδιο σε περιεκτικότητα από 0,12% έως και 0,25%. Χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Χαμηλή αντοχή. Επιτρεπόμενη περιεκτικότητα του υδρογόνου εξαρτάται από την μορφή. Προσθήκη Pd αυξάνει την αντίσταση στη διάβρωση. Παρουσιάζει πολύ καλή συγκολλησιμότητα.
Βαθμός 12	Κράμα τιτανίου που περιέχει μολυβδαίνιο 0,3% και 0,8% νικέλιο. Υψηλής αντοχής, καλός μονωτής και καλή αντίσταση στη φθορά. Χρησιμοποιείται σε κελύφη και εναλλάκτες θερμότητας και σε υδρομεταλλουργικές εφαρμογές. Πολύ καλή συγκολλησιμότητα.
Βαθμός 13	Κράμα τιτανίου που περιέχει 0,5% νικέλιο και 0,05% ρουθίνιο. Χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο.
Βαθμός 14	Κράμα τιτανίου με 0,5% νικέλιο και 0,05% ρουθίνιο. Standard οξυγόνο.
Βαθμός 15	Κράμα τιτανίου με 0,5% νικέλιο και 0,05% ρουθίνιο. Μεσαία περιεκτικότητα σε οξυγόνο.
Βαθμός 16	Κράμα τιτανίου με περιεκτικότητα σε παλλάδιο από 0,04% έως 0,08%. Standard οξυγόνο και μέση αντοχή. Χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία λόγω της βελτιωμένης αντοχής στη διάβρωση.

Πίνακας 4.3 Ταξινόμηση κραμάτων τιτανίου κατά ASTM B265

Η μηχανική αντοχή των κραμάτων του τιτανίου μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη στοιχείων κραμάτωσης, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία μιας σταθερής στερεής δομής, ή ακόμη και στην καθίζηση άλλων δευτερευόν φάσεων. Επίσης, με τη χρησιμοποίηση των διαδικασιών γήρανσης του υλικού, ασταθείς δομές που προέκυψαν από την γρήγορη ψύξη στην

περιοχή β μπορεί να προκαλέσουν ιζήματα, τα οποία αυξάνουν αρκετά τη μηχανική αντοχή.

Τα κράματα του τιτανίου παρουσιάζουν πολύ καλή αναλογία αντοχής προς βάρος. Η αναλογία αυτή είναι υψηλότερη απ' ό,τι στους περισσότερους χάλυβες. Ενώ το καθαρό τιτάνιο έχει αντοχή μεταξύ 170 (βαθμίδα 1) και 530 MPa (βαθμίδα 4), τα κράματα του τιτανίου μπορούν να παρουσιάσουν τιμές υψηλότερες από 1500 MPa.

Ο συντελεστής ελαστικότητας αντιστοιχεί στην ακαμψία ενός υλικού και συνδέεται με τον τρόπο που αναπτύσσονται οι δυνάμεις μεταξύ των ατόμων και οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με τις αποστάσεις μεταξύ των ατόμων των στοιχείων στη κρυσταλλική δομή. Μια σύγκριση μεταξύ των δύο κρυσταλλικών δομών του τιτανίου έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η εξαγωνική δομή μέγιστης πυκνότητας (hcp) παρουσιάζει υψηλότερες τιμές συντελεστή ελαστικότητας από την χωροκεντρομένη κυβικού πλέγματος δομή (bcc). Συνεπώς, η προσθήκη στοιχείων σταθεροποιητών τύπου β επιτρέπουν την σταθεροποίηση τη φάσης β και έτσι την επίτευξη χαμηλού συντελεστή ελαστικότητας στα κράματα. Έτσι, ενώ το καθαρό τιτάνιο παρουσιάζει συντελεστές ελαστικότητας με τιμές κοντά στα 105 GPa, το κράμα του Ti-6Al-4V τύπου $\alpha + \beta$ παρουσιάζει τιμές μεταξύ 101 και 110 GPa, κράματα τιτανίου τύπου β μπορεί να παρουσιάσουν πολύ χαμηλές τιμές, γύρω στα 55 GPa.

Η ανάλυση των συστημάτων ολίσθησης σε διάφορες κρυσταλλικές δομές αποκαλύπτουν ότι η πλαστική παραμόρφωση επιτυγχάνεται ευκολότερα στη κρυσταλλική δομή χωροκεντρομένου κυβικού πλέγματος (bcc) παρά στην εξαγωνική δομή μέγιστης πυκνότητας (hcp). Αυτό μπορεί να εξηγήσει την ενισχυμένη ολκιμότητα της φάσης β σε σύγκριση με τη φάση α . Επιπλέον, η ευκολία της πλαστικής παραμόρφωσης συνδέεται άμεσα με την ελάχιστη απόσταση ολίσθησης, ($b \min$), η οποία δίνεται από τη διατομική απόσταση διαιρεμένη από την αντίστοιχη παράμετρο πλέγματος. Εφόσον, η εξαγωνική δομή μέγιστης πυκνότητας (hcp) παρουσιάζει μεγαλύτερη απόσταση ολίσθησης από την δομή χωροκεντρομένου κυβικού πλέγματος (bcc), είναι δυνατό να βγει το συμπέρασμα ότι η ολίσθηση των ατομικών επιπέδων ή η πλαστική παραμόρφωση είναι ευκολότερη στην χωροκεντρομένη κρυσταλλική δομή. Ως εκ τούτου, τα κράματα τύπου β παρουσιάζουν την καλύτερη ικανότητα διαμόρφωσης δομής μεταξύ των κραμάτων του τιτανίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Διαβρωτικά Στοιχεία Ελαφρών Μετάλλων

5.1 Γενικά Περί Διάβρωσης

Τα μέταλλα στη φύση σπανίως συναντώνται στη στοιχειακή τους κατάσταση, με τον χρυσό, τον υδράργυρο και ακόμη σπανιότερα το χαλκό να βρίσκονται με τη στοιχειακή τους μορφή. Πιο συγκεκριμένα τα περισσότερα στοιχεία βρίσκονται με τη μορφή οξειδίων, σουλφιδίων ή των αλάτων τους, ενώ για την παραλαβή του καθαρού μετάλλου απαιτείται η διενέργεια κατάλληλης μεταλλουργικής διαδικασίας, η οποία βασίζεται κυρίως στην αναγωγή του μετάλλου μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων. Έτσι συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι τα μέταλλα στη στοιχειακή τους μορφή χαρακτηρίζονται από ενεργειακά αναβαθμισμένη κατάσταση και σύμφωνα με το 2^ο Θερμοδυναμικό Νόμο τείνουν να επιστρέψουν στην αρχική τους οξειδωμένη μορφή μετατρέπόμενα κατά αυτόν τον τρόπο σε οξείδια.

Η φυσική αυτή προδιάθεση των μετάλλων αποτελεί την αιτία της διάβρωσης, η οποία είναι και η βασική αιτία καταστροφής των μεταλλικών κατάσκευών.

Το φαινόμενο της μερικής ή ολικής καταστροφής των μεταλλικών κατασκευών κατά την έκθεσή τους στο φυσικό περιβάλλον, χαρακτηρίζεται με τον όρο «διάβρωση». Ο πρόσφατος και ολοκληρωμένος ορισμός της διάβρωσης προέκυψε στα πλαίσια Διεθνών συνεδρίων και συζητήσεων. Έτσι, ο ορισμός της διάβρωσης, όπως αναφέρεται από την Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Διάβρωσης και την Διεθνή Επιτροπή Θαλάσσιας Διάβρωσης και Ρύπανσης των Υφάλων είναι ο ακόλουθος:

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

Η αυθόρμητη αλλοίωση έχει τη θερμοδυναμική έννοια αυθόρμητου φαινομένου, ακόμη και σε συνηθισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Επίσης περιέχει και την έννοια της πραγματοποίησης σε φυσικό διαβρωτικό περιβάλλον (στον αέρα στο γλυκό ή θαλασσινό νερό, στο έδαφος) σε αντιδιαστολή με την εκβιασμένη αλλοίωση.

Η εκβιασμένη αλλοίωση δεν σημαίνει πραγματοποίηση θερμοδυναμικά μη αυθόρμητου φαινομένου, αλλά επιτάχυνση του φαινομένου, εξαιτίας έντονου τεχνητού διαβρωτικού περιβάλλοντος (χημικές ουσίες, υψηλή θερμοκρασία ραδιενέργεια, ανοδική ηλεκτρική φόρτιση κ.τ.λ.).

Σχετικά με τη διάκριση μεταξύ ηλεκτροχημικής, χημικής και μηχανικής

αλλοίωσης: Ως μηχανικής φύσης αλλοίωση ορίζεται κάθε επιφανειακή μηχανική κάκωση, η οποία οφείλεται σε τριβή, κρούση, επιδράσεις από τη ροή ρευστών (ροή ποταμών, κυματισμός θάλασσας), μηχανική καταπόνηση, εξάχνωση από τη δημιουργία υποπίεσης κ.α. Η διάκριση μεταξύ ηλεκτροχημικής και χημικής αλλοίωσης είναι δυσκολότερο να γίνει, εφόσον και στις δύο λαμβάνει χώρα μεταφορά φορτίου (μετατόπιση ηλεκτρονίων). Οι διαφορές τους μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω:

- Κατά τις ηλεκτροχημικές δράσεις απομακρύνονται ηλεκτρόνια με τη βοήθεια των ηλεκτροδίων έξω από το σύστημα και επιστρέφουν σ' αυτό (γαλβανικό στοιχείο) ή έρχονται από έξω και απομακρύνονται (ηλεκτρόλυση). Κατά τις χημικές δράσεις η ανταλλαγή ηλεκτρονίων γίνεται άμεσα, ανάμεσα σε ένα συστατικό του συστήματος και σε ένα άλλο (χωρίς απομάκρυνση ή είσοδο ηλεκτρονίων έξω από το σύστημα).
- Κατά τις ηλεκτροχημικές δράσεις πραγματοποιείται ανταλλαγή ηλεκτρικού έργου, ενώ κατά τις χημικές ανταλλαγή θερμότητας.
- Οι ηλεκτροχημικές δράσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν και κάτω από την θερμοδυναμικά επιτρεπτή θερμοκρασία έναρξης μιας αντίδρασης (ακόμη και σε συνηθισμένη θερμοκρασία).
- Η χημική απόδοση των ηλεκτροχημικών δράσεων είναι πολύ μεγαλύτερη.

Για την πραγματοποίηση της ηλεκτροχημικής διάβρωσης απαιτείται μια άνοδος, μια κάθοδος και ένας ηλεκτρολύτης, ενωμένα με εξωτερικό κύκλωμα. Αυτό λέγεται και «τρίγωνο της διάβρωσης».

5.2 Διάβρωση Αλουμινίου

Το αλουμίνιο από θερμοδυναμικής απόψεως είναι ένα ισχυρά ανοδικό μέταλλο, πιο ενεργό ακόμα και από τον σίδηρο. Εν τούτοις, στην επιφάνεια του αλουμινίου αναπτύσσεται ένα φυσικό οξειδίο, όταν αυτό βρίσκεται στον αέρα ή και σε υδατικά διαλύματα με pH από 4 έως και 8,5, το οποίο αποτελεί ένα ισχυρά προστατευτικό στρώμα και δεν επιτρέπει την περαιτέρω διάβρωση του υποκείμενου μετάλλου (φυσική παθητικοποίηση των κραμάτων αλουμινίου).

Το οξειδίο του αλουμινίου, το οποίο σχηματίζεται σε συνθήκες περιβάλλοντος έχει πάχος $0,005\mu\text{m}$ - $0,0^{\wedge}\text{m}$, είναι διαφανές και διατηρεί εν μέρει την μεταλλική λάμψη και στιλπνότητα του υποκείμενου μετάλλου. Αποτελείται από ένα πολύ λεπτό συνεκτικό και πυκνής δομής στρώμα οξειδίου, το οποίο εφάπτεται του κυρίως μετάλλου (barrier-film επίστρωμα φραγής, φράγμα) και

από ένα ένυδρο στρώμα οξειδίου, το οποίο υπέρκειται του συνεκτικού στρώματος. Το ανώτερο στρώμα είναι ιδιαίτερα πορώδες επιτρέποντας έτσι, την μεταφορά διαβρωτικών παραγόντων και ως εκ τούτου δεν προσφέρει καμία ουσιαστική αντιδιαβρωτική προστασία στο κυρίως μέταλλο.

Εξάλλου, αν και το καθαρό οξείδιο του αλουμινίου είναι μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος, τα κραματικά στοιχεία του αλουμινίου, τα οποία είναι επίσης παρόντα και στο οξείδιο (π.χ. εγκλείσεις σιδήρου), αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του οξειδίου. Με τον τρόπο αυτό λοιπόν μπορεί να εμφανιστεί γαλβανική διάβρωση, ακόμη και στην περίπτωση, που το οξείδιο έχει μεγάλο πάχος και πυκνή δομή, όπως στην ανοδίωση.

Η αντοχή στην διάβρωση των κραμάτων αλουμινίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα υπόλοιπα στοιχεία του κράματος. Τα περισσότερα στοιχεία που συνθέτουν τα κράματα του αλουμινίου, υποβαθμίζουν την αντιδιαβρωτική ικανότητα και προστίθενται για να βελτιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες, μέσω ενίσχυσης του στερεού διαλύματος (solid-solution strengthening), είτε μέσω της σκλήρυνσης με γήρανση (age hardening). Αξίζει, όμως, να σημειωθεί ότι η παρουσία πυριτίου, γενικά, βελτιώνει την αντοχή σε διάβρωση.

Επίσης, η διαβρωτική συμπεριφορά των κραμάτων αλουμινίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από το είδος του διαλύματος (διαβρωτικό περιβάλλον), στο οποίο βρίσκονται.

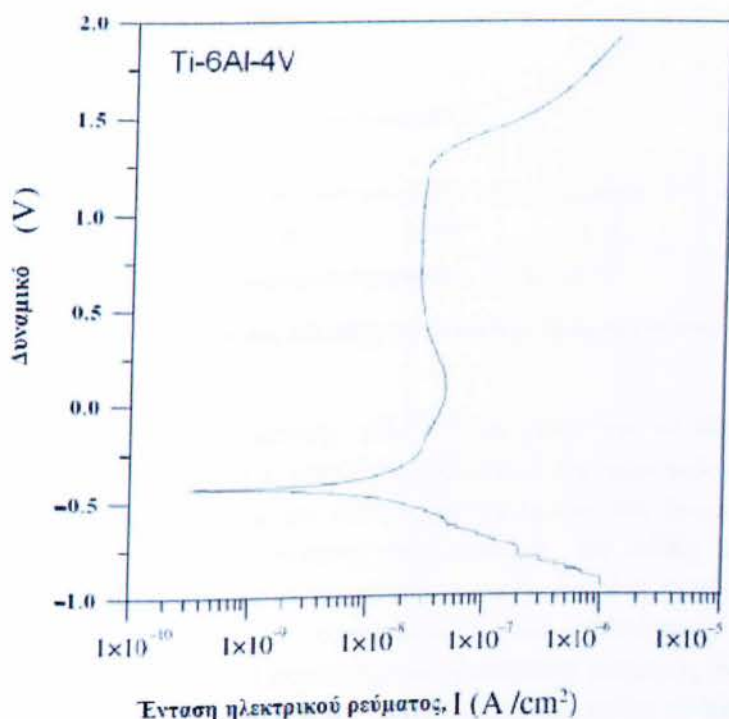
5.3 Διάβρωση Τιτανίου

Το τιτάνιο παρουσιάζει άριστη αντίσταση στη διάβρωση, που σχετίζεται άμεσα με το σχηματισμό ενός σταθερού προστατευτικού στρώματος οξειδίων, και συγκεκριμένα το σχηματισμό του TiO_2 . Η ικανότητα αντίδρασης του τιτανίου μπορεί να μετρηθεί από το ηλεκτρικό δυναμικό του που είναι 1.63 V. Μια τέτοια τιμή δείχνει ότι το τιτάνιο έχει μια υψηλή χημική ικανότητα αντίδρασης και έτσι οξειδώνεται, αναδεικνύοντας το προστατευτικό και λεπτό στρώμα οξειδίων στην επιφάνειά του. Αυτό το στρώμα οξειδίων αδρανοποιεί το τιτάνιο, πράγμα το οποίο οδηγεί σε μια προστασία ενάντια στην περαιτέρω διαδικασία διάβρωσης εφόσον διατηρείται αυτό το στρώμα. Βασικά, ο σχηματισμός λεπτών στρωμάτων αδρανοποίησης στο τιτάνιο δεν σημαίνει τη διακοπή των διαδικασιών διάβρωσης. Σημαίνει ότι το ποσοστό διάβρωσης θα μειωθεί σημαντικά. Επομένως, το τιτάνιο είναι ανθεκτικό στη διάβρωση σε όξινο περιβάλλον αλλά παρουσιάζει μικρή όμως αντίσταση σε αναγωγικά ήπια αντιδραστήρια (Lütjering and Williamw, 2003).

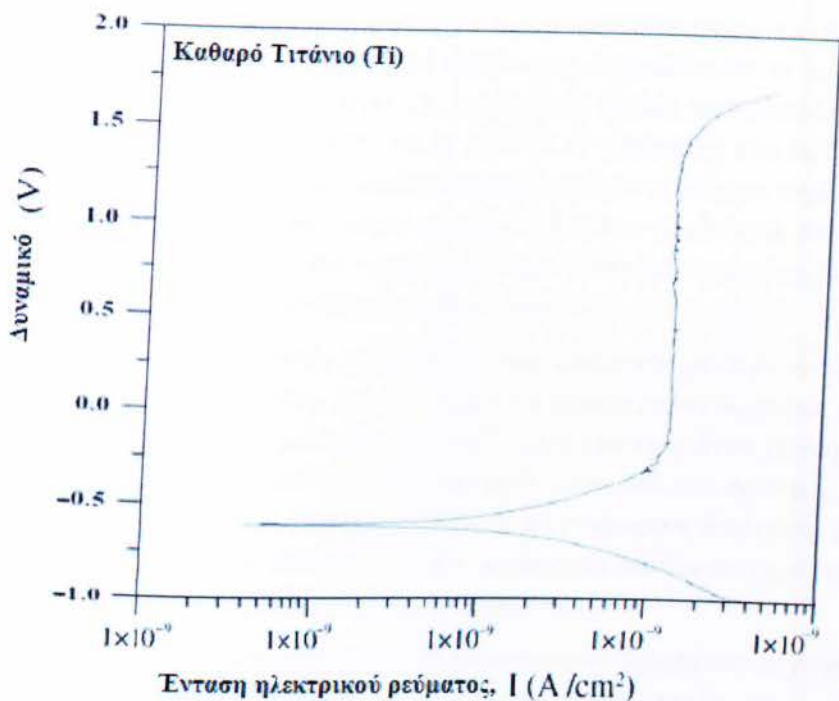
Γενικά, η δοκιμή ανοδικής πόλωσης είναι μια αποδοτική μέθοδος για να

διαπιστωθεί η συμπεριφορά διάβρωσης ενός μεταλλικού υλικού σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον.

Τα Σχήματα 1.10 & 1.11 απεικονίζουν την καμπύλη ανοδικής πόλωσης για το καθαρό τιτάνιο και για τα κράματα Ti-6Al-4V αντίστοιχα, παρουσιάζοντας την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ενάντια στο δυναμικό, λαμβάνοντας σαν ηλεκτρολυτικό διάλυμα 5 g/l NaCl, με pH 4 στους 310 K. Το δυναμικό ανιχνεύθηκε στα 0.1 mV s⁻¹.



Εικόνα 5.1 Καμπύλες πόλωσης για το κράμα τιτανίου Ti-6Al-4V



Εικόνα 5.2 Καμπύλες πόλωσης για το καθαρό εμπορικό τιτάνιο

Το ανοδικό τμήμα της καμπύλης πόλωσης επιτρέπει την αξιολόγηση της συμπεριφοράς διάβρωσης ενός μεταλλικού υλικού σε ένα ηλεκτρολυτικό μέσο. Η αξιολόγηση λαμβάνεται με τον καθορισμό του εύρους των δυναμικών, στο οποίο οι επιστρώσεις αδρανοποίησης είναι σταθερές, και επίσης βρίσκοντας την ένταση του ρεύματος κατά την αδρανοποίηση. Δοκιμές κατά τις οποίες μελετήθηκε κατά πόσο ο σχηματισμός μιας επιφάνειας οξειδίων αδρανοποίησης, με την σταθεροποίηση του ηλεκτρικού ρεύματος, έδειξαν ότι το δυναμικό αυξάνει, η ένταση του ρεύματος αυξάνει επίσης, με αποτέλεσμα τη ρήξη του στρώματος αδρανοποίησης. Σε αυτό το σημείο, το προστατευτικό στρώμα χάνει την αποδοτικότητά του προκαλώντας διάβρωση με ρωγμές. Εντούτοις, αυτή η υπόθεση δεν επιβεβαιώνεται κατά τη διάρκεια της αντίστροφης ανίχνευσης του δυναμικού. Οι καμπύλες πόλωσης λήφθηκαν κατά τη διάρκεια των εμπρόσθιων και αντίστροφων ανιχνεύσεων του δυναμικού και δεν εμφανίστηκε καμία υποψία διάβρωσης.

4 Διάβρωση Μαγνησίου

Κρίσιμη παράμετρος για τη χρήση των κραμάτων μαγνησίου σε δομικές εφαρμογές είναι επίσης η συμπεριφορά διάβρωσης, δεδομένου ότι το μαγνήσιο κατέχει το δραστικό ανοδικό άκρο της γαλβανικής σειράς των μετάλλων, με τιμή ηλεκτροστατικού δυναμικού ίση με $-2.37V$. Η αντίσταση στη διάβρωση των κραμάτων μαγνησίου είναι ιδιαίτερα μειωμένη όταν περιέχουν σημαντικά ποσοστά συγκεκριμένων κραματικών στοιχείων (βαρέων μετάλλων), όπως για παράδειγμα σίδηρο, χαλκό και νικέλιο, ή όταν βρίσκονται εκτεθειμένα σε περιβάλλον με σημαντικές ποσότητες ιόντων χλωρίου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διάβρωση των κραμάτων μαγνησίου ξεκινά από τοπική προσβολή, ωστόσο αυτή η μορφή διάβρωσης αρκετές φορές είναι ρηχή και εκτεταμένη. Η μορφολογία της διάβρωσης των κραμάτων μαγνησίου εξαρτάται από τη χημική σύσταση του κράματος και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος λειτουργίας. Για παράδειγμα, η ατμοσφαιρική διάβρωση είναι συνήθως ομοιόμορφη ενώ αντίθετα για την περίπτωση συνθηκών εμβάπτισης σε διαλύματα η διάβρωση είναι συνήθως ισχυρά τοπική.

Η μειωμένη αντίσταση στη διάβρωση των περισσοτέρων κραμάτων μαγνησίου οφείλεται κυρίως σε δύο παραμέτρους. Πρώτον, στην ύπαρξη εσωτερικής γαλβανικής διάβρωσης η οποία οφείλεται στην ύπαρξη ενδομεταλλικών φάσεων ή ακαθαρσιών (impurities) στη μικροδομή των κραμάτων και δεύτερον, στο ημι-παθητικό φιλμ υδροξειδίου του μαγνησίου ($Mg(OH)_2$) που σχηματίζεται στην επιφάνεια του υλικού. Αυτό το φιλμ υδροξειδίου είναι λιγότερο ευσταθές από τα παθητικά φιλμ που σχηματίζονται σε άλλα μέταλλα όπως το αλουμίνιο με αποτέλεσμα να παρέχει μόνο περιορισμένη αντίσταση στη ανάπτυξη τρημματικής διάβρωσης (pitting corrosion) στα κράματα μαγνησίου.

Κράματα μαγνησίου που υφίσταντο πολύ γρήγορη επίθεση σε συνθήκες υψηλής υγρασίας κυρίως λόγω της παρουσίας των βαρέων μετάλλων δηλ. του σιδήρου, του νικελίου και του χαλκού και έτσι τα βαρέα στοιχεία ή οι φάσεις που δημιουργούν στο κράμα δρουν σαν στιγμιαίες κάθοδοι παρουσία διαβρωτικού μέσου. Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργούν μικρο-κελιά με την ανοδική μήτρα μαγνησίου. Τα κράματα υψηλής καθαρότητας (high-purity) έχουν αναπτυχθεί σχετικά πρόσφατα. Σε αυτά τα κράματα η περιεκτικότητα των βαρέων μετάλλων είναι ελεγχόμενη και συγκρατείται σε επίπεδα κάτω από μια κρίσιμη συγκέντρωση. Ως αποτέλεσμα, αυτά τα κράματα παρουσιάζουν καλύτερη αντίσταση σε διαλύματα αλάτων συγκριτικά με τα κοινά κράματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Χρήσεις Ελαφρών Μετάλλων

6.1 Εισαγωγή

Τα ελαφρά κράματα και συγκεκριμένα το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, το τιτάνιο και τα κράματα αυτών αποτελούν τα κυριότερα κατασκευαστικά υλικά σε ένα ευρύ φάσμα μηχανολογικών και όχι μόνο εφαρμογών εδώ και αρκετό χρονικό διάστημα. Η χρήση μάλιστα αυτών ποικίλει και η συνεχώς αυξανόμενη πρόοδος και ανάπτυξη της τεχνογνωσίας περί της μεταλλουργίας και της αξιοποίησης αυτών έχει ως αποτέλεσμα η χρήση τους να διευρύνεται ακόμη περισσότερο. Οι κλάδοι, στους οποίους συναντάται η χρήση αυτών είναι αυτοί της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροναυπηγικής και αεροδιαστημικής, της ναυπηγικής, της ιατρικής κλπ.. Ωστόσο λόγω της ραγδαίας ανάπτυξη των σύνθετων υλικών, δηλαδή υλικών τα οποία συντίθεται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά, έχει ως αποτέλεσμα η χρήση των μετάλλων να περιορίζεται και να αντικαθίσταται από αντίστοιχα σύνθετα υλικά. Ακολούθως θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής ανάλυση των εφαρμογών, στις οποίες παρατηρείται η χρήση του αλουμινίου, του μαγνησίου και του τιτανίου αντιστοίχως ως βασικό υλικό κατασκευής.

6.2 Εφαρμογές Αλουμινίου

6.2.1 Εισαγωγή

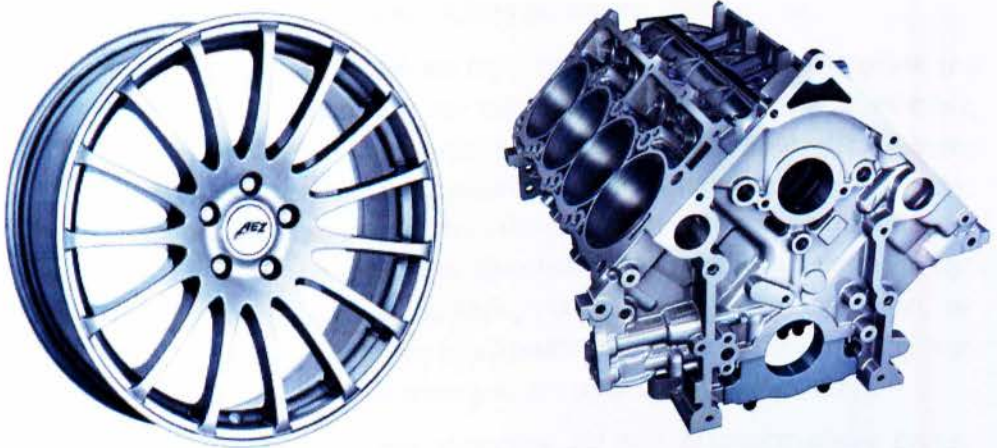
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το αλουμίνιο (Al) είναι μετά το χάλυβα το πλέον διαδεδομένο υλικό κατασκευής σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών προϊόντων. Η χαμηλή πυκνότητα αυτού, η οποία ισοδυναμεί με χαμηλό βάρος, σε συνδυασμό με τα εξαιρετικά αντιδιαβρωτικά στοιχεία, την υψηλή θερμική αγωγιμότητα, την ευκολία ως προς τη χύτευση και την εν γένει κατεργασία του και τα μη-τοξικά και μη-μαγνητικά χαρακτηριστικά, τα οποία το αντιπροσωπεύουν ως υλικό αποτελούν τα κύρια αίτια για την εκτεταμένη χρήση του σε πλήθος εφαρμογών. Επιγραμματικά το αλουμίνιο αποτελεί ένα από τα κύρια και ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά στους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροναυπηγικής, της ναυπηγικής, της αεροδιαστημικής, της ηλεκτροβιομηχανίας, της μαγειρικής κλπ.. Ενδελεχέστερη ανάλυση των εφαρμογών του αλουμινίου θα πραγματοποιηθεί ακολούθως.

6.2.2 Παραδείγματα Εφαρμογών Αλουμινίου

6.2.2.1 Αυτοκινητοβιομηχανία

Το χαμηλό βάρος από τη μία μεριά, σε συνδυασμό με την ικανοποιητική ανθεκτικότητα και αντοχή αυτού, αλλά και την πολύ καλή διαμορφωσιμότητα, τα οποία χαρακτηρίζουν το αλουμίνιο ως υλικό αποτελούν τους κύριους λόγους που το καθιστούν ως ένα ιδανικό υλικό για εφαρμογές σχετιζόμενες με την αυτοκινητοβιομηχανία. Ειδικά στην αυτοκινητοβιομηχανία η ελάττωση του συνολικού βάρους ενός αυτοκινήτου συνεπάγεται μειωμένη κατανάλωση καυσίμου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου. 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 παράλληλα στον ίδιο χρόνο η αναμενόμενη οικονομία καυσίμου είναι 900 λίτρα βενζίνης.

Μάλιστα αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες ευρωπαϊκές και όχι μόνο αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν υιοθετήσει τη χρήση του αλουμινίου σε αρκετά εξαρτήματα, όπως είναι το περίβλημα, ο κινητήρας, οι ζάντες, οι πίσω άξονες, οι ενισχύσεις του αμαξώματος για τις περιπτώσεις συγκρούσεων, καθώς και τα έμβολα και τα συστήματα ψύξης. Ακολούθως παρουσιάζονται χαρακτηριστικές εικόνες ορισμένων εξαρτημάτων ενός αυτοκινήτου, τα οποία είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο.



Εικόνα 6.1 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία



Εικόνα 6.2 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία

Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι το 95% του αλουμινίου που προκύπτει από τα παλαιά αυτοκίνητα συλλέγεται, αφού προηγηθεί το στάδιο διάλυσης και θρυμματισμού τους. Οι παλαιές πόρτες και τα παράθυρα αλουμινίου που προκύπτουν από τις ανακαινίσεις κατοικιών και γραφείων συγκεντρώνονται και ανακυκλώνονται σε ποσοστό που υπερβαίνει το 85%. Μια διαδικασία αρκετά σημαντική, καθώς για την παραγωγή ανακυκλωμένου αλουμινίου καταναλώνεται μόλις το 5% της αρχικά απαιτούμενης ενέργειας.

6.2.2.2 Οικοδόμηση

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται για μια σειρά από εφαρμογές για την οικοδομή και την κατασκευή και είναι το κύριο υλικό της αρχιτεκτονικής επιλογής για υαλοπετάσματα, κουφώματα και τζάμια σε όλες τις δομές.

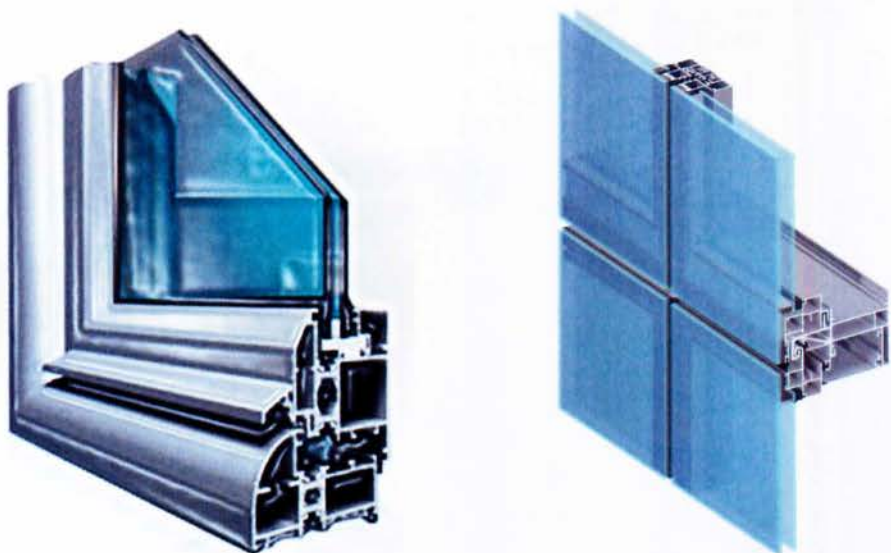
Στη δόμηση και τη κατασκευή και ανέγερση κτιρίων η πιο εκτενής χρήση του αλουμινίου λαμβάνει χώρα για την κατασκευή κουφωμάτων και προσόψεων, ενώ από την άλλη μεριά μικρότερο ποσοστό στο σύνολο της δόμησης καταλαμβάνουν οι επικαλύψεις σκεπών και η κατασκευή διαχωριστικών. Επιπροσθέτως, άλλες εφαρμογές του αλουμινίου, οι οποίες είναι συναφείς με το δομικό τομέα, περιλαμβάνουν τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κουφωμάτων, τις λαβές για τις πόρτες και τα παράθυρα, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης εσωτερικών χώρων, τα πλαίσια στήριξης και ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και τα συστήματα σκίασης.

Ο ξεχωριστός συνδυασμός των ιδιοτήτων και των πλεονεκτημάτων έναντι άλλων δομικών υλικών, όπως είναι ο χάλυβας, αποτελούν τον πρωταρχικό λόγο, εξαιτίας του οποίου το αλουμίνιο αποτελεί το σημαντικότερο υλικό στο δομικό τομέα, ενώ παράλληλά η χρήση αυτού καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλή ανθεκτικότητα του αλουμινίου προσφέρει στους σχεδιαστές και του αρχιτέκτονες τη δυνατότητα σχεδιασμού και υλοποίησης πολύπλοκων, αλλά ταυτοχρόνως σταθερών δομικών κατασκευών, διασφαλίζοντας την έλλειψη στρέψεων ακόμη και στα πιο

λεπτά προφίλ. Επίσης, το συγκριτικά χαμηλό ειδικό βάρος του υλικού επιτρέπει την κατασκευή ελαφρών δομικών κατασκευών, οι οποίες ικανοποιούν τις απαιτήσεις των σύνθετων κανόνων της φυσικής κτιρίων και των αρχιτεκτονικών σχεδίων. Επιπλέον, επιτρέπει έναν υψηλό βαθμό προσυναρμολόγησης των στοιχείων στο κατασκευαστικό, δίνοντας την δυνατότητα ολοκλήρωσής των στο εργοτάξιο και τοποθέτησής τους χωρίς την ανάγκη χρήσης ανυψωτικού εργαλείου, γεγονός το οποίο συμβάλλει στη μείωση του συνολικού κόστους κατασκευής του κτιρίου. Ακόμη αξίζει να σημειωθεί ότι η υψηλή αντοχή του έναντι της διάβρωσης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που προσφέρει, ιδιαίτερα σε κατασκευές, η προσβασιμότητα των οποίων για έλεγχο και επιθεώρηση θεωρείται αρκετά δύσκολη, ώστε να εξασφαλίζεται ανά πάσα στιγμή ότι είναι ακόμη λειτουργικές.

Για τη μορφοποίηση του αλουμινίου χρησιμοποιείται μια πληθώρα τεχνικών και διαδικασιών, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από τη χρήση του παραγόμενου αλουμινίου. Επομένως, ενδεικτικά για τη δημιουργία προφίλ, κοίλων ή συμπαγών ράβδων και σωλήνων, χρησιμοποιούνται κολώνες, οι οποίες μορφοποιούνται με την μέθοδο της διέλασης, όπως φαίνεται και στις ακόλουθες εικόνες. Στον τομέα της δόμησης αυτά τα ημιπροϊόντα χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή κουφωμάτων, υαλοπετασμάτων και συστημάτων ηλιοπροστασίας. Αξίζει να τονισθεί ότι οι άριστες ιδιότητες μορφοποίησης, οι οποίες χαρακτηρίζουν το αλουμίνιο ως υλικό, αλλά και ύστερα από την ανακύκλωση αυτού, προσφέρουν την δυνατότητα παραγωγής περίπλοκων διατομών, οι οποίες είναι σε θέση να επιλύσουν τόσο συστήματα κουφωμάτων όσο και για την παραγωγή ειδικών προφίλ που χρησιμοποιούνται στο τελείωμα στεγών και διαχωριστικών, στα κιγκλιδώματα, στις ψευδοροφές, στα διαχωριστικά κ.λπ..





Εικόνα 6.3 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στις οικοδομικές κατασκευές

Μέσω της διαδικασίας της έλασης είναι δυνατόν οι πλάκες αλουμινίου να μετατραπούν καταλλήλως σε ρόλους και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της επακόλουθης κοπής του μητρικού ρόλου σε κατάλληλες μηχανές κατά πλάτος ή κατά μήκος προκύπτουν οι ταινίες και τα φύλλα αντίστοιχα. Ένα μεγάλο ποσοστό των ημιπροϊόντων έλασης με την κατάλληλη επεξεργασία μετατρέπεται σε δομικό υλικό που χρησιμοποιείται σε επιστεγάσεις, επικαλύψεις κτιρίων και σε άλλες εφαρμογές. Με τα φύλλα αλουμινίου προκύπτουν προϊόντα, των οποίων η χρήση τους εκτείνεται σε όλες τις πτυχές της καθημερινότητας. Στα χυτήρια γίνεται επεξεργασία των χελωνών για την παραγωγή μορφοποιημένων χυτών αντικειμένων, όπως τα πόμολα παραθύρων και πορτών, σωμάτων καλοριφέρ και άλλων στοιχείων.



Εικόνα 6.4 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου σε οικιακά αγαθά

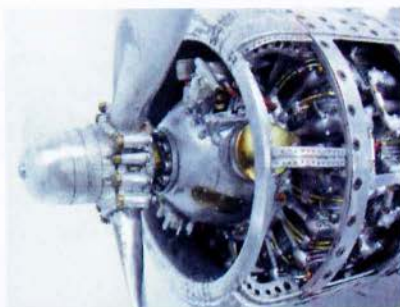
Τέλος, τα προϊόντα αλουμινίου είναι σε θέση να διαθέτουν και ειδικά φινιρίσματα που επιτυγχάνονται μέσω ειδικών επιφανειακών κατεργασιών. Οι κατεργασίες αυτές αυξάνουν την ανθεκτικότητα του υλικού στην διάβρωση και εγγυώνται την μακροχρόνια λειτουργικότητα. Παράλληλα πέρα από την αυξημένη αντοχή σε διαβρωτικούς παράγοντες, συμβάλλουν στην άρτια αισθητική των προϊόντων αλουμινίου σε αρμονία με τις σύγχρονες απαιτήσεις.

6.2.2.3 Αεροναυπηγική

Ένας ακόμη τομέας, στον οποίο παρατηρείται ευρεία χρήση του αλουμινίου ή των κραμάτων αυτού είναι αυτός της αεροναυπηγικής. Πιο συγκεκριμένα, για την κατασκευή και τη ναυπήγηση αεροσκαφών παντός τύπου, από αερόπλοια μέχρι τα σύγχρονα Concorde, το κύριο χρησιμοποιούμενο υλικό είναι το

ντουραλουμίνιο. Το ντουραλουμίνιο είναι η παλαιά εμπορική ονομασία ομάδας κραμάτων αλουμινίου-χαλκού, τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη μηχανική αντοχή μετά από βαφή και αργή κατακρήμνιση νέας φάσης (κατακρήμνιση λόγω γήρανσης). Το ποσοστό του χαλκού στο κράμα αυτό είναι της τάξης του 2,5-6,3% κατά βάρος, ενώ παράλληλα περιέχονται ως πρόσθετα κραματικά στοιχεία μαγνήσιο και σπανιότερα, μαγγάνιο και πυρίτιο. Επιπροσθέτως τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η χρήση σε εφαρμογές της αεροναυπηγικής, κατά τις οποίες απαιτείται υψηλή αντοχή και χαμηλό βάρος υπό την επίδραση χαμηλών θερμοκρασιών, και κράματα αλουμινίου-λιθίου.

Τα εξαρτήματα ενός αεροσκάφους, των οποίων το υλικό κατασκευής είναι το αλουμίνιο ή κράματα αυτού είναι μέρη του πλαισίου, εξαρτήματα στο εσωτερικό αυτού, τμήματα των πτερυγίων και του κινητήρα και το μπροστινό μέρος.



Εικόνα 6.5 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην αεροναυπηγική

6.2.2.4 Συσκευασία Προϊόντων

Το αλουμίνιο μαζί με το λευκοσίδηρο και το χάλυβα αποτελούν τα κυριότερα είδη μεταλλικής συσκευασίας. Πιο συγκεκριμένα, το αλουμίνιο λόγω του υψηλού βαθμού αντοχής στην οξείδωση, της ευκαμψίας, της εύκολης μορφοποίησης, της καλής θερμικής αγωγιμότητας και του υψηλού ποσοστού ανακύκλωσής του κυριαρχεί στο χώρο των μεταλλικών ειδών συσκευασίας, αντιμετωπίζοντας ωστόσο ανταγωνιστικές πιέσεις από το λευκοσίδηρο, ιδιαίτερα στη συσκευασία ειδών διατροφής.

Ως αυτούσιο υλικό, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται, σήμερα, κυρίως για τη συσκευασία μπύρας και αναψυκτικών, καθώς και για την παραγωγή σκευών μαγειρικής μιας χρήσης. Πραγματοποιώντας προσμίξεις με άλλα υλικά, όπως

χαρτί και πολυπροπυλαίνιο, εξάγεται ως τελικό προϊόν το αλουμινόχαρτο, σακούλες για είδη διατροφής αλλά και καπάκια για την επιτομάτωση γιαουρτιών και άλλων προϊόντων.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι η εισβολή και εδραίωσή του στο χώρο της συσκευασίας αναψυκτικών και μπίρας τις τελευταίες δεκαετίες είχε ως αποτέλεσμα την κατάργηση του λευκοσιδήρου στη συγκεκριμένη αγορά και την καθιέρωση μιας νέας πραγματικότητας. Η αλλαγή στις καταναλωτικές συνήθειες και η επέκταση του θεσμού της ανακύκλωσης συνέβαλαν προς αυτή την κατεύθυνση.

Το πλέον διαδεδομένο υλικό αλουμινένιας συσκευασίας είναι τα κουτιά two piece για μπίρες και αναψυκτικά, που απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής και της κατανάλωσης ειδών συσκευασίας από αλουμίνιο. Στη συνέχεια ακολουθεί το αλουμινόχαρτο-αλουμινόφυλλο και τα λοιπά είδη συσκευασίας, όπως είναι τα σκεύη αλουμινίου, τα πόματα και τα καπάκια φιαλών και δοχείων.

Στις ακόλουθες εικόνες απεικονίζονται χαρακτηριστικά προϊόντα συσκευασίας, τα οποία είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο. Μέσω αυτών είναι δυνατόν να συσκευασθούν διάφορα αγαθά, μεταξύ των οποίων είναι τρόφιμα, όπως προϊόντα γάλακτος, γλυκά, καφές, τσάι, παιδικές τροφές, διάφορα ποτά, όπως μπίρα, αναψυκτικά, χυμοί, γάλατα, καπνός, ακόμη τροφές οικιακών ζώων. Επίσης συσκευάζονται διάφορα είδη φαρμάκων, κυρίως ταμπλέτες και αλοιφές, διάφορα καλλυντικά, σωληνάρια για οδοντόπαστες, αρωματικά μαντήλια, σαμπουάν, και τέλος ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών αγαθών, όπως είναι κόλλες, μελάνια, χημικά κ.α..





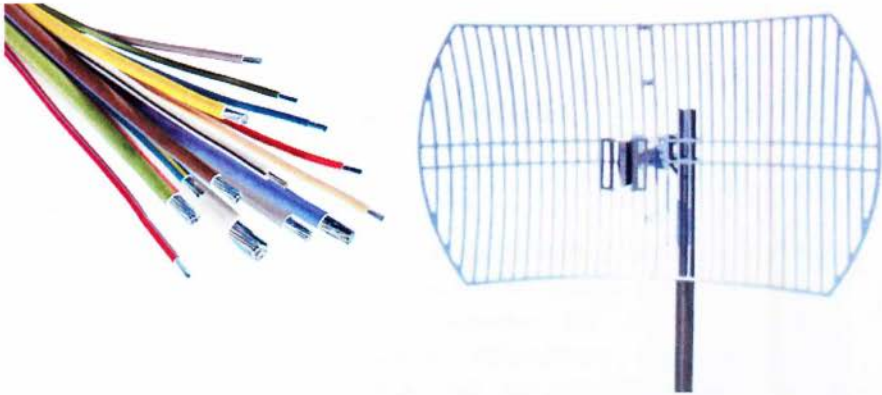
Εικόνα 6.6 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στη συσκευασία προϊόντων

6.2.2.5 Ηλεκτροβιομηχανία

Ένας ακόμη βιομηχανικός τομέας, στον οποίο παρατηρείται η ευρεία χρήση του αλουμινίου, ως υλικό κατασκευής μεγάλου πλήθους εξαρτημάτων και προϊόντων είναι ο κλάδος της ηλεκτροβιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα το αλουμίνιο αποτελεί ένα από τα βασικά υλικά κατασκευής κεραιών και αντενών, εξαρτημάτων τηλεόρασης, καταψυκτών και συσκευών κλιματισμού και θέρμανσης.

Ακόμη το αλουμίνιο χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλωδίων και συγκεκριμένα των αγωγών αυτών. Οι αγωγοί των καλωδίων συνήθως κατασκευάζονται από χαλκό, ωστόσο σε αγωγούς και σε καλώδια διατομής μεγαλύτερης των 35 mm^2 , το αλουμίνιο είναι σε θέση να αποτελέσει το υλικό κατασκευής αυτών. Τα ιδιαίτερα συγκριτικά πλεονεκτήματα του αλουμινίου έναντι του χαλκού είναι το μικρότερο κόστος από τη μία μεριά και από την άλλη το χαμηλό βάρος αυτών. Ωστόσο υστερούν στο γεγονός ότι σε σχέση με το χαλκό δεν είναι σε θέση να συγκολληθούν με μαλακή κόλληση χαμηλού σημείου τήξης π.χ. κασσιτεροκόλληση και επίσης στο γεγονός ότι διαβρώνεται λόγω των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα. Παρόλα αυτά, επειδή οι ακροδέκτες των καλωδίων συνήθως συμπιέζονται, ή πρέπει να συμπιέζονται, πάνω στους αγωγούς, η ικανότητα συγκόλλησης δε διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο.

Στις ακόλουθες εικόνες απεικονίζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα ηλεκτρικών εξαρτημάτων κατασκευασμένα από αλουμίνιο.



Εικόνα 6.7 Παραδείγματα εφαρμογών αλουμινίου στην ηλεκτροβιομηχανία

6.3 Εφαρμογές Μαγνησίου

6.3.1 Εισαγωγή

Γενικότερα το μαγνήσιο θεωρείται ως το ειδικώς ελαφρότερο εκ των ελαφρών μετάλλων, τα οποία εξετάζονται. Το 95% της παραγωγής του μαγνησίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ελαφρών και ανθεκτικών κραμάτων, π.χ. με το αλουμίνιο παρέχει κράματα, όπως χαρακτηριστικά είναι το ντουραλουμίνιο, το μαγνάλιο (5% έως 50% Mg, το υπόλοιπο Al) και το υδρονάλιο (5% έως 10% Mg, 0,3% έως 0,5% Ni, το υπόλοιπο Al). Ως μέταλλο χρησιμοποιείται ως αναγωγικό και αποξειδωτικό στη μεταλλουργία και ως "θυσιαζόμενη" άνοδος για την προστασία από οξείδωση σιδηρών αντικειμένων και πλοίων. Οι ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε φαρμακευτικά σκευάσματα και ως πληρωτικά υλικά.

Πιο συγκεκριμένα σε καθαρή μορφή χρησιμοποιείται στην φωτογραφική και στη βιομηχανία πυροτεχνημάτων η οποία απορροφά ένα πολύ μεγάλο μέρος παραγωγής του και στη μεταλλουργία, αποκλειστικά και μόνο ως αναγωγικό μέσο. Από την άλλη μεριά η χρησιμοποίησή του υπό τη μορφή κραμάτων είναι ευρύτερη λόγω του πολύ μικρού ειδικού βάρους, το οποίο το χαρακτηρίζει ως υλικό και επίσης εξαιτίας των σημαντικών μηχανικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει. Ειδικότερα, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε πρόσθετα, χρησιμοποιείται στην αεροναυπηγική, αυτοκινητοβιομηχανία, στη βιομηχανία παραγωγής μηχανών σιδηροδρόμων και στη βιομηχανία κατασκευής μηχανών υφαντουργίας

6.3.2 Παραδείγματα Εφαρμογών Μαγνήσιου

6.3.2.1 Αυτοκινητοβιομηχανία

Το μαγνήσιο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του και συγκεκριμένα το χαμηλό βάρος του με την ταυτόχρονη υψηλή αντοχή του, αποτελεί ένα από τα βασικότερα κατασκευαστικά υλικά διάφορων εξαρτημάτων στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ειδικότερα, είτε από καθαρό μαγνήσιο είτε από κράματα αυτού κατασκευάζονται διάφορα εξαρτήματα ενός αυτοκινήτου, όπως είναι κάρτερ λαδιού, αντλίες, τροχαλίες, εκκεντροφόροι άξονες, καρμπυρατέρ, ζάντες τροχών, οι οποίες ονομάζονται και «mag wheels» κ.λπ..

Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών των εφαρμογών στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι τα εξής. Το 1957 το μοντέλο «Corvette SS», που σχεδιάστηκε για αγώνες ταχύτητας, είχε αμάξωμα από καθαρό μαγνήσιο. Ένα άλλο σπορ μοντέλο, το «Mercedes-Benz 300 SLR» είχε αμάξωμα από το κράμα μαγνησίου «Elektron». Επίσης, η γνωστή γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία «Porsche», στη διαρκή προσπάθειά της για ελάττωση του βάρους των αυτοκινήτων της, οδηγήθηκε στη χρήση αεροτομών από μαγνήσιο στο διάσημο μοντέλο της «Porsche 917/053» που νίκησε τον αγώνα «Le Mans» του 1971, όπου ακόμη κρατά το απόλυτο ρεκόρ απόστασης. Το «917/30 Can-Am» επίσης είχε φτερά από μαγνήσιο, βοηθώντας έτσι την εκμετάλλευση του κινητήρα της «Volkswagen Group», ισχύος 1100-1500 PS, ο οποίος επίσης χρησιμοποιούσε πολλά ανταλλακτικά από μαγνήσιο, για πολλά έτη. Επιπροσθέτως το μαγνήσιο αποτέλεσε βασικό υλικό κατασκευής για πληθώρα εξαρτημάτων των κινητήρων αυτοκινήτων, αγωνιστικών και μη, της «Porsche», εξαιτίας φυσικά του μειωμένου βάρους του. Ακόμη μια άλλη γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία, η «BMW» προχώρησε στην τοποθέτηση κινητήρων από μαγνήσιο και κράματα αυτού από το 2006 στα μοντέλα της «325i» και «325i». Οι κινητήρες της «BMW» χρησιμοποίησαν κράμα μαγνησίου (συγκεκριμένα το «AJ62A») στα εσωτερικά τοιχώματα των κυλίνδρων τους, καθώς και στα χιτώνια ψύξης τους.

Ο κινητήρας της «Corvette Z06» το 2006 εισήγαγε μια υψηλής τεχνολογίας σχεδίαση κινητήρα από μαγνήσιο, ο οποίος είχε περίβλημα από το κράμα μαγνησίου «AE44». Όλα αυτά τα κράματα είναι πρόσφατες εξελίξεις υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής τριβής κραμάτων μαγνησίου. Η «Mitsubishi Motors» επίσης χρησιμοποιεί μαγνήσιο, μεταλλικό και σε κράματα, για τα χειριστήρια αλλαγής ταχυτήτων της. Η γενική στρατηγική γι' αυτά τα κράματα

είναι να σχηματίζουν διαμεταλλικές επαφές στα όρια κόκκων, π.χ. προσθέτοντας και μεταλλικό ασβέστιο.



Εικόνα 6.8 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αυτοκινητοβιομηχανία



Εικόνα 6.9 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αυτοκινητοβιομηχανία

6.3.2.2 Αεροναυπηγική και Αεροδιαστημική

Ένας άλλος βιομηχανικός κλάδος, στον οποίο συναντάται η ευρεία χρήση του μαγνησίου ως υλικό κατασκευής και παραγωγής διαφόρων εξαρτημάτων, είναι αυτός της αεροναυπηγικής τεχνολογίας. Ιστορικά το μαγνήσιο ήταν ένα από τα κύρια μέταλλα κατασκευής αεροδιαστημικών σκαφών και σχετικών συστημάτων. Χρησιμοποιήθηκε από τη Γερμανία για την κατασκευή των πολεμικών αεροσκαφών της από τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, αλλά ιδιαιτέρως κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Ακόμη, κατοχύρωσαν την ονομασία «Elektron» για το σημαντικό αυτό κράμα μαγνησίου.

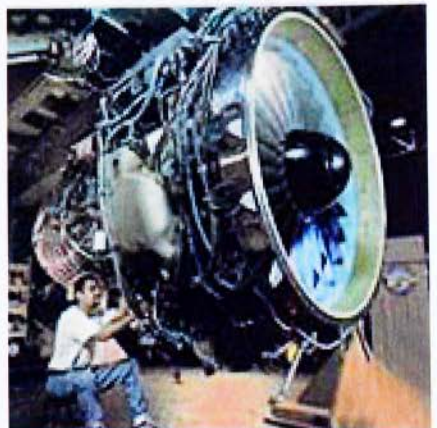
Ειδικότερα το μαγνήσιο και τα κράματα αυτού, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε πρόσθετα στοιχεία αποτελούν το κύριο υλικό κατασκευής διαφόρων εξαρτημάτων των αεροσκαφών και των κινητήρων

αυτών, μεταξύ των οποίων είναι η κατασκευή ελαιολεκάνων (κάρτερ) μηχανών, αντλιών, ελίκων, τροχών κ.λπ..

Εκτός από την αεροναυπηγική, το μαγνήσιο χρησιμοποιείται και στην κατασκευή αρκετών εξαρτημάτων διαστημικών αεροσκαφών. Αρχικά η χρήση αυτού είχε αποκλειστεί, κυρίως για την κατασκευή εξαρτημάτων του κινητήρα αυτών, εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι επιρρεπή σε ανάφλεξη σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ωστόσο, πλέον η χρήση κραμάτων μαγνησίου και στον αεροδιαστημικό τομέα αυξάνεται, εξαιτίας της σημασίας της οικονομίας καυσίμων εκεί και επομένως της μείωσης του βάρους κατασκευής. Η ανάπτυξη και η έρευνα κραμάτων μαγνησίου (π.χ. του «Elektron 21») συνεχίζεται επιτυχημένα στους κινητήρες, στα εσωτερικά και στα εξαρτήματα των ατράκτων. Μάλιστα, η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδοτεί τρία (3) σχετικά ερευνητικά εγχειρήματα για την αεροδιαστημική τεχνολογία, με προτεραιότητα το «Six Framework Program».



Εικόνα 6.10 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αεροναυπηγική



Εικόνα 6.11 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου στην αεροναυπηγική

6.3.2.3 Κατασκευή Ηλεκτρικών Συσκευών

Το μαγνήσιο ακόμη, εξαιτίας της χαμηλής του πυκνότητας, η οποία το χαρακτηρίζει ως υλικό, αποτελεί το κύριο υλικό κατασκευής διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών. Ειδικότερα χρησιμοποιείται για την κατασκευή των περιβλημάτων προϊόντων όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές, φωτογραφικές μηχανές, κάμερες και άλλες συσκευές. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών των εφαρμογών απεικονίζονται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 6.12 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου για την κατασκευή ηλεκτρικών συσκευών



Εικόνα 6.13 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου για την κατασκευή ηλεκτρικών συσκευών

6.3.2.4 Χρήση ως ελεύθερο στοιχείο

Το μαγνήσιο συν τοις άλλοις, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του παρόντος υποκεφαλαίου, τυγχάνει πληθώρας εφαρμογών και χρήσεων σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του μαγνησίου ως υλικό αποτελεί η ταχεία ανάφλεξη αυτού. Πιο συγκεκριμένα, όταν αναφλέγεται είναι σε θέση να παράγει θερμοκρασία έως 3.100 C, με τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης ρινισμάτων του στον αέρα είναι ακριβώς 630 C. Επιπροσθέτως, κατά την ανάφλεξή του και όσο καίγεται το μαγνήσιο παράγει έντονο λευκό φως και υψηλή θερμότητα. Το γεγονός αυτό, δηλαδή η παραγωγή των υψηλών θερμικών φορτίων, καθιστά το μαγνήσιο ιδανικό μέσο για το επείγον άναμμα φωτιάς στην ύπαιθρο αλλά και για διασκέδαση. Άλλες σχετικές εφαρμογές της ιδιότητας αυτής είναι το φλας στη λήψη φωτογραφιών, οι φωτοβολίδες, τα πυροτεχνήματα και οι πίδακες φωτιάς για εφέ.

Επιπροσθέτως, το μαγνήσιο είναι σε θέση να δράσει ως αναγωγικό μέσο. Ενδεικτικά άλλες χημικές εφαρμογές του μαγνησίου είναι οι ακόλουθες:

- Για την απομάκρυνση θείου (S) από σίδηρο (Fe) και χάλυβα.
- Για τον καθαρισμό του τιτανίου (Ti) κατά διεργασία Kroll.
- Για φωτογραφικές πλάκες στην εκτυπωτική βιομηχανία.
- Για την παραγωγή οργανομαγνησιακών ενώσεων, οι οποίες είναι χρήσιμες για τις συνθέσεις οργανικών ενώσεων.
- Ως προσθετικό παράγοντα σε συμβατικά προωθητικά πυραύλων
- Για την παραγωγή συνθετικό γραφίτη από χυτοσίδηρο.
- Σαν αναγωγικό αντιδραστήριο κατά την παραγωγή ουρανίου (U) και άλλων μετάλλων από τα άλατά τους.
- Ως ξηραντικό, αφού αντιδρά εύκολα με το νερό (H₂O).
- Ως γαλβανική άνοδος για την προστασία υπόγειων δεξαμενών, σωλήνων, υπόγειων κατασκευών και λέβητες.



Εικόνα 6.14 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου ως ελεύθερο στοιχείο



Εικόνα 6.15 Παραδείγματα εφαρμογών μαγνησίου ως ελεύθερο στοιχείο

6.4 Εφαρμογές Τιτανίου

6.4.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το τιτάνιο αποτελεί ένα από τα κύρια κατασκευαστικά υλικά σε ένα ευρύ φάσμα μηχανολογικών εφαρμογών. Η πάρα πολύ καλή αναλογία βάρους ως προς την αντοχή του, σε συνδυασμό με τα άριστα αντιδιαβρωτικά και μη-μαγνητικά στοιχεία, τα οποία το χαρακτηρίζουν ως υλικό, και επίσης η αυξανόμενη απόδοση αυτού ακόμη και υπό την επίδραση υψηλών θερμικών φορτίων αποτελούν τους βασικούς λόγους, για τους οποίους το καθιστούν βασικό και πολλές φορές αποκλειστικό υλικό σε εφαρμογές όπως είναι η ιατρική, η αεροναυπηγική, η

αυτοκινητοβιομηχανία και η θαλάσσια ναυπηγική. Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα του κατά τα άλλα εύχρηστου υλικού, είναι το υψηλό κόστος τόσο όσον αφορά στην κατασκευή αυτού όσο και σε θέματα συντήρησης.

Επιπροσθέτως, το τιτάνιο, όπως και το αλουμίνιο είναι σε θέση να επεξεργαστεί δίχως ιδιαίτερες δυσκολίες μέσω όλων των συνηθισμένων μεθόδων κατεργασίας και διαμόρφωσης. Χαρακτηριστικές τέτοιες μέθοδοι είναι αυτές, της χύτευσης, της λείανσης, της κάμψης, της σφράγισης, της συγκολλησίσεως και της σφυρηλάτησης.

Τέλος, όσον αφορά την ικανότητα συνδέσεως του, το τιτάνιο είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σε στρεπτικά και διατμητικά φορτία, δίχως όμως να εγγυάται την υψηλή απόδοση. Το τιτάνιο εμφανίζει καλύτερα στοιχεία υπό την επίδραση εφελκυστικών φορτίων. Ο πιο κοινός τρόπος για τη βεβαίωση μιας ισχυρής και ταυτοχρόνως αξιόπιστης και επαναχρησιμοποιήσιμης σύνδεσης τιτανίου είναι μέσω κοχλιωτής σύνδεσης.

Ακολουθώντας θα γίνει εκτενής ανάλυση των εφαρμογών, κατά τις οποίες λαμβάνει εκτεταμένη χρήση τιτανίου ως υλικό κατασκευής.

6.4.2 Παραδείγματα Εφαρμογών Τιτανίου

6.4.2.1 Αυτοκινητοβιομηχανία

Στην αυτοκινητοβιομηχανία παρατηρείται ευρεία χρήση του τιτανίου και των κραμάτων αυτού, για την κατασκευή μεγάλου πλήθους εξαρτημάτων και τμημάτων ενός αυτοκινήτου. Ειδικότερα, το τιτάνιο και τα κράματα αυτού χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές τόσο για την κατασκευή εξαρτημάτων της μηχανής του αυτοκινήτου όσο και εκτός αυτής, εκμεταλλευόμενοι το πλήθος των πλεονεκτημάτων, τα οποία αναφέρθηκαν προηγουμένως. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εξαρτημάτων εκτός μηχανής είναι τα ελατήρια των αναρτήσεων, διάφορα μέρη του πλαισίου, στροφείς στο σύστημα πέδησης, ενισχύσεις στους προφυλακτήρες και κινητήριιο άξονες. Από την άλλη τα τμήματα της μηχανής, τα οποία είναι κατασκευασμένα είτε από τιτάνιο, είτε από κράματα αυτού, είναι οι τροχοί σε στροβιλοσυμπιεστές, οι βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής αέρα-καυσίμου, οι συνδετικές ράβδους, οι κεφαλές των εμβόλων των μηχανών, οι βραχιόνες παλινδρόμησης οι εκκεντροφόροι άξονες και τα ελατήρια βαλβίδων.

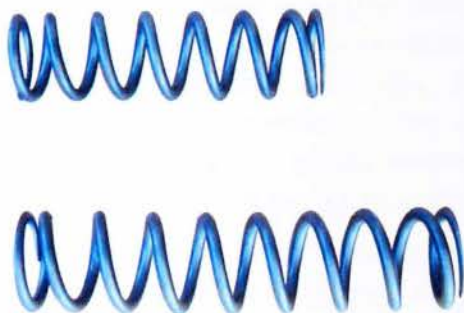
Ωστόσο, παρόλο το πλήθος των πλεονεκτημάτων του υλικού αυτού, η αυτοκινητοβιομηχανία τείνει προς τον περιορισμό της χρήσης του τιτανίου, κυρίως εξαιτίας του υψηλού κόστους κατασκευής και συντήρησης, το οποίο

απαιτείται, εν αντιθέσει με άλλα ελαφρά μέταλλα.

Στις ακόλουθες απεικονίζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα εξαρτημάτων ενός αυτοκινήτου, τα οποία είναι κατασκευασμένα είτε εξ' ολοκλήρου είτε εν μέρει από τιτάνιο και κράματα αυτού.



Εικόνα 6.16 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αυτοκινητοβιομηχανία



Εικόνα 6.17 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αυτοκινητοβιομηχανία



Εικόνα 6.18 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αυτοκινητοβιομηχανία

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα χρήσης του τιτανίου και τα οφέλη μέσω αυτού είναι το εξής:

Το 2003 από μία μεγάλη αυτοκινητοβιομηχανία ξεκίνησε ένα πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης για την κατασκευή ενός ανταγωνιστικού στροβιλοσυμπιεστή για μηχανές Diesel, τα υλικά κατασκευής του οποίου θα ήταν διάφορα ελαφρά μέταλλα και κράματα αυτών. Μέσω αυτών και λόγω του χαμηλού βάρους αλλά και της υψηλής τους αντοχής αναμενόταν τόσο η κατανάλωση καυσίμου όσο και οι εκπομπές καυσαερίων να μειωθούν αισθητά. Πιο συγκεκριμένα, ο εν λόγω στροβιλοσυμπιεστής αποτελείτο από έναν τροχό του στροβίλου και από δύο άλλους τροχούς του συμπιεστή, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στον κινητήριο άξονα της μηχανής. Για την κατασκευή των τροχών του στροβίλου χρησιμοποιήθηκε τιτάνιο με επικάλυψη αλουμινίου, ενώ για τον τροχό του συμπιεστή κατάλληλο κράμα τιτανίου.

Από την ανάλυση, η οποία πραγματοποιήθηκε για τον έλεγχο της αντοχής μέσω πεπερασμένων στοιχείων και ρευστομηχανικής ανάλυσης υπό την επίδραση υψηλών θερμικών φορτίων και με διάφορες βελτιωτικές τροποποιήσεις, επετεύχθη τελικά η μείωση του συνολικού βάρους της μηχανής κατά 15%.

6.4.2.2 Αεροναυπηγική

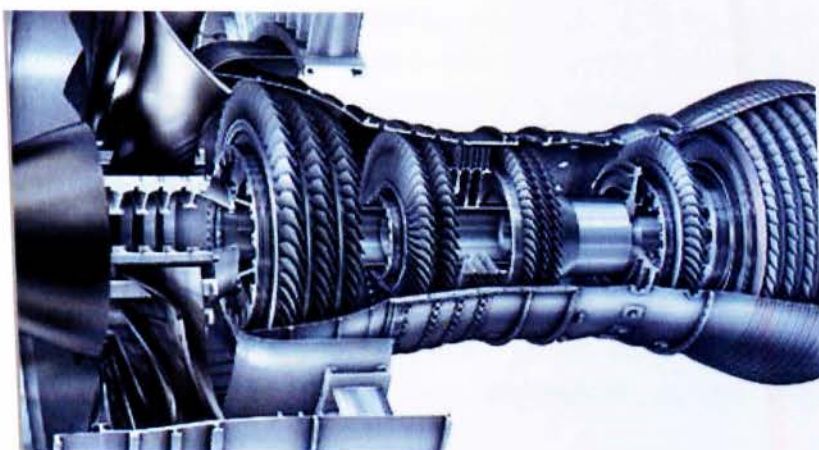
Ένας άλλος τομέας, κατά τον οποίο παρατηρείται ευρεία χρήση του τιτανίου και κραμάτων αυτού ως υλικό κατασκευής είναι αυτός της αεροναυπηγικής. Το γεγονός ότι το τιτάνιο χαρακτηρίζεται από χαμηλό ειδικό βάρος, ενώ παράλληλα η αντοχή του είναι αρκετά υψηλή, το καθιστά ένα ιδανικό υλικό για τους κατασκευαστές αεροσκαφών, τόσο επιβατικών όσο και μαχητικών,

καθώς επίσης και σε αρκετά διαστημικά αεροσκάφη. Όπως και στην περίπτωση της κατασκευής αυτοκινήτων, έτσι και στην αεροναυπηγική όσο μικρότερο είναι το βάρος ενός αεροσκάφους, ιδίως των επιβατηγών λόγω χάριν τα Airbus, τόσο μικρότερη είναι η κατανάλωση καυσίμου και επομένως και το κόστος πτήσης.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά στα μέρη του αεροσκάφους, τα οποία είναι κατασκευασμένα από τιτάνιο, αυτά αποτελούν μέρη τόσο της μηχανής όσο και μη. Όσον αφορά στις μηχανές των αεροσκαφών, το τιτάνιο είναι το υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή των ελίκων του κινητήρα. Το σκεπτικό χρήσης είναι το εξής. Το μέγεθος από τη μια μεριά των ελίκων και γενικότερα οι διαστάσεις της εισόδου ενός κινητήρα αεροσκάφους είναι μεγάλες και από την άλλη μεριά η ταχύτητα περιστροφής είναι υψηλή και συγκεκριμένα περίπου 7500rpm. Επομένως απαιτείται η χρήση ενός ελαφρούς αλλά και ανθεκτικού έναντι υψηλών καταπονήσεων, υλικού. Για αυτό το λόγο τα πτερύγια κατασκευάζονται από κράμα τιτανίου, Ti-6Al-4V.

Επιπροσθέτως, το τιτάνιο αποτελεί το υλικό κατασκευής τμημάτων των αεροσκαφών που υπόκεινται σε θερμοκρασίες μέχρι 1100° F. Το τιτάνιο μπορεί να αποτελέσει το 20% - 30% του συνολικού βάρους σε ένα αεροπορικό κινητήρα. Τέλος, το τιτάνιο χρησιμοποιείται και σε κρίσιμα δομικά στοιχεία των αεροσκαφών όπως σκελετούς αεροσκαφών, στο σύστημα προσγείωσης, σε σωληνώσεις, κ.α..

Στις ακόλουθες εικόνες απεικονίζονται χαρακτηριστικές εφαρμογές τμημάτων αεροσκάφους από τιτάνιο.



Εικόνα 6.19 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αεροναυπηγική



Εικόνα 6.20 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην αεροναυπηγική

6.4.2.3 Ιατρική

Το τιτάνιο πέραν από την ευρεία χρήση του σε εφαρμογές της βιομηχανίας, αποτελεί συν τοις άλλοις ένα από βασικότερα υλικά κατασκευής διαφόρων εφαρμογών στο πεδίο της ιατρικής και της οδοντιατρικής επιστήμης. Πιο συγκεκριμένα, το εύρος των διαθέσιμων κραμάτων του τιτανίου είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να υπάρχει πληθώρα δυνατοτήτων και επιλογών, όσον αφορά στη μορφή και τις ιδιότητες του συγκεκριμένου υλικού, αναλόγως βέβαια με τις ιδιαίτερες ανάγκες και προδιαγραφές τις εκάστοτε εφαρμογής. Τα πλείστα των μετάλλων, τα οποία έρχονται σε επαφή με τα διάφορα υγρά του σώματος και τους ιστούς συναντώνται ως σταθερά σύμπλοκα. Έτσι η διάβρωση των μεταλλικών ενθεμάτων λόγω των σωματικών υγρών, έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ανεπιθύμητων μεταλλικών ιόντων, τα οποία επεμβαίνουν στις ζωτικές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Μάλιστα ακόμη και στην περίπτωση κατά την οποία η συγκέντρωση των ανεπιθύμητων ιόντων λόγω της διάβρωσης του μεταλλικού ενθέματος είναι χαμηλή, υπάρχει ο κίνδυνος αποβολής του μεταλλικού μοσχεύματος εκ του οργανισμού. Επομένως το τιτάνιο, το οποίο ως υλικό εμφανίζει άριστη ανδιαβρωτική συμπεριφορά και χαρακτηριστικά καθιστώντας το απολύτως αδρανές και απρόσβλητο έναντι διάβρωσης, θεωρείται ως ένα πλήρως βιοσυμβατό, με τον ανθρώπινο οργανισμό, μέταλλο.

Πιο συγκεκριμένα το τιτάνιο είναι ένα ενεργό μέταλλο, του οποίου τα αντιδιαβρωτικά χαρακτηριστικά οφείλονται στο προστατευτικό στρώμα TiO_2 . Ακόμη το γεγονός ότι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας αυτού είναι σχετικά χαμηλή, το καθιστά σε θέση να έχει παρόμοια μηχανική συμπεριφορά με αυτή των οστών του ανθρώπινου οργανισμού. Επιπροσθέτως, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, το τιτάνιο ως υλικό έχει μικρή σχετικά πυκνότητα, ιδίως

μάλιστα συγκρινόμενη με αντίστοιχα χρησιμοποιούμενα βιοϋλικά, επομένως, τα εμφυτεύματα τιτανίου είναι αρκετά ελαφρύτερα, από τα αντίστοιχα εμφυτεύματα από ανοξείδωτους χάλυβες ή από κράματα κοβαλτίου-χρωμίου.

Αλλα πλεονεκτήματα του τιτανίου και των κραμάτων αυτού, έναντι των αντιστοιχών χρησιμοποιούμενων βιοϋλικών, αποτελεί το γεγονός ότι δε προκαλούν δυσμενείς αντιδράσεις και είναι ανεκτά από τον οργανισμό, όταν προσπαθεί να τα απομονώσει περιβάλλοντάς τα σε ινώδεις ιστούς. Επίσης, το τιτάνιο δε προκαλεί αλλεργικές αντιδράσεις, όπως χαρακτηριστικά έχουν την τάση να δημιουργούν οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι οποίοι συγκεκριμένα προκαλούν υπερευαισθησία στους περιβάλλοντες ιστούς.

Έτσι για τους λόγους, οι οποίοι αναφέρθησαν το τιτάνιο και τα κράματα αυτού αποτελούν ένα από τα κυριότερα υλικά σε διάφορες εφαρμογές της ορθοπεδικής, της οδοντιατρικής κλπ., για παράδειγμα, με τη δημιουργία τεχνητών μοσχευμάτων, ισχίων, αρθρώσεων γονάτων, τοποθέτηση οδόντων στις γνάθους

Πιο συγκεκριμένα στην ιατρική, το τιτάνιο είναι σε θέση να αποτελέσει υλικό κατασκευής χειρουργικών συρμάτων, βιδών, πλακών και ενδομυϊκών συσκευών. Τα χειρουργικά σύρματα χρησιμοποιούνται για την προσάρτηση μεγάλων θραυσμάτων των οστών. Επίσης χρησιμοποιούνται για να παρέχουν πρόσθετη σταθερότητα τόσο σε μεγάλου μήκους-λοξά ή σε μορφή σπιδράλ κατάγματα όσο και μακριά οστά, τα οποία έχουν προηγουμένως σταθεροποιηθεί με άλλα μέσα. Τέλος, μια άλλη εφαρμογή αυτών είναι για τη συγκράτηση θραυσμάτων των οστών, τα οποία είναι ενωμένα προσωρινά ή μόνιμα και για την καθοδήγηση των μεγάλων βιδών κατά τη διάρκεια εισαγωγής αυτών.

Από την άλλη μεριά οι βίδες είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενες για τη σταθεροποίηση ενός κατάγματος. Αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις φλοιώδεις βίδες οστών και τις πορώδεις βίδες. Οι πρώτες έχουν μικρό σπείρωμα και είναι σε θέση να ταξινομηθούν ανάλογα με την διατηρητική τους ικανότητα. Έτσι υπάρχουν οι αυτοδιάτρητες, οι οποίες έχουν αυλακώσεις κοπής και δημιουργούν το σπείρωμα στο πιλοτικό διάτρημα κατά την εισαγωγή τους, και οι μη αυτοδιάτρητες, οι οποίες απαιτούν τη δημιουργία πιλοτικού διατρήματος με σπείρωμα προτού τοποθετηθούν στο οστό. Από την άλλη μεριά οι πορώδεις βίδες έχουν μεγαλύτερο σπείρωμα, έτσι ώστε να εξασφαλίζουν μεγαλύτερη επαφή με το οστό.

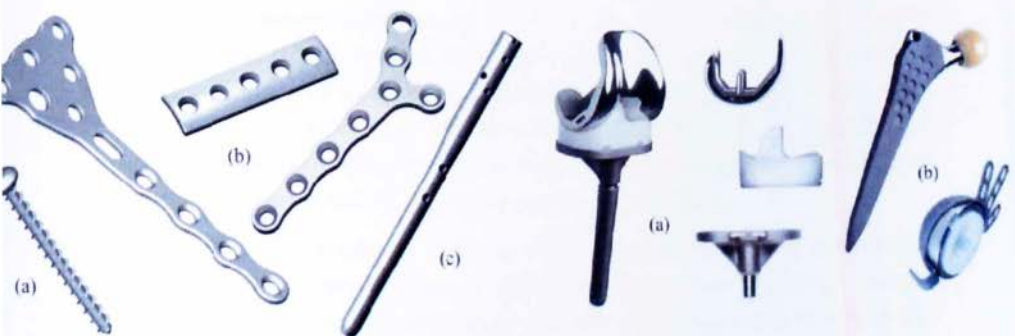
Οι πλάκες τιτανίου με τη σειρά τους διατίθενται σε ευρεία ποικιλία μορφών και χρησιμοποιούνται για τη διευκόλυνση στη σταθεροποίηση των θραυσμάτων του οστού. Η ταξινόμηση των πλακών αυτών λαμβάνει χώρα ανάλογα με το βαθμό ευκαμψίας τους και αναλόγως προκύπτει και η χρήση τους. Πιο συγκεκριμένα οι πολύ άκαμπτες πλάκες προορίζονται για την

θεραπεία του οστού στα αρχικά στάδια θραύσης του, ενώ από την άλλη μεριά οι σχετικά εύκαμπτες πλάκες για τη διευκόλυνση της φυσιολογικής φόρτισης του οστού. Ο βαθμός ακαμψίας της εκάστοτε πλάκας εξαρτάται από τη διατομή αυτής και συγκεκριμένα το πάχος αυτής και επίσης από το υλικό κατασκευής της. Ενδεικτικά αξίζει να σημειωθεί ότι συγκρινόμενες οι πλάκες τιτανίου με τις αντίστοιχες από ανοξείδωτο χάλυβα, είναι πιο εύκαμπτες εξαιτίας του γεγονότος ότι το μέτρο ελαστικότητας είναι μικρότερο.

Τέλος, οι ενδομυϊκές συσκευές χρησιμοποιούνται ως εσωτερικοί δοκοί στήριξης και σταθεροποίησης των μεγάλου μήκους καταγμάτων των οστών. Επίσης η χρήση αυτών είναι σε θέση να συνδυάζεται με τη χρήση και άλλων εμφυτευμάτων, κυρίως βιδών για τη σταθεροποίησή του επί του οστού. Η σχεδίαση και η δημιουργία μιας τέτοιου είδους κατασκευής απαιτεί την ενδελεχή μελέτη της κινηματικής και δυναμικής συμπεριφοράς και καταπόνησης των αρθρώσεων, η οποία εξαρτάται από τα εν γένει χαρακτηριστικά του υλικού κατασκευής, τη μορφή και τις μεθόδους σταθεροποίησης του μοσχεύματος στο οστό. Η ορθή μελέτη και ανάλυση αυτών καθορίζει εν πολλοίς τη μακροβιότητα του εμφυτεύματος. Όπως φαίνεται και στις ακόλουθες εικόνες, υπάρχουν πολλών ειδών ενδομυϊκές συσκευές, με τις πιο χαρακτηριστικές αυτών να είναι για την αντικατάσταση του ισχίου γοφού και της άρθρωσης ενός γονάτου.

Τέλος στην οδοντιατρική, το τιτάνιο αποτελεί το υλικό κατασκευής γεφυρών ή κορωνών, ακόμη διαφόρων κατασκευών στήριξης των μοσχευμάτων και μερικούς ή πλήρους βάσεως τεχνητής οδοντοστοιχίας. Τα πλείστα των εξαρτημάτων έχουν προέλθει μέσω χύτευσης του τηγμένου τιτανίου σε κατάλληλης γεωμετρίας και μορφής καλούπια.

Χαρακτηριστικές εφαρμογές του τιτανίου απεικονίζονται στις ακόλουθες εικόνες.





Εικόνα 6.21 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην ιατρική

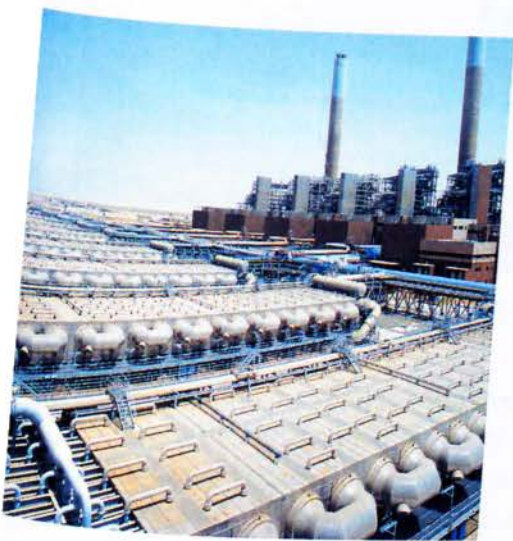
6.4.2.4 Σύστημα Αφαλάτωσης

Ένας άλλος κατασκευαστικός βιομηχανικός κλάδος, στον οποίο το τιτάνιο ως υλικό βρίσκει εξέχουσα και ευρεία εφαρμογή είναι αυτός της αφαλάτωσης υδάτων, μια διαδικασία μετατροπής και καθαρισμού του θαλασσινού νερού σε πόσιμο. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, παράγονται σωλήνες τιτανίου, οι οποίοι επιτρέπουν, λόγω των εξαιρετικά λεπτών τοιχωμάτων τους, τη μετατροπή του θαλασσινού νερού σε πόσιμο μέσω εξατμικής και συμπύκνωσης.

Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία και η εν γένει εγκατάσταση της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αποτελείται από μια σειρά θαλάμων, το εσωτερικό των οποίων αποτελείται από διάφορους σωλήνες εναλλακτών θερμότητας. Αρχικά το εισαχθέν θαλασσινό νερό θερμαίνεται μέχρι το σημείο βρασμού του και ακολούθως ο παραγόμενος ατμός περνά μέσω των σωλήνων τιτανίου στο πρώτο θάλαμο. Παράλληλα το κρύο θαλασσινό νερό ψεκάζεται επάνω στους καυτούς σωλήνες, το οποίο και εξατμίζεται και ο παραγόμενος ατμός περνά διαμέσου των σωλήνων στον επόμενο θάλαμο αφαλάτωσης. Ο παραγόμενος ατμός συμπυκνώνεται μέσα στους σωλήνες σε γλυκό πόσιμο νερό, το οποίο εν συνεχεία συλλέγεται από τις άκρες εξαγωγής των σωλήνων.

Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του τιτανίου ως υλικό, έναντι των αντιστοίχων υλικών, για την κατασκευή τέτοιου είδους και απαιτήσεων σωλήνων είναι το γεγονός ότι τα εξαιρετικά αντιδιαβρωτικά του χαρακτηριστικά το καθιστούν ιδανικό υλικό έναντι του ισχυρού και εξαιρετικά διαβρωτικού θαλασσινού νερού. Τέλος, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως κατά την περιγραφή της χρήσης του τιτανίου στις εφαρμογές της ιατρικής, το τιτάνιο είναι συμβατό με

αρκετά υγρά τοξικά ή μη. Επομένως σε σχέση με τους χαλκοσωλήνες ή τους σωλήνες νικελίου, το τιτάνιο είναι πιο συμβατό, δίχως να απελευθερώνει ρύπους.



Εικόνα 6.22 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης

6.4.2.5 Ναυπηγική

Το τιτάνιο εξαιτίας, των εξαιρετικών αντιδιαβρωτικών χαρακτηριστικών του αποτελεί ένα από τα κυριότερα υλικά κατασκευής διαφόρων εξαρτημάτων για τη ναυπήγηση πλοίων. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της υψηλής αντοχής του στη διάβρωση που προκαλεί το θαλασσινό νερό, το τιτάνιο χρησιμοποιείται για την κατασκευή ατράκτων για την κίνηση της προπέλας, εναλλακτών θερμότητας, και για την παρασκευή περιβλημάτων σε διάφορες κατασκευές που βρίσκονται μέσα σε ωκεανούς κ.α.

Ενδεικτικά αξίζει να τονισθεί ότι από άποψη εφαρμογών, η σημαντικότερη μέχρι σήμερα χρήση τους είναι σε καταδυτικά σωστικά σκάφη μεγάλου βάθους (Deep Submergence Rescue Vehicles DSRVs). Το πρώτο παράδειγμα τέτοιου σκάφους είναι το ALVIN, το περίβλημα του οποίου ήταν σφαίρα διαμέτρου 2.12 m και πάχους 75 mm κατασκευασμένη από κράμα Ti-6Al-2Cb-1Ta-0.8Mo. Άλλα παρόμοια σκάφη με περίβλημα από κράματα τιτανίου είναι το AUTECH και τα DSRV-1 και DSRV-2. Τα δύο τελευταία χρησιμοποιούν το κράμα Ti-6Al-4V ELI τόσο στο περίβλημα όσο και στις σφαιρικές δεξαμενές έρματος. Ακόμα, η χρήση τιτανίου στην κατασκευή του σφαιρικού χώρου του πληρώματος συνετέλεσε αποφασιστικά στην μετατροπή του DSRV Sea Cliff, που αύξησε το υπηρεσιακό του βάθος από 1980 m το 1968 σε 6100 m το 1980.



Εικόνα 6.23 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου στην ναυπηγική

Το τιτάνιο και τα κράματά του, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, έχουν ακόμα εφαρμοστεί και στην κατασκευή ορισμένων κρίσιμων τμημάτων της μεταλλικής κατασκευής προχωρημένων τύπων σκαφών. Σαν παράδειγμα, αναφέρονται τα περύγια, πηδάλια και έλικες ταχύπλοων πολεμικών σκαφών SeS – 100 (Surface Effect 113Ships), οι ελικοφόροι άξονες τορπιλακάτων (torpedo boats) στην Ιαπωνία και τμήματα υδραυλικών δικτύων (σώματα βαλβίδων, σωληνώσεις).

6.4.2.6 Λοιπές Εφαρμογές

Το τιτάνιο πέραν των προαναφερθέντων εφαρμογών, στις οποίες αποτελεί ένα από τα βασικότερα υλικά κατασκευής, συναντάται ευρέως και για τη παραγωγή διαφόρων προϊόντων καθημερινής χρήσης και μη. Τέτοια χαρακτηριστικά παραδείγματα απεικονίζονται στις ακόλουθες εικόνες. Πιο συγκεκριμένα, το τιτάνιο και τα κράματά του αυτού χρησιμεύουν για τη δημιουργία προϊόντων όπως ρολόγια, κοσμήματα (κυρίως σκουλαρίκια), ποτήρια, οικιακά σκεύη, σκελετούς ποδηλάτων, χρώματα, χαρτί, πλαστικά, τσιμέντο για έντονη λευκότητα, οδοντόκρεμες και πολλά άλλα.



Εικόνα 6.24 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου



Εικόνα 6.25 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου



Εικόνα 6.26 Παραδείγματα εφαρμογών τιτανίου

Βιβλιογραφία

1. Γουζιώτη Αρετή, «Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου και καταγραφή μεθόδων κατεργασίας για παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων με πλαστική παραμόρφωση», Κοζάνη 2003
2. Χαιρέτης Νικόλαος, «Συγκριτική μελέτη στέγης με φέροντα οργανισμό από χάλυβα και αλουμίνιο», Αθήνα 2012
3. Τσακίρη Δανάη, «Κατεργασία κράματος αλουμινίου», Αθήνα 2010
4. Ξανθοπούλου Μαρία, «Τιτάνιο. Τα κράματα και οι ενώσεις του»
5. Παπαδάκη Σοφία και Παπαδημητρίου Ιωάννα, «Διάβρωση ιατρικών ενθεμάτων»
6. Μήτσης Γεώργιος, «Χρήση του αλουμινίου και του ανοξείδωτου χάλυβα στα δομικά έργα»
7. Μαγνήσιο(Ιδιότητες και Εφαρμογές)
http://www.chem.uoa.gr/quali/quali_C05_Mg.htm
8. Γιαννακόπουλος Δ. Ιωάννη, «Κατασκευή εμφυτευμάτων μηριαίου οστού από κράμα τιτανίου Ti-6Al-4V και αριθμητική προσομοίωση της κατεργασίας με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων». Αθήνα 2010
9. Στυλιανίδης Ορέστης «Συγκόλληση δια τριβής με ανάδευση διαφόρων κραμάτων εκτος κραμάτων αλουμινίου». Αθήνα 2011
10. Δεπούντης Χαρ. Σπυρίδων, «Αναπτυξη και εφαρμογή μεθόδων αντιδιαβρωτικής προστασίας κραμάτων αλουμινίου φιλικών προς το περιβάλλον». Αθήνα 2012
11. Εκδόσεις Δομή Α.Ε. «Εγκυκλοπαίδεια Δομή».
12. Θωμάς Δ. Καρακώστας, Νικόλαος Ι. Νιάρχος «Τεχνολογία μηχανουργικών εφαρμογών». Αθήνα 1990.